

ATIKSU ARITMA TESİSLERİ İÇİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE VE SERA ETKİSİNE GENEL BİR BAKIŞ

*Pelin YAPICIOĞLU**
*Özlem DEMİR**

Alınma: 18.04.2017; düzeltme: 04.12.2017; kabul: 25.12.2017

Öz: İklim değişikliği son yıllarda atıksu arıtma tesisleri için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri iklim değişikliğinin sonuçlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Aynı zamanda atıksu arıtma tesisleri, iklim değişikliğinin bir bileşeni olan sera etkisini oluşturan kaynaklardan birisi olarak görülmektedir. Atıksu arıtma tesisleri, küresel iklim değişikliğinden hem etkilenen hem de çevreyi olumsuz yönde etkileyen tesislerdir. Atıksu arıtma tesislerinde sera etkisi; uygulanan proseten, enerji tüketiminden, tesis içinde kullanılan kimyasallardan, çamur arıtımından ve bakım faaliyetlerinden oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde başlıca sera gazı emisyonları; karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitröz oksit (N₂O) emisyonlarıdır. İklim değişikliğinin sonuçlarından olan deniz seviyesi yükselmesi, sıcaklık, buzulların erimesi, sel ve taşkın arıtma tesislerinde olumsuz değişikliklere sebep olmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerini, atıksu arıtma tesislerinde azaltmak için biyomimikri esaslı yöntemler uygulanabilir. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması için inovatif arıtma teknikleri uygulanabilir. Mikroalgal sistemler bu uygulamaların başında yer alır. Bunun yanı sıra atıksu arıtımında nitrite bağımlı anaerobik metan oksidasyonu (n-damo) prosesi sera gazı azaltan tekniklerden biridir. Atıksu arıtımında biyoçar (biyokömür) uygulamasının sera gazını azaltan proseslerden biri olduğu söylenebilir. Bu çalışmada, bütünleşik olarak iklim değişikliğinin arıtma tesisleri üzerindeki etkileri ve arıtma tesislerinin sera etkisine katkısı araştırılmış, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik yapılan çalışmaların bir derlemesi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atıksu Arıtma Tesisleri İklim Değişikliği, Minimizasyon, Sera Etkisi.

An Overview of Climate Change and Greenhouse Effects for Wastewater Treatment Plants

Abstract: Climate change has been a serious threat to wastewater treatment plants in recent years. Waste water treatment plants are significantly affected by the consequences of climate change. It is also seen as one of the sources of the greenhouse effect, which is a component of climate change. Wastewater treatment plants are both a source of global climate change and facilities that fascinate the environment negatively. Greenhouse effect in wastewater treatment plants consists of process implemented, energy consumption, chemicals used in the plant, sludge treatment processes and maintenance activities. Major greenhouse gas emissions are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions in the wastewater treatment plants. Sea level rise, temperature, melting of glaciers, stream and flood that are the results of climate change cause negative changes for wastewater treatment plants. Biomimetic-based methods can be implemented to reduce the climate change effects at wastewater treatment plants. Innovative treatment techniques can be applied to reduce greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants. Microalgal systems are at the beginning of these applications. In addition, the nitrite-dependent anaerobic methane oxidation (n-damo) process in wastewater treatment is one of the techniques to minimize greenhouse gases. It can be said that biochar application in wastewater treatment is one of processes that reduce greenhouse gas. In this study, the climate change impacts on the treatment plants and the contribution of the treatment plants to the greenhouse effect has been investigated in an integrated form and a review of the studies for reducing greenhouse gas emissions has been revealed.

Keywords: Wastewater Treatment Plants, Climate Change, Greenhouse Effect, Minimization.

* Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Osmanbey Kampüsü 153 63000 Şanlıurfa
İletişim Yazarı: Pelin Yapıcıoğlu (pyapicioğlu@harran.edu.tr)

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, önümüzdeki on yılda kentsel atık su arıtma tesisleri için ciddi problemler oluşturacak ana faktörlerden birisidir (Tolkou ve Zouboulis, 2015). Hidrolojik döngü, iklim değişikliğinden çeşitli şekillerde etkilenmektedir. Yağış rejimleri değişmekte, buzullar erimekte, atmosferik su buharı ve buharlaşma artmaktadır (Trenberth, 2009). Değişen iklim koşulları atıksu arıtma tesisleri altyapıları ve uygulanan arıtma prosesleri için tehlike oluşturmaktadır (Zouboulis ve Tolkou, 2014). Sanayi devrimi ile başlayan fosil yakıtların yoğun kullanımı atmosferde yoğunluğu gittikçe artan sera gazları birikimine yol açmıştır. (T.C. ÇŞB, 2016). Sera gazı birikimine neden olan tesislerden biri de atıksu arıtma tesisleridir. IPCC (Uluslararası İklim Değişikliği Önleme) Direktifi'ne göre antropojenik faaliyetler, sera gazı emisyonlarının temel nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (IPCC, 2007). Atıksu arıtma tesisleri de bu antropojenik kaynaklardan biridir. İklim değişikliği arıtma tesislerini hem etkilemekte hem de arıtma tesisleri yaydıkları sera gazı emisyonlarıyla bu küresel çevre problemine neden olmaktadır.

Son yıllarda, atıksu arıtma tesisleri de sera etkisi yaratan minör kaynaklardan birisi olarak kabul edilmektedir. Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitröz oksit (N₂O) atıksu arıtma tesislerinde oluşan temel sera gazlarıdır. Atıksu arıtma tesislerinde temel sera gazı kaynakları; arıtma tesisindeki proses üniteleri (biyokimyasal reaksiyonlar, biyolojik reaksiyonlar, kimyasal reaksiyonlar vb.), tesisteki enerji tüketimi (havalandırma prosesi, elektrik tüketimi, yakıt kullanımı vb.), kimyasal kullanımı (çamur şartlandırma prosesi için ilave edilen kimyasallar (polielektrolitler, pıhtılaştırıcı ve yumaklaştırıcılar), nitrifikasyon ve denitrifikasyon için metanol ilavesi, alkaliniteyi sağlamak için kimyasal ilavesi, pH düzenlemek için kimyasal eklenmesi vb.), arıtma çamuru stabilizasyonu (insinerasyon, anaerobik çamur çürütme vb.) ve tesiste uygulanan planlı ve periyodik bakım-onarım faaliyetleridir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyon kaynaklarının ve miktarlarının belirlenmelidir. Bununla beraber, çıkış suyu kalitesine ve atıksu arıtımına olumsuz etki oluşturmada sera gazlarının miktarlarının azaltılması gerekmektedir (Kyung ve diğ., 2015).

Atıksu arıtma tesisleri hem iklim değişikliğinden olumsuz etkilenen tesisler arasında yer almakta hem de kendisi iklim değişikliğine katkı sağlayan sera gazı emisyonu üreten tesisler içinde bulunmaktadır. İklim değişikliği sonucunda oluşan ilginç hava olayları, kanalizasyon taşmaları ve taşkınlara sebep olur. Bu durumdan uygulanan arıtma prosesleri etkilenirken aynı zamanda süreç sonucu sera gazı emisyonu salımı gerçekleşir. Arıtma verimini etkilemeden sera gazı emisyonlarının azaltılması için yöntemler uygulanmalıdır. Bunlardan birisi proses seçimi ve değişikliğidir. Klasik arıtma yöntemlerinin yerini yenilikçi prosesler uygulamak sera etkisini azaltabilir. Mikroalg kullanılan teknolojiler (fotobiyoreaktörler, membran biyoreaktörler vb.) sadece atıksuyu arıtmaz aynı zamanda sera gazı oluşumunu da azaltır. Mikroalgler fotosentez yardımıyla atıksu içerisindeki CO₂'i kullanırlar ve CO₂ asimile ederler, bu sayede atmosfere daha az CO₂ salınmış olur. Bununla beraber büyümek için atıksu içerisindeki azotu kullanarak dolaylı olarak daha az N₂O oluşumunu sağlarlar. Diğer bir biyolojik sera gazı minimizasyon tekniği de biyolojik arıtmada fotosentetik bakteri kültürü kullanımudur. Sera gazını azaltma anaerobik sistemlerde de mümkündür (Ma ve diğ., 2017). Son zamanlarda kullanılan "n-damo" prosesiyle oluşacak CH₄ emisyonunu azaltmak mümkün olmaktadır (Ma ve diğ., 2017). Bir diğer yenilikçi arıtma metodu biyoçar uygulamasıdır. Biyoçar yapısı gereği bünyesinde uzun süre CO₂'i depolayabilir (Qambrania ve diğ., 2017). Ayrıca atıksu içerisindeki hava kirleticilerini absorplama özelliği de olduğu için sera gazı azaltıcı etkisi vardır. Bir diğer minimizasyon yöntemi, arıtma tesislerinin tasarımı sırasında bio-mimikri esasına dayanan sistemler kurmaktır. Bu teknik atıksu arıtma tesislerinde yaygınlaşırsa iklim değişikliğini etkilerini minimize etmek mümkün olacaktır (Aanuoluwapo ve Ohis, 2017) Ayrıca tesisteki enerji tüketimini azaltmak ve atıksu geri kazanım işlemleri uygulamak tesisin karbon ve su ayak izlerinin düşürülmesine olanak sağlayacaktır. Bununla birlikte hangi işletim koşulunda ne kadar sera gazı oluştuğunu bilmemiz, optimum işletme koşullarını belirlememize fırsat tanıyacak ve işletme koşullarının

değişimiyle (debi, KOI, sıcaklık, AKM vb.) minimum düzeyde sera gazı emisyonunun verilmesi söz konusu olacaktır (Gülhan, 2017).

Bu çalışmada atıksu arıtma tesisleri için iklim değişikliğinin etkileri araştırılmış, atıksu arıtma tesislerinde iklim değişikliğine sebep olan sera etkisi kaynakları, sera gazı emisyon miktarlarının tahmini ve minimizasyonu ile ilgili yapılan önceki çalışmalar incelenmiştir.

2. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

2.1. İklim Değişikliği

İklim değişikliği, global ölçekte karşılaşılan en ciddi problemlerden biridir. Özellikle sanayi devriminden sonra fosil yakıtların kullanılmaya başlanması, arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler, ormansızlaşma ve endüstriyel süreçler sonucunda atmosferde biriken sera gazları iklim değişikliğine yol açar. Sera gazları (karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs), kükürt heksaflorid (SF₆)), atmosferin kimyasal özelliklerini değiştirmekte uzun vadede sera etkisi nedeniyle küresel ısınmaya ve sonuç olarak iklim değişikliğine sebep olmaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012). Bunlarla birlikte, iklim değişikliğinden, su döngüsünün etkilenmesi sonucu atmosferik yağış rejimleri değişmekte, buzullar erimekte ve buharlaşma miktarı artmaktadır. İklim değişikliğinin bir diğer sonucu da aşırı sıcaklar ya da aşırı soğukların meydana gelmesidir.

2.2. İklim Değişikliğinin Atıksu Arıtma Tesisleri Üzerine Etkileri

Atıksu altyapısı ve temel iklim verileri dikkate alındığında; yağış, deniz seviyesi yükselmesi, fırtına dalgalanması, kar olaylarında yağmur oluşması, sel, aşırı sıcaklıklar (çok düşük ve çok yüksek), kar yağışı, rüzgâr hızı (aşırılıklar ve şiddet), donma ve buzlanma gibi iklim faktörlerinin bu tesisler için önemli olduğu tespit edilmiştir (KWL,2008).

Küresel ısınmayla birlikte sıcaklığın 2050 yılına kadar 2-5 °C arasında artması beklenmektedir. Bununla birlikte sıcaklık salınımları oluşmaktadır. Mevsimler birbirine karışmakta, doğanın iklimsel dengesi bozulmaktadır. Atıksu sıcaklığındaki mevsimlere bağlı değişimler deşarj edilen alıcı ortamdaki sucul ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir. Çıkış atıksuyu soğutularak alıcı ortama deşarj edilmelidir. Özellikle bazı endüstriyel atıksuların sıcaklıkları yüksek olduğu için enerji ve maliyet gerektiren soğutma işleminden geçirilmeden alıcı ortama deşarjı mevzuatla birlikte yasaklanmıştır. Kömür hazırlama, işleme ve enerji üretme tesisleri atıksuları ve biodizel tesisleri atıksuları bu endüstrilere verilebilecek en iyi örneklerdir. Deniz ortamının seyreltme kapasitesi ne olursa olsun, denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35°C yi aşamaz ve atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartlarında ise sıcaklık maksimum 40 °C olabilir (T.C. Resmi Gazete, 2004).

Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan proseslere göre tesislerin sıcaklıklardan etkilenme seviyeleri değişir. Biyolojik prosesler uygulanan arıtma tesisleri iklimin en çok etkilediği tesislerin başında yer almaktadır. Özellikle doğal arıtmanın uygulandığı mekanik olmayan sistemlerde sıcaklık belirleyici bir rol oynamaktadır. Ilıman iklimlerde bulunan arıtma tesislerinde alan ihtiyacı azalır ve kirlilik giderme verimi artar. Biyolojik arıtmanın uygulandığı tesislerde biyolojik reaksiyon hızı sıcaklıkla değişmektedir. Sıcaklıklarda ani değişimler reaksiyona inhibe edici etki yaratır. Sıcaklık değişimlerinin biyolojik tesisler için bir diğer önemi de arıtmada rol oynayan bakteriyel popülasyonun sıcaklığa karşı duyarlı olmaları ve yaşayabilmeleri için belli bir sıcaklık aralığının oluşması gerekliliğidir. Biyolojik sistemlerden en yaygın kullanılanı aktif çamur sistemleridir. Plósz ve diğ. (2009) Norveç'te aktif çamur prosesi uygulanan bir atıksu arıtma tesisi için sert kış koşullarının proses üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kış boyunca debinin sürekli arttığını ve giriş atıksu sıcaklığının -1,5 °C olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucu kış koşullarında artan atıksu debisinin ve düşük giriş atıksu sıcaklığının proses üzerine olumsuz etkileri olduğunu savunmaktadırlar. İncelenen altı yıllık süreçte, biyolojik azot giderme ve ikincil süreçlerinin, iklim faktörlerinden

önemli ölçüde etkilendiği gösterilmiştir (Plósz ve diğ., 2009). Minör sıcaklık değişiklikleri bile biyolojik reaksiyonlar üzerinde önemli etkilere neden olabilir. Borularda korozyon oluşması biyolojik tesislerde sıcaklığın bir etkisi olarak görülmektedir (Danas ve diğ., 2012). Sıcaklık, tesis tasarımında dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden biridir. Arıtma tesislerinde uygulanacak prosese karar verilirken tesisin yer aldığı iklim kuşağı göz önünde bulundurulmalıdır. Anaerobik arıtma uygulayabilmek için tesisin sıcak iklim bölgesinde inşa edilmesi gerekir. Buna karşın stabilizasyon havuzları kullanılmak isteniyorsa daha düşük sıcaklıktaki bölgeler tercih edilmelidir (Tolkou ve Zouboulis, 2015). Aktif çamur ve aerobik biyofilm reaktörleri gibi diğer işlemler, daha yüksek teknolojik yapı ve mekanik sistem içerdiği için sıcaklığa daha az bağımlıdır (Von Sperling ve Lemos Chernicharo, 2005).

Yükselen deniz seviyesi ve taşkınlar yüzünden günümüzde birçok yapı tehdit altındadır. Sular altında kalan atıksu arıtma tesisleri patojen maddeler ve mikroorganizmalar içerdiği için çevre için ciddi bir sağlık tehdidi oluşturmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri yapısal bir hasar gördüyse tesis dengeye gelene kadar arıtılmamış atıkları çevreye salmaya devam eder. Sel; atıksu arıtma tesisleri için hem maddi zarar oluştururken hem de halk sağlığını tehdit eden bir felakettir. Yağış rejimindeki düzensizlikler ve aşırı yağışlar taşkınlara neden olmaktadır. Deniz seviyesi yükselmesi ise kıyı şeridinde bulunan arıtma tesisleri için önemli bir iklim değişikliği etkisidir. Sular altında kalan veya deniz suyuyla temas eden atıksu arıtma tesislerinin hem sucul ekosisteme hem de çevrede yaşayan canlılar için çeşitli negatif etkileri bulunmaktadır. Deniz seviyesi yükselmesi ve sel felaketlerin atıksu arıtma tesisleri üzerindeki etkileri ise; fırtınalar sırasında oluşan kuvvetli dalgaların atık borular için çok zararlı olabilmesi, kıyı bölgede inşa edilen atıksu arıtma tesislerinin nehir taşkınlarından ve deniz suyu seviyesi yükselmesinden etkilenmesi, deniz seviyesinin 2050'ye kadar yükselmesi ve bunun sonucunda arıtma tesislerinin bulunduğu çoğu sahil şeridinin yok olacağı öngörülmesi ve sel nedeniyle artan su seviyesinin daha çok pompaj ve enerji ihtiyacı doğurması olarak özetlenebilir (Danas ve diğ., 2012). Blumenau ve ekibi 18 sahil şeridinde yer alan atıksu arıtma tesisi için deniz suyu yükselmesinin arıtma tesisleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Analiz yaptıkları ve bilgi topladıkları bu 18 tesis için risk haritası çıkarmışlardır. Uyguladıkları metod geliştirilmiş risk ve etki analizi (FMEA) tekniğidir. Tesislerden 3 tanesinin kırmızı bölgede (en yüksek riskli), 7 tesis için turuncu bölgede (orta riskli), 3 tanesinin yeşil bölgede (düşük riskli) ve 5 kalan tesis içinse beyaz bölgede (risk yok denecek kadar az) olduğunu tespit etmişlerdir (Blumenau ve diğ., 2011). Fırtına yoğunluğunun artması, su kaynakları üzerinde olumsuz etkilere neden olacaktır. Daha yoğun tropikal fırtınalar altyapıya zarar verebilir çünkü kirleticilerin doğrudan suyollarına girmesine ve su kaynaklarını kirletmesine neden olur (EPA, 2012).

Atıksu arıtma tesislerinde iklim değişikliğini etkilerini azaltmak için, tasarım, optimizasyon ve gerçek zamanlı otomasyon ve proses kontrol şemalarında kullanılmak üzere süreç modellerinin uyarlanması ve optimizasyonu yapılabilir. Bununla birlikte etkileri minimize etmek için risk analizleri uygulanmalı ve acil eylem planları oluşturulmalıdır.

2.3. İklim Değişikliğinin Arıtma Prosesleri Bazında Etkisi

İklim değişikliğinin arıtma prosesleri üzerindeki etkisi kaçınılmazdır. İklim değişikliğinden etkilenen atıksu arıtma tesislerinde uygulanan temel prosesler, tablo halinde aşağıda verilmektedir (Tablo 1).

3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİ KAYNAKLI SERA ETKİSİ

Atıksu arıtma tesislerinin sayısı; halk sağlığını ve çevreyi korumak amacıyla her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda atıksu arıtma tesislerinin çevresel etkileri ve bu etkilerin kaynakları belirlenmelidir. Atıksu arıtma tesisleri; iklim değişikliğinden olumsuz bir şekilde etkilenirken aynı zamanda iklim değişikliğine zemin yaratmaktadır. Küresel ısınmanın en önemli bileşeni sera etkisi olarak adlandırılan atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artmasıdır. Sera gazları emisyon kaynaklarından biri olan atıksu arıtma tesislerinde sera etkisinin değerlendirilmesi gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 1. Arıtma Prosesleri Bazında İklim Değişikliği Etkileri (Cromwell ve diğ., 2007)

Arıtma Prosesi	İklim Değişikliği Etkileri
Çökeltme	Sıcak atıksu bakteriyel reaksiyon hızını artırarak çökelen çamurun yoğunluğunun düşmesine neden olur. Giriş atıksu yoğunluğu daha fazla olacağı için deneysel çalışmaların artırılması gerekmektedir
Havalandırma	Sıcak atıksuyun biyolojik havalandırılması biyolojik oksijen ihtiyacının artmasına neden olur. Sistem sıcaklık arttıkça, stabil işletme koşullarından uzaklaşır. Yüksek sıcaklıklarda işletilen aktif çamur sistemleri nitfikasyonu desteklemektedir.
Atık Çamurun İşlenmesi	Etkin ve verimli çamur stabilizasyonu için çamur suyunun alınıp yoğunlaştırılması gerekir. Atıksuyun sıcaklığı arttıkça çökelen atık çamurun yoğunluğu azalır.
Stabilizasyon Havuzları	Bu arıtma prosesi uygulanmak isteniyorsa daha düşük sıcaklıklarda uygulanması gerekir. Kötü koku oluşumuna neden olmaktadır.
Klorlama	Dezenfeksiyonun gerçekleşmesi için uygulanan dezenfektana göre sıcaklık aralığının belli bir düzeyde tutulması gerekir. Ani sıcaklık değişimleri dezenfeksiyonun verimini olumsuz yönde etkilemektedir.

3.1. Sera Etkisi

Atmosfer, birçok gazın karışımından ve su buharından meydana gelen karmaşık bir sistemdir. Atmosferin %78.08'i azot, %20.95'i oksijen, %0.93'ü argon ve diğer gazlardan oluşmaktadır. Su buharı da mevsimlere ve bulunulan yere göre değişiklik göstermesine karşın atmosferin önemli bir parçasıdır. Diğer gaz bileşenleri (karbondioksit, neon, kripton, helyum, hidrojen, ksenon, ozon) ise atmosferde daha düşük oranlarda bulunur. Bu gazların özelliği, gelen güneş ışınlarına karşı geçirgen olmasıdır. Güneşten dünyaya ulaşan ışınların bir bölümü aynı zamanda, dünya yüzeyi tarafından uzaya geri yansıtılır. Ancak, atmosferdeki su buharı, karbondioksit, metan, diazotmonoksit ve kloroflorokarbonlar gibi sera gazları tarafından bu yansımanın bir kısmı önlenir. Sera gazları, ışınları tutarak adeta dünyayı kuşatan bir battaniye gibi enerjinin gezegenin yüzeyinden ve atmosferden kaçışını engellemektedir. Bu gaz molekülleri tutulan ışınları yeniden dünyaya yansıtır. Bu yeniden yansımanın sonucu olarak da yeryüzü daha fazla ısınır. Bu olaya sera gibi davranış göstermesinden ötürü sera etkisi adı verilmektedir (Yamanoğlu, 2006).

İnsan kaynaklı sera gazları çoğunlukla fosil yakıtların yanmasından, endüstriyel faaliyetlerden, ulaşımdan, enerji üretiminden, atıkların bertarafından ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. CO₂, atmosferde biriken en önemli sera gazlarından biri olarak iklim değişikliğine sebep olmaktadır. CO₂'in dışında, metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) ve kükürt Heksaflorid (SF₆) Kyoto Protokolünde yer alan diğer sera gazlarını oluşturmaktadır (Özsoy, 2014). Atıksu arıtma tesisleri de sera gazı üreten kaynaklardan biri olarak kabul edilmektedir.

3.2. Atıksu Arıtma Tesislerinde Sera Etkisi ve Sera Gazı Emisyonları

Atıksu arıtma tesisleri, sera gazı emisyon kaynaklarından biri olarak iklim değişikliğinde rol oynar. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları, IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanteri Rehberi'ne göre Atık Sektörü grubunda raporlanmaktadır (IPCC, 2006).

Enerji tüketimi, tesiste uygulanan kimyasal ve biyolojik prosesler ve çamur arıtımı CO_2 , CH_4 ve N_2O sera gazlarının salımına neden olur. Atıksu arıtma tesislerinden yayılan temel sera gazları N_2O , CH_4 ve CO_2 'dir. Bu gazların sırasıyla küresel ısınma potansiyelleri 265, 28 ve 1'dir (Myhre, 2013). Küresel ısınma potansiyeli nispeten düşük olmasına rağmen CO_2 gazı yüksek konsantrasyonlarda salındığı için iklim değişikliğine etkisi daha yüksek olmaktadır. CO_2 üretiminin miktarı esasen, arıtma ünitelerindeki enerji tüketimine dayalı olarak değerlendirilebilir. Bunun yanısıra organik maddelerin oksidasyonundan ve aerobik arıtmalarda bakteri solunumundan oluşmaktadır. Diğer yandan, CH_4 ve N_2O atıksu arıtma tesislerinde her ünitesinde doğrudan yayılmaktadır ve bunların emisyonları arazi çalışmalarına bağlı olarak değerlendirilmelidir. CH_4 gazı atıksuların anaerobik arıtımı sonucunda ortaya çıkar. Bunun yanı sıra, aerobik aktif çamur sistemlerinde atık aktif çamurdaki metanojenlerin varlığı da metanın atıksu arıtma tesisinde üretildiğini göstermektedir. Arıtma çamurlarının insinerasyonu ve azotlu maddelerin atıksudan giderimi N_2O oluşum mekanizmalarıdır. Atıksulardan azot denitrifikasyon ve nitrifikasyon prosesiyle N_2 gazı olarak uzaklaştırılır (Metcalf ve Eddy, 2003). Bu gaz atmosferdeki oksijenle birleşerek nitroz oksit (N_2O) isimli sera gazını meydana getirir.

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

3.3. Arıtma Prosesleri Bazında Sera Etkisi Değerlendirmesi

Organik maddelerin metanojenler tarafından anaerobik parçalanması sonucunda CH_4 ve CO_2 oluşur. Bu nedenle anaerobik arıtma prosesleri önemli bir sera gazı emisyon kaynağı olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, aerobik proseslerde de metan oluşumu mümkündür. CH_4 'ün özellikle arıtma tesislerinde kum tutucu ve/veya havalandırma havuzunun ilk kademesinde yayıldığı söylenebilir (Czepiel ve ark., 1993).

Ayrıca, anaerobik arıtım prosesleri biyogazın enerjiye dönüştürülmesi yönünden sera gazı azaltma potansiyeline de sahiptir (Das, 2011).

Aerobik arıtma prosesleri; aktif çamur prosesleri, damlatmalı filtreler ve dönen biyolojik diskler gibi prosesleri kapsar. Bu arıtma proseslerinde organik maddelerin aerobik mikroorganizmalar tarafından parçalanması için havalandırma gereklidir. Yüksek enerji ihtiyacından dolayı bu prosesler daha yüksek sera gazı emisyonlarının oluşumuna yol açarlar (Bani Shahabadi ve diğ., 2009). Aerobik arıtma ile organik madde biyolojik olarak parçalandığında organik madde içindeki karbon, CO_2 'e dönüştürülür (Das, 2011). Bu aerobik biyolojik reaksiyon sera etkisi yaratmaktadır.

A^2O , Bardenpho gibi (Anaerobik-Anoksik-Oksik) gibi nütriye giderimi uygulanan ileri arıtma proseslerinde, aerobik tanktan yayılan N_2O 'nun çoğunun nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinden üretildiği görülmektedir (Toyoda ve ark., 2011).

3.4. Atıksu Arıtma Tesislerinde Sera Etkisi Tahmini ve Minimizasyonu

İklim değişikliğinin etkilerini her alanda ve tesiste saptamaya çalışan bilim insanları arıtma tesislerini de sera etkisi kaynağı olarak görüp konuyla ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera etkisi değerlendirme için yapılan çalışmalar, matematiksel model kullanılan çalışmalar (dinamik model, kararlı-denge proses modeli ve ikisinin entegrasyonu), matematiksel model kullanılan ve ölçüm yapılan çalışmalar ve matematiksel model ve yazılım kullanılan çalışmalar olarak sınıflandırılabilir. Yapılan önceki değerlendirmeler sera gazı emisyon tahminlerini, hesaplamalarını ve emisyon minimizasyon

çalışmalarını kapsamaktadır. Uluslararası literatürde; atıksu arıtma tesisi kaynaklı sera gazı emisyonlarının miktarlarının belirlenmesine ve minimizasyonuna yönelik birçok çalışma mevcuttur. Ülkemizde ise atıksu arıtma tesisinde kaynaklanan sera gazı değerlendirmesine dair yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır (T.C. ÇŞB, 2016).

3.4.1. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde atıksu arıtma tesislerinde sera gazı değerlendirmesi çalışmaları, genel anlamda IPCC metoduna ve GPS-X Simülasyon Modeline dayanmaktadır.

2013 yılında yapılan bir tez çalışmasında, gıda fabrikasına ait endüstriyel bir atıksu arıtma tesisi için sera gazı envanteri oluşturulmuştur. Sera gazı hesaplamada, sera gazı datalarının sera gazı faktörleri ile çarpımı metodu seçilmiştir. Bu yöntemle göre toplanan veriler bir hesaplama programına geçirilerek sera gazı emisyonları belirlenebilmektedir. Bu hesaplama araçları, Sera Gazı Protokolü tarafından “sabit yanma aracı”, “satın alınan elektrik aracı” ve “taşıma aracı” olarak tanımlanmıştır. “Sabit yanma aracı”; fosil yakıtların kullanımından oluşan doğrudan sera gazı miktarlarının hesaplandığı programlama aracıdır. “Satın alınan elektrik aracı”, tesisdeki ünitelerin ve cihazların elektrik kullanımından doğan dolaylı sera gazı emisyonlarına ve “taşıma aracı” ise atıksu arıtımı için gerekli kimyasal maddelerin transportundan kaynaklanan diğer dolaylı sera gazı emisyonlarına aittir. Çalışma sonuçlarına göre doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonları sırasıyla 2178,35 ton/yıl (fosil yakıtlardan) ve 903,37 ton/yıl (elektrik kullanımından) ‘dır (Külah, 2013). 2015 yılında yapılan bir diğer çalışmada, çevresel tesislerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanmasını konu alan bir tez çalışması gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada atık depolama tesis, kompost tesisi, biyometanizasyon tesisi, anaerobik stabilizasyon havuzu, biyolojik atıksu arıtma tesisi (aktif çamur prosesi) ve ileri atıksu arıtma tesislerinde oluşan CH₄ ve N₂O sera gazı emisyonları karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır (Erdoğan, 2015). IPCC Ulusal Sera Gazı Envanteri Kılavuzuna göre sera gazı hesaplaması yapılmıştır. Atıksu arıtma senaryolarında ise; anaerobik stabilizasyon havuzunda arıtımın sera gazı emisyonlarının diğer senaryolardan daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. Atıksu arıtım senaryoları içinde en az sera gazı emisyonunun olduğu proses ise ileri atıksu arıtımıdır. Biyolojik atıksu arıtma tesislerinde ise metan gazına ait sera gazı emisyonunun, iyi işletilmeyen ya da organik yüklemenin yüksek olduğu tesislerde fazla olduğu gözlenmiştir (Erdoğan, 2015). Evsel atıksu arıtma tesislerinden oluşan sera gazı tahmini çalışması Hazal Gülhan tarafından 2017 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada evsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyonu araştırılmış, Ambarlı, Ataköy, Büyükçekmece, Çanta, Paşaköy, Selimpaşa, Silivri, Tuzla (1) ve Tuzla (2) ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri için sera gazı tahmini yapılmıştır. IPCC (2006) Ulusal Emisyon Envanteri Rehberi’ne göre emisyon tahmini ve GPS-X Simülasyon Modeli ile emisyon miktarı tahmini karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir (Gülhan, 2017). IPCC (2006) Rehberine göre, 9 ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinin toplam N₂O ve CH₄ emisyon miktarları sırasıyla 6.779 ve 218.593 tCO₂eşd/yıl olup toplam sera gazı emisyon miktarı ise 225.372 tCO₂eşd/yıl’dır. GPS-X modeliyle hesaplanan toplam N₂O ve CH₄ emisyon potansiyelleri sırasıyla 690.114 ve 37.429 tCO₂ eşd/yıl, toplam sera gazı emisyonu ise 687.357 tCO₂eşd/yıl’dır. Çalışmada her iki metotla hesaplanan sonuçlar literatür verileriyle kıyaslandığında, sonuçların gerçeğe yakın olduğu görülmektedir. IPCC (2006) Rehberine göre ileri biyolojik arıtma tesislerinden kaynaklanan CH₄ gazı emisyonu miktarı, GPS-X modeli ile hesaplanan değerden daha yüksektir.

Gerçekleştirilen tez çalışmaları, CH₄ emisyonlarının N₂O emisyonlarından daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca direkt emisyonlar, dolaylı emisyonlardan daha fazla olmaktadır.

3.4.2. Matematiksel Model Kullanarak Sera Gazı Tahmini

Atıksu arıtma tesislerinde sera gazı emisyonlarının matematiksel modellenmesi, işletme koşulları, debi, izin verilen deşarj konsantrasyonları gibi tesis özellikleriyle emisyon faktörlerinin ilişkilendirilmesiyle oluşur. Matematiksel modelleme ile yapılan çalışmalar 2 ana

yaklaşım üzerine kurulmuştur. Bu yaklaşımlar; dinamik mekanizmalı karşılaştırmalı model ve kararlı-denge modelidir (Mannina ve diğ., 2016).

Dinamik mekanistik modeller kullanılan çalışmaların temeli atıksu arıtma tesislerinde uygulanan proses tabanlı modellemelere dayanır. Hiatt ve Grady (2008) tarafından azot giderimli aktif çamur sistemi için Activated Sludge Models for Nitrogen (ASMN) modeli önerilmiştir. Yaptıkları çalışmada, Ratkowsky eşitliğini (Ratkowsky ve diğ., 1983) kullanarak, N₂O tahmini gerçekleştirmişlerdir. Nitrifikasyondan kaynaklanan N₂O sera gazı emisyonunu tahmin etmek için BSM2 modeli Mampaey ve arkadaşları tarafından 2013 yılında geliştirilip yayınlandı. Guisasaola ve arkadaşları (2009) bir adım öteye giderek modele CH₄ emisyonunu modellemeye dahil etmiştir. Bu modeli kullanarak Porro ve arkadaşları 2011 yılında sera gazı tahmininde bulunmuşlardır. CH₄ emisyonun toplam emisyonun %8'ini, N₂O emisyonunun ise % 25'ini oluşturduğunu bulmuşlardır. Ni ve ark. (2011) ardışık kesikli reaktör için Psödomekanistik dinamik model aracılığıyla, N₂O emisyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir. Giderilen azotun % 0,1-25'inin N₂O olarak salındığı tespit edilmiştir. Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonunun, yüksek sera gazı emisyonuna sebep olduğu görülmüştür. Flores-Alsina ve diğ. (2014) BSM2G dinamik modeli kullanarak, Ludzack-Ettinger prosesli aktif çamur sistemi için, Askıda Katı Madde (AKM) ve Çözünmüş Oksijen (ÇO) parametrelerinde değişiklik sağlayıp sera gazı minimizasyonu hedeflemişlerdir. Yapılan çalışma sonucuna göre, %66 AKM giderim verimiyle havalandırmadan kaynaklanan CO₂ emisyonunda azalma olduğu gözlemlenmiştir. Anaerobik çürütücüde enerji geri kazanımı olması durumunda ve düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonunda, N₂O emisyonun arttığı tespit edilmiştir. Sweetapple ve diğ. (2014) BSM2e dinamik modeli kullanarak, sera gazı emisyonu üretiminde (CO₂, CH₄ ve N₂O) optimizasyon çalışması yapmışlardır. Çıkış suyunda azot konsantrasyonu arttığında, sera gazı emisyonunda bir düşüş sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere, dinamik modelleme; sıklıkla N₂O sera gazı tahmininde başvurulan bir yaklaşımdır.

Kararlı-Denge proses modeli atıksu arıtma tesisinde uygulanan prosesin, sera gazı emisyonu ile ilişkilendirilmesiyle ortaya çıkan modelledir. Literatürde bu konuyla ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Gori ve diğ. (2011) Ludzack-Ettinger prosesi uygulanan bir atıksu arıtma tesisi için KOI fraksiyonundan karbon ve enerji ayak izi modellemesi yapmışlardır. Çözünür KOI ve Toplam KOI arasındaki oran arttıkça, havalandırma tankındaki enerji gereksinimi artmış bu da CO₂ emisyonun artmasına sebep olmuştur (Gori ve diğ., 2011). 2013 yılında yaptıkları bir diğer çalışmada ise ASM3 ve ADM1 proses modellemeleri kullanarak, iki gerçek ölçekli tesis için CO₂ emisyonu tahmini yapmışlardır. Ön çökeltim prosesinin biyogaz üretimini arttırdığı ve CO₂ emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir (Gori ve diğ., 2013). Aynı prosese ait bir diğer çalışmada ise Prendez ve Lara-Gonzalez (2008) kararlı-denge proses modeli kullanarak; toplam sera gazı emisyonu hesaplamışlardır. 2027 yılı CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonu tahminleri 6 arıtım senaryosu için uygulanmıştır. Çalışmaya göre, 2027 yılında, biyogaz geri kazanımıyla toplam sera gazı emisyonunun, 65 Tg CO₂e/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Rodriguez-Garcia ve diğ. (2012), Ludzack-Ettinger prosesli gerçek ölçekli bir tesis için "Direkt Emisyon Tahmini Yöntemi" uygulayarak, biyolojik prosten kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu belirlemişlerdir. ASM1 ve Activated Sludge/Anaerobic Digestion modelleri kullanmışlardır. Direkt N₂O emisyonu, elektrik tüketimiyle ilişkilendirilmiştir. Her iki çalışmada da bu proses için biyogaz geri kazanımı olduğunda sera gazı emisyonunun düşürüleceği kanıtlanmıştır. Bani Shahabadi ve diğ. (2009), kütle dengesi ve kinetik model kullanarak arıtma tesislerinde oluşan sera gazı emisyon miktarlarına proses tasarımının etkisini araştırmışlardır. Biyolojik prosten kaynaklanan direkt sera gazı emisyonu en yüksek hibrit reaktörde olup bu değer, 2035 kg CO₂e/gün, en düşük ise anaerobik reaktöre ait olup değer 1702 kgCO₂e/gündür. Biyolojik reaksiyondan kaynaklı dolaylı sera gazı emisyonu (SGE) değeri ise en yüksek anaerobik reaktöre ait olup 844 kgCO₂e/gün en düşük değer ise 475 kgCO₂e/gün olup hibrit sisteme aittir. Enerji ihtiyacı karşılamak için oluşan sera gazı değerinde biyogaz geri

kazanımı olursa hiç sera gazı oluşmadığı, biyogaz geri kazanımı olmadan en yüksek değer hibrit reaktöre en düşük değer aerobik reaktöre aittir. Biyogaz geri kazanımı olmadan en yüksek toplam sera gazı değerine sahip olan sistem 7640 kgCO₂e/gün ile hibrit sistem, 3265 kgCO₂e/gün ile en düşük toplam SGE sahip sistem aerobik arıtmadır. Aerobik arıtma sisteminde; nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi en yüksek direkt SGE değeridir (1759 kgCO₂e/gün); en düşük ise denitrifikasyon olmadan nitrifikasyon prosesidir. (1614 kgCO₂e/gün) Dolaylı SGE ise en yüksek değer nitrifikasyon olmadan ki değer yani 853 kg CO₂e/gün, en düşük değer ise 777 kg CO₂e/gün ile denitrifikasyon olmadan nitrifikasyon ve metanol kullanılarak olan nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesidir. Bu çalışma matematiksel model kullanılan çalışmalara örnek teşkil etmektedir. Rodriguez-Garcia ve diğ., (2012)'nin yaptığı çalışmanın ana amacı, atıksu arıtma tesisinden gelen CO₂ ve N₂O emisyonlarının tahminini yapmaktır. İspanya'daki Atıksu Arıtma Tesisi'ndeki uygulaması doğrudan N₂O emisyonlarının, elektrik kullanımından kaynaklanan emisyonlardan 8 kat daha fazla olduğunu ve CO₂ emisyonlarının ise elektrik kullanımından kaynaklanan emisyon miktarına yakın olabileceğini göstermiştir.

Ashrafi 2012 yılında kağıt endüstrisi atıksuları için aerobik, anaerobik ve hibrit sistemler oluşturup sera etkisi tahmininde bulunmuştur. Aerobik, anaerobik ve hibrit sistemler için sırasıyla sera gazı emisyon tahminlerinin 1.576, 3.026, ve 3.271 kg CO₂ eşd/kg BOİ olduğunu bulmuştur. Literatür sabitlerinden ve matematiksel modellerden faydalanılarak hesaplama yapılmıştır (Ashrafi, 2012).Diğer bir çalışmasında ise 2013 yılında kağıt endüstrisi atıksu arıtma tesisi için sera gazı emisyonlarının tahmininde matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Kararlı hal ve dinamik modeller yardımıyla kütle ve enerji dengesi kurulmuştur ve işletim koşullarının değiştirilmesi sonucunda sera gazı üretiminde önemli değişiklikler gözlenmiştir. Çalışmada, aerobik, anaerobik ve hibrit-anaerobik/aerobik biyolojik prosesler ana arıtma prosesleri olarak tanımlanmıştır. Buna ilave olarak, çamur arıtımında anaerobik çürütme, nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri, kimyasal koagülasyon/flokülasyon prosesleri, kalıntı BOİ ve askıda katı madde parametreleri sisteme dâhil edilmiştir. Üretilen biyogazın geri kazanıldığı ve arıtma tesisi için bir enerji kaynağı olarak kullanıldığı kabul edilmiş, gereken toplam enerji değerini düşürerek sera gazı emisyonunun azaltılmasına çalışılmıştır. CO₂, CH₄, ve N₂O üretilen sera gazları kabul edilmiştir. Reaktör sıcaklığı, katı alıkonma süresi, ön çökeltim akış hızı ve BOİ konsantrasyonunu içeren işletim parametreleri göz önünde bulundurularak; sera gazı emisyonu ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik stratejiler araştırılmıştır (Ashrafi ve diğ., 2013).

Kararlı denge modeli uygulanan bu çalışmalar, her üç sera gazını da ölçümlemeye olanak sağlamıştır. Hibrit biyolojik sistemlerde en yüksek sera gazı salımı hibrit reaktörlerden kaynaklanmaktadır.

3.4.3. Matematiksel Model ve Yazılım Kullanarak Sera Gazı Emisyon Tahmini

Ticari yazılımlar; sera gazı emisyonlarının tahmininde sıklıkla başvurulan bir yöntem olup, validasyon sağladığı için daha çok uygulanmaktadır. Kullanılan başlıca ticari yazılımlar, GAMS, WEST, STEADY, Biowin'dir Monte Carlo simülasyonu ve DEA modeli çoğunlukla kullanılan modellerdir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016). Molinos-Senantea ve diğ., (2014), "Atıksu Arıtma Tesislerinin Ekonomik ve Çevresel Performansı" ve "Sera gazı emisyonlarında potansiyel indirgeme" konuları üzerine çalışmışlardır. Kyung ve diğ.(2015)'nin yaptığı çalışmada ise, Hibrit 5 fazlı Bardenpho Prosesli atıksu arıtma tesisinde oluşan sera gazı emisyonu tahmini yapılmıştır. Kyung ve diğ., (2015)'nin yaptığı çalışmada atıksu arıtma tesislerinden üretilen sera gazı emisyonlarını tahmin etmek için bir model geliştirilmiştir. Bu model, 200 mg/L BOİ' ye sahip giriş suyunu arıtan 5500 m³/gün kapasiteli 5 Basamaklı Bardenpho Prosesi'ne uygulanmıştır. Atıksu arıtma tesisinden gelen sera gazı emisyonlarının potansiyel değişimini tahmin etmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Sistemdeki yerinde (direkt) sera gazı emisyonları kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak 8265±678 kgCO₂-eşd/gün olarak tahmin edilmiştir. Bu çalışmaya göre, yerinde sera gazı emisyonlarının en önemli kaynağı ilk havalandırma tankıdır ve bu gazlar çözülmüş ve toplanmış sera gazlarının

salınımından kaynaklanmaktadır. Elektrik tüketimi, kimyasal üretim ve taşıma gibi dolaylı sera gazı emisyonları 4591 ± 576 kgCO₂-eşd /gün olarak tahmin edilmiştir. Dolaylı sera gazı emisyonlarının birincil kaynağı kimyasalların dolaylı üretimidir. Biyogazın geri kazanılması ve elektrik olarak yeniden kullanılması tüm sera gazı emisyonlarını azaltmıştır. Yeni geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalardan elde edilenden 2,83-4,24 kat daha büyüktür (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016).

Ticari yazılımlar, ekonomik olmaması sebebiyle çok ilgi görmemektedir. Yapılan çalışmalardan ileri arıtma teknolojileri için en uygun sera gazı belirleme yöntemi olduğu aşikardır. Yapılan çalışmalardan, havalandırma havuzlarının temel sera gazı kaynağı olabileceği gösterilmiştir.

3.4.4. Matematiksel Model Kullanılan ve Ölçüm Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde incelenen çalışmalar, matematiksel bir model yardımıyla, sera gazı ölçümü ve analizi gerçekleştirilerek hesaplanan sera gazı emisyonlarını kapsamaktadır. Sera gazı emisyonu ile ilgili yapılan bazı çalışmaları başka bir grupta sınıflandıracak olursak, gaz örnekleme yapıp ölçülen gaz konsantrasyon değeriyle basit eşitlikler kullanılarak sera gazı emisyon tahmininde bulunan çalışmaları bu gruba dahil edebiliriz. Ampirik yöntemlerin ağırlıklı olduğu çalışmalarda gaz kromatografi cihazı ve mikrosensörler yardımıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir. Masuda ve diğ. (2015)'nin yaptığı çalışmada (2015), gerçek ölçekli bir atıksu arıtma tesisindeki mevsimsel sera gazı emisyon değişimi gözlemlenmiştir. Sera gazlarının mevsimsel değişimi ve atıksu arıtma tesislerinin ana emisyon kaynakları araştırılmıştır. Arıtılmış atıksuyun emisyon katsayısı $291 \text{ gCO}_2/\text{m}^3$ 'tür. Sera gazı ana kaynağı elektrik tüketiminden gelen CO₂, çamur yakma prosesinden gelen nitroz oksit ve atıksu arıtma ünitesinden gelen metandır. Bu kaynaklar toplam sera gazı emisyonlarının sırası ile % 43,4, % 41,7 ve % 8,3'ünü oluşturmaktadır. Havalandırma tankı, bütün ünitelerden gelen metan emisyonlarının ana kaynağıdır. Metanın hemen hemen tamamı havalandırma tankından yayılmaktadır ve bu da toplam gaz metan emisyonunun % 86,4'ünü oluşturmaktadır. Bununla birlikte, metanın % 18,4'ü atıksu hattından, % 15,4'ü ön çökeltim tankından ve % 60'ı havalandırma tankından üretilmiştir. Rodriguez-Caballero ve diğ., (2014) ise bir biyolojik atıksu arıtma tesisi için sera gazı emisyonu tetikleyen proses koşulları değerlendirmişlerdir. Rodriguez-Caballero ve diğ. (2014)'nin yaptığı çalışmada, tam ölçekli evsel bir atıksu arıtma tesisindeki tapa akışlı biyoreaktörün, CH₄ ve N₂O emisyonları 10 haftalık bir periyot boyunca izlenmiştir. Genellikle, CH₄ ve N₂O emisyonları girişteki kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) % 0,016'sı, toplam azotun (TKN) ise % 0,116'sına karşılık gelmektedir. Farklı bölgelerdeki emisyonları tanımlamak için biyoreaktör 6 farklı örnekleme alanına bölünmüş ve gaz toplama ünitesi her yerde 2-3 günlük süre ile bırakılmıştır. CH₄ emisyonları esas olarak ilk havalandırılmış yerlerde oluşmuştur ve giriş atıksuyu ile reaktöre geri verilen suya bağlı olarak değişmektedir. Diğer yandan, N₂O emisyonları biyoreaktörün tüm havalı kısımlarında oluşmuş ve proseste havalandırmanın olmaması veya nitrifikasyonun stabil olmamasına sıkı sıkıya bağlıdır. Reaktördeki ve tesisin diğer bölümlerindeki çözünmüş CH₄ ve N₂O konsantrasyonları arıtma sistemlerinin farklı kademeleri arasında sera gazı taşınımını daha iyi anlayabilmek için gözlenmiştir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016). Bir diğer sera gazı emisyonlarının mevsimsel değişimine örnek çalışma ise Bao ve ark. (2016)'nin yaptığı çalışmadır. Çin'deki atıksu arıtma tesislerinin sera gazı emisyonlarının ve küresel ısınmanın bir kaynağı olduğu vurgulanmıştır. Tam ölçekli anoksik/oksik ve ardışık kesikli reaktörlerde (AKR) sera gazı emisyon seviyeleri 12 ay boyunca izlenmiştir. Toplam sera gazı emisyonları A/O ve AKR için sırası ile $404,93 \text{ gCO}_2\text{-eşd}/\text{m}^3$ atıksu ve $864,98 \text{ gCO}_2\text{-eşd}/\text{m}^3$ atıksu olarak bulunmuştur. Hem A/O, hem de AKR için toplam sera gazı emisyonlarına için katkıda bulunan en büyük unsurun N₂O olduğu ortaya konmuştur (Yapıcıoğlu ve Demir, 2016). Her iki çalışmada da yazın daha sera gazı oluştuğu tahmin edilmiştir.

Tanikawa ve arkadaşları (2016) açık sistem anaerobik arıtma uygulanan bir kauçuk endüstrisi atıksu arıtma tesisi için oluşan sera gazı emisyonu tahmininde bulunmuşlardır. Ekim ve Ocak ayları arasında numune alınıp, biyogaz toplama çemberiyle biriktirilip ölçümler gerçekleştirilmiştir. Hidrojen, azot, metan ve karbondioksit gazları termal iletkenlik dedektörüyle gaz kromatografisinde okutulup, değerlendirilmiştir. Nitröz oksit gazı ise elektron yakalama dedektörü ile donatılmış gaz kromatografi cihazında ölçümlenmiştir. Bir dizi kimyasal ve mikrobiyal analizler uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda; 0.153 t-CO₂eq/m³ atıksu sera gazı oluştuğu bulunmuştur. Nitröz oksit gazının, küresel ısınma potansiyelinin yüksek olmasından dolayı toplam sera gazı emisyonunun %65'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Nitröz oksit ve metan gazlarının emisyon hızlarının sırasıyla; 2.58- 8.85 NL/(m²saat) ve 0.074 - 0.410 NL/(m²saat) aralığında değiştiği görülmüştür (Tanikawa ve diğ., 2016). 2014 yılında Beijing (Çin) 'deki 3 değişik prosesli (Orbal oksidasyon havuzu, anoksik-anaerobik-aerobik ve anaerobik- anoksik-aerobik (A²O)) gerçek ölçekli atıksu arıtma tesisinde oluşan (Yan ve diğ., 2014) sera gazı emisyon karakteristiği mevsimsel boyutta araştırılmıştır. Gaz numunleri kapalı çember metoduyla 9 ay boyunca toplanmıştır. 3 gaz ölçümü de gaz kromatografi cihazında sağlanmış ve standart metotlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonları en çok aerobik bölgelerde oluştuğu bulunmuştur. A²O prosesi 319.3 g CO₂/kg KOI giderilen değeriyle en yüksek CO₂ emisyonuna sahiptir. CH₄ ve N₂O emisyonları ise sırasıyla 3.3 g CH₄/ kg KOI giderilen and 3.6 g N₂O/kg TN_{giderilen} değerlerinde Orbal oksidasyon havuzunda oluştuğu gözlemlenmiştir (Yan ve diğ., 2014). Pascale ve arkadaşları tarafından (2017) atıksu arıtma tesislerinde sera gazı emisyonlarını bariyer iyonlaştırıcı deşarj dedektörüyle donatılmış gaz kromatografi cihazı yardımıyla analizlenmiştir. Yeni bir gaz analiz yöntemi olan bu metotla eş zamanlı olarak CO₂ ve N₂O ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; N₂O için 0.25–50 ppbv ve CO₂ için 50–1000 ppmv konsantrasyon aralığında bu analiz yönteminin uygulanabileceği saptanmıştır. Ma ve diğ. (2017) n-damo (nitrite bağımlı anaerobik metan oksidasyonu) uygulanan bir atıksu arıtma tesisi için anoksik arıtım boyunca meydana gelen sera gazı minimizasyonunu incelemişlerdir. Tesiste n-damo prosesinin uygulanmasıyla birlikte, sera gazı miktarında önemli bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. NC10 phylum bakterileri sera gazı minimizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Mikrobiyal ölçümler (Olympus BX53, Japan) mikroskop ve Image-Pro Plus 6.0. yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. İlave karbon kaynaklarıyla (sodyum asetat, metanol ve CO₂/H₂) giderilen nitrit konsantrasyonuyla sera gazı emisyonu ilişkilendirilmiştir. Farklı karbon kaynaklarında, n-damo bakterileri arıtım verimleri farklılık gösterir. Sonuç olarak CO₂/H₂ ilave karbon kaynağıyla, daha yüksek nitrit giderildiği (5.63 ± 0.01 mg N.gVSS-1.d-1) tespit edilmiştir. Bu inorganik karbon kaynağında, n-damo bakterileri daha aktiftir. Daha çok nitrit giderilip, daha az sera emisyonu oluşmaktadır (Ma ve diğ., 2017). Bu çalışma n-damo prosesinin sera gazı azaltıcı etkisi olduğunu ortaya koyar. Yoshida ve arkadaşları 2014 yılında Kopenhag'da (Danimarka) bulunan biyolojik azot giderimli kentsel bir atıksu arıtma tesisinde oluşan sera gazı emisyonunu taşınabilir spektroskopi örnekleme cihazıyla ölçmüşlerdir. Yapılan 9 reel ölçüm sonuçlarına göre oluşan CH₄ emisyonu 4.99 kg/sa -92.3 kg/sa aralığında değişirken, N₂O emisyonu ise 0.37 kg/sa-10.5 kg/sa aralığında değişmektedir. Tesiste üretilen metanın % 2.07-32.7'si atmosfere emisyon olarak yayılmaktadır. Optimal işletme koşullarında giriş azot konsantrasyonunun % 4.27'si ise nitröz oksit emisyonu olarak atmosfere bırakılır (Yoshida ve diğ., 2014).

Ölçüm yapılan çalışmaların birçoğu numune alınıp, gaz kromatografisi yardımıyla okunmaya dayalı sistemlerdir. Mevsimsel sera gazı emisyonunun belirlenmesinde sıklıkla bu yöntemlere başvurulmaktadır. Aerobik havuzlar, metan kaynağı olarak gösterilmektedir.

3.4.5. Atıksu Arıtma Tesislerinde Sera Gazı Azaltılması İçin Uygulanabilecek Yöntemler

İncelenen çalışmalar arıtma tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının ihmal edilemez olduğunu kanıtlamaktadır. Bu oluşan emisyonları azaltmak için alınabilecek bir takım önlemler bulunmaktadır. Bu yöntemler proses ve konfigürasyon değişiklikleri olabilir.

Fotosentez yardımıyla CO₂ asimilasyonu sayesinde atıksu içerisindeki CO₂ giderimi mümkündür. Buna mikroalg kültürle atıksu arıtımı örnek gösterilebilir. Atıksudaki CO₂'i mikroalgler fotosentez için fiksasyon yapacak bu sayede atıksudan atmosfere salınan CO₂ miktarı azalmış olacaktır. Ayrıca mikroalgler büyümek ve gelişmek için atıksu içerisindeki azota ihtiyaç duyarlar. Atıksu içerisindeki azot miktarı mikroalgler tarafından kullanılınca azalacak bu sayede N₂O emisyonu dolaylı olarak düşecektir. En sık mikroalg kültür uygulamaları fotobiyoreaktörlerde ve membran biyoreaktörlerde gerçekleştirilmektedir (Yapıcıoğlu ve Demir, 2017). Aerobik fotosentetik bakteri türlerinin aktif çamur sistemlerinde atıksuya aşılması atıksu içerisindeki CO₂ miktarını azaltacak bu sayede sera gazı miktarı azaltılacaktır. Aerobik havuzlarda metan oluşumunu önlemek için iyi havalandırma sağlamak gereklidir bunun için difüzör değişimleri periyodunda uygulanmalıdır. Anaerobik arıtma olarak N-damo prosesinin, kullanılan bakteri türüyle sera gazı azaltıcı bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca anaerobik arıtmada biyogaz geri kazanımı sera gazı miktarını azaltacaktır. İnovatif arıtma tekniklerinden olan biyoçar uygulaması atıksu arıtma tesisleri için sera gazı azaltıcı bir yöntem olabilir. Biyoçar yapısı gereği CO₂'i uzun süre bünyesinde stoklar bu sayede atıksudaki CO₂ birikimini ve salımını önlemiş olur. Ayrıca biyoçarın hava kirleticilerini ve sera gazlarını absorplama özelliği vardır. Ayrıca biyoçar atıksudaki amonyum iyonlarının adsorplanmasını ve bu sayede N₂O emisyonu düşüşünü sağlar (Qambrania ve diğ., 2017).

Ayrıca ölçüm yapmak ve minimizasyon yazılımı kullanarak işletme parametrelerini değiştirmek suretiyle hangi işletim koşullarında ne kadar sera gazı oluşturduğunu bilmek mümkündür. Bu yöntem yardımıyla çıkış suyunu kalitesini bozmadan, en uygun optimal minimizasyon sağlanan koşullar altında tesisi işletmek sera gazı azaltımına yardımcı olacaktır.

Ayrıca arıtma tesislerinin konstrüksiyonunda bio-mimikri yöntemini kullanmak oluşan sera gazını azaltmaya yardımcı olacaktır. Enerji verimliliği ve karbon tutma ve depolama esasına dayalı bu tasarımların sera gazı azaltıcı etkisi bulunmaktadır. Bu bio-mimikri yapılar CO₂'i bünyelerinde tutarlar. Bu sayede sera gazı azaltıcı etkileri vardır (Aanuoluwapo ve Ohis, 2017).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliği atıksu arıtma tesislerini etkilerken, atıksu arıtma tesisleri de aynı zamanda iklim değişikliği etkilerinin bir kaynağıdır. İklim değişikliğinin atıksu arıtma tesislerindeki en belirgin etkileri sıcaklık değişimi ve deniz suyu seviyesi yükselmesidir. Sıcaklığın tesis üzerindeki etkilerini indirmek için, tasarım, optimizasyon ve gerçek zamanlı otomasyon ve proses kontrol şemalarında kullanılmak üzere süreç modellerinin uyarlanması ve optimizasyonu yapılabilir. Bununla birlikte, etkileri sahil şeridinde yer alan tesisler için, deniz suyu seviyesi yükselmesinden etkilenmeyi minimize etmek için risk analizleri uygulanmalı ve acil eylem planları oluşturulmalıdır. Tesis yapım aşamasında güvenli kotlar belirlenmeli ve emniyet faktörleri göz önünde tutulup sel riski göz ardı edilmemelidir.

Atıksu arıtma tesisleri iklim değişikliği konusunda hem etken hem de edilgen konumdadır. Aynı zamanda arıtma prosesleri sonucu oluşan sera etkisi, atıksu arıtma tesislerinin iklim değişikliğine zemin hazırlayan bir tesis olduğunu göstermektedir. Atıksu arıtma tesisleri için çıkış suyu kalitesine zarar vermeden; öncelikle sera gazı emisyon kaynakları belirlenmeli, oluşan emisyon miktarı hesaplanmalı ve emisyon değerinin düşürülmesi için önlemler alınmalıdır. CO₂, CH₄ ve N₂O arıtma tesislerinde oluşan başlıca sera gazlarıdır.

Mevcut tesisler için ölçüm yaparak ve simülasyon yazılımları kullanılarak işletme koşullarını değiştirip sera gazını azaltmak mümkün olabilmektedir. Ayrıca tesislerde proses değişimi söz konusuysa mikroalg kültür ve fotosentetik bakterilerle arıtım tekniği uygulamanın sera gazını fotosentez yardımıyla CO₂ asimilasyonu sayesinde azaltıcı etkisi bulunmaktadır. Biyoçar tekniği sera gazı azaltımı sağlayan inovatif atıksu arıtım metodlarından biridir. N-damo prosesi anaerobik arıtım için uygulanabilecek sera gazı oluşumunu azaltan yöntemlerden biridir. Ayrıca biyogaz geri kazanımı sera etkisini azaltmaktadır. Biomimikri yapı uygulaması, arıtma tesislerinin konstrüksiyonunda kullanılırsa, CO₂ depolaması ve salmaması sebebiyle sera gazını

azaltıcı etkisi olabilir. Ayrıca enerji tüketimini azaltmak dolaylı CO₂ emisyonu azaltacak etkili yöntemlerden birisidir.

KAYNAKLAR

1. Aanuoluwapo O.O. ve Ohisb A.C., (2017) Biomimetic strategies for climate change mitigation in the built environment. *Energy Procedia*, 105,3868 – 3875. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.792
2. Ashrafi O, Yerushalmi L, Haghghat F. (2013) Greenhouse gas emission by wastewater treatment plants of the pulp and paper industry – Modeling and simulation, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 17, 462–472. doi: 10.1016/j.ijggc.2013.06.006
3. Ashrafi O. (2012) Estimation of Greenhouse Gas Emissions in Wastewater Treatment Plant of Pulp & Paper Industry, Concordia University, Doktora Tezi, Montreal, Canada.
4. Bao, Z., Sun, S. ve Sun, D. (2016) Assessment of greenhouse gas emission from A/O and SBR wastewater treatment plants in Beijing, China, *International Biodeterioration & Biodegradation*,108,108-114. doi: 10.1016/j.ibiod.2015.11.028.
5. Blumenau A., Brooks C., Finn E., Turner A., (2011). Effects of Sea Level Rise on Water Treatment & Wastewater Treatment Facilities. Worcester Polytechnic Institute, USA.
6. Cakir F.Y., Stenstrom M.K. (2005) Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology, *Water Research*, 39, 4197–4203. doi: 10.1016/j.watres.2005.07.042.
7. Cromwell J.E. , Smith J.B., Raucher R.S. (2007) Implications of Climate Change for Urban Water Utilities, Association of Metropolitan Water Agencies (AMWA), Washington, D.C.
8. Czepiel P.M., Crill P.M. ve Harriss R.C., (1993) Methane emissions from municipal wastewater treatment processes. *Environmental Science and Technology*, 27, 2472–2477. doi: 10.1021/es00048a025
9. Danas K., Kurdi B., Stark M., Mutlaq A. (2012) Climate Change Effects on Waste Water Treatment. CEE Jordan Group Presentation, 18 Sep 2012, Jordan.
10. Das S. (2011) Estimation of Greenhouse Gases Emissions from Biological Wastewater Treatment Plants at Windsor, Scholarship at UWindsor,
11. EPA (2012) Watershed Academy Web, The Effect of Climate Change on Water Resources and Programs (PDF file adapted). <http://www.epa.gov/watertrain>. Erişim Tarihi: 14.03.2017.
12. Erdoğan M., (2015) Çevresel Tesislerden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127 s, İstanbul.
13. Flores-Alsina X., Corominas L., Snip L., Vanrolleghem P.A. (2014) Including greenhouse gas emissions during benchmarking of wastewater treatment plant control strategies, *Water Research*, 45, 4700-4710. doi: 10.1016/j.watres.2011.04.040.
14. Gori R., Giaccherini F., Jiang L.M., Sobhani R., Rosso D., (2013). Role of primary sedimentation on plant-wide energy recovery and carbon footprint. *Water Sci. Technol.* 68 (4), 870–878. doi: 10.2166/wst.2013.270

15. Guisasola A., Sharma K.R., De haas D., Keller J., Yuan Z., (2009) Development of a model for assessing methane formation in rising main sewers. *Water Res.*, 43, 2874–2884. doi: 10.1016/j.watres.2009.03.040
16. Gölhan H., (2017) Eysel Atıksu Arıtma Tesislerinden Kaynaklanan Sera Gazı Salımının Tahmini, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 183 s, İstanbul.
17. Hiatt W.C., Grady Jr C.P.L., (2008) An updated process model for carbon oxidation, nitrification, and denitrification. *Water Environ. Res.*, 80 (11), 2145–2156.
18. IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, İngiltere.
19. IPCC. (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC Guidel Natl Greenh Gas Invent ,3,1–40.
20. İklım Değişikliği ve Türkiye (2012) T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
21. Kerr Wood Leidal Associates Ltd. (KWL) (2008) Vulnerability of Vancouver Sewerage Area Infrastructure to Climate Change, File No. 251.219. Final Report, March 2008.
22. Külah S., (2013) Greenhouse Gas Inventory for an Industrial Wastewater Treatment plant, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105 s, İzmir.
23. Kyung D., Kim M., Chang J., Lee W. (2015) Estimation of greenhouse gas emissions from a hybrid wastewater treatment plan, *Journal of Cleaner Production*, 95, 117–123. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.032.
24. Ma R., Hu Z., Zhang J., Ma H., Jiang L., Ru D. (2017) Reduction of greenhouse gases emissions during anoxic wastewater treatment by strengthening nitrite-dependent anaerobic methane oxidation process, *Bioresource Technology*, 235, 211-218. doi: 10.1016/j.biortech.2017.03.094
25. Mampaey K.E., Beuckels B., ve diğ. (2013.) Modelling nitrous and nitric oxide emissions by autotrophic ammonia-oxidizing bacteria. *Environmental Technology*, 34(12), 1555-1566. doi: 10.1080/09593330.2012.758666
26. Mannina G., Ekama G., Caniani D., Cosenza A., Esposito G., Gori R. (2016) Greenhouse gases from wastewater treatment - A review of modelling tools, *Science of the Total Environment*, 551-552, 254-270. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.163.
27. Masuda, S., Suzuki, S., Sano, I., Li, Y-Y. ve Nishimura, O. (2015) The seasonal variation of emission of greenhouse gases from a full-scale sewage treatment plant., *Chemosphere*, 140,167-173. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.09.042.
28. Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4ed, McGraw-Hill international Editions, Boston, USA.
29. Molinos-Senantea, M., Hernández-Sanchob, F., Mocholí-Arcea, M. ve Sala-Garridoa, R. (2014) Economic and environmental performance of wastewater treatment plants: Potential reductions in greenhouse gases emissions, *Resource and Energy Economics*, 38,125-140. doi: 10.1016/j.reseneeco.2014.07.001.
30. Myhre G.D.M., (2013) Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, İngiltere.

31. Ni B.J., Ruscalleda M., Pellicer-nàcher C., Smets B.F., (2011) Modeling nitrous oxide production during biological nitrogen removal via nitrification and denitrification: extensions to the General ASM Models. *Environ. Sci. Technol.*, 45,7768–7776. doi: 10.1021/es201489n
32. Özsoy C.E. (2014) Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye'nin Ayak İzi, *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 9, 199–215.
33. Pan T., Zhu X.D., Ye Y.P. (2011) Estimate of life-cycle greenhouse gas emissions from a vertical subsurface flow constructed wetland and conventional wastewater treatment plants: A case study in China, *Ecological Engineering*, 37, 248-254. doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.11.014
34. Parravicini V., Svardal K., Krampe J. (2016) Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants, *Energy Procedia*, 97, 246-253. doi: 10.1016/j.egypro.2016.10.067
35. Pascale R., Caivano M., Buchicchio A., Mancini I.M., Bianco G., Caniani D. (2017) Validation of an analytical method for simultaneous high-precision measurements of greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants using a gas chromatography-barrier dischargedetector system, *Journal of Chromatography A*, 1480, 62-69. doi: 10.1016/j.chroma.2016.11.024.
36. Plósz B.G., Liltved H., Ratnaweera H., 2009. Climate change impacts on activated sludge wastewater treatment: a case study from Norway. *Water Sci Technol.*,60(2), 533-541. doi: 10.2166/wst.2009.386.
37. Prendez M., Lara-Gonzalez S. (2008) Application of strategies for sanitation management in wastewater treatment plants in order to control/reduce greenhouse gas emissions, *Journal of Environmental Management*, 88, 658–664. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.03.041.
38. Qambrania N.A., Rahmana M.M., Wonc S ve diğ., (2017) Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,79, 255–273. doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057
39. Ratkowsky D.A., Olley J., Mcmeekin T.A., Ball A., (1983) Model for bacterial culture growth rate throughout the entire biokinetic temperature range. *J. Bacteriol.*, 154, 1222-1226. doi: 0021-9193/83/061222-05\$02.00/0
40. Rodriguez-Caballero, A., Aymerich, I., Poch, M. ve Pijuana, M. (2014) Evaluation of process conditions triggering emissions of green-house gases from a biological wastewater treatment system, *Science of the Total Environment*, 492,384-391. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.06.015.
41. Rodriguez-Garcia G., Hospido A., Bagley D.M., Moreira M.T., Feijoo G.A., (2012) Methodology to Estimate Greenhouse Gases Emissions in Life Cycle Inventories of Wastewater Treatment Plants, *Environmental Impact Assessment Review*, 37, 37–46. doi: 10.1016/j.eiar.2012.06.010.
42. Shahabadi B.M., Yerushalmi L., Haghigat F. (2009) Impact of process design on greenhouse gas (GHG) generation by wastewater treatment plants, *Water Resources*,43,2679–2687. doi: 10.1016/j.watres.2009.02.040.

43. Sweetapple C., Fu G., Butler D.(2014) Identifying sensitive sources and key control handles for the reduction of greenhouse gas emissions from wastewater treatment, *Water Research*, 62, 249-259. doi: 10.1016/j.watres.2014.06.002.
44. T.C. ÇŞB, (2016). Türkiye İklim Değişikliği 6. Bildirimi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
45. T.C. Resmi Gazete (2004) Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Ankara.
46. Tanikawa D., Syutsubo K., Watari T., Miyaoka Y., Hatamoto M., Iijima S., Fukuda M., Nguyen N.B., Yamaguchi T. (2016) Greenhouse gas emissions from open-type anaerobic wastewater treatment system in natural rubber processing factory, *Journal of Cleaner Production*, 119, 32-37. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.001
47. Tolkou A.K., Zouboulis A.I. (2015) Effect of Climate Change in WWTPs and especially in MBR Infrastructures used for Wastewater Treatment, *Journal of Desalination and Water Treatment*, 57, 2344-2354. doi: 10.1080/19443994.2015.1049403
48. Toyoda S., Suzuki Y., Hattori S. ve Yamada K., Fujii A., Yoshida N., Kouno R., Murayama K. ve Shiomi H., (2011) Isotopomer analysis of production and consumption mechanisms of N₂O and CH₄ in an advanced wastewater treatment system. *Environmental Science and Technology*, 45, 917-922. doi: 10.1021/es102985u
49. Trenberth K. E. (1999) Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change, *Climatic Change*, 42, 327-339.
50. Von Sperling M., de Lemos Chernicharo C.A. (2005) Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, *IWA Publishing*, Padstow, UK.
51. Yamanoğlu Ç.G. (2006) Türkiye’de Küresel Isınmaya Yol Açan Sera Gazı Emisyonlarındaki Artış ile Mücadelede İktisadi Araçların Rolü, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 151s, Ankara.
52. Yan X., Li L., Liu (2014) Characteristics of greenhouse gas emission in three full-scale wastewater treatment processes, *Journal of Environmental Sciences*, 26, 256-263. doi: 10.1016/S1001-0742(13)60429-5.
53. Yapıcıoğlu P. ve Demir Ö. (2016) Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonlarının Minimizasyonu, *International Symposium of Water and Wastewater Management (ISWWM)*, October 26-28, Proceeding Book, Malatya, 547-583.
54. Yapıcıoğlu P. ve Demir Ö. (2017) Microalgae culture utilization for greenhouse gases emissions mitigation and prevention in wastewater treatment plants: an overview, IV. Uluslararası Su Kongresi-Akıllı Şehirlerde Su Yönetimi, Kasım 2-4, Proceeding Book, İzmir, 80.
55. Yoshida H., Monster J., Scheutz C. (2014) Plant-integrated measurement of greenhouse gas emissions from a municipal wastewater treatment plant, *Water Research*, 61, 108-118. doi: 10.1016/j.watres.2014.05.014.
56. Zouboulis A.I., Tolkou A.K. (2014) Effect of Climate Change in Wastewater Treatment Plants: Reviewing the Problems and Solutions, *Managing Water Resources under Climate Uncertainty*, 197-220 . doi.org: 10.1007/978-3-319-10467-6_10