



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÜLKEMİZDEKİ EVSEL VE KENTSEL
ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN İLK
YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİNİN
FARKLI ARITMA PROSESLERİNE GÖRE
DEĞERLENDİRİLMESİ

Sefa TURGUT

YÜKSEK LİSANS
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sefa TURGUT tarafından hazırlanan “Ülkemizdeki Evsel ve Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Farklı Arıtma Proseslerine Göre Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 29/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

Danışman

Prof. Dr. Bilgehan NAS

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AYGÜN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Sefa TURGUT

Tarih: 29/08/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ÜLKEMİZDEKİ EVSEL VE KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN İLK YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİNİN FARKLI ARITMA PROSESLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sefa TURGUT

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bilgehan NAS

2019, 77 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Bilgehan NAS

Ülkemizde özellikle son yıllarda sayıları giderek artan atıksu arıtma tesisleri (AAT), ilk yatırım maliyetleri ve işletme-bakım maliyetleri de dikkate alındığında Belediyeler için önemli bir finansman ihtiyacı gerektirmektedir. Yüksek yatırımlı çevresel altyapı projelerinden olan AAT'lerinin amaca uygun doğru proses ile projelendirilmesi ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin minimizasyonu açısından çok önemlidir. Amaca uygun olmak yanında, farklı nüfus ve debi aralıklarında farklı biyolojik arıtma proseslerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin fizibilite aşamasında doğru tahmin edilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında Ülke genelinde inşa edilen farklı proseslerden 230 adet AAT'nin ilk yatırım maliyetleri ihale dokümanlarından ve tesislerden elde edilen verilerden derlenmiştir. 2011-2018 yılları arasında ülkemizde inşa edilen 71 adet biyolojik fosfor giderimli eş zamanlı nitrifikasyon/denitrifikasyon prosesi (Bio-P + SNDP), 16 adet 5 kademeli Bardenpho prosesi, 26 adet uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi (UHAÇ), 9 adet oksidasyon hendeği (OH) ve 7 adet klasik aktif çamur (KAÇ) prosesinden oluşan AAT olmak üzere toplam 129 adet AAT'nin ilk yatırım maliyetleri araştırılmış, bu verilerden hareketle tesis kapasitesi ile ilk yatırım maliyeti ve nüfus ile ilk yatırım maliyeti arasındaki ilişkileri gösteren denklemler ve grafikler oluşturulmuştur.

Atıksu arıtma tesislerinde kişi başına düşen ilk yatırım maliyetleri 5 farklı arıtma prosesinden oluşan 129 adet AAT için 37 Euro/kişi ile 90 Euro/kişi arasında olup ortalama 64 Euro/kişi olarak hesaplanmıştır. AAT'lerde işletme maliyetleri ise TÜR AAT projesi verileri, SUEN tarafından 2019 yılında yapılan araştırma sonuçları ve bazı su ve kanalizasyon idarelerinden alınan veriler ile değerlendirilmiş ve ülkemiz için AAT işletme maliyetleri ve elektrik tüketimleri sırasıyla UHAÇ prosesi için ortalama 0.036 Euro/m³, 0.27 kWh/m³ ve 5 kademeli Bardenpho prosesi için ortalama 0.057 Euro/m³, 0.40 kWh/m³ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtma tesisi, Bardenpho Prosesi, Eş zamanlı Nitrifikasyon/Denitrifikasyon, İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti, Klasik Aktif Çamur, Oksidasyon Hendeği, Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur.

ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF CAPITAL AND OPERATING COSTS OF THE DOMESTIC AND URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS ACCORDING TO DIFFERENT TREATMENT PROCESSES IN OUR COUNTRY

Sefa TURGUT

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering

Advisor: Prof. Dr. Bilgehan NAS
2019, 77 Pages

Jury
Prof. Dr. Bilgehan NAS

Wastewater treatment plants which have been increasing in number in recent years, require an important financing requirement for the Municipalities, especially considering the CAPEX and OPEXs. Designing WWTP projects one of the high-investment environmental infrastructure projects, with the right process is very important for minimizing the CAPEX and OPEXs. In addition to selecting right processes, the initial investment and operating costs of different biological treatment processes in different population and flow ranges must be estimated accurately at the feasibility stage.

In this thesis study, the initial investment costs of 230 WWTPs from different processes built across the country were compiled from the tender documents and data obtained from the facilities. The initial investment costs of 129 WWTP constructed between 2011-2018 which consists of 71 simultaneous nitrification/denitrification Bio-P processes, 16 5-stage Bardenpho processes, 26 extended aeration activated sludge processes (EAAS), 9 oxidation ditches, and 7 conventional activated sludge processes, were investigated. Based on these data, equations and graphs have been created showing the relationship between facility capacity and initial investment cost and population and initial investment cost.

The initial investment costs in WWTPs are between 37 euro and 90 euro per person for 129 WWTPs consisting of 5 different treatment processes and the average cost for these WWTPs is calculated as 64 euro per person. Operating costs in WWTP's were evaluated by TURAAT project data, survey results conducted by SUEN in 2019 and data obtained from some water and sewerage administrations, and WWTP operation cost and electricity consumption are calculated as 0.036 Euro/m³, 0.27 kWh/m³ for extended aeration activated sludge process and as 0.057 euro/m³, 0.40 kWh/m³ for 5-stage Bardenpho processes, respectively.

Keywords: Bardenpho Process, Conventional Activated Sludge, Extended aeration activated sludge, Initial Investment Cost, Operational Cost, Oxidation ditch, Simultaneous Nitrification/Denitrification, Wastewater treatment plant.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren değerli hocam Prof.Dr. Bilgehan Nas'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan Mustafa Cop ve Kaan Batuhan Nas'a, Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan dayım Prof.Dr. İsa Yöndem'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü destek ve sevgilerini benden esirgemeyen, yaşamım boyunca her zaman yanımda olarak benim bu günlere gelmemi sağlayan anneme, babama, abime ve tezimin yazılmasında bana her zaman destek olan, anlayışını ve yardımlarını eksik etmeyen eşim Tuba Turgut'a ve evimizin neşe kaynağı oğlum Emir Efe Turgut'a çok teşekkür ediyorum.

Sefa TURGUT
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Avrupa Ülkelerinde Atıksu Yönetimi.....	3
2.1.1. Fransa.....	8
2.1.2. Almanya.....	8
2.1.3. Portekiz	9
2.1.4. İspanya	9
2.1.5. Hollanda.....	10
2.2. Türkiye’de Atıksu Yönetimi	10
2.3. Atıksu Arıtma Prosesleri	14
2.3.1 Biyolojik Arıtma.....	15
2.3.1.1 Klasik Aktif Çamur (KAÇ) Prosesi	16
2.3.1.2 Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur (UHAÇ) Prosesi	16
2.3.1.3 Oksidasyon Hendeği (OH).....	17
2.3.2 İleri Biyolojik Arıtma	18
2.3.2.1 5 Kademeli Bardenpho Prosesi.....	18
2.3.2.2 Eş Zamanlı Nitrifikasyon-Denitrifikasyon (SNDP) Prosesi	19
2.4. AAT Yatırım ve İşletme Maliyetleri.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Ülkemizde Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumu ve Veri Temini	37
3.2 Atıksu Arıtma Tesislerinin Maliyet Unsurları	40
3.2.1. Yatırım Maliyetleri Hesabı	41
3.2.1.1 AAT İnşaat Maliyet Kalemleri	41
3.2.1.2 AAT Mekanik Maliyet Kalemleri.....	41
3.2.1.3 AAT Elektrik Maliyet Kalemleri.....	42
3.2.2. İşletme ve Bakım Maliyeti Hesabı.....	42
3.2.3. Maliyet ve Maliyet Unsurları Arasındaki İlişkiler.....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	44
4.1 Ülkemizde Atıksu Arıtma Tesislerinde İlk Yatırım Maliyetleri	44
4.1.1. Tesis Kapasitesi ve Yatırım Maliyeti İlişkileri	46
4.1.2 Tesis Proje Nüfusu ve Yatırım Maliyeti İlişkileri	49

4.2. Ülkemizde Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Maliyetleri	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
6. KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

F/M	:	Besin/Mikroorganizma
HRT	:	Hidrolik Bekletme Zamanı
kWh	:	Kilo Watt Saat
MLSS	:	Karışık Sıvıdaki Askıda Katı Konsantrasyonu
QR	:	Geri Devir Debisi
SRT	:	Çamur Yaşı

Kısaltmalar

OECD	:	Organisation for Economic Co-operation and Development
EUREAU	:	European Federation of National Associations of Water Services
TÜRAAT	:	Ülke Genelindeki Eysel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi
AAT	:	Atıksu Arıtma Tesisi
SNDP	:	Simültane Nitrifikasyon Denitrifikasyon Prosesi
UHAÇ	:	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur
KAÇ	:	Klasik Aktif Çamur
OH	:	Oksidasyon Hendeği
AB	:	Avrupa Birliği
SÇD	:	Su Çerçeve Direktifi
KASAD	:	Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi
SYGM	:	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
SKİ	:	Su ve Kanalizasyon İdaresi
İSKİ	:	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İSU	:	Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi
SUKİ	:	Su ve Kanalizasyon İdareleri
SUEN	:	Türkiye Su Enstitüsü
TOB	:	Tarım ve Orman Bakanlığı

1. GİRİŞ

Türkiye, süreklilik arz eden ulusal ve uluslararası fon yatırımları, kurumsal kapasite artışı, yasal ve kurumsal düzenlemeler (küçük belediyelerin birleştirilmesi dahil) sonucunda kentsel atıksu yönetimi anlamında önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Ülkemizde atıksuyu arıtılarak deşarj edilen belediye nüfusu oranı %86'dır (OECD, 2019). Özellikle kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisleri sayısı oranı artmış olsa da Türkiye, The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) ülkeleri arasında atıksu arıtma oranı açısından hala çok gerilerdedir.

Proje Koordinatörlüğünü Prof. Dr. Bilgehan Nas'ın yürüttüğü, 2016 yılında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından desteklenen TÜRAAT projesi kapsamında Türkiye'deki mevcut atıksu arıtma tesisleri (AAT), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verileri, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri ve Belediyeler ile yapılan görüşmeler neticesinde tespit edilmiş ve tesisler tek tek yerinde incelenmiştir. Ülke genelinde işletmede, inşaat halinde ve atıl durumda olmak üzere toplam 1127 adet AAT tespit edilmiştir.

Ülke genelinde başarılı bir şekilde projelendirilen, inşa edilen ve işletilen AAT'ler olmakla birlikte, çeşitli sorunların yaşandığı ve atıl durumda kalan AAT'ler de mevcuttur.

Atıksu yönetiminde başarıya ulaşabilmek için; "doğru proje", projeye uygun "kaliteli inşaat" ve "iyi işletme" bileşenlerinin her üçünün de birlikte yürütülmesi gerekmektedir. Bu 3 bileşenin de bir araya gelmesi durumunda yasal mevzuata uygun, deşarj standartlarını sağlayabilen atıksu arıtma tesisleri elde edilir. Genel olarak projelendirme, inşaat ve işletme aşamalarında aşağıdaki asgari şartların yerine getirilmesi gerekmektedir (Nas, 2017).

AAT Projelendirme Aşamasında;

- Alıcı ortam deşarj standartlarını sağlayabilecek güvenilir, teknolojisi ispatlanmış proses seçimi
- Proses tasarımında doğru yaklaşımlar ve kabullerin yapılmış olması
- Kaliteli ekipmanların ve uygun kapasitelerin seçilmesi
- AAT yapılacak bölgenin özelliklerinin (kanalizasyon şebekesi durumu, sızma debisi, İklim, zemin özellikleri, arazi durumu, AAT yer seçimi vb) göz önüne alınmış olması ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve bu maliyetin ilgili belediye tarafından karşılanabilme durumu

- Projelendirilen tesisin nitelikli personel ihtiyacı ve ilgili belediyenin bu nitelikteki personeli istihdam edebilmesi göz önüne alınmalıdır.

AAT İnşaat Aşamasında;

- Projeye uygun olarak tüm inşai unsurların doğru inşa edilmesi
- Zemin etüd raporuna göre uygun inşaatın yapılması
- Mekanik ekipmanların, elektrik işlerinin ve enstrümanların doğru olarak montajı

AAT İşletme Aşamasında;

- Yeterli sayı ve nitelikte personelin istihdam edilmesi
- Tesisin büyüklüğüne göre; proses verimini izlemek üzere bir laboratuvar kurulması
- Tesis bakım ve onarımının düzenli olarak yapılması
- İşletme giderlerinin karşılanması için bütçe ayrılması gerekmektedir.
- Bu üç bileşenden birinde hata yapıldığında işletme sorunları yaşanan bir AAT veya atıl bir AAT örneği ile karşılaşılmaktadır.

Ülke genelinde mevcut AAT'lerinde; bakım&onarım, revizyon, kapasite artışı, yeniden inşa edilecek tesislerin toplam yatırım bedeli 2017 yılı fiyatları ile toplam 1 milyar 457 milyon 132 bin TL olarak belirlenmiştir (TÜRAAT, 2016).

AAT'ler, ilk yatırım ve işletme maliyeti göz önüne alındığında yerel yönetimlere ciddi bir finansal maliyet getirmektedir. AAT'de arıtma prosesi ve tasarım kriterlerinin doğru seçilmesi, ilk yatırım ve işletme maliyetini büyük oranda etkilemektedir. Bu doğrultuda arıtma tesisi planlanırken, ham atıksu karakterizasyonu ve deşarj edilecek veya yeniden kullanılacak suyun kalitesi arıtma prosesinin belirlenmesinde önemlidir. AAT'lerin sadece alıcı ortam deşarj standartlarını sağlayan "AAT" olarak tasarlanması yerine "su/enerji üretme ve hammadde geri kazanım tesisi" olarak tasarlanması yakın gelecekte paradigma değişikliği olarak önümüze çıkacaktır. Bu yüzden "amaca uygun" AAT tasarımı önem kazanacaktır.

AAT'lerinin yüksek ilk yatırım maliyetlerinden dolayı doğru prosesin seçilmesi önemlidir. AAT ilk yatırım maliyeti ise, prosese karar verilir, tesis uygulama prosesinin tamamlanmasının ardından yapılan keşif-metraj çalışmaları ile yaklaşık maliyet hesaplanmakta, AAT'nin yaklaşık ilk yatırım maliyeti son noktada görülebilmektedir.

Projeye başlamadan önce, yerel yönetimler tarafından farklı prosesleri için karşılarına çıkabilecek ilk yatırım maliyetlerinin yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi, karar vericiler için önemli bir bilgidir. Bunun yanında; ülkemizde AAT eylem planları

hazırlanırken farklı arıtma proseslerinin yaklaşık maliyetlerinin bilinmesi ülkemizde yapılacak altyapı maliyetlerinin bütçe planlamaları açısından da değerlidir.

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Bu tez çalışması ile Türkiye'deki mevcut durumda inşa edilmiş ve işletilen AAT'lerin proses bazında incelenerek, Bio-P+ Eş zamanlı nitrifikasyon/denitrifikasyon (SDNP), 5 kademeli Bardenpho, Uzun havalandırmalı aktif çamur (UHAÇ), klasik aktif çamur (KAÇ) ve oksidasyon hendeği (OH) proseslerin ilk yatırım maliyetlerinin debi ve nüfus ile ilişkileri belirlenmiş, buna yönelik denklemler belirlenerek prosesler maliyet açısından değerlendirilmiştir. Bunun yanında, ülkemizdeki AAT'lerin işletme maliyetleri araştırılarak, prosesler bazında elektrik tüketimleri ve birim işletme maliyetleri değerlendirilmiştir.

Ülkemizde özellikle küçük yerleşim yerlerinde yapılması planlanan çok sayıda AAT öngörüldüğünden, proseslere doğru karar vermede ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin doğru öngörülmesi önemlidir. Bu tez çıktıları, kamu kurumlarının ve belediyelerin karar verme süreçlerinde değerlendirebileceği maliyetleri ortaya koymaktadır.

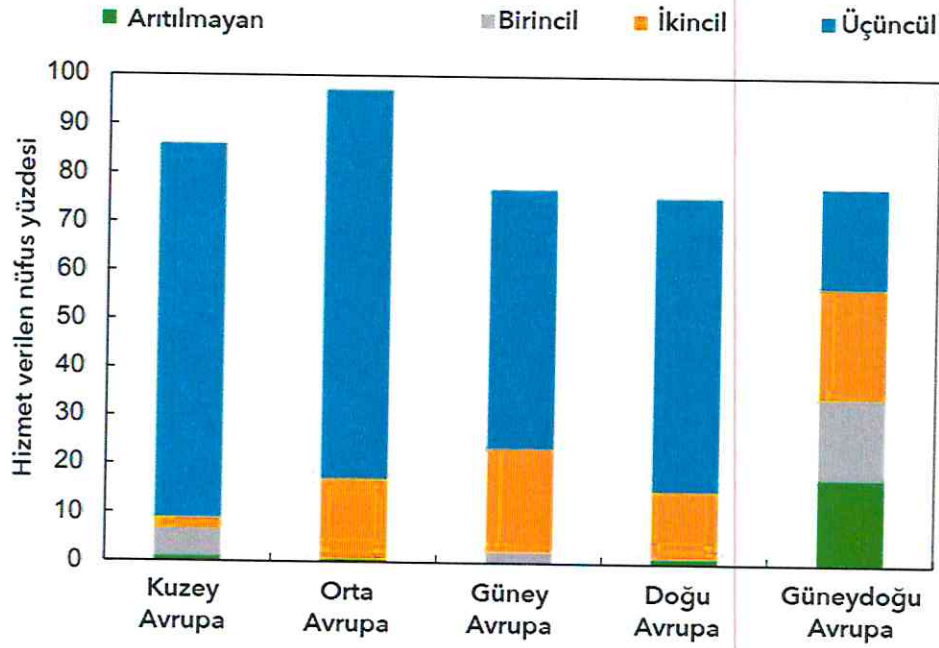
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Avrupa Ülkelerinde Atıksu Yönetimi

Avrupa Birliği (AB), entegre nehir havzası yönetimi için bir çerçeve tanımlayan ve idari sınırlar yerine hidrolojik sınırlara dayanan (su havzası düzeyinde) suyun yönetimini gerektiren 2000 yılında Su Çerçeve Direktifi'ni (SÇD; EC 60/2000) kabul etmiştir. SÇD kapsamında, nehirler, su kalitesi hedeflerini ve bunlara ulaşma eylemlerini gösteren ve altı yılda bir güncellenen nehir havzası yönetim planlarına göre yönetilecektir. SÇD, üye devletlerin 2015 yılına kadar tüm tatlı ve kıyı suları için "iyi ekolojik durum" elde etmelerini gerektirmiştir, ancak bazı üye ülkeler bu hedefe henüz ulaşmamıştır. Bir AB Direktifinin yasal kuvveti altında, tüm üye ülkeler belirtilen hedeflere ulaşmalıdır. Ancak bunun nasıl gerçekleştirileceğine ilişkin kendi kanunlarını oluşturabilirler.

AB'de, atıksu arıtım derecesi bölgesel olarak değişmektedir. Üçüncül arıtma (nütrientlerin giderimi) en yaygın arıtma seviyesidir. Orta Avrupa'da, nüfusun % 97'si bir kanalizasyon toplama sistemine bağlanırken, Avrupa'nın diğer tüm bölgelerinde, toplam

nüfusun yaklaşık % 75-85'i toplama sistemlerine bağlanmaktadır (Şekil 2.1). Orta ve Kuzey Avrupa'daki toplam nüfusun yaklaşık % 80'i, Güney ve Doğu Avrupa'daki nüfusun yarısından fazlası için üçüncül arıtım mevcuttur. Avrupa'nın Güneydoğu dışındaki tüm bölgelerinde, toplanan atıksuların büyük çoğunluğu için minimum ikincil arıtma bulunmaktadır (Şekil 2.1). Ancak genel atıksu toplama ve üçüncül arıtma oranının 2005'ten bu yana istikrarlı bir şekilde arttığı ve bu artış eğilimini sürdürmesi bekleniyor (Agency, 2017).



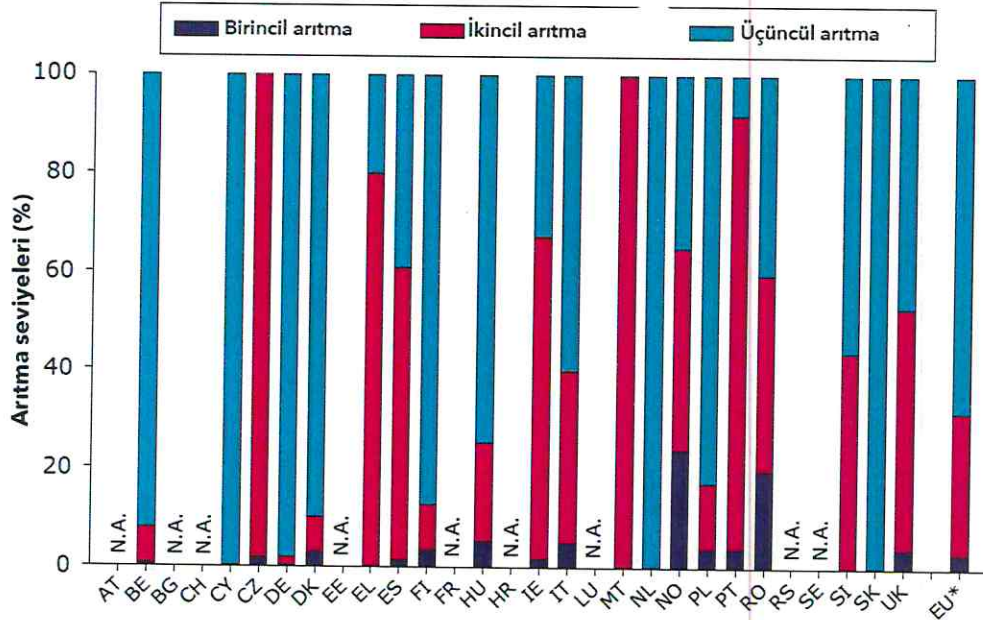
Şekil 2. 1 2015 yılında Avrupa'da atıksu arıtma seviyeleri (Agency, 2017)

(Bar toplamları, atık su toplama sistemlerine erişimi olan nüfusu göstermektedir. Kuzey Avrupa: Norveç, İsveç, Finlandiya ve İzlanda. Orta Avrupa: Avusturya, Belçika, Danimarka, Hollanda, Almanya, İsviçre, Lüksemburg, Birleşik Krallık. Güney Avrupa: Yunanistan, İtalya, Malta ve İspanya. Doğu Avrupa: Çek Cumhuriyeti, Estonya, Macaristan, Letonya, Litvanya, Polonya ve Slovenya. Güneydoğu Avrupa: Bulgaristan, Romanya ve Türkiye.)

European Federation of National Associations of Water Services (EurEau) üyesi olan 29 ülkenin 2012 ile 2015 arasındaki içme ve atıksu hizmetleri ile ilgili yönetim, şebeke ve arıtma verileri toplanarak Avrupa'nın su grafikleri oluşturulmuştur (EurEau, 2017).

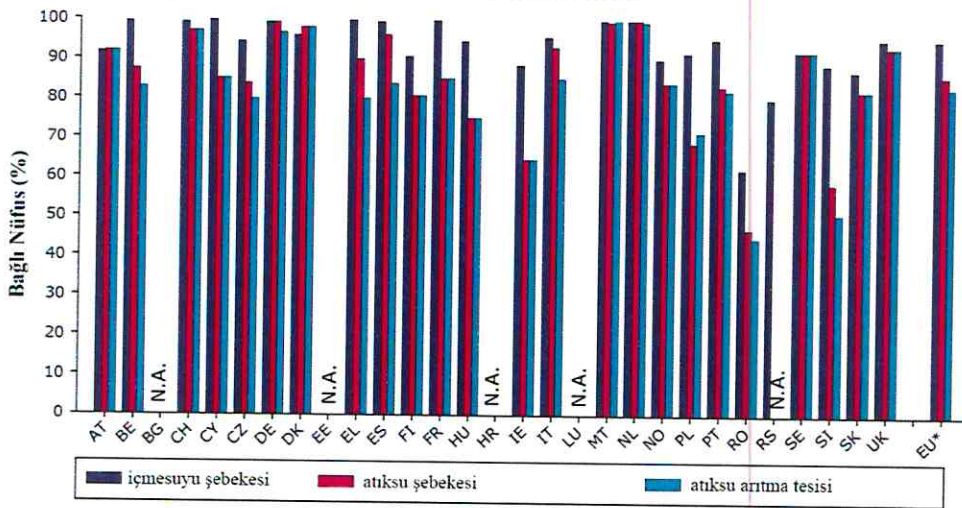
Şekil 2.2'de Avrupa ülkelerinde arıtma seviyelerine bağlı olarak AAT'ler tarafından arıtılan kirlilik yükünün yüzdesi verilmektedir. Buna göre AB ülkelerinde, birincil, ikincil ve ileri arıtma seviyeleri değerlendirildiğinde ileri arıtma prosesi

uygulamalarının bazı ülkelerde yoğun bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Burada, ileri arıtma olarak kast edilen ikincil arıtma prosesi sonrası uygulanan “daha sıkı bir arıtma seviyesidir. Bu bir nütrient giderim prosesi olabileceği gibi bir dezenfeksiyon prosesi de olabilir. Avrupa’da atıksu kirlilik yüklerinin %3.1’i birincil arıtma seviyesinde arıtılırken, %28.5’i ikincil arıtma ve %68.4’ü üçüncül arıtma (ileri arıtma) seviyesinde arıtılmaktadır.



Şekil 2. 2 Avrupa ülkelerinde AAT'lere gelen kirlilik yüklerinin arıtma seviyelerinin değişimi (EurEau, 2017)

Şekil 2.3 AB ülkelerinde içme suyu şebekesine, atıksu kanalizasyon şebekesine ve atıksu arıtma tesisine bağlı olan nüfusun oranları verilmektedir.

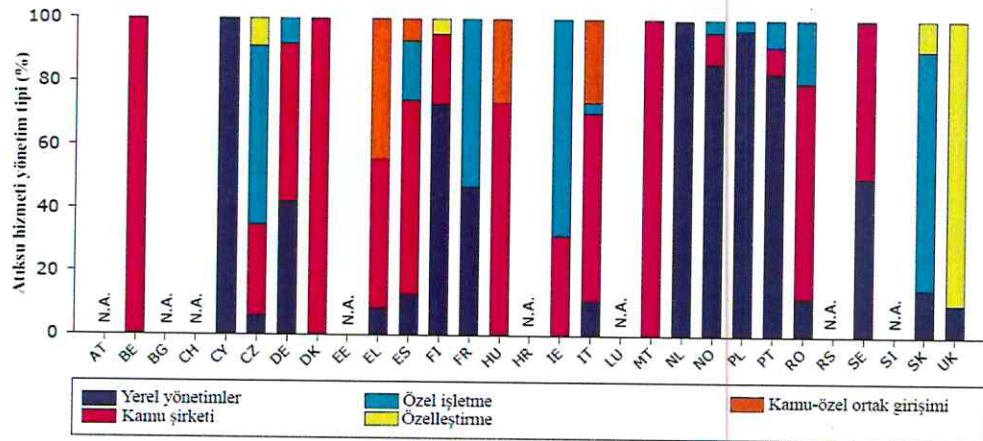


Şekil 2. 3 AB ülkelerinde içmesuyu şebekesine, atıksu kanalizasyon şebekesine ve , AAT'ye bağlı nüfusun oranları (EurEau, 2017)

Şekil 2.4'te Avrupa ülkelerinde atık su yönetiminin ülkelerdeki değişimini göstermektedir. Buna göre, AB'de yerel yönetimler tarafından işletilen AAT'ler yanında, kamu şirketleri, özel sektör ve kamu-özel sektör işbirlikleri şeklinde AAT işletme yönetim modelleri mevcuttur. Bu yönetim modelleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

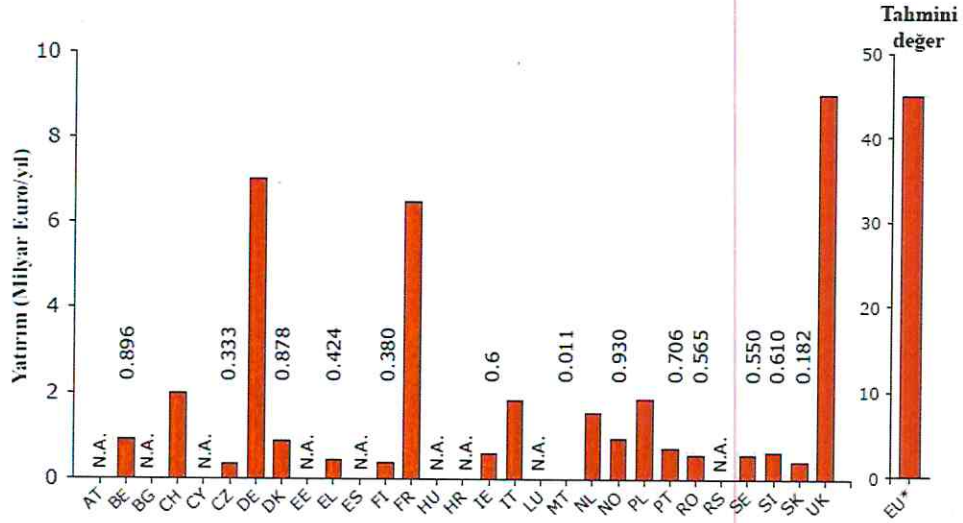
Açıklama için, yönetim türlerinin tanımı aşağıda verilmiştir:

- Yerel yönetimler: atıksu altyapı tesislerinin yapım ve işletmesinin tamamen bir kamu idaresi (belediye veya bir grup belediye) tarafından yürütülmesidir.
- Kamu şirketi : Atıksu altyapı tesisinin sahipliği yerel kamuya aittir ve işletme işi kamunun sahibi olduğu bir şirkete devredilir.
- Özel işletme: Atıksu altyapı tesisinin sahipliği yerel kamuya aittir ve işletme işi özel bir şirkete devredilir.
- Özelleştirme: Atıksu altyapı tesisinin yapım ve işletmesi özel bir şirket tarafından yürütülür ve genellikle kamu tarafından izlenir/denetlenir.
- Kamu-Özel ortak girişimi: atıksu altyapı ve işletmesinin sahipliği ve yönetimi tamamen kamu ve özel şirketlerden oluşan konsorsiyuma aittir.



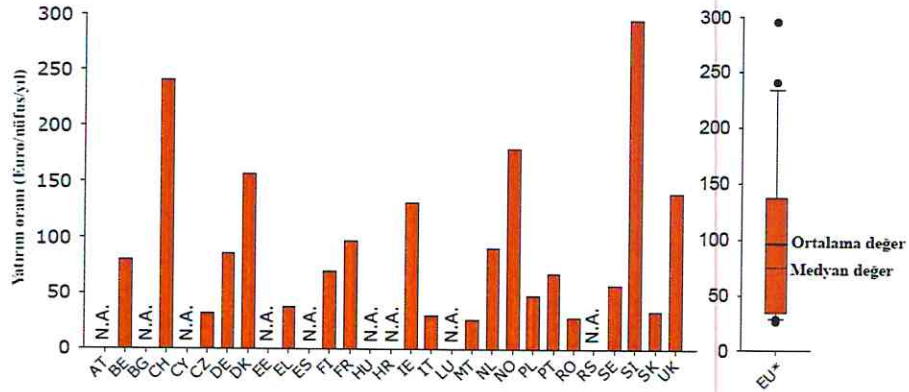
Şekil 2. 4 Atıksu yönetim türlerinin nüfusa göre yüzdesi (EurEau, 2017)

Şekil 2.5’de her yıl içmesuyu ve atık su altyapı tesislerine yapılan toplam yatırım miktarı verilmektedir.



Şekil 2. 5 İçmesuyu ve atıksu altyapılarının yıllık yatırım maliyetleri (EurEau, 2017)

Avrupa su ve atıksu altyapı tesislerine her yıl yaklaşık 45 milyar € yatırım yapmaktadır. Bu, ortalama olarak, su atıksu hizmetlerinin yılda kişi başına 93.5 € yatırım yaptığı anlamına gelir (Şekil 2.6). Bu yatırım esas olarak faturalar (su faturası), vergiler ve transferler (Avrupa Birliği finansmanı veya diğer ülkelerden gelen krediler) yoluyla finanse edilmektedir.



Şekil 2. 6 İçme suyu ve atıksu altyapısında su servis sağlayıcılarının yıllık yatırım oranı (EurEau, 2017)

EurEau, 2018 yılında 29 üye ülkesi için hazırlamış olduğu çalışmada içmesuyu ve atıksu hizmeti yönetimi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Üye ülkelerden Fransa, Almanya, Portekiz, İspanya ve Hollanda ülkeleri için su ve atıksu hizmet yönetimi aşağıda detaylı şekilde anlatılmıştır (EurEau, 2018).

2.1.1. Fransa

Fransa'nın nüfusu 66,900,000'dir. Kişi başına atıksu kanalizasyon şebekesi uzunluğu 6 m'dir. Ortalama kişi başına su tüketimi 143 L/kişi/gün olup ortalama su ücreti 3.92 Euro/m³ olarak hesaplanmıştır.

Fransa'da belediyeler su temini, atıksu hizmetleri ve müşteri hizmetlerinden yasal olarak sorumludur. Devlet tarafından denetlenirler, ancak aşağıdaki yönetim modellerinden birine karar vermekte özgürdürler:

- Doğrudan kamu yönetimi sistemi: Belediyeler su hizmetlerini (personel, altyapılar vb.) yönetir ve doğrudan kullanıcılardan bedel alırlar.
- Belediyeler ayrıca, su hizmetlerini yönetmek için bir kamu yönetimine devredebilir.
- Özelleştirme: Belediyeler tesislerin mülkiyetini elinde tutar ancak su/atıksu hizmetleri sunan özel işletmeciler ile Kamu Özel Ortaklığı sözleşmeleri imzalar.

2.1.2. Almanya

Almanya'nın nüfusu 81,198,000'dir. Kişi başına atıksu şebeke uzunluğu 7.37 m'dir. Ortalama kişi başına su tüketimi 122 L/kişi/gün'dür.

Toplamda, 2010 yılında yaklaşık 6,065 içme suyu temini işletmeleri vardır. Almanya'da su ve atıksu yönetim modelleri aşağıda özetlenmiştir. Doğrudan kamu yönetimi: içme suyu tesislerinin çok azı (50'den daha az) belediye tarafından yürütülmektedir. Atık su ise çoğunlukla Belediyelerin sahipliğinde ve işletmesindedir.

Yetkilendirilen kamu yönetimi: Yetkilendirilen kamu yönetimi esas olarak içme suyu hizmetlerinin neredeyse %64'ünü (yaklaşık 3,880 şirket) oluşturan özel amaçlı dernekler aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu şirketler su üretiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Atıksu hizmeti sunumunda özel amaçlı su birlikleri de yaygındır.

Yetkilendirilen özel yönetim: Atıksu bertarafı ağırlıklı olarak kamu hukuku altında gerçekleştirilir.

2.1.3. Portekiz

Portekiz nüfusu 10,325,000'dır. Kişi başına atıksu şebeke uzunluğu 7.2 m'dir. Ortalama kişi başına su tüketimi 204 L/kişi/gün olup ortalama su ücreti 1.82 Euro/m³ olarak hesaplanmıştır.

Portekiz'de üç yönetim modeli de bulunmaktadır.: a) doğrudan kamu yönetimi, B) yetkilendirilmiş kamu yönetimi ve C) yetkilendirilmiş özel yönetim. Doğrudan özel yönetim Portekiz mevzuatında bulunmamaktadır.

Kamu yönetimi modeli (a) baskın olup, ayırt edici alt tipleri bulunmaktadır. a1) doğrudan Belediye yönetimi; a2) bir belediyenin veya belediyelerin (çoğunlukla büyük veya orta ölçekli belediyelerde) uzmanlaşmış ve özerk su hizmetleri; a3) Portekiz'deki en büyük, devlete ait su şirketi (EPAL, Lizbon'da).

2.1.4. İspanya

İspanya nüfusu 46,600,000'dır. Kişi başına atıksu şebeke uzunluğu 3.54 m'dir. Ortalama kişi başına su tüketimi 139 L/kişi/gün olup ortalama su ücreti 1.78 Euro/m³ olarak hesaplanmıştır.

İspanya'da, su ve atıksu hizmetleri; doğrudan kamu yönetimi, yetkilendirilmiş kamu yönetimine ve yetkilendirilmiş özel yönetime göre düzenlenmiştir. AEAS 2016 Ulusal Su Temini ve Sanitasyon Çalışması, su/atıksu hizmetlerini yönetim modelini aşağıdaki gibi detaylandırılmaktadır.

Su temini: nüfusun %10'u yerel kuruluşlar tarafından (doğrudan kamu yönetimi), hizmet almakta, %34'ü kamu şirketleri tarafından, %22'si kamu-özel şirketler tarafından ve su hizmetlerinin %34'ü özel şirketler tarafından sağlanmaktadır

Kanalizasyon: nüfusun %43'ü özel şirketler, yetkilendirilmiş kamu yönetim modeline göre %56 ve %1'i doğrudan yerel kuruluşlar tarafından yönetilmektedir (doğrudan kamu yönetimi). Atık su arıtımı: Kentsel su yönetiminin büyük çoğunluğu kamu tarafından yönetilse de tesislerin işletilmesi genellikle sözleşmeler yoluyla özel şirketlere verilir. Bu nedenle, İspanya'da, tesis bakımı ve işletmesinin özel şirketler tarafından gerçekleştirildiği, bu faaliyetlerin denetlenmesinin çoğunlukla kamu kurumlarıyla yürütüldüğü görülmektedir.

2.1.5. Hollanda

Hollanda nüfusu 16,993,000'dır. Kişi başına atıksu şebeke uzunluğu 6.2 m'dir. Ortalama kişi başına su tüketimi 126 L/kişi/gün olup ortalama su ücreti 3.91 Euro/m³ olarak hesaplanmıştır.

İçme suyunun üretimi ve dağıtımı hizmetleri, yetkilendirilmiş kamu yönetim modeline (su şirketlerinin %100'ü yerel ve/veya bölgesel hükümetlere ait olduğu) göre düzenlenir. Diğer tüm su hizmetleri kamu otoriteleri tarafından yürütülmektedir;

- * Yağmur suyunun toplanması ve drenajı için belediyeler
- * Atık suyun arıtılması için bölgesel su otoriteleri
- * yeraltı suyu yönetimi için bölgesel su otoriteleri ve iller
- * Bölgesel su sistemi yönetimi için bölgesel su otoriteleri
- * Ulusal su sistemi yönetimi için ulusal hükümet.

2.2. Türkiye'de Atıksu Yönetimi

Türkiye, kanalizasyon ve atıksu arıtma altyapısından yararlanan nüfus oranını arttırarak son on yılda ilerleme kaydetmeyi başarmıştır. Ayrıca, nehir havzası planlamalarına önemli ölçüde yatırım yapılmıştır. Planlamaya yönelik bu bütünleşik yaklaşımın, Türkiye'nin kentsel atıksu yönetimine yönelik kısa ve orta vadede iddialı hedeflerine ulaşmasına katkı sağlaması için güçlendirilmesi gerekmektedir.

Kişi başına düşen yıllık su hacmi bakımından Türkiye, su zengini bir ülke değildir. 2030 yılında nüfusun 100 milyona ulaşmasıyla birlikte kişi başına düşen yıllık su miktarı azalacaktır. Nüfus artışının ve iklim değişikliğinin etkilerinin, bugün 1400 m³'ten az olan kişi başı su kullanım miktarını 2030 yılına kadar 1120 m³'e düşürmesi beklenmektedir. Kaynaklardan çekilen suyun mevcut kaynaklara oranı şeklinde tanımlanan su stresi, OECD ülke ortalamalarına göre oldukça yüksektir.

Ülke genelinde su kaynakları, zaman ve mekan bakımından dengesiz bir dağılıma sahiptir. İklim koşulları ve yüzey şekillerinde yaşanan değişimler nedeniyle nehirlerin debisi çoğu zaman düzensizdir. Su kaynaklarının, Türkiye'nin kentselleşmiş ve sanayileşmiş batı bölgelerinde sınırlı olduğu değerlendirilmektedir.

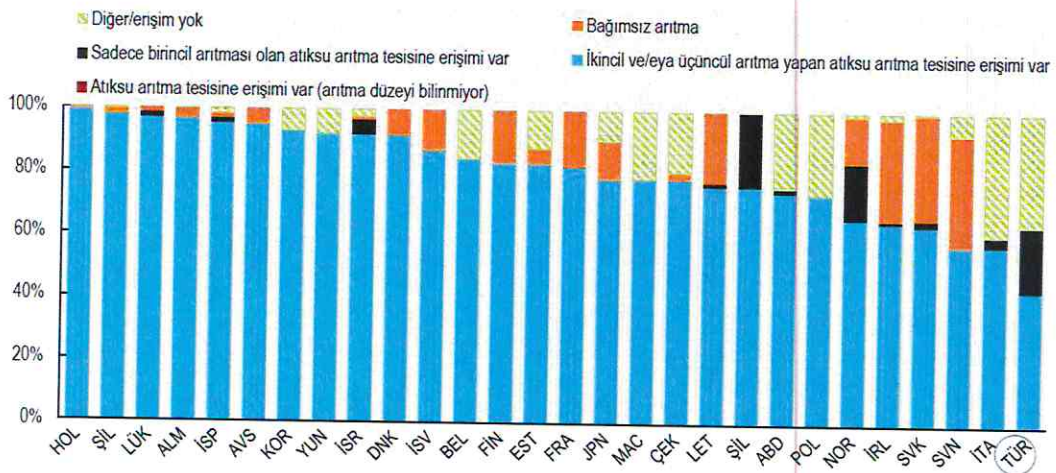
Yapılan son çalışmalar, Türkiye'de sıcaklıkların ve kuraklığın giderek artacağını ve yakın zamanda yağış düzenlerinin dengesiz hale geleceğini göstermektedir. Nüfus artışıyla birlikte bu değişimlerin, pek çok bölgede su kapasitesini azaltması

beklenmektedir. Bu durum, su kapasitesinin kişi başı 1000 m³'ten az olduğu Marmara, K. Menderes ve Asi gibi havzalar için bilhassa endişe kaynağıdır. Tarım ve enerji üretimi de, su niteliği ve niceliği üzerindeki baskıyı arttıracaktır (Team ve ark., 2014).

Su kullanımında verimliliğin, Türkiye'nin ileriye dönük su politikalarında önemli bir rol oynaması muhtemeldir. Su kaynaklarının nitelik ve niceliğinin korunması, ülkenin uzun vadeli büyümesi ve sürdürülebilirliği için elzemdir.

Türkiye'de Büyükşehirlerde yaşayan insanlar için atıksu toplama ve arıtma kapasitesinin artırılması için dikkate değer bir çaba gösterilmektedir. 2006-2014 yılları arasında, Türkiye'de su hizmeti veren kuruluşlar tarafından ortalama 4800 kişi kanalizasyon sistemine bağlı hale getirilmiş ve ek olarak günde 6850 kişiye atıksu arıtma hizmeti sağlanmıştır. Nüfusun 7 milyon arttığı bu dönemde Türkiye, kanalizasyon hizmetlerinden 14 milyon kişinin, atıksu arıtma hizmetlerinden ise 20 milyon kişinin yararlanmasını sağlamıştır. Ayrıca arıtılmadan deşarj edilen atıksu oranı, 2006-2016 döneminde %36'da (1.226 milyon m³) %14.3'e (642 milyon m³) düşürülmüştür (TÜİK, 2018). Bu önemli ilerleme, ulusal ve uluslararası fonların teknik ve mali desteğiyle mümkün olmuştur.

AAT'nden hizmet alan nüfus oranı, 2004-16 döneminde %36'dan %70'e yükselmiştir (TÜİK, 2018). Ancak ikincil veya üçüncül atıksu arıtımına erişimi olan nüfus oranı, OECD ülkeleri arasında en düşük olanlardan biridir (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 Bazı ülkelerdeki AAT erişimi olan nüfus yüzdesi (OECD, 2019)

Not: 2016 veya en son yıl. Türkiye ile ilgili veriler, 2014 yılına aittir.

Türkiye, ulusal ve uluslararası fonlara sürekli yatırım yapılmasının sonucunda kentsel atıksu yönetiminde ciddi bir ilerleme kaydetmiştir. Ülkemizde artılan,

arıtılmayan ve yeniden kullanılan-kullanılmayan atıksular ile ilgili oranlar Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2. 8 Türkiye'deki arıtılan, arıtılmayan ve yeniden kullanılan atıksu oranları (TÜRAAT, 2016)

Türkiye'deki Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği (2006), Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi'nin (KASAD) gerekliliklerini yansıtır niteliktedir ancak uygulama konusunda halen sorunlar bulunmaktadır. Örneğin Türkiye, su kirleticilerinin izleme ve denetimini havza düzeyinde su ortamlarının şartlarına göre yapmamaktadır. Mevzuat koşullarında görülen bu tür farklılıklar, sermaye maliyetlerinin gereksiz yere artmasına neden olmaktadır. Bu durum, yeni altyapı sistemleri için uygulanması söz konusu olduğunda uzun vadeli işletme ve bakım maliyetlerinin de artmasına neden olabilmektedir. Türkiye, KASAD'a tam uyum sağlamak adına adımlar atmaktadır.

İklim değişikliğinin kaynaklar üzerindeki etkileri ve enerji maliyetleri, mali açıdan uygun olduğu sürece arıtılan atıksuların yeniden kullanılmasını ve biyolojik çamur çürütmeyi özendiren politikaları benimsemeye teşvik etmektedir. Bu önlemler, maliyetleri düşürüp hem ekonomi hem de çevre ile ilgili amaçlara hizmet ederek su ve enerji güvenliğine katkı sağlayabilmektedir. Türkiye, özellikle su sıkıntısı yaşanan kentsel alanlarda atıksuyun yeniden kullanımının artırılmasından fayda sağlayabilir.

Çürütme yöntemiyle biyogaz üretimi (ve işletmelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanma), çamur kompostlama veya yeniden kullanımı ve arıtılan atıksuların yeniden kullanımı, Türkiye'de yaygın olan uygulamalar değildir. Az sayıda öncü belediye, bu tür yenilikçi pilot uygulamalarda bulunmaktadır. Örneğin çamur çürütme yöntemiyle biyogaz üretimi, çamur kompostlama ve yeniden kullanım uygulamaları Ankara'da denenirken Konya'da da arıtılan atıksuların yeniden kullanımı sağlanmıştır. Türkiye'de çamur bertarafı, büyük oranda depolama veya yakma

yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Bu maliyetli çözümler, daha sürdürülebilir yeniden kullanım imkanlarından yararlanılmasını engellemektedir. Benzer şekilde tarımda çamur kullanımı, pek çok AB ülkesinin aksine Türkiye’de yaygın değildir Türkiye’de Konya AAT’den çıkan arıtma çamurları gerekli izinler alınarak tarımda kullanılmaktadır.

Farklı bakanlıkların su ile ilgili görev ve sorumluluklarının dağılımı, 2011 yılında yeniden düzenlenmiştir. Merkezi düzeyde Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), su sektöründen başlıca sorumlu kurumlardır. TOB, su temini hizmetleri ile ilgili performans düzenlemesi ve izleme yaparken ÇŞB ise sanitasyon hizmetleri ile ilgili düzenleme ve izleme yapmaktadır. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (eski adıyla Kalkınma Bakanlığı) da karar verme sürecine iştirak etmektedir.

ÇŞB, AAT’lerine yönelik arıtma standartlarını belirleyip deşarj izinlerini vermekte ve atıksu tesislerinin performanslarını takip etmektedir. Ayrıca atıksu tarifelerini düzenlemekte ve ilgili yatırımlar için faaliyet programı yürütmektedir.

TOB, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımı için politikalar geliştirip su arzını düzenleyerek ulusal su yönetiminde eşgüdüm sağlamaktadır. TOB’a bağlı Devlet kaynaklarının yönetimi konusunda en yetkili makamlardır.

2011 yılında kurulan Su Yönetim Genel Müdürlüğü (SYGM), su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir olması ve ilgili paydaşlarla birlikte nehir havza yönetim planlarının (NHYP) koordine edilip hazırlanmasına yönelik politikalar geliştirmektedir. SYGM, ayrıca kentsel hassas bölgelerin ve nitrat bakımından hassas bölgelerin tespit edilip izlenmesinden sorumludur. SYGM, bunun dışında içme ve sanayi sularının temini ve gerekirse belediye atıksu arıtma tesisleri ile ilgili yatırımları denetlemektedir.

Belediyeler, su temini ve sanitasyon hizmetlerinin yanı sıra yağmur suyu yönetimini de sağlamaktadır. 2014 yılına gelindiğinde Türkiye’de belli başlı kentsel alanlardaki küçük belediyeler birleştirilerek 30 büyükşehir belediyesi oluşturulmuş ve her biri için bir SKİ kurulmuştur. Büyükşehir belediyelerinin hizmet alanı, bütün ili kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bunun sonucunda 30 SKİ , nüfusun %77’sine su ve sanitasyon hizmet verir hale gelmiştir (Dünya Bankası, 2016a). Diğer belediyeler, su temini ve sanitasyon hizmetlerini bir belediye birimi üzerinden vermektedir (847 belediye, nüfusun %16’sı). Belediyenin sorumlu olmadığı alanlarda ise hizmetler, il özel idareleri tarafından verilmektedir (kırsal nüfus yaklaşık 5 milyon) (TÜİK, 2014).

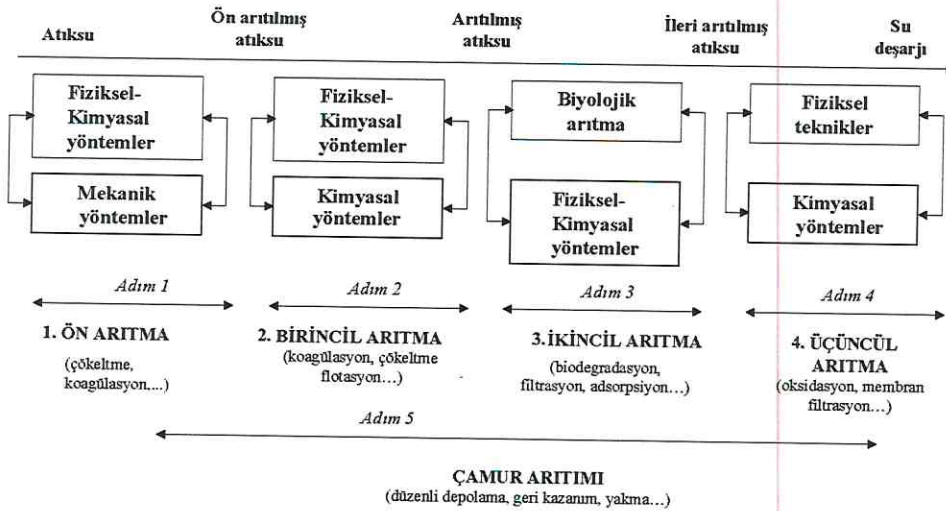
Hizmet alanları dışında da olsa drenaj ve su havzalarının korunmasından SKİ sorumludur. SKİ yönetiminde genel kurul, yönetim kurulu ve denetçiler görev

almaktadır. Büyükşehir Belediye Meclisi, SKİ'nin genel kurulu olarak görev yapmaktadır. Beş yıllık yatırım planı ve yıllık yatırım programlarının incelenmesi ve onaylanması, genel kurulun önemli sorumlulukları arasında yer almaktadır (OECD, 2019).

2.3. Atıksu Arıtma Prosesleri

Türkiye'de uygulanan atıksu arıtma yöntemleri; ön arıtma, mekanik (birincil) arıtma, biyolojik (ikincil) arıtma ve ileri arıtma yöntemleri olarak sıralanabilir. Ön arıtma daha çok, derin deniz deşarjı uygulaması ile bağlantılı olarak kullanılmaktadır. Kıyı şeridinde bulunan atıksu arıtma tesislerinin çoğunda bu yapı kullanılmakta olup, yönetmelik; atıksuyun derin denize deşarjına tabi tutulduğu yerlerde kirleticilerin derişimlerinin azaltılması koşulunu tam anlamıyla karşılamaktadır. Türkiye'de en yaygın atıksu arıtma tesisi tipi ise biyolojik arıtmadır. *Ön arıtma*; ızgara ve kum gideriminden oluşmaktadır, *Mekanik arıtma* ise ek ön çöktürme ünitesini içermektedir. *Biyolojik arıtma*, mekanik arıtmadan sonra organik maddelerin biyolojik giderimi ve son çöktürme ünitesinden oluşmaktadır. Azot ve fosfor giderimi açısından besi kontrolü, üçüncül veya *ileri arıtma* tesisleri yoluyla gerçekleştirilmektedir; bu arıtmanın ilk aşamaları biyolojik arıtmayı da içermektedir (ÇŞB, 2015).

AAT'lerinde, atıksu arıtımı için kullanılan prosesler, arıtma seviyeleri açısından Şekil 2.9'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 9 Atıksu arıtma seviyeleri (Crini ve Lichtfouse, 2019)

Tez kapsamında incelenen biyolojik ve ileri biyolojik arıtma yöntemleri modifikasyonları aşağıda detaylı şekilde anlatılmıştır (Nas, 2017).

2.3.1 Biyolojik Arıtma

Biyolojik arıtma metotları, biyokimyasal etkileşimler sonucunda atıksu içerisindeki çözünmüş halde bulunan organik kirletici unsurların atıksudan uzaklaştırılmaya çalışıldığı yöntemleri içerir. Alıcı ortama zarar veren bu kirleticiler karbon, azot ve fosfordur (C, N, P) (Yamaç, 2016).

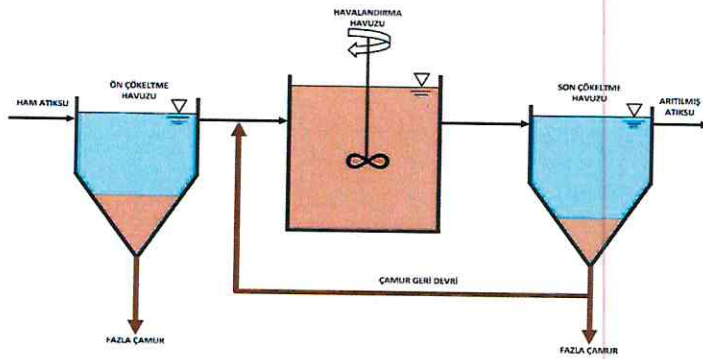
Biyolojik arıtmada beş önemli grup bulunmaktadır. Bunlar; aerobik prosesler, anoksik prosesler, anaerobik prosesler, birleşik aerobik, anoksik ve anaerobik prosesler ve doğal arıtma sistemleri olarak sıralanabilirler. Her bir proses mikroorganizmaların konumuna göre askıda büyüyen, yüzeyde büyüyen (biyofilm) ve ikisinin birlikte uygulandığı kombine sistemler (askıda ve yüzeyde büyüyen prosesler) olmak üzere alt sınıflara ayrılabilir. Birden fazla prosesin art arda kullanıldığı ardışık sistemler de mevcuttur. Bu prosesler farklı uygulamalarla atıksu arıtımında kullanılabilir. En sık kullanılan biyolojik prosesler aşağıda sıralanmaktadır.

- Aktif çamur prosesleri
- Damlatmalı filtreler
- Döner biyodiskler
- Havalandırmalı lagünler
- Stabilizasyon havuzları

Aktif çamur prosesleri veya onun modifikasyonları daha çok büyük tesislerde, stabilizasyon havuzları ise küçük tesislerde kullanılmaktadır. Bu proseslerin optimum şartlarda tasarlanması ve işletilmesi bu prosesleri gerçekleştiren mikroorganizma türlerinin bilinmesi, spesifik reaksiyonların tanımlanması, performansı etkileyebilecek çevresel faktörlerin değerlendirilmesi, besi maddesi ihtiyaçlarının ve reaksiyon kinetiklerinin tanımlanması ile gerçekleştirilebilir (Öztürk, 2017).

2.3.1.1 Klasik Aktif Çamur (KAÇ) Prosesi

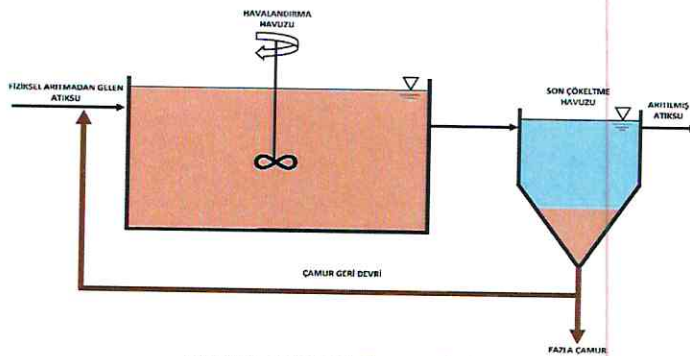
Tam karışımli aktif çamur prosesi, sürekli akışlı ve tam karıştırmalı akış rejiminin uygulandığı bir prosestir. Bu proseste ham atıksu ve geri devir aktif çamuru havalandırma havuzlarına çeşitli noktalardan verilir. Organik yük, MLSS konsantrasyonu ve oksijen ihtiyacı tankın her noktasında aynıdır. Bu prosenin avantajı endüstriyel atıksulardan kaynaklanan şok yüklemelere karşı dayanıklı olmasıdır. Nispeten daha kolay işletilebilen bu proses, Filamentli bakterilerin çoğalmasına dolayısıyla çamur kabarması problemlerine yol açan düşük F/M oranına eğilimlidir. Şekil 2.10'de klasik aktif çamur prosesinin akım şeması görülmektedir.



Şekil 2. 10 KAÇ sisteminin akım şeması

2.3.1.2 Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur (UHAÇ) Prosesi

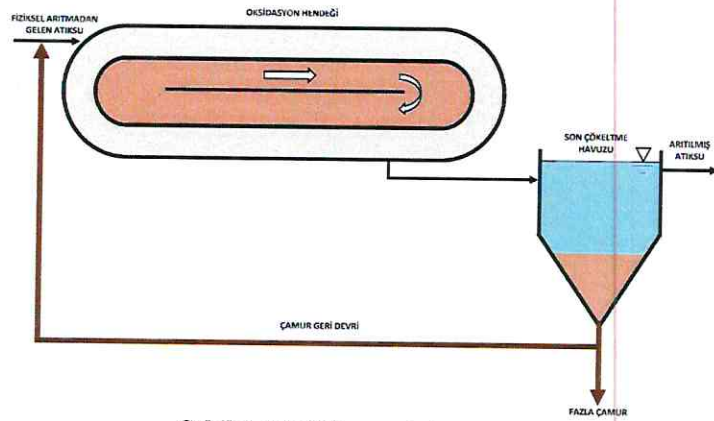
KAÇ prosesinden farklı olarak UHAÇ prosesi uzun hidrolik alıkonma süresi (18-36 sa) ve yüksek çamur yaşlarında (20-30 gün) işletilmektedir. Uzun hidrolik alıkonma süresi dolayısıyla daha büyük havuz hacimlerine ihtiyaç duyar ancak UHAÇ prosesinde genellikle ön çökeltme havuzu inşa edilmez. KAÇ prosesine göre daha stabil çamur oluşumu gerçekleşir. Şekil 2.11'de UHAÇ akım şeması verilmiştir.



Şekil 2. 11 UHAÇ prosesi akım şeması

2.3.1.3 Oksidasyon Hendeği (OH)

Oksidasyon hendeği mekanik bir havalandırıcı ve karıştırıcıdan oluşan oval şeklinde bir havuzdan oluşur. Havuz geometrisi ve mekanik havalandırıcı havuz içerisinde tek yönlü bir akım sağlar. Havalandırma ekipmanı olarak genellikle fırça tipi yüzeyse aeratörler kullanılmaktadır. Bu aeratörler, aktif çamuru süspansiyonda tutmak için yeterli 0.25-0.3 m/s hızı kanalda yaratır. Bu hızda, karışık sıvı, tank sirkülasyonunu 5-15 dakikada tamamlar. Atıksu havalandırma bölgesinden ayrılırken, çözülmüş oksijen konsantrasyonu azalır ve denitrifikasyon gerçekleşebilir. Şekil 2.12’de OH akım şeması ve Şekil 2.13’de OH prosesi olan bir AAT fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 2. 12 OH prosesi akım şeması



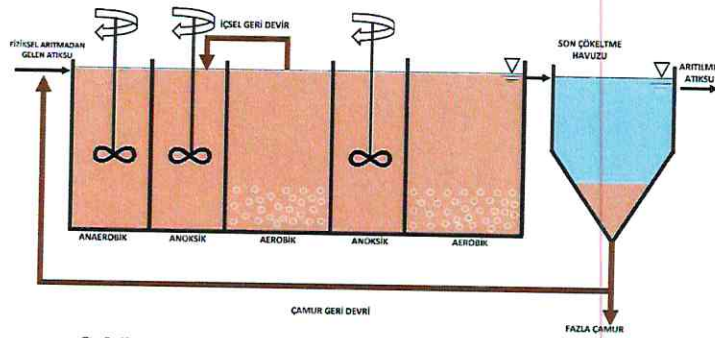
Şekil 2. 13 OH prosesi olan bir AAT

2.3.2 İleri Biyolojik Arıtma

Klasik arıtma sistemlerinden geçerek bir seviyede arıtılmış olan atıksuyun içerisinde halen bulunmakta olan askıda katı maddeler, çözünmüş maddeler, organik maddeler, patojenler ve besin maddeleri (N, P) gibi kirleticilerin daha ileri derecede arıtılması ilave arıtma sistemlerini gerektirmekte olup, bu amaçla kurulan tüm sistemler ileri arıtma sistemleri olarak tanımlanmaktadır.

2.3.2.1 5 Kademeli Bardenpho Prosesi

Yüksek yükleme hızına sahip A2O prosesinin tersine 5-Kademeli Bardenpho Prosesi genellikle sistemin azot giderimini artırmak amacıyla düşük yükleme hızlarında işletilmek üzere tasarlanmıştır. Aşağıda şematik olarak verilen proses, denitrifikasyonun gerçekleştiği 4 kademeli Bardenpho sisteminin fosfor giderimi amacıyla modifiye edilmiş şeklindedir. 4 kademeli Bardenpho prosesinde tam denitrifikasyon sağlandığından bu modifikasyon, sistemin önüne fosfor giderme amacıyla bir anaerobik bölge ilavesi ve nitrat içermeyen çıkıştan geri devrin doğrudan bu bölgeye yapılması ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu haliyle 5-kademeli Bardenpho'nun kademeleri ve geri devir metotları A2O prosesinden farklı olmaktadır. Prosesde azot ve fosfor giderimini tamamlamak üzere anaerobik, anoksik ve aerobik kademeler bulunmaktadır. İkinci anoksik bölgede, içsel organik karbonun elektron verici ve aerobik bölgede üretilen nitratın elektron alıcısı olarak kullanıldığı ilave denitrifikasyon (post-denitrifikasyon) gerçekleşmektedir. Sondaki aerobik bölge ise azot gazını sudan sıyrılması ve çökeltme havuzunda fosfor açığa çıkmasının önlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. İlk aerobik bölge sonundan ilk anoksik bölge başına içsel aktif çamur geri devri (nitrifikasyona uğramış nitrat azotu) yapılmaktadır. İçsel geri devir oranı (2Q-5Q) aralığında değişmekle beraber tipik olarak 4Q mertebesinde dir. Proses, karbon oksidasyon kapasitesini artırmak amacıyla A2O sisteminden daha uzun çamur yaşlarında (10 - 40 gün) çalıştırılmaktadır.. 5 kademeli Bardenpho prosesi akım şeması Şekil 2.13'de verilmiştir. 5 kademeli Bardenpho prosesi olan bir AAT'nin görüntüsü Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.13 5 kademeli Bardenpho prosesi akım şeması

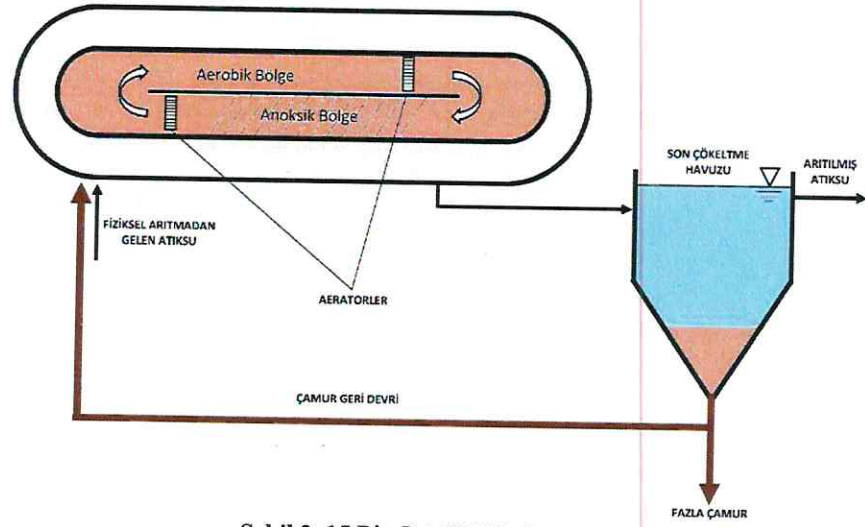


Şekil 2.14 Arıtma prosesi 5 kademeli Bardenpho prosesi olan bir AAT'nin görüntüsü

2.3.2.2 Eş Zamanlı Nitrifikasyon-Denitrifikasyon (SNDP) Prosesi

Uygun çamur yaşı ile nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerinin aynı hacim içinde gerçekleşmesi prensibine dayanır. Bunun için çözünmüş oksijen seviyesinin reaktör içinde etkin olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ayrı reaktörlerde gerçekleşen proseslere göre SNDN prosesinde hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon prosesleri aynı tankın içinde gerçekleştiğinden dolayı diğer proses modifikasyonlarına göre içsel geri devir pompasına ihtiyaç olmaması sebebi ile işletme ve ilk yatırım avantajı içerir. Reaktör tipik olarak race-track (yarış parkuru) geometrisinde tasarlanır ve karışım sıvısı tank içinde sürekli döngü içerisinde. Bu sirkülasyonu sağlayacak (tipik olarak 0.30 m/san.) karıştırıcılar ile teçhiz edilmelidir. Eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi aynı reaktör içindeki farklı bölgelerde anoksik ve havalı koşulların oluşturulması (oksidasyon havuzları vb.) ve/veya aynı reaktör içinde oksijenin düşük seviyelerde kontrolü ile de sağlanabilmektedir. Reaktörün düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi durumunda ise, reaktöre verilen düşük oksijen seviyesi nedeniyle, oksijenin flokların tüm derinliğine kadar nüfuz etmesi mümkün olmaz ve nitrifikasyon flok dış yüzeyinde, denitrifikasyon ise flok iç yüzeyinde

gerçekleşir. Bu prosese ait aktif çamur sistemi konfigürasyonu Şekil 2.15’de verilmiştir. Bio-P+SDNP olan bir AAT görüntüsü Şekil 2.16’de verilmiştir.



Şekil 2. 15 Bio-P + SDNP akım şeması



Şekil 2. 16 Arıtma prosesi Bio-P + SDNP olan bir AAT'nin görüntüsü

Tam karışimli aktif çamur, UHAÇ, OH, SDNP ve 5 kademeli Bardenpho proseslerin avantajları ve kısıtlamaları Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2. 1 Azot ve Fosforun Birlikte Giderildiği Proseslerin Karşılaştırılması (Tchobanoglous ve ark., 2003)

PROSES	AVANTAJLARI	KISITLAMALAR
Tam Karışimli Aktif Çamur	<ul style="list-style-type: none"> • Yaygın ve iyi bilinir olması • Çeşitli atıksu karakterizasyonlarına uygun • Şok ve toksik yüklemelere karşı dirençli • İnşa uygulaması kolay • Tüm havalandırma ekipmanları için uygun 	<ul style="list-style-type: none"> • Flamentli bakteri gelişimine müsait • Çamur kabarma problemi
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek kalite çıkış suyu • Kolay inşa ve kolay işletme • Şok ve toksik yüklemelere karşı dirençli • Stabilize ve daha az çamur miktarı 	<ul style="list-style-type: none"> • Havalandırma için enerji kullanımını fazla • Daha büyük havalandırma havuzu hacimleri
Oksidasyon Hendeği	<ul style="list-style-type: none"> • Basit işletme ve yüksek güvenli bir procestir. • Şok ve toksik yüklemelere karşı dirençli • Küçük yerleşim yerleri için ekonomik • Uzun havalandırmaya göre daha az enerji tüketimi • Nütrient giderimine uygun • Yüksek kalite çıkış suyu • Stabilize ve daha az çamur miktarı 	<ul style="list-style-type: none"> • Geniş yapılar ve büyük alan ihtiyacı • Flamentli bakteri gelişimine müsait • Çamur kabarma problemi • Klasik aktif çamur prosesine göre daha fazla enerji ihtiyacı • Kapasite artışı nispeten daha zor
Eş Zamanlı Nitrifikasyon Denitrifikasyon	<ul style="list-style-type: none"> • Çıkış suyunda düşük azot konsantrasyonu (< 3 mg/L) • Büyük ölçüde enerji tasarrufu imkânı • Yeni inşa yapmadan mevcut tesiste uygulanabilir • Alkalinite üretimi 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek işletme maliyeti • Metanol besleme sistemi ihtiyacı • SCADA ihtiyacı • Büyük havuz hacimleri ve nitelikli işletmeci ihtiyacı
Beş Kademeli Phoredox (5 Kademeli Bardenpho)	<ul style="list-style-type: none"> • Azot ve fosfor giderimi • Çıkış suyunda düşük azot konsantrasyonu (< 3 mg/L) • İyi çökeltme özelliklerine sahip çamur üretme 	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük verimli fosfor giderimi • Daha büyük havuz hacimleri • Nitelikli işletmeci ihtiyacı

Çizelge 2.2’de Karbon giderimi, Karbon ve azot giderimi ve karbon, azot, fosfor giderimi yapan 5 farklı biyolojik arıtma prosesinin tasarım ve işletme parametreleri verilmiştir.

Çizelge 2. 2 C, N ve P giderim proseslerinin tasarım kriterleri (Tchobanoglous ve ark., 2003)

	C Giderimi		C,N Giderimi	C,N,P Giderimi	
	Klasik Aktif Çamur	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	4 Kademeli Bardenpho	5 Kademeli Bardenpho	A ² /O
F/M (kgBOI/kgMLVSS*gün)	0,2-0,6	0,04-0,10	0,1-0,2	0,1-0,2	0,15-0,25
Çamur Yaşı (SRT) (gün)	3-15	20-40	10-40	10-40	5-25
MLSS (mg/L)	1500-4000	2000-5000	3000-4000	3000-4000	3000-4000
Hidrolik Bekleme Süresi (HRT) (sa)	3-5	18-36	8-20	10-20	4-8
Anaerobik Bölüm			-	0,5-1,5	0,5-1,5
Anoksik Bölüm-1			1-3	1-3	0,5-1,0
Aerobik Bölüm-1			4-12	4-12	4,0-8,0
Anoksik Bölüm-2			2-4	2-4	-
Aerobik Bölüm-2			0,5-1,0	0,5-1,0	-
Geri Devir Oranı (RAS) (%)	25-100	50-150	50-100	50-100	25-100
İçsel Geri Devir (%)	-	-	200-500	200-500	100-400
SVI (mL/gr)	80-150	75-120	75-120	75-120	75-120

2.4. AAT Yatırım ve İşletme Maliyetleri

AAT maliyetleri veya giderleri iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi yatırım maliyetleri, ikincisi ise işletme maliyetleridir.

Yatırım maliyetleri, AAT faaliyete başlayınca kadarki arazi giderleri, plan – proje giderleri, danışmanlık ve diğer hizmet alımlarına ilişkin giderler, bina inşa giderleri, makine – teçhizat alım giderleri, işçilik giderleri, vergiler, enerji giderleri, faiz ödemeleri gibi giderlerden oluşmaktadır.

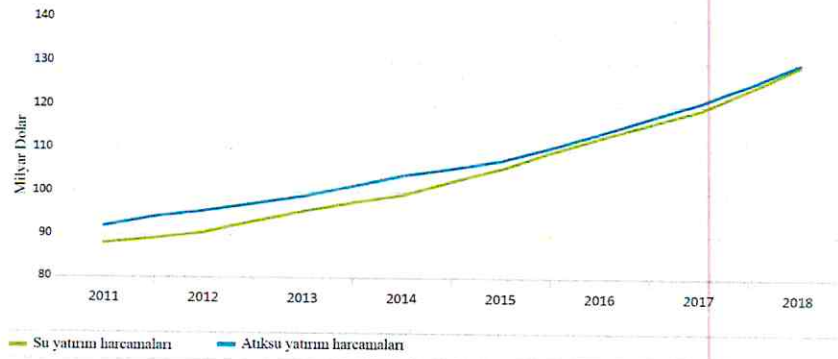
İşletme maliyetleri, AAT tamamlanıp faaliyete geçtikten sonra ortaya çıkan personel, elektrik, personel, yönetim, bakım – onarım, güvenlik, taşıma/nakliye giderleri, sigorta giderleri, kimyasal madde giderleri, vergiler, danışmanlık ve hizmet alım giderleri gibi giderleri kapsamaktadır.

Hem yatırım hem de işletme maliyetlerini etkileyen en önemli faktör arıtılacak atıksuyun niteliği ve miktarıdır. Genel olarak ifade etmek gerekirse, arıtılacak su miktarı arttıkça atıksu ortalama arıtma birim maliyeti düşmektedir. Diğer taraftan, atıksuyun kirlilik seviyesi de maliyetleri doğrudan etkileyen faktörlerden bir diğeridir. Aynı miktarda fakat farklı kirlilik düzeyindeki atıksuyun arıtma ortalama birim maliyetleri arıtma tesisi proseslerine bağlı olarak farklıdır.

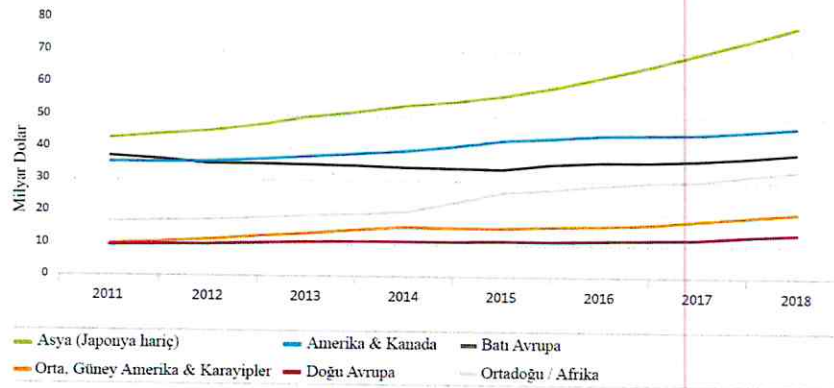
Bir yerleşim yerinde ne kadar atıksu oluşacağını belirlemek söz konusu yerleşim yerinin geleceğinin iyi bir şekilde analiz edilebilmesine bağlıdır. Özellikle turizm ve tatil özelliği ağırlıkta olan yerleşim yerleri ile ilgili en önemli konu yaz ve kış nüfusu arasında çok büyük farklar olması ve buna bağlı olarak atıksu miktarının mevsimlere göre farklılık göstermesidir. Eğer yerleşim yerinin yaz nüfus yoğunluğu dikkate alınarak AAT ölçeği/kapasitesi belirlenmişse, nüfus yoğunluğunun düştüğü kış mevsiminde tesis atıl kapasite ile çalışacak; kış nüfus yoğunluğu dikkate alınarak AAT ölçeği/kapasitesi belirlenmişse, nüfus yoğunluğunun arttığı yaz mevsiminde tesis yetersiz gelecek ve atıksuların bir bölümü arıtılamayacaktır.

Yerleşim yerinde hem mevcut durumda, hem de gelecekte ortaya çıkacak üretilen atıksuyun niteliğinin (evsel, endüstriyel, vb.) de doğru tahmin edilmesi gerekir. Başlangıçta mekanik arıtma sistemiyle bertaraf edilebilen atıksuların daha sonra niteliği değişirse (kirlilik artarsa), o zaman biyolojik AAT zorunluluğu ortaya çıkar. Bu gelişme toplam AAT yatırım maliyetlerini artırır (ÇŞB, 2015).

Şekil 2.17’de global ölçekte 2011-2018 yılları arasında su ve atıksu pazarındaki yatırım maliyetlerinin gelişimi görülmektedir. Atıksu arıtma tesislerinin Dünya’da hızlı bir şekilde artış gösterdiği ve yatırım ihtiyacının arttığı görülmektedir. 2011 yılında yaklaşık 92 milyar dolar olan yıllık yatırımın 2018 yılında 130 milyar dolara ulaştığı görülmektedir. Bunun yanında dünyanın çeşitli coğrafyalarında gerekli yatırım ihtiyacı ve yıllara göre değişimi ise Şekil 2.18’de verilmektedir. Buna göre, özellikle Asya ve Japonya pazarında hızlı bir yatırım yapıldığı ve batı Avrupa da yapılan yatırımın ise neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Burada bazı ülkelerde AAT yapımlarının yıllara önce yapılarak tamamlandığı, bazı ülkelerde ise yapılan AAT yatırımlarının ömrünü tamamlayarak yenilenmesi gerektiği göz önüne alınmalıdır (RobecoSAM, 2015).



Şekil 2. 17 Küresel ölçekte belediyelerin su ve atıksu yatırım harcamaları (GWI, 2014)



Şekil 2. 18 Bölgesel olarak belediyelerin su ve atıksu yatırım harcamaları (GWI, 2014)

The Global Water Leaders Group tarafından yayınlanan “A new model for water Access (2017)” raporunda, Global Water Intelligence (GWI) verilerine göre ve Dünya Bankası verilerine göre; çeşitli bölgelerdeki kanalizasyon ve atıksu arıtma maliyetleri ilk yatırım ve işletme maliyetleri ile birlikte kişi başına hesaplanmıştır. Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’te verilen GWI verilerine göre kişi başına maliyet ortalama 62 dolar iken, Dünya Bankası verilerine göre ortalama 48 dolar tahmin edilmektedir. Dünya Bankası verilerinin diğerine göre düşük görünmesinin nedeni yalnızca ikincil arıtmayı esas alması, ileri arıtma proseslerini ve çamur bertarafı maliyetlerini dikkate almamasıdır (Gasson, 2017).

Çizelge 2. 3 GWI verilerine göre kişi başına kanalizasyon ve arıtma maliyetleri

Bölge	Kanalizasyon ve arıtma maliyeti (\$/kişi)
Orta Doğu ve Kuzey Afrika	62
Sahra-altı Afrika	63
Latin Amerika ve Karayipler	53
Doğu Avrupa ve Orta Asya	45
Doğu asya ve pasifik	80
Güney Asya	28
Ortalama	62

Çizelge 2. 4 Dünya Bankası verilerine göre kişi başına kanalizasyon ve arıtma maliyetleri

Bölge	Kanalizasyon ve arıtma maliyeti (\$/kişi)
Orta Doğu ve Kuzey Afrika	57
Sahra-altı Afrika	60
Latin Amerika ve Karayipler	78
Doğu Avrupa ve Orta Asya	56
Doğu asya ve pasifik	36
Güney Asya	24
Ortalama	48

Ülkemizde AAT maliyetlerinin tahmini için yapılmış bazı araştırmalar bulunmaktadır. Uslu (1984) yılında yaptığı çalışmada Bayındırlık Birim Fiyatları kullanılarak kaba bir keşifle bazı atıksu arıtma proseslerinin (TL) bazında debi-inşaat maliyeti grafiklerini çizmiştir (Uslu, 1984). Bir diğer çalışmada; Türkiye'deki 15 çeşit arıtma sistemi için debi-toplam proje maliyeti, debi-toplam işletme bakım maliyeti, debi-birim hacimdeki atıksuyun arıtılma maliyeti ve debi-arazi ihtiyacı ilişkileri MT programı ile hesaplanarak grafikler hazırlanmış ve her sistem için $C=a.Qb$ tipindeki parametrik denklemler elde edilmiştir (Tuna, 1995). 1995 yılında yapılan bir başka çalışmada, İlk inşa maliyeti, tüm enerji maliyetleri dahil yıllık işletme ve bakım maliyeti, toplam yıllık maliyet ve toplam enerji kullanımı, toplam enerji üretimi, net enerji tüketimi, toplam arazi kullanımı gibi seçim kriterlerini alarak, 5,000 m³/gün debi için; 0.0711 \$/m³ yıllık işletme ve bakım maliyeti, 0.1785 \$/ m³ toplam yıllık maliyet, 0.1465 kWh/m³ enerji tüketimi hesaplanmıştır (Çitil, 1995). 2001 yılında aktif çamur prosesleri için yapılan bir araştırmada, 500-50,000 nüfusa göre inşaat maliyetleri hesaplanmış, toplam inşaat maliyeti kişi başına 500 kişi için 48 USD ve 50,000 kişi için 17 USD olarak verilmiştir (Yüceer ve Dulkadiroğlu). 2011 yılında optimum maliyete dayalı AAT tasarımının araştırıldığı bir diğer çalışmada ise, nüfusu 5,000 ile 2,000,000 arasında değişen yerleşim birimleri için tasarımda bir standart yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin belirlenmesinde mevcut kanun ve yönetmelikler, nüfusa bağlı birim atıksu oluşumu ve atıksu karakterizasyonu, bütün nüfus değerleri için hesaplar temel alınmıştır. Mevcut arıtma proseslerinin uygun olanları denenmiş, elde edilen yatırım maliyetleri ve ana işletme giderleri, finansman hesaplarından değerlendirilerek, her nüfus aralığı için birim atıksu miktarı başına en düşük maliyeti getiren arıtma teknolojisi optimum yöntem olarak önerilmiştir (Erdoğan ve ark., 2011). 2016 yılında İller Bankası A.Ş tarafından yaptırılan 25 AAT'nin yaklaşık maliyetleri hesaplanarak, bu maliyetlere etki eden parametreler ile yaklaşık maliyetler arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Nüfus-yaklaşık maliyet ilişkisi

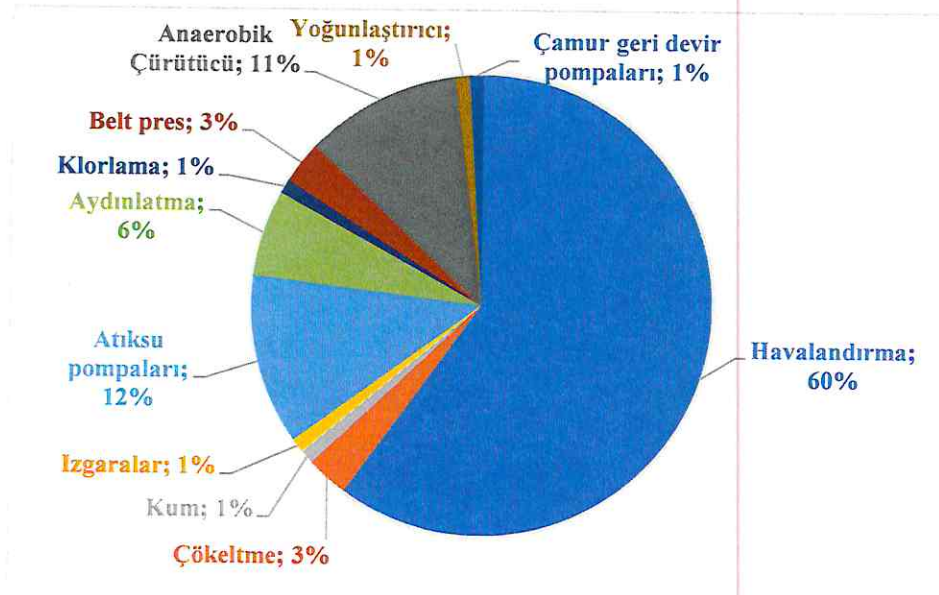
açısından hesaplanan korelasyon katsayıları itibarıyla 0.72-0.87 aralığında yüksek ilişki tespit edilmiş, debi-yaklaşık maliyet ilişkisi arasında korelasyon katsayılarının 0.91-0.96 aralığında değişen çok yüksek ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık maliyetlere etki eden faktörler üzerinde yapılan inceleme ile arıtma tesislerinin ilk yatırım maliyetlerinin kişi başına 66-379 TL arasında değişmekte olduğu hesaplanmıştır (Yamaç, 2016).

Türkiye'deki mevcut AAT'leri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı kayıtları, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri ve Belediyeler ile yapılan görüşmeler neticesinde tespit edilmiş ve tesisler tek tek yerinde incelenmiştir. Ülke genelinde 77 ilde işletmede, atıl durumda ve inşaatı devam eden toplam 1127 AAT tespit edilmiştir. Ülke genelinde mevcut AAT'lerinde; bakım&onarım, revizyon, kapasite artışı, yeniden inşa edilecek tesislerin toplam yatırım bedeli 2017 yılı fiyatları ile toplam 1 milyar 457 milyon 132 bin TL olarak belirlenmiştir (TÜRAAT, 2016).

Atıksu arıtma ve çamur bertaraf teknolojilerinin tüm adımları, su, atıksu veya çamurun pompalanması, karıştırılması ve havalandırılması için enerji gerektirir. Atık su arıtma teknolojisinin enerji talebi, tesisin konumuna, büyüklüğüne (nüfus eşdeğeri, organik veya hidrolik yük), arıtma sürecinin türüne ve havalandırma sistemine, atık su kalitesi gereksinimlerine, tesisin yaşına, yöneticilerinin deneyimine vb. bağlıdır (Plappally, 2012).

Konvansiyonel bir evsel atık su arıtma tesisi yaygın olarak birincil, ikincil ve ileri arıtma aşamalarından oluşmaktadır. Diğer aşamalarla karşılaştırıldığında, AAT'ndeki atık su toplama ve birincil arıtma aşamasında daha az enerji yoğunudur ve taşıma mesafesi gibi tasarım ve işletimden etkilenebilir. Örneğin, birincil atıksu arıtma işlemi sırasında ham atık su toplama ve pompalamanın enerji yoğunluğu, Kanada'da 0.02-0.1 kWh/m³, Macaristan'da 0.045-0.04 kWh/m³, Yeni Zelanda'da 0.04-0.09 kWh/m³ ve Avustralya'da 0.1-0.37 kWh/m³ arasındadır. (Sanderson ve Knutti, 2012) (Kneppers ve ark., 2009)

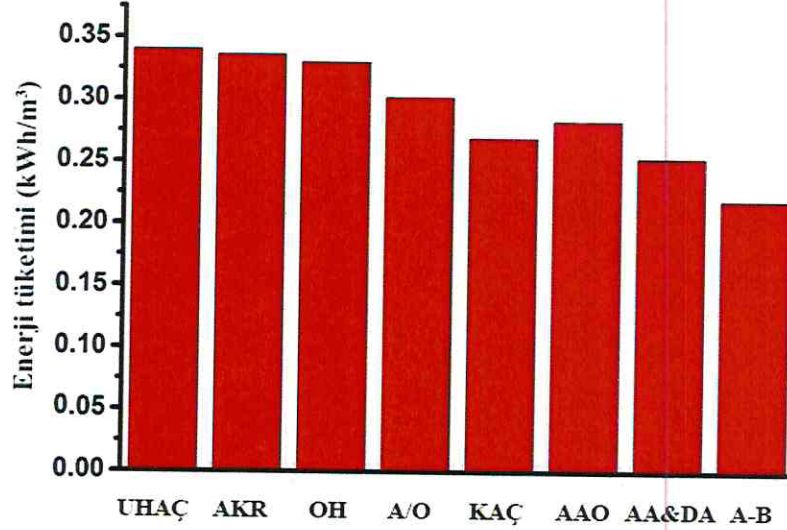
İkinci kademe arıtma proseslerinde enerji tüketimi esas olarak kullanılan arıtma teknolojisine bağlıdır. Örneğin, konvansiyonel aktif çamur arıtma sistemlerinin ortalama enerji tüketimi 0.46 (Avustralya), 0.269 (Çin), 0.33-0.60 (ABD) ve 0.30-1.89 (Japonya) kWh/m³tür (Bodik ve Kubaska, 2013). Bir konvansiyonel aktif çamur tesisinde, ikincil arıtmada havalandırma, arıtma sisteminin en yüksek enerji tüketen bileşenidir (Liu ve ark., 2012). Çoğu orta ve büyük ölçekli atıksu arıtma tesislerinde, havalandırma toplam elektrik tüketiminin yaklaşık % 50 ila % 60'ını kullanırken, çamur bertarafı üniteleri enerjinin % 15 ila % 25'ini ve geri devir pompaları da dahil olmak üzere son çökeltme havuzları toplam enerjinin %15'ini tüketir (Mamais ve ark., 2015). Konvansiyonel bir aktif çamur prosesli AAT'nin farklı proseslerinde enerji kullanım oranları Şekil 2.19'da sunulmaktadır (Walther, 2009) Klasik aktif çamur sistemi ile karşılaştırıldığında, oksidasyon hendekleri (OH), daha uzun hidrolik alıkonma süresi ve yüksek spesifik oksijen ihtiyacı nedeni ile (HRT) daha yüksek enerji tüketirler OH'de 0.5-1.0 (Avustralya), 0.302 (Çin) veya 0.43-2.07 (Japonya) kWh/m³ ile klasik aktif çamur proseslerinden daha fazla enerji tüketmektedirler (Mizuta ve Shimada, 2010).



Şekil 2. 19 Konvansiyonel AAT'nde proseslere göre enerji kullanım oranı. (Gu ve ark., 2017)'den uyarlanmıştır.

2006 yılında Çin'de farklı ikincil arıtma teknolojilerine sahip AAT'lerin ortalama enerji tüketimleri Şekil 2.20 de verilmektedir. Uzun havalandırma sistemli 13 AAT için 0.340 kWh/m³, ardışık kesikli reaktör (AKR) prosesli 103 AAT için 0.336 kWh/m³, biomembran sistemli 36 AAT için 0.330 kWh/m³, OH sistemli 170 AAT için 0.302 kWh/m³, anoksik-oksik (A/O) sisteme sahip 36 AAT için 0.283 kWh/m³, KAÇ

sistemlerinde 36 AAT için 0.269 kWh/m^3 anaerobik-anoksik-oksik (A2O) sistemlere sahip 87 AAT için 0.267 kWh/m^3 , arazide arıtma ve yapay sulak alan olmak üzere 10 AAT için 0.253 kWh/m^3 ve adsorpsiyonlu -biyolojik sistemlerden 17 AAT için 0.219 kWh/m^3 olmak üzere ortalama enerji tüketimi belirlemiştir (Yang ve ark., 2010).



Şekil 2. 20 Çin'de farklı arıtma teknolojilerine sahip ikincil arıtma tesislerinin enerji tüketimi (Yang ve ark., 2010) AKR=Ardışık kesitli reaktör, A/O=Anoksik-oksik sistemler, AAO=Anaerobik-anoksik-oksik, AA&DA= arazide arıtma ve doğal arıtma, A-B=Adsorpsiyon-biyoloji.

AAT konfigürasyonu, benzer arıtma teknolojilerine sahip AAT'lerde enerji tüketimini de etkiler. Örneğin, membran biyoreaktör (MBR) arıtma sistemi, 0.37 kWh/m^3 (Singapur'daki Ulu Pandan MBR prosesli AAT) (Tao ve ark., 2010) $0.7-1.6 \text{ kWh/m}^3$ (Tao ve ark., 2010; Palmowski ve ark., 2011) veya daha yüksek enerji tüketimleri $2.2-2.5 \text{ kWh/m}^3$ olmak üzere farklılık gösterebilmektedir (Cornel ve ark., 2003; Brepols, 2010; Krzeminski ve ark., 2012). Bazı araştırmalar, MBR sistemlerinde enerji tüketimlerinin, tesisteki toplam enerji tüketiminin % 55 ile % 90 arasında değiştiğini göstermiştir (Barillon ve ark., 2013).

İleri atıksu arıtma prosesleri, nütrient giderim prosesleri nedeni ile yüksek oranda enerji tüketirler; bu prosesler Japonya'da $0.39-3.74 \text{ kWh/m}^3$ enerji tüketirken, ABD'deki evsel AAT'lerde bu prosesler 0.43 kWh/m^3 , Tayvan'da 0.41 kWh/m^3 , Yeni Zelanda'da 0.49 kWh/m^3 ve Macaristan'da $0.45-0.75 \text{ kWh/m}^3$ olarak verilmektedir (Mizuta ve Shimada, 2010; Pitas ve ark., 2010; Plappally, 2012; Bodik ve Kubaska, 2013).

Bir çalışmada (Rodriguez-Garcia ve ark., 2011) atıksu arıtma maliyetleri ile artıran atık su debisi veya ötrofikasyonun azaltılması arasındaki ilişkinin anlaşılması için bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. İspanya'daki 6 farklı prosese sahip toplam 24 AAT'nde

birincil, ikincil ve üçüncül arıtma proseslerinin işletme maliyetlerini değerlendirilmiş, AT'leri alıcı ortam deşarj standartlarına göre veya geri kazanılan atık suların yeniden kullanım amacına göre sınıflandırmışlardır:

T1: Organik madde giderimi yapan ve deşarj noktası hassas alan olmayan atıksu arıtma tesisleri

T2: Organik madde ve nütrient giderimi yapan ve deşarj noktası hassas alan olmayan atıksu arıtma tesisleri

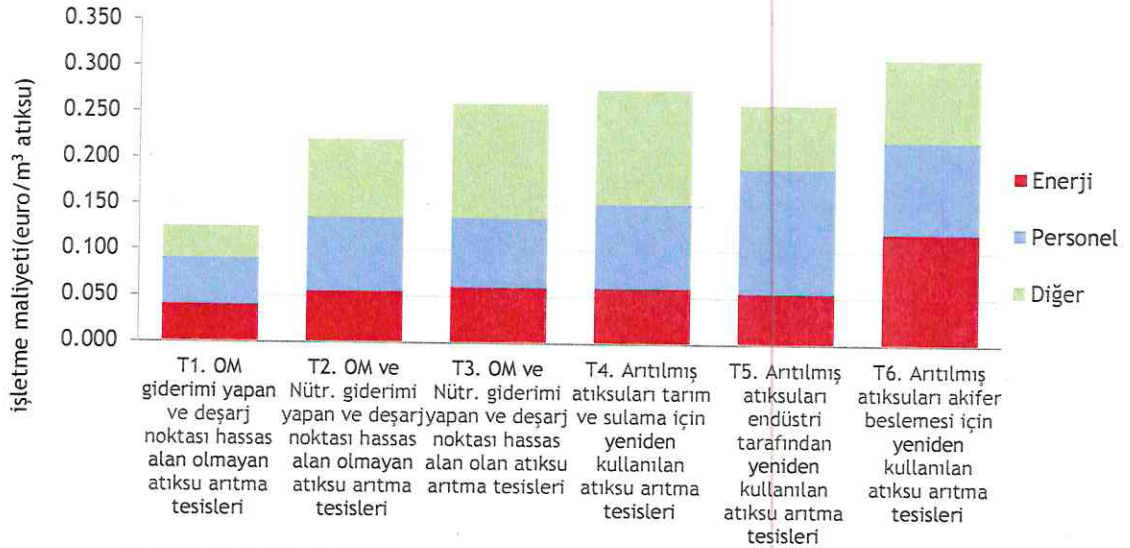
T3: Organik madde ve nütrient giderimi yapan ve deşarj noktası hassas alan olan atıksu arıtma tesisleri

T4: Arıtılmış atıksuların tarım ve sulama için yeniden kullanılan atıksu arıtma tesisleri

T5: Arıtılmış atıksuların endüstriler tarafından yeniden kullanılan atıksu arıtma tesisleri

T6: Arıtılmış atıksuların akifer beslemesi için yeniden kullanılan atıksu arıtma tesisleri

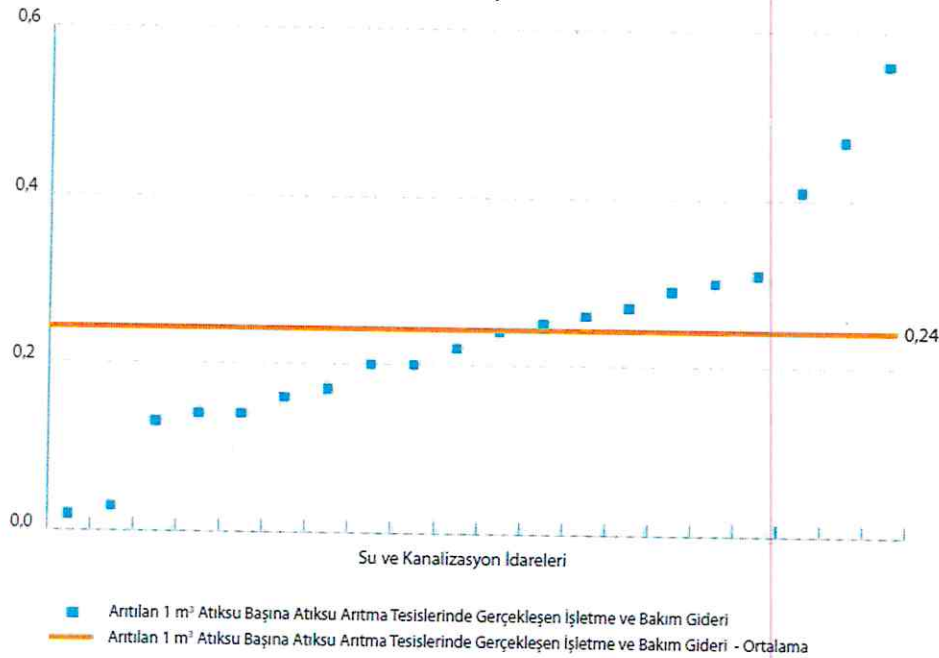
Atıksu arıtma tesislerini alıcı ortam deşarj standartlarına göre veya geri kazanılan atık suların yeniden kullanım amacına belirlenen durumlar için tesisin enerji, personel ve diğer işletme maliyetleri Şekil 2.21'de verilmiştir.



Şekil 2. 21 Farklı AAT işletme maliyetleri (Rodriguez-Garcia ve ark., 2011)

Türkiye Su Enstitüsü (SUEN), Türkiye'deki Su ve Kanalizasyon İdareleri (SUKİ)'nin çalışma, bilgi üretimi ve istatistiksel faaliyetlerini takip etmek, daha iyi bir su yönetişimi için stratejik fikir geliştirmek, kısa ve uzun dönemli stratejiler ile ulusal politikalar üretmek amacıyla "Su ve Kanalizasyon İdareleri Mukayeseli Değerlendirme

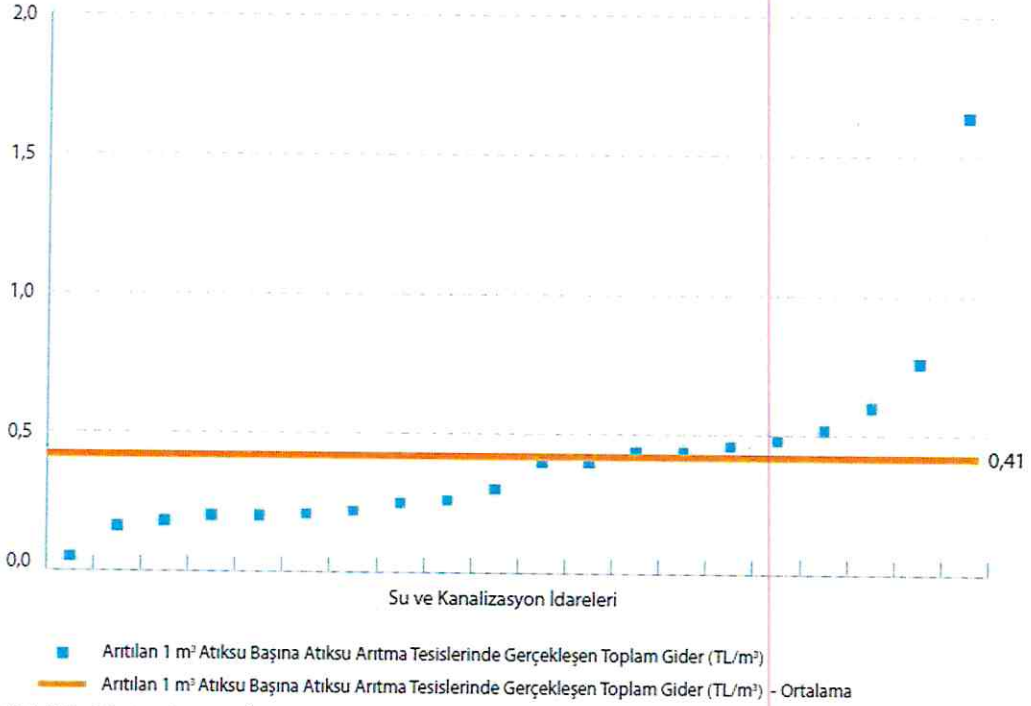
Veritabanı ve Programının Hazırlanması, Değerlendirme Sonuçlarının Analizi ve Raporlanması” projesini 2017 yılında gerçekleştirmiştir. Bu çerçevede, SUKİ’ler tarafından verilen bilgiler doğrultusunda Türkiye’de bulunan Su ve Kanalizasyon İdareleri arasında mukayeseli değerlendirme çalışması yapılarak, önem taşıyan performans göstergeleri belirlenmiş ve performans endeksleri oluşturulmuştur. Performans göstergelerinin belirlenmesini takiben, genel amaca uygun olarak su ve atıksu yönetimi konuları kapsamlı olarak incelenmiş ve oluşturulan endeksler dahilinde idareler toplam puana göre bir değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu doğrultuda Türkiye’de yapılan bu ilk çalışma, 30 adet SUKİ’ye önemli bir kaynak çalışma olma niteliği taşımıştır. Bu kapsamda; idarelerde arıtılan 1 m³ atıksu başına AAT’lerinde gerçekleşen işletme ve bakım giderleri sorgulanmış olup, 20 idare için ortalama değer 0.24 TL/m³, en yüksek ve en düşük değerler ise sırasıyla 0.56 ve 0.02 TL/m³ olarak belirlenmiştir (Şekil 2.22). 2015 yılı verileriyle gerçekleştirilen mukayeseli değerlendirme çalışmasında; 13 idare için arıtılan 1 m³ atıksu başına gerçekleşen işletme ve bakım giderlerinin ortalaması aynı şekilde 0.24 TL/m³, en yüksek ve en düşük değerler ise sırasıyla 0.52 TL/m³ ve 0.07 TL/m³ olarak belirlenmiştir (SUEN, 2019).



Şekil 2.22 Arıtılan 1 m³ atıksu başına atıksu arıtma tesislerinde gerçekleşen işletme ve bakım gideri (SUEN, 2019)

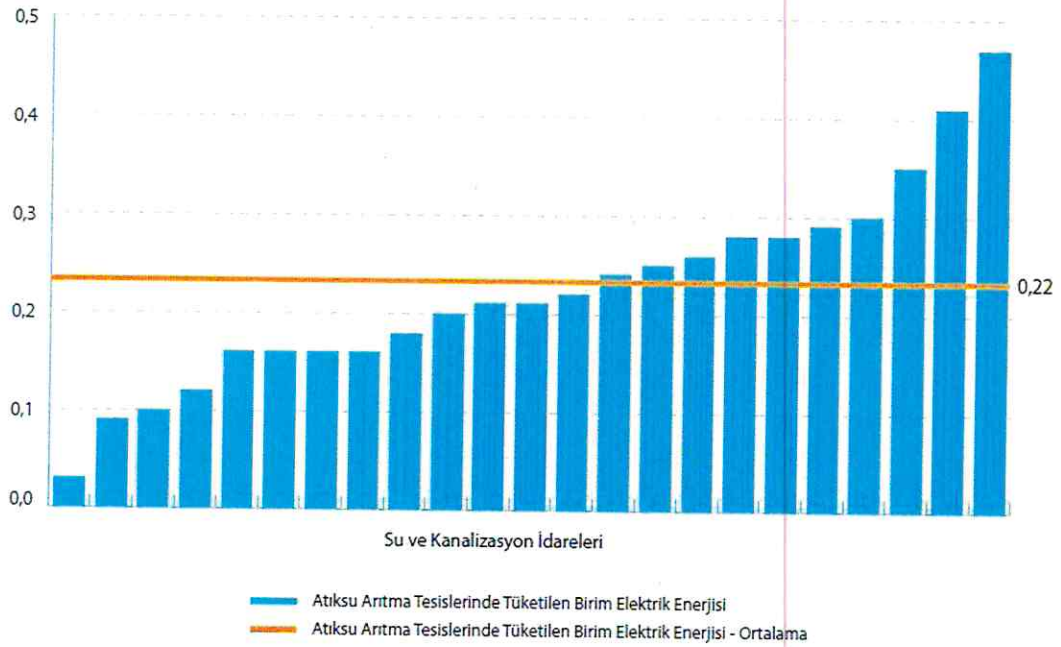
Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan 1 m³ atıksu başına gerçekleşen yatırım harcamaları dahil toplam giderlerin ortalaması 0.41 TL/m³ olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.23). Yatırım harcamaları tutarına faaliyete alınmamış olan tesisler için yapılan

yatırımlar dahil edilmemiştir. Değerlendirilen 20 idarenin 8'inde toplam giderlerin ortalamasının üzerinde olduğu görülmüştür.



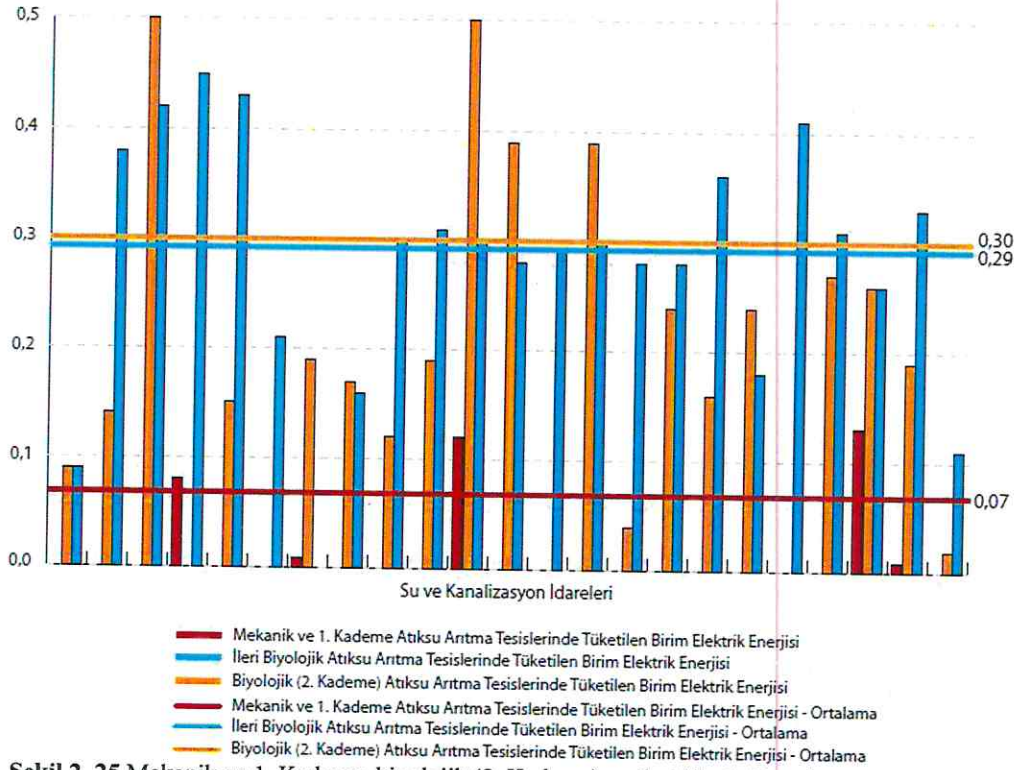
Şekil 2. 23 Arıtılan 1 m³ atıksu başına atıksu arıtma tesislerinde gerçekleşen toplam gider (yatırımlar dahil) (SUEN, 2019)

Atıksu hizmetlerinde enerji verimliliğini incelemek amacıyla; atıksu arıtma tesislerinde ve atıksu kanalizasyon şebekesinde toplanan atıksu başına tüketilen birim elektrik enerjisi değerleri sorgulanmıştır. Atıksu arıtma tesislerinde tüketilen birim elektrik enerjisi ile ilgili 23 idarenin verdiği yanıtlar değerlendirildiğinde; ortalama tüketilen birim elektrik enerjisinin 0.22 kWh/m³ olduğu, beklendiği üzere bu değer in içme suyu arıtma tesislerinde tüketilen birim elektrik enerjisi ortalamasına (0.17 kWh/m³) göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 2.24).



Şekil 2. 24. Atıksu arıtma tesislerinde tüketilen birim elektrik enerjisi (birim) (SUEN, 2019)

Atıksu arıtma tesislerinde tüketilen birim elektrik enerjisi; mekanik ve 1. kademe, biyolojik (2. kademe) ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri olacak şekilde 3 farklı kategoride de sorgulanmıştır. İdareler tarafından paylaşılan veriler analiz edildiğinde; birim elektrik enerjisi tüketiminin en fazla biyolojik (2. Kademe) atıksu arıtma tesislerinde (ortalama 0.30 kWh/m^3), en az ise mekanik ve 1. kademe atıksu arıtma tesislerinde (ortalama 0.07 kWh/m^3) olduğu görülmüştür (Şekil 2.25). İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde ise bu değer ortalama 0.29 kWh/m^3 'tür.



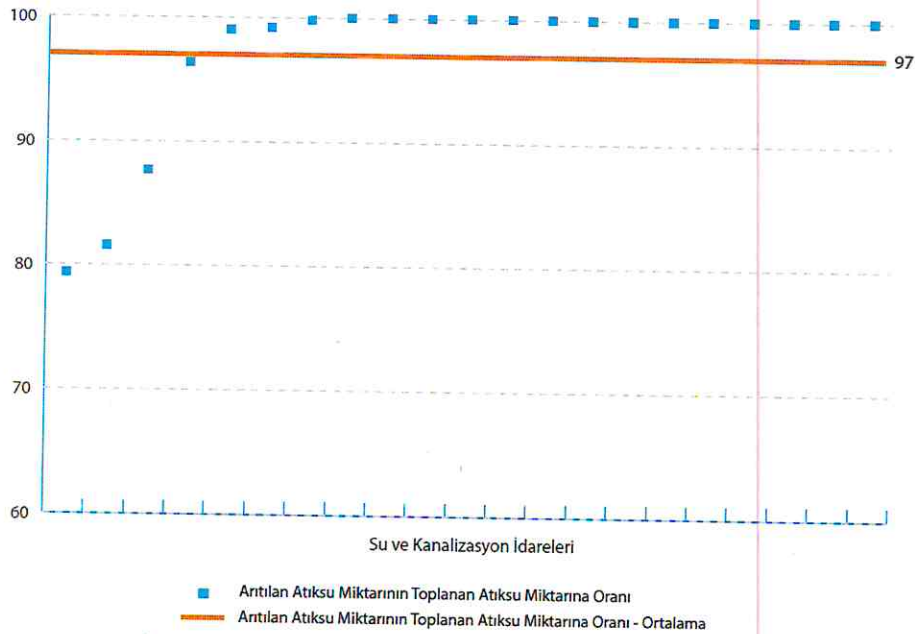
Şekil 2. 25 Mekanik ve 1. Kademe, biyolojik (2. Kademe) ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde tüketilen birim elektrik enerjisi (SUEN, 2019)

İdarelerin kanalizasyon hizmet yeterliliği ve etkinliğinin belirlenmesinde rol oynayan bir diğer önemli performans göstergesi atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranıdır. 26 idare tarafından paylaşılan veriler aracılığıyla hesaplanan ortalama atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranı %71'dir (Şekil 2.27). Özellikle 6360 sayılı Kanunla kurulan yeni idarelerin çalışmaya dahil olmadığı ve 13 SUKİ için 2015 yılı verileriyle yapılan mukayeseli değerlendirme çalışmasında; ortalama atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranı %81 olarak raporlanmıştır. 8 idarede kanalizasyon hattı ve atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranları aynıdır. 6360 sayılı kanunla idare sorumluluğuna geçen yerleşimlerde de atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranı sorgulanmıştır. 8 idare için ortalama %42 olan bu değer, atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranına göre oldukça düşüktür (Şekil 2.26). 6360 sayılı kanunla idare sorumluluğuna geçen yerleşimlerde atıksu kanalizasyon hattı hizmeti verilen nüfus oranı (%83), atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranının yaklaşık iki katıdır.



Şekil 2. 26 Atıksu arıtma hizmeti verilen nüfus oranları

Arıtılan atıksu miktarının toplanan atıksu miktarına oranı, arıtma performansı ile ilgili bilgi sağlayan önemli bir performans göstergesidir. Çalışmada 21 idare tarafından beyan edilen veriler incelendiğinde, bu değerlerin ortalama %97 olduğu ve 14 idarenin toplanan atıksuyun tamamını arıttığı görülmektedir (Şekil 2.27).

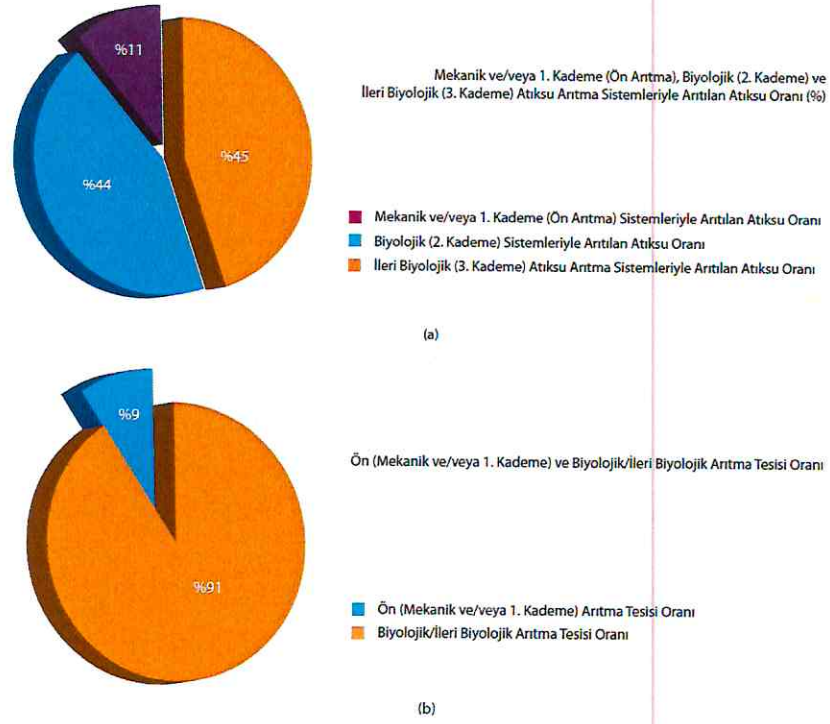


Şekil 2. 27 Arıtılan atıksu miktarının toplanan atıksu miktarına oranı

Farklı proseslerdeki atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu oranları, sorgulanan önemli performans göstergelerinden biridir. 24 idare tarafından paylaşılan veriler doğrultusunda; mekanik ve/veya 1. Kademe (ön arıtma), biyolojik (2. Kademe) ve ileri

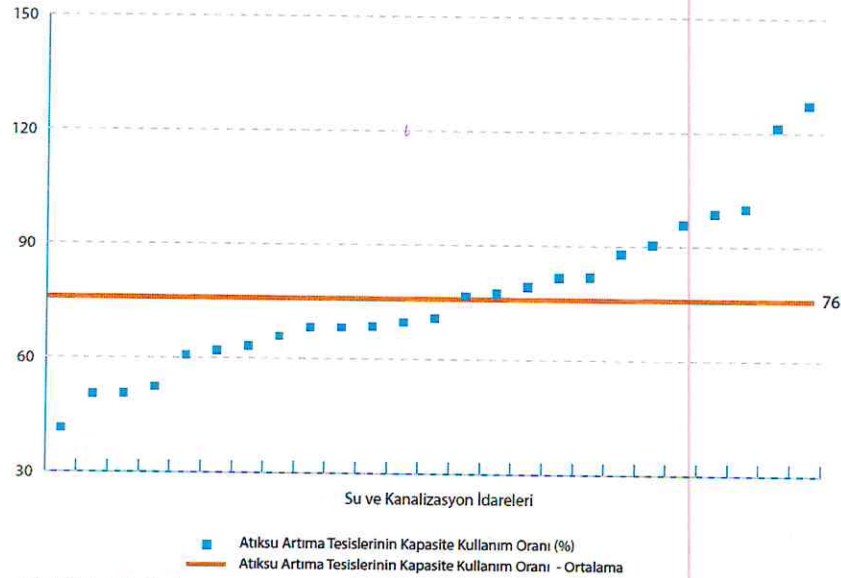
biyolojik (3. Kademe) atıksu arıtma tesisleriyle arıtılan atıksu oranları sırasıyla %11, %44 ve %45 olarak belirlenmiştir (Şekil 2.28). Biyolojik (2. Kademe) ve ileri biyolojik (3. Kademe) atıksu arıtma tesislerinde ortalama arıtılan atıksu oranları birbirine oldukça yakın olup; en düşük ortalama değer ise mekanik ve/veya 1. Kademe (ön arıtma) atıksu arıtma tesisleri için elde edilmiştir.

İdarelerde mevcut olan atıksu arıtma tesislerinin dağılımı da idarelerin performanslarının değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. 27 idare tarafından paylaşılan veriler analiz edildiğinde; mevcut arıtma tesisleri arasında mekanik ve/veya 1. Kademe (ön arıtma) AAT oranının ortalama %9 olduğu görülmektedir (Şekil 2.28). 17 idarede mevcut tüm atıksu arıtma tesisleri biyolojik (2. Kademe) ve/veya ileri biyolojik (3. Kademe) arıtma uygulamaktadır. 1 idarede ise mevcut arıtma tesislerinin tümü 1. Kademe (ön arıtma) arıtma uygulamaktadır. 27 idare tarafından paylaşılan veriler değerlendirildiğinde; ortalama biyolojik (2. Kademe)/ileri biyolojik arıtma tesisi oranının %91 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Farklı türdeki AAT sayısı ile bu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarları incelendiğinde; atıksu arıtma tesis oranının yüksek olduğu biyolojik/ileri biyolojik arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarlarının da mekanik ve/veya 1. Kademe (Ön Arıtma) atıksu arıtma sistemlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. 28 Farklı prosesteki atıksu arıtma tesisleri ile ilgili oranlar: (a)Mekanik ve/veya 1. Kademe (ön arıtma), biyolojik (2. Kademe) ve ileri biyolojik (3. Kademe) atıksu arıtma sistemleriyle arıtılan atıksu oranı; (b)Ön (Mekanik ve/veya 1. Kademe) ve biyolojik/ileri biyolojik arıtma tesisi oranı (SUEN, 2019).

İdarelerde kanalizasyon hizmetleri altında yer alan arıtma faaliyetleri ile ilgili performansların değerlendirilmesi amacıyla, atıksu arıtma tesislerinin kapasite kullanım oranları sorgulanmıştır. 25 SUKİ için bu değerlerin ortalaması %76 olarak belirlenmiştir (Şekil 2.29). 25 idareden 14'ü ortalama kapasite kullanım oranının üzerinde iken, 2 idarede kapasite kullanım oranları %100'ün üzerindedir.



Şekil 2. 29 Atıksu arıtma tesislerinin kapasite kullanım oranları (SUEN, 2019)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

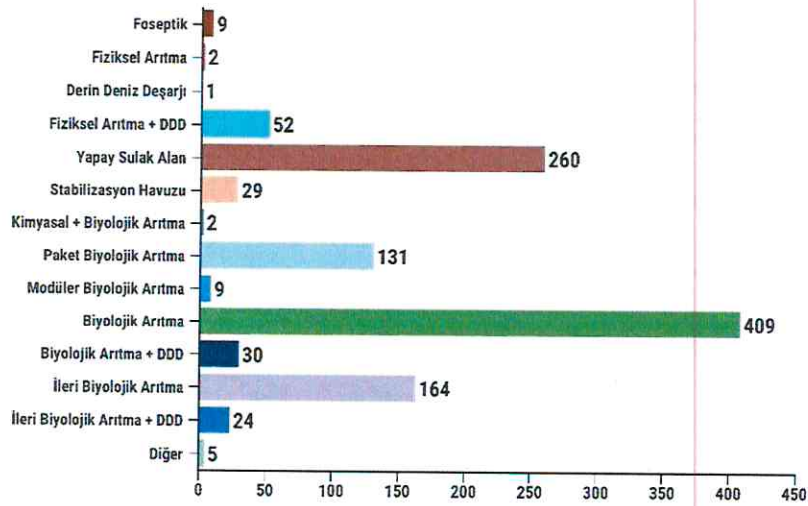
3.1. Ülkemizde Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumu ve Veri Temini

Ülkemizde atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumunun belirlenmesi amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından desteklenen ve 2015 yılında yürütülen “Ülke Genelindeki Eysel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi (TÜRAAT)” verilerine göre ülke genelinde işletmede, atıl durumda ve inşası devam AAT’lerinin ülke genelinde dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir. Bu tez çalışması ile TÜRAAT verileri incelendiğinde ülkemizde yaygın olarak kullanılan KAÇ, UHAÇ, OH, Bio-P+SNDP ve 5 kademeli Bardenpho prosesi çalışılmıştır. Belirlenen arıtma prosesleri için ilk yatırım ve işletme maliyetleri değerlendirilmiştir.

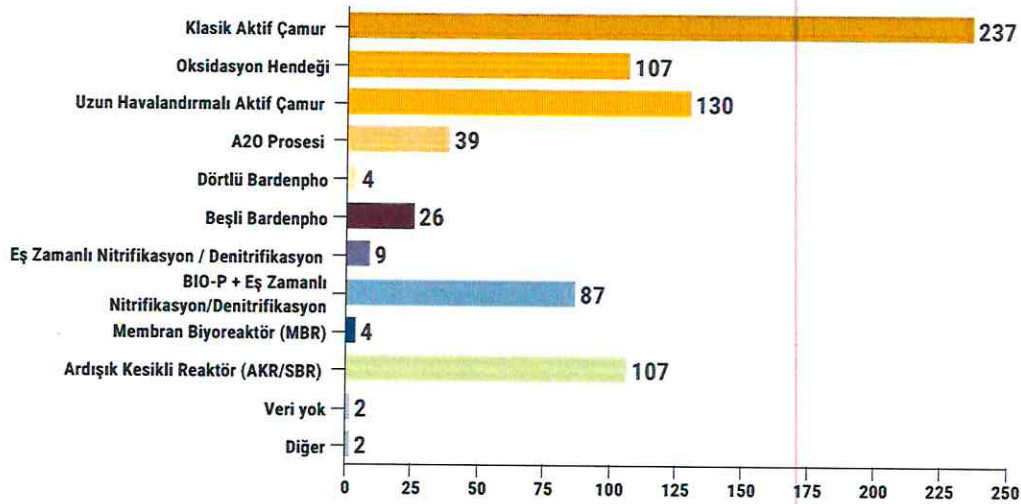


Şekil 3. 1 Türkiye’deki AAT’lerin dağılımı (TÜRAAT, 2016)

2016 yılı verilerine göre, ülke genelindeki mevcut AAT’lerinin tiplerine göre dağılımı Şekil 3.2’de aktif çamur prosesi olan tesislerin modifikasyonlarına göre dağılımı ise Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3. 2 Türkiye’de AAT’lerin tiplerine göre dağılımı (TÜRAAT, 2016)



Şekil 3. 3 Türkiye’de biyolojik arıtma proseslerinin modifikasyonlarına göre dağılımı (TÜRAAT, 2016)

Şekil 3.3 incelendiğinde ülke genelinde paket ve modüler arıtma tesisleri hariç 439 adet biyolojik arıtma ve 188 adet ileri biyolojik arıtma tesisi bulunmaktadır. Biyolojik arıtma tesislerinden aktif çamur prosesi olan tesislerin modifikasyonlarından yaygın olarak kullanılan 237 adet KAÇ, 130 adet UHAÇ ve 107 adet OH prosesidir. N ve P giderimi yapan ileri biyolojik arıtma tesislerinde ise 87 adet Bio-P+SNDP, 39 adet A2O ve 26 adet 5 kademeli Bardenpho prosesi bulunmaktadır.

“Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik” 23.12.2016 tarih ve 29927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ve “Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği” de dikkate alındığında BNR prosesleri önümüzdeki yıllarda giderek artacaktır. Bundan dolayı, tez kapsamında ülke genelinde yaygın olarak kullanılan ve

yukarda belirtilen yönetmelikler doğrultusunda KAÇ, UHAÇ, OH, Bio-P+SNDP ve 5 kademeli Bardenpho proseslerinin ilk yatırım maliyetlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu farklı prosesler için debi ve nüfus ile ilk yatırım maliyeti grafikleri oluşturularak denklemler çıkarılmıştır. Denklemler kullanılarak yeni yapılması planlanan AAT'leri için farklı kapasitelerde yaklaşık maliyetin öngörülebilmesi ve proseslerin uygunluğu maliyet açısından değerlendirilmiştir.

AAT'lerin inşası kadar onların işletilmesi de son derece önemli miktarda ekonomik güç gerektirmektedir. Bu nedenle AAT'lerin ilk inşası için gerekli olan finansman temin edilmiş olsa da, asıl olarak işletme dönemindeki giderlerin finansmanı konusunda kalıcı bir çözüm bulunması gerekir. Aksi takdirde inşası gerçekleştirilen AAT'lerin işletilmesinde ekonomik darboğaz ortaya çıkabilir. Bu yüzden atıksu üretenlerden atıksu üretim bedelleri alınırken bu maliyetlere eşdeğerlik ölçüsü dikkate alınabilir.

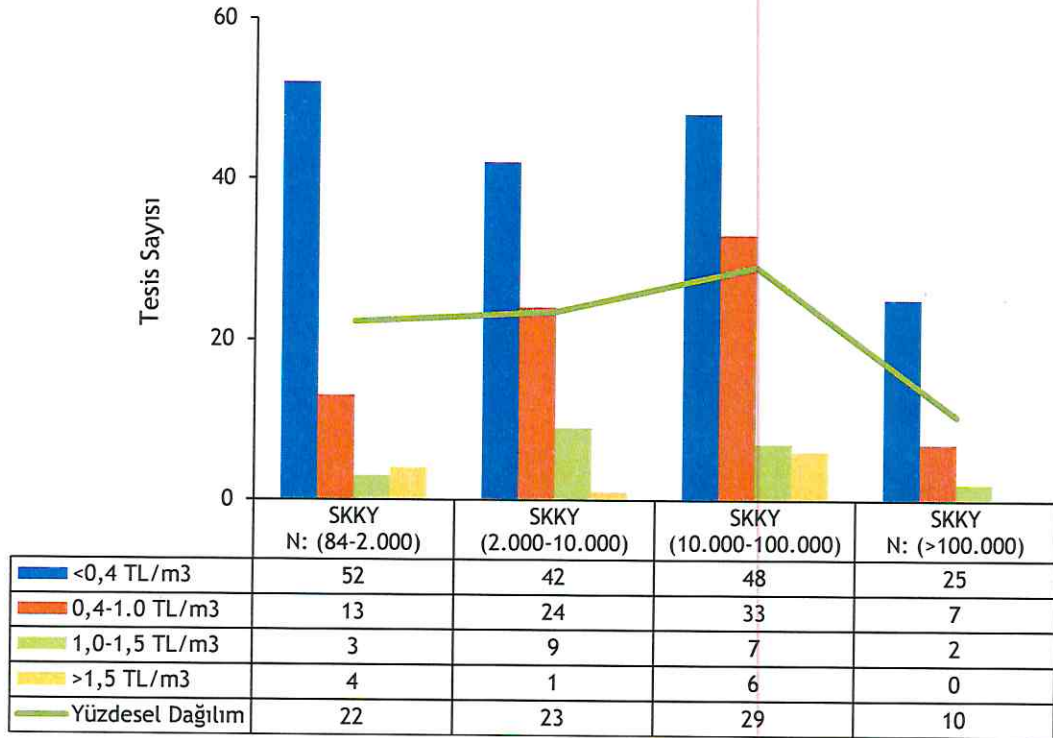
AAT'deki toplam maliyetlerin önemli bölümü AAT'lerin işletme maliyetlerinden oluşmaktadır. AAT'lerin 30 yıllık amortisman süreleri dikkate alındığında, AAT toplam işletme maliyetleri ilk yatırım maliyetlerinin üzerindedir.

TÜRAAT projesi kapsamında ülke genelindeki atıksu arıtma tesislerinin işletme maliyetleri de araştırılmıştır. 2016 yılında işletmede olan 276 tesisinin birim atıksu arıtma maliyetleri incelenmiştir.

Buna göre; doğal arıtma tesisleri (yapay sulak alanlar, stabilizasyon havuzları) hariç olmak üzere ülke genelindeki 276 arıtma tesisinin Su Kirliliği ve Kontrolü (SKKY) yönetmeliğindeki tabi oldukları tablo'ya göre sınıflandırıldıklarında birim atıksu arıtma maliyetleri Şekil 3.4'de verilmektedir.

Ülkemizde incelenen atıksu arıtma tesislerinde birim arıtma maliyetinin tesislerin %60,5'inde 0,4 TL/m³ den az olduğu görülmektedir. Tüm nüfus büyüklüklerinde tesislerin %88,4'ünde arıtma maliyeti 1 TL/m³ den düşüktür. Arıtma maliyeti 276 tesisten sadece 11'inde 1,5 TL/m³ den fazla olarak bildirilmiştir (TÜRAAT, 2016).

Belediyeler tarafından temin edilen su birim fiyatları ile atıksu arıtma birim fiyatları ve geri kazanım proseslerinin ilave birim arıtma maliyetleri karşılaştırıldığında toplam arıtma maliyetlerinin su satış birim fiyatlarının çok altında olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 4 Ülkemizde işletmede olan 276 adet AAT'nin birim arıtma maliyetleri (TÜRAAT, 2016)

AAT'lerinde işletme giderleri proses tipi, tesis kapasitesi, tesiste kullanılan ekipmanların özelliklerine (ekipman sayısı, elektrik tüketimleri vb), personel sayısına ve il bazında değişiklik göstermektedir.

3.2 Atıksu Arıtma Tesislerinin Maliyet Unsurları

Evsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetini etkileyecek en önemli etkenler, AAT'nin ünitelerinin maliyetini değiştirecek olan, artırılması gereken evsel atıksuların özelliği ve arıtılmış suyun tabi olacağı atıksu deşarj standardıdır. Ünite boyutlandırılmalarından önce bu faktörlerin yani artırılması gereken atıksuyun özelliklerinin ve miktarının bilinmesi önem kazanmaktadır (Yamaç, 2016).

3.2.1. Yatırım Maliyetleri Hesabı

AAT maliyetleri yatırım ve işletme maliyetleri kalemlerinden oluşmaktadır. Öngörülen proje verileri ışığında ilk yatırım ve işletme maliyetleri toplamından oluşan toplam maliyetler hesaplanmakta, bu maliyetlere göre ise olabilecek en uygun, optimum çözümün seçilmesi yoluna gidilmektedir. Genel olarak işletme safhasına kadar olan masraflar arıtma tesisi arsasının temini, gerekli fizibilite, müşavirlik ve projelendirme işleri, zemin etütleri, olası zemin iyileştirme faaliyetleri dahil olmak üzere inşaat bedeli ile mekanik ve elektrik ekipmanları ve bunların montajlarının toplamlarından oluşmaktadır.

Maliyet unsurlarının değişkenliği, yukarıda bahsedilen metotlar aracılığı ile ortaya konulan proje değerlerinin olması gerekene en yakın değerler kullanılarak hesaplanabilmesi ile sınırlanabilecek, boyutlandırmaların değişmesine esas olan nüfus ve birim atıksu kullanımı doğru öngörülmüş atıksu özellikleri ile birlikte göz önünde bulundurularak, optimum verimli arıtma seçimi gerçekleştirilebilecektir.

3.2.1.1 AAT İnşaat Maliyet Kalemleri

AAT inşaat maliyeti kalemleri kısaca, varsa zemin iyileştirme yahut ıslah çalışmaları gereği yapılacak imalatları, tesisin arazi durumu gereği yapılacak kazı dolgu işlerini, su yapıları (terfi merkezi, ızgara, havalandırma havuzu, çökeltme havuzu, vb.) üst yapılar (bekçi binası, idari bina, vb.) saha borulaması, tesis içi yolu, çevre duvarı, peyzaj giderleri gibi kalemlerden oluşmaktadır.

3.2.1.2 AAT Mekanik Maliyet Kalemleri

AAT mekanik maliyetini oluşturan kalemler su yapıları ve üst yapı ünitelerinin mekanik ekipmanlarının temin ve montajını içermekte olup, seçilen arıtma tesisi cinsi-ünite özelliklerine göre çok farklılaşabilmektedir. Örneğin Bio-P+SNDP'de havalandırma ihtiyacı için kullanılan blower ve difüzör, vinç, çelik borular ve flanşlar gibi boru parçaları mekanik ekipmanları maliyet kalemleridir.

Biyolojik oksijen ihtiyacını gidermek üzere seçilen difüzör/blower cinsi, tesiste kullanılan çelik borunun özelliği, yahut bir çamur susuzlaştırma ünitesindeki makine

ekipmanının durumu gibi öngörülen AAT verimi için mekanik maliyetlerini değiştirmektedir.

3.2.1.3 AAT Elektrik Maliyet Kalemleri

AAT elektrik işleri maliyetini oluşturan kalemler, enerji nakil hattı, trafo-jeneratörler, AG panoları, güç-kumanda-sinyal kabloları, paratoner tesisatı, topraklama tesisatı, enstrümantasyon, otomasyon sistemi (PLC-Scada vb.), saha aydınlatması, ölçüm sistemleri ve enerji tüketim (kullanımdan işletme safhasına kadar) bedellerini içermektedir.

3.2.2. İşletme ve Bakım Maliyeti Hesabı

İşletme ve bakım giderleri; personel giderleri, nakliye giderleri, yakıt, su ve enerji giderleri, kimyasal katkı vb. kalemlerin maliyetleri, sigorta maliyetleri ve bakım onarım giderleri ile genel giderlerden oluşmakta olup, sistemin işletilmesi için gerekli tüm harcamaları ve ekipmanların amortismanlarını kapsamaktadır.

3.2.3. Maliyet ve Maliyet Unsurları Arasındaki İlişkiler

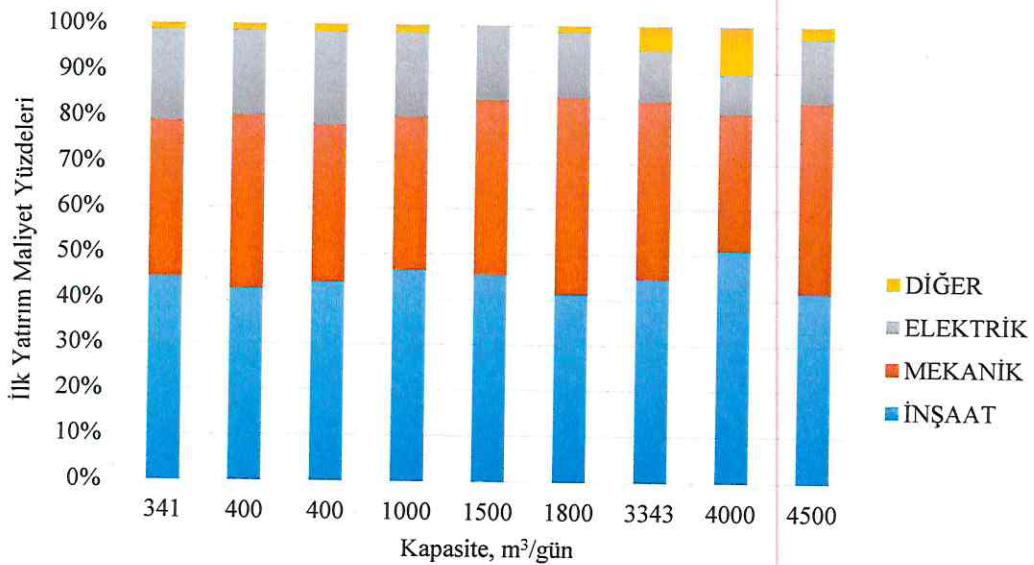
İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanması için, proje verilerinin içinde bulunan proje safhası açısından sağlıklı bir şekilde değerlendirilerek arıtma tesisi tipinin seçilmiş, arıtma projelerinin hazırlanmış, böylelikle gerek inşaat kalemleri maliyet hesaplamalarına baz olacak boyutlandırılmaların gerek mekanik-elektrik kalemlerin hesaplanabilmesini sağlayacak ekipman cinslerinin bilinmesi gerekmektedir.

İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında işletme maliyet kalemleri olarak yukarıda belirtilen kalemlerin yanı sıra; işletme personelinin eğitimi, işletme talimatnamelerinin hazırlanması, laboratuvar giderleri vb. giderler göz önünde bulundurulmalıdır.

AAT'de uygulama projeleri hazırlanırken tesis boyutlandırması ve hesapları tamamlandıktan sonra tesisin keşif-metraj dosyaları hazırlanmaktadır. Bu doğrultuda tesiste inşaat, mekanik, elektrik ve işletme işlerinde kullanılacak olan tüm malzeme kalemleri için fiyatlar belirlenerek yaklaşık maliyet oluşturulmaktadır. Ancak maliyetler

oluşturulurken imalatçı firmalardan alınan fiyatlar yaklaşık maliyet esaslı olduğu için yüksek tutulmaktadır. Bu da inşası yapılacak olan tesisin ilk yatırım maliyetini doğru yansıtmamaktadır (Yamaç, 2016). Bu tez çalışmasında, belirtilen durumlar dikkate alındığından AAT'lerinin yapım ihale sonuçları incelenmiş ve çalışmalar bu fiyatlar üzerinden yapılmıştır.

Bio-P + SNDP olan 9 adet AAT'nin uygulama projelerinde ihale dokümanları için hazırlanan porsantaj tabloları incelenmiştir. Kapasite için inşaat, mekanik, elektrik ve diğer maliyet oranları çıkarılmıştır. İlk yatırım maliyetinde % 41-50 inşaat, % 30-44 mekanik, % 8-21 elektrik ve % 1-11 diğer gider oranları belirlenmiştir (Şekil 3.5). Arıtma tesislerinin ilk yatırım maliyetinin belirlenmesinde inşaat ve mekanik giderler önemli rol oynamaktadır. Ancak tesis kapasitesinin artması veya azalması maliyet unsurlarında düzenli bir değişimin olduğu göstermemektedir. Tesisin inşaat, mekanik, elektrik ve diğer giderler aynı proses içinde farklılık gösterebilir. Örneğin havalandırma havuzu için gerekli olan havalandırma ihtiyacı blower veya yüzeysel aeratörler ile sağlanabilir. Blower ile havalandırma seçilirse tesisin mekanik ve elektrik maliyetinde yüzeysel aeratöre göre büyük oranda artışa neden olacaktır. İnşaat maliyetleri tesisin yapıldığı alanın deprem bölgesinde olması, zemin sınıfının düşük olması ile gerekli olan zemin iyileştirme ihtiyacı ve taşkın riski olan bölgelerde istinat duvarı ihtiyacı gibi nedenlerle farklılık göstermektedir.



Şekil 3. 5 Bio-P+SDNP ilk yatırım maliyetinde inşaat, mekanik, elektrik ve diğer giderlerin yüzdesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Ülkemizde Atıksu Arıtma Tesislerinde İlk Yatırım Maliyetleri

Ülke genelinde inşa edilen farklı proseslerden 230 adet AAT'nin ilk yatırım maliyetleri ihale dokümanlarından ve tesislerden elde edilen verilerden derlenmiştir. Fiziksel arıtma, paket arıtma tesisleri, biyolojik arıtma, ileri biyolojik arıtma, stabilizasyon havuzu ve yapay sulak alan tesislerinden oluşan bu 230 AAT için kapasite, tasarım nüfusu ve ilk yatırım maliyetleri verileri belirlenmiştir. AAT'lerden ve kamu ihale kurumundan edilen ilk yatırım bilgileri doğrultusunda AAT'nin yapım yılı ve o yıldaki döviz kurları incelenerek tesisin ilk yatırım maliyeti Euro olarak hesaplanmıştır. İhale bedeli öğrenilen AAT'lerinden yapım işinde kollektör inşası olan tesisler kapsam dışında tutulmuştur. Çizelge 4.1'de tez kapsamında incelenen Türkiye'de AAT yatırım maliyetleri özetlenmiştir. Buna göre; yatırım bedeline ulaşılabilen 230 AAT'de toplam yaklaşık 3.5 milyon m³/gün arıtma kapasitesi vardır ve yaklaşık 18.3 milyon nüfusa hizmet vermektedir. Bu 230 AAT'nin yatırım bedeli ise yaklaşık 788 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. İncelenen farklı arıtma prosesleri için yatırım maliyeti 43 Euro/kşi olarak gerçekleşmiştir. Bu yatırım bedeli atıksu miktarı ile ilişkilendirildiğinde ise 225 Euro/m³/gün olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. 1 Türkiye'de AAT yatırım maliyetleri

Aritma Prosesleri (AAT sayısı)	Toplam AAT Sayısı	Toplam AAT Kapasitesi, m ³ /gün	Toplam AAT Nüfus, Kşi	Toplam Sözleşme Bedeli, Euro	Euro/ m ³ /gün	Euro/ kşi
<ul style="list-style-type: none"> • Fiziksel Arıtma (3) • Paket Arıtma Tesisi (16) • Biyolojik Arıtma (97) • İleri Biyolojik Arıtma (107) • Stabilizasyon Havuzu (1) • Yapay Sulak Alanlar (6) 	230	3,506,895	18,330,943	788,131,522	225	43

Çizelge 4.1'de verilen bu genel değerlendirmenin ardından, ülkemizde inşa edilen 71 adet Bio-P+SNDP, 16 adet 5 kademeli Bardenpho prosesi, 26 adet UHAÇ prosesi, 9 adet OH ve 7 adet KAÇ prosesinden oluşan AAT olmak üzere toplam 129 adet AAT'nin

yapım yılı, kapasitesi ve nüfusuna göre ilk yatırım maliyetleri belirlenmiş ve sözleşme tarihindeki döviz kurları dikkate alınarak Euro bazında ilk yatırım maliyeti hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de Bio-P+SNDP, 5 kademeli Bardenpho prosesi, UHAÇ, OH ve KAÇ prosesinden oluşan AAT’ler için kapasite, hizmet ettiği nüfus ve sözleşme bedelleri verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Ülkemizdeki ileri biyolojik arıtma proseslerinin sayısı, kapasitesi ve maliyetleri

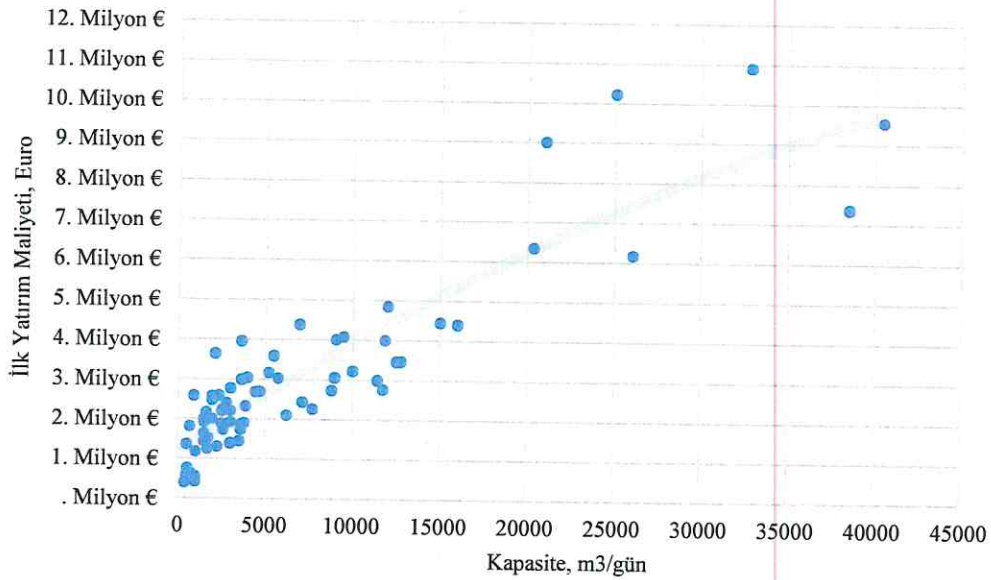
Aritma Prosesi	AAT Sayısı	Toplam AAT Kapasitesi, m ³ /gün	Toplam AAT Nüfus, Kişi	Toplam Sözleşme Bedeli, Euro	Euro/m ³ /gün	Euro/kişi
Bio-P+SNDP	71	495,843	3,491,791	210,979,153	426	60
5 kademeli Bardenpho	16	1,836,970	8,238,566	303,447,454	165	37
UHAÇ	26	84,000	662,461	43,426,261	517	65
OH	9	10,320	113,195	7,742,129	750	68
KAÇ	7	15,861	146,644	13,192,367	832	90

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere 71 adet Bio-P+SNDP olan AAT’inde toplam yaklaşık 0.5 milyon m³/gün arıtma kapasitesi vardır ve 3.5 milyon nüfusa hizmet vermektedir. Bu 71 AAT’nin yatırım bedeli ise yaklaşık 211 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Bio-P+SNDP için yatırım maliyeti 60 Euro/kişi olarak gerçekleşmiştir. Bu yatırım bedeli atıksu miktarı ile ilişkilendirildiğinde ise 426 Euro/m³/gün olarak belirlenmiştir. 16 adet 5 kademeli Bardenpho prosesi olan AAT’inde ise toplam yaklaşık 1.8 milyon m³/gün arıtma kapasitesi vardır ve 8.2 milyon nüfusa hizmet vermektedir. Bu 16 AAT’nin yatırım bedeli ise yaklaşık 303 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. 5 kademeli Bardenpho için yatırım maliyeti 37 Euro/kişi olarak gerçekleşmiştir. Bu yatırım bedeli atıksu miktarı ile ilişkilendirildiğinde ise 165 Euro/m³/gün olarak belirlenmiştir. 26 adet UHAÇ prosesi olan AAT’inde ise toplam 84 bin m³/gün arıtma kapasitesi vardır ve yaklaşık 662 bin nüfusa hizmet vermektedir. Bu 26 AAT’nin yatırım bedeli ise yaklaşık 43.5 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. UHAÇ prosesi için yatırım maliyeti 65 Euro/kişi olarak gerçekleşmiştir. Bu yatırım bedeli atıksu miktarı ile ilişkilendirildiğinde ise 517 Euro/m³/gün olarak belirlenmiştir. 9 adet OH prosesi olan AAT’inde ise toplam yaklaşık 10 bin m³/gün arıtma kapasitesi vardır ve 113 bin nüfusa hizmet vermektedir. Bu 9 AAT’nin yatırım bedeli ise yaklaşık 8 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. OH prosesi için yatırım maliyeti 68 Euro/kişi olarak gerçekleşmiştir. Bu yatırım bedeli atıksu

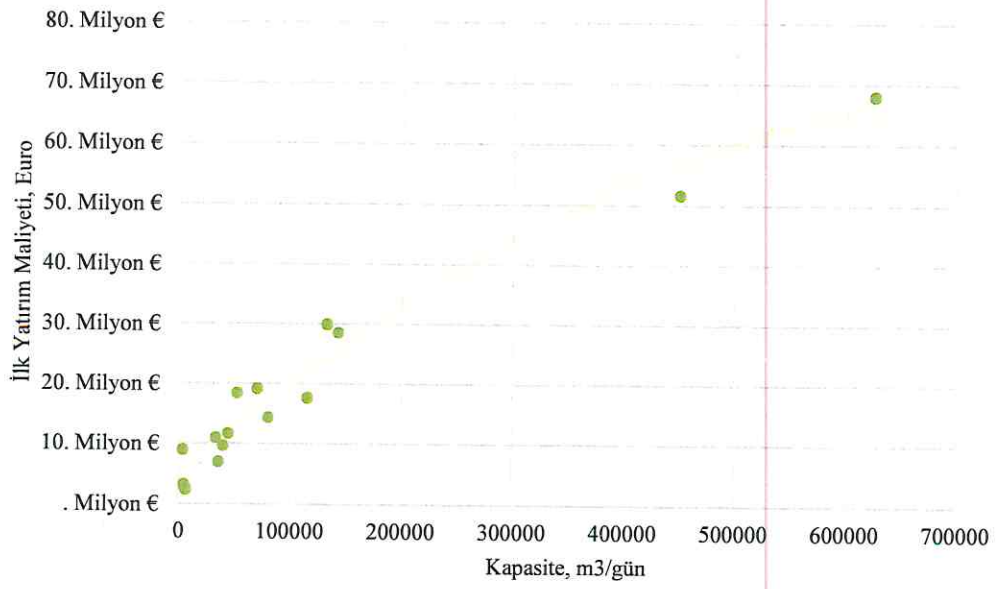
miktarı ile ilişkilendirildiğinde ise 750 Euro/m³/gün olarak belirlenmiştir. 7 adet KAÇ prosesi olan AAT'inde ise toplam yaklaşık 16 bin m³/gün arıtma kapasitesi vardır ve yaklaşık 147 bin nüfusa hizmet vermektedir. Bu 7 AAT'nin yatırım bedeli ise yaklaşık 13 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. UHAÇ prosesi için yatırım maliyeti 90 Euro/kişi olarak gerçekleşmiştir. Bu yatırım bedeli atıksu miktarı ile ilişkilendirildiğinde ise 832 Euro/m³/gün olarak belirlenmiştir.

4.1.1. Tesis Kapasitesi ve Yatırım Maliyeti İlişkileri

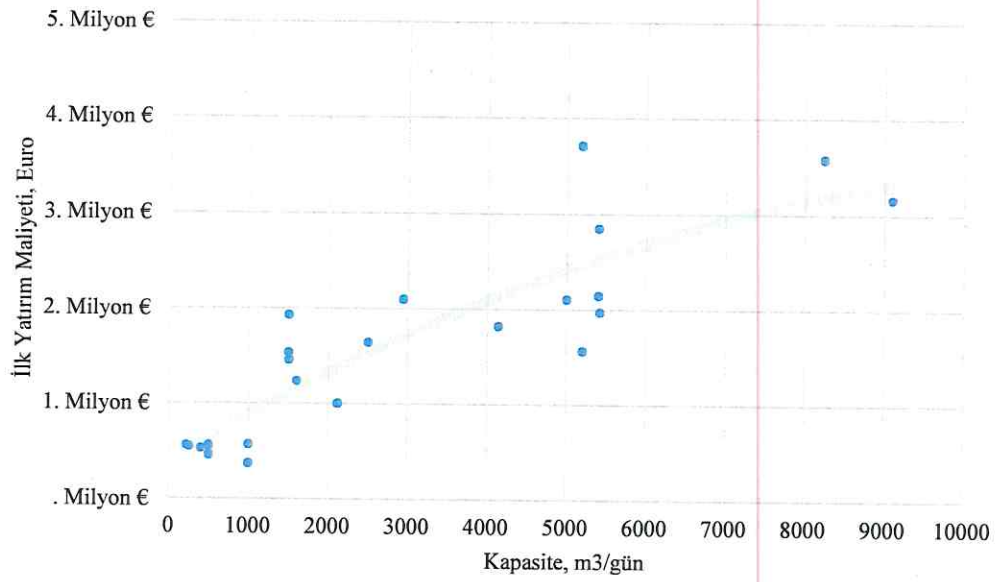
Ülkemizdeki ileri biyolojik arıtma proseslerinin sayısı, kapasitesi ve maliyetleri verilen arıtma tesisleri için kapasitelerine ve nüfuslarına göre ilk yatırım maliyet grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 4.1-5'de Bio-P+ SNDP, 5 kademeli Bardenpho, UHAÇ, OH ve KAÇ prosesi için ortalama atıksu debisine karşılık tesisin ilk yatırım maliyeti grafikleri verilmiştir. İncelenen ileri biyolojik atıksu arıtma alternatifi için yatırım maliyetini veren denklemler Çizelge 4.3'dedir.



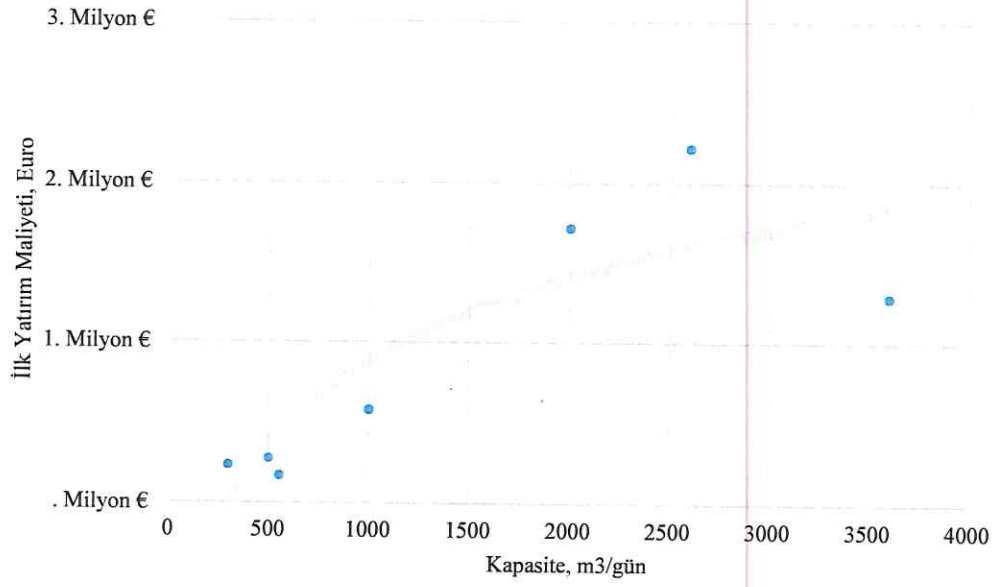
Şekil 4. 1 Bio-P+ SNDP için AAT kapasite-yatırım maliyeti



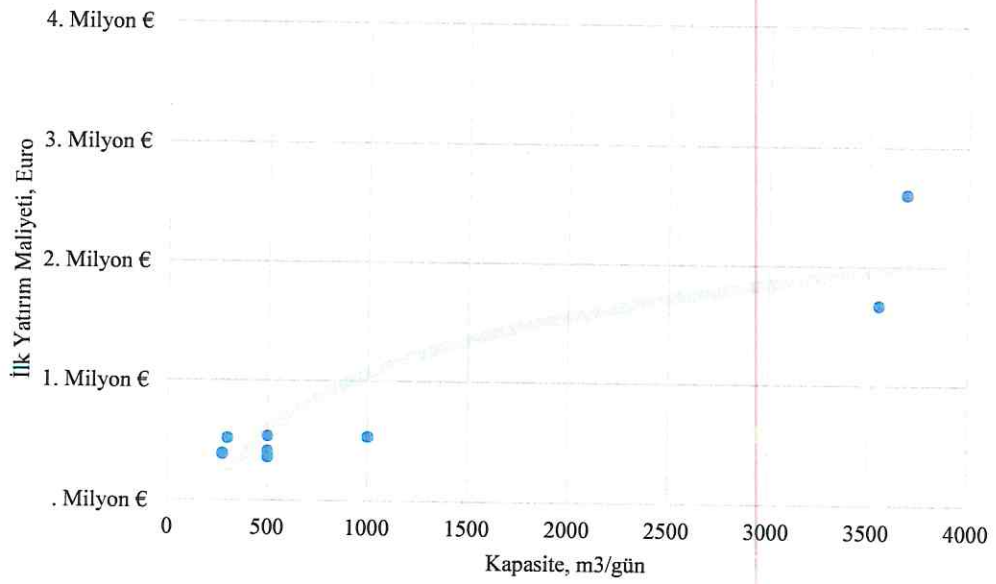
Şekil 4. 2 5 kademeli Bardenpho prosesi AAT kapasite-yatırım maliyeti



Şekil 4. 3 UHAÇ prosesi AAT kapasite-yatırım maliyeti



Şekil 4. 4 KAÇ prosesi AAT kapasite-yatırım maliyeti



Şekil 4. 5 OH prosesi AAT kapasite-yatırım maliyeti

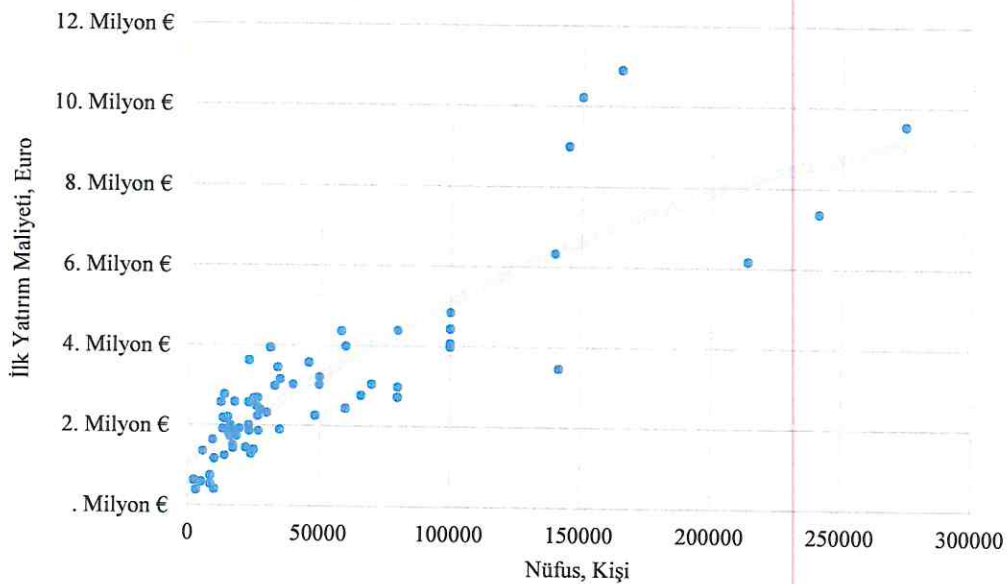
Çizelge 4. 3 Proseslere göre kapasite-yatırım maliyeti denklemleri

Arıtma Prosesi	Yatırım Maliyeti Denklemleri	R ²
Bio-P+ SNDP	$y = 292.53x + 1,168,683$	0.82
5 kademeli Bardenpho	$y = 162.52x + 4,615,303$	0.96
UHAÇ	$y = -0.0204x^2 + 506.26x + 380,803$	0.79
KAÇ	$y = 751,118\ln(x) - 4,312,021$	0.74
OH	$y = 710,044\ln(x) - 3,849,540$	0.79

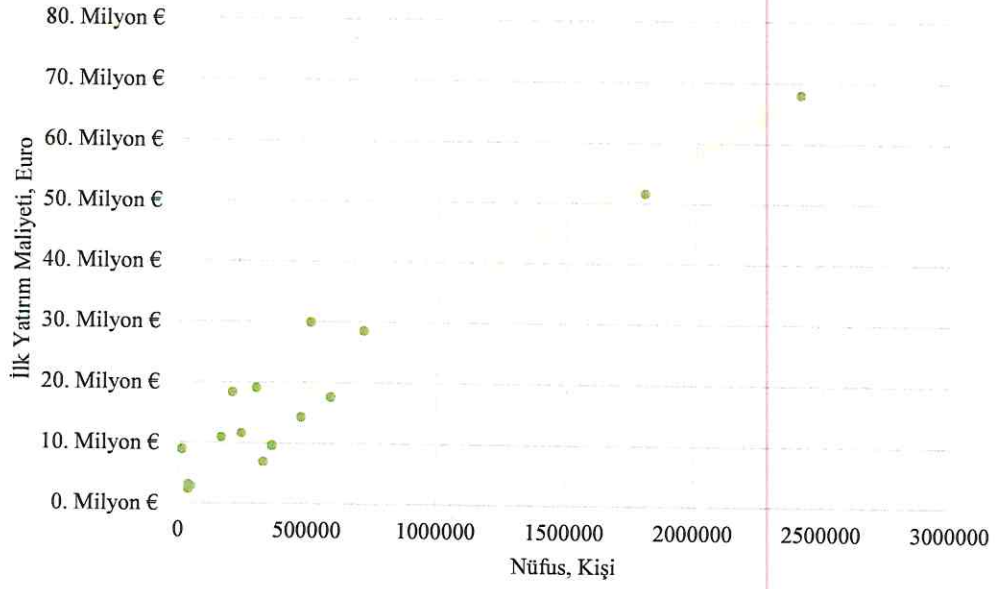
Çizelge 4.3'de görüldüğü üzere R^2 değerleri 0.74 ile 0.96 aralığında değişmektedir. Özellikle Bio-P+SDNP (0.82) ve 5 kademeli bardenpho (0.96) prosesleri ülke genelinde yaygın olarak kullanıldığından daha fazla tesis verisi ile R^2 değeri daha iyi çıkmıştır. Ancak tez kapsamında belirlenen prosesler için tesisin yapım maliyeti esas alındığından aynı debi ve proseste ilk yatırım maliyetleri farklılık gösterebilir. Bunun nedeni tesisi yaptıran kurumun inşaat, mekanik, elektrik ve işletme maliyetlerinde kendine özgü değişiklik yapmasıdır. Ülke genelinde AAT'ler incelendiğinde tesis inşaat için binaların iç ve dış özellikleri, büyüklükleri, betonarme de kullanılan demir miktarları vb. mekanik için kullanılan ekipmanların sayıları, kapasiteleri, özellikleri ve elektrik için tesiste kullanılan aydınlatma sistemleri, kamera sistemleri vb. ilk yatırım yatırım maliyetinde önemli değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Örneğin, havalandırma havuzu hava ihtiyacını sağlamak için kullanılacak blowerların 3 tipi seçilebilir. Bunlar Roots, Manyetik Yataklı ve Hava Yataklı blowerlardır. Mekanik ekipman seçimi tesisin ilk yatırım maliyeti etkilemektedir.

4.1.2 Tesis Proje Nüfusu ve Yatırım Maliyeti İlişkileri

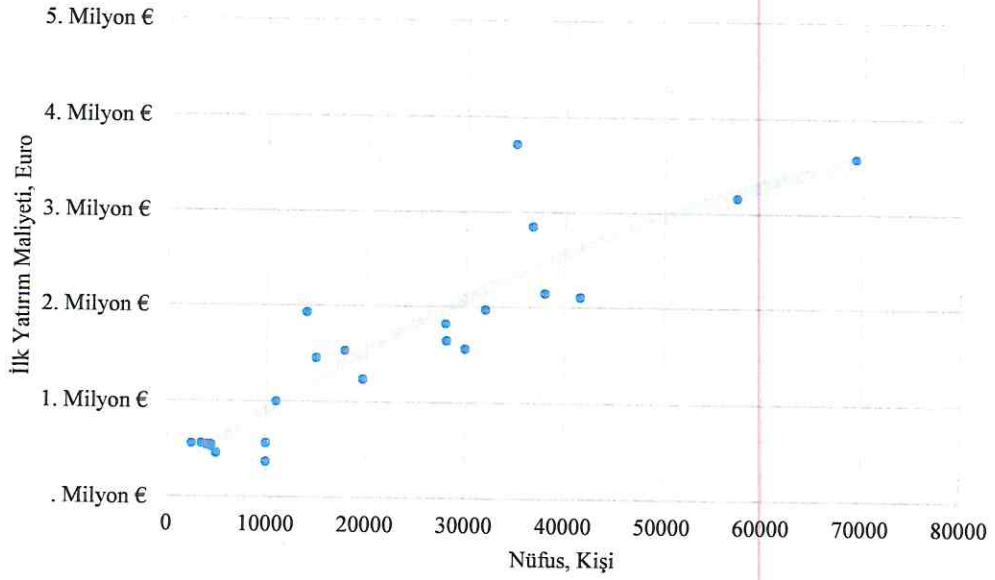
Şekil 4.6-10'da Bio-P+ S NDP, 5 kademeli Bardenpho, UHAÇ, OH ve KAÇ prosesi için tesis tasarımında esas alınan ilk kademe nüfus değerlerine karşılık tesis ilk yatırım maliyeti grafikleri ve bu doğrultuda belirlenen ilk yatırım maliyetinin hesaplanmasında kullanılacak denklemler Çizelge 4.4'de verilmiştir.



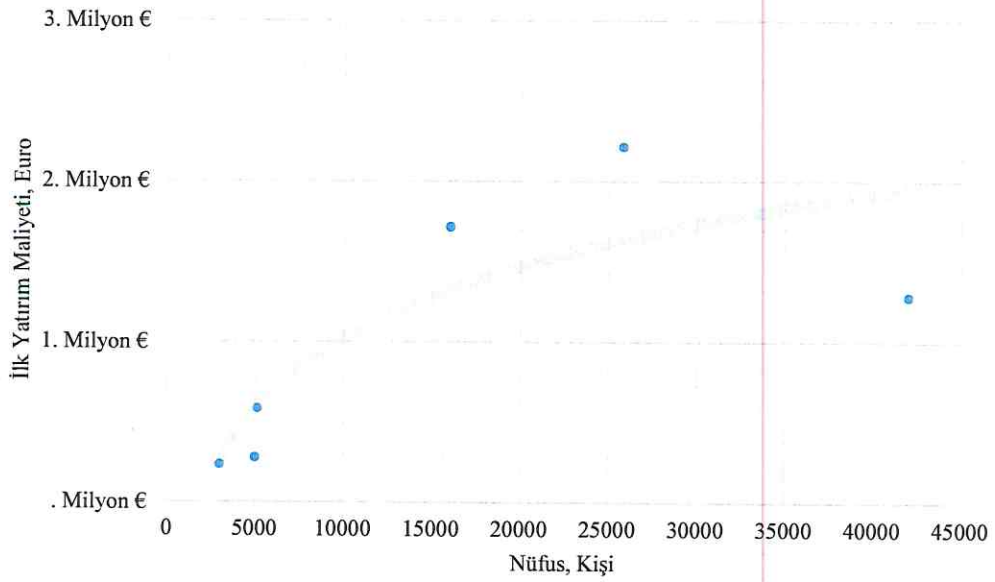
Şekil 4. 6 Bio-P+ S NDP AAT nüfus-yatırım maliyeti



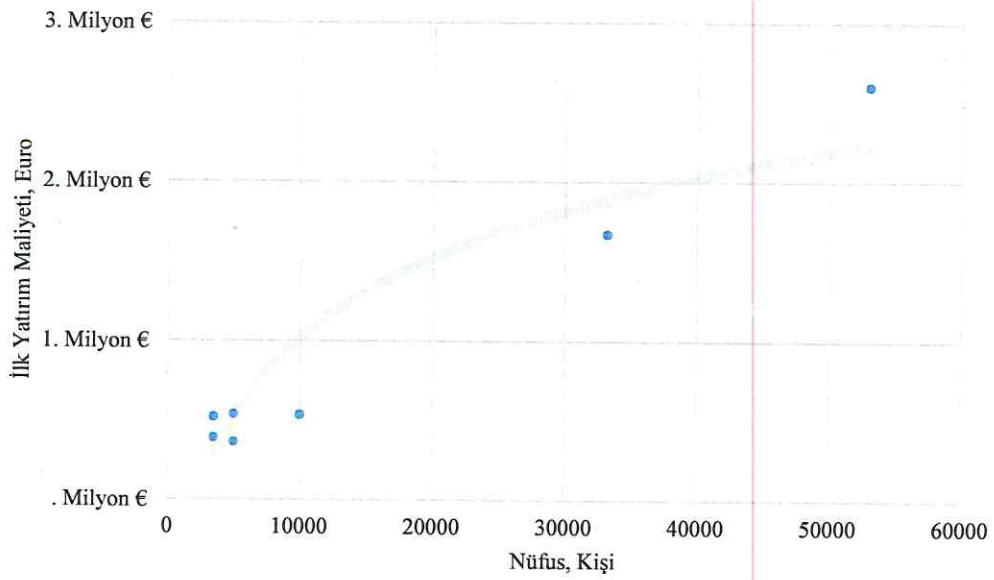
Şekil 4. 7 5 kademeli Bardenpho prosesi AAT nüfus-yatırım maliyeti



Şekil 4. 8 UHAÇ prosesi AAT nüfus-yatırım maliyeti



Şekil 4.9 KAÇ prosesi AAT nüfus-yatırım maliyeti



Şekil 4.10 OH prosesi AAT nüfus-yatırım maliyeti

Çizelge 4.4 Proseslere göre nüfus-yatırım maliyeti denklemleri

Arıtma Prosesi	Yatırım Maliyeti Denklemleri	R ²
Bio-P+ SNDP	$y = 47.69x + 976,109$	0.76
5 kademeli Bardenpho	$y = 31.14x + 4,343,367$	0.92
UHAÇ	$y = 72.454x + 207,135$	0.83
KAÇ	$y = 647,132\ln(x) - 4,941,308$	0.69
OH	$y = 729,495\ln(x) - 5,710,286$	0.88

Çizelge 4.4'de görüldüğü üzere R^2 değerleri 0.69 ile 0.92 aralığında değişmektedir. OH prosesi (0.88) ve 5 kademeli Bardenpho (0.92) prosesleri R^2 değeri daha iyi olduğu görülmektedir. 5 farklı prosesten R^2 değeri en düşük KAÇ prosesidir. Bunun nedeni ülke genelinde yaygın olarak kullanılmaması ve buna bağlı olarak elde edilen AAT ilk yatırım maliyetlerinde fiyat aralıklarının yüksek olmasıdır.

4.2. Ülkemizde Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Maliyetleri

İSKİ Genel Müdürlüğü'ne ait fiziksel arıtma, biyolojik ve ileri biyolojik arıtma tesislerinden oluşan 2017 yılı için 81 ve 2018 yılı için 86 adet AAT incelenmiştir (İSKİ, 2018) (Çizelge 4.5).

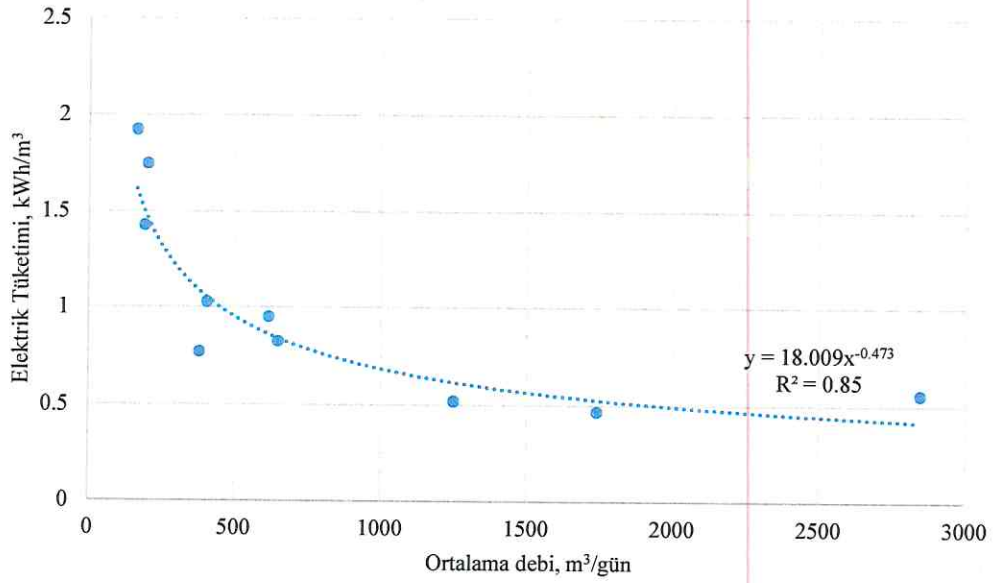
AAT'lerinde işletme maliyetinin önemli bileşenleri enerji, personel, bakım-onarım ve kimyasal giderleridir. AAT'lerindeki işletme maliyetlerinin değerlendirilmesinde SUEN tarafından 2019 yılında yapılan Büyükşehir Su ve Kanalizasyon İdareleri arasında Mukayeseli Değerlendirme Çalışması sonuçları, TÜRAAT (2016) projesi kapsamında 276 adet AAT'nden alınan işletme verileri kullanılmıştır.

Çizelge 4. 5 İSKİ tarafından işletilen AAT sayıları ve debileri (İSKİ, 2018)

Tesis Türü	2017 Yılı		2018 Yılı	
	Sayısı (Adet)	Debi (m ³ /yıl)	Sayısı (Adet)	Debi (m ³ /yıl)
İleri Biyolojik Arıtma	10	464,230,381	10	529.321,729
Biyolojik Arıtma	62	15,352,822	68	15,283,649
Fiziksel Arıtma	9	822,088,388	8	888,760,697

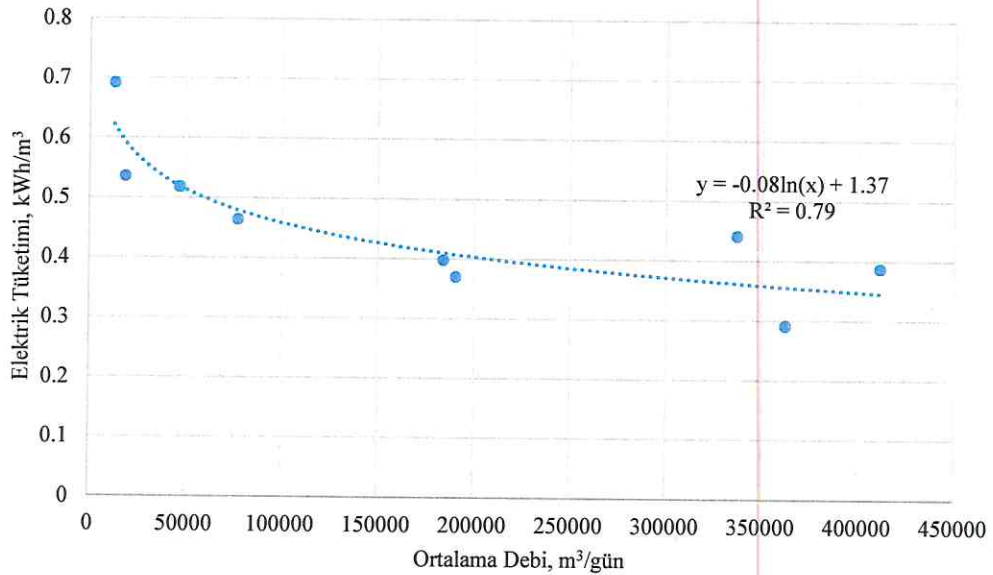
İstanbul genelinde yaygın olarak çalıştırılan OH ve 5 kademeli Bardenpho prosesleri için elektrik tüketim verileri ile tesiste arıtılan atıksu miktarları çıkarılmıştır. Hesaplamalar ile arıtma proseslerinde kapasiteye göre arıtılan atıksu başına tüketilen elektrik değerleri belirlenmiştir.

OH prosesi için Şekil 4.11 ve 5 kademeli Bardenpho proses için Şekil 4.12'de kapasiteye karşılık tüketilen kWh/m³ değerleri verilmiştir.



Şekil 4.11 Oksidasyon hendeği debi-elektrik tüketim ilişkisi

Buna göre tesis debisi arttıkça, tüketilen enerjinin azaldığı ve yaklaşık 2 kWh/m³'den birim atıksu debisi için 1000 m³/gün'den sonra 0.5 kWh/m³ değerlerine indiği görülmektedir.



Şekil 4.12 5 kademeli Bardenpho debi-elektrik tüketim ilişkisi

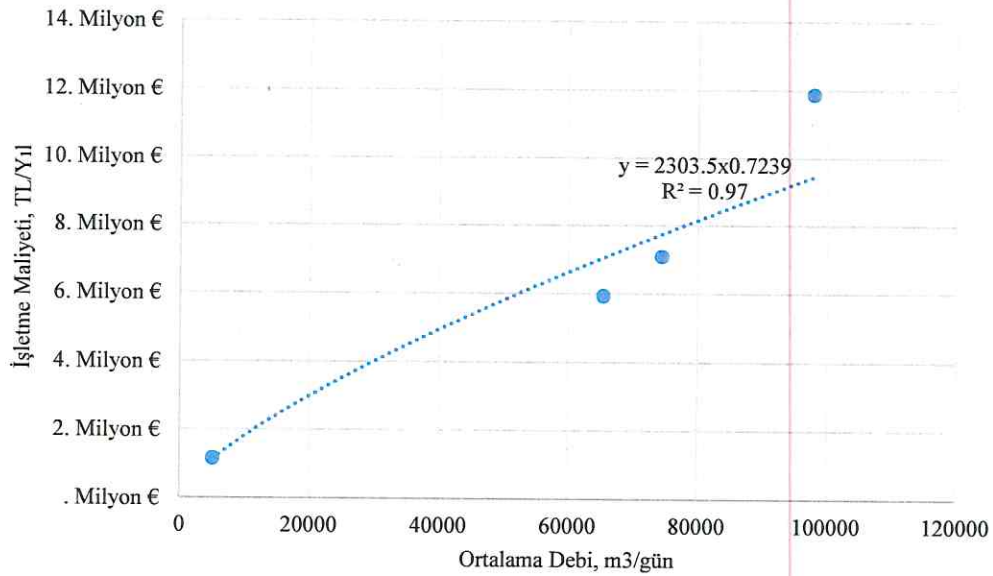
5 kademeli Bardenpho prosesi için ise 50,000 m³/gün'den küçük AAT'leri için 0.5-0.7 kWh/m³ enerji tüketim değerlerinin tesis kapasitesi arttıkça 0.3 kWh/m³ değerlerine kadar düşebildiği görülmektedir.

Tez kapsamında düzenli olarak işletme maliyetleri takip edilen İSU Genel Müdürlüğüne ait atıksu arıtma tesisleri incelenmiştir. Kocaeli genelinde kullanılan 5 kademeli Bardenpho prosesi için işletme maliyeti, elektrik maliyeti, atıksu birim maliyeti ve elektrik tüketim verileri Çizelge 4.6'da verilmiştir (İSU, 2018).

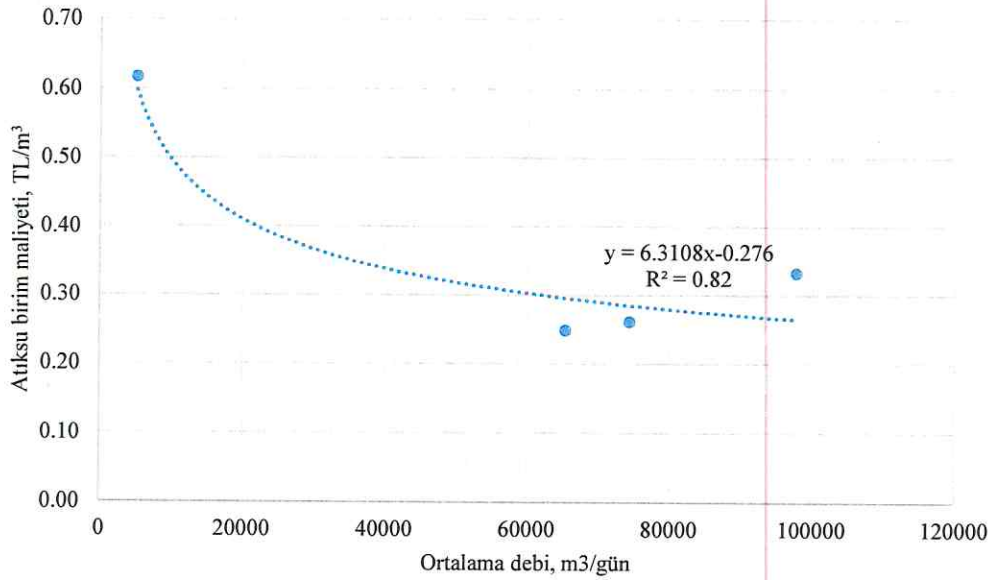
Çizelge 4. 6 İSU tarafından işletilen 5 kademeli Bardenpho prosesi AAT elektrik tüketim verileri (İSU, 2018)

Ortalama Debi, m ³ /gün	İşletme Maliyeti (TL/Yıl)	Elektrik (kWh/Yıl)	Yıllık Elektrik Maliyeti, (TLYıl)	Atık Su Birim Maliyeti (TL/m ³)	Elektrik Tüketimi (kWh/m ³)	Elektrik/İşletme Maliyet
74,379	7,089,861	10,889,408	1,861,236	0.26	0.40	26%
5,101	1,148,532	697,207	191,856	0.62	0.37	17%
65,361	5,933,253	4,344,369	1,329,936	0.25	0.18	22%
97,771	11,866,505	10,788,105	2,880,336	0.33	0.30	24%

Çizelge 3.6 incelendiğinde AAT'nin elektrik maliyeti toplam işletme maliyetinin % 17-%26'sını oluşturmaktadır. Geri kalan işletme maliyeti ise personel, kimyasal ve bakım onarım vb maliyetlerden oluşmaktadır. Kocaeli ili örneğinde de birim atıksu arıtma maliyeti debi arttıkça azaldığı görülmüştür. Ortalama debiye göre işletme maliyet grafiği Şekil 4.13'de ve ortalama debiye göre atıksu birim maliyet grafiği Şekil 4.14'da verilmiştir.



Şekil 4. 13 5 kademeli Bardenpho prosesi debi-yıllık işletme maliyeti ilişkisi



Şekil 4.14 5 kademeli Bardenpho prosesi debi-birim atıksu arıtma maliyeti ilişkisi

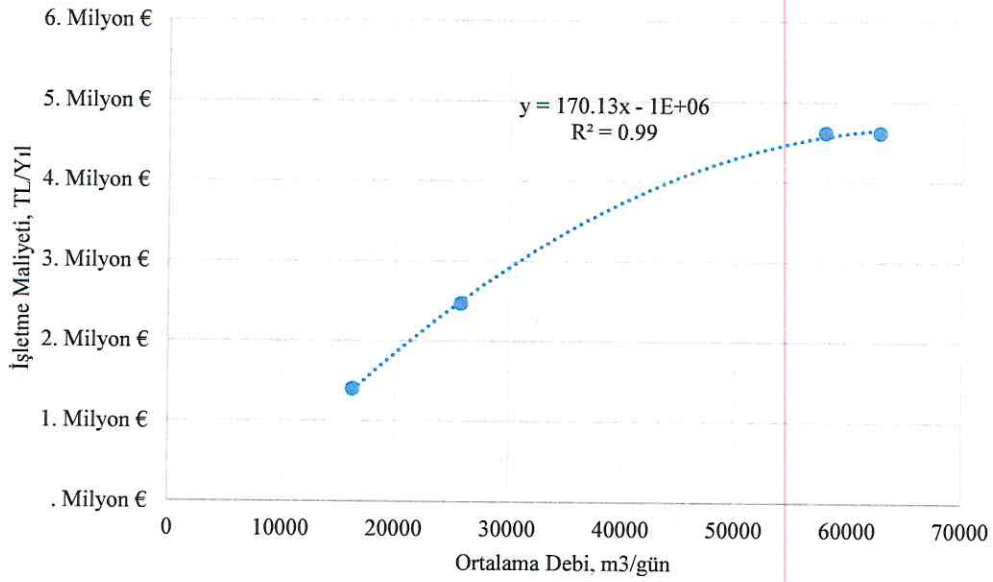
Şekil 4.13 incelendiğinde tesisin debisi arttıkça yıllık işletme maliyeti artmaktadır. Bununla beraber atıksu birim maliyeti Şekil 4.14’de görüldüğü gibi debi arttıkça azalmaktadır.

İSU Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 4 adet UHAÇ prosesi için işletme maliyeti, elektrik maliyeti ve atıksu birim maliyeti elektrik tüketim verileri Çizelge 4.7’de verilmiştir (İSU, 2018).

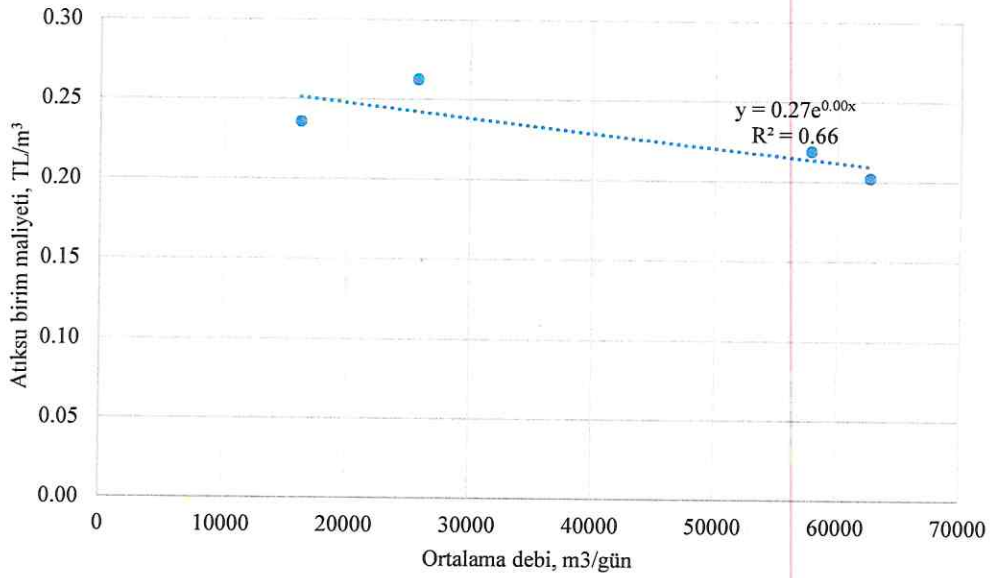
Çizelge 4.7 İSU tarafından işletilen UHAÇ prosesleri için elektrik tüketim verileri (İSU, 2018)

Ortalama Debi, m³/gün	İşletme Maliyeti (TL/Yıl)	Elektrik (Kwh/Yıl)	Yıllık Elektrik Maliyeti, (TL/Yıl)	Atık Su Birim Maliyeti (TL/m³)	Elektrik Tüketimi (Kwh/m³)	Elektrik/İşletme Maliyet
16,262	1,398,108	1,192,265	29,172	0.24	0.20	21%
57,863	4,615,820	4,848,589	1,390,848	0.22	0.23	30%
25,782	2,468,031	2,376,451	787,308	0.26	0.25	32%
62,663	4,615,820	9,229,596	1,911,348	0.20	0.40	41%

Çizelge 4.7 incelendiğinde AAT’nin elektrik maliyeti toplam işletme maliyetinin % 21-41 arasında değişmektedir. 5 kademeli Bardenpho prosesinde olduğu gibi AAT’lerinde kapasite arttıkça birim arıtma maliyeti düşmektedir. İncelenen 4 adet UHAÇ için ortalama debiye göre işletme maliyet grafiği Şekil 4.15’de ve ortalama debiye göre atıksu birim maliyet grafiği Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15 UHAÇ prosesi için debi-işletme maliyeti ilişkisi



Şekil 4.16 UHAÇ prosesi için debi-atıksu birim maliyeti ilişkisi

Şekil 4.15 incelendiğinde tesisin debisi arttıkça yıllık işletme maliyeti artmaktadır. Bununla beraber atıksu birim maliyeti Şekil 4.16'da görüldüğü gibi debi arttıkça azalmaktadır.

Ülkemizdeki mevcut AAT'leri belirlenen prosesler kapsamında incelendiğinde 5 kademeli Bardenpho prosesinin, Bio-P+ SNDP'ne göre daha yüksek kapasitelerde tercih edildiği görülmektedir. 5 kademeli Bardenpho prosesi ile tasarlanmış 625,000 m³/gün

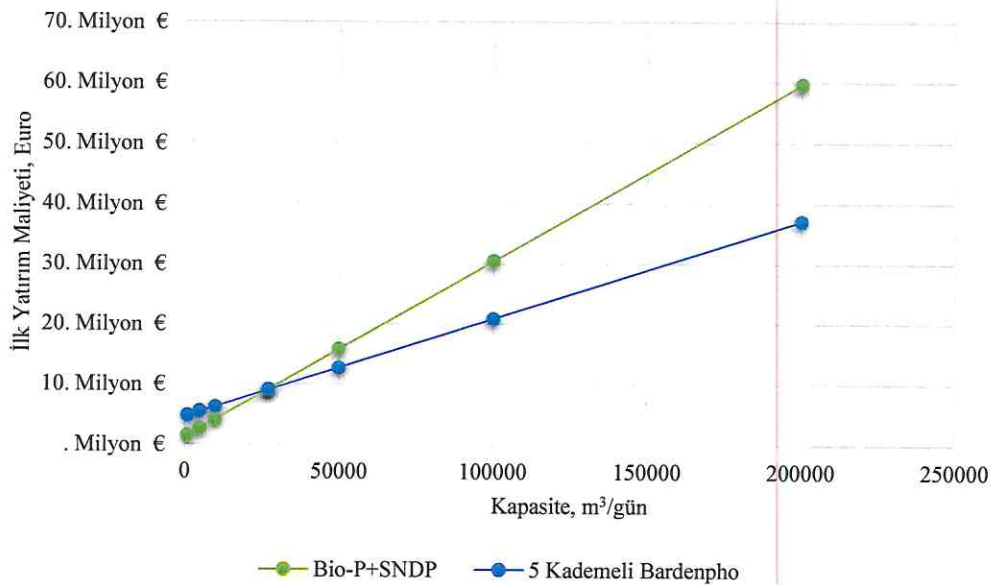
kapasiteye kadar AAT mevcut iken, Bio-P+ S NDP'ne göre inşa edilmiş tüm AAT'ler 40,000 m³/gün den daha küçük kapasitelidir.

Bu çalışma kapsamında belirlenen 71 adet Bio-P+S NDP ve 16 adet 5 kademeli Bardenpho prosesinde çalıştırılan AAT'lerinin yapım yılları 2011-2018 arasındadır.

Çalışma sonucunda AAT'nin ortalama debi ile ilk yatırım maliyetini tahmin etmek üzere belirlenen denklemler kullanılarak Çizelge 4.8'de 1,000 m³/gün'den 200,000 m³/gün kapasiteye kadar AAT'lerin ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Şekil 4.17'de, 1,000-200,000 m³/gün ortalama debi için incelenen iki ileri biyolojik arıtma alternatifinin ilk yatırım maliyetleri görülmektedir.

Çizelge 4. 8 Farklı kapasitelerdeki Bio-P+S NDP ve 5 kademeli Bardenpho proseslerinin ilk yatırım maliyetleri

Kapasite, m ³ /gün	Yatırım Maliyeti	
	Bio-P+S NDP	5 Kademeli Bardenpho
1,000	1.46 Milyon €	4.78 Milyon €
5,000	2.63 Milyon €	5.43 Milyon €
10,000	4.09 Milyon €	6.24 Milyon €
27,000	9.07 Milyon €	9.00 Milyon €
50,000	15.80 Milyon €	12.74 Milyon €
100,000	30.42 Milyon €	20.87 Milyon €
200,000	59.67 Milyon €	37.12 Milyon €



Şekil 4. 17 Bio-P+S NDP ve 5 kademeli Bardenpho proseslerinin ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.8'de ve Şekil 4.17'de görüldüğü üzere $<27,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'den kapasiteli tesislerde Bio-P+SNDP'nin yatırım maliyeti olarak daha uygun iken $>27,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'den büyük kapasiteli tesislerde 5 kademeli Bardenpho prosesinin ilk yatırım maliyeti daha uygundur.

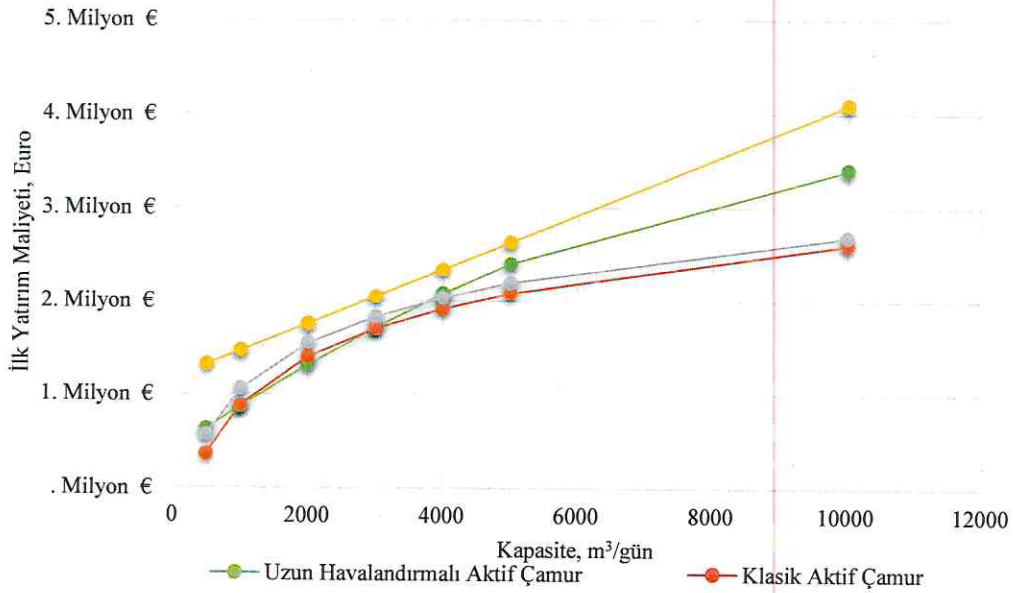
5 kademeli Bardenpho prosesi olan AAT'lerinde çamur yaşı Çizelge 2.3'de görüldüğü üzere Bio-P+ SNDP'ne göre daha düşük seviyelerde çalıştırıldığından yatırım maliyetindeki en büyük etken olan havalandırma havuzu hacmi Bio-P+ SNDP'e göre daha azalacaktır. Böylece inşaat maliyeti ve havalandırma hacminin azalması ile gerekli hava miktarı azalacağından mekanik ekipman maliyetinde de azalma olacaktır. Ancak 5 kademeli Bardenpho prosesinde düşük çamur yaşı sonucu stabil çamur oluşmamaktadır. Dolayısı ile çamur stabilizasyonu için aerobik veya anaerobik çürütücü yapılması gerekmektedir. Anaerobik çürütücü yapılması durumunda enerji üretimi için prosesler eklenebilir. Bio-P+ SNDP'nde tasarım yüksek çamur yaşı ($>25 \text{ gün}$)'nda yapıldığı için stabil çamur elde edilmektedir. Sistemde oluşan fazla çamur, doğrudan mekanik susuzlaştırma ekipmanlarına verilebilir.

Çalışma kapsamında belirlenen 26 adet UHAÇ, 9 adet OH ve 7 adet KAÇ prosesinde çalıştırılan AAT'lerinin yapım yılları 2011-2018 arasındadır. UHAÇ, KAÇ ve OH prosesleri ülke genelinde $200-10,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli tesislerdir.

Çalışma sonucunda AAT'nin ortalama debi ile ilk yatırım maliyetini tahmin etmek üzere belirlenen denklemler kullanılarak Çizelge 4.9'da $500 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'den $10,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteye kadar AAT'lerin ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara küçük kapasitelerde tasarlanabilen Bio-P + SNDP'de eklenmiştir. Şekil 4.18'de, $500-10,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ortalama debi için incelenen 3 biyolojik arıtma ve 1 ileri biyolojik arıtma alternatifinin ilk yatırım maliyetleri görülmektedir.

Çizelge 4. 9 Farklı kapasitelerde 4 farklı biyolojik arıtma prosesinin ilk yatırım maliyetleri

Kapasite, $\text{m}^3/\text{gün}$	Yatırım Maliyeti			
	UHAÇ	KAÇ	OH	Bio-P+SNDP
500	0.63 Milyon €	0.36 Milyon €	0.56 Milyon €	1.31 Milyon €
1,000	0.87 Milyon €	0.88 Milyon €	1.06 Milyon €	1.46 Milyon €
2,000	1.31 Milyon €	1.4 Milyon €	1.55 Milyon €	1.75 Milyon €
3,000	1.72 Milyon €	1.7 Milyon €	1.84 Milyon €	2.05 Milyon €
4,000	2.08 Milyon €	1.92 Milyon €	2.04 Milyon €	2.34 Milyon €
5,000	2.4 Milyon €	2.09 Milyon €	2.2 Milyon €	2.63 Milyon €
10,000	3.4 Milyon €	2.61 Milyon €	2.69 Milyon €	4.09 Milyon €



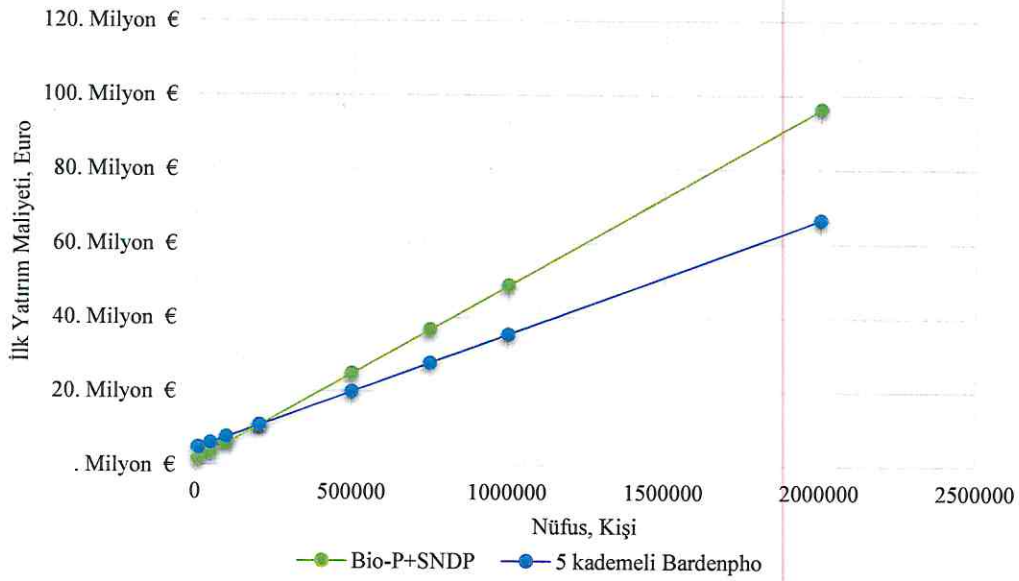
Şekil 4. 18 UHAÇ, KAÇ, OH prosesleri ve Bio-P+SNDP ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması

Çizelge 5.2’de ve Şekil 5.2’de görüldüğü üzere Bio-P+SNDP prosesi ileri biyolojik bir AAT olduğundan ilk yatırım maliyeti diğer proseslere göre yüksek çıkmıştır. Belirlenen aralıktaki kapasitelerdeki AAT için en düşük ilk yatırım maliyetleri KAÇ prosesi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Çizelge 2.3’de görüldüğü üzere KAÇ prosesinin diğer arıtma proseslerine göre daha düşük hidrolik alıkonma süresi ve çamur yaşında ile çalıştırılmasıdır.

AAT ilk yatırım maliyetini tesisin tasarım nüfusuna göre tahmin etmek üzere belirlenen denklemler kullanılarak Çizelge 4.10’de Bio-P+SDNP ve 5 kademeli Bardenpho prosesi için 10 bin kişiden 2 milyon kişiye kadar AAT’lerin ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Şekil 4.19’da incelenen iki ileri biyolojik arıtma alternatifinin ilk yatırım maliyetleri görülmektedir.

Çizelge 4. 10 Farklı nüfuslardaki Bio-P+SDNP ve 5 kademeli Bardenpho proseslerinin ilk yatırım maliyetleri

Nüfus, Kişi	Yatırım Maliyeti	
	Bio-P+SDNP	5 kademeli Bardenpho
10,000	1.45 Milyon €	4.65 Milyon €
50,000	3.36 Milyon €	5.9 Milyon €
100,000	5.75 Milyon €	7.46 Milyon €
205,000	10.75 Milyon €	10.73 Milyon €
500,000	24.82 Milyon €	19.91 Milyon €
750,000	36.74 Milyon €	27.7 Milyon €
1,000,000	48.67 Milyon €	35.48 Milyon €
2,000,000	96.36 Milyon €	66.62 Milyon €



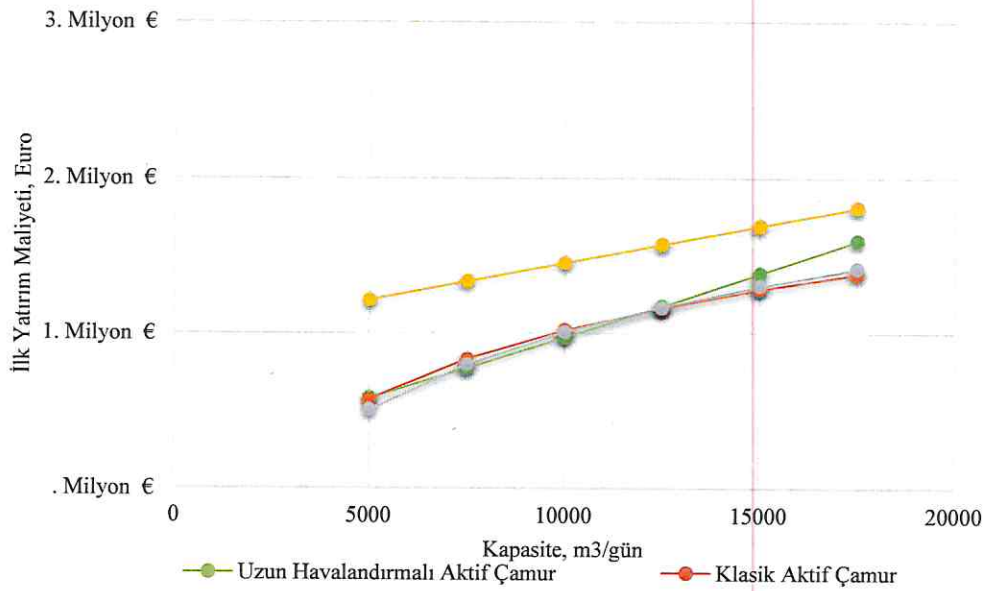
Şekil 4. 19 Farklı nüfuslar AAT ilk yatırım maliyetleri

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.19'de görüldüğü üzere <205,000 kişiden AAT'lerde Bio-P+SDNP yatırım maliyeti olarak daha uygun iken >205,000 kişiden AAT'lerde 5 kademeli Bardenpho prosesinin ilk yatırım maliyeti daha uygundur.

Çizelge 4.11'de ise UHAÇ, KAÇ, OH ve Bio-P+SDNP için 5 bin kişiden 20 bin kişiye kadar AAT'lerin ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Şekil 4.20'de incelenen iki biyolojik arıtma alternatifinin ilk yatırım maliyetleri görülmektedir.

Çizelge 4. 11 Farklı nüfuslardaki UHAÇ, KAÇ, OH prosesleri ve Bio-P+SNDP ilk yatırım maliyeti

Nüfus, kişi	Yatırım Maliyeti			
	UHAÇ	KAÇ	OH	Bio-P+SNDP
5,000	0.58 Milyon €	0.57 Milyon €	0.5 Milyon €	1.21 Milyon €
7,500	0.77 Milyon €	0.83 Milyon €	0.8 Milyon €	1.33 Milyon €
10,000	0.97 Milyon €	1.02 Milyon €	1.01 Milyon €	1.45 Milyon €
12,500	1.18 Milyon €	1.16 Milyon €	1.17 Milyon €	1.57 Milyon €
15,000	1.38 Milyon €	1.28 Milyon €	1.3 Milyon €	1.69 Milyon €
17,500	1.6 Milyon €	1.38 Milyon €	1.42 Milyon €	1.81 Milyon €
20,000	1.82 Milyon €	1.47 Milyon €	1.51 Milyon €	1.93 Milyon €



Şekil 4. 20 UHAÇ, KAÇ, OH prosesleri ve Bio-P+SNDP ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması

Ancak AAT kapasitesi belirlenirken nüfusun yanında; kişi başı su kullanımı, sızma debisi, sanayi debisi ve atıksu karakterizasyonu dikkate alınmaktadır. Bu değerler yerleşim yerlerine göre değişiklik göstereceğinden nüfus değerinin ilk yatırım maliyetinin belirlenmesinde debi-maliyet denklemleri kadar doğru yaklaşım vermeyebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile ülke genelinde 1127 adet AAT'nden fiziksel arıtma, paket arıtma, biyolojik arıtma, ileri biyolojik arıtma, stabilizasyon havuzu, yapay sulak alan prosesine sahip 230 adet AAT incelenmiştir.

“Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik” ve *“Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği”* de dikkate alındığında biyolojik nütrient giderim prosesleri önümüzdeki yıllarda giderek artacaktır. Bundan dolayı, tez kapsamında ülke genelinde yaygın olarak kullanılan ve yukarıda belirtilen yönetmelikler doğrultusunda 2011-2018 yılları arasında ülkemizde inşa edilen 71 adet Bio-P + SNDP, 16 adet 5 kademeli Bardenpho prosesi, 26 adet UHAÇ, 9 adet OH ve 7 adet KAÇ prosesinden oluşan AAT olmak üzere toplam 129 adet AAT'nin ilk yatırım maliyetleri ihale dokümanlarından ve tesislerden elde edilen verilerden araştırılmış, bu verilerden hareketle tesis kapasitesi ile ilk yatırım maliyeti ve nüfus ile ilk yatırım maliyeti arasındaki ilişkileri gösteren denklemler ve grafikler oluşturulmuştur. Bunun yanında, ülkemizdeki AAT'lerin işletme maliyetleri araştırılarak, prosesler bazında elektrik tüketimleri ve birim işletme maliyetleri değerlendirilmiştir.

Atıksu arıtma tesislerinde kişi başına düşen ilk yatırım maliyetleri 5 farklı arıtma prosesinden oluşan 129 adet AAT için 37 Euro/ kişi ile 90 Euro/kişi arasında olup ortalama 64 Euro/kişi olarak hesaplanmıştır. Ülke genelinde 230 AAT ve 7 arıtma prosesinden elde edilen verilerde ise bu değer 43 Euro/kişi olarak hesaplanmıştır. GWI verilerine göre ise kişi başına düşen ilk yatırım maliyeti dünya genelinin ortalaması 59 Euro/kişi (62 Dolar/kişi)'dir.

AAT'lerde işletme maliyetleri ise tez kapsamında elde edilen AAT verileri, TÜRAAT projesi verileri, SUEN tarafından 2019 yılında yapılan araştırma sonuçları ve Dünya genelinde yapılan çalışmalar ile değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında İSKİ ve İSU Genel Müdürlüğü tarafından işletilen AAT'den elde edilen veriler ile SUEN ve TÜRAAT verilerinin AAT işletme maliyetleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Ayrıca tez çalışma ile işletme maliyetleri çalışılan AAT'lerdeki birim atıksu başına elektrik tüketimi, SUEN verileri, Yang ve ark. 2010 yılındaki ve Mizuta ve Shimada (2010); Pitas ve ark. (2010); Plappally (2012); Bodik ve Kubaska (2013) çalışmalarındaki veriler Çizelge 5.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 5. 1 Tez çalışması, SUEN ve TÜRAAT verilerine göre birim arıtılan atıksu başına işletme maliyetleri

ARITMA PROSESİ	Tez Çalışması (2019), (Euro/m ³)	SUEN (2019), (23 BB*) (Euro/m ³)	TÜRAAT (2016), (Euro/m ³)
Ülke Geneli	-	0.03 (0.01-0.08)	<0.12 (192 AAT) 0.12-0.31 (77 AAT) 0.31-0.46 (21 AAT) >0.46 (11 AAT)
UHAÇ	0.03	-	-
5 Kademeli Bardenpho	0.05	-	-

* Büyükşehir Belediyesi

TÜRAAT Projesi kapsamında 301 AATden elde edilen işletme verileri 2016 yılı Mart-Haziran ayları için TL bazında elde edilmiştir. AAT'lerden alınan birim arıtma maliyetleri 2016 yılı Mayıs ayı Euro kuru üzerinden (1 Euro= 3.2 TL) çevrilerek, işletme maliyetleri hesaplanmıştır. 2019 yılı itibari ile Euro kuru değiştiğinden, TÜRAAT dan elde edilen işletme maliyetleri Euro bazında daha yüksek görünmektedir.

Çizelge 5. 2 Tez çalışması, SUEN, Yang ve ark., 2010, Mizuta ve Shimada, 2010; Pitas ve ark., 2010; Plappally, 2012; Bodik ve Kubaska, 2013 verilerine göre birim arıtılan atıksu başına elektrik tüketimleri

ARITMA PROSESİ	Tez Çalışması, (kWh/m ³)	SUEN, (23 BB*) (kWh/m ³)	Yang ve ark., 2010, (kWh/m ³)	Mizuta ve Shimada, 2010; Pitas ve ark., 2010; Plappally, 2012; Bodik ve Kubaska, 2013, (kWh/m ³)
Türkiye Geneli	-	0.22	-	-
Birincil Arıtma	-	0.07	-	-
KAÇ	-	-	0.269	-
OH	-	-	0.302	-
UHAÇ	0.2	-	0.340	-
5 Kademeli Bardenpho	0.4	-	-	-
Biyolojik Arıtma	0.2 (UHAÇ)	0.30	-	-
İleri Biyolojik Arıtma	0.4 (5 kademli Bardenpho)	0.29	-	Japonya, 0.39-3.74 kWh/m ³ ABD, 0.43 kWh/m ³ , Tayvan, 0.41 kWh/m ³ Yeni Zelanda, 0.49 kWh/m ³ Macaristan, 0.45-0.75 kWh/m ³

* Büyükşehir Belediyesi

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

Bio-P+ SDNP, 5 kademeli Bardenpho, UHAÇ, OH ve KAÇ prosesleri için ilk yatırım maliyet grafikleri oluşturulmuş ve bu doğrultuda denklemler çıkarılmıştır. Ülkemizde AAT projelendirmesi ve yatırımı yapan kurum ve kuruluşlar, yerel yönetimler ile özel sektöre planladıkları AAT'nin ilk yatırım maliyetlerini hızlı bir şekilde tahmin edebilmeleri sağlanmıştır.

Biyolojik arıtma prosesleri değerlendirildiğinde ilk yatırım maliyeti en düşük olan KAÇ prosesi, en yüksek olan ise UHAÇ prosesi olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni KAÇ prosesinden çamur yaşı 3-15 gün, hidrolik bekleme süresi 3-5 saat iken UHAÇ prosesinde bu değerler sırası ile 20-40 gün ve 18-36 saat'dir. Yüksek çamur yaşı ve hidrolik bekleme süreleri, AAT ilk yatırım maliyetinin belirlenmesinde en önemli etken olan havalandırma havuzu hacmi ve buna bağlı olan havalandırma kapasitesinin de yüksek seçilmesine neden olmaktadır.

İleri biyolojik arıtma prosesleri değerlendirildiğinde $>27,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli AAT'leri için Bio-P+SDNP ilk yatırım maliyeti, $<27,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteli AAT'leri için ise 5 kademeli Bardenpho prosesinin ilk yatırım maliyet daha uygun olduğu görülmektedir.

Ancak AAT projelendirmesi yapılırken arıtma prosesinin belirlenmesinde, tesisin yapılacağı yerin hassas alanda olup olmadığı, tesise gelen kirlilik yükü, tesis deşarj noktası ve buna bağlı olarak arıtılan atıksuyun kullanım amacı, tesiste oluşacak çamurun bertaraf yöntemi de dikkate alınmalı ve hepsi bir bütün olarak değerlendirilmelidir.

AAT'lerinde kullanılacak ekipmanlar ise tesisin ilk yatırım maliyetini etkileyen önemli bir unsurdur. Kullanılan ekipmanların adeti, havalandırma sisteminin seçimi (yüzeysel aeratör, blower), dezenfeksiyon sistemleri (UV, klor, ozon vb.) ve arıtılan atıksuyun yeniden kullanılması için gerekli olan arıtma prosesleri (hızlı ve basınçlı kum filtreleri, disk ve mekanik filtreler, membran prosesler vb.) ilk yatırım maliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Amaca uygun proses ve ekipman seçimi ile ilk yatırım maliyetlerinde minimizasyon yapılabilmektedir.

AAT'lerinin işletme maliyeti değerlendirildiğinde ise tesisin toplam elektrik tüketiminin büyük kısmını havalandırma sistemleri, atıksu ve çamur pompaları oluşturmaktadır. Özellikle havalandırma sistemleri toplam enerji sisteminin yaklaşık yarısını tüketmektedir. Havalandırma sistemi kapasitesi belirleyen unsurlar ise atıksu kirlilik yükü ve havalandırma havuz hacmidir. AAT projelendirilirken bu iki kritere doğru karar verilmesi AAT işletme maliyetini minimum seviyede olmasını sağlayabilecektir.

Bu tez çalışması ile ülkemizde AAT projelendirmesi ve yatırımı yapan kurum ve kuruluşlar, yerel yönetimler ve özel sektörler amacına uygun belirlediği prosesin ilk yatırım ve işletme maliyetini yaklaşık olarak tahmin edebilir ve bütçelerini doğru planlayabilirler.

Ülkemizde sayıları giderek artan AAT ilk yatırım ve işletme maliyetleri özellikle belediyeler için önemli bir finansman ihtiyacı gerektirmektedir. Bu nedenle, atıksu arıtma tesisleri sadece atıksu bertarafının yapıldığı tesisler yerine, su ve enerji üretim merkezleri olarak planlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Agency, E. E., 2017, Urban waste water treatment, *European Environment Agency*.
- Barillon, B., Ruel, S. M., Langlais, C. ve Lazarova, V., 2013, Energy efficiency in membrane bioreactors, *Water Science and Technology*, 67 (12), 2685-2691.
- Bodik, I. ve Kubaska, M., 2013, Energy and sustainability of operation of a wastewater treatment plant, *Environment Protection Engineering*, 39 (2), 15--24.
- Brepols, C., 2010, Operating large scale membrane bioreactors for municipal wastewater treatment, IWA publishing, p.
- Cornel, P., Wagner, M. ve Krause, S., 2003, Investigation of oxygen transfer rates in full scale membrane bioreactors, *Water Science and Technology*, 47 (11), 313-319.
- Crini, G. ve Lichtfouse, E., 2019, Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment, *Environmental Chemistry Letters*, 17 (1), 145-155.
- Çitil, E., 1995, Evsel atıksu arıtma tesislerinin optimum tasarımı, *İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- ÇŞB, 2015, Atıksu Artımı Eylem Planı 2015-2023, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*.
- Erdoğan, A. O., ORHON, D., SÖZEN, S. ve GÖRGÜN, E., 2011, Türkiye'de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı, *İTÜDERGİSİ/d*, 5 (2).
- EurEau, 2017, Europe's water in figures, An overview of the European drinking water and waste water sectors, *The European Federation of National Water Services*.
- EurEau, 2018, The governance of water services in Europe, *The European Federation of National Associations of Water Services*, 64.
- Gasson, C., 2017, A new model for water access, A GLOBAL BLUEPRINT FOR INNOVATION, *The Global Water Leaders Group*.
- Gu, Y., Li, Y., Li, X., Luo, P., Wang, H., Robinson, Z. P., Wang, X., Wu, J. ve Li, F., 2017, The feasibility and challenges of energy self-sufficient wastewater treatment plants, *Applied energy*, 204, 1463-1475.
- GWİ, 2014, Global Water Market 2014, *Global Water Intelligence, Oxford*.
- İSKİ, 2018, 2018 Faaliyet Raporu, *İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü*.
- İSU, 2018, 2018 Faaliyet Raporu, *Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü*.
- Kneppers, B., Birchfield, D. ve Lawton, M., 2009, Energy-water relationships in reticulated water infrastructure systems, *Water Supply (kWh/Capita)*, 76 (20.86), 75.15.
- Krzeminski, P., van der Graaf, J. H. ve van Lier, J. B., 2012, Specific energy consumption of membrane bioreactor (MBR) for sewage treatment, *Water Science and Technology*, 65 (2), 380-392.
- Liu, F., Ouedraogo, A., Manghee, S. ve Danilenko, A., 2012, A primer on energy efficiency for municipal water and wastewater utilities.
- Mamais, D., Noutsopoulos, C., Dimopoulou, A., Stasinakis, A. ve Lekkas, T., 2015, Wastewater treatment process impact on energy savings and greenhouse gas emissions, *Water Science and Technology*, 71 (2), 303-308.
- Mizuta, K. ve Shimada, M., 2010, Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plants in Japan, *Water Science and Technology*, 62 (10), 2256-2262.
- Nas, B., 2017, Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözümleri, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, p.

- OECD, 2019, OECD Environmental Performance Reviews: TURKEY, *OECD*.
- Öztürk, İ., 2017, Atıksu Mühendisliği, *İSKİ Genel Müdürlüğü*, p.
- Palmowski, L., Veltmann, K. ve Pinnekamp, J., 2011, Optimization measures of large MBR plants to lower energy consumption, *6th IWA Specialist Conference on Membrane Technology for Water and Wastewater Treatment, Aachen (Germany)*.
- Pitas, V., Fazekas, B., Banyai, Z. ve Karpati, A., 2010, Energy efficiency of the municipal wastewater treatment, *Journal of Biotechnology* (150), 163-164.
- Plappally, A., 2012, Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (7), 4818-4848.
- RobecoSAM, A., 2015, Water: the market of the future, *RobecoSAM Study. Saatavilla: http://www.robecosam.com/images/RobecoSAM_Water_Study_e.pdf*, viitattu, 13, 2018.
- Rodriguez-Garcia, G., Molinos-Senante, M., Hospido, A., Hernández-Sancho, F., Moreira, M. ve Feijoo, G., 2011, Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants, *water research*, 45 (18), 5997-6010.
- Sanderson, B. ve Knutti, R., 2012, Climate change projections: Characterizing uncertainty using climate models, In: *Climate change modeling methodology*, Eds: Springer, p. 235-259.
- SUEN, 2019, Büyükşehir Su ve Kanalizasyon İdareleri Arasında Mukayeseli Değerlendirme Çalışması, *Türkiye Su Enstitüsü*.
- Tao, G., Kekre, K., Oo, M. H., Viswanath, B., Yusof, A. ve Seah, H., 2010, Energy reduction and optimisation in membrane bioreactor systems, *Water Practice and Technology*, 5 (4).
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. ve Stensel, H. D., 2003, Metcalf & Eddy wastewater engineering: treatment and reuse, *International Edition. McGrawHill*, 4, 361-411.
- Team, C. W., Pachauri, R. K. ve Meyer, L., 2014, IPCC, 2014: climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on Climate Change. *IPCC, Geneva, Switzerland*, 151.
- Tuna, M., 1995, Atıksu arıtma tesisleri maliyet indeksi ve debi-maliyet ilişkileri, *İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- TÜRAAT, 2016, Ülke Genelindeki Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi, Proje Nihai Raporu, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Selçuk Üniversitesi, Proje Koordinatörü Prof.Dr. Bilgehan NAS*.
- Uslu, H., 1984, Arıtma sistemlerinin Türkiye'deki maliyetleri.
- Walther, E., 2009, Energy Efficiency and GHG Reduction in Wastewater Facilities, *Northern California Chapter Meeting 2009*.
- Yamaç, F. T., 2016, Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri Maliyetlerine Etki Eden Faktörler ve Kişi/Maliyet Analizleri, İller Bankası Anonim Şirketi, 87.
- Yang, L., Zeng, S., Chen, J., He, M. ve Yang, W., 2010, Operational energy performance assessment system of municipal wastewater treatment plants, *Water Science and Technology*, 62 (6), 1361-1370.
- Yüceer, A. ve Dulkadiroğlu, H., 2001, Aktif Çamur Atıksu Arıtma Tesislerinde Maliyet Analizi, *Su Kirliliği Kontrolü Dergisi*, 11, 33-42.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sefa TURGUT
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Selçuklu/1989
Telefon : 0(554) 413 59 29
E-mail : s.turgut@arbiotek.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Lisesi (YDA), Konya	2007
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013 – Devam	Arbiotek Çevre Çözümleri Ltd.Şti	Çevre Mühendisi

UZMANLIK ALANLARI

Atıksu arıtma tesisi tasarımı ve 3D çizimi.

PROJELER

- Beyşehir Atıksu Arıtma Tesisi Revizyonu İçin İhale Dokümanlarının Hazırlanması İşi
- Konya İli Atıksu Arıtma Tesisleri Bakım ve Onarım İşleri İçin İhale Dökümanı Hazırlanması İşi
- Zengen Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projesi Hazırlanması İşi
- Endüstriyel Atıksularının Arıtılması Amacı İle Torbalı Ve Ayrancılar–Yazıbaşı Atıksu Arıtma Tesislerinde Yeni Kapasitenin Belirlenmesi Ve Prosesin Tayin Edilmesine Yönelik Müşavirlik Hizmeti
- Cihanbeyli - Derebucak - Yeniceoba - Hotamış Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projeleri
- Denizli(Kale) Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projeleri Hazırlanması
- Ülke Genelindeki Eysel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı & Selçuk Üniversitesi
- Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı & Selçuk Üniversitesi
- Konya Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Arıtma Tesisine İlişkin Rapor Hazırlanması İşi

YAYINLAR

Nas, B., Turgut, S., 2019 “İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin İlk Yatırım Maliyetlerinin Değerlendirilmesi” Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi 14(132), 44-54 (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır)