T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN SERA GAZI EMİSYONLARININ MİNİMİZASYONU

Pelin YAPICIOĞLU

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN SERA GAZI EMİSYONLARININ MİNİMİZASYONU

Pelin YAPICIOĞLU

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

Dr. Öğr. Üyesi Özlem DEMİR danışmanlığında, Pelin YAPICIOĞLU 'nun hazırladığı **"Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonlarının Minimizasyonu "** konulu bu çalışma 20/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Özlem DEMİR ……..

Üye : Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ ……..

Üye : Doç. Dr. A. Dilek ATASOY ……..

Bu Tezin Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Halil Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 16216

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ.....vi
1. GİRİŞ 1
1.1. Genel Bilgiler 3
1.2. Tez Konusunun Geçmişi 10
1.3. Problemin Belirlenmesi 13
1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı 14
1.5. Tez Çalışmasının Ana Hatları.....15
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....18
2.1. Literatür Özeti 18
2.2. Dinamik Model Kullanılan Çalışmalar.....22
2.3. Kararlı-Denge Proses Modeli Kullanılan Çalışmalar 23
2.4. Dinamik ve Kararlı-Denge Proses Modeli Kullanılan Çalışmalar 24
2.5. Matematiksel Model Kullanılan Çalışmalar.....25
2.6. Matematiksel Model Kullanılan ve Ölçüm Yapılan Çalışmalar.....26
2.7. Matematiksel Model ve Yazılım Kullanılan Çalışmalar 28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....30
3.1. Materyal 30
3.1.1. Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi özellikleri 30
3.1.2. Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi emisyon ölçüm noktaları 35
3.1.3. Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi (ŞOSB) Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi özellikleri.....36
3.1.4. Şanlıurfa OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi emisyon ölçüm noktaları.....41
3.1.5. Drager X–Am 5000 Model portatif gaz analizörü.....42
3.1.6. Emisyon izolasyon akı başlığı 42
3.1.7. @RISK Monte Carlo simülasyon yazılımı 43
3.2. Yöntem 46
3.2.1. Kapalı çember gaz ölçüm metodu 46
3.2.2. Proseslerden kaynaklanan sera gazı emisyonu hesaplama 48
3.2.3. Elektrik tüketiminden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonu hesaplama 48
3.2.4. Anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonu hesaplama 49
3.2.5. Monte Carlo simülasyon yazılımı ile emisyon minimizasyonu.....51
3.2.6. Atıksu analizlerinin gerçekleştirilmesi ve proses koşullarının belirlenmesi 53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 54
4.1. Siverek Atıksu Arıtma Tesisi Emisyon Ölçümü 54
4.1.1. Direkt sera gazı emisyonları 54
4.1.2. Dolaylı sera gazı emisyonları 59
4.1.3. Toplam sera gazı emisyonları.....62
4.2. Şanlıurfa OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Emisyon Ölçümü 65
4.2.1. Direkt sera gazı emisyonları 65
4.2.2. Dolaylı sera gazı emisyonları 71
4.2.3. Toplam sera gazı emisyonları.....73
4.3. Monte Carlo Simülasyon Modeli ile Emisyon Miktarı Tahmini ve Minimizasyonu 76
4.3.1. Siverek atıksu arıtma tesisi sera gazı emisyonları minimizasyonu.....76
4.3.2. Şanlıurfa OSB merkezi atıksu arıtma tesisi sera gazı emisyonları minimizasyonu 80
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....83
5.1. Sonuçlar 83
5.2. Öneriler 86
KAYNAKLAR 89
ÖZGEÇMİŞ 95

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN SERA GAZI EMİSYONLARININ MİNİMİZASYONU

Pelin YAPICIOĞLU

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özlem DEMİR
Yıl: 2018, Sayfa: 96

Atıksu arıtma tesislerinde, karbon dioksit (CO_2) ve metan (CH_4) emisyonları başlıca sera gazı emisyonlarıdır. Bu çalışmada; öncelikle, biri evsel diğeri endüstriyel olmak üzere iki farklı atıksu arıtma tesisindeki sera gazı emisyon kaynakları belirlenmiş ve tesislere ait CO_2 ve CH_4 gazlarının miktarları ölçülmüştür. Evsel atıksu arıtma tesisi olarak Siverek Atıksu Arıtma Tesisi (SAAT), endüstriyel atıksu arıtma tesisi olarak Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi (ŞOSB MAAT) pilot tesis olarak seçilmiştir. Direkt emisyonları oluşturan prosesten kaynaklanan sera gazı miktarları, Dräger X–Am 5000 Model portatif gaz analizörü ile belirlenmiştir. Kapalı çember metodu uygulayarak emisyon izolasyon akı başlığı içerisinde CO_2 ve CH_4 gazları 30 dakika süreyle hapsedilmiştir. Ölçümler Ağustos-Mayıs ayları arasında her iki tesis için toplamda 10 kez gerçekleştirilmiştir. Dolaylı emisyonlar olarak SAAT için, anaerobik çamur çürütmeden kaynaklı oluşan sera gazı emisyonu ve elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlar, ŞOSB MAAT için ise elektrik tüketiminden dolayı oluşan emisyonlar dikkate alınmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, sera gazı emisyon miktarlarının azaltılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, Monte Carlo Simülasyonu'nu uygulayarak, sera gazı emisyonlarını minimize edecek ŞOSB MAAT için optimum atıksu giriş değerleri, SAAT içinse optimum işletme koşulları tanımlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre; SAAT'de en yüksek direkt sera gazı emisyonu Ağustos ayında oluşmuş, değeri 23.328 kg CO_2-eşd/gün'dür ve en düşük emisyon ise 7.56 kg CO_2-eşd/gün olup Ocak ayında ölçülmüştür. SAAT'de CH_4 emisyonu hiç ölçülmemiştir. Tesiste havalandırma havuzu, sera gazı emisyonu yayan başlıca ünitedir. ŞOSB MAAT'de ise hem CO_2 hem de CH_4 emisyonu gözlenmiştir. En yüksek toplam direkt sera gazı emisyonu 977.76 kg CO_2-eşd/gün değeriyle Ağustos ayında oluşmuştur. En düşük direkt sera gazı emisyonu Ocak ayında oluşmuş ve değeri 12.456 kg CO_2-eşd/gün' dür. CH_4 emisyonu kaynakları; havalandırmalı kum tutucu ve koagülasyon-flokülasyon havuzudur. CO_2 emisyonu ise havalandırmalı kum tutucu ve havalandırma havuzlarında gözlemlenmiştir. SAAT için anaerobik çamur çürütme prosesinde oluşan biyogazdan ötürü dolaylı sera gazı emisyonu oluşmaktadır fakat tesis içinde kojenere edildiği için yayılan sera gazı emisyonu hesaplanırken ihmal edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Atıksu arıtma tesisi, sera etkisi, CO_2 emisyonu, CH_4 emisyonu, minimizasyon

ABSTRACT

MSc Thesis

GREENHOUSE GASES EMISSIONS MINIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Pelin YAPICIOĞLU

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Superviser: Dr. Özlem DEMİR
Year: 2018, Page: 96

Carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) emissions are the main greenhouse gas emissions in the wastewater treatment plants. Firstly, the greenhouse gas emission resources in two different wastewater treatment plants, one of which is municipal and the other is industrial, were determined and the amounts of CO_2 and CH_4 gases of the plants were measured in this study. Siverek Municipal Wastewater Treatment Plant (SMWWTP) was elected as the municipal wastewater treatment plant and Sanliurfa Organized Industrial Zone Central Wastewater Treatment Plant (SOIWWTP) was elected as the industrial wastewater treatment plant. Greenhouse gas amounts originated from processes that form the direct emissions were determined with the Dräger X-Am 5000 Model portable gas analyzer. Greenhouse gas emissions due to the electricity consumption and originating emissions from anaerobic sludge digestion are regarded as the indirect emissions in SWWTP, the emissions due to the only electricity consumption are considered as the indirect emission in SOIWWTP. By implementing closed chamber method, CO_2 and CH_4 gases were retained in the emission insulation flux header for 30 minutes. Measurements for both two plants, have been realized between August and May with ten times totally. In the second phase of the study, it is aimed to reduce greenhouse gas emissions and the optimum influent wastewater characteristics to minimize the emissions have been defined for SOIWWTP by implementing Monte Carlo Simulation and optimum operating conditions have been determined for SMWWTP. According to the results of the study; the highest direct greenhouse gas emission in SMWWTP occurred in August, a value of 23.328 kg CO_2-eq/d and the lowest emission was 7.56 kg CO_2-eq/d, measured in January. CH_4 emission in SMWWTP is not measured. The aeration tank is the main unit that emits greenhouse gas emissions. Both CO_2 and CH_4 emissions have been measured in SOIWWTP. The highest total direct greenhouse gas emission occurred in August at 977.76 kg CO_2-eq/d. The lowest direct greenhouse gas emission occurred in January, and the value was 12.456 kg CO_2-eq/d. CH_4 emission sources are aerated grit chamber and coagulation-flocculation tank. CO_2 emissions were observed in aerated grit chamber and aeration tanks. Indirect emission has been occurred because of anaerobic sludge treatment for SMWWTP, but the biogas has been cogenerated in the plant so it has been ignored for the calculation.

KEY WORDS: Wastewater treatment plant, greenhouse effect, CO_2 emission, CH_4 emission, minimization

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez konumu bulan, akademik hayatımda çok büyük emeği ve desteği olan tez danışmanım, Sayın *Dr. Öğr. Üyesi Özlem DEMİR' e* sabrından, rehberliğinden, katkılarından, emeğinden ve anlayışından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Benden her anlamda engin bilgilerini, tecrübelerini ve rehberliklerini esirgemeyen, Sayın *Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ*' ye ve Sayın *Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI' ya* destekleri ve motivasyonları için sonsuz şükranlarımı sunarım. Tez süresince bilgilerini ve tecrübelerini üzerimden eksik etmeyen, bölüm hocamız *Prof. Dr. Sinan UYANIK' a* katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Saha çalışmalarım için izin hususunda bana daima destek olan Bölüm Başkanımız Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakki GÜLŞEN' e anlayışından dolayı müteşekkirim.

Tesislerinde ölçüm yapmama izin veren Siverek Atıksu Arıtma Tesisi ve Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Atıksu Arıtma tesisi yetkililerine ve çalışanlarına emeklerinden ve katkılarından dolayı teşekkür ederim. Özellikle tesislerin sorumluları, Sayın *Çevre Yük. Müh. Yavuz Selim BOYACI*, Sayın *Çevre Müh. Pınar KAYA* ve Sayın *Makine Müh. İzzet ŞANSAL*'a değerli emekleri için şükranlarımı sunarım.

Son olarak hayattaki en büyük şanslarım olarak tanımladığım, canım anneme, canım babama ve canım eşime minnettarım. Tesis ölçümlerinde beni yalnız bırakmayan, yol arkadaşım değerli eşim *Naci YAPICIOĞLU' ya* bu tez çalışmasını ithaf ediyorum.

Ayrıca, yaptığım çalışmalara maddi desteklerinden dolayı HÜBAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Sera gazı emisyonlarının sektör bazında yıllara göre değişimi 7
Şekil 1.2. 2013 Yılı sera gazı emisyonlarının sektörel oranları 8
Şekil 1.3. 1990-2013 yılları arası atık sektörüne ait sera gazı emisyon paylarının değişimi 9
Şekil 1.4. 1990-2013 yılları arası atık sektörüne ait sera gazı emisyonları 9
Şekil 3.1. Siverek atıksu arıtma tesisi genel görünümü 31
Şekil 3.2. Siverek atıksu arıtma tesisi kum tutucu ünitesi 31
Şekil 3.3. Siverek atıksu arıtma tesisi çökeltim havuzları 32
Şekil 3.4. Siverek atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu 32
Şekil 3.5. Siverek atıksu arıtma tesisi proses akım şeması 34
Şekil 3.6. Siverek atıksu arıtma tesisi sera gazı ölçümü yapılan noktalar 35
Şekil 3.7. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi genel görünümü 36
Şekil 3.8. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi çökeltim havuzları 37
Şekil 3.9. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzları 37
Şekil 3.10. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi kimyasal arıtma ünitesi 38
Şekil 3.11. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi proses akım şeması 40
Şekil 3.12. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi sera gazı ölçüm noktaları 41
Şekil 3.13. Drager X-Am 5000 model gaz analizörü 42
Şekil 3.14. Emisyon izolasyon akı başlığı 43
Şekil 3.15. @RISK Monte Carlo simülasyon yazılımı ekran çıktısı 45
Şekil 3.16. Kapalı çember gaz ölçüm metodu 46
Şekil 3.17. Optimum gaz tutma süresi belirlenmesi 47
Şekil 4.1. SAAT proses bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi 57
Şekil 4.2. SAAT ay bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi 57
Şekil 4.3. SAAT dolaylı sera gazı emisyonlarının aylık değişimi 62
Şekil 4.4. SAAT toplam sera gazı emisyonlarının aylık değişimi 63
Şekil 4.5. ŞOSB MAAT proses bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi 68
Şekil 4.6. ŞOSB MAAT ay bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi 69
Şekil 4.7. ŞOSB MAAT dolaylı sera gazı emisyonlarının aylık değişimi 72
Şekil 4.8. ŞOSB MAAT toplam sera gazı emisyonlarının aylık değişimi 74
Şekil 4.10. SAAT Monte Carlo simülasyonuyla SGE minimizasyonu 76
Şekil 4.11. ŞOSB MAAT Monte Carlo simülasyonuyla SGE minimizasyonu 80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Bazı sera gazlarının GWP değerleri 5
Çizelge 3.1. Siverek atıksu arıtma tesisi atıksu karakterizasyonu ve işletim parametreleri 33
Çizelge 3.2. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi ham atıksu özellikleri 38
Çizelge 4.1. SAAT direkt sera gazı emisyon ölçüm sonuçları 55
Çizelge 4.2. SAAT direkt CO_2 emisyon ölçüm sonuçları 55
Çizelge 4.3. SAAT ay bazında ölçüm yapılan güne ilişkin atıksu giriş değerleri 56
Çizelge 4.4. SAAT Elektrik tüketiminden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyon değerleri 60
Çizelge 4.5. SAAT Anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan dolaylı SGE değerleri 61
Çizelge 4.6. SAAT Toplam dolaylı sera gazı emisyon değerleri 61
Çizelge 4.7. SAAT Toplam sera gazı emisyon değerleri 63
Çizelge 4.8. SAAT ölçüm sonuçlarının literatürle kıyaslanması 64
Çizelge 4.9. ŞOSB MAAT direkt sera gazı emisyon ölçüm sonuçları 66
Çizelge 4.10. ŞOSB MAAT direkt CO_2 emisyon ölçüm sonuçları 66
Çizelge 4.11. ŞOSB MAAT direkt CH_4 emisyon ölçüm sonuçları 67
Çizelge 4.12. ŞOSB MAAT ay bazında ölçüm yapılan güne ilişkin atıksu giriş değerleri 67
Çizelge 4.13. ŞOSB MAAT Dolaylı sera gazı emisyon değerleri 71
Çizelge 4.14. ŞOSB MAAT Toplam sera gazı emisyon değerleri 73
Çizelge 4.15. ŞOSB MAAT ölçüm sonuçlarının literatürle kıyaslanması 75
Çizelge 4.16. SAAT Monte Carlo simülasyonu sonucu SGE minimizasyonu 78
Çizelge 4.17. SAAT havalandırma havuzu simülasyon sonucu SGE minimizasyonu 78
Çizelge 4.18. ŞOSB MAAT Monte Carlo simülasyonu sonucu SGE minimizasyonu 81

SİMGELER DİZİNİ

GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
RZD	Radyatif Zorlama Değeri
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
AB	Avrupa Birliği
AKAKDO	Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık
CO_2	Karbondioksit
CH_4	Metan
N_2O	Nitröz Oksit
IPCC	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
BM	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
EPA	Environmental Protection Agency
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOI	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TP	Toplam Fosfor
HRT	Hidrolik Alıkonma Süresi
F/M	Besin/Mikroorganizma oranı
E_{KOI}	KOI Giderim Verimi
E_{BOI}	BOI Giderim Verimi
E_{AKM}	AKM Giderim Verimi
AKM	Askıda Katı Madde
SGET	Sera Gazı Emisyonlarının Takibi
SGE	Sera Gazı Emisyonları
IWA	International Water Association
ASM1	Activated Sludge Models No:1
ASM3	Activated Sludge Models No:3
ASMG	Activated Sludge Models_Greenhouse Gases
ADM1	Anaerobic Digestion Model No:1
BSM1	Benchmark Simulation Model No:1
BSM2	Benchmark Simulation Model No:2
BSM2G	Benchmark Simulation Model No:2_Greenhouse Gases
ASMN	Activated Sludge Model for Nitrogen
ASMN_G	Activated Sludge Model for Nitrogen_Greenhouse Gases
A^2/O	Anaerobic-Anoksik-Oksik
AO	Anoksik-Oksik
AKR	Ardışık Kesikli Reaktör
MBR	Membran Bioreaktör
MD	Membran Distilasyonu
ŞOSB	Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi
NO_x	Azot Oksit Gazları
N_2	Azot Gazı
IND_E	Elektrik tüketim kaynağı ile dolaylı CO_2 emisyonu
IND_S	Anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonu
IND_T	Toplam dolaylı sera gazı emisyonu
$ECH_{4\text{-}ST}$	Çamur stabilazyonu dolaylı CH_4 emisyonu
$ECO_{2\text{-}ST}$	Çamur stabilazyonu dolaylı CO2 emisyonu
C_E	Atıksu arıtma tesisinin elektrik tüketimi
EF	Emisyon Faktörü
CO_2-eşd	Karbondioksit Eşdeğeri
ŞOSB MAAT	Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi
SAAT	Siverek Atıksu Arıtma Tesisi

1. GİRİŞ

Son zamanlarda, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları, odaklanılan güncel bir konu haline gelmiş olup, önemli çevresel problemlerden biri olarak görülmektedir. IPCC (Uluslararası İklim Değişikliği Önleme) Direktifi'ne göre antropojenik faaliyetler, sera gazı emisyonlarının temel nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (IPCC, 2007). Atıksu arıtma tesisleri de bu antropojenik kaynaklardan biridir.

Küresel ısınma atmosfere yayılan sera gazı birikimi ile oluşmuştur ve sera gazı emisyonları her geçen gün endüstrileşen dünyamızda giderek daha da artmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği arıtma tesislerini etkilemekte ve aynı zamanda arıtma tesisleri yaydıkları sera gazı emisyonlarıyla bu küresel çevre problemlerine neden olmaktadır. Dünya, üzerine düşen güneş ışınlarından çok yansıyan güneş ışınlarıyla ısınır. Bu yansıyan ışınlar başta karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve su buharı olmak üzere atmosferde bulunan gazlar tarafından tutulur ve böylece dünya ısınmaktadır. Işınların bu gazlar tarafından tutulması olayı sera etkisi olarak ifade edilir. Atmosferde bu gazların miktarının artması Yerküre 'de ısınmayı büyük oranda artırır. Sera gazlarının, Sanayi Devrimi'nden başlayarak zaman içerisinde atmosferde birikimi sonucu ortaya çıkmasına küresel ısınma denir. Dünyada nüfus yoğunluğunun artması, aşırı göç ve kentleşme, hayat kalitesinin yükselmesi ve sanayileşmenin sonuçları olarak son zamanlarda aşırı miktarda tüketilen petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanımı sonucu büyük miktarda zararlı gaz ve partiküllerin atmosfere salınması, küresel ısınmaya neden olan en önemli etkenlerdir. Küresel ısınmaya bağlı olarak, iklim elemanlarının (nem, yağış, sıcaklık, hava hareketleri vb.) değişmesi süreci küresel iklim değişikliği olarak tanımlanır. Küresel iklim değişikliğine hizmet eden bu sera gazları atmosferde birikmeleri sonucu yüksek konsantrasyonlarda zararlı olurlar. Bu etkiyi yaratan başlıca sera gazları şunlardır (IPCC, 2006):

· Karbon dioksit (CO_2)
· Metan (CH_4)
· Nitröz Oksit (N_2O)
· Hidroflorokarbonlar
· Perflorokarbonlar
· Sülfürhekza florid.

İklim değişikliği açısından atmosferdeki sera gazı miktarı hesaplanırken karbon dioksit eşdeğeri olarak "ppm (milyonda bir)" esas alınır. 2015 itibariyle güncel sera gazı yoğunluğu yaklaşık 400 CO_2 eşdeğeri ppm düzeyindedir. Bu sadece karbon dioksit gazının değil hesaplamaya giren diğer gazların da uygun çarpanlarla denkleştirilerek bulunan bir sayıdır. Bu hesaplamada gazların Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential (GWP)) göz önünde bulundurulur (EPA, 1997). GWP değeri büyük olan gazlar, aynı miktardaki karbon dioksite göre küresel ısınmayı daha büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Bununla beraber, diğer sera gazlarına nispeten salınan karbon dioksit miktarı çok yüksek olduğu için küresel ısınmanın birinci derece sorumlusu olarak gösterilmektedir.

Atıksu arıtma tesisleri de sera gazı üretiminde dünyada önemli bir konuma sahiptir (IPCC, 2014). Atıksu arıtma tesislerinde temel sera gazı kaynakları; arıtma tesisindeki prosesler (kimyasal, fizikokimyasal, biyolojik prosesler vb.), tesisteki enerji tüketimi (havalandırma prosesi, elektrik tüketimi, yakıt kullanımı vb.), kimyasal kullanımı (çamur şartlandırma prosesi için ilave edilen kimyasallar (polielektrolitler, pıhtılaştırıcı ve yumaklaştırıcılar), nitrifikasyon ve denitrifikasyon için metanol ilavesi, alkaliniteyi sağlamak için kimyasal ilavesi, pH düzenlemek için kimyasal eklenmesi vb.), arıtma çamuru stabilizasyonu (aerobik çürütme, anaerobik çürütme vb.) ve tesiste uygulanan planlı ve periyodik bakım-onarım faaliyetleridir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan temel sera gazları karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4) ve nitröz oksit (N_2O) tir (Kyung ve ark, 2015; Kampschreur ve ark, 2009 ve

Corominas ve ark, 2012). Atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazı emisyonlarının kaynakları ve miktarları tesisten tesise farklılık gösterir.

1.1. Genel Bilgiler

Sanayi devrimi ile başlayan ve giderek artan bir hızla kullanılmaya başlayan fosil yakıtların yoğun kullanımı beraberinde atmosferde yoğunluğu gittikçe artan sera gazları birikimine yol açmıştır. (Anonim, 2016). Sera gazı birikimine neden olan tesislerden biri de atıksu arıtma tesisleridir. Küresel iklim değişikliğinin ana nedeni olduğuna inanılan sera gazı emisyonlarındaki hızlı artış, 20. Yüzyılda, Dünya'da sera gazı üretimini kontrol etmek için çoğu uluslararası anlaşmanın zeminini hazırlamıştır. Atıksu arıtma tesisleri için günümüzdeki çoğu metodoloji ve tahminler çoğunlukla IPCC Protokolü'ne dayanır. Bu protokol gelişmekte olan ülkeler arasındaki ulusal sera gazı emisyonlarının kolaylıkla karşılaştırılması için geliştirildiği gibi, tahmin emisyon envanterleri için emisyon faktörlerine ve insan aktivitelerine dayanan anlaşılır bir hesaplama metodu sunar (Ashrafi ve ark, 2013). IPCC raporuna göre (IPCC 2007), küresel iklim değişikliğinin ana nedeni, CO_2, CH_4 ve N_2O gibi insan kaynaklı sera gazlarıdır.

CO_2, insan aktivitelerinden kaynaklanan en geniş ölçekteki sera gazıdır. Fosil yakıtlarının yakılması ya da biokütlenin yakıt olarak kullanılması, yakılması, örneğin arazi genişletme sırasında ormanların yakılması ve bazı endüstriyel ve cevher çıkarma işlemleri ile karbondioksit salınır. (IPCC, 2001).

CH_4, karbondioksitten sonra gelen en önemli antropojenik sera gazıdır (IPCC, 2001). Enerji sektörü önemli bir metan kaynağıdır ancak tarım ve evsel atıkların bertarafı, küresel anlamda daha çok etki yaratmaktadır. CH_4, anaerobik prosesler sonucunda meydana gelir. Organik maddelerin anaerobik ayrıştırılması sonucu metan oluşur (Speece, 1996). Katı atık deponi alanları ve atıksu arıtma tesisleri en önemli metan kaynaklarındandır. Bataklıklar ve çiftlikler de metan kaynakları arasında yer alır.

N_2O, iklim değişikliğine direkt katkıda bulunmaktadır, esas kaynağı tarımdır ancak diğer kaynağı da bazı kimyasal maddelerin endüstriyel üretimidir. Diğer azot oksitlerin dolaylı sera etkisi vardır (IPCC, 2001). Özellikle insan aktiviteleri sonucunda meydana gelir. Sentetik gübreler ve fosil yakıtların ve biokütlenin yanması en önemli azot oksit kaynaklarıdır. Arıtma çamurlarının yakılması ve azotlu maddelerin atıksudan giderimi diğer önemli oluşum mekanizmalarıdır. Atıksulardan azot denitrifikasyon ve nitrifikasyon prosesiyle N_2 gazı olarak uzaklaştırılır (Metcalf ve Eddy, 2003). Bu gaz atmosferdeki atmosferdeki oksijenle birleşerek nitröz oksit isimli sera gazını meydana getirir.

Endüstriyel, ticari veya evsel her alanda, çıkış suyu kalitesine ve atıksu arıtımına olumsuz etki oluşturmadan sera gazlarının miktarlarının azaltılması gerekmektedir. Sera etkisi atmosfer bileşiminin dengesini bozan ve atıksu arıtma tesislerinden de kaynaklanan ciddi bir çevre problemidir. Sera etkisine neden olan gazların iklim değişikliğine etkileri, küresel ısınma potansiyelleri üzerinden değerlendirilir.

Radyatif zorlama değeri (RZD), iklim değişikliğini oluşturan faktörlerin, Dünya'nın enerji dengesine etkisini gösteren ölçü olarak tanımlanır. Birimi W/m^2'dir. (IPCC, 2007). Küresel ısınma potansiyeli (GWP), herhangi bir gaz için belli bir zaman aralığında, belirli bir miktarda emisyonunun neden olduğu kümülatif RZD'nin, rölatif gaz olan CO_2'in aynı zaman aralığındaki emisyon miktarının kümülatif RZD'ye oranıdır (Myhre, 2013). Küresel ısınma potansiyelleri genelde 100 yıllık olarak literatürde yer alır. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyeli (GWP) değerleri Çizelge 1.1.'de verilmiştir (IPCC, 2014).

Çizelge 1.1. Bazı sera gazlarının GWP değerleri (IPCC, 2014)

Sera gazı	Formül	GWP Değeri (100 yıllık)
Karbon dioksit	CO_2	1
Metan	CH_4	28
Nitröz Oksit	N_2O	265

Atıksu arıtma tesislerinden yayılan temel sera gazları N_2O, CH_4 ve CO_2'tir. Bu gazların sırasıyla küresel ısınma potansiyelleri 265, 28 ve 1'dir (IPCC, 2014). Küresel ısınma potansiyeli nispeten düşük olmasına rağmen CO_2 gazı yüksek konsantrasyonlarda salındığı için iklim değişikliğine etkisi daha yüksek olmaktadır. CO_2 üretiminin miktarı esasen, arıtma ünitelerindeki enerji tüketimine dayalı olarak değerlendirilebilir. Diğer yandan, CH_4 ve N_2O atıksu arıtma tesislerinin her ünitesinde doğrudan yayılmaktadır ve bunların emisyonları arazi çalışmalarına bağlı olarak değerlendirilmelidir. IPCC'nin 2006 yılındaki rehberinde atıksu arıtma tesislerinden gelen CH_4 ve N_2O emisyonlarını ana hatları ile şu şeklide belirtmiştir: İlk olarak IPCC, CH_4'ün başlıca anaerobik ortamda, örneğin lagünlerde arıtımda veya anaerobik çürütmede üretildiğini var saymaktadır. Çökeltim havuzları veya havalandırma havuzları gibi üniteler, IPCC'ye göre verilen emisyon faktörünün içinde değildir. İkinci olarak IPCC, N_2O'nun çoğunun çıkış suyundan sonra dolaylı olarak üretildiğini ve yayıldığını kabul etmektedir. En yeni emisyon katsayısı 0.005 g N'dir (IPCC, 2006). 1996 yılında bu değer 0.01 g N iken revize edilmiştir. Buna karşılık, ileri yani üçüncül arıtmadaki doğrudan emisyon katsayısı 3,2 g N_2O/kişi.yıl olarak kabul edilmektedir fakat bu değere son yıllarda eleştiriler artmıştır (IPCC, 2006). CH_4'ün özellikle arıtma tesislerinde kum tutucu ve/veya havalandırma havuzunun ilk kademesinde yayıldığı söylenebilir (Czepiel ve ark, 1993). Bu arada, atık aktif çamurdaki metanojenlerin varlığı da metanın atıksu arıtma tesisinde üretildiğini göstermektedir. Atıksu arıtma tesisinden gelen doğrudan emisyonun önemi de birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Araştırmacılar, aerobik tanktan yayılan N_2O'nun çoğunun nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinden üretildiğini

göstermektedir (Toyoda ve ark., 2011). CH_4 ve N_2O üretim mekanizmaları tesisten tesise farklılık gösterir ve atıksu arıtma tesisinin, isale hattı, havalandırma sistemi, çamur arıtma üniteleri ve işletimleri gibi tesis özelliklerine bağlıdır (Masuda ve ark., 2015).

Sera gazı emisyonları; direkt emisyonlar ve dolaylı emisyonlar şeklinde iki ana başlık altında toplanır. Atıksu arıtma tesisleri için direkt sera gazı emisyonları; kanalizasyon toplama sisteminde oluşan emisyonlar, atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtım proseslerinden dolayı oluşan emisyonlar ve arıtılmış suyun deşarj edildiği alıcı su ortamında meydana getirdiği emisyonlardır. Dolaylı sera gazı emisyonları ise elektrik tüketiminden, ulaşımdan (kimyasal madde ve çamur transferi için), kimyasal kullanımından ve bertaraf ve yeniden kullanım proseslerinden kaynaklanır. Toplam sera gazı emisyonu ise bu iki emisyon türünün toplamıyla elde edilen sonuçtur (Parravicini ve ark., 2016).

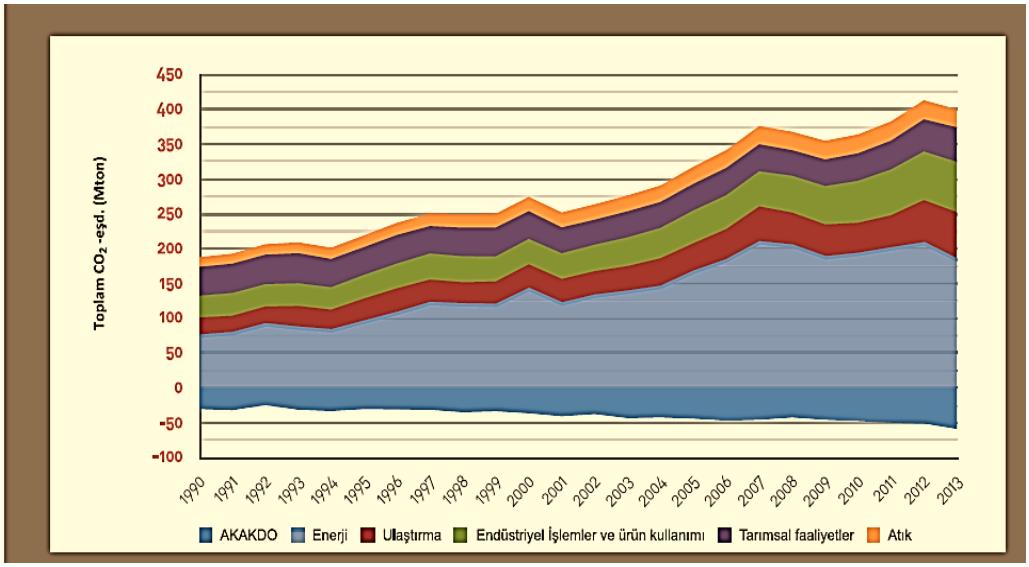
Uluslararası literatürde, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları, IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanteri Rehberi'ne göre Atık Sektörü grubunda raporlanmaktadır (IPCC, 2006). Katı atık depolama, atık yakma, atıksu arıtımı ve deşarjı ve katı atık bertaraf sektörü ana başlığında ve ortak olarak raporlanmıştır. CO_2, CH_4 ve N_2O emisyonalarının toplamıdır (IPCC, 2006). Toplam değer ise %4 'tür. Sera gazı salımı en fazla enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Bunu endüstriyel faaliyetler, tarım sektörü ve ulaşım takip eder.

Ülkemizde ise T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan (ÇŞB) sağlanan bilgilere göre, sera gazı emisyonlarındaki artış her geçen gün katlanarak devam etmektedir. Toplam emisyonların %67.8'i enerji, %15.7'si endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %10.8'i tarımsal faaliyetler ve %5.7'si atık sektöründen kaynaklanmaktadır (Anonim, 2016). 2013 yılı sera gazı toplam emisyon değerinin gaz türüne göre dağılımı ise CO_2 emisyonları (%79.15), CH_4 emisyonları (%14.33), N_2O emisyonları (%5.06) ve F-gazları (florlu gazlar, HFC vb.) emisyonlarıdır

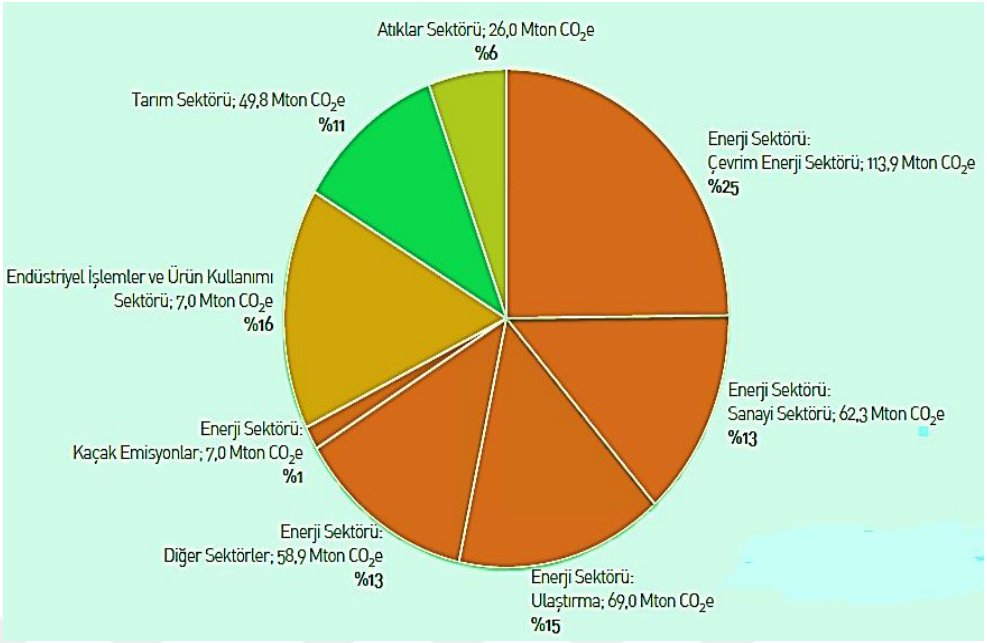
(%1.45) (Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO) hariç) (Anonim, 2016).

Ülkemizde yapılan hesaplamalarda, atık sektörü sera gazı emisyonları, kentsel atıkların, tehlikeli atıkların ve tıbbi atıkların yönetim ve bertarafı dolayısıyla açığa çıkan emisyonlar ile atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurların oluşumundan ve bertarafından kaynaklanan emisyonları içermektedir. Türkiye'de atık sektörünün toplam sera gazı emisyonu içindeki payı %5,66 olup, enerji, endüstriyel işlemler ve tarım sektörlerinden sonra gelmektedir (AKAKDO hariç). Türkiye'de atık sektörü sera gazı emisyonlarının %82,7'si düzenli ve vahşi katı atık depolama alanlarından, geri kalanı ise evsel ve endüstriyel atıksu arıtımından kaynaklanmaktadır (Anonim, 2016).

Türkiye'de sera gazı emisyonlarının 1990 ve 2013 yılları arasındaki sektörel bazdaki değişimi Şekil 1.1.'de verilmektedir (Anonim, 2016). Ülkemizde en yüksek sera gazı emisyon miktarına sahip sektör enerji sektörüdür. 2013 yılına ait sera gazı emisyon değerlerinin sektörel kıyaslanması Şekil 1.2.'de verilmektedir. (Anonim, 2016).

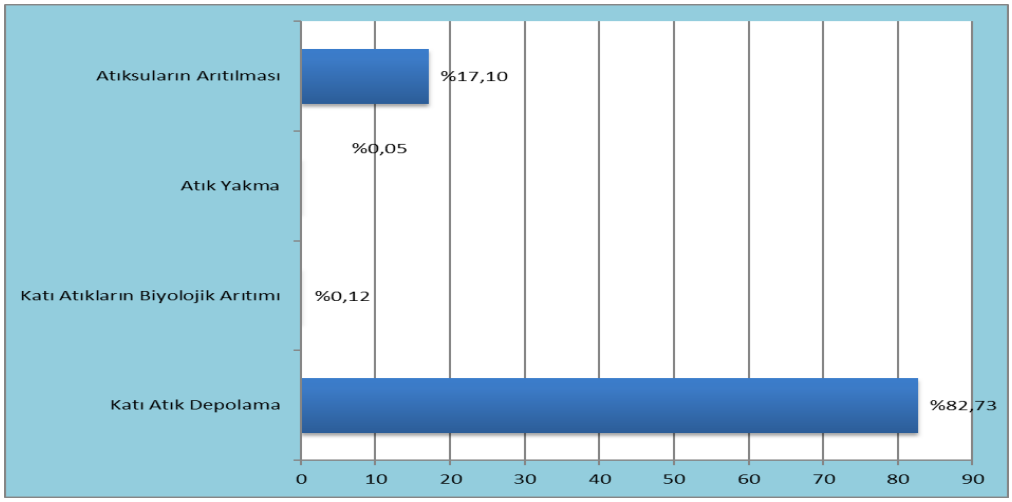


Şekil 1.1. Sera gazı emisyonlarının sektör bazında yıllara göre değişimi (Anonim, 2016)

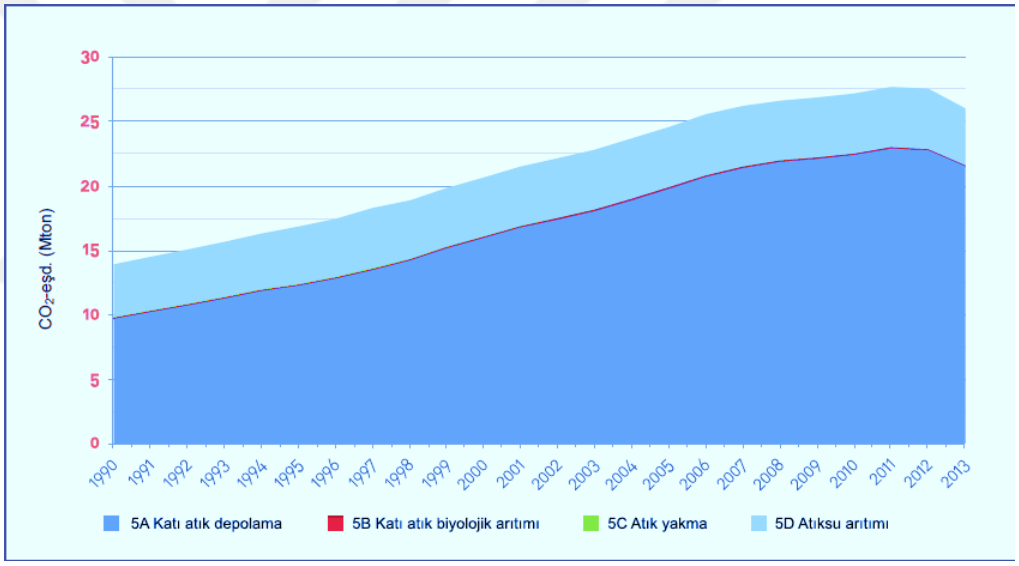


Şekil 1.2. 2013 yılı sera gazı emisyonlarının sektörel oranları (Anonim, 2016)

Atıksu arıtma tesislerinin dahil olduğu atık sektöründe ülkemizde 2013 yılında meydana gelen sera gazı emisyon payları Şekil 1.3.'de verilmektedir. 1990-2013 yılları arası atık sektörüne ait emisyon değişimleri ise Şekil 1.4.'te verilmiştir. Bu verilere göre 1990 yılına göre %86.9 oranında artmıştır (Anonim, 2016). 2013 yılında atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının %93'ü CH_4, %7'si ise N_2O gazları oluşturmuştur. Metan gazı katı atık deponi sahalarından ve atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanırken, nitröz oksit emisyonlarının neredeyse tamamı atıksu arıtma tesislerinden salınmaktadır (Anonim, 2016).



Şekil 1.3. 1990-2013 yılları arası atık sektörüne ait sera gazı emisyon paylarının değişimi (Anonim, 2016)



Şekil 1.4. 1990-2013 yılları arası atık sektörüne ait sera gazı emisyonları (Anonim, 2016)

Şekil 1.4.'te görüldüğü üzere 1990-2013 yılları arası atık sektörün ait sera gazı emisyonun değişiminde atıksu arıtımının payı en yüksektir. Atık sektöründe; ülkemizde emisyon değerleri hesaplanırken atık bertarafından kaynaklanan emisyonlar için IPCC FOD (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli Birinci Derece Bozulma) metoduna geçilmiştir. Endüstriyel atıksu arıtımı ve deşarjı, atık kompostlama ve atıkların açık alanda yakılması emisyonları envantere dahil

edilmiştir. Evsel atıksu arıtımı ve deşarjı kategorisinde ülke özel emisyon faktörü kullanılmıştır. Emisyon faktörlerinin belirlenmesinde 2006 IPCC Rehberi temel kaynak olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2016 ve IPCC, 2006).

Atık sektörü, 2013 yılı ulusal emisyon envanterine göre toplam sera gazı emisyonlarının %5,7'sini oluşturmaktadır. Atık sektörü sera gazı emisyonları, kentsel atıkların bertarafı (düzenli/ düzensiz atık depolanması), atık yakılması dolayısıyla ortaya çıkan emisyonlar, atıkların kompostlaştırılması ile kentsel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların oluşumundan ve bertarafından kaynaklanan emisyonları içermektedir (Anonim, 2016). Atıksu arıtma tesislerinde prosesten kaynaklanan emisyonlar hesaplamada dikkate alınmamıştır. Bu çok önemli bir eksiklik olup, atıksu arıtımından kaynaklanan emisyonların da hesaplamaya dahil edilmesi gerekmektedir. Türkiye'de sera gazı emisyonu oluşturan alt sektörlerden biri de atıksu arıtımıdır.

1.2. Tez Konusunun Geçmişi

İnsan kaynaklı faaliyetlerin neden olduğu küresel ısınmanın iklim üzerindeki etkilerine karşı uluslararası alanda atılan ilk ve en önemli adım 1992 yılında Rio de Janeiro'da düzenlenen Birleşmiş Milletler (BM) Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'dir (BMİDÇS,1992). 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren sözleşmeye halen, aralarında ülkemizin de bulunduğu 195 ülkenin yanı sıra, Avrupa Birliği (AB) de taraftır. Sözleşme kapsamında, tüm taraflar sera gazı salımları, ulusal politikalar ve en iyi uygulamalar ile ilgili bilgileri toplamak ve paylaşmakla yükümlüdür. Sözleşme, tarafların ulusal salım envanterleri geliştirmelerini, iklim değişikliği azaltım ve uyumu kolaylaştırma önlemleri içeren ulusal programlar hazırlamalarını, uygulamalarını ve uygulama ile ilgili bilgileri Taraflar Konferansı'na bildirmelerini gerektirmektedir.

Sözleşme, EK-I'de listelenen gelişmiş ülke tarafları için daha sıkı azaltım yükümlülükleri belirlemektedir. EK-I Tarafları salımlarını sınırlamaya ve yutaklarını iyileştirmeye yönelik politika ve önlemler geliştirmekle yükümlüdür. Sözleşme ayrıca bu tarafların 2000 yılına kadar sera gazı salımlarını 1990 yılı düzeylerine getirmeleri için yasal olarak bağlayıcı olmayan bir hedef koymuştur.

EK-II'de yer alan gelişmiş ülke tarafları, gelişmekte olan ülkelere sözleşmeden kaynaklanan yükümlülüklerini yerine getirmelerine yardımcı olmak ve uyum için mali kaynak sağlamak ve teknoloji transferi için adımlar atmakla yükümlüdür.

Kyoto Protokolü; Aralık 1997'de Kyoto'da gerçekleştirilen BMİDÇS 3. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Protokol, Sözleşme'nin amaç ve kurumlarını paylaşmaktadır. Bununla birlikte, iki anlaşma arasındaki en önemli ayrım, düzenledikleri yükümlülüklerin hukuki niteliği ile ilgilidir. Sözleşme sanayileşmiş ülkelerin sera gazı salımlarını stabilize etmeleri yönünde bağlayıcı olmayan bir yükümlülük tanımlamışken, Protokol sanayileşmiş ülke taraflarına bağlayıcı sera gazı salım sınırlama ve azaltım yükümlülükleri getirmiştir. Protokolün ülkelerin onayına ve uygulamasına hazır hale getirilmesi için gerekli ayrıntılı uygulama kuralları 2001 yılında Marakeş'te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. "Marakeş Uzlaşmaları" olarak adlandırılan bu kurallar 2005 yılında Protokol'ün 1. Taraflar Toplantısı'nda onaylanmıştır.

16 Şubat 2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne Mayıs 2010 itibariyle 191 ülke ve Avrupa Birliği taraftır. Taraflar arasında yükümlülükler açısından yaptığı ayrımlaştırmayı izleyerek, gelişmiş ülkelere bağlayıcı salım azaltım yükümlülükleri getirmiş ve onlara daha ağır bir yük vermiştir. Protokol EK-B listesinde yer alan EK-I Tarafları için, salım hedefi olarak da bilinen, sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülükleri belirlemiştir. Protokolün EK-B listesinde yer alan EK-I Tarafları, 38 sanayileşmiş ülke ve Avrupa Birliği'ni (AB) içermektedir. Protokol ayrıca, EK-B'de listelenen gelişmiş ülke Taraflarının 2008-2012 yılları arasını

kapsayan ilk yükümlülük döneminde toplam sera gazı salımlarını 1990 düzeyinin % 5 altına indirmelerini öngören, toplu bir hedef veya tavan koymuştur. EK-I Tarafı ülkelerin bireysel salım hedefleri "tahsis edilmiş miktar" olarak tanımlanmaktadır ve EK-B'de gösterilmektedir. Bu taraflar salım sınırlama veya azaltım yükümlülüklerini yerine getirmede Protokol kapsamında oluşturulan "esneklik mekanizmalarından" da yararlanabilmektedir.

Ülkemiz, bir OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) üyesi olarak, BMİDÇS 1992 yılında kabul edildiğinde gelişmiş ülkeler ile birlikte Sözleşme'nin EK-I ve EK-II listelerine dâhil edilmişti. 2001'de Marakeş'te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda alınan kararla Türkiye'nin diğer EK-I Taraflarından farklı konumu tanınarak, adı BMİDÇS' nin EK-II listesinden çıkarılmış fakat EK-I listesinde kalmıştır. Türkiye 24 Mayıs 2004'te 189. Taraf olarak BMİDÇS' ye katılmıştır. Türkiye 5386 Sayılı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne Katılmamızın Uygun Bulunduğuna Dair Kanun'un 5 Şubat 2009'da Türkiye Büyük Millet Meclisi'nce kabulü ve 13 Mayıs 2009 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı'nın ardından, katılım talebinin Birleşmiş Milletlere sunulmasıyla 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur. Protokol kabul edildiğinde BMİDÇS tarafı olmayan Türkiye, EK-I Taraflarının sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüklerinin tanımlandığı Protokol EK-B listesine dâhil edilmemiştir. Dolayısıyla, Protokol'ün 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde Türkiye'nin herhangi bir sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır (Anonim, 2017).

Paris Anlaşması, iklim değişikliği ile küresel mücadelede dönüm noktası olarak nitelendirilmektedir. 2015 yılının Aralık ayında düzenlenmiş olup yürürlüğü 4 Kasım 2016'dır. 2020 sonrası iklim rejiminin yalnızca genel çerçevesini çizmiş; uygulamaya yönelik birçok adım, 2020 yılı sonuna kadar yapılacak olan müzakereler sonucunda alınacak kararlara bırakılmıştır. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına

ilişkin ulusal katkılar, iklim değişikliğine uyum, iklim finansmanı, teknoloji geliştirme ve transferi ile kapasite geliştirme konuları başta olmak üzere şeffaflık, gözden geçirme, uygunluk konularına ilişkin maddelerin uygulanacağı önümüzdeki beş yıllık dönemde alınacak kararlar ile netleşecektir. Anlaşmanın yürürlüğe girmesi için de küresel sera gazı emisyonlarının % 55'ini oluşturan en az 55 ülkenin anlaşmaya taraf olması gerektiği unutulmamalıdır. Türkiye, tarihinde ilk kez sera gazı emisyonlarını azaltmayı taahhüt etmiş; Paris Anlaşmasının kabulünden önce ulusal katkısını sunarak emisyonlarını 2030 yılına kadar referans senaryoya göre %21'e kadar azaltacağını açıklamıştır. Bu rakam, 2030 yılına kadar ülkemizin ekonomi genelinde tüm sektörlerde (enerji üretimi, sanayi, tarım, atık, binalar, ulaştırma ve ormancılık) gerçekleştirmeyi hedeflediği plan ve politikaların emisyon azaltım etkisini ortaya koymaktadır (Birpınar, 2016).

1.3. Problemin Belirlenmesi

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları, dünyada farkındalık yaratmış global ölçekte bir çevre sorunu olsa da ülkemizde bu konuya eğilim oldukça azdır. Türkiye'de atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyonlarının ölçümüne yönelik yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Hazırlanan envanterlere arıtma tesisleri sadece çamur arıtımından dolayı dahil edilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hazırladığı "Sera Gazı Emisyonlarının Takibi (SGET) hakkında Yönetmelik" 17 Mayıs 2014 tarih ve 29003 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (T.C. Resmi Gazete, 2014). Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ'e göre sera gazı emisyonlarını takip etmesi gereken işletmelerin sera gazı emisyonlarını nasıl takip edeceklerini Çevre Şehircilik Bakanlığına "Sera Gazı Emisyon İzleme Planı" ile sunmaları gerekmektedir (T.C. Resmi Gazete, 2014). Atıksu arıtma tesisleri bu yönetmelik ve tebliğin kapsamı dışında kalmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri genel anlamda çevresel etkileri yüksek, iklim değişikliğine zemin hazırlayan, antropojenik ve mekanik tesislerdir. Bu

bağlamda sera gazı mevzuatında atıksu arıtma tesislerinin yer almaması bir eksikliktir. Bu sebeple birçok sanayi kuruluşu ve kurum, işletmelerindeki arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını ölçmemekte, izlememekte ve azaltmak için bir politika geliştirmemektedir.

Yapılan tez çalışması, hem endüstriyel hem de kentsel atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyonlarının ölçümü ve minimizasyonu için örnek ve rehber çalışma niteliğindedir.

1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı

Küresel ısınma ve sera etkisi global ölçekte tehdit oluşturan en önemli çevre sorunlarından biridir. Sera gazı emisyonları ülkemizde, sadece trafikten ve bacalardan kaynaklanan bir çevre sorunu olarak görülmekte ve yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında karbon ayak izi ölçümüne yönelik çalışmalarda yer almaktadır. Atıksu arıtma tesislerinin de bir sera gazı emisyon kaynağı olduğu göz ardı edilmektedir. Bu bağlamda, ülkemizde, atıksu arıtma tesislerinden oluşan sera gazı miktarının belirlenmesine veya bu emisyonların minimizasyonuna yönelik çalışmalar sınırlıdır.

Uluslararası literatürdeki yer alan çalışmalar üretilen sera gazlarının miktarının ve dağılımının giriş atıksu özelliğine, çıkış suyu standartları, kullanılan atıksu ve çamur arıtım proseslerine ve işletim şartlarına bağlı olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, sera gazı üretimini minimize etmek için tesis tasarımı ve işletimine dikkatle önem vermek gerekir.

Bu çalışmanın amacı, atıksu arıtma tesislerini önemli bir sera gazı emisyon kaynağı olarak kabul ederek, bu emisyonların ağırlıklı olarak hangi proseslerden ne kadar miktarda kaynaklandığını belirlemektir. Çalışmanın hipotezi ise, sera gazı

emisyonlarının proses optimizasyonu ile çıkış suyu kalitesi bozulmadan azaltılabileceğidir ki literatür araştırmaları bu savı destekler nitelikte olup sera gazı emisyonlarının azaltma potansiyelinin olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları için doğru ve kapsamlı genel bir metodoloji geliştirmek ve sera gazı emisyonları üzerinde belirli koşulların ve proses işletiminin etkilerini araştırmak amaçlanmıştır.

Elde edilmek istenen sonuç, yakın zamanda Avrupa Birliği'ne uyum süreciyle birlikte bir zorunluluk haline gelecek olan arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları hakkında farkındalık yaratmak ve farklı atıksu giriş değerlerinde oluşan sera gazı emisyon miktarının azaltılmasının mümkün olduğunu göstermektir.

Bu tez kapsamında, atıksu arıtma tesislerinde biyokimyasal reaksiyonlardan, elektrik tüketiminden ve çamur stabilizasyonundan dolayı oluşan CO_2 ve CH_4 emisyonlarının kaynaklarının ve miktarlarının belirlenmesi ve bu emisyonların minimizasyonu amaçlanmaktadır. İki farklı atıksu arıtma tesisi için (Evsel Siverek Atıksu Arıtma Tesisi ve Endüstriyel Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi) farklı atıksu giriş değerlerinde ve işletme koşullarında oluşan sera gazı emisyonları incelenmiş (karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4)) ve emisyonların minimizasyonuna yönelik önerilerde bulunulmuştur.

1.5. Tez Çalışmasının Ana Hatları

Bu çalışma kapsamında, biri evsel biri endüstriyel olmak üzere iki farklı atıksu arıtma tesisinde sera gazı ölçümü ve minimizasyonu amaçlanmıştır. Evsel atıksu arıtma tesisi Şanlıurfa'da yer alan Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'dir (SAAT). Endüstriyel Tesis ise Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'dir (ŞOSB MAAT). Bu tesislerin seçilmesinin sebebi ise il sınırları

içerisinde yer almasından dolayı ulaşım kolaylığıdır. Ayrıca diğer bir sebep ise tez kapsamında hem evsel atıksular için hem de endüstriyel atıksular için önermelerde bulunulabilme olanağıdır.

SAAT'de kum ve yağ tutucu, ön çökeltim havuzları, havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzlarında, ŞOSB MAAT'de ise havalandırmalı kum tutucu, ön çökeltim havuzu, kimyasal arıtma ünitesi, havalandırma havuzları ve son çökeltim havuzunda, CO_2 ve CH_4 gazlarının ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sera gazı miktarları $kgCO_2$-eşd olarak hesaplanmış ve ölçüm yapılan günlerdeki işletme parametreleri dikkate alınarak oluşan sera etkisi belirlenmiştir. Atıksu arıtma tesisi giriş suyu değerleri ilgili tesislerin yetkililerinden sağlanmıştır. Ölçümler Ağustos ve Mayıs ayları arasında 10 ay süreyle yapılmıştır. Her iki tesis için ayda bir kez olmak üzere uygulanan proseslerden kaynaklanan direkt sera gazı emisyonları ölçülmüştür. Ölçümlerde Dräger X–Am 5000 Model portatif gaz analizörü kullanılmıştır. CO_2 ve CH_4 gazları yüzdesel (%) olarak okunmuştur. Tesiste uygulanan proseslerden kaynaklanan emisyonlar direkt sera gazı emisyonlarıdır. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan dolaylı (indirekt) sera gazı emisyonları ise ŞOSB MAAT için elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı oluşumu ve SAAT için ise anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan emisyonlar ve elektrik tüketiminden dolayı oluşan sera gazı emisyonu olarak ele alınmıştır. Toplam sera gazı emisyonu ise direkt ve dolaylı emisyonların toplamıyla elde edilmiştir.

Kullanılan kapalı çember metodu dünya genelinde sıklıkla kullanılan bir gaz toplama ve ölçme yöntemidir. Atıksu arıtma tesisi (AAT) üniteleri üzerinde emisyon akı başlığı (statik çember) optimum süre olan 30 dakika boyunca bekletilmektedir. Gaz toplama işlemi ilk kez gerçekleştirildiğinde süre optimize edilmiştir. 30 dakikadan daha fazla gaz toplama işlemine devam edilmesi halinde gaz miktarında bir artış olmadığı görülmüştür. Arıtma tesisi ünitelerinde prosesten kaynaklanan CO_2 ve CH_4 Drager marka pompa yardımıyla emiş yapılmakta ve küre kapağı şeklindeki

emisyon akı başlığında gazlar hapsedilmektedir. Pompaya monte edilen gaz analizöründe değerler okunmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise ticari yazılım kullanmak suretiyle Monte-Carlo Simülasyonu uygulanmıştır. Sistem optimizasyonu sağlamak üzere @RISK Monte Carlo Simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Farklı atıksu giriş değerlerinde ay bazında sera gazı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu datalar yazılıma girilmiştir. Monte Carlo yöntemi ile datalar optimize edilip, sera gazı azaltacak işletme şartları tespit edilmiştir. Bu sayede hangi işletme koşulunda en düşük sera gazı emisyonun oluştuğu tahmin edilmiştir. ŞOSB MAAT için optimum atıksu giriş değerleri tanımlanmış, SAAT için ise optimum atıksu giriş değerleri, optimum işletme koşulları ve kirlilik giderim verimleri tanımlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Literatür Özeti

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları son zamanlarda dünya genelinde ilgi çeken bir konu haline gelmiştir. Atıksu arıtma tesisleri de enerji tüketen, CO_2, CH_4 ve N_2O üreten endüstriyel sera gazı kaynaklarından biridir (Ashrafi, 2012). EPA'ya göre atıksu arıtma tesisleri, önemli bir sera gazı üreticisi olup, yüksek miktarda sera gazı salmaktadır (Das, 2011). İklim değişikliğinin etkilerini her alanda ve tesiste saptamaya çalışan bilim insanları arıtma tesislerini de sera etkisi kaynağı olarak görüp konuyla ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Uluslararası literatürde; atıksu arıtma tesisi kaynaklı sera gazı emisyonlarının miktarlarının belirlenmesine ve minimizasyonuna yönelik birçok çalışma mevcuttur.

Ülkemizde ise sera gazı emisyonlarının sektörel bazda belirlenmesiyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Atık sektöründe yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır (Anonim, 2016). Güven'in gerçekleştirdiği farklı atık yönetim senaryolarının sera gazı salımına etkilerinin araştırılması konulu tez çalışması atık sektörüne ait bir çalışmadır (Güven, 2012). Farklı atık yönetim senaryoları için sera gazı tahmini gerçekleştirilen çalışmada, Türkiye genelinde 2003-2032 yılları arası üç adet atık yönetim senaryosu oluşturulmuş ve her bir atık yönetim senaryosu için atmosfere ne ölçüde sera gazı emisyonu verileceği hesaplanmıştır. Uygulanan atık yönetim planları farklı atık bertaraf metotlarından oluşup, çalışma sonucunda hangi atık yönetim senaryosunda daha az sera gazı emisyonu oluşacağı öngörülmüştür. Çalışmada IPCC modeli kullanılmıştır. Katı atık bertaraf yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmada, düzenli ve düzensiz depolama tesislerinden, DDT kaynaklı emisyonlar ve kompostlama, biyometanizasyon ve yakma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları IPCC modeli ve literatür sabitleri kullanılarak hesaplanmıştır. Birinci senaryo (atıkların düzenli depolanması) ile üçüncü senaryoda (biyobozunur atıkların kompostlanması) 2052 yılı kümülatif sera gazı emisyonu birbirine oldukça yakındır. İkinci senaryo (belediye katı atık tesisleri) kümülatif

emisyon ile en fazla sera gazı emisyonuna neden olan senaryo olmuştur (Güven, 2012).

2013 yılında Külah'ın yaptığı tez çalışmasında, gıda fabrikasına ait endüstriyel bir atıksu arıtma tesisi için sera gazı envanteri oluşturulmuştur. Sera gazı hesaplamada, sera gazı datalarının sera gazı faktörleri ile çarpımı metodu seçilmiştir. Bu yönteme göre toplanan veriler bir hesaplama programına geçirilerek sera gazı emisyonlar belirlenebilmektedir. Bu hesaplama araçları, Sera Gazı Protokolü tarafından "sabit yanma aracı", "satın alınan elektrik aracı" ve "taşıma aracı" olarak tanımlanmıştır. "Sabit yanma aracı"; fosil yakıtların kullanımından oluşan doğrudan sera gazı miktarlarının hesaplandığı programlama aracıdır. "Satın alınan elektrik aracı", tesisteki ünitelerin ve cihazların elektrik kullanımından doğan dolaylı sera gazı emisyonlarına ve "taşıma aracı" ise atıksu arıtımı için gerekli kimyasal maddelerin transportundan kaynaklanan diğer dolaylı sera gazı emisyonlarına aittir (Külah, 2013).

Erdoğan, 2015 yılında çevresel tesislerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanmasını konu alan bir tez çalışması gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada atık depolama tesisi, kompost tesisi, biyometanizasyon tesisi, anaerobik stabilizasyon havuzu, biyolojik atıksu arıtma tesisi (aktif çamur prosesi) ve ileri atıksu arıtma tesislerinde oluşan CH_4 ve N_2O sera gazı emisyonları karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır (Erdoğan, 2015). IPCC Ulusal Sera Gazı Envanteri Kılavuzuna göre sera gazı hesaplaması yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, katı atık senaryosunda depolama tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının en yüksek miktarlarda olduğu saptanmıştır. Katı atık bertaraf metotlarından kompostlama ve biyometanizasyon tesisleri kıyaslandığında; karbondioksit emisyonunun hesaplandığı durumda biyometanizasyon kaynaklı sera gazı miktarlarının kompost prosesine göre daha yüksek miktarda olduğu belirlenmiştir, karbondioksit emisyonlarının göz ardı edildiği durumdaysa; kompostlamadan kaynaklanan emisyonların biyometanizasyondan kaynaklanan emisyonlardan daha fazla olduğu bulunmuştur. Atıksu arıtma senaryolarında ise; anaerobik stabilizasyon

havuzunda arıtımın sera gazı emisyonlarının diğer senaryolardan daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. Atıksu arıtım senaryoları içinde en az sera gazı emisyonunun oluştuğu proses ise ileri atıksu arıtımıdır. Biyolojik atıksu arıtma tesislerinde ise metan gazına ait sera gazı emisyonunun, iyi işletilmeyen ya da organik yüklemenin yüksek olduğu tesislerde fazla olduğu gözlenmiştir (Erdoğan, 2015).

Evsel atıksu arıtma tesislerinden oluşan sera gazı tahmini çalışması Gülhan tarafından 2017 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada evsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyonu araştırılmış, İstanbul'daki 9 adet biyolojik atıksu arıtma tesisi için emisyon tahminleri gerçekleştirilmiştir. Ambarlı, Ataköy, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri, Tuzla (1) ve Tuzla (2) ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri için sera gazı tahmini yapılmıştır. IPCC (2006) Ulusal Emisyon Envanteri Rehberi'ne göre emisyon tahmini ve GPS-X Simülasyon Modeli ile emisyon miktarı tahmini karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir (Gülhan, 2017). IPCC (2006) Rehberine göre, 9 ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi için modellemeyle hesaplama yapılmıştır. IPCC (2006) Rehberine göre ileri biyolojik arıtma tesislerinden kaynaklanan CH_4 gazı emisyonu miktarı, GPS-X modeli ile hesaplanan değerden daha yüksektir. Yapılan çalışmada ayrıca, biyolojik atıksu arıtma tesisleri için direkt sera gazı emisyonunu etkileyen faktörler, Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Nihai Kademesi için GPS-X modeli kullanılarak irdelenmiştir. 4 adet senaryo oluşturulmuştur. 1. Senaryo kapsamında kapsamında, KOİ/TKN oranı sadece TKN değeri ile değiştirilerek, atıksu KOİ/TKN oranının sera gazı emisyon miktarına olası etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. 2. Senaryoda ise sadece çamur yaşı değiştirilmiş olup, 3. Senaryoda; sadece havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen seviyesi değiştirilerek, tesis işletme şartlarının, sera gazı emisyonu değişimine etkisi araştırılmıştır. 4. Senaryoda ise ani debi yüklemesiyle, iklim koşulları sebebiyle arıtma tesisinin maruz kalacağı hidrolik şartların sera gazı emisyonuna direkt etkisi irdelenmiştir. Çalışmada, elde edilen sonuçlar, KOİ/TKN oranı düşük olan tesislerde, N_2O emisyon miktarının yükseldiği görülmektedir. Çamur yaşının biyolojik atıksu arıtma tesislerinde arttırılmasıyla, sera gazı emisyon miktarının azaldığı saptanmıştır (Gülhan, 2017).

Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin Temmuz 2015'de yayınladığı teknik raporda, ildeki atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonu miktarı açıklanmıştır. Arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyonları, tesis kapasitesi ve teknik özellikleri ile hizmet ettikleri nüfus göz önünde tutularak ICLEI (Local Governments for Sustainability) tarafından belirlenen formülasyon metoduyla hesaplanmıştır. CH_4 ve N_2O emisyonları belirlenmiştir. Sera gazı envanterine bakıldığında, atıksu arıtma tesislerine ait oran % 1'dir. (BBB, 2015). Konut %20, resmi daireler %10, endüstriyel tesisler %37, gübre tesisleri %6, ulaşım %19 ve katı atık sektörü %1 orana sahiptir.

Sera gazı modellemesi için kullanılan yaklaşımlar, tesisteki arıtma üniteleri ölçeğindeki emisyon faktörlerine dayanan ampirik modeller (Corominas ve ark., 2012, ve IPCC, 2006), arıtma üniteleri ölçeğinde prosese dayalı basit ve karşılaştırmalı modeller (Monteith ve ark., 2005 ve Gori ve ark., 2011) ve dinamik mekanizmalı arıtma tesisi bazında (Mannina ve Cosenza, 2015) veya genel tesis ölçeğinde (Guo ve Vanrolleghem, 2014) uygulanan modeller olarak 3 grupta sınıflandırılabilir (Mannina ve ark., 2016).

Atıksu arıtma tesislerinde uygulanabilecek modellerin araştırılmasında; IWA (International Water Association) büyük rol üstlenmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde tesis geneli için sıklıkla kullanılan modellemeler; ASM1 (Activated Sludge Models No:1) ve ASM2d'dir (Henze ve ark., 2000 ve Mannina ve ark., 2016). Çamur hattı için ise IWA, ADM1 (Anaerobic Digestion Model No:1) geliştirmişlerdir (Batstone ve ark., 2002 ve Mannina ve ark., 2016). Arıtma tesislerinin modellenmesinin karşılaştırmalı değerlendirme araçları proses modellerinin birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. IWA tarafından, Benchmark Simulation Model No: 1 (BSM1) karşılaştırmalı değerlendirme aracı olarak 2002 yılında yayınlandı (Copp ve ark., 2002 ve Mannina ve ark., 2016). 2007 yılında ise Benchmark Simulation Model No. 2 (BSM2), ASM1 modeliyle perçinlenen BSM1 ile entegre edildi (Tacaks ve ark., 1991, Jeppsson ve ark., 2007, Nopens ve ark., 2010 ve Mannina ve ark., 2016). Bu

uygulama araçları, tesis tasarım ve işletim optimizasyonunda değişik kontrol stratejileri sunmaktadır (Mannina ve ark., 2016).

Atıksu arıtma tesislerinde sera gazı emisyonlarının matematiksel modellemesi, atıksu giriş değerleri, debi, izin verilen deşarj konsantrasyonları gibi tesis özellikleriyle emisyon faktörlerinin ilişkilendirilmesiyle oluşur. Atıksu arıtma tesislerinde matematiksel modelleme süreci iki ana yaklaşım üzerine kurulmuştur. Bu yaklaşımlar; dinamik mekanizmalı karşılaştırmalı model ve kararlı-denge proses modelidir (Mannina ve ark., 2016).

Konuyla ilgili uluslararası yapılan çalışmalar kullanılan sera gazı emisyonu hesaplama ve tahmin model ve metotlarına göre sınıflandırılmıştır ve bölümler halinde verilmiştir.

2.2. Dinamik Model Kullanılan Çalışmalar

Dinamik mekanizmalı model kullanılan çalışmaların temeli atıksu arıtma tesislerinde uygulanan proses tabanlı modellemelere dayanmaktadır. Hiatt ve Grady (2008) tarafından uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi için Activated Sludge Models for Nitrogen (ASMN) önerilip kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmada, Ratkowsky eşitliğini (Ratkowsky ve ark., 1983) kullanarak, N_2O tahmini yapmışlardır. Nitrifikasyondan kaynaklanan N_2O sera gazı emisyonunu tahmin etmek için BSM2 modeli Mampaey ve arkadaşları tarafından 2013 yılında geliştirilip öne sürülmüştür. Guisasola ve arkadaşları (2009) bir adım ilerleterek modele CH_4 emisyonunu dahil etmiştir. Bu modeli kullanarak Porro ve arkadaşları 2011 yılında sera gazı tahmini gerçekleştirmişlerdir. CH_4 emisyonun toplam emisyonun %8'ini, N_2O emisyonunun ise % 25'ini oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

Ni ve ark. (2011) ardışık kesikli reaktör sistemi için dinamik modellemeyle, N_2O emisyonu tahmini etmişlerdir. Giderilen azotun % 0.1-25'inin N_2O'ya dönüştüğünü tespit edilmiştir. Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonunun, yüksek sera gazı emisyonuna sebep olduğu ortaya konmuştur. Flores-Alsina ve ark. (2014)

BSM2G dinamik modelini kullanarak, Ludzack–Ettinger prosesli aktif çamur sistemi için, Askıda Katı Madde (AKM) ve Çözünmüş Oksijen (ÇO) parametrelerinde değişiklik yapıp sera gazı minimizasyonunu hedeflemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, %66 AKM giderimiyle, havalandırmadan kaynaklanan CO_2 emisyonunda düşüş olduğu saptanmıştır. Anaerobik çürütücüde enerji geri kazanımı olursa ve düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu altında, N_2O emisyonun arttığı görülmüştür. Sweetapple ve ark. (2014) BSM2 dinamik modeliyle, sera gazı emisyonu üretiminde (CO_2, CH_4 ve N_2O) optimizasyon çalışması yapmışlardır. Çıkış suyunda azot değerinin yükselmesiyle, salınan sera gazı emisyonunda bir azalış olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen çalışmalar sonucunda dinamik modellemenin; N_2O sera gazı emisyonu tahmininde başvurulan bir yaklaşım olduğu görülmektedir.

2.3. Kararlı-Denge Proses Modeli Kullanılan Çalışmalar

Kararlı-Denge modeli, atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma proseslerinin, salınan sera gazı emisyonlarıyla ilişkilendirilmesiyle oluşturulan modellemedir. Literatürde çok sayıda bu modellemeyle yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Gori ve ark. (2011) Ludzack–Ettinger prosesi uygulanan bir atıksu arıtma tesisi için KOI fraksiyonundan karbon ve enerji ayak izi modellemesi yapmışlardır. Çözünür KOI ve Toplam KOI arasındaki oran arttıkça, havalandırma havuzundaki enerji ihtiyacı artmış bu da CO_2 emisyonun yükselmesine neden olmuştur (Gori ve ark., 2011). 2013 yılında yaptıkları bir diğer çalışmada ise ASM3 ve ADM1 modellemeleri kullanarak, iki gerçek ölçekli tesis için CO_2 emisyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir. Ön çökeltim sürecinin, biyogaz oluşumunu arttırdığı ve CO_2 emisyonunu düşürdüğü tespit edilmiştir (Gori ve ark., 2013).

Bani Shahabadi ve ark. (2009), kütle denge modeli ve kinetik modelleme uygulayarak atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyon değerlerine; proses tasarımının etkisini incelemişlerdir. Biyolojik prosesten kaynaklanan direkt sera gazı

emisyonu en yüksek hibrit reaktörde olup bu değer, 2035 kg CO_{2e}/gün, en düşük ise anaerobik reaktöre ait olup değer 1702 kgCO_{2e}/gündür. Biyolojik reaksiyondan kaynaklı dolaylı sera gazı emisyonu (SGE) değeri ise en yüksek anaerobik reaktöre ait olup 844 kgCO_{2e}/gün en düşük değer ise 475 kgCO_{2e}/gün olup hibrit sisteme aittir. Aerobik arıtma sisteminde; nitrifkasyon ve denitrifikasyon prosesi en yüksek direkt SGE değeridir (1759 kgCO_{2e}/gün); en düşük ise denitrifikasyon olmadan nitrifikasyon prosesisidir (1614 kgCO_{2e}/gün). Dolaylı SGE ise en yüksek değer nitrifkasyon olmadığı durumlardaki değer yani 853 kg CO_{2e}/gün'dür. (Shahabadi ve ark., 2009).

Prendez ve Lara-Gonzalez (2008) kararlı-denge proses modeli kullanarak; toplam sera gazı emisyonu hesaplamışlardır. 2027 yılı CO_2, CH_4 ve N_2O emisyonu tahminleri 6 arıtım senaryosu için uygulanmıştır. Rodriguez-Garcia ve ark. (2012), Ludzack–Ettinger prosesli gerçek ölçekli bir tesis için "Direkt Emisyon Tahmini Yöntemi" uygulayarak, biyolojik prosesten kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu belirlemişlerdir. ASM1 ve Activated Sludge/Anaerobic Digestion modelleri kullanmışlardır. Direkt N_2O emisyonu, elektrik tüketimiyle ilişkilendirilmiştir. Rodriguez-Garcia ve ark., (2012)'nın yaptığı çalışmanın ana amacı, atıksu arıtma tesisinden gelen CO_2 ve N_2O emisyonlarının tahminini yapmaktır. İspanya'daki Atıksu Arıtma Tesisi'ndeki uygulaması doğrudan N_2O emisyonlarının, elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonlardan 8 kat daha fazla olduğunu ve CO_2 emisyonlarının ise elektrik kullanımından kaynaklanan emisyon miktarına yakın olabileceğini göstermiştir.

2.4. Dinamik ve Kararlı-Denge Proses Modeli Kullanılan Çalışmalar

Literatürde dinamik ve kararlı-denge proses modelinin birlikte kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Corominas ve ark. (2012) BSM2G dinamik ve kararlı-denge modeli kullanarak, toplam sera gazı emisyonu tahmininde bulunmuşlardır. Sera gazı emisyonunun doğrusal olarak artmadığını, işletme ve tasarım parametrelerindeki varyasyonla değiştiğini tespit etmişlerdir. Guo ve ark. (2012)

ASMG + ADM1 entegre modelini kullanıp, çıkış suyu kalitesi ve işletme maliyet indeksi göz önünde bulundurulup sera gazı hesaplaması yapmışlardır. Organik yükleme arttıkça tesiste oluşan sera gazı emisyonunun arttığı görülmüştür. Ashrafi (2012)'nin yaptığı tez çalışmasında, kağıt endüstrisi atıksularını arıtan arıtma tesisinde sera gazı emisyon tahmini gerçekleştirilmiştir. Tahminler, ayrıntılı matematiksel bir modelle yapılmıştır. Kütle ve enerji dengesinin geliştirilmesi için kararlı-denge proses modeli ve dinamik modeller kullanılmıştır. İşletim koşullarının değişimine cevap olarak sera gazı üretimindeki önemli değişiklikler gözlenmiştir. Çalışmada, aerobik, anaerobik ve hibrid-anaerobik/aerobik biyolojik prosesler ana arıtım prosesleri olarak tanımlanmıştır. Buna ilave olarak, çamur arıtımında anaerobik çürütme, nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri, kimyasal koagülasyon/flokülasyon prosesi, kalıntı BOİ ve askıda katılar modele ilave edilmiştir. Üretilen biyogazın geri kazanıldığı ve arıtma tesisi için bir enerji kaynağı olarak kullanıldığı kabul edilmiş, gereken toplam enerji düşürülerek sera gazı emisyonunun azaltılmasına çalışılmıştır. CO_2, CH_4 ve N_2O üretilen sera gazları olarak göz önünde bulundurulmuştur. Reaktör sıcaklığı, çamur yaşı, ön çökeltim akış hızı ve BOİ konsantrasyonunu içeren işletim parametreleri göz önünde bulundurularak ve sera gazı emisyonu ve enerji tüketimini azaltmaya dönük stratejiler araştırılmıştır (Yapıcıoğlu ve Demir, 2017a).

2.5. Matematiksel Model Kullanılan Çalışmalar

Kullanılan matematiksel modeller, literatürden alınan emisyon faktörleriyle oluşturulmuş basit eşitlikler ve iterasyonları içermektedir. Sera gazları kısmi basıncı ve gazların küresel ısınma potansiyelleri kullanılarak elde edilen eşitlikler yardımıyla yapılan çalışmalar son yıllarda daha ekonomik olması sebebiyle ivme kazanmıştır. Goh ve ark., (2015), Endüstriyel atıksu reklemasyonu (ıslahı) için daha düşük sera gazı opsiyonu üzerine çalışmışlardır. Membran Biyoreaktör (MBR) ve Membran Distilasyon (MD) prosesleri için sera gazı miktarlarını karşılaştırmışlardır. Uzun hidrolik alıkonma süreli MD prosesi olan sanayi tesislerinde oluşan atık ısıdan

faydalanabilindiğinden, atıksu ıslahı sırasında oluşan sera gazı emisyon miktarı düşer. MBR'ler 1-1.3 kwh/ m^3 enerji tüketirken, MD sistemlerde elektrik tüketimi 0.9 kwh/m^3 'tür. Bu durumda MD'lerde oluşan sera gazı emisyon miktarı daha azdır. m^3 atıksu başına düşen reklamasyon miktarında oluşan CO_2 miktarları karşılaştırıldığında; MD sistemler daha düşük değere sahiptir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016). Kim ve ark., (2015)'nın yaptığı çalışma, sera gazı emisyonlarını minimize etmek için atıksu arıtma tesislerinin optimum işletim koşullarını belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Bunu yapabilmek için, sistem performansını değerlendirmek üzere 3 amacı içeren entegre performans indeksi kurulmuştur. İşletim parametrelerini belirlemek suretiyle sistemi optimize etmek için ASMN_G modeli kullanılmıştır. Nelder_Mead Simplex optimizasyon algoritması kullanılarak kompleks, lineer olmayan optimizasyon problemi simule edilmiştir. Sistem performansı üzerinde etkili işletim parametrelerini tanımlamak için duyarlılık analizi yapılmıştır. 6 senaryo üzerinden yürütülen optimizasyon simülasyonundan elde edilen sonuçlar, en iyi optimize sistemin sera gazı emisyonunu %31, işletim maliyetini % 11 azaltırken, çıkış suyu kalitesini % 2 arttırdığını göstermiştir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016).

2.6. Matematiksel Model Kullanılan ve Ölçüm Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde incelenen çalışmalar, matematiksel bir model yardımıyla, sera gazı ölçümü ve analizi gerçekleştirilerek hesaplanan sera gazı emisyonlarını kapsamaktadır. Sera gazı emisyonu ile ilgili yapılan bazı çalışmaları başka bir grupta sınıflandıracak olursak, gaz örneklemesi yapılıp ölçülen gaz konsantrasyon değeriyle basit eşitlikler kullanılarak sera gazı emisyon tahmininde bulunulan çalışmaları bu gruba dahil edebiliriz. Ampirik yöntemlerin ağırlıklı olduğu çalışmalarda gaz kromotografi cihazı ve mikrosensörler yardımıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Masuda ve ark. (2015)'nın gerçekleştirdiği çalışmada, gerçek ölçekli bir atıksu arıtma tesisindeki sera gazı emisyon değerlerinin mevsimsel değişimini izlemişlerdir. Emisyonların mevsimsel değişimi ve tesislerinin emisyon kaynakları irdelenmiştir. Sera gazı ana kaynağı elektrik tüketiminden gelen CO_2, çamur yakma prosesinden

gelen N_2O ve atıksu arıtma ünitesinden gelen CH_4'tür. Bu kaynaklar toplam sera gazı emisyonlarının sırası ile % 43,4, % 41,7 ve % 8,3'ünü oluşturmaktadır. Havalandırma havuzu, tüm ünitelerden gelen metan emisyonlarının ana kaynağıdır. Metanın neredeyse tamamı havalandırma tankından yayılmaktadır ve bu da toplam gaz metan emisyonun % 86,4'ünü oluşturmaktadır. Bununla birlikte, metanın % 18,4'ü atıksu toplama noktasından, % 15,4'ü ön çökeltim havuzundan ve % 60'ı havalandırma havuzundan üretilmiştir. Rodriguez-Caballero ve ark., (2014) ise bir biyolojik atıksu arıtma tesisi için sera gazı emisyonunu tetikleyen proses şartlarını değerlendirmiştir. Yaptıkları çalışmada, tam ölçekli evsel bir atıksu arıtma tesisindeki piston akımlı biyoreaktörde oluşan CH_4 ve N_2O emisyonları 10 haftalık bir periyot boyunca izlenmiştir. Genellikle, CH_4 ve N_2O emisyonları girişteki kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) % 0.016'sı ve toplam azot (TKN) konsantrasyonunun % 0.116'sına tekabül etmektedir. Farklı bölgelerdeki emisyonları tanımlamak için biyoreaktör 6 farklı örnekleme alanına bölünmüş ve gaz toplama ünitesi her bölmede 2-3 günlük süre ile bırakılmıştır. Bu örnekleme stratejisi, CH_4 ve N_2O pik emisyonlarına yol açarak farklı prosesleri tanımlamaya olanak sağlamıştır. CH_4 emisyonları esas olarak ilk havalandırılmış bölgelerde oluşmuş ve atıksu giriş ve atıksu geri devir debisine bağlı olarak değişmektedir. Diğer yandan, N_2O emisyonları biyoreaktörün tüm havalı kısımlarında oluşmuş ve havalandırmanın olmamasına sıkı sıkıya bağlıdır. Reaktördeki ve tesisin diğer bölümlerindeki çözünmüş CH_4 ve N_2O konsantrasyonları, arıtma tesisinin farklı kademeleri arasında oluşan sera gazı transferini daha iyi anlamak için gözlenmiştir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016). Bao ve ark. (2016)'nın yaptığı çalışma, Çin'deki atıksu arıtma tesislerinin de sera etkisinin bir kaynağı olduğunu kanıtlar niteliktedir. Tam ölçekli Anoksik/Oksik (A/O) ve Ardışık Kesikli Reaktörlerde (AKR) sera gazı emisyon değerleri 12 ay boyunca gözlenmiştir. Hem A/O, hem de AKR için toplam sera gazı emisyonlarının ana kaynağının azot gideriminin gerçekleşmesi sebebiyle N_2O olduğu ortaya konmuştur (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016).

2014 yılında Beijing (Çin) 'deki 3 değişik prosesli (Orbal oksidasyon havuzu, anoksik-anaerobik-aerobik ve anaerobik-anoksik-aerobik (A^2/O)) gerçek ölçekli atıksu arıtma tesisinde oluşan (Yan ve ark., 2014) sera gazı emisyon değerlerinin mevsimsel değişimi incelenmiştir. Gaz numuneleri; kapalı çember metoduyla 9 ay boyunca örneklenmiştir. CO_2, CH_4 ve N_2O konsantrasyonları, gaz kromotografi cihazında okunmuştur. Emisyonların en çok aerobik bölgelerde oluştuğu saptanmıştır Yan ve ark., 2014). Ma ve ark. (2017) n-damo (nitrite bağımlı anaeobik metan oksidasyonu) prosesi uygulanan bir atıksu arıtma tesisi için anoksik arıtım boyunca meydana gelen sera gazı değişimini gözlemlemiştir. Tesiste n-damo prosesinin uygulanmasıyla birlikte, sera gazı miktarında önemli bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. NC10 phylum bakterileri sera gazı minimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Mikrobiyal ölçümler (Olympus BX53, Japan) mikroskop ve Image-Pro Plus 6.0 yazılımıyla sağlanmıştır. Daha çok nitrit giderilip, daha az sera emisyonu oluşmaktadır (Ma ve ark., 2017). Bu çalışma n-damo prosesiyle sera emisyonun düşürülebileceğini kanıtlamaktadır.

2.7. Matematiksel Model ve Yazılım Kullanılan Çalışmalar

Ticari yazılımlar; sera gazı emisyonlarının tahmininde ve hesaplanmasında çok sık başvurulan bir yöntem olup, validasyon sağladığı için daha çok tercih edilmektedir. Kullanılan başlıca ticari yazılımlar, GAMS, WEST, STEADY, Biowin'dir. Monte Carlo simülasyonu ve DEA modeli çoğunlukla kullanılan modellemelerdir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016). Molinos-Senantea ve ark., (2014), "Atıksu Arıtma Tesislerinin Ekonomik ve Çevresel Performansı" ve "Sera gazı emisyonlarında potansiyel indirgeme" konularında çalışmışlardır.

Kyung ve ark., (2015)'nın yaptığı çalışmada atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyonlarını tahmin etmek için bir model geliştirilmiştir. Bu model, 200 mg/L BOİ' ye sahip giriş suyunu arıtan 5500 m^3/gün kapasiteli 5 Basamaklı Bardenpho Prosesi'ne uygulanmıştır. Atıksu arıtma tesisinden gelen sera gazı emisyonlarının potansiyel değişimini tahmin etmek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Sistemdeki direkt sera gazı emisyonları kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak 8265±678 $kgCO_{2\text{-}eşd}$/gün olarak değişmektedir. Bu çalışmaya göre, direkt sera gazı emisyonlarının en önemli kaynağı ilk havalandırma havuzudur. Elektrik tüketimi, kimyasal kullanımı ve taşıma gibi dolaylı sera gazı emisyonları 4591±576 $kgCO_{2\text{-}eşd}$ /gün olarak tahmin edilmiştir. Biyogazın geri kazanımı ve elektrik olarak yeniden kullanımı tüm sera gazı emisyonlarını düşürmüştür. Yeni geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalardan elde edilenden 2,83-4,24 kat daha büyüktür (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi özellikleri

Tez çalışması kapsamında; kentsel atıksu arıtma tesisi olarak Şanlıurfa il sınırları içerisinde yer alan gerçek ölçekli Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi referans tesis olarak belirlenmiştir.

Tesisin seçilme sebebi, il sınırları içerisinde yer almasından dolayı ulaşım kolaylığı ve ileri biyolojik arıtma sisteminin uygulandığı yenilikçi bir atıksu arıtma tesisi olmasıdır.

30.000 m^2 alana kurulan ve 2030 yılına kadar ilçenin ihtiyacına cevap verecek şekilde tasarlanan Siverek Atıksu Arıtma Tesisi; 17 000 m^3/gün atıksu arıtma kapasitesine sahip olup çamur arıtımı sonucu elde edilen biyogazla birlikte tesisin ihtiyaç duyduğu enerjiyi üretmektedir.

Tesise ait görüntüler, Şekil 3.1., Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4.' de verilmektedir.



Şekil 3.1. Siverek atıksu arıtma tesisi genel görünümü



Şekil 3.2. Siverek atıksu arıtma tesisi kum tutucu ünitesi



Şekil 3.3. Siverek atıksu arıtma tesisi çökeltim havuzları



Şekil 3.4. Siverek atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu

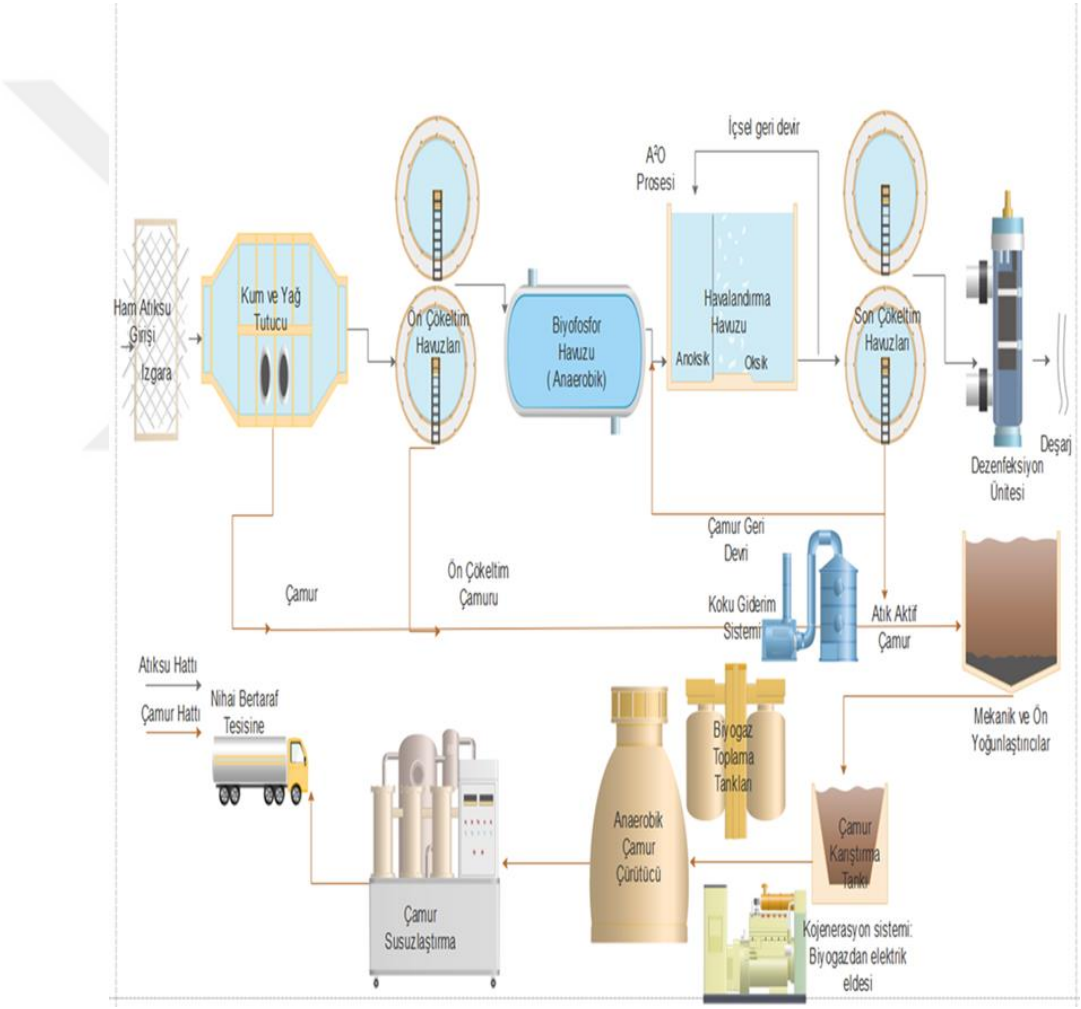
Tesis ileri biyolojik arıtma tesisidir; karbon giderimiyle birlikte azot ve fosfor giderimi de gerçekleştirilmektedir. A^2/O prosesi içeren tesiste, biyofosfor havuzunda fosfor giderimi gerçekleştirilip, anoksik (denitrifikasyon) ve oksik (nitrifikasyon) bölmelerden oluşan havalandırma havuzunda ise azot giderimi sağlanır. Kum ve yağ tutucuda, inorganik madde, yağ, AKM ve kısmi BOI ve kısmi KOI giderimi, ön çökeltim havuzlarında AKM ve kısmi BOI ve KOI giderimi, havalandırma havuzunda ise AKM, BOI, TKN, ve KOI giderimi gerçekleşmektedir. A^2O prosesinde ise nütriyent giderimi ve organik madde giderimi sağlanmaktadır. Dezenfeksiyon ünitesinde ise patojen giderimi sağlanıp, sonrasında deşarj edilmektedir. Oluşan arıtma çamuru ise çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma prosesinden sonra stabilizasyon amaçlı anaerobik çürütücülere gönderilir. Oluşan biyogaz kojenere edilmektedir ve tesis içi elektrik üretimi gerçekleştirmek amaçlı kullanılır. Tesise ait atıksu özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Siverek atıksu arıtma tesisi atıksu karakterizasyonu ve işletim parametreleri

Paramete	Değer
Ortalama debi (m^3/gün)	17000
Atıksu sıcaklığı (°C)	14-20
pH	7.5
Giriş BOI_5 konsantrasyonu (mg/L)	302
Çıkış BOI_5 konsantrasyonu (mg/L)	25
Giriş KOI konsantrasyonu (mg/L)	603
Çıkış KOI konsantrasyonu (mg/L)	125
Giriş AKM konsantrasyonu (mg/L)	333
Çıkış AKM konsantrasyonu (mg/L)	35
Giriş TKN konsantrasyonu (mg/L)	68
Çıkış TKN konsantrasyonu (mg/L)	50
Giriş TP konsantrasyonu (mg/L)	13.6
Çıkış TP konsantrasyonu (mg/L)	10
Çamur Yaşı (gün)	4.2
MLSS konsantrasyonu (mg/L)	4000
Besin/Mikroorganizma (F/M)	0.27
Hidrolik alıkonma süresi (sa)	5
Çamur debisi (m^3/sa)	6

Siverek Atıksu Arıtma Tesisinde atıksu, giriş yapısından sonra ızgaralara, daha sonra havalandırmalı kum ve yağ tutuculara gelmektedir. Kum tutucu, ön çökeltim, biyofosofor tankı ve havalandırma havuzu takip etmektedir. Havalandırma

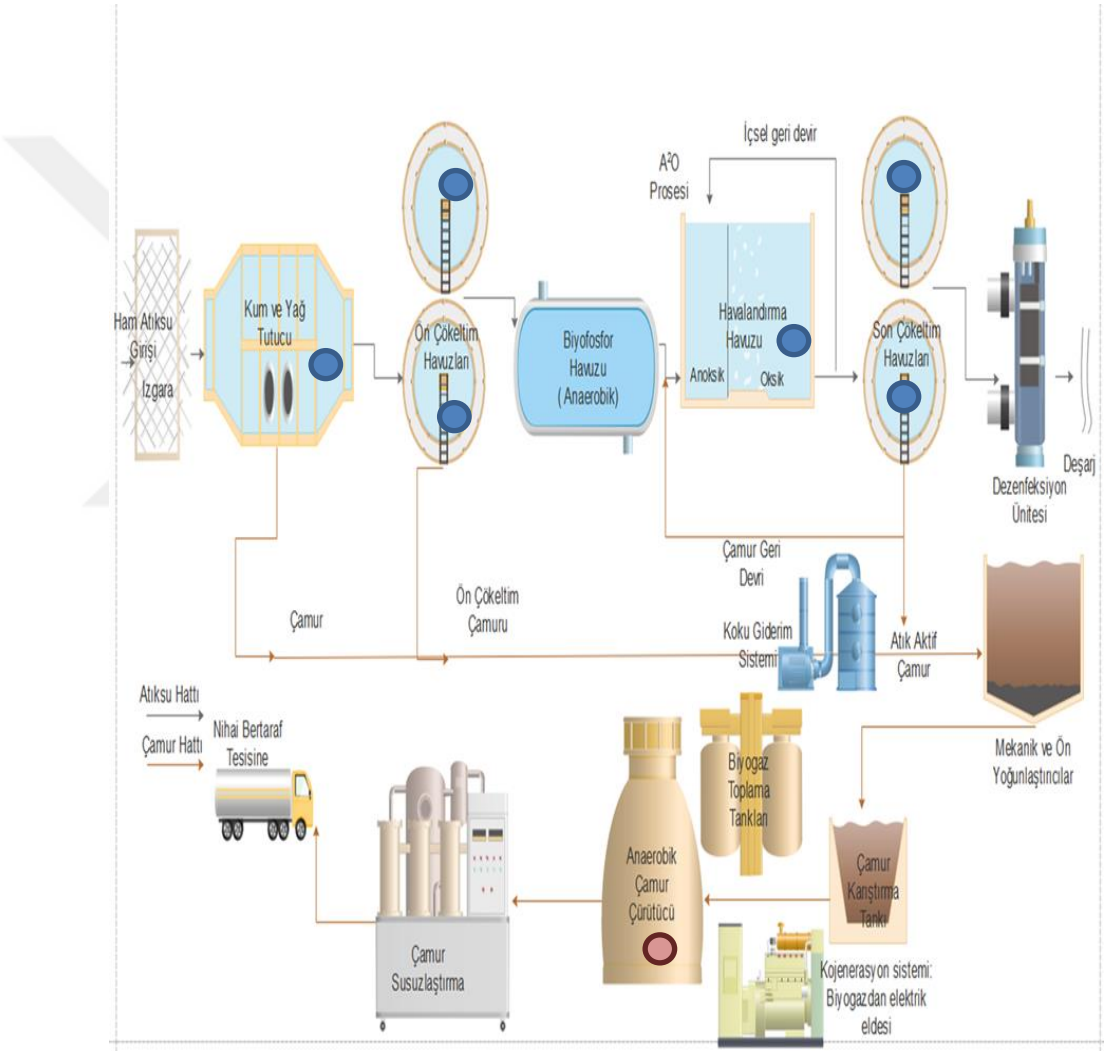
havuzunun hacmi 3800 m^3'tür. Aktif çamur geri devir oranı %72'dir. Aktif çamurdan sonra son çökeltim tanklarına gelen atıksu klorla dezenfekte edildikten sonra dereye deşarj edilmektedir. Ön çökeltim ve son çökeltimden gelen çamurlar ise yoğunlaştırıcıda yoğunlaştırıldıktan sonra anaerobik çamur çürütücülere gelmektedir. Anaerobik çürütücü hacmi 1405 m^3 olup çürütücü sıcaklığı ise 15 °C'dir. Burada oluşan biyogaz kojenere edilmektedir. Biyogazın ısıl değeri 23.400 kj/m^3'tür. Çürütücüde stabil hale gelen çamur, çamur susuzlaştırıcılardan sonra uzaklaştırılmaktadır. Tesise ait proses akım şeması Şekil 3.5'de verilmektedir.



Şekil 3.5. Siverek atıksu arıtma tesisi proses akım şeması

3.1.2. Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi emisyon ölçüm noktaları

Tez çalışması kapsamında sera gazı ölçümleri yapılacak noktalar biyokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği yağ ve kum tutucu, ön çökeltim havuzları, havalandırma tankı ve son çökeltim havuzlarıdır. Tesiste ölçüm yapılan noktalar Şekil 3.6.'da gösterilmektedir. Kapalı çember metodu üstü açık olan ünitelere uygulanabildiği için bu ünitelerde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Dolaylı emisyon olaraksa anaerobik çamur çürütücüden kaynaklanan sera gazı ele alınmıştır.



: Direkt sera gazı emisyon ölçüm noktası

: Dolaylı sera gazı emisyon ölçüm noktası

Şekil 3.6. Siverek atıksu arıtma tesisi sera gazı ölçümü yapılan noktalar

3.1.3. Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi (ŞOSB) Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi özellikleri

Şanlıurfa il sınırları içerisinde yer alan ve 3 bölgeden oluşan organize sanayi bölgesinde oluşan atıksular OSB merkezi atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır. OSB merkezi atıksu arıtma tesisi tezde pilot endüstriyel tesis olarak seçilmiştir. Tesisin seçilme sebepleri, konumumun il sınırları içerisinde bulunmasından dolayı ulaşım kolaylığı ve endüstriyel kirlilik yükünün yüksek olmasından dolayıdır. 10 000 m^2 kapalı alana kurulu olan tesis, sürekli biçimde işletilmekte olup 4000 m^3/gün atıksu arıtma kapasitesine sahiptir. Tesisin genel görünümü Şekil 3.7., Şekil 3.8, Şekil 3.9. ve Şekil 3.10. 'da verilmektedir.



Şekil 3.7. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi genel görünümü



Şekil 3.8. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi çökeltim havuzları



Şekil 3.9. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzları



Şekil 3.10. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi kimyasal arıtma ünitesi

Tesis endüstriyel atıksu arıtma tesisidir, sadece C (karbon) giderimi söz konusudur. Azot ve fosfor giderimi yoktur. Kireçle çamur stabilizasyonu gerçekleştirilip, belt filtre pres ile mekanik çamur susuzlaştırma uygulanmaktadır. Tesise ait ham atıksu özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi ham atıksu özellikleri

Parametre	Değer
Ortalama debi (m^3/gün)	4000
pH	7.76
KOI (mg/L)	1720.2
Yağ-Gres (mg/L)	127
Renk (Pt-Co)	1188.2
AKM (mg/L)	820

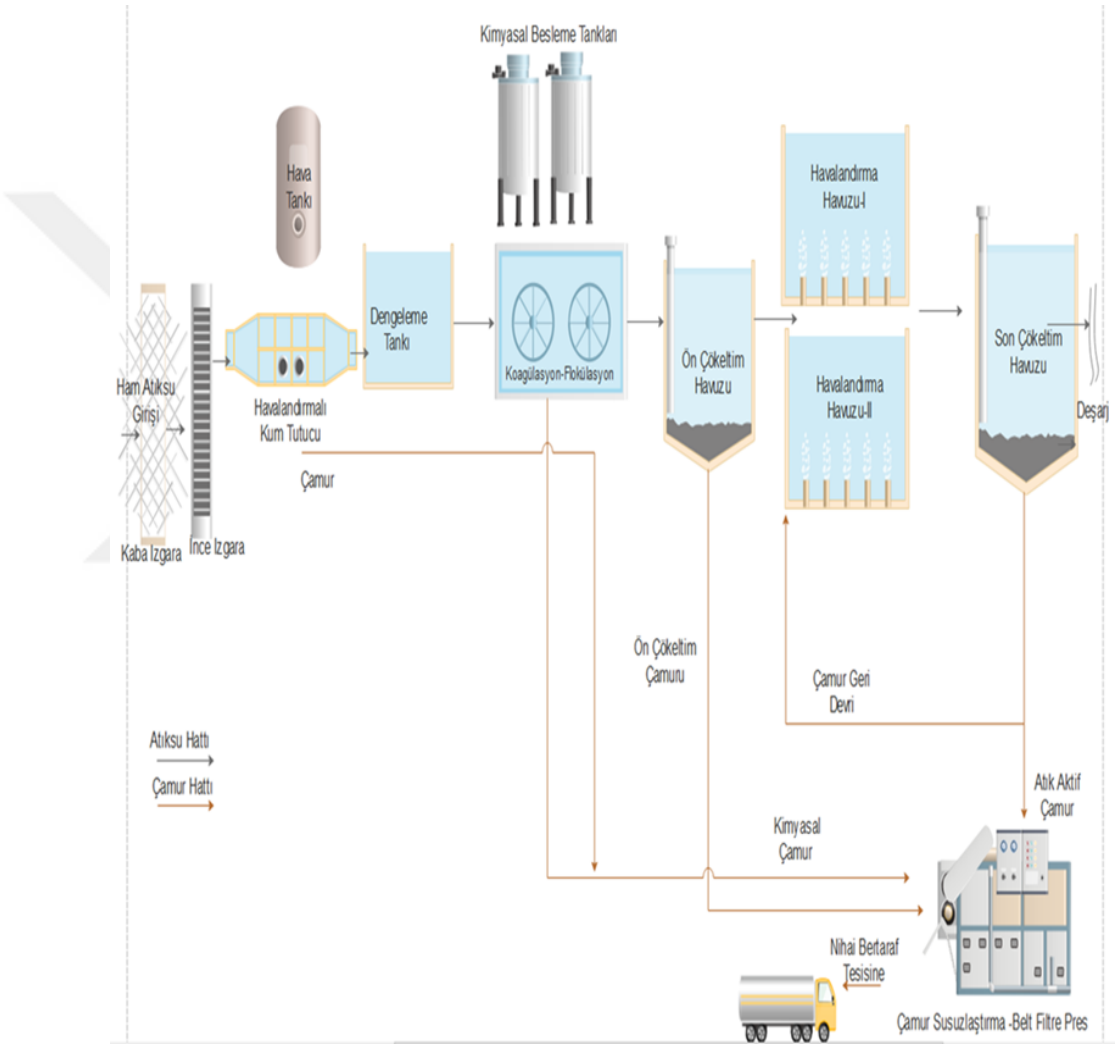
1. ve 2. ve 3. OSB kanalizasyon şebekesinden alınan atıksu DN800 koruge ana kollektör ile atıksu arıtma tesisi girişine alınır. Kaba ve ince ızgarada tesisteki ekipmanlara zarar vermesi muhtemel büyüklükteki malzemeler atıksu içinden

uzaklaştırılır. Havalandırmalı kum tutucu ünitesinde atıksu içerindeki kum tabanda birikerek kum pompası yardımı ile atıksu içinden alınarak kum ayırıcıda kuruluğu sağlanıp uzaklaştırılır. Yine aynı ünitede yüzeysel sıyırıcı, yağ pompası ve yağ ayırıcı yardımı ile biyolojik arıtmaya zarar vermemesi için ayrılır. Giriş terfi pompaları ile atıksu dengeleme tankına alınır. Dengeleme tankları kullanılarak debi ve kirlilik yükü salınımı azaltılır. Bu sayede kimyasal ve biyolojik arıtmaya daha iyi verim elde edilebilmesi için debi ve kirlilik açısından homojen bir giriş sağlanır. Kimya binasında kimyasal arıtma için gerekli kireç, alum ve polielektrolit depolanır ve gerekli çözeltiler otomatik olarak hazırlanarak dozaj pompaları yardımıyla kimyasal arıtmaya gerekli olduğu durumlarda dozlanır. Ön çökeltimde kimyasal arıtma sonrası atıksu içindeki biyolojik olarak parçalanmamış çökebilir malzemeler uzaklaştırılır. Burada oluşan çamur, çamur susuzlaştırma binasında katı madde oranı (%60 katı madde oranı sağlanıp) arttırılarak sistemden alınır.

Havalandırma havuzunda toplam 6 adet blower kullanılarak havalandırma gerçekleştirilir. Havalandırma havuzundan çıkan biokütle son çökeltim havuzlarına gönderilir. Burada, tabanda toplanan biokütlenin bir kısmı çamur susuzlaştırmaya gönderilerek ön çökeltim çamuru ile birlikte sistemden alınır. Bir kısmı ise biyolojik aktivitenin havalandırma havuzunda devam ettirilmesi için havalandırma havuzları girişine geri devir pompaları yardımıyla geri gönderilir. Yine son çökeltim havuzunda içindeki biokütlenin çökeltilmesi sonrası oluşan arıtılmış su debi ölçüm kanalında ölçülerek deşarj borusu ile alıcı ortama iletilir.

ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisinde temel proses olarak koagülasyon ve flokülasyon prosesi (kimyasal arıtma) ve klasik aktif çamur sistemi uygulanmaktadır. Tesis kimyasal ve biyolojik atıksu arıtma tesisidir. Kaba ve ince ince ızgarada kaba katı maddelerin tutulması gerçekleşir. Dengeleme havuzunda ise atıksu debisinin dengelenmesi sağlanır. Proseslerin gerçekleştiği noktalar, havalandırmalı kum tutucu (inorganik madde, AKM ve kısmi KOI giderimi), ön çökeltim havuzu (AKM ve kısmi KOI giderimi), koagülasyon ve flokülasyon havuzu (yağ, AKM ve KOI giderimi), havalandırma havuzları (organik madde, AKM ve KOI giderimi) ve son

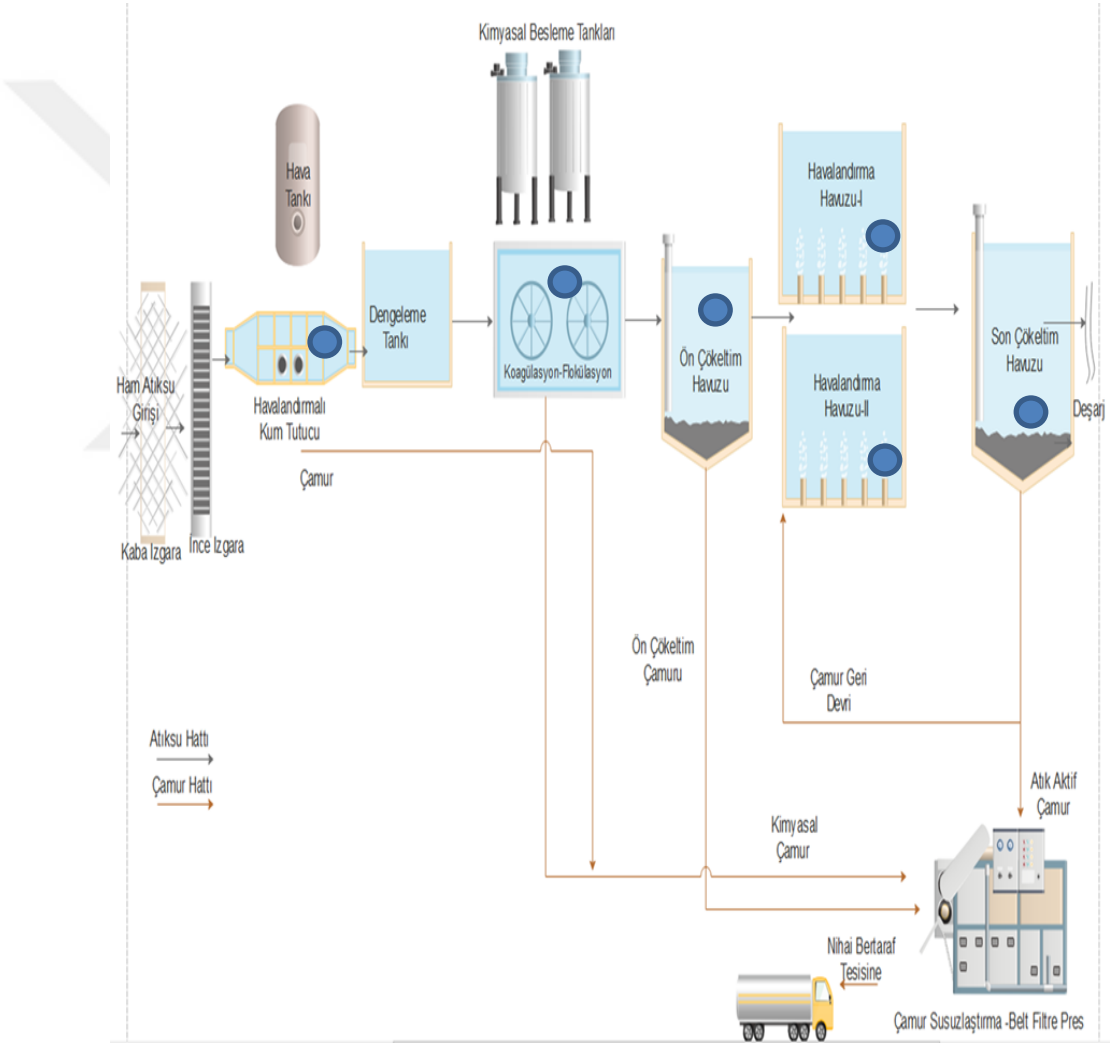
çökeltim havuzudur (AKM ve KOI giderimi). Çamur susuzlaştırma amacıyla belt filtre pres uygulanmaktadır. Kireçle stabilize hale getirilen çamur nihai bertaraf tesisine gönderilmektedir. Tesise ait proses akım şeması, Şekil 3.11.'de verilmektedir.



Şekil 3.11. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi proses akım şeması

3.1.4. Şanlıurfa OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi emisyon ölçüm noktaları

Tesiste direkt sera gazı ölçümü yapılan noktalar, havalandırmalı kum tutucu, kimyasal arıtma ünitesi (koagülasyon ve flokülasyon tankı), ön çökeltim havuzu, havalandırma havuzları ve son çökeltim havuzudur. Tesiste ölçüm yapılan noktalar Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Kapalı çember metodu üstü açık olan ünitelere uygulanabildiği için bu ünitelerde ölçümler sağlanmıştır.



: Direkt sera gazı emisyon ölçüm noktaları

Şekil 3.12. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi sera gazı ölçüm noktaları

3.1.5. Drager X–Am 5000 Model portatif gaz analizörü

Sera gazı ölçümlerinde Drager X-Am 5000 model portatif multigaz analizörü kullanılmıştır. Volumetrik gaz ölçümü sağlayan analizörde, CO_2 (%), CH_4 (%-lel) ve NO_2 (ppm) sera gazları ölçülmektedir. Gaz analizörü Şekil 3.13'de verilmektedir. Gaz analizörü, pompa yuvasına yerleştirilip, örnekleme sağlanarak ölçümler tamamlanmıştır. Cihazın her kullanımından önce temiz hava kalibrasyonu yapılmıştır.



Şekil 3.13. Drager X-Am 5000 model gaz analizörü

3.1.6. Emisyon izolasyon akı başlığı

Arıtma tesislerinde gaz örneklemeleri emisyon izolasyon akı başlığı içerisinde toplanmıştır. Kapalı ölçüm metodunun materyali olan emisyon izolasyon akı başlığı galvaniz saçtan üretilmiştir ve küresel formda olup, atıksu üzerinde yüzen taşıyıcı madde üzerine oturtulmuştur. Emisyon akı başlığının alt kısmı filtre ile kaplıdır.

Emisyon izolasyon akı başlığı; 31 cm çapında ve 31 cm yüksekliğindeki küre kapağı formundadır. Toplam hacmi ise $1.56x10^{-2}$ m^3 (15.6 litre) 'tür (2/3 ¶ r^2 h formülünden hesaplanmıştır). Emisyon izolasyon akı başlığına ait görüntü Şekil 3.14'de verilmektedir.



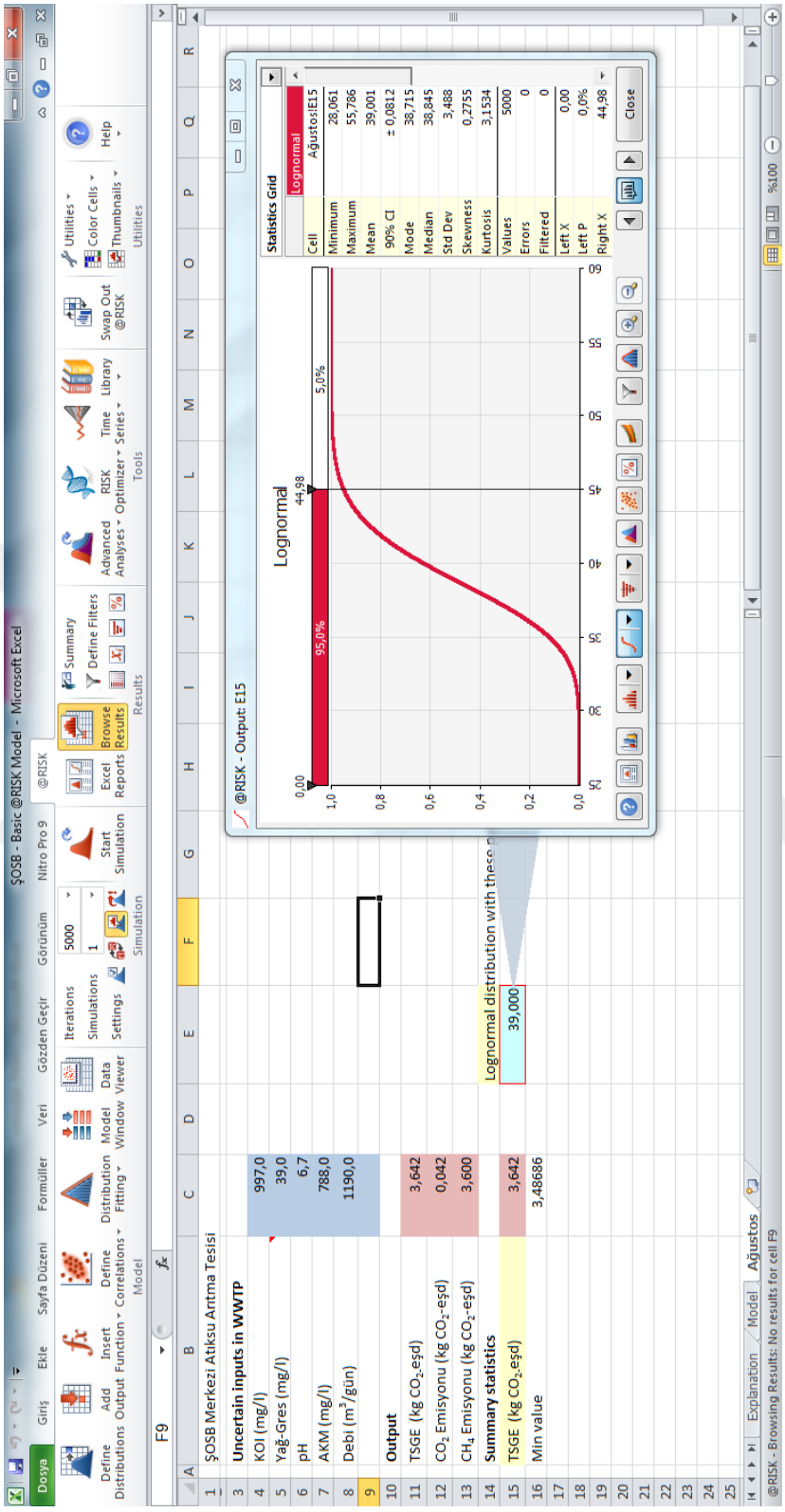
Şekil 3.14. Emisyon izolasyon akı başlığı

3.1.7. @RISK Monte Carlo simülasyon yazılımı

Monte Carlo Simülasyonu kantitatif analiz yapılabilmesi ve nihai karara ulaşmak için bilgisayarda uygulanan bir matematik tekniğidir. Teknik; finans, proje yönetimi, mühendislik, enerji, araştırma ve geliştirme, sigorta, ulaşım ve çevre gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır.

Monte Carlo Simülasyonu içinde değişkenlik ve belirsizlik barındıran girdi/parametrelerinin tek bir değer yerine bir olasılık dağılımıyla temsil edilerek bu girdilere göre çıktının nasıl bir dağılım göstereceğinin bulunması prensibiyle çalışır. Belirsizliklerin sayısına ve bu belirsizliklere karşılık gelen girdi değerlerinin hangi aralıkta değiştiğine bağlı olarak Monte Carlo Simülasyonu on binlerce hesaplama yapar ve sonucunda bütün farklı çıktıları bir olasılık dağılımı olarak verir. Değişkenler farklı olasılık dağılımları gösterebilir. Olasılık dağılımı kullanmak risk analizi yaparken belirsizlikleri tanımlamak için en mantıklı ve doğru yöntemdir. Olasılık dağılımları, normal, lognormal, üçgensel ve üniform gibi farklı formlar alabilir (Economics, 2004).

Monte Carlo Simülasyonunda (Şekil 3.15.), değerler rastgele belirlenen olasılık dağılımlarına göre örneklenir. Her örnek seti bir iterasyon olarak tanımlanır ve bu örnek setine göre oluşan çıktı kaydedilir. Binlerce kez tekrarlanan bu işlem sonuçların nasıl bir dağılım göstereceğini verir. Monte Carlo sadece sonuç tahmini değil ayrıca bu çıktıların hangi olasılıkla gerçekleşeceğine dair bilgi verir. Simülasyonu uygulayabilmek için bir yazılıma ihtiyaç duyulur. Tez çalışmasında Monte Carlo Simülasyonunu uygulamak için @Risk yazılımından faydalanılmıştır. Monte Carlo simülasyonunu uygulamadaki amaç; farklı atıksu giriş değerlerinde ve işletme koşullarında (debi, KOI, BOI, pH, yağ-gres, AKM vb.) ölçümlenen sera gazı emisyonları değerlerini girerek**,** 5000 iterasyon ve 1 simülasyon uygulatıp hangi atıksu giriş değerlerinde minimum sera gazı emisyonu oluştuğunu belirlemektir. Olasılık dağılımı olarak; lognormal dağılım seçilmiş ve Basic @RISK model uygulanmıştır. Monte Carlo Simülasyonu sadece prosesten kaynaklanan sera gazı emisyonu için uygulanmıştır. Bunun sebebi işletme parametrelerinin sadece prosesten kaynaklanan sera gazı emisyonlarını etkiliyor olmasıdır. Ayrıca SAAT için, havalandırma havuzu için optimum işletme koşulları (hidrolik alıkonma süresi (HRT), çamur yaşı, F/M oranı) tanımlanmış olup, hangi arıtım veriminde minimum sera gazı emisyonu oluşacağı saptanmıştır.



Şekil 3.15. @RISK Monte Carlo simülasyon yazılımı ekran çıktısı

3.2. Yöntem

3.2.1. Kapalı çember gaz ölçüm metodu

Kapalı çember (statik çember) gaz ölçüm metodu, dünya genelinde uygulanan sera gazı ölçüm ve belirleme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem; kapalı bir çember içerisinde gazın belli bir süre içerisinde hapsedilip, sonra gazın pompayla çekilip gaz analizöründe okunması yöntemine dayalıdır (Masuda ve ark., 2015) (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Kapalı çember gaz ölçüm metodu

Kapalı çember diye tabir ettiğimiz sistem, emisyon izolasyon akı başlığı sayesinde uygulanır. Atıksu arıtma tesisinde ünitelerin yüzeyine yerleştirilen emisyon akı başlığının hacminde $1.56x10^{-2}$ m^3 (15.6 litre) gazın 30 dakika süreyle toplandığı kabul edilmektedir. Bunun sebebi gaz miktarlarının 30 dakika süre

sonunda artış göstermemesidir. Bu durumda gaz debisi $3.12x10^{-2}$ m^3/saat olmaktadır. Bu da yaklaşık olarak 30 kg/saat toplam gaz miktarına tekabül eder. Hacim-ağırlık dönüşümlerinde, 1kg=0.001041 m^3 denkliği kullanılmıştır Drager Pompa yardımıyla gaz çekilip, Drager X-Am 5000 model gaz analizörü gaz analizöründe, yüzdesel olarak CO_2 ve CH_4 değerleri okunur. 1 saatte toplanan 30 kg gaz hacminin analizörde okunan yüzde değerleri alınıp CO_2 için GWP değeri olan 1 ile, CH_4 içinse bu değerin GWP değeri olan 28 ile çarpımından kg CO_2-eşd/gün cinsinden sera gazı miktarı hesaplanmıştır (IPCC, 2014). Gazın optimum hapsedilme süresi yapılan test sonucunda 30 dakika olarak belirlenmiştir. 25 dakika, 30 dakika, 45 dakika ve 60 dakika süreyle gaz hapsedilmiş (Şekil 3.17) ve Drager X-Am 5000 model gaz analizöründe yüzdesel olarak veriler okunmuştur. 30 dakika süreden sonra gaz yüzdesinin sabitlendiği görüldüğü için optimum gaz tutma süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir.



(25 dakika) (30 dakika) (45 dakika) (60 dakika)

Şekil 3.17. Optimum gaz tutma süresi belirlenmesi

Her iki tesis için Ağustos 2017- Mayıs 2018 ayları arasında 10 ay süreyle bu yöntem her ay tekrarlanarak prosesten kaynaklanan sera gazı ölçümü gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Proseslerden kaynaklanan sera gazı emisyonu hesaplama

Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma prosesleri fiziksel, kimyasal, biyolojik ve biyokimyasal olarak değişkenlik gösterir. Proseslerden kaynaklanan sera gazı emisyonları direkt sera gazı emisyonları olarak ele alınmaktadır. Tez çalışmasının gerçekleştirildiği gerçek ölçekli atıksu arıtma tesislerinde ise durum şu şekildedir:

Kapalı çember metodunun uygulandığı ve proseslerin gerçekleştiği ünitelerde oluşan sera gazı emisyon miktarını hesaplamak için basit bir matematiksel model kullanılmıştır. Kinetik Teori 'ye gazlar bulundukları kabın hacmini alırlar. Bu ilkeden yola çıkarak küre kapağı formundaki emisyon akı başlığı içinde toplanan gaz hacmi, arıtma prosesindeki reaksiyonlar sonucu oluşan (CH_4, CO_2, N_2, NO_x vb.) toplam gaz hacmi olarak emisyon akı başlığının hacmi olan (31 cm çap ve yükseklikteki küre kapağının hacmi) $1.56x10^{-2}$ m^3 (15.6 litre) gaz toplandığı kabul edilmiştir. Yarım saatte toplanan bu değer 1 saat için $3.12x10^{-2}$ m^3/saat gaza tekabül edecektir. Bu gaz debisi (29.9 kg/sa) yaklaşık olarak saatte 30 kg'a denk gelir (30 kg/sa). Hacim-ağırlık dönüşümlerinde, 1kg=0.001041 m^3 denkliği kullanılmıştır. Ayrıca oluşan sera gazlarının birbiriyle tepkimeye girmediği kabul edilmiştir. Drager X-Am 5000 model gaz analizöründe yüzde okunarak, CO_2 ve CH_4 gazlarının toplam gaz hacmi içindeki payı oranlanarak gaz hacmi belirlenmiştir. 30 kg/saatlik toplam sera gazı miktarındaki yüzdesel oran alınıp CO_2 için GWP değeri olan 1 ile CH_4 için ise 28 ile çarpılarak kg CO_2-eşd/gün cinsinden sera gazı miktarı hesaplanmıştır (IPCC, 2014).

3.2.3. Elektrik tüketiminden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonu hesaplama

Elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonu dolaylı sera gazı emisyonları sınıfına aittir. Elektrik tüketiminden gelen dolaylı sera gazı emisyonları işletim özelliklerinden elde edilir. Türkiye'deki bölgesel enerji için temel emisyon faktörleri hesaplanmıştır. Tesislerde oluşan elektrik tüketimleri 10 aylık süre

boyunca tesis yetkililerinden elektrik faturalarının okunması esasıyla temin edilmiştir. Elektrik tüketim kaynağı ile dolaylı CO_2 emisyon miktarı aşağıda verilen (3.1) bağıntı ile hesaplanır;

$$IND_E = C_E \times EF \quad (3.1)$$

IND_E= Elektrik tüketim kaynağı ile dolaylı CO_2 emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)

C_E= Atıksu arıtma tesisinin elektrik tüketimi (kWh)

EF= Elektrik üretim tesislerinin yakıt türüne bağlı yakıt tüketim değerleri, Türkiye'ye özgü emisyon faktörü

ŞOSB MAAT için toplam dolaylı sera gazı emisyon değeri sadece elektrik tüketiminden kaynaklı olacağı kabul edilmiştir. Bunun sebebi anaerobik çamur çürütmenin uygulanmamasıdır. 10 ay boyunca tesislerde oluşan elektrik tüketiminin emisyon faktörüyle çarpılmasıyla toplam dolaylı sera gazı emisyonu hesaplanmıştır ve bu değere günlük düzeye çevrilmiştir. EF değeri ülkemizde 2017 yılı için 0.497 kg CO_2/kWh olarak alınmıştır (IEA, 2016). SAAT için ise dolaylı emisyon olarak elektrik tüketiminden kaynaklanan ve anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan sera gazı emisyonları göz önünde tutulmuştur.

3.2.4. Anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonu hesaplama

SAAT için çamur stabilizasyonu olarak anaerobik çürütme prosesi uygulanmaktadır. Bu bağlamda, çamurun anaerobik stabilizasyonu sonucu biyogaz elde edilir. Biyogazın temel bileşenleri CO_2 ve CH_4 gazlarıdır. Atıksu arıtma tesisi için bir diğer dolaylı sera gazı emisyon kaynağı indirekt olan çamur çürütme prosesidir. Tesiste biyogaz miktarı debimetre (m^3/ay) ile belirlenir. Biyogaz içeriği için, CO_2 ve CH_4 değerleri Drager N7000 model Portatif Gaz Ölçüm cihazı kullanılarak elektrokimyasal sensörler yardımıyla belirlenir. Ölçüm yapılan aya ve güne ilişkin biyogaz debisi, CO_2 ve CH_4 yüzdeleri tesis yetkililerinden tedarik edilmiştir. Ancak SAAT'de oluşan biyogazın tamamı kojenere edilmektedir ve tesis

içerisinde yeniden kullanılmaktadır. Hesaplama yapılan değerler sera gazı anlamında oluşması beklenen değerlerdir. Kısacası, SAAT için anaerobik çanur çürütme prosesinde oluşan biyogazdan ötürü dolaylı sera gazı emisyonu oluşmaktadır fakat tesis içinde kojenere edildiği için tesisten yayılan sera gazı emisyonu hesaplanırken ihmal edilmiştir.

Çamur arıtımından dolayı oluşan indirekt sera gazı emisyon miktarının belirlenmesinde basit bir hesaplama modeli kullanılmıştır. Dolaylı CO_2 emisyonu için, biyogaz içeriğindeki CO_2 yüzdesi alınır 1 ile çarpılarak kg CO_2-eşd birimine dönüştürülür. CH_4 için ise biyogaz bileşimindeki yüzdesi alınıp GWP değeri olan 28 ile çarpılarak kg CO_2-eşd/gün olarak dolaylı emisyon hesaplanır. Toplam çamur arıtımından kaynaklanan indirekt emisyon ise her iki emisyonun toplamıdır (3.2).

$$IND_S = E\text{-}CH_{4\text{-}ST} + E\text{-}CO_{2\text{-}ST} \quad (3.2)$$

IND_S = Çamur stabilizasyonundan kaynaklanan emisyon (kg CO_2-eşd/gün)

$E\text{-}CH_{4\text{-}ST}$ = Çamur stabilizasyonunda oluşan CH_4 emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)

$E\text{-}CO_{2\text{-}ST}$ = Çamur stabilizasyonunda oluşan CO_2 emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)

Toplam dolaylı emisyon ise SAAT için elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyon (3.1) ve çamur arıtımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının (3.2) toplamıdır (3.3.).

$$IND_T = IND_E + IND_S \quad (3.3)$$

ŞOSB MAAT için ise toplam dolaylı emisyon ise elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonudur. Anaerobik çamur çürütme uygulanmadığı için çamur arıtımından kaynaklanan indirekt emisyon ihmal edilmiştir.

3.2.5. Monte Carlo simülasyon yazılımı ile emisyon minimizasyonu

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının minimizasyonu için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Sera gazı emisyonlarının azaltılması için inovatif arıtma teknikleri uygulanabilir. Mikroalgal sistemler bu uygulamaların başında yer alır. Bunun yanı sıra atıksu arıtımında nitrite bağımlı anaerobik metan oksidasyonu (n-damo) prosesi sera gazı azaltan biyolojik yöntemlerden biridir. Atıksu arıtımında biyoçar uygulamasının sera gazını azaltan proseslerden biri olduğu söylenebilir. Proses koşullarının değiştirilmesi ve konfigürasyon revizyonları diğer bir minimizasyon tekniğidir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2017b). Tezin ikinci aşaması, Monte Carlo simülasyonuyla kapalı çember ölçüm metoduyla elde edilen prosesten kaynaklanan direkt emisyonların, işletme parametrelerinin değiştirilmesi esasına dayanan minimizasyonudur. Monte Carlo Simülasyonu sadece prosesten kaynaklanan direkt emisyonlar için uygulanmıştır. Bunun sebebi işletme parametrelerinin prosesten dolayı oluşan sera gazı emisyonlarına yol açmasıdır. Monte Carlo simülasyonunu uygulamak için Palisade @RISK yazılımı kullanılmıştır. Volumetric Reserves: A sequence of simple examples to determine the amount of oil or gas in a field Modülü, Volumetric Reserves 1-Basic @RISK modeli kullanılan çalışmada, 5000 iterasyon ve 1 kez simülasyon uygulanmıştır. Olasılık dağılımı olarak lognormal dağılım seçilmiştir. Yazılımın "Oil and Gas" modülü kullanılmıştır. Her iki tesis için de tez çalışması kapsamında Ağustos 2017 - Mayıs 2018 ayları arasında ay bazında minimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisi için, Basic @RISK modeli kullanılarak lognormal olasılık dağılım ve sonuçlu minimizasyon elde edilmiştir. Ay bazında 5000 iterasyon ve 1 simülasyon uygulatarak minimum sera gazının hangi işletme parametresi değerinde oluştuğu saptanmıştır. Belirsiz girdiler (Uncertain inputs) olarak; işletme parametreleri KOI (mg/L), Yağ-Gres (mg/L), pH, AKM (mg/L) ve debi (m^3/gün) girilmiştir. Çıktılar (Outputs) olarak, prosesten kaynaklanan direkt sera

gazı emisyonları yani toplam sera gazı emisyonu (kg CO_2-eşd/gün), yani CO_2 emisyonu (kg CO_2-eşd/gün) ve CH_4 emisyonunun toplamı olarak (kg CO_2-eşd/gün) girilmiştir. Öncelikle ay bazında işletim parametreleri ve oluşan sera gazı emisyonu miktarıyla @risk correlation komutu uygulatarak o ay için oluşabilecek minimum toplam sera gazı emisyonu tahmin ettirilmiştir. Sonrasında her bir işletme parametresi için, 5000 iterasyon ve 1 simülasyon uygulatılarak bir önceki aşamada belirlenen minimum toplam sera gazı emisyonunun hangi değerde oluşacağı belirlenmiştir. Lognormal dağılımın sonucu olan minimum değer, minimum sera gazı emisyonunu oluşturacak işletme parametresi değeridir (3.4).

$$X_{min} = \text{RiskOutput("Lognormal")} + \text{RiskLognorm}(C_1;C_2) \quad (3.4)$$

X_{min} = Minimum işletme parametresi değeri

C_1= Mevcut işletme parametresi değeri

C_2= Minimum toplam sera gazı emisyonu değeri (kg CO_2-eşd/gün)

Siverek kentsel atıksu arıtma tesisi için ise aynı işlemler ay bazında tekrarlanmıştır. Basic @RISK modeli kullanılıp, ay bazında 5000 iterasyon ve 1 simülasyon uygulatarak minimum sera gazının hangi işletme parametresi değerinde oluştuğu iteratif simülasyon (3.4) ve yazılım yardımıyla belirlenmiştir. Uncertain inputs (belirsiz girdiler) olarak; işletme parametreleri KOI (mg/L), BOI (mg/L), pH, AKM (mg/L), ve debi (m^3/gün) girilmiştir. Outputs (çıktılar) olaraksa, prosesten kaynaklanan toplam direkt sera gazı emisyonu (kg CO_2-eşd/gün) olarak girilmiştir. İlk olarak ay bazında @risk correlation komutu uygulatarak o ay için oluşabilecek işletim parametreleriyle ilişkilendirilen minimum toplam sera gazı emisyonu hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra, her bir işletme parametresi için, 5000 iterasyon ve 1 simülasyon uygulatılarak bir önceki aşamada belirlenen minimum toplam sera

gazı emisyonunun hangi işletme parametresi değerinde oluşacağı saptanmıştır. Lognormal dağılımın sonucu olan minimum değer, minimum sera gazı emisyonunu oluşturacak işletme parametresi değeridir (3.4). Bununla beraber SAAT'de havalandırma havuzu için aynı zamanda, optimum işletme koşulları (HRT (sa), çamur yaşı (gün), F/M) tanımlanmıştır. Bunun için de 1000 iterasyon 1 simülasyon uygulanmıştır. Bunun sebebi en yüksek direkt emisyonun oluştuğu ünitenin havalandırma havuzu olmasıdır. Minimum sera gazı emisyonunun oluşmasını sağlayan optimum KOI giderim verimi (E_{KOI}) (%), BOI giderim verimi (E_{BOI}) ve AKM giderim verimi (E_{AKM}) iterasyon yardımıyla tahmin edilmiştir.

3.2.6. Atıksu analizlerinin gerçekleştirilmesi ve proses koşullarının belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında her iki tesis için atıksu analizleri uygulanmıştır. Atıksu analizlerinin yapılmasındaki amaç sera gazı ölçüldüğü gün tesise ait atıksu giriş parametrelerinin bilinmesidir. Analizler sayesinde emisyon ölçümünün yapıldığı güne ait proses koşulları belirlenmiştir. Analizler standart metotlara göre yapılmıştır (APHA,1995). Debi ölçümü ise otomatik debi ölçer ile sağlanmıştır. Proses koşullarının belirlenmesindeki amaç, hangi koşulda ne kadar sera gazı oluştuğunu tespit edip, yazılım yardımıyla sera gazının minimum oluştuğu optimum atıksu giriş değerlerini belirlemektir.

Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde, proses koşullarının belirlenmesinde, debi, KOI, BOI, pH ve AKM parametreleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, havalandırma havuzunun optimum işletme koşullarını belirleyebilmek için HRT, çamur yaşı ve F/M değerleri takip edilmiştir. ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisinde ise debi, KOI, yağ-gres, pH ve AKM parametreleri göz önünde tutulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Siverek Atıksu Arıtma Tesisi Emisyon Ölçümü

Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi için Ağustos-Mayıs ayları arasında on ay boyunca prosesten kaynaklanan sera gazı ölçümleri kapalı çember metoduyla uygulanmıştır. Tesiste sera gazı emisyon ölçümü yapılan noktalar, kum tutucu, ön çökeltim havuzları, havalandırma havuzu (oksik bölme) ve son çökeltim havuzlarıdır. Bu noktalarda ölçülen emisyonlar, direkt sera gazı emisyonlarıdır. Tesiste oluşan 10 aylık elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonu ise dolaylı sera gazı emisyonudur. Toplam sera gazı emisyonu ise direkt ve dolaylı sera gazı emisyonlarının toplamına eşittir.

4.1.1. Direkt sera gazı emisyonları

Direkt sera gazı emisyonları, kum tutucu, ön çökeltim havuzları, havalandırma havuzu (oksik bölme) ve son çökeltim havuzlarında ölçülen CO_2 ve CH_4 emisyonlarının toplamıdır. Siverek Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nde meydana gelen sera gazı emisyon miktarları proses ve ay bazında aşağıda verilmektedir (Çizelge 4.1., Çizelge 4.2., Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.1. SAAT direkt sera gazı emisyon ölçüm sonuçları

	Toplam Sera Gazı Miktarı (CO_2 + CH_4) (kg CO_2-eşd/gün)									
Ölçüm Noktası	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
Kum tutucu	0	1.512	0.72	2.232	0	0	0	0	1.296	1.512
Ön Çökeltim Havuzu-I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ön Çökeltim Havuzu-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havalandırma Havuzu	20.592	10.656	9.936	10.368	8.28	7.56	12.744	14.112	15.48	18.288
Son Çökeltim Havuzu-I	2.736	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Son Çökeltim Havuzu-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aylık Toplam Gaz Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)	23.328	12.168	10.656	12.6	8.28	7.56	12.744	14.112	16.776	19.8

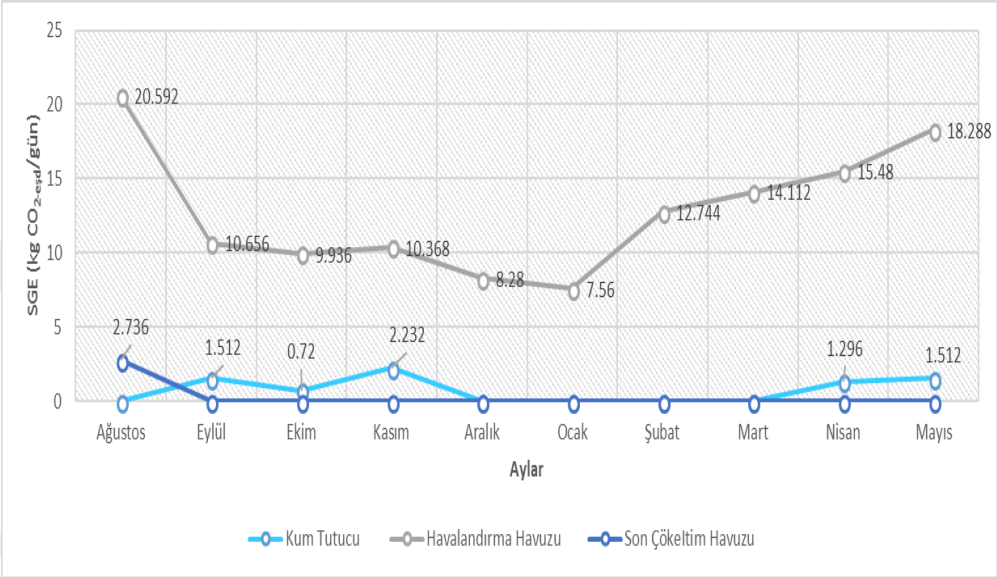
Çizelge 4.2. SAAT direkt CO_2 emisyon ölçüm sonuçları

	CO_2 Emisyon Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)									
Ölçüm Noktası	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
Kum tutucu	0	1.512	0.72	2.232	0	0	0	0	1.296	1.512
Ön Çökeltim Havuzu-I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ön Çökeltim Havuzu-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havalandırma Havuzu	20.592	10.656	9.936	10.368	8.28	7.56	12.744	14.112	15.48	18.288
Son Çökeltim Havuzu-I	2.736	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Son Çökeltim Havuzu-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aylık Toplam Gaz Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)	23.328	12.168	10.656	12.6	8.28	7.56	12.744	14.112	16.776	19.8

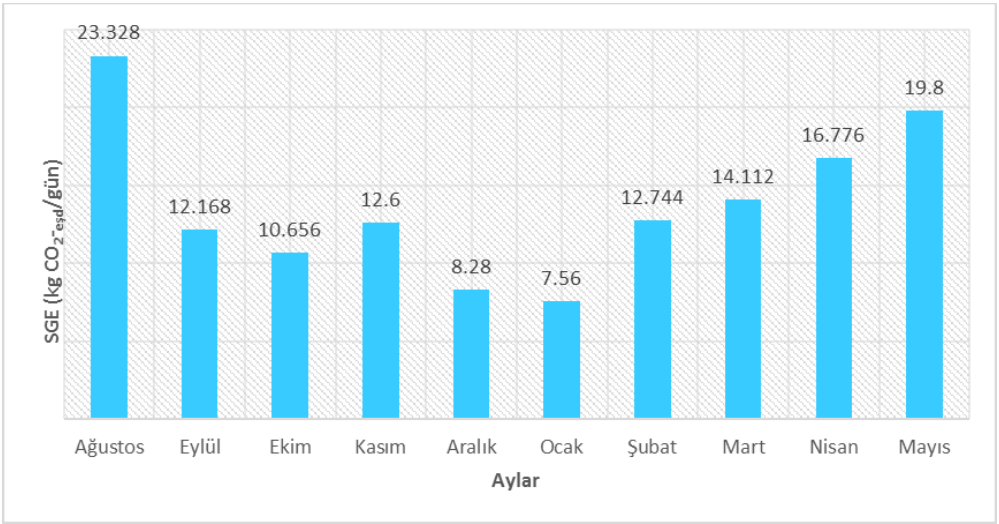
Çizelge 4.3. SAAT ay bazında ölçüm yapılan güne ilişkin atıksu giriş değerleri

Parametre	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
KOI (mg/L)	484	440	525	576	367	456	505	994	447	315
BOI (mg/L)	262	182	268	220	256	211	225	203	192	205
Debi (m^3/gün)	17000	18037	18652	17812	17480	15550	18750	20150	18200	18150
pH	7.52	7.74	8.59	8.09	8.21	8.14	8.15	8.01	8.03	8.02
AKM (mg/L)	318	402	416	751	397	481	557	351	546	216

SAAT'de prosesten kaynaklanan direkt CH_4 emisyonuna hiç rastlanmamıştır. Direkt sera gazı emisyonu sadece CO_2 emisyonundan oluşmaktadır. Kum tutucu, havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzu-I direkt sera gazı emisyonlarının oluştuğu arıtma üniteleridir. Proses bazında ve ay bazında oluşan direkt sera gazı emisyonlarının değişimleri aşağıdaki Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.1. SAAT proses bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi



Şekil 4.2. SAAT ay bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi

Sonuçlardan da görüldüğü üzere, SAAT için en yüksek sera gazı emisyonu Ağustos ayında salınmaktadır (23.328 kg CO_2-eşd/gün). Bu değeri Mayıs ayı takip etmektedir. En düşük direkt sera gazı emisyonu değeri ise 7.56 kg CO_2-eşd/gün olup, Ocak ayında gözlemlenmiştir. Kış mevsimine geçildikçe ve sıcaklık azalmasıyla beraber direkt sera gazı emisyonlarında bir düşüş olduğu söylenebilir. İlkbahar mevsiminde sıcaklığın artmasıyla beraber prosesten kaynaklanan sera gazı emisyonlarında bir artış söz konusu olmuştur. SAAT'de ölçüm yapılan aylarda, CH_4 emisyonunun hiç salınmadığı tespit edilmiştir. SAAT'de havalandırma havuzu temel sera gazı kaynağıdır. CO_2 emisyonunun, aerobik bakterilerinin solunumu sonucu oluştuğu söylenebilir. Bununla birlikte CH_4 emisyonunun, havalandırma havuzunda oluşmadığı için havalandırma havuzunda havalandırılmayan bölgelerin oluşmadığı söylenebilir. Diğer bir sera gazı kaynağı ise kum tutucudur. Kum tutucuda kış ayları hariç CO_2 emisyonunun salındığı görülmektedir. Kum tutucuda CO_2 emisyonunun oluşmasının sebebi kendiliğinden çökemeyen maddelerin flok oluşturması olabilir. Son çökeltim havuzunda ise sadece Ağustos ayında CO_2 emisyonu ölçülmüştür.

Proses koşulları kıyaslandığında, simülasyon yapılan 5 işletim parametresi için direkt sera gazı oluşum miktarıyla, bu 5 parametrenin azalıp artmasıyla ilgili kesin bir oran ya da paralellik vardır denilemez. En düşük AKM konsantrasyonu ve pH değerinin görüldüğü Ağustos ayında en yüksek direkt SGE oluştuğu söylenebilir. En düşük atıksu debisinde (Ağustos ayı) en çok direkt SGE emisyonu salınmıştır. Arıtma tesisi ünitelerinden ön çökeltim prosesinde, ölçüm yapılan aylar içerisinde hiç sera gazı emisyonuna rastlanmamıştır.

Bulunan sonuçlar uluslararası literatürle kıyaslanırsa, literatüre benzer bulgular elde edildiği söylenebilir. Masuda ve ark. (2014) bu çalışmaya benzer şekilde, toplam emisyon olarak en yüksek değerin yazın olduğu ve en düşük değerin ise kışın olduğunu bulmuşlardır. En yüksek metan emisyonu havalandırma havuzunda tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise havalandırma havuzunda hiç CH_4 emisyonuna rastlanmamıştır. Rodriguez-Caballero ve ark. (2014) Temmuz ve Ekim

ayları arasında Grannoler Atıksu arıtma tesisi için havalandırılan ve havalandırılmayan alanlar için oluşan emisyon değerlerini belirlemişlerdir. Bu çalışmadan farklı olarak N_2O emisyonunu da ölçülmüştür. En az emisyon miktarının anoksik zonda olduğu bulunmuştur. En yüksek emisyonun ise aynı bu çalışmada olduğu gibi havalandırma havuzunda (aerobik zonda) oluştuğu gözlemlenmiştir. Kyung ve ark. (2015) benzer bir çalışmayı Hibrit 5 fazlı Bardenpho prosesli atıksu arıtma tesisinde oluşan sera gazı emisyonu ölçümü için gerçekleştirmişlerdir. CO_2 emisyonu dikkate alındığında en yüksek değere sahip ünite bu çalışmada olduğu gibi Havalandırma Havuzu 1 dir. Diğer temel kaynak ise ön çökeltim tankıdır bu çalışmada ön çökeltim havuzunda belirtilen ölçüm periyodunda sera gazı emisyonu oluşmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, farklı olarak son çökeltim havuzunda oluştuğu görülmüştür.

4.1.2. Dolaylı sera gazı emisyonları

Bu tez çalışması kapsamında dolaylı sera gazı emisyonları, SAAT için; elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlar ve anaerobik çamur çürütme prosesinden kaynaklanan sera gazı emisyonları olarak ele alınmıştır (Paraviccini ve ark., 2016).

Tesisin 10 aylık elektrik tüketiminden (CE) kaynaklanan sera gazı emisyonu; dolaylı sera gazı emisyonu (IND_E) olarak kabul edilmiştir. Aylık elektrik tüketiminin Türkiye'ye özgü emisyon faktörüyle (EF) çarpılmasıyla, indirekt (dolaylı) sera gazı emisyonu miktarı elde edilir. Tesisten elektrik tüketimleri, 10 ay boyunca tesis yetkililerinden elektrik faturalarının okunması esasıyla temin edilmiştir. SAAT' ne ait elektrik tüketiminden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyon (SGE) miktarları, Çizelge 4.4.'de verilmektedir.

Çizelge 4.4. SAAT Elektrik tüketiminden kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyon değerleri

Aylar	CE (Elektrik Tüketimi) (kWh)	EF (Emisyon Faktörü) (kg CO_2-eşd/kWh)	IND_E (Elektrik Tüketiminden Kaynaklanan Indirekt Emisyon) (kg CO_2-eşd/gün)
Ağustos	82256.00	0.497	1362.70
Eylül	80824.00	0.497	1338.98
Ekim	53366.00	0.497	884.09
Kasım	60464.00	0.497	1001.68
Aralık	58714.00	0.497	972.69
Ocak	83146.00	0.497	1377.45
Şubat	81755.00	0.497	1354.40
Mart	97129.00	0.497	1609.10
Nisan	50904.00	0.497	843.30
Mayıs	55310.00	0.497	916.30

SAAT Tesisinde diğer bir indirekt emisyon kaynağı, çamur stabilizasyonun sağlandığı anaerobik çürütücüdür. Ölçüm gününe ilişkin biyogaz ölçümü debimetre ile sağlanmış olup, içeriğindeki CO_2 ve CH_4 gazlarının toplam biyogaz hacmindeki oranlarının sırasıyla GWP değerleri olan 1 ve 28 ile çarpılmasıyla kg CO_2-eşd/gün cinsinden sera gazı emisyon değerleri elde edilmiştir. Biyogazın içeriğindeki diğer oluşan gazlar ihmal edilmiştir. Anaerobik çamur çürütmeden dolayı oluşabilecek muhtemel sera gazı emisyonu değerleri Çizelge 4.5.'te verilmektedir. Ancak biyogazın tamamının kojenere edilmesi sebebiyle, anaerobik çamur çürütücülerden atmosfere sera gazı emisyonu salınmamaktadır. Bu sebeple Çizelge 4.6'da anaerobik çamur çürütme prosesi sonucu oluşan dolaylı sera gazı emisyon değeri 0 olarak alınmıştır. Şekil 4.3.'te SAAT dolaylı sera gazı emisyonlarının ay bazında değişim verilmektedir.

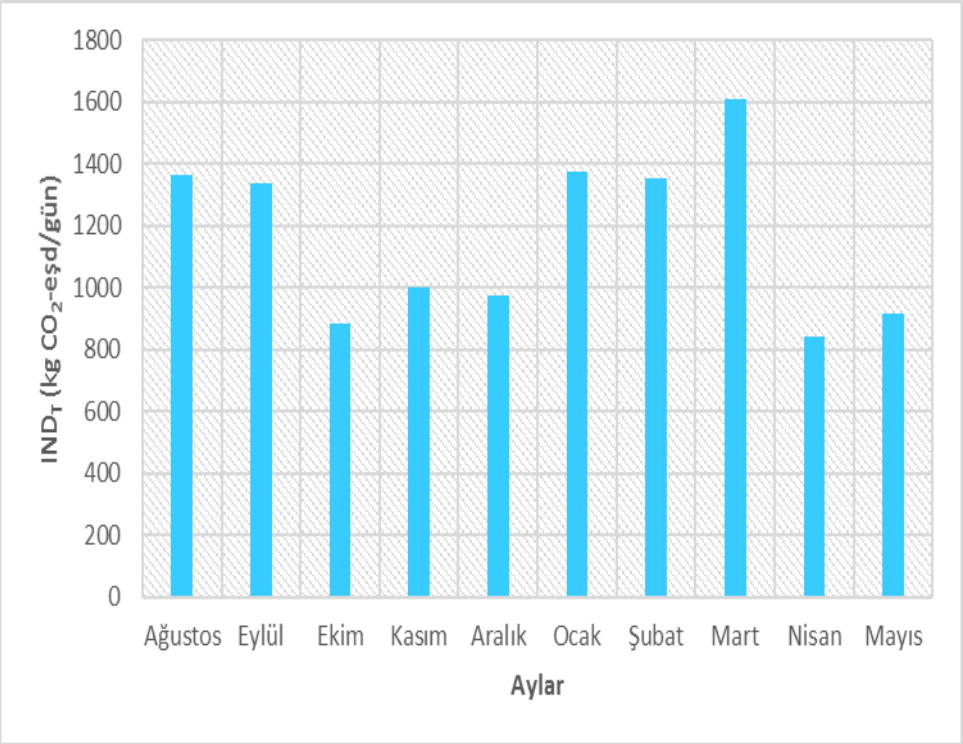
Çizelge 4.5. SAAT Anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan dolaylı SGE değerleri (oluşabilecek muhtemel dolaylı sera gazı emisyon değeri) "1"

Aylar	Biyogaz Miktarı (kg/ay)	CH_4 oranı (%)	CH_4 Emisyonu (kg CO_2-eşd)	CO_2 oranı (%)	CO_2 Emisyonu (kg CO_2-eşd)	Toplam IND_S (kg CO_2-eşd/gün)
Ağustos	29401536.98	56.20	462662586	40.2	11819417.87	15816066.79
Eylül	30727185.40	56.20	483522989.4	40.2	12352328.53	16529177.27
Ekim	30847262.25	56.60	488867412.1	40.2	12400599.42	16708933.72
Kasım	28325648.41	56.30	446525521.6	40.2	11386910.66	15263747.74
Aralık	27430355.43	56.70	435484322.8	40.2	11027002.88	14883710.85
Ocak	14063400.58	56.30	221695446.7	40.2	5653487.032	7578297.79
Şubat	37867435.16	57	604364265.1	40.2	15222708.93	20652899.14
Mart	1135446.686	56.2	17867389.05	41.2	467804.0346	611173.10
Nisan	1323727.185	57	21126685.8814	42	555965.4179	722755.04
Mayıs	841498.5591	60	137175.79	38	319769.4524	481898.17

Çizelge 4.6. SAAT Toplam dolaylı sera gazı emisyon değerleri "1"

Aylar	Elektrik Tüketiminden Kaynaklanan Dolaylı Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün) (IND_E)	Anaerobik Çürütmeden Kaynaklanan Dolaylı Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün) (IND_S)	Toplam IND_T (kg CO_2-eşd/gün)
Ağustos	1362.70	0	1362.70
Eylül	1338.98	0	1338.98
Ekim	884.09	0	884.09
Kasım	1001.68	0	1001.68
Aralık	972.69	0	972.69
Ocak	1377.45	0	1377.45
Şubat	1354.40	0	1354.40
Mart	1609.10	0	1609.10
Nisan	843.30	0	843.30
Mayıs	916.30	0	916.30

"1"Çizelge 4.5.'de anaerobik çamur çürütmeden dolayı oluşan biyogazın tamamı kojenere edildiği için atmosfere verilen sera gazı emisyonu 0'dır. Çizelge 4.6'da toplam dolaylı sera gazı emisyon değerlerinde anaerobik çamur çürütmeden kaynaklı dolaylı sera gazı emisyonları 0 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.3. SAAT dolaylı sera gazı emisyonlarının aylık değişimi

Dolaylı sera gazı emisyonlarındaki değişim, biyogazın tamamının kojenerasyonu sebebiyle anaerobik çamur çürütmeden kaynaklanan emisyonun 0 olması sebebiyle, elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonundan ibarettir. Bu sebeple SAAT için dolaylı sera gazı emisyonu sadece elektrik tüketiminden kaynaklı oluşan sera gazı emisyonudur. En yüksek dolaylı sera gazı emisyonu Mart ayında oluşmuştur (1609.10 kg CO_2-eşd/gün). İncelendiğinde en yüksek elektrik tüketimi de bu aya aittir. En düşük dolaylı sera gazı emisyonu ise Nisan ayında meydana gelmiştir (843.30 kg CO_2-eşd/gün) çünkü bu ay elektrik tüketiminin en düşük olduğu aydır.

4.1.3. Toplam sera gazı emisyonları

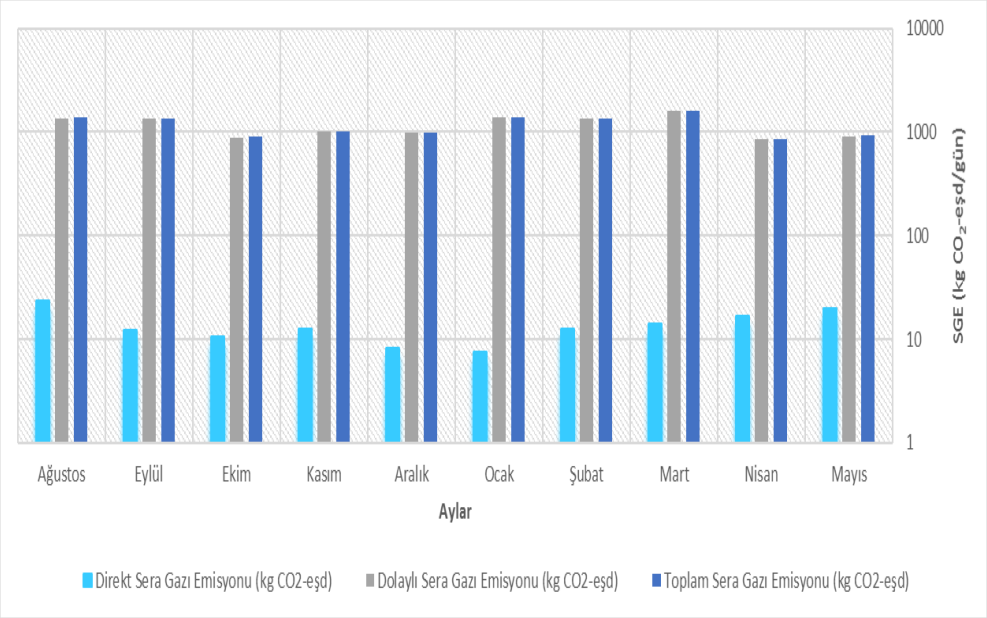
Toplam sera gazı emisyonu, tesiste ölçülen prosesten kaynaklanan direkt emisyonlar ve elektrik tüketimi sonucu oluşan dolaylı sera gazları emisyonlarının

toplamıyla bulunur. çürütmeden kaynaklanan indirekt emisyonların belirleyici SAAT için toplam sera gazı emisyonu Çizelge 4.7.'de verilmektedir.

Çizelge 4.7. SAAT Toplam sera gazı emisyon değerleri

Aylar	Direkt Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)	Dolaylı Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)	Toplam Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)
Ağustos	23.328	1362.70	1386.04
Eylül	12.168	1338.98	1351.15
Ekim	10.656	884.09	894.75
Kasım	12.6	1001.68	1014.29
Aralık	8.28	972.69	980.97
Ocak	7.56	1377.45	1385.01
Şubat	12.744	1354.40	1367.15
Mart	14.112	1609.10	1623.22
Nisan	16.776	843.30	860.08
Mayıs	19.8	916.30	936.10

Elde ettiğimiz bulgularına göre, gözlemlediğimiz en yüksek toplam sera gazı emisyonu, en yüksek indirekt emisyonun oluştuğu ay olan Mart ayına aittir (1623.22 kg CO_2-eşd/gün). En düşük toplam sera gazı emisyonu ise; en düşük indirekt emisyonun oluştuğu ay olan Nisan ayında ölçülmüştür (860.08 kg CO_2-eşd/gün). Şekil 4.4., SAAT toplam sera gazı emisyonlarının değişimini göstermektedir.



Şekil 4.4. SAAT toplam sera gazı emisyonlarının aylık değişimi

SAAT sera gazı emisyon ölçüm sonuçlarının, uluslararası literatürle karşılıklı değerlendirme sonuçları Çizelge 4.8'de detaylı olarak verilmektedir. Shahabadi ve ark. (2009) yaptıkları gıda endüstrisi atıksu arıtma tesisi için yaptıkları çalışmada, çalışmada anaerobik çamur çürütücüden çıkan biyogazın geri kazanımıyla sera gazı emisyonun indirgenebildiğini önermişlerdir. Bu çalışmada ortalama debisi 18 000 m^3/gün olan SAAT için, en yüksek toplam sera gazı emisyonu, biyogaz geri kazanımı sonucu 1609.10 kg CO_2-eşd/gün olarak tespit edilmiştir. Biyogaz geri kazanımının gerçekleştiği 1000 m^3/gün arıtım debisine sahip hibrit sistemli gıda endüstrisi atıksu arıtma tesisindeki değer ise 2694 kg CO_2-eşd/gün olarak Shababadi ve ark. (2009) tarafından hesaplanmıştır.

Kyung ve ark. (2015) toplam sera gazı emisyonu değerini 12.855 kg CO_2-eşd/gün olarak bulmuşlardır. Bunun yüksek oranını, havalandırma havuzunda CH_4 emisyonunun oluşmasından dolayı prosesten kaynaklanan emisyon oluşturmaktadır. Bu çalışmadaysa CH_4 emisyonu, sadece anaerobik çamur çürütme prosesinden indirekt yöntemle kaynaklanmıştır ve biyogaz kojenere edildiği için SAAT'de CH_4 oluşumu söz konusu değildir. Prosesten kaynaklanan CH_4 oluşu söz konusu değildir. En düşük toplam sera gazı emisyonu bu çalışmada 482834.27 kg CO_2-eşd/gün olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8. SAAT ölçüm sonuçlarının literatürle kıyaslanması

Referans	Toplam SGE Ölçümü (kg CO_2-eşd/gün)	Uygulanan Arıtma Prosesi
Bu çalışma	1623.22	A^2O Prosesi
Shabadi ve ark. (2009)	2694	Anaerobik arıtma+AO Prosesi
Shabadi ve ark. (2010)	1023	Anaerobik arıtma+AO Prosesi
Kyung ve ark. (2015)	12.855	5 basamaklı Bardenpho Prosesi
Barbu ve ark. (2017)	17.961	Klasik Aktif Çamur Prosesi
Santin ve ark. (2018)	17.851	Klasik Aktif Çamur Prosesi

4.2. Şanlıurfa OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Emisyon Ölçümü

Şanlıurfa OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi (ŞOSB MAAT) için Ağustos-Mayıs ayları arasında on ay boyunca prosesten kaynaklanan sera gazı ölçümleri kapalı çember metoduyla gerçekleştirilmiştir. Tesiste sera gazı emisyon ölçümü yapılan noktalar, havalandırmalı kum tutucu, ön çökeltim havuzu, kimyasal arıtma ünitesi (koagülasyon-flokülasyon tankı), havalandırma havuzları ve son çökeltim havuzudur. Bu ünitelerde ölçülen emisyonlar, direkt sera gazı emisyonlarıdır. Tesiste oluşan 10 aylık elektrik tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonu ise dolaylı sera gazı emisyonudur. Toplam sera gazı emisyonu ise direkt ve dolaylı sera gazı emisyonlarının toplamına eşittir.

4.2.1. Direkt sera gazı emisyonları

Bu tez çalışması kapsamında direkt sera gazı emisyonları prosesten salınan CO_2 ve CH_4 emisyonlarının toplamı olarak ele alınmıştır. Direkt sera gazı emisyonları, havalandırmalı kum tutucu, ön çökeltim havuzu, flokülasyon-koagülasyon tankı, havalandırma havuzları ve son çökeltim havuzudur. Şanlıurfa OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nde meydana gelen sera gazı emisyon miktarları proses ve ay bazında Çizelge 4.9., Çizelge 4.10., Çizelge 4.11'de verilmektedir. Giriş atıksu değerleri ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. ŞOSB MAAT direkt sera gazı emisyon ölçüm sonuçları

	Toplam Sera Gazı Miktarı (CO_2 + CH_4) (kg CO_2-eşd/gün)									
Ölçüm Noktası	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
Havalandırmalı Kum tutucu	465.264	3.888	2.304	1.8	0	0	0	1.944	3.888	105.048
Koagülasyon-Flokülasyon Havuzu	504	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ön Çökeltim Havuzu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havalandırma Havuzu-I	6.192	10.8	7.128	7.056	7.2	7.776	7.92	8.28	12.888	14.256
Havalandırma Havuzu-II	2.304	1.08	6.192	6.552	5.4	4.68	4.968	5.472	8.568	11.88
Son Çökeltim Havuzu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aylık Toplam Gaz Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)	977.76	15.768	15.624	15.408	12.6	12.456	12.888	15.696	25.344	131.184

Çizelge 4.10. ŞOSB MAAT direkt CO_2 emisyon ölçüm sonuçları

	CO_2 Emisyon Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)									
Ölçüm Noktası	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
Havalandırmalı Kum tutucu	1.584	3.888	2.304	1.8	0	0	0	1.944	3.888	6.264
Koagülasyon-Flokülasyon Havuzu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ön Çökeltim Havuzu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havalandırma Havuzu-I	6.192	10.8	7.128	7.056	7.2	7.776	7.92	8.28	12.888	14.256
Havalandırma Havuzu-II	2.304	1.08	6.192	6.552	5.4	4.68	4.968	5.472	8.568	11.88
Son Çökeltim Havuzu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aylık Toplam Gaz Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)	10.08	15.768	15.624	15.408	12.6	12.456	12.888	15.696	25.344	32.4

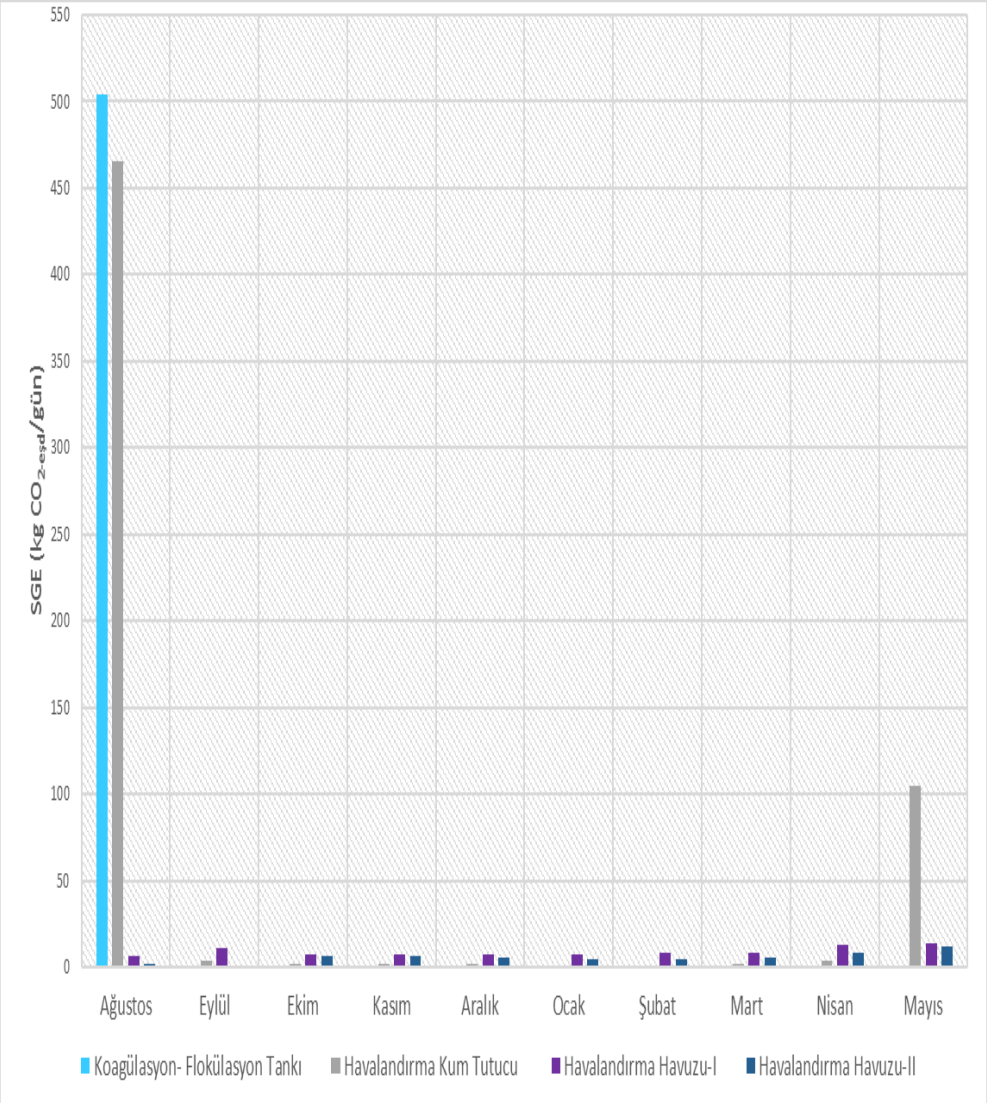
Çizelge 4.11. ŞOSB MAAT direkt CH_4 emisyon ölçüm sonuçları

	CH_4 Emisyon Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)									
Ölçüm Noktası	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
Havalandırmalı Kum tutucu	463.68	0	0	0	0	0	0	0	0	98.784
Koagülasyon-Flokülasyon Havuzu	504	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ön Çökeltim Havuzu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havalandırma Havuzu-I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Havalandırma Havuzu-II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Son Çökeltim Havuzu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aylık Toplam Gaz Miktarı (kg CO_2-eşd/gün)	967.68	0	0	0	0	0	0	0	0	98.784

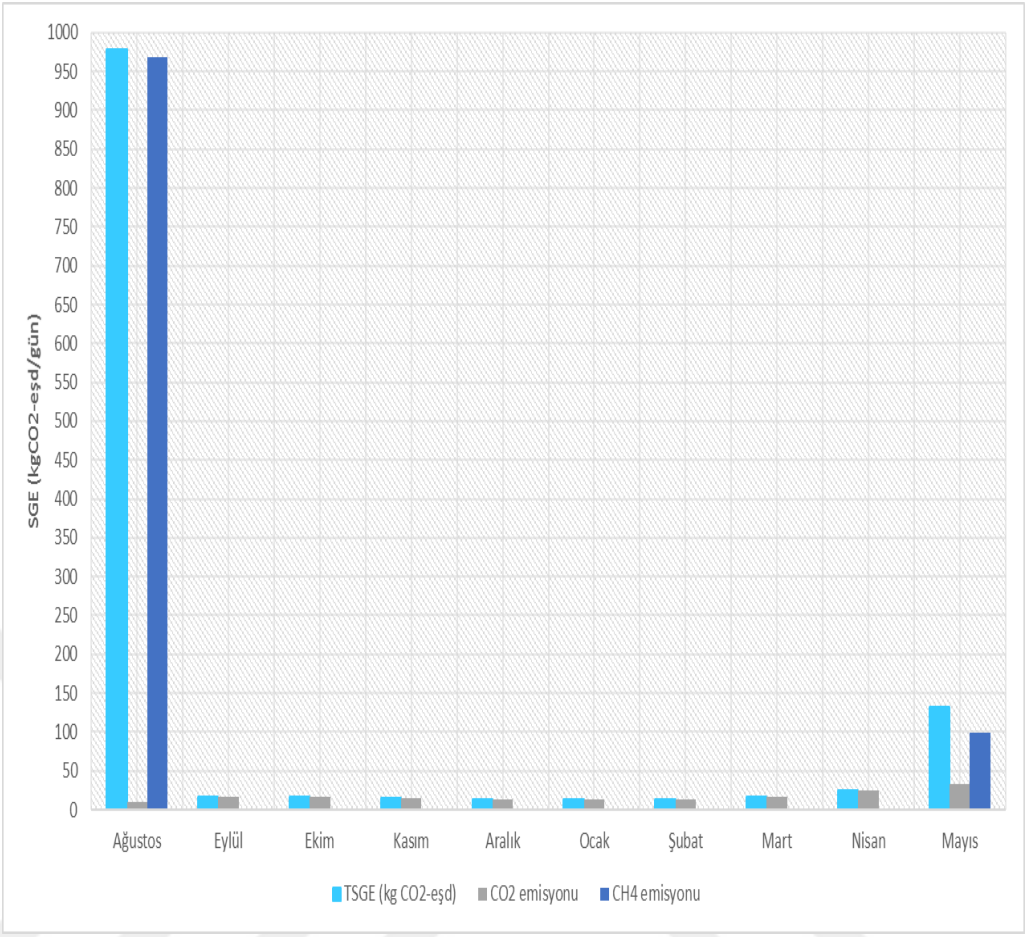
Çizelge 4.12. ŞOSB MAAT ay bazında ölçüm yapılan güne ilişkin atıksu giriş değerleri

Parametre	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs
KOI (mg/L)	997	2319	5714	5537	5639	3399	8088	4896	4225	4027
Yağ-Gres (mg/L)	39	89	284	278	292	246	265	271	258	238
Debi (m^3/gün)	1190	2245	3540	3525	3530	3535	3510	3540	3530	3545
pH	6.7	9.81	9.87	10.45	9.78	10.0	11.16	10.02	10.0	9.97
AKM (mg/L)	788	2200	2950	3960	3520	1860	8600	4398	3975	3725

Proses bazında ve ay bazında oluşan direkt sera gazı emisyonlarının değişimleri Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da verilmektedir. Havalandırmalı kum tutucu, kimyasal arıtma ünitesi ve havalandırma havuzları direkt sera gazı emisyon kaynaklarıdır.



Şekil 4.5. ŞOSB MAAT proses bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi



Şekil 4.6. ŞOSB MAAT ay bazında direkt sera gazı emisyonlarının değişimi

Sonuçlar, en yüksek direkt sera gazı emisyonunun SAAT olduğu gibi Ağustos ayında oluştuğunu göstermektedir (977.76 kg CO_2-eşd/gün). En düşük direkt sera gazı emisyonu ise diğer pilot kentsel atıksu arıtma tesindeki gibi Ocak ayında okunmuştur (12.456 kg CO_2-eşd/gün). Sıcaklık arttıkça prosesten kaynaklanan sera gazı emisyonunda artış olduğu, kış mevsimine geçişle beraber sera gazı emisyonunda azalma olduğu tespit edilmiştir. Kentsel atıksu arıtma tesisinden farklı olarak endüstriyel atıksu arıtma tesisinde hem CH_4 hem de CO_2 emisyonu oluştuğu tespit edilmiştir. Ağustos ve Mayıs aylarında CH_4 emisyonu gözlemlenmiştir. Bundan yola çıkılarak sıcaklığın artmasıyla beraber CH_4 emisyonunun oluştuğu söylenebilir. Havalandırmalı kum tutucuda ise yeterince havalandırılmayan bölmelerde anaerobikleşmeden dolayı CH_4 emisyonu salındığı sonucuna varılabilir. Proses

bazında değerlendirme yapılırsa, havalandırma havuzları CO_2 emisyonu temel kaynaklarıdır. CO_2 emisyonunun oluşumu havalandırma havuzundaki biyokütlenin solunumundan kaynaklanmaktadır. Havalandırmalı kum tutucuda hem CO_2 hem de CH_4 emisyonu oluştuğu gözlemlenmiştir. Havalandırmalı kum tutucuda CO_2 emisyonunun oluşmasının sebebi olarak orada üreyen mikrobiyal kütlenin yaşamsal faaliyetleri gösterilebilir. Proses koşulları ele alındığında, en yüksek CH_4 emisyonun en düşük KOI, debi, yağ-gres, pH ve AKM değerlerinde oluştuğu görülmüştür. Bunun yanında, işletme parametrelerindeki değerlerin artıp azalmasıyla; sera gazı emisyonunda düşüp yükselmesiyle ilgili belli bir korelasyon yoktur. Örneğin KOI'nin artmasıyla sera gazı emisyonu düşmektedir denilemez. En düşük toplam direkt sera gazı emisyonunun oluştuğu Ocak ayında en düşük KOI değeri gözlendiği söylenebilir. Bu tesiste ön çökeltim havuzu ve son çökeltim havuzunda bu aylar arasında hiç sera gazı emisyonuna rastlanmamıştır.

Masuda ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada; bu çalışmaya benzer şekilde, en yüksek değerin yazın olduğu ve en düşük değerin ise kışın olduğunu gözlemlemişlerdir. En yüksek metan emisyonu havalandırma havuzunda tespit ederlerken, bu çalışmada koagülasyon flokülasyon havuzunda oluştuğu görülmüştür. Rodriguez-Caballero ve ark. (2014) Temmuz ve Ekim ayları boyunca kentsel bir atıksu arıtma tesisi için havalandırılan ve havalandırılmayan bölgeler için oluşan emisyon değerlerini ölçümlemişlerdir. En yüksek emisyonunsa havalandırma havuzunda oluştuğu gözlemlenmiştir. Ancak, bu çalışmada ise koagülasyon flokülasyon havuzu en yüksek sera gazı yayan ünite olmuştur. Kyung ve ark. (2015) Bardenpho prosesli atıksu arıtma tesisinde oluşan sera gazı emisyonunu ölçmüşlerdir. CO_2 emisyonu dikkate alındığında en yüksek değere sahip ünite bu çalışmadaki gibi Havalandırma Havuzudur. Diğer temel kaynak ise ön çökeltim tankıdır bu çalışmada ön çökeltim havuzunda sera gazı salınmadığı tespit edilmiştir. Kyung ve ark. (2015) tesis için direkt sera gazı emisyonunu 3701±269 $kgCO_2$-eşd/gün olarak hesaplamışlardır. Bu çalışmadan daha yüksek değerde emisyon tespit etmişlerdir.

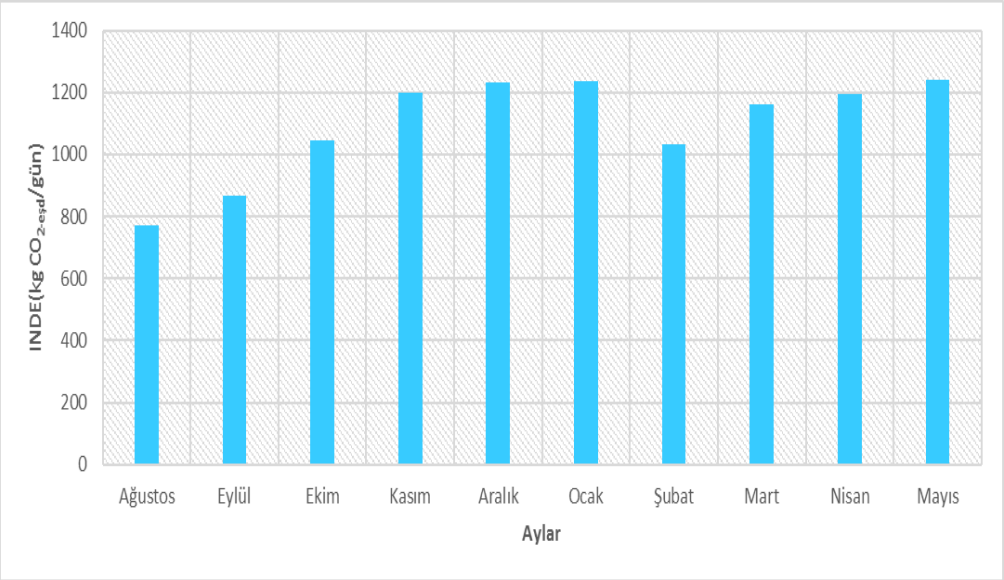
4.2.2. Dolaylı sera gazı emisyonları

Bu tez çalışması kapsamında dolaylı sera gazı emisyonları, ŞOSB MAAT için sadece tesislerin elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyonlar olarak ele alınmıştır. Tesiste oluşan 10 aylık elektrik tüketiminden (CE) kaynaklanan sera gazı emisyonu; dolaylı sera gazı emisyonudur (IND_E). Elektrik tüketiminin Türkiye'ye özgü emisyon faktörüyle (EF) çarpımıyla elde edilen sonuç, indirekt (dolaylı) sera gazı emisyonu miktarıdır. Tesis elektrik tüketimleri (CE); 10 aylık süre boyunca tesis yetkililerinden elektrik faturalarının okunması esasıyla temin edilmiştir.

ŞOSB merkezi atıksu arıtma tesisine ait dolaylı sera gazı emisyon miktarları Çizelge 4.13.'de verilmektedir. Emisyon miktarlarındaki değişim, Şekil 4.7.'de verilmektedir.

Çizelge 4.13. ŞOSB MAAT Dolaylı sera gazı emisyon değerleri

Aylar	CE (Elektrik Tüketimi) (kWh)	EF (Emisyon Faktörü) (kg CO_2-eşd/kWh)	IND_E (Elektrik Tüketiminden Kaynaklanan Indirekt Emisyon) (kg CO_2-eşd/gün)
Ağustos	46475.64	0.497	769.94
Eylül	52301.655	0.497	866.46
Ekim	63066.69	0.497	1044.80
Kasım	72453.105	0.497	1200.30
Aralık	74333.700	0.497	1231.46
Ocak	74747.700	0.497	1238.32
Şubat	62457.075	0.497	1034.70
Mart	70110.250	0.497	1161.49
Nisan	72027.700	0.497	1193.25
Mayıs	74957.680	0.497	1241.79



Şekil 4.7. ŞOSB MAAT dolaylı sera gazı emisyonlarının aylık değişimi

Dolaylı sera gazı emisyonlarındaki değişim, elektrik sarfiyatıyla doğrudan orantılıdır. Elektrik tüketimi arttıkça sera gazı emisyon miktarı da artar. En yüksek dolaylı sera gazı emisyonu Mayıs ayında oluşmuştur (1241.79 kg CO_2-eşd/gün). Bakıldığında en yüksek elektrik sarfiyatı da Mayıs ayına aittir (74957.680 kWh). En düşük dolaylı sera gazı emisyonu ise direkt emisyonun en fazla bu ayda oluşmasına rağmen, Ağustos ayında meydana gelmiştir (769.94 kg CO_2-eşd/gün) çünkü bu ay elektrik tüketiminin en düşük olduğu aydır (46475.64 kWh).

Kyung ve ark. (2015) benzer bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Onların çalışmasında, hibrit sistem için; indirekt emisyon elektrik tüketimi, kimyasal kullanımından hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara benzer şekilde günlük dolaylı sera gazı emisyonu değeri 1893±240 kg CO_2-eşd/gün olduğu bulunmuştur ve aynı hesaplama metodu kullanılmıştır. En yüksek dolaylı emisyonun aerobik kademeden yayıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise, elektrik tüketim değerleri tesiste ana trafoya bağlı sayaçtan okunduğu için (sarfiyatlar elektrik faturasından edinilmiştir) her ünitenin ne kadar elektrik sarfettiği bilinmediğinden ötürü, proses bazında dolaylı sera gazı emisyonu değerlendirmesi yapılamamıştır, sadece ay bazında değerlendirme yapılmıştır. Ancak havalandırma havuzu için gerekli havanın

temininde kullanılan blowerların en fazla elektrik tüketttiği tahmin edilebilir. Bu durumda literatüre paralel sonuçlar elde edilmiştir. Bir diğer çalışmaysa, Shahabadi ve ark. (2009) 'nın gerçekleştirdiği çalışmadır. Onlar da bu çalışmaya benzer sonuçlar elde etmiştir. Aerobik sistem için buldukları indirekt emisyon değeri 1313 kg CO_2-eşd/gündür. Onlar bu çalışmadan farklı olarak, indirekt emisyon hesaplamada kimyasal kullanımını da dikkate almışlardır ve indirekt emisyonunun büyük bir bölümünün kimaysal kullanımından kaynaklandığını bulmuşlardır. Masuda ve ark. (2015) ise elektrik tüketiminden kaynaklanan indirekt emisyonun toplam emisyonun %43.4'ü olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışmada ise elektrik tüketiminin toplam sera gazı emisyonun çok daha büyük oranını oluşturduğu bulunmuştur.

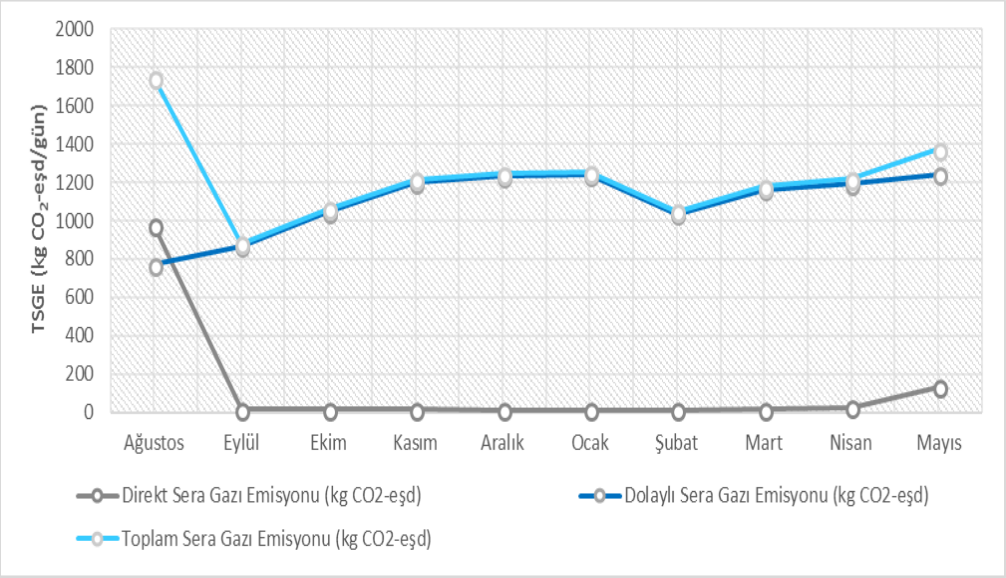
4.2.3. Toplam sera gazı emisyonları

Toplam sera gazı emisyonu, tesiste ölçülen direkt ve dolaylı sera gazlarının toplamını ifade eder. ŞOSB MAAT için toplam sera gazı emisyonu Çizelge 4.14.'te verilmektedir. ŞOSB MAAT için, toplam sera gazı emisyonlarının değişimi Şekil 4.8.'de verilmektedir.

Çizelge 4.14. ŞOSB MAAT Toplam sera gazı emisyon değerleri

Aylar	Direkt Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)	Dolaylı Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)	Toplam Sera Gazı Emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)
Ağustos	977.76	769.94	1747.70
Eylül	15.768	866.46	882.23
Ekim	15.624	1044.80	1060.42
Kasım	15.408	1200.30	1215.71
Aralık	12.6	1231.46	1244.06
Ocak	12.456	1238.32	1250.77
Şubat	12.888	1034.70	1047.59
Mart	15.696	1161.49	1177.18
Nisan	25.344	1193.25	1218.60
Mayıs	131.184	1241.79	1372.98

Çalışma sonuçlarına göre; toplam sera gazı emisyonunun dolaylı sera gazı emisyonunun değişimiyle yakından ilgili olduğu gözlenmiştir. Ağustos ayı hariç, (direkt emisyon, indirekt emisyondan daha yüksektir) toplam sera gazı emisyonun en büyük payını dolaylı sera gazı emisyonu oluşturmaktadır, prosesten kaynaklanan direkt sera gazı emisyonu ise dolaylı sera gazı emisyonuna göre nispeten daha düşük değerdedir.



Şekil 4.8. ŞOSB MAAT toplam sera gazı emisyonlarının aylık değişimi

Şekil 4.8.'de görüldüğü üzere, dolaylı sera gazı emisyonundaki trendle, toplam sera gazı emisyonundaki trend benzerdir ve çakışmaktadır. Çünkü toplam sera gazı emisyonun çok büyük bir bölümünü dolaylı sera gazı emisyonu oluşturmaktadır. En yüksek toplam sera gazı emisyonu değerine Ağustos ayında ulaşılmıştır (1747.70 kg CO_2-eşd/gün). Bunun sebebi direkt CH_4 emisyonun Ağustos ayında gözlenmiş olmasıdır. En düşük toplam sera gazı emisyonu ise Eylül ayında gözlemlenmiştir (882.23 kg CO_2-eşd/gün).

ŞOSB MAAT için proses koşulları değerlendirildiğinde en düşük debide, pH değerinde, KOI, yağ-gres ve AKM konsantrasyonunda (Ağustos ayı) en yüksek toplam sera gazı emisyonunun oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi CH_4 emisyonunun oluşmasıdır. Buradan yola çıkarak, aslında direkt sera gazı emisyonlarının toplam sera gazı emisyonunun oluşumunda kilit gösterge olduğu sonucuna varılabilir.

Literatürdaki diğer çalışmalarla kıyaslandığında, Kyung ve ark. (2015) toplam sera gazı emisyonu değerini 12.855 kg CO_2-eşd/gün olarak bulmuşlardır. Bunun yüksek oranını, havalandırma havuzunda CH_4 emisyonunun oluşmasından dolayı prosesten kaynaklanan emisyon oluşturmaktadır. Bu çalışmadaysa CH_4 emisyonu sadece Ağustos ve Mayıs aylarında oluştuğu ve havalandırma havuzunda gözlemlenmediği için bulunan toplam sera gazı emisyonu değeri onların çalışmasına kıyasla daha düşüktür. Bu da sistemin daha az sera gazı emisyonu yaydığını göstermektedir. Shahabadi ve ark. (2009) ise bu çalışmaya benzer sonuçlar elde etmiştir. Hibrit sistem için uyguladıkları çalışmada toplam sera gazı emisyonunun büyük bölümünün indirekt emisyonlardan kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Toplam sera gazı emisyonu değeri olarak 6617 kg CO_2 eşd/gün değerine ulaşılmıştır. Bu da hibrit sistemlerde bu tesisten çok daha fazla sera gazı emisyonu salındığını tespit ettiklerini göstermektedir. Literatürle karşılaştırmalı değerlendirme Çizelge 4.15.'de verilmektedir.

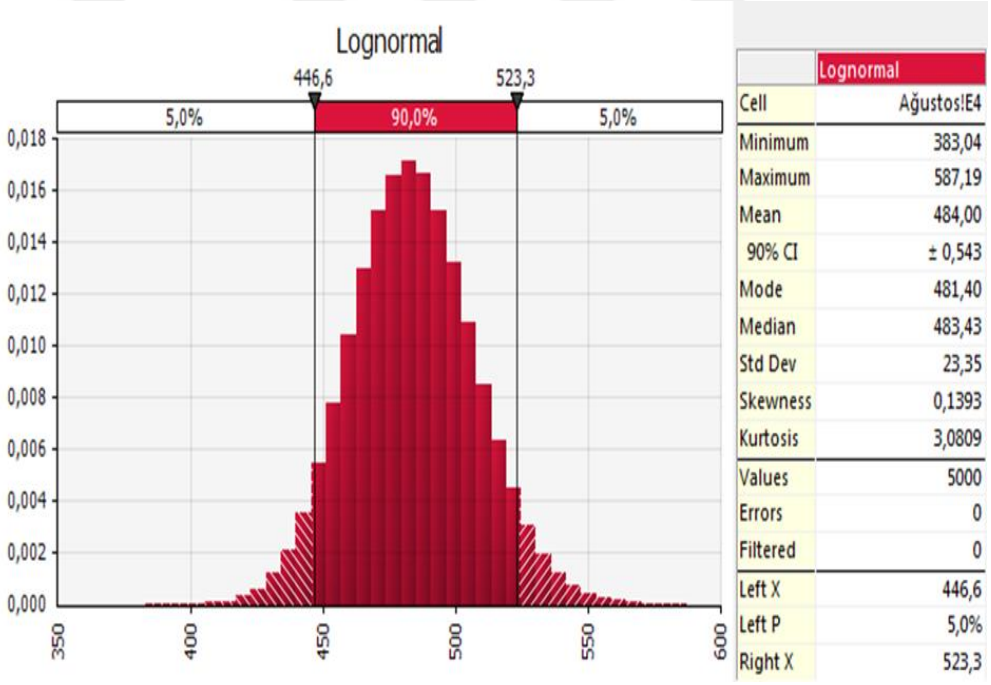
Çizelge 4.15. ŞOSB MAAT ölçüm sonuçlarının literatürle kıyaslanması

Referans	Toplam SGE Ölçümü (kg CO_2-eşd/gün)	Uygulanan Arıtma Prosesi
Bu çalışma	1747.70	Kimyasal Arıtma+Aktif Çamur Prosesi
Shabadi ve ark. (2009)	6617	Anaerobik arıtma+AO Prosesi
Shabadi ve ark. (2010)	1023	Anaerobik arıtma+AO Prosesi
Kyung ve ark. (2015)	12.855	5 basamaklı Bardenpho Prosesi
Barbu ve ark. (2017)	17.961	Klasik Aktif Çamur Prosesi
Santin ve ark. (2018)	17.851	Klasik Aktif Çamur Prosesi

4.3. Monte Carlo Simülasyon Modeli ile Emisyon Miktarı Tahmini ve Minimizasyonu

4.3.1. Siverek Atıksu Arıtma Tesisi sera gazı emisyonları minimizasyonu

Monte Carlo Simülasyonu uygulanan bu çalışmada, Volumetric Reserves 1-Basic @RISK modeli kullanılmış ve minimum değerler 5000 iterasyon ve 1 kez simülasyon gerçekleştirilerek elde edilmiştir. Ağustos ayı için yapılan simülasyon çalışması Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



	Lognormal
Cell	Ağustos!E4
Minimum	383,04
Maximum	587,19
Mean	484,00
90% CI	± 0,543
Mode	481,40
Median	483,43
Std Dev	23,35
Skewness	0,1393
Kurtosis	3,0809
Values	5000
Errors	0
Filtered	0
Left X	446,6
Left P	5,0%
Right X	523,3

@RISK Correlations	TSGE (kg CO2-eşd/gün) in C16	KOI / Output (TSG	BOI (mg/l) / Out	pH / Output (TS	AKM (mg/l) / Ou	Debi (m3/gün
TSGE (kg CO2-eşd/gün)	1					
KOI / Output (TSGE (kg	0	1				
BOI (mg/l) / Output (TSG	0	0	1			
pH / Output (TSGE (kg (	0	0	0	1		
AKM (mg/l) / Output (TS	0	0	0	0	1	
Debi (m3/gün) / Output	0	0	0	0	0	1

Şekil 4.10. SAAT Monte Carlo simülasyonuyla SGE minimizasyonu

SAAT'ne ait ay bazında minimum sera gazı oluşturacak optimum atıksu giriş değerlerinin belirlendiği ve optimum arıtma verimlerinin tanımlandığı simülasyon çalışmasının sonuçları Çizelge 4.16.'da verilmektedir. Havalandırma Havuzu için optimum işletme koşullarının tanımlandığı simülasyon çalışmasının sonuçları ise Çizelge 4.17'de verilmektedir. Bunun sebebi, ise en yüksek direkt emisyonunun bu ünitede oluşmasıdır.

Çizelge 4.16. SAAT Monte Carlo simülasyonu sonucu SGE minimizasyonu

Aylar	Oluşan direkt SGE emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)	İterasyon sonucu minimum oluşabilecek direkt SGE değeri (kg CO_2-eşd/gün)	Optimum KOI (mg/L)	Optimum BOI (mg/L)	Optimum Debi (m^3/gün)	Optimum AKM (mg/L)	Optimum pH	Optimum E_{KOI} (%)	Optimum E_{BOI} (%)	Optimum E_{AKM} (%)
Ağustos	23.328	20.582	383.04	189.96	16914.34	241.76	7.64	83	91	80
Eylül	12.168	10.001	396.313	143.045	17989.03	357.756	7.72	65	63	70
Ekim	10.656	8.542	488.086	231.750	18611.601	379.166	8.56	71	67	73
Kasım	12.6	10.843	536.888	183.461	17770.970	700.944	8.06	64	63	68
Aralık	8.28	6.991	340.739	226.623	17453.516	368.306	8.2	73	75	77
Ocak	7.56	5.341	428.258	185.719	15524.131	451.475	8.14	79	75	82
Şubat	12.744	10.986	464.749	192.531	18697.939	516.584	8.12	63	65	69
Mart	14.112	12.524	946.72	162.161	20101.24	304.586	7.97	63	58	65
Nisan	16.776	13.992	395.8	152.375	18147.78	494.02	8.02	59	58	62
Mayıs	19.8	17.836	252.79	155.29	18082.47	160.26	7.91	52	47	50

Çizelge 4.17. SAAT havalandırma havuzu simülasyon sonucu SGE minimizasyonu

Aylar	Oluşan direkt SGE emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)	İterasyon sonucu minimum oluşabilecek direkt SGE değeri (kg CO_2-eşd/gün)	Optimum HRT (sa)	Optimum çamur yaşı (gün)	Optimum F/M
Ağustos	23.328	20.582	2.42	4	0.1393
Eylül	12.168	10.001	1.969	1.366	0.951
Ekim	10.656	8.542	1.564	1.037	0.581
Kasım	12.6	10.843	2.301	1.897	0.553
Aralık	8.28	6.991	0.826	0.340	0.99
Ocak	7.56	5.341	5.33	0.215	0.999
Şubat	12.744	10.986	2.987	2.304	0.142
Mart	14.112	12.524	2.674	2.539	0.106
Nisan	16.776	13.992	3.626	3.593	0.54
Mayıs	19.8	17.836	7.08	5.684	0.183

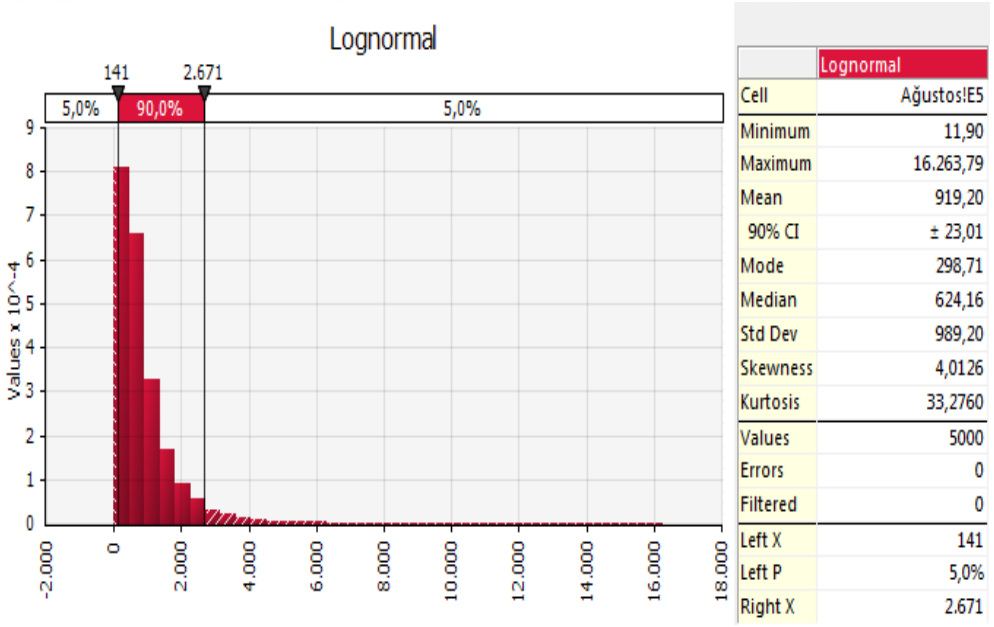
Elde edilen sonuçlara göre, proses koşullarının değiştirilmesiyle sera gazı emisyonun düşürülmesiyle ilgili olarak optimizasyon sağlamak mümkün olmaktadır. SAAT için mevcut işletim parametreleri altında oluşabilecek minimum sera gazı emisyonu değeri 5.341 kg CO_2-eşd/gün'dür. Simülasyon uygulayarak bu minimum sera gazı emisyonu değerini sağlayan optimum atıksu giriş değerleri, optimum kirlilik giderim verimleri ve en çok emisyon ünite olana havalandırma havuzu için optimum işletme koşulları belirlenmiştir.

Monte Carlo Simülasyon sonucuna göre, minimum sera gazı emisyonu salmak için optimum işletme şartları KOI= 428.258 mg/L, BOI= 185.719 mg/L, pH = 8.14, Debi=15524.131 m^3/gün ve AKM=451.475 mg/L'dir. Yapılan ölçümlere ve simülasyon çalışmasına göre, Siverek Atıksu Arıtma Tesisi bu atıksu giriş değerlerinde işletilirse, en düşük sera gazı emisyonunu yayar. Minimum sera gazı emisyonu için olması gereken optimum kirlilik giderimleri ise E_{KOI}= %79, E_{BOI}= %75, ve E_{AKM}= %82'dir. Havalandırma havuzu için optimum işletme koşulları ise, HRT=5.33 sa, çamur yaşı=0.215 gün ve F/M=0.999'dur. Çıkış suyu kalitesi bozulmadan bu işletme koşulları altında tesis işletilirse sera gazı emisyonunda azalma olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde benzer bir çalışma Kyung ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada @RISK yazılımı kullanılırken, onların yaptığı çalışmada Crystal Ball, Ver. 11.1, Co. Oracle yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışmada 5000 deneme uygulanırken, o çalışmada ise 1000 deneme yapılmıştır. Oluşturulan model için belirsizlik analizi yapılarak Monte Carlo Simülasyonuyla, sera gazı emisyonundaki potansiyel değişim tahmin edilmiştir. Bu çalışmadaysa amaç minimize edilmiş değeri bulmaktır.

4.3.2. Şanlıurfa OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi sera gazı emisyonları minimizasyonu

ŞOSB MAAT için de sera gazı emisyonu minimizasyonu yapmak amacıyla optimum işletme parametrelerini belirlemek üzere 5000 iterasyon ve 1 simülasyondan oluşan optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Ağustos ayına ait örnek simülasyon çalıması Şekil 4.11.'de verilmektedir. Çizelge 4.18. ŞOSB MAAT'ye ait uygulanan simülasyon sonucu SGE minimizasyonunu göstermektedir.



	Lognormal
Cell	Ağustos!E5
Minimum	11,90
Maximum	16.263,79
Mean	919,20
90% CI	± 23,01
Mode	298,71
Median	624,16
Std Dev	989,20
Skewness	4,0126
Kurtosis	33,2760
Values	5000
Errors	0
Filtered	0
Left X	141
Left P	5,0%
Right X	2.671

@RISK Correlations	TSGE (kg CO2-eşd/gün) in C16	KOI / Output (TSG	Yağ-Gres (mg/l)	pH / Output (TS	AKM (mg/l) / Ou	Debi (m3/gür
TSGE (kg CO2-eşd/gün)	1					
KOI / Output (TSGE (kg	0	1				
Yağ-Gres (mg/l) / Output	0	0	1			
pH / Output (TSGE (kg (	0	0	0	1		
AKM (mg/l) / Output (TS	0	0	0	0	1	
Debi (m3/gün) / Output	0	0	0	0	0	1

Şekil 4.11. ŞOSB MAAT Monte Carlo simülasyonuyla SGE minimizasyonu

Çizelge 4.18. ŞOSB MAAT Monte Carlo simülasyonu sonucu SGE minimizasyonu

Aylar	Oluşan direkt SGE emisyonu (kg CO_2-eşd/gün)	İterasyon sonucu minimum oluşabilecek direkt SGE değeri (kg CO_2-eşd/gün)	Optimum KOI (mg/L)	Optimum Yağ-Gres (mg/L)	Optimum Debi (m^3/gün)	Optimum AKM (mg/L)	Optimum pH
Ağustos	977.76	919.62	916	11.9	919.79	783.08	6.09
Eylül	15.768	13.878	2316	88.45	2243.3	2198.49	9.66
Ekim	15.624	13.195	3264	124.56	3281.75	2774.16	9.76
Kasım	15.408	13.004	5352.98	130.70	3159.30	3779.79	10.64
Aralık	12.6	10.246	5474.18	126.47	3368.51	3415.11	9.64
Ocak	12.456	9.845	3191.90	58.60	3384.20	1708.53	9.90
Şubat	12.888	11.747	7845.28	72.30	3339.42	8362.73	11.21
Mart	15.696	13.489	4615.02	103.77	3303.7	4065.84	10.13
Nisan	25.344	19.963	3560.41	75.95	3298.37	3547.42	9.80
Mayıs	131.184	100.410	2769.43	236.85	2303.68	2043.22	9.50

Araştırma bulgularına göre ŞOSB MAAT için de atıksu giriş kompozisyonunun optimizasyonuyla tesisten yayılan sera gazı emisyonunun minimizasyonu mümküdür. Tesis için mevcut atıksu giriş değerlerinde oluşabilecek minimum sera gazı emisyonu değeri 9.845 kg CO_2-eşd/gün'dür. Monte Carlo simülasyonu uygulayarak bu minimum sera gazı emisyonu değerinin hangi optimum atıksu giriş değerlerinde oluşabileceği tahmin edilmiştir.

Monte Carlo Simülasyon sonucuna göre, minimum sera gazı emisyonu değerini sağlayan optimum atıksu giriş değerleri; KOI= 3191.90 mg/L, Yağ-Gres= 58.60 mg/L, pH = 9.90, Debi=3384.20 m^3/gün ve AKM=1708.53 mg/L'dir. Yapılan ölçümlere ve uygulanan simülasyona göre, ŞOSB MAAT bu işletme şartları altında işletildiğinde, minimum sera gazı emisyonunu yayacaktır varsayımı yapılabilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma göstermiştir ki, atıksu arıtma tesisleri sera gazı emisyon kaynaklarından biridir. CO_2 ve CH_4 gazları bu tesislerden salınmaktadır. Sera gazı emisyon ölçüm ve minimizasyon çalışmasının sonuçları aşağıda özetlenmektedir.

- ✓ Kentsel atıksu arıtma tesisi olan SAAT'de ve endüstriyel tesis olan ŞOSB MAAT'de oluşan emisyonlar karşılaştırıldığında; direkt emisyonların ŞOSB MAAT'de daha fazla salındığı tespit edilmiştir.

- ✓ SAAT'de prosesten kaynaklanan direkt sera gazı emisyonu kaynakları; kum tutucu, havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzudur. ŞOSB MAAT için ise, havalandırmalı kum tutucu, kimyasal arıtma ünitesi (koagülasyon-flokülasyon havuzu) ve havalandırma havuzlarıdır. İndirekt emisyon kaynakları SAAT için tesisteki elektrik tüketimidir. Anaerobik çamur çürütme prosesi sonucu oluşan biyogazın tamamı kojenere edildiği için atmosfere yayılan sera gazı emisyonu söz konusu değildir. ŞOSB MAAT'de indirekt emisyon sadece elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır.

- ✓ SAAT'de oluşan direkt sera gazı emisyonu sadece CO_2 emisyonudur. Atıksu arıtma prosesinden kaynaklanan CH_4 emisyonu ölçüm periyodunda gözlenmemiştir. ŞOSB MAAT'de ise prosesten kaynaklanan hem CO_2 hem de CH_4 emisyonu ölçülmüştür. Tesiste CH_4 emisyonu kaynakları havalandırmalı kum tutucu ve koagülasyon-flokülasyon havuzudur. CH_4 emisyonunun oluşma sebebi havalandırılmayan bölmelerde anaerobik koşulların oluşumu olabilir.

- ✓ Havalandırma havuzları ve kum tutucular temel CO_2 emisyonu kaynaklarıdır. ŞOSB MAAT için, en yüksek direkt CO_2 emisyonu (arıtma prosesinden kaynaklanan) en yüksek atıksu debisinin olduğu Mayıs ayında görülürken, en düşük CO_2 emisyonuna CH_4 emisyonunun görüldüğü Ağustos ayında rastlanmıştır. SAAT'de ise Ağustos ayında en yüksek direkt CO_2 emisyonu ölçülmüştür. En düşük direkt CO_2 emisyonu ise Ocak ayında görülmüştür.

- ✓ Mevsimsel koşullar göz önüne alındığında, her iki tesis için de prosesten kaynaklanan direkt sera gazı emisyonunun en fazla Ağustos ayında oluştuğu tespit edilmiştir. SAAT ve ŞOSB MAAT için en yüksek direkt sera gazı emisyonları miktarları sırasıyla 23.328 ve 977.76 kg CO_2-eşd/gün'dür. En düşük direkt sera gazı emisyonu değeri ise iki tesis için de Ocak ayına ait olup, SAAT ve ŞOSB MAAT için sırasıyla 7.56 ve 12.456 kg CO_2-eşd/gün'dür.

- ✓ Arıtma tesisleri düşünüldüğünde, Ağustos ayı hariç indirekt emisyonların prosesten kaynaklanan direkt emisyonlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır.

- ✓ Dolaylı sera gazı emisyonu ŞOSB MAAT için sadece tesisteki elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır ve bu değer en yüksek Mayıs ayında gözlenmiştir (1241.79 kg CO_2-eşd/gün). Dolaylı sera gazı emisyonu elektrik tüketmiyle doğru orantılıdır. En düşük dolaylı sera gazı emisyonuysa, elektrik tüketiminin en düşük olduğu ay yani Ağustos ayında meydana gelmiştir (769.94 kg CO_2-eşd/gün). SAAT ise, dolaylı sera gazı emisyonu biyogazın tamamının kojenerasyonu sebebiyle sadece elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Dolaylı sera gazı emisyonu, en yüksek Mart ayında gözlenmiştir (1609.10 kg CO_2-eşd/gün), bunun sebebi ise elektrik tüketiminin en fazla bu ayda olmasıdır. Elektrik tüketiminin en düşük olduğu Nisan

ayında ise dolaylı sera gazı emisyonu en düşük değerini almıştır (843.30 kg CO_2-eşd/gün).

- ✓ Toplam sera gazı emisyonu düşünüldüğünde, endüstriyel atıksu arıtma tesisi olan ŞOSB MAAT'de CH_4 emisyonu oluşan Ağustos ayında en yüksek değer görülmüştür (1747.70 kg CO_2-eşd/gün). En düşük toplam sera gazı emisyonu ise bu tesis için 882.23 kg CO_2-eşd/gün değeriyle Eylül ayına aittir. Toplam sera gazı emisyonunun belirlenmesinde endüstriyel tesis için, CH_4 emisyonunun kilit gösterge olduğu söylenebilir. Atıksu arıtma prosesi sonucu oluşan CH_4 emisyonu, toplam sera gazı emisyonunun maksimum değere ulaşmasına sebep olmuştur. SAAT için ise, toplam sera gazı emisyonu bu tesis için, en yüksek dolaylı sera gazı emisyonun oluştuğu ay olan Mart ayında gözlemlenmiştir (1623.22 kg CO_2-eşd/gün). En düşük toplam sera gazı emisyonu ise 860.08 kg CO_2-eşd/gün olup, Nisan ayına aittir.

- ✓ Proses koşullarının toplam sera gazı emisyonu oluşumuna etkisi incelendiğinde, ŞOSB MAAT için en düşük debi, pH, KOI, yağ-gres ve AKM konsantrasyonunda maksimum toplam sera gazı emisyonu oluştuğu görülmüştür. Bunun sebebi CH_4 emisyonunun Ağustos ayında gözlemlenmiş olmasıdır. Bu da toplam sera gazı emisyonu için, CH_4 emisyonunun belirleyici parametre olduğunu göstermektedir. Buradan yola çıkılarak, her farklı tesis için mevcut işletme parametrelerinin sera gazı emisyonu oluşumuna farklı etki yarattığı söylenebilir. Tesis bazında, işletim parametrelerinin değerlerinin artıp azalmasıyla sera gazı emisyonu değerinin artıp azalır şeklinde bir genelleme yapılamayacağı sonucuna varımıştır.

- ✓ Mevsimsel koşullar, prosesten kaynaklanan sera gazı emisyonu olan direkt emisyonun oluşumunda her iki tesis için de benzer etki göstermiştir. Her iki tesiste de en düşük direkt sera gazı emisyonu Ocak ayında görülüp, maksimum direkt sera gazı emisyonu ise Ağustos ayında görülmüştür.

- ✓ Atıksu giriş değerlerinin değiştirilmesi halinde, sera gazı emisyonlarının minimizasyonu mümkün olabilir. SAAT için, Monte Carlo simülasyon çalışmasına göre, oluşabilecek minimum sera gazı emisyon değeri 5.341 kg CO_2-eşd/gün'dür. Yapılan simülasyona göre, minimum sera gazı emisyon değeri için optimum atıksu giriş değerleri KOI=428.258 mg/L, BOI=185.719 mg/L, pH=8.14, AKM=451.475 mg/L ve debi= 15524.131 m^3/gün'dür. ŞOSB MAAT için yapılan simülasyon çalışmasının sonucunda olabilecek minimum sera gazı emisyonu 9.845 kg CO_2-eşd/gün'dür. Bu minimum sera gazı emisyonunu sağlayacak optimum atıksu giriş değerleri KOI=3191.90 mg/L, Yağ-Gres=58.60 mg/L, pH= 9.90 AKM= 1708.53 mg/L ve debi= 3384.20 m^3/gün'dür. Bu değerler giriş atıksu değerleri ile uyumludur.

- ✓ SAAT için işletme koşullarının değiştirilmesiyle sera gazı minimizasyonu mümkün olabilir. Minimum sera gazı emisyonu salınması için gereken optimum kirlilik giderimleri, E_{KOI}= %79, E_{BOI}= %75 ve E_{AKM}= %82'dir. Havalandırma havuzu için optimum işletme şartları ise, HRT=5.33 sa, çamur yaşı=0.215 gün ve F/M=0.999'dur. Çıkış suyu kalitesi bozulmadan bu işletme koşulları altında tesis işletilirse sera gazı emisyonunda düşüş olabileceği öngörülmektedir. Deşarj standartları sağlanması durumunda tesisi bu şekilde işletilirse minimum sera gazı emisyonu salınmış olur.

5.2. Öneriler

Bu tez çalışması kapsamında, biri evsel biri endüstriyel iki tesis için 10 ay boyunca atıksu arıtım prosesinden kaynaklanan sera gazı emisyonları kapalı çember metoduyla ölçülmüş ve bu değerler atıksu giriş karakterizasyonuyla ilişkilendirilmiştir. İndirekt emisyon olarak; SAAT için hem elektrik tüketimi hem de anaerobik çamur arıtımından kaynaklanan emisyonlar (anaerobik çamur çürütücüde oluşan biyogazın tamamı kojenere edildiğinden buradan yayılan sera gazı emisyonu ihmal edilerek toplam dolaylı sera gazı emisyonu hesaplamalarında 0 olarak kabul

edilmiştir), ŞOSB içinse sadece elektrik tüketimi göz önünde tutularak hesaplama yapılmıştır. Çalışmanın son adımındaysa, Monte Carlo simülasyon metoduyla, atıksu giriş değerlerinin değiştirilmesi ve işletme koşullarının değiştirilmesi suretiyle sera gazı emisyonu minimizasyonu yapılmıştır.

Atıksu arıtma tesislerine, sürekli ölçüm istasyonu kurulup oluşan sera gazı emisyonu SCADA sistemi yardımıyla anlık olarak takip edilebilir.

İndirekt emisyonlara, tesiste kullanılan kimyasallların envanteri tutulup, kimyasal kullanımından dolayı oluşan sera gazı emisyonları dahil edilebilir. Bununla birlikte tesisteki transport (arıtma çamurlarının taşınması, kimyasal taşıma vb.) süreci indirekt emisyon olarak eklenebilir. Ayrıca tesisteki elektrik tüketimi toplam olarak ele alınmıştır. Her üniteye ayrı sayaçlar takılarak ünite bazlı indirekt emisyon hesaplamaları gerçekleştirilebilir. Kapalı çember metodu sadece üstü açık olan ünitelere uygulanabilmiştir. Tesiste belirli noktalara sensörler yerleştirilerek, üstü kapalı olan ünitelerde de sürekli ölçüm sağlanabilir. Bu çalışmayla beraber, kentsel bir atıksu arıtma tesisi için, toplam sera gazı emisyonunu oluşturan majör bileşenin çamur arıtımı olduğu yargısına varılabilir. Çamurun anaerobik stabilizasyonu sonucu oluşan biyogaz en önemli sera etkisi kaynağıdır. Aynı zamanda biyogaz önemli bir biyokütle enerjisi olup, yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyogazın geri kazanımıyla hem sera gazı emisyonu minimize edilecek hem de yenilenebilir enerji kullanımı sağlanacaktır. Ayrıca bu tezde biyogazın içeriğinin belirlendiği dedektörde CO_2 ve CH_4 harici oluşan gazlar göz ardı edilmiştir. Biyogaz içeriğinin mikosensör yardımıyla anlık olarak ölçülmesi daha sağlıklı data elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Bu çalışmada CO_2 ve CH_4 ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bunun yanısıra, ileriki çalışmalarda diğer majör sera gazı olan N_2O ölçümü de eklenerek çalışma genişletilebilir. Azot ve fosfor giderimi gerçekleşen bir tesis için, azot gideriminin N_2O oluşumuna etkisi irdelenebilir.

Proses koşullarının değiştirilmesiyle, yazılım yardımıyla minimizasyon sağlanabilir. Günümüzde, arıtma tesisindeki ünitelerin konfigürasyon varyasyonlarıyla tesislerdeki sera gazı emisyonun azaltılabileceği mümkündür. İklim değişikliğinin etkilerini, atıksu arıtma tesislerinde önlemek için biyomimikri esaslı yöntemler uygulanabilir. Biyomimikri, zamanla doğada test edilmiş ve başarılı olmuş model ve stratejileri taklit ederek, sürdürülebilir ve yenilikçi çözümler üretmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır (Oguntona ve Aigbavboab, 2017). Doğadan ilham alınan inovasyon tekniklerini içerir. Sürdürülebilir yapı uygulamalarında, iklim değişikliği etkilerini sınırlandırması sebebiyle, son zamanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yaklaşımda, atıksu arıtma tesislerinin sürdürülebilir yapı haline getirilmesiyle, atmosfere salacağı sera gazı emisyonlarının azalacağı düşünülmektedir Biomimikri yapı uygulaması, arıtma tesislerinin konstrüksiyonunda kullanılırsa, CO_2 depolaması ve salmaması sebebiyle sera gazını azaltıcı etkisi olabilir. Ayrıca enerji tüketimini azaltmak dolaylı CO_2 emisyonu azaltacak en etkili yöntemlerden birisidir.

Enerji verimliliği sağlamak, atıksu arıtma tesislerinde sera gazı emisyonunu azaltacaktır. Yeşil bina uygulamaları atıksu arıtma tesislerinde de yaygınlaştırılırsa, sera etkisi minimizasyonu sağlanabilir. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması için yenilikçi arıtma teknikleri uygulanabilir. Mikroalgal sistemler bu uygulamaların başında yer almaktadır. Bunun yanı sıra atıksu arıtımında nitrite bağımlı anaerobik metan oksidasyonu (n-damo) prosesi sera gazı azaltan biyolojik yöntemlerden biridir. Biyoçar (biyokömür), birçok değişik biyokütlenin (arıtma çamuru, hayvan gübresi, gıda atıkları vb.) termokimyasal parçalanması sonucu elde edilen bir katı madde türüdür. Biyoçar yönteminin, birçok uygulama alanı vardır. Bunlardan birisi de atıksu arıtımıdır. Atıksu arıtımında biyoçar uygulamasının sera gazının adsorpsiyonuna olanak sağlayan proseslerden biri olduğu söylenebilir. Biyoçar yapısı gereği uzun süre bünyesinde CO_2'i depolayabilir. Bu özelliği sebebiyle, atıksu içeriğinde CO_2'i bünyesinde hapsedecek ve atmosfere salımını önlemiş olacaktır (Qambrani ve ark., 2017). Bu çalışma baz alınıp, sera gazı emisyonu azaltıcı biyolojik ve kimyasal yöntemler geliştirilerek ve pilot tesislerde uygulanarak gerçek ölçekli atıksu arıtma tesislerine uygulanabilir.

KAYNAKLAR

APHA, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, USA.

ASHRAFI, O., 2012. Estimation of Greenhouse Gas Emissions in Wastewater Treatment Plant of Pulp & Paper Industry, Concordia University, Enstitü, Doktora Tezi, Montreal, Quebec, Canada, 132s.

ASHRAFI, O., YERUSHALMI, L. and HAGHIGHAT, F., 2013. Greenhouse gas emission by wastewater treatment plants of the pulp and paper industry – Modeling and simulation. International Journal of Greenhouse Gas Control, 17: 462-472.

BANI SHAHABADI, M.B., YERUSHALMI, L. ve HAGHIGHAT, F., 2009. Impact of process design on greenhouse gas (GHG) generation by wastewater treatment plants. Water Research, 43 (10): 2679–2687.

BANI SHAHABADI, M.B., YERUSHALMI, L. ve HAGHIGHAT, F., 2010. Estimation of greenhouse gas generation in wastewater treatment plants — Model development and application. Chemosphere, 78:1085–1092.

BAO, Z., SUN, S. and SUN, D., 2016. Assessment of greenhouse gas emission from A/O and SBR wastewater treatment plants in Beijing, China. International Biodeterioration & Biodegradation, 108:108-114.

BARBU, M., VILANOVA, R., MENESES, M. ve SANTIN, I., 2017. On the evaluation of the global impact of control strategies applied to wastewater treatment plants. Journal of Cleaner Production, 149: 396-405.

BATSTONE, D.J., KELLER, J., ANGELİDAKI, I., KALYUZHNYI, S.V., PAVLOSTATHIS, S.G., ROZZI, A., SANDERS, W.T.M., SIEGRIST, H. and VAVILIN, V.A., 2002. The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). Water Science and Technology, 45 (10): 65–73.

BBB, 2015. Bursa Büyükşehir Belediyesi Kurumsal ve Kentsel Karbon Ayakizi Envanteri, Bursa, 2015.

BİRPINAR, M.E., 2016. Paris Anlaşması ve Türkiye. Kalkınmada Anahtar Verimlilik, 329: 4 -5.

BMİDÇS, 1992. BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi-United Nations Framework Convention on Climate Change, Rio de Janeiro, Brezilya.

COPP, J.B., 2002. The COST Simulation Benchmark Description and Simulator Manual Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.

COROMINAS, L., FLORES-ALSINA, X., SNIP, L. and VANROLLEGHEM, P.A., 2012. Comparison of different modeling approaches to better evaluate greenhouse gas emissions from whole wastewater treatment plants. Biotechnology and Bioengineering, 109: 2854-2863.

CZEPIEL, P.M., CRILL, P.M. and HARRISS, R.C., 1993. Methane emissions from municipal wastewater treatment processes. Environmental Science and Technology, 27:2472–2477.

DAS, S.R., 2011. Estimation of Greenhouse Gases Emissions from Biological Wastewater Treatment Plants at Windsor, Windsor University, Yüksek Lisans Tezi, Windsor, Ontario, Canada, 128s.

ECONOMICS, 2004. Economics: Monte Carlo Simulation. http://economics.about.com/library/glossary/bldef-monte-carlo simulations.htm

EPA, 1997. Estimate of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment. United States Environmental Protection Agency, Office of Policy Planning and Evaluation, EPA-600/R-97-091, Washington, USA.

ERDOĞAN, M., 2015. Çevresel Tesislerden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 127s.

FLORES-ALSINA, X., ARNELL, M., AMERLINCK, Y., COROMINAS, L., GERNAEY, K.V., GUO, L., LINDBLOM, E., NOPENS, I., PORRO, J., SHAW, A., SNIP, L., VANROLLEGHEM, P.A. and JEPPSSON, U., 2014. Balancing effluent quality, economic cost and greenhouse gas emissions during the evaluation of (plant-wide) control/operational strategies in WWTPs. Science of Total Environment, 466–467: 616–624.

GOH, S., ZHANG, J., LIU, Y. and FANE, A.G. 2015. Membrane Distillation Bioreactor (MDBR) – A lower Green-House-Gas (GHG) option for industrial wastewater reclamation. Chemosphere, 140:129-142.

GORI, R., JIANG, L.M., SOBHANI, R. and ROSSO, D., 2011. Effects of soluble and particulate substrate on the carbon and energy footprint of wastewater treatment processes. Water Research, 45: 5858–5872.

GORI, R., GIACCHERINI, F., JIANG, L.M., SOBHANI, R. and ROSSO, D., 2013. Role of primary sedimentation on plant-wide energy recovery and carbon footprint. Water Science and Technology, 68 (4):870–878.

GUISASOLA, A., SHARMA, K.R., DE HAAS, D., KELLER, J. and YUAN, Z., 2009. Development of a model for assessing methane formation in rising main sewers. Water Research, 43:2874–2884.

GUO, L., PORRO, J., SHARMA, K.R., AMERLINCK, Y., BENEDETTI, L., NOPENS, I., SHAW, A., VAN HULLE, S.W.H., YUAN, Z. and VANROLLEGHEM, P.A., 2012. Towards a benchmarking tool forminimizing wastewater utility greenhouse gas footprints. Water Science and Technology, 66 (11): 2483–2495.

GUO, L. and VANROLLEGHEM, P.A., 2014. Calibration and validation of an activated sludge model for greenhouse gases no. 1 (ASMG1): prediction of temperature dependent N_2O emission dynamics. Bioprocess Biosystem Engineering, 37: 151–163.

GÜLHAN, H., 2017. Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinden Kaynaklanan Sera Gazı Salımının Tahmini, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 183s.

GÜVEN, H., 2012. Farklı Atık Yönetim Senaryolarının Sera Gazı Salımına Etkilerinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 141s.

HENZE, M., GUJER, W., MINO, T., LOOSDRECHT, M.C.M., 2000. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. IWA Scientific and Technical Report no. 9 IWA, London, England.

HIATT, W.C. and GRADY Jr, C.P.L., 2008. An updated process model for carbon oxidation, nitrification, and denitrification. Water Environmental Research, 80 (11): 2145–2156.

IEA, 2016. World Energy Statistics 2016. Key world energy statistics http://www.iea.org/statistics/topics/energybalances/.

IPCC, 2001. Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, England.

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Japonya.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, İngiltere.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, İngiltere.

JEPPSSON, U., PONS, M.N., NOPENS, I., ALEX, J., COPP, J., GERNAEY, K.V., ROSEN, C., STEYER, J.P. and VANROLLEGHEM, P.A., 2007. Benchmark SimulationModel No.2—general protocol and exploratory case studies. Water Science and Technology, 56 (8): 67–78.

KAMPSCHREUR, M.J., TEMMINK, H., KLEEREBEZEM, R., JETTEN, M.S.M. and VAN LOOSDRECHT, M.C.M., 2009. Nitrous oxide emission during wastewater treatment. Water Resources, 43: 4093-4103.

KIM D., BOWEN J.D. and OZELKAN E.C. 2015. Optimization of wastewater treatment plant operation for greenhouse gas mitigation. Journal of Environmental Management, 163:39-48.

KÜLAH, S., 2013. Greenhouse Gas Inventory for an Industrial Wastewater Treatment plant, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 105s.

KYUNG D., KIM M., CHANG, J. and LEE W., 2015. Estimation of greenhouse gas emissions from a hybrid wastewater treatment plant. Journal of Cleaner Production, 95:117-123.

MA, R., HU, Z., ZHANG, J., MA, H., JIANG, L., RU, D., 2017. Reduction of greenhouse gases emissions during anoxic wastewater treatment by strengthening nitrite-dependent anaerobic methane oxidation process. Bioresource Technology, 235: 211-218.

MAMPAEY, K.E., BEUCKELS, B., KAMPSCHREUR, M.J., KLEEREBEZEM, R., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. and VOLCKE, E.I.P., 2013. Modelling nitrous and nitric oxide emissions by autotrophic ammonia-oxidizing bacteria. Environmental Technology, 34(12): 1555-1566.

MANNINA, G. and COSENZA, A., 2015. Quantifying sensitivity and uncertainty analysis of a new mathematical model for the evaluation of greenhouse gas emissions from membrane bioreactors. Journal of Membrane Science, 475: 80–90.

MANNINA, G., EKAMA, G., CANIANI, D., COSENZA, A., ESPOSITO, G., GORI, R., BASERBA, M.G., ROSSO, D. and OLSSON, G., 2016. Greenhouse gases from wastewater treatment — A review of modelling tools. Science of the Total Environment, 551–552: 254–270.

MASUDA, S., SUZUKI, S., SANO, I., LI, Y-Y. and NISHIMURA, O., 2015. The seasonal variation of emission of greenhouse gases from a full-scale sewage treatment plant. Chemosphere, 140:167-173.

METCALF & EDDY, 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4ed, McGraw-Hill international Editions, Boston, USA.

MOLINOS-SENANTEA, M., HERNÁNDEZ-SANCHOB, F., MOCHOLÍ-ARCEA, M. and SALA-GARRIDOA, R., 2014. Economic and environmental performance of wastewater treatment plants: Potential reductions in greenhouse gases emissions. Resource and Energy Economics, 38:125-140.

MONTEITH, H.D., SAHELY, H.R., MACLEAN, H.L. and BAGLEY, D.M., 2005. A rational procedure for estimation of greenhouse-gas emissions from municipal wastewater treatment plants. Water Environmental Research, 77: 390–403.

MYHRE, G. D. M., 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, İngiltere.

NI, B.J., RUSCALLEDA, M., PELLICER-NÀCHER, C. and SMETS, B.F., 2011. Modeling nitrous oxide production during biological nitrogen removal via nitrification and denitrification: extensions to the General ASM Models. Environmental Science and Technology, 45: 7768–7776.

NOPENS, I., BENEDETTI, L., JEPPSSON U., PONS M.N., ALEX J., COPP J.B., GERNAEY K.V., ROSEN C., STEYER J.P. and VANROLLEGHEM P.A., 2010. Benchmark Simulation Model No. 2 – finalisation of plant layout and default control strategy. Water Science and Technology, 62(9): 1967–1974.

OGUNTONA, O.A. ve AIGBAVBOA, C.O., 2017. Biomimicry principles as evaluation criteria of sustainability in the construction industry. Energy Procedia, 142: 2491–2497.

PARAVICCINI, V., SVARDAL, K. and KRAMPE, J., 2016. Greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants. Energy Procedia, 97: 246-253.

PORRO, J., GUO, L., SHARMA, K., BENEDETTI, L., VAN HULLE, S., VANROLLEGHEM, P.A., AMERLINCK, Y., YUAN, Z, SHAW, A. and NOPENS, I. 2011. Towards a benchmarking tool for minimizing wastewater utility greenhouse gas footprints. In: Proceedings of the 8th IWA Symposium on Systems Analysis and Integrated Assessment (WATERMATEX -2011), 20-22 June, San Sebastian, Spain, s.507-517.

PRÉNDEZ, M. and LARA-GONZÁLEZ, S., 2008. Application of strategies for sanitation management in wastewater treatment plants in order to control/reduce greenhouse gas emissions. Journal of Environmental Management, 88: 658–664.

QAMBRANI, N.A., RAHMAN, M.M., WON, S., 2017. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and

wastewater treatment: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews,79: 255–273.

RATKOWSKY, D.A., OLLEY, J., MCMEEKIN, T.A. and BALL, A., 1983. Model for bacterial culture growth rate throughout the entire biokinetic temperature range. Journal of Bacteriology, 154: 1222-1226.

RODRIGUEZ-CABALLERO, A., AYMERICH, I., POCH, M. and PIJUAN, M. 2014. Evaluation of process conditions triggering emissions of green-house gases from a biological wastewater treatment system. Science of The Total Environment, 493:384-391.

RODRIGUEZ-GARCIA, G., HOSPIDO, A., BAGLEY, D.M., MOREIRA, M.T. ve FEIJOO, G., 2012. A methodology to estimate greenhouse gases emissions in Life Cycle Inventories of wastewater treatment plants. Environmental Impact Assessment Review, 37: 37–46.

SANTIN, I., BARBU, M., PEDRET, C.ve VILANOVA, R., 2018. Fuzzy logic for plant-wide control of biological wastewater treatment process including greenhouse gas emissions. ISA Transactions, 77: 146-166.

SPEECE, R.E., 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters, Archae Press, USA.

SWEETAPPLE, C., FU, G. and BUTLER, D., 2014. Identifying sensitive sources and key control handles for the reduction of greenhouse gas emissions from wastewater treatment. Water Research, 62: 249–259.

TAKACS, I., PATRY, G.G. and NOLASCO, D., 1991. A dynamic Model of the Clarification-Thickening. Process. Water Research, 25: 1263–1271.

T.C. ÇŞB, 2016. Türkiye İklim Değişikliği 6. Bildirimi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.

T.C. ÇŞB, 2017. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İklim Değişikliği Daire Başkanlığı. http://www.csb.gov.tr/projeler/iklim/index.php.

T.C. Resmi Gazete, 2014. Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

T.C. Resmi Gazete, 2014. Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

TOYODA, S., SUZUKI, Y., HATTORI, S. YAMADA, K., FUJII, A., YOSHIDA, N., KOUNO, R., MURAYAMA, K. and SHIOMI, H., 2011. Isotopomer analysis of production and consumption mechanisms of N_2O and CH_4 in an advanced wastewater treatment system. Environmental Science and Technology, 45: 917–922.

UNEP, 2012. The Emissions Gap Report 2012. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP).

YAN, X. and LI, L., 2014. Characteristics of greenhouse gas emission in three full-scale wastewater treatment processes. Journal of Environmental Sciences, 26: 256-263.

YAPICIOGLU, P. ve DEMİR, Ö., 2016. Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonlarının Minimizasyonu. International Symposium of Water and Wastewater Management, October 26-28, Malatya, Turkey, s. 574-583.

YAPICIOGLU, P. and DEMİR, Ö., 2017a. Carbon Footprint from Wastewater Treatment Plants. IWA -PPFW 2017 2nd Regional IWA Symposium on water, wastewater and environment. March 22-24, İzmir, Türkiye. s. 194-197.

YAPICIOGLU, P. ve DEMİR, Ö., 2017b. Atıksu Arıtma Tesisleri için İklim Değişikliğine ve Sera Etkisine Genel Bir Bakış. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 22(3): 235-250.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Pelin YAPICIOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Bornova 04.03.1989
Telefon : (0414) 318 1460
Faks : (0414) 318 3799
e-mail : pyapicioglu@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şehit Erkan Özcan (YDA) Lisesi, Konak, İzmir	2007
Üniversite	: Dokuz Eylül Üniveristesi, Çevre Müh., Buca, İzmir	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2013	Teleset Group	İSG ve Çevre Uzmanı
2013-2014	Saint-Gobain Weber	İSG Sorumlusu
2017- Halen	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Atıksuların Arıtılması, İklim Değişikliği, Çevre Yönetim Sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce (Profesyonel Çalışma Yetkinliği)

YAYINLAR

YAPICIOĞLU PELİN,DEMİR ÖZLEM (2017). ATIKSU ARITMA TESİSLERİ İÇİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE VE SERA ETKİSİNE GENEL BİR BAKIŞ. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 22(3), 235-250., Doi: 10.17482/uumfd.306858 (Uluslararası) (Hakemli) (MAKALE Derleme Makale) (Yayın No: 3990204)

DEMİR ÖZLEM,YAPICIOĞLU PELİN (2018). Annual Greenhouse Gas Emission Estimation Of Sludge Treatment In AMunicipal Wastewater Treatment Plant: A Case Study. ICOCEE -2018, 3. INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, pp. 383. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4205125)

YAPICIOĞLU PELİN,DEMİR ÖZLEM (2017). CARBON FOOTPRINT FROM WASTE WATER TREATMENTPLANTS. IWA -PPFW 2017 2nd Regional IWA Symposium on water, wastewater and environment, 194-197. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3457961)

YAPICIOĞLU PELİN,DEMİR ÖZLEM (2016). Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonlarının Minimizasyonu. International Symposium of Water and Wastewater Management October26-28, 2016, Malatya (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3457649)