

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI
SALIMININ TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazal GÜLHAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

OCAK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI
SALIMININ TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazal GÜLHAN
(501141719)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

OCAK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501141719 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hazal GÜLHAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI SALIMININ TAHMİNİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir ALP**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yaşar Avcı
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 25 Kasım 2016
Savunma Tarihi : 6 Ocak 2017





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında evsel atıksu arıtma tesislerinden sera gazı emisyonu konusu araştırılmış, İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisi için emisyon miktarı tahminleri yapılmıştır. Ayrıca ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazı miktarını etkileyen koşullar incelenmiştir. Çalışma TÜBA Bilimsel Araştırma Desteği Programı bursuyla desteklenmiştir.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca kendisinden çok şey öğrendiğim, tez konusu seçimimde ve sonrasında bana rehberlik eden danışman hocam Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK'e, çalışmamda benden yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Recep Kaan DERELİ'ye, hocam Doç. Dr. Çiğdem YANGIN GÖMEÇ'e ve diğer tüm hocalarıma, ayrıca incelenen atıksu arıtma tesisleri hakkında ihtiyaç duyduğum bilgileri benimle paylaşan Yük. Çevre Mühendisi Filiz ÖZTÜRK DAŞKIRAN'a (İSKİ) teşekkür ederim.

Sevgili anneme, babama ve kardeşime her zaman beni destekledikleri ve sevildiğimi hissettirdikleri için minnettarım.

Kasım 2016

Hazal Gülhan
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Literatür Araştırması	2
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	3
2.1. Sera Etkisi ve Küresel Isınma	3
2.2. Küresel İklim Sisteminde Gözlemlenen Değişiklikler.....	5
2.3. İklim Değişikliğinin Nedenleri	5
2.4. İklim Değişikliğinin Etkileri	9
2.5. Gelecekte İklim Değişikliği, Risk ve Etkileri	10
2.6. İklim Değişikliğine Uyum Sağlama ve İklim Değişikliği Etkilerini Hafifletme	12
2.7. İklim Değişikliğine Uluslararası Yaklaşım	13
2.7.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.....	13
2.7.2. Kyoto Protokolü	14
2.7.3. Paris Antlaşması.....	16
2.7.4. İklim finansmanı	17
2.8. İklim Değişikliği ve Türkiye.....	19
2.8.1. Türkiye’de iklim değişikliği projeksiyonu	24
2.8.1.1. Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları çalışması.....	24
2.8.1.2. İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi	25
2.8.1.3. Türkiye’nin sera gazı projeksiyonu	26
2.8.2. Türkiye’nin iklim değişikliği politikası	26
2.8.3. Türkiye’nin iklim değişikliği finansman kaynakları.....	27
3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN SERA GAZI EMİSYONU.....	29
3.1. Türkiye’de Atıksu Arıtma Tesislerinden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonu Hakkında Yapılan Çalışmalar	29
3.2. N ₂ O Emisyonu	30
3.2.1. Atıksu arıtma tesislerinde N ₂ O gazı üretimi	32
3.2.2. N ₂ O emisyonuna neden olan ortam koşulları.....	36
3.2.2.1. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu	36
3.2.2.2. Nitrit (NO ₂ ⁻) konsantrasyonu.....	37
3.2.2.3. KOİ/N oranı.....	37
3.2.2.4. Dolaylı yoldan etkileyen faktörler.....	37

3.3. CH ₄ Emisyonu	38
3.3.1. Atıksu arıtma tesislerinde CH ₄ üretimi	39
3.3.2. CH ₄ emisyonuna neden olan ortam koşulları	40
3.3.2.1. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu	40
4. SERA GAZI PROTOKOLÜ	41
4.1. IPCC (2006) Ulusal Emisyon Envanteri Rehberi	43
4.1.1. N ₂ O emisyonu	43
4.1.2. CH ₄ emisyonu	44
4.2. GPS-X Simülasyon Programı.....	46
4.2.1. Aktif Çamur Modeli No. 1 (ASM1).....	47
4.2.1.1. ASM1’de modellenen dinamik prosesler	52
4.2.1.2. ASM1’in model parametreleri.....	53
4.2.2. Mantis modeli.....	53
4.2.3. Mantis2 modeli.....	54
4.2.3.1. Mantis2 modeli durum değişkenleri	54
4.2.3.2. Mantis2 modeli kompozit değişkenleri	58
4.2.3.3. Mantis2 modeli prosesleri	62
4.2.4. Mantis3 modeli.....	62
4.3. GPS-X Simülasyon Programıyla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Modellenmesi.....	66
5. ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN İSTANBUL’DAKİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİ VE SENARYOLAR	83
5.1. İncelenen Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri	83
5.1.1. Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	87
5.1.2. Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi.....	89
5.1.3. Büyükçekmece İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi.....	92
5.1.4. Çanta İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	94
5.1.5. Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	96
5.1.6. Selimpaşa İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	98
5.1.7. Silivri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi.....	100
5.1.8. Tuzla İkinci Kademe Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla I)	102
5.1.9. Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla II)	104
5.2. İncelenen Senaryolar	106
6. BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN SERA GAZI EMSİYONU POTANSİYELİ HESAPLAMA SONUÇLARININ ANALİZİ ..	107
6.1. IPCC (2006) Ulusal Emisyon Envanteri Rehberi’ne göre Emisyon Tahmini	107
6.1.1. N ₂ O emisyonu potansiyeli hesabı	107
6.1.2. CH ₄ emisyonu potansiyeli hesabı.....	107
6.1.3. Toplam ve birim sera gazı emisyonu potansiyeli	108
6.2. GPS-X Simülasyon Modeli ile Emisyon Miktarı Tahmini	112
6.3. IPCC (2006) Rehberi ile GPS-X Modeli Sonuçlarının Karşılaştırmalı Analizi	128
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	133
7.1. IPCC (2006) Rehber Yöntemi ve GPS-X Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması	133
7.2. Atıksu Özellikleri ve Sera Gazı Emisyon Miktarı Arasındaki İlişki.....	135
7.3. Çamur Yaşının Sera Gazı Emisyonuna Etkisi.....	136
7.4. Havalandırma Havuza Çözünmüş Oksijen Seviyesinin Sera Gazı Emisyonuna Etkisi.....	137

KAYNAKLAR	139
EKLER.....	145
ÖZGEÇMİŞ.....	151





KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AF	: Uyum Fonu
AKAKDO	: Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık
AMO	: Amonyum monooksijenaz
AOB	: Amonyak Oksitleyici Bakteri
ASM	: Aktif Çamur Modeli
BNR	: Biyolojik Besi Maddesi Giderim
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CDM	: Temiz Gelişim Mekanizması
CMA	: Antlaşma Tarafları Toplantısı
CMIP5	: Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
CMP	: Kyoto Protokolü Taraflar Toplantısı
COP	: Sözleşme Taraflar Konferansı
ÇŞB	: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DEN	: Denitrifikasyon bakterileri
DO	: Çözünmüş Oksijen (ÇO)
EF	: Emisyon Faktörü
ET	: Uluslararası Emisyon Ticareti
GCF	: Yeşil İklim Fonu
GEF	: Küresel Çevre Fonu
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
HAO	: Hidroksilamin oksidoredüktaz
HFCs	: Hidroflorokarbon bileşikler
INDC	: Ulusal Niyet Beyanı
IPCC	: Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
IWA	: Uluslararası Su Derneği
İDEP	: İklim Değişikliği ulusal Eylem Planı
İDHYKK	: İklim Değişikliği ve Hava Yönetimi Koordinasyon Kurulu
JI	: Ortak Uygulama
KM	: Katı Madde
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LDCF	: En Az Gelişmiş Ülkeler Fonu
MCF	: Metan Düzeltme Faktörü
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NOB	: Nitrit Oksitleyici Bakteriler
NOH	: Nitrozil radikali
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OSİB	: Orman ve Su İşleri Bakanlığı
PFCs	: Perflorokarbon bileşikler
PHA	: Polihidroksialkanoat

RCP	: Temsili Konsantrasyon Rotaları
RZ	: Radyatif Zorlama değeri
SCCF	: Özel İklim Değişikliği Fonu
SRT	: Çamur yaşı
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TN	: Toplam Nitrojen
TOK	: Toplam Organik Karbon
TP	: Toplam Fosfor
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VROM	: Hollanda Şehir, Bölge Planlama ve Çevre Bakanlığı
WBCSD	: Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi
WCRP	: Dünya İklim Araştırma Programı
WMO	: Dünya Meteoroloji Organizasyonu
WRI	: Dünya Kaynakları Enstitüsü



SEMBOLLER

b_A	: Ototrofik ölüm hızı
b_H	: Heterotrofik ölüm hızı
B_O	: Maksimum CH_4 üretim kapasitesi
f_p	: Partiküler ürünlere dönüşen biyokütle oranı
i_{XB}	: Aktif biyokütle için $N/KOİ$
i_{XB}	: İnert biyokütle için $N/KOİ$
k_a	: Amonifikasyonu hızı
k_h	: Maksimum spesifik hidroliz hızı
K_{NH}	: Ototroflar için amonyak yarı doyumluk sabiti
K_{NO}	: Heterotroflar için nitrat yarı doyumluk sabiti
K_{OA}	: Ototroflar için oksijen yarı doyumluk sabiti
K_{OH}	: Heterotroflar için oksijen yarı doyumluk sabiti
K_S	: Heterotrofik yarı doyumluk sabiti
K_X	: Yavaş bozunabilen $KOİ$ için hidroliz yarı doyumluk sabiti
S_{ALK}	: Alkalinite
S_I	: Çözünmüş inert $KOİ$
S_{ND}	: Bozunabilir çözünmüş organik azot
S_{NH}	: Amonyak azotu
S_{NI}	: Çözünmüş inert azotlu madde
S_{NO}	: Nitrat ve nitrit azotu
S_O	: Çözünmüş oksijen konsantrasyonu
S_S	: Hızlı bozunabilen $KOİ$
X_{BA}	: Ototrofik biyokütle
X_{BH}	: Heterotrofik biyokütle
X_I	: Partiküler inert $KOİ$
X_{NB}	: Aktif biyokütle içindeki azot
X_{ND}	: Bozunabilir partiküler organik
X_{NP}	: Partiküler inert azotlu madde
X_S	: Yavaş bozunabilen $KOİ$
Y_A	: Ototrofik dönüşüm oranı
Y_H	: Heterotrofik dönüşüm oranı
η_g	: Heterotrofların anoksik çoğalması için düzeltme faktörü
η_h	: Anoksik hidroliz için düzeltme faktörü
μ_A	: Ototrofik maksimum spesifik çoğalma hızı
μ_H	: Heterotrofik maksimum spesifik çoğalma hızı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Çeşitli sera gazlarının GWP değerleri (Myhre, 2013).....	5
Çizelge 2.2: Temsili Konsantrasyon Rotalarına göre 100 yıllık tahmini sıcaklık artışı (IPCC, 2014).....	11
Çizelge 2.3: Atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonu miktarları ve payları, 2013 verileri (ÇŞB, 2016).....	23
Çizelge 3.1: Atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazlarının Küresel Isınma Potansiyelleri (Myhre, 2013)	29
Çizelge 3.2: IPCC (2006) Rehberi ve bazı gelişmiş ülkelerin emisyon faktörü karşılaştırması (GWRC, 2011)	31
Çizelge 3.3: Çeşitli tam ölçekli atıksu arıtma tesislerinden raporlanan N ₂ O emisyon faktörleri (Law ve diğ, 2012).....	31
Çizelge 4.1: Sera Gazı Protokolünde belirtilen emisyon raporlama kapsamı özeti (WRI & WBCSD, 2005).....	41
Çizelge 4.2: Atıksu arıtma tesisleri için belirlenmiş sera gazı emisyon kaynakları ve sera gazı türleri (WRF & GWRC, 2013)	42
Çizelge 4.3: IPCC (2006) Rehberinde tanımlanan evsel atıksu için maksimum CH ₄ üretim kapasitesi (BO) (IPCC, 2006)	45
Çizelge 4.4: IPCC (2006) Rehberinde belirlenen MCF değerleri (IPCC, 2006).....	46
Çizelge 4.5: ASM1'in matris gösterimi (Dereli, 2006)	50
Çizelge 4.6: ASM1'de kullanılan parametreler ve önerilen değerler (Dereli, 2006)	51
Çizelge 4.7: Mantis2 modelinin durum değişkenleri (Hydromantis, 2016).....	55
Çizelge 4.8: Kompozit değişkenlerin hesaplanmasında kullanılan stokiometrik parametreler (Hydromantis, 2016).....	58
Çizelge 4.9: Mantis3 modelinin durum değişkenleri (Hydromantis, 2016)	65
Çizelge 5.1: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Tablo 21.4 (ÇOB, 2004)	83
Çizelge 5.2: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, Tablo 1 ve Tablo 2 (ÇOB, 2006).....	84
Çizelge 5.3: İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin atıksu karakterizasyonu ve tasarım kriterleri özet tablosu	85
Çizelge 5.4: Ambarlı İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu	87
Çizelge 5.5: Ataköy İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu.....	89
Çizelge 5.6: Büyükçekmece İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu.....	92
Çizelge 5.7: Çanta İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu	94
Çizelge 5.8: Paşaköy İBAAT atıksu karakterizasyonu.....	96
Çizelge 5.9: Selimpaşa İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu	98
Çizelge 5.10: Silivri İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu.....	100
Çizelge 5.11: Tuzla Birincil Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla I) atıksu karakterizasyonu	102
Çizelge 5.12: Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla II) atıksu karakterizasyonu	104

Çizelge 6.1: IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan biyolojik atıksu arıtma tesislerinden salınan N ₂ O emisyonu potansiyeli hesabı.....	109
Çizelge 6.2: IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan biyolojik atıksu arıtma tesislerinden salınan CH ₄ emisyonu potansiyeli hesabı.....	109
Çizelge 6.3: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinin IPCC (2006) Rehberine ve 2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre Kapsam 1 çerçevesinde hesaplanan sera gazı emisyonu potansiyelleri.....	110
Çizelge 6.4: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinin IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan birim sera gazı emisyonu potansiyelleri (2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre)	110
Çizelge 6.5: İncelenen İSKİ tesislerinin giriş suyu özelliklerinin karşılaştırılması.	112
Çizelge 6.6: İSKİ biyolojik atıksu arıtma tesislerinin tabi olduğu deşarj standartları	113
Çizelge 6.7: İSKİ biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modeliyle hesaplanan deşarj karakterizasyonu.....	113
Çizelge 6.8: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinin GPS-X modelinde 2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre Kapsam 1 çerçevesinde hesaplanan sera gazı emisyonu potansiyelleri.....	117
Çizelge 6.9: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modelinde hesaplanan birim sera gazı potansiyelleri (2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre)	117
Çizelge 6.10: IPCC (2006) Rehberi ve GPS-X modeli sonuçlarının karşılaştırması	129
Çizelge 6.11: Çalışmada hesaplanan CH ₄ emisyon faktörü ile literatür değerlerinin karşılaştırılması	130
Çizelge 6.12: IPCC (2006) Rehberi hesaplarında maksimum CH ₄ üretim kapasitesi 0,17 kabul edildiğinde, anaerobik çürütme yapılan tesislerde elde edilen emisyon faktörleri	131

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Doğal sera etkisinin idealize edilmiş bir modeli (Le Treut ve diğ, 2007)...	4
Şekil 2.2: İklim sisteminde gözlemlenen değişiklikler (IPCC, 2014).	6
Şekil 2.3: MÖ 800000 ve 2014 arasındaki atmosferik CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O değişimi. Her bir renk başka bir veri kaynağını göstermektedir (EPA, 2015).	7
Şekil 2.4: Çeşitli insan kaynaklı sera gazlarının, 1970-2010 döneminde toplam yıllık emisyonlarının değişimi (IPCC, 2014).	8
Şekil 2.5: Başlıca ekonomik sektörler için 2010 yılı yıllık küresel sera gazı emisyonu oranları (UNEP, 2012).	9
Şekil 2.6: Temsili Konsantrasyon Rotalarına göre küresel ısınma ve küresel deniz seviyesi artışı karşılaştırma grafikleri (IPCC, 2014).	11
Şekil 2.7: Temsili Konsantrasyon Rotalarına göre insan kaynaklı sera gazı emisyonu miktarı (IPCC, 2014).	12
Şekil 2.8: Kyoto Protokolü çerçevesindeki piyasa bazlı mekanizmalar.....	15
Şekil 2.9: Zamana bağlı sektörel sera gazı emisyonlarındaki değişim (ÇŞB, 2016).	21
Şekil 2.10: Sektörlere göre 2013 yılı toplam sera gazı emisyonlarının dağılımı.....	21
Şekil 2.11: 1990 ve 2013 yıllarında CH ₄ emisyonlarının sektörel dağılımı.	22
Şekil 2.12: 1990 ve 2013 yıllarında N ₂ O emisyonlarının sektörel dağılımı.....	22
Şekil 2.13: Atık sektöründen kaynaklanan CO ₂ eşdeğer emisyonları (1990-2013) (ÇŞB, 2016).....	23
Şekil 2.14: Önlemler Gözetilen ve Önlemler Gözetilmeyen senaryoların toplam sera gazı emisyonuna göre karşılaştırılması (ÇŞB, 2016).....	26
Şekil 3.1: BNR sistemlerinde azot döngüsü (Kampschreur ve diğ, 2009).....	33
Şekil 3.2: Nitrifikasyon reaksiyonları (Wrage ve diğ, 2001).....	34
Şekil 3.3: Denitrifikasyon enzimleri (Wrage ve diğ, 2001).....	35
Şekil 3.4: Atıksu arıtma tesisinde nitrifikasyonda salınan N ₂ O gazı (GWRC, 2011)	37
Şekil 3.5: N ₂ O emisyonuna neden olan başlıca parametreler (Kampschreur ve diğ, 2009).....	38
Şekil 4.1: ASM1'deki KOİ bileşenleri ve durum değişkenleri (Dereli, 2006).....	48
Şekil 4.2: ASM1'de azot bileşenleri ve durum değişkenleri (Dereli, 2006).....	49
Şekil 4.3: SCOD, COD, SBOD, BOD, SBODU ve BODU kompozit değerleri için hesaplama prosedürü.....	59
Şekil 4.4: VSS ve TSS kompozit değişkenleri için hesaplama prosedürü.....	60
Şekil 4.5: STKN ve TKN kompozit değişkenleri için hesaplama prosedürü.....	60
Şekil 4.6: STP, XTP ve TP kompozit değişkenleri için hesaplama prosedürü.....	61
Şekil 4.7: STOC ve TOC kompozit değişkenleri için hesaplama prosedürü.....	61
Şekil 4.8: Evsel atıksu arıtımı tesisinden kaynaklı potansiyel sera gazı emisyonu (Hydromantis, 2013).....	62
Şekil 4.9: Mantis3 modeli sera gazı emisyonu model yapısı.....	63

Şekil 4.10: Mantis3 modeli atıksuda gerçekleşen proseslere bağlı emisyonlar (Hydromantis, 2013)	64
Şekil 4.11: GPS-X'te model kütüphanesi seçimi.....	66
Şekil 4.12: GPS-X'te çalışılan dosyanın kaydedilmesi	67
Şekil 4.13: GPS-X'te ünite ve elemanların isimlendirilmesi.....	67
Şekil 4.14: GPS-X'te oluşturulan İBAAT akım şeması	68
Şekil 4.15: GPS-X'te giriş suyu modelinin seçilmesi.....	68
Şekil 4.16: GPS-X'te giriş suyu karakterizasyonunun modele tanıtılması.....	68
Şekil 4.17: GPS-X'te giriş suyu karakterizasyonu tablosu.....	69
Şekil 4.18: GPS-X'te giriş debisi bilgisinin modele tanıtılması	70
Şekil 4.19: GPS-X'te giriş debisinin modele girilmesi.....	70
Şekil 4.20: GPS-X'te ünite hacimlerinin modele girilmesi	70
Şekil 4.21: GPS-X'te anaerobik, anoksik ve aerobik tankların boyutlandırılmasının modele girilmesi.....	71
Şekil 4.22: GPS-X'te içsel geri devir debisinin modele girilmesi	71
Şekil 4.23: GPS-X'te son çökeltim tankı modelinin seçilmesi.....	72
Şekil 4.24: GPS-X'te son çökeltim tankı türünün seçilmesi ve boyutlandırmanın modele girilmesi.....	72
Şekil 4.25: GPS-X'te son çökeltim tankından yapılan geri devrin modele tanıtılması.....	73
Şekil 4.26: GPS-X'te çamur yaşının tanımlanması	74
Şekil 4.27: GPS-X'te çamur ünitelerinin modelinin seçilmesi.....	74
Şekil 4.28: GPS-X'te çamur ünitelerinin giderim verimi ve çıkış katı madde konsantrasyonunun modele tanıtılması	75
Şekil 4.29: GPS-X'te karbon ayakizi girdi parametrelerinin ayarlanması	76
Şekil 4.30: GPS-X'te sera gazlarının karbondioksit eşdeğerinin modele girilmesi ..	76
Şekil 4.31: GPS-X'te simülasyon ekranına geçiş	77
Şekil 4.32: GPS-X'te simülasyon ekranı	78
Şekil 4.33: GPS-X'te simülasyon ekranında yeni çıktı sekmesinin oluşturulması....	79
Şekil 4.34: GPS-X'te simülasyon ekranında incelenmek istenen karbon ayakizi çıktılarının seçilmesi	79
Şekil 4.35: GPS-X'te simülasyonun başlatılması	79
Şekil 4.36: GPS-X'te simülasyon çıktılarının raporlanması.....	80
Şekil 4.37: GPS-X'te simülasyon sırasında girdi değiştirmek için kontrol seçimi (debi örneği).....	80
Şekil 4.38: GPS-X'te girdi değerini simülasyon sırasında değiştirme (debi örneği). 80	
Şekil 4.39: GPS-X'te simülasyon sırasında girdi kontrolü değişim ayarları.....	81
Şekil 4.40: GPS-X'te simülasyon sırasında değiştirilecek girdi değerinin minimum ve maksimum değerlerinin seçilmesi ve 'Data File...' tuşu.....	81
Şekil 4.41: GPS-X'te 'Data File' menüsü	81
Şekil 4.42: GPS-X'te simülasyon çıktısı için yeni sekme açma.....	81
Şekil 4.43: GPS-X'te simülasyonda 'Carbon Footprint' çıktı menüsünün açılması .	82
Şekil 4.44: GPS-X'te 'Carbon Footprint' çıktı menüsü	82
Şekil 4.45: GPS-X'te debiye göre değişen sera gazı salımı miktarının grafik olarak gösterimi	82
Şekil 5.1: Ambarlı İBAAT akım şeması.....	88
Şekil 5.2: Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması	91
Şekil 5.3: Büyükçekmece İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması	93
Şekil 5.4: Çanta İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması.....	95
Şekil 5.5: Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması.....	97

Şekil 5.6: Selimpaşa İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması	99
Şekil 5.7: Silivri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi.....	101
Şekil 5.8: Tuzla I Birincil Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması	103
Şekil 5.9: Tuzla II Tesisi akım Şeması	105
Şekil 6.1: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan kişi başı sera gazı emisyonu potansiyellerinin karşılaştırılması	111
Şekil 6.2: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin deşarj karakterizasyonu.....	115
Şekil 6.3: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modeliyle hesaplanan kişi başı sera gazı emisyonu potansiyellerinin karşılaştırılması	118
Şekil 6.4: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin birim debi başına sera gazı emisyon potansiyelleri yönünden karşılaştırılması	119
Şekil 6.5: GPS-X modelinde oluşturulan Ambarlı İBAAT 2. Kademe akım şeması.....	120
Şekil 6.6: Çamur yaşının deşarj karakterizasyonuna etkisi	121
Şekil 6.7: Çamur yaşının Kapsam 1 net sera gazı emisyonu miktarına etkisi.....	122
Şekil 6.8: Havalandırma tankı ÇO konsantrasyonunun deşarj karakterizasyonuna etkisi.....	123
Şekil 6.9: Havalandırma tankı ÇO konsantrasyonunun Kapsam 1 net sera gazı emisyonu miktarına etkisi	124
Şekil 6.10: Havalandırma tankı ÇO konsantrasyonunun biyolojik tanklardan doğrudan N ₂ O gazı emisyonuna etkisi.....	124
Şekil 6.11: KOİ/TKN oranının deşarj karakterizasyonuna etkisi.....	126
Şekil 6.12: KOİ/TKN oranının Kapsam 1 net sera gazı emisyonu miktarına etkisi	127
Şekil 6.13: Şok debi girişinin deşarj karakterizasyonuna ve sera gazı emisyonuna etkisi.....	128



EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI SALIMININ TAHMİNİ

ÖZET

İnsan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazları küresel ısınmaya neden olmakta ve yağış rejimi değişiklikleri ile sıcaklık dalgası, kuraklık ve taşkın gibi olayların gözlenme sıklığındaki artış, bölgesel ve küresel iklim değişikliğini işaret etmektedir. Sanayi Devrimi'nden bu yana artan nüfus, üretim ve tüketim sonucu ivmelenen insan kaynaklı sera gazı emisyonu, sahip olduğu ivmeyle artmaya devam ederse, çevre üzerinde geri dönülemez etkilerinin olacağı tahmin edilmektedir.

Küresel ortalama yüzey sıcaklık artışı, 1880-2012 döneminde, 0,9°C'dir. Uluslararası platformda küresel ısınmaya yönelik yapılan bilimsel çalışmalar, 2050 yılına kadar insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ortalama sıcaklık artışının, Sanayi Devrimi öncesindeki artıştan 2°C fazlası ile sınırlandırılması gerektiğine işaret etmektedir. Bahsedilen hedefin gerçekleştirilebilmesi, her ekonomik sektörün, artan teknolojik olanaklarla, emisyon azaltım görevini yerine getirmesini gerektirmektedir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında, IPCC tarafından yapılan çalışmalar sonucu belirlenen ekonomik sektörler enerji, endüstriyel prosesler ve ürün kullanımı, tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı ve atık sektörüdür. Atık sektöründen sera gazı emisyonu, küresel ölçekte insan kaynaklı emisyon miktarının yaklaşık %3'üne denk gelmekte, atıksu arıtımı ise atık sektörünün yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır.

Evsel atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazları karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitroz oksittir (N₂O). CH₄ ve N₂O'nin küresel ısınma potansiyelleri sırasıyla 28 ve 265 CO₂ eşd'dir. Sera Gazı Protokolü'ne göre, atıksu arıtmada, mikroorganizma faaliyetleri sonucu oluşan (biyogenik) CO₂ gazı salımı, insan kaynaklı sera gazı emisyonu olarak değerlendirilmemektedir. Atıksu toplama kanallarında ve tesiste anaerobik koşullarda organik maddenin biyolojik olarak bozunmasıyla CH₄ gazı oluşurken, havalandırma tankında Amonyum Oksitleyici Bakteri (AOB)'lerin nitrifikasyonu ve denitrifikasyonu (düşük çözünmüş oksijen ve yüksek NO₂-N konsantrasyonunda) ile anoksik tankta heterotrofik denitrifikasyon proseslerinde N₂O gazı ara ürün olarak oluşmaktadır. Oluşan çözünmüş sera gazlarının sıvı fazdan ayrılıp atmosfere salınması ise havalandırma ve sıvı akımı türbülansından kaynaklanmaktadır.

Sera Gazı Protokolü'ne göre, tesis sınırları içinde atıksu arıtımından kaynaklanan ve biyogenik olmayan sera gazı emisyonları, tesisten doğrudan salınan sera gazı emisyonu olarak Kapsam 1 çerçevesinde raporlanmaktadır. Kapsam 2'de, tesiste kullanılmak üzere dışarıdan alınan enerjiye bağlı sera gazı emisyonu, Kapsam 3'te ise dışarıdan satın alınan bütün malzemelerin üretiminden, üretilen ürünün kullanımından, çalışanların ve tedarik zincirindeki ulaşım faaliyetlerinden kaynaklı sera gazı emisyonu raporlanmaktadır.

Evsel atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazı emisyonu miktarı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi taraflarının yıllık ulusal sera gazı emisyonlarını belirlemeleri amacıyla, IPCC tarafından seçilen emisyon faktörlerini içeren, IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanteri Rehberi ile büyük ölçekli emisyon tahminlerine uygun olarak hesaplanabilmektedir. Bunun dışında, matematiksel modeller ve bilgisayar simülasyonları ile tesise özgü koşullar dikkate alınarak tesislerden kaynaklanan doğrudan sera gazı emisyonu daha hassas tahmin edilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinden (Ambarlı, Ataköy, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri ve Tuzla II ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri ile Tuzla I ikinci kademe atıksu arıtma tesisi) kaynaklanan doğrudan sera gazı emisyonu Kapsam 1 çerçevesinde, 2020 yılı nüfus ve kirlilik yükü değerlerine göre, IPCC (2006) Rehberi ve GPS-X simülasyon modeli kullanılarak tahmin edilmiştir.

IPCC (2006) Rehberine göre incelenen 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinin toplam N₂O ve CH₄ emisyon potansiyelleri sırasıyla 6.779 ve 218.593 t CO₂ eşd/yıl, toplam sera gazı emisyonu ise 225.372 t CO₂ eşd/yıl'dır. GPS-X modeli kullanılarak hesaplanan toplam N₂O ve CH₄ emisyon potansiyelleri sırasıyla 690.114 ve 37.429 t CO₂ eşd/yıl'dır. GPS-X modeli ile hesaplanan toplam sera gazı emisyonu miktarı ise 687.357 t CO₂ eşd/yıl'dır. Tesislerin giriş azot yükü başına toplam birim sera gazı emisyonu IPCC (2006) Rehberi ve GPS-X modeliyle sırasıyla %0,09 N₂O-N/N_{giriş} ve %9 N₂O-N/N_{giriş} olarak hesaplanmıştır. Literatürde, tam ölçekli besi gideriminin yapıldığı atıksu arıtma tesislerinden birim sera gazı emisyonunun %0,003-25 N₂O-N/N_{giriş} yükü aralığında olduğu belirtilmektedir. Çalışmada her iki yöntemle hesaplanan sonuçlar literatür bilgisiyle karşılaştırıldığında, sonuçların gerçeğe uygun olduğu sonucuna varılmaktadır. İki yöntem sonuçları arasındaki farkın sebebi, IPCC (2006) Rehberine göre yapılan hesaplarda kullanılan doğrudan N₂O emisyon faktörünün (3,2 g N₂O/kişi/yıl), biyolojik besi maddesi giderimi yapılmayan atıksu arıtma tesisine dayanmasıdır. Dolayısıyla azot giderim mekanizmalarından kaynaklanan N₂O emisyonunun dikkate alınmaması sonucu, bu yöntemle hesaplanan N₂O emisyon miktarı görece daha azdır. GPS-X modeli ile hesaplanan N₂O emisyon miktarı ise, N₂O üretiminde rol oynayan nitrifikasyon ve denitrifikasyon mekanizmalarını içermektedir.

IPCC (2006) Rehberine göre biyolojik arıtma tesislerinden kaynaklanan CH₄ gazı emisyonu miktarı, GPS-X modeli ile hesaplanan değerden daha fazladır. GPS-X modelinde salınan CH₄ emisyonu miktarı olarak, anaerobik çürütücüde üretilen CH₄ miktarının ~0,1'inin atmosfere kaçmasından kaynaklandığı ve biyolojik arıtma tanklarından CH₄ gazı salımı olmadığı kabul edilmektedir. IPCC (2006) Rehberinde tanımlanan maksimum CH₄ üretim kapasitesi (0,25 kg CH₄/kg KOİ), organik maddenin optimum şartlarda en yüksek verim ile anaerobik olarak çürütülmesinden oluşacak CH₄ miktarını verdiği için, bu yöntem ile hesaplanan CH₄ emisyon faktörü değerleri literatür değerlerinden fazla çıkmaktadır. Hesaplarda kullanılan maksimum CH₄ üretim kapasitesi olarak 0,16-0,18 kg CH₄/kg KOİ aralığında bir değer kabul edildiğinde, elde edilen CH₄ emisyon faktörü değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Biyolojik atıksu arıtma tesislerinden doğrudan sera gazı emisyonunu etkileyen kritik faktörler, Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Nihai Kademesi için GPS-X modeli kullanılarak incelenmiştir. Bu çerçevede, Senaryo 1 kapsamında, KOİ/TKN

oranı sadece TKN değeri ile değiştirilerek, atıksu KOİ/TKN oranının tesislerden doğrudan sera gazı emisyonuna olası etkisi incelenmiştir. Senaryo 2’de sadece tesis çamur yaşı ve Senaryo 3’te sadece havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen seviyesi değiştirilerek, tesis işletme şartlarının, tesisten doğrudan sera gazı emisyonu değişimi incelenmiştir. Senaryo 4’te, şok debi yüklemesi ile tesisin iklim şartları nedeniyle aniden maruz kalacağı hidrolik koşulların doğrudan sera gazı emisyonuna etkisi incelenmiştir.

Besi maddesi gideriminin yapıldığı biyolojik atıksu arıtma tesislerinden salınan N_2O emisyonunun en büyük nedeninin AOB denitrifikasyonu olduğu düşünülmektedir. Nitrifikasyon bölgesinde düşük O_2 konsantrasyonunda, ortamda yeterince NO_2^- konsantrasyonu olduğunda AOB’ler NO_2^- ’i e^- alıcı olarak kullanıp kısmi denitrifikasyon yapmaktadırlar. AOB’lerin bünyesinde N_2O indirgeyici enzim bulunmadığından, bu tür denitrifikasyonda N_2O ’ın son ürün olduğu söylenebilir. Nitrifikasyonda AOB’ler tarafından üretilen N_2O miktarı düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonuyla artmaktadır.

Çalışmada, elde edilen sonuçlar, KOİ/TKN oranı düşük olan tesislerde, N_2O emisyonunun arttığını göstermektedir. Bunun sebebi, KOİ/TKN düşük olduğunda, ortamda karbonun limitleyici faktör olması ve bunun sonucu nitrifikasyonun tamamlanamaması ile NO_2^- -N konsantrasyonunun artmasıdır. Artan NO_2^- -N konsantrasyonuyla, AOB denitrifikasyonu ve dolayısıyla N_2O emisyonu artmaktadır.

Çamur yaşının biyolojik atıksu arıtma tesislerinden doğrudan sera gazı emisyonuna etkisi incelendiğinde, artan çamur yaşı ile doğrudan sera gazı emisyonunun azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi, büyüme hızı yavaş olan ototrofik nitrifikasyon bakterilerinin, küçük çamur yaşında tam nitrifikasyon yapamaması ve buna bağlı olarak NO_2^- -N birikmesidir. Ortamda NO_2^- -N konsantrasyonu arttığında AOB’lerin denitrifikasyon faaliyetleri ve dolayısıyla N_2O emisyonu da artmaktadır.

Çalışmada, havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen seviyesi arttığında, nitrifikasyon veriminin arttığı ve aerobik tanktan N_2O emisyonunun azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi artan oksijen seviyesi ile AOB denitrifikasyonunun azalmasıdır. Ancak fazla havalandırma, geri devir çamuruyla çözünmüş oksijenin anaerobik ve anoksik tanka taşınmasına sebep olmuş ve bu tanklarda denitrifikasyon enzimlerinin inhibe olması sonucu N_2O emisyonunun arttığı gözlenmiştir. Buna rağmen, havalandırma tankından N_2O emisyonu miktarı anaerobik ve anoksik tanktaki emisyon miktarından oldukça yüksek olduğu için, tesisin toplam sera gazı emisyonu artan çözünmüş oksijen seviyesi ile azalmaktadır.

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin 7-8 saat boyunca tasarım debisinin %50 fazlası şok debiye maruz kalması durumu GPS-X modeline tanımlanmıştır. Tesisten doğrudan sera gazı emisyonu ve deşarj konsantrasyonlarının, aniden artan debi ile arttığı ancak debi normale döndükten sonra yeniden normal değerlerine geri döndüğü gözlenmiştir.

Çalışmada, biyolojik atıksu arıtma tesislerinde KOİ/TKN oranı yüksek olduğunda artan N_2O emisyonunu engellemek için, tesiste varsa ön çökeltimi azaltarak veya dışarıdan karbon ilavesi yaparak KOİ/TKN oranını nitrifikasyonu ve denitrifikasyonu etkilemeyecek seviyede tutmaya çalışmak önerilmektedir. Düşük çamur yaşıyla bağlantılı kısmi nitrifikasyon sonucu artan sera gazı emisyonunu engellemek için de çamur yaşının yeterince uzun tutulması tavsiye edilmektedir. Havalandırmaya bağlı sera gazı emisyonunu kontrol etmek için, tesisler aerobik bölgede oksijen seviyesi optimum olacak şekilde (<3 mg/L) işletilmelidir.



ESTIMATION OF GREENHOUSE GAS EMISSION FROM DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANTS

SUMMARY

Anthropogenic greenhouse gas emissions lead to global warming, and consequent changes in the precipitation regime, thus increasing the occurrence frequency of extreme weather events, such as heat waves, cold waves, drought, and flood. With population, production and consumption rapidly increasing since the Industrial Revolution, it is estimated that irreversible side effects on the environment will be observed, if emissions related to anthropogenic activities will continue to increase with the same speed.

Between years 1880 and 2012, global mean surface temperature increase is reported to be 0.9°C. Scientific studies on global warming at the international level indicate that the global mean temperature rise caused by human-induced greenhouse gas (GHG) emissions should be limited to 2°C above the increase in human-induced GHG emissions prior to the Industrial Revolution. In order to achieve this goal, every economic sector needs to fulfill its duty to reduce emissions with the help of increasing technological opportunities.

Within the context of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the economic sectors identified by the IPCC are; economy, energy, industrial processes and product use, agriculture, forestry and other land use, and the waste sector. Greenhouse gas emissions from the waste sector account for approximately 3% of global human-induced emissions, while wastewater treatment accounts for the 20% of the waste sector.

The greenhouse gases released from domestic wastewater treatment plants are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). The global warming potentials of CH₄ and N₂O are 28 and 265, respectively. According to the Greenhouse Gas Protocol, the emission of CO₂ gas, which is the result of microorganism activities (biogenic) in wastewater treatment, is not considered among human-induced greenhouse gas emissions. CH₄ occurs in biological treatment of organic matter in anaerobic conditions in wastewater collection channels and treatment plants, while N₂O gas is formed as an intermediate product by the nitrification and denitrification of ammonia oxidizing bacteria (AOBs) in the aeration tank (low dissolved oxygen & high NO₂-N concentration) and in heterotrophic denitrification processes in anoxic tanks. The release of dissolved greenhouse gases from the liquid phase to the atmosphere is due to the ventilation and current turbulence.

AOBs, which play a role in nitrification at wastewater treatment plants, obtain energy when aerobic conditions oxidize NH₄⁺ to NO₂ by nitrification reaction, and N₂O is formed as an intermediate product in this reaction chain. The amount of N₂O produced by AOBs in nitrification increases with low dissolved oxygen concentration. When low concentrations of O₂ and sufficient NO₂ are present in the nitrification zone,

AOBs use NO_2^- as an e^- receptor and perform partial denitrification. It can be said that N_2O is the final product in AOBs denitrification since there is no N_2O reducing enzyme in the AOBs. It is suggested that the largest contributor of N_2O emissions released from biological wastewater treatment plants is the AOB denitrification reaction.

According to the Greenhouse Gas Protocol, emissions of non-biogenic greenhouse gases arising from wastewater treatment within the boundaries of the facility are reported in Scope 1 as greenhouse gas emissions directly emitted from the facility. In Scope 2, the external energy-related greenhouse gas emissions are reported. While in Scope 3, emissions of greenhouse gases arising from the production of all materials purchased from outside, from use of produced product, from employees and transportation activities in the supply chain are reported.

The amount of greenhouse gas emissions emitted from domestic wastewater treatment plants can be calculated in accordance with the IPCC (2006) National Greenhouse Gas Inventory Guideline, which includes the emission factors selected by the IPCC for the purpose of determining the annual national greenhouse gas emissions of the United Nations Framework Convention on Climate Change parties. In addition, direct greenhouse gas emissions from the treatment plants can be estimated more precisely by taking into account the mathematical models and computer simulations as well as the specific conditions.

Within the scope of this study, direct greenhouse gas emissions from 9 major biological wastewater treatment plants in Istanbul (namely; Ambarli, Atakoy, Buyukcekmece, Canta, Pasakoy, Selimpasa, Silivri and Tuzla II advanced biological wastewater treatment plants and Tuzla I primary wastewater treatment plant) is estimated using the IPCC (2006) Guideline and GPS-X simulation model, based on the population and pollution loads of 2020 projections.

According to the IPCC (2006) Guideline, the direct emission factor is 3.2 g N_2O /cap/year while the indirect emission factor is 5 g N_2O /g $\text{N}_{\text{discharge}}$. In the study, it is accepted that industrial wastewater enters the municipal wastewater network. The amount of nitrogen in the discharged water is calculated for indirect N_2O emission after discharge. In order to do this, the TN concentration specified in the discharge standards was multiplied by the plant flowrate to achieve the discharge nitrogen load.

While calculating the CH_4 emission amount according to the IPCC (2006) Guideline, the facility's input COD load was accepted as the total amount of organic matter in the wastewater. Accordingly, CH_4 emission factor was found by multiplying the maximum CH_4 production capacity and the CH_4 correction factor (MCF), where the maximum CH_4 production capacity was selected as 0.25 kg CH_4 / kg COD and the methane correction factor is selected to be 0.8 for anaerobic digesters.

The GPS-X simulation program developed by Canadian Hydromantis Firm defines basic plant processes that can be used in different configurations of water and wastewater treatment. In the GPS-X model, steady state and dynamic simulations can be run selectively, and the standard temperature-sensitive biokinetic models, such as ASM1, ASM2d, ASM3, and 2-stage nitrification (Mantis 2) are also available. The Mantis3 module is used for carbon footprint calculations of wastewater treatment plants. With the GPS-X model, the total emission amount for each unit of greenhouse gas emission and Scope 1, 2, and 3 can thus be calculated. The amount of methane recovered from anaerobic processes is also included in the model and the Mantis3 module includes energy calculations as well.

According to the IPCC (2006) Guideline, the total N_2O and CH_4 emission potential of the plants are 6779 and 218593 t CO_2 eq/year respectively. The total greenhouse gas emission calculated according to the IPCC (2006) Guideline is 225372 t CO_2 eq/year. The total N_2O and CH_4 emission potential of biological treatment plants calculated using the GPS-X model are 690114 and 37429 t CO_2 eq/year respectively and the total amount of greenhouse gas emissions calculated with the GPS-X model is 687357 t CO_2 eq/year. Total greenhouse gas emissions per unit input nitrogen load of the plants were calculated as 0.09% $\text{N}_2\text{O}-\text{N}/\text{N}_{\text{input}}$ and 9% $\text{N}_2\text{O}-\text{N}/\text{N}_{\text{input}}$ with IPCC (2006) Guideline and GPS-X model respectively. Literature states that the unit of GHG emissions from full scale BNR plants is in-between 0.003-25% $\text{N}_2\text{O}-\text{N}/\text{N}_{\text{input}}$. As the results calculated by the above-mentioned methods in this study are compared with the literature figures, it is concluded that the results are compatible with previous studies.

The reason for the difference between the result of two methods is that the direct N_2O emission factor (3.2 g $\text{N}_2\text{O}/\text{cap}/\text{year}$) used in the calculations made with respect to the IPCC (2006) Guideline is based on a wastewater treatment plant without biological nutrient removal. The amount of N_2O emissions calculated by the GPS-X model includes the nitrification and denitrification mechanisms that play a role in producing N_2O . Therefore, as the N_2O emission due to the nitrogen removal mechanisms was not considered, the N_2O emission amount calculated by the IPCC (2006) Guideline is less than the result based on the GPS-X model.

In addition, the amount of CH_4 gas emissions from biological treatment plants calculated according to the IPCC (2006) Guidelines is more than the value calculated by the GPS-X model. In the GPS-X model, it is assumed that the amount of released CH_4 emissions is due to fugitive emissions of ~ 0.1 of the amount of CH_4 produced in the anaerobic digester. The GPS-X model assumes that there is no CH_4 emissions from biological treatment tanks. As the maximum CH_4 production capacity (0.25 kg CH_4/kg COD) defined in the IPCC (2006) Guidelines gives the amount of CH_4 resulting from anaerobic digestion of the organic matter under optimum conditions with the highest yield, the CH_4 emission factor values calculated by this method exceed the literature values. When the maximum CH_4 production capacity is selected in between 0.16-0.18 kg CH_4/kg COD, it is concluded that the obtained CH_4 emission factor values are in accordance with the literature.

Critical factors affecting direct greenhouse gas emissions from biological wastewater treatment plants have been investigated using the GPS-X model for the Ambarlı Advanced Biological Wastewater Treatment Plant Final Stage. Within this context, Scenario 1 presumes that the COD/TKN ratio is changed with the varying TKN values, and examines the possible impact of the wastewater COD/TKN ratio on the greenhouse gas emissions from the facilities. On the other hand, only the sludge age parameter in Scenario 2 and only the dissolved oxygen level in the aeration tank in Scenario 3 was altered in order to investigate the effect of plant operating conditions on greenhouse gas emissions. Finally, Scenario 4 examines the effect of hydraulic conditions on the direct GHG emissions due to climatic conditions, with shock loading.

In this study, it was concluded that N_2O emissions were higher in plants with higher TKN concentrations. When the concentration of $\text{NO}_2\text{-N}$ in the nitrification tank is high, the denitrification activities of the AOBs increase. Furthermore, the results show that the N_2O emission is increased when the COD/TKN ratio is low. This is because when COD/TKN is low, carbon becomes the limiting factor in the sludge, and the $\text{NO}_2\text{-N}$

concentration increases with the incomplete nitrification. With increasing $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration, AOB denitrification and hence N_2O emissions are increasing as well.

It is recommended to keep the COD/TKN ratio at a level that does not affect nitrification and denitrification processes by reducing the activity of the primary sedimentation, or by adding an external carbon source, in order to prevent the increased N_2O emission.

When the influence of sludge age on direct GHG emissions from biological wastewater treatment plants is examined, direct GHG emissions are observed to decrease with increasing sludge age. The reason is that as the growth rate of autotrophic nitrification bacteria is slow, it is unable to complete nitrification at the time of low sludge age and accumulation of $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration as a result of incomplete nitrification. When the concentration of $\text{NO}_2\text{-N}$ in the reactor is increased, the denitrification activities of the AOBs and thus the N_2O emissions are increased.

Since low sludge age results in increasing GHG emissions, to complete the nitrification it is recommended that the sludge age be kept long enough to prevent partial nitrification, which is caused by.

In this study, it is observed that the nitrification efficiency increases and the N_2O emission from the aerobic tank decreases, when the dissolved oxygen level in the aeration tank of the treatment plant increases. This is due to the decrease in the denitrification of AOB with increased oxygen level. However, excessive ventilation caused the transfer of dissolved oxygen to the anaerobic and anoxic tank by the recycled sludge, and the inhibition of denitrification enzymes in these tanks resulted in increased N_2O emissions. Nevertheless, since the amount of N_2O emissions from the aeration tank is considerably higher than the amount emitted in the anaerobic and anoxic tank, it is concluded that the total greenhouse gas emission of the plant is reduced with increasing dissolved oxygen level. In order to control ventilation-related GHG emissions, plants should be operated with optimal oxygen level in the aerobic area ($<3 \text{ mg/L}$).

Finally, the scenario in which the Ambarli Advanced Biological Wastewater Treatment Plant is exposed to 50% shock load is examined via the GPS-X model. It was observed that direct greenhouse gas emission and discharge concentrations increased suddenly with increasing flow, however they returned to regular values after the flow returned to normal as well.

1. GİRİŞ

İnsan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarının küresel ısınmaya neden olduğu bilinmektedir. Küresel ısınmaya bağlı olarak yağış rejimi değişimleri, sıcaklık dalgası, kuraklık ve taşkın gibi olayların gözlenme sıklığındaki artış, bölgesel ve küresel iklim değişikliğini işaret etmektedir.

Sanayi Devrimi'nden beri artan insan kaynaklı sera gazı emisyonu, aynı ivme ile artmaya devam ettiği takdirde Dünya'nın daha da ısınacağı, iklim sistemi bileşenlerinin daha fazla etkileneceği ve çevre üzerinde geri dönülemez etkilere neden olacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle uluslararası platformda küresel ısınmaya karşı önlemler alınmaya çalışılmaktadır. 2050 yılına kadar, insan kaynaklı sera gazı emisyonunun neden olduğu küresel ortalama sıcaklık artışının, Sanayi Devrimi öncesi döneme göre 2°C ile sınırlandırma hedefinin Paris Antlaşması ile 192 ülke tarafından kabul edilmesi bu yolda atılan iyi niyetli bir adımdır. Ancak bu hedefin gerçekleştirilmesi, her ekonomik sektörün üzerine düşen emisyon azaltım görevini yerine getirmesini gerektirmektedir.

Küresel ısınmanın önüne geçmek amacıyla, her ekonomik sektöre olduğu gibi atık sektörüne yönelik emisyon sınırlandırma uygulamalarının da yakın bir gelecekte faaliyete geçmesi beklenmektedir. Bu nedenle atıksu arıtma tesislerden salınan emisyon miktarının belirlenmesi, koyulacak sınırlandırmalar ve alınacak önlemler açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Tezin amacı, evsel atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyonu miktarını tahmin etmek ve emisyon miktarını etkileyen faktörleri incelemektir. Bu kapsamda, İSKİ'ye ait Ambarlı, Ataköy, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri ve Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri ile Tuzla İkinci Kademe Atıksu Arıtma Tesisinden kaynaklanan doğrudan sera gazı emisyon potansiyeli, IPCC (2006) Rehberi'nden yararlanılarak ve GPS-X bilgisayar simülasyon modeli kullanılarak 2020 yılı debi ve kirlilik yükleri için

ayrı ayrı hesaplanmıştır. Atıksu özellikleri ve işletme koşullarının emisyonuna etkisini daha detaylı araştırmak üzere, Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin 2. Kademesinden (Nihai Kademe) kaynaklanan sera gazı emisyonuna atıksu KOİ/TKN oranı, çamur yaşı, havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve şok debi yüklemesi gibi faktörlerin etkisi incelenmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Çalışma kapsamında, sera etkisi ve küresel ısınma ile iklim değişikliği ile ilgili temel bilgiler ve güncel verilere Climate Change: The Physical Science Basis (IPCC, 2007; IPCC, 2013), Climate Change: Synthesis Report (IPCC, 2014), Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies (Moss ve diğ, 2008) ve Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases (EPA, 2015) kaynaklarından ulaşılmıştır.

Türkiye'ye ait verilerde İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı (ÇŞB, 2011), Türkiye İklim Değişikliği 5. ve 6. Bildirimi (ÇŞB, 2013; ÇŞB, 2016) ve İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Sunumu (OSİB, 2016), kaynakları kullanılmıştır.

Atıksu arıtma tesislerinden sera gazı emisyonu araştırmasında genel olarak Nitrous Oxide Emissions From Municipal Wastewater Treatment (Czepiel ve diğ, 1995), Methane Emissions From Municipal Wastewater Treatment Processes (Czepiel ve diğ, 1993), Methane Emission During Municipal Wastewater Treatment (Daelman ve diğ, 2012), Nitrous Oxide Generation in Full-Scale Biological Nutrient Removal Wastewater Treatment Plants (Foley ve diğ, 2010), Nitrous Oxide Emission During Wastewater Treatment (Kampschreur ve diğ, 2009), Nitrous Oxide Emissions From Wastewater Treatment Processes (Law ve diğ, 2012), Role of Nitrifier Denitrification in The Production of Nitrous Oxide (Wrage ve diğ, 2001) ve Mechanisms of N₂O Production in Biological Wastewater Treatment Under Nitrifying and Denitrifying Conditions (Wunderlin ve diğ, 2012) kaynakları kullanılmıştır.

Modelleme ile ilgili literatür araştırmasında ise Evsel Organik Katı Atıklar ve Arıtma Tesisi Çamurlarının Birlikte Anaerobik Arıtımının Modellenmesi (Dereli, 2006) ve GPS-X Technical Reference - V.6.5 (Hydromantis, 2016) kaynakları incelenmiştir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

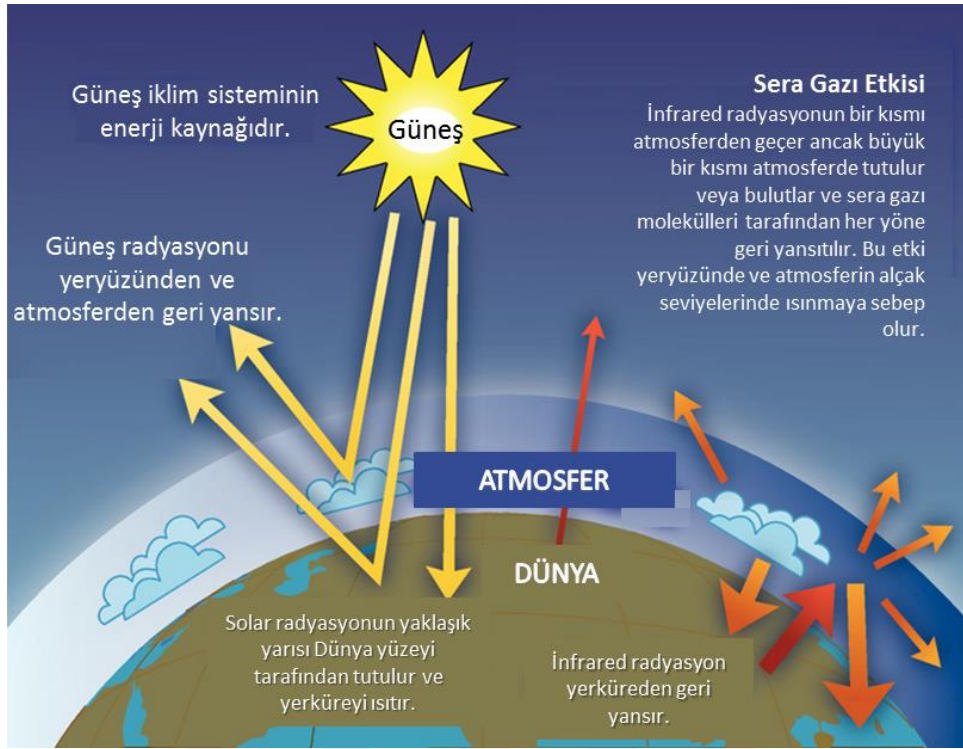
2.1. Sera Etkisi ve Küresel Isınma

İklim, belirli bir dönem (ay, milyon yıl) için sıcaklık, yağış ve rüzgar gibi hava olaylarının ortalaması olarak tanımlanır ve atmosfer, yeryüzü, kar/buz, okyanus/diğer su kütleri ile yaşayan canlılardan oluşan bir sistemdir. Güneş'ten gelen enerji (solar radyasyon), volkan patlamaları ve insan faaliyetleri gibi dış etkenler iklim sistemi dinamiklerini büyük ölçüde etkiler.

Güneş'in yaydığı kısa dalga boylu enerjinin kabaca üçte biri yeryüzüne ulaşmadan atmosferden uzaya yansır. Geriye kalan solar enerji, yerküre ve atmosfer tarafından tutulur (absorblanır). Absorblanan enerjinin dengelenmesi için aynı miktarda enerjinin uzaya geri yansıtılması gerekir. Fakat Dünya Güneş'ten oldukça soğuk olduğu için, yerküre ve okyanuslardan yansıyan termal radyasyon daha uzun dalga boyuna (spektrumda infrared aralığına denk gelir) sahiptir, dolayısıyla bu enerji yerküreden yansdıktan sonra atmosferdeki sera gazları tarafından absorblanır ve uzaya geçişi engellenir. Bu absorplanan enerjinin yerküreyi ısıtması olayına sera etkisi denir (Şekil 2.1). Doğal sera etkisi Dünya'nın canlılar için yaşanabilir bir gezegen olmasını sağlar, ancak insan faaliyetleri sera etkisini yoğunlaştırır ve doğal olmayan bir sıcaklık artışına, küresel ısınmaya yol açar.

Sera etkisi, atmosfer bileşiği ile doğrudan ilgilidir. Atmosferin %78'i olan azot ve %21'i olan oksijen neredeyse hiç sera etkisine sebep olmazken, daha karmaşık ve görece seyrek gazlar sera etkisine yol açar. Sera gazının Dünya'nın enerji dengesine etkisi, atmosferdeki konsantrasyonuna ve yeryüzünden yansıyan radyasyonu absorplama kapasitesine bağlıdır. Su buharı en önemli sera gazı olmasına rağmen, atmosferdeki konsantrasyonu insan faaliyetlerinden doğrudan etkilenmez (dolaylı etkilenme nedenleri sulama ve ormansızlaştırma faaliyetleridir) (Le Treut ve diğ, 2007). İnsan faaliyetleri sonucunda atmosferik konsantrasyonu doğrudan etkilenen ve radyatif zorlama değeri (RZ değeri: iklim değişikliği mekanizmasını etkileyen faktörlerin, Dünya'nın enerji dengesine etkisini gösteren bir ölçüdür (Wm^{-2}), (IPCC,

2007)) en yüksek sera gazları; karbondioksit (CO_2), kloroflorokarbonlar (CFCs), metan (CH_4), ozon (O_3) ve nitroz oksit (N_2O) (Boucher O., 2001).



Şekil 2.1: Doğal sera etkisinin idealize edilmiş bir modeli (Le Treut ve diğ., 2007).

Küresel Isınma Potansiyeli

Çeşitli emisyonların iklime etkisini anlamak, bu etkileri birbirleriyle karşılaştırmak ve emisyonları azaltmak için alınacak önlemleri belirlemek adına kapsayıcı ölçü birimleri kullanılmaktadır. En yaygın ölçü birimi Kyoto Protokolü'nde kullanılmak üzere Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (International Panel on Climate Change (IPCC)) tarafından tanımlanan Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential (GWP))'dir. GWP, incelenen gaz için belirli bir zaman aralığında, belirli bir miktarda emisyonunun neden olduğu kümülatif RZ değerinin, rölatif gaz olan CO_2 'in aynı zaman aralığı ve emisyon miktarının kümülatif RZ değerine oranı olarak tanımlanır. GWP, incelenen gazın, CO_2 'e göre iklim sistemine yüklediği toplam enerjidir, ancak GWP sıcaklık veya diğer iklim sistemi değişkenleri ile ilgili doğrudan bir parametre değildir. GWP "CO₂ eşleniği emisyon" şeklinde ifade edilir. Kyoto Protokolü'nde GWP değeri hesaplarında zaman aralığı 100 yıl olarak ifade edilmiştir. Seçilen zaman aralığının GWP değerleri üzerinde etkisi oldukça fazladır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Çeşitli sera gazlarının GWP değerleri (Myhre, 2013)

Kimyasal Adlandırma	Formül	Atmosferik Ömür (yıl)	GWP (20 yıl)	GWP (100 yıl)
Karbon dioksit	CO ₂	-*	1	1
Metan	CH ₄	12,4	84	28
Nitröz Oksit	N ₂ O	121	264	265
CFC-11	CCl ₃ F	45	6900	4660
HCHC-21	CHCl ₂ F	1,7	543	148

* CO₂ için tek bir atmosferik ömür verilemez.

2.2. Küresel İklim Sisteminde Gözlemlenen Değişiklikler

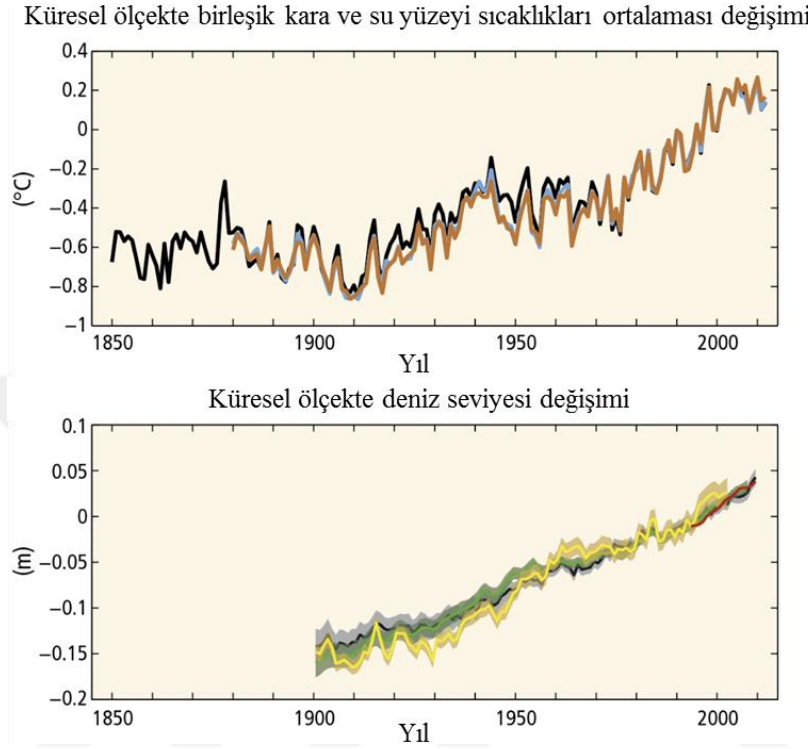
IPCC tarafından 2014 yılında yayınlanan 5. Değerlendirme Raporu'na göre, 1880-2012 döneminde küresel ortalama yüzey sıcaklık artışı 0,9°C'dir (Şekil 2.2). Kuzey Yarım Küre'de 1983-2012 dönemi, son 1400 yılın en sıcak 30 yılıdır ve orta enlemdeki karasal alanlarda yağış miktarı 1901'den bu yana artmıştır. Okyanus yüzeyi tuzluluğundaki değişiklikler ise su döngüsündeki değişimi dolaylı yollardan kanıtlamaktadır. Yüksek tuzluluk gözlenen, buharlaşmanın hakim olduğu bölgelerde tuzlulukta artış; az tuzluluk gözlenen yağışın hakim olduğu bölgelerde tuzlulukta düşüş gözlenmiştir.

Endüstriyel çağın başlangıcından bu yana okyanusların CO₂ tutmasının (absorplamasının) sonucu olarak, okyanus yüzeyinin pH'ı 0,1 azalmış ve asidite %26 oranında artmıştır. 1992-2011 periyodunda Grönland ve Güney Kutbu buz örtüsünde kütle kaybı gözlenmiştir. 1901-2010 döneminde, deniz seviyesi küresel ortalaması 0,19 m artmıştır (Şekil 2.2) (IPCC, 2014).

2.3. İklim Değişikliğinin Nedenleri

İnsan kaynaklı sera gazlarından CO₂, CH₄ ve N₂O atmosferik konsantrasyonları, endüstriyel dönem öncesine göre büyük artış göstermiştir. 1700'lerin sonlarına doğru ortalama atmosferik CO₂ konsantrasyonu 280 ppm iken, 2013'te 399 ppm olarak ölçülmüştür (%43 artış) (Şekil 2.3). Bu artışın tamamına yakını insan kaynaklı faaliyetler sonucudur. 1750-2011 yılları arasında, kümülatif insan kaynaklı CO₂'in atmosferik konsantrasyonu 2040±310 Gt CO₂'tir ve bu miktarın %40'ı (880±35 Gt CO₂) atmosferde, geri kalanı karada (bitkiler ve toprakta) birikmiştir. Okyanuslar ise salınan CO₂'in %30'unu absorplamış ve dolayısıyla daha asidik hale gelmiştir. İklim

değişikliğine karşı alınan önlemlere rağmen sadece 2010 yılında insan kaynaklı sera gazı emisyonu $49 \pm 4,5$ Gt CO₂ eşd/yıl'dır. 1970-2010 yılları arasındaki insan kaynaklı sera gazı emisyonundaki artışın %78'i fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmıştır (IPCC, 2014).



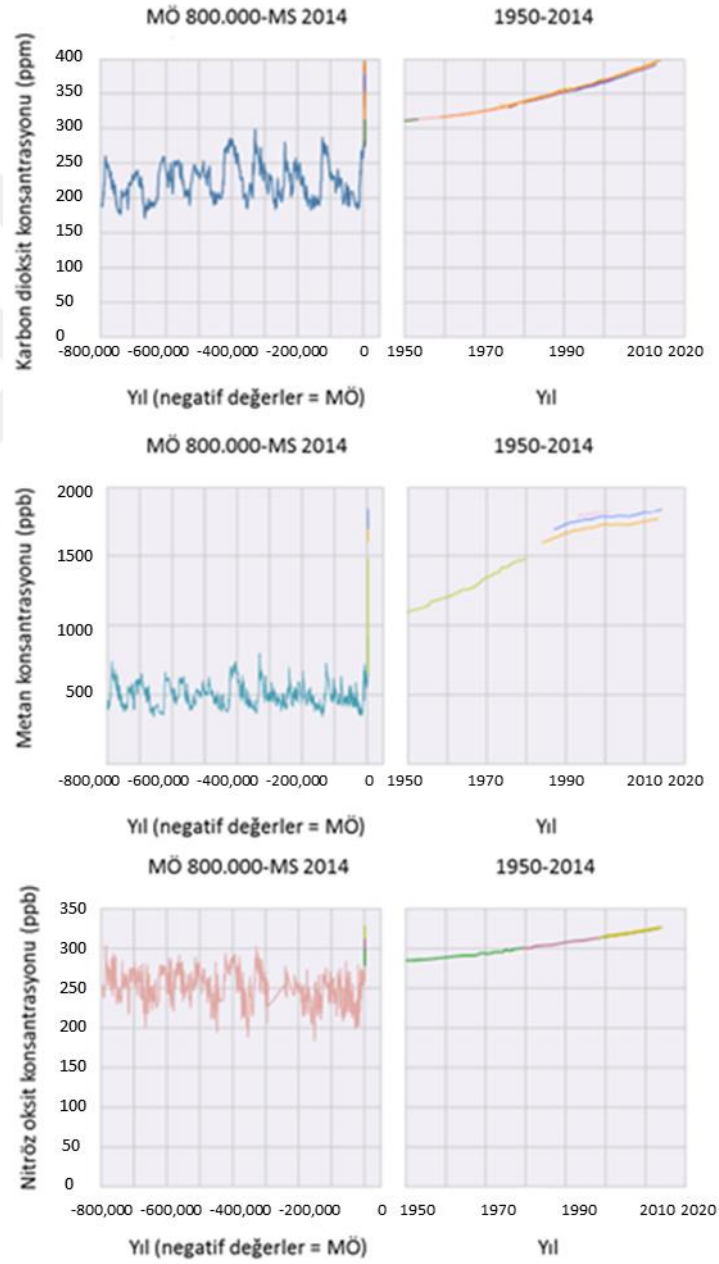
Şekil 2.2: İklim sisteminde gözlemlenen değişiklikler (IPCC, 2014).

Atmosferdeki CH₄ konsantrasyonu, endüstriyel çağ öncesi değerinin neredeyse iki katına (1800 ppb) ulaşmıştır. Bu artışın sebebi ağırlıklı olarak tarım faaliyetleri ve fosil yakıt kullanımıdır. N₂O, 1920'lere kadar 280 ppb'nin altında konsantrasyona sahipken, çoğunlukla tarımsal faaliyetler sonunca 2014'te ölçülen konsantrasyon değeri 327 ppb'ye ulaşmıştır (Şekil 2.3) (EPA, 2015).

Şekil 2.4'te insan kaynaklı sera gazı emisyonları Gt CO₂ eşd/yıl olarak 1970-2010 periyodu için verilmiştir. 1970-2000 yılları arasındaki kümülatif sera gazı emisyonu yıllık artışı %1,3 iken bu oran 2000-2010 yılları arasında %2,2'ye ulaşmıştır. Fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel faaliyet kaynaklı CO₂, ormancılık ve diğer arazi kullanımı kaynaklı CO₂, metan CH₄, nitroz oksit N₂O, Kyoto Protokolü'nde geçen florlu bileşiklerin (F-gazları) yıllık emisyon miktarları şekilde verilmiştir.

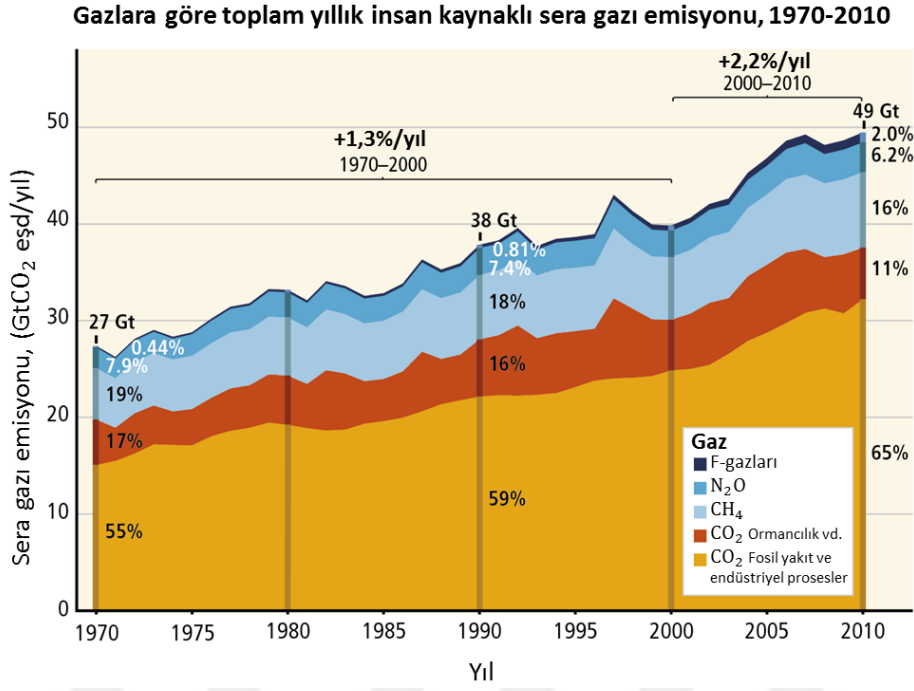
Bu bilgiler ışığında, iklim değişikliğine en büyük etkinin insan faaliyetlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel prosesler insan

kaynaklı sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağıdır. Ayrıca arazi kullanımı değişiklikleri de iklim sistemini önemli ölçüde etkilemektedir. Tarım amaçlı kullanım için ormanların tahrip edilmesi karbondioksiti tutan ve depolayan bitkilerin azalmasına neden olur. Şehirleşme, arazi yapısını değiştirmekle, yağışla gelen suyun yüzeysel akışa geçerek yeraltısuyuna karışması engelleyerek suyu kaynağından uzaklaştırmakta ve böylelikle yerel su döngüsü etkilenmektedir. Şehirlerde yoğunlaşan motorlu araçlardan salınan sera gazları yerel hava kirliliğini arttırmaktadır. Şehir merkezlerindeki ortalama sıcaklıklar, tarım ve orman arazilerinden daha yüksektir.



Şekil 2.3: MÖ 800000 ve 2014 arasındaki atmosferik CO₂ , CH₄ ve N₂O değişimi.

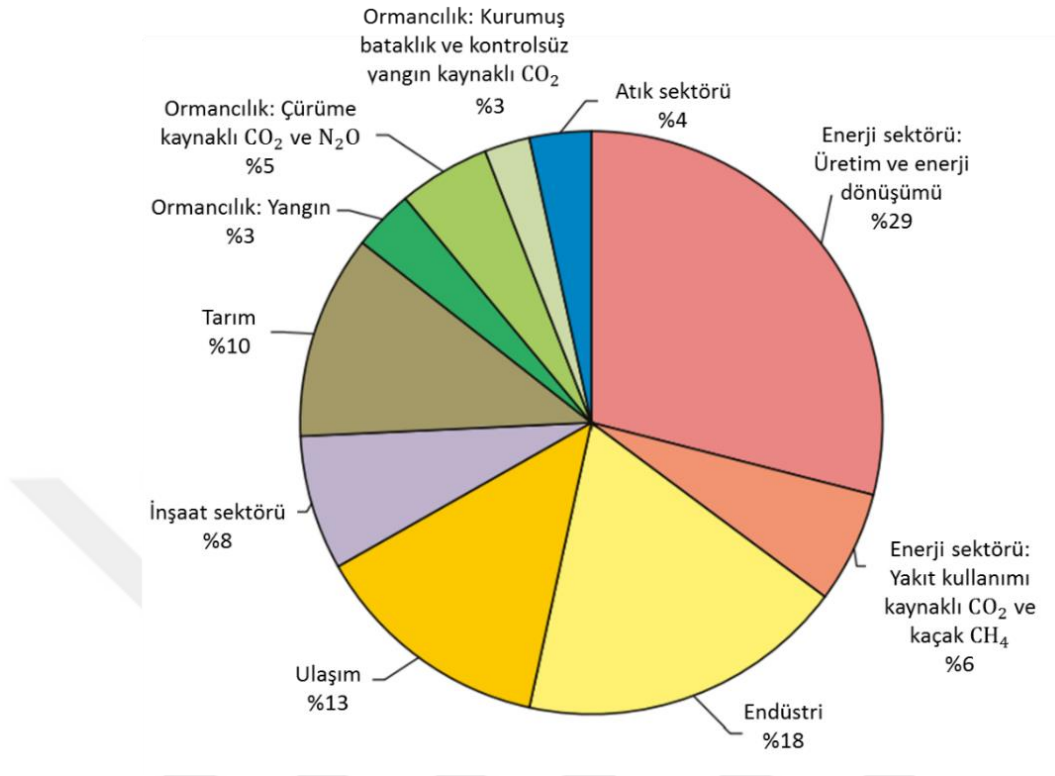
Her bir renk başka bir veri kaynağını göstermektedir (EPA, 2015).



Şekil 2.4: Çeşitli insan kaynaklı sera gazlarının, 1970-2010 döneminde toplam yıllık emisyonlarının değişimi (IPCC, 2014).

Şekil 2.5'te 2010 yılına ait insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının çeşitli sektörlere göre dağılımı verilmiştir. Enerji sektörü üretim, enerji dönüşümü, fosil yakıt kullanımı ve kaçak CO₂ salımı ile toplam %35'lik oranla en fazla sera gazı emisyonu yapan ekonomik sektördür ve emisyonun %95'i CH₄ ve N₂O gazlarıdır. Enerji sektörünü %18 ile endüstri faaliyetleri, %13 ile ulaşım, %11 ile ormancılık faaliyetleri, %10 ile tarım, %8 ile inşaat sektörü ve %3 ile atık sektörü takip etmektedir. Endüstriyel faaliyetlerde CO₂, CH₄, N₂O, HFCs ve PFCs emisyonu, genellikle materyallerin kimyasal veya fiziksel olarak biçim değiştirmeleri sonucu meydana gelir. Bunlara ek olarak buzdolapları, köpükler ve aerosol kutularında sera gazları kullanılmaktadır. Örneğin HFCs ozon tabakası inceltici maddelere alternatif olarak kullanılırken, SF₆ koşu ayakkabılarında, N₂O ise anestezi işlemlerinde kullanılmaktadır. Tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımlarından kaynaklanan sera gazları CO₂, N₂O ve CH₄'dır. CO₂ fotosentez, solunum, bozunma ve organik madde yakma reaksiyonlarının bir sonucu olarak salınırken, N₂O nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonlarının yan ürünüdür. CH₄ ise toprak veya gübrenin anaerobik koşullarda saklanması, enterik fermentasyon ve organik maddenin tam yanmaması sonucunda salınır. Atık sektöründe ise, katı atık depolama, katı atığın biyolojik arıtımı, atık

yakma, atıksu arıtımı ve deşarjı kaynaklı CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonu gerçekleşir (IPCC, 2006).



Şekil 2.5: Başlıca ekonomik sektörlere göre 2010 yılı yıllık küresel sera gazı emisyonu oranları (UNEP, 2012).

2.4. İklim Değişikliğinin Etkileri

Çoğu bölgede gözlemlenen iklim değişikliği kaynaklı yağış değişimleri su kaynaklarına kalite ve miktar açısından tehlike arz etmektedir. Birçok karasal, tatlı ve tuzlu su türleri coğrafi yerlerini, mevsimsel aktivitelerini, göç yollarını değiştirmiş ve tarım ürünlerinde verim düşüşü gözlenmiştir.

İklim değişikliğiyle alakalı sıcaklık dalgası, kuraklık, taşkın, kasırga ve kontrol edilmesi güç orman yangınları olaylarının görülme sıklığı artmakta ve çoğu ekosistem kötü etkilenmektedir.

2.5. Gelecekte İklim Değişikliği, Risk ve Etkileri

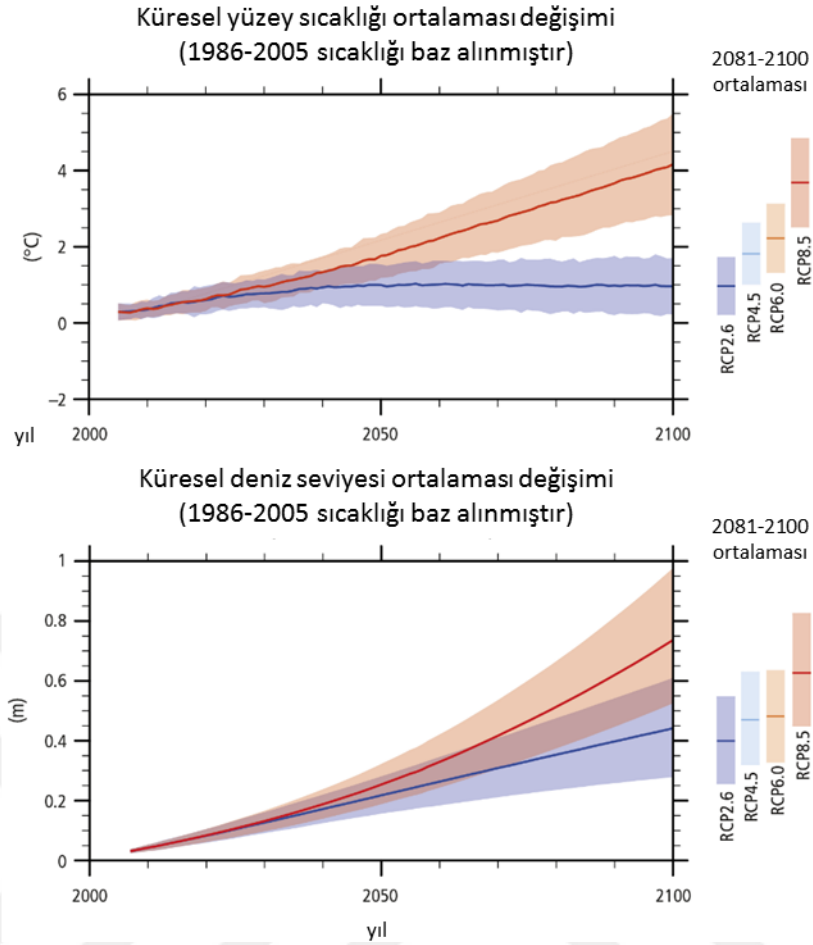
Sera gazı emisyonlarının mevcut ivme ile devam etmesi halinde, Dünya'nın daha da ısınacağı ve iklim sisteminin bileşenlerinin daha fazla etkileneceği, insanlar ve ekosisteme şiddetli ve geri dönülemez etkilere sebep olacağı tahmin edilmektedir.

İnsan kaynaklı sera gazı emisyonu büyük ölçüde popülasyon büyüklüğü, ekonomik aktivite, yaşam tarzı, enerji kullanımı, arazi kullanımı, teknoloji ve iklim politikaları parametreleriyle alakalıdır. Sera gazı emisyonu ve atmosferik konsantrasyon projeksiyonunda kullanılan Temsili Konsantrasyon Rotaları (The Representative Concentration Pathways (RCP)) Dünya İklim Araştırma Programı (World Climate Research Programme (WCRP)) tarafından geliştirilen Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) simülasyon grubu kapsamında bu parametreleri kullanmaktadır. CMIP5 simülasyon paketi ile 1986-2005 dönemi baz alınarak 2081-2100 dönemi tahmini yapılmıştır. 21.yy için 4 değişik RCP kullanılmıştır (IPCC, 2014).

- RCP8.5: Yüksek radyatif zorlama ($RZ > 8,5 \text{ W/m}^2$) olacağı,
- RCP6.0: 2100 sonrasında RZ'nin $\sim 6,0 \text{ W/m}^2$ 'da sabitleneceği,
- RCP4.5: 2100-2150 yılları arasında RZ'nin $\sim 4,5 \text{ W/m}^2$ 'da sabitleneceği,
- RCP2.6 (RCP3.0): Düşük RZ'nin $3,0 \text{ W/m}^2$ 'de zirve yapıp $2,6 \text{ W/m}^2$ 'ye ineceği varsayılır.

Şekil 2.6'da, 4 değişik RCP'ye göre küresel ısınma ve deniz seviyesindeki artış tahminleri verilmiştir.

RCP8.5'e göre, yağıştaki değişimlerin üniform olmaması beklenmektedir. Yüksek enlem ve ekvator bölgesinde yıllık ortalama yağışta artış, orta enlem ve alt tropikal kuru bölgelerde yağışta azalma, orta enlem ıslak bölgelerde ise artış olacağı tahmin edilmektedir. Orta enlem kuşağındaki aşırı uç yağışların daha yoğun ve sık olması beklenmektedir. Küresel ölçekte düşünüldüğünde, iklim sisteminde sıcaklık artışının ve okyanusların pH'ının düşmesinin geri dönülemez ciddi sorunlara yol açması beklenmektedir.



Şekil 2.6: Temsili Konsantrasyon Rotalarına göre küresel ısınma ve küresel deniz seviyesi artışı karşılaştırma grafikleri (IPCC, 2014).

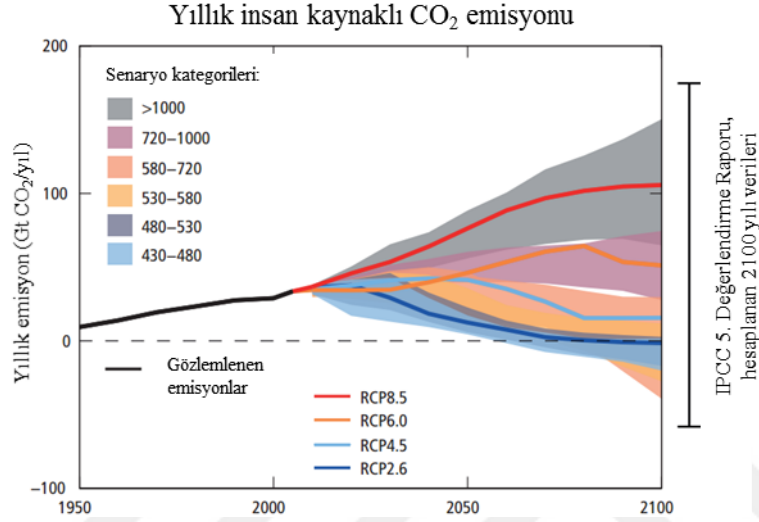
Çizelge 2.2’de Temsili Konsantrasyon Rotalarına göre 100 yıllık sıcaklık artış aralığı verilmiştir.

Çizelge 2.2: Temsili Konsantrasyon Rotalarına göre 100 yıllık tahmini sıcaklık artışı (IPCC, 2014)

Temsili Konsantrasyon Rotaları	Sıcaklık Artış Aralığı
RCP8.5	2,6-4,6
RCP6.0	1,4-3,1
RCP4.5	1,1-2,6
RCP2.6	0,3-1,7

RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5’e göre küresel ölçekte çoğu küçük memelinin, tatlısu yumuşakçalarının değişimle başa çıkamayacağı, deniz canlılarının ise O₂ eksikliği ve düşük pH’a maruz kalacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle iklim değişikliği bazı canlı türlerinin yok olmasına sebep olurken bazılarının yaşam alanlarını değiştirmesine yol açması beklenmektedir.

İklim değişikliğine hassas olan kentsel bölgelerde, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 senaryolarının ısı stres, fırtına, aşırı yağış, sel, toprak kaymaları, hava kirliliği, kuraklık, su kıtlığı ve deniz seviyesinde yükselme gibi riskleri arttıracığı ayrıca ekonomi ve ekosistemde problemlere yol açacağı düşünülmektedir. Kırsal alanlarda ise su, gıda, altyapı ve tarımsal gelir konularında ciddi problemlerin risk oluşturması beklenmektedir (IPCC, 2014).



Şekil 2.7: Temsili Konsantrasyon Rotalarına göre insan kaynaklı sera gazı emisyonu miktarı (IPCC, 2014).

Şekil 2.7’de, RCP senaryolarına göre yıllık insan kaynaklı sera gazı emisyonu miktarları verilmiştir. RCP2.6 hariç tüm senaryolarda küresel ısınma 2100’den sonra da devam etmektedir. Şekil 2.7 incelendiğinde, küresel ısınmanın sanayi devrimi öncesi döneme göre 2°C’nin altında kalmasını hedefleyen RCP2.6 senaryosunun gerçekleştirilebilmesi için yıllık insan kaynaklı sera gazı emisyonunun 2020-2030 dönemi arasında pik yapması ve 2050-2070 döneminde emisyonların sıfırlanması gerekmektedir (IPCC, 2014).

2.6. İklim Değişikliğine Uyum Sağlama ve İklim Değişikliği Etkilerini Hafifletme

Sürdürülebilir gelişme ve eşitlik, iklim politikalarının temelini oluşturmalıdır. Çoğu iklim değişikliği riskine karşı hassas ülkelerin iklim değişikliğine katkıları da azdır. Bu nedenle iklim değişikliği riskini azaltma ve adaptasyon stratejileri ülkeler arasında adil olmalıdır.

İklim politikası tasarımı, risk ve bilinmezliklerin bireysel ve organizasyon ölçeğinde nasıl ele alındığıyla alakalıdır. Halihazırda iklim değişikliği riskini azaltma sorumluluğunu bugünden yarına ertelemek ve yetersiz adaptasyon çalışmaları yürütmek sürdürülebilir gelişmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Risk azaltma stratejileri etkili bile olsa bireysel yürütüldüklerinde fark yaratamazlar. Çoğu sera gazı zamanla atmosferde küresel ölçekte karıştığı için iklim değişikliği kolektif bir problem niteliğindedir. Uluslararası işbirliği, iklim değişikliği risk azaltma stratejilerinin yararlı olması için gereklidir.

Emisyonların azaltılması 21. yy ve sonrası için iklim değişikliği risklerini hafifletebilir ve uyum stratejileri ile uzun dönem için risk azaltma maliyetleri düşürülebilir, böylelikle sürdürülebilir gelişme sağlanabilir. Küresel ısınmanın endüstriyel çağ öncesine göre 2°C altında kalması için izlenebilecek çeşitli eylem senaryoları vardır. Bu senaryolar genel olarak sera gazı emisyonunu azaltma ve sifıra yaklaştırmayı hedeflemektedir. RCP2.6'ya göre, CO₂ eşdeğer konsantrasyonu 2100 yılında 450 ppm veya daha altında olduğu takdirde, küresel ısınmanın endüstriyel çağ öncesine göre 2°C'nin altında kalacağı öngörülmektedir.

2.7. İklim Değişikliğine Uluslararası Yaklaşım

İklim değişikliği ile ilgili uluslararası ilk konferans Dünya Meteoroloji Organizasyonu (World Meteorological Organization (WMO)) tarafından 1979 yılında İsviçre'de düzenlenmiştir. Konferansın bir sonucu olarak IPCC, WMO ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nation Environmental Programme (UNEP)) tarafından 1988 yılında kurulmuştur. İklim değişikliğinin bilimsel nedenlerini, etkilerini, risklerini ve uyum sağlama/azaltma yollarını karar verici organizmalara sunmak için küresel ölçekte çevre ajansları, ulusal ve üniversite laboratuvarları tarafından yapılan iklim değişikliği ile ilgili bilimsel araştırmaları inceleyen, verileri toplayan ve periyodik raporlar halinde yayımlayan kuruluş IPCC'dir. Birinci Değerlendirme Raporu 1990'da yayımlanmıştır. En güncel rapor Beşinci Değerlendirme Raporu'dur ve 2014'te yayınlanmıştır.

2.7.1. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

1992 yılında Rio Dünya Zirvesi'nde Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı düzenlenmiştir. Bu konferansta, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği

Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)) metni hazırlanmıştır, 1994'te yürürlüğe girmiştir. Sözleşme, insan kaynaklı çevresel kirliliklerin iklim üzerinde tehlikeli etkileri olduğunu kabul ederek, atmosferdeki sera gazı oranlarını düşürmeyi ve bu gazların olumsuz etkilerini en aza indirerek belirli bir seviyede tutmayı amaçlamaktadır.

UNFCCC hükümetlerarası ilk çevre mutabakatı olsa da, sözleşmenin yaptırım gücü zayıftır. Aralık 2015'te çerçeve sözleşme taraf sayısı 197'ye (196 ülke ve AB) ulaşmıştır (UNFCCC, 2016b). 1995'ten bu yana, her yıl çerçeve sözleşmeye taraflarının katılımıyla Sözleşme Taraflar Konferansı (Conferences of the Parties (COP)) düzenlenmektedir. 1997'de düzenlenen COP3'te Kyoto Protokolü hazırlanmıştır.

2.7.2. Kyoto Protokolü

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında COP3'te hazırlanan Kyoto Protokolü sözleşmeye göre daha somut hedefler içerir. Protokolün yürürlüğe girebilmesi için 1990 yılında yapılan sera gazı emisyonun %55'inden sorumlu olan ülkelerin protokole taraf olması gerektiğinden 2005 yılına kadar protokol yürürlüğe girmemiştir. 2001 yılında ABD'nin protokolden ekonomik nedenler dolayısıyla çekilmesi protokolü olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak Rusya'nın 2004'teki katılımıyla, %55'lik hedefe ulaşılmış ve 16 Şubat 2005'te Kyoto Protokolü yürürlüğe girmiştir ve protokole taraf sayısı 2016'da 192'dir (191 ülke ve AB) (UNFCCC, 2016c). 2005 yılından bu yana her yıl Kyoto Protokolü Taraflar Toplantısı (the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol (CMP)) düzenlenmektedir.

Tarafların gelişmişlik durumlarına göre işbirliği yapması ve “ortak fakat farklı sorumluluk” ilkelerinin esas alınması, küresel yararın gözetilmesi ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının uygulanması protokolün temel ilkeleridir.

Protokol, gelişmişlik özelliklerine göre ülkeleri gruplandırmış ve buna göre sorumluluklar yüklemiştir. Taraf olan sanayileşmiş ülkeler belirlenen 6 sera gazı (karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs), kükürt hekzaflorür (SF₆)) salımını azaltmaya veya karbon ticareti yoluyla emisyon haklarını arttırmayı taahhüt etmişlerdir. Gelişmekte olan ülkeler ise salım düzeylerini bildirmek ve iklim değişikliğini azaltıcı çözümler geliştirmek zorundadırlar.

Protokol taraf ülkeleri 3 gruba ayırır:

Ek-I Tarafları: 1992’de Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü’nde (Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)) yer alan gelişmiş ülkeler ve Rusya, Baltık ülkeleri ve bazı Avrupa ülkelerinin dahil olduğu geçiş ekonomisindeki ülkeleri kapsamaktadır. Bu grup ülkeleri, sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak, karbon tutucu alanları (orman, okyanus, göl) çoğaltmak, iklim değişikliğini önlemek için aldıkları önlemleri ve izledikleri politikaları bildirmek, sera gazı emisyonu verilerini iletmekle yükümlüdürler.

Ek-II Tarafları: Geçiş ekonomisindeki ülkeler hariç Ek-I’de yer alan kalkınmış ülkelerdir (UNFCCC, 2016d). Bu grup ülkeleri, Ek-I’deki sorumluluklarına ek olarak, çevre dostu teknolojilerini ve yöntemlerini, geliştirmekte olan taraf ülkelere aktarmak, onları teşvik etmek ve gerektiğinde finanse etmekle yükümlüdürler.

Ek Dışı Taraflar: Bu gruptaki ülkelerin herhangi bir yükümlülüğü yoktur. Ancak sera gazı emisyonlarını azaltmaya, çevre dostu teknolojilere yatırım yapmaya ve karbon tutucu alanlarını korumaya teşvik edilmektedirler.

Kyoto Protokolü çerçevesinde, taahhüt edilen yükümlülüklerin yerine getirilmesini kolaylaştırmak adına taraflara 3 farklı piyasa bazlı mekanizma çözümleri sunulmaktadır (Şekil 2.8). Bu mekanizmalar yeşil yatırımları teşvik etmekte ve tarafların belirlenen hedeflere uygun maliyetlerle ulaşabilmelerini sağlamaktadır.

Uluslararası Emisyon Ticareti (International Emissions Trading (ET))	Temiz Gelişim Mekanizması (Clean Development Mechanism (CDM))	Ortak Uygulama (Joint Implementation (JI))
Ek-I’deki sera gazı emisyonu limitine ulaşan ve karbon kredisini tüketen ülkeler, emisyon sınırına ulaşmayan ve karbon kredisi olan diğer Ek-1 taraflarıyla karbon ticareti yapabilmektedir. Bu mekanizma ile atmosferdeki sera gazı konsantrasyonu azaltılırken, ekonomik büyümenin de önüne geçilmemesi amaçlanır.	Emisyon azaltım ve sınırlama yükümlülüğündeki Ek-1 ülkeleri, geliştirmekte olan Ek Dışı Taraflara emisyon azaltıcı yeşil teknoloji yatırımı yaparak Sertifikalandırılmış Salım Azaltımı (Certified Emission Reductions (CER)) elde edebilir ve bu kredi toplam hedeften düşülür. 2016 yılında kayıtlı CDM proje sayısı 7741’dir (UNFCCC, 2016g).	Ek-I ülkeleri arasında gerekli şartların sağlanması koşuluyla, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını veya karbon tutucu ortamların çoğaltılması yoluyla uzaklaştırılmasını amaçlayan projelerden elde edilen Salım Azaltma Kredisi (Emission Reduction Unit (ERU)) kazanılabilir ve kazanılan bu krediler toplam hedeften düşülür (UNFCCC, 2016g).

Şekil 2.8: Kyoto Protokolü çerçevesindeki piyasa bazlı mekanizmalar.

Kyoto Protokolü'nün birinci yükümlülük döneminde (2005-2012), 37 sanayileşmiş ülke ve AB sera gazı emisyonlarını 1990 yılına göre %5 azaltarak yükümlülüklerini yerine getirmiştir.

Türkiye, Kyoto Protokolü'ne 26 Ağustos 2009 tarihinde taraf olmuştur ve Ek-I Taraflar listesinde yer almaktadır. Protokolün 2008-2012 yıllarını kapsayan döneminde Türkiye'nin herhangi bir sayısallaştırılmış emisyon sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamakla birlikte (DB, 2016), Kyoto Protokolü'ne konu olan piyasa bazlı mekanizmalardan da yararlanamamaktadır. Ancak sosyal sorumluluk çerçevesinde kurulan Gönüllü Karbon Piyasası'na uygun projeler gerçekleştirerek ileriki dönemlerde Karbon Piyasası'na katılmaya hazırlanmaktadır.

Doha, Katar'da 8 Aralık 2012'de yapılan COP18/CMP8 müzakerelerinde, Kyoto Protokolü'ü 2020'ye kadar uzatılmış ve bu dönemde sanayileşmiş ülkelerin sera gazı (Kyoto Protokolü'nde belirtilen sera gazlarına ek olarak azot triflorür (NF₃)) emisyonlarını 1990 yılına göre %18 azaltmaları kararlaştırılmıştır. Düzenlenen ikinci dönem yükümlülüklerin yürürlüğe girebilmesi için Kyoto Protokolü'ne taraf olan ülkelerin 3/4'ünün (144 taraf) onayı gerekmektedir. Eylül 2016'da düzenlenen Kyoto Protokolü'nü kabul ettiğini belirten taraf sayısı 70'tir (UNFCCC, 2016e).

2.7.3. Paris Antlaşması

2015 yılında Paris'te düzenlenen COP21/CMP11 müzakerelerinde Paris Antlaşması 196 tarafın oybirliği ile kabul edilmiştir. Antlaşmanın yürürlüğe girebilmesi için küresel sera gazı emisyonunun en az %55'inden sorumlu olan 55 ülkenin antlaşmayı imzalaması ve onaylaması şartı koşulmuştur. Küresel sera gazı emisyonunun yaklaşık %40'ından sorumlu ABD ve Çin'in antlaşmayı imzalaması, diğer gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin antlaşmayı imzalamasında etkili olmuştur. 174 ülke ve AB sözleşmeyi imzalamış, kendi yasal sistemlerinde kabul sürecini başlatmıştır. Ekim 2016'da antlaşmayı kendi yasal sistemlerinde onaylayan ve belgelerini teslim eden taraf sayısı 77'dir (küresel sera gazı emisyonunun yaklaşık %60'ından sorumlu olan taraflar). Böylelikle %55 emisyon ve 55 ülke barajı aşılarak Paris Antlaşması'nın 4 Kasım 2016'da yürürlüğe girmesi sağlanmıştır. Paris Antlaşması taraflarının katılımıyla düzenlenecek ilk Antlaşma Tarafları Toplantısı (Meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA)), COP22/CMP12 ile birlikte Fas'ın Marakeş ilinde gerçekleşecektir.

Antlaşmanın başlıca amacı, sanayi devrimi öncesi dönemle karşılaştırıldığında, küresel sıcaklık artışının yüzyılın sonuna kadar 1,5-2°C arasında olmasını sağlamaktır. Bu hedefe ulaşmak için izlenecek yol RCP2.6 senaryosunun gerçekleşmesi (insan kaynaklı sera gazı emisyonun 2020-2030 döneminde pik yapması ve 2050-2070 döneminde emisyonun sıfırlanması (Şekil 2.7)) ile mümkün olabilir.

Paris Antlaşması gereği taraflar, düzenli olarak emisyonlarını ve ilgili uygulamalarını da içeren Ulusal Niyet Beyanı (Intended Nationally Determined Contributions (INDC)) yayımlamakla yükümlüdürler. INDC içeriği her ülkenin gelişmişlik düzeyi ve iklim değişikliğine karşı kırılganlığına göre hazırlanmaktadır. Taraflar antlaşmayı onayladıklarını belirtmeden önce INDC belgelerini teslim etmek zorundadır ve 2023'ten itibaren her 5 yılda bir doküman şeffaflık içinde güncellenmelidir (UNFCCC, 2016f). COP22/CMP12 Marakeş'teki etkinlikte görüşülmek üzere hazırlanan, 4 Nisan 2016 tarihine kadar teslim edilmiş 161 INDC dokümanının incelendiği sentez raporuna göre, 2025-2030 dönemi için hedeflenen insan kaynaklı sera gazı emisyonu miktarı, 2°C hedefini gerçekleştirmeye yeterli değildir. Tarafların hazırlayacağı bir sonraki INDC dokümanında, ülkelerin daha etkili emisyon azaltım yolları seçmesi ve uygulayacağı doğru politikalarla hedeflediği sera gazı emisyonu azaltımını sözünü gerçekleştirmesi gerekmektedir (UNFCCC, 2016g).

2.7.4. İklim finansmanı

Çerçeve Sözleşme ve Kyoto Protokolü, gelişmekte olan ve iklim değişikliği etkilerine karşı kırılgan ülkelere, iklim değişikliği etkilerini azaltma ve değişikliğe uyum sağlama faaliyetleri için gerekli olan sermayenin gelişmiş ülkeler tarafından sağlanmasını teşvik etmektedir ve bu amaca yönelik finansal mekanizmalar geliştirilmiştir.

Küresel Çevre Fonu (Global Environment Facility (GEF)), 1992 Rio Dünya Zirvesi'nde, çevre konusunda ortaya konacak küresel eylemlerin finans mekanizmasını işleten uluslararası bir varlık olarak kurulmuştur ve daha sonra kurulan fonlara geçici olarak rehberlik etmektedir. 2011 COP17'de, iklim değişikliğini etkilerini azaltma ve değişikliğe uyum sağlama faaliyetleri için uygulanacak politikaları, program önceliklerini ve ayrıcalıklı özellikleri belirlemekle yükümlü Yeşil İklim Fonu (Green Climate Fund (GCF)) bir başka finansal mekanizma olarak oluşturulmuştur. Bu finansal mekanizmalar Çerçeve Sözleşme Taraflarına bağlıdır.

GEF ve GCF dışında, Özel İklim Değişikliği Fonu (Special Climate Change Fund (SCCF)) ve En Az Gelişmiş Ülkeler Fonu (Least Developed Countries Fund (LDCF)) iki özel fon olarak ve Kyoto Protokolü kapsamında ise Uyum Fonu (Adaptation Fund (AF)) kurulmuştur (GEF, 2016).

Özel İklim Değişikliği Fonu (SCCF): Su kaynağı yönetimi, arazi yönetimi, tarım, sağlık, altyapı geliştirme, hassas ekosistemler ve kıyı bölgesi yönetimi gibi konularda, Çerçeve Sözleşmeye taraf geliştirmekte olan ülkelere iklim değişikliği uyum desteği ve teknoloji transferi girişimlerini desteklemektedir.

En Az Gelişmiş Ülkeler Fonu (LDCF): İklim değişikliği etkilerine karşı en kırılgan 51 ülkeye özel geliştirilen bir fondur. Su temini, tarım, gıda güvenliği, sağlık, afet riski yönetimi ve önlem alma, altyapı ve hassas ekosistem konularında ülkelerin dayanabilirliğini arttırmayı hedeflemektedir (GEF, 2016).

Uyum Fonu (AF): Geliştirmekte olan ülkelere iklim değişikliği etkilerine karşı kırılganlığı azaltıcı somut nitelikte proje ve programlara sermaye sağlamak için kurulmuş en yenilikçi fonlardan biridir. Kyoto Protokolü altında 2010 yılında kurulan Uyum Fonu, 61 ülkede, ülkelerin ihtiyaçlarına ve önceliklerine özel girişimlere toplamda yaklaşık 355 milyon \$ fon sağlamıştır (AF, 2016).

İklim finansmanı mekanizmaları tarafından desteklenen girişim konuları aşağıda sıralanmıştır:

- Yenilenebilir enerji kullanımı
- Enerji verimliliği
- Sürdürülebilir ulaşım ve kent tasarımı
- İklim odaklı tarım
- Uyum sağlama ve felaket riski azaltıcı önlemler
- Tüm orman faaliyetleri için sürdürülebilir yönetim
- Karbon tutucu nitelikteki arazilerin bozulmasını önleme
- Gıda güvenliği ve tarımsal iyileştirme gücünü artırma

COP21’de, bahsedilen finansal mekanizmaların Paris Antlaşması kapsamına girmesine karar verilmiştir ve bu finans mekanizmaları, geliştirmekte olan veya geçiş ekonomisindeki ülkelerin Çerçeve Sözleşme, Kyoto Protokolü ve Paris Antlaşması hedeflerini yakalayabilmelerini sağlayarak onları teşvik etmektedir (UNFCCC, 2016a).

2009 COP15/CMP5 Kopenhag ve 2010 COP16/CMP6 Cancún etkinliklerinde, gelişmiş ülkeler iklim finansmanı havuzuna 2020 yılına kadar her yıl 100 milyar dolar aktarmayı kabul etmişlerdir. Paris Antlaşması ile bu süre 2025 yılına kadar uzatılmıştır ve sonraki dönem için daha yüksek meblağlı hedef konması planlanmaktadır (EU, 2016).

Finansal mekanizmalar ile gelişmiş ülkelerin geliştirmekte olan veya en az gelişmiş ülkelere fon aktarması borç ya da hibe olarak anlaşılmamalıdır. Gelişmelerini sanayi devrimi ile birlikte fosil yakıtlara dayalı tamamlayan ülkelerin atmosferdeki kullanım haklarını çoktan doldurmuş olması nedeniyle, kalkınmakta olan ülkelere sağlanan bu fonların tazminat olarak görülmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

2.8. İklim Değişikliği ve Türkiye

Türkiye’de yerel iklim politikalarının geliştirilmesinden ve uygulanmasından belediyeler sorumlu iken, Çerçeve Sözleşme odaklı ulusal politikaların oluşturulmasından ve uygulanmasından Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) sorumludur. İklim değişikliğine ait uygulamalar ÇŞB’ye bağlı İklim Değişikliği ve Hava Yönetimi Koordinasyon Kurulu (İDHYKK) tarafından yürütülmektedir ve kurul ulusal bildirim raporlarının ve ilgili çalışmaların hazırlanmasından sorumludur.

Türkiye’nin nüfusu 2015’te 78,7 milyondur ve 2050 yılında 93,5 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2015 yılında nüfus yoğunluğu 102 kişi/m²’dir ve nüfus yoğunluğu en yüksek olan il 2821 kişi/km² ile İstanbul’dur (TÜİK, 2016).

Orta enlem iklim kuşağı ile subtropikal iklim kuşağı arasında yer alan, genel olarak Akdeniz makro-iklim özelliğini gösteren Türkiye’de dört mevsim yaşanabilmektedir. 1970-2014 dönemi incelendiğinde, ortalama sıcaklık 1970-1978’de 12,3°C iken, 2006-2012 döneminde 13,8°C’dir (ÇŞB, 2016). Sıcaklıktaki artış kar erimesinin daha erken başlamasına ve kar ile beslenen nehirlerde akımlarda erkene kaymalara yol açmıştır. Deniz seviyesinde ise 6 mm civarında yükselme gözlenmiştir ve bu değişimlere paralel olarak son yıllarda şiddetli yağış, fırtına, sıcak hava dalgası, orman yangınları, sel ve taşkın gibi hidrometeorolojik özellikteki afet sayılarında artış belirlenmiştir (Şen ve diğ, 2013).

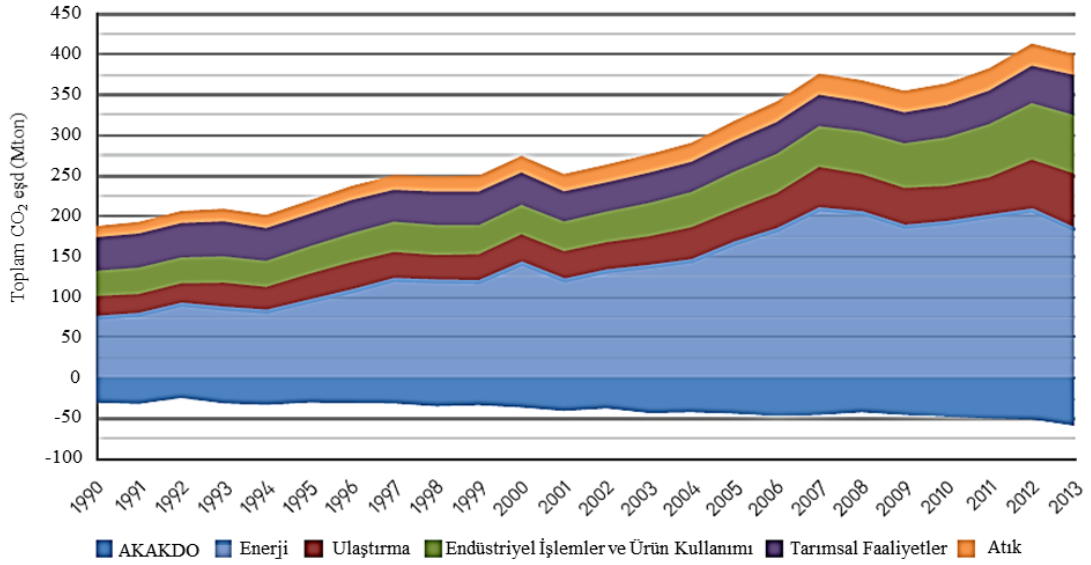
Türkiye’nin 2006-2014 dönemi yıllık toplam yağış ortalaması 635,5 mm’dir. Tüketilebilir yer üstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama 112 milyar m³’tür ve

yararlanma oranı yaklaşık %36'dır. Türkiye'de kişi başı yıllık kullanılabilir su miktarı 1519 m³'tür. Su kaynaklarının yaklaşık %74'ü sulamada, %11'i sanayide ve %15'i kentsel tüketimde kullanılmaktadır (ÇŞB, 2016).

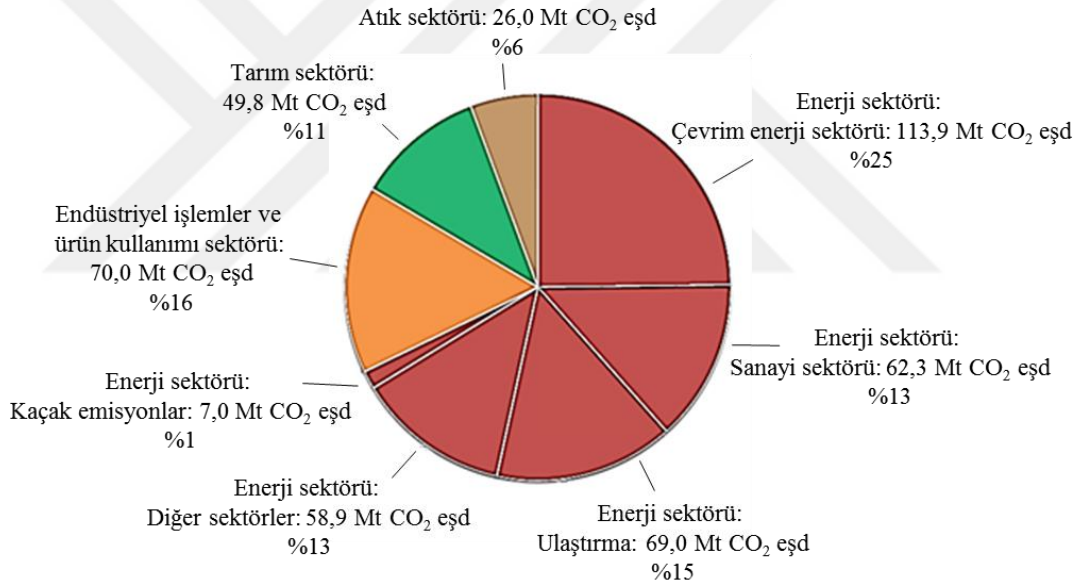
Türkiye'deki birincil enerji tüketiminin 2013 yılında 120,3 milyon TEP (Ton Eşdeğer Petrol) olduğu ve tüketilen birincil enerjinin, %28'inin petrol, %31'inin doğalgaz, %29'unun kömür, %11'inin linyit, %4'ünün hidrolik enerjiden elde edildiği ve rüzgar, güneş ve jeotermal enerji eldesinin ise %1'ler civarında olduğu görülmektedir. 2013 yılında toplam birincil enerji arzının %12'si yenilenebilir enerjiden kaynaklanmıştır. 2013 yılı sonu verilerine göre yenilenebilir enerji arzının %32'si biyokütleden, 37'si hidrolik enerjiden, %19'u jeotermal enerjiden, %5'i rüzgardan, %16'sı güneş enerjisinden karşılanmıştır. 2013 yılı enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde, bina sektörü %35, ulaştırma sektörü %26, tarım faaliyetleri %2 ve enerji dışı tüketim %4 oranındadır (ÇŞB, 2016).

Türkiye'de işlenen tarım arazisinde azalma gözlenmektedir. Orman alanı ise 2013 yılında 21,9 milyon ha'dır ve 51,10 milyon ton CO₂ eşd sera gazı tutma kapasitesine sahiptir (ÇŞB, 2016).

Türkiye'nin 2013 yılı toplam sera gazı emisyonu Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO) hariç 459,10 Mt CO₂ eşd'dir. Emisyonların %67,8'i enerji, %15'i endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %10,8'i tarımsal faaliyetler ve %5,7'si atık sektörü kaynaklıdır. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990'da 3,96 ton CO₂ eşd iken, 2013'te 6,04 ton CO₂ eşd'e yükselmiştir. Bu değer OECD ülkelerinin 2013 yılı ortalama emisyon değeri olan 12,47 ton CO₂ eşd/kişi'nin altındadır, dünya ortalaması olan 4,88 ton CO₂ eşd/kişi değerinin ise üstündedir. Sera gazı emisyonlarının 2013 yılı gaz türüne göre dağılımı; CO₂ %79,15, CH₄ %14,33, N₂O %5,66 ve F-gazları %1,45'tir (AKAKDO hariç) (ÇŞB, 2016). Şekil 2.9'da Türkiye'de sektörlere göre sera gazı emisyonun yıllara göre değişimi ve Şekil 2.10'da 2013 yılı sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımı verilmiştir.



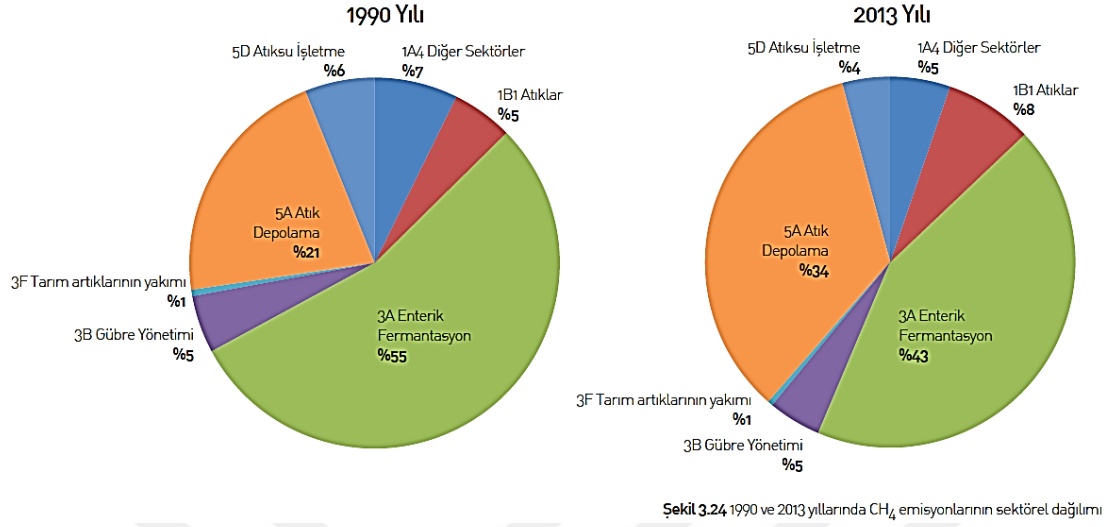
Şekil 2.9: Zamana bağlı sektörel sera gazı emisyonlarındaki değişim (ÇŞB, 2016).



Şekil 2.10: Sektörlere göre 2013 yılı toplam sera gazı emisyonlarının dağılımı.

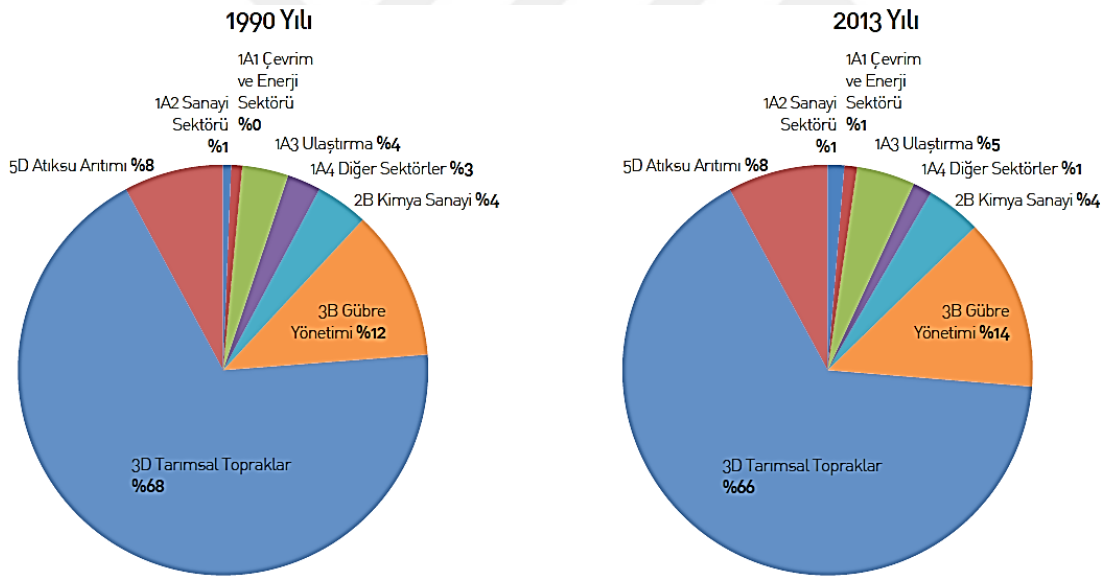
Şekil 2.11’de 1990 ve 2013 yıllarında salınan CH₄ gazının sektörel dağılımı verilmiştir. En fazla CH₄ gazı emisyonu enterik fermantasyon kaynaklıdır. Atık depolama kaynaklı CH₄ emisyonu 1990 yılında toplam CH₄ emisyonunun %21 iken bu oran 2013’te %34’e yükselmiştir. Atıksu işleme kaynaklı salınan CH₄ gazı ise toplam CH₄ emisyonunun 1990 yılında %6’sı kadarken 2013 yılında %4’ü oranındadır. Şekil 2.12’de ise 1990 ve 2013 yıllarında salınan N₂O gazının sektörel dağılımı verilmiştir. En fazla N₂O gazı emisyonu tarımsal toprak işletimini

kaynaklıdır. Atıksu işleme kaynaklı N_2O emisyonu 1990 yılında toplam N_2O emisyonunun %8'i kadardır ve bu oran 2013'te değişmemiştir.



Şekil 3.24: 1990 ve 2013 yıllarında CH_4 emisyonlarının sektörel dağılımı

Şekil 2.11: 1990 ve 2013 yıllarında CH_4 emisyonlarının sektörel dağılımı.



Şekil 3.27: 1990 ve 2013 yıllarında N_2O emisyonlarının sektörel dağılımı

Şekil 2.12: 1990 ve 2013 yıllarında N_2O emisyonlarının sektörel dağılımı.

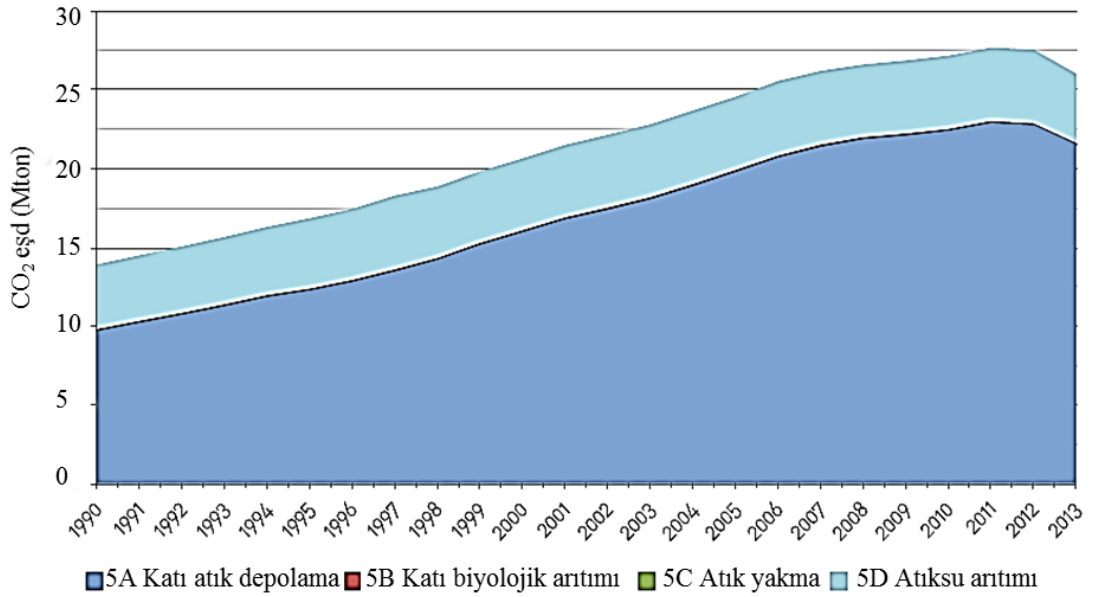
Atık sektörü verilerine odaklanıldığında, kentsel, tehlikeli, tıbbi atık yönetimi ve bertarafı sonucu salınan sera gazı ile atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının oluşumundan ve bertarafından kaynaklanan emisyonlar incelenmektedir. Türkiye’de atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonunun %82,7’si düzenli ve düzensiz atık depolama sahalarından, kalanı ise evsel ve endüstriyel atıksu arıtımından

kaynaklanmaktadır (Çizelge 2.3) (ÇŞB, 2016). Şekil 2.13'te, Türkiye'de atık sektöründen kaynaklanan CO₂ eşd emisyonların zamanla değişimi verilmiştir.

Çizelge 2.3: Atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonu miktarları ve payları, 2013 verileri (ÇŞB, 2016)

Atık sektörü	Sera gazı emisyonları (Gg CO ₂ eşd.)	Toplam atık emisyonları içindeki payı (%)	Ulusal toplam emisyonların içindeki payı (%)
A. Katı atık depolama	21.529	82,73	4,69
B. Katı atık biyolojik arıtımı	30	0,12	0,01
C. Atık yakma ve atıkların açıkta yakılması	13	0,05	0,00
D. Atıksu arıtımı ve deşarjı	4.448	17,10	0,97
E. Diğer	NA	-	-
Atık sektörü	26.022	100,00	
Ulusal sera gazı emisyon toplamı (AKAKDO hariç)	459.102		

NA: Uygulanabilir değildir.



Şekil 2.13: Atık sektöründen kaynaklanan CO₂ eşd emisyonlar (1990-2013) (ÇŞB, 2016)

2.8.1. Türkiye’de iklim değışikliğı projeksiyonu

2.8.1.1. Türkiye için iklim değışikliğı projeksiyonları çalışması

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 2014’te yayımlanan Yeni Senaryolarla Türkiye için İklim Değışikliğı Projeksiyonları adlı çalışmada, Türkiye için 2100 yılına kadar bölgesel iklim projeksiyonu, CMIP5 kapsamındaki küresel modelleri kullanılarak ve IPCC’nin 5. Değerlendirme Raporundaki senaryolar (RCP4.5 ve RCP8.5) esas alınarak yapılmıştır. 1971-2000 yılları arası referans dönem olarak alınmıştır ve projeksiyon 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 dönemleri için yapılmıştır.

Yeni Senaryolarla Türkiye için İklim Değışikliğı Projeksiyonları çalışmasında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının sıcaklık çıktıları karşılaştırıldığında aşağıdaki bulgular elde edilmiştir (OSİB, 2016):

- 2016-2040 dönemi: RCP4.5 senaryosu sıcaklık artışının genel olarak 2°C’de sınırlı kalacağını, Marmara ve Batı Karadeniz’de yaz aylarında bu değerin biraz daha fazla olacağını; RCP8.5 senaryosu ise özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde olmak üzere sıcaklık artışının 3°C civarında olacağını öngörmektedir.
- 2041-2070 dönemi: RCP4.5, ilkbahar ve sonbahar aylarında sıcaklık artışının 2-3°C aralığında, yazın 4°C civarında olmasını; RCP8.5 ise sıcaklık artışının kışın 2-3°C aralığında, ilkbahar ve sonbaharda 3-4°C ve yazın ise 5°C civarında olmasını beklemektedir.
- 2071-2099 dönemi: RCP4.5 kışın sıcaklık artışının 2°C, ilkbahar ve sonbaharda 3°C ve yazın 4°C olacağını; RCP8.5 ise yazın sıcaklık artışının 6°C, kışın batı bölgelerinde 3-4°C doğu bölgelerinde 4-5°C olacağını öngörmektedir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının yağış çıktıları kıyaslandığında aşağıda sıralanan bulgular elde edilmiştir (OSİB, 2016):

- 2016-2040 dönemi: RCP4.5 senaryosu ilkbahar yağışlarının azalacağını; RCP8.5 senaryosu ise batı bölgelerde yağışta azalma, kıyı bölgelerde yaz yağışlarında %40’a varan artış olacağını öngörmektedir.

- 2041-2070 dönemi: RCP4.5 sonbahar aylarında yağışların azalmasını; RCP8.5 ise kış aylarında yağışta artış, ilkbaharda ve sonbaharda azalma olmasını beklemektedir.
- 2071-2099 dönemi: RCP4.5 yağışlarda ilkbaharda %20 azalma, kışın %10 artış, yazın %40 azalma ve sonbaharda genel olarak azalma olacağını; RCP8.5 ise ilkbaharda %20 azalma, sonbaharda %40 azalma ve kış aylarında artış olacağını öngörmektedir.

2.8.1.2. İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi

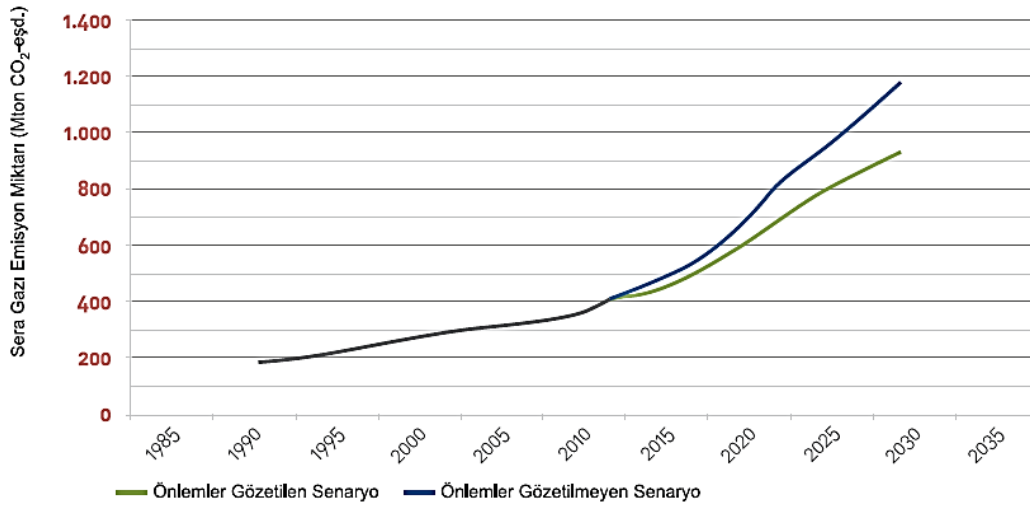
2013 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB) tarafından başlatılan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi projesi kapsamında CMIP5 altında yer alan 3 simülasyon modelinde RCP4,5 ve RCP8,5 senaryoları çalışılmış ve proje 2016'da tamamlanmıştır. Projenin amacı iklim değişikliğinin yüzey ve yeraltı sularına etkisinin ve havza esaslı uyum stratejilerinin belirlenmesidir. Referans dönemi olarak 1971-2000 dönemi alınmış, iklim, hidrolojik ve hidrolik projeksiyonlar 2015-2100 dönemi için yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda Türkiye'de beklenen iklim değişikliği etkileri aşağıda sıralanmıştır:

- Türkiye genelinde ortalama sıcaklık artışı beklenmektedir. Doğu ve Güneydoğu bölgelerinde diğer bölgelere göre artış 1-2°C daha fazla olacağı öngörülmektedir. Güneydoğu, Akdeniz ve Ege bölgelerinde sıcaklık artışı yaz aylarında en fazla yaşanacak ve 2100'lere doğru 4-7°C artış olması beklenmektedir.
- Türkiye'nin kuzeyinde yer alan havzalar hariç toplam yağış miktarında azalma beklenmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak Türkiye genelinde kar örtüsünde azalma olacağı ve erken eriyen kar örtüsünün bahar aylarının sonu ve yaz aylarında ilgili bölgelerde su stresi oluşturacağı öngörülmektedir.
- Türkiye genelinde sıcak hava dalgası görünme sıklığındaki hızlı artışın orman yangını riskini arttırması beklenmektedir.

Projede sektörlere özel olarak belirlenen 138 uyum çalışması, yağmur hasadı, su fiyatlandırması ve kapalı sulama sistemlerinin kullanılması gibi konuları içermektedir (OSİB, 2016).

2.8.1.3. Türkiye'nin sera gazı projeksiyonu

Çerçeve Sözleşme sekretaryasına 30 Eylül 2015'te teslim edilen INDC dokümanında, incelenen 2 senaryo altında (Önlemler Gözetilen ve Önlemler Gözetilmeyen) 2030 yılına kadar tahmin edilen sera gazı emisyonları verilmiştir. Önlemler Gözetilmeyen senaryoya göre toplam sera gazı emisyonunun 2030'da 1174,8 Mt CO₂ eşd olacağı öngörülmektedir (AKAKDO hariç). Önlemler Gözetilen senaryoda ise 2030 yılında toplam sera gazı emisyonunun 929,0 Mt CO₂ eşd olması beklenmektedir. Türkiye'nin iklim değişikliği politikaları etkili bir şekilde uygulandığında 2030 yılında sera gazı emisyonunda %21'e varan oranda azalma olacağı öngörülmektedir (Şekil 2.14) (ÇŞB, 2016).



Şekil 2.14: Önlemler Gözetilen ve Önlemler Gözetilmeyen senaryoların toplam sera gazı emisyonuna göre karşılaştırılması (ÇŞB, 2016)

2.8.2. Türkiye'nin iklim değişikliği politikası

Türkiye'de 2010-2020 dönemi için hazırlanan Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi Belgesi, iklim değişikliğine yönelik politikalar üretilmesinde kullanılan ana doküman niteliğindedir ve ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar çerçevesi altında gerçekleştirilecek sera gazı emisyonu azaltım, uyum, finansman ve teknoloji politikalarını içermektedir. Belgede enerji, sanayi, atık, arazi kullanımı, tarım ve ormancılık alanlarından kaynaklı sera gazı emisyonlarına yönelik kısa (1 yıl), orta (1-3 yıl) ve uzun (3-10 yıl) vadede gerçekleştirilecek hedefler yer almaktadır. Atık yönetimine yönelik belirlenen hedeflerde, kaynağında atık azaltımı, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve kazanım konuları yer almaktadır (ÇŞB, 2013).

Dokuzuncu Kalkınma Planı ve Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi'ne uygun olarak, ÇŞB koordinasyonu ile İDHYKK üyeleri ve ilgili diğer paydaşların ortak çalışması sonucu 2011-2023 dönemini kapsayan İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı (İDEP) hazırlanmış ve Temmuz 2011'de yayınlanmıştır. İDEP, Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi Belgesi doğrultusunda belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesi için eylemler sunarak sorumluları ve zamanlamayı tanımlamaktadır. İDEP'te katı atık yönetimine yönelik belirlenen eylemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır (ÇŞB, 2011):

- 2005 yılı esas alınarak düzenli depolama tesislerine kabul edilecek biyobozunur atık miktarının 2015 yılına kadar ağırlıkça %75'ine, 2018 yılına kadar %50'sine, 2025 yılına kadar %35'ine indirilmesi
- 2023 yılı sonuna kadar ülke genelinde entegre katı atık bertaraf tesislerinin kurulmasına devam edilmesi ve atıkların %100'ünün bu tesislerde bertaraf edilmesi
- 2023 yılına kadar düzensiz depolama sahalarının %100'ünün kapatılması

Atıksu yönetimine yönelik düzenlemeler, 2009 yılında açılan AB çevre müzakereleri sürecinde atık sektörü mevzuat uyumu kapsamında yürürlüğe giren yönetmeliklerde yer almaktadır. ÇŞB tarafından hazırlanan 2015-2023 dönemi için Atıksu Arıtımı Eylem Planı'nda ise UNEP tarafından "bütünsel ve önleyici bir çevre stratejisinin ürün ve süreçlere sürekli olarak uygulanması ile insanlar ve çevre üzerindeki risklerin azaltılması" olarak tanımlanan temiz üretim kavramından bahsedilerek düşük emisyonlu teknolojiler özendirilmektedir (ÇŞB, 2015). İDEP'te atıksulardan sera gazı emisyonunun azaltılmasına yönelik geliştirilen stratejilerden biri, sanayi sektöründe süreç başlangıcından itibaren su tasarrufunun sağlanması, atıksuyun geri kazanılması ve çok su tüketen sanayi alt sektörlerinde (kağıt sanayisinde su azaltımı gibi) öncelikli politikaların gerçekleştirilmesidir. Ayrıca arıtılmış atıksuyun kentsel alanlarda yeniden kullanılması hedefi de İDEP'te yer almaktadır.

2.8.3. Türkiye'nin iklim değişikliği finansman kaynakları

Türkiye OECD ülkesi olmasına rağmen Resmi Kalkınma Yardımları'ndan faydalanabilecek ülkeler arasında tanınmaktadır. Gelişmekte olan bir ülke olarak, iklim değişikliği ile mücadele konusunda kalkınma bankaları ve uluslararası fonlardan yararlanabilmektedir ancak Çerçeve Sözleşme kapsamında Ek-I'de yer aldığından finansal mekanizmalardan yararlanamamaktadır. Türkiye, Dünya Bankası tarafından

yönetilen İklim Finansman Fonlarından, ikili ve çok taraflı finans desteklerinden, Küresel Çevre Fonu'ndan ve Kopenhag Mutabakatı ile 30 milyar ABD Doları kısa dönemli finansmandan yararlanmaktadır. Taraflar Türkiye'nin Ek-I listesinde özel bir statüye sahip olduğunu kabul edip emisyon sınırlandırması getirmemişlerdir ve ileriki müzakerelerde Yeşil İklim Fonu gibi finansal mekanizmalardan da önünün açılması beklenmektedir (ÇŞB, 2016).



3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN SERA GAZI EMİSYONU

Çerçeve Sözleşme gereğince, tarafların yıllık ulusal emisyon raporlarını sektörlere göre hazırlayıp yayınlamaları zorunludur. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonu, IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanteri Rehberi'ne göre Atık Sektörü altında raporlanmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazları N_2O , CH_4 ve CO_2 'tir. Ancak tesislerden arıtma faaliyetleri sırasında doğrudan salınan CO_2 gazı biyogenik kökenli olduğundan ulusal emisyon raporlarına dahil edilmemekte, fosil yakıt ve elektrik kullanımı bağlantılı CO_2 gazı emisyonu ulusal emisyon raporlarına yansıtılmaktadır (IPCC, 2006). Çizelge 3.1'de, atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazlarının Küresel Isınma Potansiyelleri (GWP) verilmiştir.

Çizelge 3.1: Atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazlarının Küresel Isınma Potansiyelleri (Myhre, 2013)

Kimyasal Adlandırma	Formül	GWP (100 yıl)
Karbon dioksit	CO_2	1
Metan	CH_4	28
Nitröz Oksit	N_2O	265

3.1. Türkiye'de Atıksu Arıtma Tesislerinden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonu Hakkında Yapılan Çalışmalar

Çevresel Tesislerden kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması (Erdoğan, 2015) yüksek lisans tezinde, katı atık bertarafı ve evsel atıksu arıtma faaliyetlerinden kaynaklanan CH_4 ve NO_2 gazı emisyonları farklı atık yönetim senaryolarına göre tahmin edilmiştir. Çalışmada, düzenli depolama tesisi, kompost tesisi, biyometanizasyon tesisi, anaerobik stabilizasyon havuzu, biyolojik atıksu arıtma tesisi ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan CH_4 ve NO_2 emisyonları karşılaştırılmıştır. Hesaplar IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanteri Rehberine göre yapılmıştır. Çalışma sonucunda, atık bertaraf yöntemlerinden, atık depolama tesislerinin en fazla sera gazı emisyonuna sahip olduğu ortaya konmuştur. Biyogenik CO_2 emisyonu hesaba katılmadığında, katı atık bertaraf tesisleri, azalan sera gazı emisyonu miktarına göre katı atık depolama tesisi, kompost tesisi ve biyometanizasyon tesisi olarak

sıralanmıştır. Atıksu arıtma yöntemleri sera gazı emisyonuna göre karşılaştırıldığında ise en fazla emisyonun anaerobik stabilizasyon havuzundan kaynaklandığı ve en az sera gazı emisyonunun da ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinden salındığı sonucuna varılmıştır. Atıksu arıtma tesislerinden 2010-2030 yılları aralığında salınan sera gazı emisyonu anaerobik stabilizasyon havuzu için ~2.072.000 t CO₂ eşd, biyolojik atıksu arıtma tesisi için ~1.323.000 t CO₂ eşd ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi için ~424.000 t CO₂ eşd olarak hesaplanmıştır.

3.2. N₂O Emisyonu

Doğada toprak, tuzlusu ve tatlısu ortamlarında gerçekleşen azot döngüsündeki nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri, atıksu arıtma tesislerinde mühendislik yaklaşımıyla biyolojik azot gideriminde kullanılmaktadır. Ancak doğanın aksine, biyolojik besi giderimi yapılan evsel atıksu arıtma tesislerinde giriş suyundaki azotun neredeyse tamamı 3-8 saat gibi kısa bir sürede giderilmeye çalışıldığından, çeşitli mekanizmalar ve ortam koşullarının mikroorganizmalar üzerindeki etkisi N₂O gazı emisyonuna sebep olmaktadır. N₂O'nin GWP değeri CO₂'in yaklaşık 300 katı olduğundan, emisyon miktarı az bile olsa küresel ısınmaya etkisi oldukça fazladır.

Czepiel ve diğ. (1995), evsel atıksuyun ön arıtma ve ardından aktif çamur ile arıtıldığı bir tesiste, havalandırılmış ve havalandırılmamış yüzeylerde N₂O gazı emisyonunu incelemişlerdir. N₂O gazının, denitrifikasyon bakterileri tarafından, yüksek BOİ ve düşük O₂ konsantrasyonunun olduğu giriş borusu, çökeltim tankları, çamur bekletme tankları ve çamur üretim hatlarında üretildiği ve çözünmüş N₂O gazının sudan ayrılarak atmosfere salınmasının ise havalandırmadan ve havalandırılmamış yüzeylerde de akım türbülansından kaynaklandığı belirtmiştir. Çalışmada, 10.925 eşdeğer nüfuslu biyolojik (ön arıtma ve aktif çamur) atıksu arıtma tesisinin kişi başı emisyon faktörü 3,2 g N₂O/kişi/yıl ve arıtılan atıksu başına emisyon faktörü 1,6*10⁻⁶ g N₂O/L_{atıksu} olarak tanımlanmıştır (Czepiel ve diğ, 1995).

IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanteri Rehberi'nde, ön arıtma ve aktif çamur sistemi ile arıtma yapılan tesisten doğrudan N₂O emisyon faktörü 3,2 g N₂O/kişi/yıl (Czepiel ve diğ. (1995) kaynak gösterilmiştir), arıtılmış atıksuyun alıcı ortama deşarjına bağlı olarak alıcı ortamda meydana gelen dolaylı emisyon faktörü ise 5 g N₂O-N/kg N_{deşarj} olarak verilmiştir (IPCC, 2006). Czepiel ve diğ. (1995) tarafından incelenen atıksu arıtma tesisi, biyolojik besi maddesi giderimi yapılan tesisler için temsil edici bir örnek

olmadığından, IPCC (2006) Rehberi'nde belirtilen değer birçok gelişmiş ülke için gerçeği yansıtan bir değer olmamaktadır. Bazı gelişmiş ülkelerde, atıksu arıtma tesislerinde veri toplama ve analiz yöntemlerinin iyi olması, ülkeye özel emisyon faktörünün tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Çizelge 3.2, IPCC emisyon faktörleri ile bazı ülkelere özel emisyon faktörlerini karşılaştırmaktadır.

Çizelge 3.2: IPCC (2006) Rehberi ve bazı gelişmiş ülkelerin emisyon faktörü karşılaştırması (GWRC, 2011)

Birim	IPCC	Danimarka	Japonya	ABD
kg N ₂ O/kişi/yıl	0,0032	0,0108	0,00016	0,0032 (N) 0,007 (N+D)
kg N ₂ O-N/kg N _{giriş}	0,00035	0,0024	0,004	0,0007 (N) 0,0015 (N+D)

(N): Yalnızca nitrifikasyon yapan tesisler için emisyon faktörü

(N+D): Nitrifikasyon ve denitrifikasyon yapan tesisler için emisyon faktörü

Foley ve diğ. (2010), tam ölçekli değişik kapasite, proses konfigürasyonu, çıkış karakterizasyonu ve iklime sahip 7 biyolojik besi maddesi giderimi yapılan (BNR) tesisi incelemiş ve N₂O üretiminin, denitrifikasyon ile giderilen azot miktarı başına 0,006-0,253 kg N₂O-N kg N_{denit}⁻¹ aralığında değiştiğini ve üretilen N₂O gazının %95'inden fazlasının atmosfere salındığını belirtmiştir. Çalışmada, anaerobik bölgede N₂O üretiminin anoksik ve aerobik bölgelerden daha az olduğu ve çıkış suyunda TN konsantrasyonu düşük olan tesislerden N₂O emisyonunun, kısmi denitrifikasyon yapan tesislere göre daha az olduğu öne sürülmüştür (Foley ve diğ, 2010). Çizelge 3.3'te çeşitli tam ölçekli atıksu arıtma tesislerine ait giriş azot yüküne bağlı N₂O emisyon faktörleri verilmiştir. Biyolojik besi maddesi gideriminin yapılmadığı tesislerde birim N₂O emisyon faktörü %0,001-0,05 N₂O/N_{giriş} aralığındayken, BNR tesislerinde %0,03-25 N₂O/N_{giriş} aralığında değişmektedir (Law ve diğ, 2012).

Çizelge 3.3: Çeşitli tam ölçekli atıksu arıtma tesislerinden raporlanan N₂O emisyon faktörleri (Law ve diğ, 2012)

Tesis özelliği	N ₂ O emisyon faktörü (% N ₂ O/N _{giriş})	Numune alma metodu
Aktif çamur tesisi (birincil ve ikincil arıtma)	0,035-0,05	15 hafta boyunca haftada bir elle numune alınmıştır (ABD).
Aktif çamur tesisi	0,001	1 yıl boyunca 2 haftada bir elle numune alınmıştır (Almanya).
Anoksik-aerobik aktif çamur tesisi	0,001-0,04	Elle numune alınmıştır (Almanya).
Ardışık kesikli aktif çamur	0,01	- (Fransa)
BNR tesisleri (7 tane)	0,6-25 (ort. 2,5)	Elle numune alınmıştır (Avustralya).
BNR tesisleri (12 tane)	0,003-2,59	Online ölçüm yapılmıştır (ABD).

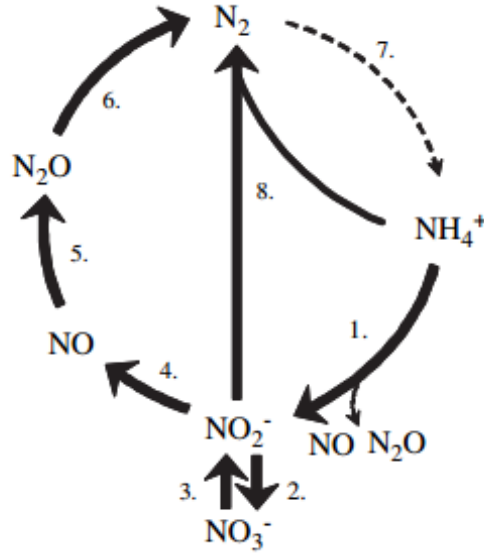
Denitrifikasyonda N_2O gazı zorunlu ara ürün olduğundan denitrifikasyonun N_2O emisyonuna büyük etkisi olduğu düşünülse de nitrifikasyon reaksiyonlarının N_2O üretiminde daha büyük rol oynadığı ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalar, amonyak oksitleyici bakteriler (AOB) başta olmak üzere ototrofik nitrifikasyon bakterilerinin nitrifikasyon reaksiyonunda da N_2O gazının ara ürün olduğunu ortaya koymuştur. Bu mekanizmalara ek olarak, aktif çamurda nitrifikasyonda görev alan AOB'lerin, düşük O_2 konsantrasyonunda gerçekleştirdiği denitrifikasyonun N_2O üretimine büyük etkisi vardır (Kim ve diğ, 2010; Law ve diğ, 2012; Kampschreur ve diğ, 2009; Wunderlin ve diğ, 2012).

BNR tesislerinde proses tasarım ve işletme koşulları iyileştirilerek, çözülmüş N_2O gazının sudan ayrılıp atmosfere salınmasının önlenabilmektedir (Law ve diğ, 2012).

3.2.1. Atıksu arıtma tesislerinde N_2O gazı üretimi

Biyolojik besi maddesi gideriminin yapıldığı atıksu arıtma sistemlerinde, ardışık veya eş zamanlı olarak gerçekleşen reaksiyonlarla, oksik ortamda atıksuda amonyum (NH_4^+) formunda bulunan azot nitrifikasyon reaksiyonlarıyla nitrata (NO_3^-) oksitlenir ve anoksik ortamda NO_3^- denitrifikasyon reaksiyonlarıyla nitrojen gazına (N_2) indirgenir. Birçok nitrifikasyon bakterisi ototrofiktir. Nitrifikasyonda, amonyum oksitleyici bakteriler (AOB) NH_4^+ 'u nitrite (NO_2^-) oksitlerken enerji elde eder ve nitrit oksitleyici bakteriler (NOB) NO_2^- 'i NO_3^- 'a oksitler. Nitrifikasyon reaksiyonlarında O_2 e^- alıcısıdır. Denitrifikasyon bakterileri (DEN) genelde heterotrofiktir, organik maddeleri (KOİ) enerji ve karbon kaynağı; oksitlenmiş azotu da O_2 'e alternatif e^- alıcı olarak kullanırlar. Atıksuda yeterli miktarda KOİ konsantrasyonu olmadığında denitrifikasyonu tamamlamak için dışarıdan karbon kaynağı ilave etmek gerekmektedir. Biyolojik azot giderimi yapılan atıksu arıtma tesislerinde gerçekleşen azot döngüsü Şekil 3.1'de verilmiştir. Burada '1' amonyum oksidasyonu (AOB), '2' nitrit oksidasyonu (NOB), '3' nitratin nitrite indirgenmesi (DEN), '4' nitritin azot okside indirgenmesi (AOB ve DEN), '5' azot oksidin nitroz okside indirgenmesi (AOB ve DEN), '6' nitroz oksidin nitrojen gazına indirgenmesi (DEN), '7' azot tutma, '8' nitritin amonyum oksidasyonu ile nitrojen gazına dönüşümü (Anammox) reaksiyonlarını temsil etmektedir. Nitrifikasyon '1' ve '2' basamaklarını, denitrifikasyon '3, 4, 5 ve 6' basamaklarını kapsamaktadır. AOB denitrifikasyonu ise '4 ve 5' reaksiyonlarını içermektedir. Adım

'1'deki NO ve N₂O çıkışı, nitrifikasyonda ara ürün olan hidroksilaminin oksidasyonuna bağlıdır.



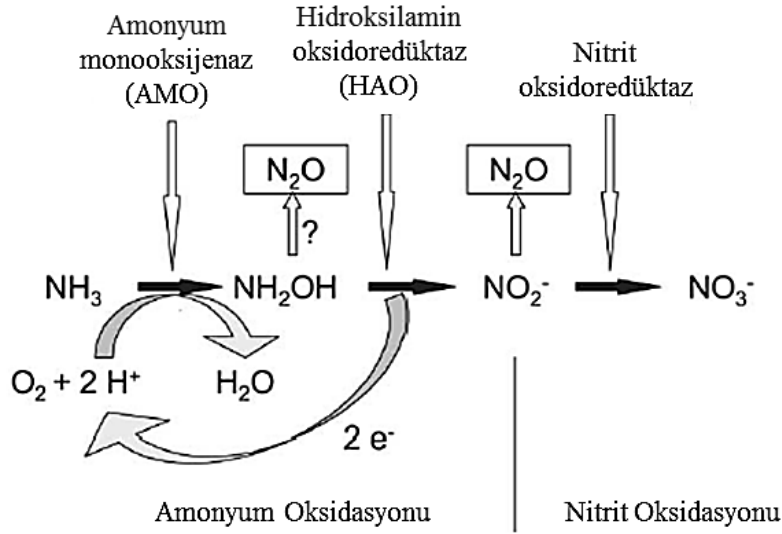
Şekil 3.1: BNR sistemlerinde azot döngüsü (Kampschreur ve diğ, 2009)

BNR sistemlerinde N₂O üretimi; nitrifikasyonda hidroksilamin (NH₂OH) oksidasyonu ara ürünlerinin bozunması, AOB denitrifikasyonu ve heterotrofik denitrifikasyonda meydana gelmektedir ve bahsedilen mekanizmalar aşağıda incelenmiştir.

Hidroksilamin (NH₂OH) Oksidasyonu:

Nitrifikasyon iki aşamalı bir reaksiyondur ve 1. basamağında amonyumun nitrite oksidasyonu AOB'ler tarafından gerçekleştirilir. NH₄⁺'un NO₂⁻'e oksitlenmesi de iki aşamalı bir reaksiyondur ve hidroksilamin (NH₂OH) ara ürün olarak oluşmaktadır. Burada, NH₄⁺ amonyak monooksijenaz (AMO) katalizörlüğünde NH₂OH'a oksitlenir ve bu reaksiyonda O₂'nin bir atomunun suya bağlanması için 1 çift e⁻'a ihtiyaç duyulmaktadır. NH₂OH'ın NO₂⁻'e oksitlenmesi hidroksilamin oksidoredüktaz (HAO) enzimi tarafından katalize edilir ve burada 2 çift e⁻ ortaya çıkar. NH₂OH'ın oksitlenmesi sırasında ortaya çıkan 2 çift e⁻'un 1 çifti NH₄⁺'un NH₂OH'e oksitlenmesinde kullanılır. Üretilen NO₂ daha sonra nitrit oksidoredüktaz enzimi katalizörlüğünde tek reaksiyonda NO₃⁻'a oksitlenir. Nitrifikasyonun 1. basamağında, NH₂OH'ın kimyasal bozunması veya oksidasyonunun tamamlanamaması sonucunda N₂O oluşabilmektedir. Ayrıca aerobik ortamda NO₂⁻'in birikmesi durumunda, NO₂⁻'in

kimyasal reaksiyonları sonucunda da NO ve N₂O oluşmaktadır (kemodenitrifikasyon) (Şekil 3.2) (Wrage ve diğ, 2001).



Şekil 3.2: Nitrifikasyon reaksiyonları (Wrage ve diğ, 2001)

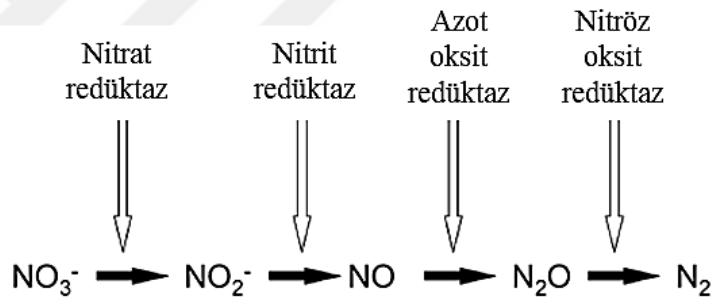
Nitrifikasyonun 1. basamağında (amonyum oksidasyonu) gerçekleşen reaksiyon zincirindeki HAO enzimi faaliyetleri üzerinde yapılan detaylı çalışmalarda, NH₂OH'in NO₂⁻'e oksitlenmesi reaksiyonunun eşzamanlı iki aşamalı reaksiyon ile gerçekleştiği görülmüştür. Bu aşamalar; (i) NH₂OH'in nitrozil radikaline (NOH) dönüşümü ile (ii) NOH'in NO₂⁻'e dönüşümüdür. Ara ürün olan NOH'in HAO enzimiyle NO₂⁻'e parçalanmasından NO, NOH'in kararsız kimyasal bozunmasından ise N₂O oluşmaktadır. HAO enzimi yardımıyla NO'nun N₂O'e dönüşümü de mümkündür (Law ve diğ, 2012).

AOB Denitrifikasyonu:

AOB denitrifikasyonu, düşük O₂ konsantrasyonun olduğu aerobik koşullarda, düşük KOİ konsantrasyonu ve ortamda yeterli NO₂⁻ bulunduğunda, N₂O üretiminde dominant bir prosestir. AOB denitrifikasyonu Şekil 3.1'de '4 ve 5' basamaklarını içerir. AOB denitrifikasyonunda, NO₂⁻, NO₃⁻ oluşturulmadan, NO ve N₂O'e indirgenir ve bu reaksiyonlarda NH₂OH, H₂ ve NH₃'ı e⁻ verici olarak kullanılır (Law ve diğ, 2012). AOB'ler oksijen azlığında, NO₂⁻'i son e⁻ alıcı olarak kullanıp kısmi denitrifikasyon yaparlar (Talleca ve diğ, 2006). Özellikle çözünmüş oksijenin sınırlayıcı parametre olduğu ortamlarda, AOB denitrifikasyonu N₂O üretiminde büyük rol oynamaktadır (Goreau ve diğ, 1980; Law ve diğ, 2012).

Heterotrofik Denitrifikasyon

Şekil 3.1’de (3), (4), (5) ve (6) yollarını kapsayan heterotrofik denitrifikasyonda, ardışık reaksiyonlarla NO_3^- , N_2 gazına indirgenir. Bu reaksiyon zincirinde N_2O zorunlu ara üründür ve tamamlanamamış denitrifikasyon suda çözünmüş N_2O birikimine sebep olmaktadır. Heterotrofik denitrifikasyonda nitrat redüktaz, nitrit redüktaz, azot oksit redüktaz ve nitroz oksit redüktaz enzimleri görev almaktadır (Şekil 3.3). Azot oksit redüktaz ve nitroz oksit redüktaz enzimlerinin reaksiyon hızı nitrat redüktaz ve nitrit redüktaz enzimlerinin hızından daha fazladır yani anaerobik koşullar altında oluşan ara ürün N_2O ’ın tüketilmesi beklenmektedir. Ancak atıksu arıtma tesislerindeki anoksik ortamdan aerobik ortama geçişler (veya tersi), nitroz oksit redüktazın O_2 ile inhibe edilmesine ve N_2O birikimine neden olmaktadır. Ayrıca denitrifikasyon enzimleri anaerobik koşullarda aktif hale gelir ve nitroz oksit redüktazın aktifleşmesi diğer denitrifikasyon enzimlerinden daha sonra gerçekleşmektedir. Bu durum N_2O birikimine neden olmaktadır (Law ve diğ, 2012).



Şekil 3.3: Denitrifikasyon enzimleri (Wrage ve diğ, 2001)

Kısmi denitrifikasyon sonunda N_2O birikimi olsa da anoksik/anaerobik bölgelerde aktif havalandırma olmadığından N_2O gazı suda çözünmüş halde kalır ve atmosfere salınmaz. Biriken çözünmüş N_2O gazının havalandırılan alana taşınması N_2O emisyonuna sebep olmaktadır. Denitrifikasyonda geçici olarak biriken N_2O gazının indirgenmesi için yeterli anoksik süre sağlandığında, heterotrofik denitrifikasyon kaynaklı N_2O emisyonu azaltılabilmektedir (Law ve diğ, 2012).

Çoğu denitrifikasyon bakterileri fakültatifdir yani oksijen varlığında e^- alıcı olarak O_2 ’i kullanırlar (Oksijenin enerji verimi yüksektir.). 1990’lı yıllarda keşfedilen zorunlu anaerobik kemooototrofik Anammox bakterileri ise NO_2^- ’ı e^- alıcı olarak kullanarak NH_4^+ ’u N_2 gazına oksitlemektedir (Sliekers ve diğ, 2002). Anammox reaksiyonlarında,

NO_2^- 'in bir kısmı NO_3^- 'a oksitlenir ve ortaya çıkan e^- 'lar hücre çoğalmasında kullanılmak üzere CO_2 'in indirgenme reaksiyonunda kullanılır (Monballiu ve diğ., 2013). Anammox prosesinde N_2O ara ürün olarak oluşmamaktadır.

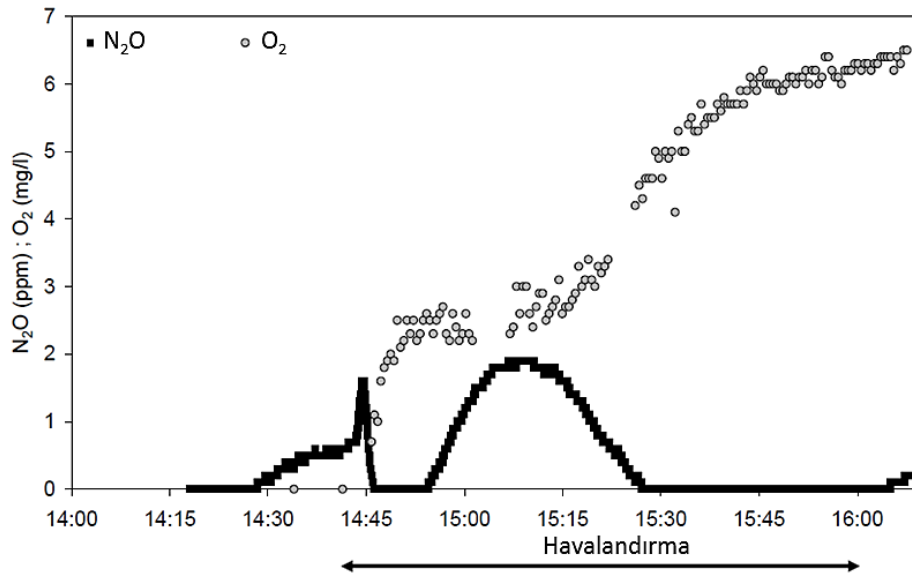
3.2.2. N_2O emisyonuna neden olan ortam koşulları

3.2.2.1. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu

Biyolojik azot gideriminin yapıldığı atıksu arıtma tesislerinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon bölmelerindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun N_2O gazı üretimine etkisi oldukça fazladır. Aerobik nitrifikasyon bölgesinde çözünmüş oksijen azlığı AOB'lerin denitrifikasyon yapmasına sebep olur. Gereğinden çok havalandırma ise suda çözünürlüğü fazla olan N_2O gazının sıyrılarak atmosfere salınmasına neden olur. Yapılan çalışmalarda nitrifikasyon bölgelerinde havalandırılan yüzeylerden N_2O emisyonunun havalandırılmayan bölgelere göre 2-3 kat fazla olduğu ortaya konmuştur. Denitrifikasyonda ise oksijen denitrifikasyon enzimlerini inhibe etmektedir ve özellikle N_2O redüktaz enzimi oksijene diğer denitrifikasyon enzimlerinden daha hassas olduğundan N_2O birikmesi olabilmektedir (Law ve diğ., 2012).

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, atıksu arıtma tesislerinde özellikle geçiş bölgelerinde N_2O oluşumunu ve emisyonunu etkilemektedir. Çünkü ani ortam değişikliğine maruz kalan mikroorganizmalar, yeni ortama kısa sürede uyum sağlayamazlar. Oksik bölgeden anoksik bölgeye geçişte azalan O_2 konsantrasyonu nitrifikasyonu, anaerobik bölgeden oksik bölgeye geçişte artan O_2 konsantrasyonu ise denitrifikasyonu etkileyerek N_2O birikimine sebep olmaktadır.

Fransa'da biyolojik besi maddesi giderimi yapılan bir atıksu arıtma tesisinde, havalandırma öncesi ve sonrası N_2O gazı emisyonu incelenmiştir. Şekil 3.4'ten görüleceği üzere, havalandırmanın başlamasıyla pik yapan N_2O gazı emisyonunun anoksik bölgedeki heterotrofik denitrifikasyondan kaynaklandığı, sonraki daha geniş pikin ise nitrifikasyon kaynaklı olduğu belirtilmiştir (GWRC, 2011).



Şekil 3.4: Atıksu arıtma tesisinde nitrifikasyonda salınan N₂O gazı (GWRC, 2011)

3.2.2.2. Nitrit (NO₂) konsantrasyonu

Tam ölçekli atıksu arıtma tesislerinde yapılan çalışmalarda, nitrifikasyon koşullarında yüksek NO₂ konsantrasyonunun, AOB denitrifikasyon aktivitesini tetiklediği ve N₂O üretimini arttırdığı ortaya çıkmıştır. Denitrifikasyonda ise yüksek NO₂ konsantrasyonu, denitrifikasyon hızını yavaşlatmakta ve NO ile N₂O birikimine neden olmaktadır (Kampschreur ve diğ, 2009).

3.2.2.3. KOİ/N oranı

Atıksuda yeterli organik madde (karbon kaynağı) bulunmadığında, denitrifikasyon enzimleri arasında e⁻ rekabeti başlar. Düşük KOİ/N oranına bağlı olarak organik karbonun limitleyici faktör niteliğinde olması, nitrat redüktaz ve nitrit redüktazın e⁻ ilgisi, azot oksit redüktaz ve nitroz oksit redüktazdan daha fazla olduğundan, ortamda NO ve N₂O birikmesine neden olur (Law ve diğ, 2012). Yapılan deneylerde karbonun limitleyici olduğu ortama dışarıdan karbon kaynağı eklendiğinde N₂O emisyonunda azalma olduğu gözlenmiştir (Kampschreur ve diğ, 2009).

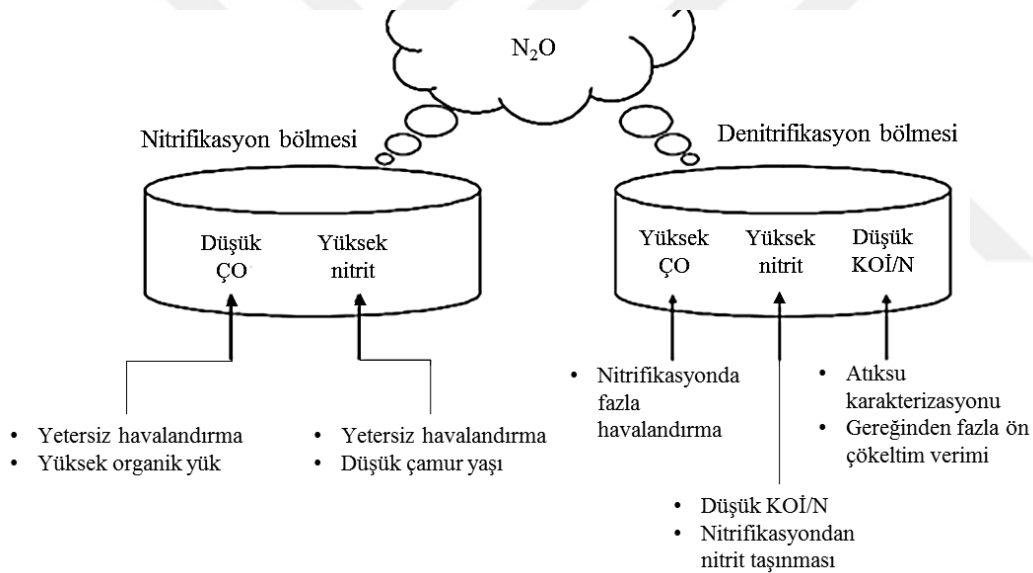
3.2.2.4. Dolaylı yoldan etkileyen faktörler

Biyolojik besi maddesi giderimi yapılan atıksu arıtma tesislerinde çözünmüş oksijen ve nitrit konsantrasyonunu etkileyen çeşitli parametreler N₂O gazı emisyonunu dolaylı yoldan etkilemektedir. Örneğin, yüksek organik madde yüklemesi olan tesislerde, havalandırmanın yetersiz olduğu durumlarda oluşan büyük floklar ve yoğun

partiküller çözünmüş oksijen konsantrasyonu etkilemekte ve nitrifikasyon tankında AOB denitrifikasyonuna bağlı N_2O üretimini arttırmaktadır.

Yüksek sülfür konsantrasyonu gibi toksik etkenler ve düşük sıcaklık, düşük çamur yaşı gibi parametreler mikroorganizma ve enzim faaliyetlerini etkileyerek NO_2^- konsantrasyonunu arttırabilmekte ve buna bağlı olarak N_2O üretimini arttırmaktadır (Kampschreur ve diğ., 2009).

Şekil 3.5'te BNR tesislerinde N_2O emisyonunu etkileyen faktörler özetlenmiştir. Nitrifikasyonda düşük çözünmüş oksijen ve yüksek NO_2^- konsantrasyonuna neden olan faktörler ile denitrifikasyonda çözünmüş oksijen varlığı, yüksek NO_2^- konsantrasyonu ve düşük KOI/N oranına neden olan faktörler N_2O üretimini arttırmaktadır. Nitrifikasyon tankında gereğinden fazla havalandırma yapıldığında, çözünmüş N_2O gazı atmosfere salınmaktadır.



Şekil 3.5: N_2O emisyonuna neden olan başlıca parametreler (Kampschreur ve diğ., 2009)

3.3. CH_4 Emisyonu

Organik maddenin, oksijen yokluğunda metanojik mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak bozunması sonucu CH_4 gazı oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde yüksek $BOİ$ ve düşük O_2 konsantrasyonunun olduğu giriş yapısı (kanalizasyonda üretilen CH_4 gazı burada salınır), anaerobik/anoksik biyolojik tanklar, çamur çürütücü ve bekletme tanklarında CH_4 gazı emisyonu gözlenebilmektedir (GWRC, 2011).

Czepiel ve diğ. (1993), $1,1 \cdot 10^9$ L/yıl debiye sahip ve 10.925 eşdeğer nüfuslu, ön arıtmanın ardından aktif çamur sistemiyle arıtılan evsel atıksu arıtma tesisinde, kişi başı emisyon faktörünü 0,039 kg CH₄/kişi/yıl ve arıtılan atıksu başına emisyon faktörünü $2,4 \cdot 10^{-4}$ g CH₄/L olarak tanımlanmıştır (çamur üniteleri hariç). Çamurun anaerobik olarak çürütüldüğü tesislerde emisyon faktörü çok daha fazladır.

Anaerobik çamur çürütücü içeren evsel atıksu arıtma tesislerinde metan emisyonunun ~%70'i çamur ünitelerinden kaynaklanmaktadır. Çamur ünitelerinde üretilip üst akımla tesis başına verilen çözünmüş CH₄, aktif çamur tankında biyolojik olarak CO₂'e dönüşmekte ya da havalandırmanın etkisiyle sudan sıyrılıp atmosfere salınmaktadır. Piston akışlı aktif çamur reaktörlerinde, reaktöre giren çözünmüş CH₄'ın %80'i CO₂ dönüşmektedir ve bu oranın tam karışımli reaktörlerde daha fazla olması beklenmektedir (Daelman ve diğ, 2012).

3.3.1. Atıksu arıtma tesislerinde CH₄ üretimi

Organik maddelerin anaerobik olarak çürütülmesi hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi aşamalarını kapsamaktadır. Hidrolizde, hücre dışı enzimlerle kompleks organik maddeler daha basit yapıdaki forma parçalanırlar. Asit üretiminde basit yapıdaki moleküller asidojenik bakteriler ve asetik asit bakterileri tarafından asetik asit, uçucu yağ asidi, H₂ ve CO₂'e dönüştürülürler. Metan üretiminde ise metanojen bakterilerinin ve arkelerin faaliyetleri sonucu, asetik asidin parçalanması veya H₂ ve CO₂'in sentezi sonucu CH₄ ve CO₂ gazı üretilir (Öztürk ve diğ, 2015). Çürütülen 1 kg uçucu katı madde başına üretilen 1 m³ gazın %65'i CH₄ ve %35'i CO₂'tir (IPCC, 1999). Anaerobik çürütme sonunda oluşan gaz karışımına biyogaz denir ve enerji değeri oldukça yüksektir. Tesis içinde biyogazdan enerji elde edildiğinde, geri kazanılan CH₄ miktarı net sera gazı emisyonundan düşülmektedir. Ayrıca elde edilen enerji tesis içinde kullanıldığında, fosil yakıt kullanımından tasarruf edilir ve tasarruf edilen fosil yakıta bağlı emisyon değeri de tesisin net emisyon değerinden düşülmelidir. Artıma çamurlarının anaerobik çürütülmesi, tesislerin karbon ayakizi değerini küçülttüğünden, atıksu arıtma tesislerinin çevreye etkilerini azaltmaktadır.

Anaerobik çürütücüye, ön çökeltim tankından gelen birincil çamur ile aktif çamur reaktöründen gelen fazla biyolojik çamur beslenebilir. Birincil çamurun organik madde içeriği yüksektir ve kolay ayrışabilir niteliktedir. Biyolojik çamur ise birincil çamurdan daha yavaş bozunur ve bu nedenle biyogaz verimi daha düşüktür. Uygun

koşullar altında birincil çamurun CH_4 verimi $315\text{-}400 \text{ Nm}^3/\text{tKM}$, biyolojik çamurun CH_4 verimi ise $190\text{-}240 \text{ Nm}^3/\text{tKM}$ 'dir (Bachmann, 2015).

3.3.2. CH_4 emisyonuna neden olan ortam koşulları

3.3.2.1. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu

Organik maddenin anaerobik olarak ayrışıp CH_4 üretilebilmesi için anaerobik koşul zorunludur. Atıksu arıtma tesisinin iyi işletilememesi sonucu oluşan anaerobik bölgelerde faaliyet gösteren metanojik bakteriler istenmeyen CH_4 üretimine sebep olabilir. Metanojik bakteriler için oksijen inhibitör niteliğindedir.



4. SERA GAZI PROTOKOLÜ

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi gereğince, taraflar yıllık emisyon miktarlarını, belirlenen beş ana sektör ((i) enerji, (ii) endüstriyel prosesler ve ürün kullanımı, (iii) tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı, (iv) atık, (v) diğer) için raporlamakla yükümlüdürler. Sera gazı emisyon miktarını hesaplama ve raporlama hakkında bir çok standart mevcuttur. Dünya Kaynakları Enstitüsü (World Resources Institute (WRI)) ve Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)) tarafından geliştirilen Sera Gazı Protokolü (WRI & WBCSD, 2005) en yaygın kullanılan protokol olup, sera gazı hesaplama ve raporlamaya yönelik kapsam ve sınır konularında kılavuz niteliğindedir.

Sera Gazı Protokolü, emisyon kaynağının doğrudan veya dolaylı aidiyet seviyesine göre emisyon raporlama kapsamları belirlemiştir. Kapsam 1, tesisten doğrudan salınan ve kontrol edilen, üreticiye ait emisyonları; Kapsam 2, tesiste kullanılmak üzere satın alınan elektrik üretiminden kaynaklanan, kullanıcıya ait dolaylı sera gazı emisyonunu; Kapsam 3, tesis dışında salınan, satın alınan bütün malzemelerin üretiminden, üretilen ürünün kullanımından, çalışanların ve tedarik zincirindeki ulaşım faaliyetlerinden kaynaklı, kullanıcıya ait bütün dolaylı emisyonları içermektedir. Emisyon raporlamada küresel ölçekte kabul gören bu kapsam yaklaşımının özeti Çizelge 4.1’de verilmiştir. Atıksu arıtma tesisleri için belirlenmiş sera gazı emisyon kaynakları ve sera gazı türleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Sera Gazı Protokolünde belirtilen emisyon raporlama kapsamları özeti
(WRI & WBCSD, 2005)

Kapsam	Aidiyet seviyesi	Emisyon kaynakları
1	Doğrudan	- Tesis sınırları içinde yakıt yakma - Proses - Tesis içi ulaşım araçları
2	Dolaylı	- Isıtma, soğutma ve havalandırma faaliyetleri
3	Dolaylı	- Tesiste kullanılmak üzere satın alınan elektrik - Satın alınan malzemeler - Çalışanların iş seyahatleri - Atık bertarafı - Dışarıdan sağlanan fayda ve hizmetler - Üretilen ürünün kullanımı

Çizelge 4.2: Atıksu arıtma tesisleri için belirlenmiş sera gazı emisyon kaynakları ve sera gazı türleri (WRF & GWRC, 2013)

Kaynak	Sera gazı	Kapsam
Atıksu toplama (Terfi)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	- Enerji: 2 (elektrik enerjisi ise), 1 (tesiste yakıt yakımı ile elde edilen enerji ise) - İnşaat ve bakım: 3 - İşletmeye ait araç kullanımı: 1 - Kanalizasyondan CH ₄ emisyonu: 1
Arıtma (Izgaralar)	CH ₄	- Ham sudan CH ₄ emisyonu: 1 - İnşaat ve bakım: 3
Arıtma (Ön arıtma)	CH ₄	- Ham sudan CH ₄ emisyonu: 1 - İnşaat ve bakım: 3
Arıtma (Aktif çamur)	CO ₂ , N ₂ O	- Havalandırma enerjisi: 2 (elektrik enerjisi ise), 1 (tesiste yakıt yakımı ile elde edilen enerji ise) - Nitrifikasyon/denitrifikasyonda veya deşarjda N ₂ O emisyonu: 1 - İnşaat ve bakım: 3
Arıtma (Filtreler)	N ₂ O	- Nitrifikasyon/denitrifikasyonda N ₂ O emisyonu: 1
Arıtma (Ozonlama)	N ₂ O	- Arıtmada N ₂ O emisyonu: 1
Arıtma (Klorlama)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	- Enerji: 2 (elektrik enerjisi ise), 1 (tesiste yakıt yakımı ile elde edilen enerji ise) - İnşaat ve bakım: 3 - İşletmeye ait araç kullanımı: 1
Arıtma (UV)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	- Enerji: 2 (elektrik enerjisi ise), 1 (tesiste yakıt yakımı ile elde edilen enerji ise) - İnşaat ve bakım: 3 - İşletmeye ait araç kullanımı: 1
Arıtma (içme suyu temini)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	- Enerji: 2 (elektrik enerjisi ise), 1 (tesiste yakıt yakımı ile elde edilen enerji ise) - İnşaat ve bakım: 3 - İşletmeye ait araç kullanımı: 1
Dağıtım (kullanım suyu temini)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	- Enerji: 2 (elektrik enerjisi ise), 1 (tesiste yakıt yakımı ile elde edilen enerji ise) - İnşaat ve bakım: 3 - İşletmeye ait araç kullanımı: 1
Biyokatı (depolama)	CH ₄	- Atık bertarafı: 1 (depo tesis içindeyse); 2 (dışarıdan alınan hizmetse)
Biyokatı (Yakma)	CH ₄	- Kaçak emisyon: 1
Biyokatı (Gübre/toprak şartlandırıcısı)	CH ₄ , N ₂ O	- Ürün olarak atık bertarafı: 3
Biyokatı (Kompost)	CH ₄ , N ₂ O	- Ürün olarak atık bertarafı: 1 (tesis içinde kullanım); 3 (dışarıdan alınan hizmetse)
Biyokatı (Susuzlaştırma)	CH ₄	- Kaçak emisyon: 1
Biyokatı (Biyogaz yakımı)	CH ₄ , N ₂ O	- Kaçak emisyon: 1
Biyokatı (Birleşik ısı ve güç)	CH ₄ , N ₂ O	- Kaçak emisyon: 1

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında taraflar sektör bazlı yıllık emisyon miktarlarını IPCC (2006) Ulusal Emisyon Envanteri Rehberinden yararlanarak raporlamaktadırlar. Sera gazı emisyonu konusu üzerine yapılan çalışmalar ışığında, ekonomik sektörlerden daha küçük ölçekte (tesislere özgü) sera gazı emisyon miktarı hesaplamada kullanılan bilgisayar simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Hydromantis firmasına ait GPS-X modeli bunlardan biridir. Sera gazı emisyon miktarı hesaplamada kullanılabilen bu iki yöntem ayrıntılı biçimde aşağıda anlatılmıştır.

4.1. IPCC (2006) Ulusal Emisyon Envanteri Rehberi

4.1.1. N₂O emisyonu

IPCC (2006) Rehberinde, atıksu arıtma tesislerinde nitrifikasyon ve denitrifikasyona bağlı doğrudan N₂O emisyon miktarı, arıtma çıkışında alıcı ortama deşarj edilen ve ortamda dolaylı yoldan salınan N₂O miktarından oldukça az kabul edilmektedir. Bu nedenle çoğunlukla merkezi BNR tesislerinde evsel atıksu giderimi yapan ülkeler hariç, dolaylı N₂O emisyonlarının raporlanması yeterli görülmektedir.

Doğrudan N₂O emisyon miktarı hesabı:

Atıksu arıtma tesisinde nitrifikasyon ve denitrifikasyona bağlı doğrudan N₂O emisyon miktarı hesaplanırken, Czepiel ve diğ. (1995) tarafından belirlenen emisyon faktörü 3,2 gN₂O/kişi/yıl değeri denklem 4.1’de kullanılmaktadır. Burada ‘N₂O_{AAT}’ atıksu arıtma tesislerinden arıtmaya bağlı doğrudan N₂O emisyonunu (kgN₂O/yıl), ‘P’ tesisin hizmet verdiği kişi sayısını, ‘T_{AAT}’ popülasyonun merkezi AAT’lerden yararlanma oranını, ‘F_{End-Tic}’ endüstriyel ve ticari kaynaklardan atıksu toplama kanalına protein girişi faktörünü (1,25 olarak alınır), ‘EF_{AAT}’ ise emisyon faktörünü (3,2 g N₂O/kişi/yıl) belirtmektedir.

$$N_{2O_{AAT}} = P * T_{AAT} * F_{End-Tic} * EF_{AAT} \quad (4.1)$$

Dolaylı N₂O emisyon miktarı hesabı:

Atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun alıcı ortama deşarjından kaynaklı dolaylı N₂O emisyon miktarı hesaplanırken denklem 4.2 kullanılmaktadır. Burada ‘N₂O_{Deşarj}’ alıcı ortamdan arıtılmış atıksuyun neden olduğu N₂O emisyonunu (kg N₂O/yıl), ‘N_{Deşarj}’ arıtılmış atıksudaki azot miktarını (kg N/yıl), ‘EF_{Deşarj}’ dolaylı yolla salınan N₂O

emisyon faktörünü (0,005 kg N₂O-N/kgN) ve '44/24' ise N₂O-N'in N₂O'e dönüşüm faktörünü belirtmektedir.

$$N_2O_{Deşarj} = N_{Deşarj} * EF_{Deşarj} * 44/24 \quad (4.2)$$

IPCC (2006) Rehberi, $EF_{Deşarj}$ değerini 0,005 (0,0005-0,25) kg N₂O-N/kg N olarak belirlemiştir. Bu değer alıcı ortamda nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerinin oluşumu ile ilgili iki kabul yapılarak elde edilmiştir. Birinci kabul giriş suyundaki bütün azotun alıcı ortama deşarj edilmesidir. İkinci kabul ise deşarj edilen azotun tamamının nitrifikasyon ve denitrifikasyona uğramasıdır.

4.1.2. CH₄ emisyonu

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan CH₄ gazı emisyonunun belirlenmesi için 3 tabaka yöntem belirlenmiştir.

Tabaka 1: Emisyon faktörü ve aktivite parametreleri olarak IPCC (2006) Rehber değerlerinin kullanarak emisyonların belirlenmesinde bu yöntem kullanılmaktadır. AAT'lere ait sınırlı bilgiye sahip ülkeler için idealdir.

Tabaka 2: Bu yöntem Tabaka 1 ile aynı hesaplama yöntemiyle ilerler ancak ülkeye özgü emisyon faktörü ve aktivite parametre değerleri mevcut ise bu bilgiler hesaplamalara yansıtılmaktadır. Çamurun bertarafı (yakma, depolama, arazide kullanma vb.) ve anaerobik arıtma kullanılarak geri kazanılan CH₄ miktarı, emisyon miktarını etkileyen önemli parametrelerdir. Bu değerler, net emisyon miktarı değerinden çıkartılırlar.

Tabaka 3: Ülkeye özgü emisyon faktörü ve aktivite parametreleri mevcut olan ülkeler, geliştirdikleri ileri emisyon tahmin yöntemleriyle emisyon hesabı yapıp raporlayabilmektedirler.

IPCC (2006) Rehberine göre evsel atıksu arıtma tesisinden kaynaklı CH₄ emisyonu tahmininde hangi tabaka yönteminin kullanılacağına karar verildikten sonra aşağıdaki adımlar takip edilmektedir.

1. Adım: Atıksudaki toplam organik karbon (TOK, kg KOİ/yıl) miktarı denklem 4.3 kullanılarak belirlenir. Burada 'P' eşdeğer nüfusu, 'KOİ' hizmet verilen bölgeye özgü kişi başı yıllık KOİ yükünü (g/kişi/yıl), 'I' ise atıksu kanalına giren endüstriyel atıksu

düzeltilme faktörünü (evsel ve endüstriyel atıksu beraber toplanıyorsa 1,25, ayrı toplanıyorsa 1,00) belirtmektedir.

$$TOK=P * KOİ * 0,001 * I * 365 \quad (4.3)$$

Bu çalışmada, atıksudaki toplam organik karbon (TOK) miktarı olarak tesislerin tasarımında kullanılan atıksu KOİ yükü hesaplarda kullanılacaktır.

2. Adım: Atıksu arıtma tesisi aktivite parametreleri seçilir ve denklem 4.4 ile emisyon faktörü hesaplanır. Burada, 'EF_j' emisyon faktörünü (kg CH₄/kg KOİ), 'B_O' atıksu KOİ yükü başına maksimum CH₄ üretim kapasitesini (kg CH₄/kg KOİ), 'MCF_j' ise metan düzeltme faktörünü belirtmektedir.

$$EF_j=B_O * MCF_j \quad (4.4)$$

3. Adım: Denklem 4.5 kullanılarak her sistem için emisyon miktarı hesaplanır. Çamur bertarafı ve CH₄ kazanımı oranları bu adımda devreye girer. Burada, 'S' çamur ile uzaklaştırılan organik madde (yakma, depolama veya araziye uygulama bertaraf yöntemleri için) miktarını (kg KOİ/yıl), 'R' ise anaerobik çürütücüde gerş kazanılan CH₄ miktarını (kg CH₄/yıl) belirtmektedir.

$$CH_4 \text{ emisyonu} = \left[\sum_j (EF_j) \right] (TOK-S)-R \quad (4.5)$$

CH₄ emisyonu : İncelenen yıla ait CH₄ emisyonu, kg CH₄/yıl

Tesise ait çamur bertarafı ve geri kazanılan CH₄ ile ilgili veri bulunmuyorsa bu değer '0' kabul edilecektir.

Çizelge 4.3: IPCC (2006) Rehberinde tanımlanan evsel atıksu için maksimum CH₄ üretim kapasitesi (B_O) (IPCC, 2006)

Evsel atıksu için maksimum CH ₄ üretim kapasitesi (B _O)
0,6 kg CH ₄ /kg BOİ
0,25 kg CH ₄ /kg KOİ

Çizelge 4.4: IPCC (2006) Rehberinde belirlenen MCF değerleri (IPCC, 2006)

Atıksu arıtma ve deşarj türü	Yorumlar	MCF	Aralık
Arıtılmayan sistem			
Deniz, göl ve akarsuya deşarj	Yüksek organik madde yüklemesi yapılan akarsular anaerobik özellik gösterebilir.	0,1	0-0,2
Durgun atıksu kanalı	Açık ve sıcak	0,5	0,4-0,8
Akışkan atıksu kanalı (açık veya kapalı)	Hızlı hareket eder, temiz. (Pompa istasyonlarında ihmal edilebilir CH ₄ emisyonu)	0	0
Arıtılan sistem			
Merkezi sistem, aerobik arıtma	İyi işletilen. Çökeltme tanklarından CH ₄ emisyonu olabilir.	0	0-0,1
Merkezi sistem, aerobik arıtma	İyi işletilmeyen veya fazla yük girişi olan	0,3	0,2-0,4
Anaerobik çamur çürütücü	CH ₄ geri kazanımı burada değerlendirilmemiştir.	0,8	0,8-1,0
Anaerobik reaktör	CH ₄ geri kazanımı burada değerlendirilmemiştir.	0,8	0,8-1,0
Anaerobik sığ lagün	Derinlik 2 m'nin altında	0,2	0-0,3
Anaerobik derin lagün	Derinlik 2 m'nin üstünde	0,8	0,8-1,0
Septik sistem	BOİ konsantrasyonunun yarısı anaerobik tankta çöker	0,5	0,5
Tuvalet (dışarıda)	Kuru iklim, yeraltısuyu seviyesi tuvalet seviyesinden aşağıda, küçük aile (3-5 kişi)	0,1	0,05-0,15
Tuvalet (dışarıda)	Kuru iklim, yeraltısuyu seviyesi tuvalet seviyesinden aşağıda, ortak kullanım	0,5	0,4-0,6
Tuvalet (dışarıda)	Islak iklim veya sifon kullanımı, yeraltısuyu seviyesi tuvalet seviyesinden yukarıda	0,7	0,7-1,0
Tuvalet (dışarıda)	Düzenli sediment uzaklaştırma	0,1	0,1

4.2. GPS-X Simülasyon Programı

Alıcı ortam kalitesini korumak adına evsel atıksu arıtma tesisi deşarj standartları giderek daha katı hale gelmektedir. 1950'lere kadar atıksu arıtma tesisi deşarj standartları yalnızca AKM ve BOİ parametrelerini kapsarken, günümüzde bu parametrelere ek olarak nütrient deşarjı sınırlandırılmaktadır ve biyolojik (aktif çamur) atıksu arıtma tesislerinin karmaşıklığı, deşarj standartlarının sıkılaşmasıyla orantılıdır. Tesis tasarımında ve işletmesinde kullanılan ampirik metotlar sistem karmaşıklığı arttıkça doğruluktan uzaklaşmakta ve böyle durumlarda matematiksel modelleme ile bilgisayar simülasyonları devreye girmektedir.

Uluslararası Su Derneği (International Water Association (IWA)) 1983'te, mevcut matematiksel modelleri ve literatür bilgilerini inceleyerek, karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon modellerinde en basit yaklaşımı belirlemek ve tasarım/işletmede kullanılabilecek en az karmaşıklığa sahip aktif çamur modelini geliştirmek üzere Matematiksel Modelleme Görev Grubunu kurmuştur. Görev Grubu tarafından geliştirilen ilk model, 1981'de Cape Town Üniversitesi tarafından

geliştirilen UCTOLD modelini baz alan Activated Sludge Model No.1 (ASM1)'dir. ASM1 karbon giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon proseslerini içerir ve biyolojik fosfor gideriminin yapılmadığı durumlarda en çok kullanılan modeldir. Biyolojik fosfor gideriminin yansıtıldığı modeller ise 1990'dan sonra ortaya çıkmıştır. 1995'te biyolojik fosfor gideriminin dahil edildiği ASM2 Görev Grubu tarafından geliştirilmiştir. ASM1'in geniş çaplı kullanımı, modelin bazı aksaklıklarını ortaya çıkarmış ve bu aksaklıklar 1999'da ASM3 modeli ile giderilmiştir. Fosfor gideriminin modellenmesi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda, fosfor depolayan organizmaların (PAO) denitrifikasyon prosesi 1999'da ASM2d ile modele dahil edilmiştir. ASM3 modeline, 2001 yılında biyolojik fosfor giderimi ve PAO denitrifikasyonu modülü EAWAG biyo-P dahil edilmiş, yeni model ASM3P olarak adlandırılmıştır. EAWAG biyo-P modülü içerdiği proses ve bileşen sayısı açısından ASM2d ile aynı özelliklere sahip olsa da yapıları biraz farklıdır.

Artan matematiksel modelleme uygulamaları yeni tesis tasarlamak, mevcut tesisi optimize etmek ve yeni arıtma konfigürasyonları geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Birçok çalışmada kullanılan modellerin üniform yapıları, ticari bilgisayar simülasyon programlarının geliştirilmesini sağlamıştır (Makinia, 2010).

Kanadalı Hydromantis firması tarafından geliştirilen GPS-X simülasyon programında, su ve atıksu arıtımında değişik konfigürasyonlarda kullanılabilen temel prosesler tanımlıdır. GPS-X'in bazı özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Kararlı hal ve dinamik simülasyonlar çalıştırılabilmektedir.
- Sıcaklığa duyarlı standart biyokinetik modeller ASM1, ASM2d, ASM3 ve 2-aşamalı nitrifikasyon (Mantis 2) mevcuttur.
- Model yapısı oldukça basittir ve ara yüzü grafiksel olarak tasarlanmıştır.

Mantis3 modülü, atıksu arıtma tesislerinin karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılmaktadır. Her üniteye ait sera gazı emisyonu ve Kapsam 1, 2, 3 için toplam emisyon miktarı hesaplanabilmektedir. Ayrıca anaerobik proseslerden kazanılan metan miktarı da modele dahil edilmiştir. Mantis3 modeli enerji hesaplamalarını da içermektedir.

4.2.1. Aktif Çamur Modeli No. 1 (ASM1)

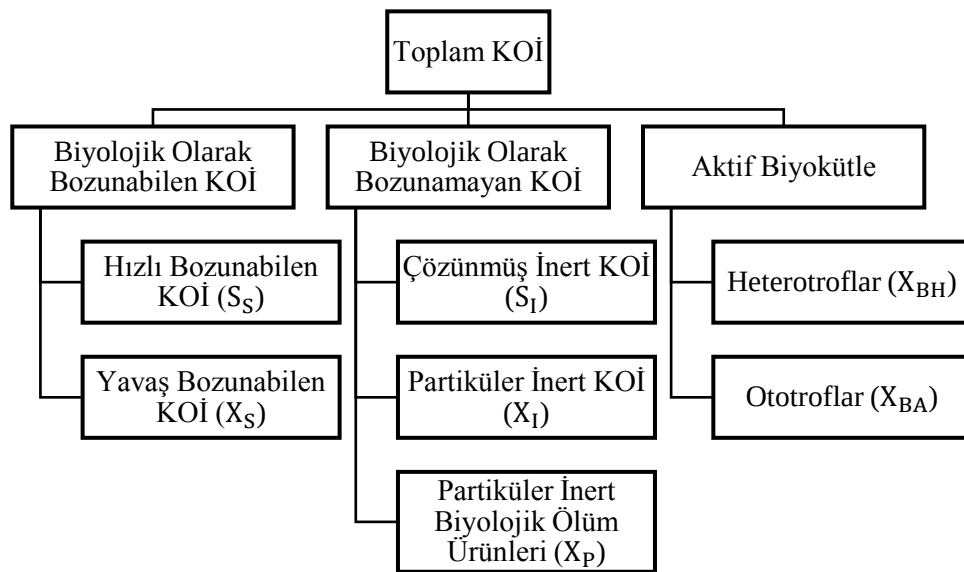
ASM1'de organik madde ölçü birimi olarak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) kullanılmaktadır. Atıksudaki organik madde (KOİ), biyolojik olarak bozunabilir

(ayırışabilir) olup olmamasına göre karakterize edilmektedir. Biyolojik olarak bozunamayan (inert) KOİ arıtma sisteminde hiçbir değişikliğe uğramadan sistemi terk etmektedir ve suda çözünürlüğüne göre fiziksel olarak iki ayrı kategoride incelenmektedir. Çözünmüş inert KOİ (S_I) deşarj ile sistemi terk ederken, partiküler inert KOİ (X_I) genellikle atık aktif çamur ile sistemden çıkmaktadır. Biyolojik olarak bozunabilen KOİ ise hızlı ve yavaş bozunabilen olarak ikiye ayrılmaktadır. Hızlı bozunabilen KOİ (S_S), hücre duvarından geçebilen ve hücre sentezinde kullanılabilen basit moleküllerden oluşmaktadır. Yavaş bozunabilen KOİ (X_S) ise hidrolizle hızlı bozunabilen KOİ'ye dönüştürülür (hidrolizde, enerji üretimi ve karşılığında elektron alıcısı kullanımı olmadığı kabul edilmektedir). Hidroliz hızı genelde hızlı bozunabilen substrat kullanımından daha yavaş olduğundan sistemde hız sınırlayıcı prostestir (Hydromantis, 2016; Dereli, 2006).

ASM1'de heterotrofik ve ototrofik biyokütle modellenmiştir. Heterotrofik biyokütle (X_{BH}), aerobik ve anoksik koşullarda hızlı bozunabilen substratı tüketerek çoğalma ve her ortam koşulunda gerçekleşen biyokütle ölüm reaksiyonları ile oluşmaktadır. Ototrofik biyokütle (X_{BA}) ise sadece aerobik koşullarda enerji üretimi için amonyak kullanımıyla ve her ortam koşulunda biyokütle ölüm reaksiyonları ile oluşmaktadır.

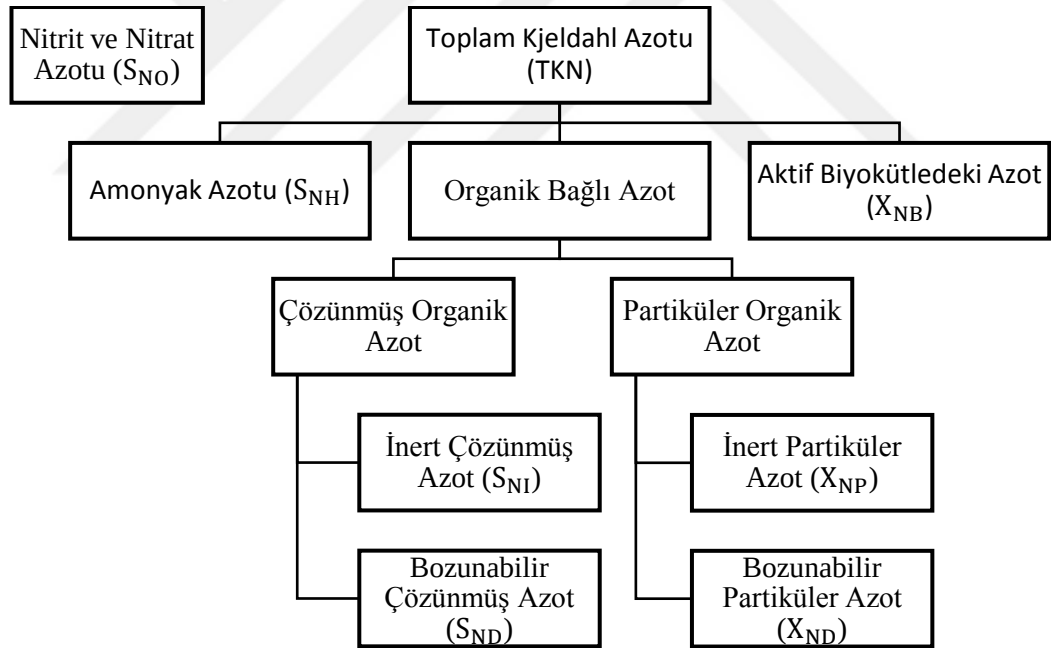
Şekil 4.1'de, ASM1'deki KOİ bileşenleri ve durum değişkenleri verilmiştir. Toplam KOİ ise denklem 4.6'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$KOI_{top} = S_S + S_I + X_S + X_I + X_{BH} + X_{BA} \quad (4.6)$$



Şekil 4.1: ASM1'deki KOİ bileşenleri ve durum değişkenleri (Dereli, 2006)

Atıksudaki organik maddeye bağlı azot biyolojik olarak bozunabilirliğine ve fiziksel durumuna göre kategorize edilmektedir. Partiküler inert azotlu madde (X_{NP}), partiküler inert KOİ altında bir fraksiyon olarak modellenmişken, çözülmüş inert azotlu madde (S_{NI}) ihmal edilmiştir. Bozunabilir azotlu madde ise amonyak (serbest ve iyonize) (S_{NH}), bozunabilir çözülmüş organik azot (S_{ND}) ve bozunabilir partiküler organik (X_{ND}) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Partiküler organik madde hidrolizle çözünebilir organik maddeye, çözünebilir organik ise heterotrofik biyokütle tarafından amonyağa dönüştürülmektedir. Amonyağın nitrata ototroflar tarafından dönüştürülmesi (nitrifikasyon) ise tek basamaklı bir proses olarak kabul edilmiştir (Hydromantis, 2016). Amonyağın oksidasyonundan oluşan tek ürün nitrat (S_{NO}) kabul edilmiş ve modele dahil edilmiştir. Aktif biyokütle içindeki azot (X_{NB}), biyokütle ölümünden ortaya çıkan biyolojik olarak ayrışabilen organik azotu modelde temsil etmektedir. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), amonyak azotu (S_{NH}), organik bağlı azot ve aktif biyokütlerdeki azotun (X_{NB}) toplamıdır.



Şekil 4.2: ASM1’de azot bileşenleri ve durum değişkenleri (Dereli, 2006)

Çözülmüş oksijen konsantrasyonu (S_O), ASM1’de negatif KOİ olarak ifade edilmekte, alkalinite (S_{ALK}) ise modeldeki diğer prosesleri etkilememektedir.

ASM1 model matrisi Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5: ASM1'in matris gösterimi (Dereli, 2006)

i	Bileşen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Proses Hızı	
j	Proses	S _I	S _S	X _I	X _S	X _{BH}	X _{BA}	X _P	S _O	S _{NO}	S _{NH}	S _{ND}	X _{ND}	S _{ALK}		
1	Heterotrofik aerobik çoğalma		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\bar{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH}+S_O} \right) X_{BH}$	
2	Heterotrofik anoksik çoğalma		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14*2,86*Y_H} - \frac{i_{XB}}{14}$	$\bar{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH}+S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}} \right) \eta_g X_{BH}$	
3	Ototrofik çoğalma						1		$-\frac{4,57}{Y_A} + 1$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{Y_A}$	$\bar{\mu}_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OA}+S_O} \right) X_{BA}$	
4	Heterotrofik ölüm				$1-f_p$	-1		f_p					$i_{XB}-f_p i_{XB}$		$b_H X_{BH}$	
5	Ototrofik ölüm				$1-f_p$		-1	f_p					$i_{XB}-f_p i_{XB}$		$b_A X_{BA}$	
6	Çözünmüş organik azotun amonifikasyonu										1	-1		1/14	$k_a S_{ND} X_{BH}$	
7	Partiküler organik maddenin hidrolizi		1		-1										$k_H \frac{X_S/X_{BH}}{K_X + X_S/X_{BH}} \left[\left(\frac{S_O}{K_{OH}+S_O} \right) + \eta_h \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH}+S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}} \right) \right] X_{BH}$	
8	Partiküler organik azotun hidrolizi											1	-1		$\rho_T (X_{ND}/X_S)$	
Gözlenen dönüşüm hızları [M/L ³ T]		$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$														
Stokiyometrik değerler:															Kinetik parametreler:	
Y _H		Çözünmüş inert organik madde [M(KOİ)/L ³]													$\bar{\mu}_H$	K _X
Y _A		Hızlı bozunabilen substrat [M(KOİ)/L ³]													$\bar{\mu}_A$	b _H
f _p		Partiküler inert organik madde [M(KOİ)/L ³]													K _S	b _A
i _{XB}		Yavaş bozunabilen organik madde [M(KOİ)/L ³]													K _{OH}	η _g
i _{XP}		Aktif heterotrofik biyokütle [M(KOİ)/L ³]													K _{NO}	η _h
		Aktif ototrofik biyokütle [M(KOİ)/L ³]													K _{NH}	k _a
		Partiküler inert biyolojik ölüm ürünleri [M(KOİ)/L ³]													K _{OA}	k _h
		Ok(negatif KOİ) [M(KOİ)/L ³]														
		Nitrit ve Nitrat azotu [M(N)/L ³]														
		Amonyak (serbest ve iyonize) azotu [M(N)/L ³]														
		Bozunabilir çözünmüş azot [M(N)/L ³]														
		Bozunabilir partiküler azot [M(N)/L ³]														
		Alkalinite (molar)														

Çizelge 4.6: ASM1’de kullanılan parametreler ve önerilen değerler (Dereli, 2006)

Model parametreleri		Sembol	Birim	20°C	10°C	Literatür aralığı
Stokiyometrik parametreler	Heterotrofik dönüşüm oranı	Y _H	g hücre KOİ/g KOİ _{substrat}	0,67	0,67	038-0,75
	Ototrofik dönüşüm oranı	Y _A	g hücre KOİ/g N _{giderilen}	0,24	0,24	0,07-0,28
	Partiküler ürünlere dönüşen biyokütle oranı	f _p	-	0,08	0,08	-
	Aktif biyokütle için N/KOİ	i _{XB}	g N/g KOİ _{biyokütle}	0,086	0,086	-
	İnert biyokütle için N/KOİ	i _{XP}	g N/g KOİ _{inert biyokütle}	0,06	0,06	-
Kinetik parametreler	Heterotrofik maksimum spesifik çoğalma hızı	μ _H	1/gün	6	3	0,6-13,2
	Heterotrofik ölüm hızı	b _H	1/gün	0,62	0,2	0,05-1,6
	Heterotrofik yarı doygunluk sabiti	K _S	g KOİ/m ³	20	20	5-225
	Heterotroflar için oksijen yarı doygunluk sabiti	K _{OH}	g O ₂ /m ³	0,2	0,2	0,01-0,2
	Heterotroflar için nitrat yarı doygunluk sabiti	K _{NO}	g NO ₃ -N/m ³	0,5	0,5	0,1-0,5
	Ototrofik maksimum spesifik çoğalma hızı	μ _A	1/gün	0,8	0,3	0,2-1
	Ototrofik ölüm hızı	b _A	1/gün	0,2	0,1	0,05-0,2
	Ototroflar için oksijen yarı doygunluk sabiti	K _{OA}	g O ₂ /m ³	0,4	0,4	0,4-2
	Ototroflar için amonyak yarı doygunluk sabiti	K _{NH}	g NH ₃ -N/m ³	1	1	-
	Heterotrofların anoksik çoğalması için düzeltme faktörü	η _g	-	0,8	0,8	0,6-1
	Amonifikasyonu hızı	k _a	m ³ /gKOİ gün	0,08	0,04	-
	Maksimum spesifik hidroliz hızı	k _h	KOİ _{yavaş ayrışan} /KOİ _{hücre} gün	3	1	-
	Yavaş bozunabilen KOİ için hidroliz yarı doygunluk sabiti	K _X	KOİ _{yavaş ayrışan} /KOİ _{hücre}	0,03	0,01	-
	Anoksik hidroliz için düzeltme faktörü	η _h	-	0,4	0,4	-

4.2.1.1. ASM1’de modellenen dinamik prosesler

Heterotrofların aerobik çoğalması:

Mikroorganizma büyümesi Monod kinetiğine göre modellenmiştir. Yeni hücre sentezi için hızlı bozunabilir substrat (S_S) kullanılır ve oksijen ihtiyacı oluşur, gerekli olan azot ise amonyaktan karşılanmaktadır.

Heterotrofların anoksik çoğalması (denitrifikasyon):

ASM1’de denitrifikasyon tek kademeli olarak modellenmiştir ve e^- vericisi hızlı bozunabilir KOİ (S_S), e^- alıcısı ise nitrattır. Proses sonucunda heterotrofik biyokütle, azot gazı ve alkalinite üretilmektedir. Denitrifikasyon prosesi de mikroorganizma büyümesi gibi Monod kinetiğiyle ifade edilmektedir ancak “ $\eta_g < 1$ ” ifadesiyle kinetik reaksiyon hızı anoksik şartlarda büyüme daha yavaş olduğundan yavaşlatılmaktadır. Hücre sentezinde gerekli olan azot ise amonyaktan karşılanmaktadır.

Ototrofların aerobik çoğalması (nitrifikasyon):

ASM1’de nitrifikasyon tek kademeli olarak modellenmiştir. Amonyak nitrata oksitlenme reaksiyonu fazla enerji gerektirdiğinden, ototrofik mikroorganizmaların biyokütle dönüşüm oranı (Y_A), aktif çamur heterotrofların biyokütle dönüşüm oranından (Y_H) daha küçüktür. Nitrifikasyon reaksiyonu ototrofik mikroorganizma çoğalmasına ve oksijen ihtiyacına sebep olmaktadır. Azot kaynağı olarak yine amonyak kullanılmaktadır. Nitrifikasyonda oksitlenen her 1 mg/L amonyak için 7,07 mg/L $CaCO_3$ tüketilmektedir. Tam nitrifikasyonun hedeflendiği durumlarda minimum çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L olmalıdır.

Heterotrofik biyokütle ölümü (içsel solunum):

Mikroorganizmaların ölüm hızı sabit kabul edilirken, oluşan organik maddenin bir kısmı inert partiküler KOİ’ye (X_I), diğer kısmı da bozunabilen partiküler KOİ’ye (X_S) eklenmektedir. Heterotrofik ölüm prosesinde KOİ kaybı yoktur ve dolayısıyla e^- alıcısı (O_2 veya NO_3^-) üretilmemektedir. Prosesin her ortam koşulunda aynı hızda gerçekleştiği kabul edilmektedir.

Ototrofik biyokütle ölümü:

Heterotrofik biyokütle ölümü gibi modellenmiştir.

Çözünebilir organik azotun amonifikasyonu:

Biyolojik olarak bozunabilir çözünmüş organik azotun heterotrofik mikroorganizmaların faaliyeti sonucu amonyağa dönüştürülmektedir.

Partiküler organik maddenin hidrolizi:

Bozunabilen partiküler KOİ (X_S), hücre dışı enzimlerle hızlı bozunabilen çözünmüş KOİ'ye (S_S) dönüştürülmektedir. ASM1'de bu hidroliz reaksiyonu anoksik şartlarda aerobik şartlara göre " $\eta_h < 1$ " faktörü kadar daha yavaştır. Partiküler KOİ'nin çoğalma reaksiyonlarında kullanılması için hidroliz reaksiyonunun gerçekleşmesi şartı düşünüldüğünde, hidroliz prosesi anoksik büyüme için hız kısıtlayıcı rol oynamaktadır.

Partiküler organik azotlu maddenin hidrolizi:

Bozunabilen partiküler organik azot (X_{ND}), bozunabilen partiküler KOİ'nin hidroliz reaksiyonuna bağlı olarak bozunabilir çözünmüş organik azota (S_{ND}) dönüştürülmektedir (Dereli, 2006).

4.2.1.2. ASM1'in model parametreleri

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemleri üzerinde en etkili parametreler:

- Heterotrofik biyokütle ölüm hızı
- Heterotrofların anoksik çoğalma hızı
- Maksimum spesifik hidroliz hızı
- Hidroliz reaksiyonu için yarı doygunluk sabiti
- Ototrofların spesifik çoğalma hızı

Bu parametreler model için birbiriyle bağlantılı olduğundan, model kalibre edilirken bütün parametreler dikkate alınmalıdır (Dereli, 2006).

4.2.2. Mantis modeli

Mantis modeli aşağıdaki değişiklikler dışında ASM1 modeli ile aynıdır (Hydromantis, 2016):

- Nitratı besi maddesi olarak kullanan heterotrofik çoğalmayı modele işleyen iki çoğalma prosesi eklenmiştir.

- Azotun besi maddesi olarak kullanımı ve çoğalmada alkalinite kullanımı için anahtar fonksiyonu tanımlanmıştır.
- Eşzamanlı gerçekleşen nitrifikasyon/denitrifikasyon reaksiyonlarının kalibrasyonu için aerobik ve anoksik koşullarda büyümeye göre ayrı oksijen yarılanma katsayıları tanımlanmıştır.

Düşük amonyak ve yüksek nitrat konsantrasyonun olduğu durumlarda, mikroorganizma çoğalmasını izlemek üzere ek çoğalma prosesleri tanımlanmıştır. Bahsedilen koşullarda, mikroorganizmalar nitratı besi maddesi olarak kullanabilmektedirler. Ayrıca aerobik denitrifikasyon modele dahil edilmiştir.

4.2.3. Mantis2 modeli

GPS-X simülasyon programında çalışılabilecek Mantis2 modelinde karbon, azot, fosfor giderimini ve anaerobik çürütmeyi kapsayan 56 proses tanımlanmıştır. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları iki aşamalı olarak modellenmiştir.

4.2.3.1. Mantis2 modeli durum değişkenleri

Mantis2 modelinin durum değişkenleri Çizelge 4.7’te verilmiştir.

Modelde çözünebilir parametreler çözünebilir inert organik, çözünebilir bozunabilir organik, çözünebilir inorganik iyonlar ve çözünmüş gazlar olarak dörde ayrılmıştır.

Çözünebilir inert organikler:

Çözünebilir inert organik (si) maddelerin, yavaş bozunabilen substratın hidrolizden üretildiği kabul edilir ve bu değer ‘0’ kabul edilir. Anaerobik çürütme prosesinde ise bu fraksiyon çürütücülerde çözünebilir inert KOİ kalibrasyonunda 0’dan başka bir değere ayarlanabilmektedir.

Çözünebilir Biyolojik olarak bozunabilir organikler:

1. Asetat (sac)
2. Propiyonat (spro)
3. Metanol (smet)
4. Fermente edilebilir substrat (ss)
5. Kolloidal substrat (scol)

Çizelge 4.7: Mantis2 modelinin durum değişkenleri (Hydromantis, 2016)

	Durum değişkeni	GPS-X sembolü	Birim
1	Çözünmüş oksijen	so	gO_2/m^3
2	Çözünebilen inert organik	si	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
3	Kolloidal organik substrat	scol	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
4	Fermente edilebilen substrat	ss	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
5	Asetat	sac	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
6	Propiyonat	spro	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
7	Metanol	smet	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
8	Çözünmüş hidrojen	sh2	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
9	Çözünmüş metan	sch4	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
10	Çözünmüş inorganik karbon	stic	gC/m^3
11	Çözünebilir organik azot	snd	gN/m^3
12	Amonyak azotu	snh	gN/m^3
13	Nitrit azotu	snoi	gN/m^3
14	Nitrat azotu	snoa	gN/m^3
15	Çözünmüş azot	sn2	gN/m^3
16	Ortofosfat	sp	gP/m^3
17	Çözünmüş kalsiyum	sca	gCa/m^3
18	Çözünmüş magnezyum	smg	gMg/m^3
19	Çözünmüş potasyum	spot	gK/m^3
21	Çözünmüş katyon	scat	eq/m^3
22	Çözünmüş anyon	sana	eq/m^3
23	İnert partikül	xi	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
24	Biyolojik olarak bozunamayan hücre ölüm ürünü	xu	gO_2/m^3
25	Yavaş bozunabilen organik	xs	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
26	PAO'da biriken PHA	xbt	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
27	Heterotrofik biyokütle	xbh	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
28	Fosfat depolayan biyokütle	xbp	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
29	Amonyak oksitleyici	xbai	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
30	Nitrit oksitleyici	xbaa	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
31	Anammox biyokütlesi	xbax	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
32	Metilotrofik biyokütle	xmet	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
33	Fermantasyon biyokütlesi	xbf	gC/m^3
34	Asetojen	xbpro	gN/m^3
35	Asetat metanojenleri	xbacm	gN/m^3
36	Hidrojen metanojenleri	xbh2m	gN/m^3
37	Yavaş bozunan organik maddede azot	xns	gN/m^3
38	Yavaş bozunan organik maddede fosfor	xps	gN/m^3
39	PAO'da depolanan polifosfat	xpp	gP/m^3
40	Partiküler inert organik	xii	gCa/m^3
41	Alüminyum hidroksit	xaloh	gMg/m^3
42	Alüminyum fosfat	xalpo4	gK/m^3
43	Demir hidroksit	xfeoh	eq/m^3
44	Demir fosfat	xfepo4	eq/m^3
45	Kalsiyum karbonat	xcaco3	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
46	Kalsiyum fosfat	xcapo4	gO_2/m^3
47	Magnezyum hidrojen fosfat	xmghpo4	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
48	Magnezyum karbonat	xmgco3	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
49	Amonyum magnezyum fosfat (strüvit)	xmgnh4po4	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
50	Çözünebilen bileşik "a"	sza	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
51	Çözünebilen bileşik "b"	szb	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
52	Partikül bileşen "a"	xza	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$
53	Partikül bileşen "b"	xzb	$\text{gKOİ}/\text{m}^3$

Propiyonat (spro), anaerobik çürütme prosesinde önemli bir ara ürün olduğundan modele dahil edilmiştir. Metanol (smet) diğer heterotrof mikroorganizmalardan farklı kinetiğe sahip mikroorganizmalar tarafından ayrıştırıldığı için modele eklenmiştir. Böylelikle metilotrofik biyokütlenin bozunma kinetiği, metanol tüketimi izlenerek takip edilebilmektedir.

Substrat KOİ'nin 0,45-1,2 µm aralığında boyuta sahip fraksiyonu modelde kolloidal olarak kabul edilmiştir. Kolloidal KOİ oksidasyondan önce hidrolize uğramaktadır. KOİ'nin bu fraksiyonu temel proseslerde değişik davranmaktadır. Örneğin katı sıvı ayrımı yapan çökeltim tanklarında suda çözünmüş, biyolojik bozunma proseslerinde partiküler gibi davranmaktadır.

Çözünebilir inorganikler:

Mantis2 modeli, çözünebilir inorganik karbon (stic), çözünebilir nitrit azotu (snoi), çözünebilir nitrat azotu (snoa), çözünebilir amonyak azotu (snh), çözünebilir organik azot (snd), çözünebilir ortofosfat (sp), çözünmüş kalsiyum (sca), çözünmüş magnezyum (smg), çözünmüş potasyum (spot), çözünmüş anyon (sana) ve çözünmüş katyonu (scat) çözünebilir inorganikler kapsamında incelemektedir. Bu inorganik durum değişkenleri azot ve fosfor döngüsünü, inorganik çökmeyi ve pH değişikliklerini gerçeğe yakın modelleyebilmek üzere seçilmişlerdir.

Çözünebilir inorganik karbon (stic), iyonik karbonlu asitlerin hepsinin toplamıdır (ör: H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) ve tamponlama kapasitesini ifade etmektedir. Mantis2'de sistemdeki çözünebilir inorganik karbon ve pH verileri ile alkalinite hesaplanmaktadır.

Çözünebilir azotun iki formu (çözünebilir nitrit azotu (snoi), çözünebilir nitrat azotu (snoa)) iki basamaklı nitrifikasyon modellendiği için tanımlanmıştır.

Temel çökeltme reaksiyonlarının modellenmesinde kullanılmak üzere çözünmüş kalsiyum (sca) ve çözünmüş magnezyum (smg) türleri tanımlanmıştır. Polifosfat üretiminde ve bozunmasında kullanılmak üzere çözünmüş potasyum (spot), pH tahmininde yük dengesi denklemlerinde kullanılmak üzere ise çözünmüş anyon (sana) ve çözünmüş katyonu (scat) değerleri modele eklenmiştir.

Çözünebilir gazlar:

Çözünmüş oksijene (so) ek olarak çözünmüş azot (sn2), metan (sch4) ve hidrojen (sh2) Mantis2 modeline eklenmiştir. Çözünmüş karbondioksit ise pH ve stic

konsantrasyonları kullanılarak hesaplanmaktadır. Çözünmüş oksijen aerobik biyolojik sistemlerde önemli rol oynarken, diğer gazlar anaerobik çürüme ve fermentasyon proseslerinde rol oynamaktadır.

Mantis2 modelinde partiküler durum değişkenleri partiküler inert organikler, partiküler organik substrat/depo, aktif biyokütle ve partiküler inorganik olmak üzere dört kategoride modellenmiştir.

Partiküler inert organikler:

Partiküler inert organikler olarak, atıksu girişiyle sisteme gelen partiküler inert organik (xi) ve hücre ölümünden oluşan partiküller biyolojik olarak bozunamayan organik (xu) fraksiyonları tanımlanmıştır.

Partiküler organik substrat/depo:

Mantis2 modelinde partiküler organik substrat (xs) ve hücre içi polihidroksialkanoat (PHA) için organik depolama bileşeni (xbt) tanımlanmıştır.

Aktif Biyokütle:

İki basamaklı nitrifikasyon prosesinde, amonyak oksitleyici ototrofik biyokütle (xbai) ve nitrit oksitleyici ototrofik biyokütle (xbaa), metanol bozunma prosesi için metilotrofik biyokütle (xbmet) tanımlanmıştır. Fermentasyon prosesleri için fermentatif biyokütle (xbf), anaerobik dönüşüm ve anaerobik bozunma modelleri için ise Asetojen (xbpro), asetat metanojenleri (xbacm) ve hidrojen metanojenleri (xbh2m) modele dahil edilmiştir.

Partiküler inorganikler:

Alüminyum hidroksit (xaloh), alüminyum fosfat (xalpo4), demir hidroksit (xfeoh), demir fosfat (xfepo4), kalsiyum karbonat (xcaco3), kalsiyum fosfat (xcapo4), magnezyum hidrojen fosfat (xmghpo4), magnezyum karbonat (xmgco3) ve amonyum magnezyum fosfat (strüvit) (xmgnh4po4) partiküler inorganikler olarak modelde tanımlanmıştır. Yavaş bozunabilen organik madde ile ilgili azot ve fosfor bileşenleri, yavaş bozunan organik maddede azot (xns) ve yavaş bozunan organik maddede fosfor (xps) olarak, PAO'da depolanan inorganik polifosfat ise (xpp) olarak modele eklenmiştir.

4.2.3.2. Mantis2 modeli kompozit değişkenleri

Çözünebilir BOİ₅ (SBOD), partiküler BOİ₅ (XBOD), BOİ₅ (BOD), özünebilir nihai BOİ (SBODu), partiküler nihai BOİ (XBODu), nihai BOİ (BODu), özünebilir KOİ (SCOD), partiküler KOİ (XCOD) ve KOİ (COD) kompozit değişkenleri Mantis2 modelinde yer almaktadır. şekil 4.3, Mantis2 modelinde bahsedilen kompozit değişken hesaplama şeması gösterilmiştir ve şekilde verilen stokiyometrik değerler izelge 4.8’te verilmiştir.

Çizelge 4.8: Kompozit değişkenlerin hesaplanmasında kullanılan stokiyometrik parametreler (Hydromantis, 2016)

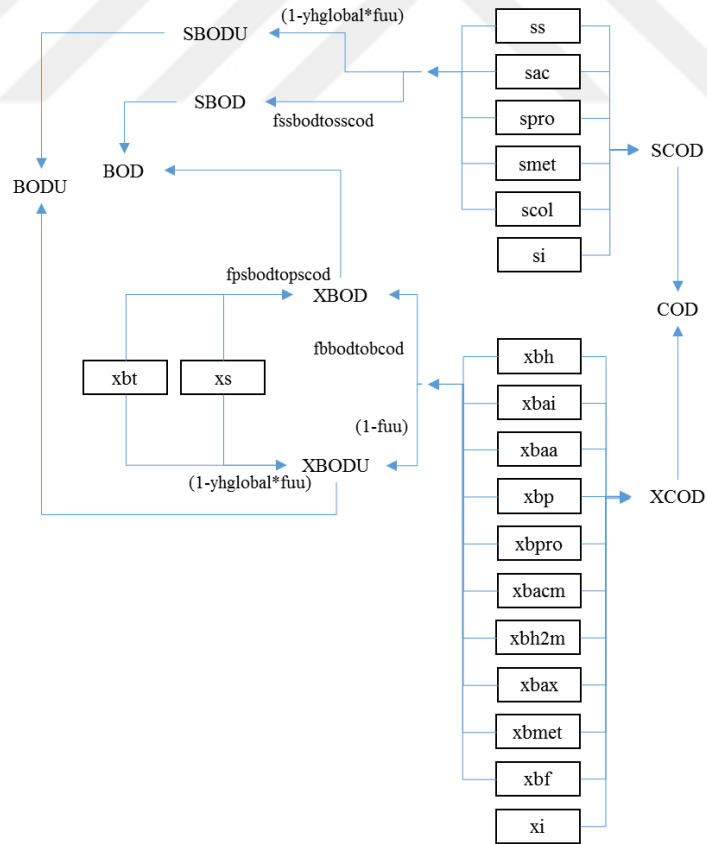
Stokiyometrik parametre	Değer	Açıklama
yhglobal	0,666	Heterotrofik biyokütle verimi.
fu	0,206	Biyokütlerdeki biyolojik olarak ayrışamayan kalıntı fraksiyonu.
fssbodtossod	0,717	çözünebilir substratın BOİ ₅ /KOİ oranı.
fpsbodtopsod	0,58	Partiküler substratın BOİ ₅ /KOİ oranı.
fbodtobod	0,566	Biyokütlenin BOİ ₅ /KOİ oranı.
icodtovssxbt	1,674	PHA’nın partiküler KOİ/UAKM (XCOD/VSS) oranı.

şekil 4.4’te uçucu askıda katı madde (VSS), inorganik askıda katı madde (XISS) ve toplam askıda katı madde (TSS) kompozit parametreleri için konsantrasyon hesaplama şeması verilmiştir. VSS hesaplamasında, her biyokütle konsantrasyonu ilgili VSS/COD oranıyla, XISS hesaplamasında ise her biyokütle konsantrasyonu biyokütlenin inorganik fraksiyonu ile çarpılmaktadır. Biyokütlenin inorganik fraksiyonu ise 1’den her biyokütlenin VSS/SS oranı çıkartılarak hesaplanmaktadır. Kompozit XISS konsantrasyonu ayrıca inorganik durum değişkenlerini de içermektedir. xpp ve xps durum değişkenlerinin XISS konsantrasyonuna katkısı 95/31 stokiyometrik faktörü kullanılarak hesaplanmaktadır ve diğer tüm durum değişkenleri için stokiyometrik faktör 1 alınmaktadır. TSS konsantrasyonu VSS ve XISS değerlerinin toplamıdır.

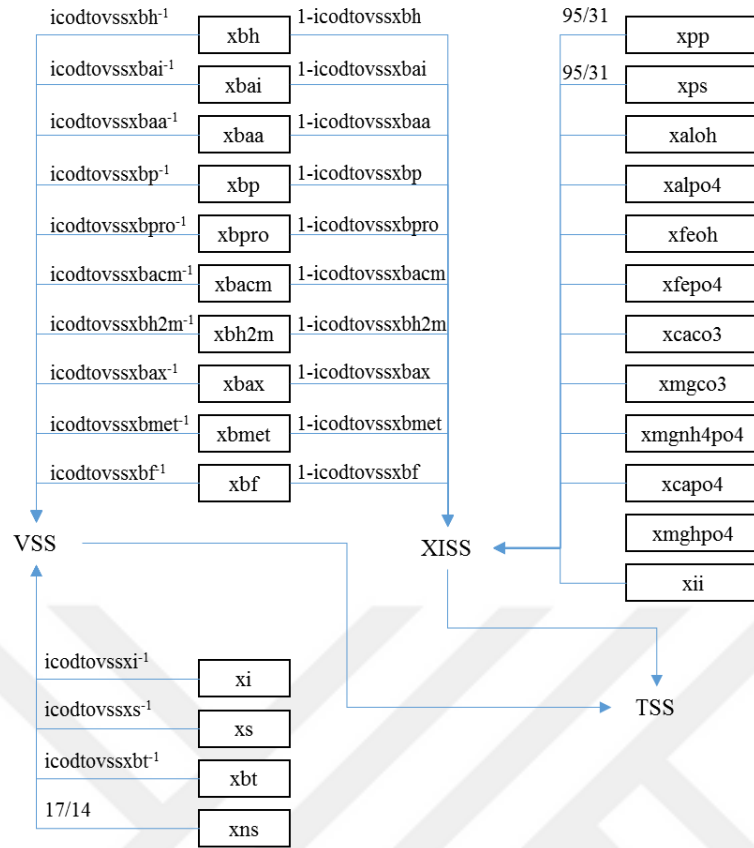
şekil 4.5, çözünebilen toplam Kjeldahl Azotu (STKN), partkler toplam Kjeldahl Azotu (XTKN), toplam Kjeldahl Azotu (TKN), toplam azot (TN) ve çözünmüş azotun dahil edildiği toplam azot (TN & dissolved gas) hesaplama şemasını göstermektedir. STKN hesaplamasında, si durum değişkeni ‘insi’ stokiyometrik değeri çarpılmaktadır. XTKN hesaplamasında ise her biyokütle konsantrasyonu içerdiği N miktarını temsil eden ilgili stokiyometrik faktör ile çarpılır.

Şekil 4.6, çözünebilir toplam fosfor (STP), partiküler organik toplam fosfor (XTOP), partiküler inorganik toplam fosfor (XTIP) ve toplam fosfor (TP) kompozit değişkenleri için hesaplama şemasını göstermektedir. STP hesabında, si durum değişkeniyle ilişkili fosfor değeri ‘ipnsi’ stokiyometrik oranı kullanılmaktadır. XTOP hesabında, her biyokütle konsantrasyonu ilgili içerdiği P oranını yansıtan stokiyometrik faktör ile çarpılır. XTIP konsantrasyonu ise değişik çökeltilerde bulunan P miktarını içermektedir ve hesaplarda her bir çökelti için stokiyometrik faktör kullanılmaktadır. Kompozit XTP değeri XTOP ve XTIP değerlerinin, TP değeri STP ve STP değerlerinin toplamıdır.

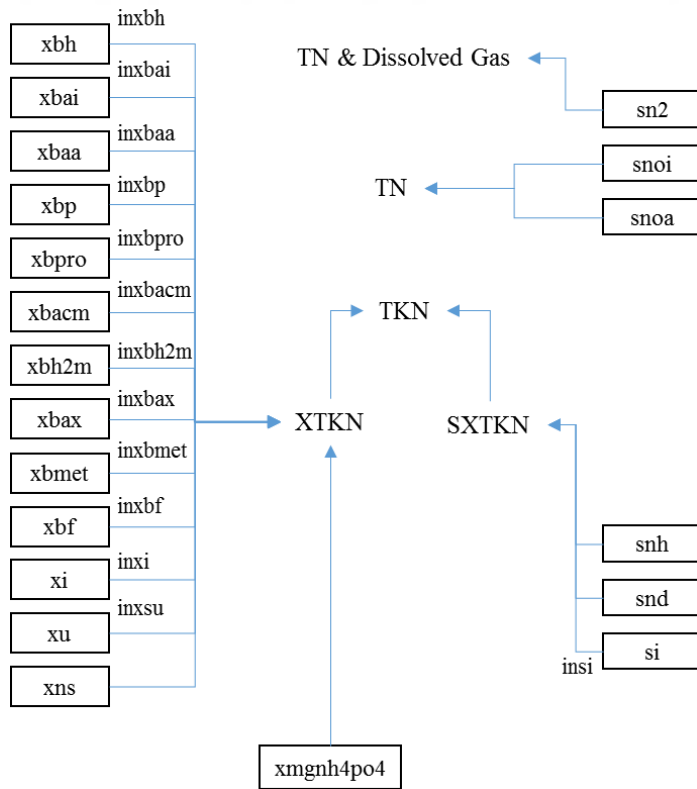
Şekil 4.7, çözünmüş toplam organik karbon (STOC), partiküler toplam organik karbon (XTOC) ve toplam organik karbon (TOC) kompozit değişkenlerinin hesaplama şemasını göstermektedir. STOC hesabında, substrata bağlı olarak ‘icsac’, ‘icsmet’, ‘icspro’ stokiyometrik oranları kullanılmaktadır. XTOC konsantrasyonu hesaplanırken, herbir biyokütle konsantrasyonu heterotrofik biyokütledeki C oranını yansıtan ilgili stokiyometrik faktör (xbh) ile çarpılmaktadır.



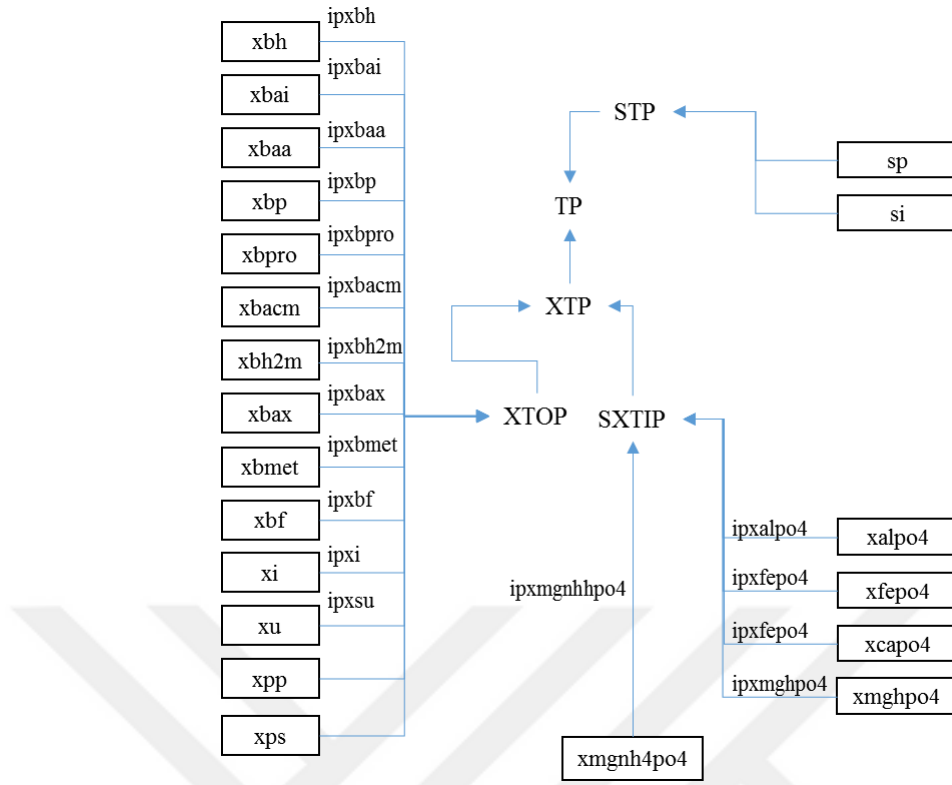
Şekil 4.3: SCOD, COD, SBOD, BOD, SBODU ve BODU kompozit değerleri için hesaplama prosedürü



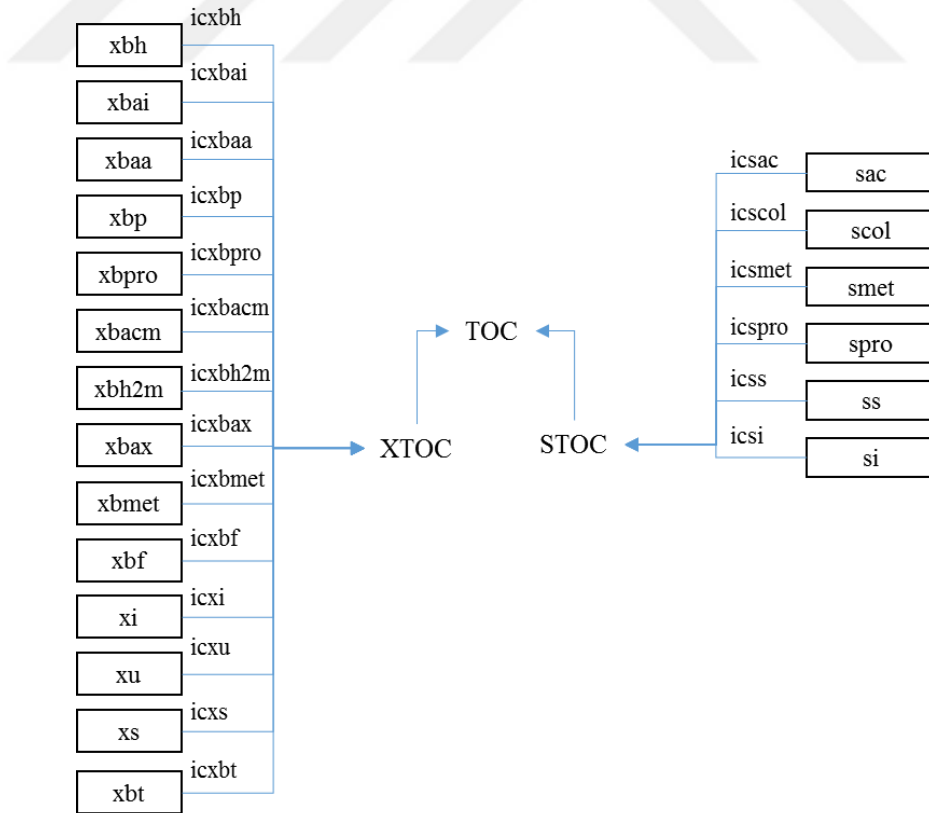
Şekil 4.4: VSS ve TSS kompozit değışkenleri için hesaplama prosedürü



Şekil 4.5: STKN ve TKN kompozit değışkenleri için hesaplama prosedürü



Şekil 4.6: STP, XTP ve TP kompozit değişkenleri için hesaplama prosedürü



Şekil 4.7: STOC ve TOC kompozit değişkenleri için hesaplama prosedürü

4.2.3.3. Mantis2 modeli prosesleri

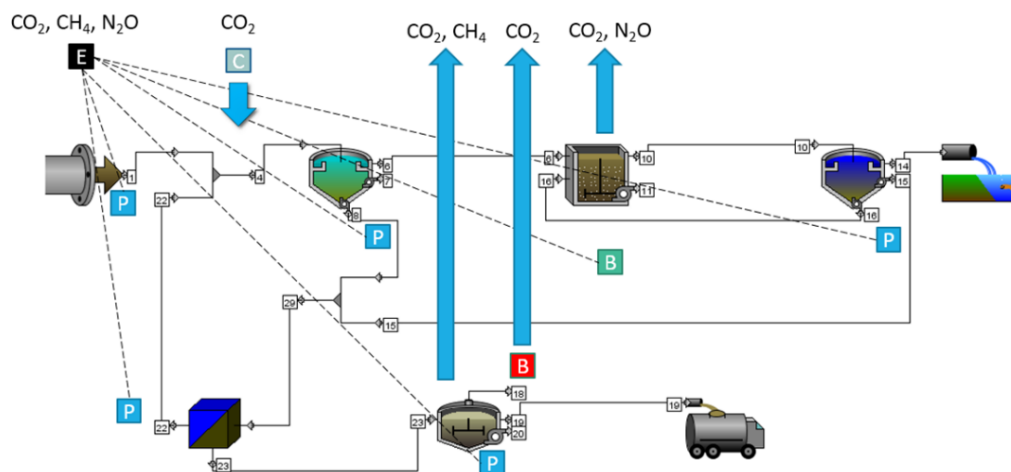
Mantis2 modelinde tanımlı 56 proses bulunmaktadır. Bu prosesler;

- Adsorpsiyon
- Heterotrofik mikroorganizmalarla ilgili prosesler
- Ototrofik mikroorganizmalarla ilgili prosesler
- PAO organizmalarıyla ilgili prosesler
- Metilotroflarla ilgili prosesler
- Anaerobik mikroorganizmalarla ilgili prosesler
- Anaerobik ototrofik mikroorganizmalarla (Anammox) ilgili prosesler
- Kimyasal çökelme prosesleri
- Gaz-sıvı transferi prosesleri

olarak gruplanmıştır. Çizelge A.1’de modelde kullanılan proseslerin kısaca açıklamaları yer almaktadır.

4.2.4. Mantis3 modeli

Mantis3 modelinde, atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazı miktarı ve tesisin karbon ayak izi hesaplanabilmektedir. Şekil 4.8’te görüleceği gibi modele biyolojik tanklardan CO₂ ve N₂O emisyonu, anaerobik çürütücüden CO₂ ve CH₄ emisyonu, kimyasal ve diğer materyal kullanımından CO₂, pompalar ve hava üfleyicilerin tükettiği elektrikten ise CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonu dahil edilmiştir.



Şekil 4.8: Evsel atıksu arıtımı tesisinden kaynaklı potansiyel sera gazı emisyonu
(Hydromantis, 2013)

Sera gazı emisyonu hesaplamalarına proses konfigürasyonu, elektrik ve yakıt emisyon faktörleri, işletme faktörleri (çamur yaşı (SRT), çözünmüş oksijen (DO) vb.) ve giriş suyu karakterizasyonu (KOİ/N oranı gibi) parametreleri önemli rol oynamaktadır.

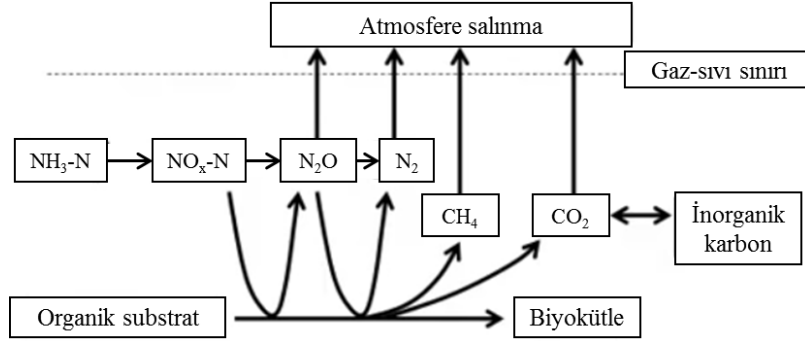
Mantis3 modeli, Mantis2 modeline karbon ayakizi modellerinin eklenmesiyle oluşturulmuştur. Karbon ayakizi hesaplamaları, Sera Gazı Protokolünde tanımlanan kapsamlara göre hesaplanabilmekte (Şekil 4.9) ve her bir üniteden salınan sera gazı miktarı da gaz türlerine göre incelenebilmektedir. Nitrifikasyon/denitrifikasyon kaynaklı N_2O emisyonu modelinde heterotrofik ve ototrofik bakterilerin faaliyetleri dikkate alınmıştır. Anaerobik çürütücüde elde edilen CH_4 gazı miktarı, toplam sera gazı emisyonundan düşülmekte ve tesis içinde CH_4 kullanılarak üretilen elektrik ve ısı enerjisi modellenenbilmektedir. Tesiste enerji tüketen bütün elementler modele girildiğinde tesisin enerji tüketimi de işletme şartlarına göre incelenebilmektedir (Hydromantis, 2013).

Kapsam 1	Kapsam 2	Kapsam 3
• Doğrudan emisyonlar • Anaerobik, anoksik ve aerobik biyolojik proseslerden kaynaklı CO_2 • Nitrifikasyon/denitrifikasyon kaynaklı N_2O • Anaerobik proses kaynaklı CH_4 • Tesis içinde üretilen yakıt tüketimi	• Enerji tüketimiyle ilgili emisyonlar • Pompaların harcadığı enerji • Hava üfleyicilerin harcadığı enerji • Muhtelif enerji tüketimi	• Materyal ve hizmet kullanımıyla ilgili emisyonlar • Kimyasal kullanımı • Materyal kullanımı (membran vs.) • Ulaşım

Şekil 4.9: Mantis3 modeli sera gazı emisyonu model yapısı

Mantis3 modelinde, doğrudan prosese bağlı sera gazı emisyonları gaz-sıvı transfer proseslerine göre hesaplanmaktadır (Şekil 4.10). Modelde doğrudan proses emisyonu miktarı hesaplamada kullanılan eşitlik denklem 4.7’de verilmiştir. Burada, ‘ $E_{scope1,i}(t)$ ’ ‘i’ gazının ‘t’ zamanındaki Kapsam 1 emisyonunu (g CO_2 eşd/gün), ‘ $C_{L,i}(t)$ ’ ‘t’ zamanında reaktördeki çözünmüş ‘i’ gazı konsantrasyonunu (mg/L), ‘ $K_{La,i}(t)$ ’ ‘t’ zamanında ortam koşullarında gaz kütle transfer katsayısını (1/gün), ‘ $C_{\infty,i}^*(t)$ ’ Ortam koşullarında ‘t’ zamanında çözünmüş ‘i’ gazı için denge konsantrasyonunu (mg/L), ‘ $f_{GWP,i}$ ’ ise ‘i’ gazının küresel ısınma potansiyelini belirtmektedir.

$$E_{scope1,i}(t)=K_L a_i(t) \left(C_{\infty,i}^*(t)-C_{L,i}(t) \right) V(t) f_{GWP,i} \quad (4.7)$$



**Tüm emisyon tahminlerinde, gaz-sıvı transfer prosesleri kullanılmıştır.*

Şekil 4.10: Mantis3 modeli atıksuda gerçekleşen proseslere bağlı emisyonlar (Hydromantis, 2013)

Mantis3 modelinde tesis enerji tüketimi hesabında kullanılan eşitlik denklem 4.8’de verilmiştir. Burada, ‘ $E_T(t)$ ’ günlük enerji tüketimini (kWsa/gün), ‘ $P_{pump}(t)$ ’ pompa enerjisini (kW), ‘ $P_{blower}(t)$ ’ hava üfleyici enerjisini (kW), ‘ $P_{mis}(t)$ ’ muhtelif enerjiyi (kW) belirtmektedir. Kapsam 2 için enerji emisyon hesabında ise denklem 4.9 kullanılmaktadır ve burada ‘ $E_{scope2,i}(t)$ ’ ‘i’ gazı Kapsam 2 emisyonunu (g CO₂eşd/gün), ‘ $E_T(t)$ ’ günlük enerji tüketimini (kWsa/gün), ‘ $f_{elec,i}(t)$ ’ elektrik üretimine bağlı emisyon faktörünü, ‘ $f_{GWP,i}$ ’ ‘i’ gazı küresel ısınma potansiyelini belirtmektedir.

$$E_T(t)=\left(P_{pump}(t)+P_{blower}(t)+P_{mis}(t) \right) *24,0 \quad (4.8)$$

$$E_{scope2,i}(t)=E_T(t)*f_{elec,i}(t)f_{GWP,i} \quad (4.9)$$

Mantis3 modelinde Kapsam 3 dahilinde materyal ve hizmet kullanımına bağlı emisyon miktarı denklem 4.10’a göre hesaplanmaktadır. Burada, ‘ $E_{scope3,i}(t)$ ’ ‘i’ gazı Kapsam 3 emisyonunu (g CO₂eşd/gün), ‘ $f_{co2,i}(t)$ ’ dışarıdan temin edilen materyallerin/hizmetlerin emisyon faktörünü (g CO₂eşd/g materyal), ‘ $\sum M_i(t)$ ’ tesisteki materyal/hizmet kullanımını (g/gün) belirtmektedir. Tesis inşaatındaki materyal kullanımından kaynaklı CO₂ gazı emisyonu hesaplara dahil edilmemektedir.

$$E_{scope3,i}(t) = \sum M_i(t) * f_{co2,i}(t) \quad (4.10)$$

Mantis3 modeli durum değişkenleri izelge 4.9’da verilmiştir. Mantis2 durum değişkenlerine ek olarak, iki aşamalı nitrifikasyon prosesiyle ilgili azot oksit azotu (snrio), nitröz oksit (snroo), hidroksilamin (snh2oh) ve nitrozil radikali (snoh) tanımlanmıştır.

Çizelge 4.9: Mantis3 modelinin durum değişkenleri (Hydromantis, 2016)

Durum değişkeni	GPS-X sembolü	Birim
1 Çözünmüş oksijen	so	gO ₂ /m ³
2 Çözünebilen inert organik	si	gKOİ/m ³
3 Kolloidal organik substrat	scol	gKOİ/m ³
4 Fermente edilebilen substrat	ss	gKOİ/m ³
5 Asetat	sac	gKOİ/m ³
6 Propiyonat	spro	gKOİ/m ³
7 Metanol	smet	gKOİ/m ³
8 Çözünmüş hidrojen	sh2	gKOİ/m ³
9 Çözünmüş metan	sch4	gKOİ/m ³
10 Çözünmüş inorganik karbon	stic	gC/m ³
11 Çözünebilir organik azot	snd	gN/m ³
12 Amonyak azotu	snh	gN/m ³
13 Nitrit azotu	snoi	gN/m ³
14 Nitrat azotu	snoa	gN/m ³
15 Çözünmüş azot	sn2	gN/m ³
16 Azot oksit azotu	snrio	gN/m ³
17 Nitröz oksit	snroo	gN/m ³
18 Hidroksilamin	snh2oh	gN/m ³
19 Nitrozil radikali	snoh	gN/m ³
20 Ortofosfat	sp	gP/m ³
21 Çözünmüş kalsiyum	sca	gCa/m ³
22 Çözünmüş magnezyum	smg	gMg/m ³
23 Çözünmüş potasyum	spot	gK/m ³
24 Çözünmüş katyon	scat	eq/m ³
25 Çözünmüş anyon	sana	eq/m ³
26 İnert partikül	xi	gKOİ/m ³
27 Biyolojik olarak bozunamayan hücre ölüm ürünü	xu	gO ₂ /m ³
28 Yavaş bozunabilen organik	xs	gKOİ/m ³
29 PAO’da biriken PHA	xbt	gKOİ/m ³
30 Heterotrofik biyokütle	xbh	gKOİ/m ³
31 Fosfat depolayan biyokütle	xbp	gKOİ/m ³
32 Amonyak oksitleyici	xbai	gKOİ/m ³
33 Nitrit oksitleyici	xbaa	gKOİ/m ³
34 Anammox biyokütlesi	xbax	gKOİ/m ³
35 Metilotrofik biyokütle	xmet	gKOİ/m ³
36 Fermantasyon biyokütlesi	xbf	gC/m ³
37 Asetojen	xbpro	gN/m ³
38 Asetat metanojenleri	xbacm	gN/m ³
39 Hidrojen metanojenleri	xbh2m	gN/m ³
40 Yavaş bozunan organik maddede azot	xns	gN/m ³
41 Yavaş bozunan organik maddede fosfor	xps	gN/m ³
42 PAO’da depolanan polifosfat	xpp	gP/m ³
43 Partiküler inert organik	xii	gCa/m ³
44 Alüminyum hidroksit	xaloh	gMg/m ³
45 Alüminyum fosfat	xalpo4	gK/m ³
46 Demir hidroksit	xfeoh	eq/m ³

Çizelge 4.9 (devam): Mantis3 modelinin durum değişkenleri (Hydromantis, 2016)

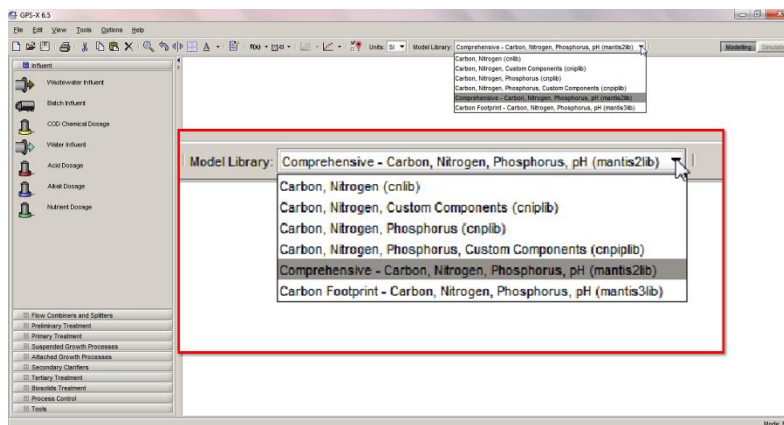
	Durum değişkeni	GPS-X sembolü	Birim
47	Demir fosfat	xfepo4	eq/m ³
48	Kalsiyum karbonat	xcaco3	gKOI/m ³
49	Kalsiyum fosfat	xcapo4	gO ₂ /m ³
50	Magnezyum hidrojen fosfat	xmghpo4	gKOI/m ³
51	Magnezyum karbonat	xmgco3	gKOI/m ³
52	Amonyum magnezyum fosfat (strüvit)	xmgnh4po4	gKOI/m ³
53	Çözünebilen bileşik “a”	sza	gKOI/m ³
54	Çözünebilen bileşik “b”	szb	gKOI/m ³
55	Partikül bileşen “a”	xza	gKOI/m ³
56	Partikül bileşen “b”	xzb	gKOI/m ³

4.3. GPS-X Simülasyon Programıyla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Modellenmesi

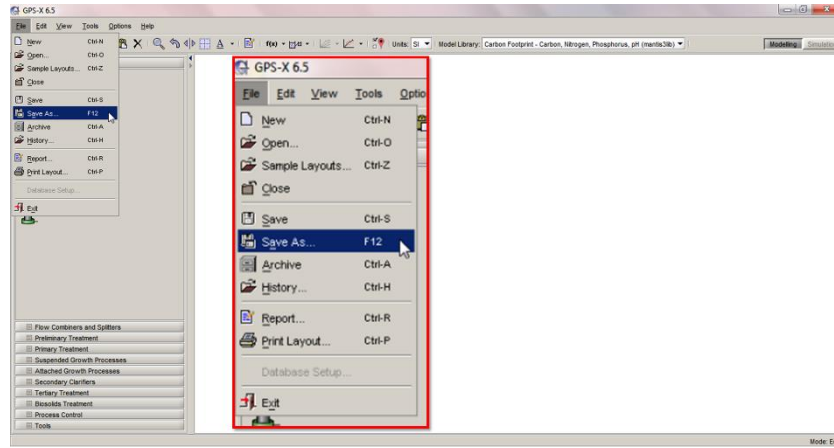
Bu bölümde Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin I. Kademesi’nin GPS-X simülasyon programıyla modellenmesi adım adım anlatılacaktır. Çalışılan diğer atıksu arıtma tesislerinin modellenmesi de bu adımları içermektedir. GPS-X modelinin 6.5 versiyonu çalışmada kullanılmıştır.

GPS-X 6.5 başlatıldığında, ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerini (İBAAT) sera gazı emisyon miktarı yönünden incelemek üzere ‘Model Library’ olarak ‘Carbon Footprint – Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (mantis3lib)’ seçilir (Şekil 4.11). Ardından çalışılan İBAAT, tesis ismiyle istenilen klasöre ‘Save as’ kullanılarak kaydedilir (Şekil 4.12).

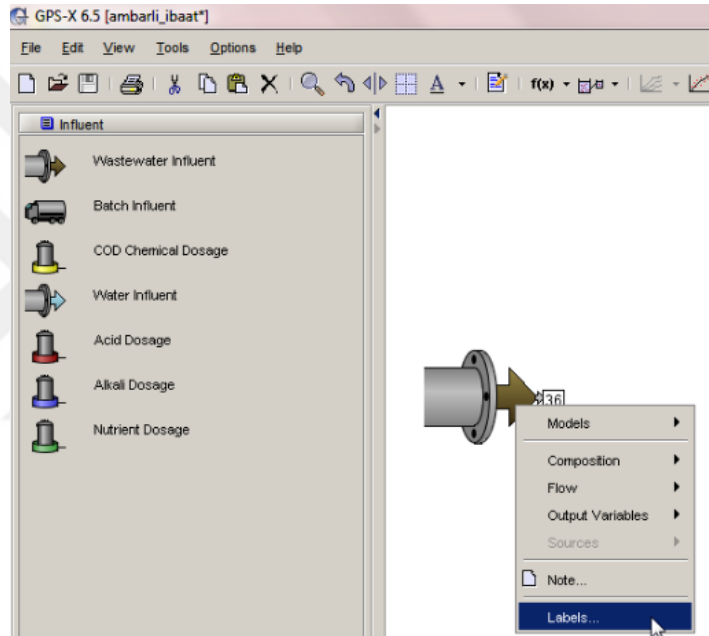
GPS-X modelinde sol tarafta ‘Proses Table’ tablosundan, ‘Influent’ sekmesi altında yer alan ‘Wastewater Influent’ elemanı seçilip beyaz çalışma alanına sürüklenir ve elemana sağ tıklanıp ‘Label’ seçilerek eleman isimlendirilir. Diğer atıksu arıtma ünite veya elemanlarının seçimi ve isimlendirmesi aynı şekilde yapılır (Şekil 4.13).



Şekil 4.11: GPS-X’te model kütüphanesi seçimi



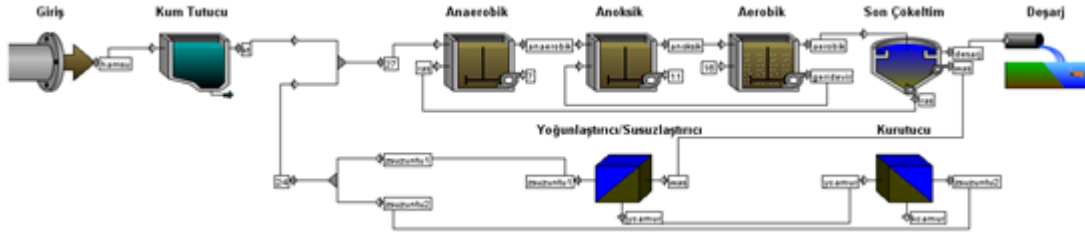
Şekil 4.12: GPS-X’te çalışılan dosyanın kaydedilmesi



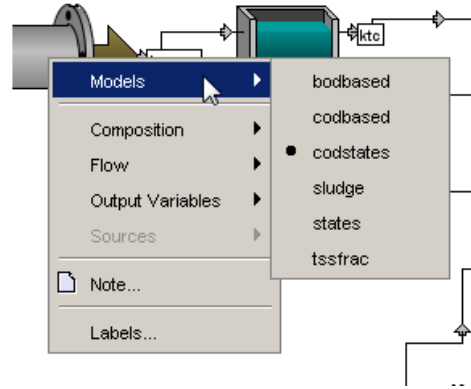
Şekil 4.13: GPS-X’te ünite ve elemanların isimlendirilmesi

İBAAT akım şemasındaki kum tutucu, anaerobik biyolojik fosfor giderim tankı, anoksik ve aerobik biyolojik tankları, son çökeltim havuzu, çamur yoğunlaştırma/susuzlaştırma, çamur kurutma üniteleri ve deşarj elemanı yerleştirilir. Kum tutucu ‘Preliminary Treatment’, biyolojik havuzlar ‘Suspended Growth Processes’, son çökeltim tankı ‘Secondary Clarifiers’, çamur üniteleri ‘Biosolids Treatment’ ve deşarj elemanı ‘Tools’ sekmeleri altından seçilir. Çamur ünitelerinden gelen üst akım debilerini kum tutucu sonrasında atıksu akımıyla birleştirmek üzere akım birleştirici elemanlar ‘Flow Combiners and Splitters’ sekmesinden seçilir. Atıksu, geri devir, çamur ve üst akımları ilgili ünite çıkışları ve girişleri oklar ile birleştirilerek akım şeması oluşturulur (Şekil 4.14).

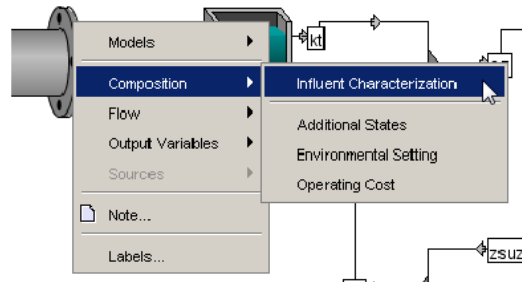
Ambarlı İBAAT'ne özgü giriş suyu modelini seçmek için 'Giriş' elemanına sağ tıklanır ve açılan menüden 'Models' ve ardından 'codstates' seçilir (Şekil 4.15). Atıksu karakterizasyonunu modele girmek için 'Giriş' elemanına sağ tıklanır ve açılan menüden 'Composition' ve ardından 'Influent Characterization' seçilir (Şekil 4.16). Açılan pencerede 'User Inputs' tablosuna, tesise özgü KOİ, TKN, TP değerleri girilir (Şekil 4.17). Pencerenin solundaki 'Composite Variables' tablosundaki 'bod' değerini Ambarlı İBAAT'nin atıksu BOİ değerine yaklaştırmak için 'User Inputs' değerleri kalibre edilir. GPS-X'te değiştirilen değerler lacivert renk ile ifade edilir. İşlem tamamlanınca 'Accept' kutucuğuna tıklanıp değerler model için kaydedilir (Şekil 4.17).



Şekil 4.14: GPS-X'te oluşturulan İBAAT akım şeması



Şekil 4.15: GPS-X'te giriş suyu modelinin seçilmesi



Şekil 4.16: GPS-X'te giriş suyu karakterizasyonunun modele tanıtılması

File Edit View Tools Options Help

Units: SI Model Library: Carbon Footprint - Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (mantis3lib) Modelling Simulation

Influent Advisor - Library: mantis3lib - Influent Model: codstates - Biological Model: mantis3

User Inputs

Influent Composition

cod	total COD	gCOD/m3	600.0
tkn	total TKN	gN/m3	54.0
tp	total phosphorus	gP/m3	10.0

Nitrogen Compounds

snh	ammonia nitrogen	gN/m3	32.0
snoi	nitrite	gN/m3	0.0
snoa	nitrate	gN/m3	0.0
snrio	nitric oxide- nitrogen	gN/m3	0.0
snroo	nitrous oxide	gN/m3	0.0
snh2oh	hydroxylamine	gN/m3	0.0
snoh	nitrosyl radical	gN/m3	0.0

Phosphorus Compounds

sp	ortho-phosphate	gP/m3	8.0
xpp	stored poly-phosphate in PAO	gP/m3	0.0

Influent Fractions

ivsstotss	VSS/TSS ratio	gVSS/gTSS	0.68
-----------	---------------	-----------	------

Organic Fractions

frsi	soluble inert fraction of total COD	-	0.05
frss	readily biodegradable fraction of total COD	-	0.2
frxi	particulate inert fraction of total COD	-	0.25
frscol	colloidal fraction of slowly biodegradable COD	-	0.15

Nitrogen Fractions

frsnh	ammonium fraction of soluble TKN	-	0.9
insi	N content of soluble inert material	gN/gCOD	0.05
inxi	N content of inert particulate material	gN/gCOD	0.05

Phosphorus Fractions

ipsi	P content of soluble inert material	gP/gCOD	0.01
inxi	P content of inert particulate material	gP/gCOD	0.01

State Variables

Soluble Gases

so	dissolved oxygen	gCOD/m3	0.0
----	------------------	---------	-----

Soluble Gases

sh2	dissolved hydrogen gas	gCOD/m3	0.0
sn2	dissolved dinitrogen gas	gN/m3	18.0
sch4	dissolved methane	gCOD/m3	0.0

Soluble Organic Compounds

si	soluble inert material	gCOD/m3	30.0
scol	colloidal substrate	gCOD/m3	45.0
ss	readily degradable soluble substrate	gCOD/m3	120.0

Other Soluble Organic Substrates

sac	acetate	gCOD/m3	0.0
spro	propionate	gCOD/m3	0.0
smet	methanol	gCOD/m3	0.0

Particulate Organic Compounds

xi	particulate inert material	gCOD/m3	150.0
xu	unbiodegradable cell products	gCOD/m3	0.0
xs	slowly biodegradable substrate	gCOD/m3	255.0
xbt	poly-hydroxy alkanoates in PAO	gCOD/m3	0.0

Nitrogen Compounds

snh	ammonia nitrogen	gN/m3	32.0
snd	soluble organic nitrogen	gN/m3	2.06
snoi	nitrite	gN/m3	0.0
snoa	nitrate	gN/m3	0.0
snrio	nitric oxide- nitrogen	gN/m3	0.0
snroo	nitrous oxide	gN/m3	0.0
snh2oh	hydroxylamine	gN/m3	0.0
snoh	nitrosyl radical	gN/m3	0.0

Composite Variables

Volatile Fraction

ivt	VSS/TSS ratio	gVSS/gTSS	0.68
-----	---------------	-----------	------

Composite Variables

x	total suspended solids	g/m3	350.4
vss	volatile suspended solids	g/m3	238.3
xiss	total inorganic suspended solids	g/m3	112.1
bod	total carbonaceous BOD5	gO2/m3	266.2
cod	total COD	gCOD/m3	600.0
tkn	total TKN	gN/m3	54.0
tn	total nitrogen	gN/m3	54.0
tp	total phosphorus	gP/m3	10.0
totc	total carbon	gC/m3	276.0

Additional Composite Variables

sbod	filtered carbonaceous BOD5	gO2/m3	118.3
xbod	particulate carbonaceous BOD5	gO2/m3	147.9
sbodu	filtered ultimate carbonaceous ...	gO2/m3	142.4
xbodu	particulate ultimate carbonaceous ...	gO2/m3	220.0
bodu	total ultimate carbonaceous BOD	gO2/m3	362.4
scod	filtered COD	gCOD/m3	195.0
xcod	particulate COD	gCOD/m3	405.0

Additional Nitrogen Composite Variables

stkn	filtered TKN	gN/m3	35.6
xtkn	particulate TKN	gN/m3	18.4
tnplusgas	total nitrogen including dinitroge...	gN/m3	72.0

Additional Phosphorus Composite Variables

xtop	particulate organic phosphorus	gP/m3	1.7
xtip	particulate inorganic phosphorus	gP/m3	0.0
xtp	total particulate phosphorus	gP/m3	1.7

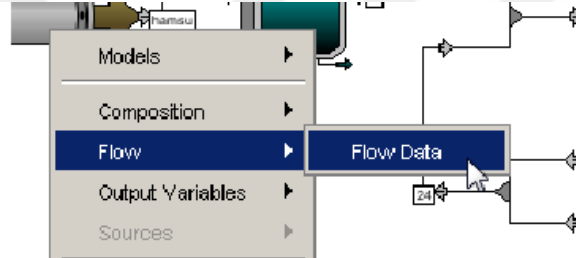
Set values to: Raw Primary

Accept Cancel

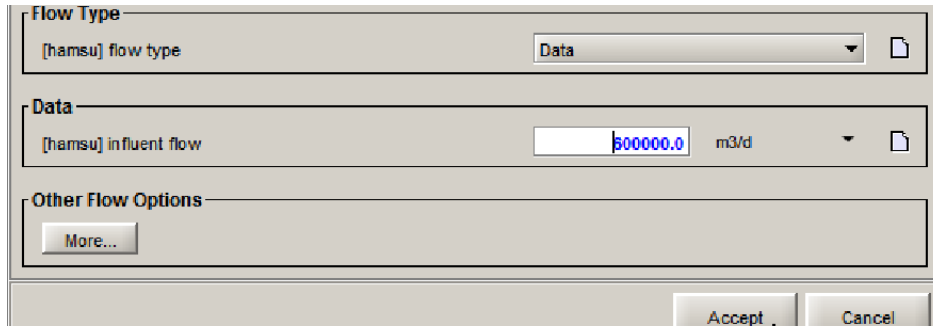
Şekil 4.17: GPS-X'te giriş suyu karakterizasyonu tablosu

Ambarlı İBAAT'nin debisini modelde tanımlamak için 'Giriş' elemanına sağ tıklanır ardından 'Flow' ve 'Flow Data' seçilir (Şekil 4.18). Açılan pencerede 'Data' tablosuna giriş debisi girilir ve pencere 'Accept' tuşlanarak kapatılır (Şekil 4.19).

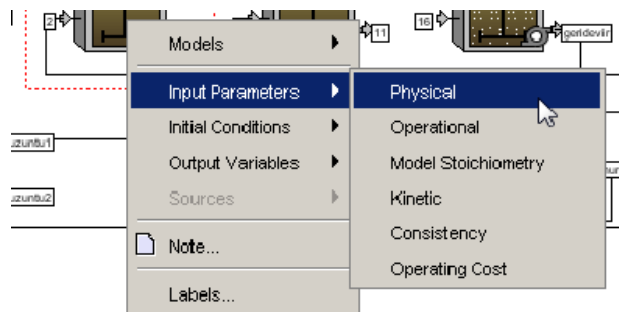
Biyolojik ünitelerin boyutlarını modelde tanımlamak için her bir üniteye sağ tıklanır (Şekil 4.20). Ardından 'Input Parameters' ve 'Physical' seçilir. Açılan pencerede anaerobik ve anoksik tanklar için sadece tank hacmi, aerobik tank için tank hacmi ile tank derinliği bilgileri girilir (Şekil 4.21). Aerobik tanktan anoksik tanka iç geri devir debisini tanımlamak için aerobik tanka sağ tıklanır ve 'Input Parameters' ardından 'Operational' seçilir. Açılan pencerede 'Pump Flow Control' tablosunda 'pump flow' satırına iç geri devir debisi girilir (Şekil 4.22).



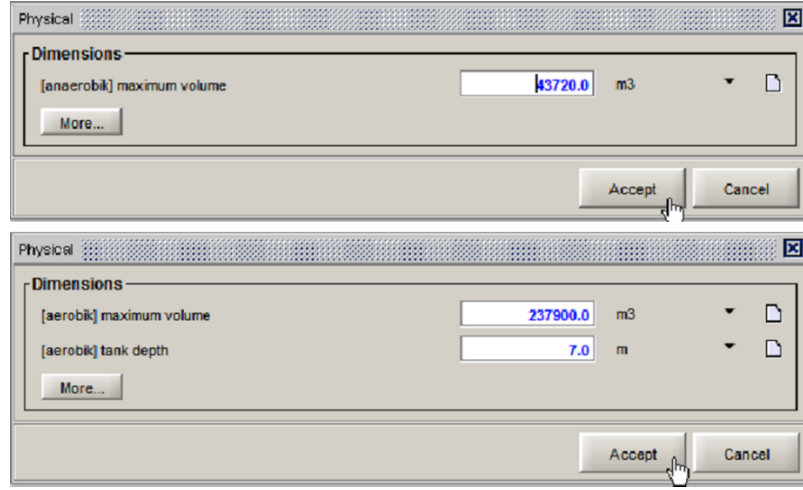
Şekil 4.18: GPS-X'te giriş debisi bilgisinin modele tanıtılması



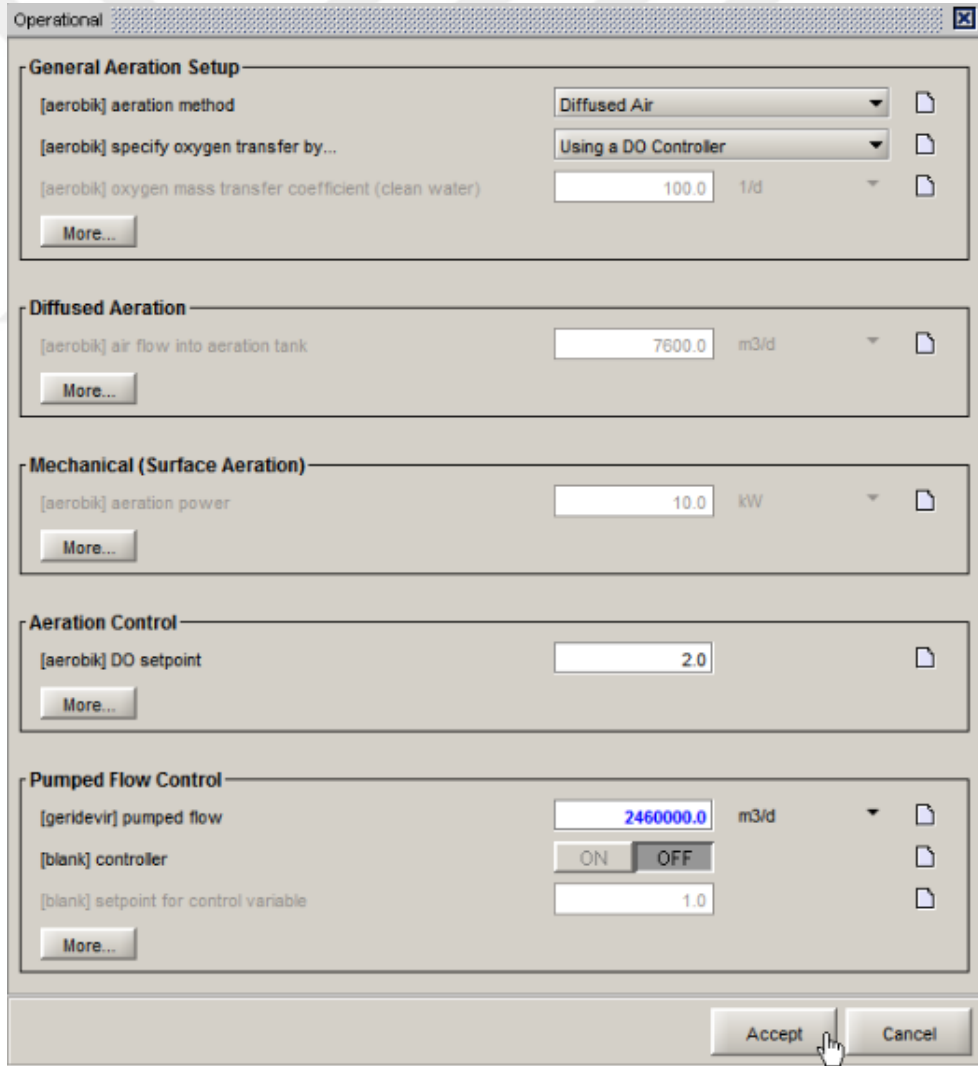
Şekil 4.19: GPS-X'te giriş debisinin modele girilmesi



Şekil 4.20: GPS-X'te ünite hacimlerinin modele girilmesi

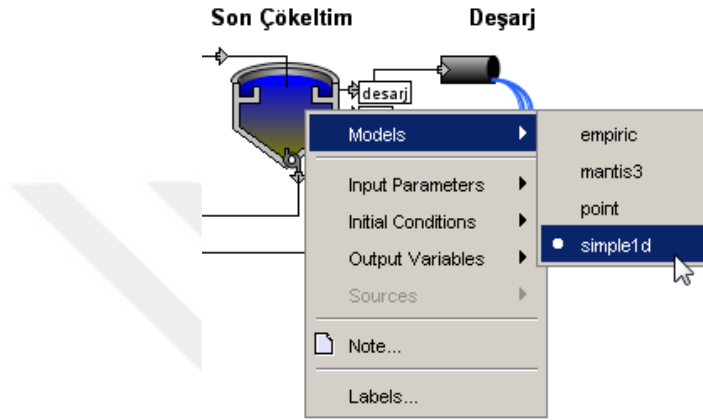


Şekil 4.21: GPS-X'te anaerobik, anoksik ve aerobik tankların boyutlandırılmasının modele girilmesi

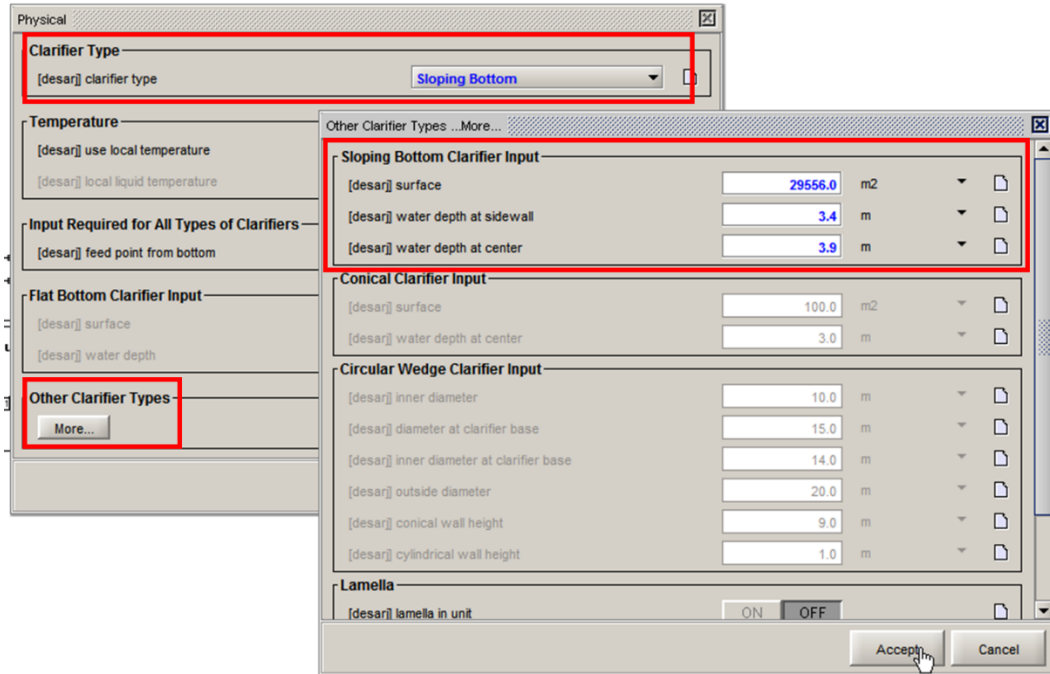


Şekil 4.22: GPS-X'te içsel geri devir debisinin modele girilmesi

Son çökeltim tankını boyutlandırmak için tanka sağ tıklanır ve 'Model' 'simple1d' olarak seçilir (Şekil 4.23) ardından tekrar tanka sağ tıklanır ve 'Input parameters', 'Physical' seçilir. Ambarlı İBAAT'nde son çökeltim tankı eğik tabanlı tasarlandığından, açılan pencerede 'Clarifier Type' tablosundan son çökeltim tankı olarak 'Sloping Bottom' seçilir. Daha sonra pencerenin alt kısmındaki 'Other Clarifier Types' tablosundan 'More...' kutucuğuna tıklanır ve açılan penceredeki 'Sloping Bottom Clarifier Input' tablosu doldurulur (Şekil 4.24).

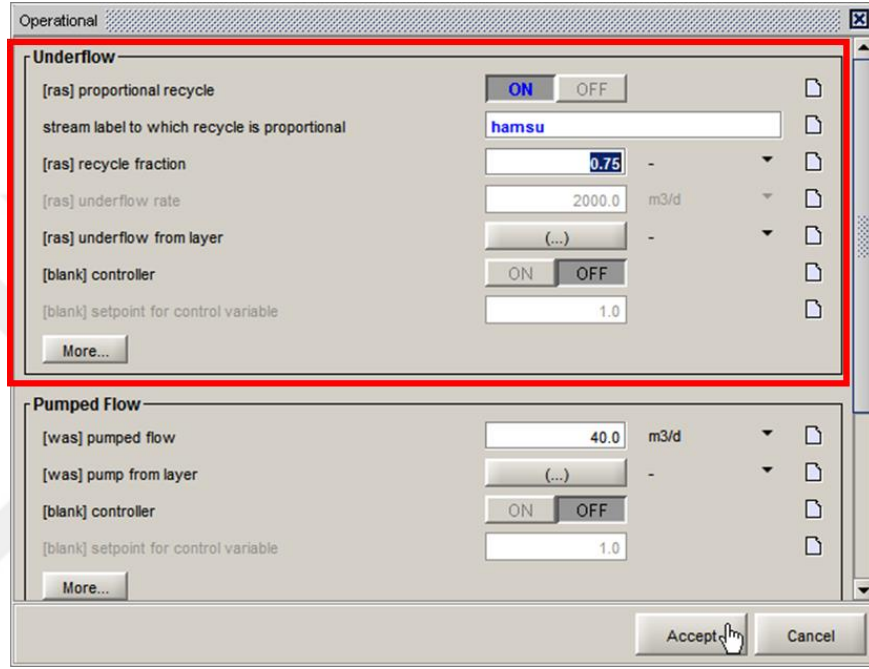


Şekil 4.23: GPS-X'te son çökeltim tankı modelinin seçilmesi



Şekil 4.24: GPS-X'te son çökeltim tankı türünün seçilmesi ve boyutlandırmanın modele girilmesi

Son çökeltim tankından anaerobik tanka geri devir akımını tanımlamak için son çökeltim tankına sağ tıklanır, 'Input parameters' ve 'Operational' seçilir. Açılan pencerede 'Underflow' tablosundaki '[ras] proportional recycle' seçeneği 'ON' konuma getirilir, ardından 'stream label to which recycle is proportional' satırına, daha önce isimlendirilen atıksu girişi, 'hamsu' yazılır ve son olarak geri devir oranı '[ras] fraction' girilir (Şekil 4.25). Böylece atıksu artıma tesisine giren debinin belirlenen yüzdesi, son çökeltim havuzundan anaerobik tanka geri devir olarak tanımlanmış olur.

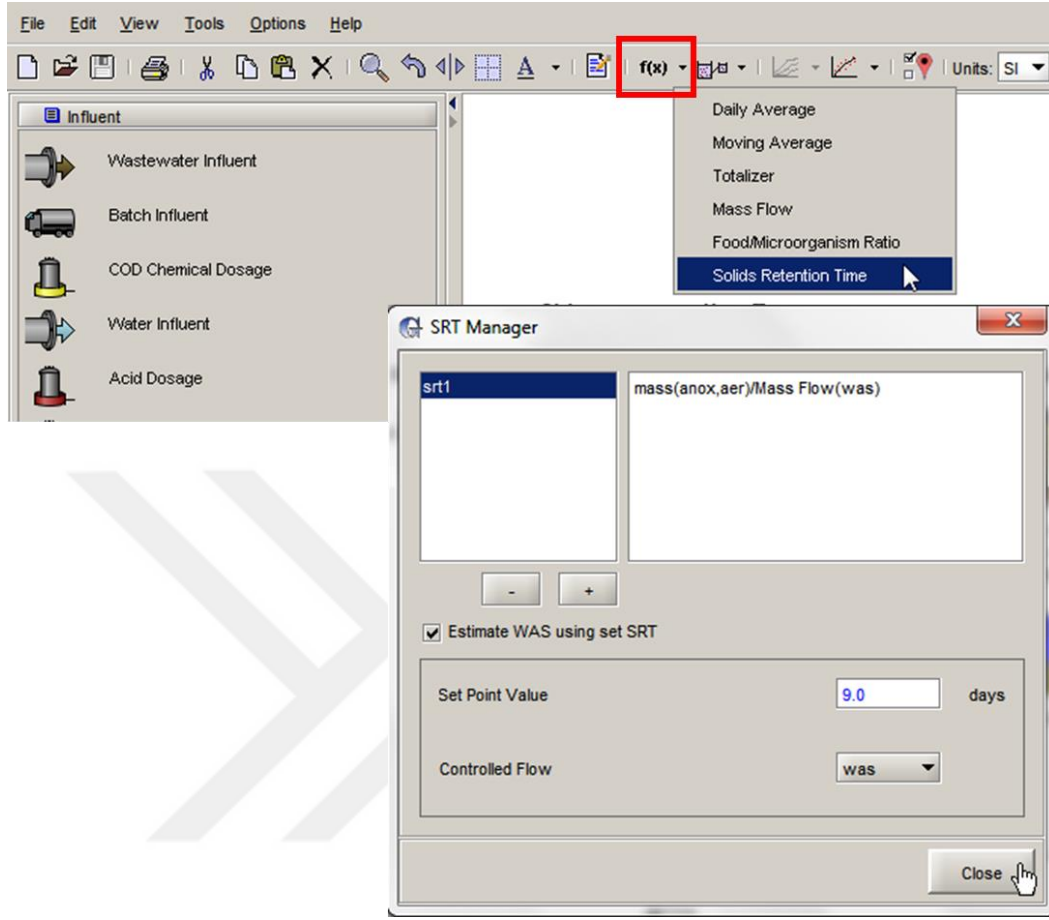


Şekil 4.25: GPS-X'te son çökeltim tankından yapılan geri devrin modele tanıtılması

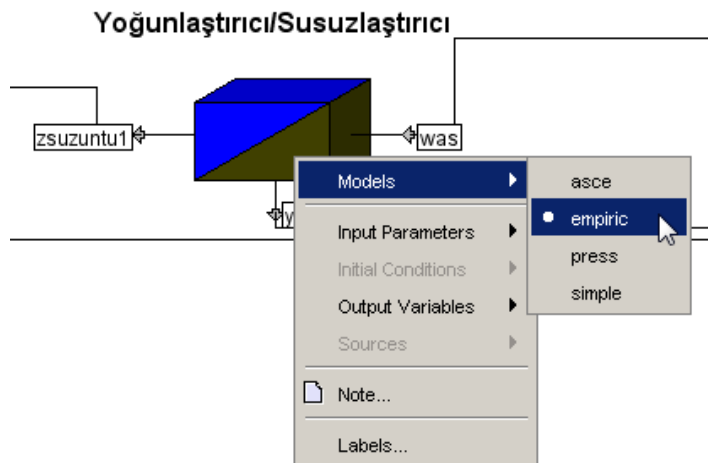
Tesisin çamur yaşını modele tanımlamak için, modelde üst barda yer alan 'f(x) (Define)' tuşuna tıklanır ve açılan menüden 'Solids Retention Time' seçilir ve 'SRT Manager' tablosu açılır (Şekil 4.26). Açılan tabloda, 'Estimate WAS using SRT' kutucuğu işaretlenir ve 'Set Point Value' kutucuğuna istenilen çamur yaşı girilir, ardından 'Close' tuşuna basılıp menü kapatılır.

Son çökeltim tankından gelen fazla biyolojik çamurunun katı madde oranının artırıldığı Yoğunlaştırıcı/Susuzlaştırıcı ünitesini modele tanıtmak için, Yoğunlaştırıcı/Susuzlaştırıcı ünitesine sağ tıklanır ve 'Model' olarak 'empiric' seçilir (Şekil 4.27). Üniteye tekrar sağ tıklanıp 'Input Parameters' ve 'Operational' seçilir. Açılan pencerede 'Operational Parameters' tablosunda, katı madde giderimi seçeneği '[zsuzuntu] specify solids removal by setting...' satırı 'removal efficiency (conc.) and solids' olarak seçilir. Daha sonra katı madde oranı '[ycamur] underflow solids' ve

giderim verimi '[atksznt1] removal efficiency (concentration basis)' satırları doldurulur (Şekil 4.28).



Şekil 4.26: GPS-X'te çamur yaşının tanımlanması



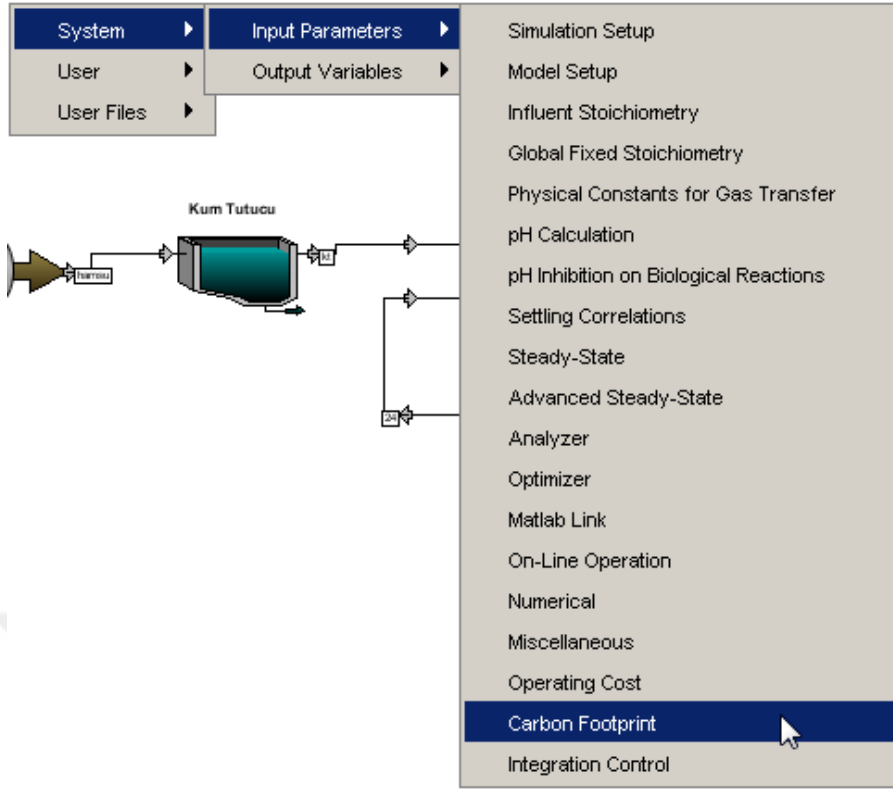
Şekil 4.27: GPS-X'te çamur ünitelerinin modelinin seçilmesi

Şekil 4.28: GPS-X'te çamur ünitelerinin giderim verimi ve çıkış katı madde konsantrasyonunun modele tanıtılması

Çamur kurutucu ünitesi için model yine 'empiric' olarak seçilir. Üniteye sağ tıklanıp 'Input Parameters' ve 'Operational' tıklanarak 'Operational Parameters' tablosu açılır. Yoğunlaştırma/Susuzlaştırma ünitesinde olduğu gibi katı madde oranı ve giderim verimi tabloya girilir.

Modelde sera gazı gazlarının karbon eşleniğini tanımlamak için çalışma alanına sağ tıklanır ve 'System', 'Input Parameters', 'Carbon Footprint' seçilir (Şekil 4.29). Açılan pencerede, N_2O ve CH_4 gazlarının CO_2 eşdeğerinin IPCC'nin Değerlendirme Raporu 4'e göre öntanımlı olduğu görülmektedir. Değerlendirme Raporu 5'te CH_4 'ün CO_2 eşdeğeri 28, N_2O 'inki 265'tir. Modelde en güncel değerler kullanılacaktır (Şekil 4.30). 'Carbon Footprint' penceresindeki diğer tablolardaki öntanımlı değerler ('Provincial GHG Emission Factors for Electricity Production', 'Non- Fossil Carbon', 'Fuel Calorific Values' ve 'Fuel Emission Factors'), çalışmada sadece arıtma faaliyetlerinden doğrudan salınan sera gazı miktarı tahmini yapılacağından model sonuçlarını etkilememektedir.

Modele arıtma üniteleri, diğer elemanlar ve tesis özellikleri girildikten sonra programın sol üst köşesindeki 'Simulation' kutucuğuna tıklanarak simülasyon ekranına geçilir (Şekil 4.31).



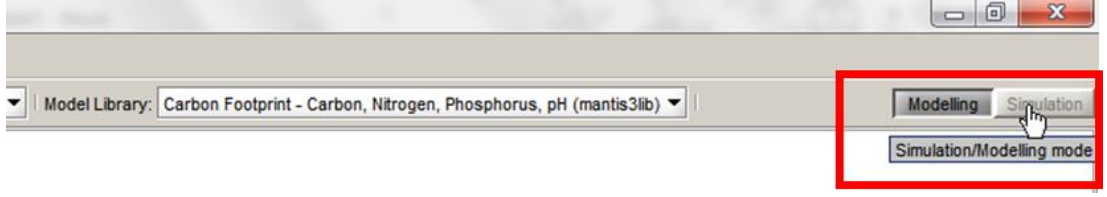
Şekil 4.29: GPS-X'te karbon ayakizi girdi parametrelerinin ayarlanması

The image shows the 'Carbon Footprint' dialog box. It contains several sections with input fields and buttons:

- CO2 Equivalents:**
 - CH4 to CO2 equivalent ratio IPCC AR4: 25.0 (input field) and 28.0 (highlighted input field)
 - N2O to CO2 equivalent ratio IPCC AR4: 298.0 (input field) and 265.0 (highlighted input field)
- Provincial GHG Emission Factors for Electricity Production:**
 - Region: US - National (dropdown menu)
 - regional emission factors: (...) button
- Non-Fossil Carbon:**
 - % of non-fossil carbon: 100.0 (input field) and % (dropdown menu)
- Fuel Calorific Values:**
 - fuel calorific value: (...) button
- Fuel Emission Factors:**
 - fuel emission factor: (...) button

At the bottom, there are 'Accept' and 'Cancel' buttons.

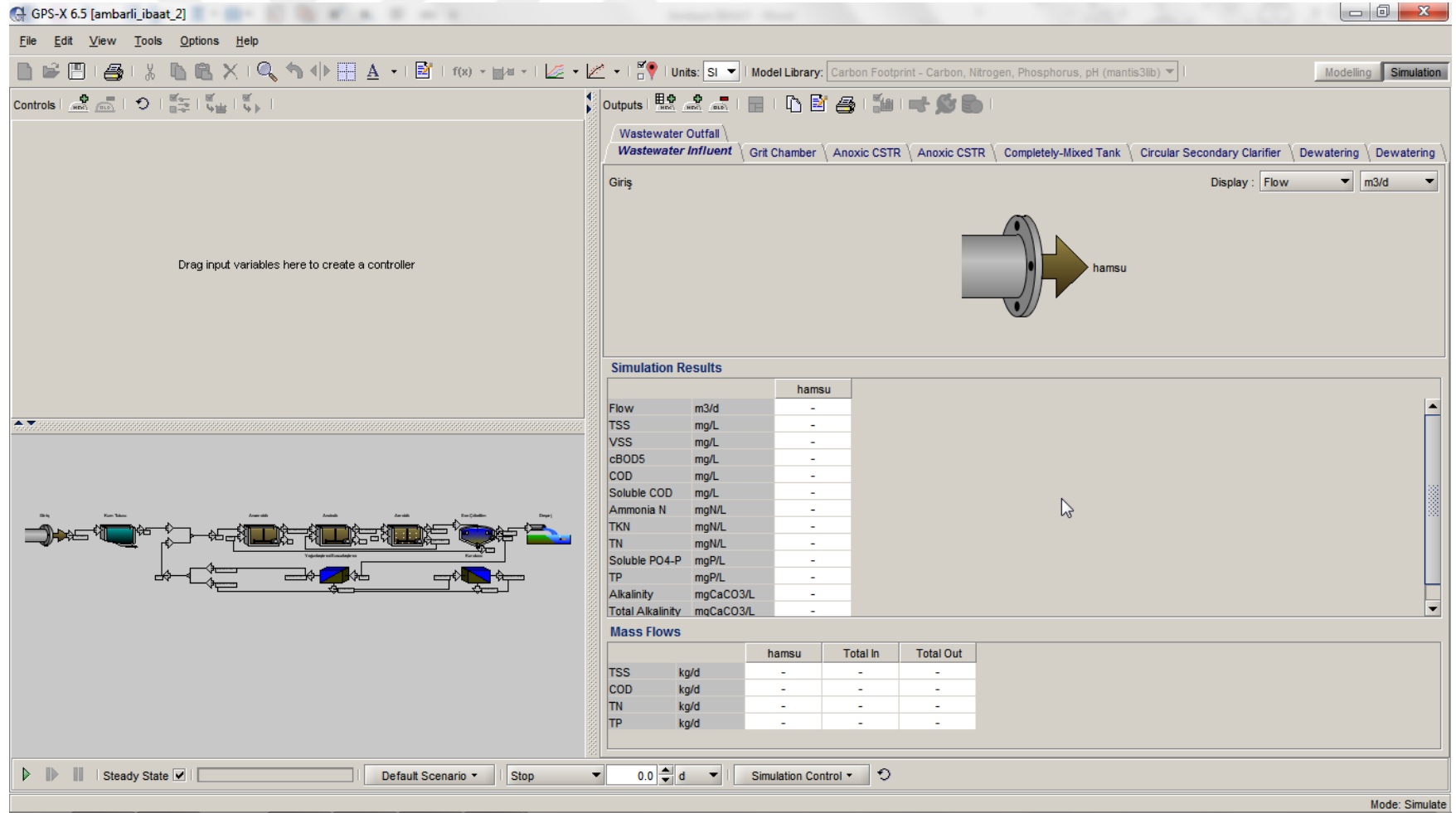
Şekil 4.30: GPS-X'te sera gazlarının karbondioksit eşdeğerinin modele girilmesi



Şekil 4.31: GPS-X'te simülasyon ekranına geçiş

Simülasyon ekranı Şekil 4.32'de görüldüğü gibidir. Ekran 'Controls' ve 'Outputs' olarak 2'ye bölünmüştür. Sol taraf 'Controls' olarak isimlendirilmiş ve üst kısım istenilen model girdilerinin simülasyon öncesinde veya sırasında değiştirebileceği alandır. Sol alt taraf, model ünite/eleman yerleşimin görüldüğü, ünite/eleman seçilerek girdi/çıkıtlı değerlerinin seçilebildiği alandır. Sağ taraf ise model çıktılarının izlenebildiği 'Outputs' alanıdır.

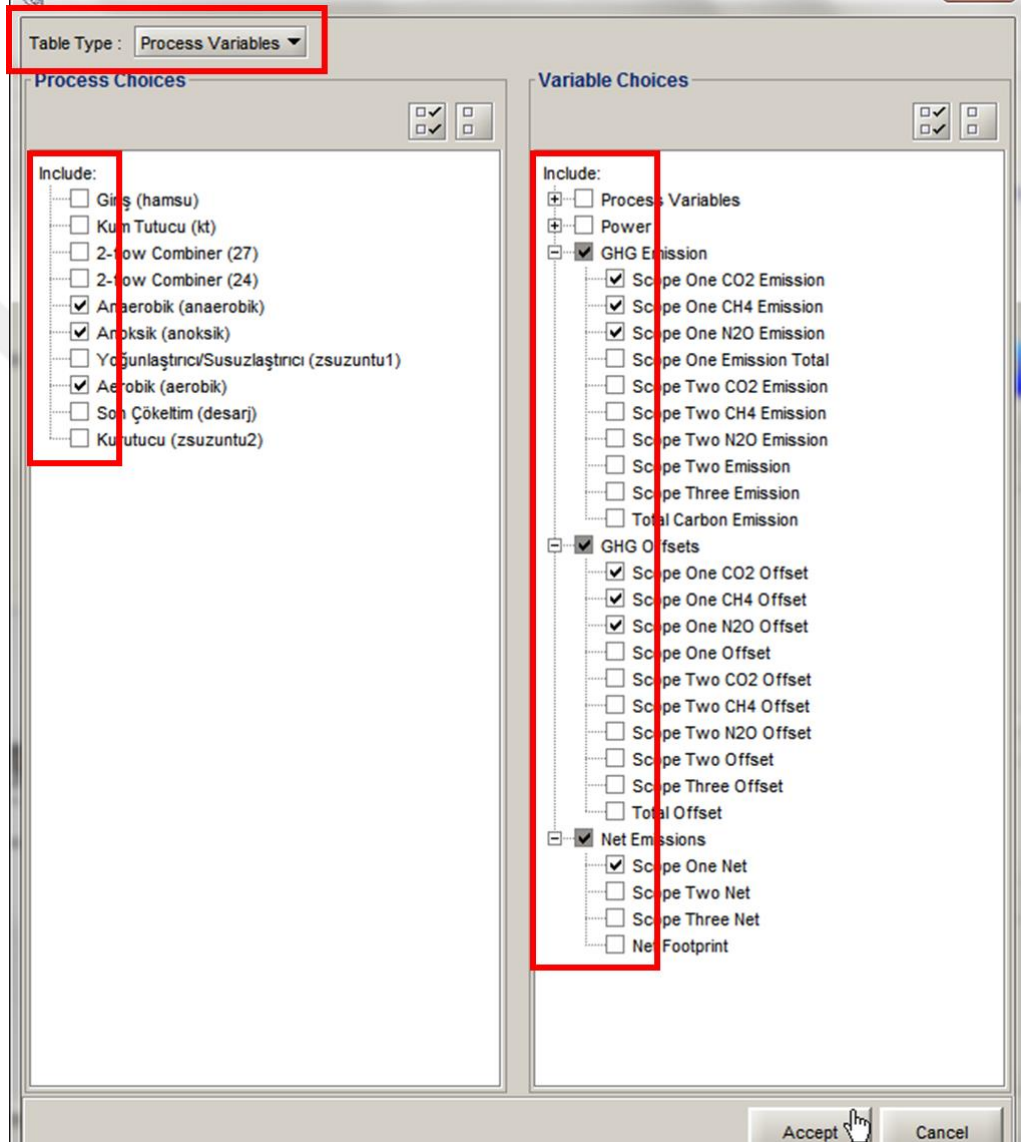
'Outputs' ekranında 'New Table Tab' tıklanarak (Şekil 4.33) açılan pencere 'Table Type' 'Process Variables' seçilir (Şekil 4.34). 'Process Choices' tablosunda sera gazı emisyonunun olduğu 'Anaerobik', 'Anoksik' ve 'Aerobik' kutucukları seçilir. 'Variable Choices' tablosunda ise çalışmada sera gazı emisyonları Kapsam 1 çerçevesinde inceleneceğinden, 'GHG Emission', 'GHG Offsets' ve 'Net Emissions' sekmelerinde 'Scope One' kutucukları CO₂, N₂O ve CH₄ için sera gazları için seçilir (Şekil 4.35). Daha sonra 'Steady State' kutucuğunun işaretlenmiş olduğuna dikkat edilir ve simülasyon sol alttaki yeşil oka tıklanarak başlatılır. Simülasyon sonuçları 'Export Data' tuşuna basılarak Excel dosyası formatında kaydedilir (Şekil 4.36).



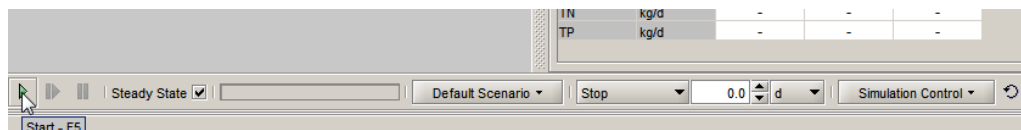
Şekil 4.32: GPS-X'te simülasyon ekranı



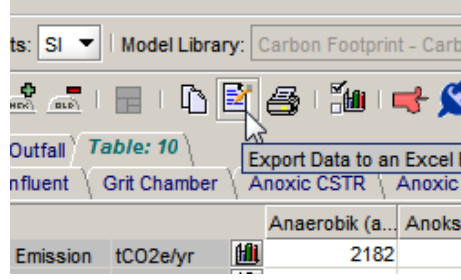
Şekil 4.33: GPS-X'te simülasyon ekranında yeni çıktı sekmesinin oluşturulması



Şekil 4.34: GPS-X'te simülasyon ekranında incelenmek istenen karbon ayakizi çıktılarının seçilmesi

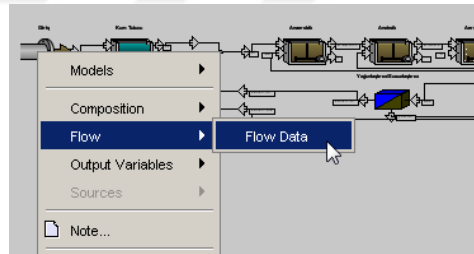


Şekil 4.35: GPS-X'te simülasyonun başlatılması

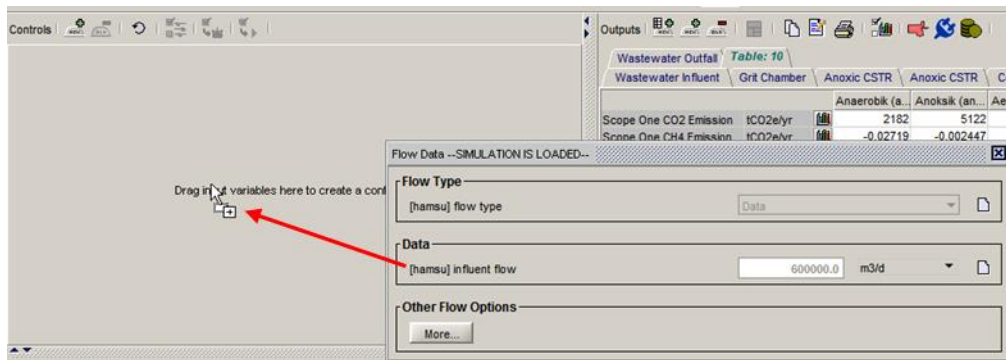


Şekil 4.36: GPS-X'te simülasyon çıktılarının raporlanması

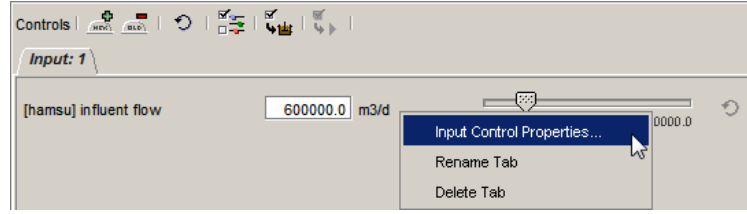
Modeli, şok debi girdisine göre simülasyonu çalıştırmak için modelde tanımlanan debiyi değiştirmeden, tesis şemasının gösterildiği son alt kısımdaki 'Giriş' elementine sağ tıklanır. Ardından 'Flow' ve 'Flow Data' seçilir (Şekil 4.37). Açılan 'Flow Data -SIMULATION LOADED--' penceresinde 'Data' tablosundaki '[hamsu] influent flow' satırı 'Controls' alanına sürüklenerek bırakılır (Şekil 4.38). Bu adımla birlikte 'Controls' alanında 'Input: 1' sekmesi açılır ve '[hamsu] influent flow' üzerine sağ tıklanıp 'Input Control Properties...' tıklanır (Şekil 4.39). Açılan 'Variable Properties' tablosuna minimum ve maksimum debi aralığı girilir ve 'Data File...' tuşuna tıklanır (Şekil 4.40). Açılan 'Data File' penceresinde, belirlenen zamanlarda tesise giren debiler modele tanımlanıp ve bilgi kaydedilip pencere kapatılır (Şekil 4.41).



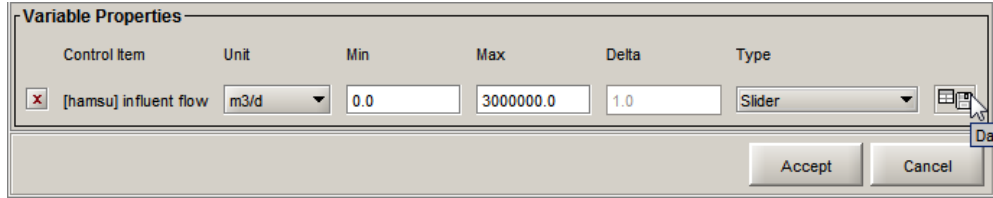
Şekil 4.37: GPS-X'te simülasyon sırasında girdi değiştirmek için kontrol seçimi (debi örneği)



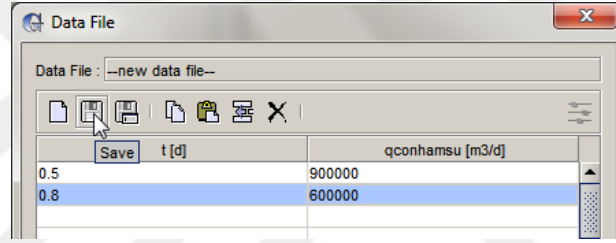
Şekil 4.38: GPS-X'te girdi değerini simülasyon sırasında değiştirme (debi örneği)



Şekil 4.39: GPS-X'te simülasyon sırasında girdi kontrolü değişim ayarları

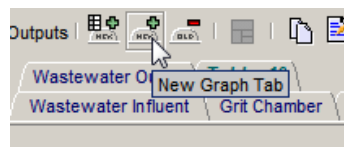


Şekil 4.40: GPS-X'te simülasyon sırasında değiştirilecek girdi değerinin minimum ve maksimum değerlerinin seçilmesi ve 'Data File...' tuşu

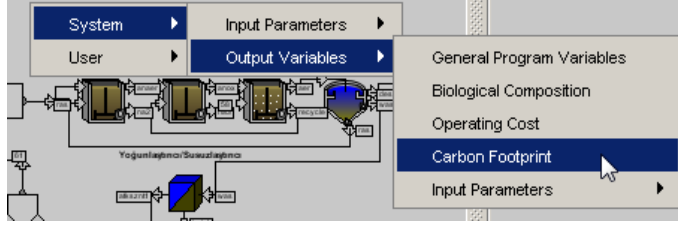


Şekil 4.41: GPS-X'te 'Data File' menüsü

Şok debi girdisinin emisyon sonuçlarına etkisini görmek için 'Outputs' alanındaki 'New Graph Tab' tuşuna tıklanır (Şekil 4.42). Daha sonra tesis şemasının bulunduğu tabloda boş bir alana sağ tıklanır ve 'System', 'Output Variables' ve 'Carbon Footprint' tıklanır (Şekil 4.43). Açılan pencereden 'Scope One Total Emissions' tablosundaki 'net scope one emissions' seçilip çıktı alanına sürüklenir (Şekil 4.44). Bu adımla birlikte çıktı alanında zaman ekseninde debiye göre değişen sera gazı emisyonu miktarı grafiği oluşturulur. Simülasyon süresi emisyon değişimini gözlemleyebilmek üzere 5 gün olarak seçilir ve simülasyon başlatılır. Simülasyon tamamlandığında sera gazı emisyonu miktarındaki değişim Şekil 4.45'teki gibi grafiğe işlenir. Yeni sonuçlar 'Export Data' tuşuna basılarak Excel dosyası formatında kaydedilir.



Şekil 4.42: GPS-X'te simülasyon çıktısı için yeni sekme açma



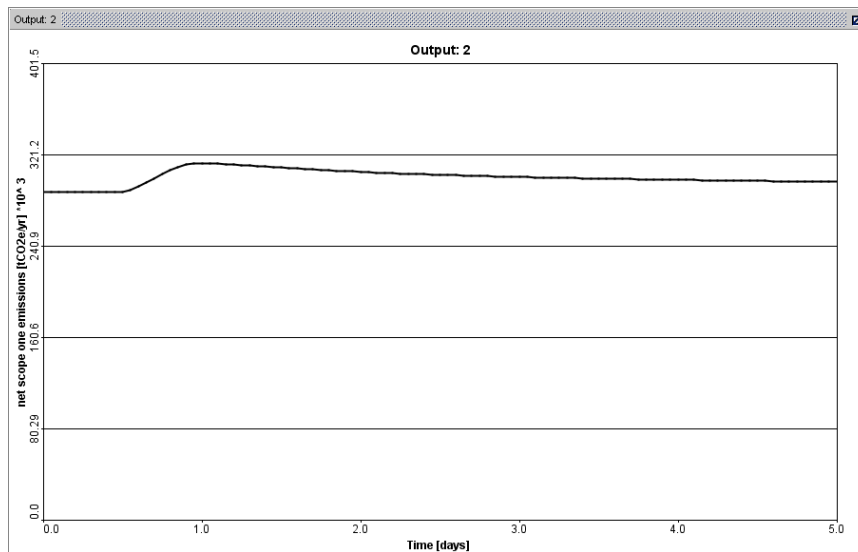
Şekil 4.43: GPS-X'te simülasyonda 'Carbon Footprint' çıktı menüsünün açılması

The screenshot shows the 'Carbon Footprint' dialog box. It contains three sections: 'Scope One Total Emissions', 'Scope Two Total Emissions', and 'Scope Three Total Emissions'. Each section has three rows: 'total', 'offset', and 'net'. The units are 'tCO2e/yr'.

Scope	Category	Value	Unit
Scope One Total Emissions	total scope one emissions	4907000	tCO2e/yr
	total scope one offset	1224000	tCO2e/yr
	net scope one emissions	3683000	tCO2e/yr
Scope Two Total Emissions	total scope two emissions	223100	tCO2e/yr
	total scope two offset	0.0	tCO2e/yr
	net scope two emissions	223100	tCO2e/yr
Scope Three Total Emissions	total scope three emissions	0.0	tCO2e/yr
	total scope three offset	0.0	tCO2e/yr
	net scope three emissions	0.0	tCO2e/yr
Total Emissions	total emissions	5130000	tCO2e/yr
	total offset	1224000	tCO2e/yr
	net total emissions	3906000	tCO2e/yr

At the bottom, there are 'Accept' and 'Cancel' buttons.

Şekil 4.44: GPS-X'te 'Carbon Footprint' çıktı menüsü



Şekil 4.45: GPS-X'te debiye göre değişen sera gazı salımı miktarının grafik olarak gösterimi

5. ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN İSTANBUL'DAKİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİ VE SENARYOLAR

5.1. İncelenen Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri

Çalışma kapsamında Ambarlı, Ataköy, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri ve Tuzla II ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri ile Tuzla I ikinci kademe atıksu arıtma tesisinden atıksu arıtımından kaynaklanan sera gazı emisyonu miktarı tahmin edilmiştir. Tesislere ait birinci kademe tasarım parametreleri, İSKİ'den temin edilen fizibilite raporlarından alınmıştır.

Ambarlı, Ataköy, Büyükçekmece, Çanta, Selimpaşa ve Tuzla II ileri biyolojik atıksu arıtım tesisleri, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY) yönetmelikleri birlikte incelendikten sonra, parametreler için belirlenen limitlerden en sıkı olanını sağlayacak şekilde planlanmışlardır. Paşaköy ve Silivri İBAAT, proje şartnamesinde belirtilen deşarj kriterlerini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. İkinci kademe arıtma yapılan Tuzla I tesisi ise Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'ne uyumludur. Çizelge 5.1'de KAAY'de ilgili Tablo 1 ve Tablo 2, Çizelge 5.2'de SKKY'de ilgili Tablo 21.4 verilmiştir.

Çizelge 5.1: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Tablo 21.4 (ÇOB, 2004)

Tablo 21.4: Sektör: Evsel nitelikli atıksular (sınıf 4: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 6.000 kg/gün'den büyük, nüfus>100.000)			
Parametre	Birim	Kompozit numune 2 saatlik	Kompozit numune 24 saatlik
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	mg/L	40	35
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	mg/L	120	90
Askıda katı madde (AKM)	mg/L	40	25
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 5.2: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, Tablo 1 ve Tablo 2 (ÇOB, 2006)

Tablo 1: Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtmaya ilişkin deşarj limitleri*			
Parametreler	Konsantrasyon (mg/L)	Minimum arıtma verimi (%)	Referans ölçüm metodu
Nitrifikasyonsuz ¹ Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (20°C’de BOİ ₅)	25	70-90 40 Madde 8 (c)	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Tamamen karanlık ortamda 20°C ±1°C’de beş günlük inkübasyondan önce ve sonra çözünmüş oksijenin ölçülmesi. Bir nitrifikasyon inhibitörünün ilavesi.
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	125	75	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Potasyum dikromat yöntemi.
Toplam askıda katı madde (TAKM)	35 35 Madde 8 (c) (10000 E.N.’den fazla) 60 Madde 8 (c) (2000-10000E.N.)	90 ² 90 Madde 8 (c) (10000 E.N.’den fazla) 70 Madde 8 (c) (2000-10000 E.N.)	-Temsili örneğin 0,45 µm membran ile filtrasyonu. 105 °C’de kurutulması ve tartılması. - Temsili örneğin santrifüj edilmesi (ortalama 2800- 3200 g’lık ivme ile en az beş dakika kadar),105 °C’de kurutulması ve tartılması.

* Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

¹ Eğer BOİ₅ ile yerine kullanılan parametre arasında korelasyon kurulabilirse, bu parametre bir başka parametre ile değiştirilebilir: toplam organik karbon (TOK) ya da toplam oksijen ihtiyacı (TOİ) gibi.

² Bu şart yerleşim biriminin büyüklüğüne bağlıdır.

Lagünlerden deşarjlara ilişkin analizler filtre edilmiş örnekler üzerinde yapılmakla birlikte; filtre edilmemiş su örneklerinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu 150 mg/l’yi aşmamalıdır.

Tablo 2: Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtmaya ilişkin deşarj limitleri*			
Parametreler	Konsantrasyon	Minimum arıtma verimi (%)	Referans Ölçüm Metodu
Toplam fosfor	2 mg/l P (10000-100000 E.N.) 1 mg/l P (100 000 E.N.’den fazla)	80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre
Toplam azot ¹	15 mg/l N (10000-100000 E.N.) 10 mg/l N (100 000 E.N.’den fazla) ²	70-80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre

*Yerel şartlara bağlı olarak parametrelerin biri veya ikisi birden uygulanabilir. Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

Çizelge 5.3’te incelenen 9 biyolojik atıksu arıtma tesisinin atıksu karakterizasyonları ve tasarım kriterleri özetlenmiştir.

Çalışmada incelenen İstanbul’daki 9 büyük biyolojik tesisin tanıtımı aşağıda yapılmıştır.

Çizelge 5.3: İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin atıksu karakterizasyonu ve tasarım kriterleri özet tablosu

		Ambarlı	Ataköy	Büyükçekmece	Çanta	Paşaköy	Selimpaşa	Silivri	Tuzla 1	Tuzla 11
Proses		A ² O	5-bardenpho	A ² O	A ² O	A ² O	A ² O	A ² O	Konvansiyonel	A ² O
Sıcaklık	°C	15	15	15	15	15	15	15	15	15
pH		7	7	7	7	7	7	7	7	7
Eşdeğer nüfus	kişi	2.344.000	1.950.000	594.958	245.175	934.000	467.000	168.120	700.500	467.000
Giriş										
Debi	m ³ /gün	600.000	390.000	127.400	52.500	200.000	100.000	36.000	150.000	100.000
AKM	mg/L	350	320	261	351	315	293	351	610	610
KOİ	mgKOİ/L	600	600	600	600	600	600	600	840	840
BOİ5	mgO ₂ /L	266	309	283	309	324	252	309	380	376
TKN	mgN/L	54	60	60	60	70	50	60	65	65
NH4-N	mgN/L	32	35	36	36	42	30	36	39	39
TP	mgP/L	10	8	10	10	8	10	10	15	15
PO4-P	mgP/L	8	6,8	8	8	6,8	8	8	10	10
Ön Çökeltim										
A (yüzey alanı)	m ²	-	2.778	-	-	-	1.414	-	3.600	5.400
Hsu (su yüksekliği)	m	-	2,7	-	-	-	3,5	-	3,0	3,0
Biyolojik Tanklar										
Vanaer (fosfor havuzu hacmi)	m ³	43.720	27.157	9.792	4.051	13.032	4.326	2.370	-	6.000
Vanok (denitrifikasyon hacmi)	m ³	152.000	50.615	52.400	66.480	31.200	60.476	23.400	-	28.080
Vaer (nitrifikasyon hacmi)	m ³	238.000	66.475	66.700	170.947	72.800	95.672	36.600	24.000	43.920
Haer (aerobik tank su derinliği)	m	4	6,4	6,4	4	6,5	5,5	4	6,5	4
Vanok/Vtop		0,39	0,43	0,44	0,28	0,30	0,39	0,39	-	0,39
RC (içsel geri devir oranı)		4,1	4,3	2,0	4,8	4,8	4,5	4,5	-	4,5
Son çökeltim tankı										
A (yüzey alanı)	m ²	29.600	12.312	10.857	4.357	11.084	5.281	3.226	6.384	3.192
Hsu (su yüksekliği)	m	3,4	4,4	3,4	2,5	3,5	4,0	2,5	4,7	4,7
R (aktif çamur geri devir oranı)		0,75	0,83	0,75	0,75	0,8	0,75	0,75	0,8	1
SRT (çamur yaşı)	gün	9	10	20	10	8	11,3	21	8	8
WAS (fazla çamur debisi)	m ³ /gün	19.030	12.580	5.475	4.340	8.951	2.320	1.540	1.344	4.629
WAS üretimi	kg/gün	178.600	81.250	23.600	13.940	51.540	12.990	8.599	20.300	20.780
SVI (çamur hacim indeksi)	mL/g	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Çizelge 5.3 (devam): İncelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin atıksu karakterizasyonu ve tasarım kriterleri özet tablosu

		Ambarlı	Ataköy	Büyükçekmece	Çanta	Paşaköy	Selimpaşa	Silivri	Tuzla I	Tuzla II
Çamur Yoğunlaştırıcı										
Ürün %KM		25	6	6	25	25	25	25	6	6
Ürün kütlesi	kg/gün	170.000	30.330	77.400	22.440	13.250	49.020	26.760	8.178	72.860
Ürün hacmi	m ³ /gün	680	506	1.290	90	53	196	107	33	1.214
Üst akım debisi	m ³ /gün	18.350	587	11.290	5.385	4.287	8.755	2.934	1.508	1.018
Anaerobik çürütücü										
Vcurutucu (çürütücü hacmi)	m ³	-	60.000	-	-	-	-	-	15.530	15.530
Ürün %KM		-	3,9	-	-	-	-	-	3,5	3,7
Ürün hacmi	m ³ /gün	-	1.799	-	-	-	-	-	1.540	986
HRT (hidrolik bekletme süresi)	gün	-	33,4	-	-	-	-	-	10,1	15,8
Biyogaz üretimi	m ³ /gün	-	46.420	-	-	-	-	-	35.560	21.510
Biyogaz CH ₄ yüzdesi		-	46,6	-	-	-	-	-	54,7	53,5
Biyogaz CO ₂ yüzdesi		-	53,2	-	-	-	-	-	45,0	46,2
Çamur Susuzlaştırıcı										
Ürün %KM		-	27	-	-	-	-	-	27	27
Ürün kütlesi	kg/gün	-	66.760	-	-	-	-	-	52.210	34.830
Ürün hacmi	m ³ /gün	-	247	-	-	-	-	-	193	129
Üst akım debisi	m ³ /gün	-	1552	-	-	-	-	-	1346	857
Çamur Kurutucu										
Ürün %KM		90	90	90	90	90	90	90	90	90
Ürün kütlesi	kg/gün	163.800	64.390	21.620	12.760	47.230	25.780	7.878	50.350	33.600
Ürün hacmi	m ³ /gün	182	72	24	14	52	29	9	56	37
Üst akım debisi	m ³ /gün	498	176	66	39	144	78	24	137	92

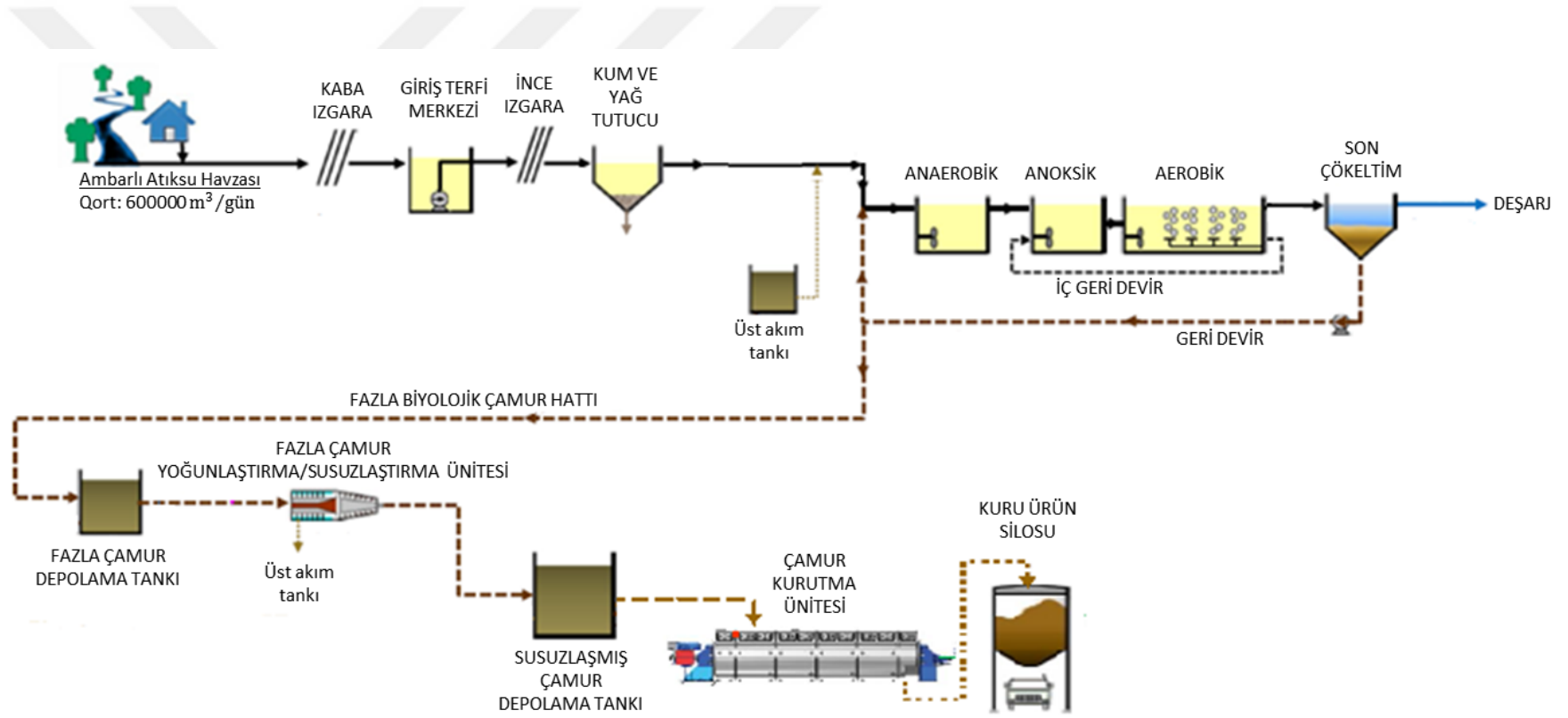
5.1.1. Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT), İstanbul'un Esenyurt, Beylikdüzü ve Arnavutköy ilçelerinin atıksuyunun tamamını, Avcılar ve Başakşehir ilçelerinin bir kısmının atıksuyunu arıtmaktadır. Ambarlı Atıksu Toplama Havzası nüfusu 2008 ADNKS'na göre 951.097 kişidir. Tesis, A²O prosesine göre, ilk aşaması 2029 yılı için 2.344.000 kişi, artan nüfusa paralel olarak 2044 yılı ikinci kademe 4.688.000 kişi kapasiteyle planlanmıştır. Ambarlı İBAAT'nin ilk kademesi için atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4: Ambarlı İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu

Ambarlı İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu		
Proses	A ² O Prosesi	
Eşdeğer nüfus (kişi)	2.344.000	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	600.000	25.000
Q _{maks}	-	32.500
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	350	210.000
KOI	600	360.000
BOI ₅	266	156.000
TKN	54	32.400
TP	10	6.000

Ambarlı Atıksu Toplama Havzası'nda toplanan atıksu Kaba Izgara'dan geçtikten sonra Giriş Terfi Merkezi'ne ulaşmaktadır. Ardından Ambarlı İBAAT'ye giren debi burada İnce Izgara ve Kum ve Yağ Tutucu'nun ardından Biyolojik Havuzlara geçmektedir. Atıksu, Biyofosfor Havuzundan sonra anoksik ve aerobik Biyolojik Havuzlara aktarılmaktadır. Aerobik havuzdan anoksik havuza iç geri devir söz konusudur. Biyolojik tanklardan geçen debi daha sonra Son Çökeltim Tankı'na ulaşmaktadır. Buradan Biyofosfor Havuzu girişine geri devir bulunmaktadır ve tesisin çamur yaşı 9 gün'dür. Son Çökeltim Tankı'ndaki fazla biyolojik çamur, Çamur Yoğunlaştırma/Susuzlaştırma Ünitesine ve ardından Çamur Kurutma Ünitesi'ne aktarılmaktadır. Kurutulan çamur çimento fabrikasında yakıt olarak kullanılmaktadır. Ambarlı İBAAT'nde arıtılan atıksu Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir. Tesisin akım şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: Ambarlı İBAAT akım şeması

5.1.2. Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, İstanbul'daki Bakırköy, Bahçelievler ve Bağcılar ilçelerinin tamamının, Başakşehir, Küçükçekmece ve Sultangazi ilçelerinin ise bir kısmının dahil olduğu yaklaşık 2,5 milyonluk nüfusun atıksuyunu arıtmak üzere 2010 yılında işletmeye alınmıştır. Tesis ilk kademe olarak 400.000 m³/gün'lük debi ile arıtmaya başlamış ve artan nüfusa paralel olarak 600.000 m³/gün'lük ikinci kademe planlanmıştır (İSKİ, 2011). İleri biyolojik AAT, 5-kademeli Bardenpho prosesine göre planlanmıştır ve atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.5'te verilmiştir.

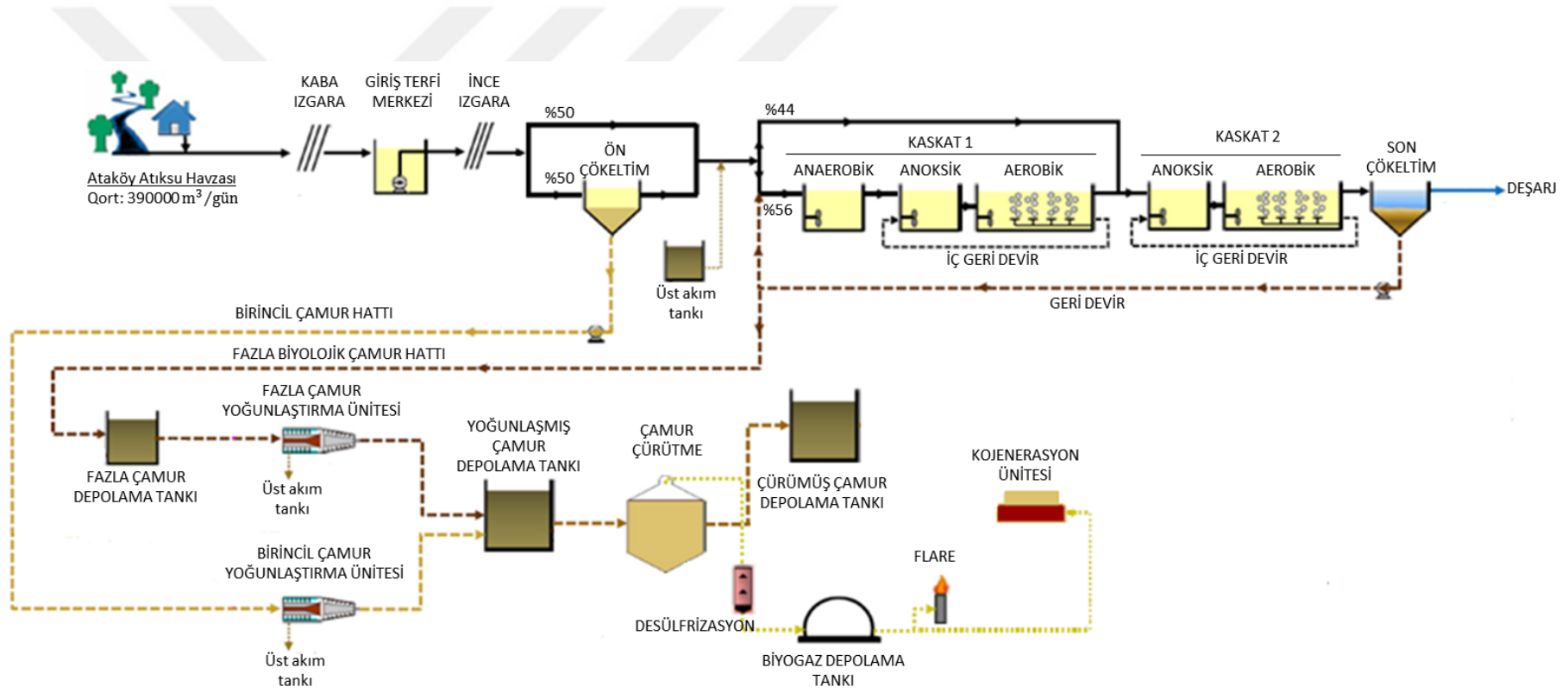
Çizelge 5.5: Ataköy İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu

Ataköy İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu		
Proses	5-kademeli Bardenpho	
Eşdeğer nüfus (kişi)	1.950.000	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	390.000	16.250
Q _{maks}	-	21.250
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	320	124.800
KOİ	600	234.000
BOİ ₅	309	120.510
TKN	60	23.400
TP	8	3.120

Şekil 5.2'de AAT'nin akım şeması verilmiştir. Atıksu havzasından toplanan ortalama 390.000 m³/gün'lük debi, Giriş Terfi Merkezine ulaşmadan önce Kaba Izgara'dan geçmektedir. Giriş Terfi Merkezi'nden İnce Izgara'ya pompalanan atıksu, buradan Kum ve Yağ Tutucu'ya giriş yapmaktadır. Daha sonra debinin %50'si Ön Çökeltim Havuzu'na iletilirken, diğer yarısı bu üniteyi bypass etmektedir. Ön Çökeltim Havuzu'nda çöken birincil çamur, Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi'ne iletilmektedir. Atıksu akımı Ön Çökeltim Havuzu çıkışı ve bypass debisi ile Çamur Yoğunlaştırıcı'da çamurdan ayrılmış üst akım ile birleşmekte, biyolojik havuza girmeden önce tekrar ikiye ayrılmaktadır. Debinin %56'sı Biyofosfor Havuzu'na giderken, %44'ü Kaskat 1 (Biyofosfor Havuzu, Anoksik I ve Aerobik I havuzları) çıkışındaki debiye doğrudan katılmaktadır. Biyofosfor Havuzu'na gelen debi burada Son Çökeltim Havuzu'ndan gelen geri devir debisi ile birleşmekte, Biyofosfor Havuzu ardından Anoksik I ve Aerobik I Biyolojik Havuzlara ilerlemektedir. Aerobik I'den Anoksik I'e iç geri devir söz konusudur. Kaskat 1 çıkışındaki akım, biyolojik olarak arıtılmamış giriş debisinin %46'luk kısmı ile birleşerek Kaskat 2'ye (Anoksik II ve

Aerobik II havuzları) ilerlemektedir. Kaskat 2’de de Aerobik II’den Anoksik II’ye iç geri devir söz konusudur. Kaskat 2 çıkışındaki akım Son Çökeltim Havuzu’na girmektedir. Son Çökeltim Havuzu’ndan Biyofosfor Havuzu girişine aktif çamur geri devredilmekte, fazla aktif çamur ise Çamur Depolama Tankı’na iletilmektedir. Tesisin çamur yaşı 10 gün’dür. Ataköy İBAAT’nde arıtılan atıksu Ayamama Deresi’ne deşarj edilmektedir.

Çamur Depolama Ünitesi’nde depolanan fazla aktif çamur, Çamur Yoğunlaştırıcı’dan sonra yoğunlaşmış birincil çamurla birleşerek Anaerobik Çürütücü’ye giriş yapmaktadır. Anaerobik Çürütücü’den elde edilen biyogaz desülfürizasyondan sonra Gaz Tankı’nda biriktirilmekte ve ardından Kojenerasyon Ünitesinde enerji eldesinde kullanılmaktadır. Anaerobik Çürütücü’de çürütülen çamur, Çamur Susuzlaştırma Ünitesi’ne ve ardından Çamur Kurutma Ünitesine aktarılmaktadır. Çamur Yoğunlaştırıcı ve Çamur Susuzlaştırma’da oluşan sentrat Ön Çöktürme çıkışında tesis akımına karıştırılmaktadır.



Şekil 5.2: Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması

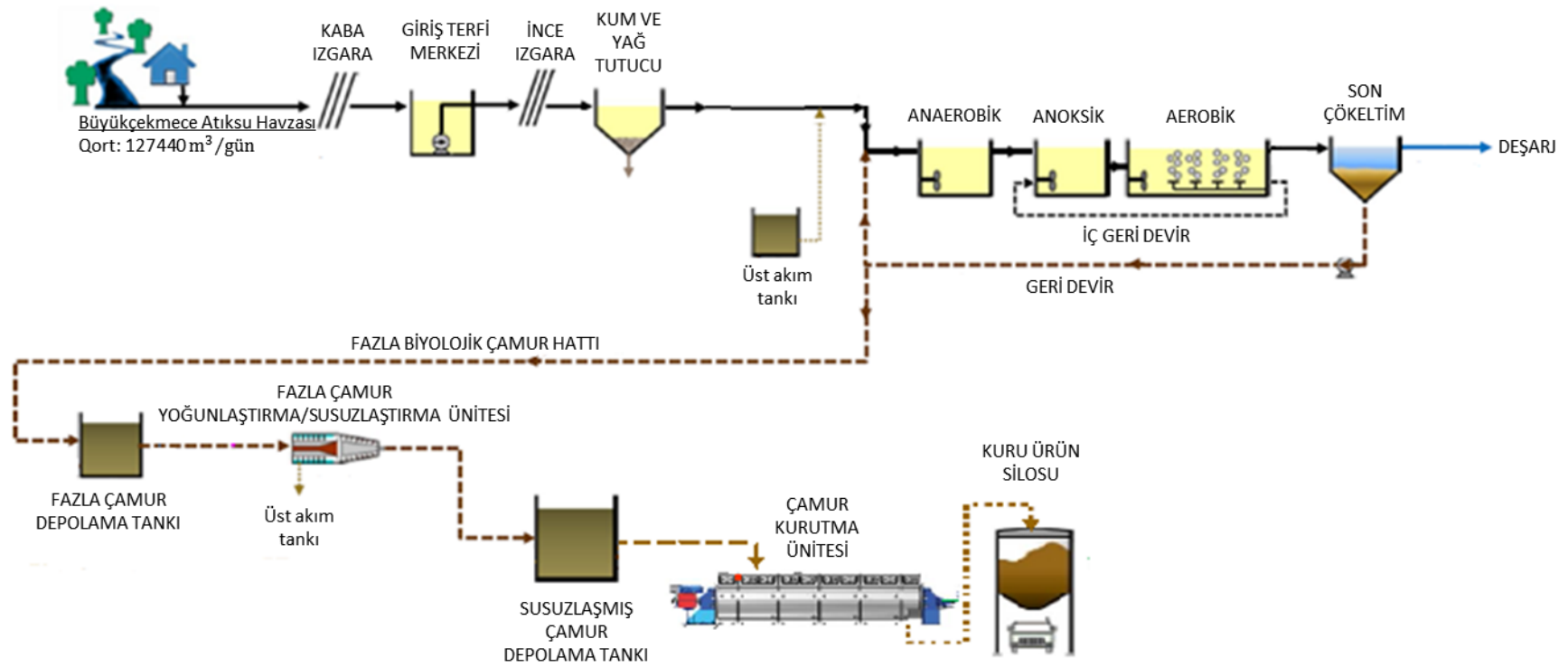
5.1.3. Büyükçekmece İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Büyükçekmece İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT), İstanbul'un Büyükçekmece ilçesinin tamamı ile Arnavutköy, Çatalca ve Silivri ilçelerinin bir kısmının atıksuyunu arıtmaktadır. Büyükçekmece İBAAT, ilk kademedede 2026 yılı için 508.661 kişiye, ikinci kademedede 2041 yılı için 1.023.765 kişiye ve üçüncü kademedede 2050 yılı için 1.563.820 kişiye hizmet edecek şekilde tasarlanmıştır. Tesisin atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: Büyükçekmece İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu

Büyükçekmece İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu		
Proses	A ² O Prosesi (Çamur yaşı>13)	
Eşdeğer nüfus (kişi)	594.958	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	127.400	5.308
Q _{maks}	-	7.960
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	260	33.124
KOİ	600	76.440
BOİ ₅	285	36.309
TKN	60	7.644
TP	10	1.274

Büyükçekmece Atıksu Toplama Havzası'nda toplanan atıksu sırasıyla Kaba Izgara, Giriş Terfi Merkezi ve İnce Izgara ünitelerinden sonra Kum ve Yağ Tutucu'ya ulaşmaktadır. Kum ve Yağ Tutucu'dan sonra çamur ünitelerinden gelen üst akımla birleşen atıksu akımı biyolojik havuzlara iletilmektedir. Atıksu Biyofosfor havuzundan sonra anoksik ve aerobik havuzlardan geçerek Son Çökeltim Tankı'na ilerlemektedir ve Aerobik Havuzdan Anoksik Havuza içsel geri devir bulunmaktadır. Son Çökeltim Havuzundan da Biyofosfor Havuzu girişine aktif çamur geri devredilmekte, fazla çamur ise Fazla Çamur Depolama Tankına aktarılmaktadır. Tesisin çamur yaşı 20 gün'dür. Fazla çamur Yoğunlaştırma/Susuzlaştırma Ünitesinden sonra Çamur Kurutma Ünitesine iletilmektedir. Kurutulan çamur çimento fabrikalarına yakıt olarak kullanılmak üzere gönderilmektedir. Büyükçekmece İBAAT'nde arıtılan atıksu Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir ve tesis akım şeması Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: Büyükçekmece İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması

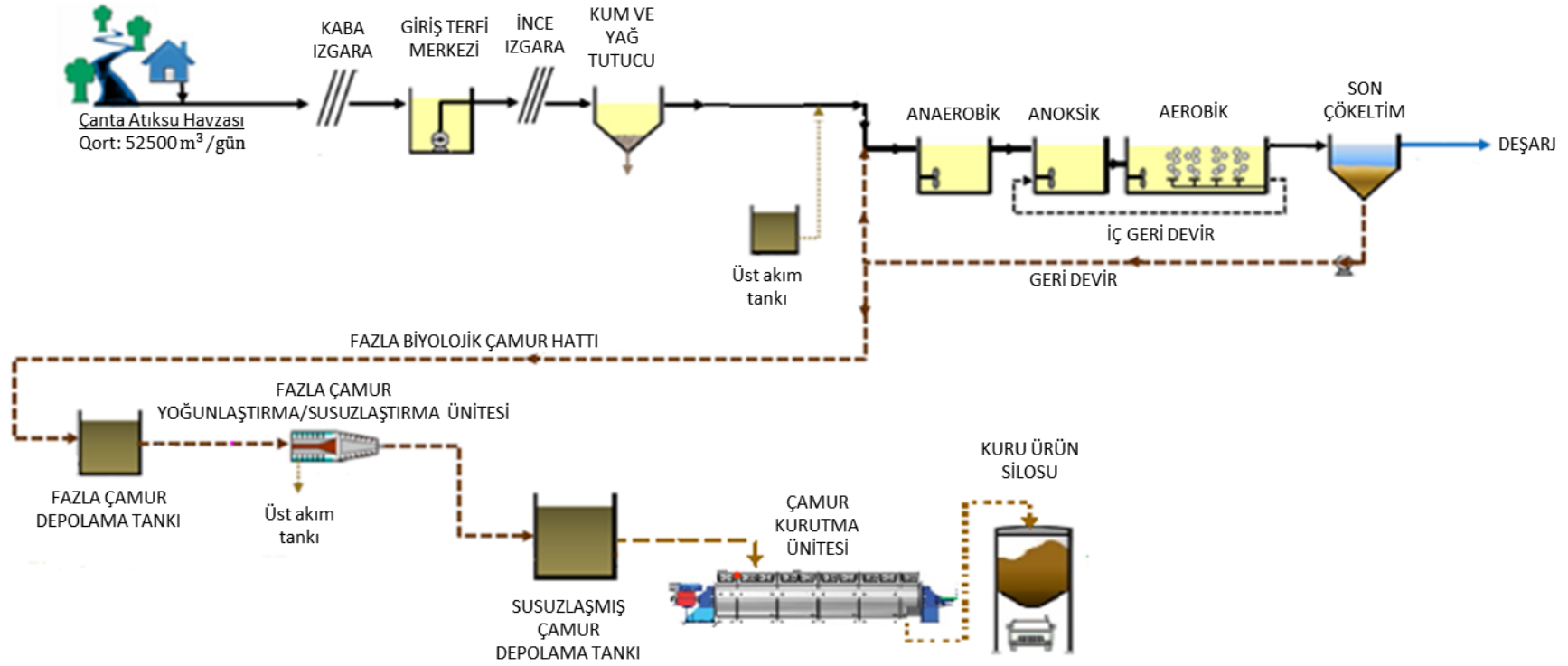
5.1.4. Çanta İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Çanta İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT), İstanbul'un güneybatısındaki Silivri ilçesinin bir kısmının atıksuyunu arıtmaktadır. Çanta Atıksu Toplama Havzasında mevsimsel nüfus farkı yazlık sayısına bağlı olarak fazladır. Tesis nüfusla artan atıksu debisine karşılık vermek adına 3 kademe olarak tasarlanmıştır. İlk kademe 2028 yılı için 210.000 kişi, ikinci kademe 2040 yılı için 420.000 kişi ve üçüncü kademe 2050 yılı için 625.000 kişi eşdeğer nüfusa göre planlanmıştır. Tesisin atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7: Çanta İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu

Çanta İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu		
Proses	A ² O Prosesi	
Eşdeğer nüfus (kişi)	245.175	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	52.500	2.188
Q _{maks}	-	3.083
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	315	16.538
KOİ	600	31.500
BOİ ₅	324	17.010
TKN	70	3.675
TP	8	420

Çanta İBAAT'de atıksu arıtımı Büyükçekmece tesisiyle aynı proses şemasıyla yapılmaktadır ancak çamur yaşı 10 gün'dür. Tesise ait akım şeması Şekil 5.4'te verilmiştir. Tesiste arıtılan atıksu Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 5.4: Çanta İlery Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması

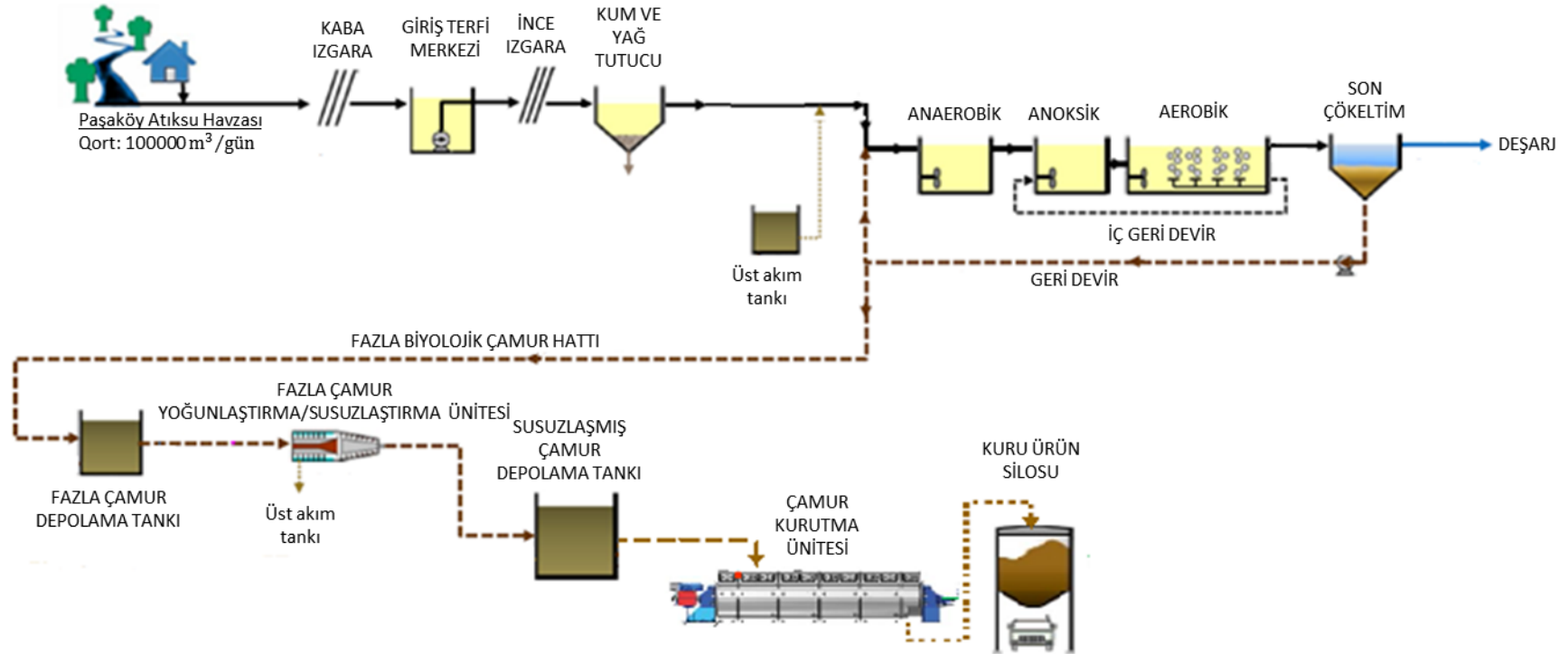
5.1.5. Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT), İstanbul'un Sultanbeyli ilçesinin tamamının ile Sancaktepe ve Çekmeköy ilçelerinin bir kısmının atıksuyunu arıtmaktadır. Tesisin ilk kademesi 100.000 m³/gün'lük kapasiteyle 2000 yılında, ikinci kademesi ise aynı kapasiteyle 2009 yılında hizmete alınmıştır ve hizmet verdiği eşdeğer nüfus değeri 934.000 kişidir. Tesisin atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Paşaköy İBAAT atıksu karakterizasyonu

Paşaköy İBAAT atıksu karakterizasyonu		
Proses	A ² O Prosesi	
Eşdeğer nüfus (kişi)	934.000	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	200.000	8.333
Q _{maks}	-	12.500
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	315	63.000
KOİ	600	120.000
BOİ ₅	324	64.800
TKN	70	14.000
TP	8	1.600

Paşaköy tesisinde atıksu Büyükçekmece İBAAT ile aynı proses şemasıyla arıtılmaktadır ancak çamur yaşı 9 gün'dür. Tesisin akım şeması Şekil 5.5'te verilmiştir. Tesiste arıtılan atıksu Riva Deresi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 5.5: Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması

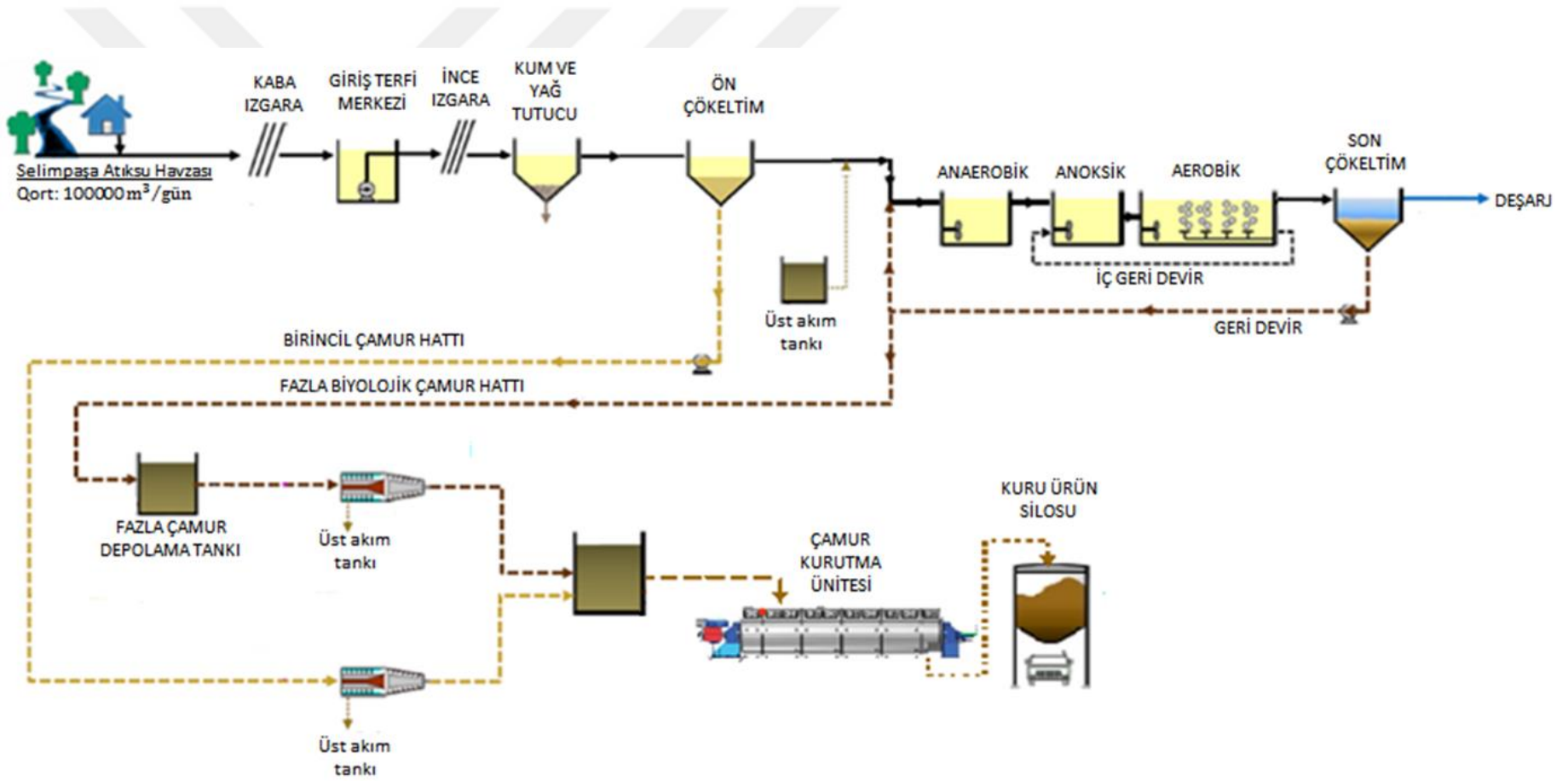
5.1.6. Selimpaşa İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Selimpaşa İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (İBAAT), İstanbul'un güneybatısındaki Silivri ilçesinin bir kısmının atıksuyunu arıtmaktadır. Selimpaşa Atıksu Toplama Havzasında turizme elverişli bölge olduğundan mevsimsel nüfus farkı fazladır. Tesisin ilk kademesi 2030 yılı için 457.851 kişi, ikinci kademe 2038 yılı için 915.703 kişi ve üçüncü kademe 2046 yılı için 1.831.405 kişi eşdeğer nüfusa göre planlanmıştır. Tesisin atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9: Selimpaşa İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu

Selimpaşa İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu		
Proses	A ² O Prosesi	
Eşdeğer nüfus (kişi)	467.000	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	100.000	4.167
Q _{maks}	-	5.417
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	293	29.300
KOİ	600	60.000
BOİ ₅	252	25.200
TKN	50	5.000
TP	10	1.000

Selimpaşa Atıksu Toplama Havzasında toplanan atıksu Kaba Izgara, Giriş Terfi Merkezi, İnce Izgara ile Kum ve Yağ Tutucu ünitesinden sonra Ön Çökeltim Havuzuna giriş yapmaktadır. 2020 yılı için yapılan hesaplarda, Ön Çökeltim Tankının bypass edildiği kabul edilmiştir. Ön Çökeltim Havuzunda üretilen birincil çamur, Birincil Çamur Yoğunlaştırma/Susuzlaştırma Ünitesine iletilmektedir. Ön Çökeltim Havuzundan çıkan akım çamur ünitelerinden gelen üst akım debisiyle birleşip biyolojik tanklara ilerlemektedir. Akım Biyofosfor Havuzu, Anoksik ve Aerobik Havuzundan sonra Son Çökeltim Havuzuna ulaşmaktadır. Aerobik Havuzdan Anoksik Havuza içsel geri devir, Son Çökeltim Tankından Anaerobik Havuza aktif çamur devri söz konusudur ve tesisin çamur yaşı 11,3 gün'dür. Son Çökeltim Havuzundan atılan fazla biyolojik çamur, depolama tankından sonra Fazla Çamur Yoğunlaştırma/Susuzlaştırma Ünitesine iletilmektedir. Daha sonra susuzlaşmış birincil ve fazla biyolojik çamur, buradan Çamur Kurutma Ünitesinde kurutulmakta ve ardından çimento fabrikalarına gönderilmektedir. tesise ait akım şeması Şekil 5.6'da verilmiştir. Tesiste arıtılan atıksu Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 5.6: Selimpaşa İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması

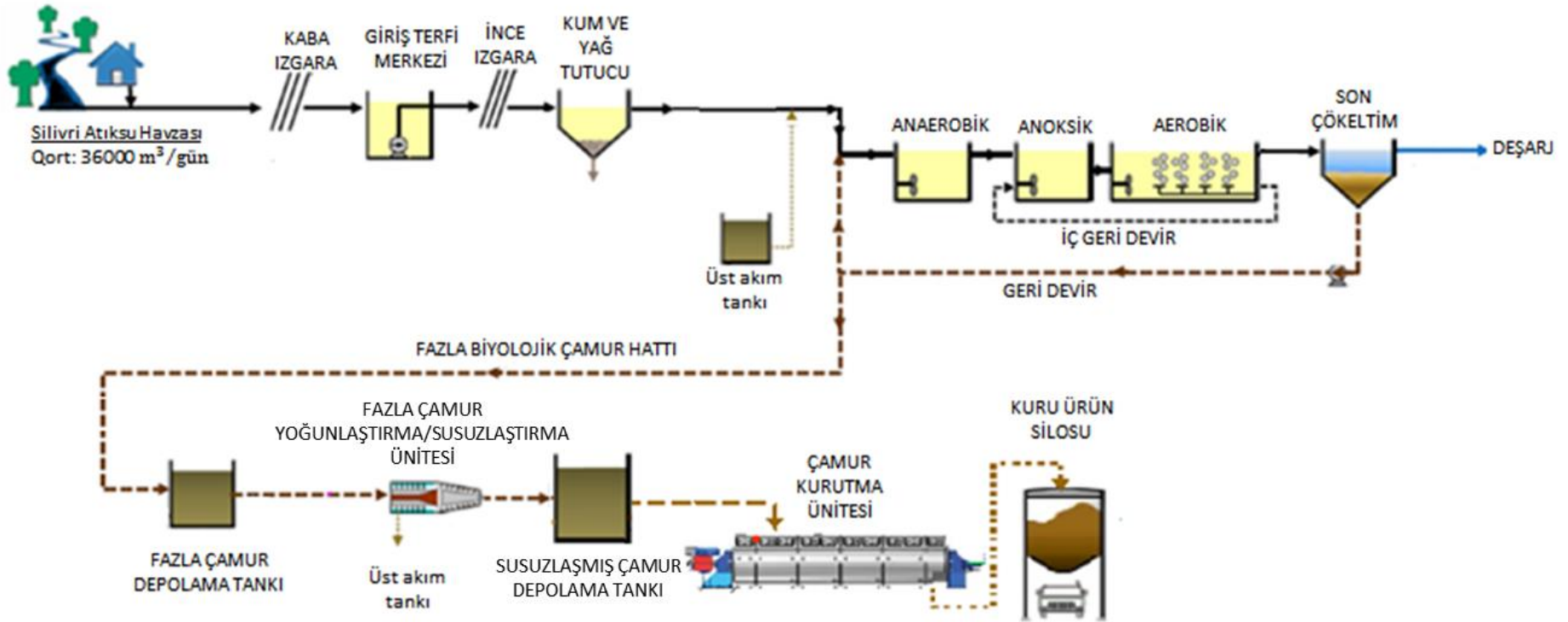
5.1.7. Silivri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Silivri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi İstanbul'un Silivri ilçesinin atıksuyunun bir kısmını arıtmaktadır. Silivri Atıksu Toplama Havzasında turizm faaliyetleri bulunmakta ve buna bağlı olarak mevsimsel debi değişiklikleri gözlenmektedir. Silivri tesisi, ilk kademe 2028 yılı için 146.000 kişi, ikinci kademe 2040 yılı için 292.000 kişi ve üçüncü kademe 2050 yılı için 400.000 kişi olacak şekilde tasarlanmıştır. Tesis atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.10'de verilmiştir.

Çizelge 5.10: Silivri İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu

Silivri İBAAT 1. Kademe atıksu karakterizasyonu		
Proses	A ² O Prosesi (Çamur yaşı >13)	
Eşdeğer nüfus (kişi)	168.120	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	36.000	1.500
Q _{maks}	-	3.177
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	351	12.636
KOİ	600	21.600
BOİ ₅	309	11.124
TKN	60	2.160
TP	10	360

Silivri tesisinin atıksu arıtma prosesi Büyükçekmece ile aynıdır ve çamur yaşı 21 gün'dür. Tesiste arıtılan atıksu Marmara Denizine deşarj edilmektedir ve akım şeması Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7: Silivri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

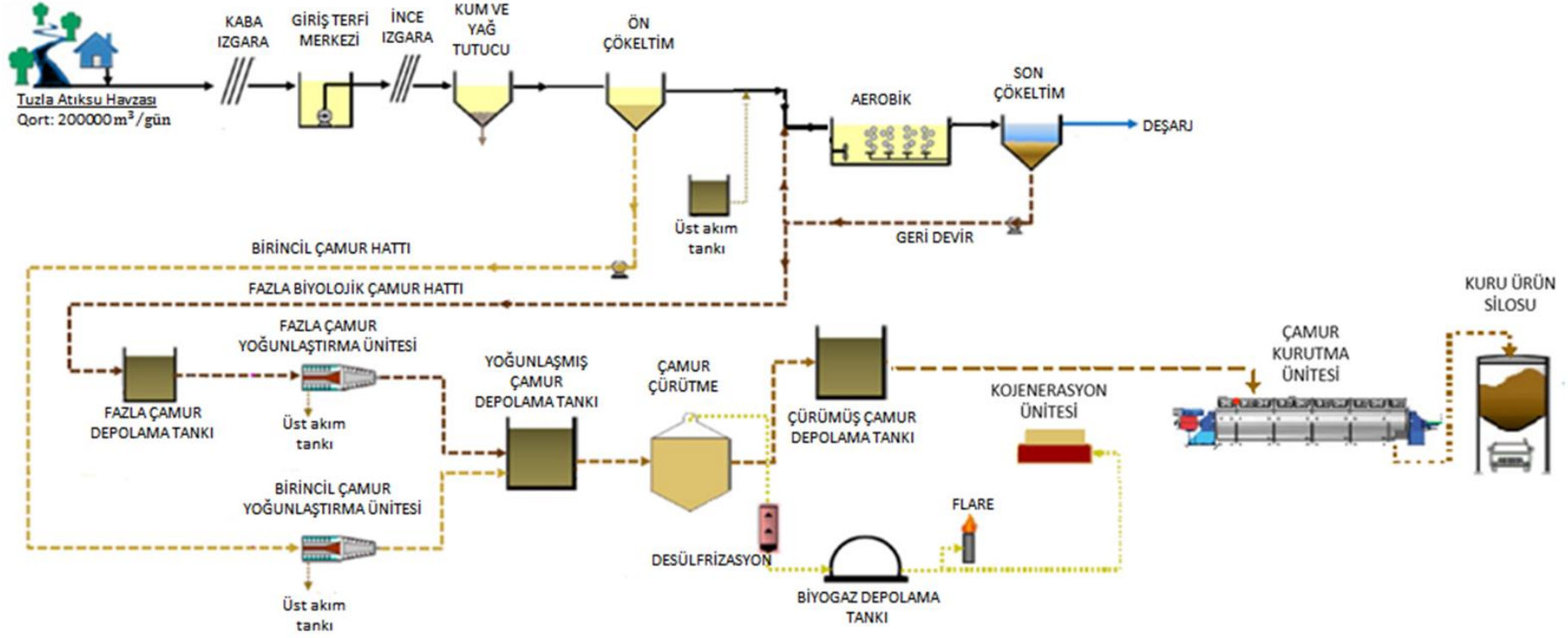
5.1.8. Tuzla İkinci Kademe Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla I)

Tuzla İkinci Kademe Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla I), İstanbul'un Tuzla, Pendik, Kartal ve Maltepe ilçelerinin atıksuyunu arıtmaktadır. Tesisin kapasitesi 150.000 m³'tür (700.500 eşdeğer nüfus) ve 1998 yılında hizmete alınmıştır. Tesis atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.11'de verilmiştir. Tuzla Atıksu Toplama Havzası'nda bulunan endüstriyel faaliyetler, atıksuyun karakterizasyonunun evsel atıksudan daha kuvvetli olmasına yol açmaktadır.

Çizelge 5.11: Tuzla Birincil Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla I) atıksu karakterizasyonu

Tuzla I Tesisi atıksu karakterizasyonu		
Proses	İkinci Kademe Arıtma	
Eşdeğer nüfus (kişi)	700.500	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	150.000	6.250
Q _{maks}	-	9.375
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	610	91.500
KOİ	840	126.000
BOİ ₅	380	57.000
TKN	65	9.750
TP	15	2.250

Tuzla I Tesisine gelen atıksu, Kaba Izgara, Giriş Terfi Merkezi, İnce Izgara ile Kum ve Yağ Tutucu Ünitelerinden sonra Ön Çökeltim Tankına ulaşmaktadır. Burada üretilen birincil çamur, Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesine iletilmekte, Ön Çökeltim tankından çıkan atıksu akımı ise çamur ünitelerinden gelen üst akım ile birleşerek Aerobik Tanka giriş yapmaktadır. Aerobik tankın ardından Son Çökeltim Tankına ulaşmakta ve arıtılan su Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir. Son Çökeltim tankından Aerobik Tanka geri devir söz konusudur ve çamur yaşı 8 gün'dür. Fazla biyolojik çamur depolama tankının ardından Fazla Çamur Yoğunlaştırma Ünitesinde yoğunlaştırıldıktan sonra yoğunlaşmış birincil çamur ile Anaerobik Çamur Çürütme Ünitesinde çürütülmekte ve elde edilen biyogaz enerji dönüşümünde kullanılmaktadır. Çürümüş çamur ise Kurutma Ünitesinde kurutulduktan sonra çimento fabrikalarına gönderilmektedir. Şekil 5.8'de tesis akım şeması verilmiştir.



Şekil 5.8: Tuzla I İkinci Kademe Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması

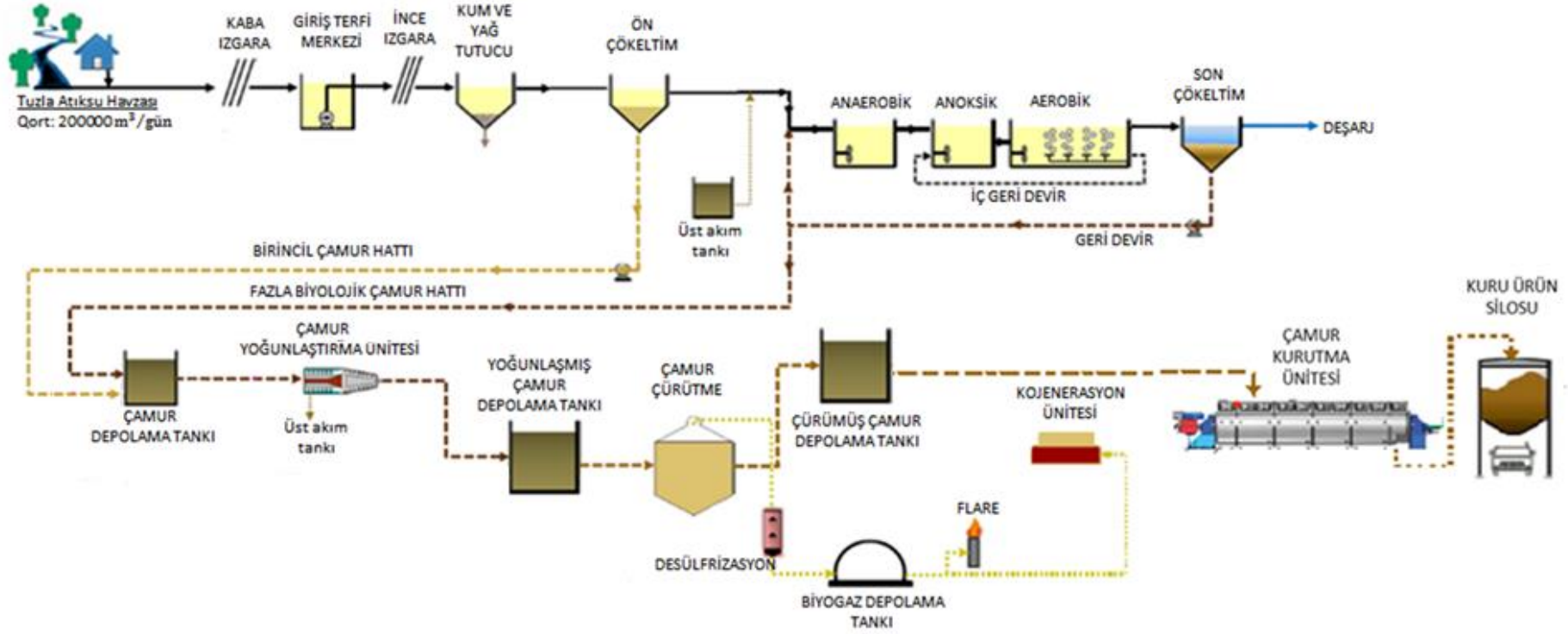
5.1.9. Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla II)

Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla II), İstanbul'un Tuzla, Pendik, Kartal ve Maltepe ilçelerinin atıksuyunu arıtmakta ve Tuzla I Tesisiyle aynı konumda yer almaktadır. Tesisin kapasitesi 100.000 m³'tür (467.000 eşdeğer nüfus) ve 2009 yılında hizmete alınmıştır. Tesis atıksu karakterizasyonu Çizelge 5.12'de verilmiştir. Tuzla Atıksu Toplama Havzası'ndaki endüstriyel atıksuların kanala deşarjı nedeniyle, atıksuyun karakterizasyonu evsel atıksudan daha kuvvetlidir.

Çizelge 5.12: Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (Tuzla II) atıksu karakterizasyonu

Tuzla II Tesisi atıksu karakterizasyonu		
Proses	A ² O Prosesi	
Eşdeğer nüfus (kişi)	467.000	
Debi	m ³ /gün	m ³ /sa
Q _{ort}	100.000	4.167
Q _{maks}	-	6.250
Giriş Karakterizasyonu	mg/L	kg/gün
AKM	610	61.000
KOİ	840	84.000
BOİ ₅	376	37.600
TKN	65	6.500
TP	15	1.500

Tuzla II Tesisine gelen atıksu Selimpaşa İBAAT ile aynı proses ile arıtılmaktadır ve çamur yaşı 8 gün'dür, ancak tesiste üretilen birincil ve fazla biyolojik çamur aynı Yoğunlaştırma Ünitesinde yoğunlaştırıldıktan sonra Anaerobik Çamur Çürütücü Ünitesinde çürütülmekte ve elde edilen biyogazdan tesis içinde enerji üretilmektedir. Çürütülen çamur Kurutma Ünitesinde kurutulduktan sonra çimento fabrikalarına gönderilmektedir. Tesis akım şeması Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9: Tuzla II Tesisi akım Şeması

5.2. İncelenen Senaryolar

Çalışma kapsamında, İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinden salınan sera gazı emisyonu miktarı IPCC (2006) Rehberi ve GPS-X modeli kullanılarak, Kapsam 1 çerçevesinde hesaplanmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda, arıtma tesisi sınırları dahilinde, atıksu arıtma faaliyetleri sonucu doğrudan salınan ve çamurdan üretilen biyogazdan enerji eldesiyle tutulan CO₂, CH₄ ve N₂O emisyon miktarları incelenmiştir. Sera Gazı Protokolü Kapsam 1 çerçevesinde, biyojenik CO₂ emisyon miktarı net sera gazı emisyon miktarına dahil edilmemektedir.

IPCC (2006) Rehberinde, doğrudan salınan CH₄ emisyonu ile doğrudan (arıtma faaliyetleri sonucu) ve dolaylı (deşarj sonrası alıcı ortamda) olarak salınan N₂O emisyonu hesaplanmaktadır. Arıtma çamurundan biyogaz üretilen tesislerde, üretilen biyogaz miktarının CH₄ fraksiyonu, doğrudan CH₄ emisyonundan düşülmektedir. Tesis sınırları içinde salınan net sera gazı miktarı, doğrudan CH₄ ve N₂O emisyonlarını içermektedir.

GPS-X modelinde net emisyon miktarı, tesiste arıtma faaliyetleri sonucu oluşan doğrudan CH₄ ile N₂O emisyonlarını, arıtma çamurunun anaerobik çürütülmesiyle tutulan CH₄ ile N₂O emisyonlarını ve anaerobik çürütmede üretilen biyogazın enerji eldesinde kullanılması ile tasarruf edilen fosil yakıt kullanımına bağlı tutulan CO₂ emisyonunu içermektedir.

Biyolojik besi maddesi giderimi yapılan atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazı emisyonu etkileyen koşullar seçilen bir ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi için GPS-X modelinde 4 farklı senaryo ile çalıştırılmıştır. Ambarlı İBAAT'nin 2. Kademesi üzerinden yapılan çalışmada Senaryo 1'de çamur yaşının, Senaryo 2'de havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun, Senaryo 3'te atıksuyun KOİ/TKN oranının ve Senaryo 4'te tesise şok debi yüklemesinin sera gazı emisyon miktarına etkisi araştırılmıştır.

6. BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN SERA GAZI EMSİYONU POTANSİYELİ HESAPLAMA SONUÇLARININ ANALİZİ

6.1. IPCC (2006) Ulusal Emisyon Envanteri Rehberi'ne göre Emisyon Tahmini

Bu çalışma için İSKİ atıksu arıtma tesisleri arasından seçilen 9 biyolojik atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan sera gazı emisyon miktarı, Bölüm 4.1'de açıklanan IPCC (2006) Rehberine göre 2020 yılı nüfus ve kirlilik yükleri baz alınarak hesaplanmıştır. Hesaplama adımları aşağıda açıklanmıştır.

6.1.1. N₂O emisyonu potansiyeli hesabı

IPCC (2006) Rehberine göre N₂O emisyon miktarı hesaplanırken, doğrudan emisyon faktörü 3,2 g N₂O/kişi/yıl, dolaylı emisyon faktörü ise 5 g N₂O/g N_{deşarj} alınmıştır. Atıksu kanal sistemine endüstriyel atıksu girişi olduğu kabul edilmiştir. Deşarjdan sonra dolaylı N₂O emisyon miktarı hesabı için öncelikle çıkış suyundaki azot miktarı hesaplanmıştır. Bunun için deşarj standartlarında belirtilen TN konsantrasyonu tesis debisiyle çarpılıp deşarj azot yükü bulunmuştur (Çizelge 6.1).

6.1.2. CH₄ emisyonu potansiyeli hesabı

IPCC (2006) Rehberine göre CH₄ emisyon miktarı hesaplanırken, atıksudaki organik madde miktarı olarak, tesis giriş KOİ yükü alınmıştır. Daha sonra tesisin CH₄ emisyon faktörü, maksimum CH₄ üretim kapasitesi (B₀) ve CH₄ düzeltme faktörü (MCF) çarpılarak bulunmuştur. Maksimum CH₄ üretim kapasitesi (B₀) olarak IPCC (2006) Rehberinde belirtilen 0,25 kg CH₄/kg KOİ değeri (Çizelge 4.3), CH₄ düzeltme faktörü (MCF) olarak ise Çizelge 4.4'te belirtilen atıksu arıtımı için 0,01 (Tesislerde KOİ gideriminde anaerobik reaktör kullanılmamakta ve atıksu arıtımından CH₄ emisyonu, kanal sisteminde oluşup tesise gelen CH₄ gazının havalandırılmalı kum tutucu ve çökeltim tanklarından salınmasından kaynaklanmaktadır.) ve anaerobik çürütücü için ise 0,8 seçilmiştir. Bu durumda, atıksu arıtma tesisinden salınan CH₄'ın emisyon faktörü (0,25 kg CH₄/kg KOİ*0,01) 0,0025 kg CH₄/kg KOİ ve çamurun anaerobik

çürütülmesiyle ilgili CH₄ emisyon faktörü (0,25 kg CH₄/kg KOİ*0,8) 0,20 kg CH₄/kg KOİ olmaktadır.

Bertaraf edilen çamurun KOİ yükü olarak, GPS-X modeliyle 2020 yılı kirlilik yükü için hesaplanan, çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılmak üzere gönderilen kurutulmuş çamur miktarı kullanılmıştır. Geri kazanılan ya da flarede yakılan CH₄ miktarı için, 2020 yılı debisi ve kirlilik yükü baz alınarak GPS-X modelinde hesaplanan CH₄ miktarı bulunmuş ve bu değer doğrudan CH₄ emisyonundan çıkartılmıştır (Çizelge 6.2).

6.1.3. Toplam ve birim sera gazı emisyonu potansiyeli

Sera Gazı Protokolü Kapsam 1 çerçevesinde 2020 yılı nüfus ve kirlilik yüklerine göre incelenen 9 biyolojik atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu miktarları Çizelge 6.3'te verilmiştir. Tesislerden salınan 2020 yılı toplam doğrudan sera gazı emisyon potansiyeli 225.372 t CO₂ eşd/yıl olarak hesaplanmıştır.

2020 yılı nüfusu baz alınarak hesaplanmış birim doğrudan sera gazı emisyonları Çizelge 6.4'te özetlenmiştir. Tesislere ait doğrudan birim N₂O gazı emisyon potansiyeli ortalaması 1,06 kg CO₂ eşd/kişi/yıl, toplam doğrudan birim N₂O emisyon potansiyeli ise 9,5 kg CO₂ eşd/kişi/yıl'dır. Tesislere gelen atıksuyun TKN yükü başına N₂O gazı emisyonu ise 8 ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi için %0,09'dur. IPCC (2006) Rehberinde, atıksu arıtımına bağlı N₂O emisyonu, hizmet verilen eşdeğer nüfusa göre hesaplandığından, tesislerin azot giderim veriminin emisyon etkisi hesaplara yansıtılmamaktadır. Bu nedenle, besi maddesi gideriminin yapıldığı ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri (8 ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi) ile yalnızca kısmi nitrifikasyonun gerçekleştiği konvansiyonel atıksu arıtma tesisinin (Tuzla I) birim N₂O emisyon miktarları aynıdır.

Çizelge 6.4'te verilen birim CH₄ emisyonları incelendiğinde, anaerobik çürütme yapılan Ataköy, Tuzla I ve Tuzla II tesisleri için sırasıyla 54, 95 ve 90 kg CO₂ eşd/kişi/yıl olduğu görülmektedir. Atıksu KOİ yükü başına CH₄ emisyonu Ataköy, Tuzla I ve Tuzla II tesisleri için sırasıyla %4,1, %5,2 ve %4,9'dur.

IPCC (2006) rehberine göre yapılan hesaplarda, artan çamur yaşı ile tesisten uzaklaştırılan çamur miktarı azalmakta ve net emisyon miktarı artmaktadır. Bu nedenle Ataköy tesisinin birim CH₄ emisyonu Tuzla I ve Tuzla II tesislerinden daha azdır.

Çizelge 6.1: IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan biyolojik atıksu arıtma tesislerinden salınan N₂O emisyonu potansiyeli hesabı

	2020 yılı EN	EF doğrudan	Endüstriyel yük girişi düzeltme faktörü	Doğrudan N ₂ O emisyonu	Deşarj azot yükü	EF dolaylı	N ₂ O düzeltme faktörü	Dolaylı N ₂ O emisyonu
	kişi	g N ₂ O/kişi/yıl		kg N ₂ O/yıl	kg N/gün	kg N ₂ O-N/kg N	g N ₂ O/g N ₂ O-N	kg N ₂ O/yıl
	A	B	C	D=A*B*C*10 ⁻³	E	F	G	H=E*F*G*365
Ambarlı	1.717.787	3,2	1,25	6.871	3.676	0,005	44/28	10.542
Ataköy	1.907.713	3,2	1,25	7.631	4.083	0,005	44/28	11.708
Büyükçekmece	326.766	3,2	1,25	1.307	699	0,005	44/28	2.005
Çanta	143.724	3,2	1,25	575	308	0,005	44/28	883
Paşaköy	805.869	3,2	1,25	3.223	1.725	0,005	44/28	4.946
Selimpaşa	209.334	3,2	1,25	837	448	0,005	44/28	1.286
Silivri	116.648	3,2	1,25	467	250	0,005	44/28	716
Tuzla I	700.500	3,2	1,25	2.802	6.750	0,005	44/28	19.358
Tuzla II	467.000	3,2	1,25	1.868	1.000	0,005	44/28	2.868

Çizelge 6.2: IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan biyolojik atıksu arıtma tesislerinden salınan CH₄ emisyonu potansiyeli hesabı

	Maksimum CH ₄ üretim kapasitesi (Bo)	Atıksu KOİ yükü	Uzaklaştırılan kurutulmuş çamur KOİ yükü	Atıksu arıtımı CH ₄ düzeltme faktörü (MCF ₁)	Atıksu arıtımı (EF ₁)	Atıksu arıtıma CH ₄ emisyonu	Anaerobik çürütücü KOİ yükü	Geri kazanılan CH ₄ miktarı	Anaerobik çürütücü CH ₄ düzeltme faktörü (MCF ₂)	Anaerobik çürütücü (EF ₂)	Anaerobik çürütücü CH ₄ emisyonu	Toplam CH ₄ emisyonu
	kg CH ₄ /kg KOİ	kg/gün	kg/gün		kg CH ₄ /kg KOİ	kg CH ₄ /gün	kg/gün	kg CH ₄ /gün		kg CH ₄ /kg KOİ	kg CH ₄ /gün	kg CH ₄ /gün
	A	B	C	D	E=A*D	F=(B-C)*E	G	H	I	J=A*I	K=G*J-H	L=F+K
Ambarlı	0,25	220.600	98.270	0,01	0,0025	306	-	-	-	-	-	306
Ataköy	0,25	245.000	50.550	0,01	0,0025	486	110800	12547	0,8	0,2	9613	10.099
Büyükçekmece	0,25	41.960	11.790	0,01	0,0025	75	-	-	-	-	-	75
Çanta	0,25	17.470	6.396	0,01	0,0025	28	-	-	-	-	-	28
Paşaköy	0,25	103.500	37.210	0,01	0,0025	166	-	-	-	-	-	166
Selimpaşa	0,25	22.410	7.896	0,01	0,0025	36	-	-	-	-	-	36
Silivri	0,25	14.990	4.300	0,01	0,0025	27	-	-	-	-	-	27
Tuzla I	0,25	126.000	34.110	0,01	0,0025	230	87020	11101	0,8	0,2	6303	6.533
Tuzla II	0,25	84.000	21.400	0,01	0,0025	157	52660	6569	0,8	0,2	3963	4.119

Çizelge 6.3: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinin IPCC (2006) Rehberine ve 2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre Kapsam 1 çerçevesinde hesaplanan sera gazı emisyonu potansiyelleri

		Ambarlı	Ataköy	Büyükçekmece	Çanta	Paşaköy	Selimpaşa	Silivri	Tuzla I	Tuzla II	Toplam
Doğrudan N ₂ O emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	1.821	2.022	346	152	854	222	124	743	495	6.779
Dolaylı N ₂ O emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	2.794	3.103	531	234	1.311	341	190	5.130	760	14.393
CH ₄ emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	3.126	103.211	771	283	1.694	371	273	66.764	42.100	218.593
Net Doğrudan Sera Gazı Emisyonu*	t CO ₂ eşd/yıl	240.470	691.193	68.508	31.115	183.689	36.285	27.439	63.952	185.853	225.372

* Doğrudan N₂O emisyonu ve CH₄ emisyonunun toplamı.

Çizelge 6.4: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinin IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan birim sera gazı emisyonu potansiyelleri (2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre)

		Ambarlı	Ataköy	B.çekmece	Çanta	Paşaköy	Selimpaşa	Silivri	Tuzla I	Tuzla II	Ortalama	Toplam
Doğrudan kişi başı	kg N ₂ O/kişi/yıl	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004 ⁺	0,036
N ₂ O emisyonu	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06 ⁺	9,5
Atıksu N yükü başına N ₂ O emisyonu	N ₂ O-N/N _{giriş} (%)	%0,09	%0,09	%0,09	%0,09	%0,07	%0,10	%0,09	%0,08	%0,08	%0,09 ⁺	-
Kişi başı CH ₄ emisyonu	kg CH ₄ /kişi/yıl	0,06	1,93	0,08	0,07	0,08	0,06	0,08	3,40	3,22	0,07 [*]	2,85 ^{**}
	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	1,8	54	2,4	2,0	2,1	1,8	2,3	95	90	2,1 [*]	80 ^{**}
Atıksu KOİ yükü başına CH ₄ emisyonu	CH ₄ emisyön/KOİ _{giriş} (%)	%0,1	%4,1	%0,2	%0,2	%0,2	%0,2	%0,2	%5,2	%4,9	%0,2	%4,7

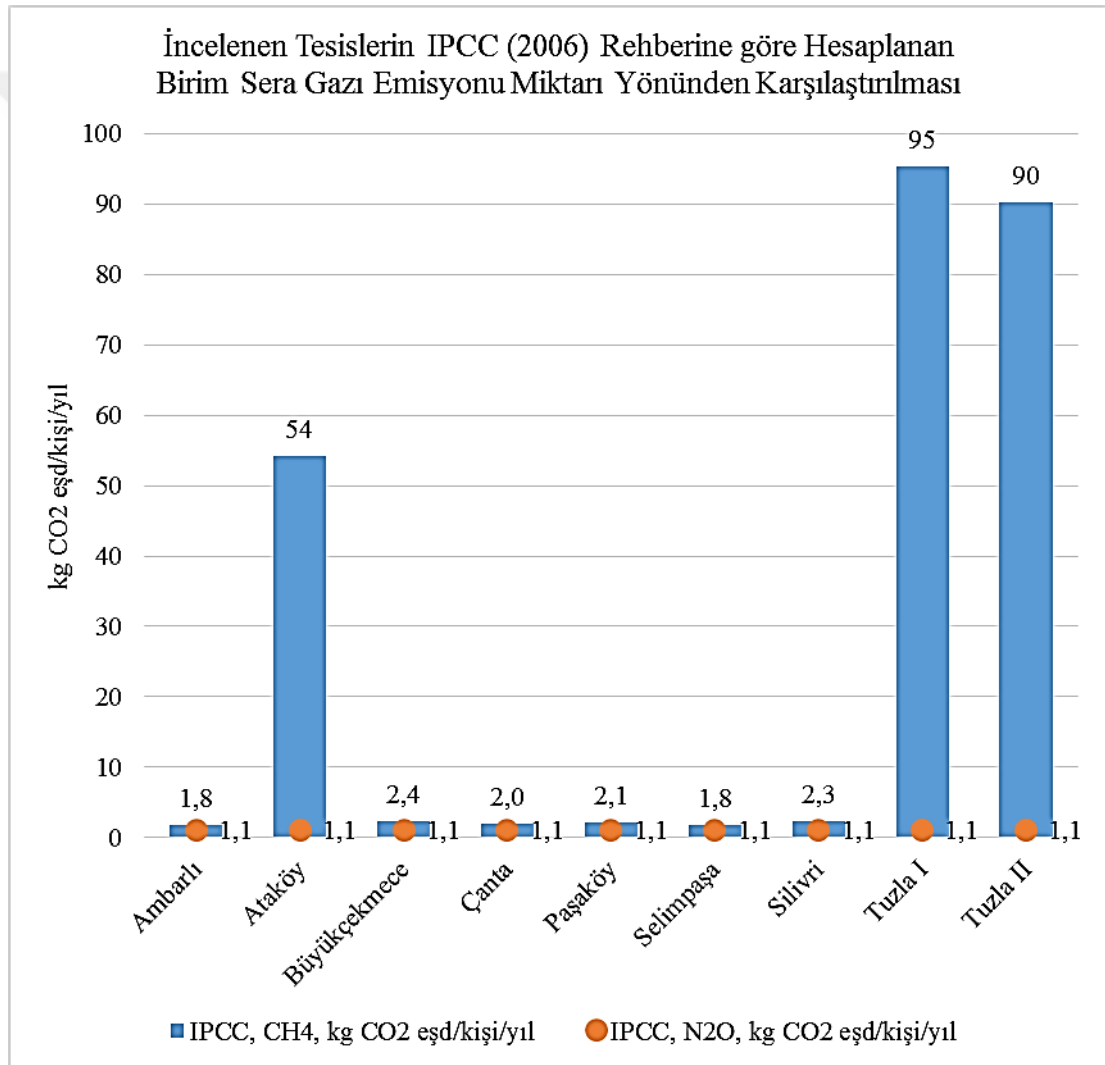
⁺ İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin ortalaması (Ambarlı, Ataköy, B.çekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri, Tuzla II)

^{*} Anaerobik çürütmenin yapılmadığı tesislerin ortalaması (Ambarlı, B.çekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri)

^{**} Anaerobik çürütmenin yapıldığı tesislerin ortalaması (Ataköy, Tuzla I, Tuzla II)

Anaerobik çürütme yapılmayan tesislerde (Ambarlı, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri) atıksu arıtımından kaynaklı ortalama birim CH₄ emisyonu 2,1 kg CO₂ eşd/kişi/yıl'dır (Çizelge 6.4). Bu tesisler incelendiğinde, Büyükçekmece ve Silivri tesislerinin en fazla birim CH₄ emisyonuna sahip olduğu görülmektedir. Bu iki tesisin çamur yaşı 20 gün'dür ve diğer tesislerden görece daha fazladır. Buna göre, IPCC (2006) rehberine göre yapılan hesaplarda artan çamur yaşı ile sistemden uzaklaştırılan çamur miktarı azaldığından net emisyon da artmaktadır.

Şekil 6.1'de İstanbul'daki 9 biyolojik atıksu arıtma tesisinin IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan birim sera gazı emisyonları verilmiştir.



Şekil 6.1: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan kişi başı sera gazı emisyonu potansiyellerinin karşılaştırılması

6.2. GPS-X Simülasyon Modeli ile Emisyon Miktarı Tahmini

İSKİ'nin 9 AAT'si için GPS-X modeli kullanılarak 2020 yılı nüfusu ve kirlilik yükü baz alınarak sera gazı emisyon miktarları ayrıca hesaplanmıştır. Sera gazı emisyonunun kritik olan tesislere ait debi, atıksu KOİ ve TKN konsantrasyonları, KOİ/TKN oranı ve proses çamur yaşı verileri Çizelge 6.5'te topluca verilmiştir.

Çizelge 6.5: İncelenen İSKİ tesislerinin giriş suyu özelliklerinin karşılaştırılması

		Ambarlı	Ataköy	B.çekmece	Çanta	Paşaköy	Selimpaşa	Silivri	Tuzla I	Tuzla II
Debi	m ³ /gün	367.606	408.251	69.928	30.776	172.456	44.825	24.978	150.000	100.000
KOİ	mg KOİ/L	600	600	600	600	600	600	600	840	840
TKN	mg N/L	54	60	60	60	70	50	60	65	65
TP	mg P/L	10	8	10	10	8	10	10	15	15
KOİ/TKN	-	11,1	10,0	10,0	10,0	8,6	12,0	10,0	12,9	12,9
Çamur yaşı	gün	9	10	20	10	8	11,3	20	8	8

Çizelge 6.5 incelendiğinde, Tuzla I ve II tesisinin KOİ konsantrasyonu 840 mg/L iken, diğer 7 tesisin giriş suyu KOİ konsantrasyonlarının 600 mg/L olduğu görülmektedir. Giriş TKN konsantrasyonu en yüksek olan tesisi Paşaköy (70 mg/L) iken en düşük olan tesis Selimpaşa tesisidir (50 mg/L). En yüksek KOİ/TKN oranı 12,9 ile Tuzla I ve II tesislerine aittir. Diğer 7 tesisin KOİ konsantrasyonları aynıdır ancak içlerinde KOİ/TKN oranı en yüksek olan 12 değeri ile Selimpaşa tesisidir. En düşük KOİ/TKN oranı ise Paşaköy tesisine aittir (8,6).

Çizelge 6.6'da İstanbul'daki 9 biyolojik atıksu arıtma tesisinin tabi tutulduğu deşarj standartları, Çizelge 6.7'de ise tesislerin 2020 yılı verileriyle GPS-X modeliyle hesaplanan deşarj karakterizasyonları verilmiştir.

Çizelge 6.6: İSKİ biyolojik atıksu arıtma tesislerinin tabi olduğu deşarj standartları

		AKM	BOİ ₅	KOİ	TN	TP
Ambarlı	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	120	10	1
	Giderim verimi (%)	min %90	min %70	min %75	min %70	min %80
Ataköy	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	125	10	1
	Giderim verimi (%)	min %90	min %70	min %75	min %70	min %80
Büyükçekmece	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	120	10	1
	Giderim verimi (%)	min %90	min %70	min %75	min %70	min %80
Çanta	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	120	10	1
	Giderim verimi (%)	min %90	min %70	min %75	min %70	min %80
Paşaköy	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	125	10	3
	Giderim verimi (%)	-	-	-	-	-
Selimpaşa	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	120	10	1
	Giderim verimi (%)	min %90	min %70	min %75	min %70	min %80
Silivri	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	90	10	1
	Giderim verimi (%)	-	-	-	-	-
Tuzla I	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	125	-	-
	Giderim verimi (%)	min %90	min %70	min %75	-	-
Tuzla II	Deşarj kons. (mg/L)	35	25	120	10	1
	Giderim verimi (%)	min %90	min %70	min %75	min %70	min %80

Çizelge 6.7: İSKİ biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modeliyle hesaplanan deşarj karakterizasyonu

		AKM	BOİ ₅	KOİ	TN	TP
Ambarlı	Deşarj kons. (mg/L)	7	4	41	9,4	0,8
	Giderim verimi (%)	98	98	93	83	92
Ataköy	Deşarj kons. (mg/L)	11	7	46	9,1	1,6
	Giderim verimi (%)	96	98	92	85	80
Büyükçekmece	Deşarj kons. (mg/L)	3	3	36	9,4	0,7
	Giderim verimi (%)	99	99	94	84	93
Çanta	Deşarj kons. (mg/L)	4	4	37	9,1	0,9
	Giderim verimi (%)	99	99	94	85	91
Paşaköy	Deşarj kons. (mg/L)	8	5	41	11,8	0,7
	Giderim verimi (%)	97	98	93	83	92
Selimpaşa	Deşarj kons. (mg/L)	5	4	33	8,3	0,8
	Giderim verimi (%)	98	98	94	83	92
Silivri	Deşarj kons. (mg/L)	5	3	37	9,2	0,8
	Giderim verimi (%)	99	99	94	85	92
Tuzla I	Deşarj kons. (mg/L)	19	10	65	43,5	10,8
	Giderim verimi (%)	97	97	92	33	28
Tuzla II	Deşarj kons. (mg/L)	14	8	59	10,0	1,5
	Giderim verimi (%)	98	98	93	85	90

Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7 karşılaştırıldığında, bütün tesislerin AKM, BOİ₅ ve KOİ çıkış suyu konsantrasyon limitlerini sağlayabileceği kabul edilmiştir. Tesislerin hesaplanan deşarj TN konsantrasyonlarına bakıldığında, yalnızca Paşaköy tesisinin TN değerinin deşarj limitinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Paşaköy tesisinin giriş TKN yükünün fazla olması olabilir. Tesislerin çıkış suyunda hesaplanan TP konsantrasyonları incelendiğinde, Ataköy ve Tuzla II tesislerinin deşarj limitini sağlamadığı göze çarpmaktadır. Deşarj limitlerinin sağlanamamasının sebebi, GPS-X

modeline girilen atıksu karakterizasyonunun, gerçek koşullara birebir kalibre edilmemesi olabilir.

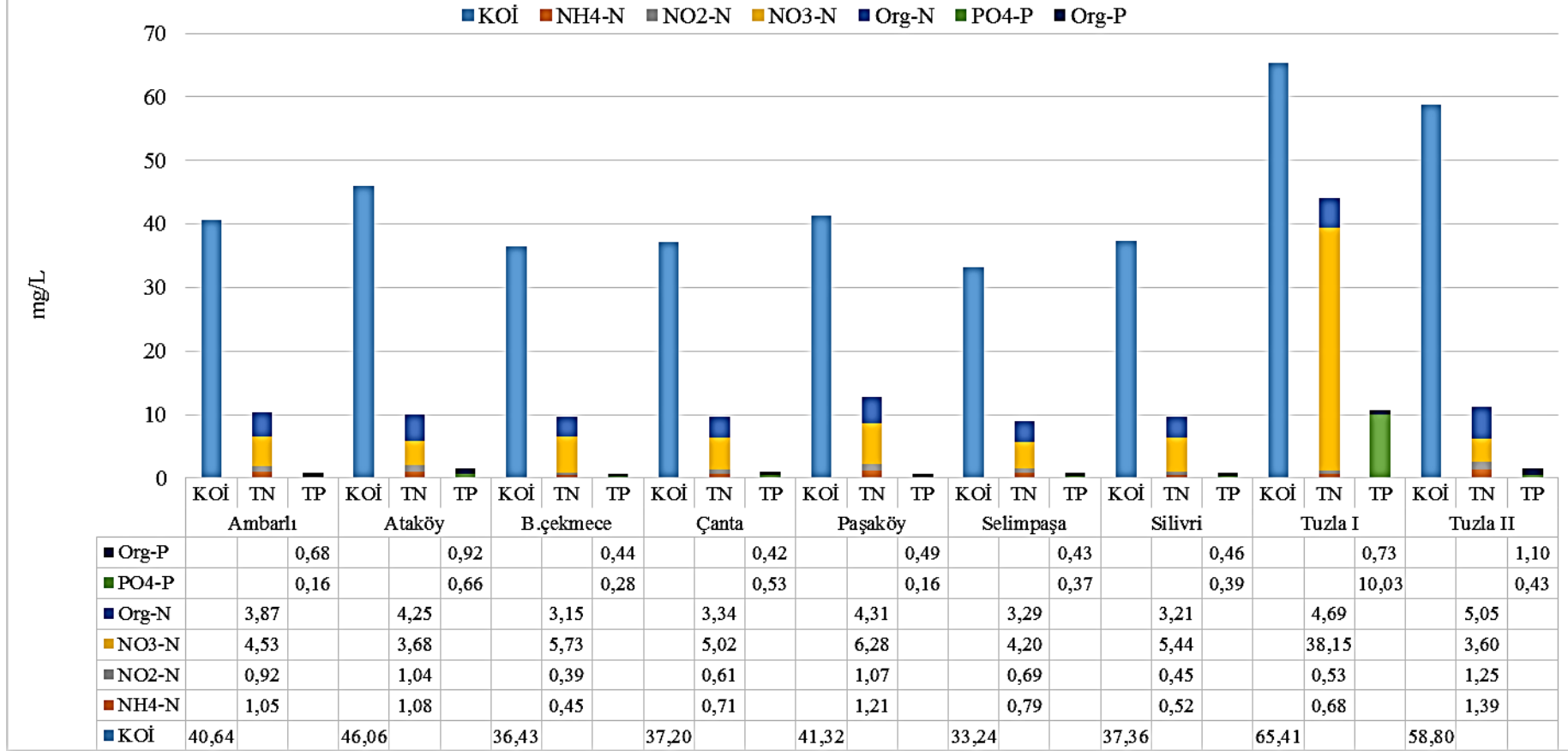
Şekil 6.2’de incelenen biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modeli kullanılarak hesaplanan 2020 yılı deşarj karakterizasyonu verilmiştir. Biyolojik besi maddesi gideriminin yapılmadığı Tuzla I tesisinde, çıkış suyundaki yüksek $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu, tesiste yalnızca kısmi nitrifikasyon gerçekleştiğini işaret etmektedir.

Tesislerden salınması öngörülen 2020 yılı sera gazı emisyonu miktarları Çizelge 6.8’de verilmiştir. Atıksuyun biyolojik arıtımından kaynaklı CO_2 emisyonu, Sera Gazı Protokolü’ne göre biyojenik nitelikli olduğundan, Kapsam 1 raporlarına dahil edilmemekte ve net emisyon miktarından düşölmektedir. Ayrıca Ataköy, Tuzla I ve Tuzla II tesislerinde anaerobik çürütme sonucu geri kazanılan CH_4 gazı tesis içinde enerji eldesinde kullanıldığından, bu tesislerdeki CH_4 emisyonunun büyük bir kısmı (kaçak emisyon miktarı hariç) net emisyon miktarından düşölmektedir. Anaerobik çürütmenin kullanıldığı bu 3 tesiste, biyojenik CO_2 emisyonuna ek olarak, tesis içinde çamurdan enerji eldesiyle tasarruf edilen fosil yakıt miktarının CO_2 eşdeğeri kadar sera gazı emisyonu kazanımı da söz konusudur ve bu CO_2 emisyonu kazanımı net emisyon miktarından düşölmektedir. Anaerobik çürütücüde CH_4 ve CO_2 emisyonu kazanımı haricinde bir miktar N_2O emisyonu kazanımı da olmaktadır. Bunun nedeni anaerobik ortamda bir miktar N_2O ’nun N_2 ’ye indirgenmesidir.

2020 yılında anaerobik çürütücü ve tesis içi enerji eldesinin olmadığı Ambarlı, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa ve Silivri tesislerinde atıksu arıtımına bağlı CH_4 emisyonu sıfırdır ve net emisyon miktarı, atıksuyun biyolojik arıtımından kaynaklı N_2O emisyonuna eşittir.

GPS-X modeli, atıksu toplama kanalında oluşun ve tesise ulaşun CH_4 gazının, tesisten havalandırılmalı kum tutucu ve ön çökeltim havuzlarından atmosfere salınımını ihmal etmektedir.

Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modeli ile hesaplanan deşarj karakterizasyonu



Şekil 6.2: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin deşarj karakterizasyonu

2020 yılı nüfusları baz alınarak incelenen 9 AAT'den salınan Kapsam 1 çerçevesindeki net sera gazı potansiyeli toplamı 687.357 t CO₂ eşd/yıl'dır (Çizelge 6.8). Çizelge 6.9'da tesislerden salınan birim CH₄ ve N₂O gazı emisyon potansiyelleri verilmiştir. İncelenen 9 tesisin ortalama kişi başı N₂O ve CH₄ emisyon miktarları sırasıyla 108 ve 15 kg CO₂ eşd/kişi/yıl'dır. Tesis giriş azot yükü başına N₂O emisyonu ortalama (besi maddesi giderimi yapılmayan Tuzla I tesisi hariç) %9 N₂O-N/N_{giriş} olarak hesaplanmıştır. Çamurdan biyogaz üretilen tesislerde, giriş KOİ yükü başına CH₄ emisyonu oranı ortalama %0,9'dur.

Tesislere özel birim sera gazı emisyon miktarları Şekil 6.3'te kişi başı ve Şekil 6.4'te birim debi üzerinden verilmiştir.

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 incelendiğinde, biyolojik besi maddesi giderimi yapılmayan Tuzla I tesisinin birim emisyon miktarının (137 kg CO₂ eşd/kişi/yıl (639 kg CO₂ eşd/m³/yıl)) en yüksek olduğu görülmektedir. Tuzla I tesisi atıksu karakterizasyonu incelendiğinde, TKN konsantrasyonunun diğer tesislerden görece yüksek ve çamur yaşının diğer tesislerden görece düşük olduğu görülür. Şekil 3.5'te, nitrifikasyon bölgesinde N₂O emisyonunu etkileyen faktörlerden olan yüksek NH₄-N konsantrasyonunun ve düşük çamur yaşının, NO₂-N konsantrasyonunu arttıracak ve buna bağlı olarak nitrifikasyonda N₂O emisyonunun artacağı belirtilmektedir (Kampschreur ve diğ, 2009). Bu nedenle, yüksek NH₄-N yükü girişine bağlı artan nitrifikasyon verimiyle ve görece düşük çamur yaşı ile (8 gün) Tuzla I tesisinde nitrifikasyona bağlı N₂O üretiminin diğer tesislerden fazla olduğu düşünülebilir.

Tuzla II tesisi 89 kg CO₂ eşd/kişi/yıl (416 kg CO₂ eşd/m³/yıl) ile en düşük birim sera gazı emisyonuna sahiptir. Biyolojik besi maddesi giderimi yapılan 8 tesisin (Ambarlı, Ataköy, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri ve Tuzla II) birim sera gazı emisyon miktarı ortalaması ise 108 kg CO₂ eşd/kişi/yıl'dır (5046 kg CO₂ eşd/m³/yıl).

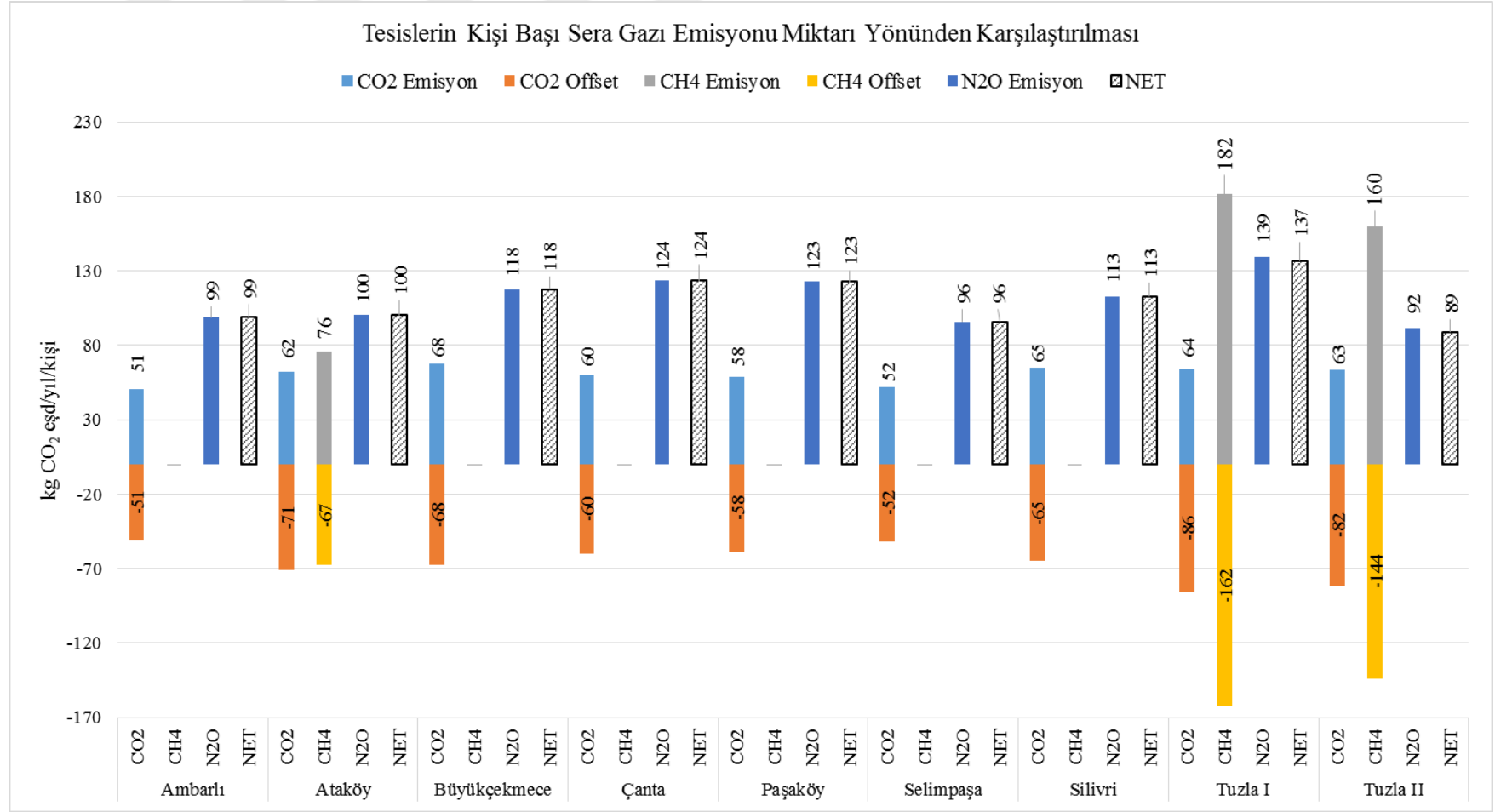
Çizelge 6.8: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesisinin GPS-X modelinde 2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre Kapsam 1 çerçevesinde hesaplanan sera gazı emisyonu potansiyelleri

		Ambarlı	Ataköy	Büyükçekmece	Çanta	Paşaköy	Selimpaşa	Silivri	Tuzla I	Tuzla II	Toplam
CO ₂ Emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	87.429	119.046	22.062	8.625	47.136	10.837	7.552	45.074	29.582	377.342
CH ₄ Emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	-	145.082	-	-	-	-	-	127.258	74.545	346.885
N ₂ O Emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	169.988	191.507	38.513	17.750	98.860	20.068	13.189	97.468	42.891	690.233
CO ₂ Ofset	t CO ₂ eşd/yıl	-87.429	-135.458	-22.062	-8.625	-47.136	-10.837	-7.552	-60.180	-38.249	-415.221
CH ₄ Ofset	t CO ₂ eşd/yıl	-	-128.645	-	-	-	-	-	-113.661	-67.150	-309.456
N ₂ O Ofset	t CO ₂ eşd/yıl	-	-49	-	-	-	-	-	-44	-26	-119
Net CO ₂ Emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	0	-16.413		0	0	0	0	0	-15.106	-40.186
Net CH ₄ Emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	0	16.438		0	0	0	0	0	13.597	37.429
Net N ₂ O Emisyonu	t CO ₂ eşd/yıl	169.988	191.457		38.513	17.750	98.860	20.068	13.189	97.424	690.114
Net	t CO ₂ eşd/yıl	169.988	191.482	38.513	17.750	98.859	20.068	13.189	95.915	41.594	687.357

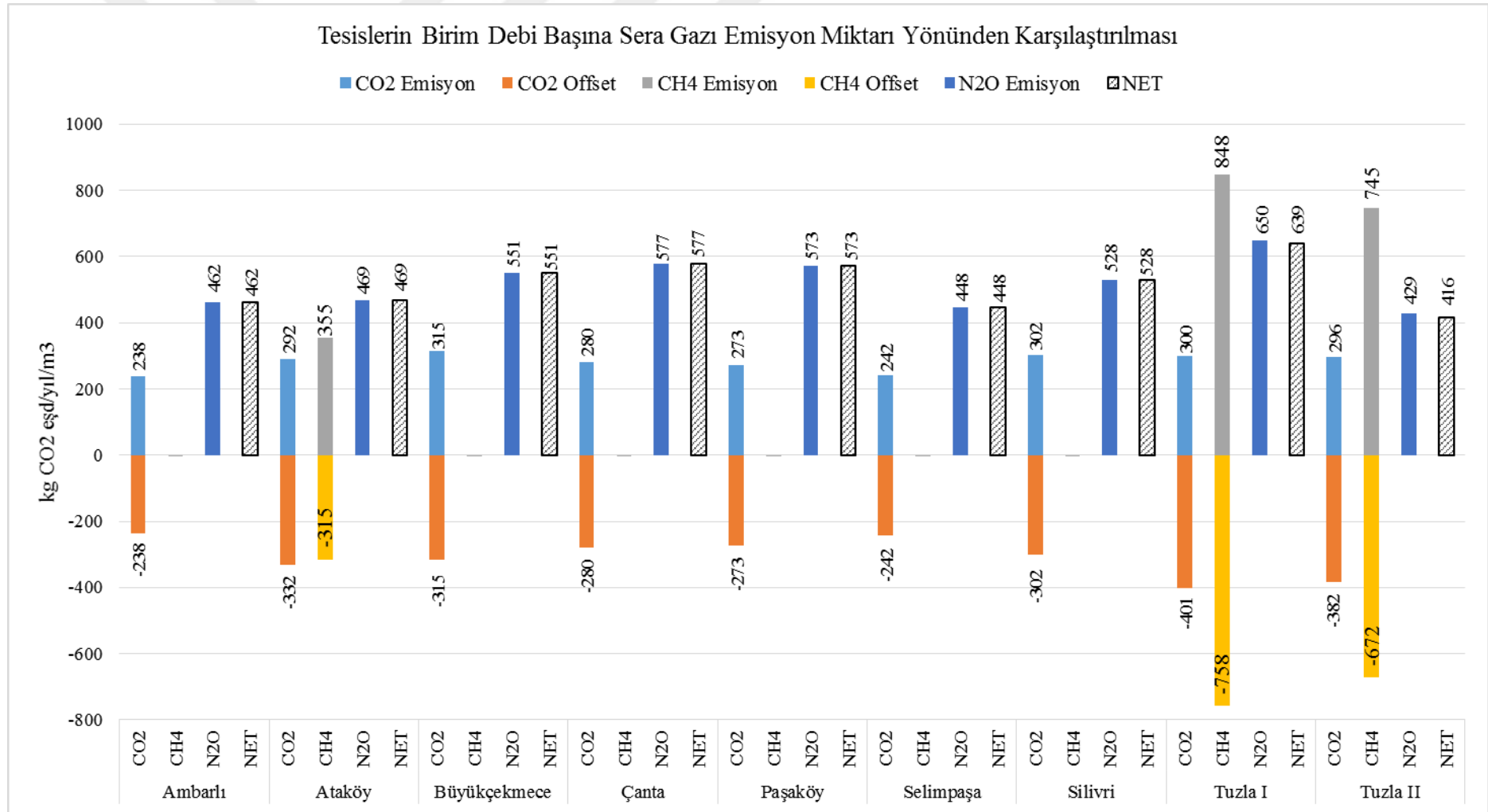
Çizelge 6.9: İstanbul'daki 9 büyük biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modelinde hesaplanan birim sera gazı potansiyelleri (2020 yılı debi ve kirlilik yüküne göre)

		Ambarlı	Ataköy	B.çekmece	Çanta	Paşaköy	Selimpaşa	Silivri	Tuzla I	Tuzla II	Ortalama	Toplam
Kişi başı N ₂ O emisyonu	kg N ₂ O/kişi/yıl	0,37	0,38	0,44	0,47	0,46	0,36	0,43	0,52	0,35	0,41*	3,79
	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	99	100	118	124	123	96	113	139	92	108*	1.003
Atıksu N yükü başına N ₂ O emisyonu	N ₂ O-N/N _{giriş} (%)	%8,9	%8,1	%9,5	%9,9	%8,5	%9,3	%9,1	%10,3	%6,8	%9*	-
Kişi başı CH ₄ emisyonu	kg CH ₄ /kişi/yıl	-	0,31	-	-	-	-	-	0,69	0,57	0,52	1,57
	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	-	9	-	-	-	-	-	19	16	15	44
Atıksu KOİ yükü başına CH ₄ emisyonu	CH ₄ /KOİ _{giriş} (%)	-	%0,7	-	-	-	-	-	%1,1	%0,9	%0,9	-

* İleri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin ortalaması (Ambarlı, Ataköy, B.çekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri, Tuzla II)

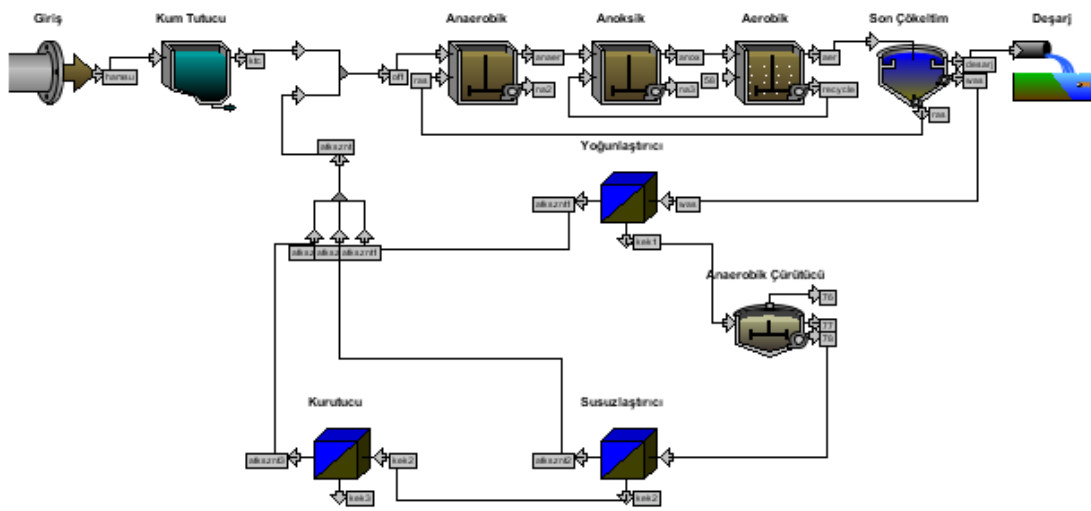


Şekil 6.3: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin GPS-X modeliyle hesaplanan kişi başı sera gazı emisyonu potansiyellerinin karşılaştırılması



Şekil 6.4: Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin birim debi başına sera gazı emisyon potansiyelleri yönünden karşılaştırılması

Biyolojik besi maddesi giderimi yapılan atıksu arıtma tesislerinden salınan sera gazı emisyonunun tesis işletme koşulları, ani değişen hidrolik koşullar ve atıksu karakterizasyonu ile ilgisini araştırmak üzere seçilen bir ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi GPS-X modelinde 4 farklı senaryo ile çalıştırılmıştır. Ambarlı İBAAT'nin 2. Kademesi üzerinden yapılan çalışmada Senaryo 1'de çamur yaşının, Senaryo 2'de havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun, Senaryo 3'te atıksuyun KOİ/TKN oranının ve Senaryo 4'te tesise şok debi yüklemesinin sera gazı emisyon miktarına etkisi araştırılmıştır. Şekil 6.5'te GPS-X modelinde oluşturulan Ambarlı İBAAT 2. Kademe akım şeması verilmiştir.

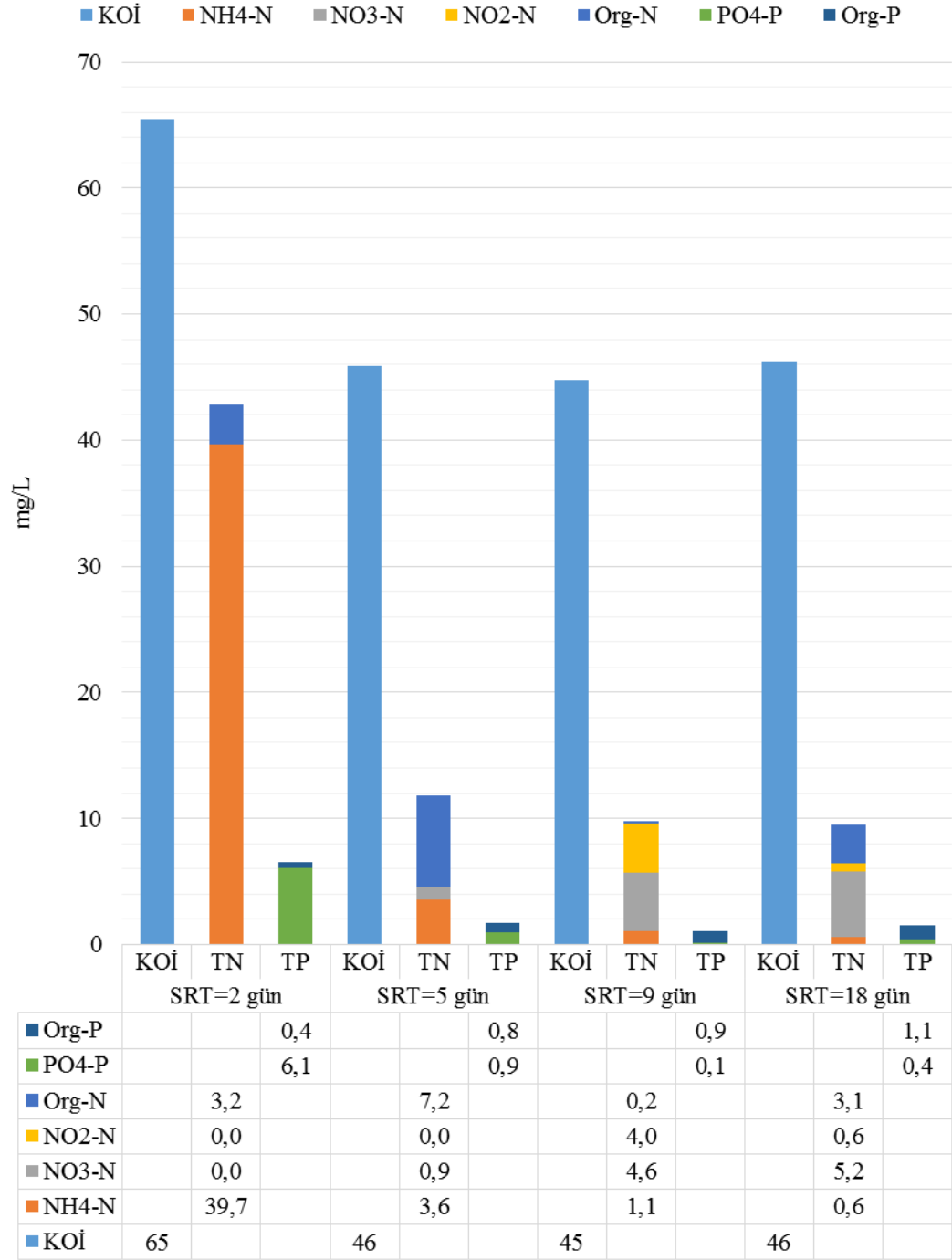


Şekil 6.5: GPS-X modelinde oluşturulan Ambarlı İBAAT 2. Kademe akım şeması

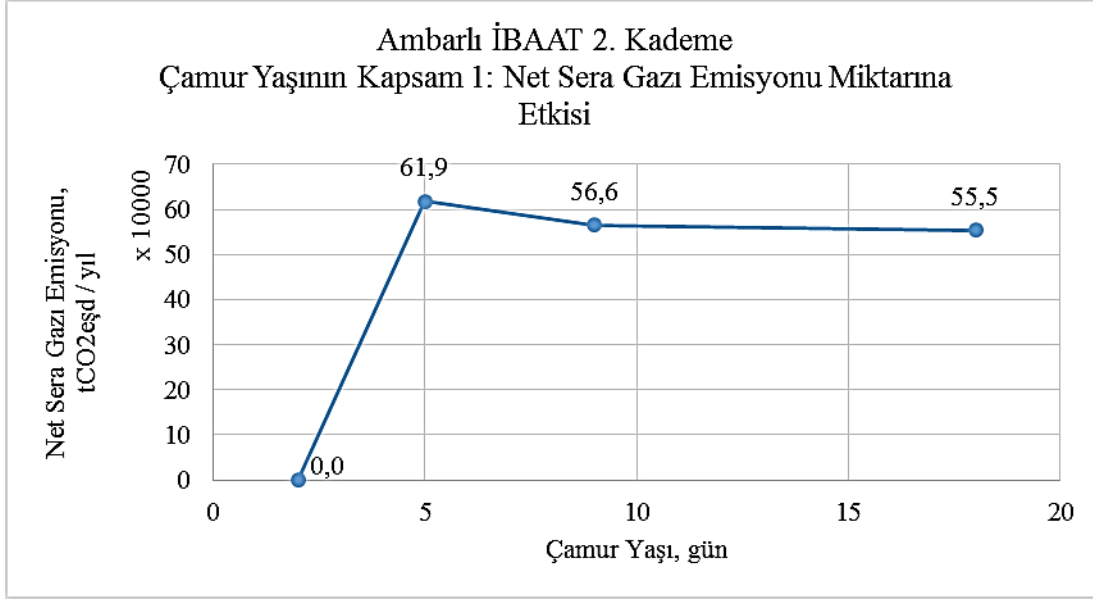
- Senaryo 1: Çamur yaşının sera gazı emisyonuna etkisi

Senaryo 1 çerçevesinde, Ambarlı İBAAT tasarım değerlerinden yalnızca çamur yaşı değiştirilerek sera gazı emisyon miktarı hesaplanmıştır. Değişen çamur yaşına bağlı olarak deşarj suyu kalitesi de incelenmiştir. Çamur yaşı 2, 5, 9 ve 18 gün olarak GPS-X modeline girilmiş ve çıkış suyu kalitesi ile emisyon miktarı değişimi sırasıyla Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de verilmiştir.

Ambarlı İBAAT
Çamur Yaşının Deşarj Karakterizasyonuna Etkisi



Şekil 6.6: Çamur yaşının deşarj karakterizasyonuna etkisi



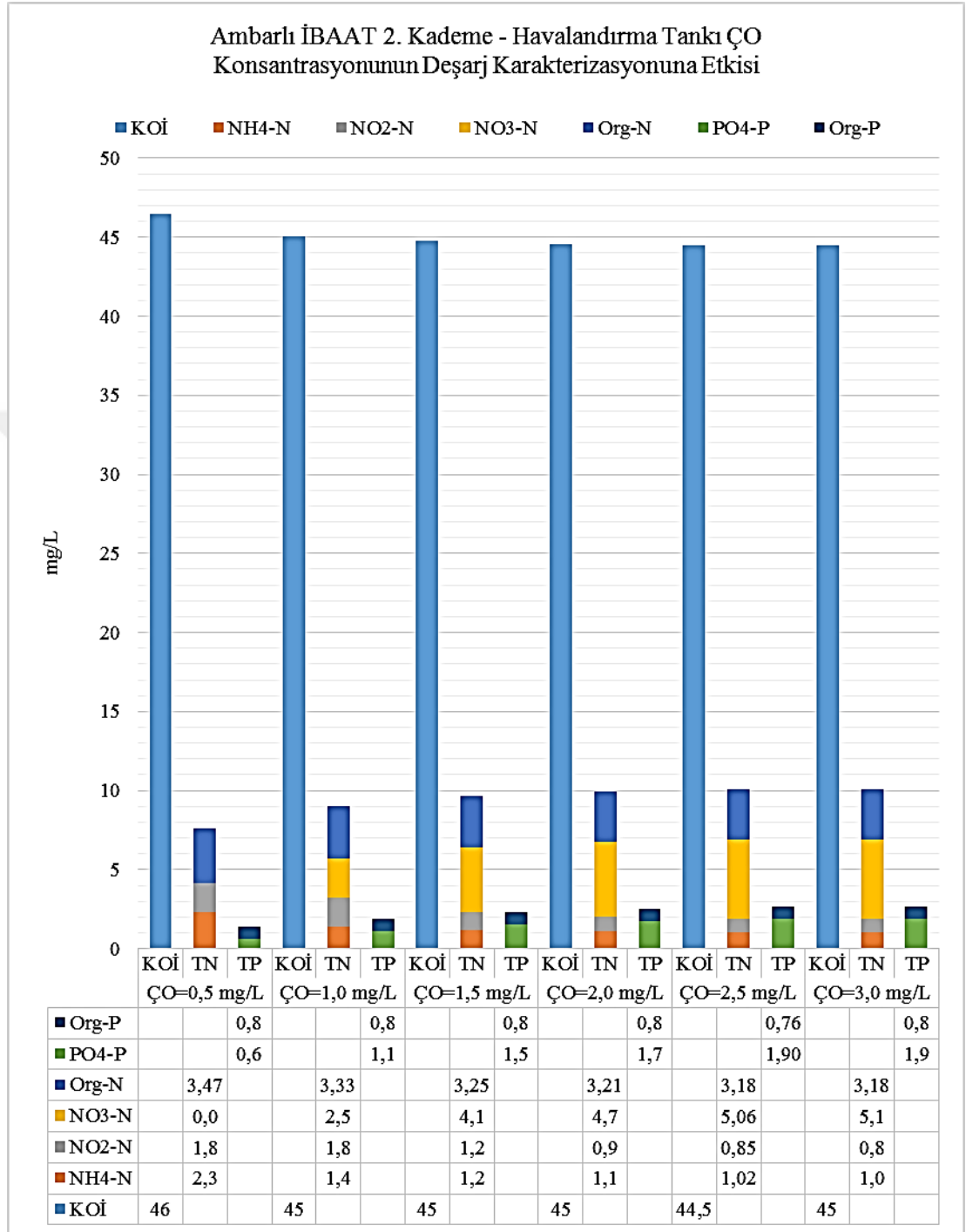
Şekil 6.7: Çamur yaşının Kapsam 1 net sera gazı emisyonu miktarına etkisi

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 incelendiğinde, çamur yaşı 2 gün iken tesiste azot gideriminin gerçekleşmediği ve buna bağlı olarak N_2O emisyonun olmadığı görülmektedir. Çamur yaşı 5 gün iken azot gideriminin sağlandığı, dolayısıyla sistemden N_2O emisyonun olduğu ve çamur yaşı arttırıldığında da, artan azot giderimiyle N_2O emisyonunun azaldığı görülmektedir. Ototrofik nitrifikasyon bakterilerinin büyüme hızı karbon giderimi yapan heterotrofik bakterilerinkinden daha yavaş olduğundan, azot gideriminin gerçekleşebilmesi için çamur yaşının nitrifikasyon bakterilerine göre belirlenmesi gerekmektedir ve buna bağlı olarak çamur yaşı arttıkça sistemin azot giderim verimi de artmaktadır.

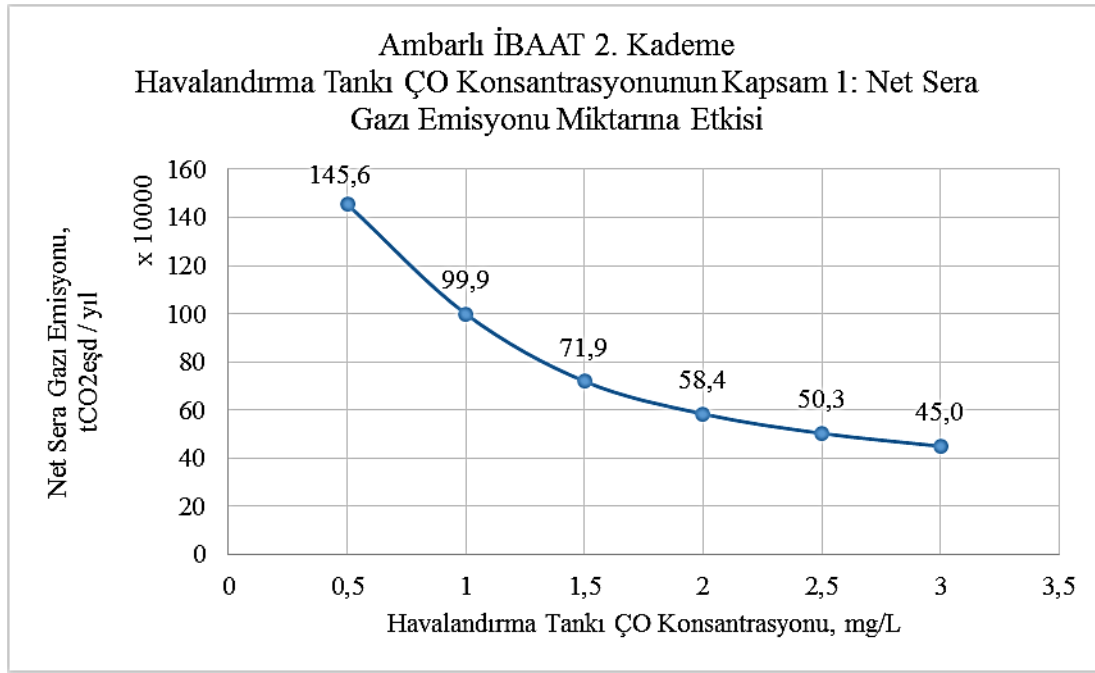
- Senaryo 2: Havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyesinin sera gazı emisyonuna etkisi

GPS-X modelinde havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyesi ön tanımlı olarak 2 mg/L'ye ayarlanmıştır ve tez çalışması boyunca bütün simülasyonlarda bu değer kullanılmıştır. Senaryo 2 kapsamında, tesisin çamur yaşı değiştirilmeden, aerobik tanktaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 0,5 mg/L, 1,0 mg/L, 1,5 mg/L, 2 mg/L ve 3,0 mg/L olduğu durumlar için sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Aerobik tanklardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak değişen deşarj kalitesi ve sera gazı emisyon miktarları Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilmiştir. Şekil 6.10'de ise havalandırma

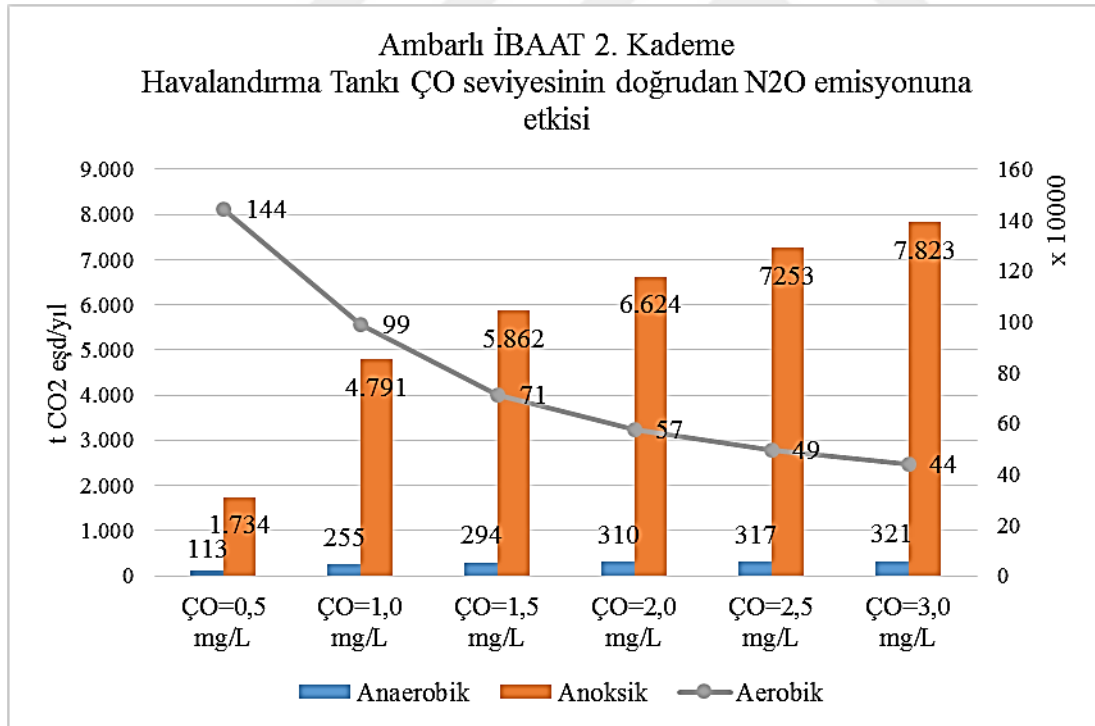
tankı çözünmüş oksijen seviyesinin biyolojik tanklardan N₂O emisyonuna etkisi gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Havalandırma tankı ÇO konsantrasyonunun deşarj karakterizasyonuna etkisi



Şekil 6.9: Havalandırma tankı ÇO konsantrasyonunun Kapsam 1 net sera gazı emisyonu miktarına etkisi



Şekil 6.10: Havalandırma tankı ÇO konsantrasyonunun biyolojik tanklardan doğrudan N₂O gazı emisyonuna etkisi

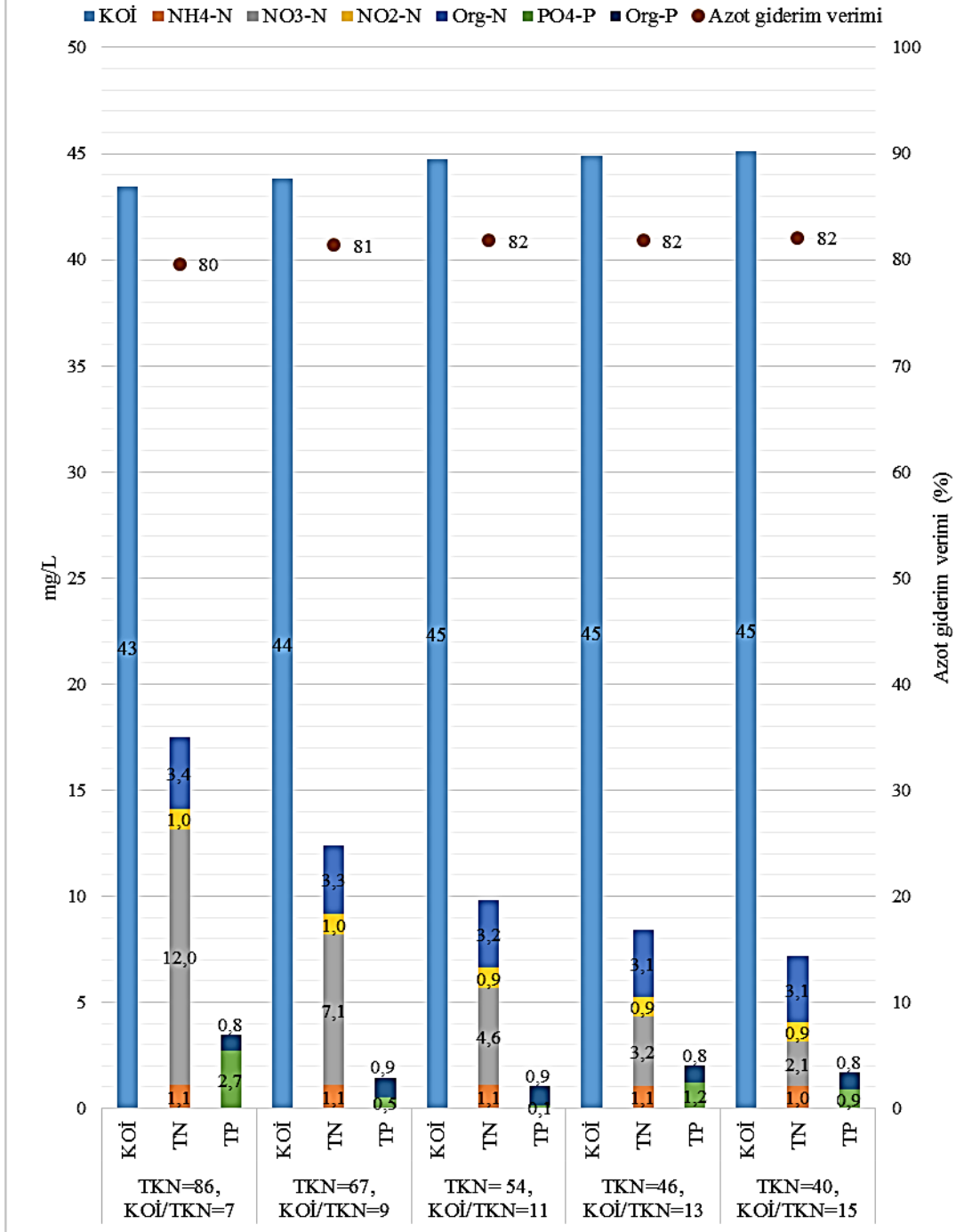
Şekil 6.8’den görüleceği üzere, havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen seviyesi 0,5 mg/L’den 3 mg/L’ye arttırıldığında, artan nitrifikasyon ile NO₃-N konsantrasyonu

artmakta ve AOB bakterilerinin denitrifikasyonunu da engelleyerek N_2O emisyonunu azalmaktadır. Şekil 6.10'de, havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu arttığında, aerobik nitrifikasyon havuzunda artan nitrifikasyon nedeniyle N_2O emisyonu azalmıştır. Burada havalandırmaya bağlı artan çözünmüş oksijen seviyesi, son çökeltim tankından anaerobik tanka geri devir akımıyla anaerobik ile anoksik tanklarda çözünmüş oksijen seviyesinin artmasına ve bu tanklarda kısmi nitrifikasyona sebep olduğu söylenebilir çünkü deşarjda NO_2-N konsantrasyonu artan çözünmüş oksijen seviyesiyle azalmaktadır. Ayrıca anoksik tanktan N_2O emisyonunun artmasının bir başka sebebi, tankta çözünmüş oksijen konsantrasyonunun artması ile denitrifikasyonda N_2O indirgeyici enzimleri inhibe olmasıdır.

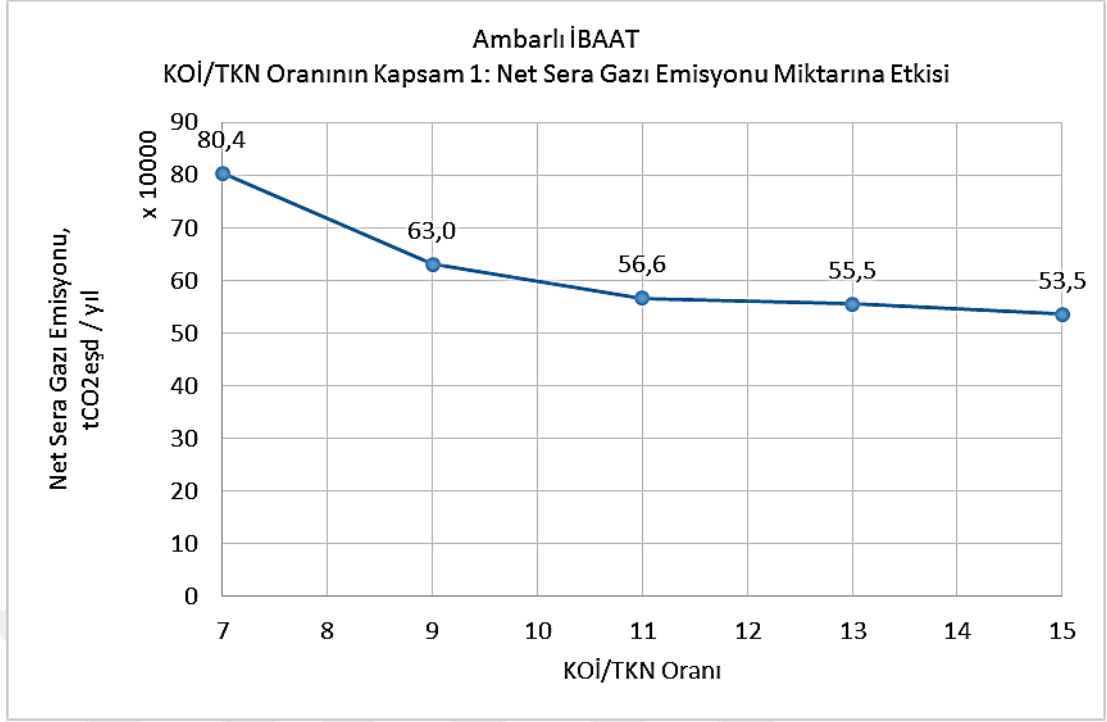
- Senaryo 3: Atıksu KOI/TKN oranının sera gazı emisyonuna etkisi

Senaryo 3 kapsamında KOI/TKN oranı KOI konsantrasyonu, çamur yaşı ve havalandırma tankındaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu sabit tutularak ve sadece giriş TKN konsantrasyonu değiştirilerek 7, 9, 11, 13 ve 15 olacak şekilde GPS-X modeline girilmiştir. KOI/TKN konsantrasyonuna bağlı olarak değişen deşarj kalitesi ve sera gazı emisyonu değişimleri Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de verilmiştir.

Ambarlı İBAAT 2. Kademe
KOİ/TKN Oranının Deşarj Karakterizasyonuna Etkisi



Şekil 6.11: KOİ/TKN oranının deşarj karakterizasyonuna etkisi



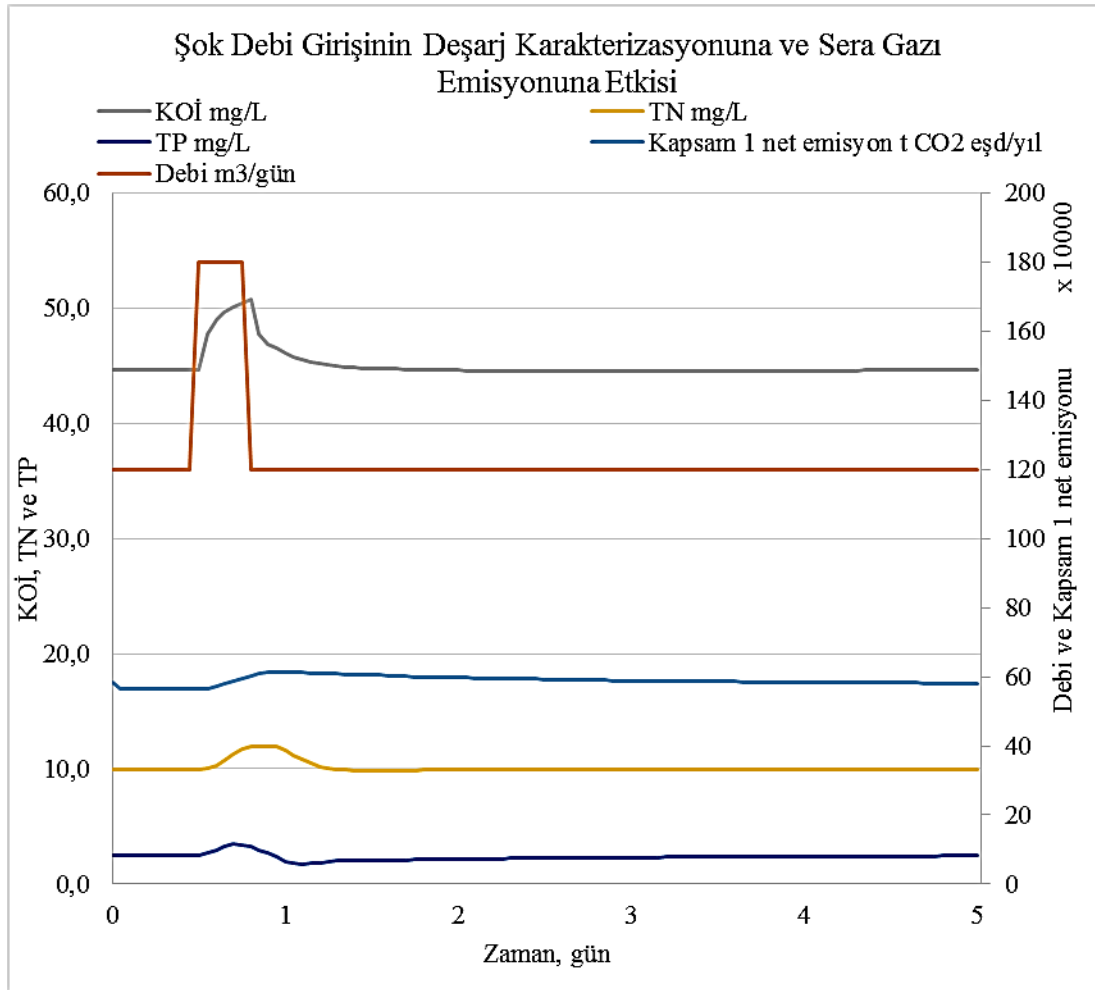
Şekil 6.12: KOİ/TKN oranının Kapsam 1 net sera gazı emisyonu miktarına etkisi

Şekil 6.11 ve Şekil 6.12 incelendiğinde, giriş TKN değeri azaltılıp KOİ/TKN oranı artırıldığında, azot giderim verim artmaktadır ve deşarj TN konsantrasyonu ile sera gazı emisyonun azaldığı görülmektedir. Deşarjdaki NO₃-N konsantrasyonunun artan KOİ/TKN oranıyla azalması, denitrifikasyon veriminin de KOİ/TKN oranıyla doğru orantılı olduğunu göstermektedir.

- Senaryo 4: Şok debi yüklemesi

Tesislerin aşırı yağışlı mevsimlerde tasarım debisinin üzerinde debiye kısa süreli maruz kalmaları durumunda tesisten salınan sera gazı emisyonu miktarını incelemek üzere, Ambarlı tesisine 7-8 saat süreyle tasarım debisinin %50 fazlasının geldiği durum GPS-X modelinde tanımlanmıştır. Sonuçlar Şekil 6.13'te verilmiştir.

Şekil 6.13 incelendiğinde, Ambarlı İBAAT'ne 2. Kademe tasarım debisinden %50 fazla bir debi girişi olduğunda, artan debiye paralel olarak deşarj KOİ, TN ve TP konsantrasyonları ile tesis sera gazı emisyonunda artış olduğu görülmektedir. Debi normale döndüğünde deşarj parametreleri ile emisyon miktarı da şok debi yüklemesi öncesi seviyelerine geri dönmektedir.



Şekil 6.13: Şok debi girişinin deşarj karakterizasyonuna ve sera gazı emisyonuna etkisi

6.3. IPCC (2006) Rehberi ile GPS-X Modeli Sonuçlarının Karşılaştırmalı Analizi

IPCC (2006) Rehberi ve GPS-X modeli sonuçlarının karşılaştırması Çizelge 6.10’da verilmiştir. İki yöntem ile hesaplanan CH₄ emisyon miktarlarına bakıldığında, IPCC (2006) Rehberine göre tesislerden salınan CH₄ emisyon miktarının GPS-X yöntemine göre salınan miktardan oldukça fazla olduğu görülmektedir. GPS-X modeliyle toplam CH₄ emisyon miktarı 44 kg CO₂ eşd/kişi/yıl iken, IPCC (2006) yönteminde bu değer 252 kg CO₂ eşd/kişi/yıl olarak hesaplanmıştır. GPS-X modelinde tesislerde meydana gelen net CH₄ emisyonunun, anaerobik çürütücülerde üretilen CH₄ gazının ~0,1’inin ünitelerden kaçak olarak atmosfere salındığı kabul edilmektedir. IPCC (2006) Rehberinde CH₄ gazı emisyon faktörü 0,20 kg CH₄/kg KOİ’dir. GPS-X modelinde, CH₄ geri kazanımı ile tasarruf edilen fosil yakıt miktarına bağlı olarak, net emisyondan çıkarılan emisyon miktarı toplam 49 kg CO₂ eşd/kişi/yıl’dır.

Çizelge 6.10: IPCC (2006) Rehberi ve GPS-X modeli sonuçlarının karşılaştırması

	GPS-X				IPCC		
	Kişi başı net CO ₂ emisyonu*	Kişi başı net CH ₄ emisyonu	Kişi başı net N ₂ O emisyonu	Toplam birim	Kişi başı net CH ₄ emisyonu	Kişi başı net doğrudan N ₂ O emisyonu	Toplam birim
	kg CO ₂ /kişi/yıl	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl	kg CO ₂ eşd/kişi/yıl
Ambarlı	-	-	99	99	1,8	1,1	3
Ataköy	-9	9	100	100	54,1	1,1	55
B.çekmece	-	-	118	118	2,4	1,1	3
Çanta	-	-	124	124	2,0	1,1	3
Paşaköy	-	-	123	123	2,1	1,1	3
Selimpaşa	-	-	96	96	1,8	1,1	3
Silivri	-	-	113	113	2,3	1,1	3
Tuzla I	-22	19	139	137	95,3	1,1	96
Tuzla II	-19	16	92	89	90,2	1,1	91
Toplam	-49	44	1.003	998	252	10	260

*CH₄ geri kazanımının olduğu tesislerde, tasarruf edilen fosil yakıt miktarına bağlı olarak net emisyondan çıkartılan sera gazı miktarları

Anaerobik çürütücüde 1 kg KOİ'nin giderilmesinden 0,35 m³ CH₄ gazı (0,35 m³*0,668 kg/m³=0,23 kg CH₄) elde edilmektedir (Öztürk, 2007). Anaerobik çürütücü ünitesine giren KOİ'nin %50'sinin biyolojik olarak çürütüldüğü kabul edildiğinde emisyon faktörü 0,12 kg CH₄/kg KOİ, KOİ'nin %70'i giderildiğinde emisyon faktörü 0,16 kg CH₄/kg KOİ olmaktadır. IPCC (2006) Rehberinde tanımlanan 0,20 kg CH₄/kg KOİ emisyon faktörü ise anaerobik çürütücüye gelen KOİ'nin %86'sının giderilmesiyle elde edilebilmektedir ve bu oran arıtma çamuru karakteristiğine uygun değildir. Bu nedenle, IPCC (2006) Rehberinde tanımlanan emisyon faktörü gerçek koşullarda elde edilen çürütme verimine göre oldukça yüksek kalmaktadır. Çizelge 6.11'de, anaerobik çürütme yapılan Ataköy, Tuzla I ve Tuzla II tesislerinin CH₄ emisyon faktörü, Hollanda'da yer alan tam ölçekli atıksu arıtma tesisinde yapılan ölçümler ve Hollanda Şehir, Bölge Planlama ve Çevre Bakanlığı (VROM) tarafından belirlenen emisyon faktörü ile karşılaştırılmıştır. Arıtma çamurunun anaerobik çürütüldüğü tam ölçekli atıksu arıtma tesisinde (Kralingseveer AAT, Hollanda) yapılan ölçümlerde CH₄ emisyon faktörü %1,13 kg CH₄/kg KOİ_{giriş} olarak verilmiştir. VROM tarafından belirlenen anaerobik çürütmenin yapıldığı A²O tesisleri için CH₄ emisyon faktörü ise %0,85 kg CH₄/kg KOİ_{giriş}'tir (Daelman ve diğ., 2012).

Çizelge 6.11: Çalışmada hesaplanan CH₄ emisyon faktörü ile literatür değerlerinin karşılaştırılması

	CH ₄ emisyon faktörü (kg CH ₄ /kg KOİ _{giriş} (%))		
	IPCC (2006) Rehberi	GPS-X	Tam ölçekli atıksu arıtma tesisi (Daelman ve diğ., 2012)
Ataköy	%4,1	%0,7	
Tuzla I	%5,2	%1,1	-
Tuzla II	%4,9	%0,9	
Kralingseveer	-	-	%1,13
VROM	-	-	%0,85

Çizelge 6.11 incelendiğinde, anaerobik çürütmenin yapıldığı Ataköy, Tuzla I ve Tuzla II tesisleri için IPCC (2006) Rehberi ile hesaplanan CH₄ emisyon faktörlerinin GPS-X modeli ile hesaplanan değerlerden ve tam ölçekli ölçüm sonuçları ile VROM tarafından belirlenen emisyon faktörü değerinden fazla olduğu görülmektedir. IPCC (2006) sonuçlarını GPS-X sonuçlarına yaklaştırmak için yapılan iterasyon hesapları ile maksimum CH₄ üretim kapasitesinin 0,16-0,18 kg CH₄/kg KOİ aralığında olması

gerektiği sonucuna varılmıştır. Yeni maksimum CH₄ üretim kapasitesi ile yapılan hesap sonuçları Çizelge 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.12: IPCC (2006) Rehberi hesaplarında maksimum CH₄ üretim kapasitesi 0,17 kabul edildiğinde, anaerobik çürütme yapılan tesislerde elde edilen emisyon faktörleri

	CH ₄ emisyon faktörü (kg CH ₄ /kg KOİ _{giriş} (%))
Ataköy	%1,2
Tuzla I	%0,7
Tuzla II	%0,8
Ortalama	%0,9

Çizelge 6.12’de görüldüğü gibi, IPCC (2006) Rehberi hesaplarında maksimum CH₄ üretim kapasitesi 0,25 kg CH₄/kg KOİ yerine 0,17 kg CH₄/kg KOİ alındığında, anaerobik çürütmenin yapıldığı tesisler için hesaplanan emisyon faktörleri literatürle uygundur.

İki yöntem doğrudan N₂O emisyon miktarı yönünden karşılaştırıldığında, GPS-X modeliyle hesaplanan birim emisyon miktarının (toplam 1.003 kg CO₂ eşd/kişi/yıl), IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan miktardan (toplam 10 kg CO₂ eşd/kişi/yıl) fazla olduğu görülmektedir. Farkın bu kadar fazla olmasının sebebi, IPCC (2006) Rehberinde nitrifikasyon ve denitrifikasyona bağlı N₂O emisyon faktörü değerinin (3,2 g N₂O/kişi/yıl) birincil arıtmaya bağlı kısmi nitrifikasyon yapılan tesislerdeki ölçümlerden elde edilen değer olmasıdır.

IPCC (2006) Rehber yöntemi ve GPS-X modeli ile hesaplanan ortalama (besi maddesi giderimi yapılmayan Tuzla I hariç) birim N₂O emisyon miktarları sırasıyla %0,09 ve %9 N₂O-N/N_{giriş}’tir (Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.9). Literatürde (Çizelge 3.3), BNR tesislerinden birim N₂O emisyonunun %0,003-25 N₂O-N/N yükü aralığında olduğu verilmiştir (Law ve diğ, 2012). Çalışmada hesaplanan birim N₂O emisyon değerleri literatür değerleriyle karşılaştırıldığında, her iki yöntemin de literatür aralığında olduğu görülmektedir. Ancak IPCC (2006) Rehberinde önerilen 3,2 g N₂O/kişi/yıl emisyon faktörü yerine, biyolojik besin maddesi giderimi yapılan tesisler için daha uygun bir emisyon faktörünün kullanılması uygun olacaktır.

Tesislere özgü sera gazı emisyonunu sahada ölçmenin gerçeğe en yakın değeri vereceği düşünülmektedir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, İstanbul'daki Ambarlı, Ataköy, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri ve Tuzla II ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi ile Tuzla I biyolojik atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyon potansiyelleri, 2020 yılı debi ve kirlilik yükü verileri baz alınarak, IPCC (2006) Rehberine göre ve GPS-X modeli ile tahmin edilmiştir.

Ambarlı İBAAT'nin 2. Kademesi, emisyon miktarı için kritik olan giriş KOİ/TKN oranı, tesis çamur yaşı, havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen seviyesi ve tesise şok debi girişi açısından GPS-X modelinde ayrıca değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, KOİ/TKN oranı sadece TKN değeri ile değiştirilerek atıksu KOİ/TKN oranının tesislerden doğrudan sera gazı emisyonuna olası etkisi incelenmiştir. Tesis çamur yaşı ve havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen seviyesi değiştirilerek, tesis işletme şartlarının, tesisten doğrudan sera gazı emisyonu değişimi incelenmiştir. Şok debi yüklemesi ise, tesisin iklim şartları nedeniyle aniden maruz kalacağı hidrolik yük ve kirlilik yükü artışı koşulların doğrudan sera gazı emisyonuna etkisini incelemek üzere GPS-X modelinde denenmiştir.

7.1. IPCC (2006) Rehber Yöntemi ve GPS-X Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tez kapsamında incelenen İstanbul'daki 9 büyük atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı tahmini çalışmasında, GPS-X modeli kullanılarak hesaplanan sera gazı emisyonu miktarı ile IPCC (2006) Rehberine göre hesaplanan değerler karşılaştırılmış ve iki yöntem arasındaki farkın oldukça fazla olduğu görülmüştür.

IPCC (2006) Rehberine göre tesislerin toplam doğrudan N₂O ve CH₄ emisyon potansiyelleri sırasıyla 6.779 ve 218.593 t CO₂ eşd/yıl, hesaplanan toplam sera gazı emisyonu ise 225.372 t CO₂ eşd/yıl'dır. İstanbul'daki 9 tesisin GPS-X modeli kullanılarak hesaplanan toplam N₂O ve CH₄ emisyon potansiyelleri sırasıyla 690.114 ve 37.429 t CO₂ eşd/yıl'dır. GPS-X modeline göre anaerobik çürütücüde geri kazanılan CH₄ ile tasarruf edilen fosil yakıt miktarına bağlı, net sera gazı

emisyondan çıkarılacak emisyon miktarı toplam 40.186 t CO₂ eşd/yıl'dır. Hesaplanan toplam sera gazı emisyonu miktarı ise 687.357 t CO₂ eşd/yıl'dır.

IPCC (2006) Rehberiyle hesaplanan N₂O emisyon değerinin GPS-X modeli sonuçlarından az olmasının sebebi, hesaplarda kullanılan nitrifikasyon ve denitrifikasyona bağlı N₂O emisyon faktörü değerinin (3,2 g N₂O/kişi/yıl (Czepiel ve diğ, 1995)) birincil arıtıma bağlı kısmi nitrifikasyon yapılan tesislerdeki ölçümlerden elde edilen değer olması ve nitrifikasyon/denitrifikasyon mekanizmalarının N₂O emisyonuna etkisini yansıtmamasıdır. GPS-X modeli ile hesaplanan N₂O emisyon miktarı, N₂O retiminde rol oynayan nitrifikasyon ve denitrifikasyon mekanizmalarını içermektedir.

IPCC (2006) Rehberine göre biyolojik arıtma tesislerinden kaynaklanan CH₄ gazı emisyonu miktarı, GPS-X modeli ile hesaplanan değerden daha azdır. GPS-X modelinde salınan CH₄ emisyonu miktarı olarak, anaerobik rtcde üretilen CH₄ miktarının ~0,1'inin atmosfere kaçmasından kaynaklandığı ve biyolojik arıtma tanklarından CH₄ emisyonu olmadığı kabul edilmektedir. IPCC (2006) Rehberinde tanımlanan maksimum CH₄ retim kapasitesi (0,25 kg CH₄/kg KOİ), organik maddenin optimum şartlarda en yüksek verim ile anaerobik olarak rtlmesinden oluşacak CH₄ miktarını verdiğinden, bu yöntem ile hesaplanan CH₄ emisyon faktörü değerleri literatür değerlerinden fazla çıkmaktadır (izelge 6.11). Hesaplarda kullanılan maksimum CH₄ retim kapasitesi 0,16-0,18 kg CH₄/kg KOİ aralığında alındığında, elde edilen CH₄ emisyon faktörü değerlerinin (izelge 6.12) literatür ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

IPCC (2006) Rehberine göre N₂O emisyon faktörü %0,09 N₂O-N/N_{giriş}, GPS-X modeline göre %9 N₂O-N/N_{giriş}'tir. Literatürde biyolojik besi maddesi giderimi yapılan tam ölçekli tesislerden elde edilen sonuçlarda emisyon faktörleri %0,003-25 N₂O-N/N_{giriş} aralığındadır (Law ve diğ, 2012). Çalışmada elde edilen sonuçlar, literatürde verilen aralıкта yer almaktadır. Buna rağmen, IPCC (2006) Rehberinde nerilen 3,2 g N₂O/kişi/yıl emisyon faktörü yerine, biyolojik besi maddesi giderimi yapılan tesisler için daha uygun bir emisyon faktörünün kullanılması önerilmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan doğrudan sera emisyonu miktarı tahmininde, tesis lğinde gerçekçi sonuçlar almak için daha güncel bilgiler içeren matematiksel modellerinin kullanılması, ancak makro ölçekli sonuçlar alınmak istendiğinde hesaplaması kolay ve veri ihtiyaı az olan IPCC (2006) Rehberi yönteminin tercih

edilmesi önerilmektedir. IPCC (2006) Rehberi kullanılırken, hesaplarda gerçeği yansıtan emisyon faktörlerinin kullanılması önemlidir. Tesislerden salınan sera gazı emisyonuna sebep olan mekanizmalar ve emisyon miktarını etkileyen faktörler hakkındaki sahip olunan bilgiler sera gazı emisyonunu yüksek doğrulukta tahmin etmeye yeterli olmadığından, emisyonları gerçeğe en yakın şekilde belirlemenin yolu, emisyonu tesislerde ölçmektir.

7.2. Atıksu Özellikleri ve Sera Gazı Emisyon Miktarı Arasındaki İlişki

Çizelge 6.5'te verilen tesis giriş suyu özellikleri ve Şekil 6.3 ile Şekil 6.4'te verilen birim sera gazı emisyon miktarları karşılaştırıldığında, Tuzla I tesisinde en yüksek birim sera gazı emisyonunun olmasının nedeni olarak, atıksudaki yüksek organik madde ve azot varlığı ile ikinci kademe arıtmayla azot gideriminin yapılmaması gösterilebilir.

Tuzla I tesisi için GPS-X modelinde hesaplanan deşarj karakterizasyonuna bakıldığında tesiste kısmi nitrifikasyonun gerçekleştiği, buna bağlı olarak N_2O emisyonunun görece fazla olduğu görülmektedir. Tuzla I tesisinin giriş TKN konsantrasyonu (65 mg/L) diğer tesislerinkinden görece daha yüksektir ve tesisin çamur yaşı (8 gün) diğer tesislerden daha düşüktür (Çizelge 6.5). Kampschreur ve diğ. (2009), yüksek NH_4-N konsantrasyonunun ve düşük çamur yaşının, NO_2-N konsantrasyonunu arttıracak ve buna bağlı olarak nitrifikasyonda N_2O emisyonunun da artacağını belirtmişlerdir (Şekil 3.5). Tesise yüksek NH_4-N girişi olduğunda, nitrifikasyon sonucunda yüksek NO_2-N konsantrasyonuna rastlanmaktadır. AOB'ler, oksijen azlığında e^- alıcı olarak NO_2-N 'i kullanmakta ve denitrifikasyon yapmaktadırlar. Nitrifikasyon tankında NO_2-N konsantrasyonu yüksek olduğunda, AOB'lerin denitrifikasyon faaliyetleri de artmakta ve N_2O gazı oluşmaktadır.

Tuzla I tesisi hariç diğer 8 tesiste N, P giderimli ileri biyolojik arıtma uygulandığından, atıksu karakterizasyonunun birim sera gazı emisyonu miktarına etkisi üzerine yorum yapılabilmektedir. Tuzla II tesisi en düşük birim sera gazı emisyonuna 89 kg CO_2 eşd/kişi/yıl (416 kg CO_2 eşd/yıl/ m^3) sahiptir. Selimpaşa tesisi ise 96 kg CO_2 eşd/kişi/yıl (448 kg CO_2 eşd/yıl/ m^3) birim emisyon ile ikinci en düşük emisyonu sahiptir. En yüksek birim sera gazı emisyonu 124 kg CO_2 eşd/kişi/yıl (577 kg CO_2 eşd/yıl/ m^3) ile Çanta ve 123 kg CO_2 eşd/kişi/yıl (573 kg CO_2 eşd/yıl/ m^3) ile Paşaköy tesislerine aittir. Bu bilgiler ışığında tesislerin giriş atıksu karakterizasyonu incelendiğinde, Tuzla II ile

Selimpaşa tesislerinin KOİ/TKN oranının (sırasıyla 12,9 ve 12) diğer tesislerden daha yüksek olduğu ve Paşaköy tesisinin KOİ/TKN oranının (8,6) en düşük olduğu görülmektedir. Denitrifikasyon bölgesinde düşük KOİ/TKN oranı, ortamda karbonun limitleyici faktör olmasına sebep olarak denitrifikasyonu etkilemekte ve reaksiyondan N₂O emisyonunu arttırmaktadır (Kampschreur ve diğ, 2009). Bu durumda yüksek KOİ/TKN oranının birim sera gazı emisyonunu azalttığı veya düşük KOİ/TKN oranının birim sera gazı emisyonunu arttırdığı söylenebilir.

Çalışmada incelenen Senaryo 3 sonuçları, KOİ/TKN oranı düşük olduğunda ortamda karbonun limitleyici faktör olduğunu ve bunun sonucu olarak N₂O emisyonunun arttığını göstermektedir. Bu sonuç, literatürde yer alan bilgilerle de örtüşmektedir. Kentsel bölgelerde su tasarrufu sağlamak amacıyla banyo ve tuvaletlerde kullanılan su miktarının azaltılması, atıksu karakterizasyonunda TKN konsantrasyonunun artmasına ve KOİ/TKN oranının azalmasına sebep olabilir. Bunun gibi doğrudan sera gazı emisyonunu arttıran koşullarla karşılaşıldığında, atıksu arıtma tesisinde varsa ön çökteltimi azaltarak KOİ/TKN oranını nitrifikasyonu ve denitrifikasyonu etkilemeyecek seviyede tutmaya çalışmak veya dışarıdan karbon ilavesi yapmak önerilmektedir.

7.3. Çamur Yaşının Sera Gazı Emisyonuna Etkisi

Aynı giriş suyu karakterizasyonu ve arıtma konfigürasyonuna sahip fakat farklı çamur yaşlarında işletilen Çanta ve Silivri tesisleri karşılaştırıldığında, çamur yaşı 20 gün olan Silivri tesisinin çamur yaşı 10 olan Çanta tesisinden daha az birim sera gazı emisyonuna sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.3). Ototrofik nitrifikasyon bakterilerinin büyüme hızı heterotrofik karbon gideren baterilerden yavaş olduğundan, artan çamur yaşı ile azot giderimi artmakta ve tamamlanan nitrifikasyon bağlı olarak tanktaki NO₂-N konsantrasyonu birikmesi önlendiğinde, doğrudan N₂O emisyonu da azalmaktadır (Kampschreur ve diğ, 2009). Bu durumda artan çamur yaşının doğrudan sera gazı emisyonu miktarını azalttığı söylenebilir.

Senaryo 1 sonuçları incelendiğinde de, artan çamur yaşının sera gazı emisyonunu göreceli olarak azalttığı görülmektedir. Bu bilgi ışığında, atıksu arıtma tesislerinden doğrudan sera gazı emisyonu azaltılmak istendiğinde çamur yaşının nitrifikasyonun tamamlanması için gereken süre kadar uzun tutulması önerilmektedir.

7.4. Havalandırma Havuza Çözünmüş Oksijen Seviyesinin Sera Gazı Emisyonuna Etkisi

Senaryo 2 sonuçları incelendiğinde (Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10), aerobik tanktaki çözünmüş oksijen seviyesinin artmasıyla tesis deşarjında $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. Bunun sebebi hem artan oksijen ile nitrifikasyon veriminin artması ile $\text{NO}_2\text{-N}$ 'in $\text{NO}_3\text{-N}$ 'e oksitlenmesi, hem de geri devir ile anaerobik ve anoksik tanka oksijen girişiyle kısmi anoksik bölge oluşturularak denitrifikasyonun inhibe edilmesidir. Ayrıca oluşan kısmi anoksik bölgelerde, kısmi nitrifikasyon da N_2O emisyonunu arttırabilmektedir.

Azot gideriminin yapıldığı tesislerde N_2O emisyonundan çoğunlukla AOB'lerin (Amonyum Oksitleyici Bakteri) sorumlu olduğu bilinmektedir (Wunderlin ve diğ, 2012). AOB'ler aerobik koşullarda nitrifikasyon reaksiyonu ile NH_4^+ 'ı NO_2^- 'e oksitlerken enerji elde ederler ve bu reaksiyon zincirinde N_2O ara ürün olarak oluşmaktadır. Nitrifikasyonda AOB'ler tarafından üretilen N_2O miktarı, yüksek NH_4^+ ve düşük NO_2^- konsantrasyonuyla artmaktadır. Düşük O_2 konsantrasyonunda, ortamda yeterince NO_2^- konsantrasyonu olduğunda ise AOB'ler NO_2^- 'i e^- alıcı olarak kullanıp kısmi denitrifikasyon yapmaktadırlar (Talleca ve diğ, 2006). AOB'lerin bünyesinde N_2O indirgeyici enzim bulunmadığından, bu tür denitrifikasyonda N_2O 'ın son ürün olduğu söylenebilir (Goreau ve diğ, 1980; Law ve diğ, 2012).

Şekil 6.10'de çözünmüş oksijen konsantrasyonu arttıkça, nitrifikasyon havuzunda AOB denitrifikasyonu ve doğrudan sera gazı emisyonunun azaldığı görülmektedir. Nitrifikasyon bölgesinden sera gazı emisyonunu azaltmak için, tankta AOB denitrifikasyonunu engelleyecek kadar çözünmüş oksijen konsantrasyonunun bulunması önemlidir. Ancak gereğinden çok fazla havalandırma, denitrifikasyon bakterilerinin inhibisyonuna ve ardından kısmi denitrifikasyonda indirgenememiş çözünmüş N_2O gazının aerobik tanka taşınarak, havalandırma yardımıyla atmosfere salınmasına sebep olabilir. Ayrıca fazla havalandırma sonucu geri devir ile anaerobik biyofosfor tankına iletilen çözünmüş oksijen fosfor giderimi de olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle tesisler aerobik bölgede oksijen seviyesi optimum olacak şekilde ($<3 \text{ mg/L}$) işletilmelidir. Ayrıca tesiste anlık N_2O gazı emisyonunun ölçülmesi, tesisin işletme verimliliği hakkında fikir verebilir.



KAYNAKLAR

- AF. (2016). *About the Adaptation Fund*. Adaptation Fund. Retrieved October 15, 2016, from <https://www.adaptation-fund.org/about/>
- Bachmann, N. (2015). *Publications of Task 37: Technical reports. Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants*. Retrieved November, 2016, from http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/Wastewater_biogas_grey_web-1.pdf
- Boucher O. J. H. (2001). *Radiative Forcing of Climate Change: In Climate Change 2001: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Czepiel, P., Crill, P., & Harris, R. (1995). Nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment. *Environmental Science and Technology*, 2352-2356.
- Czepiel, P., Patrick, M., & Harris, R. (1993). Methane emissions from municipal wastewater treatment processes. *Environmental Science and Technology*, 27(12), 2472-2477.
- ÇOB. (2004). *Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği*. Mevzuat Bilgi Sistemi Web Sitesi Erişim: 20 Ekim, 2016, <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7221&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0>
- ÇOB. (2006). *Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği*. Mevzuat Bilgi Sistemi Web Sitesi Erişim: 20 Ekim, 2016, <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.9844&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0>
- ÇŞB. (2011). *İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- ÇŞB. (2013). *Türkiye İklim Değişikliği 5. Bildirimi*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- ÇŞB. (2015). *Atıksu Arıtımı Eylem Planı*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- ÇŞB. (2016). *Türkiye İklim Değişikliği 6. Bildirimi*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.

- Daelman, M., van Voorthuizen, E., van Dongen, U., Volcke, E., & van Loosdrecht, M.** (2012). Methane emission during municipal wastewater treatment. *Water Research*, 46, 3657-3670.
- DB.** (2016). *Birleşmiş Milletler; İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve Kyoto Protokolü*; T.C. Dışişleri Bakanlığı Web Sitesi Erişim: 11 Ekim, 2016, http://www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler_iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-_bmidcs_-ve-kyoto-protokolu-_tr.mfa
- Dereli, R. K.** (2006). *Evsel Organik Katı Atıklar ve Arıtma Tesisi Çamurlarının Birlikte Anaerobik Arıtımının Modellenmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- EPA.** (2015). *Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases*. Retrieved June, 2016, from https://www3.epa.gov/climatechange/pdfs/print_ghg-concentrations-2015.pdf
- Erdoğan, M.** (2015). *Çevresel Tesislerden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ETKB.** (2016). *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü: Finansman*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Web Sitesi Erişim: 11 Ekim, 2016, http://www.eie.gov.tr/iklim_deg/finansman.aspx
- EU.** (2016). *Paris Agreement*. European Commission Climate Action Web Site Retrieved October 15, 2016, from http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_en.htm
- Foley, J., de Haas, D., Yuan, Z., & Lant, P.** (2010). Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment plants. *Water Research*, 44(3), 831-844.
- GEF.** (2016, Ekim 14). *Funding*. Green Environment Facility Web Site Retrieved from <http://www.thegef.org/about/funding>
- Goreau, T., Kaplan, W., Wofsy, S., McElroy, M., Valois, F., & Watson, S.** (1980). Production of NO_2^- and N_2O by nitrifying bacteria at reduced concentrations of oxygen. *Applied and Environmental Microbiology*, 40(3), 526-532.
- GWRC.** (2011). *N_2O and CH_4 emission from wastewater collection and treatment systems: Technical report*. London: Global Water Research Coalition.
- GWRC.** (2016). *GPS-X Technical Reference - V.6.5*. Canada: Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc.

- GWRC.** (1999). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories Background Paper: CH₄ and N₂O emissions from wastewater handling. Sao Paulo: IPCC. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_2_CH4_N2O_Waste_Water.pdf
- Hydromantis.** (2013). *Webinar: Introduction to GPS-X Greenhouse Gas (GHG) and Carbon Footprint (CF) module* [Educational video]. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=6OZ2_kb840k&list=PLhan9pNnjFlyt4HUGjn5xVmUMihWea1E8&t=1711s&index=37
- IPCC.** (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emissions Inventories*. Japonya: Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC.** (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press. Retrieved from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- IPCC.** (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC.** (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Geneva: IPCC.
- İSKİ.** (2011). *Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi*. İstanbul: İSKİ Genel Müdürlüğü.
- Kampschreur, M., Temmink, H., R., K., Jetten, M., & M.C.M., v. L.** (2009). Nitrous oxide emission during wastewater treatment. *Water Research*, 43, 4093-4103.
- Kim, S., Miyahara, M., Fushinobu, S., Wakagi, T., & Shoun, H.** (2010). Nitrous oxide emission from nitrifying activated sludge dependent on denitrification by ammonia-oxidizing bacteria. *Bioresource Technology*, 101(11), 3958-3963.
- Law, Y., Ye, L., Pan, Y., & Yuan, Z.** (2012). Nitrous oxide emissions from wastewater treatment processes. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, 1265-1277. doi:10.1098/rstb.2011.0317
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., . . . Prather, M.** (2007). Historical Overview of Climate Change. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, . . . H. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Makinia, J.** (2010). *Mathematical modelling and computer simulation of activated sludge systems*. London: IWA Publishing.
- Monballiu, A., Desmidt, E., Ghyselbrecht, K., de Clippeleir, H., van Hulle, S., Verstraete, W., & Meesschaert, B.** (2013). Enrichment of anaerobic ammonium oxidizing (Anammox) bacteria from OLAND and conventional sludge: Features and limitations. *Separation and Purification Technology*, 104, 130-137.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., . . . Nakice, N. v.** (2008). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Technical Summary*. Geneva: IPCC.
- 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.
- OSİB.** (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi* [Sunum]. Ankara: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Erişim: http://iklim.ormansu.gov.tr/ckfinder/userfiles/files/1_%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20Su%20Kaynaklar%C4%B1na%20Etkisi%20Projesi.pdf
- Öztürk, İ.** (2007). *Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları*. İstanbul: Su Vakfı.
- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O., & Altınbaş, M.** (2015). *Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı (El Kitabı)* (2 b.). Ankara: Türkiye Belediyeler Birliği.
- Sliekers, A., Derwort, N., Gomez, J., Strous, M., Kuenen, J., & Jetten, M.** (2002). Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor. *Water Research*, 36, 2475-2482.
- Şen, Ö. L., Bozkurt, D., Göktürk, O. M., DüNDAR, B., & Altürk, B.** (2013). Türkiye’de İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. 3. *Ulusal Taşkın Sempozyumu*. Ankara.
- Talleca, G., Garnier, J., Billen, G., & Gousailles, M.** (2006). Nitrous oxide emissions from secondary activated sludge in nitrifying conditions of urban wastewater treatment plants: Effect of oxygenation level. *Water Research*, 40(15), 2972-2980.
- TÜİK.** (2016). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2015*. Türkiye İstatistik Kurumu Web Sitesi Erişim: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21507>

- UNEP.** (2012). *The Emissions Gap Report 2012*. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP). Retrieved from <http://www.unep.org/pdf/2012gapreport.pdf>
- UNFCCC.** (2016a). *A Guide to the UNFCCC and its Processes*. United Nations Framework Convention on Climate Change Web Site. Retrieved October 14, 2016, from <http://bigpicture.unfccc.int/#content-the-paris-agreement>
- UNFCCC.** (2016b). *Status of Ratification of the Convention*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved, October 14, 2016, from http://unfccc.int/essential_background/convention/status_of_ratification/items/2631.php
- UNFCCC.** (2016c). *Status of Ratification of the Kyoto Protocol*. United Nations Framework Convention on Climate Change Web Site. Retrieved October 14, 2016, from http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php
- UNFCCC.** (2016d). *Parties & Observers*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved October 10, 2016 from http://unfccc.int/parties_and_observers/items/2704.php
- UNFCCC.** (2016e). *Status of the Doha Amendment*. United Nations Framework Convention on Climate Change Web Site. Retrieved October 10, 2016, from http://unfccc.int/kyoto_protocol/doha_amendment/items/7362.php
- UNFCCC.** (2016f). *The Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change Web Site. Retrieved October 14, 2016, from http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php
- UNFCCC.** (2016g). *Aggregate Effect of the Intended Nationally Determined Contributions (INDC): an Update*. United Nations Framework Convention on Climate Change Web Site. Retrieved October 15, 2016, from <http://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/eng/02.pdf>
- Wrage, N., Velthof, G., van Beusichem, M., & Oenema, O.** (2001). Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. *Soil Biology & Biochemistry*, 33, 1723-1732.
- WRF & GWRC.** (2013). *Toolbox for Water Utility Energy and Greenhouse Gas Emission Management*. USA: Water Research Foundation.
- WRI & WBCSD.** (2005). *The GHG Protocol for Project Accounting*. Washington: World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

Wunderlin, P., Mohn, J., Joss, A., Emmenegger, L., & Siegrist, H. (2012). Mechanisms of N₂O production in biological wastewater treatment under nitrifying and denitrifying conditions. *Water Research*, 46, 1027-1037.



EKLER

Ek A: Mantis2 modeline işlenen prosesler





EK A

Çizelge A.1: Mantis2 modelinde incelenen prosesler (Hydromantis, 2016)

Proses	Açıklama
Adsorpsiyon	
1 Koloidal KOİ (scol)'nin adsorpsiyonu	scol ilk olarak heterotrofik biyokütleyle tutunmaktadır. Daha sonra adsorblanan scol yavaş bozunabilen KOİ'nin (xs) bir parçası haline gelir ve bakteriyel metabolizmaya katılmadan önce hidroliz olması gerekmektedir. Hidrolizde heterotrofik ve fermentatif mikroorganizmalar rol aldığından adsorpsiyon hızı iki organizma konsantrasyonunun toplamıyla orantılıdır.
Heterotrofik mikroorganizmalarla ilgili prosesler	
2 Aerobik hidroliz	Heterotrofik ve fermentatif mikroorganizmalar hidrolizde rol almaktadır. Heterotrofik mikroorganizmalar yavaş bozunabilen KOİ'nin (xs) fermente edilebilen substrata (ss) dönüştürülür.
3 Anoksik hidroliz	Anoksik koşullar altında gerçekleşen hidrolizde, aerobik hidroliz hızı ifadesindeki oksijen doygunluk terimi oksijen inhibisyon değeri ile değiştirilir ve NOx doygunluk terimi ifadeye eklenir. Spesifik hidroliz hızı anoksik hidroliz azaltma faktörü (η_{nox}) ile çarpılır.
4 Anaerobik hidroliz	Anaerobik hidroliz hızı ifadesinde oksijen ve NOx inhibisyon değeri yer almaktadır. Spesifik hidroliz hızı anaerobik hidroliz azaltma faktörü (η_{anaer}) ile çarpılır.
5 Amonifikasyonu	Çözünebilir organik azot amonyak azotuna dönüştürülür. Heterotrofik ve fermentatif mikroorganizmalar süreci gerçekleştirebilmektedir.
6 Çoğalma (Karbon kaynağı: Fermente edilebilen substrat (ss); e ⁻ alıcısı: O ₂)	Aerobik koşullarda gerçekleşmektedir. Çoğalma hızı toplam çözünebilen substrattaki (ss + sac + spro) ss içeriği ile orantılıdır. Çoğalma stokiometrisinde her biyokütle ayrı N, P, Ca, Mg, K, anyon ve katyon alım oranına sahiptir.
7 Çoğalma (Karbon kaynağı: Asetat (sac); e ⁻ alıcısı: O ₂)	Proses 6 ile benzerdir. Çoğalma hızı toplam çözünebilen substrattaki (ss + sac + spro) sac içeriği ile orantılıdır.
8 Çoğalma (Karbon kaynağı: Propiyonat (spro); e ⁻ alıcısı: O ₂)	Proses 6 ile benzerdir. Çoğalma hızı toplam çözünebilen substrattaki (ss + sac + spro) spro içeriği ile orantılıdır.
9 Çoğalma (Karbon kaynağı: Fermente edilebilen substrat (ss); e ⁻ alıcısı: NO ₃)	NO ₃ -N'in bulunduğu ortamlarda heterotrofik mikroorganizmalarca gerçekleştirilmektedir. Çoğalma hızı ifadesinde oksijen inhibisyon, NO ₃ doygunluk terimi yer almaktadır. Çoğalma hızı toplam çözünebilen substrattaki (ss + sac + spro) ss içeriği ile orantılıdır.
10 Çoğalma (Karbon kaynağı: Asetat (sac); e ⁻ alıcısı: NO ₃)	Proses 9 ile benzerdir. Çoğalma hızı toplam çözünebilen substrattaki (ss + sac + spro) sac içeriği ile orantılıdır.
11 Çoğalma (Karbon kaynağı: Propiyonat (spro); e ⁻ alıcısı: NO ₃)	Proses 9 ile benzerdir. Çoğalma hızı toplam çözünebilen substrattaki (ss + sac + spro) spro içeriği ile orantılıdır.

Çizelge A.1 (devam): Mantis2 modelinde incelenen prosesler (Hydromantis, 2016)

Proses	Açıklama
12 Çoğalma (Karbon kaynağı: Fermente edilebilen substrat (ss); e ⁻ alıcısı: NO ₂)	NO ₂ -N'in bulunduğu ortamlarda heterotrofik mikroorganizmalarca gerçekleştirilmektedir. Çoğalma hızı ifadesinde oksijen inhibisyon, NO ₂ doygunluk terimi yer almaktadır. Çoğalma hızı toplam çözünebilir substrattaki (ss + sac + spro) ss içeriği ile orantılıdır.
13 Çoğalma (Karbon kaynağı: Asetat (sac); e ⁻ alıcısı: NO ₂)	Proses 12 ile benzerdir. Çoğalma hızı toplam çözünebilir substrattaki (ss + sac + spro) sac içeriği ile orantılıdır.
14 Çoğalma (Karbon kaynağı: Propiyonat (spro); e ⁻ alıcısı: NO ₂)	Proses 12 ile benzerdir. Çoğalma hızı toplam çözünebilir substrattaki (ss + sac + spro) spro içeriği ile orantılıdır.
15 Heterotrofların ölümü	Modele ölüm sonucu biyokütle kompozisyonuna göre N, P, Ca, Mg, K, anyon ve katyon üretimi dahil edilmiştir.
Ototrofik mikroorganizmalarla ilgili prosesler	
16 Amonyak oksitleyici çoğalması	NH ₃ -N, NO ₂ -N'e oksijen varlığında oksitlenir. Reaksiyon hızında amonyak ve oksijen doygunluk terimi olarak kullanılmaktadır.
17 Nitrit oksitleyici çoğalması	NO ₂ -N, NO ₃ -N'e oksijen varlığında oksitlenir. Reaksiyon hızında nitrit ve oksijen doygunluk terimi olarak kullanılmaktadır.
18 Amonyak oksitleyici ölümü	ASM2d modeliyle aynı proses hızı değeri kullanılmaktadır.
19 Nitrit oksitleyici ölümü	ASM2d modeliyle aynı proses hızı değeri kullanılmaktadır.
PAO organizmalarıyla ilgili prosesler	
20 PAO'ların asetate kullanarak PHA biriktirmesi	PAO'ların asetate ve propiyonate eşzamanlı olarak kullanabildiği göz önüne alınıp modellenmiştir.
21 PAO'ların propiyonat kullanarak PHA biriktirmesi	PAO'ların asetate ve propiyonate eşzamanlı olarak kullanabildiği göz önüne alınıp modellenmiştir.
22 PAO'ların PHA kullanarak çoğalması (e ⁻ alıcısı: O ₂)	Stokiyometrik ve reaksiyon hızı ASM2d modeli ile aynıdır.
23 PHA'daki, PAO'da depolanan polifosfat (xpp) içeriğinin depolanması (e ⁻ alıcısı: O ₂)	Stokiyometrik ve reaksiyon hızı ASM2d modeli ile aynıdır.
24 PAO'ların PHA kullanarak çoğalması (e ⁻ alıcısı: NO ₃)	NO ₃ -N varlığında gerçekleşmektedir. Çoğalma hızı ifadesinde oksijen inhibisyon, NO ₃ -N doygunluk terimi yer almaktadır. PAO biyokütlesinin NO ₃ -N'i NO ₂ -N'e dönüştürdüğü, NO ₂ -N'den N ₂ gaz oluşumuna katkı sağlamadığı kabul edilmektedir. Reaksiyon hızı toplam NO _x -N içeriğindeki NO ₃ -N oranı kadar yavaşlatılmaktadır.
25 PHA'daki, PAO'da depolanan polifosfat (xpp) içeriğinin depolanması (e ⁻ alıcısı: NO ₃)	PHA içeriği, NO ₃ -N e ⁻ alıcısı olarak kullanılarak PAO tarafından depolanmaktadır. Yalnızca NO ₃ -N'i NO ₂ -N'e dönüşümü ele alınmıştır. Reaksiyon hızı toplam NO _x -N içeriğindeki NO ₃ -N oranı kadar yavaşlatılmaktadır.

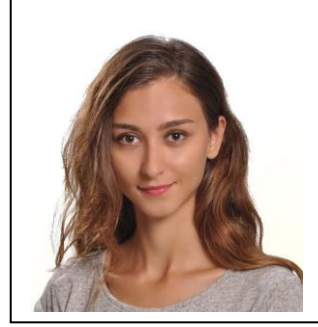
Çizelge A.1 (devam): Mantis2 modelinde incelenen prosesler (Hydromantis, 2016)

Proses	Açıklama
26 PAO'ların PHA kullanarak çoğalması (e ⁻ alıcısı: NO ₂)	NO ₂ -N varlığında gerçekleşmektedir. Çoğalma hızı ifadesinde oksijen inhibisyon, NO ₂ -N doygunluk terimi yer almaktadır. PAO biyokütlesi, NO ₂ -N'i N ₂ -N'e dönüştürmektedir. Reaksiyon hızı toplam NO _x -N içeriğindeki NO ₂ -N oranı kadar yavaşlatılmaktadır.
27 PHA'daki, PAO'da depolanan polifosfat (xpp) içeriğinin depolanması (e ⁻ alıcısı: NO ₂)	PHA içeriği, NO ₂ -N e ⁻ alıcısı olarak kullanılarak PAO tarafından depolanmaktadır. Yalnızca NO ₂ -N'i N ₂ -N'e dönüşümü ele alınmıştır. Reaksiyon hızı toplam NO _x -N içeriğindeki NO ₂ -N oranı kadar yavaşlatılmaktadır.
28 PAO ölümü	Proses stokiyometrisi ve hız ifadesi ASM2d ile aynıdır ancak alkalinite doygunluk terimi ifadede yer almamaktadır.
29 XPP lizis (erimesi) prosesi	Proses stokiyometrisi ve hız ifadesi ASM2d ile aynıdır ancak alkalinite doygunluk terimi ifadede yer almamaktadır.
30 PHA lizis (erimesi) prosesi	Proses stokiyometrisi ve hız ifadesi ASM2d ile aynıdır ancak alkalinite doygunluk terimi ifadede yer almamaktadır.
Metilotroflarla ilgili prosesler	
31 Çoğalma (karbon kaynağı: metanol; e ⁻ alıcı: O ₂)	Heterotrofik çoğalmanın stokiyometrik ve kinetik özellikleri kullanılmaktadır. Proses hızı ifadesinde oksijen ve metanol doygunluk terimleri olarak yer almaktadır. Biyokütle çoğalma verimi metanol için karbondan oldukça düşüktür. Bu nedenle proses stokiyometrisinde değişik verim katsayısı kullanılmaktadır.
32 Çoğalma (karbon kaynağı: metanol; e ⁻ alıcı: NO ₃)	NO ₃ -N'i NO ₂ -N'e dönüşümü ele alınmıştır. Çoğalma hızı ifadesinde oksijen inhibisyon, NO ₃ -N doygunluk terimi yer almaktadır. Reaksiyon hızı toplam NO _x -N içeriğindeki NO ₃ -N oranı kadar yavaşlatılmaktadır.
33 Çoğalma (karbon kaynağı: metanol; e ⁻ alıcı: NO ₂)	Yalnızca NO ₂ -N'i N ₂ -N'e dönüşümü ele alınmıştır. Çoğalma hızı ifadesinde oksijen inhibisyon, NO ₂ -N doygunluk terimi yer almaktadır. Reaksiyon hızı toplam NO _x -N içeriğindeki NO ₂ -N oranı kadar yavaşlatılmaktadır.
34 Metilotrofların ölümü	Birinci dereceden reaksiyon hızı kullanılarak modellenmiştir.
Anaerobik mikroorganizmalarla ilgili prosesler	
35 Düşük H ₂ konsantrasyonunda fermentatif biyokütle çoğalması	Düşük H ₂ kısmi basıncında fermentatif biyokütle çoğalmasını modeller. Proses stokiyometrisi glikozun asetik asit, H ₂ ve CO ₂ 'ye dönüştürülmesini baz almaktadır. Proses hızı ifadesinde H ₂ inhibisyon terimi olarak yer almaktadır.
36 Yüksek H ₂ konsantrasyonunda fermentatif biyokütle çoğalması	Düşük H ₂ kısmi basıncında fermentatif biyokütle çoğalmasını modeller. Proses stokiyometrisi glikozun asetik asit, propiyonik asit, H ₂ ve CO ₂ 'ye dönüştürülmesini baz almaktadır. Proses hızı ifadesinde H ₂ doygunluk terimi olarak yer almaktadır.
37 Fermentatif biyokütle ölümü	Diğer biyokütle ölüm reaksiyonlarıyla aynı modellenmiştir.
38 Propiyonat tüketilerek Asetojen çoğalması	Proses hızı ifadesinde H ₂ inhibisyon, propiyonik asit doygunluk terimi olarak yer almaktadır.
39 Asetojen ölümü	Diğer biyokütle ölüm reaksiyonlarıyla aynı modellenmiştir.
40 Hidrojenotrofik metanojen çoğalması	H ₂ ve CO ₂ metana dönüştürülür. Proses hızı ifadesinde H ₂ doygunluk terimi olarak yer almaktadır.
41 Hidrojenotrofik metanojen ölümü	Diğer biyokütle ölüm reaksiyonlarıyla aynı modellenmiştir.
42 Asetoklastik metanojen çoğalması	Asetik asit metan ve CO ₂ 'ye dönüştürülmektedir. Proses hızı ifadesinde asetat doygunluk terimi olarak yer almaktadır.

Çizelge A.1 (devam): Mantis2 modelinde incelenen prosesler (Hydromantis, 2016)

Proses	Açıklama
43 Asetoklastik metanojen ölümü	Diğer biyokütle ölüm reaksiyonlarıyla aynı modellenmiştir.
Anaerobik ototrofik mikroorganizmalarla (Anammox) ilgili prosesler	
44 Anammox mikroorganizmalarının çoğalması	Proses hızı ifadesinde O_2 inhibisyon, NO_2-N ve NH_3-N doygunluk terimi olarak kullanılmaktadır.
45 Anammox mikroorganizmalarının ölümü	Birinci dereceden reaksiyon hızı kullanılarak modellenmiştir.
Kimyasal çökeltme prosesleri	
46 $CaCO_3$ çökmesi	Ortamda Ca^{2+} ve CO_3^{2-} iyonları bulunduğunda $CaCO_3$ çökmesi gözlenmektedir. Sistemdeki inorganik karbon ve pH değeri kullanılarak CO_3^{2-} konsantrasyonu hesaplanmaktadır.
47 $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ (strüvit) çökmesi	Strüvit çökmesi çürütücü süpernatantında gözlemlenmektedir. NH_4^+ ve PO_4^{3-} konsantrasyonları ortamdaki pH'a göre hesaplanmaktadır.
48 $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ (nevberit) çökmesi	Düşük pH'ta çürütücü süpernatantında nevberit çökmesi gözlemlenmektedir. HPO_4^{2-} konsantrasyonları ortamdaki pH'a göre hesaplanmaktadır.
49 $Ca_3(PO_4)_2$ (ACP) çökmesi	Çökeltiiler arasında en az kararlı olanıdır ve kısa sürede daha kararlı yapıya dönüşmektedir.
50 $MgCO_3$ (magnezit) çökmesi	Modele eklenen diğer bir magnezyum çökeltisidir.
51 $AlPO_4$ çökmesi	Fosforun metal tuzu olarak çökmesidir. Çökeltinin çözünübilirliği modele işlenmiştir.
52 $FePO_4$ çökmesi	Fosforun metal tuzu olarak çökmesidir. Çökeltinin çözünübilirliği modele işlenmiştir.
Gaz-sıvı transferi prosesleri	
53 CO_2 transferi	Proses karbondioksitin suya tutunması ya da sudan ayrılmasını tanımlamaktadır. Sudaki CO_2 konsantrasyonu pH ile bağlantılı olduğundan bu proses ortamdaki pH'a karşı oldukça hassastır.
54 N_2 transferi	Proses N_2 gazının suya tutunması ya da sudan ayrılmasını tanımlamaktadır.
55 CH_4 transferi	Proses metanın suya tutunması ya da sudan ayrılmasını tanımlamaktadır.
56 H_2 transferi	Proses hidrojenin suya tutunması ya da sudan ayrılmasını tanımlamaktadır.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Hazal Gülhan
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.01.1991 Ankara
E-posta : hazgulhan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Program

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Hereko Tarafından İşletilen İBB Kömürcüoda Mekanik-Biyolojik Atık Arıtma Tesisi Hakkında Rapor, Temmuz 2015
 - Dosu Maya Mayacılık A.Ş. Lüleburgaz Fabrikası Atıksu Arıtma Tesisi Performans Değerlendirme Raporu, Mart 2015
-