KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİNİN ONLİNE İZLENMESİ İLE ENERJİ ETÜT VE OPTİMİZASYONU

İSMAİL GÜLSOY

KOCAELİ 2017

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİNİN ONLİNE İZLENMESİ İLE ENERJİ ETÜT VE OPTİMİZASYONU

İSMAİL GÜLSOY

Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN Danışman,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR Jüri Üyesi,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Prof. Dr. Sevil VELİ Jüri Üyesi,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Prof. Dr. Ebubekir YÜKSEL Jüri Üyesi,	Gebze Teknik Üniversitesi	.....
Prof. Dr. Eyüp DEBİK Jüri Üyesi,	Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 29.05.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinin Online İzlenmesi ile Enerji Etüt ve Optimizasyonu" adlı bu çalışma Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmasının her aşamasında karşılaşılan sorunların aşılmasında fikirlerinden faydalandığım, her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecini sürekli olarak izleyen, değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR ve Prof. Dr. Sevil VELİ'ye şükranlarımı sunarım.

Araştırma boyunca yardım ve desteklerini sakınmayan sayın Genel Müdürüm İlhan BAYRAM'a ve çalışmanın uygulama aşamasında bana zaman ayırarak gerekli verilerin sağlanmasında her türlü yardımı yapan Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanı Ünal BOSTAN ile tüm İSU çalışanlarına ve yönetimine teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren maddi manevi desteklerini esirgemeyen ve her an koşulsuz sevgi ve desteğini gösteren canım ailem ile her daim yanımda olan çok değerli eşim Aynur GÜLSOY ve evlatlarım İrem, Reyhan ve Ömer Hasan GÜLSOY'a şükranlarımı ifade etmek isterim.

Mayıs - 2017 İsmail GÜLSOY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 5
1.1. Enerji 5
1.2. Atık 7
1.3. Su 9
1.4. Atıksu 13
1.5. Evsel Atıksuyun Özellikleri 16
2. ATIKSU ARITMA 18
2.1. Atıksu Arıtımı 18
2.2. Atıksu Arıtma Yöntemleri 19
2.2.1. Fiziksel arıtma yöntemleri 20
2.2.1.1. Kaba ızgaralar 21
2.2.1.2. İnce ızgaralar 21
2.2.1.3. Elekler 21
2.2.1.4. Kum tutucular 21
2.2.1.5. Yağ tutucular 21
2.2.1.6. Ön çökeltme havuzları 22
2.2.2. Biyolojik arıtma yöntemleri 22
2.2.2.1. Biyolojik arıtmada mikroorganizmalar 22
2.2.2.2. Aktif çamur yöntemi 23
2.2.3. Kimyasal arıtma yöntemleri 25
2.3. Atıksu Arıtma Tesisleri 25
2.3.1. Atıksu arıtma tesislerinin genel yapısı 25
2.3.2. Türkiye'de faaliyet gösteren atıksu arıtma tesisleri 26
2.4. Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Kullanımı 27
2.4.1. Dünyada atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanım 29
2.4.2. Türkiye'de atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımı 30
2.4.3. Kocaeli'de atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımı 32
2.5. Plajyolu Atıksu Arıtma Tesisi 36
2.5.1. Tesis üniteleri 38
2.5.1.1. Havalandırma havuzu 39
2.5.2. Online izleme ile tesislerin işletmesi 39
2.5.2.1. Yerüstü köşk 41
2.5.2.2. Ölçüm cihazları 42
2.5.2.3. Numune alma 43
2.5.2.4. Haberleşme 43

2.5.2.5. Merkez birim....44
2.5.2.6. Arayüz....45
2.5.2.7. Veritabanı....45
2.5.3. Havalandırma havuzu hava ihtiyacı tasarım kriterleri....46
3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA....48
3.1. Yöneylem Araştırması....48
3.2. Doğrusal Programlama ve Uygulama Alanları....49
3.3. Doğrusal Programlama Modellerinin Kurulum Aşamaları....51
3.4. Doğrusal Programlama Modellerinin Matematiksel Gösterimi....53
3.5. Literatür Özeti....56
4. BULGULAR ve TARTIŞMA....63
4.1. Enerji Etüdü....63
4.2. Enerji Optimizasyonu....68
4.3. D.P. modelinin tesiste uygulanması....76
4.3.1. Birinci adım uygulaması....76
4.3.2. İkinci adım uygulaması....77
4.3.3. Üçüncü adım uygulaması....79
4.3.4. Dördüncü adım uygulaması....80
4.3.5. Tartışma....81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER....84
5.1. Sonuçlar....84
5.2. Öneriler....87
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER....96
ÖZGEÇMİŞ....97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye'nin sektör bazında enerji tüketimi 7
Şekil 1.2. Endüstriyel ekosistem 9
Şekil 1.3. Dünya su potansiyeli 10
Şekil 1.4. Türkiye'nin yıllık yağış miktarı 11
Şekil 1.5. Türkiye su potansiyeli dağılımı 12
Şekil 1.6. Su ve kanalizasyon idareleri hizmet alanı 16
Şekil 2.1. Fiziksel arıtma prosesleri 20
Şekil 2.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur havuzu 24
Şekil 2.3. Atıksu arıtımı ve arıtma kademeleri 25
Şekil 2.4. Türkiye'de bulunan AAT'nin coğrafik dağılımı 27
Şekil 2.5. Aktif çamur sisteminde enerji ihtiyacı 28
Şekil 2.6. Evsel atıksu debisinin gün içindeki değişimi 29
Şekil 2.7. AAT enerji dağılımı 30
Şekil 2.8. Paşaköy AAT günlük konsantrasyon değişimi 31
Şekil 2.9. Plajyolu atıksu arıtma tesisi genel görünümü 37
Şekil 2.10. Plajyolu atıksu artıma tesisinin akış şeması 38
Şekil 2.11. Online izleme sisteminin genel şematik yapısı 41
Şekil 2.12. Yerüstü köşk 41
Şekil 2.13. Yerüstü köşk atıksu ve temiz su bağlantıları 42
Şekil 2.14. Ölçüm cihazı 42
Şekil 2.15. Numune alma ve saklama cihazları 43
Şekil 2.16. Haberleşme networkü 44
Şekil 2.17. Merkez birim 44
Şekil 2.18. Arayüz 45
Şekil 2.19. Atıksu arıtma tesisi ölçüm verileri 46
Şekil 3.1. D.P. üretim modeli için akış diyagramı 52
Şekil 4.1. Sıcaklığın hava miktarına etkisi 65
Şekil 4.2. Debinin hava miktarına etkisi 65
Şekil 4.3. Giriş $BOİ_5$ konsantrasyonunun hava miktarına etkisi 66
Şekil 4.4. Çıkış $BOİ_5$ konsantrasyonunun hava miktarına etkisi 66
Şekil 4.5. Azot'un hava miktarına etkisi 67
Şekil 4.6. Akış şeması 69
Şekil 4.7. Doğrusal programlama algoritması 71
Şekil 4.8. KOİ miktarının değişimi 82
Şekil 4.9. Enerji miktarının değişimi 83

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Türkiye elektrik enerjisi üretimi-tüketimi 6
Tablo 1.2. Türkiye elektrik üretiminin birincil kaynaklarına göre dağılımı 6
Tablo 1.3. Bertaraf yöntemine göre atık miktarı 8
Tablo 1.4. Türkiye'nin su kaynakları.....11
Tablo 1.5. Türkiye'de su kullanımı 12
Tablo 1.6. Su varlığına göre ülke sınıflandırması 13
Tablo 1.7. Su ve Kanalizasyon idareleri faaliyetleri.....15
Tablo 1.8. Alıcı ortamlara göre deşarj edilen atıksu miktarı.....16
Tablo 1.9. Kentsel atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri 17
Tablo 1.10. Evsel atıksuyun karakterizasyonuna göre sınıflandırılması 17
Tablo 2.1. Türkiye de bulunan atıksu arıtma tesisi sayısı 26
Tablo 2.2. Atıksu arıtma miktarı ve arıtma tesislerinin durumu 27
Tablo 2.3. Avusturalya'da bir AAT'nde enerji tüketimi 29
Tablo 2.4. Aktif çamur enerji kullanımları 30
Tablo 2.5. Ataköy, Tuzla ve Paşaköy atıksu tesislerinin enerji tüketimi.....32
Tablo 2.6. Kocaeli ili nüfusu 32
Tablo 2.7. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2010 yılı elektrik tüketimleri 33
Tablo 2.8. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2011 yılı elektrik tüketimleri 34
Tablo 2.9. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2012 yılı elektrik tüketimleri 34
Tablo 2.10. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2013 yılı elektrik tüketimleri 35
Tablo 2.11. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2014 yılı elektrik tüketimleri 35
Tablo 2.12 Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2015 yılı elektrik tüketimleri 36
Tablo 2.13. Plajyolu AAT tasarım parametreleri 37
Tablo 2.14. Plajyolu AAT tesis ortalama giriş ve çıkış değerleri 37
Tablo 2.15. İleri arıtma haznelerinin tasarım değerleri 39
Tablo 2.16. Plajyolu AAT giriş ve çıkış değerleri.....39
Tablo 4.1. Ekipman güç tablosu ve günlük enerji sarfiyatı.....63
Tablo 4.2. AAT'nin 2015 yılı değerleri 64
Tablo 4.3. Blower özellikleri.....70
Tablo 4.4. Excel çözücü ile hesaplanan değerler.....76
Tablo 4.5. Birinci adım ölçüm değerleri 77
Tablo 4.6. İkinci adım uygulama değerleri 78
Tablo 4.7. Üçüncü adım uygulama değerleri 79
Tablo 4.8. Dördüncü adım uygulama değerleri.....80
Tablo 4.9. Uygulamanın sonuç özet değerleri.....81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AKM : Askıda katı madde, (mg/lt)
Alt : Tesisin deniz seviyesinden yüksekliği, (m)
$B_{d,BOD}$: Biyolojik oksijen ihtiyacı yükü (kg/gün)
$BOİ_5$: Biyolojik oksijen ihtiyacı, (mg/lt)
$C_{BOD,IAT}$: Giriş BOI_5 değeri, (mg/lt)
$C_{N,IAT}$: Giriş Azot değeri, (mg/lt)
$C_{S,T,AL}$: Suda oksijen doygunluk oranı, (mg/lt)
Ç-$BOİ_5$: Çıkış $BOİ_5$ değeri, (mg/lt)
DO : Çözünmüş oksijen konsatrasyonu, (mg/lt)
F : Tıkanma Faktörü
f_C : Karbon giderimi için pik faktörü
f_N : Azot giderimi için pik faktörü
F_T : Sıcaklık faktörü
g : Yerçekimi ivmesi, (m/sn^2)
G-$BOİ_5$: Giren atıksuyun $BOİ_5$ değeri, (mg/lt)
h : Blowerın ürettiği hava (m^3/saat)
HG : Hava gereksinimi, (m^3/gün)
M : Mol sabiti
Mgal : Milyon galon
$OU_{d,C}$: Karbon giderimi için gerekli oksijen miktarı, (kg/gün)
$OU_{d,D}$: Denitrifikasyondan kaynaklanan oksijen miktarı, (kg/gün)
$OU_{d,N}$: Nitrifikasyon için gerekli olan oksijen miktarı, (kg/gün)
OU_h : Günlük maksimum saatlik oksijen miktarı, (kg/gün)
p : Blowerin tükettiği güç, (kW)
P_{alt} : Tesisin basınç yüksekliği, (m)
Q : Debi (m^3/gün)
R : Gaz sabiti, (kJ/kmol K)
Sd : Çamur konsantrasyonu, (mg/lt)
$S_{NH4\text{-}N,EST}$: Çıkış suyunda amonyum azotu konsantrasyonu, (mg/lt)
$S_{NO3,D}$: Denitrifikasyona Uğrayacak Nitrat konsantrasyonu, (mg/lt)
$S_{NO3,EST}$: Çıkış suyunda bulunan nitrat konsantrasyonu, (mg/lt)
$S_{orgN,EST}$: Çıkış suyunda organik azot konsantrasyonu, (mg/lt)
SOTR : Oksijen transfer oranı, (kg/gün)
T : Atıksu sıcaklığı, (°C)
TKM : Toplam katı madde, (mg/lt)
TKN : Toplam inorganik azot, (mg/lt)
t_{ss} : Çamur yaşı, (gün)
X : Blowerın seçilme durumu, (0,1)
$X_{orgN,BM}$: Biomass sentezi için bakterilerce alınan azot miktarı, (mg/lt)

Kısaltmalar

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AB	: Avrupa Birliği
ADANA-ASKİ	: Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
ASAT	: Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü
ASKİ	: Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
AYDINASKİ	: Aydın Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
BALIKESİR-BASKİ	: Balıkesir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
BUSKİ	: Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DESKİ	: Denizli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
DİSKİ	: Diyarbakır Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
DP	: Doğrusal programlama (Linear Programming)
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPRI	: Elektrik Araştırma Enstitüsü
ESDH	: Ekonomi ve Strateji Danışmanlık Hizmetleri
ESKİ	: Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
ESKİŞEHİR-ESKİ	: Eskişehir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
GASKİ	: Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
HATSU	: Hatay Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
İSU	: Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
İZSU	: İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KASKİ	: Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KOSKİ	: Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
MANİSASU	: Manisa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
MARASKASKİ	: Maraş Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
MARSU	: Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
MASKİ	: Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
MESKİ	: Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
MUSKİ	: Muğla Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
OSKİ	: Ordu Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
RAS	: Geri devir çamuru
SAKARAYA-SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
SASKİ	: Samsun Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SUSKİ	: Şanlıurfa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
TESKİ	: Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
TİSKİ	: Trabzon Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
VASKİ	: Van Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
WEF	: World Economic Forum (Dünya Ekonomik Formu)
YA	: Yöneylem Araştırması

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİNİN ONLİNE İZLENMESİ İLE ENERJİ ETÜT VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Çevrenin korunmasında atıksu arıtma tesisleri önemli bir yer tutmaktadır. Atıksu arıtma tesisi işletilmesinin en önemli girdisi ise elektrik enerjisidir. Günümüz dünyasındaki enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil kaynaklarından sağlanmaktadır. Fosil kaynakların gelecekte tükenecek olması oldukça önemli bir enerji kaynağı sıkıntısı olarak karşımıza çıkmaktadır. Alternatif kaynakların henüz ekonomik olmaması, artan talep nedeniyle fiyatların aşırı artması, yerli kaynakların ithal bağımlılığını önleyememesi, küresel ısınma ve özellikle ekolojik dengenin alarm vermesi sebebi ile kaynak güvenliği ve temiz çevre için kullandığımız enerjinin tamamını faydaya dönüştürmemiz gerekmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde bu faydanın sağlanabilmesi için enerji etüdü ve optimizasyonu gündeme gelmektedir. Atıksu arıtma tesisinde tüketilen elektrik enerjisinin %50'den fazlası havalandırma havuzlarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada seçilen tesisin gerekli parametreleri optimizasyon çalışması için bir yıl boyunca takip edilmiştir. Elde edilen verilerin analiz edilmesi ile enerji tüketimi ile debi, giriş $BOİ_5$, çıkış $BOİ_5$, sıcaklık ve azot giderimi arasında doğrusal bir bağlantının olduğu tespit edilmiş, bunun sonucunda havalandırma havuzu enerji tüketiminin doğrusal programlama ile optimizasyonu yapılmıştır. Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde günümüz bilişim teknolojilerine göre kirlilik parametrelerinin analizlerinin kısa sürede ölçülmesi ve bu değerlerin online izlenmesi mümkün hale gelmiştir. Dolayısı ile doğrusal programlama ile havalandırma havuzuna gerekli olacak hava miktarının saatlik olarak hesaplanması ve buna göre blowerların çalıştırılması ile havalandırma havuzunun enerji tüketiminde yaklaşık %17-21 oranında enerji tasarrufu sağlanacağı hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Atıksu Arıtma, Doğrusal Programlama, Enerji, Havalandırma Havuzu, Optimizasyon.

ENERGY STUDY AND OPTIMIZATION BY ONLINE MONITOROING OF URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANT

ABSTRACT

Wastewater treatment plants are an important part in protecting the environment. Electric power consumption is the most important issue of the operation of the wastewater treatment plant. In today's world, a large portion of energy needs from fossil sources of coal, natural gas and oil are available. Foreseeable future, is very important to run out of fossil fuels as a source of energy shortage emerges. All the energy we use for security of supply and a clean environment, the lack of alternative sources of economic, excessive increase of prices due to increased demand, the import dependence of domestic resources insufficient, Global warming and the ecological balance, especially with the cause of an alarm we need to convert the benefits. Energy audits and optimization comes up in the wastewater treatment plant in order to provide these benefits. More than 50% of the electricity energy consumed in the wastewater treatment plant is used in the ventilation pools. In this study, necessary parameters of the selected plant were monitored for one year. By analyzing the obtained data, it was determined that there is a linear connection between energy consumption and flow rate, inlet BOD_5, outlet BOD_5, temperature and nitrogen removal, resulting in optimization of the ventilation pool energy consumption by linear programming. According to today's information technologies, the analysis of pollution parameters in the operation of wastewater treatment plants can be measured in a short time and it is possible to monitor these values online. Therefore, it is aimed to calculate the amount of air required for the ventilation pool hourly by linear programming, and by operating the blowers accordingly, energy saving of about 17-21% in the ventilation pool energy consumption is aimed.

Key words: Wastewater Treatment, Linear Programing, Energy, Ventilation Pool, Optimization.

GİRİŞ

Sanayileşme, göç, kentleşme ve nüfus artışı doğanın özümseyebileceği miktarın üzerinde atıksu üretmekte olup alıcı ortamların kirlenmesine sebebiyet vermektedir. Bu kirlenme çevreyi, canlı yaşantısını ve özellikle insan hayatını doğrudan veya dolaylı bir şekilde olumsuz olarak etkilemektedir. Ekolojik dengeyi de etkileyen bu durumu olumlu bir hale getirebilmek için atıksuların alıcı ortama verilmeden önce atıksu arıtma tesislerinde arıtılması gerekmektedir.

Endüstriyel ve evsel atıksu arıtma tesisleri sanayinin ve büyük şehirlerin ürettikleri atıksuları arıtarak doğaya zarar vermeden uzaklaştırılması için bünyesinde farklı mühendislik dallarını barındıran disiplinler arası komplike sistemler bütünü olarak yer almaktadır. Atıksu arıtımında bölgelerin coğrafik yapısına, iklimine, atıksuların debisine ve özelliklerine göre farklı prosesler uygulanabilmektedir. Ayrıca atıksu arıtma tesisleri birçok karmaşık prosesleri içinde barındırdığından dolayı tesislerin tasarım, işletme ve bakım maliyetleri yerel yönetimlerde ekonomik olarak ciddi bir kaygı konusu olarak yer almaktadır. Tesislerin işletme maliyetlerinin büyük bir bölümünü ise enerji harcaması oluşturmaktadır.

Enerji; insanlığın gelişimine, devamına ve ilerlemesine katkı sağlayan en önemli etken olarak ilk sıralarda yer almaktadır. Sanayi devrimi ile birlikte iletişim, ulaşım, tarım, sanayi, çevreyi koruma ve atıksu arıtma tesislerinde yer alan proseslerin çalıştırılması gibi temel işlemlerin yerine getirilmesinde enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji ihtiyacında ise nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve insanların yaşam konforunun artması gibi nedenlerden dolayı hızlı bir artış görülmektedir. İhtiyacı karşılayan çeşitli enerji kaynakları bulunmakta olup fosil yakıtlar enerji talebini karşılamada birinci sırada yer almaktadırlar. Dünyada kullanılmakta olan enerjinin %76'sı, ülkemizde ise %70'i fosil esaslı enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Ancak fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması oldukça önemli bir enerji kaynağı sıkıntısı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların kullanılması, alternatif kaynakların henüz ekonomik olmaması, hava kirliliği, çevre kirliliği ve diğer etkenleriyle beraber ortaya

çıkan küresel ısınma gibi tüm çevreyi ve canlı yaşantısını tehdit eden sorunlara yol açmaktadır. Bununla birlikte Uluslararası Enerji Ajansı'nın verilerine göre dünyada enerji talebi önümüzdeki yıllarda daha da artacak olup bu talebi karşılamak için yeni enerji yatırımlarının yapılması gerekmektedir. Bu yatırımların maliyetleri oldukça yüksek olmakla birlikte insan ve çevreyi önemli ölçüde olumsuz olarak etkilemektedir.

Dünyada son yıllarda her geçen gün enerji arzı artmakta olup enerji tüketimi günümüzün en önemli problemi haline gelmiştir. Ülkemizde ise enerji tüketim artış hızının, AB ve OECD ülkelerinin enerji tüketim artış hızının iki katından fazla olduğu bilinmektedir. Elektrik enerjisi sektöründeki arz-talep ilişkisi denk tutabilmek için arzı artırmaya yönelik yeni yatırımlar yapılarak bu açık kapatılmaya çalışılmaktadır. Oysaki yatırımların sınırlı kaynaklar yerine enerji verimliliği üzerine yapılması ile enerji açığın bir bölümünün karşılanması mümkün olabilecektir. Bu konunun önemini ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri fark etmiş olup 1970'li yıllardan başlayarak artan bir ivme ile bu konu üzerinde çalışma yapmaktadır. Ülkemizde ise enerji ithalatı, yeni enerji yatırımları yapılarak ve kısmen de yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak bu ihtiyaç giderilmeye çalışılmaktadır.

Çevrenin korunabilmesi ve sürdürülebilirliğinin devam edebilmesi için yeni yasal düzenlemeler ile atıksu deşarj limitleri iyileştirilmektedir. Bu iyileştirmeler atıksuyun arıtılması için harcanan enerji artırmakta ve doğrudan elektrik sarfiyatını yükseltmektedir. Ayrıca gün geçtikçe enerji üretim maliyetleri artmakta olup bunun çıktısı olan artan elektrik enerjisi fiyatları da dünya genelinde atıksu arıtma tesislerinin işletme maliyetlerini artırmaktadır. Enerji üretim maliyetlerinin artması ekonomik olarak, enerjinin üretimi sırasında oluşan atık miktarı ise çevresel olarak enerji optimizasyonu daha da önemli hale getirmektedir. Enerji etüt ve optimizasyonu ile elektrik enerjisinin bütün sektörlerde olduğu gibi atıksu arıtma tesislerinde de verimli kullanılması, yeni enerji santrallerinin kurulması kadar önemli hale gelmektedir. Arıtma tesislerinin tasarımı ve işletilmesi safhalarında optimum maliyete ve enerji tüketimine dayalı proseslerinin geliştirilmesi hem ulusal hem de uluslararası düzeyde enerji verimliliği konusuna katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Enerjinin etkin ve verimli kullanılabilmesi için tasarruf potansiyelinin araştırılası gerekmekte olup bu kalemin minimum düzeye çekilebilmesi için uluslararası ölçekte

daha çok sayısal analizler ve kontrol yöntemleri ile optimum enerji tüketimini sağlayan kontrol mekanizmaları geliştirilmeye çalışılmaktadır. Teknolojide yaşanan gelişmeler ile daha verimli ekipmanların üretilmesi, fiyatlarının düşmesi, yaygınlaşması, atıksu çamurundan biyogaz enerjisi ile elektrik üretilmesi, otomasyon sistemlerinin daha kapsamlı hale getirilmesi gibi enerji tüketiminde tasarrufu ön plana çıkaran önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde özellikle atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonu konusunda yeterli akademik çalışmanın yapılmamış olması, güvenilir arka plan verilerinin bulunmaması, atıksu arıtma tesislerini yerel yönetimlerin işletmesi, arıtma tesislerinin kalıplaşmış kitabi bilgilere göre projelendirilmesi ve işletilmesi farklı disiplinlerde yer alan mühendisliklerin mevcut prosesler üzerinde yenilikçi yaklaşımlarına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzün üretim sektörlerinde çok farklı problemlere çözüm üreten ve üretimin planlanmasına yön veren DP ile atıksu arıtma tesislerinde havalandırma prosesinde yapılacak olan enerji optimizasyonu sayesinde proseses için gerekli olan enerji tüketimi optimum düzeye indirilebilecektir. Bu doğrultuda atıksu tesislerinin işletmesinin getirdiği zorluklar ile teknolojinin getirdiği alternatif yeni yaklaşımlar birlikte değerlendirilerek enerji tüketimini en aza indirecek ve çözüme ulaştırılabilecek bir karar alma mekanizması kullanılabilecektir.

Bu çalışmada DP yöntemi ile bir kentsel atıksu arıtma tesisinin havalandırma havuzunda enerji optimizasyonu ile istenilen deşarj kriterlerini sağlayacak şekilde enerji tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmada, atıksuların arıtılması kapsamında en uygun enerji tüketimi modelinin oluşturulmasında, ilk olarak tesis kapasitesi, debisi, giriş ve çıkışında kirlilik değerleri belirlenerek zorunlu olan deşarj limitlerini sağlamak üzere havalandırma havuzu için enerji tüketiminin en az olacağı model tespit edilmiştir. Modelin oluşturulmasında Plajyolu arıtma tesisinden ve tesise ait giriş ve çıkış istasyonlarından 2015 yılına ait günlük AKM (mg/lt), KOİ (mg/lt), $BOİ_5$ (mg/lt), Azot (mg/lt), pH, Sıcaklık (^oC), Enerji tüketimi (kWh) ve debi (m^3/gün) kompozit numune ölçümleri alınmıştır. Bu parametrelerin yıllık minimum, ortalama ve maksimumu değerleri bulunmuştur. Bu veriler Microsoft Excel programı ile dijital ortamda analiz edilip sistemin kirlilik parametreleri-enerji tüketimi, sıcaklık-enerji tüketimi ve debi-enerji tüketimi bağıntıları parametrelerin minimum değerinden başlayarak maksimum değerine ulaşıncaya kadar her bir değer için iterasyon yapılarak

çıkarılmıştır. Microsoft Excel Solver programı yardımıyla doğrusal programlama ile dört eş blower maksimum hava üretimi için gerekli sıra ve debi ile çalıştırılarak optimum enerji tüketimi elde etmeye yönelik çözüm önerileri getirilecektir. Son olarak da minimum deşarj standartları ile üretilen hava miktarının en fazla olması kısıt olarak; blowerların enerji tüketiminin en az olaması ise amaç fonksiyonu olarak belirlenerek DP modeli oluşturulmuştur. Böylece enerjinin tüketiminin en az, üretilen havanın en fazla olacağı çözüm bulunmuştur. Literatürde atısksu atırma tesislerinde en fazla tüketen cihazlarda biri de üfleyiciler (blower) olduğundan dolayı, bu cihazlar üzerinde enerji optimizasyonunun hayata geçirilmesi durumunda belediyelerin ve ülkelerin enerji açığını enerji verimliliğiyle kapatma çalışmalarına mikro ölçekte önemli katkıda bulunulacaktır. Uygulama sonucunda beklenen sonuçların elde edilmesi durumunda blowerların optimum devirle çalıştırılarak minimum enerji tüketmesi, maksimum hava üretmesi ve devreye girip çıkma sayılarının azaltılması sağlanmış olacaktır. Böylelikle blowerların hem kullanım ömürlerinin uzatılması hem de enerji tüketimlerinin azaltılması, buna bağlı olarak da hem tesisin devre dışı kalmasının önlenmesi hem blowerlardan kaynaklanan işletme sorunlarının azaltılması hem de yedek parça değişimlerinin getirdiği işletme maliyetlerinin düşürülmesi sağlanacaktır.

Gerek arıtma tesislerini işleten yerel yönetimlerin gerekse benzer ekipmanların kullanıldığı diğer işletmelerin enerjiyi optimum düzeyde tüketerek arz-talep dengesini kurabilme imkanı mümkün olabilmektedir. Arıtma tesislerinin tasarımı ve işletilmesi safhalarında optimum maliyete ve enerji tüketimine dayalı proseslerinin geliştirilmesi hem ulusal hem de uluslararası düzeyde enerji verimliliği konusuna katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Enerji

Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme yeteneğini ifade etmektedir. Bir başka deyişle enerji, kuvvet uygulayabilmek için gerekli olan gücü barındırmaktadır. Enerji doğada çeşitli şekillerde bulunabilmektedir. Enerji kullanıldığı alana bağlı olarak; Joule (J), Kalori (cal), Kilo Watt Saat (kWh) gibi çeşitli birimlerle ifade edilmektedir. Enerji kaynakları bir dönüşüm süreci gerektirip gerektirmediklerine bağlı olarak "birincil" ve "ikincil" enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadırlar. Birincil enerji kaynakları, doğada bulundukları şekliyle herhangi bir değişim ya da dönüşüm gerektirmeden kullanılan enerji kaynaklarıdır. Birincil enerji kaynakları hem yenilenebilir hem de yenilenemez enerji kaynaklarından elde edilebilmektedirler. Birincil enerji kaynaklarına; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, fosil yakıtlar, jeotermal enerji ve biokütle enerjisi örnek olarak verilmektedir. Birincil enerji kaynakları bir dönüşüm sürecinden geçirilerek, elektrik gibi ikincil enerji formlarını meydana getirilebilmektedir. Kömür, petrol, doğal gaz ya da rüzgâr enerjisi gibi birincil kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisi tipik bir ikincil enerji formu örneğidir.

Dünyada kullanılmakta olan enerjinin %76'sı fosil esaslı enerji kaynaklarından elde edilmekte olup 2015 yılında enerji kullanımında en büyük paya sahip olanların sırasıyla; petrol %31,1, kömür %22,2, doğal gaz %22,7 ve nükleer enerji %6,2 olduğu, geri kalan %18,1'i ise hidrolik ve yenilenebilir enerji olarak yer almaktadır (URL-1, 2016). Dünyada enerji talebi her ülkede farklı olmakla birlikte, küresel ölçekte sürekli artmakta olup, bu talebi karşılamak için enerji yatırımları yapılmaktadır. Bu yatırımların maliyetleri oldukça yüksek olmakla birlikte insan ve çevreyi önemli ölçüde olumsuz olarak etkilemektedir (Güler, 1994).

2015 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretimi bir önceki yıla göre %3,9'a karşılık gelen 9.820,6 milyon kWh artış ile 261.783,3 milyon kWh, tüketim ise yine %3,3'ye karşılık gelen 8.504,2 milyon kWh artış ile 265.724,4 milyon kWh olmuştur. Elektrik üretiminin başlıklara göre dağılımı Tablo 1.1'de görülmektedir (URL-2, 2017).

Tablo 1.1. Türkiye elektrik enerjisi üretimi-tüketimi

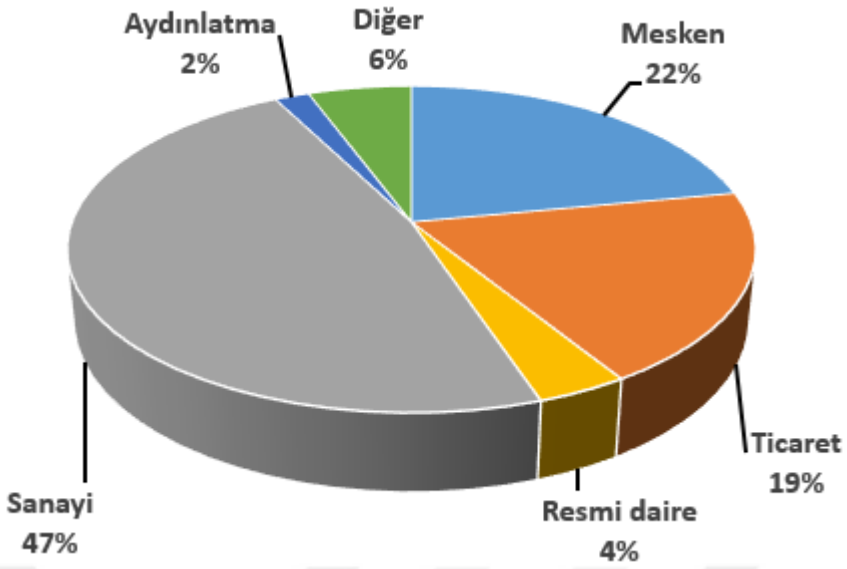
	2014		2015		Artış
Başlık	GWh	%	GWh	%	%
Termik	200.416,6	79,5	179.366,4	68,5	-10,5
Hidrolik	40.644,7	16,1	67.145,8	25,6	65,2
Jeotermal	2.364,0	0,9	3.424,5	1,3	44,9
Rüzgâr	8.520,1	3,4	11.652,5	4,5	36,8
Güneş	17,4	0,0	194,1	0,1	1015,3
Brüt Üretim	251.962,8	100,0	261.783,3	100,0	3,9
Dış Alım	7.953,3		7.135,5		
Dış Satım	2.696,0		3.194,5		
Brüt Tüketim	257.220,1		265.724,4		3,3

Ülkemizin 2015 yılı elektrik üretiminin %69,8'i fosil kaynaklardan karşılanmış olup elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo 1.2.'de görülmektedir (URL-2, 2017).

Tablo 1.2. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil kaynaklarına göre dağılımı

	2014		2015		Artış
Başlık	GWh	%	GWh	%	%
Kömür	76.262,7	30,3	76.165,6	29,1	-0,1
Sıvı Yakıtlar	2.145,3	0,9	2.223,9	0,8	3,7
Doğal Gaz	120.576,0	47,9	99.218,7	37,9	-17,7
Yenilenebilir + Atık + Atık Isı	1.432,6	0,6	1.758,2	0,7	22,7
Hidrolik	40.644,7	16,1	67.145,8	25,6	65,2
Jeotermal	2.364,0	0,9	3.424,5	1,3	44,9
Rüzgâr	8.520,1	3,4	11.652,5	4,5	36,8
Güneş	17,4	0,0	194,1	0,1	1015,3
Toplam	251.962,8	100,0	261.783,3	100,0	3,9

Ekonomik gelişme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi nedenlerle Türkiye elektrik tüketimi geçmiş yıllarda sürekli olarak artış göstermiştir. 2015 yılı itibariyle Türkiye toplam elektrik tüketimi 261.783,3 GWh, kişi başına net elektrik tüketimi 3.324 kWh olup ülkemizin 2015 yılı sektörler bazında elektrik enerjisi tüketimi Şekil 1.1'de görülmektedir (URL-3, 2017).



Şekil 1.1. Türkiye'nin sektör bazında enerji tüketimi

1.2. Atık

Atık, " Ev idaresinin, ticari işeletmelerin, okul, yurt gibi yerler ile sanayi kuruluşlarının ve benzerlerinin faaliyetleri sonucunda meydana gelen ve çevreye atılan katı, sıvı ve gaz şeklindeki zararlı maddelerdir" (Çepel, 1996). Ülkemizde atıkların denetimi, kontrolü ve bertarafı Çevre Kanunu ve bu kanuna istinaden çıkarılmış olan yönetmeliklerle düzenlenmiştir (Kaya, 2005).

Kendi içinde katı atık, gaz atık ve sıvı atık olarak ayrılabilecek atıklardan bir faaliyet sonrası ortaya çıkan atıksuların kontrolü ile denetimi; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31/12/2004 tarih ve 25687 sayılı), İçmesuyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik (20/11/2005 tarih ve 25999 sayılı) ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde (08/01/2006 tarih ve 26047 sayılı) belirlenen standartlarla sağlanmaktadır. Ayrıca 5216 sayılı Büyükşehir Kanununa ve 2560 sayılı İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Kanununa göre kurulan su ve kanalizasyon idarelerinin çıkarmış oldukları içme suyunu ve atıksuyu ilgilendiren yönetmelikler de yasal düzenlemeler arasında bulunmaktadır.

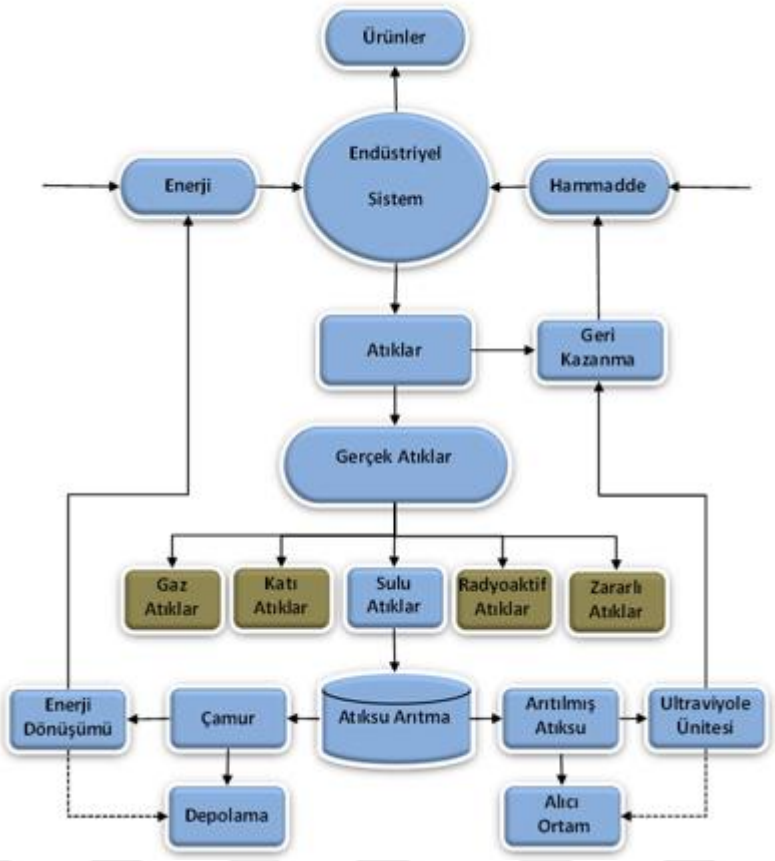
Çevre Kanunun tanımlar bölümünde, çevre "Canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamı" olarak belirtilmektedir. Çevrede son yıllarda yaşanan olumsuz gelişmeler ise çevre kavramının önemini bir kez daha artırmıştır.

Özellikle sanayi devriminden sonra plansız kentleşme ve hızlı sanayileşme doğal kaynakların fazla miktarda tahrip edilmesine neden olmuştur. Nüfus artış hızının yüksek olması bir yandan gıda, hammadde ve enerji kaynaklarının tüketimi açısından doğal çevre üzerinde baskılar yaratarak doğal kaynakların aşırı kullanımına yol açarken, diğer bir yandan da tüketimdeki artışlarla birlikte üretim ve tüketim süreçlerinde çevreye bırakılan atıkların çoğalmasına yol açmaktadır (Sipahi, 2010). Ülkemizde 2014 yılında kişi başı ortalama atık miktarı 1,08 kişi-kg/gün olup bertaraf edilen atık miktarı Tablo 1.3'de görülmektedir (URL-3, 2017).

Tablo 1.3. Bertaraf yöntemine göre atık miktarı

Başlık	Değer (bin ton/yıl)	Yüzde
Belediye çöplüğüne dökülen	9.936,0	35,50
Düzenli depolama sahalarına gönderilen	17.807,0	63,60
Kompost tesisine gönderilen	126,0	0,40
Açıkta yakılan	4,0	0,01
Dere ve göle dökülen	16,0	0,06
Diğer	7,0	0,02
Gömülen	0,4	0,41
Toplam	28.011,0	100

Nüfus artışı, yaşam standardının yükselmesi, tüketim maddelerinin çeşitlenmesi üretilen ürün miktarını artırmaktadır. Ülkemizin 2000 yılında sanayi üretim endeksi 63,3 iken bu endeks 2015 yılında %103,9 oranında artarak 129,00 olmuştur (URL-3, 2017). Endüstrinin amacı hammadde ve enerjiyi kullanarak üretim yapmak, çok sayıda ve çeşitte ürün elde etmektir. Bu üretim faaliyetlerinin sonucunda endüstriyel sistemin bir çıktısı olan atık miktarı da üretim artışına paralel olarak nitelik ve nicelik olarak artmaktadır. (Gülsoy ve Kılıçaslan, 2014). Endüstriyel üretimi bir bütün olarak ele alan endüstriyel ekosistem Şekil 1.2' de görülmektedir.



Şekil 1.2. Endüstriyel ekosistem

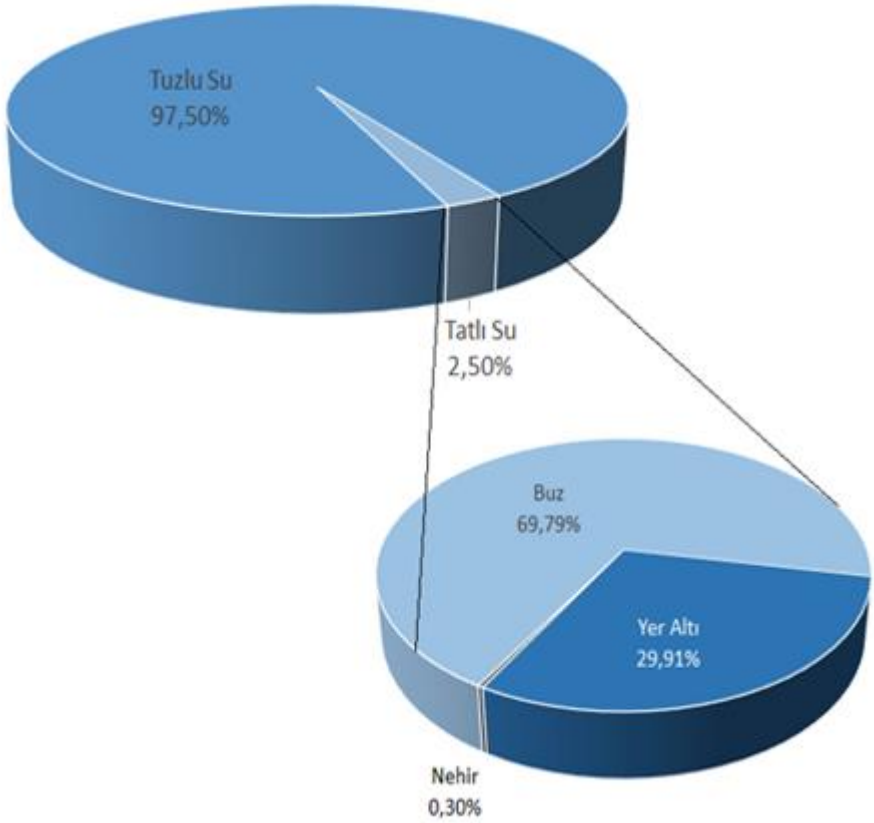
Toprak, hava ve suda yaşanan kirlilik tüm dünyadaki canlı yaşamını olumsuz olarak etkilemektedir. Özellikle canlı yaşantısının devamlılığı açısından tartışmasız önem taşıyan suların kirlenmesi ve bu kirliliğin önlenmesi veya ortadan kaldırılması her bir faaliyet için önem arz eder hale gelmiştir.

1.3. Su

Su, canlıların yaşaması için hayati öneme sahip en temel öğelerin başında gelmekte olup canlıların yaşam koşullarını belirlemektedir. Su, en küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik yaşamı ve bütün insani faaliyetleri ayakta tutmaktadır. Dünyamızın %70'ini kaplayan su, aynı oranda vücudumuzun da önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

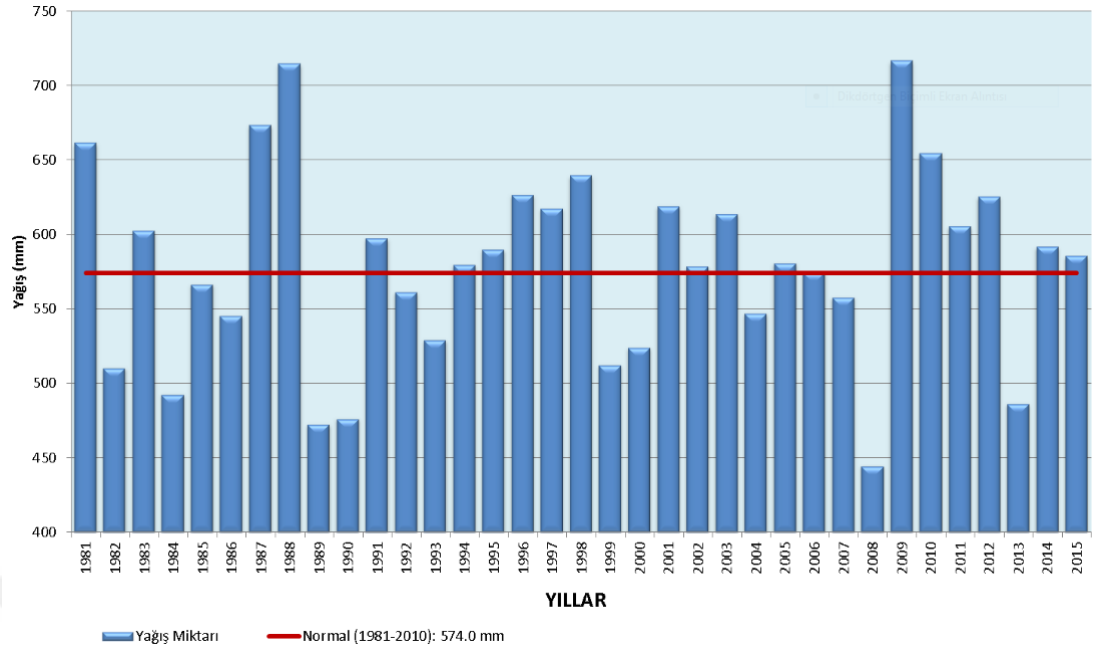
Dünyada yaklaşık 1,4 milyar km^3 su mevcut olup bunun %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da %90'ı yeraltında ve kutup bölgelerinde yer almaktadır. İnsanoğlunun kolaylıkla ulaşabileceği ve yararlanabileceği elverişli tatlı

su miktarının da %0,8 kadarı kullanılabilen tatlı su olarak buharlaşma, yağış ve akış olarak sürekli bir döngü halindedir. (URL-4, 2016). Bütün su dağılımını gösteren dünya su potansiyeli Şekil 1.3'de görülmektedir.



Şekil 1.3. Dünya su potansiyeli

Türkiye'nin ortalama yıllık yağış miktarı Şekil 1.4'de görüldüğü gibi 574 mm olup, bu değer yılda ortalama 501 milyar m^3 su anlamına gelmektedir (URL-5, 2017).



Şekil 1.4. Türkiye'nin yıllık yağış miktarı

Bu suyun buharlaşma, yeraltına sızma, yüzey akışı, yüzey suyu ve çekilebilir su miktarlarından sonra geriye kalan toplam kullanılabilir su miktarı 112 milyar m^3 olup ülkemizin su kaynakları potansiyeli Tablo 1.4'de görülmektedir (URL-6, 2017).

Tablo 1.4. Türkiye'nin su kaynakları

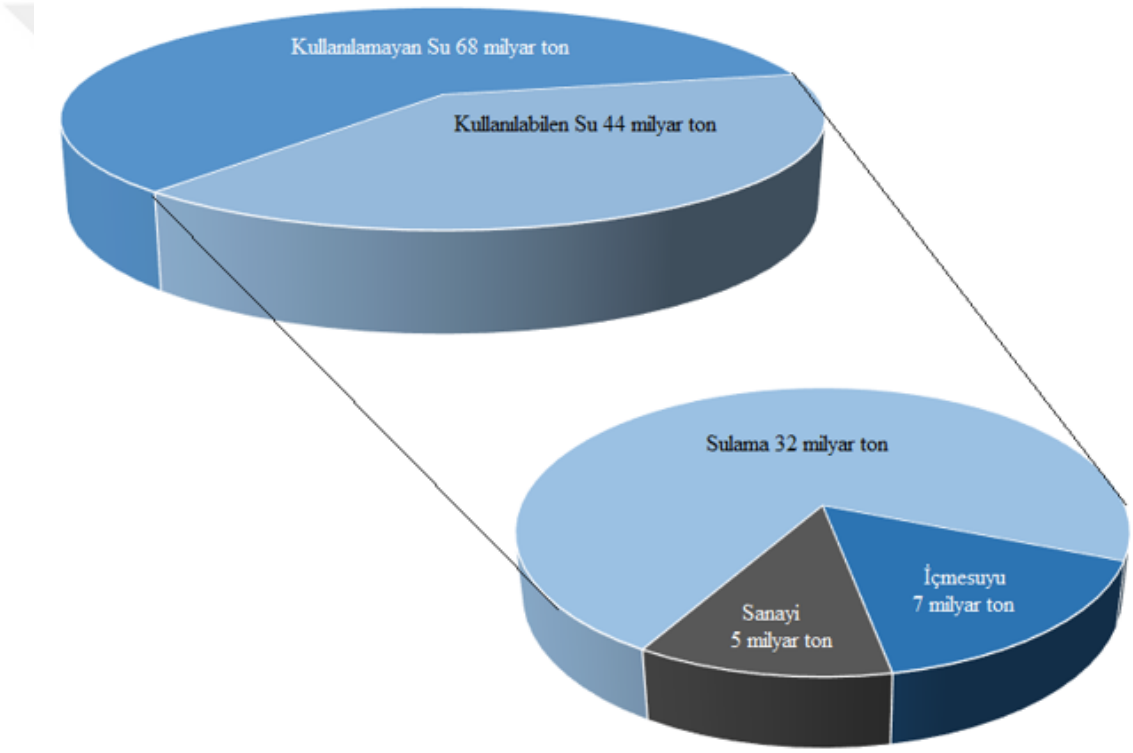
Başlık	Değer
Yıllık ortalama yağış	574 mm/yıl
Türkiye'nin yüz ölçümü	783.577 km^2
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m^3
Buharlaşma	274 milyar m^3
Yer altına sızma	41 milyar m^3
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m^3
Yıllık çekilebilir su miktarı	14 milyar m^3
Toplam kullanılabilir su	112 milyar m^3

Ülkemizde mevcut 112 milyar m^3 kullanılabilir su kaynağından yararlanma oranı yaklaşık %39 olup kullanım değerleri Tablo 1.5'de görülmektedir.

Tablo 1.5. Türkiye'de su kullanımı

Başlık	Değer
Sulamada kullanılan su	32 milyar m^3
İçme ve kullanmada kullanılan su	7 milyar m^3
Sanayide kullanılan su	5 milyar m^3
Toplam kullanılan su	44 milyar m^3

Ülkemizde kullanılabilen su miktarı 44 milyar m^3 olup bu potansiyelin dağılımı Şekil 1.5'de görülmektedir.



Şekil 1.5. Türkiye su potansiyeli dağılımı

Ülkemiz, 2013 yılı itibarıyla kişi başına düşen yaklaşık 1.500 m^3/yıl kullanılabilir su miktarı ile su azlığı bulunan ülkeler arasında yer aldığı Tablo 1.6'da görülmektedir. 2030 yılında kişi başına düşecek 1.100 m^3/yıl kullanılabilir su miktarıyla, Türkiye su sıkıntısı çeken bir ülke durumuna gelebileceği tahmin edilmektedir (URL-7, 2017).

Tablo 1.6. Su varlığına göre ülke sınıflandırması

Ülkenin Durumu	Kişi Başına Kullanılabilir Su Miktarı (m^3/yıl)
Su fakirliği	1.000'den daha az
Su azlığı	2.000'den az
Su zenginliği	8.000 - 10.000 'den daha fazla

Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek talep artışı baskılarını tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 20 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillerine sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için doğal kaynaklarının çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir (URL-4, 2016). Ancak insanın teknolojik gelişmelere bağlı olarak su kullanımı ile tüketimi gün geçtikçe artmakta ve bu talep artışını karşılayabilmesi için uygarlığın gelişmesiyle birlikte suyun doğal döngüsüne yaptığı fenni müdahaleler de artmaktadır (Ertaş, 1997).

1.4. Atıksu

"Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzeyaltı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sulara atıksu" denilmektedir (URL-9, 2016). Atıksular; suyun evlerde, toplu yaşanılan yerlerde ve işyerlerinde tüketilmesi ile endüstri kuruluşlarında üretim sırasında soğutma ve proses suyu olarak kullanılması sonucu kirlenmesiyle oluşmaktadır (Samsunlu, 2011).

Atıksuların barındırdıkları zararlı bileşenlerden arıtılmadan su yataklarına verilmesi ya da alıcı ortama deşarj edilmesi yerüstü ve yeraltı sularını kirletmektedir. Aynı şekilde bilinçsizce yapılan zirai ilaçlamalardan dolayı da yerüstü ve yeraltı suları kirlenmektedir. Diğer bir yandan kimyasal gübrelerin aşırı kulanımı sonucunda gübre yüzey su akışlarıyla yerüstü sularına karışmakta, yeraltı sularına sızarak suyun kullanım potansiyelini olumsuz olarak etkilemektedir. Evsel ve endüstriyel atıkların alıcı ortamlara verilmesi atığın cinsine, yeryüzü şekline, iklim durumuna, toprağın

yapısına ve zamana bağlı olarak yeraltı sularına karışması ötrofikasyona yani suda azot, fosfor fazlalaşmasına ve oksijen azalmasına sebep olmaktadır.

Suyunun kullanımı sonucu oluşan atıksu miktarı şehir ve kasabaların nüfusuna, gelişmişlik durumuna, iklim şartlarına ve doğal içme suyu kaynaklarına bağlı olarak değişmektedir. Nüfus artışı ile sanayileşme, kentleşmeyi de beraberinde getirmektedir. Bunun sonucunda kırsal nüfus giderek azalmakta, insanlar kentlere göç etmektedir. Dünya nüfusunun kentlerde yaşayan oranı 1950 yılında %29,2 iken bu oran 2010 yılında %51,3 olmuş, 2020 yılında ise bu oranın %58,3 olacağı tahmin edilmektedir (URL-8, 2016). Nüfus artışı, şehirleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi, içme suyu ve kullanma suyu tüketimini aşırı derecede artırmaktadır. İnsanların yaşantısını sürdürebilmesi ile günlük ihtiyacını karşılayabilmesi için kişi başı su tüketiminin ortalama olarak 100-300 L/gün arasında değiştiği görülmektedir (Öztürk ve diğ., 2006). Yine endüstrinin tipine, büyüklüğüne bağlı olmakla birlikte 1 kg çelik üretimi için 100-200 litre, şeker üretimi için 100 litre ve kâğıt üretimi için ise 150-300 litre su kullanıldığı düşünüldüğünde sanayileşme ile de su tüketimi giderek artmaktadır (Gleick, 2014). Atıksuyun toplanması, arıtılması ile bertaraf edilmesi iş sahalarının ve göçün doğal bir sonucu olarak kırsal alanlardan daha çok kentsel alanlarda karşılaşılan bir problem olarak görülmektedir. Kırsal alanlarda oluşan atıksular kendi doğal dengesi içinde müdahale olmadan arıtılabilmektedir. Kentsel ve endüstriyel alanlarda ise bu işlemler için özel atıksu arıtma tesislerinin kurulmasını yasalar zorunlu kılmaktadır.

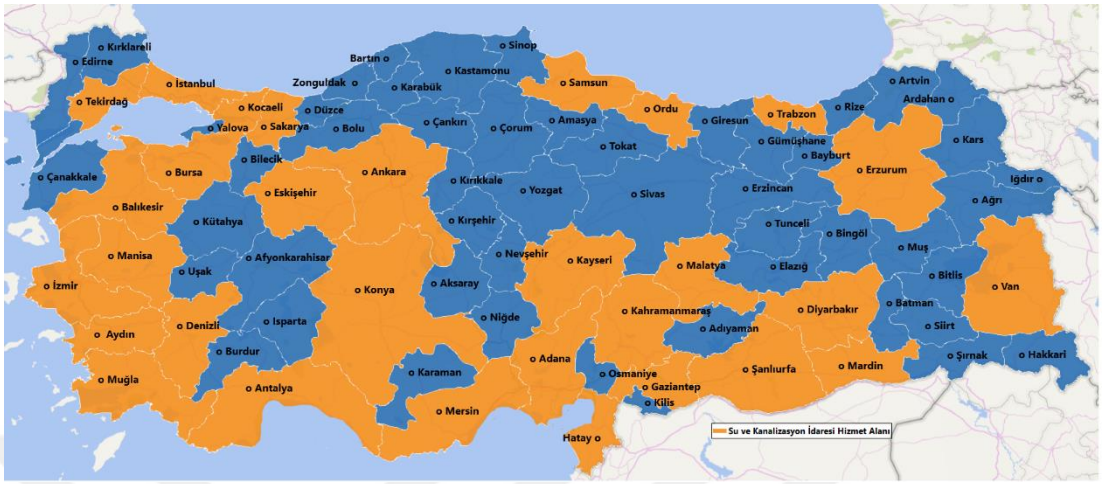
Ülkemizde atıksuların toplanması ve arıtılması görevi; 5216 sayılı Büyükşehir Kanununa ve 2560 sayılı İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Kanununa göre kurulan su ve kanalizasyon idarelerine verilmiştir. Büyükşehir olmayan diğer yerel yönetimlerde ise bu görev 5363 sayılı Belediye Kanununa göre il ve ilçe belediyelerindedir. Ülkemizde 2014 yılı öncesinde 16 adet Büyükşehir belediyesi ve bunlara bağlı olarak kurulan 16 adet su ve kanalizasyon idaresi bulunmaktaydı. Bunlardan İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Kocaeli Büyükşehir Belediyelerinin hizmet sınırı mülki il sınırlarıydı. 6360 sayılı kanun ile 2014 yılından itibaren 14 adet Büyükşehir Belediyesi ile Su ve Kanalizasyon idaresi kurulmuş olup hizmet sınırları il mülki sınırı olarak belirlenmiştir. 2015 yılında 30 su ve kanalizasyon idareleri büyükşehir olan illerimizde yaşayan ve ülkemizin % 77,5'ini oluşturan nüfusa hizmet

vermişlerdir (URL-3, 2017). Su ve kanalizasyon idareleri, 2015 yılı yıllık faaliyet raporu bilgilerinden alınan verilere göre yaklaşık olarak 2.987.602.769 m^3 su temini ile 2.724.683.020 m^3 atıksu arıtımı yapmış olup bütün iş ve işlemleri için 15.317.681.960 TL gider gerçekleştirmişlerdir. İdarelerin 2015 yılı faaliyet raporlarında yer alan verilere göre hazırlanan bilgiler Tablo 1.7'de görülmektedir (URL-10-39, 2016).

Tablo 1.7. Su ve Kanalizasyon idareleri faaliyetleri

S.No	Su ve Kanalizasyon İdaresi	Hizmet Verilen Nüfus	Hizmet Alanı (km^2)	Personel Sayısı	Abone Sayısı	İçmesuyu Temini (m^3)	Atıksu Miktarı (m^3)	Gider Bütçesi (TL)
1	Adana	2.201.670	14.256	3.161	757.777	140.891.780	105.342.383	430.502.589
2	Ankara	5.346.518	25.615	2.253	2.090.351	402.700.638	341.265.127	2.419.172.229
3	Antalya	2.328.555	20.599	2.497	1.163.469	133.259.960	62.970.530	622.372.756
4	Aydin	1.068.260	7.922	492	549.446	-	-	181.381.946
5	Balıkesir	1.196.176	14.442	908	673.659	-	-	239.905.348
6	Bursa	2.901.396	11.087	2.386	1.183.773	114.662.536	84.749.563	522.078.220
7	Denizli	1.005.687	11.716	331	-	-	2.400.000	278.221.547
8	Diyarbakır	1.673.119	15.162	614	233.471	76.294.840	39.784.753	190.918.659
9	Erzurum	762.021	24.741	824	180.495	50.149.623	1.399.074	128.214.130
10	Eskişehir	844.842	13.904	558	368.301	39.832.941	44.026.596	230.000.000
11	Gaziantep	1.974.244	7.194	486	508.422	-	-	358.377.201
12	Hatay	1.555.165	5.678	440	511.206	-	-	253.290.722
13	İstanbul	14.804.116	5.170	7.297	5.939.062	965.155.404	1.157.207.152	4.714.469.674
14	İzmir	4.223.545	11.811	2.162	-	204.464.376	316.859.391	1.166.364.020
15	Kahramanmaraş	1.112.634	14.213	796	332.659	23.834.205	6.803.600	126.025.951
16	Kayseri	1.358.980	17.116	579	523.859	73.664.840	63.314.805	204.976.007
17	Kocaeli	1.830.772	3.635	1.822	709.071	125.201.036	132.547.965	556.686.107
18	Konya	2.161.303	40.824	977	874.890	83.851.173	61.640.883	440.256.613
19	Malatya	781.305	12.235	749	263.199	39.288.463	-	133.802.893
20	Manisa	1.396.945	13.120	889	555.493	-	-	177.511.439
21	Mardin	796.237	9.097	-	-	-	-	89.229.120
22	Mersin	1.773.852	15.737	895	779.597	48.603.293	54.440.750	353.646.780
23	Muğla	923.773	12.716	669	434.316	70.567.943	191.120.908	233.256.227
24	Ordu	750.588	5.894	878	229.419	70.192.232	23.328.000	109.938.592
25	Sakarya	976.948	4.895	478	410.303	81.071.204	35.481.540	235.909.382
26	Samsun	1.295.927	9.474	638	-	56.133.200	-	257.933.803
27	Şanlıurfa	1.940.627	19.091	638	298.241	73.649.100	-	239.249.504
28	Tekirdağ	972.875	6.345	547	466.853	-	-	197.402.615
29	Trabzon	779.379	4.495	-	-	-	-	119.610.000
30	Van	1.100.190	20.927	301	127.506	-	-	106.977.886
	Toplam	61.837.649	399.111	35.265	20.164.838	2.987.602.769	2.724.683.020	15.317.681.960

Ülkemizde bulunan su ve kanalizsyon idarelerinin hizmet alanı Şekil 1.6'da görülmektedir (URL-40, 2017).



Şekil 1.6. Su ve kanalizasyon idareleri hizmet alanı

2014 yılında belediyeler tarafından kanalizasyon şebekesi ile toplanan atık suyun %81'i arıtılarak %19'u arıtılmadan farklı alıcı ortamlara deşarjı gerçekleştirilmiş olup deşarj edilen atıksu miktarı ve alıcı ortamları Tablo 1.8'de görülmektedir (URL-3, 2017).

Tablo 1.8. Alıcı ortamlara göre deşarj edilen atıksu miktarı

Alıcı ortam	Değer (bin m^3/yıl)	Yüzde
Denize	1.915.294	45,57
Göle/Gölete	93.596	2,18
Akarsuya	1.898.895	44,19
Baraja	120.781	2,81
Araziye	17.954	0,42
Diğer ortamlara	250.332	5,93
Toplam	4.296.852	100,00

1.5. Evsel Atıksuyun Özellikleri

Evsel atıksuların içerikleri; barındırdıkları maddelere göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler Tablo 1.9'da görülmektedir (Metcalf, 2003).

Tablo 1.9. Kentsel atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri (Metcalf, 2003)

Fiziksel Özellikler	Kimyasal Özellikler			Biyolojik Özellikler
	Organikler	İnorganikler	Gazlar	
Katı maddeler Koku Sıcaklık Debi	Karbonhidratlar Yağ ve Gres Pestisitler Fenoller Proteinler Yüzey aktif maddeler	pH Azot Fosfor Alkalinite Klorürler Ağır metaller Sülfür	Metan Oksijen Hidrojen sülfür	Canlı hücreler Bitkiler Tek hücreliler Virüsler

Atıksuların kirlilik ölçümlerinde bu üç temel özellik esas alınmaktadır. Yerleşim alanlarından kaynaklanan kentsel atıksularda bulunan ve kirlilik ölçümünde kullanılan başlıca parametreler Tablo 1.10'da görülmektedir.

Tablo 1.10. Evsel atıksuyun karakterizasyonuna göre sınıflandırılması (Metcalf, 2003)

Parametre	Ortalama Konsantrasyon
Toplam katı madde Çözünmüş katı madde Sabit Uçucu	720 mg/lt 500 mg/lt 300 mg/lt 200 mg/lt
Askıda katı madde Toplam Sabit Uçucu	220 mg/lt 55 mg/lt 165 mg/lt
Çökebilen madde	10 mg/lt
Biyolojik Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$), 20°C	220 mg/lt
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	500 mg/lt
Toplam Organik Karbon, TOK	160 mg/lt
Toplam N Organik N Amonyak	40 mg/lt 15 mg/lt 25 mg/lt
Toplam P Organik P İnorganik P	8 mg/lt 3 mg/lt 5 mg/lt

2. ATIKSU ARITMA

2.1. Atıksu Arıtımı

Suların çeşitli kullanımlar sonucunda atıksu haline dönüşerek yitirdikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek ve deşarj edildikleri alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin birine veya birkaçına atıksu arıtımı denilmektedir (URL-9, 2016).

Evsel atıksular; insanların temiz suyu içmesi, temizlik için kullanması ve bu kullanım sonucunda oluşan dışkı, idrar ile gri su denilen banyo, lavabo ve yıkamadan gelen içinde ağırlıklı olarak biyolojik unsurları içeren sulardan oluşmaktadır (Uğur ve diğ., 2000). Evsel atıksular koyu renkli, pis görünüşlü ve içinde bir miktar çözünebilen ve çözünemeyen maddeleri bulundurmakla birlikte %99'u su olup diğer kısımlar organik ve inorganik maddeleri ihtiva etmektedir (Başar ve diğ., 1998). Bunların dışında atıksular bakteri, protozoa, virus, helmint gibi patojenik olabilecek mikroorganizma türleri barındırabilirler (Arceivala, 2007).

Atıksular canlı sağlığı açısından birçok risk faktörü içermektedirler. Bazı risk faktörleri, kısa sürede etkili olabilmekte ve ortaya çıkan etkinin şiddeti, insanların, hayvanların veya çevresel temas potansiyeline bağlı olarak değişmektedir (Kukul ve diğ., 2007). Atıksuların içinde kimyasal maddelerin bulunması ve bu kimyasalların gıda zincirine girmesi önemli derecede sağlık riski oluşturmaktadır. İçeriğinde bu kimyasalları bulunduran gıdaların yenmesi insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Salgot, 2001). İnsan ve canlı sağlığını tehdit eden bu unsurların ortadan kaldırılması için atıksuların arıtılması gerekmektedir.

Atıksu arıtımında ana hedef, arıtılan atıksuyun deşarj edildiği alıcı ortamlarda halk sağlığına ve ekolojik dengeye olabilecek olumsuz etkilerin en az düzeye indirilmesidir. Bunun sağlanabilmesi için atıksu arıtımında gerçekleşen temel aşamalar şunlardır;

1. Askıda katı maddelerin uzaklaştırılması
2. Ağır metal ve zehirli bileşiklerin uzaklaştırılması
4. Biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin uzaklaştırılması
5. Alıcı ortam durumuna bağlı olarak azot ve fosforun uzaklaştırılması
6. Patojenik organizmaların yok edilmesi

Atıksu arıtımında, atıksuyun hangi parametresinin ne derecede arıtılacağı kanunlar ve yönetmeliklerle tespit edilmektedir. Alıcı ortamların kirlilik özümseme potansiyeline bağlı olarak belirlenen deşarj standartları ülkeden ülkeye farklılıklar gösterebilmektedir. Ülkemizde Çevre Kanunu'nun "Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği" standartları geçerli olup bir akarsuya yapılacak deşarj ile bir deniz ortamına veya bir göl ortamına yapılacak deşarj kriterleri farklılık göstermektedir (Dağ, 2002).

Arıtılmış atıksular sulama suyu olarak kullanılacaksa, bu kullanım için belirlenen standartlara göre arıtım kademelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için arıtma hedefi alıcı ortamların özelliklerine, atıksuyun kullanım alanlarına ve ekonomiye göre dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Seçilecek olan bu hedefler, atıksu arıtma tesislerinin yapım şeklini, gerekli arıtımı sağlayabilmek için kullanılacak cihaz ve ekipmanları ve bertaraf işlemleri için gerekli olan tasarımı etkilemektedir. Böylece hedeflenen amaç için optimum arıtma kombinasyonu, enerji tüketimi ve bertarafı gerçekleştirilmiş olacaktır (Kılınç, 2005).

2.2. Atıksu Arıtma Yöntemleri

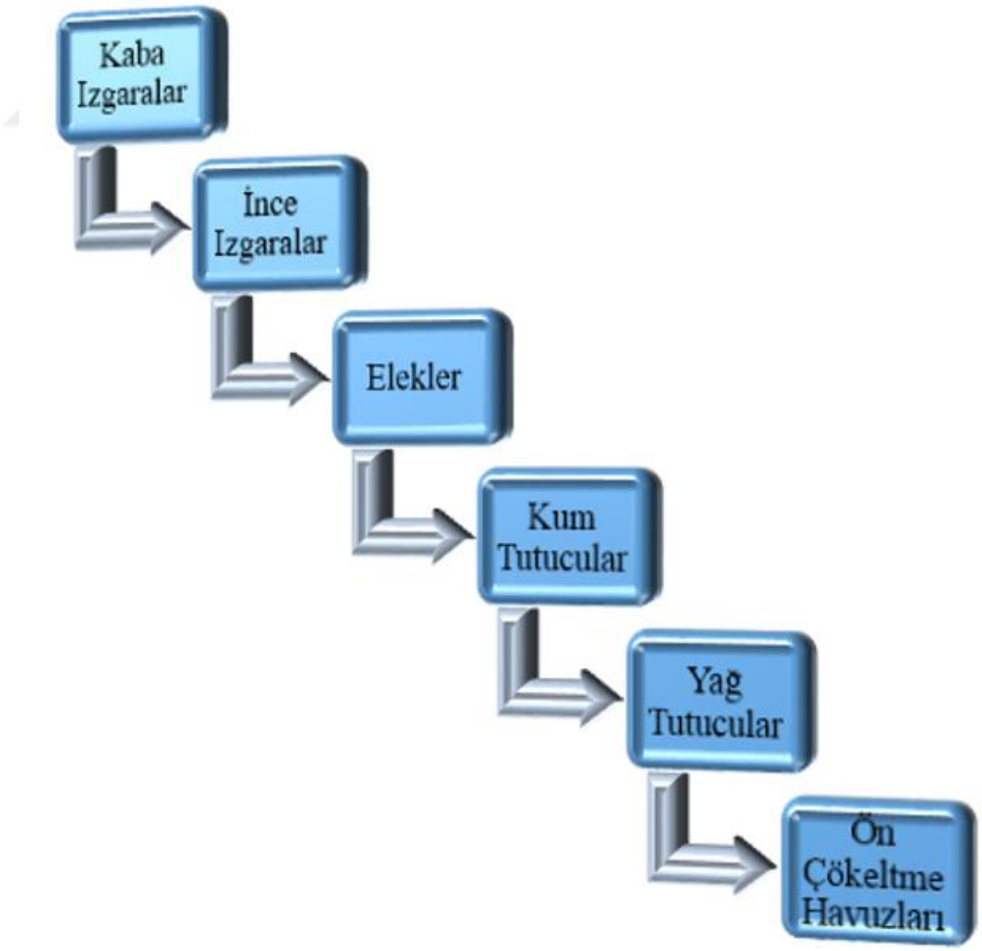
Atıksu arıtma yöntemleri fiziksel arıtma yöntemleri, kimyasal arıtma yöntemleri ve biyolojik arıtma yöntemleri olarak sıralanabilir (Mujeriego, 1999). Atıksu arıtımında temel amaç, suyun kirlilik derecesinin kullanım yerine göre istenilen düzeye indirilmesidir. Bu amaca yönelik olarak atıksu arıtımı farklı süreçlerle yapılabilmektedir (Sharma, 2015).

Atıksu arıtma yöntemleri birbirinden bağımsız olarak görülmemeli, bir bütünün birbirini tamamlayan parçaları olarak düşünülmelidir. Arıtma yöntemleri, arıtma sistemini oluşturan arıtma kademeleri olup, değişik karakterdeki atıksular için değişik arıtma yöntemleri kullanılabilmektedir. Evsel atıksular için genelde fiziksel ve

biyolojik arıtma yöntemleri kullanılırken endüstriyel atıksuların arıtımı için kimyasal yöntemlerin kullanılması tercih edilmektedir. Atıksu arıtmada her üç yönteminde kullanıldığı arıtma sistemleri bulunmakta olup atıksu arıtım yönteminin veya yöntemlerinin belirlenmesinde atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakterizasyonu, gerekli çıkış suyu kalitesi, arazi maliyeti ve kullanılabilirliği ile gelecekte deşarj edilecek suyun kalite standartlarının yükseltilmesi hususları göz önüne alınmaktadır (Eckenfelder, 1980).

2.2.1. Fiziksel arıtma yöntemleri

Atıksu içerisinde bulunan özellikle katı maddelerin fiziksel işlemlerle atıksudan uzaklaştırılması amacı ile kullanılan proseslerdir. Bu aşamda atıksuyun içerisinde bulunan ve daha sonraki arıtma kademelerindeki işlemleri yavaşlatacak, engelleyecek ve ekipmanları bozacak özellikte, farklı boyutlardaki katı maddeler giderilmektedir (Sinan, 2010). Fiziksel arıtma için kullanılan prosesler Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Fiziksel arıtma prosesleri

2.2.1.1. Kaba ızgaralar

Kaba ızgaralar, atıksuyun içerisinde bulunan büyük ebatlı parçaların tesise girişini engellemek ve bu maddelerin tesiste sıkışma, korozyon gibi olumsuz etkilerini gidermek için kullanılmaktadır (Özgüven, 2012).

2.2.1.2. İnce ızgaralar

İnce ızgaralarda çubuklar arası genişlik 2-10 cm arasında değişmekte olup yatayla 45°-60° açı yapacak şekilde yerleştirilirler. İnce ızgaralar el ile veya mekanik olarak temizlenebilirler. Çubuk ızgara tipinden başka, yay tipi, döner elek tipi, döner tambur tipi ince ızgara tipleri bulunmaktadır (Vaishnavi, 2016).

2.2.1.3. Elekler

Elekler bakır veya bronzdan imal edilmiş meyilli ve üzerinde 0,02-3 mm çapında delikler bulunan süzme aletleridirler. Elekler kentsel arıtma tesislerinde genelde biyolojik ve ileri arıtmadan çıkan suların askıda katı maddelerini ve bir miktar organik bileşiklerini tutmak için de kullanılmaktadırlar. Bu aletlerle ızgaralarda tutulamayan daha ince katı maddeler tutulmaktadır (Meroney, 2016).

2.2.1.4. Kum tutucular

Arıtma tesislerinde atıksu içerisinde bulunan 0,20 mm'den daha büyük kum tanelerini tutarak atıksudan ayırmak, bu ince maddelerin tesisin diğer ünitelerine geçmesini önlemek ve pompalar, borular, sıyırıcı ekipmanlar gibi mekanik ekipmanların aşınmasını önlemek amacıyla kum tutucular kullanılmaktadır. Kum tutucular uzunlamasına yatay veya dairesel şekilde havalandırmalı tipte olabilmektedirler.

2.2.1.5. Yağ tutucular

Atıksu içerisinde yer alan yağlar evlerden, garaj, benzin istasyonları, hastaneler, lokantalar, mezbahalar ve çeşitli endüstri tesislerinin atıklarından kaynaklanmaktadır. Yağların esas kaynağı endüstri tesisleri olup yağ tutucular öncelikle endüstriyel arıtma tesislerinde inşa edilmektedir. Kentsel arıtma tesislerinde yağların giderimi için ön çökelme havuzu yüzeyine monte edilen yüzeysel sıyırıcılar kullanılmaktadır. Yağ ve türevleri yüzeyden sıyrılarak ortamdan uzaklaştırmaktadır.

2.2.1.6. Ön çökeltme havuzları

Kaba organik ve inorganik maddelerden çoğu ızgara ve kum tutuculardа alıkonulduktan sonra, organik esaslı ve büyük ölçüde kirletici karakterde olan geriye kalmış askıdaki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Ön çökeltme havuzunun başlıca amacı atıksuyu iki temel bileşene çamur ve çökelmiş atıksuya ayırmaktır. Böylece bu iki bileşen ayrı ayrı arıtılabilir hale gelmektedir. Ön çökeltme havuzlarında askıdaki katı maddelerin %50-70'i ve $BOİ_5$'nin %25-40'ı uzaklaştırılabilir. Çökeltme havuzları dikdörtgen ve dairesel biçimde olabilmektedirler. Çökelen çamurun biriktirilmesi için çamur konisi ve bu koniye çamuru sıyıracak sıyırma ekipmanları gerekmektedir. Ön çökeltme havuzlarında atıksuyun bekletilme süresi 1,5-2,5 saat arasında değişebilmektedir.

2.2.2. Biyolojik arıtma yöntemleri

Biyolojik arıtma, atıksu içerisindeki kimyasal reaksiyonlar neticesinde çözünmüş organik kirleticilerin bakteriyolojik faaliyetlere ayrıştırılarak giderilmesi işlemidir. Bu arıtmaya "II. Kademe Arıtma" da denilmektedir.

Atıksuların özellikleri oluştukları ortamlara bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir ve bu farklılıklara göre arıtma yöntemleri de değişmektedir. Biyolojik arıtma prosesinde atıksuyun içinde bulunan askıda veya çözünmüş organik maddeler bakterilerce parçalanmaktadır. Bu işlem sonucunda organik maddeler çökebilen biyolojik floklarla sıvının içinde kalan veya gaz olarak atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmektedir. Biyolojik arıtmanın esası organik kirleticilerin doğada yok edilmeleri için yer alan biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerinin kontrollü bir alanda ve optimum şartlarda tekrarlanmasıdır. Böylece doğadaki reaksiyonlar hızlandırılarak daha kısa sürede, kontrollü ve emniyetli bir ortamda gerçekleştirilmelerini sağlanmaktadır (Tchobanoglous ve Burton, 1991). Biyolojik arıtımda evsel atıksuyun organik madde içeriğinin yanı sıra azot ve fosfor gibi besi maddeleri de giderilmektedir (İleri, 2000).

2.2.2.1. Biyolojik arıtmada mikroorganizmalar

Mikroorganizmalar, kolloidal ve çözünmüş karbonlu organik maddeleri çeşitli gazlara ve yeni hücrelere dönüştürerek kullanmaktadırlar. Hücre dokusunun özgül ağırlığı

sudan daha fazla olduğundan arıtılmış sudan çöktürülerek ayrılmaktadır. Bu mikroorganizmaları ortamdan ayırmadıkça arıtım tamamlanmış olmamaktadır. Mikroorganizmalar organik yapıda olduklarından dolayı atıksuda $BOİ_5$ veya KOİ cinsinden ölçülmektedirler ve atıksuya bir miktar kirlilik vermektedirler (Arceivala, 2007).

Mikroorganizmalar, üremelerini ve diğer hayati fonksiyonlarını devam ettirmek için enerji kaynağına, yeni hücre sentezi için karbon, azot, fosfor, sülfür, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi inorganik elementlere ihtiyaç duymaktadırlar (Syed, 1999). Biyolojik arıtmada yaygın mikroorganizma olarak bakteriler kullanılmaktadır. Fungi, protozoa, rotiferler ve algler biyolojik arıtmada etkili olan mikroorganizmalardır (Grady, 2011).

2.2.2.2. Aktif çamur yöntemi

Atıksu arıtma sistemlerinde en çok aktif çamur yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem 1914 yılında İngiliz Ardern, Lockett tarafından Amerikalı Clark'ın çalışmalarına dayanılarak geliştirilmiştir (Samsunlu, 2011). Yöntemin ismi, sisteme adapte edilmiş mikroorganizmaların biyolojik reaktöre sürekli geri devir ettirilerek aktif hale getirilmesi gerçeğinden ortaya çıkmakta olup mikrobiyal nüfus sürekli olarak aktifleştirilmektedir (Reible, 1999). Aktif çamur sistemi askıda bir kültür sistemi olup atıksu arıtımı için 1900'lü yılların başından beri kullanılmaktadır (Peavy, 1987).

Buradaki esas, mikroorganizmaların atık suyun içerisinde biyolojik değeri olan maddelerden yapı değişimi veya enerji kazanılması için faydalanmasıdır. Bu şekilde organik madde mikroorganizma bünyesine alınarak aktif çamur olarak ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Aktif çamur metodunda, havalandırma havuzu ve son çökeltme havuzu birbirine bağlı bir grup oluşturmaktadır.

Aktif çamur sistemi, sürekli bir sistem olup havalandırma havuzunda aerobik şartlarda biyolojik büyüme sağlanarak mikroorganizma ve atıksuyun karışımı ve havalandırması gerçekleştirilmektedir. Daha sonra çökeltme havuzunda çamur konsantresinin bir kısmı geri devir ettirilerek havalandırma havuzundaki karışıma ilave edilmektedir. Çökeltme havuzundaki çamurun diğer kısmı çamur arıtımına tabi tutulmaktadır (Eckenfelder, 1980).

Atıksuyun biyolojik olarak temizlenmesi, havalandırma havuzunda aktif çamur vasıtasıyla olmaktadır. Son çökelme havuzunda aktif çamur flokları çökmekte ve aktif çamur olarak havalandırma havuzuna geri pompalanmaktadır. Geri gelen aktif çamur, bakterilerin döngüsünü tamamlamakta ve havalandırma havuzu ile son çökeltme havuzunun bir bütün olarak çalışmasını sağlamaktadır. Aktif çamurun fazlalaşması halinde bir miktar aktif çamur atık olarak uzaklaştırılmaktadır. Aktif çamurun uzaklaştırılması ile havalandırma havuzundaki çamur miktarı ayarlanabilmektedir. Burada çamurun alınması aktif çamur sisteminin kararlılığını ve verimli çalışmasını sağlamaktadır. Bu metot, düşük inşaat masrafları ve iyi olan işletme şartları sayesinde yüksek olan enerji masraflarına rağmen az bakım gerektirdiğinden, az atıksu veren küçük ve orta ölçekli endüstri tesislerinin ve küçük yerleşme ünitelerinin atıksularının arıtılmasında geniş kullanım bulan oksidasyon hendekleri ve küçük arıtma tesisleri şeklinde uygulanabilmektedir. Şekil 2.2. de uzun havalandırmalı aktif çamur havuzları görülmektedir.



Şekil 2.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur havuzu (Gebze Atıksu Arıtma Tesisi)

2.2.3. Kimyasal arıtma yöntemleri

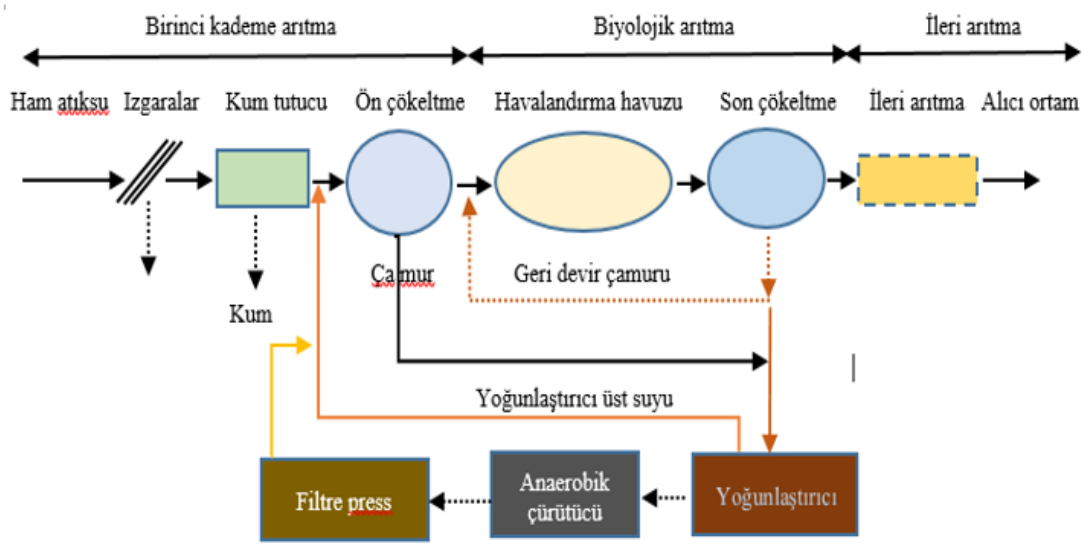
Kimyasal arıtma yöntemi, kirlilik unsurunun kimyasal özelliklerine bağlı olarak dışarıdan kimyasal madde eklemek suretiyle yapılan bir arıtma yöntemidir. Atıksu arıtımında kimyasal uygulama askıda ve çözünmüş halde bulunan katı maddelerin fiziksel özelliklerini değiştirmek ve onları çöktürmeyle kolayca gidermek için kimyasal ilavesini içeren proseslerdir. Kimyasal arıtma işleminde, uygun pH değerinde atıksuya kimyasal maddeler ilave edilmesi sonucu, çöktürülmek istenen maddeler çökeltilerek çamur halinde sudan ayrılmaktadır.

2.3. Atıksu Arıtma Tesisleri

Evsel atıksuların arıtma işlemi, mekanik, biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşan arıtma kademelerinde gerçekleştirilir. Birinci kademe arıtma, mekanik ve fiziksel proseslerden; ikinci kademe biyolojik proseslerden ve üçüncü kademe ileri arıtma proseslerinden oluşmaktadır (Samsunlu, 2011).

2.3.1. Atıksu arıtma tesislerinin genel yapısı

Atıksular arıtılsın ya da arıtılmasın son noktada bir su kaynağına verilmektedir. Genellikle deniz, nehir, göl gibi bir yüzeysel su kaynağına verilir veya nadiren zemine sızdırılırlar. Evsel bir atıksu arıtma tesisindeki işleyiş Şekil 2.3.'de görülmektedir (Samsunlu, 2011).



Şekil 2.3. Atıksu arıtımı ve arıtma kademeleri

Atıksular, arıtılmadan alıcı ortama deşarj edildiğinde aşırı beslenmeye (ötrifikasyon), yüzeysel suların anaerobik bir ortama dönüşmesine, balık ölümlerine, koku yayılmasına sebep olmaktadır. Bu durum su kaynaklarından içme suyu teminini güçleştirmekte ve hatta engellemektedir. Ayrıca su kaynaklarına atıksu deşarjı kolera, tifo, sarılık gibi enfeksiyon hastalıklarının artmasına neden olduğu gibi, bu suların endüstride ve tarımda kullanılmasını da kısıtlamaktadır veya tamamen engellemektedir. Atıksuların arıtılması ile amaçlanan, yüzeysel su kaynaklarının, yer altı sularını, zeminin kirletilmesini, çevre ve halk sağlığının zarar görmesini önlemektir.

Atıksuların arıtılmasında uygulanan işlemler devamlı olarak gelişmekte ve değişmektedir. Mevcut atıksuya bu işlemlerden hangisinin uygulanacağının karar verilmesi atıksuyun karakterizasyonunun doğru belirlenmesine bağlı olmaktadır. Atıksu karakteri genellikle özel bileşikler açısından devamlı değişmekte olduğundan karakterizasyon çalışmaları yeni arıtma metotlarının belirlenmesinde etkili olmaktadır.

2.3.2. Türkiye'de faaliyet gösteren atıksu arıtma tesisleri

Türkiye'nin 81 ilinde toplam 604 adet çalışır durumda atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin %65'i Büyükşehir belediyelerine bağlı Su ve Kanalizasyon İdareleri tarafından diğerleri ise il ve ilçe belediyeleri tarafından işletilmektedir. Belediyeler tarafından işletilen atıksu arıtma tesislerinden kişi başı günlük deşarj edilen atıksu miktarı 181 litre/kişi-gün olduğu bilinmektedir. (URL-3, 2017). Ülkemizde bulunan atıksu arıtma tesislerin %57'si biyolojik atıksu arıtma tesisi olup bütün tesislerin özellikleri ve miktarlarına ait düzenlenen veriler Tablo 2.1'de görülmektedir.

Tablo 2.1. Türkiye de bulunan atıksu arıtma tesisi sayısı

Başlık	Değer	Yüzde
Fiziksel atıksu arıtma tesisi	49	8
Biyolojik atıksu arıtma tesisi	345	57
İleri atıksu arıtma tesisi	92	15
Doğal atıksu arıtma tesisi	118	26
Toplam	604	100

Türkiye'de 1994-2014 yılları arasında deşarj miktarı, arıtma tesis sayıları ve arıtılan atıksu miktarına ait düzenlenen veriler Tablo 2.2'de görülmektedir (URL-3, 2017).

Tablo 2.2. Atıksu arıtma miktarı ve arıtma tesislerinin durumu

Başlık	1994	2002	2010	2014
Deşarj miktarı(bin m^3/yıl)	1.509.651	2.497.657	3.582.131	4.296.851
Atıksu arıtma tesisi sayısı	41	145	326	604
Toplam kapasite (bin m^3/yıl)	586.877	2.358.507	5.293.204	5.940.579
Arıtılan atıksu (bin m^3/yıl)	150.061	1.312.379	2.719.151	3.483.787
Belediye sayısı	71	248	438	513

Mevcut arıtma tesisleri çoğunlukla ülkenin sanayi ve turizm kentlerinin bulunduğu batı ve güney kesimlerinde yer almaktadır. Türkiye'de bulunan atıksu arıtma tesislerinin coğrafik dağılımı verilerinden oluşturulan harita Şekil 2.4'de görülmektedir (URL-3, 2017).



Şekil 2.4. Türkiye'de bulunan AAT'nin coğrafik dağılımı

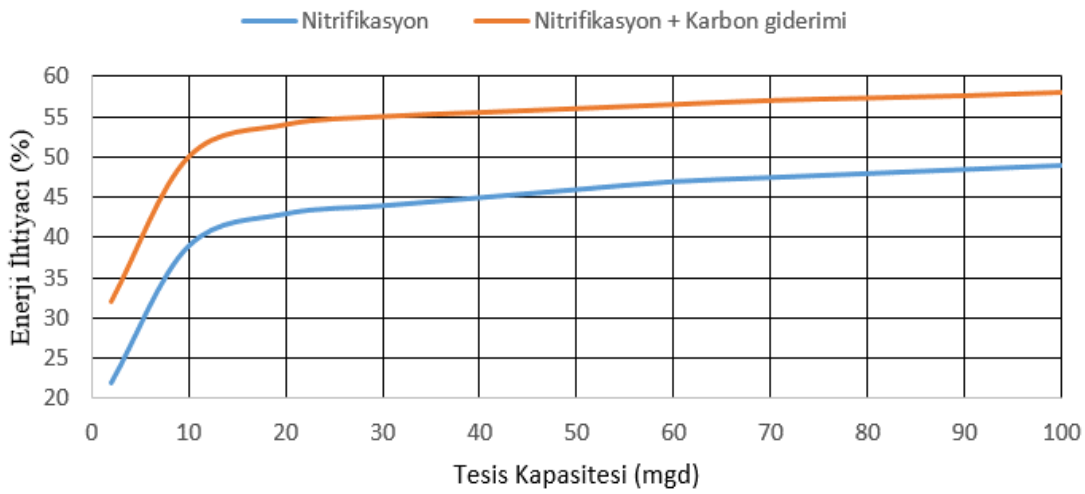
2.4. Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Kullanımı

Gün geçtikçe artan nüfusa, atıksu miktarına ve kirlilik yüküne bağlı olarak atıksu artıma tesislerinde arıtma işlemlerini gerçekleştirebilmek için önemli bir miktarda elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Tesis işletmesinde kullanılan elektrik miktarı ise atıksu deşarj standartlarında ki yeni düzenlemeler ile işletilen alt yapının yıpranmasına bağlı olarak giderek artmaktadır. Atıksuların arıtılması için gerekli olan elektrik enerjisi, atıksuyun tesise girişinden arıtılıp alıcı ortama deşarjına kadar tüketilen enerji

miktarının toplamıdır ve maliyeti tesis işletme maliyetinin yaklaşık %20-40'ı oranında değişmektedir (Carlson ve diğ., 2007; Elliott ve diğ., 2003).

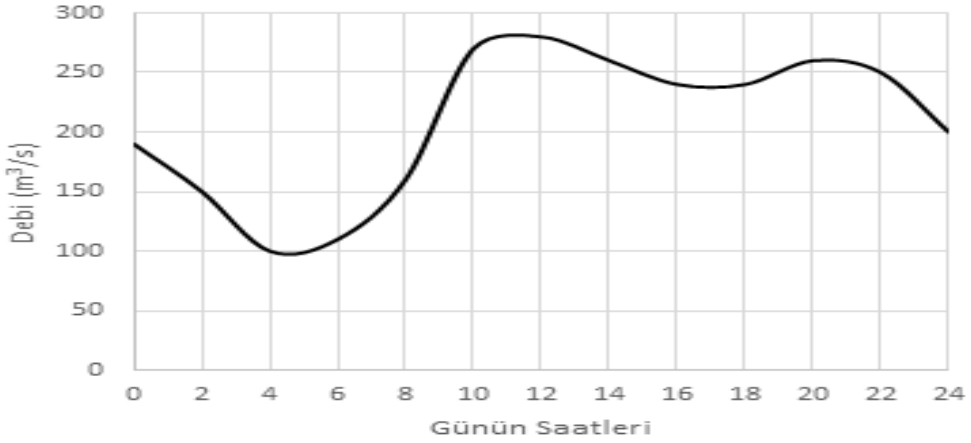
Son yıllarda dünyada elektrik enerjisi üretim maliyetleri artmış olup bu artış atıksu arıtma tesislerinin arıtma maliyetlerini de artırmaktadır. AB istatistiklerine göre 2005 yılında atıksu arıtma tesislerinde 1 m^3 atıksuyun arıtılması için tüketilen elektrik enerjisi maliyeti 0,0756 €/kWh iken 2014 yılında %46 artarak 0,110 €/kWh'e yükselmiştir (URL-43, 2017).

Atıksu arıtma tesisinin enerji tüketimi atıksuyun karakteristiğine, tesisin kapasitesine ve verimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bir aktif çamur sisteminin enerji ihtiyacının tesisin kapasitesiyle olan ilişkisini gösteren grafik Şekil 2.5'de görülmektedir (Metcalf&Eddy, 2003).



Şekil 2.5. Aktif çamur sisteminde enerji ihtiyacı (Metcalf&Eddy, 2003)

Tesisin enerji kullanımına tesis kapasitesinin yanında tesise gün içinde giren atıksu debisi ve kirlilik yükünün de etkisi bulunmaktadır. Tesise günün farklı saatlerinde farklı debilerde atıksu girmektedir. Bu değişimi gösteren tipik eğri Şekil 2.6'da görülmektedir. Gün boyunca atıksu akımındaki yük değişikliklerine bağlı olarak tesiste pompalama, havalandırma ve karıştırma işlemleri için enerji tüketilmektedir. Tesislerin günlük elektrik kullanımı eğrisi de Şekil 2.6'daki gibi gün ortası ile akşamüstü saatleri arasında pik değerlere ulaşması beklenmektedir. Bazı tesislerde değişken yük koşullarını karşılayabilmek için sistem bileşenlerini sürekli olarak veya tam kapasite ile çalıştırması tercih edilmektedir (Metcalf&Eddy, 2003).



Şekil 2.6. Evsel atıksu debisinin gün içindeki değişimi

2.4.1. Dünyada bulunan atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanım

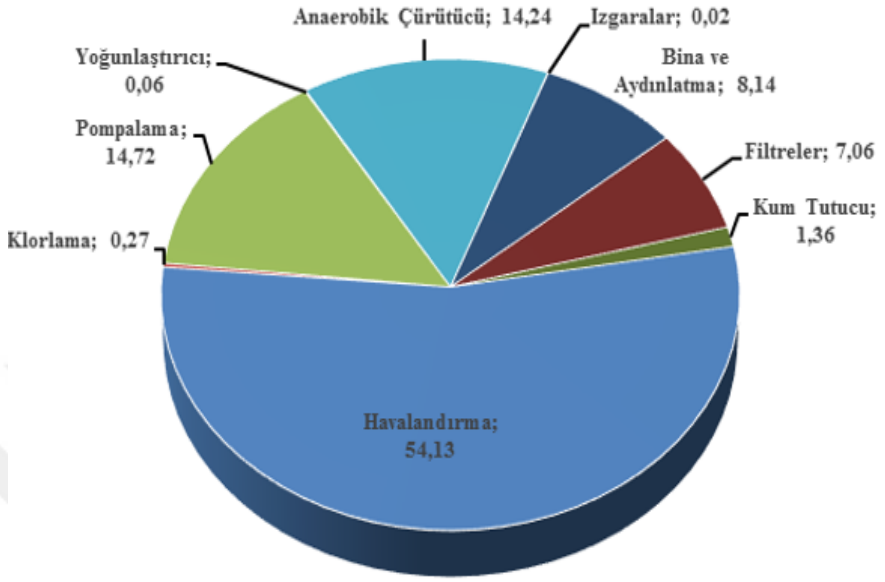
Atıksu arıtma tesisleri önemli miktarda elektrik enerjisi tüketmekte olup dünya genelinde tüketilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %0,10-0,40'nın kullanıldığı tahmin edilmektedir (Wef, 1997). Bu oran ülkeden ülkeye ve su potansiyeline bağlı olarak değişmekle birlikte İsveç'te %1 iken ABD ve İngiltere'de %3 değerinde olduğu görülmektedir. Yetersiz su kaynaklarına sahip bir ülke olan İsrail'de ise, atıksuların gerekli kullanım kalitesine ulaşmak için ileri arıtım oranının fazla olması nedeniyle %10 olduğu bilinmektedir (Olsson, 2015).

Atıksu arıtma tesislerinin ön arıtma proseslerinde kullanılan elektrik enerjisi tüketimi ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte, atık su toplama ve pompalama (terfi) ünitelerinin elektrik enerjisi sarfiyatı Kanada'da 0,02-0,10 kWh/m^3, Macaristan'da 0,045-0,14 kWh/m^3, Avusturalya'da 0,01-0,37 kWh/m^3 olduğu görülmektedir (Olsson, 2015; Pitas ve diğ., 2010). Avusturalya'daki bir atıksu arıtma tesisinde enerji tüketimi üzerinde yapılan çalışma sonucunda proseslerin elektrik enerjisi tüketimi Tablo 2.3'de görülmektedir (Kenway ve diğ., 2008).

Tablo 2.3. Avusturalya'da bir AAT'nde enerji tüketimi (Kenway ve diğ., 2008)

Ünite	Minimum-Maksimum	Ortalama
Birincil arıtma	0,10 kWh/m^3 - 0,37 kWh/m^3	0,22 kWh/m^3
Biyolojik arıtma (C giderimi)	0,26 kWh/m^3 - 0,82 kWh/m^3	0,46 kWh/m^3
İleri arıtma (C, N, P giderimi)	0,39 kWh/m^3 – 11 kWh/m^3	0,90 kWh/m^3

Tipik bir atıksu arıtma tesisinde elektrik enerjisi en fazla olarak havalandırma ünitesinde tüketilmekte olup tüketimin ünitelere göre dağılımı Şekil 2.7'de görülmektedir (Morgan, 2012).



Şekil 2.7. AAT enerji dağılımı (Morgan, 2012)

Atıksu arıtma tesislerinde havalandırma ünitelerinin yanında atıksuyu karıştırma için de oldukça önemli miktarda enerji tüketilmektedir. Bunun yanında aktif çamur sistemlerinde havalandırma sistemi aynı zamanda karışımı da sağlamaktadır. Klasik aktif çamur sistemleri ve uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinin ülkelere göre elektrik enerjisi tüketimi Tablo 2.4'de görülmektedir (Plappally ve diğ., 2012; Yang ve diğ., 2010).

Tablo 2.4. Aktif çamur enerji kullanımları (Plappally ve diğerleri, 2012)

Tesisler	Konvansiyonel Aktif Çamur Sistemi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi
Avustralya	0,46 kWh/m^3	0,50-1,00 kWh/m^3
Çin	0,27 kWh/m^3	0,30 kWh/m^3
Japonya	0,30-1,89 kWh/m^3	0,43-2,07 kWh/m^3

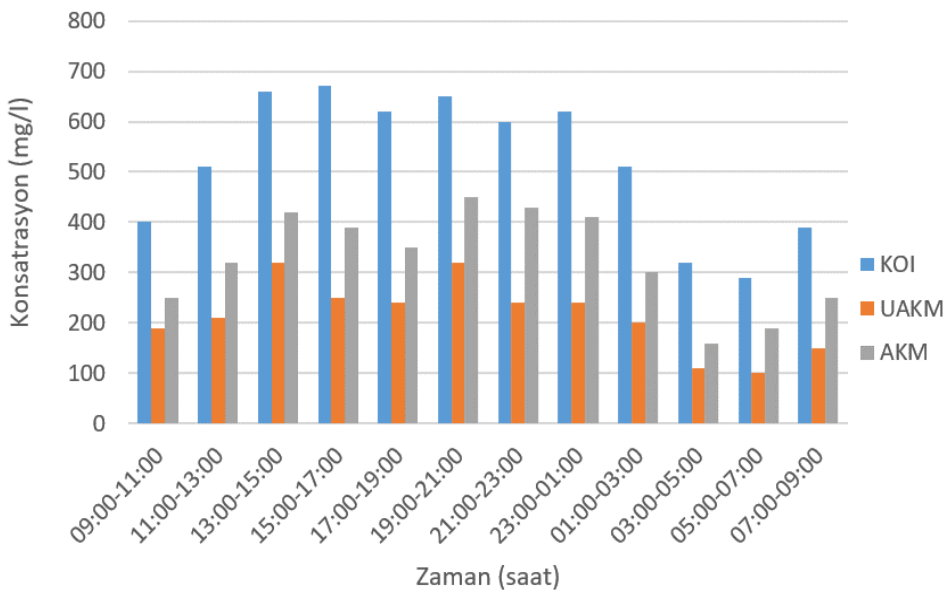
2.4.2. Türkiye'de bulunan atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımı

Dünya genelinde atıksu arıtma tesislerinin elektrik enerjisi tüketimi üzerine yapılan çalışmalar ve çalışmalar sonucu elde edilen verilerinin tesisler arası kıyaslanması ile

elektrik enerjisi tüketimine yönelik benzer yaklaşımlar ülkemizde henüz yetersiz düzeyde bulunmaktadır.

Genel olarak atıksu arıtma tesislerinde pompalar ve havalandırma ekipmanlarının bulunduğu ünitelerde en fazla elektrik enerjisi tüketimi gerçekleşmektedir. Bu ünite ve ekipmanların işletiminde ve bakımlarında yaşanan aksaklıklar elektrik enerjisi tüketimlerini artırmaktadır.

Tesise giren yükün artması tesis ünitelerinin çalışma kapasitelerini etkilemekte ve enerji kullanımlarını değiştirmektedir. Atıksu arıtma tesisleri, elektrik enerji tüketiminin gün içerisinde minimum ve maksimum olduğu zaman dilimlerine uygun olarak tasarlanmaktadır. Bunun nedeni, günün pik saatlerine bağlı olarak tesise gelen atıksu miktarının, kirlilik yükünün ve bununla birlikte elektrik enerjisi tüketiminin de artmasıdır. Paşaköy AAT için gün içinde tesise giren yük değişimi Şekil 2.8'de görülmektedir (Nuhoğlu, 2012).



Şekil 2.8. Paşaköy AAT günlük konsantrasyon değişimi

İstanbul ilinde faaliyet gösteren farklı kapasitelerdeki ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri (Ataköy, Ambarlı, Tuzla, Paşaköy) 2015 yılında tesis kapasitelerine bağlı olarak farklı miktarda elektrik enerjisi tüketimleri gerçekleşmiştir. Bu tesislerin kapasiteleri ve yıllık enerji tüketimlerinden hazırlanan veriler Tablo 2.5'de görülmektedir.

Tablo 2.5. Ataköy, Ambarlı, Tuzla ve Paşaköy atıksu tesislerinin enerji tüketimi

Tesis Adı	Eşdeğer Nüfus *	Debi (m^3/gün)	Elektrik Tüketimi (kWh/m^3)	Elektrik Tüketimi (kWh/EN.yıl)
Ambarlı	1.009.525	201.905	0,52	37,77
Ataköy	2.176.450	435.290	0,36	26,13
Tuzla	1.674.595	334.919	0,32	23,12
Paşaköy	672.285	134.457	0,37	27,37

*EN başına atıksu debisi 200 L/kişi-gün alınmıştır.

2.4.3. Kocaeli'de bulunan atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımı

Kocaeli; ülkemizin marmara bölgesinde yer almakta ollupu yaklaşık 2.200 önemli sanayi yatırımı, 13 adet organize sanayi bölgesi, 2 adet serbest bölge ve 3 adet teknopark ile Türkiye imalat sanayinde %13 pay sahibi olup, Türkiye imalat sanayi içerisinde %27'lik kimya sanayi payı ile ilk sırada yer almaktadır (URL-44, 2017). Endüstrinin gelişmesine bağlı olarak Kocaeli ili yoğun göç almaka olup il nüfusu 1965 yılında 335.518 iken son 50 yılda %445 artarak 2016 yılında ise 1.830.772 olmuştur (URL-3, 2017). Kocaeli ilinin şehir ve kırasl nüfusunun yıllara göre artış oranları Tablo 2.6'da görülmektedir.

Tablo 2.6. Kocaeli ili nüfusu

Yıl	Nüfus	Kırsal Nüfus	Şehir Nüfusu
1965	335.518	%59	%41
1970	385.408	%51	%49
1975	477.736	%47	%53
1980	596.899	%47	%53
1985	742.245	%45	%55
1990	936.163	%38	%62
2000	1.206.085	%40	%60
2007	1.437.926	%38	%62
2010	1.560.138	%6	%94
2016	1.830.772	%7	%93

Kocaeli ilinde Büyükşehir Belediyesi'nin Su ve Kanalizasyon hizmetlerini yürütmek ve bu amaçla gereken her türlü tesisi kurmak ve kurulu olanları devir alma ve bir elden işletmek üzere 04.05.1995 tarihinde Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSU) Genel Müdürlüğü kurulmuştur (URL-41, 2017).

İSU Genel Müdürlüğü; kullanılmış sular ile yağış sularının toplanması, yerleşim yerlerinden uzaklaştırılması ve zararsız bir biçimde boşaltma yerine ulaştırılması için gerekli olan her türlü tesisi yapmakla görevlidir (URL-42, 20017). Dolayısıyla İSU Genel Müdürlüğü Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan konut, işyerleri ile sanayinin atıksularını yerleşim yerlerinden uzaklaştırarak atıksu arıtma tesislerinde toplamaktadır. Bu tesislerde atıksuyun içerisinde istenmeyen kirleticileri uzaklaştırılıp Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği deşarj limitlerine uygun suyu elde ederek alıcı ortama vermektedir.

İSU Genel Müdürlüğün 2010 yılı faaliyet raporunda yer alan 7 adet ileri biyolojik atıksu arıtma tesinin elektrik enerjisi tüketimleri Tablo 2.7'de görülmektedir (URL-11 2017).

Tablo 2.7. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2010 yılı elektrik enerjisi tüketimleri

Aksu Arıtma Tesisi	Nüfus	Debi (m^3/yıl)	Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)
Karamürsel	91.896	6.708.390	1.862.286
Yeniköy	304.632	22.238.170	4.154.483
Kullar	264.813	19.331.358	6.399.779
42Evler	133.756	9.764.200	3.761.751
Plajyolu	332.597	24.279.555	4.028.063
Körfez	258.153	18.845.190	4.450.284
Altınova	44.569	3.253.520	725.968
Toplam	1.430.416	104.420.383	25.382.614

İSU Genel Müdürlüğün işlettiği 2011 yılı faaliyet raporunda yer alan 8 adet ileri biyolojik atıksu artıma tesisinin elektrik enerjisi tüketimleri Tablo 2.8.'de görülmektedir (URL-11, 2017).

Tablo 2.8. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2011 yılı elektrik enerjisi tüketimleri

Atıksu Arıtma Tesisi	Nüfus	Debi (m^3/yıl)	Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)
Karamürsel	87.690	6.401.390	1.502.464
Yeniköy	290.868	21.233.340	4.108.317
Kullar	234.721	17.134.665	5.462.918
42Evler	119.778	8.743.800	3.456.409
Plajyolu	310.825	22.690.255	3.902.563
Körfez	265.743	19.399.250	4.864.510
Gebze	91.071	6.648.189	2.527.952
Altınova	19.130	1.396.510	294.706
Toplam	1.419.827	103.647.399	26.119.839

İSU Genel Müdürlüğün 2012 yılı faaliyet raporunda yer alan 8 adet ileri biyolojik atıksu artıma tesisinin elektrik enerjisi tüketimleri Tablo 2.9'da görülmektedir (URL-11, 2017).

Tablo 2.9. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2012 yılı elektrik enerjisi tüketimleri

Atıksu Arıtma Tesisi	Nüfus	Debi (m^3/yıl)	Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)
Karamürsel	98.227	7.170.570	1.793.322
Yeniköy	82.164	5.997.996	1.122.311
Kullar	305.066	22.269.820	4.001.832
42Evler	212.526	15.514.409	6.156.545
Plajyolu	124.123	9.061.003	3.284.312
Körfez	317.196	23.155.330	3.717.747
Gebze	282.435	20.617.775	5.234.215
Kandıra	341.371	24.920.051	7.781.534
Toplam	1.763.109	128.706.954	33.091.818

İSU Genel Müdürlüğün 2013 yılı faaliyet raporunda yer alan 8 adet ileri biyolojik atıksu artıma tesisinin elektrik enerjisi tüketimleri Tablo 2.10'da görülmektedir (URL-11, 2017).

Tablo 2.10. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2013 yılı elektrik enerjisi tüketimleri

Atıksu Arıtma Tesisi	Nüfus	Debi (m^3/yıl)	Elektrik (kWh/yıl)
Karamürsel	98.227	7.170.570	1.793.322
Yeniköy	282.698	20.636.970	4.720.612
Kullar	225.729	16.478.232	7.034.678
42Evler	101.972	7.443.940	3.335.722
Plajyolu	322.715	23.558.206	3.964.219
Körfez	274.967	20.072.586	6.618.646
Gebze	362.095	26.432.932	9.813.650
Kandıra	9.948	726.222	583.702
Ortalama	1.678.351	122.519.658	37.864.551

İSU Genel Müdürlüğün 2014 yılı faaliyet raporunda yer alan 8 adet ileri biyolojik atıksu artıma tesisinin elektrik enerjisi tüketimleri Tablo 2.11'de görülmektedir (URL-11, 2017).

Tablo 2.11. Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2014 yılı elektrik enerjisi tüketimleri

Atıksu Arıtma Tesisi	Nüfus	Debi (m^3/Yıl)	Elektrik (kWh/Yıl)
Karamürsel	86.091	6.284.650	1.468.888
Yeniköy	277.312	20.243.785	5.269.431
Kullar	225.657	16.472.930	6.617.238
42Evler	93.103	6.796.523	2.797.778
Plajyolu	331.819	24.222.760	3.918.065
Körfez	258.714	18.886.144	6.846.763
Gebze	350.053	25.553.860	10.067.232
Kandıra	39.694	2.897.650	1.173.528
Toplam	1.662.442	121.358.302	38.158.925

İSU Genel Müdürlüğün 2015 yılı faaliyet raporunda yer alan 8 adet ileri biyolojik atıksu artıma tesisinin elektrik enerjisi tüketimleri Tablo 2.12'de görülmektedir (URL-11, 2017).

Tablo 2.12 Kocaeli'nde işletilen AAT'nin 2015 yılı elektrik enerjisi tüketimleri

Atıksu Arıtma Tesisi	Nüfus	Debi (m^3/Yıl)	Elektrik (kWh/Yıl)
Karamürsel	93.119	6.797.666	1.376.651
Yeniköy	292.379	21.343.644	4.869.367
Kullar	230.707	16.841.616	6.549.289
42Evler	100.434	7.331.680	2.778.178
Plajyolu	378.758	27.649.306	4.153.281
Körfez	283.539	20.698.363	6.662.725
Gebze	399.571	29.168.704	10.671.606
Kandıra	37.219	2.716.983	1.207.707
Toplam	1.815.725	132.547.965	38.268.803

Kocaeli'de bulunan atıksu arıtma tesislerinde 2010 yılı ile 2015 yılı arasında altı yılda toplam 713.200.661 m^3 atıksu arıtılmıştır. Atıksu arıtma tesislerinde bu altı yılda toplam 198.886.550 kWh elektrik enerjisi tüketilmiştir (URL-11, 2017).

2.5. Plajyolu Atıksu Arıtma Tesisi

Plajyolu atıksu arıtma tesisi, Kocaeli ili İzmit ilçe merkezinin batı bölümünden ve Derince ilçe merkezinin doğu bölümünden kaynaklanan evsel nitelikli atık suların arıtılması için inşa edilmiştir. Tesisin inşaatına 1988 yılında başlanmış ve 1995 yılında tamamlanarak devreye alınmıştır. Tesis, 1999 depreminde hasar görmüş ve çalışamaz hale gelmiştir.

2008 yılında tesisin, AB deşarj kriterleri esas alınarak ileri azot gideren biyolojik sistemden ileri azot ve fosfor gideren biyolojik sisteme dönüştürülmesi için revizyon projesi yaptırılmıştır. Bu proje ileri azot ve fosfor giderimi yapan uzun havalandırmalı aktif çamur prosesinin uygulandığı tesis biçimine dönüşmesi sağlanmıştır. Bu revizyonda biyolojik reaktör ünitelerinin oval şekilde inşası ve havalandırma işleminin ince kabarcıklı difüzörlü sistem vasıtasıyla yapılması dikkate alınmıştır. Böylece difüzörlü havalandırma sistemine geçilmesiyle önemli ölçüde elektrik tasarrufu sağlanmıştır. Tesisin revizyonları tamamlanarak 2009 yılında devreye alınmıştır. Tesisin genel görünümü Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9. Plajyolu atıksu arıtma tesisi genel görünümü

Plajyolu atıksu arıtma tesisine ait tasarım parametreleri Tablo 2.13'de görülmektedir (Kestioğlu, 2001).

Tablo 2.13. Plajyolu AAT tasarım parametreleri

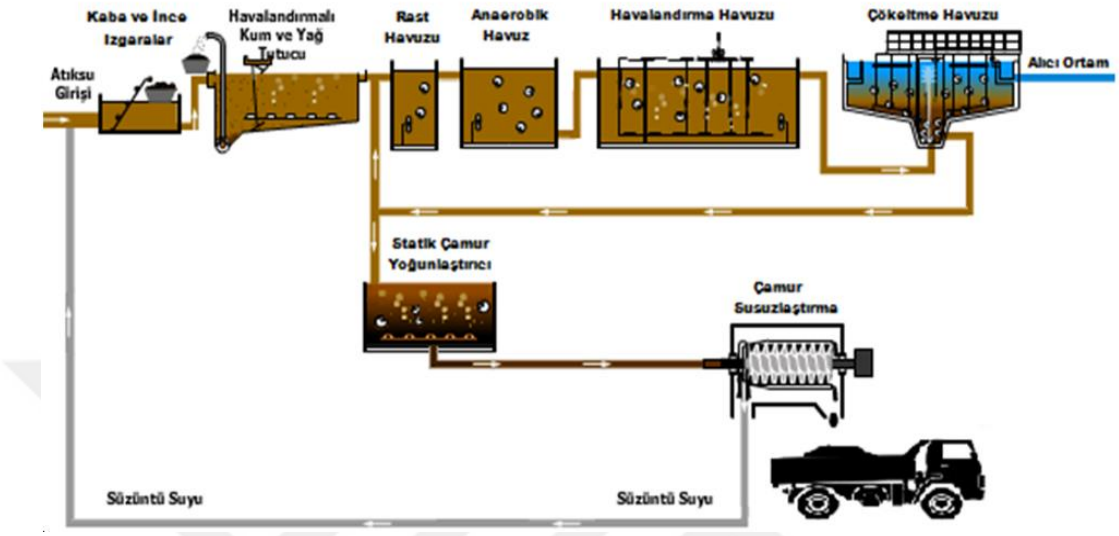
Başlık	Değer
Eşdeğer nüfus	360.000
Ortalama debi	64.350 m^3/gün
Minimum debi	43.560 m^3/gün
Maksimum debi	75.960 m^3/gün

Tesisin Su kirliliği ve Kontrol Yönetmeliğinde belirtilen alıcı ortam deşarj standartlarını sağlayacak şekilde tasarımı yapılmıştır (Kestioğlu, 2001). Tesisin giriş ve çıkış değerleri Tablo 2.14'de görülmektedir.

Tablo 2.14. Plajyolu AAT tesis ortalama giriş ve çıkış değerleri

Parametre	Giriş değeri	Çıkış değerleri
$BOİ_5$	190 mg/lt	10,45 mg/lt
KOİ	350 mg/lt	30,8 mg/lt
AKM	270 mg/lt	10,2 mg/lt
pH	7,56	7,02

Plajyolu evsel atıksu arıtma tesisinin ünite bazında gösterimi Şekil 2.10'da görülmektedir. Tesisin 2015 yılı günlük debisi ortalama 70.000 m^3/gün olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2.10. Plajyolu atıksu artıma tesisinin akış şeması

2.5.1. Tesis üniteleri

Plajyolu atıksu arıtma tesisinde aşağıda belirtilen üniteler yer almaktadır.

1. Manuel Temizlemeli Sepet Izgara
2. Otomatik Temizlemeli Kaba Izgara
3. Pompa İstasyonu
4. Manevra Odası
5. Mekanik Temizlemeli İnce Izgara
6. Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu
7. Geri Devir Çamuru Bekletme Havuzu (RAS)
8. Anaerobik Havuzlar
9. Denitrifikasyon Havuzu
10. Havalandırma Havuzu
11. Son Çökeltme Havuzu
12. Yükleme Odası
13. Aerobik Çamur Çürütücü
14. Dekantör

2.5.1.1. Havalandırma havuzu

Havalandırma havuzlarının hava ihtiyacı ince kabarcıklı difüzörler ile karşılanmaktadır. Difüzörlere verilmesi gereken hava, blower binasında bulunan blowerlar tarafından temin edilmektedir. Bu tesis için seçilen havalandırma havuzunun boyutları Tablo 2.15'de görülmektedir.

Tablo 2.15. İleri arıtma haznelerinin tasarım değerleri

Tasarım Değeri	Boyut
Havalandırma havuzu boyutları	2.430 cm x 6.444 cm x 611 cm
Debi	64.350 m^3/gün
Anaerobik tank hacmi	6.200 m^3
Anaerobik tank boyutları	1.410 cm x 4.950 cm x 611 cm
Denitrifikasyon tank hacmi	6.200 m^3
Denitrifikasyon tank boyutları	1.410 cm x 4.950 cm x 611 cm
Aerobik tank hacmi	46.800 m^3
Aerobik tank boyutları	5.010 cm x 6.324 cm x 611 cm

Havalandırma ünitesinde esas amaç atıksu içerisinde bulunan karbon ve nütrient gideriminin sağlanmasıdır. Plajyolu atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkışının proje kirlilik değerleri Tablo 2.16.'da görülmektedir.

Tablo 2.16. Plajyolu AAT giriş ve çıkış değerleri

Parametre	Giriş Değeri	Çıkış Değeri
$BOİ_5$	133,0 mg/lt	4,00 mg/lt
KOİ	250,0 mg/lt	10,80 mg/lt
AKM	256,5 mg/I	10,20 mg/lt
pH	7,56	7,02
Toplam Azot	32,0 mg/lt	3,64 mg/lt
Toplam Fosfor	7,0 mg/lt	0,99 mg/lt

2.5.2. Online izleme ile tesislerin işletmesi

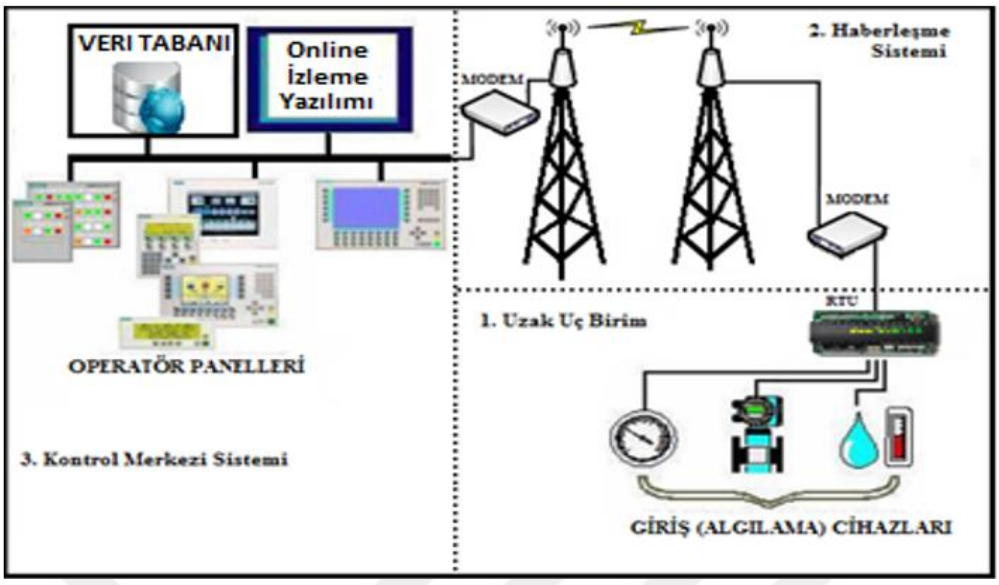
Atıksu arıtma tesislerinin normal işletilmesinde atıksuyun girişinden ve çıkışından bir gün içinde 2 saat ara ile toplam 12 adet numune alınarak kompozit numuneler elde edilmektedir. Bu numuneler laboratuvarda analiz edilerek atıksu arıtma tesisine giren

ve çıkan atıksuyun kirlilik parametreleri belirlenmekte olup bu sonuca göre tesisler işletilmektedir. Genelde bu analizler sonuçlanana kadar analizi yapılan atıksu tesisten deşarj edilmektedir. Örnek olarak 18.000 m^3/gün ila 120.000 m^3/gün arasında olan atıksu arıtma tesislerinde limitler üzerinde kirlilik yükü girdiğinde bu kirleticilerin analizi yapılana kadar 24x750 ton ila 24x5.000 ton atıksuyun tesise girişi gerçekleşmiş olmaktadır. Sisteme dahil olan ilave kirlilik yükü; enerji sarfiyatını, arıtma çamuru yükünü, kimyasallar v.b. sarfiyatlarını artırmaktadır.

Bilişim teknolojileri, kurumların günlük işlemleri için kullanılacak en önemli araçlardan biri haline gelmiştir. Bilişim teknolojilerinin yaygınlaşmasının en temel nedenleri olarak hız, kalite artışı, hizmet maliyetini düşürücü olması, kolaylıklar getirmesi ve teknolojiye sahip olma maliyetinin gün geçtikçe ucuzlaması sayılmaktadır (Gülsoy ve Kılıçaslan, 2015). Son yıllarda bilişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler kamu kurumlarının hizmet sunma yöntemlerinde değişikliğe gitmesinin sağlamıştır. Daha öncesinde fiziki olarak binaya gelme zorunluluğu olan pek çok iş ve işlem, bilişim teknolojilerinin kullanılması ile uzaktan yapılabilir hale gelmiştir (Gülsoy, 2014). Teknolojide yaşanan bu gelişmeler bağlı olarak atıksuyun AAT tesisi girişinde ve çıkışında anlık olarak kirlilik yükü tespiti önem arz etmektedir.

İSU, atıksu arıtma tesislerini optimum bir şekilde tek bir merkezden işletme, kontrol etme, denetleme ile ölçme işlemlerini düzenli, hatasız ve seri bir şekilde yapabilmek için online izleme sistemini arıtma tesislerinde 2013 yılından beri uygulamaktadır. Kurulan online izleme sistemi ile arıtma tesisinin giriş ve çıkışında atıksuyun AKM, KOİ, iletkenlik, Ph, sıcaklık, amonyum azotu, nitrat azotu, fosfat fosforu, renk, yağ değerleri sistem içinde yer alan ölçüm cihazları ile en geç bir saat içinde ölçülebilmektedir. Dolayısı ile tesisler bu verilere göre daha optimum şekilde iştetilmektedir.

Online izleme sisteminin genel bir şematik yapısı Şekil 2.11'de görülmektedir. Bu sistem sayesinde, atıksu arıtma tesisine ait tüm elemanların izlenmesi, kontrol edilmesi ve yönetilmesi yapılabilmektedir. Bu sistem, bir dizi anlık ölçüm yapan, numune alan, analiz yapan cihazları, elektronik kontrol ünitelerini, bu sistemi yöneten bilgisayarları ve iş istasyonlarını, uygulama yazılımlarını, veri tabanı yazılımları ile elektronik haberleşme bölümlerini içermektedir (Gülsoy, 2014).

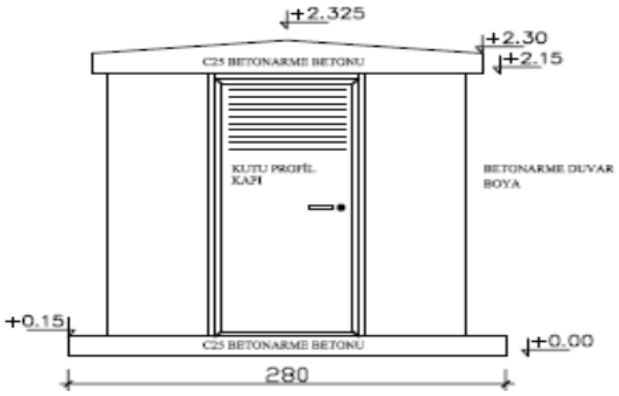


Şekil 2.11. Online izleme sisteminin genel şematik yapısı

İSU Genel Müdürlüğünde uygulanmakta olan atıksu tesislerinin online izlenmesi sistemi genel olarak aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır.

1. Saha elemanlarının içinde bulunduğu yerüstü köşkü
2. Problar ile online analiz yapan kısım
3. Ultraviyole Spektrometre metodu ile ölçüm yapan kısım
4. Vakum metodu ile örnek alan soğutucu kısım
5. Analiz edilen verileri sayısal olarak merkez birime ulaştıran iletişim kısmı
6. Sahadan toplanan bilgilerin incelenmesi ve analizinin yapıldığı merkez kısım
7. Online izleme yazılım programı ile kullanıcıların sisteme bağlandığı arayüz kısmı
8. Verilerin saklandığı veritabanı kısmı

2.5.2.1. Yerüstü köşk



Şekil 2.12. Yerüstü köşk

Sahada ölçüm yapan, numune alan, iletişimi sağlayan cihazlar ile bu cihazlara kesintisiz enerji sağlayan birimleri barındırmakta olup. Şekil 2.12'de yer üstü köşkün projesi görülmektedir. Yer üstü köşküne online ölçümü yapılacak atık suyun bağlantısı ile numune kaplarının kurallarına uygun yıkanması için de temiz su bağlantısı yapılmıştır. Bu bağlantılar Şekil 2.13'de görülmektedir.



Şekil 2.13. Yerüstü köşk atıksu ve temiz su bağlantıları

2.5.2.2. Ölçüm cihazları

Sistem içinde yer alan atıksu ölçüm cihazı probları ile atıksuyun AKM, İletkenlik, pH, Sıcaklık değerleri spektometre ile de Amonyum Azotu, Nitrat Azotu, Fosfat Fosforu, KOİ, Renk, Yağ değerleri ölçülmektedir. Ölçüm cihazı Şekil 2.14'de görülmektedir.



Şekil 2.14. Ölçüm cihazı

Problar ve Spektrometre ile atıksuyun ölçülen değerlerin kurulu network üzerinden mikrodalga haberleşme sistemi ile veritabanına kaydı yapılmaktadır. Online izleme yazılımı her bir değeri Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliğinde belirtilen limit değerleri ile karşılaştırmakta olup limit değerler aşıldığında sistem otomatik olarak uyarı vermektedir.

2.5.2.3. Numune alma

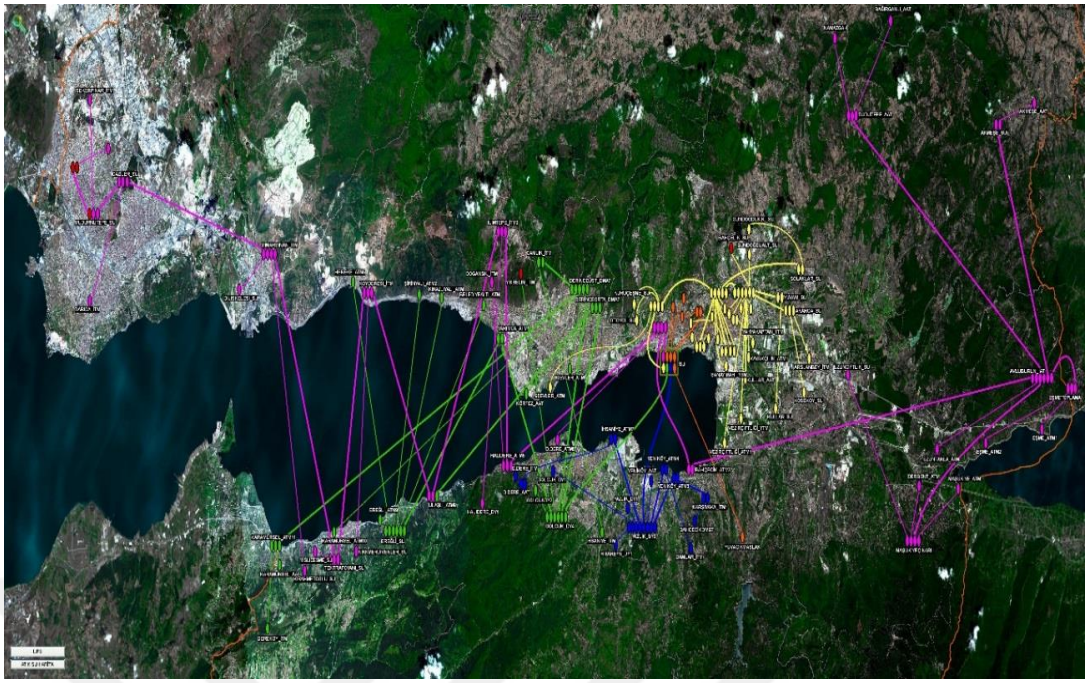
Yönetmelikle belirlenen atıksuyun deşarj limit değerlerin aşılması durumunda numune alma cihazı atıksudan vakum metodu ile otomatik olarak numune almaktadır. Alınan numune, numune alma ve saklama cihazları içerisinde uygun soğutma koşulları altında saklanmaktadır. Sistem, numune aldığında otomatik olarak uyarı vermekte olup limit değerlerinin aşılması beklenmeden de istenildiğinde numune alınabilmektedir. Numuneler kontrol için laboratuvara gönderilmekte olup numune alma kapları otomatik olarak temiz su ile yıkanmakta ve bir sonraki numune alma işlemi için hazır hale getirilmektedir. Numune alma ve saklama cihazı Şekil 2.15'de görülmektedir.



Şekil 2.15. Numune alma ve saklama cihazları

2.5.2.4. Haberleşme

Sahada yer alan yer üstü köşkler ile merkez birim arasında micro dalga sistemi ile haberleşmeyi sağlayan network kurulmuştur. Ölçüm cihazlarından alınan bilgiler network üzerinden merkez birime ulaştırılmaktadır. Ayrıca merkez birim tarafından online olarak takip edilen süreçlere gerektiğinde uzaktan müdahale edilebilmektedir. Kurulan sistemin haberleşme networkü Şekil 2.16'da görülmektedir.



Şekil 2.16. Haberleşme networkü

2.5.2.5. Merkez birim

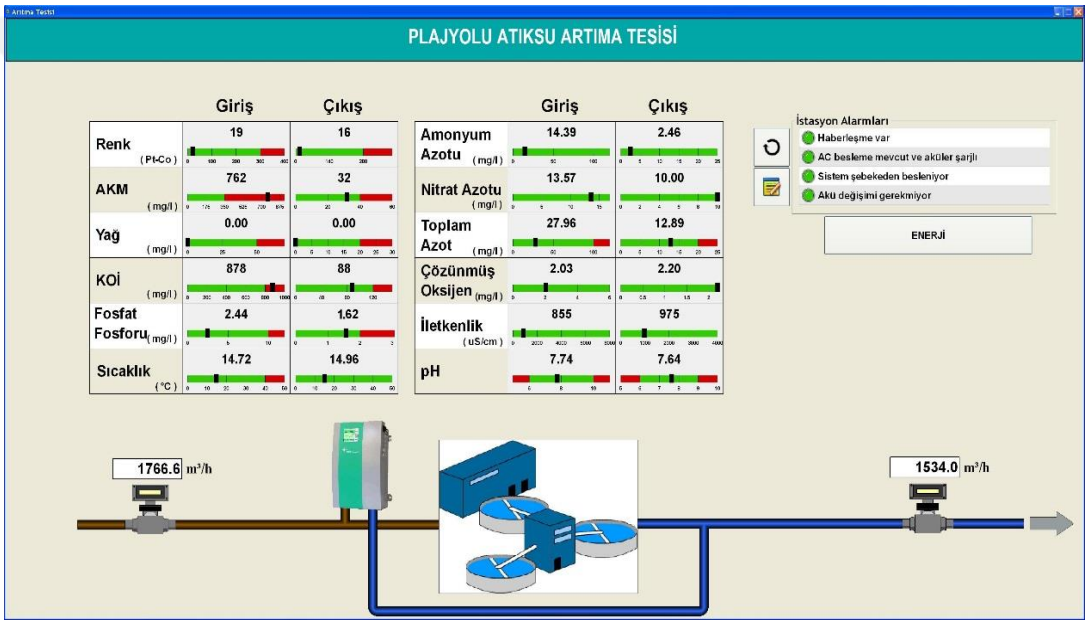
Merkez birimde görevli personel ile Kocaeli ili genelinde kurulu bulunan sistemin bütün seviyeleriyle denetlenmesi, izlenmesi ve işletilmesi yapabilmektedir. Sahadan her seviyeden toplanan bilgiler burada barındırılmaktadır ve burada işlenmektedir. Merkez birimin yönetim ekranı Şekil 2.17'de görülmektedir.



Şekil 2.17. Merkez birim

2.5.2.6. Arayüz

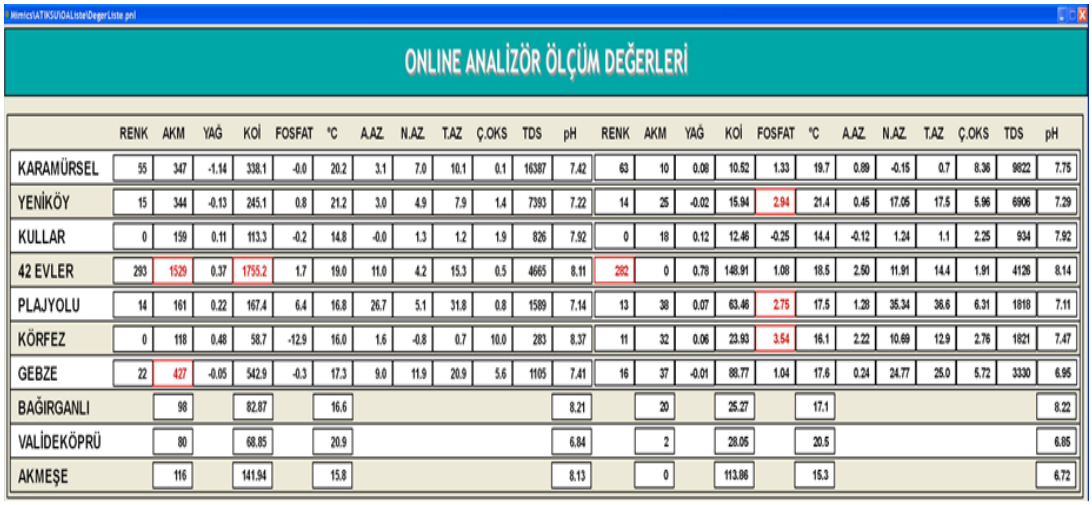
Arayüz; online izleme sistemine yetkili personelin bağlanmasını, izlemesini ve kontrolünün yapılmasını sağlamaktadır. Sahadan gelen veriler arayüz aracılığı ile kullanım amacına göre görsel bir şekilde anlamlı hale getirilmektedir. Arayüzde; arıtma tesisinin giriş debisi, çıkış debisi kirlilik parametreleri olan AKM, KOİ, yağ, fosfat, azot ile istasyon ve enerji bilgileri anlık olarak görülebilmektedir. Ayrıca yönetmeliğe göre belirlenen her bir parametre için mininum, maksimum ve aşılma halinde limit değerler yer almaktatır. Arayüz ve ekran görüntüsü Şekil 2.18'de görülmektedir.



Şekil 2.18. Arayüz

2.5.2.7. Veritabanı

Sahada bulunan ölçüm cihazları sürekli olarak atıksuyun belirli değerlerin ölçümlerini yapmaktadır. Ölçüm verileri saha ile merkez birim arasında kurulu olan network üzerinden merkez birime ulaşmaktadır. Bu veriler her birim için oluşturulan kayıt desenleri ile bu sistem içerisinde yer alan veri tabanına kayıt edilmektedir. Kayıt edilen bilgilerden bir kısmı Şekil 2.19'da görülmektedir.



ONLINE ANALİZÖR ÖLÇÜM DEĞERLERİ

	RENK	AKM	YAĞ	KOİ	FOSFAT	°C	A.AZ.	N.AZ.	T.AZ	Ç.OKS	TDS	pH	RENK	AKM	YAĞ	KOİ	FOSFAT	°C	A.AZ.	N.AZ.	T.AZ	Ç.OKS	TDS	pH
KARAMÜRSEL	55	347	-1.14	338.1	-0.0	20.2	3.1	7.0	10.1	0.1	16387	7.42	63	10	0.08	10.52	1.33	19.7	0.89	-0.15	0.7	8.36	9822	7.75
YENİKÖY	15	344	-0.13	245.1	0.8	21.2	3.0	4.9	7.9	1.4	7393	7.22	14	25	-0.02	15.94	2.94	21.4	0.45	17.05	17.5	5.96	6906	7.29
KULLAR	0	159	0.11	113.3	-0.2	14.8	-0.0	1.3	1.2	1.9	826	7.92	0	18	0.12	12.46	-0.25	14.4	-0.12	1.24	1.1	2.25	934	7.92
42 EVLER	293	1529	0.37	1755.2	1.7	19.0	11.0	4.2	15.3	0.5	4665	8.11	282	0	0.78	149.91	1.08	18.5	2.50	11.91	14.4	1.91	4126	8.14
PLAJYOLU	14	161	0.22	167.4	6.4	16.8	26.7	5.1	31.8	0.8	1589	7.14	13	38	0.07	63.46	2.75	17.5	1.28	35.34	36.6	6.31	1818	7.11
KÖRFEZ	0	118	0.48	58.7	-12.9	16.0	1.6	-0.8	0.7	10.0	283	8.37	11	32	0.06	23.93	3.54	16.1	2.22	10.69	12.9	2.76	1821	7.47
GEBZE	22	427	-0.05	542.9	-0.3	17.3	9.0	11.9	20.9	5.6	1105	7.41	16	37	-0.01	88.77	1.04	17.6	0.24	24.77	25.0	5.72	3330	6.95
BAĞIRGANLI		98		82.87		16.6						8.21		20		25.27		17.1						8.22
VALİDEKÖPRÜ		80		68.85		20.9						6.84		2		28.05		20.5						6.85
AKMEŞE		116		141.94		15.8						8.13		0		113.86		15.3						6.72

Şekil 2.19. Atıksu arıtma tesisi ölçüm verileri

Bu tez kapsamında Plajyolu atıksu arıtma tesisinde havalandırma havuzu için gerekli olacak hava miktarının 2015 yılı verilerinden ve online izleme bilgilerinden faydanılarak DP ile optimizasyonu yapılarak önceden hesaplanmaktadır. Ayrıca bu hava miktarının sağlanabilmesi için yine DP ile blowerların çalışma optimizasyonu yapılarak en az elektrik enerjisi ile en fazla hava miktarının üretilebilmesi hedeflenmektedir.

2.5.3. Havalandırma havuzu hava ihtiyacı tasarım kriterleri

$$B_{d,BOD} = C_{BOD,IAT} Q \tag{2.1}$$

$$F_T = 1{,}072^{\,(T-15)} \tag{2.2}$$

$$OU_{d,C} = B_{d,BOD}\left(0{,}56 + \frac{0{,}15\ t_{ss}\ F_T}{1+0{,}17\ t_{ss}\ F_T}\right) \tag{2.3}$$

$$X_{orgN,BM} = 0.05\ C_{BOD,IAT} \tag{2.4}$$

$$S_{NO3,D} = C_{N,IAT} - S_{orgN,EST} - S_{NH4-N,EST} - S_{NO3,EST} - X_{orgN,BM} \tag{2.5}$$

$$OU_{d,N} = 4{,}30\left(S_{NO3,D} - S_{NO3,IAT} + S_{NO3,EST}\right)\frac{Q}{1000} \tag{2.6}$$

$$OU_{d,D} = \frac{Q\ 2{,}9\ S_{NO3,D}}{1000} \tag{2.7}$$

$$OU_h = \frac{f_c\ (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N\ OU_{d,N}}{24} \tag{2.8}$$

$$P_{alt} = e^{\frac{-g\ M\ (Alt,m)}{R\ (273.15+T)}}\ 10{,}34 \tag{2.9}$$

$$C_{av} = C_{S,T,AL}\ 0{,}5\ \left(\frac{P_{dif}}{P_{alt}} + \frac{18}{12}\right) \tag{2.10}$$

$$C_{S,T,AL} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)\ C_{S30^oC} \tag{2.11}$$

$$\alpha = 1 - 0{,}16\ \left(\frac{Sd}{1.000}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{2.12}$$

$$SOTR = \frac{AOTR\ C_s\ 1{,}024^{T-20}}{F\ \alpha\ (\beta\ C_{AV} - DO)} \tag{2.13}$$

Bu çalışmada BOİ$_5$ değeri, tesisisn 2015 yılı tablolarında atıksuyun laboratuvarda analizi sonucu belirlenmiştir. Online izleme sisteminde ise atıksu analiz cihazları ile atıksuyun KOİ değeri ölçülmüş ve bunun yarısı olarak alınmıştır.

3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

3.1. Yöneylem Araştırması

Yöneylem araştırması (YA), 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkan ve son yıllarda gelişen yeni bir bilim dalıdır. Birinci Dünya savaşında Thomas Edison adlı araştırmacı mini oyun alanı oluşturarak askeri sevkiyattaki kaybı en küçük yapabilmek için taktiksel oyun modeli geliştirmiştir. İşletme Bilimi, Harekât Araştırması, Karar Bilimi, Sistem Bilimi ve Matematiksel Programlama gibi birçok terimlerle anılan bilimsel karar verme tekniklerinin, yani yöneylem araştırmasının ilk ciddi uygulaması ancak İkinci Dünya savaşı sıralarında başlamıştır (Başkent, 2004). İkinci Dünya savaşı sırasında İngiltere'de var olan radar sistemi ile Almanların hava saldırılarından en iyi şekilde korunabilmek için, farklı disiplinlerden gelen bilim adamları tarafından ilk defa geliştirilen ve bugünlerde teknoloji ve bilimin bütün dallarında kullanılmaya başlayan yöneylem araştırması, aşağıdaki üç temel yaklaşımdan oluşmaktadır (Kara, 1985).

1. Bütünleşik bir yaklaşımdır
2. Disiplinler arası bir yaklaşımdır
3. Bilimsel bir yöntemdir

Yöneylem araştırmasının en önemli tekniklerinden biri olan doğrusal programlama tekniğinin çözümünü, Amerikalı bilim adamı George B. Dantzig 1947 yılında geliştirmiştir. Bilimsel yöntemlerin etkili olarak ticari ve endüstriyel amaçlı kullanımı, 1950'li yıllardan sonra bilgisayarların ortaya çıkmasıyla yaygınlaşmıştır. Günümüzde yöneylem araştırması teknolojileri, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte hemen hemen tüm sivil ve askeri işletmecilik ya da yönetim faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Başkent, 2004).

YA, gerçek hayat sistemlerinin matematiksel modellerle temsil edilmesi ve en iyi çözümü bulmak için kurulan modellere sayısal yöntemler (algoritmalar)

uygulanmasıdır. YA genellikle kıt kaynakların tahsis edilmesi gereken durumlarda en iyi şekilde bir sistemi tasarlamaya ve işletmeye yönelik karar verme sürecine bilimsel bir yaklaşımdır (Winston, 2004).

YA'da önemli olan, alınacak kararın en uygun seçenekler topluluğundan oluşmasıdır. Bunun gerçekleşmesi ancak karar vermede sistem öğelerinin (karar değişkenlerinin) etkili olarak belirlenmesi ve bilimsel yöntemlerin kullanılması ile mümkündür (Başkent, 2004).

3.2. Doğrusal Programlama ve Uygulama Alanları

Doğrusal programlama matematiksel programlamanın özel bir alanı olup amaç fonksiyonu ve kısıtların, karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu olarak yazılabilmektedir. Bir doğrusal programlama modelinde karın en büyüklenmesi, maliyetin en küçüklenmesi hedeflenmekte olup bu hedefe ulaşabilmek için amaç fonksiyonun çözümleri kullanılmaktadır. Doğrusal programlama modelini oluşturabilmek için kıstıların doğrusal eşitlik ya da eşitsizlik biçiminde yazılmaları gerekmektedir (Bakır ve Altunkaynak, 2003). DP, II. Dünya Savaşı sırasında Amerikan Hava Kuvvetleri adına çalışan özel bir şirket tarafından askeri alanda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Doğrusal programlama kullanılan sınırlı kaynaklara göre en iyi sonucun elde edilebilmesi için tasarlanmış bir matematiksel modelleme yöntemidir (Taha, 2000).

Ticari işletmeler varlıklarını rekabet koşullarında sürdürebilmek, karlarını arttırmak için kaynaklarını en uygun şekilde kullanarak, varolan piyasa koşulları içinde en iyi üretimi sağlayacak üretim planlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bunun için en uygun planları ise YA yöntemleri arasında çok sık olarak kullanılmakta olan DP metodu ile yapmak mümkün olmaktadır. DP, taşımacılık, eğitim, bankacılık, petrol endüstrisi, madencilik ve enerji gibi çeşitli alanlarda en uygun olanı bulma problemlerinin çözümünde başarıyla kullanılmaktadır. Fortune 500 firmasının yaptığı bir anket çalışmasına konu firmaların yaklaşık %85'inin problemlerinin çözümünde, DP tekniğini kullandıkları ortaya çıkmıştır (Winston, 2003).

İşletmeler analiz yöntemleri için en yaygın olarak DP modellerini kullanmakta olup sade bir tanımlamayla, kıt kaynakların kullanım alanları arasında, en iyi

paylaştırılması problemi ile ilgilenmektedir. Bu şekliyle DP, birden fazla kaynak kullanan ve ürün üreten firmaların problemlerini çözüme ulaştırabilmede kullanılmaktadır (Kara, 2000). DP, para, araç, gereç, makine, zaman, insan gücü gibi kaynakları bazı kısıtlayıcı koşullar altında en uygun faydayı elde edecek biçimde bir arada nasıl kullanmak gerektiğini çözümleyen bir teknikler dizisidir (Bakoğlu, 1982; Özsan, 2006).

DP modeli ile tanımlanabilen bir problem, aynı zamanda bir kaynak dağılım problemidir. Bu nedenle, tekniğin kullanılabilmesi için belirli varsayımların bulunması gerekmektedir (Sarıaslan, 2000). Bunlar;

1. Doğrusallık: Model içinde kullanılacak değişkenlerin kendi arasındaki ilişkilerin doğrusal olması gerekmektedir. Oluşturulacak modeldeki tüm eşitlik ya da eşitsizliklerdeki değişkenler birinci dereceden olmalı, aralarındaki ilişkiler birinci dereceden fonksiyonlarla tanımlanabilmelidir (Taha, 2000).

2. Bölünebilirlik: Modeli oluşturan değişkenler rakamla ifade edilebilmeli karar değişkenlerinin tamsayılı değerleri yanında kesirli değerleri de alabilmelidir.

3. Toplanabilirlik: Modelde kullanılan kaynakların bu varsayım ile teker teker miktarının toplamı birlikte kulanılan kaynak miktarına eşit olabilmelidir. Ayrıca amaç fonksiyonu toplam karının bağımlı değişkenlerin tek başına ürettiği karların toplamına eşit olabilmelidir (Özgüven, 2002).

4. Belirlilik (Kesinlik): Modelde kullanılan kaynak miktarlarının, kısıtlı kullanılabilecek kaynakların, bir şarta veya birden fazla şarta bağlı olan kaynak miktarlarının ve bunların amaç fonksiyonuna katkıları bilinmelidir.

Doğrusal programlamanın kullanım amaçlarından bazıları şu şekilde sıralanabilmektedir (Üreten, 2002).

1. Bir ürüne olan talebi karşılayacak, üretim ve stoklama maliyetlerini en küçük yapacak üretim planının hazırlanması,

2. İşletmenin karını en büyük yapacak şekilde mevcut makine ve iş gücüyle üretilebilecek ürün karmasının belirlenmesi,

3. En küçük maliyetle üretimi gerçekleştirecek hammadde bileşimlerinin belirlenmesi,

4. İş gücünün makinelere tahsis edilmesidir.

Doğrusal programlamanın uygulamaları genellikle endüstriyel ve ekonomik alanlarda olmak üzere sayılamayacak kadar çok fazla alanda kullanılabilmektedir (Esin, 2003).

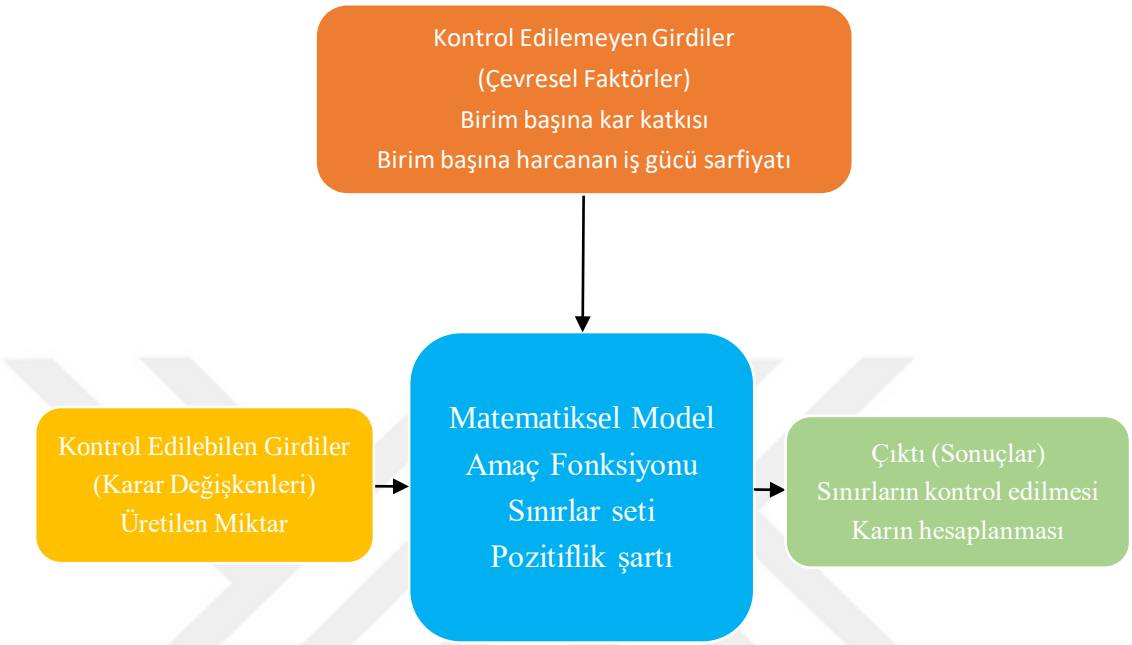
Günümüzde bilgisayar yardımıyla binlerce değişken içeren ve binlerce kısıt barındıran, birbirinden çok farklı problemler çözülebildiğinden, doğrusal programlama birçok alanda da uygulanabilmektedir. Kullanım alanları aşağıdaki listede görülmektedir (Öztürk, 2005).

1. Personel programlaması
2. Beslenme (diyet) problemleri
3. Üretim planlaması ve envanter kontrolü
4. Ulaştırma ve lojistik problemleri
5. Atama problemleri
6. Hava kirliliğinin kontrolü
7. Sermaye bütçeleme problemi
8. Kısa dönemli finansal planlama
9. Dinamik yatırım planlaması
10. Reklam seçimi problemleri
11. Portföy seçimi problemi
12. Karışım problemleri

3.3. Doğrusal Programlama Modellerinin Kurulum Aşamaları

Doğrusal programlama modellerinin oluşturulması, sayısal karar verme yöntemlerinin hepsinde olduğu gibi problemin tanımlanması ile başlamaktadır. DP yönteminin kullanılabileceği bir problem için ulaşılacak bir hedefin olması, bu hedefe ulaşabilmek için alternatif yolların bulunması, bu yollardan hangisinin hedefe en iyi şekilde ulaşabileceği yönteminin bilinmesi gerekmektedir. Bu problemin yer aldığı sistem içerisinde gözlemlenerek, denenerek probleme etki eden parametreleri belirlenir. Bu parametrelerden faydalanılarak problemin amaç fonksiyonu ve kısıtlar listesinden oluşan doğrusal programlama modeli kurulabilmektedir. Bu modelin çözülmesiyle, tüm sınır şartlarını sağlayan ve amaç fonksiyonunun değerini de en uygun yapan karar

değişkenlerinin değerleri elde edilebilmektedir. Bir üretimde, doğrusal programlama modelinin girdilerinin çıktıya çevrilme süreci Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmektedir (Özgüven, 2002).



Şekil 3.1. D.P. üretim modeli için akış diyagramı

Doğrusal programlama modellerinin temel kurulum aşamaları ve bu aşamalarda yerine getirilen faaliyetler ise aşağıda verilmiştir (Özgüven, 2002).

1. Problemin belirlenmesi: Bu aşamada hedefler, karar değişkenleri, parametreler ve sınır şartları gibi temel etkenler belirlenmektedir. Karar değişkenleri, kontrol edilebilir problemi etkileyen değişkenler olup kavramsal tanımları yapıldıktan sonra bunlar x_i, i=1, 2, 3,...,n şeklinde simgelerle gösterilmektedir. Modelde kontrol edilemeyen değişkenler ise parametre olarak tanımlanmaktadır. Parametreler, belirli koşullarda belirli değerler alabilmekte olup bunlar makine kapasitesi, insan gücü, motor gücü, enerji tüketimi, birim başına maliyet, devletin aldığı kararlar, kanunlara uygun olarak fazla mesainin normal mesaiye oranı, bir hammaddenin ürüne dönüşüm oranı vb. olabilir. Parametreler de c_j, j=1, 2, 3,…,n şeklinde simgelerle gösterilir.

2. Modelin geliştirilmesi: Problem tanımlandıktan sonra problemi en iyi şekilde temsil edecek gerçeğin basitleştirilmiş bir gösterimi olan doğrusal bir matematiksel modelin kurulması gerekmektedir.

3. Modelin çözümü: Doğrusal programlama ile oluşturulan modeller çok karmaşık olsa dahi günümüzde bilgisayar programlarındaki ilerlemelerle beraber, Lindo (Linear Interactive and Discrete Optimizer), Lingo, Gino (General Integer and Non-Linear Optimizer), Osl (Optimization Software Library), Winqsb, Microsoft Excel gibi paket programlar ile kısa sürede çözümlenebilmektedir.

4. Modelin çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi: Modelin çözümü sonucunda ulaşılan karar değişkenlerinin değerleri ile beklenen değerler karşılaştırılır. Belirlenen hata veya eksiklikler varsa karar modeli üzerinde düzeltilir ve model tekrar çözümlenir.

Böylece optimum çözüm elde edilmeye çalışılmaktadır. Optimum çözüm, amaç fonksiyonunu en büyükleyen veya en küçükleyen çözümdür (Korkmaz, 2006).

3.4. Doğrusal Programlama Modellerinin Matematiksel Gösterimi

DP modelleri üç temel kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, maliyetlerin en küçüklenmesi ya da kazançların en büyüklenmesi gibi tanımlanan amaç fonksiyonu iken, ikinci kısım en iyilik ölçütü üzerindeki sınırlamaları tanımlayan eşitlik ve/veya eşitsizlik kümesinin oluşturduğu kısıtlayıcılardır. Üçüncü kısım ise, karar değişkenlerinin negatif olmama şartının verildiği kısım olmaktadır (Çınar, 1990). Amaç fonksiyonu, ulaşmak istenen hedefin matematiksel ifadesi olup karar vericinin kontrolü altındaki parametrelerin, karar değişkenlerinin amaç üzerindeki etkilerinin analitik olarak gösterimini sağlamaktadır.

Problemi şekillendiren koşullar da sınırlar setini oluşturmaktadır. Amaç fonksiyonunda olduğu gibi sınırlar seti de matematiksel denklemlerden oluşmaktadır. Bu denklemlerde eşitliklerin bulunması tanımlanan kaynakların tümüyle kullanılacağını gösterirken, eşitsizliklerin bulunması kaynak kullanımlarının koşullu olduğunu göstermektedir (Çınar, 1990).

Bir doğrusal programlama modelinin yapısındaki amaç fonksiyonu, sınır denklemleri ve pozitiflik şartından oluşan üç temel bileşen matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir (Büyükkeklik, 2007).

1. Amaç fonksiyonu: Doğrusal programlamanın varsayımına uygun olarak

doğrusaldır. Genellikle kârın enbüyüklenmesi (maksimizasyonu) veya maliyetin enküçüklenmesi (minimizasyonu) amacına yönelik kurulurlar.

Karar değişkenleri x_j (j=1, 2, 3,…,n)

Sabit katsayılar (parametreler) c_j (j=1, 2, 3,…,n) ile gösterilmek üzere, amaç fonksiyonu;

En büyükleme problemlerinde Denklem (3.1) gibi kurulur.

$$Z_{max} = \sum_{j=1}^{n} c_j X_j \tag{3.1}$$

En küçükleme problemlerinde Denklem (3.2) gibi kurulur.

$$Z_{min} = \sum_{j=1}^{n} c_j X_j \tag{3.2}$$

2. Sınır şartları: Modelde yer alan kıt kaynaklarla ilgili sınır şartları,

b_i : i. kıt kaynağın kullanılabilir miktarı (sağ taraf sabitleri),

a_{ij} : i. kıt kaynağın j. madde üretimi için kullanılması gereken miktarı (teknolojik katsayılar) olmak üzere;

Problemlerde sınır şartları Denklem (3.3) gibi gibi kurulur.

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \leq b_i \tag{3.3}$$

Problemlerde sınır şartları Denklem (3.4) gibi kurulur.

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \geq b_i \tag{3.4}$$

3. Pozitiflik şartı: Faaliyetler koordinat ekseninin iki değişkenin de pozitif olduğu, birinci bölgesinde meydana geleceğinden karar değişkenleri mutlaka pozitif olacaktır.

Bu durum j=1, 2, 3,…,n olmak üzere,

$X_j \geq 0$ şeklinde ifade edilir.

Doğrusal programlama modelleri Denklem (3.5-3.7) gösterilen vektörler şeklinde de formüle edilebilmektedir (Büyükkeklik, 2007).

1. Amaç fonksiyonu

$$Z\ \max/\min = \begin{bmatrix} c_1, c_2, c_3, \dots, c_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

2. Sınır şartları

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \leq \\ = \\ \geq \\ \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

3. Pozitiflik şartı

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

3.5. Literatür Özeti

Hernández-Sancho (2011), İspanya da atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliği konusunda çalışma yapımıştır. Çalışmada, atıksu arıtma tesislerinin enerji yoğun tesisler olduğu, tesislerin karbon ayak izini azaltılmasında, ekonomik ve çevre açısından küçümsenemeyecek bir öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Atıksu arıtma tesisleri verimliliğinin enerji tasarrufu çalışmalarının başlangıç noktası olduğu üzerinde durulmuş olup İspanyada 177 atıksu arıtma tesisi üzerinde enerji verimliliği konusunda çalışılmıştır. Çalışmasında atıksu arıtma maliyetinin Avrupa da 2005 yılına 0,0756 € / kWh iken 2009 yılına 0,1023 € / kWh'e yükseldiği, tesislerin toplam yıllık enerji tüketiminin 19.225.285 kWh, arıtılmış toplam atık su hacminin 31.697.347 m^3 olduğu tespit edilmiştir. Gerekli çalışmalar yapılıp tüm tesisler verimli olsaydı, tasarruf edilen enerji miktarının 13.279.865 kWh/yıl olacağı bu değerin yıllık metrik 4.781'e eşdeğer ton CO_2 veya 0,15 kg CO_2/m^3 ve ekonomik olarak 3.487.293 € /yıl veya 0,11 €/m^3 değere sahip olacağı hesaplanmıştır. Tesis kapasitesinin enerji verimliliğe etkisinin büyük kapasiteli tesislerde %32'den daha verimli olduğu, arıtılmış atık suyun metreküp başına maliyeti küçük ve orta boy tesislerin sırasıyla %98'den ve %46'dan daha fazla enerji tükettiği tespit edilmiştir. Çalışmada küçük tesisler büyük tesisler ile aynı enerji verimliliği ile çalışır ise enerji tüketimi 0,322 kWh/m^3'e düşeceği ve tasarruf miktarının 0,085 €/m^3 olacağı bulunmuştur.

Li (2015), Shenzhen'de (Çin) atık su arıtıma tesislerinin birim enerji tüketimi ile arıtma kapasitesinin ve teknolojilerinin birim enerji maliyetine etkisini incelemiştir. Shenzhen'deki atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketiminin gelişmiş ülkelerdekinden

çok daha düşük olduğunu bu değerin yaklaşık 0,20 ± 0,06 kWh/m^3 olduğu, atıksu arıtımında biyolojik işlemler toplam enerji maliyetinin %50-70'ne karşılık geldiği, arıtma tesisinin kapasitesinin atık su arıtımının birim enerji maliyetini düşürdüğü, kullanılan arıtma teknolojileri önemli ölçüde atıksu arıtımının enerji maliyeti etkilediği, işçilik maliyeti ve elektrik tüketiminin sırasıyla %30 ve %26 olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, Çin'deki atıksu arıtma tesislerinde iyileştirme amaçlı makine, teçhizat ve yönetim seviyesini yükselmek gerektiği ayrıca toplam enerji maliyetini düşürmek ve enerji tüketimini azaltabilmek için tesislerin optimizasyona açık olduğu belirtilmiştir.

Panepinto (2015), bu çalışmasında atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonu oldukça popüler bir konu olduğunu belirtmiştir. İlk olarak yapısal çözümlerin tesis modifikasyonları ile optimizasyonun yapılabileceği ancak bunun normalden daha pahalı yatırımlar ve yüksek geri ödeme süresini içerdiğini, ikinci olarak işletme ve yönetim çözümleri ile enerji optimisayonunu yapılabileceği bunun daha ucuz yatırımlar ve kısa geri ödeme süresini içerdiğini tespit etmiştir. Çalışma Società Metropolitana Acque Torino (SMAT) tarafından yönetilen İtalya'nın en büyük tesisinde (2,7 M nüfuslu) yapılmıştır. Tesisin elektrik tüketiminin 66,78 GWh/yıl olduğu ve tüm tüketim verileri elektromekanik cihazlar ile tele-kontrol sisteminden doğrudan ölçüldüğü belirtilmiştir.

Pilla ve diğerleri (2015), İtalya'da enerjide yeniden yapılandırma teşviklerinin değerlendirilmesi amacıyla ENEA İtalyan Ajansı tarafından 2007 yılından bu yana toplanan büyük veriyi bir kıyaslama kriteri olacak şekilde enerjide yeniden yapılandırma teşviklerinin değerlendirilmesi için optimizasyon temelli bir metodoloji oluşturmuştur. İtalya'nın farklı bölgelerinin enerji yenileme değerlerinin ölçümlerinin optimizasyonunu belirlemek için iki doğrusal programlama modeli üzerinde çalışılmıştır. Birinci modelde enerji tasarrufunu en üst düzeye çıkarırken ikinci modelde yenileme maliyetlerini en aza indirilmesi amaçlanmış olup modellerin sonuçlarında her bir MWh enerji tasarrufu için ortalama maliyette %17'lik bir düşüş olduğunu görülmüştür. Ayrıca karar vericilere enerji verimliliği teşviklerinin şimdiye kadar nasıl kullanıldığı ve ne kadar etkili olabileceği gösterilmiş olup gelecekteki enerji teşvik dağıtım planlarını belirlemede kullanılabileceği öngörülmüştür.

Maroufmashat ve diğerleri (2015), kentsel enerji sistemlerinin geleceğinin rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerjinin depolamasını birleştiren "akıllı enerji şebekelerine" dönüşümü konusunda çalışmıştır. Hidrojenin, akıllı bir enerji ağı içinde enerji dağıtım merkezleri arasında hem enerji depolaması hem de enerji alışverişi için enerji dönüştürücüsü olarak kullanılabileceği, gelecekte en uygun enerji yönetimi için genel bir model geliştirmeyi amaçlamıştır. Doğrusal programlamada bir enerji dağıtım merkezini hem hareketlilik hem de sabit yüklerin enerji gereksinimleri amaç fonksiyonu ve kısıtlar olacak şekilde belirlemiştir. Optimizasyon çalışmasında hidrojen yakıt ikmal istasyonlarının yatırım maliyetinin en aza indirilmesi amacı için şebeke içindeki tüm enerji dağıtım merkezlerinin işletme ve bakım maliyetleri doğrusal programlamada kısıt olarak belirlemiştir. Uygulamada bir ticari bina, bir okul, konut kompleksi, hidrojen yakıt ikmal istasyonu ve Ontario ortalama elektrik fiyatı 0,13 $/kWh'dan oluşan beş adet karar değişkeni kullanılmıştır. Modelin çalıştırılması sonucunda enerji dağıtım ağında hidrojen talebini sağlayan elektrolizör ve hidrojen deposunun en iyi boyutunun sırasıyla iki 290 kW elektroliz cihazı ve dört adet 30 kg'lık tank olacağı; elektrolizör ile üretilen elektrik enerjisi fiyatının 0,036 $/kWh olacağı hesaplanmıştır.

Songsong ve diğerleri (2016), Suudi petrol şirketinin gerçek bir vaka çalışmasından esinlenilerek hazırlanan bu çalışma, Arap Körfezi kıyı alanındaki bölgesel bir gaz petrol ayırma tesisi ağı (GOSP) operasyonel giderlerinde daha yüksek tasarruf elde etme hedeflenmiştir. 200 km alanda bulunan 19 adet GOSP üretim merkezinde farklı debilerde yüzlerce ekipmanın ve binlerce değişkenin optimizasyonu ile enerji tüketiminin, dolayısı ile işletme giderlerinin en aza indirilerek daha fazla tasarruf elde edilmesi hedeflenmiştir. Tek yüzeyli tesis optimizasyonu benimsenerek elde edilen orijinal özelleştirilmiş karışık tamsayı doğrusal programlama (MILP) modeli, bir Gosps ağı işletim maliyetlerini en aza indirgemek için salınım boru hatları ve ekipman verimliliği için ham aktarımı optimize etmek için önerilmiştir. Geliştirilen model, Suudi Arabistan'daki Ghawar sahasındaki mevcut GOSP ağına, gerçek üretim oranlarından geliştirilen 12 aylık üretim senaryosunu dikkate alarak uygulanmaktadır. Kural temelli mevcut uygulama ile karşılaştırıldığında, ortalama %12,8'lik maliyet tasarrufu ile 14 milyon dolar tasarruf edilmiştir.

Oluleye ve diğerleri (2015), dağıtılmış enerji (DE) kavramı son kullanıcılara yakın mesafede enerji üretimi olup son yıllarda elektrik ve ısı üretimi için yakıtın etkin kullanımını maksimize etmenin bir yolu olarak önemli ilgi görmüş ve artan yakıt verimliliği sayesinde karbon dioksit (CO_2) emisyonlarında önemli bir düşüş sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada DE merkezinde bulunan ısı ve güç kaynağı ünitelerinin boyutları, sayıları, enerji tüketimi, ısı üretim miktarları ile oluşan atık ısının enerjiye dönüştürülmesi sayesinde toplam yıllık maliyetin bir optimizasyon ile en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Doğrusal programlama ile coğrafi bölgenin ısı ve enerji talebi profillerine göre mümkün olan teknolojilerin bir portföyünden yeni DE merkezleri tasarlamak üzere model geliştirilmiştir. Bu modelde, kombine ısı ve güç üretin üniteler bir merkezde toplanarak oluşan atık ısının kaybolmadan enerjiye dönüştürülmesi gerçekleştirilmiş olup bireysel bina ısıtma sistemlerine göre CO_2 emisyonunda %70 oranında bir azalmanın mümkün olduğunu gösterilmiştir.

Minoglou (2013), Yunanistan'da entegre katı atık yönetim sisteminin toplama maliyetlerinin asgariye indirilmesi ve tüm sistem tarafından üretilen eşdeğer karbondioksit emisyonlarının en aza indirilmesi için iki optimizasyon modeli üzerinde çalışma yapmıştır. Geri dönüştürülebilen malzemelerin ayrıştırılmasında sekiz bileşenli (kağıt, karton, plastik, metal, cam, gıda atıkları, bahçeli atıklar ve diğer atıklar) ve dört adet belediye katı atık teknolojisine (yakma, kompostlama, anaerobik sindirim ve deponi doldurma) göre 32 karar değişkenini doğrusal programlama ile modellemiş olup maliyet ile CO_2 emisyonları arasında ters orantılı bir bağıntının olduğunu tespit etmiştir.

Lauinger ve diğerleri (2016), konutların enerji ihtiyacını karşılamak üzere optimal yatırım ve işletme kararlarını belirlemek için doğrusal programlama ile karar destek aracı geliştirilmiştir. Kojenerasyon yakıt hücresi, ısı pompası, kazan, fotovoltaik paneller ve güneş termal toplayıcılar gibi enerji dönüştürme cihazları ile batarya ve bir sıcak su deposundan oluşan enerji depolama cihazları ile nasıl bir araya getirilebileceğini göstermiştir. Yerden ısıtma, sıcak su ve elektrik ihtiyaçlarını karşılarken toplam yıllık enerji maliyetlerini ve CO_2 emisyonlarını düşüreceği, enerji talebi ve üretimine bağlı olarak konutun enerji tüketiminde %5 ile %60 arasında maliyet düşüşleri mümkün olabileceği üzerinde çalışma yapmıştır.

Gupta ve diğerleri (2016), metro demiryolu ağlarında enerji tüketimini en aza indirmek için iki aşamalı doğrusal programla optimizasyon modeli ile enerji verimliliği üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada demiryolu ağındaki kısıtlara bağlı olarak tüm trenler tarafından trenlerin frenlemesi ile üretilen rejeneratif enerjinin kullanımını en üst düzeye çıkarmayı hedeflemişlerdir. Modelin doğrusal programlama üzerine kurulması ve en kolay uygulanabilirliği ile optimizasyon modeli Shanghai metrosunda bir gün içinde (18 saat) binlerce aktif trenin farklı duruşlarına uygulanmıştır. Her bir örnek için model optimal duruş zamanı çizelgesini bulmuş toplam enerji tüketiminde yaklaşık %19' luk tasarruf sağladığı görülmüştür.

Wouters ve diğerleri (2015), doğrusal programlama ile mevcut elektrik şebekesi üzerine dağıtık enerji üretim üniteleri ile küçük şebeke entegrasyonu yaparak daha verimli ve uygun maliyetli bir yerel enerji sistemi modeli sunmuşlardır. Bu modelde yıllık enerji talebini karşılamak ve yıllık maliyetini en aza indirmek için konutlardan oluşan küçük bir mahallenin yerden ısıtma ve soğutma sistemi, dağıtık enerji üretim birimleri, enerji depolama birimlerinin bütünleşik olarak çalışması ve istenildiğinde şebekeye bağlanarak elektrik enerjisini temin etme üzerinde çalışılmıştır.

Umetani (2016), elektrikli araçlar (EV), sera gazı emisyonlarının ve benzin fiyatlarının artması nedeniyle benzinli araçlara göre daha cazip bir alternatif haline gelmiştir. Evlerde akıllı şarj ve deşarj sisteminde batarya depoları kullanılarak araç-şebeke güç sistemi vasıtasıyla elektrik şebekesinde büyük dalgalanmaların dengelenebileceğini belirtmişlerdir. Doğrusal programlama ile elektrikli araçların şarj ve deşarj algoritmaları, kalkış sürelerinde talep edilen enerjinin optimum seviyede olabilmesi ve evlerde araç bataryarların pik yük azaltılması modeli üzerinde çalışmışlardır.

Bouras (2016), bu çalışmasında minimum miktarda çıktıların belirli bir zaman periyodu boyunca örneğin bir yıl boyunca, doğal gaz tedarikçileri sözleşmeleri üzerinde durulmuştur. Alınacak veya ödeyecek sözleşmelerin portföyünü yönetmek için matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde, mevcut homojen olmayan maddelere ilişkin kısıtlamalarda ve bazı sözleşmelerde istenmeyen ceza ödemelerinin yapılması ve başkaları üzerinde aşırı ödemelerin olmaması için kullanılarak elektrik ihtiyacını karşılamak için enerji santrallerini destekleyecek şekilde genişletilmesini sağlarken, teslimat noktasından gaz alıyor ve sözleşmenin şartlarını yerine getirmiştir.

He (2015), Bu çalışmada, Doğrusal programlama ve ekonomik girdi-çıktı analizi kullanarak bir ekonominin enerji ithalat esnekliğini incelenmiştir. Özellikle, ekonominin iç taleplerden ödün vermeksizin sürdürebileceği azami enerji ithalatının azaltılması düzeyini inceleyerek bir enerji ithalatı direnç endeksi önerilmiştir. Daha sonra direnç endeksini verimli bir şekilde hesaplamak için doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Metodoloji, farklı enerji üretimi portföy varsayımları altında enerji ithalatının direncini incelemek için Çin'in girdi-çıktı verilerini kullanarak bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Modellerin sektörler arası bağımlılıkların önlenmesinde nasıl kullanılabileceği ve enerji esnekliğini sistematik bir şekilde geliştiren karar verme mekanizmalarına rehberlik edebileceği gösterilmiştir.

Kermani ve diğerleri (2014), kağıt hamuru ve kağıt işleme konularında suyun ve enerjinin endüstriyel proseslerde kullanılması sırasında ısıl tüketimi azaltarak iç ısı geri kazanımı maksimize ederek su tüketimini optimize eden Doğrusal Programlamaya dayanan bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde ısıl akış sayısını azaltarak ve izoterm olmayan karıştımayı farklı noktalarda yaparak ısı eşanjörlerine gereksiz yatırım yapmaktan kaçınarak termal akış sayısını azaltmak ve yatırım maliyetini düşürmek için düşünülmüştür. Şebekedeki termal akışların sayısını azaltmak için eşzamanlı su ve enerjinin optimizasyonu için doğrusal bir matematiksel modele dahil edilmiştir. Dolayısıyla, ısı eşanjörlerinin sayısını azaltılarak ve yatırım maliyetini düşürülmüştür. Kağıt hamuru ve kağıt sanayi ihtiyaçlarına cevap vermek için, kısıtlı eşleşme, su tanklarının sıcaklık esnekliği ve tamsayı kesme kısıtlama tekniği kavramlarını dahil ederek SOWE yöntemi geliştirmiştir. Sonuç olarak, maliyet etkin bir karar verme çözümleri spektrumu elde edilmiştir. Bir kraft değirmenine yeterli bir şekilde uygulanmış ve suyun tekrar kullanılması yoluyla sıcak su üretimi için kullanılan buharın tamamen ortadan kaldırılmış olması, su tüketiminin 24 %'e düşürülebileceği gösterilmiştir.

Albey (2012), geliştirilen formların yetkinliğini göstermek adına, formları önce tek makinalı çok ürünlü sistemlerde sınamış, bu ortamlarda elde edilen sonuçlar, yeni ürün bazlı çok boyutlu ayrışık çevrim fonksiyonlarının formlarının ürün bazlı çıktı tahmininde mevcut çevrim fonksiyonları yaklaşımlarından ve klasik doğrusal planlama modellerinden daha başarılı olduğunu, dolayısıyla daha iyi (daha kârlı) üretim planları ortaya koyduğunu göstermiştir.

Şişman (2015), doğrusal programlama yönteminin çalışmada hedeflenen sonuçları elde etmeye yönelik işlediği görülmüş olup ayrıca, tersine ürün akışlarının, belirsiz bilginin ve kurumsal sosyal sorumluluğun dikkate alındığı kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarımında ürün akışları ileri ve geri yönlü olmak üzere dengelenmiş ve en uygun noktalarda üretim, dağıtım ve toplama merkezleri açılmıştır.

Yıldırım (2011), doğrusal programlama (DP) modeli kullanılarak, 15 ürüne ait en fazla kazanç sağlayacak en uygun ürün bileşimi modeli elde edilmiş, toplamda %15,5'lik bir üretim kaybının oluştuğu tespit edilmiş. İşletmenin bu zaman zarfında ortalama 9.453 m^3 daha fazla ürün üretebileceği, 51.518 m^3 yerine 60.971 m^3 üretim yapabileceği sonucuna varılmış ve ortalama 22,22 saat yerine 18,77 saatlik bir çalışmayla da aynı üretimin gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

Özder (2009), tarfından yapılan çalışmada DP yöntemini kullanarak üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Bu yöntem ile firmanın 124.433 Avro olan üretim maliyetinde azalma görülmüştür. Böylece firma %22 oranında maliyet avantajı sağlayarak üretim maliyetlerini hesaplarken kullandığı yöntem incelenmiş ve firmaya biri işçilik ücretlerinin yıllık bazda diğeri parça basına hesaplandığı iki model önerilmiştir. İşçilerin maliyetlendirilmesinde parça başına çalışılan süre bazında ücretlendirme yapmasının en uygun yol olduğuna karar verilmiştir. Firmanın 6 makine satın alması ve 7 isçi çalıştırması gerekliliği ortaya çıkmış ve modelin çözümü firmanın 124.433 Avro olan üretim maliyetlerinin 97.269 Avro'ya düşürülebileceğini göstermiştir. Böylece firma yaklaşık %22 oranında maliyet avantajı sağlamıştır.

Yukarıdaki çalışmalarda da görüldüğü üzere Doğrusal Programlama ile yapılan optimizasyon çalışmaları ile üretim maliyetlerinin, iş gücü maliyetlerinin ve diğer maliyetlerin düşürülebildiği tespit edilmiştir. Doğrusal Programlamanın atıksu arıtma tesisilerinde enerji tüketiminin optimizasyonu üzerinde uygulama örneğinin olmamasına karşın yapılan bu çalışmada doğrusal programlama kullanılarak kentsel atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzunda kullanılan enerjinin, DP ile optimizasyon algoritması oluşturulmuş ve minimum enerji tüketimi ile maksimum hava miktarının elde edilmesi için araştırma yapılmıştır. Bu çaışma ile enerji maliyetlerinde tasarruf yapılacileceği hedeflenmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Enerji etüdü kısmında; tesiste bulunan enerji tüketen ekipmanların envanteri çıkarılmıştır. Tesisin 2015 yılı aylık bazda günlük olarak tesise giren atıksu debisi, AKM, KOİ, $BOİ_5$, TKN, sıcaklık değerleri ile tesisten çıkan atıksuyun AKM, KOİ, $BOİ_5$, TKN, sıcaklık değerleri ve tesiste kullanılan enerji miktarı ölçülmüştür. Bu ölçümler EK-A-D'de yer almaktadır. Bu verilerden yola çıkılarak, arıtma tesisinin havalandırma havuzu hava ihtiyacını karşılamak için gerekli olacak elektrik enerjisinin davranış modelinin çıkarılması hedeflenmiştir. Modelin sınır değerlerinin tespit edilmesi için tesisin 2015 yılı verilerinden debi, sıcaklık, G-$BOİ_5$, Ç-$BOİ_5$ ve azot konsatrasyon değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Tesisin tasarım kriterlerine göre gerekli olacak hava miktarına göre enerji tüketimi, her bir değer için çıkartılarak tesisin davranış modeli oluşturulmuştur.

Enerji optimizasyonu kısmında ise; online izleme sisteminden anlık olarak alınan veriler ile enerji etüdü kısmında oluşturulan davranış modeli ve enerji optimizasyon kı belirlenen sınır şartları kullanılarak, havalandırma havuzu için gerekli olacak havanın üretimini sağlayacak blowerların enerji tüketiminin en az olacak şekilde DP ile optimizasyonu yapılmıştır.

4.1. Enerji Etüdü

Plajyolu atıksu arıtma tesisinde gücü 0,48 kW'tan 160 kW'a kadar toplam 54 adet ekipman bulunmaktadır. Gün içinde bu ekipmanların bazıları 2 saat bazıları ise 24 saat çalışmaktadır. Bu ekipmanların güç tablosu ve günlük enerji sarfiyatı Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Ekipman güç tablosu ve günlük enerji sarfiyatı

	Ekipman	Miktar	Güç (kW)	Çalışma Süresi (saat)	Enerji (kWh)
1	İnce ızgara	1	1,50	2	3,60
2	Kaba ızgara	1	1,50	2	3,60
3	Kum pompası	2	4,00	2	19,20

Tablo 4.1. (Devam) Ekipman güç tablosu ve günlük enerji sarfiyatı

4	Hava. kum-yağ tutucu blower	2	15,00	24	864,00
5	RAS havuzu karıştırıcı	3	3,30	24	285,12
6	Anaerobik havuz karıştırıcısı	2	5,50	24	316,80
7	Denitrifikasyon havuzları karıştırıcısı	2	5,50	24	316,80
8	İçsel geri devir pompaları	6	8,20	24	1.416,96
9	Hav. havuzu I. grup karıştırıcısı	6	5,05	24	950,40
10	Hav.havuzu II. grup karıştırıcısı	6	7,40	24	1.278,72
11	Hav. havuzları blower	4	160,00	24	18.432,00
12	Çökeltme havuzu sıyırıcı	4	1,50	24	172,80
13	Çamur depolama havuzları blower	2	18,80	24	1.082,88
14	Geri devir pompası	3	75,00	24	6.480,00
15	Fazla çamur pompası	2	3,00	8	57,60
16	Polielektrolit ünitesi pompaları	2	0,37	8	7,10
17	Polielektrolit ünitesi karıştırıcıları	3	1,10	8	31,68
18	Demir klorür dozlama pompaları	1	0,18	8	1,73
19	Dekantör pompası	2	86,00	8	1.651,20
Toplam					33.372,19

* Verim %80 alınmıştır

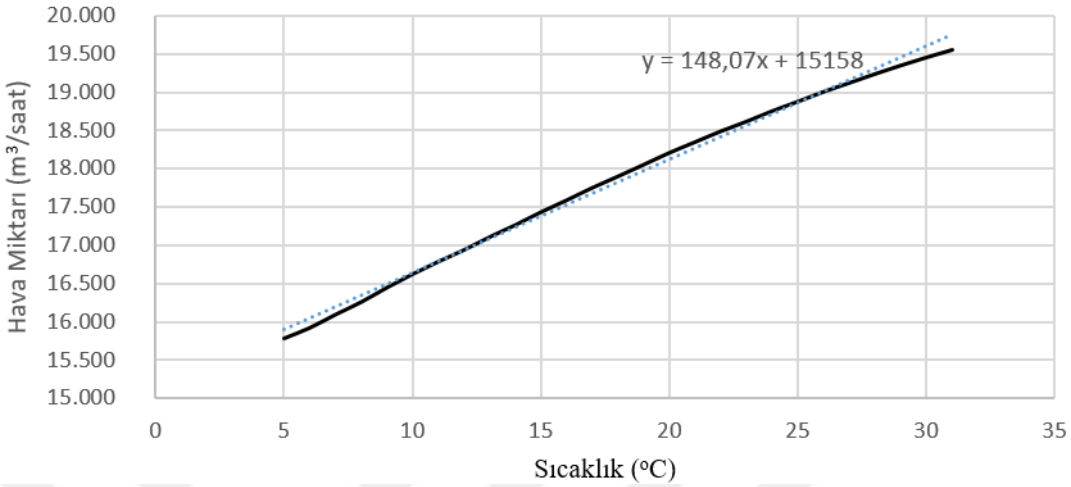
Arıtma tesisinin havalandırma havuzuna gerekli olacak hava ihtiyacını karşılamak için davranış modelinin sınır değerleri 2015 yılı verilerinden hesaplamıştır. Bu değerler Tablo 4.2.'de görülmektedir.

Tablo 4.2. AAT'nin 2015 yılı değerleri

Parametre	Birim	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık	ºC	8	27	18
Debi	kg/gün	25.934	101.768	80.356
Giriş $BOİ_5$	mg/lt	33	254	133
Çıkış $BOİ_5$	mg/lt	2	9	4
Giriş Azot Konsantrasyonu	mg/lt	6	45	21
Enerji	kWh	9.946	23.980	18.112

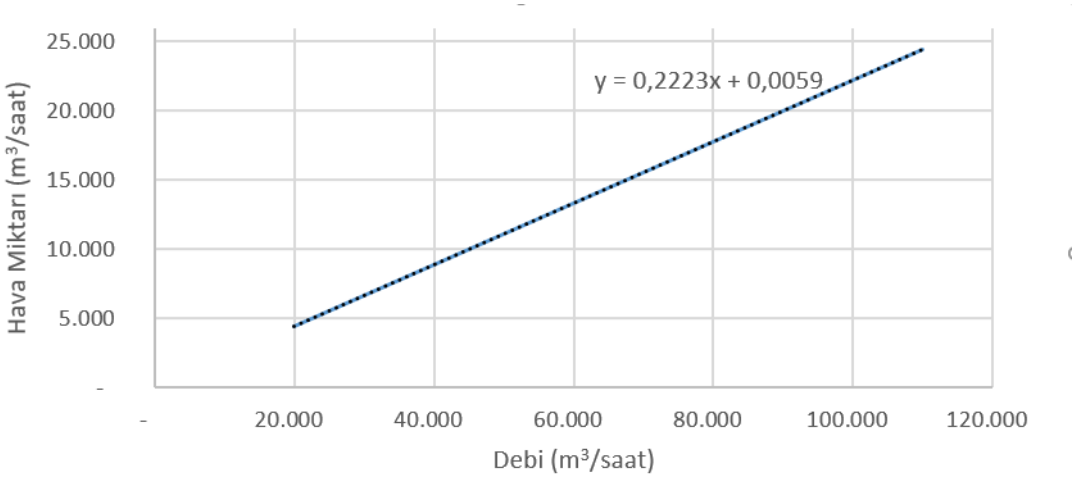
Atıksuyun 2015 yılı günlük olarak ölçülen debi, G-$BOİ_5$, Ç-$BOİ_5$, Azot verilerinin ortalama değeri ile sıcaklık değeri minimumdan başlayarak +1 derece artırılarak maksimum sıcaklık değerine ulaşıncaya kadar elde edilen sıcaklık değerleri Denklem (2.1-2.13) kullanılarak havalandırma havuzu için gerekli olacak hava miktarının hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen bu değerlerden yola çıkarak sıcaklık ile

hesaplanan hava miktarı arasındaki bağıntı çıkarılmıştır. Bu bağıntı Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Sıcaklığın hava miktarına etkisi

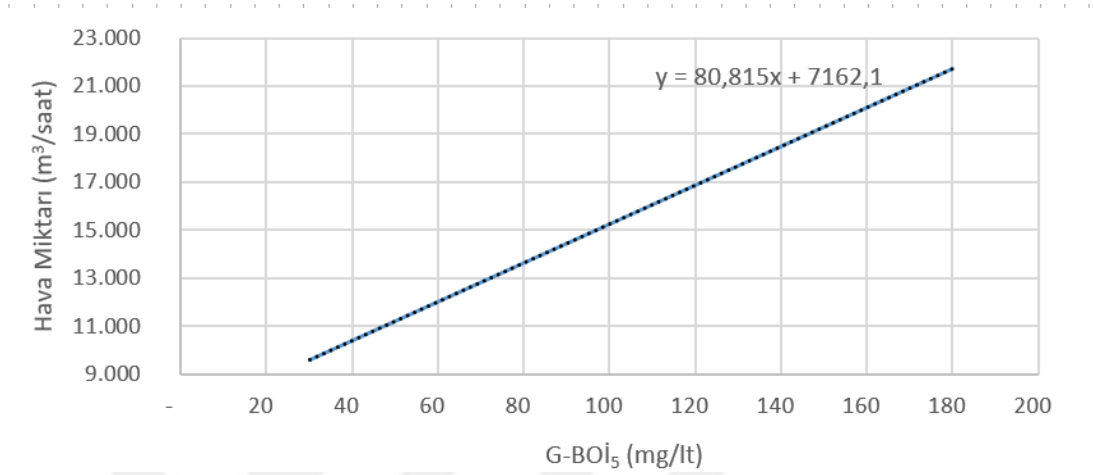
Atıksuyun 2015 yılı günlük olarak ölçülen sıcaklık, G-BOİ$_5$, Ç-BOİ$_5$, Azot verilerinin ortalama değeri ile debi değeri minimumdan başlayarak +2.000 m^3/saat artırılarak maksimum debi değerine ulaşıncaya kadar elde edilen debi değerleri Denklem (2.1.-2.13) kullanılarak havalandırma havuzu için gerekli olacak hava miktarının hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen bu değerlerden yola çıkarak debi ile hesaplanan hava miktarı arasındaki bağıntı çıkarılmıştır. Bu bağıntı Şekil 4.2.'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Debinin hava miktarına etkisi

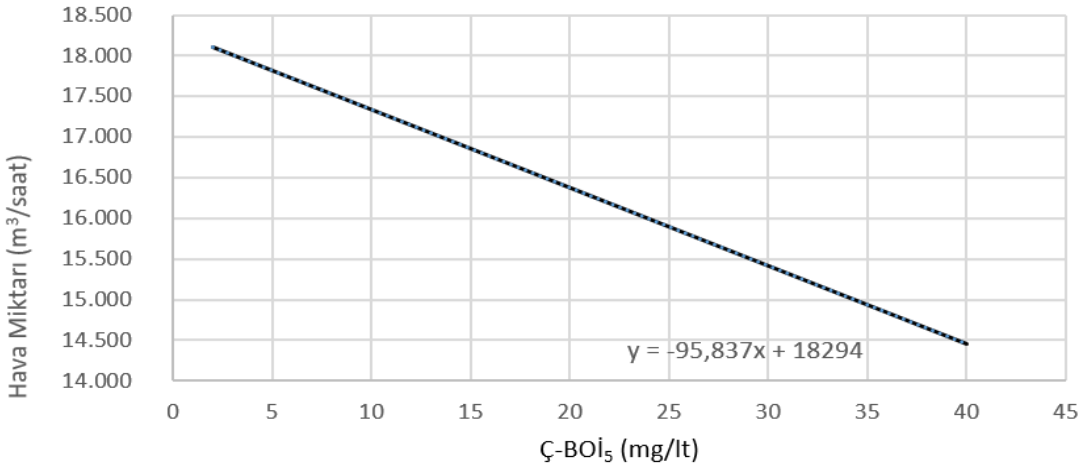
Atıksuyun 2015 yılı günlük olarak ölçülen sıcaklık, debi, Ç-BOİ$_5$, Azot verilerinin ortalama değeri ile G-BOİ$_5$ değeri minimumdan başlayarak ve +5 mg/lt artırılarak maksimum G-BOİ$_5$ değerine ulaşıncaya kadar elde edilen G-BOİ$_5$ değerleri i Denklem

(2.1-2.13) kullanılarak havalandırma havuzu için gerekli olacak hava miktarının hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen bu değerlerden yola çıkılarak G-BOİ$_5$ ile hesaplanan hava miktarı arasındaki bağıntı çıkarılmış ve Şekil 4.3'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



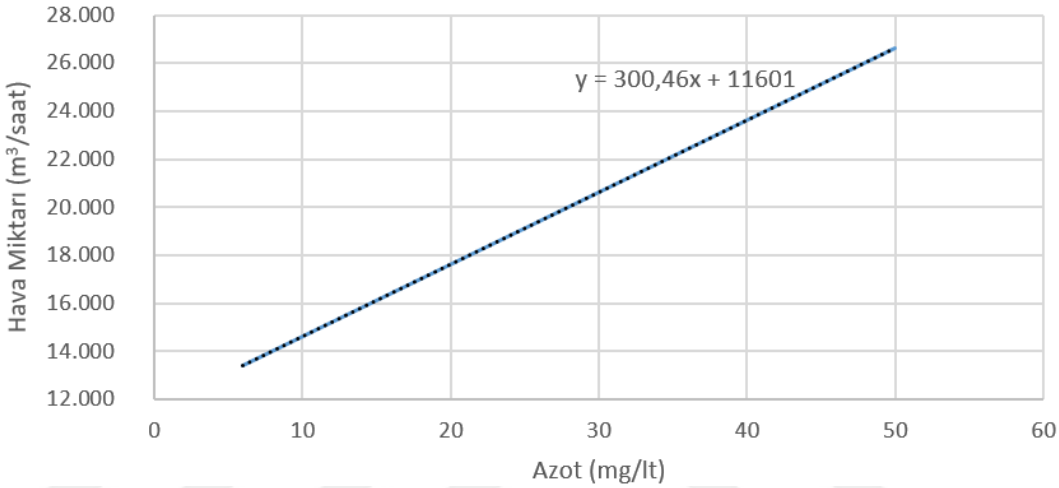
Şekil 4.3. Giriş BOİ$_5$ konsantrasyonunun hava miktarına etkisi

Atıksuyun 2015 yılı günlük olarak ölçülen sıcaklık, debi, G-BOİ$_5$, Azot verilerinin ortalama değeri ile Ç-BOİ$_5$ değeri minimumdan başlayarak ve +1 mg/lt artırılarak maksimum Ç-BOİ$_5$, değerine ulaşıncaya kadar elde edilen Ç-BOİ$_5$, değerleri Denklem (2.1-2.13) kullanılarak havalandırma havuzu için gerekli olacak hava miktarının hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen bu değerlerden yola çıkılarak Ç-BOİ$_5$ ile hesaplanan hava miktarı arasındaki bağıntı çıkarılmıştır ve grafiksel olarak Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çıkış BOİ$_5$ konsantrasyonunun hava miktarına etkisi

Atıksuyun 2015 yılı günlük olarak ölçülen sıcaklık, G-BOİ$_5$, Ç-BOİ$_5$ verilerinin ortalama değeri ile azot değeri minimumdan başlayarak ve +1 mg/lt artırılarak maksimum azot değerine ulaşıncaya kadar elde edilen azot değerleri Denklem (2.1-2.13) kullanılarak havalandırma havuzu için gerekli olacak hava miktarının hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen bu değerlerden yola çıkarak azot'un hesaplanan hava miktarı arasındaki bağıntı çıkarılmıştır ve grafiksel olarak Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Azot'un hava miktarına etkisi

Plajyolu atıksu arıtma tesisinin tasarım kabulleri ile 2015 yılı boyunca günlük olarak olçülen sıcaklık, debi, G-BOİ$_5$, Ç-BOİ$_5$ ve azot verileri değişken olarak Denklem (2.1-2.13)'de kullanılarak atıksu arıtma tesisinin her bir parametre için davranış modeli çıkartılmıştır.

Sıcaklık ile hava miktarı arasındaki bağlantı Denklem,

$$y = 148{,}07x + 15158 \quad (4.1)$$

Debi ile hava miktarı arasındaki Denklem,

$$y = 0{,}2223x + 0{,}0059 \quad (4.2)$$

G-BOİ$_5$ ile hava miktarı arasındaki Denklem,

$$y = 80{,}815x + 7162{,}1 \quad (4.3)$$

Ç-BOİ$_5$ ile hava miktarı arasındaki Denklem,

$$y = -95{,}837x + 18294 \quad (4.4)$$

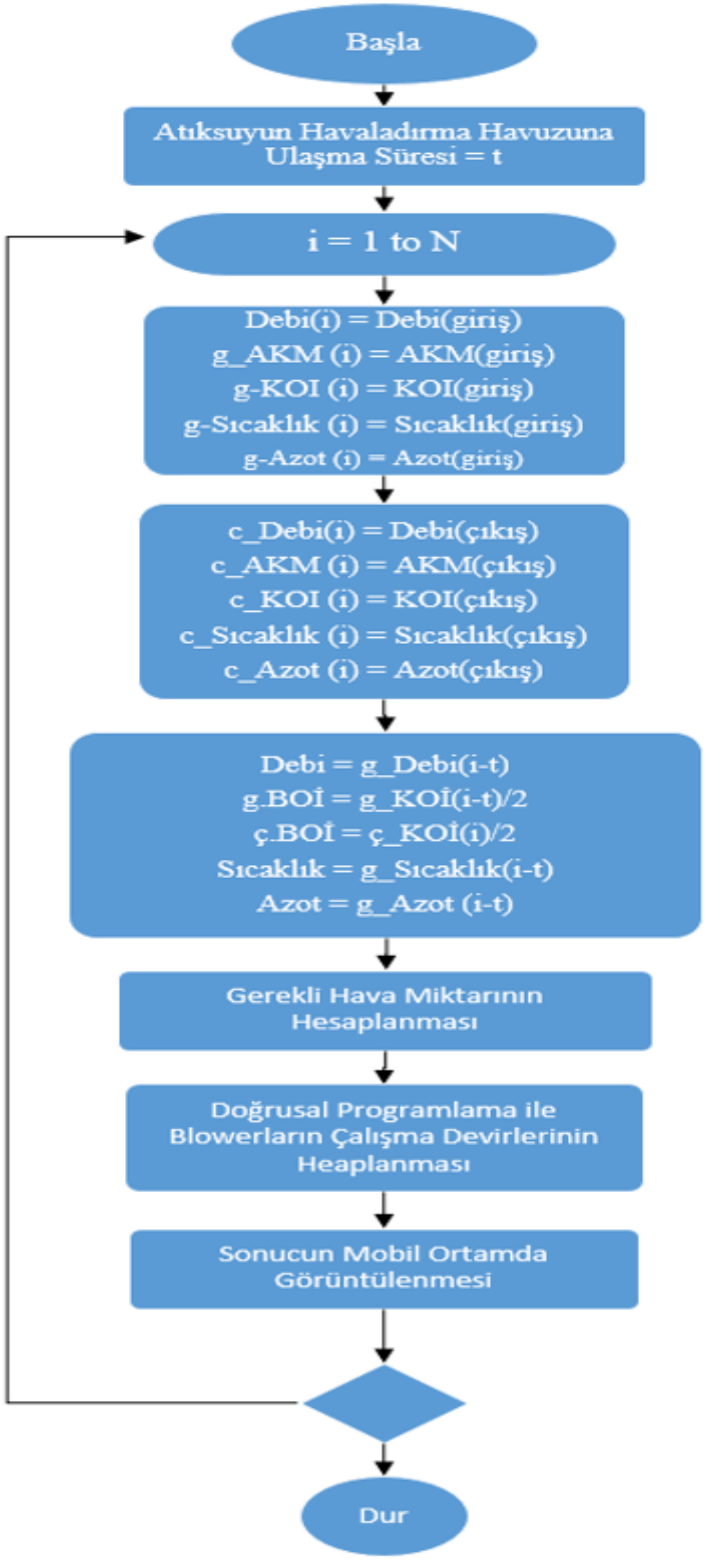
Azot ile hava miktarı arasındaki Denklem,

$$y = 300{,}46x + 11601 \quad (4.5)$$

olarak bulunmuştur.

4.2. Enerji Optimizasyonu

Plajyolu atıksu arıtma tesisine 2013 yılında kurulan online izleme sistemi ile tesise giren ve deşarj edilen atıksuyun parametreleri anlık olarak takip edilmektedir. Bu parametrelerden havalandırma havuzunun hava ihtiyacını belirleyecek olan parametreleri DP modeli üzerinde kullanarak enerji optimizasyonu yapılmıştır. Hesaplamalarda kulanılacak veriler ile hesaplamanın nasıl yapılması gerektiği ile ilgili olarak akış şeması çıkarılmıştır. Akış şeması Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Akış şeması

Gerekli hava miktarını üretecek enerjinin minimum olmasını sağlayabilmek için yönetmelikte belirlenen atıksu deşarj limitleri ile bu tesise ait maksimum ve minimum değerleri Denklem (4.6-4.10)'da sınır şartı olarak belirlenmiştir.

Sınır şartları

$$(8 < X1 < 27) \quad (4.6)$$

$$(25.000 < X2 < 101.758) \quad (4.7)$$

$$(33 < X3 < 254) \quad (4.8)$$

$$(X4 < 35) \quad (4.9)$$

$$(6 < X5 < 45) \quad (4.10)$$

olarak düzenlenmiştir.

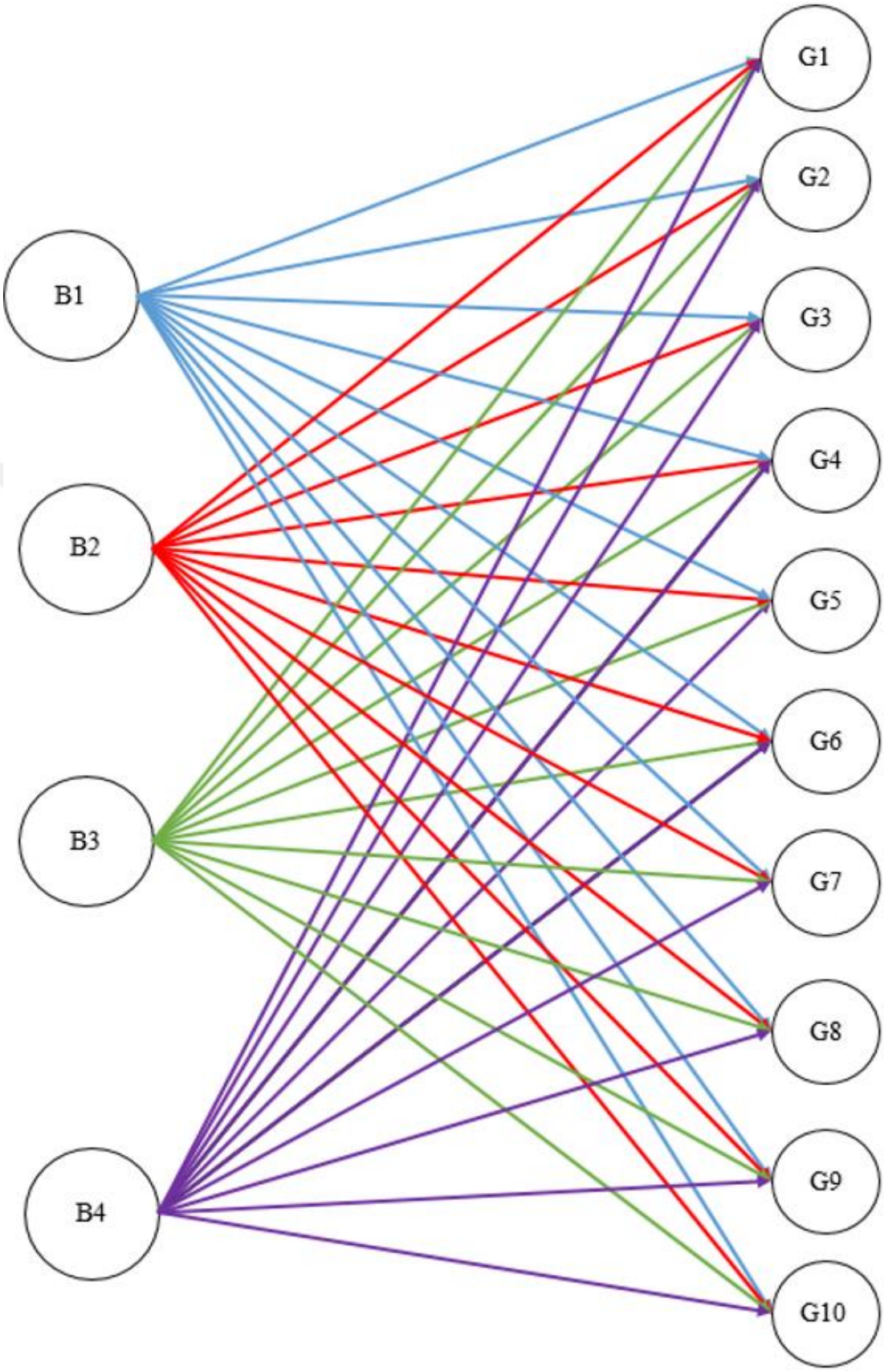
Plajyolu atıksu arıtma tesisinin online izleme sisteminden alınan anlık verilerin, davranış modelinde X1: sıcaklık, X2: debi, X3: G-BOİ$_5$, X4: Ç-BOİ$_5$ ve X5: Azot değişkenleri olacak şekilde tanımlanarak havalandırma havuzu için gerekli olacak hava miktarını sağlayacak minimum enerji hesaplaması yapılabilmektedir.

Havalandırma havuzlarına gerekli olacak hava blowerlar ile üretilmektedir. Atıksu arıtma tesisinde birbirine eşdeğer 4 adet blower bulunmaktadır. Her bir blower Tablo 4.3'de yer aldığı gibi 10 farklı devirde çalışmakta olup her bir devir için üretilen hava miktarı ile tüketilen enerji miktarı f"arklı olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. Blower özellikleri

Devir	Üretilen Hava (m^3/saat)	Harcanan Enerji (kWh)
900	2.520	55,20
1000	3.240	68,30
1.300	3.960	81,70
1.400	4.320	88,70
1.500	4.680	95,70
1.600	5.040	103,00
1.700	5.400	110,40
1.800	5.760	117,90
1.900	6.120	125,70
2.000	6.480	133,60

Havalandırma havuzu içine gerekli olacak havanın üretilmesi için harcanan elektrik enerjinin DP algoritması çıkarılmıştır. Bu algoritma Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Doğrusal programlama algoritması

Bu algoritma, blowerların en az enerji tüketerek gerekli hava miktarının üretilebilmesi üzerine kurulmuş olup enerji tüketimi için amaç fonksiyonu minimum olarak düzenlenmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X1_{i,j}p1_j + X2_{i,j}p2_j + X3_{i,j}p3_j + X4_{i,j}p4_j) \quad (4.11)$$

Kısıtlayıcı Koşullar

Kısıtlayıcı Koşul 1:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{t}(X1_{i,k}\,h1_k + X2_{i,k}h2_k + X3_{i,k}h3_k + X4_{i,k}h4_k) \leq GH \quad (4.12)$$

Kısıtlayıcı Koşul 2:

$$\sum_{i=1}^{2}\sum_{k=1}^{10} X1_{i,k} = 0 \text{ veya } = 1 \quad (4.13)$$

Kısıtlayıcı Koşul 3:

$$\sum_{i=1}^{2}\sum_{k=1}^{10} X2_{i,k} = 0 \text{ veya } = 1 \quad (4.14)$$

Kısıtlayıcı Koşul 4:

$$\sum_{i=1}^{2}\sum_{k=1}^{10} X3_{i,k} = 0 \text{ veya } = 1 \quad (4.15)$$

Kısıtlayıcı Koşul 5:

$$\sum_{i=1}^{2}\sum_{k=1}^{10} X4_{i,k} = 0 \text{ veya } = 1 \quad (4.16)$$

Kısıtlayıcı Koşul 6:

$$\forall \mathrm{X1_i} \geq 0 \; ve \; \mathrm{X1_i} \in \{0,1\} \tag{4.17}$$

Kısıtlayıcı Koşul 7:

$$\forall \mathrm{X2_i} \geq 0 \; ve \; \mathrm{X2_i} \in \{0,1\} \tag{4.18}$$

Kısıtlayıcı Koşul 8:

$$\forall \mathrm{X3_i} \geq 0 \; ve \; \mathrm{X3_i} \in \{0,1\} \tag{4.19}$$

Kısıtlayıcı Koşul 9:

$$\forall \mathrm{X4_i} \geq 0 \; ve \; \mathrm{X4_i} \in \{0,1\} \tag{4.20}$$

Kısıtlayıcı Koşul 10:

$$\forall \mathrm{p1_j} > 0 \; ve \; \mathrm{p1_j} \in \begin{Bmatrix} 55{,}20\,,68{,}30\,,81{,}70\,,88{,}70\,,95{,}70\,, \\ 103{,}00\,,110{,}40\,,117{,}90\,,125{,}70\,,133{,}60 \end{Bmatrix} \tag{4.21}$$

Kısıtlayıcı Koşul 11:

$$\forall \mathrm{p2_j} > 0 \; ve \; \mathrm{p2_j} \in \begin{Bmatrix} 55{,}20\,,68{,}30\,,81{,}70\,,88{,}70\,,95{,}70\,, \\ 103{,}00\,,110{,}40\,,117{,}90\,,125{,}70\,,133{,}60 \end{Bmatrix} \tag{4.22}$$

Kısıtlayıcı Koşul 12:

$$\forall \mathrm{p3_j} > 0 \; ve \; \mathrm{p3_j} \in \begin{Bmatrix} 55{,}20\,,68{,}30\,,81{,}70\,,88{,}70\,,95{,}70\,, \\ 103{,}00\,,110{,}40\,,117{,}90\,,125{,}70\,,133{,}60 \end{Bmatrix} \tag{4.23}$$

Kısıtlayıcı Koşul 13:

$$\forall \mathrm{p4_j} > 0 \; ve \; \mathrm{p4_j} \in \begin{Bmatrix} 55{,}20\,,68{,}30\,,81{,}70\,,88{,}70\,,95{,}70\,, \\ 103{,}00\,,110{,}40\,,117{,}90\,,125{,}70\,,133{,}60 \end{Bmatrix} \tag{4.24}$$

Kısıtlayıcı Koşul 14:

$$\forall \mathrm{h1_k} > 0 \; ve \; \mathrm{h1_k} \in \begin{Bmatrix} 2.520\,,3.240\,,3.960\,,4.320\,,4.680\,, \\ 5.040\,,5.400\,,5.760\,,6.120\,,6.480 \end{Bmatrix} \tag{4.25}$$

Kısıtlayıcı Koşul 15:

$$\forall \mathrm{h2_k} > 0 \; ve \; \mathrm{h2_k} \in \begin{Bmatrix} 2.520\,,3.240\,,3.960\,,4.320\,,4.680\,, \\ 5.040\,,5.400\,,5.760\,,6.120\,,6.480 \end{Bmatrix} \tag{4.26}$$

Kısıtlayıcı Koşul 16:

$$\forall \mathrm{h3_k} > 0 \; ve \; \mathrm{h3_k} \in \begin{Bmatrix} 2.520\,,3.240\,,3.960\,,4.320\,,4.680\,, \\ 5.040\,,5.400\,,5.760\,,6.120\,,6.480 \end{Bmatrix} \tag{4.27}$$

Kısıtlayıcı Koşul 17:

$$\forall \mathrm{h4_k} > 0 \; ve \; \mathrm{h4_k} \in \begin{Bmatrix} 2.520\,,3.240\,,3.960\,,4.320\,,4.680\,, \\ 5.040\,,5.400\,,5.760\,,6.120\,,6.480 \end{Bmatrix} \tag{4.28}$$

Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned} Z_{min} = {} & 55{,}20X1_1 + 68{,}30X1_2 + 81{,}70X1_3 + 88{,}70X1_4 + 95{,}70X1_5 + \\ & 103{,}00X1_6 + 110{,}40X1_7 + 117{,}90X1_8 + 125{,}70X1_9 + 133{,}60X1_{10} + \\ & 55{,}20X2_1 + 68{,}30X2_2 + 81{,}70X2_3 + 88{,}70X2_4 + 95{,}70X2_5 + \\ & 103{,}00X2_6 + 110{,}40X2_7 + 117{,}90X2_8 + 125{,}70X2_9 + 133{,}60X2_{10} + \\ & 55{,}20X3_1 + 68{,}30X3_2 + 81{,}70X3_3 + 88{,}70X3_4 + 95{,}70X3_5 + \\ & 103{,}00X3_6 + 110{,}40X3_7 + 117{,}90X3_8 + 125{,}70X3_9 + 133{,}60X3_{10} + \\ & 55{,}20X4_1 + 68{,}30X4_2 + 81{,}70X4_3 + 88{,}70X4_4 + 95{,}70X4_5 + \\ & 103{,}00X4_6 + 110{,}40X4_7 + 117{,}90X4_8 + 125{,}70X4_9 + 133{,}60X4_{10} \end{aligned} \tag{4.29}$$

Kısıtlayıcılar

$$\begin{aligned} HG \geq (\; & 2.520X1_1 + 3.240X1_2 + 3.960X1_3 + 4.320X1_4 + 4.680X1_5 + \\ & 5.040X1_6 + 5.400X1_7 + 5.760X1_8 + 6.120X1_9 + 6.480X110 + 2.520X21 + \\ & 3.240X22 + 3.960X23 + 4.320X2_4 + 4.680X2_5 + 5.040X2_6 + 5.400X2_7 + \\ & 5.760X2_8 + 6.120X2_9 + 6.480X2_{10} + 2.520X3_1 + 3.240X3_2 + 3.960X3_3 + \\ & 4.320X3_4 + 4.680X3_5 + 5.040X3_6 + 5.400X3_7 + 5.760X3_8 + 6.120X3_9 + \\ & 6.480X3_{10} + 2.520X4_1 + 3.240X4_2 + 3.960X4_3 + 4.320X4_4 + 4.680X4_5 + \\ & 5.040X4_6 + 5.400X4_7 + 5.760X4_8 + 6.120X4_9 + 6.480X4_{10} \;) \end{aligned} \tag{4.30}$$

$$(1\ V\ 0) = (X11(1\ V\ 0) + X12(1\ V\ 0) + X13(1\ V\ 0) + X14(1\ V\ 0) + X15(1\ V\ 0) + X16(1V\ 0) + X17(1\ V\ 0) + X18(1\ V\ 0) + X19(1\ V0) + X110(1\ V\ 0) \quad (4.31)$$

$$(1\ V\ 0) = (X2_1(1\ V\ 0) + X2_2(1\ V\ 0) + X2_3(1\ V\ 0) + X2_4(1\ V\ 0) + X2_5(1\ V\ 0) + X2_6(1V\ 0) + X2_7(1\ V\ 0) + X2_8(1\ V\ 0) + X2_9(1\ V0) + X2_{10}(1\ V\ 0)) \quad (4.32)$$

$$(1\ V\ 0) = (X3_1(1\ V\ 0) + X3_2(1\ V\ 0) + X3_3(1\ V\ 0) + X3_4(1\ V\ 0) + X3_5(1\ V\ 0) + X3_6(1V0) + X3_7(1\ V\ 0) + X3_8(1\ V\ 0) + X3_9(1\ V\ 0) + X3_{10}(1\ V\ 0)) \quad (4.33)$$

$$(1\ V\ 0) = (X4_1(1\ V\ 0) + X4_2(1\ V\ 0) + X4_3(1\ V\ 0) + X4_4(1\ V\ 0) + X4_5(1\ V\ 0) + X4_6(1V\ 0) + X4_7(1\ V0) + X4_8(1\ V\ 0) + X4_9(1\ V\ 0) + X4_{10}(1\ V\ 0) \quad (4.34)$$

Oluşturulan modelde atıksu arıtma tesisinin yönetmelikte belirtilen deşarj limitlerini sağlayacak şekilde blowerların tüketeceği elektrik enerjisi miktarının en az olması için amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu amaca ulaşabilmek için tesiste bulunan 4 blowerın en az enerji tüketerek gerekli havayı üretebilmesi kısıt setinde tanımlanmıştır. Bunun sağlanabilmesi için kısıt setinde blowerların seçimi ikilik sayı düzende (1 V 0) olarak tanımlanmış olup bir kez seçilen blower kabullenen aynı süre içerisinde ikinci kez seçilememektedir.

2015 yılı Haziran ayının aylık ortalama değerleri; debi 83.067 m^3, G-BOİ$_5$ 150 mg/lt, Ç-BOİ$_5$ 3mg/lt, TKN 1mg/lt ve sıcaklık 21^oC olarak hesaplanmıştır. Tesisin Ç-BOİ$_5$ değeri 3 mg/lt'den başlayarak 21mg/lt değerine ulaşıncaya kadar 10 adımda tasarım denklemleri kullanılarak havalandırma havuzu için gerekli hava miktarı hesaplanmıştır. Daha sonrasında DP ile oluşturulan amaç fonksiyonu ve Plajyolu atıksu artıma tesisi için tanımlanan kısıtlara göre minimum enerji tüketimi çözümü Excel Çözücü ile gerçekleştirilmiştir. D.P. ile her bir adım için hesaplama sonuç raporları Ek-E'de yer alamaktadır. Yaz mevsimi verilerini içeren bir aylık kısıtlı sürede günlük veriler kullanılması ile sadece bir değişkene göre Excel çözücü ile hesaplama sonucunda %20'ye kadar tasaruf sağlananabileceği Tablo 4.4.'de görülmektedir.

Tablo 4.4. Excel çözücü ile hesaplanan değerler

Ç-BOİ$_5$ (mg/lt)	Tasarım Hava Mikarı (m^3)	Hesaplanan Hava Mikarı (m^3)	Teorik Enerji Tüketimi (kW)	Tasarruf (%)
3	15.961	15.840	333	0
5	15.611	15.480	326	2
7	15.162	15.120	318	5
9	14.820	14.760	312	6
11	14.477	14.400	304	9
13	14.134	14.040	299	10
15	13.906	13.680	291	13
17	13.564	13.320	284	15
19	13.221	12.960	276	17
21	12.878	12.600	269	19

4.3. D.P. modelinin tesiste uygulanması

Modelin tesiste uygulaması ve çıktılarından daha iyi bir şekilde sonuç alınabilmesi için model dört adımda uygulanmıştır. Bu şekilde modelin karar değişkenlerinin ve kısıtların sonuca etkisinin analiz edilebilmesi hedeflenmiştir.

Modelin ilk adım uygulamasında; tesiste her hangi bir düzenleme yapmadan bir ay süresince ölçümler yapılmıştır. İkinci adım uygulamasında, bir aylık sürede modelin birinci kademesinin uygulanması ve ölçümleri yapılmıştır. Üçüncü adım uygulamasında, bir aylık sürede modelin ikinci kademesinin uygulanması ve ölçümleri yapılmıştır. Dördüncü adım uygulamasında ise bir aylık sürede modelin üçüncü kademesinin uygulanması ve ölçümleri yapılmıştır.

4.3.1. Birinci adım uygulaması

Tesiste bir ay süre ile modelin ilk adım uygulamasına başlanmıştır. Bu adımda tesisin hiçbir işletme parametresi üzerinde değişiklik yapılmamış olup model uygulanmadan önceki durum tespiti yapılmıştır. Bunun için tesisten bir ay süre ile saatlik olarak tesise giren atıksuyun debisi, giriş KOİ ve sıcaklık değerleri ile tesisten deşarj edilen atıksuyun çıkış KOİ ve TKN değerleri ile havalandırma havuzuna hava veren blowerların enerji tüketimleri ölçülmüştür. Aylık olarak ölçülen bu değerlerin saatlik

olarak ortalamaları hesaplanmış ve debi ile enerji tüketiminin günlük toplam değerleri bulunmuştur. Uygulama öncesi ölçüm değerleri Tablo 4.5'de görülmektedir.

Tablo 4.5. Birinci adım ölçüm değerleri

Saat	Debi (m^3)	Giriş KOİ (mg/lt)	Çıkış KOİ (mg/lt)	Giriş TKN (mg/lt)	Çıkış TKN (mg/lt)	Sıcaklık (^{o} C)	Blower Enerji Tüketimi (kW)
08:00	1.904	105,05	12,57	14,74	1,74	10,75	233,00
09:00	2.060	114,75	12,57	25,29	1,79	11,00	237,86
10:00	2.160	119,60	13,71	19,86	1,46	11,25	242,71
11:00	2.471	127,68	13,71	21,45	1,85	11,50	250,86
12:00	2.766	226,26	13,43	14,24	0,84	11,75	246,14
13:00	3.334	274,75	13,29	9,28	0,78	12,00	247,86
14:00	3.263	290,91	13,57	8,42	1,12	12,25	245,57
15:00	3.478	287,68	12,14	8,81	1,51	12,50	249,71
16:00	3.322	466,26	14,86	31,83	0,73	12,75	245,14
17:00	3.274	339,39	13,71	10,62	1,12	13,00	251,14
18:00	3.223	452,53	14,14	20,04	0,84	13,25	247,71
19:00	3.318	373,33	13,43	9,51	1,01	13,50	251,14
20:00	3.256	266,67	14,43	10,63	0,73	13,25	250,57
21:00	3.060	252,12	14,57	17,24	0,84	13,00	246,71
22:00	2.981	229,49	14,00	17,99	1,29	12,75	247,57
23:00	3.440	234,34	12,57	16,97	0,67	12,50	247,43
00:00	2.906	296,57	12,00	15,60	0,90	12,25	246,29
01:00	2.950	270,71	12,86	22,10	0,90	12,00	248,86
02:00	2.491	262,63	11,14	19,54	0,84	11,75	244,57
03:00	2.377	197,98	14,14	13,67	0,67	11,50	249,29
04:00	2.048	242,42	14,57	13,56	0,56	11,25	246,14
05:00	1.824	123,64	14,00	24,34	0,84	11,00	250,29
06:00	1.982	117,17	14,43	18,84	0,44	10,75	247,57
07:00	2.185	101,82	12,86	20,49	0,89	10,50	243,57
Ortalama	2.753	240,57	13,45	16,88	1,02	12	246,57
Toplam	66.072	-	-	-	-		5.917,71

4.3.2. İkinci adım uygulaması

Tesiste bir ay süre ile modelin ikinci adım uygulaması yapılmıştır. Bu adımda modelin uygulanmasına başlanmış olup atıksu deşarj limitini aşmamamak üzere çıkış KOİ ortalama değeri 13,45 (mg/lt)'den bir miktar yükseltilmiş 26,33 (mg/lt) değerine

ulaşılmış ve bu değerin sürekliliğinin sağlanabilmesi için D.P. modeli ile bir ay boyunca saatlik olarak gerekli hava miktarı hesaplanmıştır. Bu havanın sağlanabilmesi için blowerlar bir ay boyunca saatlik olarak optimum devirlerde çalıştırılmış ve online izleme sistemi ile tesisin giderim değerleri ile blowerların enerji tüketim değerleri saatlik olarak izlenmiştir. Bir ay boyunca saatlik olarak ölçülen bu değerlerin ortalamaları hesaplanmış ve debi ile enerji tüketiminin günlük toplam değerleri bulunmuştur. İkinci adım uygulama değerleri Tablo 4.6'da görülmektedir.

Tablo 4.6. İkinci adım uygulama değerleri

Saat	Debi (m^3)	Giriş KOİ (mg/lt)	Çıkış KOİ (mg/lt)	Giriş TKN (mg/lt)	Çıkış TKN (mg/lt)	Sıcaklık (^{o} C)	Blower Enerji Tüketimi (kW)
08:00	2.737	118,80	25,91	23,37	1,57	11,25	205,57
09:00	3.052	131,29	28,10	23,90	1,40	12,00	210,43
10:00	3.280	152,88	26,41	21,42	1,12	12,75	213,29
11:00	3.380	164,58	23,95	23,62	1,02	12,50	211,29
12:00	3.523	273,03	26,11	18,91	1,01	12,75	208,00
13:00	3.845	357,61	27,09	12,53	1,23	13,00	209,29
14:00	4.101	356,19	27,14	18,20	0,90	13,25	211,00
15:00	3.958	375,14	26,67	8,84	0,84	14,00	208,14
16:00	3.878	587,44	25,62	8,33	0,73	13,75	206,29
17:00	3.908	424,29	26,63	8,07	0,67	14,00	204,71
18:00	4.013	559,32	25,79	6,86	1,06	14,25	207,86
19:00	3.805	434,86	27,78	18,83	1,23	15,00	204,86
20:00	3.737	328,42	26,90	17,82	0,32	14,25	202,86
21:00	3.787	312,22	26,56	16,22	0,22	14,00	206,57
22:00	3.879	272,87	26,90	21,80	0,80	13,75	215,00
23:00	3.713	283,59	26,25	8,58	0,18	13,50	212,14
00:00	3.608	396,19	26,38	21,35	0,45	12,75	211,43
01:00	3.516	332,80	26,68	19,49	0,69	13,00	208,57
02:00	3.485	214,38	27,35	17,55	0,65	12,75	209,00
03:00	3.220	232,40	25,75	17,59	0,69	12,00	204,14
04:00	3.065	304,22	25,92	16,41	0,41	12,25	200,71
05:00	2.860	142,03	25,49	18,83	1,23	12,00	199,43

Tablo 4.6. (Devam) İkinci adım uygulama değerleri

06:00	2.672	131,48	25,20	10,14	0,84	11,75	207,00
07:00	2.567	111,42	25,45	18,06	0,36	11,50	213,71
Ortalama	3.483	291,56	26,33	16,53	0,82	13	207,97
Toplam	83.589	-	-	-	-		4.991,15

4.3.3. Üçüncü adım uygulaması

Tesiste bir ay süre ile modelin üçüncü adım uygulaması yapılmıştır. Bu adımda modelin uygulanmasına devam edilmiş olup atıksu deşarj limitini aşmamamak üzere çıkış KOİ ortalama değeri 26,33 (mg/lt)'den bir miktar yükseltilmiş 33,25 (mg/lt) değerine ulaşılmış ve bu değerin sürekliliğinin sağlanabilmesi için D.P. modeli ile bir ay boyunca saatlik olarak gerekli hava miktarı hesaplanmıştır. Bu havanın sağlanabilmesi için blowerlar bir ay boyunca saatlik olarak optimum devirlerde çalıştırılmış ve online izleme sistemi ile tesisin giderim değerleri ile blowerların enerji tüketim değerleri saatlik olarak izlenmiştir. Bir ay boyunca saatlik olarak ölçülen bu değerlerin ortalamaları hesaplanmış ve debi ile enerji tüketiminin günlük toplam değerleri bulunmuştur. Üçüncü adım uygulama değerleri Tablo 4.7'de görülmektedir.

Tablo 4.7. Üçüncü adım uygulama değerleri

Saat	Debi (m^3)	Giriş KOİ (mg/lt)	Çıkış KOİ (mg/lt)	Giriş TKN (mg/lt)	Çıkış TKN (mg/lt)	Sıcaklık (^{o} C)	Blower Enerji Tüketimi (kW)
08:00	1.996	138,87	34,63	11,60	0,40	12,25	148,25
09:00	2.204	151,90	33,46	11,08	0,08	13,00	159,56
10:00	2.457	168,17	35,16	25,70	0,90	13,75	165,12
11:00	2.850	190,14	32,54	11,87	0,17	13,50	194,22
12:00	2.822	301,67	32,11	18,58	0,18	14,25	194,16
13:00	2.881	405,23	37,36	12,54	0,24	14,00	198,22
14:00	2.567	416,83	32,86	14,27	0,27	14,25	165,52
15:00	3.334	417,46	32,02	18,01	0,31	14,00	166,50
16:00	3.455	707,63	33,71	17,18	0,38	14,75	176,23
17:00	4.773	483,49	32,09	17,06	1,06	15,00	180,83
18:00	4.606	652,39	36,88	17,41	0,21	15,25	149,56
19:00	4.861	533,62	33,91	20,82	0,12	16,50	193,39
20:00	2.154	393,38	32,00	18,51	0,11	15,25	194,02

Tablo 4.7. (Devam) Üçüncü adım uygulama değerleri

21:00	1.461	355,37	32,63	19,98	0,08	15,00	186,93
22:00	3.491	347,34	32,33	20,07	0,07	13,75	150,59
23:00	2.927	357,04	30,91	18,86	0,06	14,50	170,15
00:00	2.720	418,96	28,74	16,51	0,11	13,75	163,56
01:00	2.560	324,77	33,20	17,69	0,19	15,00	177,84
02:00	3.890	269,09	32,95	16,46	0,06	13,75	182,73
03:00	3.780	254,91	34,02	19,38	0,08	13,00	191,98
04:00	3.620	231,52	33,15	17,76	0,06	12,25	201,09
05:00	2.730	167,48	33,22	22,66	0,06	13,00	150,14
06:00	2.310	149,39	33,13	21,91	0,71	13,75	157,77
07:00	1.980	129,34	34,96	23,24	1,34	12,50	184,00
Ortalama	3.018	332,16	33,25	17,88	0,30	14	175,10
Toplam	72.429	-	-	-	-		4.202,12

4.3.4. Dördüncü adım uygulaması

Tesiste bir ay süre ile modelin dördüncü adım uygulaması yapılmıştır. Bu adımda modelin uygulanmasına devam edilmiş olup atıksu deşarj limitini aşmamamak üzere çıkış KOİ ortalama değeri 33,25 (mg/lt) ‘den bir miktar yükseltilmiş 37,12 (mg/lt) değerine ulaşılmış ve bu değerin sürekliliğinin sağlanabilmesi için D.P. modeli ile bir ay boyunca saatlik olarak gerekli hava miktarı hesaplanmıştır. Bu havanın sağlanabilmesi için blowerlar bir ay boyunca saatlik olarak optimum devirlerde çalıştırılmış ve online izleme sistemi ile tesisin giderim değerleri ile blowerların enerji tüketim değerleri saatlik olarak izlenmiştir. Bir ay boyunca saatlik olarak ölçülen bu değerlerin ortalamaları hesaplanmış ve debi ile enerji tüketiminin günlük toplam değerleri bulunmuştur. Dördüncü faz uygulama değerleri Tablo 4.8’de görülmektedir.

Tablo 4.8. Dördüncü adım uygulama değerleri

Saat	Debi (m^3)	Giriş KOİ (mg/lt)	Çıkış KOİ (mg/lt)	Giriş TKN (mg/lt)	Çıkış TKN (mg/lt)	Sıcaklık (^{o} C)	Blower Enerji Tüketimi (kW)
08:00	2.347	158,84	38,27	22,66	0,06	13,25	149,52
09:00	2.578	171,59	38,78	22,52	0,92	13,50	156,39
10:00	2.732	190,53	38,79	19,60	0,70	14,75	159,88
11:00	3.025	207,36	36,25	20,98	0,48	15,50	173,93
12:00	3.016	317,35	37,11	25,29	0,49	15,25	173,08

Tablo 4.8. (Devam) Dördüncü adım uygulama değerleri

13:00	3.237	411,42	40,23	9,59	0,39	15,00	175,43
14:00	3.300	416,51	38,00	17,67	0,67	15,25	159,51
15:00	3.468	426,30	37,34	20,42	0,22	15,00	159,29
16:00	3.554	677,53	37,67	15,62	0,72	14,75	163,69
17:00	4.251	483,89	37,36	18,51	0,71	16,00	165,59
18:00	4.182	635,85	39,33	23,48	0,78	16,75	150,74
19:00	4.313	514,24	38,85	18,68	0,28	17,50	171,91
20:00	2.895	390,90	37,45	20,92	0,22	16,25	171,72
21:00	2.488	363,80	37,60	30,23	2,13	15,50	169,11
22:00	3.595	340,10	37,62	17,53	0,33	14,75	153,04
23:00	3.164	350,32	36,58	14,88	0,28	16,00	162,11
00:00	3.038	437,57	35,56	26,56	1,06	14,75	158,63
01:00	3.004	358,78	37,94	26,47	0,67	16,00	165,06
02:00	3.510	271,73	38,15	19,85	0,65	14,75	167,61
03:00	3.388	273,65	37,88	23,72	0,72	14,00	171,03
04:00	3.252	297,87	37,53	25,23	0,73	13,25	174,73
05:00	2.667	184,76	37,36	21,42	0,72	13,50	148,93
06:00	2.325	170,44	37,17	17,69	0,39	14,75	154,64
07:00	2.140	150,38	38,20	22,69	0,89	14,00	169,43
Ortalama	3.145	341,74	37,79	20,93	0,63	15	163,54
Toplam	75.469	-	-	-	-		3.925,00

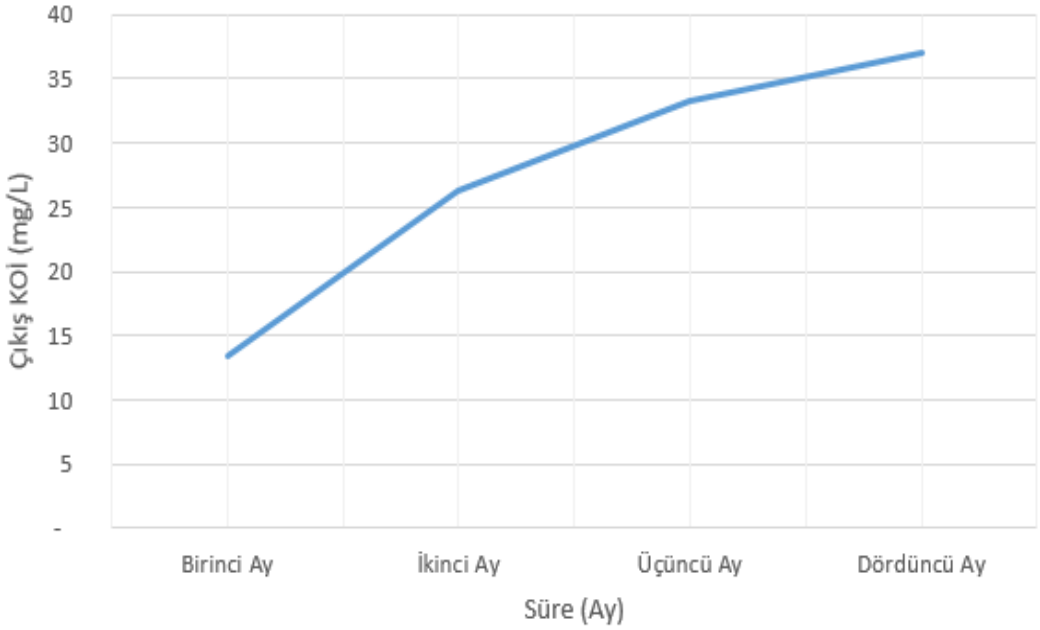
4.3.5. Tartışma

Oluşturulan modelin dört adımda uygulanması sonuçlarına ait özet değerler Tablo 4.9'da görülmektedir. Enerji tüketim değerleri incelendiğinde ilk adımda %17, ikinci adımda %29 ve üçüncü adımdaa %34 enerji tasarruf edildiği hesaplanmaktadır.

Tablo 4.9. Uygulamanın sonuç özet değerleri

Süre	Debi (m^3)	Giriş KOİ (mg/lt)	Çıkış KOİ (mg/lt)	Blower Enerji Tüketimi (kW)	Kümülatif Enerji Tasarrufu (%)
1. Ay	66.072	241	13	5.918	0 (referans değer)
2. Ay	83.589	292	26	4.900	17
3. Ay	72.429	332	33	4.202	29
4. Ay	75.485	350	37	3.920	34

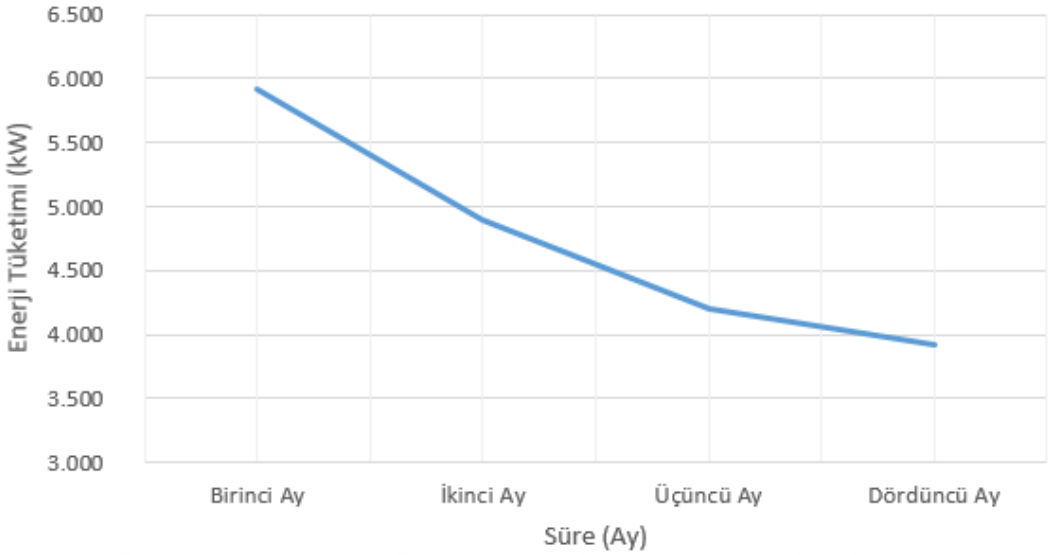
Tesiste uygulanan D.P. modelinin dört adım ile dört aylık bir sürede uygulanması sonucunda hazırlanan özet tablo verilerinden yola çıkarak Çıkış KOİ değerinin süreye göre grafiği Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. KOİ miktarının değişimi

Grafik incelendiğinde ikinci adımda atıksuyun çıkış KOİ değerinin en fazla eğimle yükseldiği üçüncü adımda buna nazaran eğimin biraz azaldığı, dördücü adımda değerin yine arttığı eğimin diğerlerine nazaran daha azaldığı görülmektedir. Genel olarak KOİ değerinin deşarj limitlerini aşmamak üzere arttığı tespit edilmiştir.

Tesiste uygulanan D.P. modelin dört adım ile dört aylık bir sürede uygulanması sonucunda hazırlanan özet tablo verilerinden yola çıkarak enerji tüketimi (kW) değerinin süreye göre grafiği Şekil 4.9'da görülmektedir. Grafik incelendiğinde ikinci adımda enerji tüketiminin en fazla eğimle azaldığı, üçüncü adımda buna nazaran eğimin biraz azaldığı, dördüncü adımda eğimin diğerlerine nazaran daha da azaldığı görülmektedir. Genel olarak enerji tüketiminin (kW) azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Enerji miktarının değişimi

Atıksu artıma tesisinde arıtmanın saatlik olarak izlenmesi ve buna göre tesis işletmesinin yapılması ile atıksu deşarj limitlerini geçmemek koşulu ile blowerların optimum çalıştırılması sonucunda enerji tüketiminden tasarruf sağlanabilmektedir. Bu çalışmada tasarruf oranın %37'ye kadar çıkabildiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Günümüz teknolojisi kullanılarak Kocaeli bölgesindeki atık sular dünyadaki bir çok standartı karşılayacak şekilde arıtılabilmektedir. Bununla birlikte, atıksu arıtma tesislerinde işletme maliyetinin yüksek olmasından dolayı, arıtma proseslerinde yüksek oranda elektrik enerjisi harcanmaktadır. Arıtma tesislerindeki en yüksek elektrik tüketimi havalandırma havuzlarından kaynaklanmaktadır. Havalandırma havuzlarında yapılacak enerji optimizasyonu ile atıksu tesislerindeki enerji tüketimi ve arıtma maliyeti azaltılabilir.

Günümüz atıksu arıtma tesislerinde, atıksu debisi ve kirlilik oranları online kontrol edilebilmektedir. Bu çalışmada, bir yazılım programı kullanılarak atıksu tesisindeki veriler online bir sistem üzerinden alınmıştır. Daha sonra elde edilen veriler kullanılarak atıksu tesis işletilmesi günümüz teknolojik imkanlarına göre en verimli hale getirebilmek için bir optimizayon algoritması oluşturulmuştur. Yapılan araştırma ve uygulama sonucunda elde edilen tüm bulgular göstermiştir ki bu çalışmada uygulanan optimizasyon modeli enerji tasarrufu açısından oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Optimizasyon sonuçlarına göre, sistemde en iyi enerji tasarrufunu elde etmek için tesisin havalandırma havuzu hava ihtiyacını karşılayan ve online izleme sistemine entegre olarak çalışan blowerların gerekli duyulan hava ihtiyacına göre kontrol edilmesi işletmede enerji tasarrufu sağlanması açısından en önemli parametrelerden biridir. Ayrıca, online izleme sistemlerine entegresi yapılan bu tür sistemlerin yönetilmesi tesisi işleten teknik elemanlara karar destek hizmeti de sunmaktadır.

Diğer bir önemli konu, atıksu arıtma tesis işletmesinde enerji tasarrufu sağlamak için kullanılan her türlü uygulama maliyetinin düşük olma gerekliliğidir. Atıksu tesislerinde enerji optimizasyonu için kullanılan parametrelerin artırılması ile daha fazla değişken ve kıstı kurulacak matematiksel modelde hesaba katılabilir. Böylece, optimizasyon yaklaşımına göre kurulan matematiksel model ile daha etkin tesis

işletmesi yapılabilir ve söz konusu tesiste enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu çalışmanın literatür araştırması yapılır iken farklı sektörlerde bu yönde çeşitli kısıtları dikkate alan birçok optimizasyon çalışmasının yapıldığı görülmüştür. Bununla birlikte, bu çalışmada yapılan atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu enerji optimizasyonun, Türkiye de konusunda yapılan ilk çalışmalardan biri olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, literatürde incelendiğinde enerji optimizasyonu konusuna uygulanmış çok sayıda YA modelinin var olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonu için kurulan modellerde doğrusal programlama mantığının çok az sayıda kullanıldığı tespit edilmiştir. Dorusal proglama ile yapılan modellerde ise genellikle pompalar ve elektrik motorları üzerine çalışmış ve kurulan modellerin atıksu sistemine uyarlanabilecek durumda olmadığı ifade edilmiştir.

Bu çalışmada kurulan matematiksel modelde, blowerların seçimi için 0-1 tamsayılı kısıt kullanılmıştır. Model online izleme değerlerine göre en az enerji tüketimi ile en fazla hava üretmek için blower seçimini yapmakta ve cihazın çalışma süresini belirlemektedir. Böylece, tesise giren atıksuyun kirlilik oranına göre enerjiyi tasarruf sağlamaktadır.

Bu çalışmada, matematiksel modele ve optimizasyon yaklaşımına uygun bir bilgisayar yazılımı kullanılarak ve plajyolu atıksu arıtma tesisinde var olan online izleme sisteminden havalandırma havuzu hava gereksinimi için gerekli olan parametreler alınarak, blowerların güç ve hava üretme kapasitesine göre seçim yapılmış, böylece minimum enerji tüketimi sağlanmaya çalışılmıştır. Daha sonrasında modelin tesise uygulanabilirliği test edilmiştir. Bu çalışmanın modelleme ve uygulama aşamısında aşağıda maddeler halinde işlemler yapılmıştır.

1. Modelin atıksu arıtma tesisinde uygulanabilmesi doğru veri analizini zorunlu kılmaktadır. Dolayısı ile model oluşturulurken tesis bir yıl boyunca günlük olarak izlenmiş ve tesise ait veriler toplanmıştır.

2. Tez kapsamında arıtma tesisinin atıksu giriş ve çıkış istasyonlarında atıksuyun AKM, KOİ, $BOİ_5$, Azot ,debi ve sıcaklık değerleri ile tesisin enerji tüketimleri analiz edilmiştir.

3. Model oluşturulurken havalandırma havuzu hava miktarını etkileyen her bir parametrenin bir yıllık davranış modeli çıkartılmıştır.

4. Elde edilen veriler kullanılarak arıtma tesisine özgü olarak yapılan analizler doğrultusunda atıksuyun kirlilik parametreleri ile enerji tüketimi arasında doğrusal bağıntılar olduğu görülmüştür. Bu nedenle tesisin enerji optimizasyonu için doğrusal programlama seçilmiştir.

5. Modelde atıksu arıtma deşarj limitleri her bir parametre için kısıt olarak tanımlanmıştır. Dolayısı ile kurulan doğrusal programma modelinde atıksu deşarj limitleri aşılmamıştır.

6. Model de tesise giren ve tesisten çıkan atıksuyun $BOİ_5$ değeri ile tesisten çıkan atıksuyun azot, sıcaklık, değerlerine göre havalandırma havuzu hava gereksinimini hesaplanmıştır.

7. Model ile hesaplanan hava miktarına göre gerekli cihazları optimum düzeyde çalıştırarak enerji tasarrufu sağlanmış ve işletme maliyeti azaltılmıştır.

8. Model, atıksu arıtma tesisinde var olan atıksuyun online izlenmesi ve yönetilmesi sitemindeki verileri kullanmaktadır. Kurulu olan sisteme her hangi bir yeni cihaz eklemesi yapılmamış olup sistemin hiçbir parametresini değiştirmeden, hem uygulaması kolay, hem de maliyeti düşük çözüm sunmaktadır.

Tez çalışması esnasında arıtma tesisinin günlük olarak tutulan 2015 yılı verileri ve doğrusal programlama modeli oluşturtulduktan sonra modelin uygulamasına göre tesisisin havalandırma havuzu enerji tüketim verileri üzerinde yapılan analizler sonucunda doğrusal programlama modeli ile çalıştırılmasında havalandırma havuzuna gerekli havayı sağlayan blowerların enerji tüketiminde mevcut sisteme göre %34'e kadar tasarruf sağlanabildiği görülmüştür.

Optimize edilerek çalıştırılan arıtma tesisinde, cihazların optimum devirde çalıştırılmış olup tesislerde arıtma proseslerini oluşturan ve enerji kullanımı çok yüksek ekipmanların ihtiyaç duyduğu kadar çalışma sağlanarak, hem atıksuyun stabilizasyonu hemde enerji tasarrufu elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

Enerji tüketiminin azaltılması ile enerji üretimi sırasında çevreyi kirleten ve tahrip eden etkenlerin belli oranda azalması sağlanmış olacaktır. Çevre kirliliği açısından ise atıksu tesislerinde deşarj limitlerine yaklaşıldıkça atıksu arıtımı esnasında oluşan CO_2, NO_x ve SO_x miktarlarında azalma sağlanacaktır. Bununla birlikte, tesislerde arıtma veriminin artırılması tüketilen enerji miktarını ve atıksu arıtımı sırasında oluşan CO_2, NO_x, SO_x emisyon salınımlarını artırmaktadır.

Bu çelişkilerin optimizasyon çalışmalarına yön vereceği açıktır. Daha sonraki yapılacak çalışmalarda hem enerji tüketiminin azaltılması hem de deşarj edilen suyun kirliliğinin en aza indirilmesi beklenmektedir. Yapılacak çalışma disiplinler arası bir çalışma olacağından bir çok akademik alanın bir araya gelerek daha kapsamlı araştırmaların yapılma gereksinim öngörülmektedir.

Atık su arıtma tesislerinde doğrusal programlama yönteminin kullanılması doğru veri analizi ve model yaklaşımlarını zorunlu kılmaktadır. Model yapısı ile girdi ve hedef çıktı değişkenleri belirlenirken, tesise ait geçmiş verilerin toplanması, düzenlenmesi de oldukça önemlidir. Tez çalışmasında değerlendirilen havalandırma havuzuna ait işletme koşulları oldukça değişken ve etkileşimli olduğundan, atıksu arıtma tesislerinin kontrolünün etkili bir şekilde yapılabilmesi için doğrusal programlama yöntemi ile değerlendirilmesi, amaç fonksiyonunun, kısıtların ve karar değişkenlerinin doğru seçilmesi gereklidir.

Bu çalışma sonuçlarının ülkemizde aktif olarak işletilmekte olan atıksu arıtma tesislerine uygulanması ile daha geniş kapsamda enejinin faydalı kullanılması ve bunun sonucunda daha fazla miktarda enerji tasarrufu mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Albey E., Toplaşık Üretim Planlamada Kapasite Modellemesi Çok Boyutlu Çevrim Fonksiyonları ve Doğrusal Programlama-Benzetim İterasyonlarına Dayalı Yaklaşımlar, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 312081.

Arceivala S. J., *Wastewater Treatment for Pollution Control and Reuse*, 3rd ed., McGraw Hill, 2007.

Bakır M. A., Altunkaynak B., *Tamsayılı Programlama: Teori, Modeller ve Algoritmalar*, 1. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2003.

Bakoğlu H., *Doğrusal Programlama*, 1. Baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kütüphanesi, İzmir, 1982.

Başar K., İleri R., Evsel Atık Su Arıtma Tesislerinde Mikrobiyolojik Giderimin Araştırılması, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 1988, **55**(2), 91-95.

Başkent E. Z., *Yöneylem Araştırması Modelleme ve Doğal Kaynak Uygulamaları*, 1. Baskı, KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon, 2004.

Bouras, A., Using Goal Linear Programming to Manage Natural Gas Take-or-Pay Contract Clauses in Electricity Generation, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016, **35**(2016), 1228-1238.

Büyükkeklik M., Üretim Planlama Problemlerinde Doğrusal Programlama Modellerinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde, 2007, 209352.

Carlson S., Walburger A., Energy lndex Development for Benchmarking Water Utilities and Wastewater Utilities, *AWWA Research Foundation*,1, 73-116, 2007.

Çepel N., *Çevre Koruma ve Ekoloji Terimleri Sözlüğü*, TEMA Vakfı Yayınları, 1. Baskı, İstanbul, 1996.

Çınar M., *Yönetsel Kararlara İlişkin Sayısal Yöntemler*, 1. Baskı, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 1990.

Dağ C. M., Çevre Mühendisliği Uygulamaları, *Çevre Mühendisleri Odası,* 2002, **62**(6), 63-74.

Eckenfelder W. W. Jr., *Principles of Water Quality Management*, 1st ed.,CBI Publishing Company, USA, 1980.

Elliott T., Zeier B., Energy Use at Wisconsin's Drinking Water Facilities, *Energy Center of Wisconsin*, 222-1, 63-79, 2003.

Ertaş Ş., *Çevre Hukuku*, 1. Baskı, DEÜ Hukuk Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, İzmir, 1997.

Esin A., *Yöneylem Araştırmalarında Yararlanılan Karar Yöntemleri*, 4. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2003

Gleick P. H., *The World's Water*, 1st ed., Island Press, Washington, D.C., 2014.

Grady L., Daiger G. T., *Biological Wastewater Treatment*, 3rd ed., CRC Press, New York, 2011.

Gupta S., A Two-Step Linear Programming Model for Energy-Efficient Timetables in Metro Railway Networks, *Transportation Research*, DOI: 10.1016/j.trb.2016.07.003.

Güler Ç., Çobanoğlu Z., *Enerji ve Çevre*, 1. Baskı, Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1994.

Gülsoy İ., Kılıçaslan İ., Endüstriyel Atıksu Deşarjında Scada Uygulaması, *Su ve Çevre Dergisi*, 2014, **9**(68), 48-62.

Gülsoy İ., Atıksuyun Kirlilik Değerlerinin Ölçülmesi, İzlenmesi ve Yönetilmesi, *Türkiye Belediyeler Birliği İller ve Belediyeler Dergisi*, 2014, **1**(805), 26-34.

Gülsoy İ., Kılıçaslan İ., Mobil Arıza Takip Sistemi, *eBelediye Dergisi*, 2015, **9**(56), 40-48.

Gülsoy İ., Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Su Faturası Ödeme Entegrasyonu, *Türkiye Belediyeler Birliği İller ve Belediyeler Dergisi*, 2015, **1**(805), 32-38.

Hernández-Sancho F., Energy Efficiency in Spanish Wastewater Treatment Plants: A Non-Radial DEA Approach, *Science of the Total Environment*, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.018.

İleri R., *Çevre Biyoteknolojisi*, 1. Baskı, Değişim Yayınları, Adapazarı, 2000.

Kara İ., *Doğrusal Programlama*, 1. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 2000.

Kara İ., *Yöneylem Araştırmasının Yöntem Bilimi*, 1. Baskı, T.C. Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, Eskişehir, 1985.

Kaya, T., *Türkiye'de Atık Yönetimi ve Finansmanı*, Penguen, 1. Baskı, İstanbul, 2005.

Kenway S. J., The Connection Between Water and Energy in Cities: A Review, *Water Sciency And Technology*, DOI: 10.2166/wst.2011.070.

Kermani M., An Improved Linear Programming Approach for Simultaneous Optimization of Water and Energy, *24th European Symposium on Computer Aided*

Process Engineering, Budapest, Hungary, 15-18 June 2014.

Kestioğlu K., *Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri*, 1. Baskı, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa, 2001.

Kılınç A., Al(III) ve Fe(III) Adsorpsiyonunda Ölü Alg Biyokütlesi ve Aktif Karbon Kullanımının Etkinliğinin Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2005, 167757.

Korkmaz M., Orman İşletmelerinde Üretim Planlarının Optimizasyon Olanakları ve Bir Uygulama, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2006, 187364.

Kukul Y., Çalışkan S., Arıtılmış Atık Suların Tarımda Kullanılması ve İnsan Sağlığı Yönünden Riskler, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2007, **44**(3), 101-116.

Lauinger D., A Linear Programming Approach to The Optimization of Residential Energy Systems, *Journal of Energy Storage*, DOI: 10.1016/j.est.2016.04.009.

Li W., Energy Consumption and Economic Cost of Typical Wastewater Treatment Systems in Shenzhen China, *Journal of Cleaner Production*, DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.109.

Liu S., A Mixed Integer Linear Programming Model for The Optimal Operation of A Network of Gas Oilseparation Plants, *Chemical Engineering Research and Design*, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2016.04.015.

Maroufmashat A. , Mixed Integer Linear Programing Based Approach for Optimal Planning and Operation of A Smart Urban Energy Network to Support The Hydrogen Economy, *International Journal of Hydrogen Energy*, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.08.038.

Meroney R. N., Sheker R. E., Removing Grit During Wastewater Treatment: CFD Analysis of HDVS Performance, *Water Environment Research*, 2016, **88**(5), 438-448.

Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 2003.

Minoglou M., Optimizing The Treatment and Disposal of Municipal Solid Wastes Using Mathematical Programming—A Case Study in A Greek Region, *Resources, Conservation and Recycling*, DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.08.004.

Morgan S. J., Energy Audits Waste Water Treatment Plants, *Ohio Water Environment Association Conference*, Ohio, 19-21 June 2012.

Mujeriego R., Wastewater Treatment for Small Communities in Catalonia , *Water Policy*, 2001, **3**(4), 341–350.

Nuhoğlu A., System Design for Organic Carbon and Nutrient Removal From Sewage Based on Energy Recovery, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012, 332945.

Olsson G., *Water and Energy Threats and Opportunities*, 2nd ed., IWA, New York, 2015.

Oluleye G., A Multi-Period Mixed Integer Linear Program for Design of Residential Distributed Energy Centres with Thermal Demand Data Discretisation, *Sustaınable Production and Consumption*, DOI: 10.1016/j.spc.2015.11.003.

Özder U., KOBİ'lerde Otomasyona Geçiş Sürecinde Tamsayılı Doğrusal Programlama Yöntemini Kullanarak Karar Verme, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 2009, 241776.

Özgüven C., *Doğrusal Programlama ve Uzantıları*, 1. Baskı, Erciyes Üniversitesi Kitap ve Teksir Bürosu, Kayseri, 2002.

Özsan Ö., Mermer İşleme Tesislerinde Ürün İşleme Miktarının Doğrusal Programlama Tekniği Yardımıyla Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006, 202476.

Öztürk A., *Yöneylem Araştırması*, 10. Baskı, Ekin Kitapevi, Bursa, 2005.

Öztürk İ., Timur H., *Atıksu Arıtımının Esasları*, 1. Baskı, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2006.

Panepinto D., Evaluation of The Energy Efficiency of A Large Wastewater Treatment Plant in Italy, *Applied Energy*, DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.10.027.

Peavy H. S., *Environmental Engineering*, 1st ed., McGraw-Hill, Singapore, 1987.

Pilla L., Optimizing The Distribution of Italian Building Energy Retrofit Incentives with Linear Programming, *Energy and Buildings*, DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.11.050 0378-7788.

Pitas V., Fazekas B., Energy Efficiency of The Municipal Wastewater Treatment, *J. Biotechnol*, 2010, **150**(4), 163.

Plappally A. K., Costs for Water Supply Treatment End-Use and Reclamation, *Desalination and Water Treatment*, 2012, **51**, 200-232.

Qasım S. R., *Wastewater Treatment Plants, Planning, Design and Operation*, 2nd ed., CRC, New York, 1999.

Reible D. D., *Fundamentals of Environmental Engineering*, 1st ed., CRC, New York, 1998.

Salgot M., *Hygienic Aspects of DESAR: Water Circuits Decentralized Sanitation and Reuse Integrated Envir. Tech. Series*, 1st ed., IWA, London, UK, 2001.

Samsunlu A., *Atık Suların Arıtılması*, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2011.

Sarıaslan H., *Kaynak Dağılımında Doğrusal Programlama*, 3. Baskı, Turhan Kitabevi, Ankara, 2000.

Sharma R., Water Treatment Techniques With Special Reference to Kota City, *International Jounal of Scientific Research*, 2015, **4**(5), 3-6.

Sinan R. K., Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Ön Arıtım ve Biyolojik Arıtım Çıkış Parametrelerinin YSA ile Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010, 251411.

Sipahi E. B., Küresel Çevre Sorunlarına Kolektif Çözüm Arayışları ve Yönetişim, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2010, **1**(24), 331-344.

Şişman B., Olabilirsel Doğrusal Programlama ile Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımında Kurumsal Sosyal Sorumluluğun Etkisinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyon, 2015, 391197.

Taha H. A., *Yöneylem Araştırması*, 6. Baskı, Literatür, İstanbul, 2000.

Tchobanoglous G., Burton F. L., *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1991.

Uğur A., Yılmaz F., Evsel Atıksu Arıtma Tesisinde Bakteriyoloji Protozoolojik ve Fiziko-Kimyasal Bir Araştırma, *Ekoloji Dergisi*, 2000, **10**(37),9-11.

Umetani S., A Linear Programming Based Heuristic Algorithm for Charge and Discharge Scheduling of Electric Vehicles in A Building, Energy Management System, *Omega*, DOI: 10.1016/j.omega.2016.04.005.

URL-1: http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html, (Ziyaret tarihi: 22 Aralık 2016).

URL-2: http://www.teias.gov.tr/FaaliyetRaporlari/faliyet2015/teias2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 5 Mayıs 2017).

URL-3: http://www.tuik.gov.tr, (Ziyaret tarihi: 13 Ocak 2017).

URL-4: http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari, Ankara, (Ziyaret tarihi: 05 Eylül 2016) .

URL-5: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yilik-toplam-yagis-verileri.aspx, (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs.2017).

URL-6: http://www.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/AtiksuAritimiEylemPlani.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2017).

URL-7: http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/KalknmaPlanlar/10Plan.pdf, (Ziyaret tarihi: 08 Nisan 2017).

URL-8: http://www.esdh.com.tr/pdf /dunyatoplamkent 1950-2025.pdf, (Ziyaret tarihi: 05 Ekim 2016).

URL-9: http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2004/12/20041231.htm (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği), (Ziyaret tarihi: 08 Ağustos 2016).

URL-10: http://www.adana-aski.gov.tr/images/2015faaliyet.pdf, (Ziyaret tarihi: 05 Ekim 2016).

URL-11: http://www.isu.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=351, (Ziyaret tarihi: 18 Ekim 2016).

URL-12: http://www.aski.gov.tr/Yukle/Dosya/faaliyet_performans/2015Faaliyet.pdf, (Ziyaret tarihi: 05 Ekim 2016).

URL-13:https://www.asat.gov.tr/files/faaliyet_raporlari/ASAT_GENEL_ MUDURLUGU_2015_FAALIYET_RAPORU.pdf, (Ziyaret tarihi: 05 Ekim 2016).

URL-14:http://www.aydinaski.gov.tr/Content/files/faaliyet_raporu_2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 06 Ekim 2016).

URL-15:http://www.balikesir-baski.gov.tr/kaynak/dosyalar/Dosyalar/Faaliyet_ Raporlari/ 2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 06 Ekim 2016).

URL-16: http://www.buski.gov.tr//content/uploads/raporlar/faaliyetraporu /2015/ index.html, (Ziyaret tarihi: 06 Ekim 2016).

URL-17: http://www.deski.gov.tr/DataFiles/file/strateji/faaliyet_raporu_2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 07 Ekim 2016).

URL-18: http://www.diski.gov.tr/images/faaliyet15/1.B%C3%B6l%C3%BCm.pdf, (Ziyaret tarihi: 07 Ekim 2016).

URL-19: http://www.eski.gov.tr/faa.html, (Ziyaret tarihi: 07 Ekim 2016).

URL-20: http://www.eskisehir-eski.gov.tr/uploads/strateji/faaliyet/2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 08 Ekim 2016).

URL-21: http://gaski.gov.tr/dokumanlar/2_4__faaliyet2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 09 Ekim 2016).

URL-22: http://www.hatsu.gov.tr/basin/hatsufaaliyet.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2016).

URL-23:http://www.iski.gov.tr/web/assets/SayfalarDocs/faaliyetraporlari/ faaliyetraporu2008/faaliyet_raporu2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2016).

URL-24:http://www.izsu.gov.tr/siteitems/documents/FaaliyetRaporlari/ 2015YiliFaaliyetRaporu.pdf, (Ziyaret tarihi: 16 Ekim 2016).

URL-25: http://maraskaski.gov.tr/faaliyet-raporu-2015, (Ziyaret tarihi: 17 Ekim 2016).

URL-26: http://www.kaski.gov.tr/uploads/files/faaliyet-raporu-2015-6334.pdf, (Ziyaret tarihi: 17 Ekim 2016).

URL-27: http://www.koski.gov.tr/ekler/koski_faaliyet_2015.pdf, (Ziyaret tarihi: 20 Ekim 2016).

URL-28: http://maski.gov.tr/faaliyet-raporu-2015, (Ziyaret tarihi: 21 Ekim 2016).

URL-29: http://www.manisasu.gov.tr/kurumsal/faaliyet-raporlari.html, (Ziyaret tarihi: 21 Ekim 2016).

URL-30: http://www.meski.gov.tr/files_upload/belgemenu/1496902237.pdf, (Ziyaret tarihi: 21 Ekim 2016).

URL-31:http://marsu.gov.tr/files/MARSU%202015%20YILI%20FAAL%C4%B0YET %20RAPORU.pdf, (Ziyaret tarihi: 21 Ekim 2016).

URL-32: http://win.muski.gov.tr/programrapor/Muski2015Faaliyet.pdf, (Ziyaret tarihi: 22 Ekim 2016).

URL-33: https://www.oski.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=2369, (Ziyaret tarihi: 22 Ekim 2016).

URL-34: http://www.sakarya-saski.gov.tr/media/gallery/b8797614-87e3-4bef-9b26-1a5be303d256.pdf, (Ziyaret tarihi: 22 Ekim 2016).

URL-35:https://www.saski.gov.tr/media/gallery/fab67efd-9aaf-4f80-86e9-b8afc65f3788.pdf , (Ziyaret tarihi: 24 Ekim 2016).

URL-36:https://view.joomag.com/susk%C4%B0-2015-faal%C4%B0yet-raporu/0222514001468926401?short, (Ziyaret tarihi: 24 Ekim 2016).

URL-37: http://www.teski.gov.tr/t-dosyalar/genel/faaliyet_raporu_2016.pdf, (Ziyaret tarihi: 25 Ekim 2016).

URL-38: https://www.tiski.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=109, (Ziyaret tarihi: 25 Ekim 2016).

URL-39: https://www.vaski.gov.tr/images/files/2015%20faaliyet%20raporu--(2).pdf, (Ziyaret tarihi: 25 Ekim 2016).

URL-40: http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121206.htm (On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi Ve Yirmi Altı İlçe Kurulması Kanunu), (Ziyaret tarihi: 11 Nisan 2017).

URL-41: http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/22277.pdf (İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresinin Kurulması Kanunu), (Ziyaret tarihi: 11 Nisan 2017).

URL-42: http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/17523.pdf (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresinin Kurulması Kanunu) (Ziyaret tarihi: 11 Nisan 2017).

URL-43: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/themes, (Ziyaret tarihi: 8 Ocak 2017).

URL-44: http://kosano.org.tr/rakamlarla-kocaeli/, (Ziyaret tarihi: 06 Mayıs 2017).

Üreten S., *Üretim/İşlemler Yönetimi Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri*, 3.Baskı, Gazi Kitapevei, Ankara, 2002.

Vaishnavi A., Vertical Water Treatment Plant, *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2016, **2**(6), 257-261.

Wef, *Energy Conservation in Water and Waste Water Facilities*, 1st Ed., McGraw Hill, New York, 2009.

Winston W. L., *Operations Research: Applications and Algorithms*, 4th ed., Thomson, Canada, 2004.

Wouters C., An Energy Integrated Multi-Microgrid MILP (Mixed-İnteger Linear Programming) Approach for Residential Distributed Energy System Planning A South Australian Case-Study, *Energy*, DOI: 10.1016/j.energy.2015.03.051.

Yang L., Zeng S., Operational Energy Performance Assessment System of Municipal Wastewater Treatment Plants, *Water Science & Technology*, 2010, **62**(6), 1361-1370.

Yıldırım İ., Orman Ürünleri Sanayi Sektöründe Üretim Planlama Sisteminin Doğrusal Programlama Yöntemi ile Geliştirilmesi ve Uygulaması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011, 300095.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Gülsoy İ., Kılıçaslan İ., Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde Tüketilen Enerjinin Kirlilik Giderimine Bağlı Olarak İncelenmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2015, **2015**(35), 29-46.

Gülsoy İ, Kılıçaslan İ, Atksu Yönetiminde Scada Uygulaması, *e-Belediye Dergisi*, 2013, **7**(45), 26-34.

Gülsoy İ, Kılıçaslan İ, Endüstriyel Atıksu Deşarjında Scada Uygulaması*, Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, 2014, **9**(68), 48-62.

Gülsoy İ, Kocaeli'nde Geri Kazanım Suyunun Sanayide Kullanımı, *e-Belediye Dergisi*, 2014, **8**(54), 30-35.

Gülsoy İ., Kılıçaslan İ., Mobil Arıza Takip Sistemi, *e-Belediye Dergisi,* 2015, **9**(56), 40-48.

Gülsoy İ., Atıksuyun Kirlilik Değerlerinin Ölçülmesi, İzlenmesi ve Yönetilmesi, *Türkiye Belediyeler Birliği, İler ve Belediyeler Dergisi,* 2015, **1**(805), 34-40.

Gülsoy İ., Su ve Kanalizasyon İdarelerinde Su Faturası Ödeme Entegrasyonu, *Türkiye Belediyeler Birliği, İller ve Belediyeler Dergisi*,2015, **2015**,(812), 32-38.

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Sivas'da doğdu. İlköğrenimini Ankara'da, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nin Derince ilçesinde tamamladı. 1985 yılında girdiği Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nden 1992 yılında Maden Mühendisi olarak mezun oldu. 2002-2005 yılları arasında Derince Belediyesinde Bilgi İşlem Müdürü olarak görev yaptı. 2003-2005 yılları arasında, Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Türk-Kazak Üniversitesi Bilişim Teknolojileri ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2005-2007 yılları arası Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi-İSU Genel Müdürlüğünde Bilgi İşlem Dairesi Başkanı, 2007-2010 yılları arası Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı ile birlikte Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığında kurucu başkan olarak görev yaptı. 2010 yılından beri Bilgi İşlem Dairesi Başkanı olarak görevine devam etmektedir. 2013 yılında Türkiye Bilişim Vakfı ile TÜSİAD'ın düzenlediği 11.e-Türkiye Ödülleri yarışmasında kurumu için geliştirdiği "Mobil Arıza Takip Sistemi" projesi ile Büyük Ölçekli Belediyeler kategorisinde Türkiye birinciliği ödülünü aldı. 2016 yılında Türkiye Belediyeler Birliği Bilgi İşlem komisyon başkanlığı görevine seçildi. 2017 yılında Türkiye Bilişim Vakfı ile TÜSİAD'ın düzenlediği 14.e-Türkiye Ödülleri yarışmasında kurumu için geliştirdiği "Mobil Çevre Denetim Sistemi" projesi ile Büyük Ölçekli Belediyeler kategorisinde ikinci kez Türkiye birinciliği ödülü aldı.