

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIKSULARIN YAPAY SULAK ALANLAR İLE ARITIMI:
DENİZLİ ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

AYDEMİR AKYÜREK

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ATIKSULARIN YAPAY SULAK ALANLAR İLE ARITIMI:
DENİZLİ ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

AYDEMİR AKYÜREK

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Aydemir Akyürek

ÖZET

**ATIKSULARIN YAPAY SULAK ALANLAR İLE ARITIMI:
DENİZLİ ÖRNEĞİ
DOKTORA TEZİ
AYDEMİR AKYÜREK
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OSMAN NURİ AĞDAĞ)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

Kırsal alanda atıksu arıtma ihtiyaçları günden güne artmaktadır. Yine gelişen arıtma yöntemleri ilk yatırım, işletme, bakım, enerji gibi konularda yüksek maliyetlere sebep olabilmektedir. Bu noktada doğal, çevreci ve kolay bir yöntem olan yapay sulak alanlar ihtiyacı karşılayabilmektedir. Bu tez kapsamında Türkiye, Denizli İli'nde yer alan kırsal beldeler için kavramsal ve gerçek açıdan karar vericilere yol gösterebilecek bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Denizli ilindeki mevcut durum, ihtiyaçlar, hali hazırdaki kırsal arıtma tesisleri, bunların sorunları ve iyileştirme alanları irdelenmiş, mevcut tesisler arasında yer alan ardışık kesikli biyolojik paket arıtma tesisleri ile yapay sulak alanlar karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra dört adet pilot deneme havuzunda bir yılı aşkın süre ile denemeler gerçekleştirilmiş; ayrıca durum değerlendirmesi, pilot tesis sonuçları ve karşılaştırmalar sonucunda ihtiyaç olan yeni beldeler için gerçek ölçekli tasarımlar geliştirilerek sahada ilk uygulamalar yapılmıştır. Pilot yapay sulak alan uygulamalarında tüm göstergeler için ortalama olarak en yüksek verim yüzeyaltı dikey akışlı yatakta elde edilmiş, ardından yüzeyaltı yatay akışlı yatak ve son olarak serbest yüzeyli yatak öne çıkmıştır. BOİ₅ için giderim verimleri sırasıyla % 91, %87 ve %80'dir. Yine tesis çıkışına kurulan serbest yüzeyli yatak çok düşük bir yatırım ve sifıra yakın işletme gideri ile çıkış suyunda hatırı sayılır iyileştirme gerçekleştirmiştir. Bu son pilot tesiste toplam azot için ortalama %20 giderim elde edilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlarla yeni tasarlanıp inşa edilen tesislere ait veriler de bu çalışmada sunulmuştur. Tez çalışmasının sonunda Denizli ili ve benzer şehirlerde kırsal alanda yapılabilecek arıtma tesisleri ile ilgili idari, teknik ve mali ölçekte karar verilebilmesini sağlayacak anlamlı bilgiler türetilmiş ve yapay sulak alanların tercih edilmesi yönünde karar vericilere somut destek sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Kırsal atıksu arıtma, Denizli, yapay sulak alan, paket biyolojik arıtma

ABSTRACT

TREATMENT OF RURAL WASTEWATER WITH CONSTRUCTED WETLANDS: DENİZLİ CASE

PH. D THESIS

AYDEMİR AKYÜREK

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF. DR. OSMAN NURİ AĞDAĞ)

DENİZLİ, AUGUST 2024

Wastewater treatment requirements in rural areas are increasing day by day. Again, developing treatment methods may cause high costs in matters such as initial investment, operation, maintenance and energy. At this point, constructed wetlands, which are a natural, environmentally friendly and easy method, can meet the need. In this thesis study, a study that can guide decision makers in conceptual and real terms has been carried out for rural towns in Denizli Province, Turkey. Within this thesis context, the current situation, requirements, existing rural treatment plants, their problems and improvement areas in Denizli province were examined, and sequential batch biological package treatment plants and constructed wetlands were compared among the existing plants. In addition, trials were carried out for more than a year in 4 pilot tanks, and as a result of the situation assessment of existing plants, pilot results and comparison studies, real-scale designs were developed for the new towns needed and the new CsW (constructed wetland) plants were constructed in the field. On average for all indicators, the highest efficiency was achieved in the vertical subsurface flow CsW, followed by the horizontal flow CsW and finally the free surface flow CsW. Removal efficiency for BOD₅ are 91, 87 and 80% respectively. Again, the free surface flow CsW constructed at the outlet of the facility has achieved a significant improvement in the output water with a very low investment and almost zero operating costs. In this pilot plant, an average of 20% removal of total nitrogen was achieved. As a result of above studies, newly designed and constructed plant data are also presented in this study. By the thesis study, valuable information derived that will enable decisions to be made on an administrative, technical and financial scale regarding treatment plants that can be built in rural areas in Denizli and similar cities, and concrete support was provided to decision makers in preferring constructed wetlands.

KEYWORDS: Wastewater treatment, rural, constructed wetlands, Denizli, package biological treatment

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
1. GİRİŞ	1
2. ATIKSULAR	5
2.1 Atıksular	5
2.1.1 Evsel Atıksular.....	5
2.1.2 Kentsel Atıksular	6
2.1.3 Endüstriyel Atıksular	7
2.1.4 Kırsal atıksuların yönetimi.....	8
3. KIRSAL ATIKSULARIN ARITIMI	9
3.1.1 Genel Arıtım Yöntemleri	10
3.1.1.1 Paket Biyolojik Arıtma Tesisleri.....	10
3.1.2 Yapay Sulak Alanlar ile Arıtım	12
3.1.2.1 Yüzealtı Dikey Akışlı Yapay Sulak Alanlar	13
3.1.2.2 Yüzealtı Yatay Akışlı Yapay Sulak Alanlar	14
3.1.2.3 Serbest Yüzeyle Yapay Sulak Alanlar.....	15
4. LİTERATÜR	17
4.1 Kırsal Atıksuların Özellikleri	17
4.2 Ardışık Kesikli ve Diğer Yöntemlerle Arıtım	19
4.3 Yapay Sulak Alanlar ile Arıtım	21
4.4 Diğer Atıksu Arıtma Tesisleri ve Yapay Sulak Alanlar Arasında Genel Karşılaştırmalar	28
5. YÖNTEM	34
5.1 Denizli için Kentsel ve Kırsal Atıksu Hesapları.....	34
5.2 Denizli için Kırsal ve Kentsel Atıksu Miktar ve Özellikleri.....	35
5.3 Denizli’de Mevcut Kırsal Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri	37
5.3.1 Mevcut Yapay Sulak Alanlar.....	37
5.3.2 Mevcut Aktif Çamur Biyolojik Arıtma Tesisleri.....	38
5.4 Denizli İli’nde Seçilen Mevcut Doğal Arıtma ve Paket Biyolojik Arıtmanın Karşılaştırılması	44
5.4.1 Alikurt Doğal Atıksu Arıtma Tesisleri.....	44
5.4.2 Garipköy Paket Atıksu Arıtma Tesisleri.....	46
5.5 Pilot Yapay Sulak Alan Çalışması	47
5.5.1 Cilalama Amaçlı Yapay Sulak Alan.....	47
5.5.2 Üç Türde Yapay Sulak Alan Pilot Tesisleri.....	49
5.6 Mevcut Yapay Sulak Alanların Durumu ve Yapılan İyileştirmeler... 54	
5.6.1 Pınarlık Doğal Arıtma Tesisleri	54

5.6.2	Alikurt Doğal Arıtma Tesisi	57
5.6.3	Nikfer Doğal Arıtma Tesisi	58
5.6.4	Darıveren 1 Doğal Arıtma Tesisi.....	61
5.6.5	Karahisar Doğal Arıtma Tesisi	61
5.7	Yeni Tasarlanan Yapay Sulak Alanlar	62
5.8	Analitik Yöntem	65
5.8.1	Askıda Katı Madde (AKM)	65
5.8.2	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ).....	66
5.8.3	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅).....	66
5.8.4	Toplam Azot (TN)	66
5.8.5	Toplam Fosfor (TP)	66
5.8.6	İletkenlik	67
5.8.7	Sıcaklık	67
5.8.8	pH.....	67
6.	BULGULAR	68
6.1	Denizli’de Eysel Atıksu Özellikleri	68
6.2	Yapay Sulak Alan ve Paket Biyolojik Arıtmanın Giderim Verimleri Açısından Karşılaştırılması	69
6.2.1	Alikurt Yapay Sulak Alan Tesisinde Kirlilik Konsantrasyonları ve Giderim 69	
6.2.1.1	Askıda Katı Madde Konsantrasyonları	69
6.2.1.2	Kimyasal Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları	70
6.2.1.3	Biyolojik Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları.....	72
6.2.1.4	Toplam Azot Konsantrasyonları	73
6.2.1.5	Toplam Fosfor Konsantrasyonları	74
6.2.1.6	pH.....	76
6.2.1.7	Elektriksel İletkenlik	77
6.2.2	Paket Tip Ardışık Kesikli Biyolojik Arıtma Tesisinde Kirlilik Konsantrasyonları ve Giderim	78
6.2.2.1	Askıda Katı Madde Konsantrasyonları	78
6.2.2.2	Kimyasal Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları	80
6.2.2.3	Biyolojik Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları.....	81
6.2.2.4	Toplam Azot Konsantrasyonları	82
6.2.2.5	Toplam Fosfor Konsantrasyonları	83
6.2.2.6	pH Değerleri.....	84
6.3	Yapay Sulak Alan ile Paket Tip Biyolojik Arıtma Tesisinin İşletme ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması	85
6.3.1	İşletme Verilerinin Karşılaştırılması.....	85
6.3.2	Maliyet Analizi	90
6.3.2.1	Yatırım Maliyetleri.....	90
6.3.2.1.1	Paket Biyolojik Arıtma Tesisi.....	90
6.3.2.1.2	Yapay Sulak Alan	90
6.3.2.2	İşletme Giderleri.....	91
6.3.2.3	Bakım Maliyetleri	95
6.4	Pilot Yapay Sulak Alan Çalışması	96
6.4.1	Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler	97
6.4.1.1	pH.....	97
6.4.1.2	Sıcaklık.....	98
6.4.1.3	Elektriksel İletkenlik	98
6.4.1.4	Askıda Katı Madde	100

6.4.1.5	Kimyasal Oksijen İhtiyacı.....	102
6.4.1.6	Biyolojik Oksijen İhtiyacı.....	104
6.4.1.7	Toplam Azot.....	106
6.4.1.8	Toplam Fosfor.....	107
6.5	Mevcut Doğal Arıtma Tesislerinde Yapılan İyileştirmelerin Sonuçları.....	109
6.5.1	Alikurt YSA Yapılan İyileştirme Sonuçları.....	109
6.5.2	Pınarlık YSA Yapılan İyileştirme Sonuçları.....	111
6.5.3	Darıveren 1 YSA'da Yapılan İyileştirme Sonuçları.....	113
6.6	Gerçek Ölçekli Yeni Yapay Sulak Alan Çalışmaları.....	115
6.6.1	Bozkurt Avdan YSA.....	117
6.6.2	Çardak Söğüt YSA.....	119
6.6.3	Çardak Beylerli YSA.....	120
6.6.4	Sarayköy Hasköy YSA.....	122
6.6.5	Sarayköy Duacılı YSA.....	123
6.6.6	Tavas Hırka-Baharlar YSA.....	124
6.6.7	Buldan Kadıköy YSA.....	126
6.6.8	Acıpayam Yazır YSA.....	127
6.6.9	Sarayköy Karataş YSA.....	128
6.6.10	Yeni Yapılan Diğer Yapay Sulak Alanlardan Örnekler.....	129
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	137
8.	KAYNAKLAR.....	142
9.	EKLER.....	156
	EK A 156	
10.	ÖZGEÇMİŞ.....	159
	DENEYİM.....	159
	EĞİTİMLER.....	162

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Kırsal alanda 500-2000 nüfus aralığında arıtma türü karar ağacı (ÇŞB 2010).....	9
Şekil 3.2: Dikey yüzeyaltı akışlı YSA kesit görüntüsü (Tilley ve diğ. 2014) ..	14
Şekil 3.3: Yüzeyaltı yatay akışlı YSA (Tilley ve diğ. 2014).....	14
Şekil 3.4: Serbest yüzeyli YSA kesit görünüşü (Tilley ve diğ. 2014).....	16
Şekil 4.1: Yoğun hayvansal atıksu girişi nedeniyle tıkanan kırsal arıtma tesisine ait giriş kanalı (DESKİ, 2023).....	18
Şekil 4.2: C, N ve P giderimi için ardışık kesikli reaktör işlem sırası (Kuznetz, 2019).....	20
Şekil 4.3: Yenilikçi paket doğal arıtma tesisi (Stefenakis 2019).....	32
Şekil 5.1: Atıl durumda kalmış bir paket biyolojik arıtma tesisinin görüntüsü (DESKİ, 2014)	39
Şekil 5.2: Denizli'deki paket biyolojik arıtma tesislerine ait bakım ve temizlik işlemlerinden görüntüler	44
Şekil 5.3: Alikurt Doğal Arıtma Tesisi uydu görüntüsü.....	45
Şekil 5.4: Denizli Alikurt Doğal Arıtma Tesisi havadan görünüm (2021)	46
Şekil 5.5: Denizli Tavas Garipköy Paket Atıksu Arıtma Tesisi resmi ve kesit görüntüsü.....	47
Şekil 5.6: Denizli'de mevcut paket arıtmalara ait örnek mimari görünüş ve kesit	47
Şekil 5.7: Denizli Merkez AAT cilalama amaçlı SY YSA pilot tesisi, başarısız bitki dikimi	48
Şekil 5.8: Denizli Merkez AAT cilalama amaçlı SY YSA pilot tesisi, <i>Phragmites australis</i> bitkileri	48
Şekil 5.9: Denizli Merkez AAT içerisinde yeni pilot sulak alanların kurulduğu alan	49
Şekil 5.10: Pilot deneme için kullanılacak çelik tankların yalıtım testleri	50
Şekil 5.11: YSA tasarımı için örnek ölçütler (Öztürk ve diğ. 2017).....	50
Şekil 5.12: Pilot havuzlar ve yatak malzemesi serilmesi, bitkilendirme gibi basamakların resimleri	51
Şekil 5.13: İlk dikimden 3 ay sonra bitkilerin sağlıklı gelişimi ve alınan numunelerin görsel incelemesi.....	51
Şekil 5.14: Evsel atıksu arıtımı amaçlı olarak yapılan Pınarlık YSA'na gelen hayvan gübresi ve mandıra kaynaklı atıksu girişi (Akyürek 2024).....	55
Şekil 5.15: Pınarlık YSA için geliştirilen serbest yüzeyli ön çöktürme alanı tasarımı (DESKİ 2021).....	55
Şekil 5.16: Pınarlık YSA'da 2021 yılında yapılan serbest yüzeyli ön çöktürme ve geçiş düzenlemeleri	56
Şekil 5.17: İlerleyen dönemde ön çöktürme haznesi temizliği.....	56
Şekil 5.18: Alikurt Doğal Arıtma Tesisinde 2018 yılı bitkilerde ilk gelişimler.....	58
Şekil 5.19: 2019 yılı kısmi bitkilendirme, yüzeysel akış ve kuru alanlar	58
Şekil 5.20: Nikfer kapalı havzası ile arıtma tesisinin konumu	59
Şekil 5.21: Nikfer YSA alan içi ve nihai yatak hattında taşmalar	60
Şekil 5.22: Nikfer YSA ilk nihai depolama haznesi.....	60

Şekil 5.23: Serbest yüzeyli, yüzeyaltı akışlı yatak ve depolama hazneleri arasında iyileştirmeler, ek yatak kazısı.....	60
Şekil 5.24: Darıveren 1 YSA'da yatakta tıkanma, yüzeysel akış başlangıcı, bitki oluşmaması.....	61
Şekil 5.25: Karahisar doğal arıtma tesisinin serbest yüzeyli ön çöktürme ve yatakları ile gölete erişim	62
Şekil 6.1: Alikurt YSA giriş ve çıkış AKM konsantrasyonları	69
Şekil 6.2: Alikurt YSA giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonları	71
Şekil 6.3: Alikurt YSA'daki biyolojik oksijen ihtiyacı giriş ve çıkış konsantrasyonları	72
Şekil 6.4: Alikurt YSA toplam azot konsantrasyonu giriş ve çıkış değerleri...	74
Şekil 6.5: Alikurt YSA toplam fosfor giriş ve çıkış konsantrasyonları	75
Şekil 6.6: Alikurt YSA giriş ve çıkış pH değerleri.....	76
Şekil 6.7: Alikurt YSA'da giriş ve çıkış elektriksel iletkenlik değerleri	77
Şekil 6.8: Garipköy PAK tesisinde askıda katı madde konsantrasyonları.....	79
Şekil 6.9: Garipköy PAK tesisi giriş ve çıkış kimyasal oksijen ihtiyacı konsantrasyonları	80
Şekil 6.10: Garipköy PAK biyolojik oksijen ihtiyacı konsantrasyonları	81
Şekil 6.11: Garipköy PAK toplam azot giriş ve çıkış konsantrasyonları	82
Şekil 6.12: Garipköy PAK toplam fosfor konsantrasyonları.....	83
Şekil 6.13: Garipköy PAK pH değerleri.....	85
Şekil 6.14: Pilot YSA ham atıksu giriş ve arıtılmış su çıkış AKM değerleri .	101
Şekil 6.15: Serbest yüzeyli YSA'da su derinliği değiştirilmesi ve yatak alanı genişlemesinin giderime etkisi (Öztürk ve diğ. 2017)	103
Şekil 6.16: 2021 yılı yaygınlaşmış bitki türleri	110
Şekil 6.17: Alikurt YSA'da 2022 yılı yapılan iyileştirmeler ve sonrasına ait resimler.....	110
Şekil 6.18: 2021 yılında yatakların görünüşü, baharda kısmi bitkilenme	112
Şekil 6.19: 2023 yılında sazların gelişimi, serbest yüzeyli alandan ana yatağa geçiş.....	112
Şekil 6.20: Yüzeysel akışa geçiş sonrası çeperlerde artan kısmi bitkilenme (2017)	114
Şekil 6.21: Yüzeysel akışa geçiş sonrası tamamlanan bitkilenme (2017).....	114
Şekil 6.22: Önceki tesislerde deneme amaçlı oluşturulan ve uygulanan çökeltim lagünü	116
Şekil 6.23: Yeni tasarlanıp uygulanan ön çöktürme hazneleri	117
Şekil 6.24: Bozkurt Avdan Doğal Arıtma Yerleşim Planı ve Üstten Görünüş	118
Şekil 6.25: Çardak Söğüt Doğal Arıtma Tesisi kazı çalışmaları	119
Şekil 6.26: Çardak Söğüt YSA serbest yüzeyli havuzlarda su mercimeği, su sümbülü	120
Şekil 6.27: Çardak Beylerli tesisinde serbest yüzeyli havuzların dolumu.....	121
Şekil 6.28: Hasköy'de bitki dikimi ve sonrasında yetişmiş sazlar	122
Şekil 6.29: Sarayköy Duacılı'da dikilen sazlarla ilgili ilk gelişimler ve mavi renkli endüstriyel atıksu girişi ile çakıl yatakta yüzeysel akış.....	124
Şekil 6.30: Tavas Hırka Baharlar serbest yüzeyli yapay sulak alandan görüntüler	125
Şekil 6.31: Serbest yüzeyli ön çöktürme haznelerinde durgunluk ve akış halinde oluşan iki ayrı durumun görüntüsü.....	126
Şekil 6.32: Buldan Kadıköy serbest yüzeyli yapay sulak alan	127

Şekil 6.33: Yazır serbest yüzeyle, üçgen parsel şeklini alan dolambaç akışlı YSA	128
Şekil 6.34: Sarayköy Karataş'ta Büyük Menderes Nehri kolu kenarında YSA yüzeyaltı yatay akışlı haznelerin üstten görünüşü ve serbest yüzeyle ön çöktürme havuzu	128
Şekil 6.35: Bekilli Kösellli (mevcut saha şekillerine uyumlu yatak tasarımı).	129
Şekil 6.36: Tavas Balkıca Doğal Arıtma çakıl serimi havadan görünüm.....	129
Şekil 6.37: Bozkurt İnceler'de ilk kez denenen aktif çamur kurutma sazlığı.	130
Şekil 6.38: Tavas Derinkuyu yüzeyaltı yatay akışlı YSA ve serbest yüzeyle ön çöktürme hazneleri	130
Şekil 6.39: Acıpayam Gümüş Doğal Arıtma tesisi kazısı	131
Şekil 6.40: Babadağ Kelleci betonarme AKR çamur kurutma yatakları.....	131
Şekil 6.41: Kale Karaköy YSA tesis kazısı	132
Şekil 6.42: Baklan Dağal Doğal Arıtma Tesisi çakıl serimi.....	132
Şekil 6.43: Acıpayam İlçesi Dodurga Doğal Arıtma kazı çalışmaları.....	133
Şekil 6.44: Çivril Karabedirler Doğal Arıtma	133
Şekil 6.45: Çivril Kocayaka YSA, paralel ön çöktürme haznesi.....	134
Şekil 6.46: Güney Ertuğrul YSA eğimli arazide kazı çalışmaları.....	134
Şekil 6.47: Güney Kerimler Doğal Arıtma.....	135
Şekil 6.48: Nikfer YSA cilalama hazneleri	135
Şekil 6.49: Tavas Kozlar YSA.....	136

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Evsel atıksu kirlilik gösterge oranları (Henze ve diğ. 2002)	6
Tablo 2.2: Çin’de evsel atıksuların özellikleri (Wang ve diğ. 2005)	6
Tablo 2.3: Sanayi türlerinde KOİ ve BOİ ₅ miktarları (Arceivala 2002).....	7
Tablo 4.1: AAT Teknik Usuller Tebliği, ATV kabulleri	18
Tablo 4.2: Paket arıtma çıkışı üretici katalog değerleri	19
Tablo 4.3: Serbest yüzeyli YSA’lar için ortalama giriş ve çıkış değerleri (EPA 2000).....	24
Tablo 4.4: Büyükbaş hayvancılık atıksularının arıtıldığı SY YSA’da kirlilik derişimleri ve giderim	27
Tablo 5.1: Denizli ili kişi başı birim atıksu oluşumu değerleri (DESKİ Atıksu Arıtma Tesisleri Ana Planı, MNE 2016).....	34
Tablo 5.2: Evsel atıksuyun özellikleri ve sınıflandırılması (Tchobanoglous ve diğ. 2000).....	35
Tablo 5.3: Denizli genelinde kırsal ve kentsel atıksu özellikleri (DESKİ).....	36
Tablo 5.4: Denizli’de mevcut yapay sulak alanlarla ilgili bilgiler (Göçmez ve diğ. 2017).....	37
Tablo 5.5: Denizli ilinde bulunan paket arıtma tesisleri durum değerlendirme tablosu (DESKİ, 2019)	40
Tablo 5.6: Denizli ilinde bulunan güncel arıtma tesislerinin dökümü (DESKİ, 2023).....	41
Tablo 5.7: Pilot tesis proje hesap raporu çizelgesi TÜBİTAK YSA El Kitabı, Ayaz ve diğ. (2011), ÇŞB 2000 Kişilik Tıp YSA Proje Raporu, Atıksu Arıtma Yapılarının Projelendirilmesi, Samsunlu (2010), Atıksu Mühendisliği Kitabı, Öztürk ve diğ. (2017), Göçmez ve diğ. (2011), DESKİ (2022)	52
Tablo 5.8: Karahisar serbest yüzeyli YSA analiz sonuçları.....	62
Tablo 5.9: Denizli’de yapılacak yeni YSA süreç takip çizelgesi.....	63
Tablo 6.1: Denizli merkez ve ilçelerinde giriş suyu BOİ ₅ değerleri ortalaması (DESKİ Veri Tabanı 2018-2023).....	68
Tablo 6.2: Denizli’de kırsal alanlarda ölçülen atıksu değerlerine ait ortalama değerler,.....	68
Tablo 6.3: YSA ve PAK Giderim oranlarının karşılaştırılması	88
Tablo 6.4: 5 yıllık gözlemlere göre paket biyolojik arıtma tesisleri ile YSA'ların karşılaştırılması DESKİ (2021).....	89
Tablo 6.5: 750 kişilik paket biyolojik arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti (DESKİ, 2021).....	90
Tablo 6.6: 750 kişilik yatay akışlı yüzeyaltı YSA inşaat maliyeti (DESKİ, 2021)	91
Tablo 6.7: DESKİ paket arıtma ve doğal arıtmalar için yıllık iş yükleri (DESKİ, 2021).....	93
Tablo 6.8: Paket arıtma tesisi enerji tüketim değerleri (DESKİ, 2021)	94
Tablo 6.9: Birim atık çamur uzaklaştırma maliyetleri (DESKİ, 2021).....	94
Tablo 6.10: PAK ve YSA çamur çekimi, nakliye, susuzlaştırma toplam maliyetleri (DESKİ, 2021)	94

Tablo 6.11: Seyyar saha ekibi periyodik bakım, işçilik ve ulaşım maliyetleri (DESKİ, 2021)	94
Tablo 6.12: Paket arıtma ve doğal arıtmanın ilk yatırım ve işletme maliyetleri toplamı.....	95
Tablo 6.13: Pilot YSA pH giriş ve çıkış değerleri	97
Tablo 6.14: Pilot YSA giriş çıkış sıcaklık değerleri.....	98
Tablo 6.15: Pilot YSA giriş çıkış iletkenlik değerleri.....	99
Tablo 6.16: Pilot YSA giriş çıkış askıda katı madde değerleri	101
Tablo 6.17: Pilot YSA giriş çıkış KOİ değerleri.....	103
Tablo 6.18: Pilot YSA giriş çıkış BOİ ₅ değerleri.....	105
Tablo 6.19: Pilot YSA giriş çıkış TN değerleri.....	107
Tablo 6.20: Pilot YSA giriş ve çıkış toplam fosfor değerleri.....	108
Tablo 6.21: Alikurt YSA analiz değerleri	111
Tablo 6.22: Pınarlık doğal arıtma tesisinde serbest yüzeyli düzenleme sonrası yapılan analiz sonuçları	113
Tablo 6.23: Düzenleme öncesi Darıveren YSA analiz sonucu	114
Tablo 6.24: Darıveren 1 Doğal Arıtma iyileşmiş çıkış değerleri	114
Tablo 6.25: Çardak ve Sarayköy ilçelerinde ilk yapılan doğal arıtma planlama ve tasarım hazırlıkları.....	115
Tablo 6.26: SKKY yapay sulak alanlar için giderim şartları	116
Tablo 6.27: Çardak Söğüt YSA atıksu giriş ve çıkış analiz sonuçları	120
Tablo 6.28: Çardak Beylerli YSA ilk analiz sonuçları.....	121
Tablo 6.29: Sarayköy Hasköy YSA ilk analiz sonuçları.....	123
Tablo 6.30: Sarayköy Duacılı YSA'da yetersiz alan ve sanayi atıkları karşısında analiz sonuçları.....	124
Tablo 6.31: Tavas Hırka ve Baharlar köyleri ortak YSA ilk analiz sonuçları.....	125
Tablo 6.32: Buldan Kadıköy Doğal Arıtma Tesisi analiz sonuçları	127

SEMBOL LİSTESİ

AAT	:	Atıksu Arıtma Tesisi
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AÇS	:	Aktif Çamur Sistemi
AKM	:	Askıda Katı Madde
AKR	:	Ardışık Kesikli Reaktör
ATV	:	Alman Teknik Standardı
BOİ	:	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CsW	:	Constructed Wetland (yapay sulak alan)
ÇO	:	Çözünmüş Oksijen
ÇOB	:	T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (mevcut Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı)
ÇŞB	:	T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (mevcut Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı)
DESKİ	:	Denizli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
DYSA	:	Dikey Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan
EC	:	Elektriksel İletkenlik
EN	:	Eşdeğer Nüfus
EPA	:	US Environmental Protection Agency (ABD Çevre Koruma Ajansı)
HRT	:	Hidrolik Bekleme Süresi
ISO	:	International Organization for Standardization
İSKİ	:	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KAAY	:	Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği
KOİ	:	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	:	Membran Biyoreaktör
MF	:	Mikrofiltrasyon
PAK	:	Paket Biyolojik Arıtma Tesisi
SBR	:	Sequencing Batch Reactor (AKR)
SKKY	:	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SRT	:	Çamur Bekleme Süresi
SYSA	:	Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan
TKN	:	Toplam Kjeldahl Azotu
TN	:	Toplam Azot
TOK	:	Toplam Organik Karbon
TP	:	Toplam Fosfor
UAKM	:	Uçucu Askıda Katı Madde
YSA	:	Yapay Sulak Alan
YYSA	:	Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Osman Nuri Ağdağ'a, doğal arıtmalar konusundaki tecrübesi ile tezi daha anlamlı kılan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Selçuk Göçmez'e, kurumsal ve bilimsel gelişime imkân sunan DESKİ yönetimine, uygulama sonuçları ve tasarım açısından önemli verileri elde etmemde destek sağlayan sevgili iş arkadaşım Mehmet Çağrı Karabuğa'ya, pilot tesis işletmesi, numune alımı ve analizlerde görev alan İbrahim Bora ve Ayşegül Uysal'a, mevcut tesisler ve yeni tesislerin yapım, işletme, bakım ve numune alımında emekleri geçen Arıtma Tesisleri Dairesi ve Plan Proje Dairesi çalışanlarına, tüm öğrenim dönemlerinde sabır ve yardımlarını esirgemeyen değerli eşim ve sevgili çocuklarıma teşekkürü borç bilirim.

Aydemir Akyürek
Denizli, Ağustos 2024

1. GİRİŞ

Atıksular evlerden, iş yerlerinden, sanayiden, tarımdan, kentsel yerleşimlerden, yağmursuyu ve sızıntı sularından kaynaklanabilir. Evsel atıksular ise doğrudan insanların yeme, içme, temizlik, konaklama, işyeri vb. faaliyetlerinden oluşur. İnsan yerleşimleri ve endüstriyel faaliyet sahalarından kaynaklanan atıksuların noktasal kirlilik halinde yüzeysel sulara bırakılmaları, tabiatın kaldıramayacağı bir kirlilik oluşturarak çevresel zararlara neden olur.

Gelişen teknolojiyle birlikte atıksuların arıtımı kolaylaşmış olmasına rağmen nüfus artışı ve sanayi tesislerinin sayısının artması işletme zorlukları ve yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Buna ek olarak; dağınık yerleşimlerde ve merkezi arıtma tesislerinden uzak mesafelerde, geleneksel evsel atıksu arıtma yöntemleri yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bunda nitelikli işgücünün olmayışı ve maliyetlerin yüksekliği de etkilidir. Ayrıca kırsal kanalizasyon şebekelerinde hayvansal ve diğer evsel kaynaklı olmayan atıksular oldukça yüksek hacimlerde olup, evsel atıksuların miktar ve kirlilik düzeyini artırmaktadır.

Dünya genelinde arıtma amaçlı tesisler ve yöntemler arasında aktif çamur sistemleri, ileri biyolojik arıtmalar (azot ve fosfor giderimi), MBR (membran biyoreaktör), PAK (paket biyolojik arıtma tesisi), oksidasyon havuzları, damlatmalı filtreler, kimyasal arıtma, ileri filtrasyon vb. sayılabilir.

Kırsal alanda uygulanabilen çözümler arasında ise bireysel ve genel fosseptikler, oksidasyon havuzları, ardışık kesikli biyolojik paket arıtma tesisleri, biyodiskler, uzun havalandırılmalı betonarme aktif çamur tesisleri ile doğal arıtma tesisleri bulunmaktadır.

Bu tezin genel amacı kırsal alanlarda oluşan atıksuların yapay sulak alanlar ile arıtımına ışık tutmaktır. Bu amaçla Denizli ilinde gerçekleştirilen uygulamalar planlama, tasarım, yapım ve işletme açısından irdelenmiş, pilot tesisler ile denemeler yapılmış her iki çalışma doğrultusunda mevcut tesisler iyileştirilmiş ve yeni tasarımlar geliştirilerek sahada uygulanmıştır. Buna ilaveten paket arıtmaların

durumu gözden geçirilerek seçilen yapay sulak alanlar ile paket arıtmalar teknik, idari ve mali açılardan karşılaştırılmıştır.

Tezin amacı doğrultusunda özellikle kırsal alanda yapay sulak alanlar ile evsel atıksuların arıtılabilmesi yönünde kamu kurumlarına kararlarında ışık tutabilecek araştırma, planlama, tasarım, yapım ve işletme basamakları için tez kapsamında elde edilen verilerden üretilen anlamlı bilgiler sunulmuştur. Çalışmanın topluma ve uygulamaya katkı boyutu, ortaya konulan mühendislik yaklaşımlarıyla ağırlıkta olmaktadır. Çalışma kapsamında mevcut durum; planlama, tasarım ve gerçek işletme uygulamalarının sonuçları bir döküm çıkarılarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda alınan dersler irdelenerek en uygun doğal arıtma tesisleri planlamasını yapmak adına mevcut tesislerden birkaçı seçilerek doğal arıtma üzerinde iyileştirmeler yapılmış ayrıca planlama ve yeni tasarım çalışmaları sonrası seçilen kırsal alanlarda yeni yapay sulak alanların tür, boyut ve özellikleri konusunda yerel idareye teknik destek sunulmuştur. İyileştirme ve yeni proje geliştirme çalışmaları hem pilot ölçekli hem de sahada uygulama boyutunda gerçekleştirilmiştir. Yine tez kapsamında evsel atıksuların özellikleri, hayvancılık yükleri, yağmursuyunun atıksu şebekesi ile birleşik çalışması, büyükbaş hayvan besiciliği, mandıra ve benzeri kırsal kirlenici kaynaklarından meydana gelebilecek atıksuların doğal arıtma tesislerine etkileri genel olarak değerlendirilmiştir.

Mevcut durumda çoğunluğu elektromekanik donanımlara sahip (ardışık kesikli çalışan paket arıtma, küçük ölçekli betonarme uzun havalandırma aktif çamur vb.) geleneksel atıksu arıtma tesisleri bulunmaktadır. Bunların ilk yatırım ve işletilmesinde iş gücü, donanım ve mali yönlerden kaynak kullanımında ve süreklilikte sorunlarla karşılaşmaktadır.

Denizli ilindeki durum incelendiğinde hâlihazırda yaklaşık 28 adet paket biyolojik arıtma, 20 civarında doğal arıtma tesisi bulunmaktadır (DESKİ 2024). Yapılan ana plan çalışmasına göre MNE Mühendislik (2016) kırsal alanda mevcutlara ek olarak 137 adet köyde atıksu şebekesinin hazır bulunduğu ve çevresel kirliliğin önlenmesi için kırsal atıksu arıtma tesislerinin yapımına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu durumda tez çalışmasının uygulanabilir hedefi teknik, mali ve idari açılardan en uygun seçim için yerel su idaresine destek sağlamaktır.

Literatürde yapılan incelemelerde ülkemiz koşullarında kırsal alanda mevcut arıtma tesisleriyle ilgili doğal arıtma seçeneğinin irdelenmesi, diğer yöntemlerle karşılaştırılması, tasarım, yapım ve işletme açısından mevcut uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi, en uygun tür seçimi gibi konuları kapsayan ve kamu kuruluşlarına gerçek anlamda destek olabilecek bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Bahsedilen kapsamda bir yayın uluslararası ölçekte de sınırlıdır. Bu durumu tespit edip doğrulayan ve konusunda dünya genelinde en yetkin bilim insanlarından sayılan Vymazal ve diğ. (2021) yapay sulak alanlar ile ilgili yaklaşık 700 yayını taramış ve genelde en önemli olarak yataklarda tıkanma sorununa işaret edildiğini tespit etmiştir. Güncel olarak belirlenen ve söz konusu çalışmada incelenen 131 yayının yalnızca 10 tanesi gerçek ölçekli doğal arıtma tesislerinden oluşmaktadır. Yazar küçük ölçekli ya da laboratuvar ortamında yapılan çalışmaların gerçek ölçekli ortama taşınmamış olduğu ve tasarım, işletme / bakım, işçilik maliyetleri açısından yatırımcı kuruluşlara rehber olabilecek tutarlı ve gerçekçi sonuçlara erişilemediğini ve hatalara yol açılabileceğini özellikle vurgulanmıştır.

Denizli ilindeki durum incelendiğinde hâlihazırda yaklaşık 28 adet paket biyolojik arıtma, 20 civarında doğal arıtma tesisi bulunmaktadır (DESKİ 2024). Yapılan ana plan çalışmasına göre ise MNE Mühendislik (2016) kırsal alanda mevcutlara ek olarak 137 adet köyde atıksu şebekesinin hazır bulunduğu ve çevresel kirliliğin önlenmesi için kırsal atıksu arıtma tesislerinin yapımına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu durumda tez çalışmasının uygulanabilir hedefi teknik, mali ve idari açılardan en uygun seçim için yerel su idaresine destek sağlamaktır.

Tez çalışması kapsamında somut olarak toplam dört bölümde çalışmalar tamamlanmıştır. Başlangıçta, kırsal atıksular, arıtma yöntemleri, bunlar içinde biyolojik aktif çamur sistemi arıtmalar ve yapay sulak alanlar irdelenmiş, literatür taranmıştır. Devamında ilk basamak olarak atıksu arıtımında Denizli’de en yaygın olan paket arıtma tesisleri ve doğal arıtmalar teknik, idari ve mali olarak karşılaştırılmış, gerçek uygulama verileri eşlenik olarak değerlendirilmiştir. Bir sonraki basamakta, yapılan ön fizibilite sonucu Denizli’de seçilen birden çok yerleşik yapay sulak alan tesisinde gözlem ve incelemeler doğrultusunda tasarım ve işletim değişikliklerine gidilmiş bu doğrultuda kısmi inşaat ve mekanik

değişiklikleri ile gelişmeler izlenmiş, bu da tez kapsamında yeni projelerin geliştirilmesinde öngörü sağlamıştır.

Denizli il merkezindeki en büyük atıksu arıtma tesisinde ön arıtmadan geçirilmiş ham atıksular yüzeyaltı yatay akışlı, yüzeyaltı dikey akışlı ve serbest yüzeyli olmak üzere üç adet yapay sulak alan haznesinde 12 ay boyunca arıtılmıştır. Ayrıca merkezi arıtma tesisinde aktif çamur sistemiyle biyolojik olarak arıtılan atıksular, nihai çıkışta kurulan serbest yüzeyli ayrı bir pilot havuzda 12 ay boyunca cilalama amaçlı olarak arıtılmıştır. Mevcut tesislerin diğer yöntemlerle karşılaştırılması, mevcut tesislerde yapılan izleme ve iyileştirmeler sonrası, pilot ölçekli dört adet denemeden elde edilen sonuçlar ve literatür incelemeleri doğrultusunda yeni tasarımlar geliştirilmiş ve bu tasarımların gerçek ölçekli olarak birden çok noktada sahada yapımı sağlanmış ve ilk sonuçlar raporlanmıştır.

2. ATIKSULAR

2.1 Atıksular

Atıksular; kentlerde ya da kırsal alanlarda hane halkı faaliyetleri sonucu oluşan evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzeyaltı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sulardır (SKKY 2004). Atıksuların arıtılmadan alıcı ortam verilmesi söz konusu olduğunda zararlı çevresel etkiler; koku şikâyetleri, su kaynağı ve sucul canlıların hasarı, alıcı ortam su kalitesinde kötüleşme, atıksu ve çamurun doğrudan tarımsal kullanımı ile tıbbi rahatsızlıklar, arazilerin kıymetini kaybetmesi vb. olarak sayılabilir. Bununla birlikte iyi tasarlanan bir AAT'de (Atıksu Arıtma Tesisi) arıtılmış atıksu ve arıtma çamurundan çevresel istifade beklenir (Koyuncu ve diğ. 2013). Atıksulardaki organik maddeler protein, karbonhidrat, yağlar, petrol atıkları ve üre vb. olup ayrıca temizlik yüzey işlem maddeleri, fenoller ve tarımsal ilaçlar gibi çeşitli suni organikler de atıksu bünyesinde yer almaktadır. Su tüketimi nüfus başına 100–300 l/gün arasında alınır, AAT giriş debi hesabında evsel atıksu, sanayi atıksuları, yeraltı suyu sızma miktarları toplanır (Öztürk ve diğ. 2017).

2.1.1 Evsel Atıksular

Evsel atıksular, meskenlerden ve evsel faaliyetler ile insanların günlük hayat faaliyetlerini barındıran hizmet alanlarından kaynaklanan atıksulardır (Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği 2006). Bu atıksular askıda, çökebilen ve çözünmüş maddeler ihtiva eder. İklim farkı, hayat standartları ve toplum yapısı ve alışkanlıkları, şebekeye sanayi deşarjları ve yeraltı suyu sızmaları evsel atıksu özelliğini etkiler. Kentler arasında, mevsimler ve saatler arasında farklılıklar oluşur. Evsel atıksular karbon, azot, fosfor gibi besinleri ve büyük miktarda mikroorganizmaları içerir ve şebeke boyunca biyoparçalanma devam eder. Kişi başı BOİ ortalama 54 g/kişi*gün dolayındadır. İleri refah seviyesindeki ülkelerde kişi başı BOİ₅ 60 gr/kişi*gün civarında hesaplanır (Öztürk ve diğ. 2017). Evsel atıksudaki temel göstergeler arasındaki oranlar Tablo 2.1'de incelenebilir.

Tablo 2.1: Evsel atıksu kirlilik gösterge oranları (Henze ve diğ. 2002)

Kirlilik Göstergesi	Düşük	Yaygın	Yüksek
KOİ/BOİ	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,5
KOİ/TN	6-8	8-12	12-16
KOİ/TP	20-35	35-45	45-60
BOİ/TN	3-4	4-6	6-8
BOİ/TP	10-15	15-20	20-30
KOİ/UAKM	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-2,0
UAKM/AKM	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-0,9
KOİ/TOK	2-2,5	2,5-3	3-3,5

2.1.2 Kentsel Atıksular

Kentsel atıksular; evsel atıksu ya da bunun endüstriyel atıksu ve/veya yağmur suyu ile karışımı, evsel atıksu ise; metabolizma ve evsel faaliyetlerden kaynaklanan atıksular anlamındadır. Kentsel atıksuların %75'inin yavaş ayrışan organiklerden oluştuğu düşünülür (İnsel ve diğ. 2020). Wang ve diğ. (2005) Çin'de yaptıkları çalışmada evsel atıksuların özelliklerini Tablo 2.2'deki şekilde belirlemişlerdir.

Tablo 2.2: Çin'de evsel atıksuların özellikleri (Wang ve diğ. 2005)

Gösterge	Aralık (be)	Ortalama (mg/l)
BOİ ₅	40,8–234	104,1
KOİ	129–871	310
AKM	41–156	101
NH ₃ -N	12–127	63,15
TN	27,4–189	72,36
pH	6,26–7,66	7,28
TP	1,127–13,3	6,6

Sanayi kaynaklarının yoğun olduğu kentsel atıksular genel evsel atıksu özelliklerinden çok fazla farklılık gösterebileceğinden, standart aktif çamur evsel AAT tasarım ölçütlerinin uygulanmasında hatalar yaşanabilir. Ülkemizde de büyükşehirlere ait merkezi atıksu arıtma tesislerinde kontrol edilemeyen endüstriyel deşarjlar ile tesisin çok kısa zamanda zarar görerek atıl duruma düştüğü vakalar söz konusudur. Bilhassa sanayi atıksu oranı yüksek kentsel atıksularda ayrışabilen organik madde miktarı, türleri ve ayrışma hızlarının yanında azot ve fosfor göstergelerinde de farklılık

olabileceği için, biyolojik besi maddesi giderimi açısından prosesin uygunluğunun tasarım öncesi ayrıntılı tahkiki gerekir (Koyuncu ve diğ. 2013).

2.1.3 Endüstriyel Atıksular

Endüstriyel atıksular herhangi bir ticari ya da endüstriyel faaliyetin yürütüldüğü yerlerden, evsel atıksu ve yağmur suyu dışında boşaltılan atıksuları tanımlamaktadır (Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi 91/271/EEC). Sanayi ve evsel atıksuların birleşik şebekelerle toplanıp ortak arıtımı noktasında, büyük oranda kirletici tehlikeli maddeler içeren endüstriyel atıksuların kanala deşarj öncesi arıtılması gerekmektedir. Bu gibi atıksuların evsel atıksularla birlikte arıtımı durumlarında, güvenilirliği ve kararlılığı yüksek arıtma süreçleri tasarlanmalıdır (Koyuncu ve diğ. 2013). Su yönetim kuruluşlarının kanalizasyona deşarj standartları bu tasarımlar için esas teşkil eder ve SKKY'ni (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) esas alır.

Sanayi atıksuları, endüstriyel kaynaktan kaynağa çok değişiklik göstermektedir. Kullanılan hammaddeler, üretim süreçlerinin farklılığı, işleme teknolojisi, katkılar vb. etkenlerle endüstriyel atıksuyun yapısında farklılıklar oluşturmaktadır. Endüstriyel atıksular debi, kimyasal muhteva bakımından önemli dalgalanmalara sahiptir (Öztürk ve diğ. 2016). Farklı endüstrilere ait atıksuların özellikleri Tablo 2.3'te sunulmaktadır.

Tablo 2.3: Sanayi türlerinde KOİ ve BOİ₅ miktarları (Arceivala 2002)

Atıksu cinsi	KOİ (mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)	BOİ ₅ / KOİ
Mezbahane	3500	2000	0,57
İçki endüstrisi	60000	30000	0,5
Süt endüstrisi	1800	900	0,5
Lastik endüstrisi	5000	3300	0,66
Deri endüstrisi	13000	1270	0,1
Tekstil endüstrisi			
Arıtılmamış	1360	660	0,48
Biyolojik arıtılmış	116	5	0,04
Un endüstrisi			
Arıtılmamış	620	226	0,36
Biyolojik arıtılmış	250	30	0,12

2.1.4 Kırsal atıksuların yönetimi

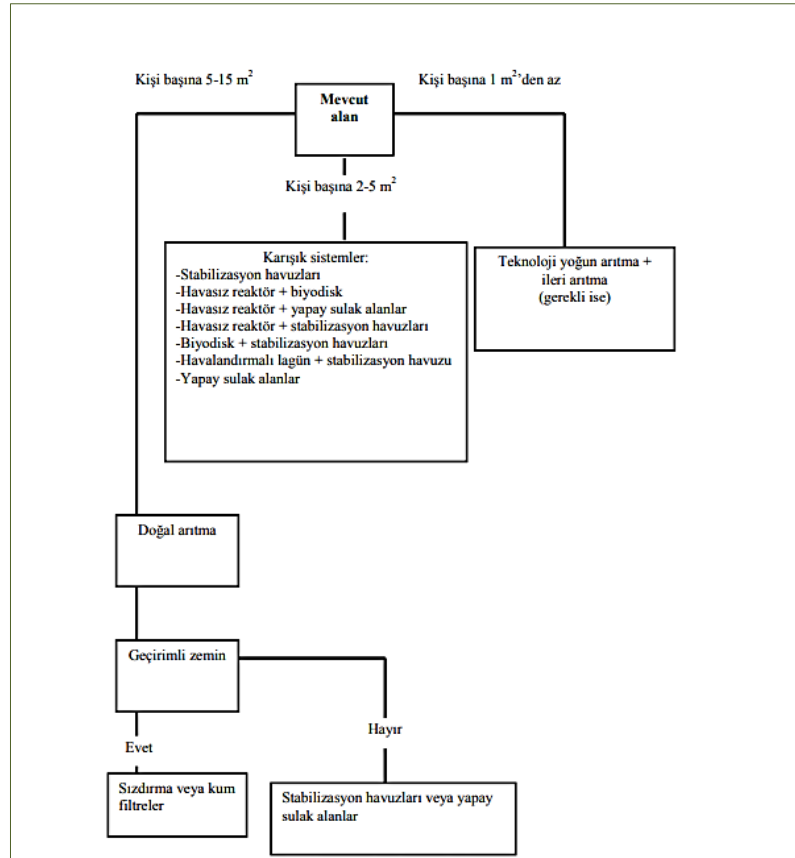
Dünya genelinde nüfusun %20'si 2000 nüfus altı küçük beldelerde yaşamaktadır, Türkiye'de ise bu oran %23,2 dolayındadır. Kırsal yerleşimlerde sıhhi atıksu yönetimi önemli sorun oluşturmakta ve ileri ülkeler haricinde, şebeke ve arıtma yatırımlarının yetersiz olduğu, mevcut tesislerde de hatalı tasarım, düşük yapım kalitesi ve eksik işletme sorunları olduğu görülmektedir. Kırsal beldeler, düşük sayıda ve dağınık müstakil evler içerdiğinden merkezi şebeke, arıtma ve bertaraf düzenlemeleri zor, maliyetli ve uygulanabilir değildir. Kırsal atıksu yönetiminde öne çıkan sorunlar arasında; alıcı ortama uzaklaştırmada kentsel tesislere benzer limitler uygulanması, kırsalda yaşayan halk için düşük gelir nedeniyle altyapı yatırımlarında yetersiz maddi olanaklar, dağınık yerleşim nedeniyle yüksek yatırım maliyeti, işletim sorunları, büyük AAT'lere göre çok daha büyük işletme bakım onarım maliyeti sayılabilir (Öztürk ve diğ. 2017).

Kırsal alanlardan kaynaklanan atıksular, yukarıda tanımlanan evsel ve yağmursuyu kaynaklı olabileceği gibi hayvancılık, zeytincilik, süt ürünleri, üzüm ürünleri vb. kırsal faaliyetlerden kaynaklanan atıksuları da içerebilmektedir. Kırsal alanlarda oluşan atıksuların özellikleri Erdoğan (2004) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de KOİ için 305- 439 mg/l, BOİ₅ 159-252 mg/l, AKM 147-266 mg/l, TKN 27-46 mg/l, TP 6-24 mg/l aralıklarında belirlenmiştir.

Arıtma tesislerinin tasarımında öngörülen kişi başı kirlilik yükleri Türk mevzuatında 80 l / kişi.gün, AKM, KOİ, BOİ, TN, TP için sırasıyla 35, 55, 40,5 ve 0,9 gr/kişi.gün'dür. Alman teknik standardı olan ATV'de ise aynı şekilde 70, 120, 60, 11 ve 1,8 gr / kişi.gün olarak daha yüksek oranlar kabul edilmektedir.

3. KIRSAL ATIKSULARIN ARITIMI

Kırsal alanlardaki atıksuların arıtımında 500 ve üstü eşdeğer nüfuslu beldelede SKKY gereği deşarj sınırları bulunmaktadır. 500 ile 2000 eşdeğer nüfus aralığındaki yerleşimlerde üç tür küçük arıtma yöntemi bulunur ki bunlar; doğal arıtma sistemleri, geleneksel yöntemler ve son olarak birleşik uygulamalardır. Karar verme aşamasında kişi başı alan miktarının önemli olduğu Şekil 3.1’de görülmektedir. Doğal arıtmalar, biyolojik film tabakaları ve askıda büyüyen sistemleri beraberce kullanır. Askıda büyüyen sistemler ise; tabii lagünler ve stabilizasyon havuzları, biyolojik film tabakası yöntemi ise serbest yüzeysel ve yüzeyaltı yatay ve dikey akışlı YSA’lar (yapay sulak alan) olarak ayrılabilir. Geleneksel arıtma sonrasında da doğal arıtma uygulanabilir (ÇŞB 2010).



Şekil 3.1: Kırsal alanda 500-2000 nüfus aralığında arıtma türü karar ağacı (ÇŞB 2010)

3.1.1 Genel Arıtım Yöntemleri

Dünya genelinde arıtma amaçlı tesisler ve yöntemler; aktif çamur sistemleri, ileri arıtma (azot ve fosfor giderimi), membran biyoreaktör, oksidasyon havuzları, damlatmalı filtreler, kimyasal arıtma, ileri filtrasyon vb. olarak sınıflanabilir. Kırsal alandaki küçük tesisler arasında; uzun havalandırmalı AÇS (aktif çamur sistemi), oksidasyon hendekleri, ardışık kesikli reaktör (AKR, PAK), anaerobik reaktörler, damlatmalı filtre ve döner biyodiskler sayılabilir (ÇOB 2010).

3.1.1.1 Paket Biyolojik Arıtma Tesisleri

Kırsal alanda kullanılan arıtma türlerinden birisi paket arıtma tesisleridir. Türkiye’de paket atıksu arıtma tesislerinin büyük çoğunluğu; ardışık kesikli reaktör yöntemiyle çalışmaktadır. Bu arıtma tesisinin işletimi basit olup; doldur, boşalt esasına dayanan ve doldurma, havalandırma, çöktürme ve boşaltma gibi arıtma basamaklarının tek bir hazne içerisinde gerçekleştirildiği, aktif çamur sürecinin bir türüdür. Özellikle küçük debili evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların biyolojik olarak arıtılmasında kullanılmaktadır (Topaç ve Acar 2020). Anılan süreç basamaklarının zamansal toplamı paket arıtma çevrim süresini vermektedir. Basamak zamanları ayarlanarak karbon, azot ve fosfor arıtımı sağlanabilir. Örneğin, organik karbon kaynağı sağlamak için doldurma süresi havalandırma / karıştırma basamağı anında devam ettirilebilir. AKR sistemlerinde reaktörün başlangıç ve doldurma hacmi arasındaki oran ayarlanarak nitrat geri devredilir. Tankta anaerobik şartlar için nitrat bulunmamalıdır. Biyolojik fosfor giderimi içinse anaerobik şartları oluşturacak işlemler (nitrat geri devrinin azaltılması, atıksudaki uçucu yağ asidi potansiyelinin kullanılması, uygun karıştırma süreleri vb.) gereklidir (Öztürk ve diğ. 2017).

Ardışık kesikli (AKR) paket arıtma tesisleri yaygın olarak uzun havalandırmalı aktif çamur yöntemine göre tasarlanır. PAK tesisi tasarımcı şirkete göre değişken özelliklerde üretilmektedir. Foseptik haznesi çıkışı, havalandırma kısmına verilir. İhtiyaç olduğunda yüzeysel büyüme için, dolgu ortamı kullanılabilir. Havalandırma kısmı yüksek çamur yaşlarında tasarlanır. Ardışık kesikli AÇS sistemleri yerine döner biyodiskler de, aynı amaçla kullanılabilirler (Koyuncu ve diğ. 2013).

Paket AKR'ler uzun havalandırılmalı AÇS tarzında çalışır ve tasarım ölçütleri aşağıdaki gibi kabul edilir;

- F/M: 0,05 - 0,15 kg BOİ₅/kg UAKM.gün
- Hacimsel yük: <0,35 kg BOİ₅/m³.gün
- Çamur derişimi: 3-6 g UAKM/L
- Çamur yaşı: 20-30 gün
- O₂ gereksinimi: yaklaşık olarak 1,8 O₂/kg giderilen BOİ₅
- Karıştırıcı kuvveti: 10-20 W/m³ (hava körüğü, mantar difüzör için) (Öztürk ve diğ. 2017).

EPA (1999) (Amerikan Çevre Koruma Ajansı) tarafından yapılan değerlendirmede paket arıtmaların olumlu yönleri arasında; dengeleme, fiziksel arıtma ve biyolojik arıtmanın tek hacimde çözülmesi, işletme esnekliği ve denetim kolaylığı, düşük ayak izi, geleneksel yöntemdeki birçok arıtma donanımının olmaması nedeniyle olası maliyet kazancı yer almaktadır. Olumsuz yönler arasında; zamanlama ve arıtma evreleri süreç geçiş denetimi için geleneksel geniş tesislere göre yüksek uzmanlık ve otomasyon ihtiyacı, yüksek seviyede bakım onarım gerekliliği, otomatik açma kapama donanımı, otomatik vanalar, yüzen ve çöken çamuru boşaltma aşamasında kaçırma riski, havalandırma donanım arızaları, paket arıtma sonrası dengeleme tankı ihtiyaçları belirlenmiştir.

Yine paket atıksu arıtma tesisleri ani yüklere karşı hassasiyet, yoğun enerji tüketimi, otomasyon arızaları, mekanik ve elektrik bakım ihtiyaçlarının yüksekliği ve bu alanda yetkin ve yeterli sayıda teknik personel bulunamaması, mücavir alan dışında özel arazi araçlarıyla sık erişim güçlükleri gibi kısıtlar söz konusudur. Bununla birlikte, enerji teşvikleri ve tesis izin mevzuatı doğrultusunda yapılan resmi denetimlerde alınan numunelerde sürekli bir kararlılık sağlamakta yetersiz kalan paket atıksu arıtma tesisleri idareleri hukuki yaptırım ve para cezalarıyla karşı karşıya bırakabilmektedir.

3.1.2 Yapay Sulak Alanlar ile Arıtım

Doğal arıtma; doğal malzeme ve yöntemlerle yapılan atıksu arıtma işleminin genel adıdır. Doğal arıtma sistemlerinde toprak, su, bitkiler, mikroorganizmalar ve atmosfer fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylarla sürekli olarak karşılıklı etkileşim halindedir. Doğal atıksu arıtma yöntemleri; stabilizasyon havuzları, arazide arıtma, yeraltına sızdırma, buharlaştırma havuzları, doğal sulak alanlar, yapay sulak alanlar olarak tanımlanır (Cop 2017; Akten ve Akten 2008). Yapay sulak alanlar akış yöntemlerine göre üçe ayrılır; bunlar serbest yüzeyli, yüzeyaltı yatay akışlı ve yüzeyaltı dikey akışlı sistemlerdir (Choi ve diğ. 2015).

YSA'larda yatağın yüzey alanı (ATV A 262E 1998; WEF 2010) standartları kullanılarak

$A_{I+PE} \geq 5 \text{ m}^2/\text{kişi}$ olacak şekilde seçilebilir, bu değer kişi sayısı ile çarpılarak önce yatak alanı, sonra yatak tabaka hacmi (3.1) denklemi ile hesaplanır (Koyuncu ve diğ. 2013),

$$V \text{ (m}^3\text{)} = A \text{ bitki yatağı (m}^2\text{)} * h \text{ (m)} \quad (3.1)$$

Uzunluk: Genişlik $\geq 3/1$ olarak alan ölçüleri seçilir.

Yatak minimum genişliği (W) ise (3.2) eşitliği yardımıyla bulunur.

$$W = (1/y) * [(Q * A_{\text{bitkiyatağı}}) / (m * k_s)]^{0.5}$$

$$(3.2)$$

y: yataktaki ortalama su derinliği (m),

m: gerekli hidrolik koşulların oluşma yüzdesi ($\leq 20\%$),

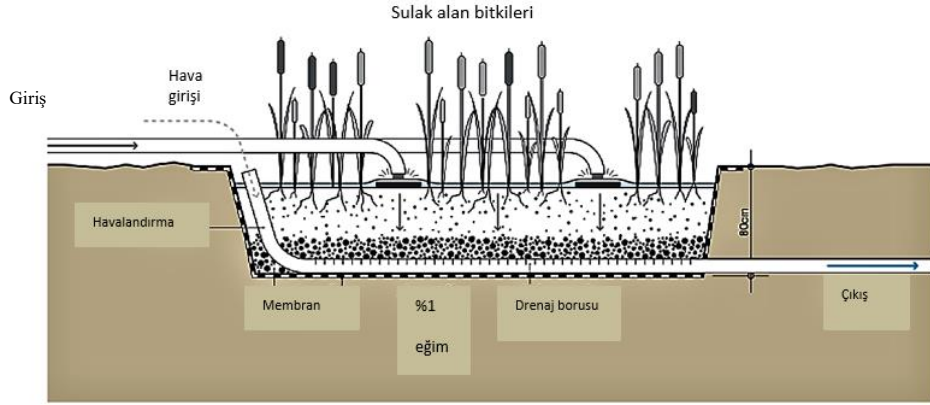
k_s : yatak malzemesinin hidrolik iletkenliği $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{gün}$

Yatay ve dikey akışlı YSA'lar genellikle atıksuyun ikincil arıtımı amacıyla kullanılır. Dikey akışlı sulak alanlar ızgaradan geçirilmiş ham atıksuyun arıtılmasında başarıyla uygulanmaktadır. Fransız tipi dikey akışlı YSA'lar, tek bir sistemde bütünlük çamur ve atıksu arıtımı sağlar ve böylelikle atıksuyun birincil arıtımı

gerekmediğinden inşaat maliyetlerinden tasarruf sağlar. Serbest yüzeyli sulak alanlar ise suyun yatağın üzerinde aktığı sığ yerlerde yoğun bitki örtüsüne sahip tesisler olup üçüncül arıtma amacı ile kullanılırlar. Yüzealtı akışlı sulak alanlarda ise su seviyesi yüzeyin altında tutulmaktadır (Dotro ve diğ. 2017).

3.1.2.1 Yüzealtı Dikey Akışlı Yapay Sulak Alanlar

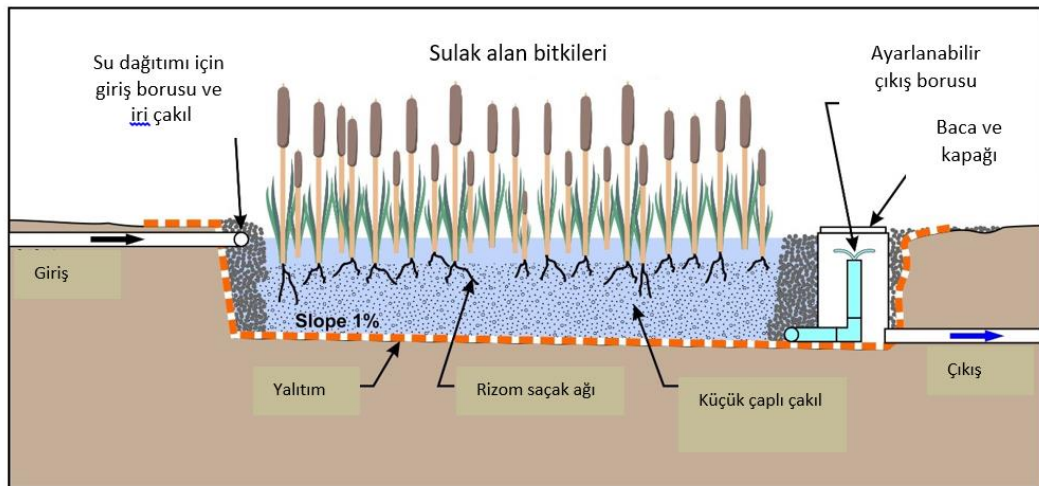
Yüzealtı dikey akışlı yapay sulak alanlar yukarıdan beslenen, alttan tahliyesi yapılan bitkili çakıl yataklardır. Şekil 3.2’de dikey akışlı YSA’nın bir kesit görüntüsü bulunmaktadır. Dikey ve yatay sulak alanlar arasındaki önemli fark, yalnızca akış yönü değil, aerobik koşullardır. Dikey akışlı YSA’da kesikli besleme ve münavebe ile çakıl yatak doymuş ve doymamış olma durumlarından ve buna bağlı olarak aerobik ve anaerobik koşulların farklı aşamalarından geçer. Yıkama aşamasında, atıksu doymamış yataktan aşağı doğru süzülür. Yatakta aşağı yönde inen su kütesinin üst kısmı boşaldıkça içine hava çekilir ve oksijen yayılma fırsatı oluşur. Yataktaki malzeme ortamı, katıların uzaklaştırılması için bir filtre, bakterilerin tutunabileceği sabit bir yüzey ve bitki örtüsü için bir taban görevi görür. Bitki örtüsü, kök bölgesine az miktarda oksijen aktarır, böylece aerobik bakteriler bölgeyi kolonize edebilir ve organik maddeleri ayrıştırabilir. Ancak bitki örtüsünün birincil rolü filtredeki geçirgenliği korumak ve mikroorganizmalar için yaşam alanı sağlamaktır. Besin maddeleri ve organik maddeler yoğun mikrobiyal topluluklar tarafından bünyeye alınır ve parçalanır. Besleme aşamaları arasında organizmaları açlık aşamasına zorlayarak aşırı biyokütle büyümesi azaltılabilir ve gözeneklilik arttırılabilir (Tilley ve diğ. 2014).



Şekil 3.2: Dikey yüzeyaltı akışlı YSA kesit görüntüsü (Tilley ve diğ. 2014)

3.1.2.2 Yüzeyaltı Yatay Akışlı Yapay Sulak Alanlar

Yüzeyaltı yatay akışlı YSA'lar 1960'lı yılların sonunda Almanya'da yapılan öncül çalışmalardan doğmuştur. Tasarım, kil bakımından zengin topraklar yerine tipik olarak çakıl veya kaba kuma dayanacak şekilde gelişmiş olsa da, atıksuyun gözenekli bir ortamdan yatak boyunca Şekil 3.3'te görüleceği şekilde yatay olarak geçirilmesine dayanır (Detro ve diğ.2017).



Şekil 3.3: Yüzeyaltı yatay akışlı YSA (Tilley ve diğ. 2014)

Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlar içinde en yaygın kullanılan tür yatay yeraltı akışına sahip olmaktadır. Tasarım tipik olarak bitki dikilen ve geçirimsiz bir membran ile kaplı dikdörtgen bir yataktan oluşur. Mekanik olarak ön arıtılmış atıksu girişte beslenir

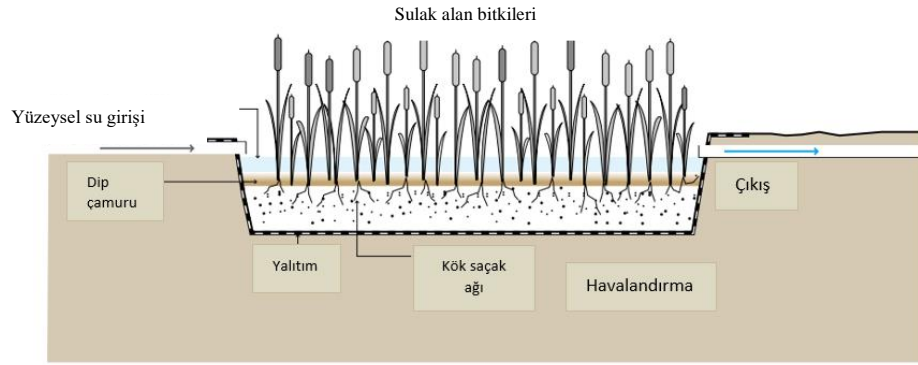
ve çıkıştaki seviye kontrol düzenlemesi yoluyla deşarjdan önce toplandığı çıkış bölgesine ulaşana kadar yatak yüzeyinin altındaki filtrasyon ortamından aşağı yukarı yatay bir yol boyunca yavaşça geçer. Atıksuyun saz yatağından geçişi sırasında aerobik, anoksik ve anaerobik bölgelerden oluşan bir ağ ile teması söz konusudur. Yatay akışlı YSA'lar askıdaki katı maddelerin tutulacağı iyi bir mekanik ön arıtma gerektirir. Yüksek miktardaki askıda katı madde, çakıl yatağın tıkanmasına ve ardından yüzey akışına geçişe neden olabilir. Kırsal alanlarda düşük debiler söz konusu olduğundan evsel atıksular için genellikle üç odacıklı bir foseptik haznesi kullanılır. Evsel atıksu için tasarlanan sistemlerde ön arıtma çoğunlukla ızgaralardan ve bazı ülkelerde imhof tankından oluşur. Yağmursuyunun da arıtıldığı (birleşik şebekelerde), bir kum tutucu haznesi de (inorganik parçacıkların uzaklaştırılması) dâhil edilebilir (Vymazal 2018).

3.1.2.3 Serbest Yüzeyli Yapay Sulak Alanlar

Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar (SYSA) yoğun olarak bitkilendirilmiş ve atıksuyun yatak malzemesi üzerinde bir tabaka oluşturduğu doğal arıtma düzenekleridir. SYSA'lar, tabiattaki sulak alanların arıtma süreçlerini diğer türlerden daha fazla taklit ettiklerinden tartışmasız şekilde uygulanacak ilk YSA seçeneklerinden birisidir (Dotro ve diğ. 2017). Serbest yüzeyli sulak alanlar kentsel atıksuların yanı sıra yağmur suyu, tarımsal sulama geri dönüş suları ve madencilik atıksuları gibi noktasal olmayan kaynakların arıtılmasında yaygın olarak kullanılırlar (Vymazal 2013).

Şekil 3.4'de görüldüğü şekilde borulama, dağıtım yapısı, çakıl ve kum malzeme kullanımı çok düşük olduğundan, düşük birim alan maliyeti nedeniyle, yaygın uygulama alanı atıksuların yüksek debi ve düşük kirliliğe sahip olduğu durumlardır. Evsel atıksu arıtma uygulamalarında, genellikle diğer arıtma birimlerinin sonunda bulunurlar ve üçüncül veya cilalama adımı olarak kabul edilirler. SYSA'lar fiziksel çökeltme ve kirleticinin kimyasal, mikrobiyal ve güneş ışınımı yoluyla parçalanması da dâhil olmak üzere çeşitli giderim yöntemlerini içerir. Köklenme tabakası, özellikle sistem olgunlaştıktan ve üzerinde ölü bitki örtüsü ve gelen tortudan oluşan bir döküntü tabakası oluştuğundan sonra büyük ölçüde anaerobiktir. Sulak alan,

koku salınımını önlemek ve patojenlerin ölümü için suyun üstü aerobik (havalı) olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu yöntemde bitki bünyesine alım, besin maddeleri gideriminde diğer türlere göre daha önemlidir. Bitkiler ayrıca köklenme ortamına az miktarda oksijen ve organik karbon bileşikleri salarak hem aerobik hem de anoksik mikrobiyal süreçleri besler (Dotro ve diğ. 2017).



Şekil 3.4: Serbest yüzeyli YSA kesit görünüşü (Tilley ve diğ. 2014)

4. LİTERATÜR

4.1 Kırsal Atıksuların Özellikleri

Kırsal atıksular miktar olarak düşük olmakla birlikte, bir şebeke ile toplanıp noktasal kirlilik olarak alıcı ortama verilerse çevresel ve sosyal olarak olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Literatür incelendiğinde gelişmiş ülkelerde yapay sulak alanların yaygın olarak kullanıldığı; Avrupa'da Fransa, Almanya, Danimarka ve İngiltere'nin öne çıktığı, Asya kıtasında Çin'de yüz bin adedi aşan sayıda yapay sulak olduğu ve toplu konutlar vb. büyük projeler için kullanıldığı belirlenmiştir. Amerika'da hem evsel hem de kentsel atıksu arıtımı amaçlı olarak kullanıldığı, bunun yanında kirlilik düzeyi yüksek nehirler, hayvancılığın büyük ölçekte yapıldığı çiftliklerde geniş alanlara sahip serbest yüzeyle tesislerin yaygın olduğu, Avustralya'da çok sayıda uygulama olduğu, yine petrol işleyen tesisler ile katı atık sızıntı sularının bu tür tesislerde arıtılabildiği görülmektedir. Aşağıda farklı ülkelerdeki çalışmalara ait örnekler bulunmaktadır.

Cheng ve diğ. (2021) kırsal atıksuların özellikleri ile ilgili Çin'de yaptıkları çalışmada ortalama kişi başı günlük atıksu üretimini (71,8-143 l/gün) aralığında; kişi başı KOİ'yi 78,7gr, amonyum azotunu 3,7 gr, toplam azotu 4,12 gr, toplam fosforu ise 0,8 gr olarak belirlemişlerdir. Aynı çalışmada düşük kirliliğe sahip gri su miktarının kırsal evsel atıksuyun %70'i civarında olduğu belirlenmiştir.

Ergül (1989), hayvansal atıksuyu oluşturan üretim kaynaklı atıklar için ortalama miktarları; büyükbaş hayvanlarda 500 kg canlı ağırlık başına 45 kg gübre ve idrar, küçükbaş için 50 kg ağırlıkta 3,5 kg atık olarak belirlemiştir. Evsel atıksuların arıtımı için tasarlanan birçok tesisin hayvansal atıksular nedeniyle atıl duruma geçebildiği ya da çok zor işletildiği Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1: Yoğun hayvansal atıksu girişi nedeniyle tıkanan kırsal arıtma tesisine ait giriş kanalı (DESKİ, 2023)

Erdoğan (2004) Türkiye genelinde beş ilde yaptığı atıksu özelliklerini belirleme çalışmalarında 230 günlük sürenin ortalama aralıklarını KOİ için 305 ile 439 mg/l, BOİ₅ 159-252 mg/l, AKM 147-266 mg/l, TKN 27-46 mg/l, TP 6-24 mg/l olarak tespit etmiştir. Türk çevre mevzuatında yer alan kabuller ile Alman ATV standardında öngörülen kirlilik yükleri Tablo 4.1'dedir.

Tablo 4.1: AAT Teknik Usuller Tebliği, ATV kabulleri

Birim kirlilik yükleri (gr/kişi. gün)	AKM	KOİ	BOİ	TN	TP
Nüfus Aralığı 2.000-10.000 (kişi başı atıksu oluşumu 80 l/gün kabulü ile)	35	55	40	5	0,9
ATV 131'de öngörülen kişi başı miktarlar	70	120	60	11	1,8

Ramprasad ve diğ. (2019) kırsalda ve merkezi olmayan AAT tesislerinde tasarım ve verimliliğin değerlendirildiği çalışmada, kırsal alanda evsel atıksu özelliklerini KOİ 250–1000mg/l, BOİ 80–550mg/l, AKM 200-1300, nitrat azotu 44,1 – 121, amonyum azotu 36,2 – 89,1, fosfat için 20,8 – 26,4 mg/l olarak kaydetmiştir. Aynı çalışmada kentsel atıksu özelliklerinin KOİ için 625-1300 mg/l, AKM için 257-540, BOİ için 330-580 mg/l aralığında belirlendiği görülmektedir.

Kırsal alanda evsel atıksuların yanında hayvan besiciliği, mandıralar, zeytincilik ve üzüm ürünleri üretimi kaynaklı atıksular da kirliliği artırmaktadır; Othman ve diğ. (2013) kırsal alanda sığır besiciliği atıksularının ardışık kesikli reaktör ile arıtımının incelendiği çalışmada hayvansal atıksu göstergelerini; pH 8,05, KOİ 3600 mg/l, BOİ 1750 mg/l, AKM 230 mg/l, Toplam Azot 650 mg/l, Toplam Fosfor 380 mg/l olarak elde etmiştir.

4.2 Ardışık Kesikli ve Diğer Yöntemlerle Arıtım

Koyuncu ve diğ. (2013), ardışık kesikli paket arıtmaların rakip seçeneklere göre yapımının daha düşük maliyetli olduğunu ancak münferit ihtiyaçlar için tasarlandıklarından, işletim yönünden esnek olmadığını vurgulamışlardır.

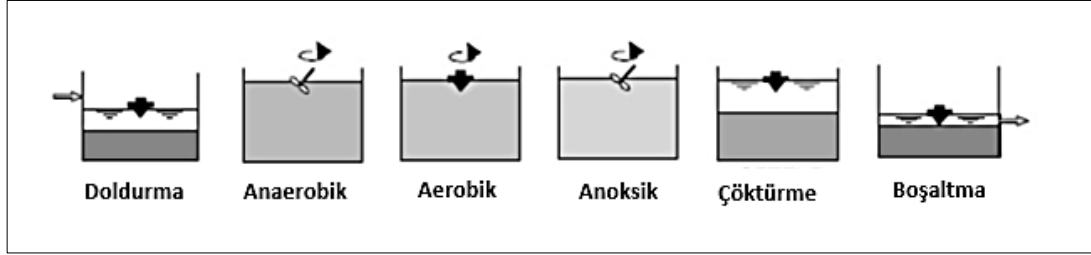
Mahvi ve diğ. (2004) evsel atıksu ile yapılan ardışık kesikli biyolojik arıtma pilot çalışmasında %96,8-97,7 BOİ, %93-94,9 KOİ, %57,9-71,4 TN, 69-85,4 TKN, %38,5-55,9 TP ve AKM %96,7-99 giderim verimleri elde etmiştir. Dohare ve Bochare (2014)'te yaptıkları çalışmada inceledikleri paket arıtma üreticilerinin verileri Tablo 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.2: Paket arıtma çıkışı üretici katalog değerleri

BOİ ₅ , mg/l	<10	TP mg/l	<2
AKM, mg/l	<10	Yağ gres mg/l	<5
Fekal koli	log birimi 3<4	pH	6,5-8,5
TN mg/l	<10		

Chinh ve diğ. (2018) yapılan çalışmada Vietnam'da erişte üretimi yapılan bir köyde yüksek nişasta içeriğine sahip evsel atıksu arıtımı için AKR paket arıtma sistemi işletmiş ve KOİ, TN ve TP giderme verimliliği, iki aylık çalışmanın ardından sırasıyla %92, %83 ve %75'e ulaşmıştır. Granüler çamurda 400'den fazla bakteri cinsi ve 700 tür ile önemli derecede yüksek bir mikroorganizma çeşitliliği gözlenmiş ve en baskın olarak *Lactococcus* türleri SBR (ardışık kesikli reaktör, sequencing btch reactor) sisteminde granüler çamur oluşturmuştur. Paket arıtmaların giderim düzeyi geleneksel aktif çamur sistemleriyle karşılaştırılabilir seviyede olup tasarım ve sahaya özel ölçütlere bağlı olarak değişebilmektedir. Çalışma senaryolarına bağlı olarak SBR'ler

%85-95 oranında BOİ giderimi sağlayabilir ve kontrollü koşullar altında 10 mg/l'den düşük BOİ, AKM çıkışı ile 5–8 mg/l TN ile 1–2 mg/l TP altında arıtılmış su üretir (USEPA 1999). Kuznetz (2019) karbon, azot ve fosfor giderimi için AKR'de işlem basamaklarını sıralı olarak Şekil 4.2'de kaydetmiştir. Bu sıralama ham atıksu doldurma, havasız karıştırma, havalı karıştırma ve anoksik karıştırma evreleri sonrası çöktürme ve boşaltma aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 4.2: C, N ve P giderimi için ardışık kesikli reaktör işlem sırası (Kuznetz, 2019)

Othman ve diğ. (2013) Malezya'da sığır çiftliği atıksularının arıtıldığı çalışmada ardışık kesikli reaktör içindeki aerobik granüler çamurun herhangi bir destekleyici malzeme olmadan 4 saatlik döngü ve 9 kg KOİ organik yüklemesi ile %74 KOİ, %73 Toplam Azot ve %70 Toplam Fosfor giderimi sağlanmıştır. Bu pilot çalışmada ardışık kesikli tank içinde yüksek mikrobiyal etkinlik gözlenmiştir.

Tang ve diğ. (2019) inceleme çalışmalarında belediyelerin kırsal evsel atıksuları arıtırken uygulayabilecekleri elektrokimyasal yöntemlerin etkin bir ileri arıtma yöntemi olduğuna işaret etmiş ancak bu teknolojilerin işletme esnasında yüksek enerji tüketimi nedeni ile henüz sürdürülebilir olmadığını bildirmişlerdir.

Liu ve diğ. (2018) evsel atıksuların eşsiz bir kaynak havuzuna benzerliğinden bahsedip içerisinde su, enerji ve değerli maddeler içermesi nedeniyle atıksu arıtma tesislerinin bir giderim tesisinden çok; su temini, enerji üretimi ve doğal kaynak temini sağlanan fabrikalara benzetmekte ve klasik arıtma tesislerini yoğun enerji tüketimi, aşırı çamur üretim miktarı yönlerinden eleştirmektedir. Yine yazarların görüşüne göre biyolojik süreçlerin daha fazla uygunlaştırılması evsel atıksuların arıtımı için nihai bir çözüm sunamaz. Enerjide ve işletmede kendi kendine yeten biyolojik süreçlere yönelik çözümlerin ele alınması gerekmektedir. Bu konuda farklı biyolojik arıtma seçenekleri yanında doğal arıtma yöntemleri düşünülebilir.

Geleneksel yöntemler açısından çözüm için A-B prosesleri (A: yüksek hızlı AÇS, B: biyolojik parçalanma ile besi maddesi giderimi) önerilmekte; başlangıçta anaerobik çürütme yoluyla organiklerin yakalanması sonrasında biyolojik oksidasyon yoluyla biyolojik azot giderimindeki enerji tüketiminin azaltılması düşünülmektedir. A-B prosesleri içinde anaerobik birimlerin öncülüğünde enerji geri kazanımının hızla artırılması ve biyolojik çamur üretiminin hızla düşürülmesi yapılabilir görünmektedir. A-B prosesleri arasında hızlı aktif çamur sistemi, ana akım deamonifikasyon prosesi, bütünleşik anaerobik anammoks, anaerobik MBR-besi maddesi geri kazanımı prosesleri belirtilmektedir. Yapay sulak alanlarda ve doğal bataklıklarda anammoks (balçık tabakasında) ve diğer birçok havalı, havasız, anoksik süreçlerin gerçekleştiği bilinmektedir.

Devi ve diğ. (2007) geleneksel arıtma yöntemleri ile çalışmanın zorunlu olabileceği ve maddi imkânların kısıtlı olduğu durumlarda Hindistan'da kırsal alanda küçük çaplı arıtma tesislerinin enerji ihtiyacının 150 m³/gün atıksuyun arıtıldığı tesiste (adsorpsiyon tankı) %50 şebekeden, %18 dizel jeneratörden, %32 kısmın ise biyogazdan elde edilmesini öngörmüşlerdir. Biyogazın büyükbaş hayvan gübrelerinden elde edilmesini ve biyogaz tesisi çıkış çamurunu da gübre olarak köylülere sunmayı planlamışlardır. Böyle bir çalışma her hâlükârda yapay sulak alanlardan daha yüksek işletme maliyetine neden olabilmekte ancak yoğun hayvancılık atıkları için yararlı bir yeniden kullanım imkânı sunmakta ve hayvancılık atıklarının evsel atıksu arıtımını sekteye uğratması durumunu önleyebilmektedir.

4.3 Yapay Sulak Alanlar ile Arıtım

Sulak alanlar geçiş ortamları olup, mekânsal bağlamda, kıyıdaki kuru arazi ile serbest yüzeysel su arasında, iç göllerin ve nehirlerin çevresinde veya arazi boyunca bataklıklar halinde uzanırlar. Yapay sulak alanlar (YSA), kirleticilerin atıksulardan uzaklaştırılmasında yer alan tüm doğal süreçleri kullanmak üzere tasarlanıp işletilen mühendislik sistemleridir. YSA, doğal sulak alanlarda meydana gelen süreçlerin çoğundan yararlanmak üzere takliden tasarlanmıştır ancak bunu daha kontrollü bir ortamda gerçekleştirir. Temel sınıflandırma, sulak alan yüzeyinde atıksuyun varlığına

/ yokluğuna dayanmaktadır. Yüzey altı akışlı olanlar akışın yatay ve dikey oluşuna göre ikiye ayrılabilir, bunun dışında melez türler geliştirilebilir (Vymazal 2022).

Lienard ve diğ. (2010) YSA ve stabilizasyon havuzlarının güvenilir ve sürekli şekilde üstün çıkış suyu kalitesi sağlamasını; bakteriler, algler ve zooplanktonlar gibi zengin biyolojik topluluklar arasındaki dengenin, yalnızca iklimsel koşullara bağlı olarak uzun bir hidrolik alıkonma süresi sayesinde önemli bir tampon etkisine sahip bir biyosenoz oluşturduğu karmaşık arıtım düzenekleri ile açıklamışlardır. Burada tavsiye edilen husus; yapay sulak alanlar faaliyete geçtikten sonra işleyişi değiştirilemez olduklarından, başlangıçta tasarım, boyutlandırma ve yapım açısından mevcut koşullara göre en iyi bir şekilde uyarlanmaları gereğidir.

Evsel belediye atıksuyunun arıtımı için tasarlanıp işletilen ve yüzey alanı 654,5 m² olan yatay yüzeyaltı akışlı, dikey yüzey altı akışlı 457,6 m² yüzey alanına sahip iki yapay sulak alan, Abou Elala ve diğ. (2013) tarafından 3 yıl boyunca 20 m³/gün hidrolik yük ile çalıştırılmış, *Canna*, *Phragmites australis* ve *Cyperus* olmak üzere üç çeşit bitki dikimi yapılmıştır. Yatay akışlı YSA için giderim oranlarında AKM % 91,5, KOİ % 92,8 ve BOİ için % 92,3 iken dikey akışlı YSA'da % 92,9, % 93,6 ve % 94'e ulaşılmıştır. Dikey akışlı YSA'nın bu çalışmanın bir parçası olan pilot denemeye benzer şekilde yalnızca KOİ ve BOİ'de değil aynı zamanda nitrifikasyonda yatay akışlı YSA'dan daha verimli olduğu kanıtlanmıştır. Nitrifikasyon nedeniyle amonyağın uzaklaştırılma oranı dikey akışlıda % 62,3'e, yatay akışlıda % 57,1'e ulaşmıştır. Sonuç olarak dikey akışlı YSA daha küçük boyutu ve yüksek kalitesi nedeniyle atıksu arıtımında yüzeyaltı yatay akışlı sulak alandan daha etkili olmuştur. Bununla birlikte gerçek ölçekte dikey akışlı sistemler daha derin yatak derinliği ve daha çok çakıl malzeme nakliye ve serimini gerektirmektedir.

Haydar ve diğ (2010), evsel belediye atıksuyu arıtımı için yapılan pilot ölçekli çalışmalarında, yatay ve dikey akışlı hibrit yapay sulak alan için iki ayrı yerel tür bitki ve 4+4 gün olarak en uygun bekleme süresi belirlemiştir. Tesiste *Pistia stratiotes* bitkisi kullanarak, KOİ, BOİ, AKM, TKN ve P için sırasıyla % 80, % 84, % 82, % 71 ve % 88 giderim sağlanmıştır. Kullanılan diğer bitki olan *Typha* ise daha düşük giderim sağlamıştır.

Avila ve diğ. (2019) gerçekleştirdikleri pilot çalışmada sürekli olarak evsel belediye atıksuyu besledikleri tesiste 1,12 gün bekleme süresi için iki ayrı bitki ile deneme yapmışlardır. Sonuç olarak *Cyperus papyrus* bitkisi BOİ için %81, KOİ için %70, amonyum azotu için %69,7, TP için %50, toplam koliform için %98,08, fekal koliform için % 95,61 giderim elde etmiş ve toplamda daha üstün sonuç vermiş, *Phragmites australis* bitkisi dikilen yatak ise daha fazla katı madde tutmuştur.

Cop (2017) çalışmasında Konya’da mevcut doğal arıtmaların durumlarını irdelemiş, sorunlar ve çözüm önerilerini belirlemiş, iyileştirme amaçlı işlerin türü ve miktarları keşif haline getirilmiş ve üç adet tesisin işletme sonuçları değerlendirmiştir. Sonuçların olumlu olduğu görülmüş ancak tasarım aşamasında hidrolik yükler ile birlikte organik yüklere dikkat çekilmiş, yatak malzemesi olarak yıkanmış dere çakılı seçilmesi, tesislerin düzenli olarak denetim ve bakımı tavsiye edilmiştir. Ayrıca en ucuz arıtma yöntemi olan doğal arıtmanın yaygınlaşmayla birlikte ülke maliyesine önemli bir katkı sağlanacağı, bu nedenle atıl durumdaki mevcut tesislerin de mutlaka küçük düzeltmeler sonrası işletmeye alınması önerilmektedir.

Fosfor giderimi açısından YSA yeterliliğinin değerlendirildiği çalışmada Arias ve Brix (2005), kum yatak malzemesinin 2 kg/m^3 düzeyinde fosfor giderebildiğini, kişi başı P kirliliğinin evsel atıksu için yıllık 1 kg düzeyinde olduğunu kaydetmiştir. Kişi başı giderim için ise $0,5 \text{ m}^3$ çakıl yatak malzemesi gerektiği ve bunun da yüzeyaltı yatay akışlı bir sistemde 1 m yatak derinliği için kişi başı $2,5 \text{ m}^2$ alan ihtiyacı oluşturduğunu ve bunun en az 5 yıl yeterli olacağını belirlemiştir.

Bozdoğan (2009) Adana’nın Karaisalı ilçesinde deneme amaçlı bir dikey akışlı yüzeyaltı yapay sulak alan ve ayrıca sulama alanları oluşturmuş ve bu tesis iki yıl boyunca evsel atıksu arıtımı için işletilmiştir. Bu çalışmadaki bulgular şu yöndedir; bakır ve nikel için toprak kirliliği ile ilgili yasal sınır değerlerin çok altında birikim oluşmuştur. BOİ, KOİ ve AKM için giderim 24 ay boyunca %76-100 aralığında gelişmiş, mevzuat şartları her seferinde fazlasıyla karşılanmış, 47 dekar yeşil alanı sulayabilecek 1.sınıf sulama suyu elde edilmiştir.

Wang ve diğ. (2005) yapay sulak alanlarda en yaygın görünen bakterilerin *Pseudomonas*, *Alcaligenes* ve *Flavobacterium* olduğunu ve bunların hızlı çoğalan türler olduklarını vurgulamışlardır. Bununla birlikte serbest yüzeyli yapay sulak alanın

tabanındaki çamur tabakasında anaerobik amonyum oksidasyon bakterilerinin bulunduğu ve bu yöntemin gelecekte geleneksel tesislerde büyük başarı ile uygulanabileceği ve yüzde 12 oranında enerji tasarrufu sağlayabildiği ayrıca kaydedilmiştir (Partal ve diğ. 2018).

EPA (2000) tarafından yapılan değerlendirmede Amerika’da incelenen 27 adet serbest yüzeyli yapay sulak alan için elde edilen sonuçlar Tablo 4.3’de sunulmaktadır.

Tablo 4.3: Serbest yüzeyli YSA’lar için ortalama giriş ve çıkış değerleri (EPA 2000)

Gösterge	Ortalama Giriş (mg/l)	Ortalama Çıkış (mg/l)
BOİ ₅	70	15
AKM	69	15
TKN Azotu (N olarak)	18	11
NH ₃ -NH ₄ Azotu (N olarak)	9	7
NO ₃ Azotu (N olarak)	3	1
TN	12	4
TP	4	2
Çözünmüş P	3	2
Fekal Koliform (adet/100ml)	73000	1320

Vymazal (2022) çeşitli ülkelerdeki yapay sulak alanları yerinde gözlemleyerek oluşturduğu yayının sonuç kısmında, yapay sulak alanların 21.yüzyılda onaylı ve kanıtlı bir atıksu arıtma yöntemi haline geldiği, ilgili tarihte Çin’de 100.000 adedin üzerinde YSA bulunduğu ve toplu konut projeleri de dâhil olmak üzere halen sayıların arttığını bildirmiştir. Bunun yanında Güney Amerika’da da yaygın kullanıldığını, ayrıca bu alanda büyük ihtiyacı olan Afrika kıtasının yapay sulak alanlar ile ilgili büyük bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamıştır.

Vymazal (2018) tarafından yapılan YSA’lar ile ilgili yayın tarama çalışmasına göre 1995 yılında makalelerin %88’i (Web of Science veritabanı) gerçek ölçekli tesislere dayanmakta olup; 2017’de ise bu oran %26’ya düşmüştür. Bu durum laboratuvar deneyi sonuçlarının gerçek tesisler için yanıltıcı sonuçlar verebildiği halde tam ölçekli uygulamaya aktarıldığını ve bunun gelecek yıllarda sahadaki tesislerde sorunlar oluşturacağı vurgulanmıştır.

Vergeles ve diğ. (2015) Doğu Ukrayna’da Kharkiv Bölgesinde 10 ila 700 m³/gün debide atıksu arıtan, alanları (760 ila 11.000 m² arasında değişen) yedi adet

melez yapay sulak alanda incelemeler yaparak takip eden sonuçlara ulaşmışlardır. Temel göstergelerde yüksek giderim sonuçları elde edilmiştir; BOİ₅ (% 82,6 ±11), KOİ (%77,3 ±9) ve AKM (%72,1±9). Azot, ortofosfatlar ve yüzey aktif maddeler için ise giderim %9 ila 52 arasındadır. İncelenen yapay sulak alanların geleneksel arıtma tesisleri ile karşılaştırıldığında göstergelerin çoğunluğunda benzer etkinliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda tahmini yapım ve işletme giderleri için kırsal alanlardaki benzer ölçütteki geleneksel tesisler ile karşılaştırma yapıldığında yapay sulak alanların önemli düzeyde düşük maliyetli olduğu ve kırsal alanlarda yapılabilirlik açısından daha uygun olduğu bildirilmiştir.

Göçmez ve diğ. (2011) İzmir Menemen Çukurköy'de yapay sulakalan sistemlerinin etkinliği ile ilgili birden çok konunun incelendiği ve bölge koşullarına uygun bitkilerin etkinliğinin belirlendiği bu araştırmada, denemenin yürütüldüğü beldedeki evsel nitelikli atıksular kullanılmıştır. Köyün nüfusu 800'dür. Araştırma 2007-2009 yılları arasında yürütülmüş olup, projede; evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan iki farklı kök yapısına sahip bitkinin atıksu arıtım performansı incelenmiştir. Köyün foseptik sisteminden çıkan atıksu ikiye bölünerek her deneme yatağına eşit miktarda beslenmiştir. Deneme yataklarının boyutları; atıksuyun debisi, giren suyun biyolojik oksijen ihtiyacı ve dolgu malzemesinin hidrolik özellikleri göz önüne alınarak projelendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda tesis çıkış sularının dönemsel olarak değişmekle birlikte Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen BOİ, KOİ, AKM, pH deşarj standartlarını sağladığı belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan sulakalan bitkilerinin atıksu arıtım performansı üzerine etkileri irdelendiğinde; tesisin bulunduğu Çukurköy şartlarında BOİ₅, TN, TP ve TK gideriminde *Vetiveria zizanioides*, KOİ ve AKM gideriminde ise *Phragmites australis* daha etkili bulunmuştur.

Göçmez ve diğ. (2018) İzmir ili Torbalı ilçesi Korucuk mahallesinde evsel atıksuların arıtılması amacıyla inşa edilen bir yapay sulak alanda 2008-2009 yılları arasında 2 yıl süre ile yapılan izleme ve değerlendirmeleri içermektedir. İzleme çalışmalarında elde edilen verilere göre, tesisin foseptik hariç sadece yatak için ortalama arıtma verimleri; KOİ için %64,66, BOİ₅ için %74,10, AKM için %84,80, Toplam Azot için %29,80 ve Toplam Fosfor için %18,56 olarak kaydedilmiştir. Çıkış kirlilik değerlerinin, SKKY'nin öngördüğü değerlerin altında olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak özellikle 2000 nüfus altındaki yerleşim yerlerinde doğru mühendislik tasarımları ile inşa edilen yüzeyaltı yatay akışlı yapay sulak alanların arıtım kalitesi açısından geleneksel arıtma sistemlerine karşı iyi bir alternatif olduğu vurgulanmıştır.

Güneş ve diğ. (2021) yaptıkları literatür taramasında Türkiye genelindeki doğal arıtma projelerinde KOİ için %72, BOİ₅ için %75, AKM için %72, toplam azot için %50 ve toplam fosfor için %44 verim değerlerine erişmişlerdir. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda ise KOİ için yüzde 71, BOİ₅ için yüzde 78, AKM için 87, toplam azot için yüzde 46 ve toplam fosfor için %42 ortalama giderim değerlerini kaydetmişlerdir.

Lutterbeck ve diğ (2017), kırsal alanda içinde yapay sulak alan da bulunan bütünleşik bir arıtma sistemi için yaşam boyu döngü değerlendirmesi yapmış ve sayısal izleme sonuçları, sistemin oldukça etkin olduğunu ve kirlilik yüklerini büyük oranda giderdiğini göstermiştir. Bu çalışmada KOİ'deki giderim %93-97, BOİ₅ %97-98, TKN %97, NH₃ %100, fosfor için ise %90 düzeyinde sağlanmıştır. Sistem yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı, anaerobik biyofiltre ve yüzey altı yatay akışlı 4 yatak ve ultraviyole lambalardan oluşan pilot bir yapıdadır ve yüksek kalitede yeniden kullanılabilir su eldesi sağlanmaktadır.

Ayaz (2008), İstanbul'da merkezi bir AAT'de ileri arıtılmış sularda karbon giderimi amaçlı üç pilot YSA inşa etmiştir. 1. deneme *Cyperus* dikili yatay yüzeyaltı akışlı YSA, ikincisi *Cyperus* dikili SY YSA, üçüncüsü de *Lemna minör* ile bitkilendirilmiş dört adet seri bağlı SY YSA'dır. 3 yıllık işletme döneminde hidrolik yükleme hızı 4,8 ile 15,6 m³/gün olup ortalama giderim verimleri yaz aylarında daha yüksek olmuştur. Ortalama giderim değerleri AKM için sırasıyla %80, %65 ve %72; BOİ₅ için %65, %64 ve %62; KOİ için %50, %45 ve %47; TOK için ise sırasıyla %29, %34 ve %37 olmuştur. Fekal koliform ve toplam koliformun ortalama genel giderimi %94 olmuştur. Giderim verimleri daha çok hidrolik bekleme süresi ve kütle yükleme oranlarından etkilenmiştir. Sayısal çözümleme sıcaklık, bekleme süresi, yükleme oranı ile giderim verimleri arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir.

Amerika Indiana'da (EPA, 1997) 70 büyükbaş hayvanın beslendiği bir tesiste serbest yüzeyli YSA'da *Typha latifolia*, *Polygonum spp.* ve su çimeni (*Eclzinochloa walten*) ile yapılan denemelerde Tablo 4.4'deki sonuçlara erişilmiştir.

Tablo 4.4: Büyükbaş hayvancılık atıksularının arıtıldığı SY YSA’da kirlilik derişimleri ve giderim yüzdeleri (EPA, 1997)

Gösterge	Giriş (mg/l)	1.yatak çıkışı (mg/l)	% giderim	2.yatak çıkışı (mg/l)	% giderim
TKN (mg/l)	215,3	113,1	(47)	30,4	(86)
NH ₄ -N (mg/l)	199,4	99,8	(50)	21,6	(89)
PO ₄ (mg/l)	47,3	28,9	(39)	10	(79)
TP (mg/l)	25,3	10,8	(57)	4,2	(83)
BOİ ₅ (mg/l)	910,3	155,6	(83)	67,6	(93)
AKM (mg/l)	483,4	113,2	(77)	30,7	(94)

Kayranlı ve diğ. (2009) Glaslough, İrlanda’da evsel atık su arıtımı için beş ayrı yatak ve iki ön çamur çöktürme haznesinden oluşan gerçek ölçekli bütünleşik yapay sulak alanın giderim düzeyini araştırmıştır. Bu çalışmada biyokimyasal oksijen ihtiyacı için %99,4, kimyasal oksijen ihtiyacı için %97, askıda katı madde için %99,5, amonyak azotu için %99, nitrat azotu için %93,5 giderim kaydedilmiştir. Bulgular, YSA’nın evsel atıksudan BOİ, KOİ, AKM ve amonyak azotunu gidermede etkili olduğunu göstermiş ve mevcut tesisin alıcı ortam yüzey sularını ve yeraltı suyunu kirlilemediği belirlenmiştir.

Vymazal (2019) çalışmasında 20 yıl ve üzerindeki sürelerde işletilmekte olan yaklaşık 20 adet doğal arıtma tesisini incelemiş ve uygun düzeyde atıksu yükleme ve bakım sağlandığı takdirde arıtma veriminin kararlı şekilde sürdüğünü ve BOİ₅ ve AKM çıkış değerlerinin 15mg/l den KOİ’nin ise 50 mg/l’den küçük olduğunu belirlemiştir.

Yine, Vymazal (1999) tarafından yapılan çalışmada Çek Cumhuriyeti’nde yerleşik 33 adet yüzeyaltı yatay akışlı YSA için evsel atıksu giderimi %86,6 ($\pm 9,2$) çıkış BOİ₅ derişimi 13,2 mg/l olarak belirlenmiş ve bu sonuçlar literatürde Norveç’teki 10 tesis için belirlenen %82,1($\pm 11,9$), Polonya’daki 11 tesis için %89,9 ($\pm 5,7$) ve ABD’de (Amerika Birleşik Devletleri) 14 yatay akışlı YSA için %68,2 ($\pm 17,3$) değerleriyle uyumlu bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmanın sonucunda kişi başı 5m² bitkili yatak alanına sahip tesislerde %85’ten fazla BOİ giderimi sağlandığı, ortalama BOİ yükünün 28,7 ($\pm 24,4$) kg/ha olduğu, BOİ yükü gideriminin arıtma sisteminin çalışması boyunca hafifçe iyileştiği belirlenmiştir. BOİ gideriminin yıl boyunca sabit olduğu ve mevsimden etkilenmediği, yüzeyaltı YSA’ların 50 mg/l altındaki düşük BOİ giriş derişimlerini de başarıyla arıtılabildiği kaydedilmiştir.

4.4 Diğer Atıksu Arıtma Tesisleri ve Yapay Sulak Alanlar Arasında Genel Karşılaştırmalar

Kırsal atıksu arıtımındaki çözümler arasında; ardışık kesikli biyolojik paket arıtmalar, betonarme aktif çamur sistemleri (uzun havalandırılmalı ya da klasik), doğal atıksu arıtma tesisleri ve genel, bireysel foseptik uygulamaları bulunmaktadır. Bu ve benzeri yöntemler ile ilgili aşağıdaki benzeri karşılaştırma çalışmaları bulunmaktadır;

Su ve diğ. (2019) 3E (çevre, mühendislik, ekonomi) alanında 17 göstereyi irdelemiş; doğal arıtmaların ve membran biyoreaktörlerin mühendislik açısından başarı düzeyi söz konusu olduğunda, işletme süreçleri boyunca kararlı, etkili ve güvenilir olduğu ortaya koyulmuştur. Çevresel etkiler (küresel ısınma, ötrofikasyon vb.) karşılaştırıldığında doğal arıtmalar daha üstün sonuçlar sağlamıştır. Yine bilinen arıtma yöntemleri enerji tüketimi ve pahalı donanımlardan kaynaklanan yüksek işletme ve yatırım giderlerine sahiptir. Doğal arıtmalarda ise alan gereksinimi daha yüksek ancak arıtma kapasitesi nispeten daha düşüktür. Nihai olarak; yüksek enerji tüketimi MBR tesisleri için hala sorun olmakla birlikte mühendislik tasarımında göstergeler belirlenip en uygun hale getirilirse yapay sulak alanların kırsal su arıtımında daha da yaygın uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Lienard ve diğ. (2010) çok sayıda serbest yüzeyli yapay sulak alan ve stabilizasyon havuzu ile ilgili yaptıkları çalışmada, bu tesislerin geleneksel aktif çamur tesisleriyle aynı düzeyde olmasa dahi, kabul edilebilir arıtılmış atıksu kalite seviyelerini yakaladıklarını kaydetmektedir. Bununla birlikte işletmeciler kuruluşların en çok ilgilendiği şey performansın güvenilirliğidir. YSA'larda arıtım geleneksel pek çok arıtma türündeki gibi karmaşık ve katı işletmesel kısıtlamalarla sınırlı değildir. Düzgün tasarlanıp imal edilen YSA'larda arıza, taşkın vb. olasılığı düşüktür. Aşırı kirlilikte yoğun atıksuların YSA'lara girmemesi ve sistemin oksijenlenme kapasitesini aşmaması halinde, sık ve düzenli aralıklarla yapılacak ve sistem üzerinde doğrudan etkisi olabilecek çok az şey vardır buna istisna giriş ızgaralarının temizlenmesidir. Bununla birlikte, serbest yüzeyli stabilizasyon havuzlarında çamurun yıllık olarak uzaklaştırılması, işleyişin güvenilirliğine kesinlikle katkıda bulunmaktadır.

Hunter ve diğ. (2018) Amerika' evsel atıksuların arıtımı ile ilgili maliyetlerin karşılaştırıldığı çalışmada özellikle Louisiana kıyısındaki yapay sulak alanları

incelemiştir. Birim (galon) başına ikincil arıtma için ortalama maliyet 4,90\$, üçüncül arıtma tesisleri için 6,50\$, yapay sulak alanlar için 0,60 \$ olarak hesaplanmış ve önümüzdeki yıllarda enerji maliyetlerinde artışlar olacağı öngörülmüş, bu artışlardan enerji yoğun arıtma tesislerinin çokça etkileneceği ancak sulak alanlarda böyle bir tehlike olmayacağı özellikle vurgulanmıştır.

Molinos-Senante ve diğ. (2015) ANP (analitik ağ süreci) yolu ile 7 arıtma türünden kırsal alanlar için en uygun türe karar verilmesi için çalışmış ve oldukça karmaşık olan bu süreçte ANP yönteminin etkinliğini doğrulamışlardır. Sonuçlar çok sayıda arıtma uzmanının yaygın teknolojileri, yapay sulak alanları, stabilizasyon havuzlarını tercih ettiğini ortaya koymuş, karar verme yönteminin uygunluğunu da teyit etmiştir. Çalışmaya 29 adet uluslararası arıtma uzmanı katılmış ve 14 ölçütü değerlendirmiştir. 7 yöntem; yapay sulak alan, uzun havalandırmalı aktif çamur, membran biyoreaktör, stabilizasyon havuzları, döner biyodisk, damlatmalı filtre ve ardışık kesikli paket arıtma sistemleridir. Hassasiyet analizleri arıtma seçenekleri arasındaki sıralamada yapay sulak alanların her seferinde kararlılıkla birinci sırada (24%) olduğunu doğrulamış ve bu konuda daha önce yapılan iki çalışmayı teyit etmiştir. İkinci sırada lagünler bulunmaktadır. Uzun havalandırmalı aktif çamur ve membran biyoreaktörler son iki sırayı paylaşmıştır.

Fan ve diğ. (2021) merkezi atıksu arıtma sistemleriyle YSA'nın karşılaştırıldığı çalışmada yaygın kanının aksine yapay sulak alanların, merkezi atıksu arıtma sistemlerine göre saha içi ve dışı arazi kullanımının daha verimli olduğunu bulmuşlardır. Arıtılan birim atıksu temelinde, Çin'deki örnek yapay sulak alanın arazi kullanımının, merkezi bir atıksu arıtma tesisi veya hibrit sistem durumundakinin yarısından daha az olduğu ortaya çıkmıştır. BOİ₅, KOİ ve AKM açısından bakıldığında YSA ile giderimde gerekli alanlar merkezi atıksu arıtma tesis alanının % 61, 67 ve 73'ü kadardır.

Venditti ve diğ. (2022) geleneksel bir arıtma tesisi çıkış sularında cilalama amaçlı dikey yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan denemelerinde yaklaşık 27 adet karmaşık bileşimli kirletici (tıbbi ilaç bileşikler, pestisitler, yüzey aşındırıcılar, yanma geciktiriciler, korozyon önleyici vb.) için giderim verimini belirlemiş, 18 adet bileşimde %90'ın üzerinde arıtım verimi sağlanmıştır. Bazı bileşiklerde geleneksel tesisin %60 giderim verimini dikey YSA %90 ve üstüne çıkarmış bazı bileşiklerde ise

geleneksel AAT'de hiç giderim sağlanmadan tamamı YSA tarafından giderilmiştir. Yatak malzemesinde ise kum, %15 biyokömür ile karıştırılmıştır.

Parde ve diğ. (2021) literatür taraması yaptıkları çalışmada diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında YSA'ların düşük maliyetli bir yöntem olduğunu, arazi ihtiyacı açısından ise aktif çamur, akışkan yataklı biyofilm reaktör, damlatmalı filtre, yukarı akışlı anaerobik reaktör ve ardışık kesikli paket arıtmalara göre daha büyük arazi gerektirdiğini belirtmişlerdir. Yine işletme ve bakım maliyetlerinin ilk yatırımın %1-2'si düzeyinde oldukça düşük olduğu, *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* bitkilerinin diğer türlerden daha yüksek verim sağladığı, düşük yoğunluklu şişirilmiş kil agregası, demir tozları ile atıksuda organik madde, sülfat ve arsenat gibi madde giderim verimlerinin artırılabilceği vurgulanmıştır. Düşük hidrolik yükleme oranına sahip YSA'da %80–91 oranında BOİ, %60–85 KOİ ve %80–95 AKM giderimi sağlandığı ve diğer yöntemlerinden daha düşük işletme ve bakım gerektirdiği belirlenmiştir.

Rizzo ve diğ. (2018) İtalya'da mevcut Fransız tipi bir yapay sulak alanda işletme ve bakım onarım giderleri ile ilgili yapılan çalışmada yaklaşık 1000 kişilik bir YSA için kişi başı 6-11 Avro / yıl dolayında maliyet belirlemiştir. Aynı nüfus aralığı için standart bir aktif çamur sisteminde kişi başı gider ise 45 ila 90 Avro olarak yaklaşık 8-9 kat fazla tutarda kaydedilmiştir. Söz konusu düşük işletme ve bakım giderlerinin enerji tüketimi ve çamur yönetim ihtiyaçlarının azlığından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Şener ve diğ. (2016) Ankara'da üç ayrı türdeki arıtma tesisinin (Tatlar AAT, Kazan İleri Biyolojik AAT ve Akdoğan Doğal Arıtma Tesisi) kırsal alanlardaki (çevre köyler) çevresel, sosyal, iktisadi etkilerini irdelemiş; yapay sulak alanların geleneksel tesislere göre daha olumlu etkileri olduğu ancak iktisadi etkinin (iş gücü istihdamı, satınalma vb.) bulunmadığı belirlenmiştir. İncelenen geleneksel tesislerin koku, gürültü, trafik artışı şikâyetlerine rağmen istihdam artışının olumlu olduğu vurgulanmıştır. Yapay sulak alanların ise arazi ihtiyacının daha büyük olması nedeniyle kırsal alanlar için daha uygun olduğu, ayrıca bu tesislerin çevresel ve sosyal açıdan olumsuz etkilerinin bulunmadığı raporlanmaktadır.

Lienard ve diğ. (2010) Fransa’da yaygın olarak kullanılan Fransız tipi yapay sulak alanlar ile serbest yüzeyli stabilizasyon havuzlarını işletme ve bakım açısından karşılaştırmışlar ve her iki tür için ortalama yükte 10 yılda bir kez yataklardan çamur uzaklaştırmanın yeterli olduğunu belirlemişlerdir. YSA’da kişi başı 6 kg/yıl çamur oluşurken stabilizasyon havuzunda kişi başı 12 kg çamur oluşmaktadır. Yine ortalama 400 kişilik bir YSA’nın işletme ve bakımı için 100 saatlik işçilik hesaplanmış, serbest yüzeyli 1000 kişilik stabilizasyon havuzu için ise aynı süre yeterli olmuştur. Stabilizasyon havuzunda daha düşük işçilik ihtiyacı YSA’da bulunan saz, kamış hasadının söz konusu olmaması ile ilgilidir. Bir kez çamur uzaklaştırdıktan sonra yeni bir işletme döngüsü başlayacak, bu da tesisin sürekliliği açısından büyük katkı sağlayacak ve bunun için herhangi bir elektromekanik donanım değişim maliyeti söz konusu olmayacaktır. YSA’larda hasat edilen saz bitkilerinin hayvan yemi olarak kullanımı bilinen bir uygulamadır.

Qiang ve diğ. (2013) Çin’de 20 adet kırsal atıksu arıtma tesisinde endokrin bozucu kimyasalların gideriminin karşılaştırıldığı çalışmada aktif çamur, biyofilm reaktör, yapay sulak alan ve stabilizasyon havuzlarının başarımını değerlendirmiştir. Bu çalışmada estron gideriminin yapay sulak alan ve biyofilm reaktör tarafından geleneksel merkezi tesislerden daha iyi sağlandığı, yine estradiyol gideriminde merkezi aktif çamur tesisi ile yüzeyaltı yatay akışlı doğal arıtmanın birbirine yakın başarı elde ettiği, estriyol içinse doğal arıtmanın aktif çamurdan daha yüksek giderim sağladığı görülmüştür.

Patojen giderimi su sıcaklığı ve kimyasına ve güneş ışığına bağlı olarak gelişir. Bu etkenlere bağlı olarak doğal yollarla ölüm, bakteri yiyen zooplanktonların bünyesine geçmesiyle ve çökelmeyle giderim de önemli bir yer tutar (Tübitak, 2011).

Tunçsiper ve diğ. (2012) yaptıkları pilot çalışmada, seri bağlanmış dikey bitkisiz bir yatak (aşama 1), *Iris versicolor* ile bitkilendirilmiş yüzeyaltı yatay akışlı bir yatak (aşama 2) ve *Phragmites australis* ile bitkilendirilmiş yüzeyaltı dikey akışlı bir yatağı (aşama 3) işletmiş, koliform bakteri sayımları farklı hidrolik ve yükleme koşulları altında yapılmıştır. Sistemin, çıkışta fekal ve toplam koliformu önemli ölçüde azaltma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. İkinci aşama, aşama 1 ve 3'tekinden daha yüksek bir oranla yaklaşık %95 giderim sağlamıştır. Fekal ve toplam

koliformların ortalama genel giderimi ise yaklaşık %99'dur. Ortalama giderimlerde mevsimsel etki gözlenmemiş, hidrolik kalma süresi ve giriş bakteri sayılarından etkilenmiştir.

Alexandros ve diğ. (2016) yapay sulak alanlarda patojen giderim yolları ve verimlilik ile ilgili yaklaşık 40 adet çalışmayı incelediklerinde YSA'ların organik ve besin maddelerinin uzaklaştırılmasında çok etkili olmalarına rağmen, patojen gideriminin bu sistemlerde nadiren ana hedef olduğunu ancak mevcut deneyimlerin YSA'ların patojenlerin uzaklaştırılmasında %99'a varan uzaklaştırma oranlarıyla çok etkili olabileceğini gösterdiğini kaydetmişlerdir.

Alexandros (2019) ticari bir şirket için tasarlayıp işlettiği ve Şekil 4.3'de görülebilen tesiste yapay sulak alanlar ile paket arıtmaların faydalarını harmanlamış ve paket arıtma tesislerine benzer çelik tanklarda dolgu malzemesi, üstte sazlar ve tabanda yapay havalandırma ile küçük bir hacimde 40-75 kişinin evsel atıksuyunu 28 m² alanda 2 yıldır Umman Devleti yasal deşarj sınırlarına uygun şekilde arıtan yapay sulak alanlar çıkmıştır.



Şekil 4.3: Yenilikçi paket doğal arıtma tesisi (Stefenakis 2019)

Wang ve diğ. (2005), Çin genelinde büyük kentlerde arıtma yatırımlarının sürdürdüğünü ancak kırsal alan ve köylerde yüksek maliyetler (tasarım, işletme bakım) nedeniyle bilinen yöntemlerin büyük bir yük oluşturduğunu irdelemiş ve kırsal alan temininin daha kolay ve ucuz olduğu belirlenmiştir. Oksidasyon havuzu ve yapay sulak alanlardan oluşan sistemin uygun bir çözüm olduğunu doğrulamak için 740.000

kişilik evsel ve ilave olarak yaklaşık aynı miktarda sanayi atıksuyunun karışımının artırıldığı oksidasyon havuzu ve yapay sulak alan karışımı arıtma sistemi üzerinde çalışılmıştır. Sonuç olarak oksidasyon havuzları ve yapay sulak alan birleşik şekilde başarılı bir şekilde azot fosfor giderimini sağlamış azot gideriminde yapay sulak alanlar, fosfor gideriminde ise oksidasyon havuzları öne çıkmış ve Çin sulama suyu standartlarını karşılamıştır.

5. YÖNTEM

5.1 Denizli için Kentsel ve Kırsal Atıksu Hesapları

Denizli'deki yerleşimlerde oluşan atıksu debilerinin Denizli Arıtma Tesisleri Ana Planı için hesaplanmasında 20.03.2010 tarihli SKKY Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan ölçütler dikkate alınmıştır. 2035 ve 2050 yılları için kişi başı atıksu oluşumu değerleri ise, Büyük Menderes ve Burdur için yapılan Havza Koruma Eylem Planlarında 2010, 2020, 2030 ve 2040 yılı değerlerinin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Bu değerlere yeraltı suyundan atıksu toplama sistemine giren sızma debisi de eklenmiştir. Sızma debisi, yeraltı su seviyesi yüksekliğine, yerleşim yerinin yüzeysel su kütlesi kenarında olup olmamasına, zemin yapısına, içme suyu şebekesinde kaçak oranına ve kanalizasyon şebekesinin yaşına vb. bağlı olarak değişmektedir (MNE Mühendislik 2016). Denizli için kişi başı atıksu oluşumuyla ilgili tahminler Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Denizli'de kirlilik yükü oluşturabilecek başlıca sektörler belirlenmiş ve bazı birim üretim kabulleri yapılmıştır, buna göre; şarap: 1 ton üretim için 2,3 m³, süt: 1 ton üretim için 1,8 m³, meyve suyu: 1 ton üretim için 1 m³ atıksu oluşur. Her ilçe merkezi için bir adet mezbahane düşünülmüş ve bunun atıksu debisi endüstriyel debi olarak eklenmiştir (MNE Mühendislik 2016).

Tablo 5.1: Denizli ili kişi başı birim atıksu oluşumu değerleri (DESKİ Atıksu Arıtma Tesisleri Ana Planı, MNE 2016)

Birim Atıksu Oluşumu	Nüfus (Kişi)	Atıksu Oluşumu (l/kişi. gün)	Sızma Debisi (l/kişi. gün)	Toplam Debi (l/kişi. gün)
2015	2.000	80	35	115
	10.000	90	40	130
	50.000	100	45	145
2035	2.000	111	35	146
	10.000	128	40	168
	50.000	137	45	182
2050	2.000	135	35	170
	10.000	150	40	190
	50.000	160	45	205

5.2 Denizli İçin Kırsal ve Kentsel Atıksu Miktar ve Özellikleri

Denizli geneline bakıldığında %65 ile en büyük nüfus il merkezindeki iki büyük ilçededir. Bunun dışında 1159 km² alanda dağınmık vaziyette 17 adet ilçede düşük nüfuslu merkezler bulunmaktadır. İl merkezinde sanayi yoğunluğu yüksek olup, yeraltı suyu sızmaları da önemli miktardadır. Öngörülen atıksu debileri 2035 yılında yaklaşık 310.000 m³/gün, 2050 yılında ise 466.000 m³/gün'dür. Denizli'de bazı yerleşim alanlarındaki evsel atıksu kanalları atıksu ve yağmursuyu akımlarının her ikisini de taşımakta ancak yeni yapılan bütün projelerde ayırık sistem uygulanmaktadır.

İlçelerde sanayi yoğunluğu daha düşük düzeyde olup, bütünleşik atıksu yağmursuyu şebekeleri ile yeraltı suyu girişi ve hayvancılık, üzüm vb. kaynaklı kirleticilerin olduğu ilçeler de mevcuttur. Bazı ilçe ve köylerde atıksuyun içerdiği evsel olmayan yüklerin azaltılması yönünde çalışmalar gerekmektedir. Hali hazırda 623 mahalle / köy yerleşimi bulunmakta, bunların 279 adedine ana (merkezi) arıtma tesisleri, 344 adedine ise ayrı sistemlerle arıtım hizmeti verilmesi planlanmaktadır. 2050 yılında nüfusun 2000 kişiden az olacağı tahmin edilen mahalle yerleşim birimleri yaklaşık 470 adettir (MNE 2016). Evsel atıksular için özellikler sınıflandırıldığında Tablo 5.2'de görülebilen üç temel kirlilik düzeyi çıkmaktadır. Buna göre Merkez AAT için genel olarak atıksu orta-kuvvetli düzeydedir.

Tablo 5.2: Evsel atıksuyun özellikleri ve sınıflandırılması (Tchobanoglous ve diğ. 2000)

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam katı (TS)	mg/l	350	720	1200
Toplam çözünmüş Katı(TDS)	mg/l	250	500	850
Sabit	mg/l	145	300	525
Uçucu	mg/l	105	200	325
Askıda Katı (SS)	mg/l	100	220	350
Sabit	mg/l	20	55	75
Uçucu	mg/l	80	165	275
Çökebilir Katılar	mL/l	5	10	20
BOI ₅ (20°C)	mg/l	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/l	80	160	290
KOI	mg/l	250	500	1000
Azot (Toplam N olarak)	mg/l	20	40	85
Organik azot	mg/l	8	15	35
Serbest amonyum azotu	mg/l	12	25	50
Nitrit azotu	mg/l	0	0	0
Nitrat azotu	mg/l	0	0	0
Fosfor (Toplam Fosfor olarak)	mg/l	4	8	15
Organik	mg/l	1	3	5
İnorganik	mg/l	3	5	10
Klorürler	mg/l	30	50	100
Sülfat	mg/l	20	30	50
Alkalinite (CaCO ₃ olarak)	mg/l	50	100	200
Yağ-Gres	mg/l	50	100	150
Toplam Koliiform	no/100ml	10 ² -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Uçucu Organik Bileşikler (VOCs)	µg/l	<100	100-400	>400

Evsel atıksu niteliği ve niceliği tahmin edilebileceğinden, AAT arıtım başarımında en büyük değişkenlik merkezde endüstriyel, kırsalda hayvancılık deşarjlarının miktar ve özelliğinden meydana gelmektedir. KAAY’de (Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği) kanalizasyon şebekelerine giren atıksuyun 2000-10000 eşdeğer nüfus arasındaki toplama alanlarından tatlı sulara ve haliçlere yapılan deşarjlar ile 10000 E.N.’den fazla toplama alanlarından yapılan bütün deşarjların ikincil arıtma ya da eşdeğer bir arıtmaya tabi tutulması öngörülmektedir.

Denizli genelinde il, ilçe merkezi ve köylerde görülen atıksu giriş ve çıkış değerlerinin ortalama değerlerine ait örnek veriler Tablo 5.3’de sunulmaktadır. Tablo incelendiğinde Gözler AAT gibi kırsal tesislere evsel atıksu arıtma tesisi tasarımından çok farklı karakterde atıksu geldiği görülmektedir. İnceleme sırasında yerleşimdeki hayvancılık kaynaklı atıksuların çok fazla olduğu ve arıtma tesisine aşırı yük geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca yağmur suları da tesise gelmektedir. Atıksuyun içerdiği evsel atıksu dışındaki yüklerin azaltılması yönünde çalışmalar yapılmalıdır. Kırsal alanda yüksek KOİ, BOİ giriş değerlerine sahip tesislerin tasarımı gelen atıksu yükünü karşılayamamaktadır. Bu tesislerin, mevcut durum, debi ve kirlilik yönünden tekrar incelenerek iyileştirilmesi gerekir (MNE 2016). Bazı ilçe merkezlerinde şebekeden gelen atıksu yanında 7-12 m³ kapasiteli vidanjörler ile gelen evsel atıksu ve kırsal alandaki foseptikler ve paket arıtmalardan gelen fazla aktif çamur günde 10-15 adet seviyelerinde tesislere dökülmekte ve yükü artırmaktadır. Paket arıtmalarda ise atıksu foseptikten pompa ile alınıp paket arıtma tesisine alttan beslenmektedir. Bu durumlarda atıksuyun ızgaradan geçirilmesi mümkün olmamaktadır.

Tablo 5.3: Denizli genelinde kırsal ve kentsel atıksu özellikleri (DESKİ)

Su Kalite Parametreleri	ATIKSU ARITMA TESİSİ KARAKTERİSTİĞİ																							
	MERKEZ AAT		GÖZLER AAT		İNCELER AAT		ACIPAYAM AAT		YEŞLYUVA AAT		ESKİKOY PAKET AAT		DAYILAR PAKET AAT		KARATEKE PAKET AAT		ALIKURT DOĞAL AAT		PINARLIK DOĞAL AAT		NİKFER DOĞAL AAT			
	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar	Giriş	Çıkar		
pH	8	8,1	7,79	7,68	7,6	7,55	7,6	7,79	7,49	7,51	8,45	8,01	6,95	7,54	7,79	7,8	7,4	21,1	6,41	6,92	6,98	8,42		
AKM mg/l	455	15	322	133	226	13,2	152	8,34	95,7	12,1	227	104	89,3	19,7	190	17,2	165	21,1	213	57,8	193	46,2		
KOİ mg/l	707	73	1167	426	790	62,2	495	63,4	334	45,5	1838	452	309	40,9	418	73,2	606	77,5	1615	415	924	85		
BOİ mg/l	284	14	667	230	456	11,9	180	6,74	166	8,22	993	304	149	5	160	16,7	473	40,4	667	361		8		
TN	57	45	156	102	94	50,1	46,1	8,1	50	209	83,8	91,9	40,1	24,7	48		85,1	44,2	151	83,3		8,15		
TP	7,3	3,5	15,7	10,5	7,84	5,95	7,12	1,04	5,43	3,1	7,59	9,51	4,05	2,6	4,2		8,11	6,25	9,56	16,1		1,27		
EC (µS/cm)	1335	1285	1768	1518	1532	1210	872	792	862	737		929		951		1251	1151	938						

5.3 Denizli’de Mevcut Kırsal Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri

5.3.1 Mevcut Yapay Sulak Alanlar

2016 yılı itibari ile Denizli’deki farklı köylerde daha önceki dönemlerde Köy Hizmetleri, İl Özel İdaresi ve kapatılan belde belediyeleri tarafından yaptırılmış olan yaklaşık 20 adet doğal arıtma tesisi bulunmaktaydı. Bu tesisler ile ilgili yapılan ön inceleme ve durum değerlendirmeleri Tablo 5.4’de özetlenmiştir.

Tablo 5.4: Denizli’de mevcut yapay sulak alanlarla ilgili bilgiler (Göçmez ve diğ. 2017)

ADI	NÜFUS	Arıtma Tesisi Durumu	Plan / öncelik	Foseptik	Yatak malzemesi	YATAKLAR
Akalan	2.346	Paket arıtma yapılması uygundur	PAK			
Darıveren 2	1.527	Tesis çalışır vaziyettedir	4.	4 gözlü, Dere çakılı, 18*17 serbest yüzey akışlı 18*20 yüzey altı akışlı		
Darıveren 1		Tesis çalışır vaziyettedir, alan yetersizdir	6.	2 gözlü	Dere çakılı	22*50 yüzey altı akışlı
Dodurga	1.521	Tesis dere yatağına yapılmış ve taşkına maruz	PAK			
Yazır	1.609	Foseptiğe kanal bağlantısı yapılmamıştır	PAK	4 gözlü		
Yumrutaş	857	Revize edilip, devreye alınabilir	5.	4 gözlü Dere çakılı, 1. 20*25 Yüzey altı yatay akışlı 2. 20*25, 3. 20*30, 4. 20*30		
Baklan	2.466	İLBANK (SUKAP) tasarım hazır İlçe merkezi olduğundan doğal arıtmaya uygun değildir.	Betonarme			Yüzeyaltı yatay akışlı
Boğaziçi	571	Foseptik çalışmıyor, giriş kotu yüksek. Sistem girişine 4 gözlü foseptik yapılırsa sistem devreye sokulabilir.		2 gözlü		18*67 Yüzeyaltı yatay akışlı
Dağal	461	Foseptik kullanım dışıdır. 2 havuz var. Foseptik yeniden yapılırsa yataklar devreye sokulabilir.		yok	Mıçır 20*70, 20*70 Yüzeyaltı yatay akışlı	
Alikurt	649	Revize edilip, devreye alınabilir	1.	4 gözlü Dere çakılı, 60*20 Yüzeyaltı yatay akışlı		
Süller	2.860	Nüfusu yüksek ve debisi 10 l/sn civarındadır, paket arıtma tavsiye edilmektedir.	PAK	4 gözlü	43*32, 31*23, 29*23 Yüzeyaltı yatay akışlı	
İsabey 1	2.000	Mandıra suyu girdiği için yatakta taşlaşma, foseptik sifon yapısı devre dışı, doğal arıtma için uygun değil.	Betonarme		Mıçır, Yüzeyaltı yatay akışlı	
İsabey 2	1.160	Alan küçük ve yetersiz, çok yoğun şarap suyu girişi var, doğal arıtma için uygun değil			Mıçır, Yüzeyaltı yatay akışlı, serbest yüzeyli	
Alfaklar	196	Yataklar içerisinde ılgın bitkisi var. Yatak temizliği gerek. Çıkış baca kotu yanlış hesaplanmıştır. Giriş çıkış boruları temizlenip foseptiğin iyileştirilmesi gerekir.	7.	2 gözlü	Dere çakılı	50*15 Yüzeyaltı yatay akışlı
Karaköy	1.355			Yüzeyaltı yatay akışlı		
Duacılı	1.767	Foseptik mevcut, sanayi kirliliği girişi var, üç adet yatak kazılmış, çakıl serilmemiş, alan yetersiz	PAK			Malzeme serilmemiş
Karahisar	3.076	Nüfus yüksek, foseptik devre dışı, yataklar kazılmış, çakılsız	Betonar		Malzeme yok	Malzeme serilmemiş
Nikfer	2.492	Serbest su yüzeyli ve yüzey altı yatay akışlı bütünlüştür sistem oluşmuş. Çevre düzenlemesi yapılarak devreye sokulabilir.	3.	4 gözlü	Mıçır	Serbest Yüzeyli, Yüzeyaltı yatay akışlı
Pınarlık	353	Foseptiğe su gelmiyor. Su çıkışı mevcut değil. Giriş ve çıkış bacaları yapılacak. Kotlar düzenlenecek. Çevre ve yatak temizliği yapılacak. Gerekirse yatak içerisinde ripperle havalandırma yapılacak.	2.	4 gözlü	Dere çakılı	17*37 Yüzeyaltı yatay akışlı

Yapılan ilk incelemelerde bazı tesislerde foseptiklerin ön çöktürme işlemini sağlayacak şekilde (dalgıç perde eksikliği, göz sayıları eksikliği vb.) tasarlanıp imal edilmediği, foseptik ve sulak alan yatakları arasında bağlantı ya da geçiş olmadığı, bazı sifon yapılarının atıksu özelliği nedeniyle çalışmaz durumda olduğu görülmüştür. Yine foseptik hazneleri ve çakıl yataklar arasında kot hataları bulunabildiği, yataklarda yıkanmış dere çakılı yerine kırma taş (mıcır) kullanılabildiği, bunların iş makinaları ile sıkışmış durumda olabildiği, bazı yataklarda peynir altı suyu, yoğun üzüm suyu vb. kirlilik nedeniyle taşlaşma olduğu vb. durumlar görülmüştür. Yukarıda belirlenen ön tespitlerden sonra ilk vadede 5 adet doğal arıtma tesisi seçilerek iyileştirmeler sonrasında devreye alınmıştır. Seçilen tesisler (bkz. Tablo 5.4) öncelik sırasında işaretlenmiştir.

5.3.2 Mevcut Aktif Çamur Biyolojik Arıtma Tesisleri

Denizli’de kırsal alanda 2014 yılında yapılan ilk değerlendirmede daha önceki dönemlerde inşaatı ve kurulumu yapılan yaklaşık 19 adet paket arıtma tesisi tespit edilmiş ve bunların tamamının çalışmaz durumda olduğu belirlenmiştir. Bu tesisler içerisinde atıl vaziyette olan bir örnek Şekil 5.1’de görülmektedir.

İlgili dönemde tesislerin çalışmama nedenleri irdelendiğinde; muhtarlıklar ve belde belediyeleri tarafından ödenemeyen elektrik faturaları, kanalizasyon şebekelerine saman, çöp, hayvansal atıkların karışması, bakım ve onarım eksiklikleri, hırsızlık, yetersiz nitelikli personel gibi nedenler görülmüştür. İşletmesel açıdan ise; pompa arızaları, voltaj değişikliği ve kesintiler, taşlaşmış terfi hazneleri nedeniyle yetersiz çöktürme, ulaşılamayan terfi donanımı, sayaç arızaları sayılabilir. Bunun yanında sık yıldırım düşme olayları, hırsızlık, taşan terfi ve foseptik hazneleri nedeniyle tesis içinde ve yakınında oluşan gölet ve yoğun bitkiler, ayrıca güvenlik sorunları ve çelik sac aksamın çürümesi gibi durumlar kaydedilmiştir.

Tablo 5.5’de Denizli’de bulunan paket arıtma tesisleri ile ilgili durum değerlendirmesi, Tablo 5.6’da ise Denizli ilinde bulunan güncel arıtma tesislerinin genel dökümü bulunmaktadır.



Şekil 5.1: Atıl durumda kalmış bir paket biyolojik arıtma tesisinin görüntüsü (DESKİ, 2014)

Tablo 5.5: Denizli ilinde bulunan paket arıtma tesisleri durum değerlendirme tablosu (DESKİ, 2019)

Tesis Adı	Uzaktan İzleme	Nüfus	Kişi Başı lt/gün	Proje Debisi m ³ /gün	2017 ölçülen debi m ³ /gün	Atıksu Özellikleri	Foseptik (Kapasite, Göz Sayısı, Betonarme Özellikleri)	Tank (Kapasite, Difüzör, Korozyon ve Blower Özellikleri)	Tesis İhtiyaçları
Akçapınar	Var	300	80	24	52	Evsel Nitelikli Atıksu	Yetersiz	Yeterli	1-Giriş ızgara , 2-Foseptik gözündeki kapakların yenilenmesi, 3-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmeli, 4-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanmalıdır.
Korucuk	Yok	3000	150	450	165	Evsel Nitelikli Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Giriş ızgara , 2-Klor dozaj pompası , 3-Difüzör değişimi yapılmalıdır.
Zeytinayla	Yok	1800	120	216	0	Evsel Nitelikli Atıksu	Yetersiz	Yeterli	1-Tesis yolunun düzeltilmesi, 2-Tankların soğuktan etkilenmemesi için önlem alınması , 3-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir
Emirazizli	Var	500	80	40	79	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Foseptik gözündeki kapakların yenilenmesi , 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 3-Difüzör değişimi 4-Giriş ızgara , 5-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir.
Karateke	Var	1000	80	80	299	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Klor dozaj pompası, 2-Giriş ızgara , 3-Difüzör değişimi, 4-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 5-Foseptik gözündeki kapakların yenilenmesi 6-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir
Beydilli	Yok	750	200	150	98	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yeterli	Yeterli	1-Giriş ızgara , 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanmalıdır.
Çoğuşlı	Yok	500	80	40	47	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Giriş ızgara , 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 3-Difüzör değişimi, 4-Foseptik gözündeki kapakların yenilenmesi, 5-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir
Dayılar	Yok	300	200	60	48	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yeterli	1-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanmalıdır. 2-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir
Gömce	Yok	600	80	48	84	Evsel +Endüstriyel+Hayvansal Nitelikli Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Giriş ızgara , 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 3-Foseptik gözündeki kapakların yenilenmesi , 4-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir
Kavakköy	Yok	100	80	8	34	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Giriş ızgara , 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 3-Difüzör değişimi, 4-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir
Kavaklar	Yok	300	80	24	81	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Giriş ızgara , 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması , 3-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmeli, 4- Tank ekipmanları gerekli bakım ve onarım işlemleri yapılmalıdır.
Mahmutgazi	Var	500	80	40	83	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Giriş ızgara,temiz şebeke suyunun tesise sağlanması 2-Difüzör değişimi, 3-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir.
Çambaşı	Yok	500	200	100	78	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yeterli	1-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 2-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir
Hayriye	Var	200	80	16	51	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yetersiz	1-Giriş ızgara , 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 3-Difüzör değişimi 4-Foseptik hacmi ve göz sayısı tesis kapasitesine uygun hale getirilmelidir.
Gemiş	Var	2000	200	400	497	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yeterli	1-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanması, 2-Göl tesise girebilecek sızıntı sularını tespit edilmesi gerekmektedir.
Eskiköy	Yok	1000	200	200	192	Evsel +Hayvansal Nitelik Atıksu	Yetersiz	Yeterli	1-Giriş boru hattı değiştirilmesi 2-Temiz şebeke suyunun tesise sağlanmasıdır.

Tablo 5.6: Denizli ilinde bulunan güncel arıtma tesislerinin dökümü (DESKİ, 2023)

DENİZLİ İL GENELİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNE AİT VERİLER								
TESİS ADI	doğal	PROSES TİPİ	EŞDEĞER NÜFUS (Kişi)	TESİS KAPASİTESİ (m ³ /yıl)	2023 ARITILAN ATIKSU MİKTARI (m ³ /yıl)	KİŞİ BAŞI GÜNLÜK EVSEL ATIKSU OLUŞUM MİKTARI (lt/gün)	ORTALAMA ELEKTRİK TÜKETİMİ (kW/gün)	DEŞARJ YERİ
Acıpayam AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	26.800	1.312.540	1.825.000	100	2.001	DSİ Sulama Kanalı
Akköy AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	33.167	2.634.205	2.117.000	200	186	Büyük Menderes
Baklan AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	3.100	124.465	31.025	100	669	DSİ Kurutma Kanalı
Bekilli AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	5.000	182.500	229.950	125	350	Ören Deresi
Bozkurt AAT	Betonarme	Biyolojik	7.028	182.500	292.000	150	346	Emir Çayı
Çameli AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	4.600	182.500	248.200	100	305	DSİ Kurutma Kanalı
Çardak AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	5.000	182.500	237.250	125	716	Erkeç Deresi
Çivril AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	26.000	990.975	1.022.000	100	521	Büyük Menderes Nehri
Gözler AAT	Betonarme	Biyolojik	4.500	164250	Debimetre yok	100	12	DSİ Kurutma Kanalı
Gümüşsu AAT	Betonarme	Biyolojik	2.500	77.380	54.750	150	369	Büyük Menderes Nehri
İnceler AAT	Betonarme	Biyolojik	3.000	219.000	Debimetre yok	150	274	Kurutma Kanalı
Kale AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	13.000	547.500	292.000	180	1.072	Kayki Deresi
Merkez AAT	Betonarme	Biyolojik	378.353	41.975.000	33.580.000	200	28.902	Çürüksu Deresi
Sarayköy AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	23.300	1.220.195	1.131.500	140	1.238	DSİ Sulama Kanalı
Serinhisar AAT	Betonarme	Biyolojik	12.420	472.310	474.500	100	1.326	DSİ Kurutma Kanalı
Tavas AAT	Betonarme	İleri Biyolojik	18.500	1.145.005	839.500	160	213	Büyük Menderes
Yeşilyuva AAT	Betonarme	Biyolojik	7.500	328.500	273.750	125	537	Kurutma Kanalı
Akçapınar PAAT	Paket	Biyolojik	300	8760	Debimetre yok	80	0	DSİ Kurutma Kanalı
Altınova PAAT	Paket	Biyolojik	1.200	35040	Debimetre yok	80	49	DSİ Kurutma Kanalı
Beydilli PAAT	Paket	Biyolojik	750	54.750	Debimetre yok	200	83	Işıklı Gölü
Beylerbeyi PAAT	Paket	Biyolojik	800	23.360	Debimetre yok	80	95	Kızıdere
Bölmekaya PAAT	Paket	Biyolojik	600	17.520	Debimetre yok	80	64	DSİ Kurutma Kanalı
Çalköy PAAT	Paket	Biyolojik	600	17520	Debimetre yok	80	53	Kurudere
Çambaşı PAAT	Paket	Biyolojik	500	36.500	Debimetre yok	200	78	Emir Çayı
Çoğuş PAAT	Paket	Biyolojik	500	14.600	Debimetre yok	80	90	Kurutma Kanalı
Dayılar PAAT	Paket	Biyolojik	300	21.900	Debimetre yok	200	33	DSİ Kurutma Kanalı
Emirazizli PAAT	Paket	Biyolojik	500	14600	Debimetre yok	80	27	DSİ Kurutma Kanalı
Eskiköy PAAT	Paket	Biyolojik	1.000	36.500	Debimetre yok	200	62	Akçay Deresi
Garıpköy PAAT	Paket	Biyolojik	1.895	83001	Debimetre yok	150	79	Kurudere
Gemiş PAAT	Paket	Biyolojik	2.000	146.000	Debimetre yok	200	148	DSİ Kurutma Kanalı
Gömce PAAT	Paket	Biyolojik	600	17.520	Debimetre yok	80	32	Kurutma Kanalı

Tablo 5.6: Denizli ilinde bulunan güncel arıtma tesislerinin dökümü (DESKİ, 2023) (devam)

TESİS ADI	doğal	PROSES TİPİ	EŞDEĞER NÜFUS (Kişi)	TESİS KAPASİTESİ (m ³ /yıl)	2023 ARITILAN ATIKSU MİKTARI (m ³ /yıl)	KİŞİ BAŞI GÜNLÜK EVSEL ATIKSU OLUŞUM MİKTARI (lt/gün)	ORTALAMA ELEKTRİK TÜKETİMİ (kW/gün)	DEŞARJ YERİ
Hayriye PAAT	Paket	Biyolojik	200	5.840	Debimetre yok	80	28	DSİ Kurutma Kanalı
Horasanlı PAAT	Paket	Biyolojik	1.000	29200	Debimetre yok	80	44	DSİ Kurutma Kanalı
Karateke PAAT	Paket	Biyolojik	1.000	29200	Debimetre yok	80	104	DSİ Kurutma Kanalı
Kavakköy PAAT	Paket	Biyolojik	100	2.920	Debimetre yok	80	1	DSİ Kurutma Kanalı
Kavaklar PAAT	Paket	Biyolojik	300	8.760	Debimetre yok	80	7	DSİ Kurutma Kanalı
Koruçuk PAAT	Paket	Biyolojik	3.000	87600	Debimetre yok	80	0	Büyük Menderes
Köke PAAT	Paket	Biyolojik	400	11.680	Debimetre yok	80	69	Dalaman Çayı
Köprübaşı-Sazak PAAT	Paket	Biyolojik	1.200	35.040	Debimetre yok	80	67	Kurudere
Mahmutgazi PAAT	Paket	Biyolojik	500	14.600	Debimetre yok	80	84	DSİ Kurutma Kanalı
Oğuz PAAT	Paket	Biyolojik	600	17.520	Debimetre yok	80	46	Kurudere
Ovacık PAAT	Paket	Biyolojik	400	11680	Debimetre yok	80	51	Kurudere
Zeytinayla PAAT	Paket	Biyolojik	1.800	78840	Debimetre yok	120	403	DSİ Kurutma Kanalı
Ahıkurt DAAT	Doğal	Biyolojik	1.000	36.500	Debimetre yok	100	0	Kuru Dere
Balkıca DAAT	Doğal	Biyolojik	850	54.604	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Beylerli DAAT	Doğal	Biyolojik	750	48.180	Debimetre yok	176	0	DSİ Kurutma Kanalı
Buldan DAAT	Doğal	Biyolojik	12.400	796.430	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Dağal DAAT	Doğal	Biyolojik	500	32.120	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Dağmarmara DAAT	Doğal	Biyolojik	300	19.272	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Darveren 1 DAAT	Doğal	Biyolojik	1.000	36.500	Debimetre yok	100	0	Kuru Dere
Darveren 2 DAAT	Doğal	Biyolojik	1.000	36.500	Debimetre yok	100	0	Kuru Dere
Duacılı DAAT	Doğal	Biyolojik	2.000	128.480	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Hasköy DAAT	Doğal	Biyolojik	550	35.332	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Hırka-Baharlar DAAT	Doğal	Biyolojik	1.000	64.240	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Karataş DAAT	Doğal	Biyolojik	170	10.921	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Kutlubey DAAT	Doğal	Biyolojik	650	41.756	Debimetre yok	176	0	Kuru Dere
Nikfer DAAT	Doğal	Biyolojik	2.371	313900	Debimetre yok	200	0	Kuru Dere
Pınarlık DAAT	Doğal	Biyolojik	500	18250	Debimetre yok	100	0	Kuru Dere
Söğüt DAAT	Doğal	Biyolojik	1.000	64.240	Debimetre yok	176	0	Değirmen Deresi
Yazır DAAT	Doğal	Biyolojik	1.500	96360	Debimetre yok	176	0	Kurudere
Yumrutaş DAAT	Doğal	Biyolojik	1.000	36.500	Debimetre yok	100	0	Kuru Dere
TOPLAM				54.671.861	42.648.425			

2017 yılında tamamlanan DESKİ Arıtma Tesisleri Ana Planı'nda paket arıtma tesislerinin tamamının yetersiz kapasitede olduğu belirlenmiştir. Yine paket arıtmalar ile ilgili yapılan çalışmada işletmeci mühendisler tarafından DESKİ (2019) alttaki öneriler kaydedilmiştir.

- PAK tesislerinin verimli olarak işletilebilmesi ve verimli işgücü yönetimi için GSM bağlantılı uzaktan izlemenin kurulması,

- Çelik tanklarda korozyon neticesinde boya ve metal aksamda yıpranmaların yaygınlığı nedeniyle onarım ve yenileme ihtiyacı,
- Betonarme foseptik havuzlarında yıpranmaların onarımı ve kapasite artışı için yenileme,
- Yapısal özellikleri açısından girişine ızgara yapımına uygun olmayan paket arıtmalarda iyileştirmeler yapılarak uygun hale getirilmesi,
- Foseptikte bulunan beton kapakların, hazne içinin temizliği ve ergonomi açısından kullanışlı şekilde hafif kapaklarla değiştirilmesi,
- Tesislerde İSG açısından temiz su hattı bulunması,
- Atıksuya doğrudan temaslı metal aksamlarda A304 ya da A316 paslanmaz çelik seçimi
- Foseptik ve tankların düzenli olarak vidanjör ile temizlenememesi dip kısımlarda taşlaşmış çamur tabakalaşmaları nedeniyle etkin çöktürme hacimlerinin azalmasına neden olmaktadır, düzenli yapısal temizlik ihtiyacı bulunmaktadır,
- Paket arıtmada görev alacak personelin ağır ve tehlikeli iş koşullarına uyum sağlayabilecek kişiler olması ve elektrik, mekanik, otomasyon, proses ve temel işçilik gibi konularda nitelikli olması tercih edilmelidir.
- Paket arıtma tesisleri bulunduğu yerdeki çevresel, iklimsel özelliklere uygun olarak tasarlanması (dağ köyleri, donma, aşırı yağış, toprak kayması vb.)

Şüphesiz ki bu öneriler ilk yatırım ve işletme için yapay sulak alanlara göre çok daha fazla ek maliyetler doğurmaktadır. 2023 yılı için üstte anılan bütün tesislere ait arıtılan atıksu miktarı yaklaşık 42.650.000 m³/yıl, arıtma tesislerinde yapılan düzenli bakım ve arıza onarım adedi ise 490 olarak gerçekleşmiştir.

Bu tezin hazırlığında birden çok alanda çalışmalar gerçekleştirilmiş olup bu alanların herbiri için ayrı ya da ortak olarak alttaki malzeme, araç, veri topluluğu ve yöntemler kullanılmıştır. Bunlar takip eden maddelerde sıralanmaktadır.

5.4 Denizli İli'nde Seçilen Mevcut Doğal Arıtma ve Paket Biyolojik Arıtmanın Karşılaştırılması

Bu çalışma için Denizli'de kırsal alanda hâlihazırda işletilmekte olan bir yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alan ile bu tesise benzer bir nüfus, debi ve kirlilik yüküne sahip bir köydeki ardışık kesikli biyolojik aktif çamur paket arıtma tesisi seçilmiştir. Bu iki farklı türdeki tesis; giriş çıkış kirlilik yükleri, arıtma verimi, ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, çevresel etkiler açısından karşılaştırılmaktadır. Altta, ayrıntılı karşılaştırması yapılan tesislerin teknik özellikleri verilmektedir.

Paket arıtmalarda düzenli olarak yapılan temizlik ve bakım işlemlerine ait örnek resimler Şekil 5.2'de sunulmaktadır.



Şekil 5.2: Denizli'deki paket biyolojik arıtma tesislerine ait bakım ve temizlik işlemlerinden görüntüler

5.4.1 Alikurt Doğal Atıksu Arıtma Tesisi

Bu tesis Denizli İli Bozkurt İlçesi'nde yer alan Alikurt Köyü'nde bulunmaktadır. Proje alanının nüfusu 649 kişi, günlük debi: 100 m³/gün'dür. Projede kişi başı evsel atıksu oluşumu 100 l/gün olarak alınmıştır. Tesis ilk olarak 2000'li yılların başında Mülga Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü tarafından tasarlanıp imal

edilmiştir. Tesise gelen ham atıksu özelliği evsel atıksu ve kısmi hayvancılık atıksularından oluşmaktadır. Tesis özelliği yüzeyaltı yatay akışlı yapay sulak alandır. Coğrafi konum: 37° 50' 06.67'' K - 29° 27' 14.61'' D olup, yatak malzemesi yıkanmış dere çakılıdır. Yatak boyutu: 20*60 m olup zemininde sıkıştırılmış kil bulunmaktadır. Foseptik haznesi 4 gözlü betonarmeden imal edilmiştir. Deşarj kuru dereye yapılmaktadır. Tesisin uydu görüntüsü Şekil 5.3'de, üstten çekilen fotoğrafı ise Şekil 5.4'de sunulmaktadır.



Şekil 5.3: Alikurt Doğal Arıtma Tesisi uydu görüntüsü

Bozkurt Alikurt Mahallesi yapay sulak alan tasarım ölçütleri: Nüfus 630 Kişi, toplam atıksu miktarı, (Q) 37,8 m³/gün, kişi başına debi (Q) 60 l/kişi.gün, BOİ₅ (giriş) 230 mg/l, BOİ₅ (çıkış) 30 mg/l, bitki: *Phragmites australis*, alıkonma süresi (t') 5,88 gün, eğim (S) %0,3, kök derinliği (d) 0,70 m, foseptik yapısı 4 gözlü olup eşdeğer nüfus olarak 1000 kişiliktir. 2000 yılı başında inşaatı yapılan bu tesisin havadan görünümü Şekil 5.4'de sunulmaktadır. Alikurt köyünde insan yoğunluğu 12,93 kişi/km²'dir.



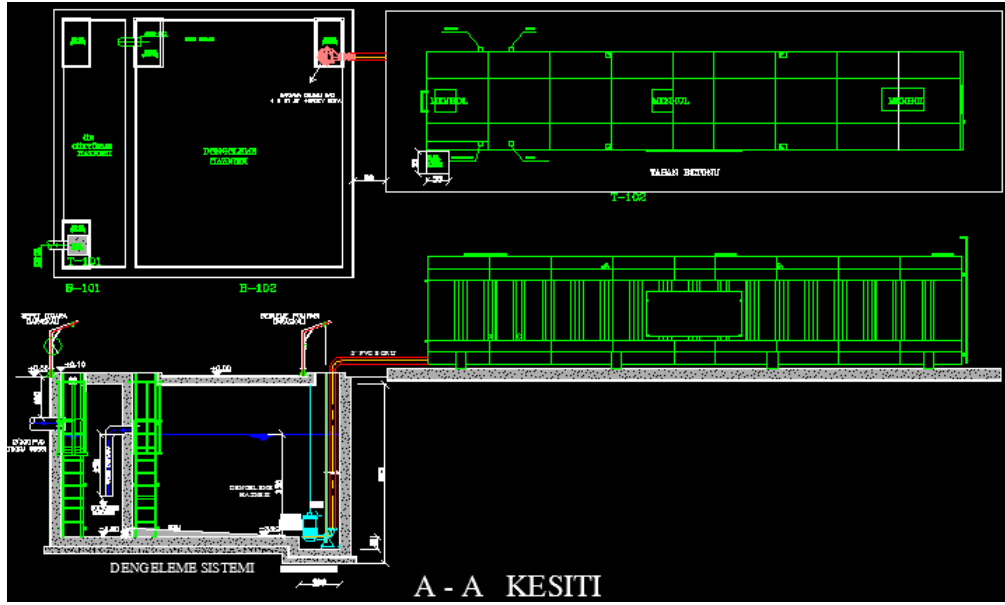
Şekil 5.4: Denizli Alikurt Doğal Arıtma Tesisi havadan görünüm (2021)

5.4.2 Garipköy Paket Atıksu Arıtma Tesisi

Proje alanı Denizli İli Tavas ilçesinde bulunmaktadır. 2017’de inşa edilmiştir. Nüfus: 719 kişi (2021), atıksu debisi 100 m³/gün, 1 yedek tesis ile 200 m³/gün kapasitedir. Projede kişi başı evsel atıksu oluşumu 100l/gün olarak alınmıştır. Atıksu özelliği: evsel atıksu ve kısmi hayvancılık atıksularından oluşmaktadır. Tesis özelliği ardışık kesikli uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemidir. Çelikten yapılmış, epoksi boya ile boyanmıştır. Arıtma tank boyutu: 250x1200x300cm olup öncesinde 4 gözlü betonarme foseptik bulunmaktadır, 150 l/kişi.gün, 1895 kişi eşdeğer kişi kabulüne göre tasarlanmıştır. Şekil 5.5’te Garipköy tesisine ait görseller bulunmaktadır. Garipköy’de nüfus yoğunluğu 20,76 kişi/km²’dir. Deşarj kuru dereye yapılmaktadır. Enerji tüketimi 79 kw/gün’dür. Şekil 5.6’da mimari görünüş ve kesit detayı görülmektedir.



Şekil 5.5: Denizli Tavas Garipköy Paket Atıksu Arıtma Tesisi resmi ve kesit görüntüsü



Şekil 5.6: Denizli’de mevcut paket arıtmalara ait örnek mimari görünüş ve kesit

5.5 Pilot Yapay Sulak Alan Çalışması

5.5.1 Cilalama Amaçlı Yapay Sulak Alan

Tez döneminde yaklaşık üç yıldır işletilen ve Denizli Eskihisar Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularında iyileştirme (cilalama) amaçlı kurulan pilot tesisin hiçbir işletme aksaklığı olmadan çalıştığı görülmüştür. Belirli zamanlarda debi ayarlamasındaki güçlük nedeniyle bekleme sürelerinin kısalabildiği buna rağmen genel olarak literatüre uygun giderme verimi ve birden çok parametrede nihai iyileştirme sağlandığı gözlenmiştir.

Tesis çıkışına betonarme olarak kurulan 3000*1000*900mm boyutlu bu serbest yüzeyli pilot yatak, çok düşük bir yatırım ve sifıra yakın işletme gideri ile çıkış suyunda hatırı sayılır iyileştirme gerçekleştirmiştir. Bu son pilot tesiste toplam azot için ortalama %20 giderim elde edilmiştir. Hazırlanan pilot tesisin daha farklı türde işletme denemeleri başlangıçta 2020 sonbahar aylarında gerçekleştirilmiş; saz, kamış, kofa ve su sümbülü bitkileri karışık olarak dikilmiş ancak Şekil 5.7’de görülebileceği gibi mevsimsel uygunsuzluk nedeniyle (*juncus* vb.) tüm bitkiler sönmüştür.



Şekil 5.7: Denizli Merkez AAT cilalama amaçlı SY YSA pilot tesisi, başarısız bitki dikimi

Yapılan ikinci denemede ise 2021 yılı Mart Nisan ayları boyunca yakındaki araziden alınan *Phragmites australis* bitkisinin tek tür olarak dikimi yapılmış ve Şekil 5.8’de görülebileceği şekilde başarılı, sık yoğunluklu bir gelişim oluşmuştur.



Şekil 5.8: Denizli Merkez AAT cilalama amaçlı SY YSA pilot tesisi, *Phragmites australis* bitkileri

5.5.2 Üç Türde Yapay Sulak Alan Pilot Tesisi

Denizli Merkez Atıksu Arıtma Tesisi çıkışında önceden yapılan cilalama amaçlı pilot tesise ek olarak Şekil 5.9’da görülen alana 3 ayrı havuzdan oluşan bir pilot tesis oluşturulmuştur. Bu tesiste ön arıtmadan geçirilmiş atıksu ile beslenen yapay sulak alanlar; yüzeyaltı dikey akışlı, yüzeyaltı yatay akışlı ve serbest yüzeyli olarak tasarlanmış ve sonuçlar 12 ay boyunca kaydedilmiş ve değerlendirilmiştir.



Şekil 5.9: Denizli Merkez AAT içerisinde yeni pilot sulak alanlarının kurulduğu alan

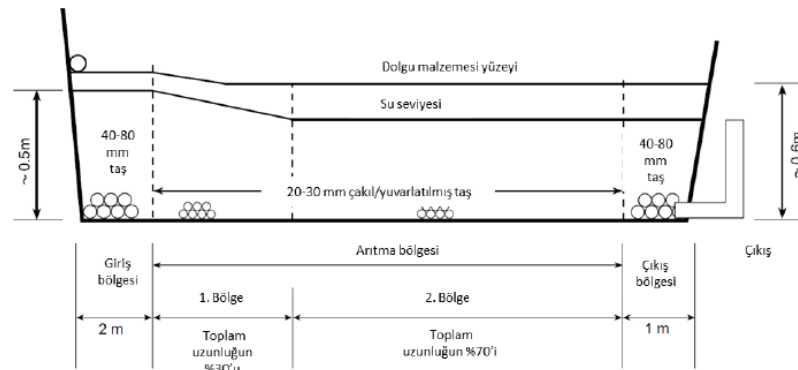
Söz konusu pilot tesis için seçilen alan Denizli Eskişehir Atıksu Arıtma Tesisi son etap ön çöktürme havuzu tahliye kanalı yanındadır. 12 ay boyunca ham atıksu, ön çöktürme işleminden çıkan atıksu ile üç tür yapay sulak çıkışında alınacak numuneler analiz edilmiş ve giderim bitkilendirme de sağlanarak sürekli izlenmiştir. Yine üç tür pilot havuzun iki adedinde Denizli kırsalı için yeni tasarlanan ve gerçek ölçekte uygulanmayan dikey akışlı yüzeyaltı ve serbest yüzeyli türlerin başarı düzeyi ile ilgili olarak veri oluşturulmuştur.

Şekil 5.10’da görüleceği üzere; pilot tesis kurulum çalışmaları sırasında yer olarak ön çöktürme havuzları son çıkış noktası seçilmiş, 3 adet çelik- poliüretan kaplamalı tank (1600*600*500mm) temin edilmiş, giriş çıkış borulamaları yapılmış ve sızdırmazlık için yalıtım ve testleri yapılmıştır.



Şekil 5.10: Pilot deneme için kullanılacak çelik tankların yalıtım testleri

Pilot tesisin kurulumu öncesinde proje hesap raporları hazırlanmış, bu esnada birden çok tasarım rehberinden faydalanılmıştır. Bu rehberler TÜBİTAK Yapay Sulak Alanlar El Kitabı, Ayaz ve diğ. (2011), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2000 Kişilik Tip YSA Proje Raporu, Atıksu Arıtma Yapılarının Projelendirilmesi, Samsunlu (2010), Atıksu Mühendisliği Kitabı, Öztürk ve diğ. (2017), Göçmez ve diğ. (2010), Birleşmiş Milletler, İnsan Yerleşimleri Programı, Yapay Sulak Alan Rehberi olarak sıralanabilir. Pilot tesis proje hesap rapor çizelgesi Tablo 5.7’de yer almaktadır. Pilot tesisin yapımı öncesinde pompa ve PVC, PE tesisat malzemesi, vanalar, esnek hortum, elektrik bağlantısı, santrifüj pompa, *Phragmites australis* bitkileri ile 15-25-35mm yıkanmış dere çakılı (Dalaman Sondaj çakılı) temin edilmiştir. İşletme süresi boyunca ön çöktürme havuzlarından sürekli olarak gerçek ölçekli santrifüj pompa ile alınan taze atıksuda üç ayrı tür için deneme yapılmıştır. Pilot havuzların tasarımında örnek alınan ölçütler Şekil 5.11’de ve yatak malzemesi serilmesi, bitkilendirme gibi uygulama basamaklarının resimleri Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.11: YSA tasarımı için örnek ölçütler (Öztürk ve diğ. 2017)



Şekil 5.12: Pilot havuzlar ve yatak malzemesi serilmesi, bitkilendirme gibi basamakların resimleri

Şekil 5.13'te üçlü deneme havuzlarındaki ilk bitki gelişimi incelenebilmektedir.



Şekil 5.13: İlk dikimden 3 ay sonra bitkilerin sağlıklı gelişimi ve alınan numunelerin görsel incelemesi

Tablo 5.7: Pilot tesis proje hesap raporu çizelgesi TÜBİTAK YSA El Kitabı, Ayaz ve diğ. (2011), ÇŞB 2000 Kişilik Tip YSA Proje Raporu, Atıksu Arıtma Yapılarının Projelendirilmesi, Samsunlu (2010), Atıksu Mühendisliği Kitabı, Öztürk ve diğ. (2017), Göçmez ve diğ. (2011), DESKİ (2022)

Yapay Sulak Alanlar El Kitabı, ÇŞB 2000 Kişilik Tip Proje Raporu Ve Atıksu Arıtma Yapılarının Projelendirilmesi Kitabındaki Metot			
Parametre	Formül	Değer	Notlar ve Uyarılar
Eşdeğer Nüfus N (kişi)		0,139	
Bitki Yatağı Giriş BO ₅ Değeri, C ₀ (mg/l)		173,54	2019 yılı ön çökeltim çıkış ortalaması
Bitki Yatağı Çıkış BO ₅ Değeri C _E (mg/l)		40	
Ortalama Debi, Q _{ort} (l/sa)		2,00	
Ortalama Debi, Q _{ort} (m ³ /gün)		0,05	
Minimum Atıksu Sıcaklığı, T (°C)		14,70	2019 yılı Ocak, Şubat, Mart ortalama verisi
Havuz Eğimi, S		0,006	% 1-5 (Tip Proje Raporu)
Su Derinliği, d (m)		0,40	
Porozite, α		0,50	Havuz ölçüleri: 0.72x1.57x0.59, 0.62x1.52x0.47 0.61x1.67x0.47
Hidrolik İletkenlik ks (m ³ /m ² -gün)		8000	
20 °C Sıcaklığa bağlı 1. derece hız sabiti, K ₂₀ (gün ⁻¹)		0,86	
Yatak Sayısı, n		1,00	
T °C Sıcaklığa bağlı 1. derece hız sabiti, K _T (gün ⁻¹)	$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}$	0,52	
Atıksuyun Çakıl Boşluklarında Bekleme Süresi, t' (gün)	$t' = - \ln (C_E / C_0) / KT$	2,83	< 4 Uygun Değil
Eğimler İhmal Edildiğinde Sabit Su Seviyesinde Alan İhtiyacı (m ²)	$A_{\text{eğimihmal}} = (Q_{\text{ort}}/n) \times t' / d$	0,68	
kS x S		48,00	6,8<Uygun değil
Enkesit Alanı, A _c (m ²)	$A_c = (Q_{\text{ort}}/n) / (kS \times S)$	0,0010	
Hesaplanan Havuz Genişliği, W (m)	$W = A_c / d$	0,0025	
Seçilen Havuz Genişliği, W (m)		0,61	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
Hesaplanan Havuz Uzunluğu, L (m)	$L = t' \times (Q/n) / W \times d \times \alpha$	1,11	L≤100 m
Seçilen Havuz Uzunluğu, L (m)		1,67	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
L/W oranı		2,74	L/W = 0,5 veya L/W ≥ 3/1
Ortalama Derinlik (m)		0,405	
Seçilen Ölçülerde Bekleme Süresi, t (gün)		4,30	4 ≤ t' ≤ 15,Uygun
Gerekli Yüzey Alanı, A _s (m ²)	$A_s = L \times W$	1,02	
Hidrolik Yük, L _w (m ³ /ha-gün)	$LW = Q / A_s$	471,19	140 ≤L _w ≤ 500,Uygun
Özgül Alan İhtiyacı, ASP (ha-gün/1000 m ³)	$ASP = 1 / LW$	2,12	2,1 ≤ ASP ≤ 6,9,Uygun
BO ₅ Yükleme Hızı (kg/ha-gün)	BO ₅ Yük. Hızı =BO ₅ Yüğü/Alan	81,77	66,5>Uygun değil
Kişi Başı Alan İhtiyacı (m ² /N)	$KBA\acute{I} = \text{Alan} / \text{Nüfus}$	7,34	5 ≤Uygun

Tablo 5.7 (Devam): Pilot tesis proje hesap raporu çizelgesi TÜBİTAK YSA El Kitabı, Ayaz ve diğ. (2011), ÇŞB 2000 Kişilik Tip YSA Proje Raporu, Atıksu Arıtma Yapılarının Projelendirilmesi, Samsunlu (2010), Atıksu Mühendisliği Kitabı, Öztürk ve diğ. (2017), Göçmez ve diğ.(2011), DESKİ (2022)

Göçmez ve diğ. (2011)			
Parametre	Formül	Değer	Notlar ve Uyarılar
Nüfus, N (kişi)		0,13883	
Giriş BO ₅ Değeri, C ₀ (mg/l)		173,54	
Kişi Başı Alan İhtiyacı, KBAİ (m ² /N)		7,34	Göçmez ve diğ.(2011) tarafından tavsiye edilen alan ihtiyacı 1,5 m ² /N
Ortalama Debi, Q _{ort} (m ³ /gün)		0,05	
Havuz Eğimi, S		0,01	% 1-5 (Tip Proje Raporu)
Su Derinliği, d (m)		0,40	Göçmez ve diğ.(2011) tarafından tavsiye edilen yatak yüksekliği 0,6 m
Porozite, α		0,50	
Yatak Sayısı, n		1,00	
Gerekli Yüzey Alanı, A _s (m ²)	$AS = N \times KBAİ / n$	1,02	
Atıksuyun Çakıl Boşluklarında Bekleme Süresi, t' (gün)	$t' = \frac{AS \times d \times \alpha}{(Q/n)}$	4,24	4 ≤ t' ≤ 15, Uygun
L/W oranı		2,74	L/W = 0,5 veya L/W ≥ 3/1
Hesaplanan Havuz Genişliği, W (m)		0,61	
Seçilen Havuz Genişliği, W (m)		0,61	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
Hesaplanan Havuz Uzunluğu, L (m)		1,67	L ≤ 100 m
Seçilen Havuz Uzunluğu, L (m)		1,67	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
Seçilen Yüzey Alanı, A _s (m ²)	$AS = L \times W$	1,02	
Hidrolik Yük, L _w (m ³ /ha-gün)	$LW = Q / AS$	471,19	140 ≤ L _w ≤ 500, Uygun
Özgül Alan İhtiyacı, ASP (ha-gün/1000 m ³)	$ASP = 1 / LW$	2,12	2,1 ≤ ASP ≤ 6,9, Uygun
BO ₅ Yükleme Hızı (kg/ha-gün)	BO ₅ Yük. Hızı = BO ₅ Yüğü/Alan	81,77	66,5 > Uygun değil
ATIKSU MÜHENDİSLİĞİ KİTABINDAKİ METOTLA ALAN İHTİYACI HESABI			
Parametre	Formül	Değer	Notlar ve Uyarılar
Nüfus, N (kişi)		0,13883	
Giriş BO ₅ Değeri, C ₀ , BO ₁ (mg/l)		173,54	
Giriş AKM Değeri, C ₀ , AKM (mg/l)		131,44	
Ortalama Debi, Q _{ort} (m ³ /gün)		0,05	
Maksimum BO ₅ Yüğü (g/m ² .gün)		6,00	
Maksimum AKM Yüğü (g/m ² .gün)		20,00	
BO ₅ Giderimi İçin Minimum Alan İhtiyacı, A _{BO1} (m ²)		1,39	
AKM Giderimi İçin Minimum Alan İhtiyacı, A _{AKM} (m ²)		0,32	
Seçilen Alan (m ²)		1,39	
Kişi Başı Alan İhtiyacı (m ² /N)	$KBAİ = Alan/Nüfus$	10,00	5 ≤ Uygun

5.6 Mevcut Yapay Sulak Alanların Durumu ve Yapılan İyileştirmeler

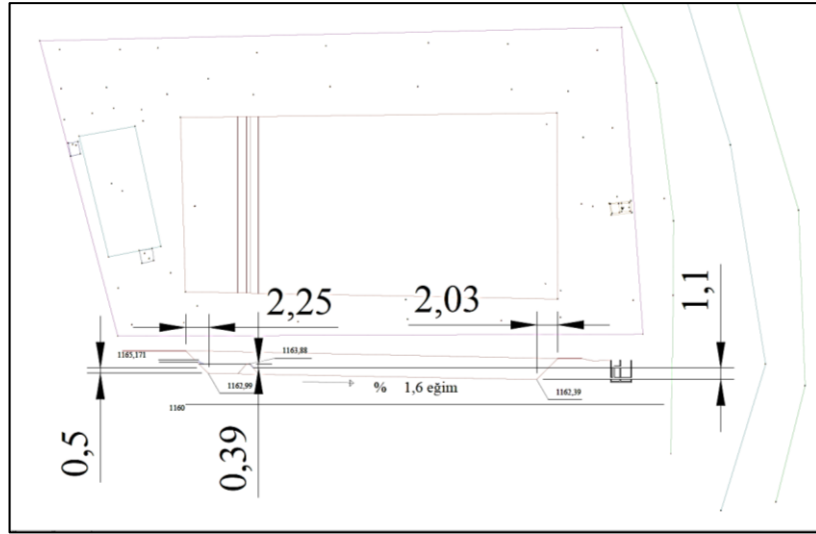
Mevcut yapay sulak alanlarda arıtma süreçleri açısından sonuçlar, arıza ve işletme verileri ile birlikte, geçmişte en sık karşılaşılan sorunlar irdelenmiştir. Başlangıçta il genelinde tespit edilen 19 tesisten seçilen 4 adedinde elde edilen veriler değerlendirilmiştir. En kolay işletme, en az gözetim, fosseptik bakımlarının sayısının azaltılması, tıkanma sorunlarının en düşüğe indirilmesi, kişi başına en uygun alan miktarı seçimi, hayvancılık kaynaklı kirlilik yüklerinin çözümlenmesi gibi durumlar için tasarım, geliştirme, ürün gerçekleştirme (ISO 9001) ve yenileme imalat gereklilikleri belirlenmiştir. Yapılan iyileştirmeler; Alikurt, Nikfer, Pınarlık, Darıveren 1 doğal arıtma tesislerinde olmuştur. Bu iyileştirme ve düzeltmeler 2022-2023 ve 2024 yıllarında yapılan yeni doğal arıtma tesisi tasarımlarına yansıtılmıştır.

5.6.1 Pınarlık Doğal Arıtma Tesisi

Pınarlık Doğal Arıtma tesisi düşük nüfusa (400 kişi) karşı yaklaşık 90 ayrı noktada büyükbaş ve küçükbaş besiciliği yapılan bir köyde yer alan bir yapay sulak alandır. Tesis kişi başı 100 l/gün atıksu kabulü ile 500 kişilik olarak 17*34 m yüzeyaltı yatay akışlı olarak tasarlanmıştır. Bu yapay sulak alanın deşarjı önce kuru dereye sonrasında Tavas Yenidere Baraj gölüne erişmektedir. Bu tesiste hayvancılık kaynaklı yüksek kirlilik yükü ve sınırlı bir alana sahip yüzeyaltı yatay akışlı çakıl yatakta gelişmeler izlenmiş ve tasarımda iyileştirme ayrıntıları irdelenmiştir. Arıtma verimi açısından bulgular Tablo 6.22'de görülebilir. Hayvancılık ve mandıra kaynaklı giriş atıksuyunun görsel özellikleri ise Şekil 5.14'de incelenebilir. Bu tesiste yoğun hayvancılık yükü ve alan yetersizliği nedeniyle öncelikle 2021 yılında serbest yüzeyli ön çöktürme alanı Şekil 5.15'deki gibi tasarlanarak uygulanmış, yine Şekil 5.16'da görülebileceği gibi yeni borulama ve kazılarla sahada imal edilmiştir. Bunun sonrasında ilerleyen yıllarda yüzeyaltı yatay akışlı yatak içindeki çakıl malzeme uzaklaştırılarak serbest yüzeyli sulak alan yöntemine geçilmiştir, bu tür bir uygulama ise Amerika'da hayvancılık atıksuları için inşa edilen yapay sulak alanlar için önerilen tek yöntemdir (EPA 1997). Mevcut tesiste serbest yüzeyli ön çöktürme haznesi Şekil 5.17'de görülen şekilde 3 yıl sonra paletli kepçelerle temizlenmiştir.



Şekil 5.14: Evsel atıksu arıtımı amaçlı yapılan Pınarlık YSA'na gelen hayvan gübresi ve mandıra kaynaklı atıksu girişi (Akyürek 2024)



Şekil 5.15: Pınarlık YSA için geliştirilen serbest yüzeyli ön çöktürme alanı tasarımı (DESKİ 2021)



Şekil 5.16: Pınarlık YSA'da 2021 yılında yapılan serbest yüzeyle ön çöktürme ve geçiş düzenlemeleri



Şekil 5.17: İlerleyen dönemde ön çöktürme haznesi temizliği

5.6.2 Alikurt Doğal Arıtma Tesisi

Alikurt Doğal Arıtma Tesisi yaklaşık 25 yıllık bir tesis olup, 2000 yılı başlarından bu yana işletilmektedir. 2016 yılında ilk yenileme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde yapılan ayrıntılı çalışmalar aşağıda belirtilmektedir;

Tesis çevresi ve içerisinde bulunan yabancı bitkiler ilaçlanmış ve bir kısmı mekanik temizlik yapılarak tesisten uzaklaştırılmıştır. Foseptik yapısı temizlenmiş, fosseptik ile tesis arasındaki bağlantı, giriş ve çıkış dağıtım boruları değiştirilmiş, çıkış bacası yeniden tasarlanıp imal edilmiştir, fosseptik kapaklarının yerine kapakları ile birlikte beton konik bacalar konulmuştur. Tesis civarından temin edilen kamış (*Phragmites australis*) bitkisi yatak içerisine rizomlar halinde dikilerek bitkilendirme yapılmıştır. Tesis çevresindeki tel örgü, beton direk ve kapılar yenilenerek boyanmıştır. Dalgıç perdelerin düzgün çalışmaması nedeniyle fosseptik çıkışına (tesis giriş rögarına) kaba parçacıkları tutabilmek amacıyla kaba ızgara imal edilerek montaj yapılmıştır, tesis şevlerinde bulunan bitkiler temizlenmiş ve şevleri düzeltmek amacıyla kaba kum malzemesi serilerek üzeri polietilen naylon kaplanmış, şevlere çim taşı döşenmiştir. Aralık 2016 itibari ile tesis işletmeye alınmış, bu tarihten itibaren tesiste oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Göçmez ve diğ. 2018).

Zaman içerisinde fosseptik ile yatak arasındaki borularda, dağıtım yapısında ve çakıl yatakta tıkanmalar oluşmaya başlamıştır. 2018 yılında bitkiler ile ilgili yetersiz gelişim Şekil 5.18'de sunulmaktadır. 2019 yılına gelindiğinde Şekil 5.19'da görülebilen yatakta kısmen tıkanmalar ve yüzeysel akış söz konusudur, ayrıca aylık olarak yapılan saha gözlemlerinde birden çok kez by-pass durumu ile karşılaşmıştır. Bu gözlemlerden yola çıkılarak 2021 yılında tesis girişinde serbest yüzeyli bir ön çöktürme alanı oluşturulmuş ve giriş dağıtım yapısı iptal edilmiş fosseptik ile yüzey altı yatay akışlı yatak arasındaki bağlantı çapı büyütülerek geçiş kolaylaştırılmıştır. Yapılan bu düzenlemeler sonrasında elde edilen sonuçlar ve gözlemler "Bulgular" kısmında yer almaktadır.



Şekil 5.18: Alikurt Doğal Arıtma Tesisinde 2018 yılı bitkilerde ilk gelişimler



Şekil 5.19: 2019 yılı kısmi bitkilenme, yüzeysel akış ve kuru alanlar

5.6.3 Nikfer Doğal Arıtma Tesisi

Nikfer Doğal Arıtma Tesisi yaklaşık 2500 eşdeğer nüfus için kişi başı 200 l/gün kapasite ile tasarlanmıştır. Serbest yüzeyli bir yatak ile sonrasında yüzeyaltı yatay akışlı bir yatak ve devamında birden çok sayıda serbest yüzeyli hendek ya da kanallardan oluşmaktadır. Nikfer Havzası kapalı bir havza olup, Şekil 5.20’de görüleceği gibi yerleşim alanından gelen atıksuların ve yağmursuların uzaklaştırılabileceği daha düşük kotlu bir bölge bulunmamaktadır. Hali hazırda uzun seneler öncesi oluşturulan doğal arıtma alanı hemen hemen en düşük kotta imal edilmiş ve çıkış suyu ancak en yakın tepenin eteğinde kazılan haznede buharlaştırılmaya

çalışılmaktadır. Tesis çıkışından daha önce alınan numunelerde, atıksuyun Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ölçütlerine uygun şekilde arıtılmış olduğu görülmüştür. Yine önceki senelerde tesis ziyaret edildiğinde koku ve sineğe hiç rastlanmamıştır.



Şekil 5.20: Nikfer kapalı havzası ile arıtma tesisinin konumu

Bu tesiste karşılaşılan sorun, yağışlı dönemlerde gelen atıksu miktarlarındaki artış ve buharlaşmanın azalması nedeniyle hem iletim hattı hem de ana haznelerde taşmalar oluşmasıdır. Şekil 5.21’de görüleceği gibi giriş hazneleri ve diğer alanlarda ayrıca ulaşım yollarındaki atıksu hattı bacalarında taşmalar ve ayrıca çakıl yatakta yüzey üstüne çıkış söz konusudur.

Şekil 5.22’de görülen ve yetersiz kalan ilk hazne sonrasında arıtılmış suların depolandığı cilalama ve buharlaşma amaçlı yeni bir yatak yapılmış bununla birlikte arıtılmış su kalitesinin yeterliliği ilçe Tarım Müdürlüğü ve çiftçiler ile paylaşıldıktan sonra tarımsal faaliyette kullanılmaktadır. Bu şekilde kapalı havza nedeniyle oluşan taşma ve geri dönme sorunlarına çare üretilmiştir. Tamamen susuz tarım yapılan Nikfer Ovası’nda ilk defa sulu tarım yapılmaktadır. Üretilen ay çekirdeği ve mısırlarda yüksek verim söz konusudur. Yapılan iyileştirmeler ile foseptik, serbest yüzeyli ve yüzey altı yatay akışlı yataklar arası geçişler Şekil 5.23’de görüldüğü şekilde kolaylaştırılmıştır.



Şekil 5.21: Nikfer YSA alan içi ve nihai yatak hattında taşmalar



Şekil 5.22: Nikfer YSA ilk nihai depolama haznesi



Şekil 5.23: Serbest yüzeyli, yüzeyaltı akışlı yatak ve depolama hazneleri arasında iyileştirmeler, ek yatak kazısı

5.6.4 Darıveren 1 Doğal Arıtma Tesisi

Darıveren Doğal Arıtma Tesisi 2012 yılında kişi başı 100 l/gün tüketim kabulü ile 1000 kişilik olarak tasarlanıp imal edilmiştir. Arıtılmış sular kuru dere vasıtası ile Dalaman Çayı'na iletilmektedir. Yetersiz birim alan ve çakıl yatakta tıkanma sonrası Şekil 5.24'de görülen şekilde yüzeye taşma ve arıtma değerlerinde bozulma görülen Darıveren 1 YSA tesisi için, çıkış su kalitesinin düşük olması ve kapasite yetersizliği nedeniyle 2016 yılında yapılan ilk değerlendirmede tesisin kısa vadede revize edilmemesi öngörülmüştür. Sonrasında yatağa geçişin kolaylaştırılması ve serbest yüzeyli akışın hızlanması sonrası tesiste olumlu değişiklikler kaydedilmiştir.



Şekil 5.24: Darıveren 1 YSA'da yatakta tıkanma, yüzeyel akış başlangıcı, bitki oluşmaması

5.6.5 Karahisar Doğal Arıtma Tesisi

Bu tesiste foseptik kullanılmadan çamur ön çöktürme haznesi ve yüzeyaltı akış yerine serbest yüzeyli 4 ana yatak ve dere yatağının iyileştirme amaçlı kullanılması şeklindeki uygulamanın sonuçları gözlenmektedir. Şekil 5.25'de görülebilen yataklardan her birinde *Phragmites australis*, *Typha*, *Juncus* ve diğer türlerde farklı bitkiler kendiliğinden yerleşmiştir. Bu tesiste arıtılmış sular foseptiğin kullanılmaması, haznelerde çakıl serilmesi söz konusu olmadığı halde sulama göletine dere vasıtası ile erişen su kalitesi Tablo 5.8'de görüleceği gibi deşarj limitlerini sağlayacak seviyededir.



Şekil 5.25: Karahisar doğal arıtma tesisinin serbest yüzeyli ön çöktürme ve yatakları ile gölete erişim

Tablo 5.8: Karahisar serbest yüzeyli YSA analiz sonuçları

Gösterge	Giriş	Çıkış	Giderim % *(%60 yasal şart)
AKM (mg/l)	135	18	86,67
KOİ (mg/l)	570	95	83,33
BOİ ₅ (mg/l)	347	43	87,61
pH	7,2	7,6	-
TN (mg/l)	109	83,2	23,67
TP (mg/l)	9,6	8,6	10,42

5.7 Yeni Tasarlanan Yapay Sulak Alanlar

Tablo 5.9’da yeni planlanan ve tasarım, yapımı öngörülen YSA’lar sıralanmaktadır. Hazırlık çalışmalarında ihtiyaç analizi, planlama, tasarım, yer seçimi, yasal izinler, zemin etüdü, kamulaştırma, kazı, dolgu, çakıl serimi borulama, su alımı, bitki dikimi gibi birçok basamak yer almaktadır.

Tablo 5.9: Denizli’de yapılacak yeni YSA süreç takip çizelgesi

Mahalle	Tasarıma Esas Nüfus	Yer Seçimi ile ilgili Açıklamalar	Değerlendirmeler	İnşaat Sürecine İlişkin Notlar
Alfaklar	300	Eski atıl doğal arıtma tesisi arazisinde proje çözülmüştür.	* Atıl doğal AAT mevcuttur *3 adet deşarj mevcuttur. Büyük debili deşarj atıl doğal AAT’ ye akıyor. Deşarjın bir tanesi Çal-Akkent yolu üzerindeki köprünün yanında, diğeri benzinliğin deşarjıdır.	İnşaatı devam etmektedir.
Dağmarmara	300	132/92 PN Orman arazisinin bir kısmına proje çözülmüştür.	Arazi elverişsiz, çok taşlı ve kayalık Kamulaştırmada Sorun çıkmaz ise doğal arıtma uygun. İnşaat esnasında zeminin aşırı geçiren olduğu tespit edilmiş olup proje başlatılmıştır. *Atıksu yeraltına sızdığından dolayı bir su seviyesi oluşmamaktadır. Doğal arıtma bitkisi dikildiğinde bitki kökleri suyla temas etmediğinden dolayı yaşamayacaktır.	
Belevi		2 deşarj var. Suyun çoğunluğu 1 nolu deşarjda mevcuttur. 2 nolu deşarjda debi düşük Doğal AAT yapımı için uygun arazi yok ve yolun kenarı.		
Sırıklı	550	* Mevcut fosseptiğin mülkiyeti Bekilli Belediyesi’ndedir. *DESKİ mülkiyetinde 103/56 PN 3710 m2 AAT arazisi mevcuttur. *Zemin geçirgen olduğu için fosseptikten taşan su taş dolu sızdırma hendecinde sızdırılacaktır.	Fosseptiğin yanına açılan lagünden 1 seneyi aşkındır su taşmıyor. Killi, kırmızı geçirimsiz toprak mevcuttur. Kırmızı toprağın arasındaki çakıllı tabakalardan atıksu sızabilir. İnşaat başlanabilir.	
Poyrazlı	300	*2 adet yanyana fosseptik mevcut, muhtemelen atıksu küçük olandan çıkıyor büyük olana giriyor. Büyük olandan yola atıksu taşıyor. *Zeminin geçirgen olduğu değerlendirilmektedir. İlk adım olarak fosseptikten taşan su taş dolu sızdırma hendecinde sızdırılacaktır. *Sızdırma işleminin yetersizliği durumunda yapay sulak alan inşa edilecektir.		İnşaat başlanabilir.
Çanköy		101/60 nolu parselin 2076 m2’si (Orman arazisi)		
Kutlubey		Fosseptiğin bulunduğu 104/64 PN Maliye Hazinesidir. Sırıklı ve Poyrazlı modeli uygulanacaktır.	İnşaatı devam etmektedir. Kazı işlemi tamamlanmış olup çakıl serilecektir.	
Deşdemir			*Killi kırmızı geçirimsiz toprak mevcuttur. Kırmızı toprağın arasındaki çakıllı tabakalardan atıksu sızabilir.	
Karabedirler	1.000	*1796 m ² (0/2688), 2178 m ² (0/2687) ve 4550 m ² (0/2686) olmak üzere toplam 8.524 m ² alana proje çözüldü.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.	
Kocayaka	750	*Çivril Bel. ait fosseptik arazisi olan 250/60 nolu parsel(1727,42 m2) ile 250/44(1727,42 m2) , 250/61(1727,42 m2), 250/62(1727,42 m2) nolu parsellere proje çözülmüştür.		Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.
Çataloba	300	*20.000 m ² yüzölçümlü 0 ada 577 no.lu Mera Parselinin 3.850 m ² lik kısmına proje çözüldü.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.	
Dağal	500	*193/6 PN 4571 m2 DESKİ mülkiyetindeki atıl doğal aat arazisine proje çözülmüştür.	*Mevcut fosseptik sifonlu girişten dolayı kullanılabilir durumda değildir.	İnşaat devam etmektedir.
Boğaziçi	550	*0/2608 PN 3360 m2 atıl doğal aat arazisi mevcuttur.	*Mevcut fosseptik sifonlu girişten dolayı kullanılabilir durumda değildir.	
Hançalar		*Doğal AAT yapmak için kotu uygun bir arazi bulunamamıştır. *Hançalar/Kuzey 135/119 PN 11.819.72 m2 arazi DESKİ mülkiyetindedir. *Arazi ziyaretinde Doğal AAT için uygun arazi bulunamamıştır, Dron ile alım yapılarak uygun bir arazi irdelenecektir.		
Avdan	500	* 203/52 PN 3317 m ² * 203/53 PN 3147,56 m ²	* Civarından dere çakılı temini kolay. DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.
Söğüt	1.000	*24.701,30 m ² yüzölçümlü 117 ada 152 no.lu Parselin 12.104,00 m ² lik kısmı ile 50.315,09 m ² yüzölçümlü 118 ada 175 no.lu Parselin 8.628,00 m ² lik kısmına projesi çözülmüştür. Mevcut fosseptik dere yatağının içerisinde. * Fosseptiğin değerlendirilebilmesi için Doğal AAT dere yatağına yapılmalıdır. * Yağmur suları için doğal AAT’nin kenarlarına kuşaklama kanalı açılmalıdır. DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN. Nihai durum: Çakıl serilmesine devam ediliyor.		
Beylerli	750	* Parsel üçgen, yerleşim için uygunsuz. * 16 nolu parselin bir kısmı Beylerli Gölü YGHS sınırına girdiğinden(projesine bakınız)dolayı kullanılamayacak. * Beylerli 271/15 PN 1467 m2 + 271/16 PN 1285 m2 Toplam 2752 m2 arazi kamulaştırılmıştır. *Alan yetersizliğinden dolayı 270/13 nolu parselinde kamulaştırılmasında vatandaş rızası alınmadığı için 270/11 nolu parselde vatandaşın muafakatname alınmış kamulaştırma süreci devam etmektedir. DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN.		İnşaat devam etmektedir.
Karahüyük Avasarı	750	*2850 m ² (0/997), 3000 m ² (0/991) ve 550 m ² (0/996) olmak üzere toplam 6.400 m ² alana proje çözüldü.		Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.
Yüreğil	500	183/71, 183/72 ve 183/73 nolu parseller Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.		
Dodurga	1.500	* Doğal aat raporunda dere yatağında bulunduğundan yeri uygun bulunmamıştır. Taşkın riskini giderecek tedbirlerle alan değerlendirilebilir. *3 deşarj noktasıda bu noktada toplanabilir. kollektör imalatı Doğal AAT imalatından yüksek olacağı kabul edilmeyecektir *Alıcı ortam mevcut. İşletmeler Dairesi ile yapılan görüşmelerde atıl doğal aatın karşısında içme suyu kuyusu bulunduğu, atıksu deşarjlarından dolayı kuyunun kullanım izinlerinin zor alındığı ifade edilmiştir. 3 adet deşarj var. Deşarjın birinde fosseptik ve yaklaşık 3000 m2 lik atıl doğal aat mevcut		
Kalınkoz	1.500	* 2 adet fosseptik yeri DESKİ Mülkiyetinde * Kalınkoz 349/1 117,09 m2 + 147/19 325,29 m2 Toplam 442,38 m2 -Mahallete 3 adet fosseptik mevcut,1 adet ileride yapılacak.1 adette alıcı ortama direk deşarj noktası bulunmaktadır. -1 nolu fosseptik(besihane yanı) N2050 = 394 kişi, Qmak 0,729 l/sn (%17,2) için 500 kişilik tip proje. Fosseptikten çıkan sular tarlaların arasında arıklardan muhtemelen alıcı ortama gitmektedir. Herhangi bir araziye taşma gözlenmemiştir. Fosseptiğe muhtemelen yeraltı suyu girdiği için çıkan su oldukça temiz. Fiziksel olarak doğal AAT yapımına uygun. -2 nolu (villaların arkası) fosseptik N2050 = 103 kişi, Qmak 0,191 l/sn (%4,5) için 100 kişilik tip proje. Fosseptikten çıkan sular tarlaların arasında arıklardan muhtemelen alıcı ortama gitmektedir. Herhangi bir araziye taşma gözlenmemiştir. Fosseptikten çıkan suların debisi çok düşük olduğundan Doğal AAT yapmaya değmeyecektir.600 m mesafede alt kotunda Kalınkoz 170 nolu içme suyu kuyusu mevcuttur. -3 nolu fosseptik (dere üstü) N2050 = 181 kişi, Qmak 0.334 l/sn (%7,8) için 250 kişilik tip proje. Fosseptikten taşan sular fosseptiğin yüzeyinde biriktirmektedir. Herhangi bir araziye taşma gözlenmemiştir.150 m mesafede alt kotunda Kalınkoz 170 nolu içme suyu kuyusu mevcut. -Alıcı ortama direk deşarj edilen nokta N2050 = 1419 kişi nüfus Qmak 2.627 l/sn (%62) debiye göre tasarlanmış 1500 kişilik paket arıtma öngörülmüştür. 5 tali kollektör bileşerek 2 ana kollektöre düşerek farklı yönlerden söz konusu noktaya girmektedir. Nokta arazide en düşük kottadır. Doğal AAT yapılabilmesi için 2 ana kollektörün daha üst bir kotta birleşmesi gerekmektedir.		

Tablo 5.9: Denizli’de yapılacak yeni YSA süreç takip çizelgesi (devam)

Mahalle	Tasarıma Esas Nüfus	Yer Seçimi ile ilgili Açıklamalar	Değerlendirmeler	İnşaat Sürecine İlişkin Notlar
Kelekçi	1.500	Kelekçi 0/4339 1900 m2 DESKİ mülkiyetindedir.	DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN	
Yazır	1.500	Acıpayam Belediyesine ait 253/7 7688m ² fosseptikli atıl doğal aat arazisine Serbest yüzeyli sulak alan (ÇAKILSIZ doğal AAT) projesi çözülmüştür.	DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN. Kazi işlemleri bitmiştir. Şu anda havuza bitki dikimi öncesi tav suyu olarak atıksu verilmektedir. Tüm havuz islandıktan sonra atıksu girişi geçici olarak kesilerek bitki dikimi yapılacaktır.	
Gümüş	500	İçinde fosseptik bulunan Acıpayam Belediyesine ait 115/21 PN 4267 m2 arazi ile 115/20 PN 6453 m2 lik vatandaş parselinin yaklaşık 2700 m2 lik kısmına proje çözüldü.115/20 PN araziye ifraz uygulanacaktır.	DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN. Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.	
Ebecik	500	*114/9 PN 26.052 m ² arazi ifraz edilerek yapılabilir. *m ² fiyatlarıTL civarındadır	DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN.	
Baharlar	1.000	Fosseptiğin bulunduğu 126/17 (15.246 m2) nolu kamu parselinin tahsisi DESKİ’dedir.	*Kanalizasyon şebekesini DESKİ yapmıştır. *Doğal AAT projesi Hırka Mahallesi ile beraber 1000 kişilik olarak çözülmüştür. *Baharlar kanalizasyon şebekesinin Hırka şebekesine bağlantı projesine devam ediliyor. *Ekim ayında mevcutta dikili tütünün kaldırılmasına müteakip inşaata hazır hale gelecektir.	Havuz kazıları yapılmış olup kollektör ve deşarj hatlarının imalatı devam ediyor.
Balkıca	850	Tavas Belediyesine ait 164/11 PN 14.930,84 m2 projesi çözülmüştür.		Tel örgüleri çekiliyor. İnşaata başlanabilir.
Bahçeköy	300	157/3 ve 157/4 (Fosseptiğin bulunduğu 430 m2’lik kısmı) no’lu parseller kamulaştırılacaktır.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.	
Yorga	1.000	227/16 nolu parcel kamulaştırılacak, 227/17, 227/18 ve 227/19 nolu parsellerde irtifak hakkı kurulacaktır.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.	
Çağırğan	1.000	* 103/6(4640. 7 m2) *103/7(1955. 72 m2) *103/8(2263. 31 m2) *103/9(1292.65 m2) *103/10(4363.52 m2) toplam 14.515.9 m ² alana proje çözülmüştür.	* Doğal Arıtmanın deşarjı dere bağlantısı olmayan bir kurutma kanalına verilecek. Özellikle kış aylarında kanaldan taşmalar gözlenebilir. * Proje sonucu deşarj kotu arıtmanın civarında kurtarmadığı için kotu kurtarmak için yaklaşık 275 m deşarj hattı çekmek gerekmektedir.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.
Avdan	750	* 0/2920 300 m ² Fos. Yeri + 0/499 1274 m ² Fos. Yeri Maliye Hazinesi *1630 (4225,00 m ²), 1631(1375,00 m ²),1632(1425,00 m ²),1633(1725,00 m ²) ve 1635 (6835 m ²) nolu parsellere, toplam 15.585 m ² alana proje çözülmüştür.	* 3 adet deşarj noktası var, 2 adet fosseptik mevcut. * 2920 nolu parselde yer alan fosseptik için alıcı ortamı bulunmamaktadır, Sızdırma seçeneği irdelelenmiştir. * 499 nolu parselde yer alan fosseptik mahallenin içinde yer aldığı için civarına arıtma yapmak rahatsızlık yaratacağı ve alıcım ortam sıkıntısı mevcuttur. * 3.çıkış Doğal AAT için elverişli, Alıcı ortam mevcut. 3 alternatifli proje çözülmüş olup hangisinin uygulanacağı değerlendirilmektedir.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.
Ulukent	1.000			
Gümüşdere	500	* 0/2185(900 m2) *0/2186(1050 m2) *0/2188(3175 m2)	* Mevcut fosseptiği değerlendirmek için yüksek miktarda kazi ihtiyacı bulunmaktadır. * Zemin muhtemel taşlık.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.
Tekkeköy	500	0/1275 PN (6200 m2) Şemsiye Proje kapsamında betonarme AAT yapmak için kamulaştırılmış olup, Doğal Arıtma Uygunluğu doğrultusunda bu parcel kullanılacaktır	DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN. En son yapılacaklardan	
Kızılcıca			En son yapılacaklardan	
Aydoğdu	550		En son yapılacaklardan	
Derinkuyu	500	* Mevcut deşarj hattı üzerinde baca bulunmadığı için akar kotlar mevcut değildir. Proje akar kot mevcut zeminin 1.5 m altı olarak kabul edilerek hazırlanmıştır. Projenin onayına müteakip boruların üstleri sıyrılarak akat kotlar tespit edilecek, proje gerçek kotlara göre revize edilecektir. *Mevcut deşarj hattının kotunun kurtarması durumunda 228 m deşarj hattı imal edilerek mevcut hatta bağlantı gerçekleştirilecektir. *Mevcut deşarj hattının kotunun kurtarmaması durumunda kurutma kanalına kadar 390 m yeni deşarj hattı çekilecektir. * Mevcutta deşarj, Çağırğan Doğal AAT’nin deşarjının geçileştirileceği kurutma kanalına verilmektedir. Özellikle kış aylarında kanaldan taşmalar gözlenebilir. Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.		
Karaköy	750	*Fosseptiğin bulunduğu 171/2 (7364,40 m2) nolu kamu parselinin tahsisi DESKİ’dedir. *Çözülen taslak projede 171/2 nolu parcel yeterli gelmemiştir. Yan parseli olan Kale Belediyesi ve Mera ortak mülkiyetindeki parselin yaklaşık 1272,512 m2 si kullanılacaktır. *Fosseptik bulunmayan 2 deşarj Doğal AAT yapımına uygun değildir.		
Karataş	250	*0/208 PN 9600 m2 Sarayköy Belediyesi’ne ait parselin 2500 m ² ’si ifraz edilecektir. *m ² fiyatları TL civarındadır, Tahsis işlemleri devam etmekle beraber Sarayköy Belediyesinden sözlü izin alınmıştır.		
Karakıran	250	*0/733 nolu 20.547 m ² Mera arazisinin 2.306 m ² ’si ifraz edilecektir. İlaveten aynı arazi içinde telle çevrili 800 m2 fosseptik arazisinin tahsisi alınacaktır. *m ² fiyatlarıTL civarındadır.		Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaata başlanabilir.
Hasköy	550	DSİ’ye ait olan 0/342, 0/339 PN arazilerin bir kısmı ile bu araziler arasındaki kadastral boşluğa proje çözülmüştür.	Doğal AAT projesi çözülmüştür. Mevcutta arazilerde pamuk ekili olduğu için pamuğun toplanmasına müteakip imalata başlanabilir.	
Sarıabat	1.500		DOĞAL ARITMA İÇİN UYGUN. En son yapılacaklardan	

Tablo 5.9: Denizli’de yapılacak yeni YSA süreç takip çizelgesi (devam)

Duacılı	2.000	Mevcut doğal aat revize edilecektir. Doğal AAT arazisi kadastral boşluk olarak görülmektedir. Mülkiyetinin nereye ait olduğu araştırılmaktadır.	* Atıl doğal aat mevcut, revize edilebilir. Duacılı Mahallesi atıksularının Sarayköy AAT'ye bağlanmasının irdelenmesi, bağlantının mümkün olmaması durumunda Doğal Arıtma projesinin tekrar değerlendirilebileceğini ifade edilmiştir. *Sadece mevcut atıl doğal aat revize edilecektir.	Bitkilendirme işleminden sonra inşaatı tamamlanacaktır.
Derbent	250	Mahallenin güneydoğusundaki foseptik için 573/1 PN ya da 573/2 PN ya da 573/3 nolu parselin ifrazı değerlendirilmektedir.	Mahallenin kuzeydoğusundaki foseptik sel riski, arıtma yapacak düz arazilerin düşük kotlarda yer alması ve kotu düşürdüğümüzde meydana gelecek alıcı ortam sıkıntılarından dolayı doğal arıtma yapmaya uygun değildir.	
Bekirler		2 deşarj var. Suyun çoğunluğu güney tarafındaki 1 nolu deşarjda mevcut. Topografyadan dolayı 1 nolu deşarja doğal aat yapma imkanı yoktur. Kuzey tarafındaki deşarja doğal aat yapılabilir.		
Buldan/Merkez	12400	*973/1 Orman arazisinde bulunan eski kum ocağı * Geçmişte üst kattaki kollektörün döktüğü derenin yatağı, Buldan Belediyesinin yapmış olduğu toplu konutlardan alınan koku şikâyetlerinden dolayı değiştirilmiş ve uzaklaştırılmış. Yapılan Doğal AAT söz konusu konutlarla kuş uçuşu 220 m'dir. Kokuyla ilgili tereddütler bulunmaktadır.		İnşaat devam etmektedir.
Aşağıçeşme	250	*113/51 PN 8108 m ² Vatandaş arazisi ile 113/68 PN Orman arazisi ifraz edilerek yapılabilir. *m2 fiyatları 15-20 TL civarındadır		Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaat başlanabilir.
Ertuğrul	250	*175/2 Maliye hazinesinin bir kısmına arıtma projesi çözüldü.	* Fosseptiğin altı vadi, Doğal AAT için elverişli değil, Mahalle vadinin hemen üzerinde olduğu için farklı bir alan seçme imkanı yoktur.	Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaat başlanabilir.
Kerimler	300	*101/136 7.399 m2 vatandaş arazisine arıtma projesi çözüldü. Deşarj noktası yok.		Kamulaştırma/Tahsis alınması sürecinin tamamlanmasına müteakip inşaat başlanabilir.
Uzunpınar		*Kanalizasyon şebekesininin bir kısmını DESKİ yapmıştır. * Mevcutta 1 adet fosseptil 1 adette atıl betonarme AAT mevcuttur. Foseptik düzenli çekilmektedir. Atıl AAT'ye atıksu girmeden direk alıcı ortama deşarj edilmektedir. Deşarjın alt kotlarındaki alabalık çiftliklerine zarar verildiği ifade edilmektedir.		

5.8 Analitik Yöntem

Bu çalışmada hem gerçek ölçekli doğal arıtmalar, hem de paket arıtma tesisinin giriş ve çıkış yapılarından ayrıca pilot yapay sulak alanlardan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliğinde belirtildiği şekilde numuneler alınmıştır. Alınan anlık ve kompozit su numuneleri uygun şartlarda ve en kısa zamanda DESKİ Denizli Merkez Atıksu Arıtma Tesisi laboratuvarı ve DENÇEV Laboratuvarı'na getirilerek APHA-AWWA-WPCF (1995), Standart Metotlara göre aşağıdaki analizler yapılmıştır.

5.8.1 Askıda Katı Madde (AKM)

Askıda katı maddeler Standart Metotlara (APPA-AWWA, 1992) doğrultusunda tayin edilmiştir. AKM belirli miktardaki atıksu örneğinin filtreden geçirilerek 103-105 °C'de bir saat boyunca kurutulup daha sonra yarım saat soğutulularak tartılması ile saptanmıştır. Hassas terazide belirlenen boş filtre kâğıdının dara ağırlığı kurutulmuş miktardan çıkarılmış ve numune hacmine bölünmüştür.

5.8.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Çözünebilir kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), kapalı geri akış (reflux) yöntemi kullanılarak kolorimetrik olarak ölçülmüştür (APHA, AWWA 1992). Numuneler öncelikle 7000 devirde 10 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Ardından 2,5ml hacmindeki numuneler 1,5ml 10216 mg/l potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$), 33,3 g/L civasülfat ($HgSO_4$), 3,5 ml 18M H_2SO_4 (%0,55 (w/w) gümüş sülfat (Ag_2SO_4) içeren) ile işlem görmüştür. Üçüncü aşamada ağzı kapatılan numune tüpleri 148 °C ısıtıcıda iki saat süreyle bekletilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numuneler son olarak numuneler spektrofotometre ile 600 nm’de ölçülmüştür.

5.8.3 Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅): Standart Metot- 5210’a göre, uygun cihaz ile (WTW OXI TOP IS12) 20°C’de 5 günde saptanmıştır. 5 günlük biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacının %80’i olarak esas alınmış ve numunelerde seyreltme gerçekleştirilmiştir. BOİ kaplarına atıksu numunesi ve inkübasyon boyunca karışım için manyetik balıklar konulmuştur.

5.8.4 Toplam Azot (TN)

Toplam azot tayini Standart Metot-4500- Norg. B Makro Kjeldahl metodu ile gerçekleştirilmiştir.

5.8.5 Toplam Fosfor (TP)

Toplam Fosfor Standart Metot-4500-P C Vanadomolybdophosphoric asit kolorimetrik metoda göre yapılmıştır. Atıksu numunesindeki TP miktarının tayini fosfor türlerini orto fosfata çevirmek için atıksu numunesinin sindirimine dayanmış ve takibinde spektrofotometri ile tayin edilmiştir.

5.8.6 İletkenlik

İletkenlik kimyasal kalibrasyonlu HQ1140 Portatif İletkenlik/TDS Ölçüm Cihazı ile anlık olarak ölçülmüştür.

5.8.7 Sıcaklık

Sıcaklık °C cinsinden kalibrasyonlu elektronik multimetre probu ile anlık olarak ölçülmüştür.

5.8.8 pH

Elektrometrik Metot, Standart Metot 4500 -H+, B'de belirtildiği üzere pH metre (WTW InoLab Level1) ile saptanmıştır. Örnek atıksudan karbondioksit kaçışına imkân tanınmadan hızla ölçülmüştür.

6. BULGULAR

6.1 Denizli’de Evsel Atıksu Özellikleri

Denizli’de il merkezi ve ilçelerde oluşan evsel atıksuların biyolojik oksijen ihtiyacı değerlerine ait ortalama ve aralık değerleri Tablo 6.1’de sunulmaktadır.

Tablo 6.1: Denizli merkez ve ilçelerinde giriş suyu BOİ₅ değerleri ortalaması (DESKİ Veri Tabanı 2018-2023)

Tesis	Ortalama (mg/l)	Aralık (mg/l)
Denizli Merkez	284	170-420
Gümüşsu	148	34-469
Bozkurt	198	11-460
İnceler	475	115-1283
Serinhisar	516	140-1766
Yeşilyuva	208	92-373
Çivril	244	80-2900

BOİ₅ konsantrasyonları Metcalf ve Eddy (2000)’e göre sınıflandığında Denizli merkez orta-kuvvetli, Bozkurt İlçesi orta, Serinhisar İlçesi kuvvetli, İnceler kuvvetli, Çivril İlçesi orta düzeylidir. Kırsal alanda ölçülen 6 kirlilik göstergesine ait 4 yıllık ortalama değerler ise Tablo 6.2’de görülmektedir. Bu tabloda yer alan ortalama 877 mg/l civarındaki KOİ değeri kırsalda hayvancılığın yoğunluğuna işaret etmektedir.

Tablo 6.2: Denizli’de kırsal alanlarda ölçülen atıksu değerlerine ait ortalama değerler, (yaklaşık 20 adet tesiste ölçülen değerler) (DESKİ Veri Tabanı 2018-2023)

AKM (mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)	KOİ (mg/l)	pH	TN (mg/l)	TP (mg/l)
202,2	392	877	7,36	77,7	7,8

6.2 Yapay Sulak Alan ve Paket Biyolojik Arıtmanın Giderim Verimleri Açısından Karşılaştırılması

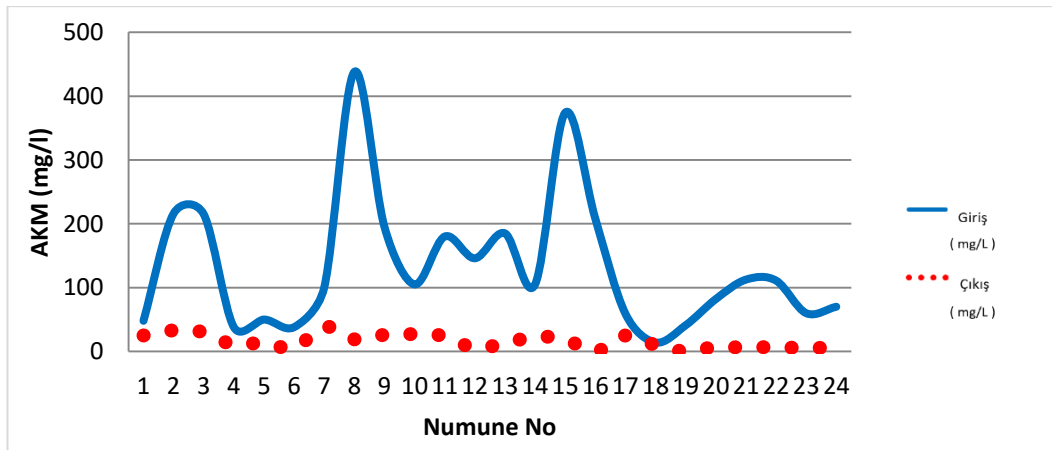
Bu bölümde halen işletmede olan bir yüzey altı yatay akışlı yapay sulak alan ile benzer bir nüfus, debi ve kirlilik yüküne sahip bir köydeki ardışık kesikli biyolojik aktif çamur paket arıtma tesisi giriş çıkış kirlilik yükleri, arıtma verimi, ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, çevresel etkiler açısından karşılaştırılmaktadır.

6.2.1 Alikurt Yapay Sulak Alan Tesisinde Kirlilik Konsantrasyonları ve Giderim

Alikurt YSA Tesisinde 5 yıl boyunca ölçülen giriş ve çıkış atıksu AKM, KOİ, BOİ₅, TN, TP, pH, elektriksel iletkenlik analizlerinin sonuçları ve değerlendirmeler aşağıda gösterilmektedir.

6.2.1.1 Askıda Katı Madde Konsantrasyonları

Giriş suyu (Alikurt Köyü'nden kaynaklanan ham evsel atıksu) ve çıkış (Alikurt YSA'da arıtılan) atıksu örneklerinin AKM konsantrasyonlarındaki değişimler Şekil 6.1'de verilmektedir. Yüzeyaltı yatay akışlı tesislerde askıda katıların uzaklaştırılması, filtreleme ve çöktürme yoluyla sağlanır; bitkiler ve çakıl yatağı atıksuyun akış hızını yavaşlatarak giderimini kolaylaştırır.



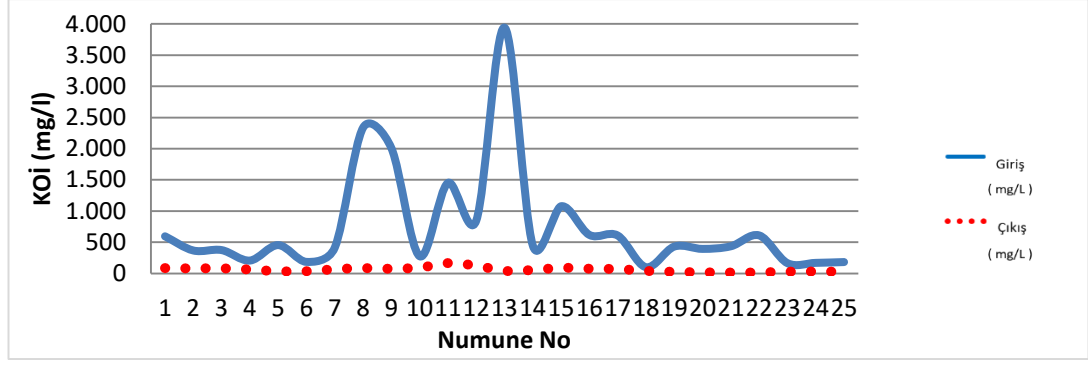
Şekil 6.1: Alikurt YSA giriş ve çıkış AKM konsantrasyonları

Alikurt YSA'nın ortalama atıksu giriş konsantrasyonu 141,36 mg/l olup, bu değer Erdoğan (2004) tarafından yapılan çalışmada Türkiye için belirlenen aralığın alt sınırına yakındır. Ayrıca bu değer dünya ortalaması olan 200 mg/l'nin de altındadır (Ramprasad ve diğ. 2019). Alikurt YSA'daki AKM giderim verimliliği yaklaşık %88 olup, bu oran Türkiye'deki YSA tesislerinin ortalama giderim oranının Güneş ve diğ. (2021) zerinde ve Vymazal (2019)'ın %88,3 olarak rapor edilen çalışmasına eşit düzeydedir. Vymazal (2019) ayrıca ek Cumhuriyeti'ndeki 17 gerçek lekli YSA için atıksu ortalama çıkış değerlerinin bu çalışmaya yaklaşık şekilde 15 mg/l civarında olduğunu belirtmiştir. Bu projede keşfedilen ilginç bir nokta, askıda katı madde değerlerinin giderek düşmesidir. Alikurt YSA'da serbest yüzeyli n çökeltme bölgesinin inşasından sonra yapılan son altı lmde AKM 10 mg/l'nin altına inmiştir.

Bulanıklık, Vymazal'ın (2019) vardığı sonuca benzer şekilde mevsimlere göre önemli bir değişiklik göstermese de sonbahar, kış ve ilkbaharda genel olarak daha yüksektir. En büyük iki giriş değeri Aralık ve Nisan aylarında, en kk iki değer ise Mart ve Ağustos ayında kaydedilmiş olup tesis kararlığının yüksek olması ve uzun bekleme süreleri nedeniyle çıkış değerlerinde etki grlmemiştir. AKM derişiminin mevsimsel değişimlerinin nedenleri; yağış rejimindeki değişiklikler, yaz aylarında yüksek evsel su kullanımı ve hayvansal atıksu yükündeki dalgalanmalardır.

6.2.1.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları

YSA'larda karbon giderimi, znmeyen kısım için çökeltme ve filtreleme yoluyla, aerobik ortamda znen kısım için ise *Phragmites australis* bitkilerindeki biyofilm tabakası ile sağlanır. Bu tabakada bitki yapraklarından köklere iletilen oksijen ile parçalanma meydana gelir. Anaerobik ortamda karbon ve diğer organik maddelerin ayrışması yatağın tabanında gerçekleşir (Tübitak 2011). Giriş ve ıkış KOİ konsantrasyonları şekil 6.2'de gösterilmektedir.

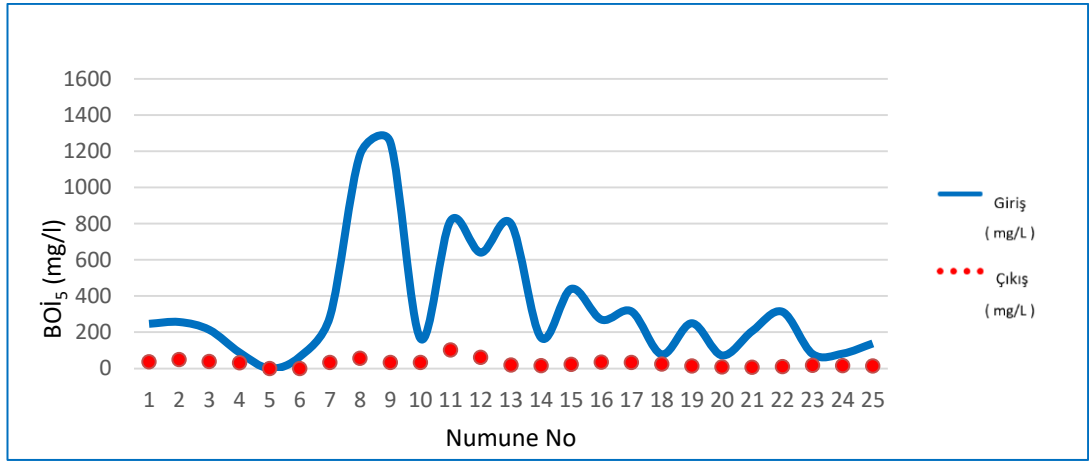


Şekil 6.2: Alikurt YSA giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonları

KOİ derişiminin ortalama giriş değeri 874 mg/l olarak ölçölmüş olup, bu değer Türkiye ortalaması olan 409 mg/l'den (Erdoğan 2004) oldukça yüksek olup evsel kanalizasyon veya hayvancılık atıklarının yüksek kirliliğe sahip olduğuna işaret etmektedir. Ortalama çıkış 67 mg/l olup, Türk mevzuatındaki Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği gerekliliklerini karşılamaktadır. Bu çalışmada Kimyasal Oksijen İhtiyacının ortalama giderimi %87 civarındadır ve Vergeles ve diğ. (2015) tarafından bildirilen ortalama giderim oranı olan (%72,1±9) göre oldukça başarılıdır. Vymazal (2019), yirmi yıllık hizmete sahip benzer YSA'lar için ortalama %82,9 giderim oranını bildirmiştir. 2500 ve 4000 mg/l civarındaki uç değerler Aralık ve Nisan aylarında kaydedilmiş olup tesis kararlılığının yüksek olması ve uzun bekleme süreleri nedeniyle çıkış değerlerinde etki görölmemiştir. En küçük iki değer ise Mart ve Ağustos aylarında kaydedilmiştir. Pik değerler anlık numune için kanalizasyona gelen ani yüklere (hayvan gübresi yıkama vb.) veya numune alma noktasındaki farklılığa bağlanabilir.

6.2.1.3 Biyolojik Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları

Giriş ve çıkış numunelerinde ölçülen BOİ₅ değerleri Şekil 6.3'de sunulmuştur. Alikurt yüzeyaltı yatay akışlı YSA'da giriş BOİ₅ derişiminin ortalaması 449 mg/l iken, çıkış suyu ortalaması 31,55 mg/l'dir. Bu çalışmada elde edilen BOİ₅ giderim verimliliği %93 olup, Türkiye ve dünya ortalamalarının üzerindedir Güneş ve diğ. (2021). Vymazal (2019), Çek Cumhuriyeti'nde 17 gerçek ölçekli yüzeyaltı yatay akışlı YSA için benzer bir oranı %91,7 olarak bulmuştur.



Şekil 6.3: Alikurt YSA'daki biyolojik oksijen ihtiyacı giriş ve çıkış konsantrasyonları

Grafikte görüldüğü gibi, girişteki BOİ₅ konsantrasyonlarındaki dalgalanmalara rağmen (ani hayvan gübresi beslemesi ve süt ürünleri atıklarından, fırtına sel yüklerinden kaynaklandığı düşünülen) atıksu çıkış konsantrasyonları istikrarlı bir eğilim göstermektedir. Bu çalışmada kaydedilen iki en yüksek değer Kasım ve Ocak aylarında, en düşük değerler ise Eylül ve Aralık aylarında elde edilmiştir. Rizzo ve diğ. (2016) yaptıkları modelleme çalışmasında bu çalışmaya benzer şekilde YSA'nın kararlı tepki verdiğini ve ani yüklerden etkilenmediğini doğrulamıştır. BOİ₅ derişimlerinin istikrarlı eğiliminin nedeninin YSA'da tutulma süresinin olduğu düşünülmektedir. Zhang ve diğ. (2020), işletme stratejisi belirleme çalışmalarında kurak ayların ve azalan atıksu miktarlarının atıksu kalitesinde değişime neden olmadığını belirlemiştir.

Örnekleme tarihi ile giderim oranı arasındaki ilişki sabit olmayıp, çıkış sonuçları mevsim koşullarından doğrudan etkilenmemektedir. Bu sonuç Vymazal (2019), Matamoros ve diğ. (2012) ve Krasnits ve diğ. (2009) çalışmaları ile

uyumludur. Sıcaklıktaki değişiklikler doğal arıtma sürecinin kararlılığı nedeniyle benzer çalışmalarda görüldüğü gibi BOİ ve KOİ giderim oranları üzerinde etkili değildir (Merlin ve diğ. 2002).

Bu çalışmadaki ölçümlere göre yüksek BOİ₅ giderim oranları Nisan ayında %98, Ağustos, Aralık (4 kez), Şubat aylarında %97; Kasım, Nisan (2 kez)'da %95 ve kaydedilen düşük oranlar; Temmuz'da %64, Mart'ta %69, Aralık'ta (3 kez) %78 ve %80 mevsimsellik ile sabit değildir. Vymazal (1999) bu sonuçlara benzer şekilde ortalama %86,6'lık bir giderim oranını bildirmiştir. Hoddinott (2006) bitki örtüsünün mevsim ve sıcaklık etkilerine karşı sorunu çözdüğünü belirtmiştir. Krasnits ve diğ. (2009), mikrobiyal topluluklarla yeterli temas süresini sağlayacak sulak alan tasarımı ve işletiminin, iklimsel ve mevsimsel etkilerle baş etmekten çok daha önemli olduğunu vurgulamıştır.

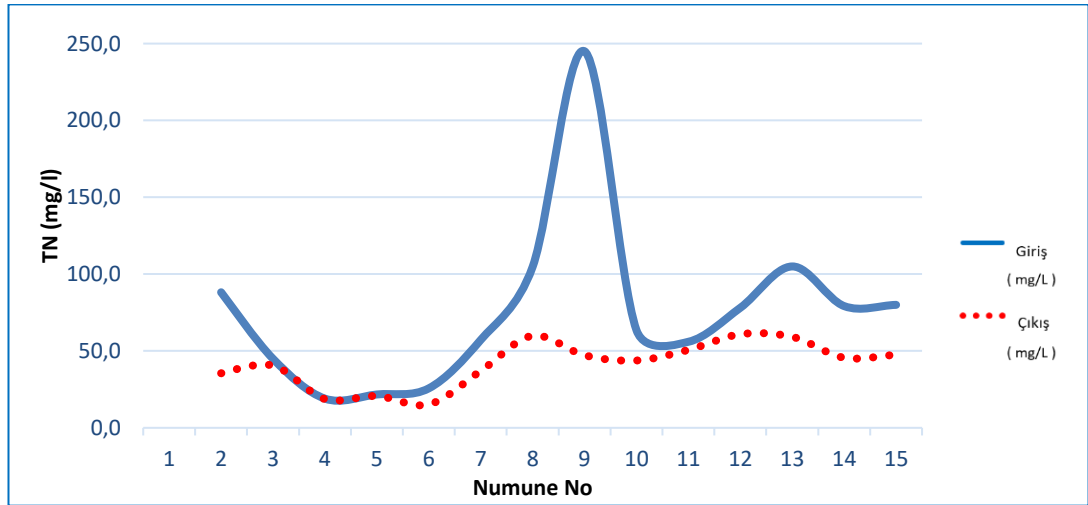
6.2.1.4 Toplam Azot Konsantrasyonları

Yapay sulak alanlardaki azot giderim yolları; amonyak buharlaşması, nitrifikasyon, denitrifikasyon, azot fiksasyonu, bitki ve bakteri alımı, mineralizasyon, nitratın amonyuma indirgenmesi, anaerobik amonyak oksidasyonu, parçalanma, adsorpsiyon, yüzey salınımı, gömülme ve infiltrasyondur (Vymazal 2007).

Tez çalışmasında giriş ve çıkış numunelerinde ölçülen toplam azot konsantrasyonları Şekil 6.4'de verilmiştir. Alikurt YSA'da işletme döneminde bir nokta hariç girişteki toplam azot konsantrasyonları 20 ila 100 mg/l arasındadır. Hayvancılık yükünün anlık artışına bağlı olarak 245 mg/l gibi bir pik değer Aralık ayında kaydedilmiştir. Bununla birlikte girişteki bu uç toplam azot konsantrasyonu, çıkış suyu konsantrasyonunu olumsuz etkilememektedir. En küçük giriş değeri ise Temmuz ayında 19 mg/l olarak kaydedilmiştir. Alikurt YSA için toplam Azot giderim verimliliği %49,9 olarak hesaplanmıştır. Bu değer Lee ve arkadaşlarının (2009) YSA'lar için %40-50 ve geleneksel arıtma tesisi için %20-30 olarak bildirdiği çalışmayla uyumludur. Yine Vymazal (2007), azot giderim verimliliğinin sulak alan türüne ve giriş yüküne göre %40-50 değiştiğini kaydetmiştir.

Feng ve diğ. (2020)'ne göre, yeterli havalandırma sağlanması ve dikey akışlı yapay sulak alan yataklarında biyolojik kömür filtre malzemesi kullanılması gibi bazı geliştirmeler, nitrifikasyon ve denitrifikasyonu artırır ve hayvancılık atıksuları için %73'lük daha yüksek TN giderimi ile sonuçlanır. Başka bir çalışmada Guimaraes ve diğ. (2016), YSA'larda süt sığırcılığından gelen benzer bir atıksuyu arıtmış ve *Vetiver* (çalışmamızdaki *Phragmites* yerine) NO₂ (%43), TKN (%32) ve NH₃'te (%31) daha yüksek giderim verimliliği göstermiştir.

Benzer çalışmalara göre toplam azot giderme verimliliği ile mevsimsel değişim arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktur. Ancak sıcaklığın nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerini hızlandırması nedeniyle yaz mevsiminde toplam azot giderimi diğer aylara göre biraz daha yüksektir. Katayon ve diğ. (2008), bitkilendirilmiş YSA'ların, bitki örtüsü olmayan YSA'lara göre amonyum ve toplam fosfor gibi besin maddelerinin giderilmesinde daha iyi sonuçlara sahip olduğunu vurgulamaktadır.

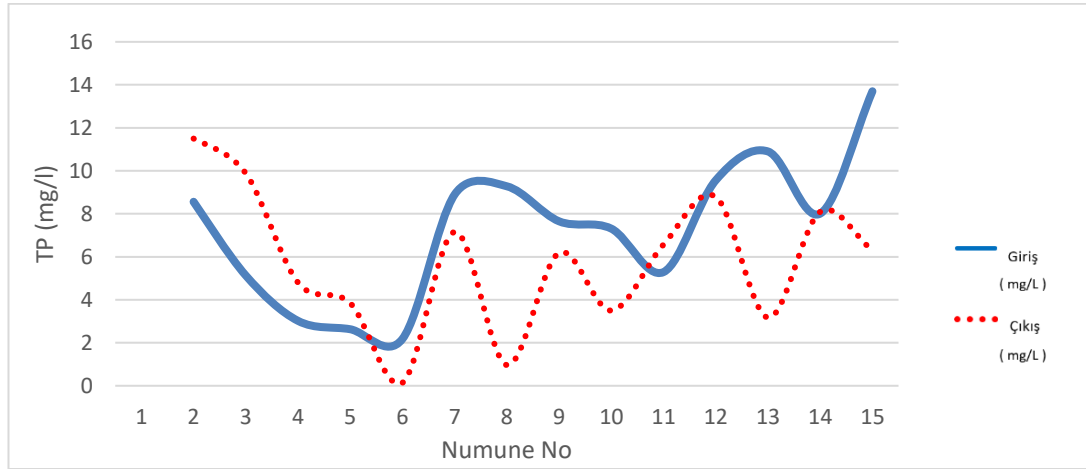


Şekil 6.4: Alikurt YSA toplam azot konsantrasyonu giriş ve çıkış değerleri

6.2.1.5 Toplam Fosfor Konsantrasyonları

Yapay sulak alanlarda fosfor giderimi; soğurma, çökme, bitki alımı (bir sonraki hasatla birlikte uzaklaştırılabilir) ve zeminde turba/toprak birikimi gibi yollarla sağlanır. Vymazal (2007) sulak alanlarda fosfor gideriminin genellikle düşük seviyede

olduğunu bildirmiştir. Alikurt YSA'daki ham atıksu ve arıtılmış sudaki fosfor konsantrasyonları Şekil 6.5'de sunulmaktadır.



Şekil 6.5: Alikurt YSA toplam fosfor giriş ve çıkış konsantrasyonları

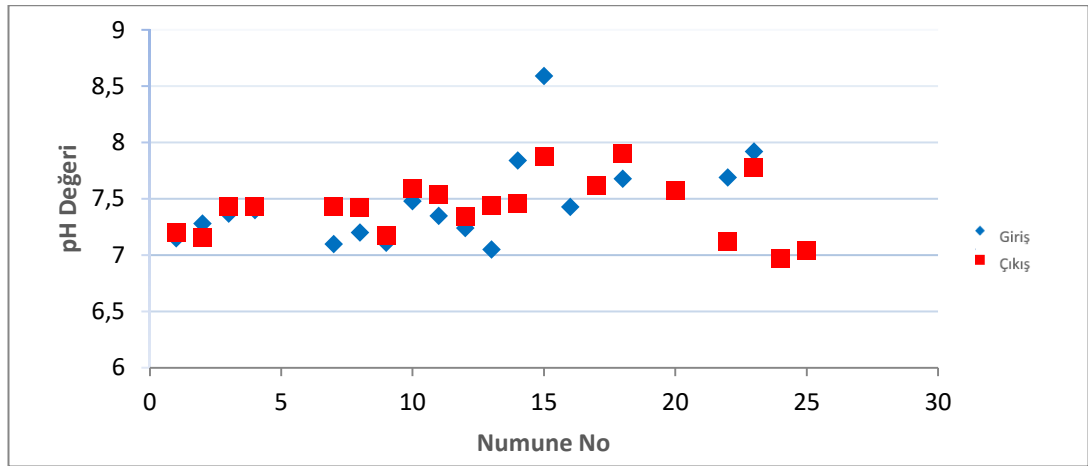
Alikurt YSA tesisinde ortalama giriş ve çıkış fosfor derişimleri sırasıyla 7,30 mg/l ve 5,6 mg/l'dir. Dolayısı ile ortalama giderim oranı %23 civarında olup, bu değer oldukça düşüktür. Bu konudaki bir uç örnek Doody D. ve diğ. (2009)'nin İrlanda'da yaptığı benzer bir çalışmada elde edilen %96 fosfor giderim değeridir. Bu çalışmada 700 kişilik bir beldede iki adet ön çamur çöktürme haznesi ile beş adet serbest yüzeyli yataktan oluşan bütünleşik doğal arıtma tesisinde 7.91 mg/l giriş ile 0,34 mg/l atıksu çıkış değerine ulaşıldığı bildirilmiştir. Bir başka çalışmada ise Korkusuz ve diğ. (2005) yatak malzemesi olarak çakıl yerine cüruf kullanılması yöntemiyle TP giderimini %45 ile üst değerlere çıkarmaktadır.

Yaptığımız çalışmada arıtma tesisine gelen fosfor derişimlerinin ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek iki değer Nisan ayında kaydedilmiş ve tesis kararlılığı nedeniyle çıkış değerleri etkilenmemiştir. Başlangıç dönemindeki negatif giderim oranları, fosforun eksik bağlanması ve çökmesine bağlanabilir. Başlangıç aşamasında *Phragmites australis* bitki örtüsünün yeni yetiştiği ve TP alım düzeyinin oldukça düşük olduğu düşünülmektedir (Arias ve diğ. 2005). Yine bu çalışmada görülen bazı yüksek çıkış değerlerinin, tesisin yıllar içinde fosfor giderim kapasitesinin azalması, bazı dönemlerde yetersiz hidrolik bekleme süreleri, ortamın fosfora doygunluğunun artması, bitkilerin bünyelerine aldıkları fosforun hasat yetersizliği nedeniyle yeniden suya karışması gibi yollarla

tesiste fosfor birikiminin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte azot ve fosfor göstergelerine ilişkin olarak mevcut Türk çevre mevzuatında kırsal alanlarda yer alan YSA tesisleri için herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır.

6.2.1.6 pH

Alikurt YSA'nın giriş ve çıkış pH değerleri Şekil 6.6'da gösterilmektedir. pH açısından incelendiğinde YSA'lar hakkında literatürde yaygın bir bilgi bulunmamaktadır. Alikurt YSA'nın ortalama giriş pH değeri 7,38, çıkış suyu ise 7,49 olup tez dönemi boyunca salınım göstermekle birlikte deşarj standartlarıyla uyumludur (pH 6-9). Benzer çalışmalar, çıkış atıksu pH değerlerinin genellikle giriş değerlerinden daha düşük olduğunu göstermektedir; örneğin Katayon ve diğ. (2008), YSA'larda evsel atıksuyun artırılması üzerine bir çalışma yürütmüş ve bitkilendirilmiş sulak alanlarda pH çıkış değerlerinin daha düşük olduğunu ve işletme gün sayısının artışı doğrultusunda hidrojen iyonu üreten nitrifikasyon süreçleri nedeniyle azaldığını tespit etmiştir.



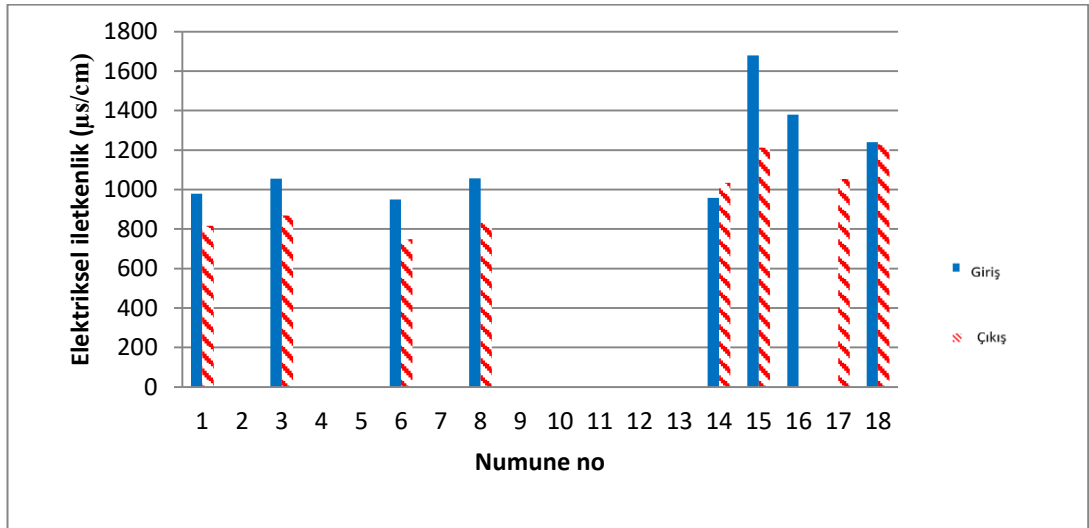
Şekil 6.6: Alikurt YSA giriş ve çıkış pH değerleri

Bu çalışmaya paralel şekilde yapay sulak alanlarda çıkış pH değerinin yüksek olmasının nedeninin sulak alan bitkilerinin fotosentez süreci sonucu oluşan karbonik asit benzeri organik asitler olduğu düşünülmektedir. Fotosentez sırasında bitkiler sudan karbondioksit olarak yerine oksijeni serbest bırakırlar. Suda karbondioksit konsantrasyonunun azalması pH artmasına neden olur. Ek olarak organik maddenin mikrobiyal olarak parçalanması da pH yükselmesine katkıda bulunur. Bu bütünleşik

süreçler suda alkali bir ortam oluşturur (Yin ve diğ. 2016). Bazı çalışmalarda denitrifikasyon oluşmasının, ayrıca anaerobik amonyum oksidasyon süreçlerinin alkali ortam oluşturarak yapay sulak alanda pH değerini artırdığı bildirilmektedir (He ve diğ. 2016).

6.2.1.7 Elektriksel İletkenlik

YSA'larda ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri, yatakta tıkanma sorunu oluşturabilecek kirletici maddelerin varlık düzeyiyle ilgilidir Wang ve diğ. (2021). Alikurt yüzeyaltı yatay akışlı YSA'da ölçülen giriş ve çıkış elektriksel iletkenlik değerleri Şekil 6.7'de gösterilmektedir. Ortalama giriş elektriksel iletkenlik değeri 1162, çıkış ise 974 $\mu\text{S}/\text{cm}$ civarındadır.



Şekil 6.7: Alikurt YSA'da giriş ve çıkış elektriksel iletkenlik değerleri

Borin ve diğ. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada hayvan çiftliği atıksularının dikey akışlı YSA'da arıtımı sonrasında yüksek iletkenlik (7952 $\mu\text{S}/\text{cm}$) değerlerinin dahi önemli miktarda azaltılabildiği görülmüştür. Galve ve diğ. (2021) ise mandıra çiftliği atıksu arıtımı için tasarlanan yüzeyaltı dikey akışlı YSA'da %12,94 EC azaltımı elde etmiştir. Alikurt tesisinde ise çıkış atıksuyundaki elektriksel iletkenlik için %16'lık azalmanın organik kirlilik ve mineralizasyon seviyesinin azalmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir (Wang ve diğ. 2021). En yüksek giriş seviyesinin 1679 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri ile yağışların artabildiği Nisan ayında görüldüğü, buna

rağmen aynı dönemdeki çıkış numunesinin 1213 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyine düştüğü görülmüştür. Benzer bir bakışla Joel ve diğ. (2005) çıkış sularında elde edilen daha düşük iletkenlik değerlerini yağışlı aylara bağlamaktadır.

6.2.2 Paket Tip Ardışık Kesikli Biyolojik Arıtma Tesisinde Kirlilik Konsantrasyonları ve Giderim

Ardışık kesikli biyolojik paket arıtma tesisleri kırsal alanlarda yapay sulak alanlar ve geleneksel aktif çamur biyolojik arıtma tesisleriyle birlikte arıtma amaçlı olarak kullanılan diğer önemli bir seçenektir. Literatürde kırsal evsel atıksu arıtımında paket tip biyolojik arıtma tesislerinin (PAK) gerçek ölçekli kullanımı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

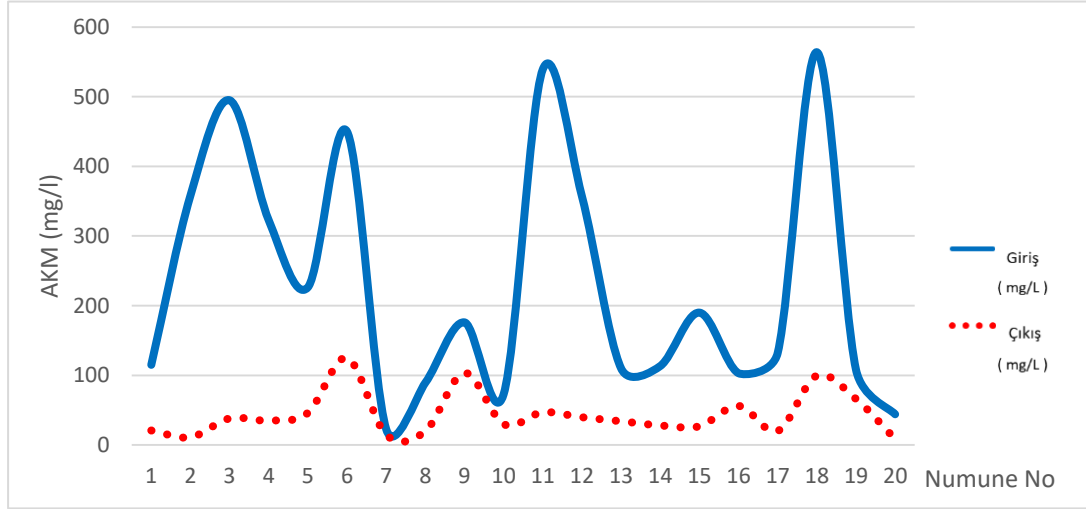
Kırsal alandaki biyolojik arıtma tesisleri ve yapay sulak alanlar için mevzuatta istenen parametreler pH, AKM, KOİ ve BOİ₅'dir. Atıksuların arıtılması ile ilgili çıkış suyu kalitesinin bakteriyolojik açıdan irdelenmesi ile ilgili bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Genel olarak tesislerde arıtılan suların sulama amaçlı olarak kullanımı söz konusu olduğunda ise tarımsal sulama suyu izinleri alınarak UV ışınları ya da klorlama yöntemiyle dezenfeksiyon yapılarak sonuçlar izlenmektedir.

Gerçek ölçekli benzer bir çalışmada Khudair ve diğ. (2017) tarafından BOİ₅, KOİ ve AKM için giriş değerleri sırasıyla 213, 430, 244 mg/l; çıkış suyu kirlilik derişimleri 21, 44, 28 mg/l, giderim oranları ise %90; %90 ve %89 olarak belirlenmiştir. Garipköy PAK için çeşitli göstergelerin arıtma performansı ise aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

6.2.2.1 Askıda Katı Madde Konsantrasyonları

Garipköy paket tipi biyolojik arıtma tesisinde askıda katı madde derişimlerinin değişimi Şekil 6.8'de gösterilmektedir. PAK tesisinde askıda katı madde giderimi,

ardışık kesikli arıtma tankında çökeltme aşamasında ve ayrıca ön çökeltme ve dengeleme haznelerinde sağlanmaktadır.



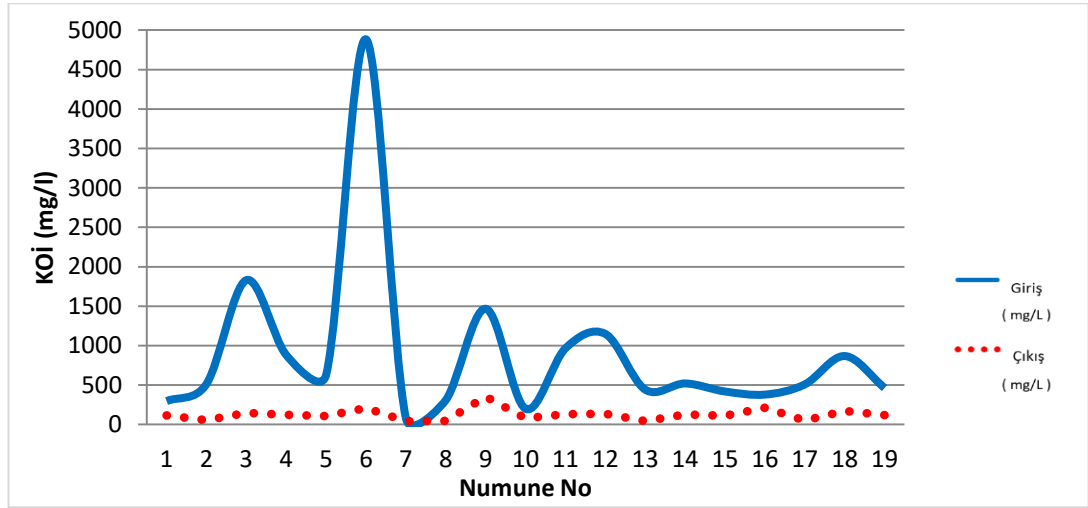
Şekil 6.8: Garipköy PAK tesisinde askıda katı madde konsantrasyonları

Tavas İlçesi Garipköy Köyü paket tipi biyolojik arıtma tesisinde ortalama giriş suyu toplam askıda katı madde konsantrasyonu 229 mg/l'dir. Ortalama çıkış AKM değeri ise 44 mg/l olarak ölçülmüş ancak benzer çalışmalarda kırsal alanlar için nispeten daha düşük olan 11-32 mg/l çıkış değer aralığı görülmektedir. AKM'nin uzaklaştırılması açısından Campbell ve diğ. (2020) tarafından ölçülen %85 giderim değeri ise bu çalışmada belirlenen %81'den daha yüksektir.

Bu tesiste Ağustos ve Aralık aylarında yükselebilen ve ortalama 500 mg/l olarak kaydedilen pik AKM değerlerinin nedenleri arasında Alikurt YSA'na benzer şekilde anlık kirlilik yükleri (süt işleme, besi hayvancılığı vb. kaynaklı) ve şiddetli yağış yükleri (silt yüklemesi vb.) sayılabilir. Bu uç durumlarda çıkış değerlerinde büyük bir bozulma görülmemiş ancak deşarj sınırı olan 60 mg/l değerinin aşılabildiği ancak 100 mg/l ve altında kalan sonuçlar elde edilmiştir. Mevsimler ile AKM değerleri arasında istatistiksel bir ilişki bulunmamasıyla birlikte genel olarak sonbahar ve kış aylarında daha yüksek giriş değerleri kaydedilmiştir.

6.2.2.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları

Biyolojik arıtma, ardışık kesikli reaktör tankında aktif çamur yöntemi ile gerçekleştirilir. Aktif çamur süreçlerinde yer alan mikroorganizmalar, bir hava körüğü tarafından beslenen mantar püskürtücüler (difüzörler) tarafından reaktör tankının tabanına sağlanan oksijeni kullanarak organik maddeleri (karbon vb.) ayrıştırır ve çökelmeyi önlemek için gereken karışımı sağlar. Bu hazne, havalandırmanın sonundaki dönemde ise çökeltme tankı olarak görev görür (EPA 1999). Şekil 6.9 Garipköy PAK'nin giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerdeki KOİ değişimini göstermektedir.



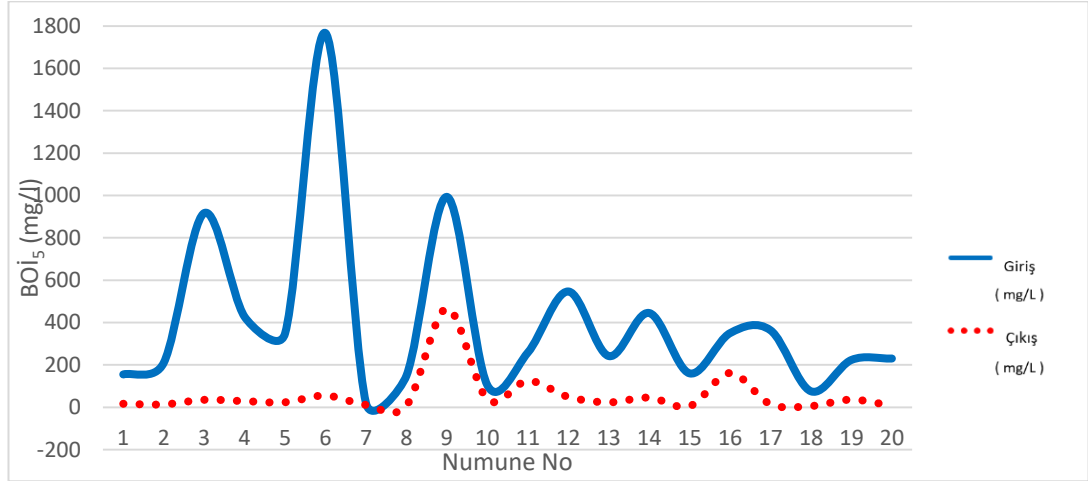
Şekil 6.9: Garipköy PAK tesisi giriş ve çıkış kimyasal oksijen ihtiyacı konsantrasyonları

Garipköy paket arıtma tesisinde tespit edilen ortalama giriş ve çıkış KOİ değerleri sırasıyla 856 mg/l ve 124,9 mg/l'dir. Giriş değeri Ramprasad ve diğ. (2019) tarafından belirlenen kırsal atıksu KOİ giriş aralığının (250–1000 mg/l) üst sınırına yakındır. Ayrıca ortalama giderim oranı %85 olarak belirlenmiş olup, bu değer Cupak ve diğ. (2019) tarafından Polonya'da yapılan benzer bir çalışmada elde edilen sonuçtan daha düşük ancak Kitanou ve diğ. (2021)'nin belirlediği, %78'lik bir giderim oranından yüksektir. Aralık ve Mart aylarında kaydedilen pik değerlerin hayvancılıktan, mandıralardan kaynaklanan kirlilik dalgalanmaları ve şiddetli yağışların neden olduğu su baskınlarından meydana geldiği tahmin edilmektedir ve bu tarihlerde çıkış suyunda nispi bir yükselme görülmüştür. Örnek olarak 4883 mg/l, 1467 giriş değerleri arıtım sonrası 207 ve 352 mg/l olarak çıkmıştır, genel ortalama ise 124 mg/l civarındadır. SKKY'de kırsal alanda bulunan paket arıtmalar için KOİ deşarj

standardı 160 mg/l olmakla birlikte %60 giderim yasal olarak yeterlidir. Genel olarak sonbahar ve kış aylarında KOİ giriş değerleri daha yüksek görülmekte ancak mevsimsel etkiler istatistiksel olarak kararlı değildir.

6.2.2.3 Biyolojik Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonları

BOİ, ardışık kesikli reaktörlerin biyolojik arıtma verimliliği ölçümü için ana ölçütlerden birisidir. Başlangıç aşamasında ham atıksu, mevcut aktif çamur kütlesi içeren çelik tanka beslenir ve tepkime (havalandırma) aşamasında biyolojik oksijen ihtiyacının giderilmesi gerçekleşir (Bagheri ve diğ. 2015). Şekil 6.10'da Garipköy PAK'nin biyolojik arıtma performansı gösterilmektedir.



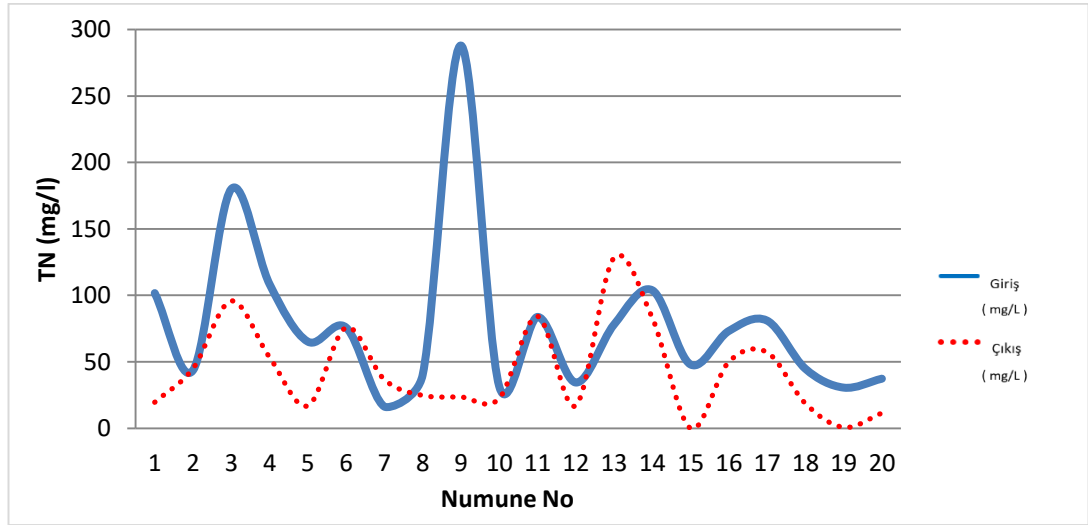
Şekil 6.10: Garipköy PAK biyolojik oksijen ihtiyacı konsantrasyonları

Garipköy ardışık kesikli biyolojik paket arıtma tesisinde tespit edilen ortalama giriş ve çıkış BOİ₅ derişimleri sırasıyla 399 mg/l ve 60 mg/l'dir. Çıkış BOİ₅ değeri, alıcı ortam deşarj standardının (50 mg/l) biraz üzerinde olmakla birlikte %60 giderim şartını çoğunlukla karşılamaktadır. Bu çalışmada ortalama giderim oranı yaklaşık %85 olup bu, yüzde 85 ila 95 arasında BOİ giderme verimliliği kaydeden EPA kayıtlarına benzerdir. Campbell ve diğ. (2020) %96, Kitanou ve diğ. (2021) kırsal atıksu için %90 ve Kulikowska (2007), sızıntı suyunu arıtan benzer bir sıralı kesikli reaktör için %98 giderme verimliliği elde etmiştir.

Mevsimsel değişim kesin olmayıp BOİ için sonbahar ve kış aylarında daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Hayvansal atıklara atfedilebilecek iki üst değer Aralık ayında kaydedilmiş ancak arıtılmış su değerlerinde yükselme olmamıştır. Mart ayında gerçekleşen 993 mg/l'lik bir pik değer ise 466 mg/l çıkışla sonuçlanmıştır. En düşük iki değer ise Ekim ve Kasım aylarında kaydedilmiştir.

6.2.2.4 Toplam Azot Konsantrasyonları

TN evsel atıksularda organik azot veya amonyak formunda mevcuttur. Paket tipi ardışık kesikli biyolojik arıtma tesislerinde azotun uzaklaştırılması, karbon oksidasyonu ile birlikte nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleriyle gerçekleşmektedir (Li ve diğ. 2017). Bu çalışmada Garipköy PAK giriş ve çıkış suyu TN konsantrasyonları Şekil 6.11'de gösterilmektedir.



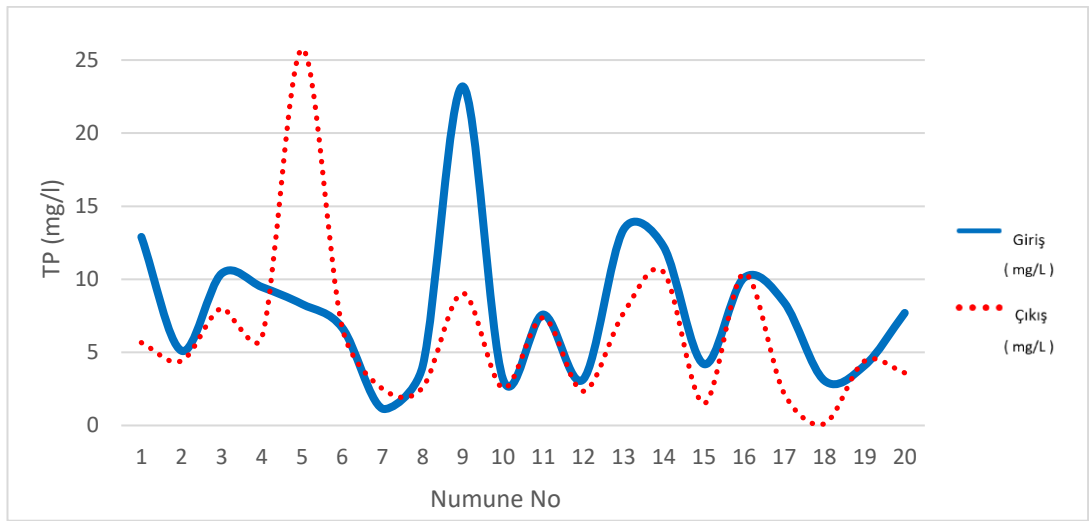
Şekil 6.11: Garipköy PAK toplam azot giriş ve çıkış konsantrasyonları

Garipköy PAK tesisinin giriş ve çıkış TN konsantrasyonu ortalamaları sırasıyla 78,3 ve 45,5 mg/l'dir. Giriş değeri Türkiye ortalamasının neredeyse bir buçuk katı olup Ramprasad ve diğ. (2019)'nin tespitleri ile de uyumludur. Türkiye'de düşük nüfuslu beldelere yönelik azot ve fosfor arıtımı açısından herhangi bir yasal deşarj sınırlaması bulunmamaktadır. Çalışmamızdaki ortalama TN giderme oranı %41'dir. Yuan ve diğ. (2016) yaklaşık %56 ve Kitanou ve diğ. (2021) benzer tesislerde %52 arıtma verimliliği tespit etmiştir. Negatif giderim oranları ise daha soğuk sıcaklıklarda ve

yağışlı mevsimlerde yavaş gerçekleşen nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerine bağlanmaktadır (Mesquita ve diğ. 2017). 288 mg/l değerindeki pik giriş, 23 mg/l çıkış değeri Mart, 180 mg/l giriş ve 96 çıkış değeri ise Aralık ayında tespit edilmiştir.

6.2.2.5 Toplam Fosfor Konsantrasyonları

Fosforun geleneksel aktif çamur biyolojik arıtma yoluyla giderimi çamur bekleme süresi (SRT), hidrolik bekleme süresi (HRT), alkalinite, pH, sıcaklık vb. süreç göstergelerine olan duyarlılığından dolayı, oldukça zordur (Zuthi ve diğ. 2013). Bunce ve diğ. (2018), geleneksel arıtma tesislerinin çöktürme yoluyla ortalama %10-30'luk bir fosfor giderim verimliliğine sahip olduğunu belirlemiştir. Şekil 6.12 Garipköy PAK için giriş ve çıkış TP değerlerini göstermektedir.



Şekil 6.12: Garipköy PAK toplam fosfor konsantrasyonları

Garipköy PAK tesisinin giriş ve çıkış ortalama toplam fosfor konsantrasyonları sırasıyla 7,9 ve 6,2 mg/l'dir. Giriş değeri, Erdoğan (2004) tarafından 6-24 mg/l aralığında belirlenen Türkiye'nin kırsal atıksu aralığı içindedir. Ortalama giderim oranı ise %21,5 olarak hesaplanmıştır, bu değer Bitton'un (2005) çalışmasında belirlenen %10-20 aralığının üst sınırına yakındır. Ak ve Top (2020), Denizli merkez arıtma tesisi sonrası akifer arıtımı ile fosfor giderimi konusunda yaptıkları çalışmada çıkış suyu TP değerinin 1,02 standart sapma ile 2,92 mg/l olduğunu belirtmiş olup sonuç bu

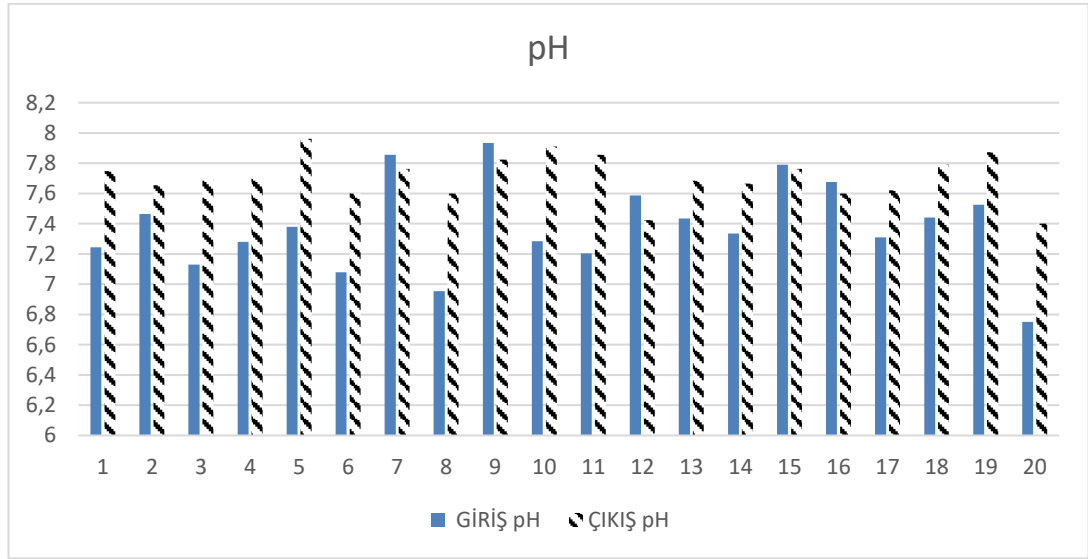
çalışmadan daha düşük değerdedir. Kış ve sonbahar döneminde mikrobiyal faaliyetler azalır ve TP giderimi yavaşlama eğilimindedir (Zhai ve diğ. 2016). Bu çalışmada mevsimsel etkiler için elde edilen istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç yoktur. İlkbahar döneminde fosfat esaslı deterjanların kullanımı artmakta olup bu durum TP derişimlerinin yükselmesiyle sonuçlanmaktadır. Çalışmada kaydedilen en yüksek giriş değeri Mart ayında 23,2 mg/l, Şubat ayında ise 13,8 mg/l olarak belirlenmiş ve bu günlerde çıkış ortalamasının üzerinde olarak sırasıyla 9 ve 7,7 mg/l olarak gerçekleşmiştir.

Garipköy PAK ardışık kesikli reaktör prosesine göre tasarlanmıştır. Bu proses doldur boşalt prensibine göre çalıştığı için, dolun esnasında pik kirlilik yüklerini dengelemek için reaktörde aktif çamur kısmı harici arıtılmış bir atıksu bulunmamaktadır. Bunun yanında arıtım için ayrılan süre kısıtlıdır. Pik yüklerde istenilen giderim için gerekli süre yeterli gelmeyebilir. Bu duruma daha uzun bekleme sürelerine ve kararlığa sahip standart aktif çamur tesislerinde rastlanmamaktadır. Bu çalışmada girişin 8,03 çıkışın ise 25 mg/l olarak görüldüğü değerin ölçüm, kayıt ya da arşiv hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim hayvancılığın çok yoğun olduğu beldelerde dahi bu tip farklılıklarla karşılaşılmamaktadır.

6.2.2.6 pH Değerleri

Garipköy PAK biyolojik arıtma tesisi aktif çamur prosesine ilişkin giriş ve çıkış pH değerleri Şekil 6.13'de gösterilmektedir. Garipköy PAK'de giriş ve çıkış pH değerleri sırasıyla 7,40 ve 7,70 olup, çıkış ortalaması giriş değerlerinden çoğunlukla daha yüksektir. Artan pH değerleri organik maddelerin çözünmesinin önemli bir göstergesidir, çözünen TOK asidik bileşikler oluşturur bunlar da atıksudaki alkaliler ile tepkiyerek sonuçta alkalinite nedeniyle pH yükselir Metcalf ve Eddy (2000). Bu sonuca benzer şekilde yine paket arıtmada havalandırma esnasında aktif çamur kütlesi bakteriler tarafından oksitlenerek su, karbondioksit gibi bileşenlere ayrılır, sudan hidroksit açığa çıkması da pH değerlerini artırır (Toprak 2006). Paket arıtma tesislerinde pH ve ORP sistem verimliliği açısından izlenmesi gereken bir parametredir. Reaktör haznesi içinde pH'ın 7'nin altına düşmemesi gerekmektedir. Alagha ve diğ. (2020) çalışmalarında bu çalışmaya benzer şekilde çıkışta 7,6 ile 8,6

arasında değişen girişten daha yüksek pH değerlerini pilot PAK'ta kaydetmişler ve bu artışı denitrifikasyon sürecinin baskın olmasına atfetmişlerdir.



Şekil 6.13: Garipköy PAK pH değerleri

6.3 Yapay Sulak Alan ile Paket Tip Biyolojik Arıtma Tesisinin İşletme ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması

Bu bölümde yapay sulak alanlar ile geleneksel biyolojik arıtmanın küçük ölçekte ardışık kesikli olarak uygulanan bir türevi olan paket arıtma tesisleri ilk yatırım, işletme, bakım onarım ve proses verileri açısından karşılaştırılmaktadır.

6.3.1 İşletme Verilerinin Karşılaştırılması

Paket tip biyolojik arıtma tesisleri, ani kirlilik ve hacimsel yüklere karşı çok hassas yapıdadır. Bunun yanı sıra, yüksek enerji tüketim oranlarına sahip, mekanik, elektrik, otomasyon açısından birçok arıza yapabilen ve yüksek bakım ve işletme giderleri, nitelikli işgücü, nakliye ihtiyaçları olan tesislerdir. Ardışık kesikli biyolojik reaktörler; toplam askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik oksijen ihtiyacı gibi tanımlanmış göstergelerde (Türkiye için) yasal deşarj şartlarını karşılamakta ancak kararlı olmayan atıksu özelliklerinden dolayı çeşitli sorunlar ortaya çıkmakta ve işletmeciler için mevzuat ile ilgili cezalara yol açmaktadır.

Yapay sulak alanlar ile mali ve teknik yüklerden tasarruf etmek, enerji, mekanik, elektrik donanım gerekliliklerini azaltmak, kararlı ve geniş depolama alanlarına sahip yataklarla yağmur suyu, hayvancılık çiftlikleri, mandıralar vb. kaynaklı ani kirlilik ve hacim yüklerini dengelemek ve kırsal alanlarda sürdürülebilirliği sağlamak olası görünmektedir.

Askıda katı madde açısından karşılaştırma yapıldığında Alikurt YSA'da %88 giderim sözkonusu olup bu değer Türkiye ortalamasının üzerinde ve Vymazal (2019) çalışmasına (%88,3) eşittir. Pilot tesiste ise dikey akışlı olarak % 94,76, yatay akışlı 91,44, serbest yüzeyli tesiste %88,45 olarak elde edilen giderimler ise Alikurt'tan daha yüksek seviyededir. Paket arıtma açısından bakıldığında ise elde edilen ortalama verim %81 olup literatürdeki %85 giderim değerine yakındır (Campbell ve diğ. 2020). AKM açısından YSA giderim verimi yaklaşık %10 daha iyi olup çıkış suyunda YSA 16 mg/l PAK ise 44 mg/l değerdedir. Paket arıtma tesisinde ani yüklerde çıkış suyunda yükselme görülebilirken, YSA baştan sona sabit bir çıkış eğilimindedir.

Bu çalışmaya konu olan YSA'da KOİ giderim verimi % 87'dir. Literatür çalışmaları incelendiğinde elde edilen verimler Vergeles ve diğ. (2015) %77,3±9 Kayranlı ve diğ. (2009) %97, Göçmez ve diğ. (2018) (foseptik hariç) %65, Güneş ve diğ. (2021) %72 olarak görülmektedir. YSA için 1450 ila 4000 mg/l arasında değişen pik giriş değerlerinde ise arıtılmış çıkış suyu hiçbir değişim göstermemiştir. Seçilen paket tipi atıksu arıtma tesisinde ise ortalama KOİ giderme verimliliği %85,3'tir. Uç giriş değerlerinde paket arıtma çıkışında küçük yükselmeler olabilmektedir. YSA'da çıkış ortalaması 64 mg/l iken PAK 124,9 mg/l değerindedir.

Biyolojik oksijen ihtiyacı açısından durum incelendiğinde ise Alikurt yüzeyaltı yatay akışlı YSA'da çıkış suyu ortalaması 31,55 mg/l ve BOİ₅ giderim verimliliği %93 olup, Vymazal (2019), benzer bir oranı %91,7 olarak bulmuştur. BOİ₅ giriş değerlerindeki ani artışlara rağmen atıksu çıkış değerleri istikrarlıdır bunun nedeninin YSA'da uzun tutulma süresi ve zengin biyolojik süreçler olduğu düşünülmektedir. Garipköy ardışık kesikli biyolojik paket arıtma tesisinde ise ortalama çıkış 60 mg/l ve giderim oranı yaklaşık %84,9 olup bu, literatürde belirtilen %85-95 EPA, Campbell ve diğ. (2020) %96, Kitanou ve diğ. (2021) %90 değerleri ile uyumludur. 993mg/l'lik

bir pik değerin ise 466 mg/l çıkışla sonuçlanabildiği kaydedilmiştir. Verim ve çıkış suyu kalitesi ve ani yüklere dayanıklılık açısından YSA daha iyi durumdadır.

Toplam azot irdelendiğinde YSA'da %49,9 giderim, 248 mg/l gibi bir pik girişte yaklaşık 50 mg/l çıkış değeri llmüştir. Paket arıtmada ise giriş ve çıkış değerlerinde yoğun dalgalanmalar sözkonusudur. %41 ortalama giderim verimi mevcut olup bu değer literatüre göre bir miktar düşüktür; Yuan ve diğ. (2016) %56, Kitanou ve diğ. (2021) %52. Garipköy PAK tesisinin giriş değeri Türkiye ortalamasının bir buçuk katı olup Ramprasad ve diğ. (2019)'nin tespitleri ile uyumludur. Negatif giderim oranları, daha soğuk sıcaklıklarda ve yağışlı mevsimlerde yavaş nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerine bağlanmaktadır (Mesquita ve diğ. 2017). 288 mg/l değerindeki pik giriş, 23 mg/l çıkış değeri Mart, 180 mg/l giriş ve 96 çıkış değeri ise Aralık ayında tespit edilmiştir.

Toplam fosfor açısından bakıldığında Alikurt YSA tesisinde ortalama giriş ve çıkış fosfor değerleri sırasıyla 7,30 mg/l ve 5,6 mg/l, giderim oranı %23 civarında olup, bu değer oldukça düşüktür. Başlangıç dönemindeki negatif giderim oranları, fosforun eksik bağlanması ve okelmesi, yetersiz saz bitkisi gelişimine bağlanabilir. Bazı yüksek çıkış değerlerinin, tesiste fosfor birikiminin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Garipköy PAK tesisinin giriş ve çıkış ortalama toplam fosfor konsantrasyonları sırasıyla 7,9 ve 6,2 mg/l'dir. Ortalama giderim oranı ise %21,5 olarak hesaplanmıştır.

Gerçek lekli örnek doğal arıtma ve paket tipi biyolojik arıtma tesisi için hesaplanan ortalama giderim oranları ve atıksu parametreleri Tablo 6.3'de gösterilmektedir. SKKY gibi yerel yönetmeliklere göre kırsal arıtma tesisleri ve YSA'lar için %60 giderim verimliliği yeterli kabul edilmektedir. Yine mevzuatta bu türdeki kk kırsal arıtma tesisleri için azot ve fosfor giderim zorunluluğu yoktur.

Tablo 6.3: YSA ve PAK Giderim oranlarının karşılaştırılması

Gösterge	YSA		PAK		SKKY Deşarj Sınırları	
	Çıkış (mg/l)	Giderim oranı (%)	Çıkış (mg/l)	Giderim oranı (%)	(Tablo 21.1) (kırsal evsel atıksu / PAK için) (mg/l)	(Tablo 21.2) YSA için (mg/l)
AKM	16	88	44	81	60	200
KOİ	67	87	124,9	84,9	160	180
BOİ ₅	31,5	92	60	85	50	75
T. Azot	44	49,9	41,9	41	-	-
T. Fosfor	23	23	21,5	21,5	-	-

Tablo 6.4'de değerlendirilen YSA'lar ile paket biyolojik arıtmaların 5 yıllık karşılaştırmasına ilişkin DESKİ'de yapılan gözlemler sunulmuştur. Bu gözlemler işletme, bakım onarım ve proseslerde elde edilen saha tecrübelerinin yansımasıdır.

Tablo 6.4: 5 yıllık gözlemlere göre paket biyolojik arıtma tesisleri ile YSA'ların karşılaştırılması DESKİ (2021).

Gösterge	Paket Biyolojik Arıtma	YSA (Yüzeyaltı yatay akışlı)
Ani yüklerle karşı dayanıklılık	Küçük havalandırma tankı kapasitesi seyrelmenin azalmasına ve havalandırma süresinin kısa olmasına neden olur ve ani yüklerin dengelenememesine neden olur.	Bekleme süresi yaklaşık 6 gün olup bu, daha fazla havalandırma, çökeltme, güneşlenme süresi ve bitkisel, biyolojik iyileştirme, seyreltmenin artırılmasını sağlayacaktır. Ani yükler kolaylıkla dengelenebilmektedir.
Ayrışmayan KOİ ve zayıf şekilde bozunabilen KOİ	Bu türde KOİ evsel atıksu için göz ardı edilebilir ve sanayi, hayvansal atıksu kaynaklı olarak kabul edilebilir. İnert KOİ, biyolojik olarak parçalanamayan KOİ kısmı için kullanılır ve uzun havalandırma sürelerine ihtiyaç duyar. Kısa havalandırma döngüleri içerisinde zayıf bozunabilen KOİ'nin giderilmesi mümkün değildir	Zayıf parçalanabilen KOİ üzerinde daha iyi giderim başarısına sahiptir.
Hidrolik kapasite	Ani debi artışları için yetersizdir. Dengeleme havuzlarına ihtiyaç duyar.	Ani debi artışları ve dalgalanmalara karşı kararlıdır, alıcı ortam için sabit kalitede ve düzenli oranda deşarj imkânı sağlar.
Kararlılık	Ardışık kesikli bir paket arıtmada bir günde 2 ya da 3 deşarj sağlanabilmektedir. İlk ve son deşarjlar arasında çıkış suyu kalite farkı olabilmektedir. Reaktörde çok hızlı değişiklikler olabilmektedir.	Değişiklikler daha yavaş gerçekleşmekte ve müdahale imkânı sağlamaktadır.
İşletme Kolaylığı	Yetkin elektrik ve mekanik bakım ve işletme personeli gerekmekte, sıkça arızalar görülebilmektedir.	Elektrik ve mekanik açıdan yetkinlik ve sık saha ziyareti gerekmemektedir
Malzeme ve yedek parça, arıza ve planlı bakım	Pompa, vana, hava körüğü, elektrik ve otomasyon malzemesi ve sarflar için yüksek ihtiyaç. Çelik tanklarda paslanma ve çürüme.	Çok düşük yedek parça ve malzeme ihtiyacı, elektrik kesintisi ve voltaj değişikliklerinden etkilenmez.
Alan ihtiyacı	Daha az	Daha yüksek ancak karşılanabilir.
Emisyonlar	PAK: Enerji üretimi nedeniyle karbon kirliliği oluşmaktadır. YSA: Arıtma işleminde bitkiler havaya oksijen ve su buharı verir, yataklar ve bitkiler karbondioksit alır	
Çevresel canlılık	PAK için; alıcı ortamın iyileşmesi dışında katkı yoktur. YSA: Alıcı ortamın iyileşmesi yanında sulak alan kaynaklı yeşil bitkisel zenginlik, kuşlar, su canlıları (kurbağa, kaplumbağa, yılan vb), tilki, domuz vb görülmektedir. Bazı ovalarda göç yolu üzerinde kuşlar konaklamaktadır.	
Foseptik işletilmesi	En sık karşılaşılan sorun, vidanjörlerin çökelmiş çamur yerine üstteki atıksuyun çekmesi olup, bu durum özellikle uzun süre temizlenemeyen foseptiklerde görülmektedir. Sürekli atıksu girişi çekimi güçleştirmektedir. Sonuç olarak foseptik hacmi tam olarak temizlenememekte ve görevini yapamamaktadır. YSA'da foseptik yerine ya da destekleyici olarak serbest yüzeyli ön çöktürme hazneleri yapılabilen kepeçler ile temizlik yapılabilmektedir.	
Çıkış deşarj hattı	Ardışık kesikli tesislerde çıkış pompa ile sağlanmaktadır bununla birlikte uygun olan durumlarda ya da YSA'larda cazibeli akış söz konusudur.	
Atık Çamur	Sistemin imhof değeri hiçbir zaman deşarj pompasının çekiş yaptığı noktayı geçemez. Sistemden hiç çamur çekmeseniz bile çamur seviyesi deşarj pompasının çekiş seviyesine ulaştığında pompa bir miktar çamur seviyesini düşürür. Sistemde çamur üretimi düşük gözükse de deşarj edilen atıksuyla sistemden uzaklaştırılmaktadır. Bu da deşarj standartlarında AKM parametresini tehlikeye sokmaktadır. Düzenli çamur atımını gerçekleştirebilecek donanım ve yeterli personel bulunmamaktadır. Bununla birlikte YSA'da çamur oluşumu çok düşüktür. Yatak malzemesinin (çakıl) 15 yıl boyunca hizmette kalması beklenir.	

6.3.2 Maliyet Analizi

6.3.2.1 Yatırım Maliyetleri

Her iki türdeki arıtma tesisi yatırım maliyeti için ilk adımda arazi kamulaştırma, inşaat, mekanik, elektrik kalemleri belirlenmiştir. YSA'lar doğal bileşenlerden oluştuğu için başlangıç maliyetleri çoğunlukla kamulaştırma, çakıl, kil malzeme temini ve nakliyesi, kazı, döşeme, borulama ve dolgu esaslı inşaat kalemlerini içermektedir. Paket tipi biyolojik arıtma tesislerinin maliyet kalemleri ise çoğunlukla betonarme inşaat, mekanik, elektrik iletim, otomasyonla ilgili kalemleri içermektedir.

6.3.2.1.1 Paket Biyolojik Arıtma Tesisi

Paket biyolojik arıtma tesislerinde ilk yatırım maliyeti Tablo 6.5’de görüleceği şekilde betonarme dengeleme tankı yanında çelik tank, enerji temini, borulama ve elektromekanik donanımı kapsamakta, arazi ihtiyacı daha düşük olmaktadır.

Tablo 6.5: 750 kişilik paket biyolojik arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti (DESKİ, 2021)

Maliyet Kalemi	Tutar (ABD Doları)
İnşaat ve mekanik	70200
Foseptik*	24000
Enerji temin maliyeti	33333
Kamulaştırma	1304
Toplam	128837

*Foseptik maliyeti her iki türde arıtma için geçerlidir

6.3.2.1.2 Yapay Sulak Alan

YSA'lar için yer seçimi inşaat maliyetleri üzerinde etkilidir. Uygun alanın seçiminde topoğrafya önemli olduğundan, tesviye, kazı ve dolgu ciddi maliyet etkenlerindedir (Polprasert, 2004). Dere yataklarına yakın alanlarda yağmursuyu kuşaklaması da gerekebilmektedir.

Foseptik, giriş suyunun dengelenmesi için temel bir gereklilik olup dört odacıklı foseptik için minimum alan ihtiyacı, PAK'ne benzer şekilde 10,02 m²'dir. İhtiyaç duyulan toplam alan yaklaşık 1500 m² olup çevre çit uzunluğu 400 metredir. İnşaat maliyetlerinde hafriyat, agrega ve betonarme kalemler için Türkiye Cumhuriyeti'nde belirlenen güncel Bayındırlık birim maliyetleri esas alınır. Tablo 6.6'da YSA ilk yatırım maliyetleri sunulmaktadır.

Tablo 6.6: 750 kişilik yatay akışlı yüzeyaltı YSA inşaat maliyeti (DESKİ, 2021)

Maliyet kalemi	Tutar (ABD Doları)
İnşaat	131333
Foseptik	24049
Enerji temini	yok
Arazi kamulaştırma	24193
Toplam	179575

İnşaat maliyetlerinin ana bileşenleri hafriyat işleri, giriş ve çıkış yapıları, dağıtım boruları, kaldırımlar, ağaçlandırma ve yollardır; bu maliyetler, Crites ve diğ. (1998) tarafından 27 adet serbest yüzeyli YSA için hektar başına ortalama 18200 ABD Doları olarak hesaplanmıştır.

Tahmini yatırım maliyeti için bkz. (Tablo 6.6); bu maliyet, daha geniş alan ihtiyaçları, kazı ve yatak malzemesi ihtiyaçlarından dolayı YSA'lar için daha yüksektir. Bununla birlikte çoğu kamu su idarelerinin kendi iş makineleri, yeterli iş gücü; inşaat, harita mühendisleri, çevre ve jeoloji mühendisleri, saha personeli ve kırsal bölgelerde yerel çakıl, kum ve kil ocakları mevcuttur. Ayrıca kamulaştırma ücretleri de gelişmiş ülkelere göre çok yüksek değildir.

6.3.2.2 İşletme Giderleri

İşletme giderleri hesaplanırken her iki arıtma tesisi türü için de aşağıdaki varsayımlar dikkate alınır;

Foseptik ön arıtımı ile ham atıksudaki askıda katı maddelerin %50'si uzaklaştırılmış ve ön arıtma çamurunun katı madde içeriği %5 (çökeltme sürelerinin

artması nedeniyle yoğunlaşma) olarak kabul edilmiş ve fazla biyolojik çamur katı içeriği %0,8 kabul edilmiştir.

YSA ve PAK için fosseptiklerden vidanjörle çekilen çamur en yakın merkezi biyolojik arıtma tesisi giriş yapısına verilerek öncelikle fiziksel arıtmaya tabi tutulmaktadır. YSA'larda biyolojik aktif çamur benzeri bir fazla çamur oluşmamaktadır. Paket arıtma tesisi havalandırma tankı içinden çekilen fazla çamur ise yine vidanjörle çekilerek merkezi biyolojik arıtma tesislerinde giriş yapısı ya da havalandırma havuzuna verilmektedir. Merkezi tesislerde dekantör ya da beltpres yardımıyla susuzlaştırılan çamur ve daha sonra özel konteyner yükleme sistemine sahip araçlarla düzenli depolamaya iletilmektedir.

DESKİ'de yapılan metot mühendisliği çalışmalarının bir çıktısı olarak Tablo 6.7'de standart paket arıtma ve doğal arıtma tesisleri için işletme ve bakım onarım açısından yıllık adam*saat cinsinden iş yükü analizi bulunmaktadır. Bu analize göre paket arıtmanın iş yükü ihtiyacı 504/111 dolayında olup doğal arıtmanın beş katıdır.

Tablo 6.7: DESKİ paket arıtma ve doğal arıtmalar için yıllık iş yükleri (DESKİ, 2021)

Tesis Tipi	Alt Sistem	İşlem	Op. Tanımı	İşçilik Sınıfı	Sıklık	Süre (dk)	Seyahat süre (dk)	Yıllık İş Yüğü kişi-saat/yıl	Mesafe Dâhil Yıllık İş Yüğü sa
YSA	Foseptik	İşletme	Foseptik temizlenmesi	Operatör	Yılda 1 kez	60	60	1	2
YSA	Genel Temizlik	İşletme	Giriş ve çıkış alanları ot biçme, ilaçlama vb.	Operatör	Yılda 3 kez	1.920	60	96	99
YSA	Arıtma Yatağı	İşletme	Kombine araç ile temizlik	Operatör	Yılda 3 kez	60	60	3	6
YSA	Çevre Düzenleme	İşletme	Çevre Düzenlemesi	Operatör	Yılda 2 kez	60	60	2	4
						TOPLAM		102	111
PAK	Foseptik	İşletme	Foseptik temizlenmesi	Operatör	Yılda 4	300	120	40,0	56,0
PAK	Foseptik	İşletme	Giriş ve çıkış alanları (ot biçme, ilaçlama vb.)	Operatör	Yılda 5	240	120	20,0	30,0
PAK	Foseptik	İşletme	Terfi Pompası Tıkanma ve	Operatör	Ayda 2	30	120	12,0	60,0
PAK	Foseptik	İşletme	Terfi Pompası Halat Değişimi	Operatör	Yılda 1	60	120	1,0	3,0
PAK	Foseptik Tank	İşletme	Tesis Genel Kontrol	Operatör	Haftada 1	30	120	24,0	120,0
PAK	Foseptik	İşletme	İzgara Temizliği	Operatör	Haftada 1	20	120	16,0	112,0
PAK	Foseptik	Bakım	Terfi pompası, şamandıra, arıza ve bakım	Elektrik Mekanik	Yılda 2	30	120	1,0	5,0
PAK	Genel Elektrik	İşletme	Sayaç değeri alma kompanzasyon takip	Elektrik	Ayda 2 kez	15	120	6,0	54,0
PAK	Tank	Bakım	Blover filtre değişikliği, bakım ve onarım	Mekanik	Yılda 4	30	120	2,0	10,0
PAK	Tank	Bakım	Tahliye pompası şamandıra temizlik, arıza ve bakım	Elektrik Mekanik	Ayda 1	30	120	6,0	30,0
PAK	Tank	İşletme	Terfi Pompası Tıkanma ve Temizleme	Operatör	Yılda 2	30	120	1,0	5,0
PAK	Tank	Bakım	Blower rulman değişikliği	Mekanik	Yılda 1	60	120	1,0	3,0
PAK	Tank	İşletme	Tank temizliği	Operatör	Yılda 1	480	120	8,0	10,0
PAK	Tank	Bakım	Difüzör bakım ve onarım	Operatör	Yılda 1	240	120	4,0	6,0
						TOPLAM		142	504

Operasyon süresi ayda 4 hafta 180 saat olarak hesaplanmıştır. Bir arıtma tesisi için araç ve personel yolculuk hızı dönüş yolu ile birlikte 25 km x 2 olarak kabul edilmiştir. Mobil operasyon ekibinin haftada bir kez kontrol ziyareti yaptığı seyahat süresi de dâhil olmak üzere bir arıtma tesisinde 3 saat harcadığı varsayılmaktadır.

Her bir PAK kaleminin işletmedeki elektrik tüketimi, günlük olarak Tablo 6.8'de gösterilmektedir. Giriş terfi pompasının enerji tüketiminin PAK için geri devir pompasına (%100 geri dönüş oranı) eşit olduğu varsayılır.

Tablo 6.8: Paket arıtma tesisi enerji tüketim değerleri (DESKİ, 2021)

Bileşen	Motor gücü (kW/saat)	Motor verim yüzdesi	Çalışma saati	Adet	Toplam enerji tüketimi (kW/gün)
Terfi pompası	2,2	0,8	4.8	1	8,45
Hava körüğü	7,5	0,8	16	1	96
Deşarj pompası	2,2	0,8	4	1	7,04
Klor dozaj pompası	0,2	0,8	4	1	0,64
PAK günlük enerji tüketimi (kW/gün)					112,13
PAK günlük enerji tüketim maliyeti (ABD Doları / gün)					5,2 \$ /gün

Çamur çekim, nakliye ve susuzlaştırma için birim maliyetler Tablo 6.9’da, toplam miktar ve maliyeti Tablo 6.10’da gösterilmektedir. Vidanjör (12m³ kapasiteli) aylık kira ücreti 2000 ABD Doları, 4x4 pikap ise 436 ABD Doları olarak kabul edilmektedir. Bir arıtma operatörünün işçilik maliyeti 217 ABD Doları ve bir kamyon operatörünün işçilik maliyeti 256 ABD Doları’dır. Seyyar saha ekibi maliyeti Tablo 6.11’de sunulmaktadır.

Tablo 6.9: Birim atık çamur uzaklaştırma maliyetleri (DESKİ, 2021)

Maliyet	Tutar
Vidanjör ile çamur çekimi ve nakliye	2,54 \$/m ³
% 5’lik çamurun dekantörde susuzlaştırma maliyeti	0,74 \$/m ³
% 0,8’lik çamurun dekantörde susuzlaştırma maliyeti	0,4 \$/m ³

Tablo 6.10: PAK ve YSA çamur çekimi, nakliye, susuzlaştırma toplam maliyetleri (DESKİ, 2021)

Çamur türü	PAK	YSA
% 5 KM Ön çökeltim çamuru (m ³ /gün)	0,7	0,7
% 0.8 KM Fazla biyolojik çamur (m ³ /gün)	1,71	İhmal
Toplam çamur hacmi (m ³ /gün)	2,41	0,7
Toplam çamur uzaklaştırma maliyeti	7,33 \$/gün	2,3 \$/gün

Tablo 6.11: Seyyar saha ekibi periyodik bakım, işçilik ve ulaşım maliyetleri (DESKİ, 2021)

Toplam araç maliyeti (USD)	13
Toplam işçilik (USD)	29
Toplam saha ekibi maliyeti (USD/ay)	42

6.3.2.3 Bakım Maliyetleri

Mekanik, elektrik, elektronik, otomasyon, arıza ve periyodik bakım, yedek parça ve sarf malzeme maliyetleri aşağıda özetlenmiştir;

Pompalar için: Rulman, conta, salmastra, fan değişimi, motor sargısı, fanlar için: rulman, pervane değişim maliyetleri 1000 \$/yıl mekanik tamir ve bakım, 6 (pompa adedi) * 3333 \$ / 20 yıl, elektrik ve otomasyon bakım ve onarımı 1333 \$/yıl, ayrıca 20000 \$ maliyetle çelik paket arıtma tankının korozyondan dolayı yenilenmesi gerekmektedir. Bunların yanında foseptik, baca ve boru tesisatlarının bakımı periyodik temizlik, çöken çamurun uzaklaştırılması, çöken ve tıkanmış malzemenin uzaklaştırılması için kombine makine kullanımı vb. konuları kapsamaktadır.

Hunter ve diğ. (2018), ABD için ikincil, üçüncül ve YSA arıtma birim (galon) maliyetlerini sırasıyla 4,90 \$, 6,50 \$, 0,60 \$ olarak hesaplamış ve önümüzdeki on yıllar için enerji fiyat artışlarını öngörmüştür, YSA'lar için enerji için böyle bir risk bulunmamaktadır. Letonya'da yapılan bir çalışmada PAK için aşağıdaki sonuçlar rapor edilmiştir; 5 yıllık işletme için 12000 USD, bakım ve yatırım kısmı için 9000 USD; donanım maliyetleri PAK için yaklaşık 1,5 kat, inşaat maliyetleri ise YSA'lar için 2 kat pahalı olarak hesaplanmıştır (Tilgalis ve diğ. 2011). Gratziou ve diğ. (2006), YSA'ların 5000 kişi eşdeğer nüfusa kadar en ucuz yatırım olduğunu ortaya koymuştur. 20 yıl için hesaplanan toplam yatırım ve işletme giderleri Tablo 6.12'de sunulmuş ve yıpranma payı (amortisman) giderleri dâhil edilmemiştir.

Tablo 6.12: Paket arıtma ve doğal arıtmanın ilk yatırım ve işletme maliyetleri toplamı

Maliyet başlığı	Paket Biyolojik Arıtma Tesisi	Yüzeyaltı Yatay akışlı YSA
Enerji harcamaları (USD/gün)	5,23	-
Çamur çekme, nakliye, susuzlaştırma (USD/gün)	7,37	2,30
Seyyar saha ekibi (periyodik bakım ve gözetim, işçilik, ulaşım, araç kiralama) (USD/gün)	1,41	1,41
Mekanik, elektrik, otomasyon, bakım, onarım, yedek parça ve sarf malzemeleri (USD/gün)	11,87	-
Toplam işletme giderleri (USD/gün)	25,9	3,71
Toplam işletme giderleri (USD/m ³)	0,13	0,018
Yatırım maliyeti (USD)	128.886	179.575
20 yıllık toplam maliyet (USD)	317.956	206.158

Tablo 6.12'de görülebileceği üzere bu çalışmada PAK için 0,13 USD /m³, YSA için 0,018 USD/m³ olarak hesaplanan birim arıtma maliyeti; ABD'de paket tip biyolojik arıtma tesisleri için yapılan çalışmalarda saha koşullarına göre metreküp başına yaklaşık 0,17-0,44 ABD Doları civarındadır (EPA 1999). Serbest yüzeyli tesisler için yapılan benzer bir çalışmada ise YSA işletme maliyetleri 0,026 ile 0,08 ABD Doları/m³ arasında değişmektedir (Crites ve diğ. 1998).

Merlin ve diğ. (2010) yaptıkları kapsamlı incelemede enerji ve çevresel göstergeler açısından üstünlük ve sürdürülebilirlik dikkate alındığında kararın YSA'lar lehine olduğunu beyan etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucu olarak benzer şekilde yapay sulak alan ve ardışık kesikli biyolojik paket arıtma tesisi yatırım ve işletme verileri karşılaştırıldığında, yapay sulak alanların daha düşük işletme ve bakım masrafları ve kararlılıkları yanında tüm göstergelerde daha üstün giderim oranlarına sahip olduğu söylenebilir.

6.4 Pilot Yapay Sulak Alan Çalışması

Denizli Merkez Atıksu Arıtma Tesisi içinde daha önce kurulan cilalama amaçlı mevcut pilot tesise ek olarak 3 ayrı deneme havuzundan oluşan bir pilot tesis oluşturulmuş ve toplamda yaklaşık 13 ay süre işletilmiş, 13 kez numune alınmıştır. Hedeflenen 12 aylık pilot tesis işletmesi Ağustos 2023 sonunda tamamlanmış ve pilot tesis kapatılmıştır.

Pilot tesiste, ön arıtmadan geçirilmiş atıksu ile beslenen yapay sulak alanlar yüzeyaltı yatay akışlı, yüzeyaltı dikey akışlı ve serbest yüzeyli olarak tasarlanıp imal edilmiştir. Sonuçlar toplamda 12 ay tamamlanana kadar kaydedilmiş ve veriler yorumlanarak Denizli geneli gerçek ölçekli yapay sulak alan projesi için girdi sağlanmaktadır. Pilot havuzları beslemek için merkez atıksu arıtma tesisine gelen ham kentsel atıksu kaba ızgara, ince ızgara, kum tutucudan geçtikten sonra ön çöktürme havuzları çıkış kanalından santrifüj pompa ile sürekli olarak alınarak taze atıksuda üç ayrı tür yapay sulak alan için denemeler tamamlanmıştır.

6.4.1 Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

6.4.1.1 pH

Bu bölümde Denizli Merkez atıksu arıtma tesisine geldikten sonra kaba, ince ızgaralar sonrası kum tutucu ve ön çöktürme havuzlarından geçerek pompa ile yapay sulak alan deneme bölgesine alınan gerçek zamanlı atıksu numunelerinde, ayrıca tüm yapay sulak alan deneme haznelerinden çıkışta ölçülen pH değerleri görülmektedir. pH açısından bakıldığında, YSA'lar hakkında literatürde yaygın bir bilgi bulunmamakla birlikte, Katayon ve diğ. (2008) YSA'larda evsel atıksu arıtımı üzerine yaptıkları çalışmada pH çıkış değerlerinin bitkili yapay sulak alanlarda her zaman giriş atıksu değerlerinden daha düşük olduğunu göstermektedir, ayrıca işletme gün sayısı arttıkça nitrifikasyon nedeniyle hidrojen iyonu oluştuğu ve düşüşün arttığı bildirilmektedir. Bu çalışmada ortalama giriş pH değeri 7,70 ve çıkış 7,4 - 7,2 ve 7,6 olup, deşarj standartlarına uygundur (pH 6-9). Tablo 6.13'de pilot YSA için pH değerleri sunulmaktadır.

Tablo 6.13: Pilot YSA pH giriş ve çıkış değerleri

Sayı	pH	Ham Atıksu Girişi	Ön Çöktürme Çıkış Suyu	Yüzeysel DA YSA Çıkış Suyu	Yüzeysel Yatay Akışlı YSA Çıkış Suyu	Serbest Yüzeysel YSA Çıkış Suyu	Merkez AAT Nihai Artılmış Çıkış Suyu	Cilalama Amaçlı Serbest Yüzeysel YSA Çıkış Suyu
1	5.09.2022	7,61	7,64	7,46	7,44	7,57	8,01	7,76
2	10.10.2022	7,65	7,68	7,47	7,38	7,56	8,01	
3	2.11.2022	7,54	7,63	7,57	7,19	7,58	7,97	7,75
4	7.12.2022	7,74	7,75	7,31	7,15	7,76	8,16	
5	11.01.2023	7,6	7,87	7,33	7,29	7,67	8,1	7,78
6	14.02.2023	7,76	7,76	7,47	7,16	7,53	8,1	
7	23.03.2023	7,7	7,71	7,26	7,27	7,73	8,2	7,84
8	17.04.2023	7,67	7,6	7,16	6,97	7,29	8	
9	10.05.2023	7,6	7,63	7,22	7,11	7,47	7,9	7,81
10	22.06.2023	7,49	7,52	7,3	7,24	7,38	7,87	7,81
11	25.07.2023	7,67	7,78	7,88	7,83	7,67	7,93	8,09
12	16.08.2023	7,37	7,45	7,44	7,43	7,2	7,76	7,72
	Ortalama	7,6	7,7	7,4	7,3	7,5	8,0	7,8

6.4.1.2 Sıcaklık

Denizli merkez atıksu arıtma tesisine gelen kentsel atıksu aralık, ocak ve şubat aylarında en soğuk, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında en sıcak seviyelere erişmektedir. Yapay sulak alan havuzlarına gelen atıksuların 27⁰C dolayındaki en sıcak seviyelerde 3 derece düşerek 24 dereceye indiği, en soğuk günlerde ise 6,7 ⁰C giriş yaparak 14-15 ⁰C civarına 7-8 ⁰C yükseldiği görülmektedir. Tablo 6.14’de YSA giriş ve çıkış sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Yıllık ortalamaya bakıldığında 17,1 ⁰C olarak giriş yapan ön çöktürülmüş atıksu 17,8, 17,6, 17,2 ⁰C olarak çıkış yapmaktadır. Cilalama amaçlı son pilot deneme havuzu incelendiğinde bu havuza giren nihai arıtılmış su 21,2 ⁰C iken serbest yüzeyli havuz çıkışında 1 ⁰C düşüş olmaktadır.

Tablo 6.14: Pilot YSA giriş çıkış sıcaklık değerleri

Sayı	SICAKLIK (°C)	Ham Atıksu Girişi	Ön Çökeltim Çıkış Suyu	Yüzeyaltı Dikey Akışlı YSA Çıkış Suyu	Yüzeyaltı Yatay Akışlı YSA Çıkış Suyu	Serbest Yüzeyli YSA Çıkış Suyu	Merkez AAT Nihai Arıtılmış Çıkış Suyu	Cilalama Amaçlı SY YSA Çıkış Suyu
1	5.09.2022	23,6	22,6	23,3	22,7	21,9	25	23,9
2	10.10.2022	20,3	18,6	19,2	18,4	17,6	22,3	
3	2.11.2022	16,3	12,9	14,4	14,3	13	17,7	17,5
4	7.12.2022	11,4	8,9	9,6	8,8	9	12,5	-
5	11.01.2023	14,09	11,1	13	13,1	12,6	14,9	13,7
6	14.02.2023	7,7	6,7	13,8	14,8	15		
7	23.03.2023	14,2	14,6	13,3	13,6	12,5		14,8
8	17.04.2023	17,4	16,6	17,3	16,3	15,9		
9	10.05.2023	18,4	17,7	17,5	17,6	17		18,4
10	22.06.2023	23,4	22,9	22,8	22,1	21,8	24,4	22,9
11	25.07.2023	27	26,1	25,3	25,2	25,6	27,1	25
12	16.08.2023	27,9	27	24,1	24,3	24,1	25,8	25,5
	Ortalama	18,5	17,1	17,8	17,6	17,2	21,2	20,2

6.4.1.3 Elektriksel İletkenlik

Pilot yapay sulak alanlara giren ön arıtmadan çıkmış atıksuda ortalama giriş elektrik iletkenliği değeri 1314 (µS/cm) olup, çıkış değerleri dikey yüzeyaltı akışlı,

yatay yüzeyaltı akışlı ve serbest yüzeyli yataklar için sırasıyla 1536,1587 ve 1482 $\mu\text{S}/\text{cm}$ civarındadır. Cilalama amaçlı havuza ise ortalama giriş 1354 olup çıkış 1197 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerindedir. Literatürde genel olarak çıkış sularındaki azalmanın organik kirlilik seviyesindeki azalma ve mineralizasyon ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Wang ve diğ. 2021). Örneğin Galve ve diğ. (2021), süt çiftliği atıksu arıtımı için tasarlanmış Dikey Yeraltı Akışlı YSA'da %12,94 azaltım kaydetmiştir. Bir başka çalışmada daha düşük iletkenlik oranları, yağışlı mevsimlere bağlanmaktadır (Joel ve diğ. 2005). Gerçek ölçekli mevcut Alikurt tesisinde ise çıkış atıksuyundaki elektriksel iletkenlik için %16'lık azalma kaydedilmiştir.

Pilot çalışmadaki artışın nedeni sorgulandığında; kurak mevsim boyunca YSA'larda düşük su hacminin, tüm sistemin iletkenliğini artırabildiği, bunun ortamdaki yüksek hidroksil konsantrasyonları, karbonatlar, bikarbonatlar, sülfatlar, amonyak ve özellikle atıksu girişinden sonra organik maddenin biyolojik sindiriminden kaynaklanan diğer iyonlar nedeniyle olduğu görülmektedir. Tablo 6.15'de YSA giriş çıkış iletkenlik değerleri sunulmaktadır.

Tablo 6.15: Pilot YSA giriş çıkış iletkenlik değerleri

Sayı	İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ham Atıksu Giriş	Ön Çökeltim Havuzları Çıkış Suyu	Yüzeyaltı DA YSA Çıkış Suyu	Yüzeyaltı YA YSA Çıkış Suyu	SY YSA Çıkış Suyu	Merkez AAT Nihai Artılmış Çıkış Suyu	Cilalama Amaçlı SY YSA Çıkış Suyu
1	5.09.2022	1343	1294	1290	1354	1289	1129	1109
2	10.10.2022	1239	1067	1309	1346	1340	1050	
3	2.11.2022	1700	1403	2158	2590	1489	1314	1328
4	7.12.2022	1533	1476	2380	1847	1528	1371	-
5	11.01.2023	1161	751	1586	1653	1707	-	919
6	14.02.2023	1220	1177	1293	1314	1344	-	
7	23.03.2023	1272	1436	1385	1696	1394	-	1337
8	17.04.2023	1280	1376	1970	2390	1317	-	
9	10.05.2023	984	790	1382	1076	834	-	829
10	22.06.2023	1349	1288	1006	1016	1214	1172	1026
11	25.07.2023	1880	1946	1248	1453	2420	1820	1601
12	16.08.2023	1692	1759	1423	1310	1910	1625	1429
Ortalama		1388	1314	1536	1587	1482	1354	1197

Lienard ve diğ. (2010) yılında yaptıkları çalışmada amonyum ve organik azotun özellikle dikey akışlı yapay sulak alanlarda çok iyi okside olduğunu, bunun da arıtılmış atıksuda yüksek oranda nitrat tuzlarının oluşumuna neden olduğunu bildirmektedir. Fransız tipi dikey akışlı YSA’larda özellikle 2.aşama çakıl yatakta nitrifikasyonun tamamlanması sonrasında bu tuz oluşumunun arttığı, bunun da iletkenlik artışına neden olabildiği vurgulanmaktadır. Bir diğer ihtimal üç adet pilot hazne malzemesinin çelik olmasının yükseltici etki oluşturabileceğidir ancak bu durum tankın boya ya da yalıtım malzemesi ile kaplı olmadığına katyonik iyon salması ile ilişkilidir. Bunun yanında nihai cilalama havuzunun betonarme yapıda olduğu düşünüldüğünde burada iletkenlik artışı görülmemiştir.

6.4.1.4 Askıda Katı Madde

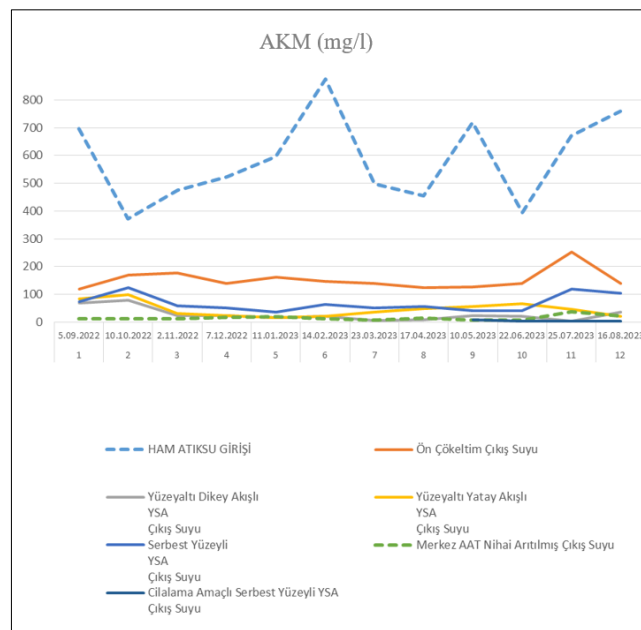
Yapay sulak alanlarda askıda katı madde giderimi, filtrasyon ve çökeltme ile sağlanır; bitkiler ve çakıl yatağı atıksuyun akış hızını yavaşlatır ve uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Pilot tesiste yapılan ölçümlerde ortalama atıksu girişi ham atıksu için 560,6 mg/l, ön çöktürme işleminden sonra 144 mg/l AKM değeri ölçülmüştür. Kırsal alanda ham atıksu giriş Türkiye ortalaması 200 mg/l civarındadır, fosseptiklerde ise %30-50 arası AKM giderimi sözkonusudur. Çıkış değerleri ise dikey akışta 29,4 mg/l, yatay akışta 48 ve serbest yüzeyli yatakta 64,7 mg/l civarındadır. Bu sonuçlara göre AKM giderim verimliliği yaklaşık %94-92 ve 89'dur, bu oran Türkiye'deki YSA’lar için ölçülen ortalama giderim oranlarının üzerindedir (Güneş ve diğ. 2021). Serbest yüzeyli yapay sulak alanlar için bu çalışmada elde edilen sonuç Vymazal (2019)'ın %88,3 giderim kaydettiği çalışmasına eşittir. Yine gerçek ölçekli Alikurt YSA’da %88 olarak elde edilen giderim verimi pilot çalışmadaki %92 (yatay akışlı) havuz değerinden daha düşüktür. Cilalama amaçlı serbest yüzeyli yatakta ise 15,1 mg/l giriş ve 4,4 mg/l çıkış görülmektedir. Bu sonuç da gerçek ölçekli Nikfer Serbest yüzeyli YSA Tesisinde elde edilen %80 giderme veriminin üzerinde ve %86 olarak hesaplanan Karahisar serbest yüzeyli YSA sonucu ile yakın değerdedir. Tablo 6.16’da YSA giriş çıkış AKM değerleri çizelge olarak sunulmaktadır.

AKM, Vymazal'ın (2019) vardığı sonuç doğrultusunda mevsimlere göre önemli ölçüde değişirse de sonbahar, kış ve ilkbaharda yaz mevsimine göre nispeten daha yüksektir. AKM değerindeki mevsimsel değişikliklerin nedenleri, yağış

rejimindeki değişiklikler, yaz aylarında büyük evsel su kullanımı ve kirlilik yükü dalgalanmalarıdır. Pilot YSA'lar için ham atıksu giriş ve artırılmış atıksu çıkış değerleri Şekil 6.14'de görülmektedir.

Tablo 6.16: Pilot YSA giriş çıkış askıda katı madde değerleri

Sayı	AKM (mg/l)	Ham Atıksu Girişi	Ön Çökeltim Çıkış Suyu	Yüzeyaltı Dikey Akışlı YSA Çıkış	Yüzeyaltı Yatay YSA Çıkış	Serbest Yüzeyle YSA Çıkış	Merkez AAT Nihai Çıkış	Cilalama Amaçlı SY YSA Çıkış	
1	5.09.2022	696	118	70	84	74	11	6	
2	10.10.2022	372	170	78	100	124	13		
3	2.11.2022	476	176	24	32	60	13	6	
4	7.12.2022	522	138	24	23	50	17		
5	11.01.2023	596	162	17	15	36	21	3	
6	14.02.2023	876	148	20	20	64	11		
7	23.03.2023	498	140	7	36	50	8	2	
8	17.04.2023	456	124	8	48	56	14		
9	10.05.2023	720	126	24	56	40	6	8	
10	22.06.2023	394	138	22	66	40	7	3	
11	25.07.2023	672	252	3	46	118	37	4	
12	16.08.2023	760	140	36	20	104	23	3	
		AKM YASAL DEŞARJ SINIRI 200 mg/l ya da %60 giderim							
	Ortalama	560,6	144,0	29,4	48,0	64,7	15,1	4,4	
Ön Çöktürme Sonrasında Giderim (%)				79,6	66,7	55,1	89,5	97,0	
(Ön Çöktürme / Foseptik Dâhil)			74,31	94,76	91,44	88,45	97,31	99,22	
Toplam Giderim (%)									



Şekil 6.14: Pilot YSA ham atıksu giriş ve artırılmış su çıkış AKM değerleri

6.4.1.5 Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Doğal arıtma tesislerinde karbon giderimi doğrudan çözünmeyen kısım için çökeltme ve filtrasyonla, aerobik ortamda çözünen kısım için *Phragmites australis* bitkileri üzerindeki biyofilm tabakası ile sağlanmaktadır. Ayrıca bitki yapraklarından köklere iletilen oksijen ile bozunma gerçekleşir. Anaerobik ortamda karbon ve diğer organik maddelerin ayrışması yatağın tabanında gerçekleşir (Tübitak 2011).

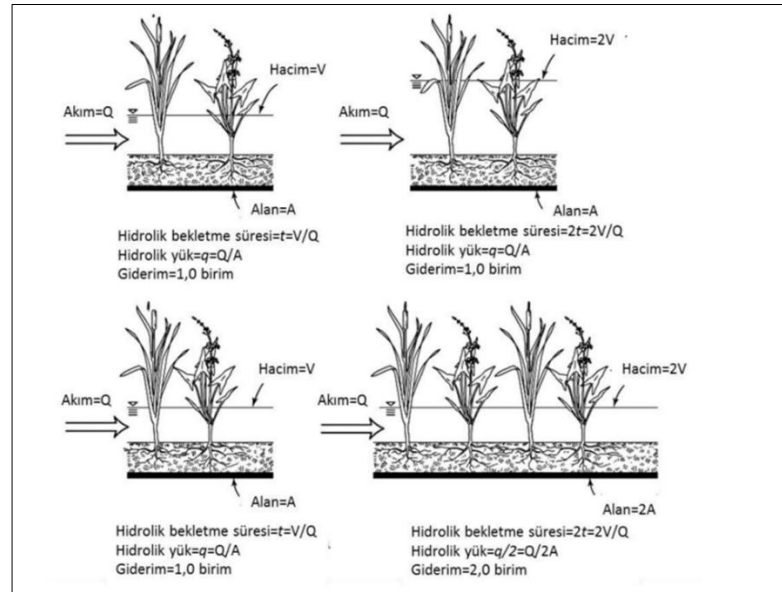
Pilot tesiste ham atıksu için 883 mg/l ve 391 mg/l (ön çöktürme çıkışı) olarak ölçülen KOİ ortalama giriş değerleri, Türkiye ortalaması olan (giriş) 409 mg/l'lik üst sınırın oldukça üzerindedir (Erdoğan 2004). Deneme yataklarında arıtılan su için ortalama çıkış değerleri dikey akışlıda 130 mg/l, yatay akışlıda 148 mg/l ve serbest yüzeyli yatakta 221 mg/l olup, yüzeyaltı yataklarda alınan sonuçlar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde tanımlı 180 mg/l deşarj gerekliliklerini karşılamaktadır.

Bu çalışmada kimyasal oksijen ihtiyacının ortalama giderimi dikey akışlı, yatay akışlı ve serbest yüzeyli havuzlar için sırasıyla yaklaşık %85, 83 ve 73 olup bu değerler Vergeles ve diğ. (2015) tarafından bildirilen ortalama giderimden (%72,1±9) daha başarılıdır. Vymazal (2019), yirmi yıldır işletilen gerçek ölçekli tesisler için ortalama %82,9 giderimi bildirmiştir. Cilalama amaçlı tesiste ise 67 mg/l giriş 48 mg/l çıkış değeri elde edilmiştir. Yüksek giriş değerleri ortalama kırsal atıksu üzerinde kirliliğe sahip Denizli merkez evsel / endüstriyel atıksulardan kaynaklanmaktadır. Tablo 6.17'de ise pilot YSA giriş çıkış KOİ değerleri sunulmaktadır.

Üçlü denemede yeralan ve ön çökeltimden geçen ham atıksuyun arıtıldığı Serbest yüzeyli havuzda SKKY şartı olarak 180 mg/l değeri sağlanamamakta ancak %60 giderim şartı sağlanmaktadır. Alttaki şekilde görüldüğü üzere aynı debi için serbest yüzeyli havuzda çakıl kullanılmaması kaynaklı yüksek derinlik verime olumlu etki etmemekte, yüzey alanının artırılması gerekmektedir. Serbest yüzeyli yapay sulak alanlarda su derinliği değiştirilmesi ve yatak alanı genişlemesinin nihai giderime etkisi Şekil 6.15'de gösterilmektedir.

Tablo 6.17: Pilot YSA giriş çıkış KOİ değerleri

Sayı	KOİ (mg/l) TARİH	Ham Atıksu Girişi	Ön Çökeltim Çıkış Suyu	Yüzealtı Dikey Akışlı YSA Çıkış Suyu	Yüzealtı Yatay Akışlı YSA Çıkış Suyu	Serbest Yüzeyle YSA Çıkış Suyu	Merkez AAT Nihai Artılmış Çıkış Suyu	Çilalama Amaçlı SY YSA Çıkış Suyu
1	5.09.2022	1015	345	248	267	226	60	54
2	10.10.2022	788	420	272	289	354	72	
3	2.11.2022	774	428	92	185	230	78	54
4	7.12.2022	775	389	88	57	184	56	-
5	11.01.2023	883	221	64	72	156	74	29
6	14.02.2023	805	420	84	67	231	62	
7	23.03.2023	873	400	59	107	180	59	63
8	17.04.2023	789	403	115	109	224	53	
9	10.05.2023	1142	432	146	179	208	60	43
10	22.06.2023	817	416	81	120	166	51	35
11	25.07.2023	890	429	105	177	347	107	52
12	16.08.2023	1039	392	112	96	198	77	55
KOİ Yasal Deşarj Sınırı 180 mg/l ya da %60 giderim								
Ortalama		883	391	122	144	225	67	48
Ön Çöktürme Sonrasında Giderim (%)				68,78	63,26	42,41	82,77	87,70
Ön Çöktürme (Foseptik) Dahil Toplam Giderim (%)			55,67	86,16	83,71	74,47	92,36	94,55



Şekil 6.15: Serbest yüzeyle YSA'da su derinliği değiştirilmesi ve yatak alanı genişlemesinin giderime etkisi (Öztürk ve diğ. 2017)

Teorik olarak doğal arıtma tesisleri ve özellikle serbest yüzeyli sulak alanlar için sıkça dile getirilen koku ve sinek oluşması ihtimali doğrultusunda pilot tesislerde yapılan gözlemlerde kokuya hiçbir havuzda rastlanılmadığı, genel olarak sinek topluluğu oluşmadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte dikey akışlı pilot havuzda yukarıdan damlatma kaynaklı olarak bitki gövde ve yapraklarının arasında başlangıçta düşük seviyede sinek topluluğu görüldüğü, serbest yüzeyli havuzda su yüzeyi altında nadiren solucan ve kurtçukların bulunduğu kaydedilmiştir.

6.4.1.6 Biyolojik Oksijen İhtiyacı

Pilot tesiste giriş BOİ₅ ortalaması ham su için 401,7 mg/l, ön çöktürme çıkışı 195 mg/l YSA çıkışları ise 37,8-50,1 ve 77,6'dır. Bu gösterge için gerçek ölçekli yüzeyaltı yatay akışlı Alikurt YSA için sonuçlar benzer olup giriş 449 iken, çıkış 31,55 mg/l'dir. BOİ₅ giderim verimliliği ise Alikurt'da %93 iken (gerçek ölçekli tesislerdeki foseptik gibi ön çöktürme de giderime dâhil edilerek) pilot tesis havuzlarında dikey akış için %90,58, yatay akışta 87,53 ve serbest yüzeyli yatakta 80,68'dir. Bu değerler Türkiye ortalamasının üzerinde ve Çek Cumhuriyeti'nde Vymazal (2019) tarafından 17 gerçek ölçekli yüzeyaltı yatay akışlı YSA için elde edilen %91,7 değeri ile yaklaşık düzeydedir. Cilalama amaçlı pilot haznede ise 11,7 giriş 7,2 mg/l çıkış sağlanmış bu da %38 giderime işaret etmektedir.

Rizzo ve diğ. (2016), modelleme çalışmasında YSA'nın girişteki dalgalanmalara karşı kararlı tepki verdiğini ve ani aşırı yüklerden etkilenmediğini doğrulamıştır. Doğal arıtma tesislerinde arıtılmış sudaki BOİ₅ değerlerinin girişten etkilenmeden sabit kalma eğiliminin nedeni, gerçek ölçekli büyük alanlı tesislerde yüksek tutulma süresi olmakla birlikte, bu pilot çalışmada yeterli bekleme süresinin sağlanamadığı düşünülmektedir (bakınız Proses Tasarım Çizelgesi). Zhang ve diğ. (2020) ise, işletme stratejisi tanımlama çalışmalarında kurak ayların ve azalan atıksu miktarlarının da atıksu çıkış kalitesinde değişimlere neden olmadığını belirtmişlerdir. Tablo 6.18'de YSA giriş çıkış BOİ değerleri sunulmaktadır.

Literatürle benzer şekilde numune alma tarihi ile giderim verimi arasındaki ilişki sabit görülmemekte ve mevsim koşullarından doğrudan etkilenmemektedir. Bu sonuç Vymazal (2019), Matamoros ve diğ. (2012) ve Krasnits ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmalarla uyumludur. Bu çalışmada ise BOİ₅'teki dalgalanma ve pik değerlerin gerçek zamanlı kentsel ham atıksu kalitesindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Proses kararlılığı nedeniyle BOİ ve KOİ giderim oranlarına ilişkin benzer çalışmada görüldüğü gibi sıcaklıktaki değişimler etkili değildir (Merlin ve diğ. 2002). Hoddinott (2006), bitki örtüsünün mevsimsel ve sıcaklık etkilerine karşı sorunu çözdüğünü belirtmiştir. Krasnits ve diğ. (2009), mikrobiyal topluluklarla yeterli temas süresinin sağlanması için sulak alan tasarımının ve işletiminin, iklimsel ve mevsimsel etkilerle uğraşmaktan çok daha önemli olduğunu tanımlamıştır.

Tablo 6.18: Pilot YSA giriş çıkış BOİ₅ değerleri

Sayı	BOİ ₅ (mg/l)	Ham Atıksu Girişi	Ön Çökeltim (FOSEPTİK) Çıkış Suyu	Yüzeysel DA YSA Çıkış Suyu	Yüzeysel YA YSA Çıkış Suyu	Serbest Yüzeysel YSA Çıkış Suyu	Merkez AAT Nihai Artılmış Çıkış Suyu	Cilalama Amaçlı SY YSA Çıkış Suyu	
1	5.09.2022	360	150	110	120	90	7	10	
2	10.10.2022	360	190	95	120	140	12	8	
3	2.11.2022	500	220	14	45	80	10	6	
4	7.12.2022	320	190	10	14	70	10	7	
5	11.01.2023	340	120	9	18	16	14	8	
6	14.02.2023	400	220	20	18	90	11	7	
7	23.03.2023	500	240	10	26	60	10	6	
8	17.04.2023	420	220	30	34	90	15	6	
9	10.05.2023	500	220	50	60	70	10	6	
10	22.06.2023	400	200	30	44	65	11	8	
11	25.07.2023	360	210	24	50	90	18	6	
12	16.08.2023	360	160	52	52	70	12	8	
				BOİ ₅ Yasal Deşarj Sınırı 75mg/l çıkış ya da %60 giderim					
	Ortalama	401,7	195,0	37,8	50,1	77,6	11,7	7,2	
Ön Çöktürme Çıkışından Sonra Giderim (%)				80,6	74,3	60,2	94,0	96,3	
(Ön Çöktürme / Foseptik dâhil) Toplam Giderim (%)			51,45	90,58	87,53	80,68	97,10	98,22	

6.4.1.7 Toplam Azot

Doğal arıtma süreçlerinde azot giderme yolları, amonyak buharlaşması, nitrifikasyon, denitrifikasyon, azot bağlama, bitki ve bakteri alımı, mineralizasyon, nitratın amonyuma indirgenmesi, anaerobik amonyak oksidasyonu, parçalanma, adsorpsiyon, yüzey salımı, tabana gömülme ve sızmadır (Vymazal 2007).

Pilot tesis çalışmasında ise dikey akışlı havuz için %51,5 yatay akış için 42,23 ve serbest yüzeyde %19,81 verim elde edilmiştir. Denizli'de bulunan ve bu tez çalışmasına da konu olan gerçek ölçekli yatay yüzey altı akışlı örnek tesis (Alikurt YSA) için Toplam Azot giderim verimliliği %49,9 olarak hesaplanmış ve bu değer Lee ve diğ. (2009) tarafından yapay sulak alanlar için %40-50 ve konvansiyonel arıtma tesisi için %20-30 olarak bildirilen çalışma ile uyumlu ve pilot tesiste elde edilen sonuçlardan ise üstündür. Yatay yüzeyaltı akışlı Alikurt YSA'da zengin biyolojik varlık nedeniyle verimin yüksek olduğu düşünülmektedir.

Vymazal (2007), sulak alan tipine ve giriş yüküne göre %40-50 oranında değişen TN giderme verimliliğini kaydetmiştir. Feng ve diğ. (2020) tarafından yürütülen deneysel bir çalışmaya göre, dikey akışlı YSA'ların yeterli havalandırma ve biyolojik kömür filtresi yatağı gibi bazı geliştirmelerin uygulanması, nitrifikasyonu artırır ve hayvancılık atıksuları için %73'lük daha yüksek TN giderimi ile sonuçlanır. Başka bir çalışmada Guimaraes ve diğ. (2016), YSA'larda bir mandıradan gelen benzer bir atıksuyu arıtıldığında *Vetiver* ile daha yüksek giderim verimliliği göstermiştir. Tablo 6.19'da YSA giriş çıkış toplam azot değerleri sunulmaktadır.

Göçmez ve diğ. (2011) bu çalışmada kullanılan *Phragmites australis* yerine *Vetiver zizanoides* ile daha yüksek giderim kaydetmiş ancak kışın hasat yapılmazsa bitkinin bünyesine aldığı besi maddelerini ortama geri saldırdığını bildirmiştir.

Benzer çalışmalara göre, toplam azot giderim verimliliği ile mevsimsel değişim arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktur. Ancak sıcaklığın nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemlerini hızlandırması nedeniyle yaz mevsiminde toplam azot giderimi diğer aylara göre biraz daha yüksektir. Katayon ve diğ. (2008), bitkisel doğal arıtmaların, bitkisizlere göre amonyum ve toplam fosfor gideriminde daha iyi sonuçlara sahip olduğunu vurgulamaktadır. Mevzuatta kırsal alanlarda küçük ölçekli tesislerde azot giderim zorunluluğu bulunmamaktadır. Yine nihai cilalama amaçlı

serbest yüzeyli tesise giriş ortalaması 37,6 mg/l ve çıkış 30,4 mg/l olup yaklaşık %20 düzeyinde giderim elde edilmiştir. Bu, Karahisar serbest yüzeyli YSA'da elde edilen 23,67 mg/l değerindeki sonuca yakındır.

Tablo 6.19: Pilot YSA giriş çıkış TN değerleri

Sayı	TN (mg/l)	Ham Atıksu Giriş	Ön Çöktürme Havuzları Çıkış Suyu	Yüzeysel DA YSA Çıkış Suyu	Yüzeysel YA YSA Çıkış Suyu	SY YSA Çıkış Suyu	Merkez AAT Nihai Artırılmış Çıkış Suyu	Cilalama Amaçlı SY YSA Çıkış Suyu
1	5.09.2022	70	58	61	61	55,5	28	28
2	10.10.2022	67	61,5	59	67	65,5	30	
3	2.11.2022	76	69	45,5	43,5	63	41,5	38,5
4	7.12.2022	72	67	24	33,5	64,5	44	-
5	11.01.2023	70	33,5	34	42	59,5	48	32
6	14.02.2023	72	66	37,5	39	61,5	48	
7	23.03.2023	63	63,5	27,5	41	52	51	46
8	17.04.2023	64	62,5	17,5	26	38,5	42	
9	10.05.2023	64	53	7,5	22,5	43	34	32
10	22.06.2023	59,5	49	17	20	33	22,5	17,5
11	25.07.2023	68,5	62,5	24	34	62,5	32	26,5
12	16.08.2023	61,5	53	37	37	49	30,5	22,5
Ortalama		67,3	58,2	32,6	38,9	54,0	37,6	30,4
Ön Çöktürme Sonrasında Giderim (%)				44,0	33,2	7,3	35,4	47,8
Ön Çöktürme (Foseptik) Dâhil Toplam Giderim (%)			13,50	51,52	42,23	19,81	44,09	54,86

6.4.1.8 Toplam Fosfor

Yapay sulak alanlarda fosfor giderim yolları, soğurma, çöktürme, bitki bünyesine alım (bir sonraki hasatla birlikte) ve turba/toprak biriktirmedir. Vymazal (2007), sulak alanlarda fosfor gideriminin genellikle düşük olduğunu bildirmiştir. Gerçek ölçekli örnek tesiste ortalama giriş ve çıkış fosfor konsantrasyonları sırasıyla 7,30 mg/l ve 5,6 mg/l'dir. Dolayısıyla, ortalama giderim %23 civarındadır. Vymazal (2004) uzun süreler (en fazla 9 yıl) boyunca faaliyette olan sulak alanlarda sınırlı tutunma (sorpsiyon) kapasitesinin bir sonucu olarak P gideriminin yıllar içinde azaldığını kaydetmiştir. Pilot tesiste ise 8,91 mg/l ham giriş ve 7,04 ön çöktürme çıkış değerlerinden sonra 3,34-3,39 ve 6,77 mg/l TP değerleri elde edilmiş böylelikle çakıl yataklarda ortalama % 64,2-66,2 verim elde edilmiştir. Vymazal (2004) yüzey altı yatay akışlı çakıl yataklarda yatak malzemesine göre değişen oranlarda (bitki hasadı

da mevcut ise) ortalama %40-60 dolayında değişen giderim oranları ve %45,7 genel ortalamaya işaret etmektedir. Üçlü denemede bulunan serbest yüzeyli yatakta giderim düşük olup ön çöktürme de dikkate alındığında %24 seviyesindedir. Doody ve diğ. (2009) İrlanda'da 700 kişilik gerçek bir tesiste 0,14 mg/l'lik bir çıkış değeri kaydetmiştir. Bu tesiste 2 ön çöktürme 5 adet serbest yüzeyli yatak mevcuttur. Benzer bir durumda ise çakıl yerine kömür cürufu kullanımı TP giderimini %45 olarak maksimize etmektedir (Korkusuz ve diğ. 2005). Tablo 6.20'de pilot alandaki TP değişim değerleri bulunmaktadır.

Tablo 6.20: Pilot YSA giriş ve çıkış toplam fosfor değerleri

Sayı	TP (mg/l)	Ham Atıksu Giriş	Ön Çökeltim Çıkış Suyu	YDA YSA Çıkış Suyu	YYA YSA Çıkış Suyu	SY YSA Çıkış Suyu	Nihai Arttırılmış Çıkış Suyu	Cilalama Amaçlı SYYSA Çıkış Suyu
1	5.09.2022	9,3	7,2	7,5	8,2	7,6	5	5,2
2	10.10.2022	8,1	9,1	9,3	7,7	9,5	5,1	
3	2.11.2022	8,5	7,3	1,9	1,3	7	3,5	4,3
4	7.12.2022	8,1	6,6	0,7	2,4	6,2	3,2	-
5	11.01.2023	9,7	4	1,2	1,5	6,9	3,8	3,3
6	14.02.2023	8,8	7,4	3,1	1,8	6,9	4,2	
7	23.03.2023	8	6,5	1,7	2,1	6,3	3,6	3,7
8	17.04.2023	8,5	6,7	1,2	0,6	5,5	3,6	
9	10.05.2023	9,8	6,3	1,6	1	6,1	3,4	3,4
10	22.06.2023	8,03	8,01	3,2	3,2	4,3	3,1	2,5
11	25.07.2023	10,3	7,8	2,6	4,5	7,9	4,8	4,3
12	16.08.2023	9,8	7,6	6,1	6,4	7,02	4,6	5,9
Ortalama		8,91	7,04	3,34	3,39	6,77	3,99	4,08
Ön Çöktürme Sonrasında Giderim (%)				52,5	51,8	3,9	43,3	42,1
(Ön Çöktürme / Foseptik Dahil) Toplam Giderim (%)			20,97	62,50	61,94	24,04	55,20	54,27

Özellikle serbest yüzeyli YSA'da negatif uzaklaştırma oranları, fosforun tam olarak bağlanmamasına ve çökmesine atfedilebilir. Başlangıç aşamasındaki ilk 3 ayda, *Phragmites australis* bitki örtüsünün yeni büyüdüğü ve TP alım seviyesinin çok düşük olduğu düşünülmektedir, Arias ve diğ. (2005), bitkilerin kök gelişimi ile birlikte toplam fosfor gideriminin %20'sini oluşturabildiği ayrıca vurgulanmıştır (Vymazal 2004).

Azot ve fosfor deşarj standartları ile ilgili olarak, mevcut Türk çevre mevzuatında YSA tesisleri için zaten herhangi bir sınırlama yoktur. Kalsit ve mermer türünde agrega atıksudaki fosforu trikalsiyum fosfat şeklinde bağlamakta ve yüksek

giderim sağlamaktadır, çözünmez şekilde ise en iyi giderim (çakıl demir hematit kaynaklı olursa) demir fosfatın bağlanması ile sağlanır. Bu çalışmada ise andezit esaslı Dalaman sondaj çakılı kullanılmıştır. Tabanda organik kolloidler bulunmakta ve yüksek kolloid adsorpsiyonu ile giderim sağlanmaktadır. Türkiye’de montmorillonit kil kullanılan sulak alanlarda yüksek katyonik değişimi nedeniyle yüksek fosfor giderimi sağlanmakta ancak ancak bir süre sonra yatakta doygunluk oluşmaktadır.

6.5 Mevcut Doğal Arıtma Tesislerinde Yapılan İyileştirmelerin Sonuçları

Bu bölümde daha önce 5.6’da belirtilen seçili yapay sulak alanlar olan Alikurt, Nikfer, Pınarlık, Darıveren 1 doğal arıtma tesislerinde yapılan iyileştirmelerin sonuçları verilmiştir. Bu iyileştirme ve düzeltmelerin sonuçları değerlendirilerek ayrıca 2022, 2023 ve 2024 yıllarında yapılan yeni tesislerin tasarımlarına yansıtılmıştır. Tasarım geliştirme ve iyileştirme açısından; en kolay işletme, en az gözetim, foseptik bakımlarının sayısının azaltılması, tıkanma sorunlarının en düşüğe indirilmesi, kişi başına en uygun alan miktarının seçimi, hayvancılık kaynaklı kirlilik yüklerinin çözümlenmesi gibi durumlar dikkate alınmıştır.

6.5.1 Alikurt YSA Yapılan İyileştirme Sonuçları

Tıkanma ve taşkın durumlarını çözümlenmek için yüzeyaltı yatay akışlı yatakta foseptikten yatağa geçişin olduğu ilk alanda yaklaşık 2,5 m uzunluğunda mevcut yıkanmış dere çakılı uzaklaştırılıp kazı yapılarak serbest yüzeyli bir ön çöktürme alanı oluşturulmuştur. Bununla birlikte giriş dağıtım yapısı iptal edilmiş foseptik ile yüzey altı yatay akışlı yatak arasındaki bağlantı çapı büyütülerek geçiş kolaylaştırılmış, ayrıca foseptik öncesine yaklaşık 1,5m*1.0 m boyutlarında yerinde dökme dikdörtgen bir baca yapılmıştır. Şekil 6.16’da yeni düzenleme sonrası iyileşmiş ve yaygınlaşmış saz bitkileri görülebilmektedir.



Şekil 6.16: 2021 yılı yaygınlaşmış bitki türleri

2022 yılı sonunda; bu tarihten üç yıl önce oluşturulan serbest yüzeyli ön çöktürme haznesinin faydalı hacmi dolmuş ve özel kepçelerle temizlenmiştir. Foseptik haznelerinin kapaklarında betonarme imalat ile yükseltme ve genişletme yapılmıştır. Tesis girişinde kolektör üzerinde dirseğin çalışmadığı görülmüş ve ek baca imal edilmiştir. Yeni baca ile foseptik haznesine arasına sıklıkla kolayca temizlenebilecek bir betonarme ön çöktürme odası yapılmıştır. İyileştirme çalışmaları ve sonrasında görüntüler Şekil 6.17’de görülebilir.

Yapılan iyileştirmelerden sonra:

- Tablo 6.21’de görüleceği gibi 3 yıl boyunca KOİ 40 mg/l, AKM 10 mg/l üzerine çıkmamış önceki taşkın (by pass) durumları ile hiç karşılaşmamıştır.
- 2022 yılı sonunda yapılan iyileştirmeden sonra aynı başarı devam etmekte, giriş sularında ise bir seyrelme görülmektedir.



Şekil 6.17: Alikurt YSA’da 2022 yılı yapılan iyileştirmeler ve sonrasına ait resimler

Tablo 6.21: Alikurt YSA analiz değerleri

Numune Alınma Tarihi	Giriş Kirlilik Değerleri						Çıkış Kirlilik Değerleri					
	AKM mg/l	BOİ ₅ mg/l	KOİ mg/l	TN mg/l	TP mg/l	EC (µs/cm)	AKM mg/l	BOİ ₅ mg/l	KOİ mg/l	TN mg/l	TP mg/l	EC (µs/cm)
5.04.2017	48	247	595			979	25	36	85,0			816
17.05.2017	216	257	367	88,2	8,56		33	48,67	80	35,5	11,5	
20.06.2017	215	213,3	374	44,9	5,13	1055	30	38	80,9	40,5	9,88	869
11.07.2017	38	88,3	206	19	3,02		10	31,66	61,8	18,7	4,8	
21.08.2017	50	326,7	454	21,7	2,63		14	8,33	35	20,7	3,84	
19.09.2017	38	65	185	25,7	2,18	949	5	11,67	35	15,2	0,14	748
17.10.2017	100	286,7	413	57,2	8,9		39	32,66	66,9	37	7,16	
20.11.2017	438	1183	2337	105	9,28	1057	19	55,33	83,8	59,9	0,96	832
11.12.2017	195	1250	2011	245	7,65		26	32	74,6	47,2	6,19	
28.12.2017	105	165	275	63,5	7,31		27	33,33	92,7	43,8	3,5	
23.01.2018	180	816,7	1452	56	5,29		24	101,7	165,	50,7	6,57	
19.02.2018	146	640	845	78,1	9,56		5	61,33	123,	60,9	8,79	
10.04.2018	185	800	3942	105	10,9		13	18	40,9	59,2	3,17	
5.06.2018	105	170	445	79,2	8,01	958	23	14,33	54,9	45,6	8,09	1034
18.04.2019	374	440	1077	80	13,7	1679	19	22	89	47,5	6,3	1213
13.05.2019	208		617			1379						
2.07.2019							25		70	27,5	4,3	1054
İyileştirme Sonrası												
20.03.2020	14		100			1240	<10		<40			1228
	41	250	430				<10	13	<40			
2.11.2021	82	72	393				<10	8	<40			
7.12.2021	113	206,66	435				<10	6	<40			
17.02.2022	111	313,33	609				<10	9	<40			
6.12.2022	60	80	164				<10	17,33	<40			
27.12.2022	64	170	194				<10	14,33	<40			
5.01.2023	82	138,33	182				<10	13,33	<40			
3.04.2023	70	158	221				<10	44	21			
Genel Ort.	133	404,10	861	95,4	8,87	1201,84	21,06	31,38	74,3	44,1	6,25	970,22

6.5.2 Pınarlık YSA Yapılan İyileştirme Sonuçları

Pınarlık yapay sulak alanında yapılan düzenlemelerden sonra köy atıksularına karışan hayvancılık atıkları kaynaklı malzemeler foseptik ve ön çöktürme haznesinde daha kolaylıkla tutulmaya başlamış yatağa girmeden tahliye ve taşkınların önüne geçilmiştir. Şekil 6.18 ve 6.19’da görüleceği üzere, ön çöktürme haznesinden başlayarak *Phragmites australis* bitkisi kenar yüzeylerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Yataktaki çakılın uzaklaştırılmasıyla birlikte yatakta tıkanma sorunu da olmamıştır. Analiz sonuçları (bkz. Tablo 6.22) değişiklik öncesine göre daha iyi olup yönetmelik şartlarını sağlamaktadır.

Karşılaşılan sorun ise yoğun hayvancılık nedeniyle birim alana yapılan yüklemenin yüksekliği ve önceden kamulaştırılan alanın küçüklüğü dikkate alındığında havuzun çıkış yapısına bir miktar çakıl iş makinaları ile serilmiş ve nihai bir süzgeç gibi çalışması beklenmiştir. Sonuç olarak söz konusu bölge hızlıca tıkanmış ve çıkış yapısının öncesinde sağ ve sol bölgelerden dereye taşmalar oluşmuştur. Bu nedenle yapılan imalat iş makinalarıyla boşaltılmış ve iptal edilmiş, çıkış hattı yenilenmiştir.



Şekil 6.18: 2021 yılında yatakların görünüşü, baharda kısmi bitkilenme



Şekil 6.19: 2023 yılında sazların gelişimi, serbest yüzeyli alandan ana yatağa geçiş

Tablo 6.22’de görüldüğü üzere iyileştirme işlemlerinden sonra çıkış değerleri önemli ölçüde düzelmiştir.

Tablo 6.22: Pınarlık doğal arıtma tesisinde serbest yüzeyli düzenleme sonrası yapılan analiz sonuçları

GİRİŞ KİRLİLİK DEĞERLERİ						ÇIKIŞ KİRLİLİK DEĞERLERİ					
AKM (mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)	KOİ (mg/l)	pH	Top-Azot (mg/l)	Top-Fosfor (mg/l)	AKM (mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)	KOİ (mg/l)	pH	Top-Azot (mg/l)	Top-Fosfor (mg/l)
195	1100	1233,15	7,28			62	473,33	619,74	7,01		
68	293,33	425,06	7,25			42	553,33	710,46	7,2		
90	573,33	820,22	7,26	105	6,64	45	456,66	596,52	7,1	58	15,1
350	2133,3	3549,06	6,99	182,5	24,65	165	783,33	1368,49	7,13	136	25
295	1333,3	3313,31	7,50	220	15,2	82	196,66	292,53	7,28	68,5	9,28
184	700	2575,84	7,22	82	9,56	18	280	369,71	7,13	56	8
İyileştirme sonrası analiz sonuçları											
307,5		3020,56	6,41			20	0	104,67	6,25		
						28	39,3	88,38	6,8		
334	1800	2412,6	8,94			16	38,66	62,3	7,46		
Genel ortalama											
245,08	625,00	2002,25	5,64	75,50	3,19	54,83	89,49	156,27	6,91	48,00	8,25

6.5.3 Darıveren 1 YSA'da Yapılan İyileştirme Sonuçları

Acıpayam İlçesi Darıveren köyünde bulunan doğal arıtma tesisi yaklaşık 1500 kişilik nüfusu olan beldede yapılan ilk tesistir. Kapasite yetersizliği ve beldenin belirli bölgelerindeki atıksu şebekesinin topoğrafya gereği bu tesise yönlendirilememesi sonucunda Darıveren 2 tesisi de Çameli İlçesi yönünde imal edilerek devreye alınmıştır. Darıveren 1 tesisi yetersiz alan ve yatakta tıkanmalar sonrası arıtma verimini kaybetmiş ve bitki zenginliğini de yitirmiştir (bkz. Şekil 5.24). Bu dönemde giriş ve çıkışta alınan örnek analiz sonucu Tablo 6.23'de sunulmuştur.

2016 yılında yapılan ilk tespitlerden sonra yüzeye taşmalar sonucu serbest yüzeyli türe dönüşen yatakta bitkilenme Şekil 6.20'de görülebileceği gibi çeperlerde artmaya başlamıştır. 2019 yılı ve sonrasında ise Şekil 6.21'de yüzeysel akışın artışı sonrasında yaygınlaşmış saz türleri ve yatağı serbest yüzeyli yatağa dönüşümü sonrası arıtma değerlerinde iyileşmeler görülebilir (Kasım 2021) (serbest yüzeyli ön çöktürme uygulamaları), yine iyileşmiş arıtma çıkış değerleri Tablo 6.24'dedir. Bu tarihlerde tesisin çıkış kısmında pompa vasıtası ile arıtılmış çıkış suyunun tarımda kullanımı da ayrıca yaygındır.



Şekil 6.20: Yüzeysel akışa geçiş sonrası çeperlerde artan kısmi bitkilenme (2017)



Şekil 6.21: Yüzeysel akışa geçiş sonrası tamamlanan bitkilenme (2017)

Tablo 6.23: Düzenleme öncesi Darıveren YSA analiz sonucu

GİRİŞ KİRLİLİK DEĞERLERİ								ÇIKIŞ KİRLİLİK DEĞERLERİ							
GİRİŞ AKM (mg/L)	GİRİŞ BOİS (mg/L)	GİRİŞ KOİ (mg/L)	GİRİŞ pH	GİRİŞ Top- Azot (mg/L)	GİRİŞ Top- Fosfor (mg/L)	GİRİŞ Sıcaklık (°C)	GİRİŞ iletkenlik (µs/cm)	ÇIKIŞ AKM (mg/L)	ÇIKIŞ BOİS (mg/L)	ÇIKIŞ KOİ (mg/L)	ÇIKIŞ pH	ÇIKIŞ Top- Azot (mg/L)	ÇIKIŞ Top- Fosfor (mg/L)	ÇIKIŞ Sıcaklık (°C)	ÇIKIŞ iletkenlik (µs/cm)
		913	7,68	57	8,3	9,5	1607	51		734	7,74	62	5,5	9,9	1351

Tablo 6.24: Darıveren 1 Doğal Arıtma iyileşmiş çıkış değerleri

Gösterge	Birim	Sonuç
Sıcaklık	°C	19,6
pH	-	7.71
KOİ	(mg/l)	55,17
AKM	(mg/l)	12
BOİ	(mg/l)	22,66

6.6 Gerçek Ölçekli Yeni Yapay Sulak Alan Çalışmaları

İş programında belirtilen Denizli'deki 137 adet kırsal atıksu kaynağında mevcut tesislerdeki sorunlardan alınan dersler sonrasında ar-ge çalışması ve literatür taraması ile geliştirilen yeni tasarımların toplam beş bölgede 40 adet köy için uygulanması çalışmaları hayata geçmiştir. Tablo 6.25'de Bozkurt, Sarayköy ve Çardak için örnek hazırlık bilgileri görülen ve ilk aşamada seçilen 14 adet proje için çalışılmıştır.

Tablo 6.25: Çardak ve Sarayköy ilçelerinde ilk yapılan doğal arıtma planlama ve tasarım hazırlıkları

Mahalle	Nüfus 2021	Tasarım Esas Nüfus	Foseptik Durumu	Yer Seçimi ile ilgili Açıklamalar	Değerlendirmeler	15-40 mm Çakıl İht. (m3)	İnşaat Sürecine İlişkin Notlar
Söğüt	871	1.000	Var	*24.701,30 m ² yüzölçümlü 117 ada 152 no.lu parselin 12.104,00 m ² lik kısmı ile 50.315,09m ² yüzölçümlü 118 ada 175 no.lu Parselin 8.628,00 m ² lik kısmına projesi çözülmüştür.	Mevcut foseptik dere yatağının içerisinde. Fosseptiğin değerlendirilebilmesi için Doğal AAT dere yatağına yapılmalıdır. Yağmur suları için doğal AAT'nin kenarlarına kuşaklama kanalı açılmalıdır. Doğal Arıtma İçin Uygundur.	2772	Çakıl serilmesine devam ediliyor.
Beylerli	634	750	Yok	Parsel üçgen, yerleşim için uygunsuzdur. 16 nolu parselin bir kısmı Beylerli Gölü YGHS sınırına girdiğinden dolayı kullanılamaz. Beylerli 271/15 PN 1467 m ² + 271/16 PN 1285 m ² Toplam 2752 m ² arazi kamulaştırılmıştır. Alan yetersizliğinden dolayı 270/13 nolu parselde vatandaş rızası alınmadığı için 270/11 nolu parselde muafakatname alınmış kamulaştırma süreci devam etmektedir.	Doğal Arıtma İçin Uygundur.	2510	İnşaat devam etmektedir.
Hasköy	515	550	Var	DSİ'ye ait olan 0/342, 0/339 PN arazilerin bir kısmı ile bu araziler arasındaki kadastral boşluğa proje çözülmüştür.	Doğal AAT projesi çözülmüştür. Mevcutta arazilerde pamuk ekili olduğu için pamuğun toplanmasına müteakip imalata başlanabilir.	1178	
Duacılı	1.715	2.000	Var	Mevcut doğal aat revize edilecektir. Doğal AAT arazisi kadastral boşluk olarak gözükmektedir. Mülkiyetinin hangi kuruma ait olduğu araştırılmaktadır. Öncelikle Duacılı Mahallesi atıksularının Sarayköy AAT'ye bağlanmasının irdelenmesi, bağlantının mümkün olmaması durumunda Doğal Arıtma projesinin tekrar değerlendirilebileceği istişare etmiştir. *Sadece mevcut atıl doğal aat revize edilecektir.		660	Bitkilendirme işleminden sonra inşaatı tamamlanacaktır.

Gerçek ölçekli çalışmalar içerisinde örnek seçilen Avdan YSA için tasarım hesaplamaları EK A Tablo 1’de sunulmaktadır. Bu tasarım hesabında yeralan kabuller, giriş çıkış kirlilik ortalamaları ve birim yüklemelerin gerçek ölçekli mevcut tesisler ile karşılaştırılması yeni tasarımların hayata geçmesi öncesi bir nevi doğrulama hükmünde olup EK A Tablo 2’de gösterilmiştir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde evsel nitelikli atıksular için doğal arıtma tesislerine özel giderim şartları tanımlanmış olup, eski ve yeni yapay sulak alan hesap raporları oluştururken bu yasal şartlara uyum sağlanmış olup 21.5 maddesini içeren çizelge Tablo 6.26’da görülebilir.

Tablo 6.26: SKKY yapay sulak alanlar için giderim şartları

(Değişik:RG-13/2/2008-26786)			
Tablo 21.5: Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular* (Eşdeğer Nüfusun Ne Olduğuna Bakılmaksızın Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan) ve Stabilizasyon Havuzları Sistemiyle Biyolojik Arıtma Yapan Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri İçin)			
PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ ₅) (ÇÖZÜNMÜŞ)	(mg/L)	75	50
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	180	120
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	200	150
pH	-	6-9	6-9

* Köyler için tabloda verilen deşarj limitleri yada parametreler için en az %60 arıtma verimi uygulanacaktır.

Mevcut tesislerde yapılan iyileştirmelerden birisi olan ve Şekil 6.22’de görülen serbest yüzeyli ön çöktürme denemeleri sonucunda başarı elde edildikten sonra gerçek ölçekli yeni projelerin ilklerinden olan Çardak Söğüt YSA ve Bozkurt Avdan yapay sulak alanlarında tasarlanan ön çöktürme hacimleri Şekil 6.23’de görülebilmektedir. Mevcut denemelerde yatağın başlangıç kısmında ve tek olan ön çöktürme hazneleri yeni tesislerde ana yataktan ayrı, tamamen serbest yüzeyli olarak, toplamda bir günlük atıksuyu depolayacak hacimde iki ya da üçer adet olarak tasarlanıp, inşa edilmiştir.



Şekil 6.22: Önceki tesislerde deneme amaçlı oluşturulan ve uygulanan çökeltim lagünü



Şekil 6.23: Yeni tasarlanıp uygulanan ön çöktürme hazneleri

6.6.1 Bozkurt Avdan YSA

Bozkurt İlçesi Avdan Köyü'nde yer alan yapay sulak alan, foseptik sonrası iki adet ön çöktürme haznesi ve devamında yüzeyaltı yatay akışlı iki adet yataktan oluşmaktadır. Bu tesiste arıtılan atıksular hemen tesis yakınında bulunan kurudereye deşarj edilmektedir. Yine bu tesise ait projelendirme kabulleri, tasarım ve yerleşim projesi, bitmiş tesis görüntüleri bu bölümde sunulmaktadır.

Avdan Yapay Sulak Alanı Proje Hesap Raporu atıksu tür ve miktar kabulleri alttaki gibidir,

- 2014-2019 yılları verilerine göre Avdan için kişi başı ortalama su tahakkuku 102 lt/kişi/gün, 2014-2019 yılları verilerine göre kişi başı ortalama maksimum su tahakkuku 270 lt/kişi/gün'dür.
- Tasarımda 200 lt/kişi/gün su tüketildiği kabul edilmiştir.
- Atıksuya dönüşüm oranının %80, %10 sızma debisi olduğu, yağışlı havalarda kanala %10 yağmur suyu girdiği kabul edilmiştir.
- Hesaplanan debiler; $Q_{ort} = 88 \text{ m}^3/\text{gün}$, $Q_{mak} = 176 \text{ m}^3/\text{gün}$, $Q_{min} = 60 \text{ m}^3/\text{gündür}$.

Avdan YSA için yapılan tasarım ölçütleri altta belirtilmektedir;

- YSA bitki yatakları taban eğimi % 0,6 olarak alınmıştır.
- Yataklarda başlangıç su derinliği 40 cm, çıkış eğimden dolayı 76 cm'dir,
- Su yüzeyinin 10 cm üzerine kadar çakıl serilmiştir,
- Bitki yataklarında hava payı su yüzeyinden itibaren 50 cm'dir,
- Yatakların girişte 4 m ve çıkışta 2 m uzunluktaki alanlara 45-90 mm (yumurta büyüklüğünde) yıkanmış iri dere çakılı, kalan alanlarda 15-30 mm ya da 20-30 mm ya da 20-35 mm yıkanmış dere çakılı serilmiştir,
- Yatağın tabanında 20 cm kalınlığında sıkıştırılmış kil uygulanır.
- Serbest yüzeyli çöktürme havuzları 1 günlük atıksu hacminindedir
- Serbest yüzeyli çöktürme havuzlarında bitki dikimi için, 20 cm su yüksekliği sağlanacak şekilde 50 cm genişliğinde teraslama yapılmıştır,
- Tüm şev açıları 45 derecedir.

Bozkurt Avdan YSA projesine ait yerleşim planı ve kazı sonrası çakıl serilmeden önce havadan çekilen bir resim Şekil 6.24'te görülebilir.



Şekil 6.24: Bozkurt Avdan Doğal Arıtma Yerleşim Planı ve Üstten Görünüş

6.6.2 Çardak Söğüt YSA

Söğüt YSA 1000 kişiliktir. Yapımı tamamlanmış ve devreye alınmıştır. İki adet ön çöktürme havuzu ve iki adet 100*20 m'lik yüzeyaltı yatay akışlı yataktan oluşmaktadır. Bu tesise ait hava resmi ve 2023 Mart ayında gerçekleştirilen bitki dikim işlemleri Şekil 6.25'de görülebilir. İlgili hava resminde çakıl serimi esnasında oluşan kot ve tesviye hataları gibi nedenlerle oluşan ve işin başlangıç aşamasından itibaren oluşan yüzeye taşmalar görülebilmektedir.



Şekil 6.25: Çardak Söğüt Doğal Arıtma Tesisi kazı çalışmaları

Söğüt Yapay Sulak Alanı'nda tesis devreye alındıktan sonra alınan ilk beş numuneye ait analiz sonuçları Tablo 6.27'de görülebilmektedir. Buna göre AKM giderimi ortalama %82, KOİ %47, BOİ %64 dolayındadır. Giriş suyunda kirlilik seviyesinin seyreltik (düşük) olması çıkış verimlerini de düşük kılmaktadır. Ortalama 74,2 mg/l olan çıkış değeri Tablo 6.26'da görülen SKKY şartlarına göre 180 mg/l olan sınırın altında, %82 olan AKM giderimi en az %60 giderim şartının üzerindedir. Yine Söğüt YSA için 27,2 mg/l olan BOİ₅ çıkış ortalaması 75 mg/l olan 2 saatlik kompozit numune şartının altında yer almaktadır. Sonuç olarak tesisin başlangıç aşamasında ve yetersiz biyolojik olgunluğa rağmen yasal şartları sağladığı söylenebilir. 2023 yılı sonunda tesiste çıkış yapısında kaçak olduğundan bu sonuç aralık dışındadır.

Tablo 6.27: Çardak Söğüt YSA atıksu giriş ve çıkış analiz sonuçları

Söğüt YSA	5.01.2023			3.04.2023			11.05.2023			26.09.2023			9.11.2023			
	Numune Alım	Giriş	Çıkış	Verim	Giriş	Çıkış	Verim	Giriş	Çıkış	Verim	Giriş	Çıkış	Verim	Giriş	Çıkış	Verim
Sıcaklık		17,7	17,9		19,8	19,7		19	19,4		19	15		16,1	15,7	
pH		6,77	7,47	-	6,63	6,97	-	6,73	7,43	-	7,73	7,81		7,74	7,69	
Toplam Askıda Katı Madde (AKM) mg/l		24	5	79%	50	12	76%	40	5	88%	333	52	84%	38	35	8%
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) mg/l		87,7	47	46%	126,5	88,5	30%	185,3	83	55%	185,3	83	55%	86	70	19%
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) mg/l		48,66	25	49%	115	58,66	49%	115	36	69%	50	8	84%	50	8	84%
TN (mg/l)											75	18	76%	18	18,5	-3%
TP (mg/l)											4,2	2,4	43%	1,8	1,6	11%

Söğüt YSA'a ait ön çöktürme haznelerinde Hatay yöresinden getirtilen su sümbülleri (*Eichornia crassipes*) eklenmiş ve Şekil 6.26'da görülen bu bitkiler nispeten yüksek rakıma (1250 m) rağmen soğuk kışı atlatarak bahara çıkmıştır. Yine ön çöktürme havuzlarında 2023 yılı sonunda su mercimeği bitkisi gelişimi kendiliğinden oluşmuş, bu bitkinin bir kısmı yüzeyden çakıl yatağa borulama vasıtası ile geçiş yapmıştır.



Şekil 6.26: Çardak Söğüt YSA serbest yüzeyli havuzlarda su mercimeği, su sümbülü

6.6.3 Çardak Beylerli YSA

Beylerli YSA tasarımında esas alınan nüfus 750 kişi olup mevcut nüfus 602 kişidir. Üç adet serbest yüzeyli ön çöktürme haznesi ve 2 adet yüzeyaltı yatay akışlı çakıl yataktan oluşmaktadır. Yapımında 143 m³ 40-90mm boyutlu, 2510 m³ 15-40mm dane boyutlu yıkanmış dere çakılı kullanılmıştır. Çardak Beylerli YSA'da çakıl serimi tamamlandıktan sonra, öncelikli olarak serbest yüzeyli haznelerde su tutulması Şekil 6.27'de görülmektedir. Serbest yüzeyli ön çöktürme havuzlardan, yüzeyaltı yatay

akışlı çakıl yataklara geçiş aylar sürmüştür. Bahar mevsiminde yabancı otların aşırı çoğalması ve büyümesi nedeniyle serbest yüzeyli alana uzun süre girilememiştir.



Şekil 6.27: Çardak Beylerli tesisinde serbest yüzeyli havuzların dolumu

Yapılan ilk analiz sonuçları Tablo 6.28'deki gibidir, henüz bitki dikimi sağlanmamış ve yeterli mikrobiyolojik topluluk oluşmamıştır. Burada görülen ve 2023 yılı sonunda yapılan ilk analize göre SKKY şartlarında tanımlanan % 60 AKM giderim şartının üzerinde giderim sağlanmış, bunun yanında KOİ için 99 mg/l olan çıkış 180 mg/l'nin altında kalmış, yine BOİ₅ için 75 mg/l şartının altında 24 mg/l değeri elde edilmiştir. Bitki dikimi sonrasında sonuçların daha da iyileşmesi beklenmekle birlikte giriş suyunda zayıf kirlilik düzeyi giderim oranlarını düşürmektedir.

Tablo 6.28: Çardak Beylerli YSA ilk analiz sonuçları

Gösterge	Giriş Suyu (mg/l)	Çıkış Suyu (mg/l)	SKKY (mg/l)	% Giderim
pH	8,22	7,98	6-9	
Sıcaklık (°C)	18,1	16,9		
İletkenlik (µS/cm)	803	848		
KOİ (mg/l)	144	99	180	31,25
TN (mg/l)	23	21	-	8,70
TP (mg/l)	3,3	2,8	-	15,15
AKM (mg/l)	106	18	200	83,02
BOİ ₅ (mg/l)	45	24	75	46,67

6.6.4 Sarayköy Hasköy YSA

Sarayköy Hasköy Doğal Arıtma Tesisi 474 kişilik köy yerleşimi için 550 tasarıma esas nüfus kabulünde, serbest yüzeyli tek hazne ile yüzeyaltı yatay akışlı çakıl yataktan oluşmaktadır. Çakıl yatağa ve serbest yüzeyli hazne kenarlarına Şekil 6.28’de görülecek şekilde saz bitkisi *Phragmites australis* dikilmiştir. Bu yatağa bitki dikimi öncesi çıkışa yakın büyük bir bölümde ılgın bitkileri kendiliğinden türemiştir. Serbest yüzeyli yatağa yerleştirilen *Lemna minör* su mercimeği bitkisi ise kısa sürede sönmülmüştür. Tablo 29’da görüleceği üzere ilk analiz sonuçları %60 giderim ya da KOİ 80 mg/l çıkış değerinde olduğu gibi SKKY deşarj sınırlarına uymaktadır.



Şekil 6.28: Hasköy’de bitki dikimi ve sonrasında yetişmiş sazlar

Hasköy YSA’da %83 BOİ₅ ve %71 AKM, %49 KOİ, TN %27, TP %11 giderim sözkonusudur. Bu verim oranları gerçek ölçekli eski tesisler ile karşılaştırıldığında ise %92 BOİ₅, %84 AKM, %91 KOİ, %54 TN ve %30 TP giderim görülmektedir. Bu tesiste giriş değerlerinin Alikurt’tan daha düşük olduğu görülmektedir. Hasköy gibi yeni tesislerde biyolojik olarak parçalanamayan karmaşık organik bileşiklerin, yeterli mikrobiyal topluluk oluşumu henüz tamamlanmadığından etkin şekilde parçalanamadığı, yine tesisteki bitki ve diğer maddesel oluşumların yeterince olgunlaşıp gelişmediği için yeterli giderim sağlanamadığı, KOİ değerlerini düşürebilecek kimyasal tepkime şartlarının başlangıçta henüz tamamiyle oluşmadığı düşünülmektedir (Aguilar ve diğ. 2023).

Tablo 6.29: Sarayköy Hasköy YSA ilk analiz sonuçları

Hasköy YSA	Giriş	ıkış	SKKY Deşarj	Giderim
	Suyu	Suyu	Limiti	(%)
pH	7,79	7,64	6-9	
Sıcaklık (°C)	20,1	17,9	-	
İletkenlik (µs/Cm)	1520	712	-	
KOİ (mg/l)	156	80	180	49
TN (mg/l)	36,5	26,5	-	27
TP (mg/l)	4,4	3,9	-	11
AKM (mg/l)	138	40	200	71
BOİ ₅ (mg/l)	80	14	75	83

6.6.5 Sarayköy Duacılı YSA

Sarayköy Duacılı Doğal Arıtma Tesisi 2000 tasarım eşdeğer nüfusu ve 1721 kişi mevcut nüfus için herhangi bir kamulaştırma yapılmadan eski zamanda kazısı yapılmış ancak yıllarca devre dışı durumda kalmış sınırlı bir alanda tamamlanmıştır. Serbest yüzeyli bir n çöktürme sonrası iki adet çakıl yatak imal edilmiştir. Bu tesise evsel atıksular dışında tekstil, otomotiv, seramik gibi sanayi tesislerinden atıksu gelmektedir. Başlangıçta n görülen alanlardan daha küçük mevcut yataklarda işletmeye alım sağlanmıştır. Mevcut iki yataktan birisinde bitki dikimi yapılmıştır. 2022 yılı sonundaki ilk numune alımlarında isimlendirmede hata olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.30'da görüldüğü şekilde KOİ, BOİ çok yakın değerlerde olup, monosakkarid organik madde girişine (haşıl, nişasta, seramik boyası) şekil 6.29'da görüleceği şekilde işaret etmektedir. AKM için %59,5 giderim verimi, BOİ₅ için %62,5 giderim yetersiz birim alan ve sanayi yüküne rağmen SKKY şartlarını alt seviyede karşılamaktadır.

Tablo 6.30: Sarayköy Duacılı YSA’da yetersiz alan ve sanayi atıkları karşısında analiz sonuçları

Duacılı Doğal Arıtma Tesisi	8.12.2022					10.05.2023			23.05.2023			26.09.2023		
	Fosepiğe Giriş	Foseptik çakışı ile ön çöktürme arası	Verim (%)	Ön çöktürme ile çakıl yatak arası	Toplam Verim (%)	Giriş	Çıkış	Verim (%)	Giriş	Çıkış	Verim (%)	Giriş	Çıkış	Verim (%)
Sıcaklık	16,8	16,9	-	17,2	-	19,1	19,5	-	19,6	19,5	-	25,7	22,9	-
pH	7,53	7,43	-	8	-	7,21	7,36	-	7,33	7,25	-	7,66	7,5	-
İletkenlik												1467	1993	
AKM (mg/l)	82	46	44	60	27	176	110	38	100	20	89	560	184	67%
KOİ (mg/l)	474	421	11	298,4	37	1435	699	51	519,3	99,6	93	605	622	-3%
BOİ ₅ (mg/l)	430	373	13	245	43	1117	540	52	297	36	97	960	400	58%
TN (mg/l)	33,1	29,6	11	40,9	-24	77	15,6	80	64,9	2,99	96	32,5	46,5	-43%
TP (mg/l)	3,75	2,81	25	3,75	0	8,2	0,38	95	6,54	2,28	72	9,5	6,5	32%



Şekil 6.29: Sarayköy Duacılı’da dikilen sazlarla ilgili ilk gelişimler ve mavi renkli endüstriyel atıksu girişi ile çakıl yatakta yüzeysel akış

6.6.6 Tavas Hırka-Baharlar YSA

Tavas Hırka-Baharlar YSA Hırka (284 kişi) ve Baharlar (529 kişi) köylerinin atıksuyunu birleştirerek arıtmak için tasarlanan ve işletmede olan 1000 kişilik serbest yüzeysel bir yapay sulak alan tesisidir. Bu tesiste çiftçilerin tesis çıkış bacasını tıkayarak tarımsal sulama yapması ve çıkış hattı ve bacalardaki kot hataları ve tıkanıklıklar doğrultusunda tesiste çıkış su akışı bulunmamakta olup Şekil 6.30’da görülebilen (bekleyen atıksuda) yosunlaşma (alg üremesi) başlamıştır. Analiz esnasında yosun kütlelerinin ayrıştırılmadan, atıksu şeklinde analizi çıkış parametrelerini Tablo 6.31’de görüleceği şekilde yükseltmiş ve izafi şekilde negatif giderim oranları oluşmuştur. Bunun yanında aşırı çoğalan alglerin ölüp, parçalanması

çıkış organik yüklerini ve oksijen tüketimini yükseltmekte bu da KOİ artışıyla sonuçlanmaktadır. Besi maddelerinin artışı da ötrofikasyona yol açarak alg üremesini hızlandırmaktadır. Yine bunların serbest yüzeyli yatak içinde askıda kalması çıkış suyu (alg giderimi olmazsa) askıda katı maddeyi artırmaktadır (Toprak 1998). Bununla birlikte tesiste koku ve sinek hiç bulunmamaktadır. TP algler tarafından bünyeye alınarak ve çökeltilerek %37 dolayında giderilmektedir. Besi maddelerinin bakterilerce biyolojik parçalanması, minerallere ayrılması ve alg çoğalması ile çıkışta organik bileşen içeriği girişten daha yüksektir, algler ve bakterilerin bu havuzlarda birlikte hayatta olması başarılı arıtmanın esasıdır (Toprak 1998). AKM, KOİ ve BOİ₅ için girişe göre yüksek çıkış değerleri aşırı alg üremesi ile açıklanabilir. Tesis başlangıç aşamasında standart bir stabilizasyon havuzu gibi çalışmaktadır. Tesise bitki dikimi ve düzenli çıkış henüz sağlanmadığından, tesis tabanında denge sağlayan yeterli tabakaların da henüz yeterince oluşmadığı, çıkış suyunda alg giderilmediği düşünülerek bunların zaman içinde arıtma verimliliğini artıracığı öngörülmektedir.

Tablo 6.31: Tavas Hırka ve Baharlar köyleri ortak YSA ilk analiz sonuçları

Numune Alın yeri	Giriş	Çıkış	Verim
Sıcaklık	23,3	22,4	
pH	7,6	9,61	
İletkenlik (µS/cm)	1234	630	
Toplam Askıda Katı Madde (mg/l)	26	214	-723%
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/l)	115	323	-181%
BOİ ₅ (mg/l)	26	60	-131%
TN (mg/l)	49,5	21	58%
TP(mg/l)	7,3	4,6	37%



Şekil 6.30: Tavas Hırka Baharlar serbest yüzeyli yapay sulak alandan görüntüler

Hırka Baharlar yapay sulak alanında görülen alg üremesinin benzeri Bozkurt Avdan YSA serbest yüzeyli ön çöktürme haznelerinde görülmektedir. Şekil 6.31’de başlangıç aşamasında akış sağlanana kadar içeride yosunlaşma (aşırı yeşil alg üremesi) ve karasal gelişim oluşumu izlenebilmekte oysa hemen yan yatakta akış oluşması nedeniyle benzer durum görülmemektedir.



Şekil 6.31: Serbest yüzeyli ön çöktürme haznelerinde durgunluk ve akış halinde oluşan iki ayrı durumun görüntüsü

6.6.7 Buldan Kadıköy YSA

Buldan Kadıköy YSA’da tasarıma esas nüfus 750, güncel nüfus 980 kişidir. Buldan Kadıköy Doğal Arıtma Tesisi hayvancılık yönünden Denizli ilindeki en ağır kirliliğe sahip köylerden birisidir. Bu beldede inşa edilen YSA bitkilendirme öncesi yeterli bakteriyolojik topluluklar da henüz oluşmamasına rağmen Tablo 6.32’de de görüleceği şekilde yönetmelikçe öngörülen %60 giderim şartını yaklaşık olarak karşılamaktadır. Bu tesise su alımından itibaren yaklaşık 5 ay sonra ortaya çıkan yapısal kusur; daha üst kottaki serbest yüzeyli ön çöktürme haznesinin şevlerinin çakıl yatak yönünde yıkılarak atıksuyun çakıl yatağa doğrudan boşalması olmuştur. Şekil 6.32’de tesisin görüntüsü verilmektedir. Amerika’daki örneklerde hayvancılık atıksularının yoğun olduğu kırsal atıksularda çakıl yataklar yerine serbest yüzeyli yatakların yapılması tavsiye edilmektedir. Buna benzer bir düzenleme hayvancılığın yoğun olduğu Pınarlık YSA’da uygulanmıştır.



Şekil 6.32: Buldan Kadıköy serbest yüzeyli yapay sulak alan

Tablo 6.32: Buldan Kadıköy Doğal Arıtma Tesisi analiz sonuçları

	GİRİŞ SUYU	ÇIKIŞ SUYU	Verim (%)
PH	7,47	7,92	-
SICAKLIK (°C)	12,6	11,6	-
İLETKENLİK (µS/cm)	3710	3350	-
KOİ (mg/l)	1627	764	53,04%
TN (mg/l)	230	209	9,13%
TP (mg/l)	>25	22,6	-
AKM (mg/l)	610	184	69,84%

6.6.8 Acıpayam Yazır YSA

Yazır köyü nüfusu 1322 kişi olup tasarıma esas nüfus 1500 kişi olarak alınmıştır. YSA bulunduğu parselin şeklini alan üçgen yapıda olup, Şekil 6.33'de görülebileceği gibi serbest yüzeyli olarak tasarlanmıştır. Bu tesiste oldukça uzun bir süre çıkış sağlanmamış ancak hazne yavaş yavaş dolmaya başlamıştır. Henüz bitki bulunmamaktadır. Genel olarak yoğun koku ve sineğe rastlanmamış, bir kez halktan koku bildirimini alınmıştır. Bu tesis kişi başı alan açısından Hırka YSA'ya göre daha düşük değerdedir.



Şekil 6.33: Yazır serbest yüzeyle, üçgen parsel şeklini alan dolambaç akışlı YSA

6.6.9 Sarayköy Karataş YSA

Sarayköy Karataş nüfusu 163 kişi olup tasarıma esas nüfus 250 kişidir. Doğal arıtma tesisinde atıksu aylar içinde serbest yüzeyle yatakta birikmiş ancak henüz çakıl yatağa geçiş yapmamıştır. Bu tesis Büyük Menderes Nehri'nin bir koluna yakın bir yerdedir. Şekil 6.34'de tesisin ilk hali ve başlangıç aşamasında su tutan serbest yüzeyle ön çöktürme haznesi görülmektedir.



Şekil 6.34: Sarayköy Karataş'ta Büyük Menderes Nehri kolu kenarında YSA yüzeyaltı yatay akışlı haznelerin üstten görünüşü ve serbest yüzeyle ön çöktürme havuzu

6.6.10 Yeni Yapılan Diğer Yapay Sulak Alanlardan Örnekler

Denizli geneli için yeni tasarımlarla 2024 yılında yapımı devam eden, henüz tamamlanan tesislerden yeni devreye alınan ya da bir süre önce devreye alındığı halde henüz tüm yataklarda su geçişi ve birikimi başlamamış olan bazı doğal arıtma tesislerine ait resimler altta sunulmuştur. Kösellli YSA Şekil 6.35'te görüleceği gibi mevcut saha şekillerine uyumun sağlandığı bir tesistir.



Şekil 6.35: Bekilli Kösellli (mevcut saha şekillerine uyumlu yatak tasarımı)

Tavas Balkıca YSA Şekil 6.36'da sunulmuş olup foseptik sonrasında iki adet ön çöktürme ve 3 adet çakıl yataktan oluşmaktadır.



Şekil 6.36: Tavas Balkıca Doğal Arıtma çakıl serimi havadan görünüm

İnsansız olarak işletilen betonarme tesislerde çamur bertarafı teknik ve mali açıdan sorunlar oluşturmaktadır, Şekil 6.37’de İnceler AAT için deneme çalışması görülmektedir. Derinkuyu YSA ve Gümüş YSA’ya ait görseller sırasıyla Şekil 38 ve Şekil 39’dadır.



Şekil 6.37: Bozkurt İnceler’de ilk kez denenen aktif çamur kurutma sazlığı



Şekil 6.38: Tavas Derinkuyu yüzeyaltı yatay akışlı YSA ve serbest yüzeyli ön çöktürme hazneleri



Şekil 6.39: Acıpayam Gümüş Doğal Arıtma tesisi kazısı

Babadağ Kelleci Çamur Kurutma Yatakları ardışık kesikli aktif çamur sisteminden çıkan fazla çamurun doğal yataklarda kurutulması için hazırlık çalışmaları 6.40'da görülmektedir.



Şekil 6.40: Babadağ Kelleci betonarme AKR çamur kurutma yatakları

Kale Karaköy YSA'nın yatak kazılarından bir görünüş Şekil 6.41'de sunulmaktadır.



Şekil 6.41: Kale Karaköy YSA tesis kazısı



Şekil 6.42: Baklan Dağal Doğal Arıtma Tesisi çakıl serimi

Baklan Dağal YSA çakıl yatak kazısı mevcut durumda kullanılmayan tesis alanında Şekil 6.42'deki gibi gerçekleştirilmiştir. Önceki dönemlerde dere yatağı içinde imal edildikten sonra sel altında kalan ve atıl durumda olan Dodurga YSA tesisinin yeniden tasarlanarak uygun noktada tekrar imal edilmesi Şekil 6.43'de görülmektedir.



Şekil 6.43: Acıpayam İlçesi Dodurga Doğal Arıtma kazı çalışmaları

Çivril ilçesinde yeralan ve daha önce halktan çok talep alan Karabedirler YSA nihai cilalama haznesi ile birlikte kapalı havza içinde imal edilmiş olup Şekil 6.44'de sunulmaktadır, Kocayaka YSA ise tek yataklı olarak Şekil 6.45'te görülebilir.



Şekil 6.44: Çivril Karabedirler Doğal Arıtma



Şekil 6.45: Civril Kocayaka YSA, paralel ön çöktürme haznesi



Şekil 6.46: Güney Ertuğrul YSA eğimli arazide kazı çalışmaları

Eğimli arazide imal edilen Ertuğrul YSA için yatak kazısı Şekil 6.46'dadır. Serbest yüzeyli olarak tasarlanmış Güney Kerimler YSA'da baştaki ve sondaki sığ yüzeyli alanlarda yoğun saz dikimi planlanmış, orta bölgedeki derin alanda ise yüzeyden oksijen kazanımını artırmak ve derin bölgede anoksik alanda denitrifikasyon oluşabilmesi için nispeten daha yüksek derinlikte bir şerit oluşturulmuştur. Şekil 6.47'de yüksek derinlikli alanlar seçilebilmektedir.



Şekil 6.47: Güney Kerimler Doğal Arıtma

Şekil 6.48’de Nikfer serbest yüzeyli yatak ve sonrasında yüzeyaltı yatay akışlı yatak çıkışında oluşturulan serbest yüzeyli cilalama hazneleri görülebilmektedir.



Şekil 6.48: Nikfer YSA cilalama hazneleri

Tavas Kozlar YSA iki ayrı noktada Şekil 6.49’da görüldüğü gibi kısmen ormanlık ve eğimli alanda küçük miktarda atıksu arıtımı için tasarlanmıştır.



Şekil 6.49: Tavas Kozlar YSA

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının amacı, yerel kamu su idarelerine teknik, mali ve çevresel açıdan kırsal arıtma seçenekleri konusunda tavsiyeler sunmak ve karşılaştırmalı şekilde en uygun yöntemi bulmalarını sağlamaktır. Mevcut durumda Türkiye'de kırsal arıtma alanında genel olarak ardışık kesikli tip paket biyolojik reaktörler, betonarme uzun havalandırılmalı aktif çamur tesisleri, yapay sulak alanlar ve merkezi / bireysel foseptikler yaygındır.

Türk ve AB çevre mevzuatında nüfusu 2000 altında olan beldeler için atıksu şebekesi ve arıtma tesisi yapımı konusunda herhangi bir tavsiye ya da zorunluluk bulunmamaktadır. Ancak; ülkemizde kırsal alanda planlama sürecinin yetersizliği ve bütünü hesaba katmayan yerel taleplerin yeterince kontrol edilememesi sonucunda 100-2000 nüfuslu beldelerde çok sayıda atıksu şebekesi hâlihazırda tamamlanmıştır. Bu şebekelerin rahatlıkla işletilememesi sık karşılaşılan bir durumdur. Böylelikle toplanarak yoğunlaşan atıksular ise herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan doğrudan alıcı ortama deşarj edilmekte ya da işletimi güç ve pahalı olan tesislerde sonlanmaktadır. Bu durum Denizli benzeri tüm illerde yüzeysel sular için bir tehlike oluşturmaktadır. Tez sonucunda bu alanlar için yatırım tavsiyeleri arzedilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında aynı amaç doğrultusunda birden çok alanda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta evsel, endüstriyel, kentsel ve kırsal atıksular tanımlanmış ve bu türdeki atıksuların arıtımı için kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Bir sonraki aşamada literatür tarama sonuçları olarak kırsal atıksuların dünya ve Türkiye ölçeğindeki somut özellikleri, ardışık kesikli biyolojik arıtma, doğal arıtma tesisleri ve bunların karşılaştırıldığı çalışmalar özetlenerek atıflarla anlatılmıştır.

Yöntem ve malzeme kısmında ise tez çalışmasının yapıldığı Denizli ili için mevcut ve gelecek kentsel ve kırsal atıksu miktar hesaplamaları, atıksu özellikleri ile ilgili sayısal veriler, mevcut kırsal atıksu arıtma tesisleri, bunlar içindeki yapay sulak alan ve aktif çamur biyolojik arıtma tesislerinin dökümleri ayrıntılı olarak raporlanmıştır.

Denizli İli'nde seçilen birbirine yakın gerçek ölçekte mevcut bir doğal arıtma tesisi ve paket biyolojik arıtmanın karşılaştırması için veriler toplanmıştır. Bu aşamada Bozkurt Alikurt Yapay Sulak Alanı, Tavas Garipköy Paket Atıksu Arıtma Tesisi ayrıntılı özellikleri irdelenmiştir. Yine bu kısımda üç türde pilot yapay sulak alan çalışması, cilalama amaçlı yapay sulak alan denemesi için eldeki veri ve yöntemler özetlenmiştir. Ayrıca Denizli'de mevcut yapay sulak alanların durumu ve yapılan iyileştirmeler hâlihazırda 10-20 yıldır işletilen birden çok tesis için sunulmuş, bir yandan yeni tasarlanan yapay sulak alanlar ile ilgili planlama ve tasarım ayrıntıları incelenmiştir.

Bulgular kısmında yaklaşık 10 yıllık veriler ile Denizli'deki kırsal evsel atıksu atıksu özellikleri gözden geçirilmiş, sonrasında Alikurt YSA ve Garipköy PAK tesislerinin kirlilik göstergeleri ve giderimi (AKM, KOİ, BOİ₅, Toplam Azot, Toplam Fosfor, pH ve elektriksel iletkenlik vb.) ayrıntılı şekilde sunulmuştur.

Bu bölümde daha sonra yapay sulak alan ile paket tip biyolojik arıtma tesisinin karşılaştırılması; işletme verileri açısından detaylandırılmış olup bu kısımda maliyet analizi ilk yatırım ve işletme giderleri açısından gerçek verilerle sağlanmış ve dünya geneli ile kıyaslama yapılmıştır. Karşılaştırma kısmının son bölümü her kirlilik parametresinde analiz sonuçları ve değerlendirmeler için gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki basamakta mevcut doğal arıtma tesislerinde yapılan iyileştirmelerin somut sonuçları üç tesis için sunulmuştur. Sonrasında Denizli'de devam eden gerçek ölçekli yeni yapay sulak alan çalışmaları ayrıntılı olarak özetlenmiştir.

Çalışmanın son kısmında sonuç ve öneriler yaklaşık 10 yıllık gerçek işletme verileri, saha gözlemleri, analiz sonuçları, pilot tesis verileri ve yeni yapılan tesislerin ilk verileri dünya genelinde iki yüzden fazla literatür ve kamu, özel sektör uygulama verileri irdelenerek özetlenmiş olup sonuçlar doğal arıtmaları öne çıkarmaktadır.

Tez kapsamında yapılan çalışmaların sonuçlarına daha yakından bakıldığında;

Hâlihazırda işletmede olan bir adet yapay sulak alan ile paket arıtma tesisi ortalama giderim sonuçları açısından karşılaştırıldığında sırasıyla AKM %88, %81,

KOİ %87, %84,9, BOİ₅ %92, %85, TN %50, %41, TP %23, %21,5 değerleri ile yapay sulak alanın daha kararlı ve üstün giderim sağladığı görülmüştür.

Maliyet açısından gerçek ölçekte işletme kayıtlarına dayalı sonuçlar YSA için birim (m³) atıksu başına 0,018 Dolar iken, paket arıtma için 0,13 Dolar mertebesinde dir. Piyasa fiyatları ile ilk yatırım bedelleri karşılaştırıldığında YSA için 179.575 Dolar, paket arıtma için 128.886 Dolar civarındadır. 20 yıllık toplam maliyet YSA için 206.158 PAK için 317.956 Dolar olup Denizli’de olduğu gibi su idarelerinin kendi iş gücü ve makine parkını kullandıkları ve kamuya ait arazilerin seçildiği durumda yapay sulak alanların çok daha tasarruflu olduğu kesinlikle söylenebilir.

İçinde bulunan dönemde Denizli Eskihisar Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi çıkışı sularını iyileştirme / cilalama amaçlı pilot ölçekli betonarme bir havuz yaklaşık iki yıl işletilmiştir. Bu tesisin hiçbir işletme aksaklığı olmadan çalıştığı, bazı dönemlerde debi ayarlaması yapılamaması nedeniyle bekleme sürelerinin kısalabildiği ancak literatüre uygun giderme verimi ve birden çok göstergede geleneksel tesisin ötesinde giderim sağlandığı görülmüştür.

Pilot tesis olarak daha sonra kurulan üç adet yapay sulak alan yatağında ise yine aynı tesisin ön çöktürme havuzlarından çıkan ham atıksu giriş suyu olarak kullanılmış, toplamda 12 ay işletilmiş ve tesis kapatılmıştır. Bu tesise, bitkiler dikilmeden önce yaklaşık 1 ay su alınmış ve daha sonra bitkiler olumlu bir gelişim göstermiştir. Tesiste sık sık giriş besleme ve dağıtım boruları, vana, ek parçalarında tıkanma, enerji kesintisi nedeni ile elektrik motorunun devre dışı kalması, gerçek ölçekli motor gücünün yüksekliği nedeniyle arzu edilen bekleme süreleri (6 gün) dolmadan tahliyenin gerçekleşmesi gibi sorunlar görülmüştür. Pilot tesis Denizli şehrinde anlık olarak gelen gerçek, taze atıksu ile beslenmiş, sonuç olarak 12 aylık numune dönemi sağlıklı olarak tamamlanmış ve her geçen ay arıtma verimi artış göstermiştir, serbest yüzeyli yatakta verim son aylarda nispeten daha düşüktür. Burada serbest yüzeyli tesislerde verim muhafazası için daha geniş alanlara ihtiyaç duyulduğu literatürde sabittir.

Pilot tesise anlık olarak beslenen atıksu Denizli il merkezinden kaynaklanan evsel ve bir miktar endüstriyel atıksuları içermekte olup ortalama kırsal alan evsel atıksularına göre kirlilik açısından daha kuvvetlidir.

Tüm göstergeler için ortalama olarak en yüksek verim dikey yüzey altı akışlı yatakta elde edilmiş, ardından yatay akışlı yatak ve son olarak serbest yüzeyli yatak öne çıkmıştır. BOİ₅ için sonuçlar sırasıyla %91, 87 ve 80'dir.

Merkezi arıtma tesisi nihai çıkışına cilalama amaçlı olarak kurulan serbest yüzeyli yatak, çok düşük bir yatırım ve sifıra yakın işletme gideri ile çıkış suyunda hatırı sayılır iyileştirme gerçekleştirmiştir. Bu son pilot tesiste %28 KOİ, %38 BOİ₅, % 20 TN ve %3 TP giderimi elde edilmiştir.

Tez dönemi içinde tasarlanıp inşa edilen ve çıkış alınabilen yeni yapay sulak alanlar içinde ilk numunelerde ortalama %73 AKM, %64 BOİ₅, %48 KOİ, %35 TN ve %31 TP giderimi kaydedilmiş olup bitki dikimi ve biyolojik zenginleşme ile giderim oranlarının artması beklenmekle birlikte, ilk sonuçlar SKKY yasal arıtım şartlarını sağlamaktadır. Bununla birlikte; yetersiz alan, aşırı hayvancılık ve sanayi yükü, yerel halk müdahalesi ya da diğer yollarla tahliye güçlüğü olan tesislerde sonuçların gelişime ihtiyaç duyduğu da tespit edilmiştir.

Denizli için kırsal alanda gelecekteki atıksu arıtma yatırımları sözkonusu olduğunda, tez sonuçları esas alınarak 2000 nüfus altındaki beldelerde atıksu şebekesinin henüz inşa edilmediği durumlarda bireysel fosseptik yolu ile giderim çevresel ve teknik fayda açısından en uygun çözümdür. Bu durumda yeni mevzuatta kendine yer bulan sızdırmalı haznelere ya da yurtdışındaki örneklerle de desteklenen fosseptik çıkışı sızdırma hendekleri ve uygun bitki dikimi önerilebilir. Hali hazırda Amerika'da ortalama %25 oranında hanede atıksu bertarafı bu şekilde sağlanmaktadır. Yine düşük nüfuslu beldelerde kanalizasyon şebekesi mevcut ve deşarj imkanı yok ise genel fosseptikler ya da doğal arıtma tesisi sonrası stabilizasyon havuzları ve tarımsal sulama çıkışı tasarlanabilir. Deşarj imkânı mevcut olan beldelerde kirliliğe çok hassas alıcı ortam mevcut ise paket arıtma ya da betonarme uzun havalandırma AÇS, alıcı ortamda içmesuyu havzası gibi özel şartlar mevcut değil ise doğal arıtma tesisi yapımı tavsiye edilen ana yöntemdir.

Nihai olarak düşük nüfuslu kırsal beldeler için Denizli'deki arıtma durumu incelendiğinde hâlihazırda yaklaşık 28 adet paket biyolojik arıtma, 20 civarında doğal arıtma tesisi bulunmaktadır. Bununla birlikte yapılan ana plan çalışmasına göre kırsal alanda mevcutlara ek olarak 137 adet köyde atıksu şebekesinin bulunduğu ve çevresel kirliliğin önlenmesi için yeni kırsal atıksu arıtma tesislerinin yapımına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Çevresel, teknik ve maliyet açısından durum irdelendiğinde yapay sulak alanlar en doğru seçim olarak görünmektedir. Bu tesislerin mali imkânların yeterli olduğu durumlarda olabildiğince geniş arazilerde yüzeyaltı yatay ya da serbest yüzeyli tasarlanabileceği öngörülmektedir. Böylelikle ülkenin kıt imkânları en verimli şekilde kullanılacak, dışa bağımlılık azalacak, ilgili bölgelerde flora ve fauna zenginleşmesi oluşacak ve geleneksel tesislerde oluşan istenmeyen enerji, kimyasal, donanım, bakım onarım harcamaları ortadan kaldırılacaktır.

8. KAYNAKLAR

Rizzo A., Langergraber G., “Novel insights on the response of horizontal flow constructed wetlands to sudden changes of influent organic load: A modelling study”, *Ecological Engineering*, Volume 93, 242-249, (2016).

Abou-Elela S., Golinielli G., Abou-Taleba E.M.Hellal. and Mohammed S., “Municipal wastewater treatment in horizontal and vertical flow constructed wetlands”, *Ecological Engineering*, 61 460–468, ScienceDirect, homepage: www.elsevier.com/locate/ecoleng, (2013).

Aguilar-Torrejón, J.A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., “Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water—An overview through time”, *SN Appl. Sci.* 5, 118 (2023).

Ak M., Top İ., “The effect of soil types on nitrogen and phosphorus removal from secondary treated municipal wastewater by using soil-aquifer treatment system”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 28(6), 929-936, (2022).

Akten, M. ve Akten, S., “Kentsel Atıksu Yönetimi ve Atıksuların Yeniden Kazanımında Yapay Sulak Alanların Çevresel Sürdürülebilirlik Üzerindeki Etkileri”, *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 483-492, (2008).

Alagha O, Allazem A, Bukhari AA, Anil I, Mu'azu ND., “Suitability of SBR for Wastewater Treatment and Reuse: Pilot-Scale Reactor Operated in Different Anoxic Conditions”, *Int J Environ Res Public Health*, Mar 2;17(5):1617. doi: 10.3390/ijerph17051617. PMID: 32131553; PMCID: PMC7084242, (2020).

Alexandros, S.I., “Reedbox: An Innovative Compact, Mobile Constructed Wetland Unit for Wastewater Treatment”, *Oman Water & Wastewater Conference*, Oman Convention and Exhibition Center, Muscat, Oman, (2019).

Alexandros, S.I., Akkratos, C.S., “Removal of Pathogenic Bacteria in Constructed Wetlands: Mechanisms and Efficiency”, In: Ansari, A., Gill, S., Gill, R., Lanza, G., Newman, L. (eds) *Phytoremediation*. Springer, Cham., (2016).

APHA-AWWA-WPCF, *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition. Washington, USA, (1995).

Arceivala, S. J., *Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı*, Çeviren: V. Balman, Tata – Mc Graw Hill, (2002).

Arias C.A.; Brix H., “Phosphorus removal in constructed wetlands: can suitable alternative media be identified?”, *Water Science & Technology*, Vol 51 No 9, 267–273, IWA Publishing, (2005).

Avila F.G, Chavez J.P., Chimbo F. Z., Moscoso S.D., Pino L.F., Anazco A.A., “Performance of *Phragmites australis* and *Cyperus papyrus* in the treatment of municipal wastewater by vertical flow subsurface constructed wetlands”, *International Soil and Water Conservation Research*, 7,3, 286-296, (2019).

Ayaz S., Fındık N., Kınacı S., Tunçsiper B., Güneş E., “Yapay Sulak Alanlar El Kitabı”, *TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü, İTÜ*, (2011).

Ayaz S.Ç., “Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands”, *Desalination* 226 249–255, Science Direct, (2008).

Bitton G., *Wastewater Microbiology*, John Willey USA, (2005).

Borin M., Politeo M., Stefani G., “Performance of a hybrid constructed wetland treating piggery wastewater”, *Ecological Engineering*, Volume 51, 229-236, (2013).

Bozdoğan M., “Kentsel Atıksuların Yapay Sulak Alanda Arıtılması ve Açık Yeşil Alan Sulamalarında Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2009).

Bunce J. T., Ndam E., Ofiteru I.D., Moore A., Graham D.W., “A Review of Phosphorus Removal Technologies and Their Applicability to Small-Scale Domestic Wastewater Treatment Systems”, *Front. Environ. Sci.*, 22, Sec. Wastewater Management, Volume 6, (2018).

Campbell K., Wang J., Tucker R., Struempf C., “Implementation of long solids retention time activated sludge process for rural residential community”, *Water Environment Research*, (2020).

Cheng F., Dai Z., Shen S., “A source-separated investigation into rural domestic wastewater”, *Water Science & Technology*, 83.1, (2021).

Chinh T.T., Duc H.P., Cuong B.V., Linh N., “Sequencing Batch Reactor and Bacterial Community in Aerobic Granular Sludge for Wastewater Treatment of Noodle-Manufacturing Sector”, *Applied Sciences*, 8(4):509, (2018).

Choi, J., Geronimo, F.K.F., Maniquiz-Redillas, M.C., Kang, M.J., Kim, L.H., “Evaluation of a hybrid constructed wetland system for treating urban stormwater runoff”, *Desalination and Water Treatment*, 53, 3104–3110, (2015).

Cop M., “Konya İli Yapay Sulak Alanlarda Arıtma Verimi, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, (2017).

Crites R.W., Ogden M., “Cost of Constructed Wetlands Systems”, WEFTEC Technical Sessions, *Brown and Caldwell*, (1998).

Cupak, A., Chmielowski, K., Bugajski, P., Dacewicz, E., “Assessment of efficiency of rural sewage treatment plant with bioreactor”, *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 18(1), 137–143, (2019).

Çevre ve Orman Bakanlığı, Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği, <http://www.resmigazete.gov.tr>, (2010).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2000 Kişilik Tip YSA Proje Raporu, (2010).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği <http://www.resmigazete.gov.tr/>, (2010).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, <http://www.resmigazete.gov.tr>, (2004).

Dohare D., Bochare P., “Sequential Batch Reactors: Taking Packaged Wastewater Treatment To New Heights - A Review”, *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, ISSN 0976 – 6308 (Print), ISSN 0976 – 6316 (Online), Volume 5, Issue 10, pp. 131-138, (2014).

Doody D., Harrington R., Johnson M., Hofmann O., “Sewerage treatment in an integrated constructed wetland”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Municipal Engineer* 162, Issue ME4, 199–205, doi: 10.1680/muen.2009.162 .4.199, (2009).

Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J.Stein, O., Sperling, “Treatment Wetlands”, *Water Intelligence Online*, IWA Publishing, Biological Wastewater Treatment Series Volume Seven, Treatment Wetlands, IWA Task Group on Mainstreaming the Use of Treatment Wetlands, 10.2166/9781780408774, (2017).

EPA, *Constructed wetlands for animal waste treatment, a manual on performance design and operation with case histories*, prepared for the Gulf of Mexico Program Nutrient Enrichment Committee Under a contract to Alabama Soil and Water Conservation Committee (ASWCC) and National Council of the Pulp and Paper Industry for Air and Stream Improvement (NCASI) by Payne Engineering and CH2M Hill, (1997).

Erdoğan, A. O., “Türkiye’de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı”, Doktora Tezi, *İTÜ*, İstanbul, (2004).

Fan Y., Xudong Wu, Shao L., Han M., Chen B., Meng J., Wang P., Chen G., “Can constructed wetlands be more land efficient than centralized wastewater treatment systems? A case study based on direct and indirect land use”, *Science of The Total Environment*, Volume 770, 144841, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720383741>), (2021).

Feng L., Liu Y., Zhang J., Li C., Wu H., “Dynamic variation in nitrogen removal of constructed wetlands modified by biochar for treating secondary livestock effluent under varying oxygen supplying conditions”, *Journal of Environmental Management*, Volume 260, 110152, (2020).

Göçmez S., Güngör M., Akyürek A., Şenyurt M., Öztürk A., Karabuğa M.Ç., “Denizli İlinde Yapay Sulak Alanların Revizyonu: Bozkurt Alikurt Yapay Sulak Alan Örneği”, *UKSAY International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*, (2018).

Göçmez S., Kayam Y., “Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Evsel Atıksuların Arıtımında Kullanımı: Torbalı Korucuk Mahallesi Örneği”, Adnan Menderes Üniversitesi, *Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü (UTAEM)*, UKSAY, (2018).

Göçmez S., Kayam Y., Bilir Z.L., “Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulakalanlarda Farklı Bitkilerin Evsel Atıksuların Arıtılmasındaki Etkinliği”, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Araştırma - Geliştirme Destekleri Proje Sonuç Raporu, Proje No: Tagem-Bb-050201d02, *Menemen Toprak Ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*, İzmir, (2011).

Göçmez, S., Kayam, Y., Bilir, Z.L., “Constructed Wetlands for Municipal Waste Water Treatment; Case Study of Çakırbeyli Village”, *International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium*, Konya/Turkey, (2010).

Gratziou M.K., Tsalkatidou M., Kotsovinos N.E., “Economic Evaluation Of Small Capacity Sewage Processing Units”, *Global NEST Journal*, Vol 8, No 1, pp, (2006).

Guimaraes, G.P., Alves D.G, Jorge M.F., Nascentes A.L., Pinho, C.F., Silva Güneş K., Masi F., Ayaz S., Tunçsiper B., Beşiktaş M., “Domestic wastewater and surface runoff treatment implementations by constructed wetlands for Turkey: 25 years of experience”, *Ecological Engineering*, Volume 170, 106369, (2021).

Haydar S., Anis M., Afaq M., “Performance evaluation of hybrid constructed wetlands for the treatment of municipal wastewater in developing countries”, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28 (2020) 1717–1724, <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.02.017>, The Chemical Industry and Engineering Society of China, and Chemical Industry Press Co., Ltd., ScienceDirect, (2020).

He K., Lv T., Wu S., Guo L., Ajmal Z., Luo H., Dong R., “ Treatment of Alkaline Stripped Effluent in Aerated Constructed Wetlands: Feasibility Evaluation and Performance Enhancement”, MDPI, Journal, *Water*, Issue 9, (2016).

Henze, M., Harremoes, P., Jansen, J.C., Arvin, E., “Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes”, Springer-Verlag Publishing, (2002).

Hoddinott B.C., “Horizontal Subsurface Flowconstructed Wetlands for On-Site Wastewater Treatment”, Thesis Study, *Wright State University*, Dayton Ohio, (2006).

Hunter, R.G., “Municipal wastewater treatment costs with an emphasis on assimilation wetlands in the Louisiana coastal zone”, *Ecological Engineering*, (2018).

Joel C., Kiprop E.K., Mwamburi L. A., “Effect of Seasonal Variation on Performance of Conventional Wastewater Treatment System”, *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. Vol. 5, No. 1, pp 1-7. <http://pubs.sciepub.com/jaem/5/1/1>, (2017).

Karabuğa M. Ç., DESKİ, “Arıtma Maliyet Hesapları”, *DSİ*, Eğitim Sunumu, Antalya (2021).

Katayon, Z. Fiona, M.J. Megat Mohd Noor, G. Abdul Halim and J. Ahmad, “Treatment of mild domestic wastewater using subsurface constructed wetlands in Malaysia”, *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 65, No. 1, 87, (2008).

Kayranlı B., Scholz M., Mustafa A., Hofmann O., Harrington R., “Performance Evaluation of Integrated Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater”, *Water Air Soil Pollution*, 210:435–451, DOI 10.1007/s11270-009-0267-6 (2010).

Khudair B.H., Jasim S.A., “Performance Evaluation of Sequencing Batch Reactor and Conventional Wastewater Treatment Plant Based on Reliability Assessment”, Number 11, Volume 23, *Journal of Engineering*, (2017).

Kitanoua S., Ayyouba H., Touira J., Zdeg A., Benabdallah S., Takya M., Elmidaouia A., “A comparative examination of MBR and SBR performance for municipal wastewater treatment”, *Water Practice & Technology*, Vol 16 No 2, IWA, (2021).

Koyuncu İ., Öztürk İ., Aydın A.F., Alp K., Arıkan O.A., İnsel G.H., Altınbaş M., Özüdoğru A., *Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi Kitabı*, T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2013).

Krasnits E, Friedler E, Sabbah I, Beliaevski M, Tarre S, Green M. “Spatial distribution of major microbial groups in a well-established constructed wetland treating municipal wastewater”, *Ecological Engineering*, 35: 1085-1089, (2009).

Kulikowska D., Klimiuk E., Drzewicki A., “BOD₅ and COD removal and sludge production in SBR working with or without anoxic phase”, *Bioresource Technology*, Volume 98, Issue 7, (2007).

Kuznetz M., “Design of Sequencing Batch Reactors for Nitrification/Denitrification”, Continuing Education for Engineers, Course Number: CH-04-509 PDH: 4, (2019)

Lee C., Fletcher T.D, Sun G., “Nitrogen removal in constructed wetland systems”, *Eng. Life Sci.*, 9, No. 1, 11–22, (2009).

Li Y., Li H., Xu X., Xiao S., Wang S., Shu-cong Xu, “Fate of nitrogen in subsurface infiltration system for treating secondary effluent”, *Water Science and Engineering*, Volume 10, Issue 3, 217-224, (2017).

Lienard A., Boutin C., Molle P., Racault Y., Brissaud F., et al.. “Constructed Wetlands and Waste Stabilization Ponds for municipal wastewater treatment in France: comparison of performance and maintenance operations in terms of durability and reliability”, *9ème conférence sur les marais artificiels et 6ème conférence sur le lagunage naturel*, Avignon, France. 11 p. hal-00508167, HAL Id: hal-00508167 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00508167>, (2010).

Liu Y., Gu J., Liu Y., “Energy self-sufficient biological municipal wastewater reclamation: Present status, challenges and solutions forward”, *Bioresource Technology*, 269 513–519, (2018).

Lutterbeck C., Kist L., Lopez D., Zerwes F., Machado E., “Life cycle assessment of integrated wastewater treatment systems with constructed wetlands in rural areas”, *Journal of Cleaner Production*, 148, 527-536, (2017).

Mahvi A., Mesdaghinia A.R., Karakani F., “Feasibility of Continuous Flow Sequencing Batch Reactor in Domestic Wastewater Treatment”, *American Journal of Applied Sciences* 1(4), DOI:10.3844/ajassp.2004.348.353, (2004).

Matamoros V., Salvadó V., 2012, “Evaluation of the seasonal performance of a water reclamation pond-constructed wetland system for removing emerging contaminants”, *Chemosphere*, Volume 86, Issue 2, Pages 111-117, (2012).

Merlin G., Lissolo T., “Energy and Emergy Analysis to Evaluate Sustainability of Small Wastewater Treatment Plants: Application to a Constructed Wetland and a Sequencing Batch Reactor”, *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 2 No. 12, Article ID: 3502 , 13 pages, (2010).

Merlin, G., Pajean, J.L. & Lissolo, T., “Performances of constructed wetlands for municipal wastewater treatment in rural mountainous area”, *Hydrobiologia*, 469, 87–98, <https://doi.org/10.1023/A:1015567325463>, (2002).

Metcalf & Eddy, *Wastewater Treatment, Disposal and Reuse*, Mc Graw Hill Publishing, (2000).

Othman I., Anuar A.N., Ujang Z., Rosman N.H., Harun H., Chelliapan S., “Livestock wastewater treatment using aerobic granular sludge”, *Bioresource Technology*, Volume 133, (2013).

Öztürk İ., Koyuncu İ., Gömeç Ç., Karpuzcu E., Erşahin M.E., Timur H., Özgün H., Dereli R.K., Koşkan U., Gülhan H., Fakıoğlu M., Öztürk M., *Atıksu Mühendisliği Kitabı*, Teknik Kitaplar Serisi, İSKİ, İstanbul, (2017).

Parde D., Patwa A., Shukla A., Vijay R., Killedar D., Kumar R., “A review of constructed wetland on type, treatment and technology of wastewater”, *Environmental Technology & Innovation*, 21,101261, (2021).

Partal R., Hocaoğlu S., Baştürk İ., Dursun M., “Kentsel/Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Tüketimini Azaltmaya Yönelik Uygulamalar ve Sağlanan Kazanımlar”, *1. Uluslararası İçmesuyu ve Atıksu Sempozyumu*, Afyonkarahisar (2018).

Polprasert C., *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Principles and Practices, Developments in Ecosystems*, Volume 1, Elsevier, (2004).

Qiang Z., Dong H., Zhu B., Qu J., Nie Y., “A comparison of various rural wastewater treatment processes for the removal of endocrine-disrupting chemicals (EDCs)”, *Chemosphere*, 92, 986–992, (2013).

Ramprasad C.; Bharathwaj, R.; Poddar D., “Design and Performance Evaluation of Decentralized Wastewater Treatment and Reuse System for Urban and Rural Places”, *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562 Volume 14, Number 5,1135-1144, (2019).

Rizzo A., Bresciani R., Martinuzzi N., Masi F., “French Reed Bed as a Solution to Minimize the Operational and Maintenance Costs of Wastewater Treatment from a Small Settlement: An Italian Example”, *IRIDRA*, (2018).

Samsunlu A., *Atıksu Arıtma Yapılarının Projelendirilmesi*, Birsen Yayınevi, 1. Basım, (2010).

Senante M., Gómez T., Caballero R., Sancho F., Garrido R., “Assessment of wastewater treatment alternatives for small communities: An analytic network process approach”, *Science of the Total Environment*, 532, 676–687, (2015).

Standart ATV-DVWK-A 131E, “Dimensioning of Single Stage Activated Sludge Plants”, www.suatıksu.org, (2000).

Su X., Chiang P., Pan S., Chen G., Tao Y., Wu G., Wang F., Cao W., “Systematic approach to evaluating environmental and ecological technologies for wastewater treatment”, *Chemosphere*, 218, 778e792, (2019).

Şener G., Olhan E., “Atıksu Arıtma Tesislerinin Kırsal Alan Üzerindeki Çevresel Sosyal ve Ekonomik Etkileri”, *Turkish Journal Agricultural Economics*, ISSN 1303-0183 <http://journal.tarekoder.org>, Cilt:22 Sayı:2, 9-16, (2016).

Tang J., Zhang C., Shi X., Sun J., Cunningham J., “Municipal Wastewater Treatment Plants Coupled With Electrochemical, Biological And Bio-Electrochemical Technologies: Opportunities And Challenge Toward Energy Self-Sufficiency”, *Journal of Environmental Management*, 234, 396–403, (2019).

Tchobanoglous G., Stensel H., Burton F., Metcalf & Eddy, *Wastewater Treatment, Disposal and Reuse*, Mc Graw Hill Publishing, (2000 ve 2004).

Tilgalis E., Grinberga L., Energy-Efficient Wastewater Treatment Technologies in Constructed Wetlands, *3rd International Conference Civil Engineering*, Proceedings, (2011).

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Zurbrügg, C., *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*, 2nd Revised Edition, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland, (2014).

Topaç O., Acar Ö.O., “Paket Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi”, *European Journal of Science and Technology*, No. 19, pp. 858-865, (2020).

Toprak, H., “İleri Arıtma Notları”, <https://web.deu.edu.tr/atiksu>, (2006),

Toprak, H., *Atıksu Stabilizasyon Havuzlarının ve Mekanik Lagünlerin Tasarım, İnşaat ve İşletme Esasları*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 266, (1998).

Tunçsiper, B., Ayaz, S., Akca, L., “Coliform bacteria removal from septic wastewater in a pilot-scale combined constructed wetland system”, *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 1873-1879. 10.30638/eej.2012.233, (2012).

U.S. EPA, “Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment”, *OWM*, Washington, (2000).

USEPA, United States Environmental Protection Agency Office of Water, *Wastewater Technology Fact Sheet Sequencing Batch Reactors*, D.C. EPA 932-F-99-073, (1999).

Venditti S., Brunhoferova H., Hansen J., “Behaviour of 27 selected emerging contaminants in vertical flow constructed wetlands as post-treatment for municipal wastewater”, *Science of the Total Environment*, 819, 153234, (2022).

Vergeles Y., Vystavna Y., Ishchenko A., Rybalka I., Marchand L., Stolberg F., “Assessment of treatment efficiency of constructed wetlands in East Ukraine”, *Ecological Engineering* 83, 159–168, (2015).

Vymazal J., “Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review”, *Ecological Engineering*, 61B:582-592, (2013).

Vymazal J., “Is removal of organics and suspended solids in horizontal sub-surface flow constructed wetlands sustainable for twenty and more years?”, *Chemical Engineering Journal*, Volume 378, (2019).

Vymazal J., “Removal of BOD₅ in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Czech experience”, *Water Science and Technology*, Volume 40, Issue 3, Pages 133-138, (1999).

Vymazal J., “Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands, Science of The Total Environment”, 380(1-3):48-65, (2007).

Vymazal, J., “Do laboratory scale experiments improve constructed wetland treatment technology?”, *Environ. Sci. Technol.*, 52, 12956–12957, (2018).

Vymazal, J., “Is removal of organics and suspended solids in horizontal sub-surface flow constructed wetlands sustainable for twenty and more years?”, *Chem. Eng., J.* 378, 122117, (2019).

Vymazal, J., “Removal of Phosphorus in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow in the Czech Republic”, *Water, Air, & Soil Pollution: Focus* 4, 657–670, <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000028385.63075.51>, (2004).

Vymazal, J., “The Historical Development of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment”, *Land* 2022, 11, 174., <https://doi.org/10.3390/land11020174>, (2022).

Vymazal, J., *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Encyclopedia of Ecology (Second Edition)*, Elsevier, Pages 14-21, ISBN 9780444641304, - (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489112382>) (2019).

Wang H., Sun J., Xu J., Sheng L., “Study on clogging mechanisms of constructed wetlands from the perspective of wastewater electrical conductivity change under different substrate conditions”, *Journal of Environmental Management*, Volume 292, 11281315, (2021).

Wang X., Bai X., Qiu J., Wang B., “Municipal wastewater treatment with pond–constructed wetland system: a case study”, *Water Science & Technology*, DOI: 10.2166/wst.2005.0491, PubMed, (2005).

Waqas S., Bilad M.R., “A Review on Rotating Biological Contactors”, *Indonesian Journal of Science & Technology*, 4 (2), 241-256, <http://ejournal.upi.edu/index.php/ijost/>, (2019).

Yin, X., Zhang, J., Hu, Z., “Effect of photosynthetically elevated pH on performance of surface flow-constructed wetland planted with *Phragmites australis*”, *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 23, 15524–15531, <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6730-1>, (2016).

Yuan Y., Liu J., Ma B., Liu Y., Wang B., Peng Y., “Improving municipal wastewater nitrogen and phosphorous removal by feeding sludge fermentation products to sequencing batch reactor (SBR)”, *Bioresource Technology*, Volume 222, Pages 326-334, (2016).

Zhai, J., Xiao, J., Rahaman, M.H., John, Y., Xiao, J., “Seasonal Variation of Nutrient Removal in a Full-Scale Artificial Aerated Hybrid Constructed Wetland”, *Water*, 8, 551, MDPI, <https://doi.org/10.3390/w8120551>, (2016).

Zhang M., Chen C., Zhou S., Yang J., Qiu H., Zhao D., An S., 2020, “Operation strategy for constructed wetlands in dry seasons with insufficient influent wastewater”, *Bioresource Technology*, Volume 317, 124049, (2020).

Zuthi M.F.R., Guo W.S., Ngo H.H., Nghiem L.D., Hai F.I., “Enhanced biological phosphorus removal and its modeling for the activated sludge and membrane bioreactor processes”, *Bioresource Technology*, Volume 139, Pages 363-374, (2013).

EKLER

9. EKLER

EK A

Tablo 1: Bozkurt / Avdan AAT 2 proje hesap raporu çizelgesi
(Kabul edilen kirlilik değerleri ve 110 kg/ha-gün BO₅ yüklemesine göre tasarım)

TÜBİTAK YSA El Kitabı, Ayaz ve diğ. (2011), ÇŞB 2000 Kişilik Tip YSA Proje Raporu, Atıksu Arıtma Yapılarının Projelendirilmesi, Samsunlu (2010)			
Parametre	Formül	Değer	Notlar ve Uyarılar
Nüfus, N (kişi)		500	
Foseptik BO ₅ Giderim Verimi (%)		30	
Giriş BO ₅ Değeri, C ₀ (mg/l)		238,64	
Çıkış BO ₅ Değeri CE (mg/l)		40,00	
Ortalama Debi, Q _{ort} (m ³ /gün)		88,00	
Minimum Atıksu Sıcaklığı, T (C)		10,00	
Havuz Eğimi, S		0,006	% 1-5 (Tip Proje Raporu)
Su Derinliği, d (m)		0,40	
Porozite, α		0,50	
Hidrolik İletkenlik k _s (m ³ /m ² -gün)		8000,00	
20 C Sıcaklığa bağlı 1. derece hız sabiti, K ₂₀ (gün ⁻¹)		0,86	
Yatak Sayısı, n		2,00	
T C Sıcaklığa bağlı 1. derece hız sabiti, KT (gün ⁻¹)	KT = K ₂₀ x (1,1) ^(T-20)	0,33	
Atıksuyun Çakıl Boşluklarında Bekleme Süresi, t' (gün)	t' = - ln (CE / C ₀) / KT	5,39	4 ≤ t' ≤ 15, Uygun
Eğimler İhmal Edildiğinde Sabit Su Seviyesinde Alan İhtiyacı (m ²)	A _{eğimihmal} = ((Q _{ort} /n) x t' / d)*α	1185,08	
k _S x S		48,00	6,8 < Uygun değil
Enkesit Alanı, A _c (m ²)	A _c = (Q _{ort} /n) / (k _S x S)	0,92	
Hesaplanan Havuz Genişliği, W (m)	W = A _c / d	2,29	
Seçilen Havuz Genişliği, W (m)		16,00	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
Hesaplanan Havuz Uzunluğu, L (m)	L = t' x (Q/n) / W x d x α	74,07	L ≤ 100 m
Seçilen Havuz Uzunluğu, L (m)		60,00	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
L/W oranı		3,75	L/W = 0,5 veya L/W ≥ 3/1
Gerekli Yüzey Alanı, A _s (m ²)	A _s = L x W	960,00	
Son Hesaplanan Alana Göre Çakıl Boşluklarında Bekleme Süresi, t' (gün)	t' = (((2 x d + (L x S)/2) x L x W) / (Q _{ort} /n)) * α	6,33	4 ≤ t' ≤ 15, Uygun
Hidrolik Yük, L _w (m ³ /ha-gün)	L _w = Q / A _s	458,33	140 ≤ L _w ≤ 500, Uygun
Özgül Alan İhtiyacı, ASP (ha-gün/1000 m ³)	ASP = 1 / L _w	2,18	2,1 ≤ ASP ≤ 6,9, Uygun
Kişi Başı Alan İhtiyacı (m ² /N)	KBAİ = Alan/Nüfus	3,84	5 > Uygun değil

Göçmez ve diğ. (2018), DESKİ (2022)			
Parametre	Formül	Değer	Notlar ve Uyarılar
Nüfus, N (kişi)		500	
Giriş BO ₅ Değeri, C ₀ (mg/l)		238,64	
Kişi Başı Alan İhtiyacı, KBAİ (m ² /N)		3,7	tavsiye edilen değer 1,5 m ² /N
Ortalama Debi, Q _{ort} (m ³ /gün)		88,00	
Havuz Eğimi, S		0,01	% 1-5 (Tip Proje Raporu)
Su Derinliği, d (m)		0,40	tavsiye edilen derinlik 0,6 m
Porozite, α		0,50	
Yatak Sayısı, n		2,00	
Gerekli Yüzey Alanı, A _s (m ²)	$A_s = N \times KBAI / n$	925,00	
Atıksuyun Çakıl Boşluklarında Bekleme Süresi, t' (gün)	$t' = A_s \times d \times \alpha / (Q/n)$	4,20	4 ≤ t' ≤ 15, Uygun
L/W oranı		3,00	L/W = 0,5 veya L/W ≥ 3/1
Hesaplanan Havuz Genişliği, W (m)		17,56	
Seçilen Havuz Genişliği, W (m)		17,56	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
Hesaplanan Havuz Uzunluğu, L (m)		52,68	L ≤ 100 m
Seçilen Havuz Uzunluğu, L (m)		52,68	Kriterlere uyum için değiştirilebilir.
Seçilen Yüzey Alanı, A _s (m ²)	$A_s = L \times W$	925,00	
Hidrolik Yük, L _w (m ³ /ha-gün)	$LW = Q / AS$	475,68	140 ≤ L _w ≤ 500, Uygun
Özgül Alan İhtiyacı, ASP (ha-gün/1000 m ³)	$ASP = 1 / LW$	2,10	2,1 ≤ ASP ≤ 6,9, Uygun
BO ₅ Yükleme Hızı (kg/ha-gün)	BO ₅ Yük. Hızı = BO ₅ Yüğü/Alan	113,51	66,5 > Uygun değil
Atıksu Mühendisliği Kitabı, Öztürk ve diğ. (2017)			
Parametre	Formül	Değer	Notlar ve Uyarılar
Nüfus, N (kişi)		500	
Giriş BO ₅ Değeri, C ₀ , BO ₁ (mg/l)		238,64	
Foseptik AKM Giderim Verimi (%)		50,00	
Giriş AKM Değeri, C ₀ , AKM (mg/l)		198,86	
Ortalama Debi, Q _{ort} (m ³ /gün)		88,00	
Maksimum BO ₅ Yüğü (g/m ² .gün)		6,00	
Maksimum AKM Yüğü (g/m ² .gün)		20,00	
BO ₅ Giderimi İçin Minimum Alan İhtiyacı, A _{BOI} (m ²)		3500,00	
AKM Giderimi İçin Minimum Alan İhtiyacı, A _{AKM} (m ²)		875,00	
Seçilen Alan (m ²)		3500,00	
Kişi Başı Alan İhtiyacı (m ² /N)	$K_{BAI} = Alan/Nüfus$	7,00	5 ≤ Uygun
United Nations Human Settlements Programme / CONSTRUCTED WETLANDS MANUAL			
Parametre	Formül	Değer	Notlar ve Uyarılar
K _{BOI} , Hız Sabiti (m/gün)		0,10	
A _h , Yatak Yüzey Alanı (m ²)		1636,47	
Kişi Başı Alan İhtiyacı (m ² /N)	$K_{BAI} = Alan/Nüfus$	3,27	5 > Uygun değil

EK A Tablo 2: Mevcut arıtmalarla yeni tasarlanan arıtmaların 2021 yılı analiz sonuçları üzerinden kıyas tablosu (DESKİ 2021)

Ocak 2021 Analiz Sonuçları Üzerinden Tasarım Verileriyle Kıyas Tablosu	2021 Nüfusu	Ortalama Kişi Başı Su Tüketimi	Atıksuya Dönüşüm Oranı	Tahakkuk Üzerinden Hesaplanan Debi	Doğal AAT Yatak Alanları	Kişi Başı Alan	BOİ5 Yükleme	Hidrolik Yükleme Hızı	Spesifik Alan	Kişi BOİ5 yükü	Giriş BOİ5	Çıkış BOİ5	BOİ5 Giderim Verimi	Kişi KOİ yükü	Giriş KOİ	Çıkış KOİ	KOİ Giderim Verimi	Kişi AKM yükü	Giriş AKM	Çıkış AKM	AKM Giderim Verimi
	N	lt/N/gün	%	m3/gün	A m2	A/N m2	<110 kg/ha-gün <67 kg/ha-gün	0.014-0.05 m3/m2-gün	7-12 ha/1000 m3-gün	gr/N/gün	(Tipik 200 mg/l)	(Standart 75 mg/l)	(Standart %60)	gr/N/gün	(Tipik 420 mg/l)	(Standart 180 mg/l)	(Standart %60)	gr/N/gün	(Tipik 188 mg/l)	(Standart 200 mg/l)	(Standart %60)
Nikfer Doğal AAT	2012	167	80%	304,44	3900,00	1,94	360,6	0,078	1,28	69,91	462,00	37,35	91,92%	139,81	924,00	74,70	91,92%	29,20	193,00	40,00	79,27%
Pınarlık Doğal AAT	345	167	80%	46,15	629	1,82	1107,9	0,073	1,36	201,99	1510,00	52,35	96,53%	403,98	3020,00	104,70	96,53%	41,07	307,00	20,00	93,49%
Darıveren 1 Doğal AAT (%75 Kabul)	956	172	80%	145,27	1100	1,15	898,1	0,132	0,76	103,31	680,00	35,00	94,85%	137,94	908,00	223,00	75,44%	6,08	40,00	18,00	55,00%
Darıveren 2 Doğal AAT (%25 Kabul)	319	172	80%	48,42	666	2,09	421,7	0,073	1,38	88,11	580,00	28,00	95,17%	146,60	965,00	105,90	89,03%	21,27	140,00	10,00	92,86%
Alikurt Doğal AAT	543	198	80%	99,25	1200	2,21	206,8	0,083	1,21	45,70	250,00	13,00	94,80%	78,60	430,00	40,00	90,70%	7,49	41,00	10,00	75,61%
ORTALAMA	-	175,18	0,80	-	-	1,84	599,02	0,088	1,20	101,80	696,40	33,14	94,65%	181,39	1249,40	109,66	88,72%	21,02	144,20	19,60	79,25%
Projelerde Uygulanan Kriterler	-	200	80%	-	-	3,84	109,38	0,046	2,18	60,00	341,00	40,00	88,27%	120,00	682,00	120,00	82,40%	70,00	398,00	30,00	92,46%

Yayın Listesi :

Akyürek, A., Ağdağ O.N., “Comparison of constructed wetlands and package type sequencing batch biological treatment plants in rural areas in terms of efficiency and cost in a full-scale example”, *Ecological Engineering*, Science Direct, 2024/04/01, SP - 107190 VL - 201 DO - 10.1016/j.ecoleng.2024.107190, (2024).

Akyürek A., Ağdağ O.N., “İnşaat Projelerinde Çevre Yönetim Sistemi Uygulamasının Değerlendirilmesi”, *TMMOB ÇMO 11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, (2015).

• Akyürek A., Ağdağ O.N., “Implementation of Environmental Management Systems in Construction Sites”, ICOEST, *2nd International Conference On Environmental Science And Technology*, Side, Antalya, Turkey, (2014).

• Çiner F., Güngör M., Büyür A., Akyürek A., Demirci İ.E., Methane Recovery in Municipal Waste Water Treatment Plants as a Source of Renewable Energy, *1.st Turkish German Biogas Workshop*, (2012).

Akyürek A., Ağdağ O.N., Summarized View On Landfills And Leachate Management In Turkey, *2nd International Conference on Sustainable Solid Waste Management targeting at Waste Management & Research*, Athens, https://athens2014.biowaste.gr/pdf/akyurek_agdag.pdf, (2014).

Güngör M., Büyür A., Çiner F., Akyürek A., Demirci İ.E., “The Production of Methane from the Municipal Wastewater Treatment Plants as a Source of Renewable Energy”, Uluslararası Tam Metin Bildiri, *2 nd International Conference on Water, Energy & Environment ICWEE*, S.Arabia, 2013.

Çiner F., Akyürek A., “Voluntary Carbon Market in Turkey”, Uluslararası Tam Metin Bildiri, *2 nd International Conference on Water, Energy & Environment ICWEE*, S.Arabia, 2013.

Akyürek A., Ağdağ O.N., “Evaluation of Environmental Management System Implementation in Construction Projects”, *European Scientific Journal*, July 2017 /SPECIAL/ edition ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 322, (2017).

Göçmez S., GÜNGÖR M., AKYÜREK A., ŞENYURT M., ÖZTÜRK A., KARABUĞA M.Ç, “Denizli İlinde Yapay Sulak Alanların Revizyonu: Bozkurt-Alikurt Yapay Sulak Alan Örneği”, *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management* October 25-27, 2018.

Akyürek A., “İnşaat Projelerinde Çevre Yönetim Sistemi Uygulamasının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2015).

Akyürek A., “Evaluation of Environmental Management System Implementation in Construction Projects”, *Environmental Science, Engineering* Corpus ID: 56199913, (2017).

Çiner F., Akyürek A., Voluntary Carbon Market In Turkey, Proceedings of the *Second International Conference on Water, Energy and the Environment*, Kusadası, Turkey September 21-24, , paper#1, (2013).

Güngör M., Çiner F., Büyür A., Akyürek A., The Production of Methane from the Municipal Wastewater Treatment Plants as a Source of Renewable Energy, Proceedings of the *Second International Conference on Water, Energy and the Environment*, Kusadası, Turkey, paper#1, (2013).

Çiner F., Akyürek A., “Voluntary Carbon Market in Turkey”, *Journal of Energy and Power Engineering*, 8, David Publishing, (2014).