



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONYA ATIKSU ARITMA TESİSİ ANAEROBİK ÇAMUR ÇÜRÜTÜCÜLERİNDE
OPTİMUM BİYOGAZ VERİMİ İÇİN İŞLETME ŞARTLARININ VE TASARIM
KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ**

SERDAR KOYUNCU

DOKTORA TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak - 2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır.**

TEZ KABUL VE ONAYI

Serdar KOYUNCU tarafından hazırlanan “Konya Atıksu Arıtma Tesisi Anaerobik Çamur Çürütücülerinde Optimum Biyogaz Verimi için İşletme Şartlarının ve Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 27/01/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI

Danışman

Doç. Dr. Bilgehan NAS

Üye

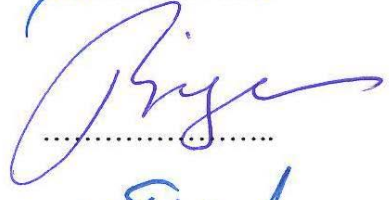
Doç. Dr. Hakan KARABÖRK

Üye

Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Üye

Doç. Dr. Mehmet Emin ARGUN


.....

.....

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Aşır GENÇ

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Serdar KOYUNCU

Tarih: 27.01.2014

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KONYA ATIKSU ARITMA TESİSİ ANAEROBİK ÇAMUR ÇÜRÜTÜCÜLERİNDE OPTİMUM BİYOGAZ VERİMİ İÇİN İŞLETME ŞARTLARININ VE TASARIM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Serdar KOYUNCU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bilgehan NAS

2014, 180 Sayfa

Jüri

Danışman Doç. Dr. Bilgehan NAS

Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI

Doç. Dr. Hakan KARABÖRK

Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Doç. Dr. Mehmet Emin ARGUN

Tez çalışması; 2010 yılında işletmeye alınan ve I. kademe debisi 200,000 m³/gün olan Konya kentsel atıksu arıtma tesisi (AAT)'nde gerçekleştirilmiştir. Konya AAT'de bulunan çürütücülerden, ortalama sıcaklık ve hacimleri aynı olan referans ve denek çürütücüler seçilmiştir. Referans çürütücüde katı madde alıkonma süresi (SRT) 20 gün (tasarım değeri) 240 gün boyunca, denek çürütücülerde ise SRT 17 ve 23 gün olacak şekilde 120'şer gün boyunca gerçek ölçekli proses çalıştırılmıştır. Prosesi etkileyen parametrelerin ölçüm ve analizleri yapılarak (atıksu debisi (Q), askıda katı madde (AKM), çamur besleme debisi (Q_{bes}), pH, toplam katı madde (TKM), uçucu organik katı madde (UKM), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOC), toplam kjeldahl azotu (TKN), protein, alkalinite, uçucu yağ asitleri (UYA), organik yükleme hızı (OLR), sıcaklık, biyogaz, metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), SRT, toplam azot (TN), toplam fosfor (TP)), elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve optimum işletme şartları belirlenmiştir.

Bunun yanında, ATV 131 E standartlarına göre tasarımı yapılan Konya AAT'nin tez süresinde yapılan deneyler ve işletmeye alındığı tarihten bu yana gerçekleşen işletme verileri değerlendirilmiş; AAT'nin tasarım kriterleri ve mevcut işletme verileri karşılaştırılarak tesisin performansı ortaya konulmuştur.

Bulgulara göre; SRT 17 gün işletme şartlarında ortalama 4,756 m³/gün biyogaz üretimi ile en yüksek verim elde edilmiştir. Tesiste oluşan arıtma çamurlarından maksimum enerji elde etmek için maliyet analizleri yapılarak, optimum işletme senaryosu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik çamur çürütme, arıtma çamuru, biyogaz, katı madde alıkonma süresi, metan, yenilenebilir enerji.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DETERMINATION OF DESING CRITERIA AND OPERATION CONDITIONS FOR OPTIMUM BIOGAS PRODUCTION ON ANAEROBIC SLUDGE DIGESTERS IN KONYA WASTEWATER TREATMENT PLANT

Serdar KOYUNCU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK
UNIVERSITY THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN ENVIRONMENTAL
ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bilgehan NAS

2014, 180 Pages

Jury

Advisor Assoc. Prof. Dr. Bilgehan NAS

Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI

Assoc. Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

Assoc. Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin ARGUN

The thesis study has been realized in Konya urban wastewater treatment plants (WWTP) which has been taken into operation in year 2010 and whose first stage flow rate is 200,000 m³/day. The digesters with the same average heat and volume have been chosen from the digesters in Konya AAT, as reference and experimental subject. The solid retention time (SRT) in reference digester has been operated as full scale process as (SRT) 20 days (desing value), for 240 days, in subject digesters as SRT 17 and 23 days, for 120 days for each. By means of analyzing and measuring the parameters affecting the process (the wastewater flow rate (Q), suspended solid (SS), sludge feeding flow rate, pH, total solid matter (TSS), volatile organic suspended solids (VSS), biological oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC), total kjeldahl nitrogen (TKN), protein, alkalinity, volatile fatty acids (VFA), organic loading rate (OLR), heat, biogas, methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂), SRT, total nitrogen (TN), total phosphor (TP)), the findings have been evaluated and optimum operation conditions have been determined.

Moreover, the experiments and operation data of Konya WWTP which has been designed in accordance with ATV 131 E standards, have been taken into consideration; by comparing the design criteria and current operation data of WWTP, the performance of the plant has been revealed.

According to the findings; it was found out in SRT 17 days operation conditions that the upmost outrun was acquired by 4,756 m³/day biogas production. By carrying out cost analysis to get maximum energy from the sewage sludge occurred in the plant, the optimum operation scenario has been determined.

Keywords: Anaerobic sludge digestion, sewage sludge, biogas, solid retention time, methane, renewable energy.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı gerçekleştirebilmem için bana destek olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Bilgehan NAS'a çalışmanın tamamlanabilmesi için yaptığı değerli tavsiyeler ve yardımlarından dolayı şükranlarımı sunarım. Tez izleme komitemde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Ali BERKTAY ve Doç. Dr. Hakan KARABÖRK'e yaptıkları değerli katkılardan dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Konya atıksu arıtma tesisi personeline ve Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölüm hocalarına teşekkür ederim.

Bu doktora tezinin gerçekleşebilmesi için verdikleri desteklerden dolayı Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) Genel Müdürü İsmail Selim UZBAŞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışması süresince bana destek veren aileme ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Serdar KOYUNCU

KONYA – 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xviii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımlanması	2
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.3. Tezin Önemi.....	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Aktif Çamur Prosesi.....	4
2.2. Arıtma Çamurlarının Özellikleri.....	4
2.3. Anaerobik Arıtma	5
2.3.1. Anaerobik arıtmanın avantajları.....	5
2.3.2. Anaerobik arıtmanın dezavantajları.....	6
2.3.3. Anaerobik arıtmanın genel proses açıklaması.....	6
2.3.4. Anaerobik çamur çürütme.....	9
2.3.4.1. Anaerobik çamur çürütücü tipleri	9
2.4. Küresel Çapta BiyogazDurumu	10
2.4.1. Dünyada durum	11
2.4.2. Türkiye'de durum.....	12
2.5. Anaerobik Çürütücülerde Biyogaz Verimini Etkileyen Parametreler	13
2.5.1. Atıksu debisi (Q)	13
2.5.2. Askıda katı madde(AKM).....	13
2.5.3. Çamur besleme debisi (Q_{bes})	13
2.5.4. pH	14
2.5.5. Toplam katı madde (TKM)	14

2.5.6. Uçucu katı madde (UKM).....	15
2.5.7. Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	15
2.5.8. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	16
2.5.9. Toplam organik karbon (TOC)	16
2.5.10. Toplam kjeldahl azotu (TKN)	16
2.5.11. Protein	17
2.5.12. Alkalinite (CaCO ₃ olarak).....	17
2.5.13. Uçucu yağ asitleri (UYA)	17
2.5.14. UYA / Alkalinite	18
2.5.15. Organik yükleme hızı (OLR)	19
2.5.16. Sıcaklık	20
2.5.17. Biyogaz	20
2.5.18. Metan (CH ₄).....	21
2.5.19. Karbondioksit (CO ₂).....	21
2.5.20. Hidrojensülfür (H ₂ S).....	22
2.5.21. Biyogaz (m ³) / kişi.gün oranı	22
2.5.22. CH ₄ (m ³) / kg KOİ _{gid.} oranı	22
2.5.23. CH ₄ (m ³) / kg TOC _{gid.} oranı	22
2.5.24. Biyogaz(m ³) / kg UKM _{gid.} oranı.....	23
2.5.25. Nütrientler	23
2.5.26. Zehirlilik etkisi	23
2.5.27. Katı madde alıkonma süresi (SRT)	23
2.5.28. Oksijen (O ₂).....	24
2.5.29. Karıştırmanın etkisi	24
2.5.30. Basınç, su oranı, aşılama ve köpüğün etkisi	25
2.5.31. Biyogaz ve enerji.....	25
2.6. Anaerobik Proseslerle Biyogaz Üretimine İlişkin Yapılan Çalışmalar	26
3. MATERYAL VE METOT.....	30
3.1. Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi	30
3.1.1. Genel bilgi.....	30

3.1.2. Dizayn değerleri	31
3.1.3. Konya kentsel AAT üniteleri	32
3.1.3.1. Izgaralar	32
3.1.3.2. Kum-Yağ tutucu (KYT)	33
3.1.3.3. Ön çökeltme havuzu (ÖÇH)	33
3.1.3.4. Havalandırma havuzu (HH).....	34
3.1.3.5. Son çökeltme havuzu (SÇH).....	35
3.1.3.6. UV dezenfeksiyon ünitesi.....	35
3.1.3.7. Ön çökeltme çamur pompa istasyonu	36
3.1.3.8. Çamur yoğunlaştırıcı dağıtım yapısı	36
3.1.3.9. Çamur yoğunlaştırıcılar (ÇY)	36
3.1.3.10. Yoğun çamur pompa istasyonu.....	37
3.1.3.11. Anaerobik çamur çürütücü	37
3.1.3.12. Çamur karışım tankı	38
3.1.3.13. Çamur susuzlaştırma ünitesi	38
3.1.3.14. Gaz deposu.....	39
3.1.3.15. Isı merkezi ve enerji geri kazanım ünitesi	39
3.2. Metot	40
3.3. Tez Kapsamında İzlenen Parametreler ve İzleme Noktaları	40
3.3.1. Giriş atıksuyunda.....	40
3.3.2. Çürütücüye beslenen çamurda (yoğunlaştırıcı çıkışı).....	41
3.3.3. Çürütülmüş çamurda.....	41
3.3.4. Biyogazda (Gaz toplama çıkışı)	42
3.3.5. Ön çökeltme havuzu (ÖÇH) girişi.....	42
3.3.6. Ön çökeltme havuzu (ÖÇH) çıkışı-Havalandırma havuzu (HH) girişi	42
3.3.7. Arıtılmış atıksuda	42
3.3.8. Stabilize olmuş çamurda (dekantör çıkışı).....	42
3.4. DeneySEL Metot.....	43
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	44
4.1. Referans Çürütücüye ait (SRT=20 gün) Araştırma Sonuçları.....	44

4.1.1. pH	45
4.1.2. Toplam katı madde (TKM)	46
4.1.3. Uçucu katı madde (UKM).....	47
4.1.4. Uçucu katı madde yüzdesi (% UKM).....	48
4.1.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	48
4.1.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN)	50
4.1.7. Protein.....	51
4.1.8. Alkalinite.....	52
4.1.9. Uçucu yağ asitleri (UYA)	53
4.1.10. Organik yükleme hızı (OLR)	54
4.1.11. Çamur besleme debisi (Q_{bes})	55
4.1.12. Sıcaklık	56
4.1.13. Uçucu yağ asidi / Alkalinite oranı (UYA/Alkalinite).....	57
4.1.14. Uçucu katı madde giderim yüzdesi (% UKM_{gid}).....	58
4.1.15. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi (% $KOİ_{gid}$)	59
4.1.16. Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi (% UYA_{gid})	60
4.1.17. Biyogaz	61
4.1.18. Biyogaz bileşenindeki metan ve karbondioksit gazlarının oranları (% CH_4 - % CO_2).....	62
4.1.19. Giderilen KOİ miktarına göre üretilen metan gazı ($CH_4/KOİ_{gid}$).....	63
4.1.20. Giderilen UKM_{gid} miktarına göre üretilen biyogaz (biyogaz/ UKM_{gid}) ...	64
4.2. Denek Çürütücüye ait (SRT=17 gün) Araştırma Sonuçları	65
4.2.1. pH	65
4.2.2. Toplam katı madde (TKM)	66
4.2.3. Uçucu katı madde (UKM).....	67
4.2.4. Uçucu katı madde yüzdesi (% UKM).....	68
4.2.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	69
4.2.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN)	70
4.2.7. Protein.....	71
4.2.8. Alkalinite.....	72

4.2.9. Uçucu yağ asitleri (UYA)	73
4.2.10. Organik yükleme hızı (OLR)	74
4.2.11. Çamur besleme debisi (Q_{bes})	75
4.2.12. Sıcaklık	76
4.2.13. Uçucu yağ asidi / alkalinite oranı (UYA/Alkalinite).....	77
4.2.14. Uçucu katı madde giderim yüzdesi ($\% UKM_{gid}$).....	78
4.2.15. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi ($\% KOİ_{gid}$)	79
4.2.16. Uçucu yağ asitleri giderim Yüzdesi ($\% UYA_{gid}$)	80
4.2.17. Biyogaz	81
4.2.18. Biyogaz bileşenindeki metan ve karbondioksit gazlarının oranları ($\% CH_4$ - $\% CO_2$).....	82
4.2.19. Giderilen $KOİ$ miktarına göre üretilen metan gazı ($CH_4/KOİ_{gid}$).....	83
4.2.20. Giderilen UKM miktarına göre üretilen biyogaz ($Biyogaz/UKM_{gid}$).....	84
4.3. Denek Çürütücüye ait (SRT=23 gün) Araştırma Sonuçları	85
4.3.1.pH	85
4.3.2.Toplam katı madde (TKM)	86
4.3.3. Uçucu katı madde (UKM).....	87
4.3.4. Uçucu katı madde yüzdesi ($\% UKM$).....	88
4.3.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı ($KOİ$)	89
4.3.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN).....	90
4.3.7. Protein	91
4.3.8. Alkalinite.....	92
4.3.9. Uçucu yağ asitleri (UYA)	93
4.3.10. Organik yükleme hızı (OLR)	94
4.3.11. Çamur besleme debisi (Q_{bes})	95
4.3.12. Sıcaklık	96
4.3.13. Uçucu yağ asidi / Alkalinite oranı (UYA/Alkalinite).....	97
4.3.14. Uçucu katı madde giderim yüzdesi ($\% UKM_{gid}$).....	98
4.3.15. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi ($\% KOİ_{gid}$)	99
4.3.16. Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi ($\% UYA_{gid}$)	100

4.3.17. Biyogaz	101
4.3.18. Biyogaz bileşenindeki metan ve karbondioksit gazlarının oranları (% CH ₄ - % CO ₂).....	102
4.3.19. Giderilen KOİ miktarına göre üretilen metan gazı (CH ₄ /KOİ _{gid}).....	103
4.3.20. Giderilen UKM _{gid} miktarına göre üretilen biyogaz (biyogaz/UKM _{gid}) ..	104
4.4. İşletme Parametrelerinin Farklı SRT' lerde Oluşan Biyogaza Etkileri.....	105
4.4.1.pH	105
4.4.2.Toplam katı madde (TKM)	106
4.4.3. Uçucu katı madde (UKM).....	107
4.4.4. Uçucu katı madde yüzdesi (% UKM).....	108
4.4.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	109
4.4.6. Toplam organik karbon (TOC)	110
4.4.7. Toplam kjeldahl azotu (TKN).....	111
4.4.8. Protein	112
4.4.9. Alkalinite.....	113
4.4.10. Uçucu yağ asitleri (UYA)	114
4.4.11. Organik yükleme hızı (OLR)	115
4.4.12. Çamur besleme debisi (Q _{bes})	116
4.4.13. Sıcaklık	117
4.4.14. Uçucu yağ asidi / alkalinite oranı (UYA/Alkalinite).....	118
4.4.15. Uçucu katı madde giderim yüzdesi (% UKM _{gid}).....	119
4.4.16. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi (% KOİ _{gid})	120
4.4.17.Toplam organik karbon (TOC _{gid})	121
4.4.18. Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi (% UYA _{gid})	122
4.4.19. Biyogaz	123
4.4.20. Biyogaz bileşenindeki metan gazının oranı (% CH ₄).....	124
4.4.21. Biyogaz bileşenindeki karbondioksit gazının oranı (% CO ₂)	125
4.4.22. Biyogaz bileşenindeki hidrojen sülfür gazının oranı (H ₂ S)	126
4.4.23. Giderilen KOİ miktarına göre üretilen metan gazı (CH ₄ /KOİ _{gid}).....	127
4.4.24. Giderilen TOC miktarına göre üretilen metan gazı (CH ₄ /TOC _{gid}).....	128

4.4.25. Giderilen UKM_{gid} miktarına göre üretilen biyogaz ($Biyogaz/UKM_{gid}$) .	129
4.5. Tasarım Kriterlerine ve Farklı SRT’lerdeki İşletme Verilerine Göre AAT Performansının Ünite Bazında Değerlendirilmesi	130
4.5.1.Tasarım ve işletme için giriş atıksuyu özellikleri.....	131
4.5.2. Debi ölçüm kanalı-ön çökeltme havuzu giriş kriterleri	133
4.5.3. Ön çökeltme havuzu kriterleri.....	135
4.5.4. Ön çökeltme havuzu çıkışı-havalandırma havuzu girişi kriterleri	137
4.5.5. Havalandırma havuzu kriterleri.....	139
4.5.6. Son çökeltme havuzu kriterleri	140
4.5.7. Arıtılmış atıksu kriterleri.....	142
4.5.8.Çamur yoğunlaştırıcı girişi kriterleri	144
4.5.9.Anaerobik çamur çürütücü kriterleri	145
4.5.10.Enerji kriterleri	148
4.5.11. Çamur karışım tankı giriş kriterleri	150
4.5.12. Çamur karışım tankı çıkışı-dekantör girişi kriterleri	151
4.5.13.Dekantör kriterleri	153
4.5.14. Biyogaz üretim kriterleri.....	154
4.6. Maliyet Analizi.....	157
4.6.1. İşletme verilerine göre SRT 17 gün (% KM 3,53) için 4 adet çürütücüde oluşabilecek fazla biyogazın maliyeti.	157
4.6.2. SRT=17 gün ve % KM=6 işletme şartlarında tesiste oluşan BFÇ’nin bertarafı için ilave yatırım maliyeti.....	158
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	161
5.1. Sonuçlar.....	161
5.1.1. SRT, Biyogaz ve diğer işletme parametrelerine ilişkin sonuçlar	161
5.1.2. Tesisin ünite bazında performansının değerlendirilmesine ait sonuçlar...	165
5.1.3. Maliyet analizine ait sonuçlar	168
5.2. Öneriler.....	169
KAYNAKLAR	172
ÖZGEÇMİŞ.....	178

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

% AKM_{gid}: Askıda katı madde giderim yüzdesi

% BOİ_{gid}: Biyokimyasal oksijen giderim yüzdesi

% KM: Katı madde yüzdesi

% KOİ_{gid}: Kimyasal oksijen giderim yüzdesi

% TN_{gid}: Toplam azot giderim yüzdesi

% TOC_{gid}: Toplam organik karbon giderim yüzdesi

% TP_{gid}: Toplam fosfor giderim yüzdesi

% UKM_{gid}: Uçucu katı madde giderim yüzdesi

% UYA_{gid}: Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi

AKM_{gid}: Askıda katı madde giderimi

BOİ_{gid}: Biyokimyasal oksijen giderimi

C: Karbon

C₆H₁₂O₆: Glikoz

CaCO₃: Kalsiyum karbonat

CH₄: Metan

CO₂: Karbondioksit

F/M: Besin/mikroorganizma oranı (kg/kg.gün))

H₂: Hidrojen

H₂S: Hidrojensülfür

KOİ_{gid}: Kimyasal oksijen giderimi

kWh: Kilowattsaat

MW: Megawatt

N: Azot

NH₃: Amonyak

NH₄: Amonyum

O₂: Oksijen

°C: Santigrat derece

P: Fosfor

Q: Atıksu debisi ($\text{m}^3/\text{gün}$)

Q_{bes} : Çamur besleme debisi (m^3/h)

TN_{gid} : Toplam azot giderimi

TOC_{gid} : Toplam organik karbon giderimi

TP_{gid} : Toplam fosfor giderimi

UKM_{gid} : Uçucu katı madde giderimi

UYA_{gid} : Uçucu yağ asitleri giderimi

Kısaltmalar

AAT: Atıksu arıtma tesisi

AATTUT: Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği

AB: Avrupa birliği

AKM (MLSS): Askıda katı madde (mg/l)

Ar-Ge: Araştırma-Geliştirme

ATV 131 E: Tek aşamalı aktif çamur tesislerinin boyutlandırılması (Alman standartları)

BFÇ: Biyolojik fazla çamur

BOİ₅: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (mg/l)

ÇKM: Çözünmüş katı madde (mg/l)

ÇY: Çamur yoğunlaştırıcı

DSİ: Devlet su işleri

GTEP: Giga (milyar) ton eşdeğer petrol

HH: Havalandırma havuzu

HRT: Hidrolik bekletme süresi (gün)

KAATLEK: Konya atıksu arıtma tesisi laboratuvar el kitabı

KAATPR: Konya atıksu arıtma tesisi proje raporu

KAKY: Katı atıkların kontrolü yönetmeliği

KM: Katı madde (%)

KOİ: Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/)

KYT: Kum ve yağ tutucular

MTEP: Milyon ton eşdeğer petrol

N: Nüfus (kişi)

OLR: Organik yükleme hızı (kg UKM/m³)

ÖÇÇ: Ön çökeltme çamuru

ÖÇH: Ön çökeltme havuzu

SÇH: Son çökeltme havuzu

SKKY: Su kirliliği kontrolü yönetmeliği

SRT: Katı madde alıkonma süresi (gün)

TKM: Toplam katı madde (mg/l)
TKN: Toplam kjeldahl azotu (mg/l)
TN: Toplam azot (mg/l)
TOC: Toplam organik karbon (mg/l)
TOI: Toplam oksijen ihtiyacı (mg/l)
TP: Toplam fosfor (mg/l)
UKM (MLVSS): Uçucu askıda katı maddeler (mg/l)
UV: Ultraviole
UYA: Uçucu yağ asitleri (mg/l)
YEK: Yenilenebilir enerji kaynakları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Anaerobik çürütmenin mekanizması.	7
Şekil 4.1.1. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) pH değişimi.	45
Şekil 4.1.2. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) TKM değişimi.	46
Şekil 4.1.3. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) UKM değişimi.	47
Şekil 4.1.4. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % UKM değişimi.	48
Şekil 4.1.5. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) KOİ değişimi.	49
Şekil 4.1.6. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) TKN değişimi.	50
Şekil 4.1.7. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) Protein değişimi.	51
Şekil 4.1.8. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) Alkalinite değişimi.	52
Şekil 4.1.9. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) UYA değişimi.	53
Şekil 4.1.10. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) OLR değişimi.	54
Şekil 4.1.11. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) Q_{bes} değişimi.	55
Şekil 4.1.12. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) Sıcaklık değişimi.	56
Şekil 4.1.13. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) UYA/Alkalinite değişimi.	57
Şekil 4.1.14. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % UKM_{gid} değişimi.	58
Şekil 4.1.15. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % $KOİ_{gid}$ değişimi.	59
Şekil 4.1.16. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % UYA_{gid} değişimi.	60
Şekil 4.1.17. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) biyogaz değişimi.	61
Şekil 4.1.18. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % CH_4 ve % CO_2 değişimi.	62
Şekil 4.1.19. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) $CH_4 / KOİ_{gid}$ değişimi.	63
Şekil 4.1.20. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) biyogaz/ UKM_{gid} değişimi.	64
Şekil 4.2.1. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) pH değişimi.	65
Şekil 4.2.2. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) TKM değişimi.	66
Şekil 4.2.3. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) UKM değişimi.	67
Şekil 4.2.4. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) % UKM değişimi.	68
Şekil 4.2.5. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) KOİ değişimi.	69
Şekil 4.2.6. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) TKN değişimi.	70
Şekil 4.2.7. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) Protein değişimi.	71
Şekil 4.2.8. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) alkalinite değişimi.	72

Şekil 4.2.9. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) UYA değişimi.	73
Şekil 4.2.10. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) OLR değişimi.	74
Şekil 4.2.11. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) Q_{bes} değişimi.....	75
Şekil 4.2.12. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) sıcaklık değişimi.	76
Şekil 4.2.13. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) UYA/Alkalinite değişimi.	77
Şekil 4.2.14. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) % UKM_{gid} değişimi.	78
Şekil 4.2.15. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) % KOI_{gid} değişimi.	79
Şekil 4.2.16. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) % UYA_{gid} değişimi.	80
Şekil 4.2.17. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) biyogaz değişimi.....	81
Şekil 4.2.18. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) % CH_4 ve % CO_2 değişimi.....	82
Şekil 4.2.19. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) CH_4 / KOI_{gid} değişimi.	83
Şekil 4.2.20. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) biyogaz / UKM_{gid} değişimi.	84
Şekil 4.3.1. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) pH değişimi.	85
Şekil 4.3.2. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) TKM değişimi.	86
Şekil 4.3.3. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) UKM değişimi.....	87
Şekil 4.3.4. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) % UKM değişimi.....	88
Şekil 4.3.5. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) KOI değişimi.	89
Şekil 4.3.6. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) TKN değişimi.	90
Şekil 4.3.7. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) protein değişimi.	91
Şekil 4.3.8. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) Alkalinite değişimi.	92
Şekil 4.3.9. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) UYA değişimi.	93
Şekil 4.3.10. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) OLR değişimi.	94
Şekil 4.3.11. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) Q_{bes} değişimi.....	95
Şekil 4.3.12. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) sıcaklık değişimi.	96
Şekil 4.3.13. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) UYA/Alkalinite değişimi.	97
Şekil 4.3.14. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) % UKM_{gid} değişimi.	98
Şekil 4.3.15. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) % KOI_{gid} değişimi.	99
Şekil 4.3.16. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) % UYA_{gid} değişimi.	100
Şekil 4.3.17. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) biyogaz değişimi.....	101
Şekil 4.3.18. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) % CH_4 ve % CO_2 değişimi.	102

Şekil 4.3.19. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) CH_4 / KOI_{gid} değişimi.	103
Şekil 4.3.20. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) biyogaz / UKM_{gid} değişimi.	104
Şekil 4.4.1. SRT parametresi ile pH ve biyogaz üretiminindeğişimi.	105
Şekil 4.4.2. SRT parametresi ile TKM ve biyogaz üretiminindeğişimi.	106
Şekil 4.4.3. SRT parametresi ile UKM ve biyogaz üretiminindeğişimi.	107
Şekil 4.4.4. SRT parametresi ile % UKM ve biyogaz üretiminindeğişimi.	108
Şekil 4.4.5. SRT parametresi ile KOI ve biyogaz üretiminindeğişimi.	109
Şekil 4.4.6. SRT parametresi ile TOC ve biyogaz üretiminindeğişimi.	110
Şekil 4.4.7. SRT parametresi ile TKN ve biyogaz üretiminindeğişimi.	111
Şekil 4.4.8. SRT parametresi ile protein ve biyogaz üretiminindeğişimi.	112
Şekil 4.4.9. SRT parametresi ile alkalinite ve biyogaz üretiminindeğişimi.	113
Şekil 4.4.10. SRT parametresi ile UYA ve biyogaz üretiminindeğişimi.	114
Şekil 4.4.11. SRT parametresi ile OLR ve biyogaz üretiminindeğişimi.	115
Şekil 4.4.12. SRT parametresi ile Q_{bes} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	116
Şekil 4.4.13. SRT parametresi ile sıcaklık ve biyogaz üretiminindeğişimi.	117
Şekil 4.4.14. SRT parametresi ile UYA/Alkalinite ve biyogaz üretiminindeğişimi.	118
Şekil 4.4.15. SRT parametresi ile % UKM_{gid} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	119
Şekil 4.4.16. SRT parametresi ile % KOI_{gid} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	120
Şekil 4.4.17. SRT parametresi ile % TOC_{gid} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	121
Şekil 4.4.18. SRT parametresi ile % UYA_{gid} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	122
Şekil 4.4.19. SRT parametresi ile biyogaz üretiminindeğişimi.	123
Şekil 4.4.20. SRT parametresi ile % CH_4 ve biyogaz üretiminindeğişimi.	124
Şekil 4.4.21. SRT parametresi ile % CO_2 ve biyogaz üretiminindeğişimi.	125
Şekil 4.4.22. SRT parametresi ile H_2S ve biyogaz üretiminindeğişimi.	126
Şekil 4.4.23. SRT parametresi ile CH_4 / KOI_{gid} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	127
Şekil 4.4.24. SRT parametresi ile CH_4/TOC_{gid} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	128
Şekil 4.4.25. SRT parametresi ile Biyogaz/ UKM_{gid} ve biyogaz üretiminindeğişimi.	129

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Konya kentsel AAT tasarım kriterleri.....	31
Çizelge.3.2. Anaerobik çamur çürütücü tasarım parametreleri.	32
Çizelge.3.3. Biyogaz üretimi ve enerji geri dönüşümü proje kriterleri.	32
Çizelge 3.4.1. İzlenen parametrelerin analiz metod ve standartları ile kullanılan cihazlar.	43
Çizelge 4.5.1. Giriş atıksu özelliklerinin değişimi.	131
Çizelge 4.5.2. Debi ölçüm kanalı-ÖÇH giriş atıksu parametrelerinin değişimi.	133
Çizelge 4.5.3. ÖÇH parametrelerinin değişimi.	135
Çizelge 4.5.4. ÖÇH çıkışı-HH giriş parametrelerinin değişimi.	137
Çizelge 4.5.5. HH parametrelerinin değişimi.	139
Çizelge 4.5.6. SÇH parametrelerinin değişimi.	140
Çizelge 4.5.7. Arıtılmış atıksu parametrelerinin değişimi.	142
Çizelge 4.5.8. ÇY parametrelerinin değişimi.	144
Çizelge 4.5.9. Anaerobik çamur çürütücü parametrelerinin değişimi.	145
Çizelge 4.5.10. Enerji parametrelerinin değişimi.	148
Çizelge 4.5.11. ÇKT giriş parametrelerinin değişimi.	150
Çizelge 4.5.12. ÇKT çıkışı-dekantör girişi parametrelerinin değişimi.	151
Çizelge 4.5.13. Dekantör çıkış parametrelerinin değişimi.	153
Çizelge 4.5.14. Biyogaz üretim parametrelerinin değişimi.	154
Çizelge 4.6.1. Mevcut işletmeye göre SRT 17 gün ve % KM 3.53 şartlarında üretilen fazla biyogazın maliyeti.	157
Çizelge 4.6.2. SRT=17 gün ve % KM=6 işletme şartlarında BFÇ'nin enerji maliyeti.	159
Çizelge 4.6.3. BFÇ için ilave yatırım maliyetleri.	160

1. GİRİŞ

İnsanlığın günümüz koşullarında hayat standartları artmakta ve gelişen teknoloji sonucu enerji kaynaklarının da yoğun bir şekilde tüketilmesine sebep olmaktadır. Dünyanın enerji ihtiyacının her geçen gün artması sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaya başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilecek biyokütleden bir tanesi de atıksu arıtma tesisi (AAT)'nde arıtma sonrası oluşan arıtma çamurlarıdır. Arıtma çamurlarının organik yükü fazla olduğundan dolayı anaerobik proseslerde çürütülmesi ile yüksek biyogaz verimi elde edilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle, çeşitli kaynaklarda üretilmekte ve yaygın olarak bulunmaktadır. Biyokütlenin yakıt olarak kullanılabilmesi için çeşitli proseslere ihtiyaç duyulmaktadır. Anaerobik prosesler sonucunda üretilen biyogaz yakıt olarak kullanılabildiği gibi gaz motorları vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Anaerobik çürütme prosesleri, 20-40 °C'lık bir sıcaklık ve genellikle 20 günlük çürütme süresine göre boyutlandırılmaktadır. Atık içerisinde bulunan organik maddelerin biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda giderilmesi ile biyogaz ve belli oranda metan gazı üretilmektedir. Prosesin optimum işletilmesinde etkili olan çevresel faktörlerden bazıları, uçucu organik katı madde (UKM), organik yükleme hızı (OLR), uçucu yağ asitleri (UYA), alkalinite, UYA/Alkalinite, pH, katı madde alıkonma süresi (SRT), sıcaklık, biyogaz miktarı ve metan (CH₄) oranıdır. Prosesin maksimum verimde çalışması için sistemi etkileyen parametrelerin sürekli izlenmesi ve kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Anaerobik çamur stabilizasyonu tesislerinin planlanmasındaki amacın, gerekli çürütme süresinin ve çürütücü hacminin azaltılması yönünde olduğu vurgulanmıştır (Oles, 1995).

Sistemin yatırım ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde etkileyen çevresel parametrelerden biri de SRT'dir. Maksimum verimin sağlanabilmesi için prosesin optimum SRT'de çalıştırılması gerekmektedir. AAT'lerden çıkan arıtma çamurlarının karakterizasyonu atıksu özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Atıksu ve çamur karakterizasyonlarına göre her tesis için farklı SRT belirlenebilir. Konya AAT'de oluşan arıtma çamurlarının stabilizasyonu için tasarlanan anaerobik çürütücüler 20 günlük SRT'de işletilmektedir.

Bu kapsamda; Konya AAT'deki mevcut anaerobik çamur çürütücülerin işletme parametreleri, çürütücü verimleri, optimum SRT'nin belirlenmesi ve II. Kademenin planlamasına ışık tutacak verilerin elde edilmesi ve mevcut işletme şartlarında tesis performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Problemin Tanımlanması

2010 yılında işletmeye alınan Konya AAT, karbon gideriminin yanında kısmi nitrifikasyon gerçekleştirilen Bardenpho prosesinden oluşturulmuş ve ileride fosfor giderimi yapabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Projeye göre I. kademedede 200,000 m³/gün atıksu ve 2015 yılında devreye alınması planlanan II. kademe ile 300,000 m³/gün atıksu arıtılacaktır. Tesisin mevcut atıksu debisi (Q) 160,000-170,000 m³/gün arasında değişmektedir.

Tez kapsamında mevcut AAT'nin proje dizayn kriterleri ile mevcut işletme verilerinin karşılaştırılması yapılarak gerekli değerlendirmelerin yapılmasına, optimum işletme şartlarının belirlenmesine ve II. kademenin planlamasına yönelik önerilerin ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Ayrıca mevcut işletme şartlarında optimum biyogaz veriminin ortaya konulması gerekmektedir. Bu maksatla, biyogaz verimini etkileyen parametrelerin, Konya kentinden kaynaklanan atıksular ve arıtma çamurlarının farklı işletme şartlarında incelenerek, optimum tasarım kriterlerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmuştur.

AAT'lerin işletme giderlerinin en büyük payını enerji giderleri oluşturmaktadır. Arıtma çamurlarının anaerobik çürütülmesi ile elde edilen biyogazın elektrik enerjisine çevrilerek tesisin enerji ihtiyacının önemli bir kısmı karşılanabilmektedir. Tesisin yapım ve işletme maliyetlerinin minimize edilerek geri dönüşüm yoluyla optimum enerji üretiminin sağlanması için tasarım kriterlerinin mevcut işletme verilerine uygunluğunun bilimsel olarak ortaya konulması gerekmektedir.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Türkiye'de ve Dünyada büyük ölçekli AAT'lerde çamur stabilizasyonu için anaerobik çamur çürütücü üniteleri yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Ülkemizde; İstanbul, Ankara, Adana, Konya, Kayseri, Gaziantep vb. Büyükşehir Belediyelerine ait kentsel AAT'lerde anaerobik çamur çürütücü üniteleri bulunmaktadır. Bunun temel sebebi, AAT'lerin işletme maliyetlerinin en büyük payını oluşturan enerji giderlerini en aza indirmektir. Konya AAT'de arıtma çamurları anaerobik çamur çürütücülerde işleme tabi tutularak biyogaz elde edilmekte ve biyogazın gaz motorları vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile tesisin enerji ihtiyacının önemli bir kısmı karşılanmaktadır.

Enerji geri dönüşüm oranı, üretilen biyogazın miktarı ve muhtevastaki metan oranına bağlıdır. Konya AAT'de oluşan arıtma çamurlarının çürütülerek, maksimum enerji geri dönüşümünün sağlanması için optimum SRT'nin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında tesisin tüm dizayn kriterleri ile mevcut işletme şartları karşılaştırılarak, II. kademenin projelendirilmesine ve optimum işletme şartlarına yönelik öneriler getirilmiştir.

1.3. Tezin Önemi

Ülkemizde büyük ölçekli AAT'lerde yaygın olarak kullanılan anaerobik çamur çürütücüler tasarım aşamasında belli literatür değerlerine, tasarım standartlarına ve kente özgü atıksu karakterizasyonuna göre tasarlanmaktadır. Ancak işletme aşamasında tasarımda öngörülen kabullerle uyumlu şartlar oluşmamaktadır.

Bu tez çalışması ile Konya AAT için tüm işletme parametreleri tasarım kriterleri ile karşılaştırılarak literatüre önemli katkı sağlanması yanında, tesisin II. kademesinin projelendirilmesi için önemli veriler ortaya konularak, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde tasarruf sağlanabilecektir. Ayrıca mevcut ünite ve ekipman kapasiteleri kullanılarak, çamur stabilizasyonu ve enerji üretimi için optimum işletme şartları belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Aktif Çamur Prosesi

AAT'lerde biyokimyasal olarak organik maddelerin oksidasyonunu sağlayarak organik madde giderimini gerçekleştiren sistemler ikincil arıtma prosesi olarak adlandırılmaktadır. İkincil arıtmada en yaygın kullanılan proses aktif çamur prosesidir.

Bu proste; ızgaralardan, kum-yağ tutucular (KYT) ve ön çökeltme havuzlarında (ÖÇH) işleme tabi tutulan atıksular ön arıtmadan geçirilmiş olur. Ön arıtma ünitelerinden çıkan ve yüksek konsantrasyonda mikroorganizma ile nütrient içeren atıksular havalandırma havuzuna (HH) iletilir. HH'da mikroorganizmaların biyokimyasal faaliyetleri ile organik madde giderimi sağlanır. HH'dan çıkan atıksular son çökeltme havuzuna (SÇH) ve sonrasında arıtılmış atıksular deşarj kanalına verilir. SÇH'da çöken biyokütlenin bir kısmı geri devir ile HH'a, bir kısımda çamur arıtımı için çamur yoğunlaştırıcılara (ÇY) iletilir. ÇY'dan alınan arıtma çamurları stabilizasyon ve susuzlaştırma ünitelerine verilir.

Anaerobik çamur çürütücü prosesleri sonucunda oluşan arıtma çamurlarının stabilizasyonu zor ve maliyetlidir. Bu çamurların stabilizasyonunda; anaerobik çürütme, aerobik çürütme, kompostlama, yakma, termal kurutma, solar kurutma vb. metotlar kullanılabilir. Arıtma çamurlarının stabilizasyonunda dünyada ve Türkiye'de büyük ölçekli tesislerde yaygın olarak anaerobik çamur çürütücüler kullanılmaktadır. Bu metodla hem çamur stabilizasyonu sağlanmakta hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz üretilebilmektedir.

Arıtma çamurlarının biyolojik arıtma sistemlerinde arıtımı ve bertaraf edilmesinin maliyeti, yaklaşık olarak toplam atıksu arıtma maliyetinin % 35-40'ını oluşturduğu belirtilmiştir (Yasui ve Shiba, 1994).

2.2. Arıtma Çamurlarının Özellikleri

Evsel veya endüstriyel atıksuların fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemlerle arıtılması sonucu üretilen sıvı veya yarı katı maddelere, uygulanan arıtma yöntemine bağlı olarak katı madde içeriği değişmekte olan ve genel bir yaklaşım olarak kütlece % 0.25-12 katı madde içeren sulu karışımlar arıtma çamuru olarak tarif edilmektedir (Filibeli, 2005).

Arıtma çamurlarının optimum arıtım ve bertaraf yöntemlerinin belirlenmesi için çamurun karakterizasyonunun bilinmesi önemli olmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan ve daha fazla önem arz eden çamurlar; ön çökeltme çamuru (ÖÇÇ), biyolojik fazla çamur (BFC) ve çürütülmüş çamur olarak özetlenebilir.

ÖÇÇ; gri renkte, yapışkan, kötü kokan, organik madde içeriği fazla ve kolaylıkla çürütülebilecek özelliktedir.

BFC; kahverengi renkte, flok ağırlıklı, toprak kokusunda ve ham çamurla birlikte

çürütülebilecek özelliktedir.

Anaerobik çürütülmüş çamur; koyu kahve renkli, çok miktarda gaz içeren ve tarımsal alanlarda kullanılabilecek özelliktedir.

Aritma çamurlarının arıtılmaları amacıyla uygulanan yoğunlaştırma, şartlandırma, susuzlaştırma ve kurutma yöntemlerinde esas amaç nem içeriklerinin azaltılmasıdır. Yakma, kompostlaştırma ve stabilizasyon gibi yöntemler ile çamurun organik içeriği azaltılarak kararlı hale getirilir (AATTUT, 2010).

2.3. Anaerobik Arıtma

Anaerobik arıtma; organik ve inorganik maddelerin oksijensiz ortamlarda yokluğunda mikroorganizmaların yardımıyla parçalanarak karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), hidrojen sülfür (H_2S) ve amonyak (NH_3) gibi nihai ürünlere dönüşmesi olarak açıklanmıştır (Debik ve ark., 2008).

Atıksu arıtma tesislerinde ortaya çıkan ham (birincil) çamur ve biyolojik fazla çamurlar oksijensiz ortamda çürütülürler. Anaerobik çamur çürütme prosesi, anaerobik bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Organik çamurların oksijensiz ayrışma süreci başlıca üç safhada gerçekleşir. Bu safhalar; hidroliz, asit üretimi ve metan üretimidir (Öztürk, 1999).

Anaerobik prosesler, ilk uygulamalarda fiziksel arıtma ünitelerinden veya biyolojik arıtma proseslerinden oluşan, yüksek miktarda su (%95) ve organik madde ihtiva eden çamurların arıtılmasında kullanılmıştır. Bu proseslerde çamurun çürütülmesiyle stabilizasyon sağlanarak çamur hacminde azalma ve patojenlerin giderilmesi sağlanabilmektedir (Öztürk ve ark., 2005).

Anaerobik sistemler yüksek organik yüklemelerde de çalıştırılabilmektedir (Rittman ve McCarty, 2001).

2.3.1. Anaerobik arıtmanın avantajları

Öztürk ve ark., (2005)'e göre; anaerobik arıtmanın avantajlarından bazıları şu şekilde özetlenmiştir.

- Daha düşük enerji ihtiyacı,
- Az çamur oluşumu,
- Daha düşük miktarda nütrient ihtiyacı,
- CO_2 'nin anaerobikte daha az üretilmesi,
- Daha yüksek organik yüklere cevap verebilmesi

Speece, (1996)'ya göre bazı avantajlar;

- Proses stabilitesinin sağlanabilmesi,
- İnşa alanı gereksiniminin azlığı,
- Oluşan gazın hava kirlenmesi açısından kontrol edilebilir olması,
- Ekolojik ve ekonomik açıdan fayda sağlanmasıdır.

Halisdemir, (2009)'a göre bazı avantajlar;

- Biyolojik çamurdaki su içeriğinin kolaylıkla ayrılabilmesi,
- CH₄ gibi faydalı bir son ürünün oluşması,
- İşletme maliyetinin düşük olmasıdır.

Ayrıca, anaerobik arıtmada daha az enerji ihtiyacı olmasının yanı sıra üretilen metanın da enerji olarak bir değeri olduğu belirtilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2003).

2.3.2. Anaerobik arıtmanın dezavantajları

Speece, (1996)' ya göre; anaerobik proseslerin avantajlarının yanında bazı dezavantajların da bulunduğu ve bunların en önemlilerinden bazıları şunlardır (Öztürk, 2007).

- Biyokütle gelişimi için uzun başlangıç evresinin gereksinimi,
- Seyreltik atıksularda yeterli alkalinitenin üretilmemesi,
- Atıksu arıtımında bazen istenilen standart değerlerin sağlanamaması,
- Seyreltik atıksuların arıtılması ile oluşan biyogaz miktarının az olması,
- Aşırı sülfatlı atıksularda koku probleminin olması,
- Nitrifikasyonun mümkün olmaması,
- Metanojenlerin toksik maddelere ve çevre şartlarına aşırı duyarlı olması,
- Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olmasıdır.

2.3.3. Anaerobik arıtmanın genel proses açıklaması

Anaerobik arıtma, farklı mikroorganizma türleri tarafından gerçekleştirilen karmaşık bir prosestir. Prosesin genel olarak işleyişi açıklanabilir. Speece, (1996)'ya göre anaerobik arıtmanın mekanizması Şekil 2.1'de verilmiştir (Öztürk, 2007).

Hidrolizin tam veya yeterli seviyede olmaması halinde, yeterli organik madde giderimi gerçekleşmemekte ve metan üretimi de azalmaktadır. Çevresel faktörlerden etkilenen hidroliz, anaerobik çürütmenin hızını ve verimini sınırlayan aşamadır (Öztürk ve ark., 2005).

Arıtma çamurlarının anaerobik çürütülmesi, hız sınırlayıcı hidroliz aşaması sebebiyle oldukça yavaş bir proses olduğu belirtilmiştir (Erden ve Filibeli, 2009).

Asit üretim safhası

Asit üretimi olan ikinci kademede ise asetojenik bakteriler birinci kademe hidroliz ürünlerini asetik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden daha fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürürler (Öztürk, 2007).

Metan bakterilerinin asetik asiti parçalamaları problemli ise organik maddeler propiyonat, bütirat gibi ara ürünlere dönüşürler. Asit bakterilerinin çoğalma sürelerinin çok kısa olması ve ortam şartlarına çok çabuk adapte olmaları nedeniyle asit üretim safhası, anaerobik arıtma için hız sınırlayıcı bir safha değildir (Debik ve ark., 2008).

Bu safhada pH düşer ve ortam asidik karakterdedir. Asit oluşturan bakteriler yardımıyla CO_2 , CH_4 ve az miktarda H_2S meydana gelmektedir. Ortamdaki KOI derişimi uzun süre değişiklik göstermez. Ortam pH'ı ayarlandığında belirli bir süre sonra KOI derişimi azalmaya başlar, bunun anlamı CH_4 bakterilerinin oluşmaya başlaması demektir (Halisdemir, 2009).

Hidroliz aşaması ve onu takiben gerçekleşen asitleşme aşaması, çürütücü ortamının pH'ını kontrol etmektedir (Öztürk ve ark., 2005).

Metan üretim safhası

Yapılan çalışmalar neticesinde ve literatür bilgilerine göre, anaerobik arıtma için metan üretim aşaması bir hız sınırlayıcı faktör olduğu söylenebilir. Bu safhada faaliyet gösteren metan bakterileri, ortam şartlarına karşı hassas olduklarından dolayı prosesin hızını etkileyebilmektedirler.

Bu safhanın tam olarak kontrolü sistem verimi açısından oldukça önemlidir. Genel anlamda metan bakterilerinin metan üretiminde kullandığı iki tür bes maddesi vardır. Birincisi CO_2 ve hidrojen (H_2)'den oluşurken, diğeri asetik asittir (Halisdemir, 2009).

Metanlaşma, asitleşme aşamasında üretilen asetat ve hidrojenin kullanıldığı anaerobik çürütmenin nihai aşaması olup, proses aşamalarında oluşan ürünler metan üreten bakterilerce metan gazına dönüştürülür (Öztürk ve ark., 2005).

Genel olarak anaerobik arıtmada oluşan metanın % 28'i CO_2 ve H_2 'den, % 72'si ise asetik asitten üretilir (Speece, 1996).

Biyogaz üretimi

Bu aşamada oluşan organik asitler, H_2 ve asetat; metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve CH_4 , CO_2 , H_2S ve NH_3 gazlarının karışımından oluşan ve "Biyogaz" olarak adlandırılan gaz karışımına dönüştürülmektedir (Halisdemir, 2009).

CO_2 'den CH_4 oluşumu, hidrojen kullanan metanojenler tarafından gerçekleştirilen metanojenik solunum ile olur (Alvarez, 2003).

Anaerobik arıtımın en önemli nihai ürünü, ekonomik bir değeri olan ve prosesin verimini belirleyen bir parametre olan biyogazdır. Üretilen biyogazın bir dizi arıtım ünitelerinden (köpük tutucu, çakıl filtre, desülfürizasyon vb.) geçirildikten sonra gaz motorları vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir.

2.3.4. Anaerobik çamur çürütme

Organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından oksijensiz ortamlarda çeşitli biyokimyasal reaksiyonlarla CH_4 , CO_2 , H_2S gibi ürünlere dönüştürülmesi olayı anaerobik arıtma olarak izah edilmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının stabilizasyonunda bir çok proses kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmaya başlanan proseslerin başında anaerobik çamur çürütme prosesi gelmektedir.

Anaerobik çamur çürütücülerin önemli avantajları vardır. Bunlardan bazıları;

- Gerekli alan ihtiyacının az olması,
- Ekonomik değeri olan metan gazının üretilmesi,
- Önemli oranda çamur kütlesinin azaltılması,
- Önemli oranda zararlı mikroorganizma gideriminin sağlanması,
- Hava (oksijen) ihtiyacının olmaması,
- İyi kalitede çürütülmüş çamur elde edilmesi.

2.3.4.1. Anaerobik çamur çürütücü tipleri

Anaerobik çamur çürütme prosesleri olarak, yüksek hızlı, düşük hızlı ve iki fazlı anaerobik çamur çürütücüler olmak üzere üç temel çürütücü tipi kullanılmaktadır. Yüksek hızlı anaerobik çamur çürütücüler yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

Düşük hızlı (standart) çürütücüler: Bu reaktörlerde, ısıtma ve karıştırma uygulanmaz. Hidrolik bekleme süresi (HRT) yörenin iklimine bağlı olarak 30-60 gün arasında değişir (Öztürk ve ark., 2005).

Karıştırma ve ısıtma yapılmayan bu tip anaerobik çamur çürütücülerinde köpük, duru faz, aktif çürüme bölgesi ve en altta çürümüş çamurun oluşturduğu bölge olmak üzere

dört tabakadan oluşur. Çürütücüde üretilen biyogaz, reaktörün üstünde toplanmakta ve buradan alınarak değerlendirilmektedir. Çamur çürütücü duru faz yüzeyden alınarak, atıksu arıtma tesisine geri devrettirilir. Stabilize olmuş çamur ise en dipten pompalar ile çekilerek, susuzlaştırma ünitesine iletilir.

Yüksek hızlı çürütücüler: Bu reaktörler ise anaerobik ayrışma sürecini hızlandırmak amacıyla ısıtma ve karıştırma uygulanır (Öztürk ve ark., 2005).

Yüksek hızlı çamur çürütücülerde HRT'nin 15-20 gün aralığında olduğu, anaerobik çamur çürütmenin tüm aşamalarının tek bir reaktör içerisinde gerçekleştirildiği ve sistemin özellikle büyük arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Şahinkaya, 2011).

Yüksek hızlı çürütücülere kesintisiz çamur beslemesinin yapılması durumunda, prosesi etkileyen parametrelerin kontrolü daha kolay olabilmektedir. Çamur beslemesinde yaşanan problemlerin çok kısa sürede giderilmesi gerekir.

İki fazlı anaerobik çürütücüler: Bu tip proseslerde hidroliz ve asitleşme aşamaları birinci reaktörde, metanlaşma aşaması ise ikinci reaktörde gerçekleştirilmektedir. İki fazlı çürütücülerin tek fazlılara kıyasla en önemli avantajlarından bazıları;

- Artan biyogaz üretimi,
- Biyogazın artan metan içeriği,
- Daha fazla UKM giderimidir (Şahinkaya, 2011).

Tek kademeli mezofilik anaerobik çürütme prosesi ısıtma, karıştırma, üniform çamur beslenmesi ve beslenen çamurun yoğunlaştırılmış olması ile karakterize edilmektedir. Çürütücülerde çamur karışımı, üretilen gazın geri devri ve/veya yardımcı mekanik karıştırıcılar ile sağlanabilmektedir. Bu tip çürütücülerde oluşan köpük tabakasının ve duru fazın ayrılması gerçekleştirilememektedir. Optimum çürütme hızlarına ulaşabilmek açısından çürütücü içerisindeki çamur ısıtılmaktadır (AATTUT, 2010)

2.4. Küresel Çapta Biyogaz Durumu

Dünyadaki nüfus artışı, kentleşme, endüstri tesislerin sayısındaki artış ve hızla gelişen teknoloji sonucunda enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Enerji açığını kapatmak için alternatif enerji kaynaklarına eğilim giderek artmıştır.

Biyokütleden enerji kazanımı için dünyada ve Türkiye'deki çalışmalara hız verilmiş ve gerekli yasal düzenlemeler de yapılmaya başlanılmıştır.

Arıtma çamurlarını pazar ürünü yapma ve satma fikri İngiltere ve Amerika'da doğmuştur. Çamur kavramının olumsuz imajını ortadan kaldırmak için biyokütle kavramını olumlu imajla yerleştirmişlerdir (Erdin ve Kroiss, 2009).

Evsel, endüstriyel ve hayvansal organik kökenli atıksu ve atıklar yenilenebilir enerji üretimi için önemli derecede potansiyel oluşturmaktadır. Organik maddeler, anaerobik proseslerde işleme tabi tutularak temiz enerji kaynağı olarak bilinen ve metan içeren biyogaza dönüştürülmektedir (Dumlu ve ark., 2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji içindeki payı yaklaşık % 5.5 civarında, biyokütlenin payı ise sadece % 3 civarındadır (Türker, 2008).

2.4.1. Dünyada durum

Dünyada enerji tüketim miktarı son 100 yılda yaklaşık olarak 17 kat arttığı ve bütün bunların sonucu olarak, enerji açığını karşılamak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verildiği belirtilmektedir. Biyokütle, dünyada dördüncü en büyük enerji kaynağını oluşturması yönüyle önemli bir enerji kaynağı konumundadır (Karayılmazlar ve ark., 2011).

Dünya Enerji Konseyi raporlarında; dünyanın birincil enerji tüketiminin, 2020 yılında 11.4-15.4 GTEP (Giga (Milyar) Ton Eşdeğer Petrol) ve 2050 yılında da 14.2-24.8 GTEP arasında olması beklenmektedir. Aynı rapora göre yenilenebilir kaynaklardan yapılacak üretim 2020 yılında 2.3-3.3 GTEP ve 2050 yılında 4.4-7.3 GTEP sınırlarında olacaktır (Karayılmazlar ve ark., 2011).

2030 yılı tahminleri dünya toplam enerji arzının 16,500 MTEP'e (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) ulaşacağını göstermekte, bu değer % 4.1'inin ise yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebileceği öngörülmektedir (Örücü ve Alp, 2007).

Nüfusu fazla olan Hindistan ve Çin'de her türlü organik atığın kullanılması ile elde edilen biyogazın yaygın olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Machaim ve Criden, 1981).

Avrupa Birliği kapsamında enerji tüketiminin % 2-3'ü biyokütleden karşılanmakta olup, bazı AB ülkelerinde biyokütlenin payı % 10-22 düzeyinde (Finlandiya % 22 ile dünya lideri olan ülke) bulunmaktadır.

Son yıllarda, küresel ve yerel bazda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırıldığı, toplam birincil enerji arzı ile elektrik enerjisi üretimindeki payının yükseltilmesine yönelik çalışmaların arttığı, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların, özellikle elektrik ve ısı üretimi ile biyoyakıtlar üzerinde yoğunlaştığı belirtilmiştir (Sohtaoğlu ve Papur, 2009).

Bölgesel olarak bakıldığında Avrupa, anaerobik biyoteknolojiyi en yoğun kullanan kıtadır. Avrupa'yı Güneydoğu Asya ve Kuzey Amerika izlemektedir. Ülkeler bazında bakıldığında anaerobik biyoteknolojiyi en yaygın kullanan ülkeler başta ABD olmak üzere Almanya, Japonya ve Hindistan'dır. Türkiye ise, sayı düşük olmasına rağmen ilk onbeş ülke kategorisindedir (Türker, 2008).

Almanya’da takriben 20,000 nüfusun üzerindeki arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının stabilizasyonu için en ekonomik yöntem olarak çürütme prosesinin kabul edildiği belirtilmiştir (Oles, 1995).

İngiltere’nin New Castle Bölgesinde bulunan Wilmington atıksu arıtma tesisinde oluşan çamurlar katı atıklarla birlikte çürütülerek, çıkan atıklar ise Cherry Adasındaki düzenli depolama alanına örtü olarak kullanıldığı, ancak bir müddet sonra çürütücülerden yayılan koku nedeniyle çürütücülerin kullanımının durdurulduğu belirtilmiştir (Kocasoy, 2009).

2.4.2. Türkiye’de durum

Türkiye’de kişi başına üretilen anaerobik çamur miktarı (kuru madde bazında) 30-40 grKM/kişi.gün olarak belirlenmiştir. Bu değer Danimarka, Almanya, Hollanda ve Yunanistan için sırasıyla 110, 95, 35 ve 25 gKM/kişi.gün mertebesinde (Çokgör ve ark., 2012).

Türkiye’de gözlenen yüksek büyüme beklentileri doğrultusunda, elektrik talebinde yıllık % 8 seviyesine varan talep artışı, sektörde büyük yatırım ihtiyacı doğurmaktadır. Tahminlere göre, düşük talep senaryosu altında Türkiye’nin 2020’den önce 41,000 MW’lık kurulu güç artışı gerçekleşmesi, yani bugünkü kurulu gücün yaklaşık iki katına ulaşması gerekecektir. Tahminlere göre, Türkiye, 2020 yılında enerjisinin en az % 25’ini yenilenebilir enerji kaynaklarından üreterek, dünya ortalamalarının üzerinde kalmaya devam edecektir (Örücü ve Alp, 2007).

Biyokütle kaynakları olarak; kentsel katı atık, tarımsal ürün, hayvan gübresi ve kentsel atıksu arıtma çamuru kaynak tipleri gaz kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Türkiye genelindeki 16 Büyükşehir Belediyesine ait atıksu arıtma çamuru kaynaklı gaz potansiyeli 1,879 milyar kWh/yıl olarak bulunduğu belirtilmiştir (Özcan ve ark., 2011).

Türkiye’de enerji yatırımlarını teşvik etmeyi amaçlayan Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) Yasa Tasarısı kabul edilerek 2011 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yasa ile yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük fiyat garantisi biyokütleyle verilmiştir. Biyokütleden üretilen elektrik için kWh başına ilk 10 yıl 13.3 cent-dolar’lık bir devlet alım garantisinin sağlanması ile özel sektör tarafından kurulacak birleşik biyokütle ısı ve güç santralleri sayısında yurt genelinde özlenen patlama gerçekleşebilecektir (Saraçoğlu, 2010).

Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli ısrarlı bir şekilde atıl durumda bırakılmakta ve bunun yerine ithal yakıtların tüketimi anlamsız bir şekilde teşvik edilerek dışa bağımlılığımız arttırılmaktadır (Arıkan, 2004).

Enerji tüketimimizin yaklaşık % 24’ü kömür, % 42’si petrol, % 17’si doğal gaz, % 14’ü yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Özetle; ülkemizin enerji

tüketiminde kullanılan kaynakların % 72.5 gibi büyük bir oranı dışa bağımlıdır (Balku, 2007).

2.5. Anaerobik Çürütücülerde Biyogaz Verimini Etkileyen Parametreler

Anaerobik arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğunun kapasitesinden en verimli şekilde yararlanabilmek için reaktörde optimum çevre şartlarının sağlanması gerekir. Tasarım aşamasında dikkate alınan parametre değerlerinde işletme yapmak ve maksimum verim almak için sistemi etkileyen parametrelerin kontrol altında tutulması gerekir.

Anaerobik çürütme ile biyogaz üretimi yapılan tesislerde üretilen biyogaz miktarı ve metan konsantrasyonu tesis verimliliği için önemli bir parametredir. Biyogaz üretim verimi ve kalitesini belirleyen en önemli girdi parametreleri uçucu organik katı madde yüzdesi (%UKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), SRT, OLR, sülfürlü bileşikler, iz elementleri ve toksik maddelerin miktarlarıdır (Şerit ve ark., 2010).

Anaerobik proseslere etki eden en önemli parametreler; pH, UYA/Alkalinite, sıcaklık, SRT, UKM ve çamur karışımıdır (Appels ve ark., 2008).

2.5.1. Atıksu debisi (Q)

Atıksu miktarları nüfusa ve içme suyu kaynaklarına bağlı olarak değişmektedir. Kişi başına su ihtiyaçları 100–300 l/N.gün arasında seçilmektedir. Kullanılan suyun yaklaşık % 80'nin atıksuya dönüştüğü kabul edilir (Alpaslan, 2004).

Kentlerde kanalizasyon sistemlerin genellikle birleşik sistem olmasından dolayı yağmur sularının da tesise ulaşması ile atıksu ve çamur arıtımı olumsuz etkilenmektedir. Endüstriyel atıksuların kontrolsüz deşarjları neticesinde tesislere ulaşabilecek zehirli maddeler sistemi inhibe edebilmektedir. Bu gibi durumlar anaerobik çamur çürütücülerin verimli işletilmesine negatif etkiler yapabilmektedir.

2.5.2. Askıda katı madde (AKM)

Sularda süspansiyon halinde bulunan, gözle fark edilen, çöktürme veya filtrasyon gibi fiziksel veya mekanik yolla kullanılmış sudan ayrılabilen katı maddelerdir.

Evsel nitelikli atıksularda AKM 100-350 mg/l'dır (Metcalf ve Eddy, 2003).

Endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıksuların kanalizasyon şebekesine kontrolsüz deşarjları neticesinde atıksu arıtma tesisinin girişindeki değerleri çok yüksek değerlerde olabilmektedir.

2.5.3. Çamur besleme debisi (Q_{bes})

Yoğunlaştırıcılardan çıkan çamur, yoğun çamur pompaları ile anaerobik çürütme prosesine iletilir.

Q_{bes} 'in artması ile mikroorganizmaların yıkanması ve metanojenlerin bekletme süresinin azalması gibi problemlerin oluşabileceği ve bunun sonucunda ise metan yüzdesinin, pH'ın, alkalinitenin ve biyogaz üretiminin düşmesi meydana geleceği belirtilmiştir (Alvarez, 2003).

Çamurun üniform bir şekilde beslenmesi çok önemlidir. Bu sebeple çamurun sürekli veya 0.5-2 saat aralıkları ile beslenmesine dikkat edilmelidir. Seyreltik çamur ile çürütücülerin beslenmelerinde, işletme sırasında gözlenebilecek olumsuzluklar şu şekilde sıralanabilir; HRT, UKM_{gid} , CH_4 , alkalinite değerlerinin düşük olması, yüksek ısıtma ihtiyacı ve nispeten sulu olan çamurun bir sonraki sisteme taşınması için daha yüksek maliyet (AATTUT, 2010).

2.5.4. pH

Anaerobik arıtmada pH temel proses kontrol parametrelerindendir. Metanojenler pH değişimine hassastırlar ve buna bağlı olarak da, CH_4 üretimindeki reaksiyonları değişiklik göstermektedir. Optimum pH aralığı 6.2-8.2 kabul edilmektedir. Bu aralıkta sistem normal olarak çalışır. pH değerinin düşmeye başlaması ve CO_2 'nin yükselmesi ile UYA/Alkalinite oranında artış olur. Bu durumda sisteme alkalinite ilavesi ve OLR'nin düşürülmesi gerekir (Öztürk, 2007).

Anaerobik proses üzerine yapılan bir çalışmada; metanojen bakterilerin 4-8.5 pH aralıklarında da aktif olduğu fakat en verimli aralığın 6.5-7.2 olduğunu belirtilmiştir (Appels ve ark., 2008).

Sistemde optimum şartların sürdürülememesi halinde, asit üreten bakteriler CH_4 üreten bakterilerin tüketebileceğinden daha fazla UYA üretmektedir. Böylece üretilen organik asitler sistemde birikmekte ve pH'ın daha da düşmesine neden olmaktadır (Şahinkaya, 2011). CH_4 gazı üretiminde ortam pH'ı 7-7.2 aralığında olması gerektiği belirtilmiştir (Uslu ve Koçer, 1998).

Anaerobik fermentasyona etki eden faktörlerden biri olan pH'ın 6-7 aralığında olması gerekmektedir (Özbay, 2006).

2.5.5. Toplam katı madde (TKM)

Birim hacimdeki numunenin 103-105 °C'de buharlaştırılması sonucu elde edilen madde ağırlığına TKM, filtrasyon ile tutulanlara AKM, filtrasyonla tutulamayanlara ise çözünmüş katı madde (ÇKM) denir. Arıtma çamurlarının stabilizasyonunda TKM % 2-5 aralığındadır (Topacık, 1987).

Çürütücülere yüklenen TKM miktarı arttıkça gaz üretimi de artmaktadır (Demirci ve Saatçi, 2003).

2.5.6. Uçucu katı madde (UKM)

Çürütme ile giderilebilen katı maddeyi ifade eder. Çamurdaki hacimsel azalma indeksi olarak da kullanılır. Arıtma çamurlarında toplam çamur içindeki UKM oranı; ham su karakteristiğine, arıtma yöntemine, öçç'nin çürütücüye alınıp alınmamasına göre farklılık gösterir. UKM oranı % 30-70 mertebesinde olup, çürüme sürecine giren bu kısmın yaklaşık % 60'ı stabilize olmuş halde sistemden çıkar (Alpaslan, 2004).

Hem TKM ve hem de UKM minimum ise ($< \% 30$) bu durum ham çamurun orta derecede parçalandığını ve çamur yaşının artırılması gerektiğini gösterir (Topacık, 1987).

Anaerobik çürütme prosesinde % UKM_{gid} 45-50 arasında değişmektedir. Tam karışımli mezofilik yüksek hızlı bir anaerobik çamur çürütücüde tahmin edilen UKM_{gid} oranı 30, 20 ve 15 günlük çürütme zamanlarına göre sırasıyla % 65.5, 60 ve 55 şeklinde olabilmektedir (AATTUT).

2.5.7. Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI_5)

Biyolojik oksijen ihtiyacı tarif olarak; organik maddelerin aerobik şartlarda bozunarak kararlı hale gelmeleri sırasında, bu ortamdaki bakteriler için gerekli olan oksijen miktarıdır. Organik maddeler bakteriler için gıda maddesidir. BOI_5 deneyinde, kanalizasyon ve endüstri atıklarının organik yük cinsinden kirlenme derecesi eşdeğer oksijen miktarı cinsinden tayin edilir (KAATLEK, 2009).

Atıksular organik maddeler içerdiğinden, bunların konsantrasyonları, yani 1 litre sudaki miktarları, kirlilik derecesinin ölçüsü olarak kabul edilir. Fakat atıksuların bileşimleri çok değişkendir ve içindeki maddeleri bir formülle ifade etmek mümkün değildir. Bu yüzden bu maddeleri eşdeğer konsantrasyon ile ifade etme yoluna gidilmiştir.

Biyokimyasal oksidasyon, su içinde bir oksidasyon olayı olup, bu yanma esnasında suda çözünmüş oksijen kullanılır. Ne kadar fazla oksijen sarf edilirse, sudaki organik madde miktarı da o kadar fazla demektir.

Organik madde ihtiva eden sulara suların oksijen ihtiyacı BOI_5 , karbonlu maddelerin tamamen CO_2 'ye dönüşmesine kadar artar. Teorik olarak sonsuz, pratik olarak yaklaşık 10 gün kadar bir müddet sonunda, bütün karbonlu maddelerin ayrıştığı kabul edilir (Öztürk ve ark., 2005).

Evsel nitelikli atıksularda BOI_5 110-400 mg/l arasında değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 2003).

Endüstriyel işletmelerden kaynaklanan atıksuların kanalizasyon şebekesine kontrolsüz deşarjları neticesinde BOI_5 konsantrasyonunda önemli derecede değişimler olabilmektedir.

2.5.8. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Kimyasal olarak oksitlenebilen organik maddelerin oksijen ihtiyacı KOİ ile ifade edilir. KOİ asit ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici (potasyum dikromat gibi) vasıtasıyla ölçülür. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğundan, KOİ daima BOİ₅'den daha büyüktür. Tasfiye edilmemiş evsel atıksular için BOİ₅/KOİ = 0.4-0.8 (ortalama 0.65) alınabilir (Öztürk ve ark., 2005).

KOİ önceden belirlenmiş bulunan belli miktarda bir oksidanın, kontrol altında bir ortamdaki numuneyle olan reaksiyonu olarak tanımlanır. Tüketilen oksidanın miktarı oksidanın oksijen eşdeğeriyle ifade edilir. KOİ çoğu zaman doğal sulardaki ve atık sulardaki kirleticilerin bir ölçüsüdür. Diğer alakalı analitik parametreler BOİ₅, toplam organik karbon (TOC) ve toplam oksijen ihtiyacıdır (TOİ). Çoğu zaman bu parametrelerden ikisiyle veya daha fazlasıyla aynı numunede karşılaşmak mümkündür (KAATLEK, 2010).

Evsel nitelikli atıksularda KOİ 250-1,000 mg/l arasında değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 2003).

2.5.9. Toplam organik karbon (TOC)

Organik karbon analizörleri ile çok çabuk tespit edilebilir. Bir kısım organik madde analizlerde oksitlenmediğinden TOC değeri genellikle KOİ değerinden küçük çıkar (Topacık, 1987).

İnert atıklarda TOC ≤ 30,000 (% 3), tehlikesiz atıklarda TOC ≤ 50,000 (% 5) ve tehlikeli atıklarda TOC ≤ 60,000 (% 6) olacak şekilde Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde (KAKY) standart konulmuştur (Çokgör ve ark., 2009).

Evsel nitelikli atıksularda TOC 80-290 mg/l arasında değişmektedir (Topacık, 2000).

2.5.10. Toplam kjeldahl azotu (TKN)

Organik bileşiklerde azot çeşitli formlarda bulunur. En çok kullanılan azot tipleri; organik azot, amonyum azotu, nitrit azotu ve nitrat azotu'dur. Bu dört azot formunun toplamı, toplam azot (TN)'u verir. Atıksu ve çamur analizlerinde eksi üç (-3) değerlikli azot, toplam kjeldahl azotu (TKN) olarak tarif edilir. TKN ise organik ve amonyak azotundan oluşur (Topacık, 1987).

Evsel nitelikli atıksularda toplam azot (TN) 20-85 mg/l ve toplam fosfor (TP) 4-15 mg/l arasında değişmektedir (Topacık, 2000).

Evsel nitelikli AAT'lerde arıtılmış atıksuyun 2 saatlik kompozit numuneler için AB standart değerleri, nüfus ≥100,000 kişi için TN ≤ 10 mg/l ve TP ≤ 1 mg/l'dir.

2.5.11. Protein

Proteinler yirmi kadar doğal aminoasitin polimerleridir. Anaerobik reaktörlerde proteinler, mikroorganizmalar tarafından gazlara ve amonyağa dönüştürülür. Ortalama olarak 6,5 g protein içerisinde 1 g N (Azot) olduğu kabul edilir (Öztürk, 2007).

Yüksek seviyede amonyum (NH_4^+) veya protein ihtiva eden atıksularda amonyak (NH_3) toksisitesi de önemli bir sorundur. Su ortamındaki serbest (iyonize olmamış) NH_3 yüzdesi pH ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle, amonyak inhibisyonunda sıcaklık ve pH gibi ortam şartları inhibisyon derecesini etkilemektedir (Öztürk ve ark., 2005).

Aritma çamurlarının muhtevasında bulunan protein miktarı anaerobik çürütücülerde biyogaz verimine etki edebilmektedir.

2.5.12. Alkalinite (CaCO_3 olarak)

Bu parametre çürüyen çamurun tamponlama kapasitesini gösterir. Bir dereceye kadar besleme çamuru katı madde konsantrasyonu ile orantılıdır. Bikarbonat alkalinitesi pH'dan daha çok çürütücü şartlarındaki değişimlerden etkilenir (Topacık, 1987).

Besleme çamurundaki alkalinite; 1,000-4,000 mg/l ve çürümüş çamurda ise 2,500-4,000 mg/l aralıklarında seyredebilir (Öztürk ve ark., 2005). İyi bir şekilde işletilen anaerobik bir çürütücüde alkalinite konsantrasyonu 2,000-5,000 mg/l CaCO_3 arasında olması öngörülmektedir (AATTUT, 2010).

Anaerobik reaktörde tamponlayıcı bileşiklerin varlığı, substrat konsantrasyonuna ve organik madde yüküne bağlıdır. pH değerinin kararlı olması için gerekli alkalinite, karbonat dengesi ile sağlanmaktadır. Anaerobik süreçte yer alan tamponlayıcı bileşikler, bikarbonat, hidrojen sülfid, fosfat ve amonyaktır (Anderson ve Yang, 1992).

Alkalinite değerindeki düşme veya gaz içerisindeki CO_2 miktarının artışı, pH değerinin düşmeye başlamadan önce sistemin bozulduğunu gösterir (Klein, 2002).

Bir çürütücü içerisindeki başlıca alkalinite tüketicisi CO_2 'dir. Ayrıca UYA'da alkaliniteyi tüketmektedir. Çürütücüde bulunan gazların kısmi basınçlarından dolayı, CO_2 çözünmekte ve karbonik asite dönüşmektedir. Karbonik asit ise ortamda bulunan alkaliniteyi tüketmektedir. Bu sebeple çürütücülerin alkalinite ihtiyacının izlenmesi için anaerobik çamur çürütücülerde üretilen gazın CO_2 içeriğine bakılmaktadır. Gerekli durumlarda kostik, sodyum bikarbonat veya kireç gibi alkalinite kaynakları eklenerek, çürütücülerde olması gereken alkalinite miktarı sağlanabilmektedir (AATTUT, 2010).

2.5.13. Uçucu yağ asitleri (UYA)

Toplam uçucu asitlerin konsantrasyonu çürüme prosesinin iyi bir göstergesidir. Asit üretimi; asetojenik bakteriler hidroliz ürünlerini asetik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden daha fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürürler. Kararlı şartlarda

yağ asitleri konsantrasyonu oldukça düşük seviyelerdedir. Besleme çamurunda; 1,000-1,500 mg/l'ye kadar değişebilir. UYA konsantrasyonunun aşırı artması sonucu pH'da ani bir düşüş olur. pH'daki düşüşten bir süre sonra alkalinite de ani azalma gözlenir. Bu esnada gaz üretiminin yavaşlaması nedeniyle gaz debisinde azalma ve gazdaki metan yüzdesinde düşüş olur. Bunların sonucu olarak reaktör çıkışındaki KOI konsantrasyonu yükselir ve sistemin verimi düşer (Öztürk, 2007).

Çürümüş çamurda; UYA<500 mg/l olması çürüme prosesinin iyi işlediğini gösterir. İyi kalite çürüyen çamurlarda ise bu değer UYA<300 mg/l' dir (Topacık, 1987).

Anaerobik arıtma sistemlerinde uçucu asit konsantrasyonunun artması önemli bir problemdir. Uçucu asit konsantrasyonlarının artmasının birkaç nedeni olabilir. Bunlar;

- İz element, N ve P yetersizliği,
- Organik yüklemenin metan bakterileri tarafından karşılanamaması,
- Giriş suyu pH'ı ve alkalinitesinin düşüklüğüdür.

Ayrıca, organik yükleme fazla olduğunda bakteriler asetik asiti de yeteri kadar parçalayamazlar. Dolayısıyla çıkış suyunda UYA miktarı artar. UYA konsantrasyonunun artması pH'ın azalmasına sebep olur. Bu da metan bakterilerinin çalışmasını olumsuz yönde etkiler. Hatta pH düşüşü devam ederse metanojenik faaliyet tamamen durur. Bu yüzden anaerobik arıtma sistemlerinde UYA sürekli izlenmesi gereken çok önemli bir parametredir. UYA konsantrasyonu arttığında pH'ın düşüşünü tamponlamak için alkalinitenin arttırılması ve yağ asiti konsantrasyonundaki bu artışın nedenlerinin araştırılması gereklidir (Debik ve ark., 2008).

Anaerobik arıtım için besleme çamurunda UYA konsantrasyonun 1,000-1,500 mg/l aşmaması gerektiğini, bu değerlerin üzerinde muhtemel zehirlilik etkisinin görüleceğini belirtmektedir. UYA konsantrasyonunun 2,200 mg/l olduğu şartlarda organik yükün azaltılması gerektiği belirtilmiştir (Schober ve ark., 1999).

Polonya'da evsel katı atıkların organik fraksiyonları ile arıtma çamurlarının ortak stabilizasyonunda CH₄ oluşma kinetiğinin araştırıldığı bir çalışmada; SRT'nin artması ile üretilen biyogazda artış, UYA'da ise azalma olduğu görülmüştür (Sosnowski ve ark., 2008).

2.5.14. UYA / Alkalinite

Anaerobik çamur çürütücülerin işletilmesinde dikkate alınacak en önemli parametrelerdendir. Bu değer 0.1'den küçük olması çürüme işleminin iyi olduğunu gösterir. Bu oranın artmasına aşırı hidrolik yükleme sebep olabilir ve CO₂ oranının da artmasına neden olur. Böyle bir durumda çürütücüdeki karıştırıcı ve ısıtıcılar kontrol altında tutulmalıdır (Öztürk, 2007).

UYA/Alkalinite bağıntısı başarılı bir çürüme işlemi için anahtar kelimedir. UYA'nın düşük seviyede ve alkalinitenin yüksek olduğu durumlarda çürüme gerçekleşir. Bu oran artar ve önlem alınmazsa, çürütücü gazın CO₂ değeri artacak, çürütücüdeki çamurun pH'ı düşecek ve çürütücü bozulacaktır. Çürütücüye ham çamurun aşırı beslenmesi, çürümüş çamurun çok çekilmesi veya şok yükler bu oranın dengesini bozabilir (Topacık, 2000).

2.6.15. Organik yükleme hızı (OLR)

Birim mikroorganizma başına isabet eden besi maddesi miktarıdır. Anaerobik proseslerde F/M olarak ifade edilir. Çürütücülerde; birim çürütücü hacmine beslenen uçucu çamur ağırlığı (kg UKM / m³.gün) olarak ifade edilir. Mezofilik yüksek hızlı anaerobik çamur çürütücüler için OLR > 1.6 kgUKM/m³.gün olabilmektedir (Alpaslan, 2004).

Tam karışım ve çamurların ısıtılması sağlanan mezofilik çürütücülerde OLR<6.4 kgUKM/m³.gün olabilmektedir. OLR artışı ile öncelikle metanojenler etkilenir ve UYA birikimi olur. Buna bağlı olarak da pH'da düşüş gözlenir (Alvarez, 2003).

Aşırı OLR; çürütücüde toksik bileşikler, kum ve tortu birikmesi ile organik yüklemekten bağımsız olarak sıcaklığın değişmesi gibi olumsuz etkiler oluşturabilir (Topacık, 1987).

OLR; birim reaktör hacmine günde yüklenen organik kuru madde miktarını tanımlamaktadır. Mezofilik şartlarda bu değerin 4 kgUKM/m³.gün'ü geçmemesi tavsiye edilmektedir. Bazı uygulamalarda 6.4-10.5 kgUKM/m³.gün arasında değişen yükleme oranlarında çalışılmış ve %50 UKM giderimine ulaşılmıştır. Fakat genel olarak yükleme oranı arttıkça UKM gideriminin de düştüğü belirtilmiştir (İlkiliç ve Deviren, 2011).

Yükleme oranı çok yüksek olursa, ortamın pH değeri düşer ve inhibasyon meydana gelir. Bunun nedeni metan bakterilerinin H₂'i yeterli hızda uzaklaştıramaması sonucunda asit bakterilerinin baskın hale gelmesi ve UYA üretiminin artarak asit birikiminin oluşmasıdır. Bu da sistemin dengesinin bozulmasına neden olur (Van Die, 1987).

Yüksek KM'de (susuzlaştırma çıkışı çamuru; % 20 KM) daha fazla organik madde yüklemesinin (4-6 kat) mümkün olduğu rapor edilmiştir (Duan ve ark., 2012).

Organik maddenin artırılması ve SRT'nin azaltılması ile biyogaz üretim hızının arttığı fakat CH₄ veriminin azaldığı (UKM'nin tam parçalanmamasından dolayı) görülmüştür (Nges ve Liu, 2010).

Anaerobik tasarım işlemlerinden biri olan OLR, 0.6-1.6 kg/m³.gün olmalıdır. Fakat bu parametre son zamanlarda iyi tanımlanmamış ve oldukça yüksek değerler rapor edilmiştir (Özbay, 2006).

2.5.16. Sıcaklık

Sıcaklık sınırlandırıcı bir faktör olarak özgül büyüme hızını etkilemektedir (Muslu, 2001). Sıcaklık faktörü anaerobik reaktörleri hem kinetik, hem de termodinamik açıdan etkiler. Anaerobik proseslerde, sıcaklık atışı ile biyokütlenin çoğalma hızının artması ve parçalanma reaksiyonlarının daha çabuk olması nedeniyle proses verimi sıcaklık ile artış göstermektedir. Mezofilik sistemlerde sıcaklık aralığı 25-40 °C'dır. Reaktör sıcaklığının düşmesinin nedenleri; aşırı hidrolik yükleme veya yetersiz karıştırma olabilir. Sıcaklığın aşırı artması (>49 °C) durumunda ısıtıcılar kontrol edilir (Öztürk, 2007).

Tam çürüme için gerekli zaman artan sıcaklık ile azalır. Sıcaklıktaki +/- 2.8°C'lik değişikliği sistem tolere edebilir (Topacık, 1987).

Anaerobik çürütme, iki farklı sıcaklık aralığında gerçekleştirilmektedir; mezofilik (35-37 °C) ve termofilik (50-60°C) sıcaklıklar. Sıcaklıktaki yükselme, hücre dışı enzimlerin aktivitesini ve kütle transferini arttırarak mikroorganizmaların üreme hızına, metabolik faaliyetlerine ve çürütücüdeki mikrobiyal popülasyona etki etmektedir. Buna karşın, uzun süreli sıcaklık düşmesi, asetik asit kullanarak metan üreten bakterileri etkileyerek metan üretimini azaltmaktadır. Sonuçta sıcaklık salınımı, sistemde asit birikmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, reaktörler, sabit sıcaklıkta işletilmelidir. Mezofilik anaerobik çamur çürütücüler, termofilik çürütücülere kıyasla daha yaygın kullanılmaktadır (Gavala ve ark., 2003). Mezofilik çürütücülerin daha yaygın kullanılmasının başlıca nedenleri, çürütücüyü ısıtmak için gereken enerji ihtiyacının daha düşük olması ve sürecin daha kararlı çalışması olduğu belirtilmiştir (Ahring, 1994).

Sıcaklık azalışı metan oluşum hızına, asitleşme evresinin hızına oranla daha çok etki eder. Sıcaklığın artışıyla fermentasyon süresi kısalmır (Rajeshwari ve ark., 2000).

Anaerobik fermentasyonda en çok uygulanan sıcaklık 20-40°C bölgesidir. Bekletme süreleri 20-40 gün arasında değişir. Avrupada bulunan biyogaz sistemlerinin % 87'si mezofilik sıcaklık bölgesinde çalışmaktadır. Fakat termofilik ve mezofilik reaktörler arasındaki bu fark azalma eğilimi göstermektedir (Anonymous, 1980).

Sıcaklık sadece mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini değil aynı zamanda biyolojik katıların çökelme özelliklerini ve gaz transfer hızını da etkilemektedir. Özellikle hidroliz ve CH₄ üretim hızlarının belirlenmesinde sıcaklık parametresi çok önemlidir. İstenilen UKM_{gid} sağlanabilmesi için gerekli minimum SRT'nin belirlenmesi, sıcaklık parametresi göz önüne alınarak yapılmaktadır (AATTUT, 2010).

2.5.17. Biyogaz

Anaerobik arıtma proseslerinde kompleks organik bileşiklerin metan gazına dönüştürülmesinde çeşitli tür ve özellikte mikroorganizma grupları yer almaktadır. Bu kompleks organiklerin havasız ayrıştırılması hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi olmak

üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Metan, asetik asidin parçalanması ve/veya H_2 ile CO_2 'in sentezi sonucu üretilir (Öztürk, 2007).

Çürütücü gazının özgül ağırlığı havaya oranla yaklaşık 0.86'dır. Anaerobik bir çürütücünün düzgün bir şekilde işletildiğinin en önemli göstergesi gaz üretimidir. Üretilen biyogaz yakıt olarak kullanılabilir. Fakat beslenen çamurda gözlenen değişken UKM konsantrasyonları ve çürütücüdeki biyolojik aktiviteye bağlı olarak gaz üretimi, çok geniş bir aralıkta salınım gösterebilmektedir. Metan gazının standart şartlar altında ($20^\circ C$ ve 1 atm basınçta) $35,800 \text{ kJ/m}^3$ ısı değeri vardır. Çürütücülerde üretilen toplam gazın yaklaşık % 65'inin CH_4 içerikli olduğu kabul edilerek, çürütücü gazının ısı değeri $22,400 \text{ kJ/m}^3$ olarak alınabilmektedir (AATTUT, 2010).

Üretilen gazın bileşimi, miktarı ve toplam hacmi bir çürütücünün verimini ifade eder. Çürütücüye verilen çamur miktarının sabit olduğu düşünülürse, üretilen gazın toplam hacmi, çürütücüdeki reaksiyonun derecesinin bir ölçüsüdür. Gaz üretimindeki azalma sebepleri; OLR'de azalma, toksik elementlerin CH_4 üreten bakterilere etki etmesi ve sıcaklık değişimleri gibi etkenlerden olmuş olabilir. Gaz üretimindeki ani artış, yüksek organik yükün bir göstergesidir (Topacık, 1987).

Anaerobik arıtmada biyogazın yüksek miktarlarda olması istendiği gibi, biyogaz içerisindeki metan muhtevasının da fazla olması istenir. Eğer biyogaz içerisindeki metan yüzdesi düşerse bunun temel sebeplerinden biri metan bakterilerinin çalışmasına etki eden bir unsurdur. Normal şartlarda ($0^\circ C$ ve 1 atm), glikoz ($C_6H_{12}O_6$) için giderilen beher gr KOI başına üretilmesi gereken metan miktarı 0.35 L'dir (Metcalf ve Eddy, 2003).

İtalya'da ön çökeltmesiz bir atıksu arıtma tesisi arıtma çamurlarının mezofilik çürütücülerde $35-37^\circ C$ de, 20-40 gün katı bekletme sürelerinde $1 \text{ kg UKM/m}^3 \cdot \text{gün}$ organik yükleme değerlerinde çalıştırılmasından elde edilen sonuçlar göre; sistemde üretilen gaz için $0.07-0.18 \text{ m}^3/\text{kgUKM}$ değeri belirlenmiştir (Bolzonella ve ark., 2005).

2.5.18. Metan (CH_4)

Çamur çürütme süreci esnasında üretilen biyogaz önemli bir enerji kaynağıdır. Çürütücü gazı % 60-70 CH_4 içerir. Bu oran ne kadar yüksek olursa sistemin de o kadar iyi çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

2.5.19. Karbondioksit (CO_2)

Çürütücü gazı %15-35 CO_2 içerir. Bu oran ne kadar düşük olursa sistemin de o kadar iyi çalıştığını gösterir (Öztürk ve ark., 2005).

Gazdaki CO_2 değişimi çürütücünün performansını belirler. Eğer CO_2 içeriği %42 değerini aşarsa, çürütücün bozulmaya başladığı düşünülür (Topacık, 2000). CO_2 oranının artması ile UYA/Alkalinite oranı da artacaktır. Bu durum sisteme alkalinite takviyesini gerektirir (Öztürk, 2007).

2.5.20. Hidrojensülfür (H_2S)

Atıksu içerisinde aşırı miktarda sülfat olması durumunda, sülfat indirgeyen bakteriler baskın duruma gelir ve reaksiyon sonucunda ara ürün olarak H_2S ortaya çıkar (Öztürk, 2007).

Üretilen H_2S metan bakterileri için toksik bir maddedir. H_2S konsantrasyonu 200 mg/l'yi aştığı durumlarda CH_4 üretiminin tamamen durduğu bilinmektedir. Ayrıca oluşan H_2S gaz formunda iken oldukça korozyon bir maddedir ve reaktör ile borularda korozyona sebep olur. Bunlara ilaveten sülfat içeren atıksuların arıtımı sonrası ortaya çıkan H_2S atmosferi kirleten gazlardan biridir. (Debik ve ark., 2008).

Yüksek değerlerdeki H_2S , ekipmanlarda korozyona sebep olmakta ve bakım giderlerini artırmaktadır. Sülfürün istenilen değerlere getirilmesi için uygulanması gereken desülfürizasyon ünitesi ise ekstra bir yatırım ve işletme maliyeti getirmektedir.

Oluşan biyogazın içerisindeki H_2S 'in desülfürizasyon ünitesinde arıtılması sonucunda, daha kaliteli biyogaz elde edildiği gibi ekipmanların faydalı ömrünün de uzaması sağlanmış olur.

2.5.21. Biyogaz (m^3) / kişi.gün oranı

Çürütücülerde oluşan gaz verimini belirlemede kullanılan önemli bir kriterdir. Biyogaz (m^3)/kişi.gün oranının 0.03-0.04 aralığında olması sistemin verimli çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

Çürütücülerin boyutlandırılmasında göz önüne alınan diğer bir yaklaşım ise kişi başına düşen reaktör hacmi seçimidir. Bu değer farklı atıksu çamurları için farklı aralıklarda olmaktadır. Örneğin ÖÇÇ için bu aralık 0.03-0.06 m^3 /kişi olarak verilirken, karışık (ön çöktürme + atık aktif çamur) çamurlar için bu aralık 0.07-0.11 m^3 /kişi olmaktadır. Örneğin; evsel atıksuların biyolojik arıtma ile arıtıldığı bir arıtma tesisinde gaz üretimi yaklaşık 28 $m^3/10^3$ kişi.gün olmaktadır (AATTUT, 2010).

2.5.22. CH_4 (m^3) / kg KOI_{gid} . oranı

Anaerobik çamur çürütücülerde giderilen KOI miktarı ile oluşan metan gazı arasında bir ilişki söz konusudur. $CH_4/kgKOI_{gid}$. oranı prosesin verimi açısından önemli fikir vermektedir.

2.5.23. $CH_4(m^3)$ / kg TOC_{gid} . oranı

Çürütücülerde TOC giderimi ile oluşan biyogazın içerisindeki CH_4 gazı arasındaki ilişki ile biyogaza dönüştürülen TOC hakkında önemli bulgulara ulaşılır.

2.5.24. Biyogaz(m^3) / kg.UKM_{gid}. oranı

Çürütücülerde UKM_{gid} ile biyogaz arasındaki ilişki sistemin etkinliği açısından önemli bir kriterdir. Biyogaz (m^3)/kg.UKM_{gid}. oranının 0.75-1.12 aralığında olması sistemin verimli çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

Ayrışan organik maddeden spesifik biyogaz üretim hızı, katı madde bileşimine bağlı olmakla beraber yaklaşık olarak 748-1,123 l/kg UKM_{gid}. aralığında olup, ortalama 900 l/kg UKM_{gid} olarak kabul edilmektedir (Küçükhemek ve ark., 2007).

2.5.25. Nütrientler

Anaerobik bozunmada kirleticilerin giderimi, yeni mikrobiyal hücrelerin üretimi ve organik maddelerin CH₄ ve CO₂'ye dönüşmesi için N, P gibi nütrientlerin yeterli miktarda bulunması gereklidir (Öztürk ve ark., 2005).

Evsel atıksu karışımında, anaerobik arıtma için gerekli nütrientler sistemde sınırlayıcı olamayacak kadar çok bulunmaktadır. Bu nedenle, evsel arıtma çamurlarının da anaerobik çürütme için yeterli miktarda N, P ve iz elementleri (kalsiyum, sodyum, potasyum, demir, nikel, kobalt, sülfür, vb.) içerdiği kabul edilmektedir (Şahinkaya, 2011).

2.5.26. Zehirlilik etkisi

Mikroorganizmalara zehirlilik etkisi gösteren amonyak, H₂S ve UYA gibi bileşiklerin, reaktörün hem yeni işletmeye alındığı dönemlerde hem de normal işletme dönemlerinde sürekli kontrolü gerekmektedir. NH₃, N'li organik maddelerin parçalanması sonucunda üretilmektedir. Amonyum ve serbest amonyak, inorganik azotun bir şeklidir. Serbest amonyak, amonyağın en toksik halidir (Chen ve ark., 2012).

Ağır metal iyonları, sülfidler, sülfürler gibi inorganik iyonlar ile birçok organik maddeler anaerobik mikroorganizma topluluğuna toksik ve inhibitör etki yaptığı belirtilmiştir (Schmidt ve ark., 2000). Bu ağır metallerden özellikle demir, nikel ve kobalt düşük oranlarda fermentasyonu hızlandırırken, düşük sıcaklıklarda toksik etkiye neden olduğu belirtilmiştir (Ram ve ark., 2000).

2.5.27. Katı madde alıkonma süresi (SRT)

SRT ile HRT, geri devirsiz çürütücülerde birbirine eşittir. SRT, katı maddelerin çürütücü içerisindeki ortalama bekleme (tutulma) zamanını, HRT ise sıvının çürütücü içerisindeki ortalama bekleme (tutulma) zamanını ifade etmektedir. Çözünmüş substrat için SRT, reaktördeki katı madde miktarının reaktörden bir günde uzaklaştırılan katı madde miktarına oranıdır. HRT'de reaktördeki sıvı hacmin bir günde beslenen çamur hacmine oranıdır.

Çürütme sırasında meydana gelen üç reaksiyonun gerçekleşebilmesi tamamen bu iki bekleme süresi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Her reaksiyon için minimum bir

SRT vardır ve bu sürenin altındaki bekleme sürelerinde bakterilerin hızlı bir şekilde gelişimi gözlenmemekte ve nihayetinde çürütme prosesi tamamen durmaktadır. Pratik uygulamalarda, yüksek-hızlı havasız çürütücülerin tasarımında 12-20 gün aralığında SRT seçilirse mikroorganizmaların yıkanma tehlikesinin bulunmadığı gözlenmiştir (AATTUT, 2010).

SRT; reaktördeki toplam katı maddenin (kg), günlük uzaklaştırılan çamura (kg/gün) oranı olarak hesaplanır.

HRT; reaktör hacminin (m^3), debiye ($m^3/gün$) oranıdır (Arceivala, 2002).

HRT doğrudan, kimyasal reaksiyonun meydana geldiği hacmin büyüklüğüne ve tesisin beslenmesine bağlıdır. Uçucu katının reaktörde kalış süresi anaerobik fermentasyonda en önemli faktörlerden birisidir. Tek kademeli karıştırıcılı tip reaktörlerde hidrolik bekletme süresi ile katı madde bekletme süresi birbirine eşittir. Bekletme süresini etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır. SRT'nin çok düşük tutulması, fermentasyon için gerekli zamanın olmaması nedeniyle sistemin çökmesine neden olur. Bekletme süresinin artırılması, hayvansal atıklar içerisinde bulunan selüloz içeriği fermentasyonu sağladığı için, birim atık başına elde edilen biyogaz miktarını artırır (İlkiliç ve Deviren, 2011).

Arıtma çamurlarının anaerobik çürütücülerde çürütülmesinde SRT'nin araştırıldığı bir çalışmada; 9 günlük bekletme süresinde kısa devre olduğu (köpük oluşumu ve bakteri kaçması vb.) görülmüştür. SRT'nin azaltılması ve organik maddenin artırılması ile biyogaz üretim hızının arttığı fakat metan veriminin azaldığı (UKM' nin tam parçalayamadığından) görülmüştür (Nges ve Liu, 2010).

2.5.28. Oksijen (O_2)

Anaerobik arıtmada kararlılığın sağlanabilmesi için ortamda kesinlikle serbest oksijen bulunmamalıdır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile arıtma sürecini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle, NO_3^- , H_2O_2 , SO_4^{2-} , HS^- vb. maddeler anaerobik sistemlerin verimini olumsuz yönde etkiler (Öztürk ve ark., 2005).

2.5.29. Karıştırmanın Etkisi

Biyogaz üretilen birçok atık içerisindeki fiziksel özelliklerden dolayı reaksiyon esnasında diğer atıklarla temas etmesi için karıştırma gerekir. Reaktördeki atığın karıştırılmasının avantajları şu şekilde sıralanabilir (Anonymous, 1999);

- Metanojenistler tarafından üretilen biyogazın çıkışını kolaylaştırmak,
- Bakteri popülasyonu ve taze atığın karışması ile reaksiyonu hızlandırmak,
- Köpük oluşumunu ve partiküllerin taban kısmına çökmesini engellemek,
- Reaktördeki atığın sıcaklık dağılımını eşitlemek,

- Çamurdaki bakteri popülasyon yoğunluklarını düzenlemek,
- Reaktördeki ölü alanın olumsuz etkilerini en aza indirmektir.

Aşırı ve hızlı karıştırma sonucunda birbirleriyle ilişkili bakterilerin temasının kaybolduğu, işlevlerini yerine getirememelerinden dolayı sistem veriminin düştüğü belirtilmiştir (İlkiliç ve Deviren, 2011).

Çürütücü içerisindeki substratın karıştırılması sayesinde mikroorganizmalar homojen bir biçimde dağıtılır ve aynı zamanda ısı transferi gerçekleşir. Karıştırma işlemi ayrıca çürümeyi hızlandırdığı için tane büyüklüğünü azaltmaya ve karışımdan biyogazın serbest kalmasına yardım eder (Halisdemir, 2009).

2.5.30. Basınç, su oranı, aşılama ve köpüğün etkisi

Reaktör içerisinde oluşacak basıncın anaerobik bakterilere ve dolayısıyla biyogaz üretim verimine etkisi söz konusudur. Literatürde konuyla ilgili olarak 0.75-1.5 kPa mutlak basınç aralığının, biyogaz üretimi için ideal olduğu ve bunun üzerindeki basınçlarda biyogaz üretiminin zorlaşacağı belirtilmektedir (Chynoweth ve Isaacson, 1987). Basınç yükseldiğinde metana göre 40 kez daha fazla çözünbilme özelliğine sahip CO₂'nin sıvı içerisindeki konsantrasyonu artmaktadır. Bu yüzden biyogaz içerisindeki metan oranı da yükselmektedir.

Atık sıvısı ile çamurun tam karışımı sağlanmalıdır. Genellikle gobar su oranı 1/1 olmalıdır veya atığın kıvamına göre su eklenmelidir, eğer suyun miktarı çok olursa gaz üretimi azalır (Mutlu, 2003).

Fazla miktarda gaz çıkışı çürütücülerde kalıcı köpük tabakasına yol açabilir. Köpük oluşumu, gaz çıkışının fazla olduğu işletmeye alma, inhibisyon sonrası iyileşme veya organik yükteki ani artıştan kaynaklanabilir. Köpük oluşumu, sıcaklık veya çamur bekleme süresinin yükselmesiyle azalır (İlkiliç ve Deviren, 2011).

2.5.31. Biyogaz ve enerji

Arıtma çamurlarının anaerobik proseslerde çürütülmesi sonucunda elde edilen biyogaz enerjiye dönüştürülebilir. Biyogazın içerisindeki CH₄'ün gaz motorlarında yakılması ile elektrik enerjisi üretilmektedir.

Giderilen 1 kg KOİ başına 0.38 m³ CH₄ üretilir. Biyogazın ısı değeri 21,000-25,000 kJ/m³, yoğunluğu ise havanınkinin % 86'sıdır (Öztürk ve ark., 2005).

Anaerobik sistemlerle biyogaz üretilen tesislerde; % 75 CH₄ içeren 1 m³ gaz, 1.4 kWh elektrik enerjisine eşdeğerdir. Üretilen biyogazın ancak bir kısmı enerji üretiminde kullanılabilir. Gazın geri kalan kısmı, atıksuda/çamurda çözünmüş halde sistemi terkeder. Bunun için giderilen KOİ'nin belli bir oranında biyogaz üretimi gerçekleşir (Arceivala, 2002).

2.6. Anaerobik Proseslerle Biyogaz Üretimine İlişkin Yapılan Çalışmalar

Yanabilen metan gazın parçalanana organik madde miktarı ile orantılı olduğu, 1776 da Alessandro Volta tarafından kanıtlanmıştır. Volta tarafından göl sedimanından gaz kabarcıklarının çıktığını gözlemesi ve sedimandan aldığı örneklerde yaptığı deneylerde ürettiği gaza 1787 yılında Lavoisier ve diğer araştırmacılar tarafından 'Karbonlu Hidrojen' adı verilmiş ve bu terim 1865'te Uluslararası Kimya Kongresinde 'metan' olarak kabul edilmiştir. 1895'te İngiltere'nin Exeter kentinde özel kanalizasyon sistemleriyle üretilen biyogaz sokak lambalarını aydınlatma amacıyla kullanılmıştır (Ferry, 1993).

II. Dünya savaşının başlamasıyla hızla tükenen petrol nedeniyle ortaya çıkan kriz Avrupa'da, biyogazın yakıt olarak kullanımını gündeme getirmiştir. 1940-1970 yılları arasında Kuzey Amerika ve Avrupa'da, çamur stabilizasyon tekniklerinin ve anaerobik reaktörlerin kullanımının geliştiği görülmektedir. Biyokütle enerjisi 1985'ten itibaren enerji planlamalarında önemli bir potansiyel olmuştur. 1990'lardan sonra, gelişmiş ülkeler teknolojik gelişmelere paralel olarak, merkezi biyogaz üretim tesisleri kurarak, enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü bu tesislerden karşılamışlardır (Lusk ve Moser, 1996).

Türkiye'de biyogaz konusunda yapılmış çalışmalar başlangıçta akademik düzeyde ele alınmış ve daha sonra projelere bağlı düzenli çalışmalara başlanmıştır. Günümüzde ise konunun ciddiyeti daha iyi anlaşılmakta ve konuyla ilgili bilimsel çalışmalarda artış gözlenmektedir (Halisdemir, 2009).

Kelessidis ve Stasinakis, (2012), Avrupa ülkelerinde evsel arıtma çamurlarının bertarafı ve nihai depolamasına ilişkin ayrıntılı bir karşılaştırma yapmışlardır. AB'nin çamur konusundaki mevzuatını değerlendirmişler, üye ülkelerdeki çamur oluşumuna ilişkin verileri incelemişler ve ülkelerin stabilizasyon, şartlandırma, susuzlaştırma ve diğer (termal kurutma, solar kurutma, pastörizasyon, uzun süreli depolama) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Nihai bertaraf olarak da tarımsal kullanım, yakma, depolama, kompost yöntemlerinin mevcut durumunu ortaya koymuşlar ve geleceğe ilişkin değerlendirmeler yapmışlardır.

Lee ve ark., (2011), yoğunlaştırılmış karışık (ön çökeltim ve atık aktif çamur) çamurun anaerobik çürütülmesinde CH_4 oluşturan bakterilere (methanogenesis) SRT'nin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada; laboratuvar ölçeğinde 0.9 litre etkin hacimde ve 35-38 °C'de çalışan mezofilik bir anaerobik çürütücüde arıtma çamurları 4-5-7.5-10-15-20 gün bekletme sürelerinde çalıştırılmıştır. Anaerobik çamur çürütücünden elde edilen biyogaz ve CH_4 gazının verimleri incelenmiştir. Çalışmada bu bekletme sürelerinde CH_4 oluşumuna etki eden bakteri grupları da incelenmiştir. Bakteri popülasyonlarının farklı SRT'lerde sistemdeki mevcudiyetleri karşılaştırılmıştır. Biyogazdaki CH_4 oranının % 59-62 aralığında değiştiğini ve en yüksek CH_4 değerine 15 günlük SRT'de ulaşıldığı, SRT'nin artması ile OLR'nin düştüğünü (20 günlük SRT'de en düşük yükleme yapılmış) ve uçucu madde

gideriminin SRT ile arttığını ortaya koymuşlardır.

Bolzonella ve ark., (2005), atıksu arıtma proseslerinde SRT'nin etkisini atık aktif çamurda mezofilik şartlarda çalışan anaerobik çürütücüde çalışmışlardır. İtalya'daki 4 adet ön çökeltmesiz AAT'de arıtma çamurlarının mezofilik çürütücülerde 35-37 °C de, 20-40 gün SRT'lerde 1 kg UKM/m³.gün OLR değerlerinde çalıştırılmasından elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Çamur çürütücüye beslenen çamurun katı madde içeriği % 2.6-3.9 ve sistemde üretilen gaz 0.07-0.18 m³/kg UKM olarak tespit edilmiştir. Çalışmada farklı SRT'lerde üretilen gaz miktarına ilişkin matematiksel bir model de uygulanmıştır.

Francioso ve ark., (2010), İtalya'da evsel atıksu arıtma çamurlarının çürütüldüğü ve biyogazın üretildiği 2 fazlı anaerobik çürütücülerdeki arıtma çamurunun kimyasal karakterizasyonunu araştırmışlardır. Çalışmada çamurdaki karbon izotop oranları da incelenmiştir.

Sosnowski ve ark., (2008), evsel katı atıkların organik fraksiyonları ile arıtma çamurlarının ortak stabilizasyonunda metan oluşumunun kinetiğini araştırmışlardır. 40 dm³'lük laboratuvar ölçekli reaktörde kesikli çalışmalar yapılmış ve tek başına katı atıkların ve katı atıkla birlikte arıtma çamurlarının beraber anaerobik olarak çürütülmesi neticesinde oluşan biyogaz üretimleri karşılaştırılmıştır. Arıtma çamurlarının stabilizasyonunda oluşan kinetik reaksiyonlar ve katsayıları ile biyogaz oluşumu arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Polonya'daki bir evsel atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örnekleri ile çalışılmış ve TKM, UKM, UYA ve KOI parametrelerin değişik SRT'lerde (3-40 gün) oluşan biyogaz verimine etkileri incelenmiş ve bunlara ilişkin kinetik denklemler oluşturulmuştur. SRT'nin artması ile üretilen biyogazda artış, UYA'da ise azalma olmuştur.

Appels ve ark., (2008), atık aktif çamurun anaerobik çürütülmesinin potansiyelini ve prensiplerini detaylı olarak inceledikleri araştırmalarında; proses parametrelerini, parametreler arası ilişkileri, tasarım metodlarını, biyogaz üretimini, muhtemel problemleri ve anaerobik çürütücülerdeki son gelişmeleri incelemişlerdir. Özellikle farklı SRT'lerde sistemdeki UYA ve lipidlerin değişimini değerlendirmiş ve en önemli tasarım ve işletme parametresi olan SRT'nin biyogaz oluşumu üzerindeki etkisinin sadece laboratuvar ölçekli araştırmalarda incelendiğini bildirmiştir. Anaerobik proseslere etki eden en önemli parametreler; pH, UYA/Alkalinite, sıcaklık, SRT, UKM ve çamur karışımı olarak belirlenmiştir. Metanojen bakterilerin 4-8.5 pH aralıklarında da aktif olduğu fakat en verimli aralığın 6.5-7.2 olduğunu belirtmişlerdir. Spesifik biyogaz üretim değerlerine 15-30 günlük SRT'lerde hızlı artışlar olabileceği fakat 30-100 günlük SRT'lerde ise artışların çok az veya sabit olabileceğini belirtmişlerdir.

Lee ve Rittmann, (2011), atık aktif çamurun anaerobik çürütülmesinde ön arıtma olarak Focused Pulse (elektrik akımı verme) uygulamasının düşük SRT'lerde laboratuvar ortamında (2-20 gün) etkisini araştırmışlardır. Bu durumda organik madde giderimi, CH₄

oluşumu, alkalinite vb. parametrelerin değişim verimleri incelenmiştir. Arıtma çamurlarına ön işlem uygulama sonucunda biyogaz ve CH₄ üretimlerinde artışlar olduğunu belirtmişlerdir.

Nges ve Liu, (2010), arıtma çamurlarının mezofilik ve termofilik çürütülmesinde SRT'nin etkilerini araştırdıkları çalışmada, İsveç'te bir AAT'nin arıtma çamurları ile laboratuvar ortamında (reaktör hacmi=4.5 L) çalışmışlardır. Her iki sistem için 3-5-9-12-15-20-25-30-35 gün SRT'lerde, 37 °C sıcaklık seçilmiş ve toplamda sistemler 223 gün çalıştırılarak (sistemlerde sabit pH ve biyogaz elde edilinceye kadar) sonuçlar gözlemlenmiştir. Çalışmada; işletme problemi (köpük, bakteri yıkanması vb.) yaşanmadan daha kısa SRT'de kabul edilebilir bir biyogaz eldesi ve UKM gideriminin sağlanması amaçlanmıştır. Sonuç olarak; 9 günlük SRT'de kısa devre oluştuğu (köpük oluşumu ve bakteri kaçması vb.) görülmüştür. SRT'nin azaltılması ve OLR'nin artırılması ile biyogaz üretim hızının arttığı fakat CH₄ veriminin azaldığı (UKM'nin tam parçalanamadığından) görülmüştür.

Chen ve ark., (2012), mezofilik anaerobik çamur çürütücüde farklı SRT'lerde anaerobik çamur çürütücülerdeki bakteriyel patojenlerin giderimi ve reaktör performansını araştırdıkları çalışmada, laboratuvar ortamında 5 L'lik bir reaktörde 35 °C sıcaklık ve 11-16-25 günlük SRT'lerde anaerobik çamur çürütücülerdeki patojenlerin (*Salmonella*, *Escherichia coli*, *Shigella*) giderimi incelenmiş ve bu SRT'lerde sözkonusu patojenlerin bulunduğu log'lar belirlenmiştir

Duan ve ark., (2012), laboratuvar ortamında tek kademeli 6 L'lik bir reaktörde, 35 °C sıcaklık ve 4-30 günlük SRT'lerde mezofilik çürütücü sistemi ile susuzlaştırma çıkışı çamurunu (% 20 KM) çalışmışlardır. Yüksek KM'de daha fazla organik madde yüklemesinin (4-6 kat) mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Müller ve ark., (2004), mekanik parçalanma işleminin uygulandığı bir çalışmada, anaerobik çürüme prosesinde hız sınırlayıcı aşama olan hidroliz reaksiyonunun hızlandırılması amacıyla dış gerilmeler uygulanmıştır. Anaerobik çamur çürütücü yapısının bozulması olarak tanımlanan ve fiziksel, kimyasal veya biyolojik kuvvetler uygulanarak gerçekleştirilen mekanik parçalanma prosesi anaerobik çürüme tankındaki SRT ve çürütücü tank hacmi gereksinimi azalttığını bildirmişlerdir.

Filibeli ve Kaynak, (2006), anaerobik işlem öncesinde çamura bir ön işlem olarak uygulanan mekanik parçalanma işleminin mekanizması ve arıtma çamurlarının anlatıldığı bir çalışmada organik maddenin yüksek derecede parçalanması klasik anaerobik çürüme işlemine göre daha fazla biyogaz üretimine olanak sağladığı rapor edilmiştir.

Halisdemir, (2009), biyogaz üretim verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de reaktöre beslenen hammaddedeki katı madde derişimi ve hammaddenin yapısı

olduğu, anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı maddenin kütlece %6 ile %10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin, katı madde derişiminin % 12'den fazla olması durumunda ise düştüğünü bildirmiştir.

Demirci ve Saatçi, (2003), mezofilik sıcaklıkta (37⁰C) çalışan Ankara Büyükşehir Belediyesi AAT'nin anaerobik çamur çürütücü kısmında deneysel çalışmalar günlük olarak yapılmış ve 6 ay sürdürülmüştür. Çürütücü girişinden ve çürütücü içerisinden alınan numunelerde TKM, AKM, UKM, alkalinite, pH, UYA analizleri ve sıcaklık ile gaz ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar, SRT'nin ortalama 20-22 gün, OLR'nin 1.2-1.5 kgUKM/m³/gün ve çürütücülerdeki pH'nın ortalama 7.3 olduğu şartlarda ideal gaz üretiminin sağlandığını göstermiştir. Ayrıca çürütücü içindeki UKM ile oluşan gaz miktarları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu ve UKM miktarının artışına bağlı olarak gaz üretiminin arttığı saptanmıştır. Bulgular, 0.2 m³gaz/kgUKM üretildiğini göstermektedir. Çürütücülerde yapılan analizler neticesinde elde edilen veriler ışığında toplam UYA/Alkalinite oranı genellikle 0.1'in altında bulunmuştur.

Şerit ve ark., (2010), iki fazlı biyogaz üretim tesislerinde gaz üretime etki eden parametrelerin incelendiği bir araştırmada; biyogaz miktarı ve içeriğindeki CH₄ konsantrasyonu arttıkça sistemin verimli çalıştığı, biyogaz üretim verimi ve kalitesini belirleyen en önemli girdi parametreleri; % UKM, atık suların KOI'si, HRT, OLR, sülfürlü bileşiklerin, iz elementlerin, toksik maddelerin miktarları gibi büyüklükler olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca biyogaz üretim sürecini etkileyen unsurlar ele alınmış, Kocaeli Üniversitesi ile birlikte Kocaeli Büyükşehir belediyesine bağlı İzaydaş'ta kurulan 5 m³ kapasiteli Ar-Ge amaçlı biyogaz üretim tesisinde doğrudan sistemde kontrol edilen parametrelerin ölçüm teknikleri ve sistem otomasyonu hakkında bulgular elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışması, 2010 yılında işletmeye alınan ve I.kademe debisi 200,000 m³/gün olan gerçek ölçekli Konya kentsel AAT üzerinde yapılmıştır. Tez kapsamında, anaerobik çamur çürütücülerin işletme verileri detaylı olarak incelenerek, tesiste bulunan referans ve denek reaktörler gerçek ölçekte çalıştırılmıştır.

Bunun yanında, AAT'nin tasarım kriterleri ve mevcut işletme verileri karşılaştırılarak tesisin performansı ortaya konulmuş ve II. Kademenin tasarımına ışık tutacak veriler elde edilmiştir.

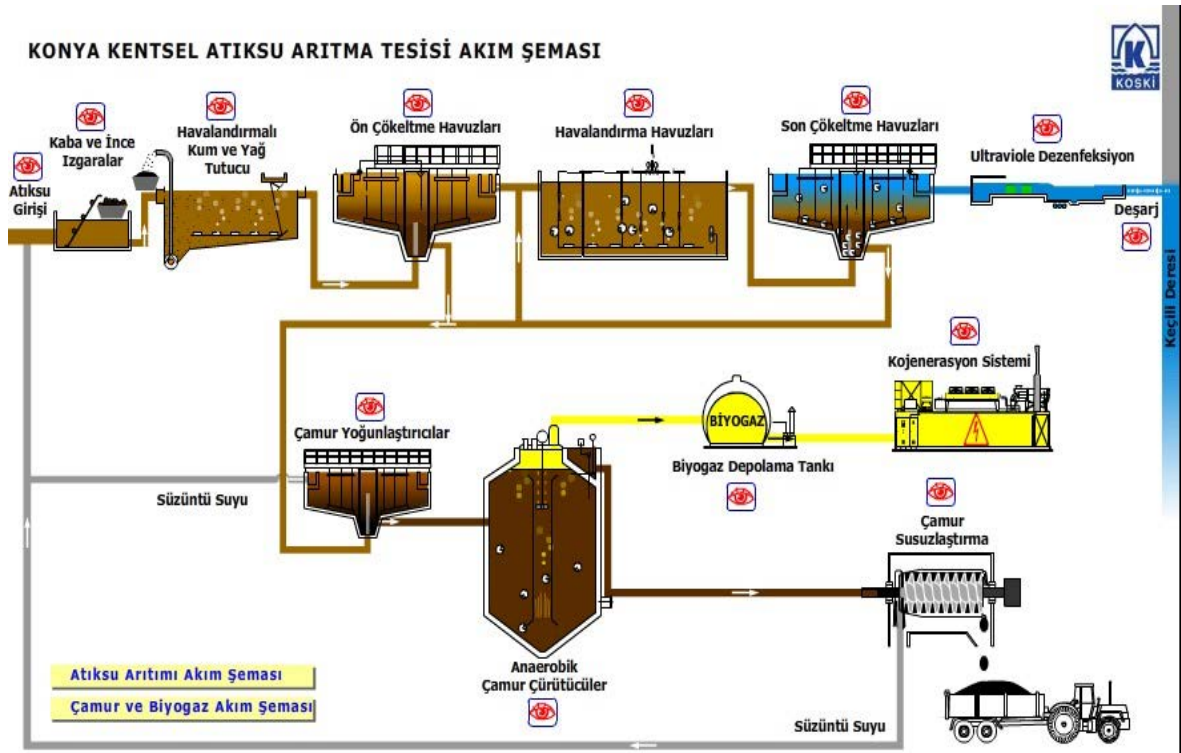
3.1. Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi

3.1.1.Genel bilgi

Konya kentsel AAT, I.Kademe dizayn yılı olan 2015 yılı için, C ve kısmi N giderimi prensibine göre ATV 131 E standartlarına uygun olarak dizayn edilmiştir.

II. Kademe dizaynı için tesisin C ve N giderimine ilave olarak P gidereceği, tesis çıkışında AB standartlarında arıtılmış atıksu elde edileceği tasarlanmıştır.

Konya kentsel AAT'nin genel akım şeması Resim 3.1'de gösterilmiştir.



Resim3.1.Konya kentsel AAT akım şeması.

Nüfusu 1,000,000 kişi eşdeğeri ve 200,000 m³/gün atıksu debi değerine göre dizayn edilen AAT çıkışında arıtılmış sular DSI'nin projelendirmiş olduğu ve sulamada kullanılan Konya ana tahliye kanalına verilmektedir. Ayrıca arıtılmış suların 3,600 m³/gün'lük kısmı ön klorlama, koagülasyon, hızlı kum filtresi, UV dezenfeksiyon ve son klorlama

ünitelerinden oluşan ileri arıtma sonrası yaklaşık 24 km.’lik yeni bir şebeke (Mor şebeke) tesis edilerek kısıtlanmış alanlarda yeşil alan sulamasında kullanılmaktadır (KAATPR, 2005).

3.1.2. Dizayn Değerleri

Çizelge 3.1’de Konya AAT tasarım kriterleri, Çizelge 3.2’de anaerobik çamur çürütücülerin tasarım parametreleri ile boyutları ve Çizelge 3.3’de ise biyogaz üretimi ile enerji geri dönüşümü proje kriterleri özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Konya kentsel AAT tasarım kriterleri.

Parametre	Birim	Kademe I	Kademe II
Dizayn yılı		2015	2030
Nüfus	Kişi	1,000,000	1,600,000
Kişi başı su tüketimi	l/kişi.gün	200	187
Günlük ortalama debi	m ³ /gün	200,000	300,000
Giriş Kirlilikleri			
B0I ₅	kg/gün	64,000	96,000
	mg/l	320	320
AKM	kg/gün	59,000	88,500
	mg/l	295	295
TKN	kg/gün	10,000	15,000
	mg/l	50	50
TP	kg/gün	3,000	4,500
	mg/l	15	15
Çıkış Değerleri			
B0I ₅	mg/l	20	<20
AKM	mg/l	20	<20
TN	mg/l	-	<10
TP	mg/l	-	<1
pH	-	6-9	6-9

Çizelge 3.2. Anaerobik çamur çürütücü tasarım parametreleri.

Parametre	Birim	Değer
Sıcaklık	°C	35
Katı Madde Konsantrasyonu	%	5
Hacim Kriteri	m ³ /kişi	0.028
Çamur Bekletme Süresi	gün	20
Karıştırma	-	Draft Tüp Karıştırıcı
Ön Çökeltme Çamur Miktarı	kg/gün	38,839
Biyolojik Fazla Çamur Miktarı	kg/gün	25,897
Toplam Çamur Miktarı	kg/gün	64,736
Organik Katı Madde Giderim Verimi	%	54
Hacim	m ³	7,000
Sayı	adet	4
Çap	metre	21

Çizelge 3.3. Biyogaz üretimi ve enerji geri dönüşümü proje kriterleri.

Parametre	Birim	Değer
Spesifik Gaz Üretim Hızı	m ³ /kgUKM _{gid}	0.9
Toplam Biyogaz Üretim Miktarı	m ³ /gün	22,105
Biyogaz Isıl Kapasitesi	kJ/m ³	22,400
Bir Gaz Motorunun Kapasitesi	kw/h	834
Gaz Motoru Toplam Kapasitesi (3 adet)	MW/h	2.5 (3 adet)
Kurulu Güç	MW	2.4
Üretilecek Elektrik Enerjisi	kWh/gün	53,641
Tesisin Elektrik Tüketimi	kWh/gün	50,000

3.1.3. Konya kentsel AAT üniteleri

3.1.3.1. Izgaralar

Katı partiküllerin giderilmesi, daha sonraki arıtma ekipmanları ve proses yapılarının korunması amacıyla, çubuk aralığı 40 mm ve 15 mm olan kaba ve çubuk aralığı 6 mm olan ince ızgaralar yer almaktadır.

I. Kademedeki 1 adet 40 mm lik ızgara ve diğer kaba-ince ızgaralar için 4 adet otomatik temizlemeli ve 1 adet manuel temizlemeli olmak üzere toplam 5’er adet ızgara kullanılmaktadır. Konya AAT’de kullanılan kaba ve ince ızgaralar Resim 3.2. ve Resim 3.3’de gösterilmiştir.



Resim 3.2.Kaba ızgaralar.



Resim 3.3. İnce ızgaralar.

3.1.3.2. Kum-Yağ tutucu (KYT)

Evsel atıksu içeriğindeki kum ve yağın giderilmesi amacıyla, tabanda dip sıyrıcısı, giriş tarafında kum toplama haznesi ve kum pompası bulunan dikdörtgen betonarme havuz olarak KYT ünitesi ve 2 adet kum ayırıcı ekipmanı yer almaktadır. Hava ihtiyacı, kum tutucu blower binasında yer alan 3 (2 asıl + 1 yedek) blower ile sağlanmaktadır. Konya AAT’de kullanılan KYT üniteleri Resim 3.4’de gösterilmiştir.



Resim 3.4.Kum-Yağ tutucular

3.1.3.3. Ön çökeltme havuzu (ÖÇH)

KYT’de kum ve benzeri inorganik malzemelerden temizlenen atıksu, debi ölçüm kanalı ve dağıtım yapılarının ardından cazibe ile ÖÇH’a giriş yapmaktadır. ÖÇH’ları, merkezi çamur toplama çukuru, çamur ve köpük için sıyrıcı mekanizması ile birlikte dairesel kesitli betonarme tanklar olarak dizayn edilmiştir. I. Kademe için paralel çalışan 4 adet ÖÇH’ı tesis edilmiştir. Her bir havuz dağıtım yapısı içinde bulunan kapaklarla ayrılabilir. Konya AAT’de kullanılan ÖÇH Resim 3.5’de gösterilmiştir.



Resim 3.5.Ön çökeltme havuzları.

3.1.3.4. Havalandırma havuzu (HH)

Biyolojik olarak C ve N giderimi esasına göre HH'ları tasarlanmıştır. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon metodu ile N (Kjeldahl ve $\text{NO}_3\text{-N}$) giderimi 2015 yılına kadar kısmen uygulanırken, ikinci kademede (2015-2030 yılları arası) tam N ve P giderimi uygulanacaktır. HH'nın hacmi nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesinin gerektirdiği boyutlarda (77.000 m^3) yapılmıştır.

N ve P'nin birlikte giderimi için geliştirilmiş beş kademeli Bardenpho prosesi seçilmiştir. Önde biyolojik P giderimi (II. Kademedede), ardından da dört kademeli Bardenpho prosesi ile N giderimi sağlanacak şekilde sistem seçimi ve dizaynı yapılmıştır.

Bardenpho prosesinde denitrifikasyonun olabilmesi için C kaynağı olarak hem atıksudaki C hem de içsel solunum hidrolizi sonucu oluşan karbon kullanılır. C oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için havuzda ayrı bölümler kullanılır. Atıksu öncelikle anoksik olan denitrifikasyon reaktörüne girer. Bu reaktöre aynı zamanda karbon oksidasyonu-nitrifikasyon reaktörü çıkış suyu da geri döndürülerek verilmektedir. Atıksudaki karbon, geri döndürülen sudaki nitrati denitrifiye etmek için kullanılır. Organik yükleme yüksek olduğundan, denitrifikasyon da hızlıdır. Atıksudaki NH_4 ilk anoksik ortama girmekte ve hiçbir değişime uğramadan sistemde ilk havalandırma tankına gelir. Bu tanktan çıkan nitriye olmuş atıksu, ikinci anoksik reaktöre girer. Bu ikinci reaktörde içsel solunum ile C sağlanır ve denitrifikasyon gerçekleştirilir. İkinci havalı reaktör nispeten küçük olup, N gazının ortamdan uzaklaştırılması için kullanılır. İkinci anoksik reaktörde son havalandırmada nitriye olmuş çamurdan ayrılan NH_3 'ün denitrifikasyonu gerçekleştirilir (Öztürk ve ark., 2005).

Konya AAT'de kullanılan HH'lar Resim 3.6'da gösterilmiştir.



Resim 3.6.Havalandırma havuzları.

3.1.3.5. Son çökeltme havuzu (SÇH)

HH'daki atıksu ve çamurkarışımı SÇH'a cazibe ile alınmaktadır. SÇH, merkezi çamur toplama çukuru, çamur ve köpük giderimi için sıyrıcı mekanizmasına sahip dairesel betonarme tanklar olarak dizayn edilmiştir. I.Kademede paralel çalışan 8 adet havuz yapılmıştır. Her bir havuz, SÇH dağıtım yapısında bulunan kapaklarla ayrılmaktadır. Bir havuzun devre dışı kalması durumunda, diğer havuzlar toplam hidrolik yükü karşılayabilecek kapasitede yapılmıştır.

Aktif çamur ve atıksu karışımı her bir havuzun merkezindeki ters sifon ile havuza giriş yapmaktadır. Arıtılmış su çevresel savaklarla toplanmakta ve cazibe ile arıtılmış çıkış suyu kanalına ve devamında çıkış debi ölçüm kanalına iletilmektedir. Konya AAT'de kullanılan SÇH Resim 3.7'de gösterilmiştir.



Resim 3.7.Son çökeltme havuzları.

3.1.3.6. UV dezenfeksiyon ünitesi

SÇH'dan deşarj edilen atıksular, UV dezenfeksiyon kanalına iletilmektedir. Kanala gelen arıtılmış atıksuyu yönlendirmek ve paralel çalışmakta olan kanalları gerektiğinde devre dışı bırakabilmek amacıyla UV kanalları girişinde yeterli sayıda kapak yapılmıştır. Kanal içinde UV Modüler sistemleri için gerekli olan su yüksekliği, girişte yer alan bir (1) adet çarpma plakası ve çıkışta yer alan bir adet aşağı doğru sürülen kapak vasıtasıyla kontrol edilmektedir.

UV lambaları kanal içinde yatay doğrultuda ve akış yönüne paralel olarak yerleştirilmiştir. Her bir kanalda UV lambalarını taşıyan modüller bulunmaktadır. Ayar kabinleri, elektrik panelleri gibi üniteler UV ünitesinden ayrı olarak kanalın hemen yakınında yapı içine yerleştirilmiştir. Konya AAT’de kullanılan UV dezenfeksiyon ünitesi Resim 3.8’de gösterilmiştir.



Resim 3.8. U.V dezenfeksiyon ünitesi.

3.1.3.7. Ön çökeltme çamur pompa istasyonu

ÖÇH’den gelen çamurun yoğunlaştırıcıya aktarılmasını sağlayan çamur pompalarının bulunduğu yapıdır. Ünite sayısı 2 olup, her birinin içerisinde 50 m³/h lik kapasiteye sahip 2+1 adet çamur pompası mevcuttur.

3.1.3.8. Çamur yoğunlaştırıcı dağıtım yapısı

Bu üniteye yer alan savaklar ve kapaklar ile ayrılan çamur, toplam 4 adet çamur yoğunlaştırıcılara eşit olarak dağıtılmaktadır.

3.1.3.9. Çamur yoğunlaştırıcılar (ÇY)

ÇY, graviteli çamur yoğunlaştırma sistemine sahip havuzlar olarak dairesel şekilde inşa edilmiştir. Çamur, her bir havuzun merkezindeki ters sifon ile havuza giriş yapmaktadır. Toplamda 4 adet 21 m. çapında çamur yoğunlaştırıcı bulunmaktadır. Her bir havuz, ÇY dağıtım yapısında bulunan kapaklarla ayrılmaktadır.

ÇY’lere iletilecek çamur; ÖÇ %2 KM muhtevasında 38,839 kg/gün (1,942 m³/gün) ve BFÇ % 0.88 KM muhtevasında 25,897 kg/gün (2,936 m³/gün) olmak üzere toplam 64,736 kg/gün (4,878 m³/gün) olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Konya AAT’de yer alan ÇY Resim 3.9’da gösterilmiştir.



Resim 3.9. Çamur yoğunlaştırıcılar.

3.1.3.10. Yoğun çamur pompa istasyonu

Yoğun pompaları ile yoğunlaştırılmış çamur çürütücülere aktarılır. Pompalar 4+2 adet ve her birinin kapasitesi $25 \text{ m}^3/\text{h}$ 'dır. Konya AAT'de kullanılan yoğun çamur pompaları Resim 3.10'da ve çamur besleme hatlarının üniteden çıkışları Resim 3.11'de gösterilmiştir.



Resim 3.10. Yoğun çamur pompaları.



Resim.3.11. Yoğun çamur pompa çıkışları

3.1.3.11. Anaerobik çamur çürütücü

Ham çamur çevre için kayda değer bir tehlike arz etmekte olup, bu nedenle biyolojik ayrışma ile stabilize edilmelidir. Stabilizasyon; çamurun organik içeriğinin, sonradan bertaraf edildiğinde sağlık ve koku sorunlarına yol açan bakterilere besin vazifesi görmemesini sağlayacak şekilde azaltılmasıdır.

Bu amaçla her biri için; hacmi $7,000 \text{ m}^3$, SRT'si 20 gün, sıcaklık $35 \text{ }^\circ\text{C}$, %KM 5 ve % UKM_{gid} 54 olmak üzere 4 adet anaerobik çamur çürütücü tasarlanmıştır. Konya AAT'de kullanılan anaerobik çamur çürütücüler Resim 3.12'de gösterilmiştir.



Resim 3.12. Anaerobik çamur çürütücüler.

3.1.3.12.Çamur karışım tankı

Anaerobik çamur çürütücülerden çıkan çürümüş çamurun susuzlaştırma ünitesine iletilmeden önce homojenliği ve debi kontrolünü sağlamak için 13.5 m çapında ve 5.5 m derinliğinde 1 adet çamur karışım tankı inşa edilmiştir. Konya AAT’de kullanılan çamur karışım tankı Resim 3.13’de gösterilmiştir.



Resim 3.13. Çamur karışım tankı.

3.1.3.13.Çamur susuzlaştırma ünitesi

Çamur karışım tankından alınan çamur susuzlaştırma ünitesi içerisinde öncelikle polielektrolit dozlama ünitesinde yumaklaştırma işleminden geçirildikten sonra her biri 25 m³/h kapasiteli 4 adet santrifüj dekantörler vasıtasıyla % 27 KM oranında susuzlaştırma gerçekleştirilecek şekilde tasarlanmıştır. Konya AAT’de çamur susuzlaştırma için kullanılan polielektrolit ünitesi Resim 3.14’de ve Resim 3.15’de ise dekantörler gösterilmiştir.



Resim 3.14. Polielektrolit ünitesi.



Resim 3.15. Dekantörler.

3.1.3.14. Gaz deposu

Anaerobik çamur çürütücülerden elde edilen biyogazın depolandığı her birinin hacmi 4,000 m³ olmak üzere 2 adet gaz tankı mevcuttur. Biyogazın içindeki H₂S'i gidermek amacıyla desülfürizasyon ünitesi yapılmıştır. Konya AAT'de bulunan gaz depolama tankı Resim 3.16'da ve desülfürizasyon ünitesi ise Resim 3.17'de gösterilmiştir.



Resim 3.16. Gaz balonları.



Resim 3.17. Desülfürizasyon ünitesi.

3.1.3.15. Isı merkezi ve enerji geri kazanım ünitesi

Anaerobik çamur çürütücüye gelen yoğun çamurdan metan gazının elde edilebilmesi çamurun belirli bir sıcaklığa ulaştırılması ile olur. Çamurun gerekli olan bu sıcaklık değerine çıkarılması için gerekli enerji, ısı merkezi ve enerji geri kazanım binasındaki sıcak su kazanları tarafından karşılanmaktadır. Çamurun istenilen sıcaklığa getirilmesi için 2 adet eşanjör tesis edilmiştir

Elde edilen biyogazın elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla her biri 834 kWh kapasiteli 3 adet gaz motoru tesis edilmiş ve tesisin enerji ihtiyacının önemli bir kısmı geri dönüşüm yoluyla temin edilmesi planlanmıştır. Konya AAT'de kullanılan ısı kazanları Resim 3.18'de, eşanjörler Resim 3.19'da ve gaz motorları ise Resim 3.20'de gösterilmiştir.



Resim 3.18. Isı kazanları



Resim 3.19. Eşanjörler



Resim.3.20. Gaz motorları

3.2. Metot

Konya AAT’de gerçek ölçekli referans ve denek reaktörler ile birlikte diğer çamur arıtım üniteleri ve ekipmanları da tez kapsamında kullanılmıştır. Referans ve denek çürütücülerin ortalama sıcaklığı (38 °C) ve hacimleri aynı (7,000 m³) olacak şekilde; referans çürütücüde SRT 20 gün (tasarım değeri), denek çürütücülerde ise 17 ve 23 gün olacak şekilde çamur beslemesi yapılmıştır. Farklı SRT’lerdeki izlemeler minimum sapma ile sabite yakın pH ve biyogaz eldesi sağlanıncaya kadar yapılmıştır. Prosesin işletilmesi sırasında sistemi etkileyen parametrelerin ortalama 4 günlük periyot ile analizleri ve ölçümleri yapılarak veriler kaydedilmiştir.

Referans çürütücüde SRT 20 gün olacak şekilde 240 gün boyunca ve denek çürütücülerde SRT 17 ve 23 gün olacak şekilde 120’şer gün boyunca gerçek ölçekli proses çalıştırılmış ve sistem izlenmiştir. Prosesi etkileyen parametrelerin ölçüm ve analizleri yapılarak veriler kayıt altına alınmış ve parametrelere ait veriler literatür çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Bunun yanında, ATV 131 E standartlarına göre dizayn edilen Konya AAT’nin tez çalışması süresince gerçekleşen veriler ışığında tesisin tüm ünitelerinin performansları belirlenmiş ve dizayn kriterleri ile işletme verileri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Tesiste oluşan arıtma çamurların arıtılması ve biyogaz veriminin artırılması için maliyet analizleri ile birlikte işletme senaryoları oluşturularak optimum işletme şartları belirlenmiştir. Ayrıca tesisin tüm ünite performansları değerlendirilmiş ve II. Kademenin projelendirilmesine ışık tutacak bulgular elde edilmiştir.

3.3.Tez Kapsamında İzlenen Parametreler ve İzleme Noktaları

Bu çalışma kapsamında, ölçüm ve analizleri yapılan parametrelerin izleme noktaları aşağıda verilmiştir.

3.3.1. Giriş atıksuyunda

pH

- Atıksu Debisi (Q)
- Askıda Katı Madde (AKM)
- Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)
- Toplam Organik Karbon (TOC)
- Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)
- Toplam Azot (TN)
- Toplam Fosfor (TP)

3.3.2. Çürütücüye beslenen çamurda (yoğunlaştırıcı çıkışı)

- pH
- Çamur Besleme Debisi (Q_{bes})
- Toplam Katı Madde (TKM)
- Uçucu Katı Madde (UKM)
- Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)
- Toplam Organik Karbon (TOC)
- Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)
- Alkalinite
- Uçucu Yağ Asitleri (UYA)
- Protein

3.3.3. Çürütülmüş çamurda

- pH
- Sıcaklık
- Toplam Katı Madde (TKM)
- Uçucu Katı Madde (UKM)
- Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)
- Toplam Organik Karbon (TOC)
- Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)
- Alkalinite
- Uçucu Yağ Asitleri (UYA)
- Protein

3.3.4. Biyogazda (Gaz toplama çıkışı)

Biyogaz Debisi

Metan (CH_4)

Karbondiyoksit (CO_2)

Sülfür (H_2S)

3.3.5. Ön çökeltme havuzu (ÖÇH) girişi

Atıksu Debisi (Q)

Askıda Katı Madde (AKM)

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

Toplam Azot (TN)

Toplam Fosfor (TP)

3.3.6. Ön çökeltme havuzu (ÖÇH) çıkışı-Havalandırma havuzu (HH) girişi

Askıda Katı Madde (AKM)

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

Toplam Azot (TN)

Toplam Fosfor (TP)

3.3.7. Arıtılmış atıksuda

pH

Askıda Katı Madde (AKM)

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Toplam Organik Karbon (TOC)

Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

Toplam Azot (TN)

Toplam Fosfor (TP)

3.3.8. Stabilize olmuş çamurda (dekantör çıkışı)

Toplam Katı Madde (TKM)

Toplam Organik Karbon (TOC)

3.4. Deneysel Metot

Çalışma süresince izlenen parametrelerin ölçüm ve analizleri için kullanılan cihazlar ile deneyssel metot ve standartlar Çizelge 3.4.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4.1. İzlenen parametrelerin analiz metot ve standartları ile kullanılan cihazlar.

İzlenen Parametrelerin Analiz Metot ve Standartları		
Parametre	Metod ve Standart	Cihazın Adı
PH	Elektrokimyasal Metod SM 4500 H ⁺ B	pH Metre Cihazı-Hach Sension pH3
Toplam Katı Madde (TKM)	Gravimetrik metod SM 2540 D	Etüv - Ekocell
Uçucu Katı Madde (UKM)	Gravimetrik metod SM 2540 E	Kül Fırını – Elektro-Mac
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	Kapalı Reflaks Metodu SM 5520 C	Termo Reaktör – Hach DRB 200
Toplam Organik Karbon (TOC)	ISO 8245, ASTM G144, USEPA 415	TOC Cihazı – Analytik Jena
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	Makro Kjeldahl metodu SM 4500 NB	Yakma ve Distilasyon Ünitesi – Gerhardt
Protein	SM 4500 N B	Yakma ve Distilasyon – Gerhardt
Alkalinite	Titrasyon metodu SM2320 B	Dijital Büret – Brond
Uçucu Yağ Asidi (UYA)	Kapiler titrimetrik metod 1994	Dijital Büret – Brond
Çamur Besleme Debisi	Elektromagnetik Debimetre	Elektromagnetik Debimetre – Endress Hauser
Sıcaklık (°C)	Laboratuar Metodu SM 2550 B	pH Metre Cihazı - Hach Sension pH3
Biyogaz Debisi	Kütleel Debimetre	Kütleel Debimetre - Drager
Metan (CH ₄)	Kütleel Debimetre	Kütleel Debimetre – Drager
Karbondioksit (CO ₂)	Kütleel Debimetre	Kütleel Debimetre – Drager
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	Kolormatik metod TS EN 1231:2000	H ₂ S Ölçüm Tüpleri - Rae
Askıda Katı Madde (AKM)	Laboratuar Metodu SM 2510 B	Etüv - Ekocell
Atıksu Debisi (Q)	Area velocity metodlu debimetre	Ultrasonik Debimetre - İsko

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tez kapsamında iki ana bölümde çalışma yürütülmüştür. Birinci bölümde; mevcut anaerobik çamur çürütücülerin farklı SRT değerlerinde çalıştırılarak işletme verilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda; referans reaktör SRT 20 gün olacak şekilde 240 gün, denek reaktörler ise SRT 17 ve 23 gün değerlerinde 120'şer gün çalıştırılmıştır. Belirlenen izleme noktalarında atıksu, çamur ve işletme parametrelerinin analiz, ölçüm ve gerekli izlemeleri yapılarak, SRT'nin biyogaz üretimine olan etkisi araştırılmıştır.

SRT 20 gün ile SRT 17 gün'lük çürütücülerin birlikte çalıştırılması süresince ve SRT 20 gün ile SRT 23 gün'lük çürütücülerin birlikte çalıştırılması süresince atıksu karakterizasyonunda önemli bir değişiklik olmamıştır.

İkinci bölümde ise AAT'nin tüm üniteleri ATV 131 E standartlarına göre yapılan tasarımlarının gerçek işletme şartlarındaki değişimi incelenmiş ve tasarımda ne ölçüde sapmalar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, II. Kademenin boyutlandırılmasına ışık tutacak veriler elde edilerek değerlendirilmiştir.

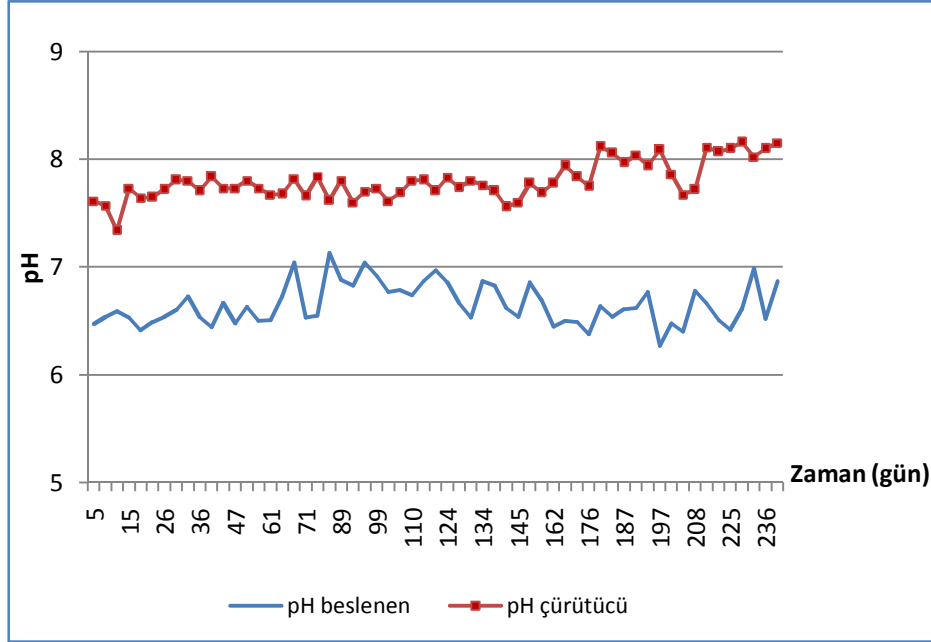
Planlanan işletme senaryolarına ilişkin maliyet analizleri yapılarak, optimum işletme şartları belirlenmiştir.

4.1.Referans Çürütücüye ait (SRT=20 gün) Araştırma Sonuçları

Konya AAT'de anaerobik çamur çürütücüler işletmeye alındığı 2010 yılından bu yana, tasarımda öngörüldüğü gibi 20 gün'lük SRT'de çalıştırılmıştır. Tez kapsamında; referans çürütücüde SRT 20 gün olacak şekilde işletilen gerçek ölçekli prosese ait verilerinin değişimi izleme noktalarında 240 gün boyunca yapılan analizlerle belirlenmiştir. Bu süreçte, çürütücülere beslenen çamurda ve çürütme işlemi sonrasındaki çamurda izlenen parametrelerin değişimleri aşağıda özetlenmiştir.

4.1.1.pH

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki pH parametresinin değişimleri Şekil 4.1.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.1. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) pH değişimi.

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurda 240 günlük çalışma süresince pH izlemeleri yapılmıştır. Besleme çamurunun pH’ı 6.3-7.1 aralığında değiştiği ve ortalaması 6.7 olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun pH’ı ise 7.3-8.2 arasında değişmekte olup, ortalaması 7.8’dir.

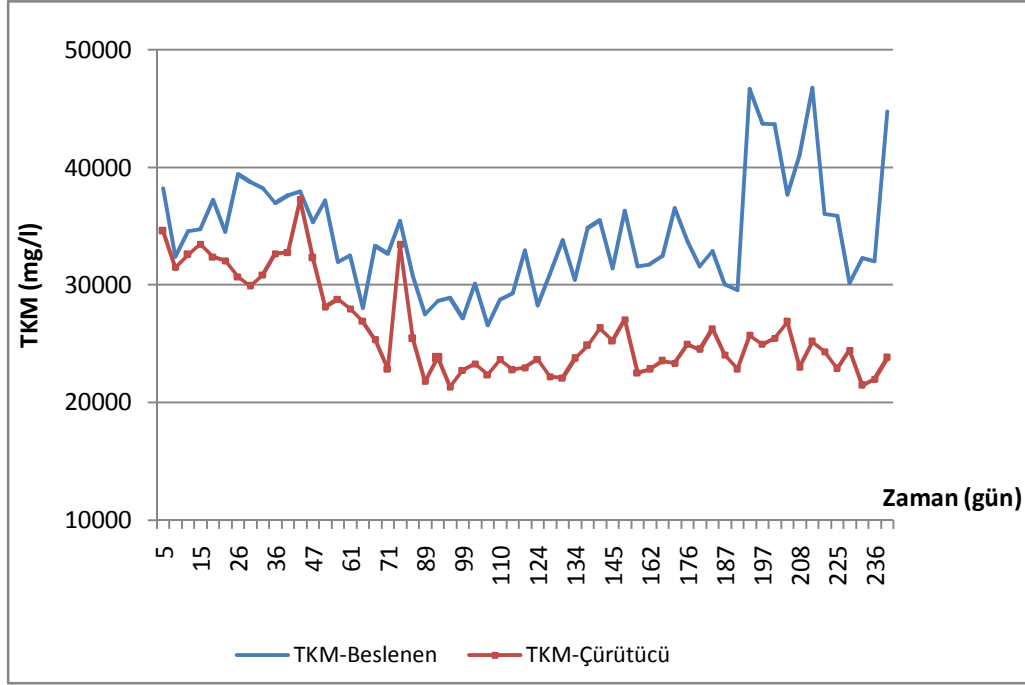
Anaerobik arıtmada metanojenler pH değişimine hassastırlar ve buna bağlı olarak da, metan üretimindeki reaksiyonları değişiklik göstermektedir. Optimum pH aralığı 6.2-8.2 kabul edilmektedir (Öztürk, 2007).

Tasarımda çamurun pH 7-8 aralığında öngörüldüğü dikkate alındığında; besleme ve çürütücü çamuru ortalama pH değerlerinin istenilen işletme şartlarında olduğu ve bu değerlerde sistemin normal olarak çalıştığı görülmüştür.

Metan bakterilerinin kullanabilecekleri besin maddeleri oldukça sınırlıdır. Bunlar asetik asit, metanol, H_2 ve tek karbonlu bileşiklerdir (Öztürk, 2007). Sistemde metan bakterileri tarafından asetik asit ve H_2 ’nin tüketilmesi sonucunda çürütücü çamurunun ortalama pH’ı, besleme çamurunun ortalama pH’ından yüksek olmuştur.

4.1.2. Toplam katı madde (TKM)

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki TKM parametresinin değişimleri Şekil 4.1.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1.2. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) TKM değişimi.

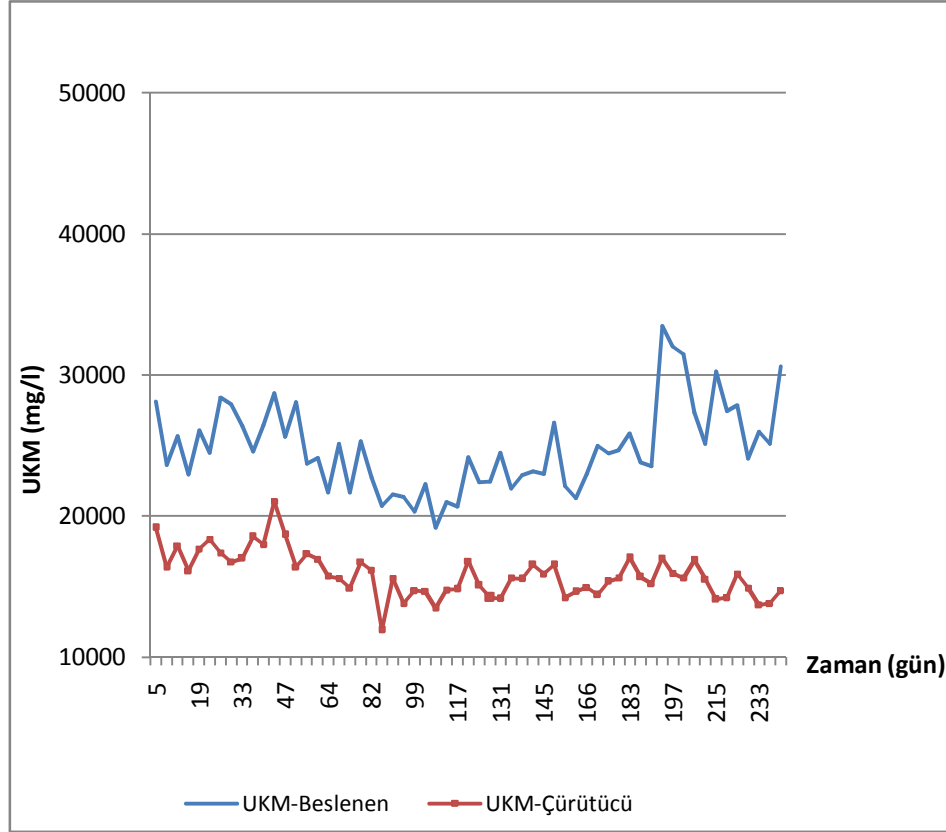
Beslenen çamurunun TKM’si 26,610-46,780 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 34,246 mg/l (% 3.4) olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun TKM’si 21,340–37,270 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 26,229 mg/l (% 2.6) olarak tespit edilmiştir.

Benzer bir çalışmada arıtma çamurlarının stabilizasyonunda TKM %’si 2-5 aralığında olması gerektiği belirtilmektedir (Topacık, 1987). Tasarımda çamurun % 2-5 TKM aralığında öngörüldüğü dikkate alındığında; besleme ve çürütücü çamuru ortalama TKM değerlerinin istenilen işletme şartlarında olduğu ve bu değerlerde sistemin normal olarak çalıştığı görülmüştür. TKM oranları tamamen giriş atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

4.1.3. Uçucu katı madde (UKM)

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki UKM parametresinin değişimleri Şekil 4.1.3’de verilmiştir.



Şekil 4.1.3. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) UKM değişimi.

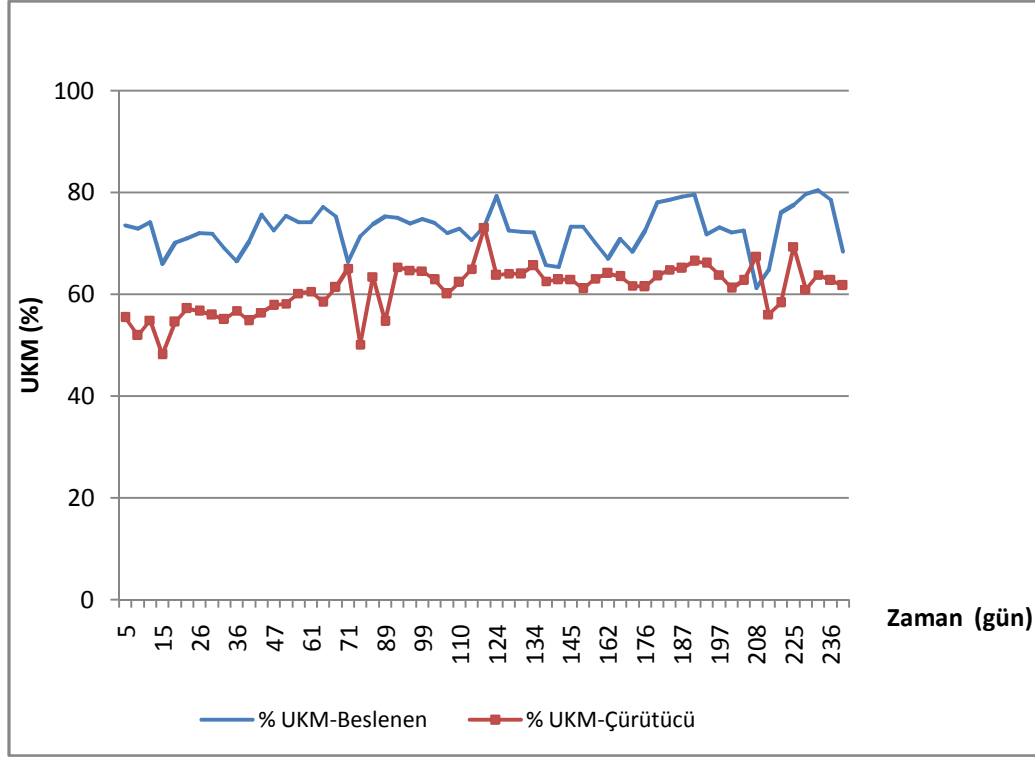
Beslenen çamurunun UKM’si 19,170–33,480 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 24,811 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun UKM’si 11,920–21,020 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 15,866 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Anaerobik çamur çürütücülerde toplam çamur içindeki UKM oranı; ham su karakteristiğine, arıtma yöntemine, ön arıtma çamurunun çürütmeye alınıp alınmamasına göre farklılık gösterir (Alpaslan, 2004).

4.1.4. Uçucu katı madde yüzdesi (% UKM)

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki % UKM parametresinin değişimleri Şekil 4.1.4' de verilmiştir.



Şekil 4.1.4. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % UKM değişimi.

Besleme çamurunun UKM %'si 61–80 arasında değişmekte olup, ortalaması 73 olarak tespit edilmiştir.

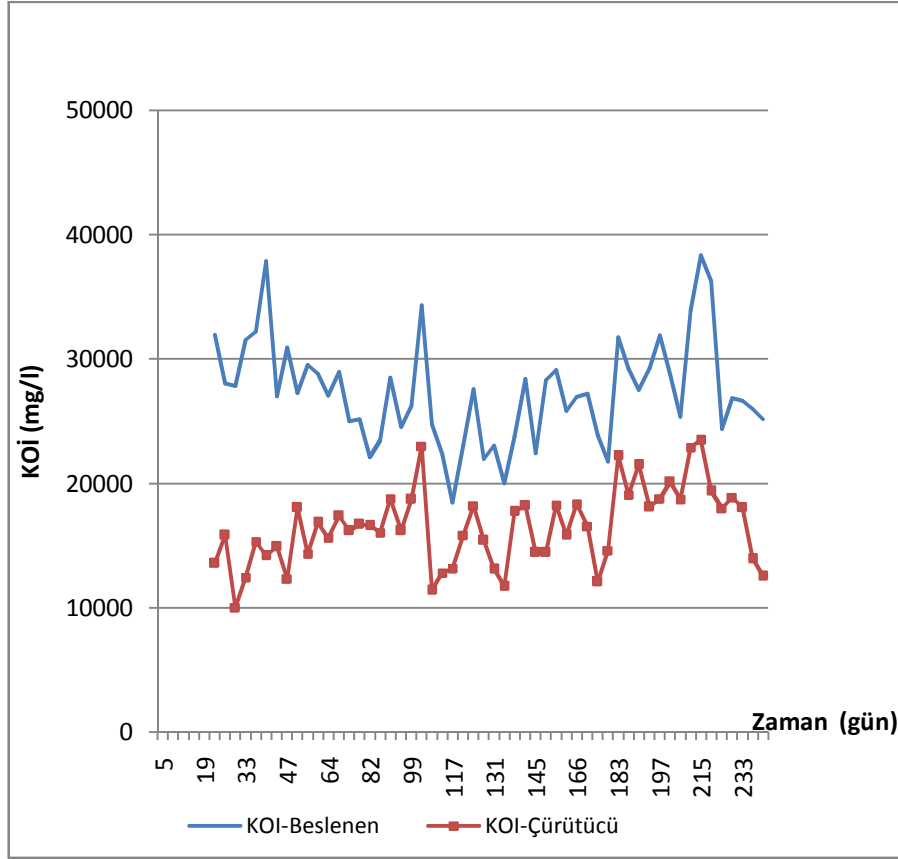
Çürütücü çıkışındaki çamurun UKM %'si 48–73 arasında değişmekte olup, ortalaması 61 olarak tespit edilmiştir.

Arıtma çamurlarında toplam çamur içindeki UKM oranı; ham su karakteristiğine, arıtma yöntemine, ön anaerobik çamur çürütücünün çürütmeye alınıp alınmamasına göre değişmekte olup, UKM oranı % 30-70 mertebesinde (Alpaslan, 2004).

Tasarımda çamurun % UKM 30-70 aralığında öngörüldüğü dikkate alındığında; besleme ve çürütücü çamuru ortalama % UKM değerlerinin istenilen işletme şartlarında olduğu ve bu değerlerde sistemin normal olarak çalıştığı görülmüştür.

4.1.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki KOİ parametresinin değişimleri Şekil 4.1.5’de verilmiştir.



Şekil 4.1.5. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) KOİ değişimi.

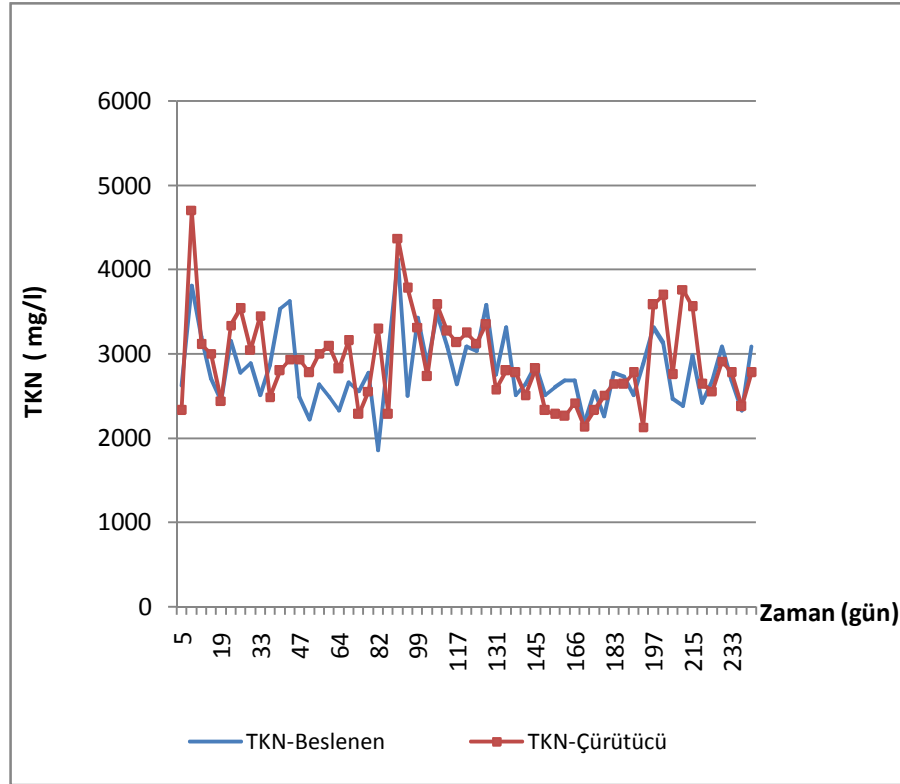
Beslenen çamurunun KOİ’si 18,455–38,350 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 27,390 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun KOİ’si 10,017–23,472 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 16,508 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Arıtma çamurlarının KOİ’si giriş atıksuyun karakterizasyonuna göre farklılıklar göstermektedir. Metan bakterileri tarafından organik maddenin tüketilmesi sonucunda çürütücü çamurunun KOİ’si beslenen çamurun KOİ’sine göre daha düşük değerlerde seyretmektedir.

4.1.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN)

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki TKN parametresinin değişimleri Şekil 4.1.6’de verilmiştir.



Şekil 4.1.6. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) TKN değişimi.

Besleme çamurunun TKN’si 1,859–4,121 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 2,815 mg/l olarak tespit edilmiştir.

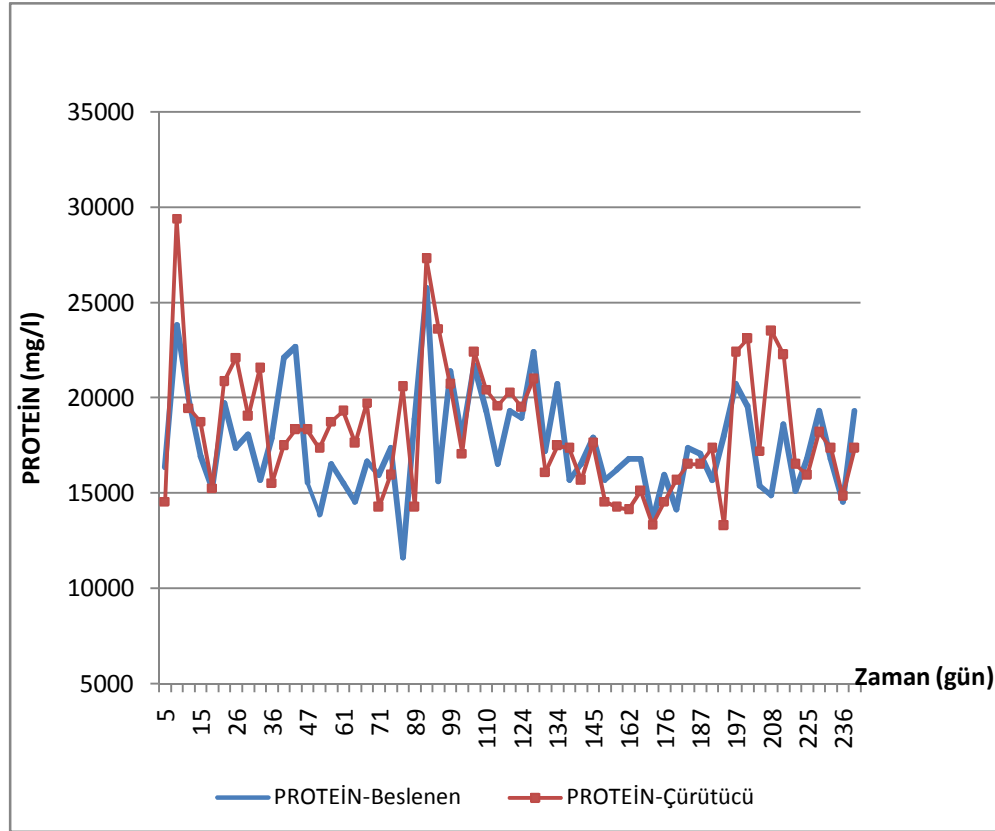
Çürütücü çıkışındaki çamurun TKN’si 2,128–4,704 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 2,926 mg/l olarak tespit edilmiştir.

TKN organik ve amonyak azotundan oluşmakta olup, atık karakterizasyonuna göre farklı değerler alır (Topacık, 1987).

Azot bileşikleri suda çözüldüğünden dolayı çürütücü çıkışındaki azot bileşiklerinin miktarı beslenen çamurunkine göre daha yüksektir.

4.1.7. Protein

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki protein parametresinin değişimleri Şekil 4.1.7’de verilmiştir.



Şekil 4.1.7. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) Protein değişimi.

Beslenen çamurun proteini 11,619–25,756 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 17,593 mg/l olarak tespit edilmiştir.

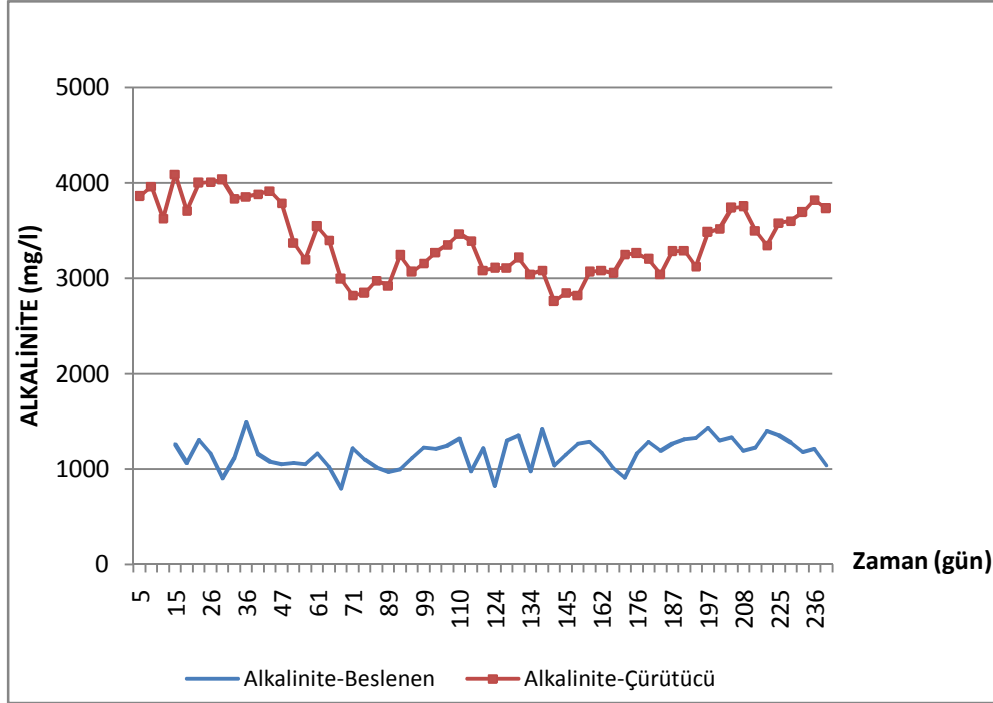
Çürütücü çıkışındaki çamurun proteini 13,300–29,400 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 18,288 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Proteinler yirmi kadar doğal aminoasitin polimerleridir. Anaerobik reaktörlerde proteinler, mikroorganizmalar tarafından gazlara ve amonyağa dönüştürülür. Ortalama olarak 6.5 g protein içerisinde 1 g N olduğu kabul edilir (Öztürk, 2007).

Arıtma çamurlarının ihtiva ettiği protein miktarı atıksu karakterizasyonuna göre değişmektedir.

4.1.8. Alkalinite

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki alkalinite parametresinin değişimleri Şekil 4.1.8’de verilmiştir.



Şekil 4.1.8. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) Alkalinite değişimi.

Beslenen çamurunun alkalinitesi 792-1,490 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 1,166 mg/l olarak tespit edilmiştir. Besleme çamurundaki alkalinite; 1,000-4,000 mg/l aralıklarında seyredebilir.

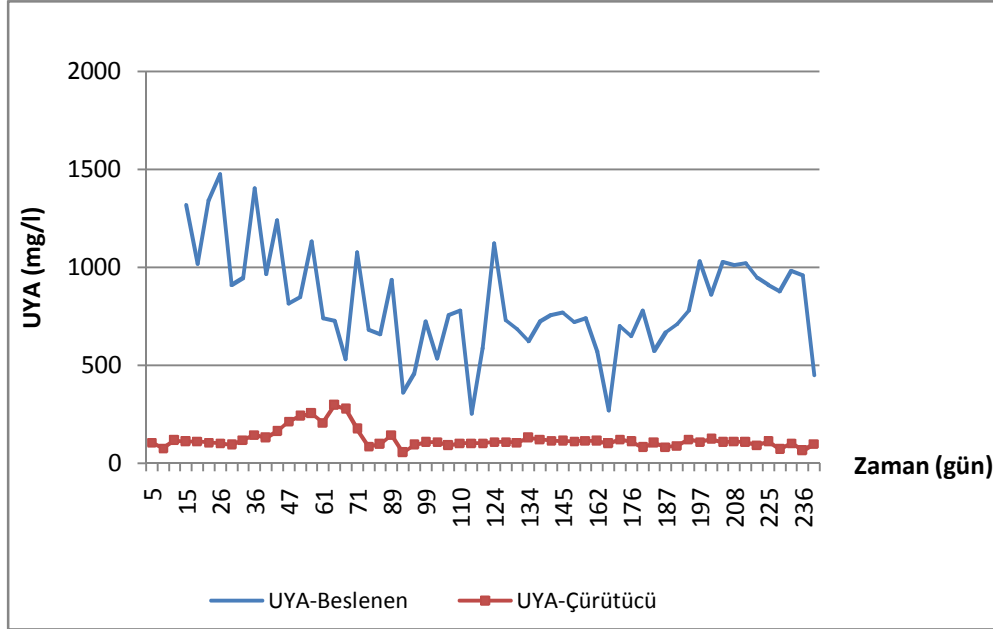
Çürütücü çıkışındaki çamurun alkalinitesi ise 2,754–4,088 arasında değişmekte olup, ortalaması 3,388 mg/l olarak tespit edilmiştir. Çürütücü çamurundaki alkalinite; 2,500-4,000 mg/l aralıklarında seyredebilir (Öztürk ve ark., 2005).

İyi bir şekilde işletilen havasız bir çürütücüde alkalinite konsantrasyonu 2,000-5,000 mg/l CaCO_3 arasında olması öngörülmektedir. Bir çürütücü içerisindeki başlıca alkalinite tüketicisi karbondioksittir. Bu sebeple çürütücülerin alkalinite ihtiyacının izlenmesi için anaerobik çamur çürütücülerden üretilen gazın karbondioksit içeriğine bakılmaktadır (AATTUT, 2010).

Elde edilen verilerin normal işletme değerlerinde olduğu görülmüştür.

4.1.9. Uçucu yağ asitleri (UYA)

Referans çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki UYA parametresinin değişimleri Şekil 4.1.9’de verilmiştir.



Şekil 4.1.9. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) UYA değişimi.

Beslenen çamurunun UYA’sı 254-1,477 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 819 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Toplam uçucu asitlerin konsantrasyonu çürüme prosesinin iyi bir göstergesidir. Besleme çamurunda; 1,000-1,500 mg/l’ye kadar değişebilir (Öztürk, 2007).

Benzer bir çalışmada anaerobik arıtım için besleme çamurunda UYA konsantrasyonun 1,000-1,500 mg/l aşmaması gerektiğini, bu değerlerin üzerinde muhtemel zehirlilik etkisinin görüleceğini belirtmektedir (Schober ve ark., 1999).

Besleme çamurunda elde edilen ortalama UYA değerinin, istenen UYA değerlerinin altında kaldığı görülmüştür.

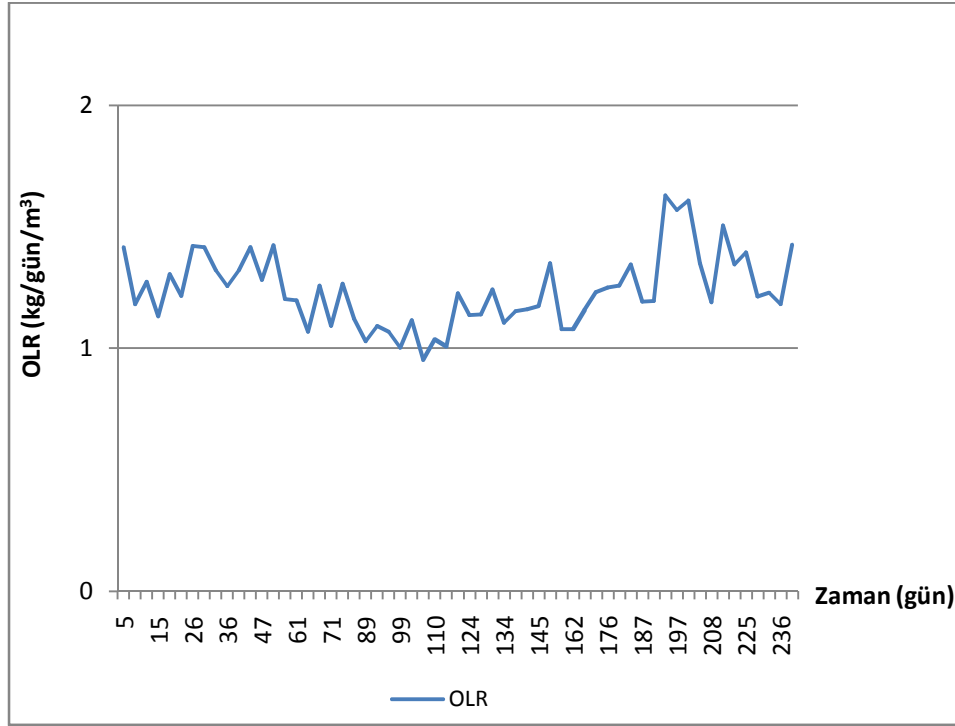
Çürütücü çıkışındaki çamurun UYA’sı ise 54–296 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 121 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürümüş çamurda; UYA<500 mg/l olması çürüme prosesinin iyi işlediğini gösterir. İyi çürüten çamurlarda ise bu değer UYA<300 mg/l’ dir (Topacık, 1987).

Çürütücü çıkış çamurunda elde edilen ortalama UYA’nın optimum değerlerde olduğu görülmüştür.

4.1.10. Organik yükleme hızı (OLR)

Referans çürütücünün OLR parametresinin değişimi Şekil 4.1.10’da verilmiştir.



Şekil 4.1.10. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) OLR değişimi.

Referans çürütücünün OLR’si $1.0\text{--}1.6\text{ kgUKM/gün/m}^3$ arasında değişmekte olup, ortalaması 1.2 kg/gün/m^3 olarak tespit edilmiştir.

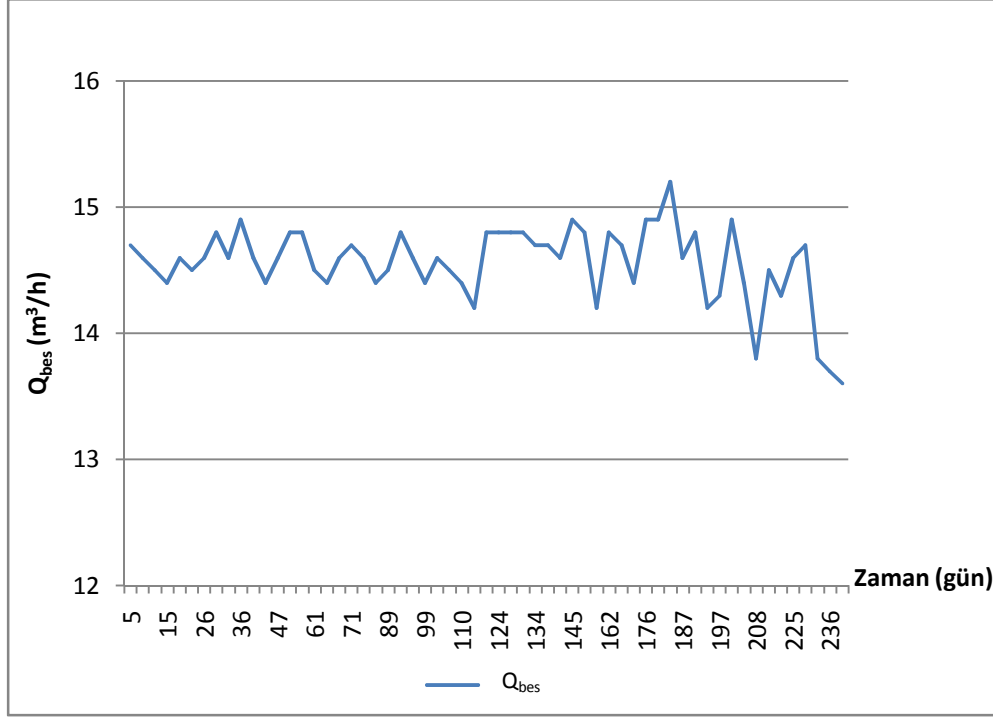
Tam karışım ve çamurların ısıtılması sağlanan mezofilik çürütücülerde $OLR < 6.4\text{ kgUKM/m}^3\cdot\text{gün}$ olabilmektedir (Alvarez, 2003)

Benzer bir çalışmada; genel olarak yükleme oranının artması ile UKM gideriminin düştüğü belirtilmiştir (İlkiliç ve Deviren, 2011).

Tasarımda OLR değeri yaklaşık $1.62\text{ kg UKM/m}^3\cdot\text{gün}$ öngörüldüğü dikkate alındığında; elde edilen ortalama OLR değerlerinin, anaerobik arıtmada genel biyolojik arıtma prensibi olarak OLR aralığı olan $1\text{--}6.4\text{ kgUKM/gün/m}^3$ arlığında kaldığı, fakat ortalama OLR’nin tasarım değerinin altında kaldığı görülmüştür.

4.1.11. Çamur besleme debisi (Q_{bes})

Referans çürütücünün Q_{bes} parametresinin değişimleri Şekil 4.1.11’de verilmiştir.



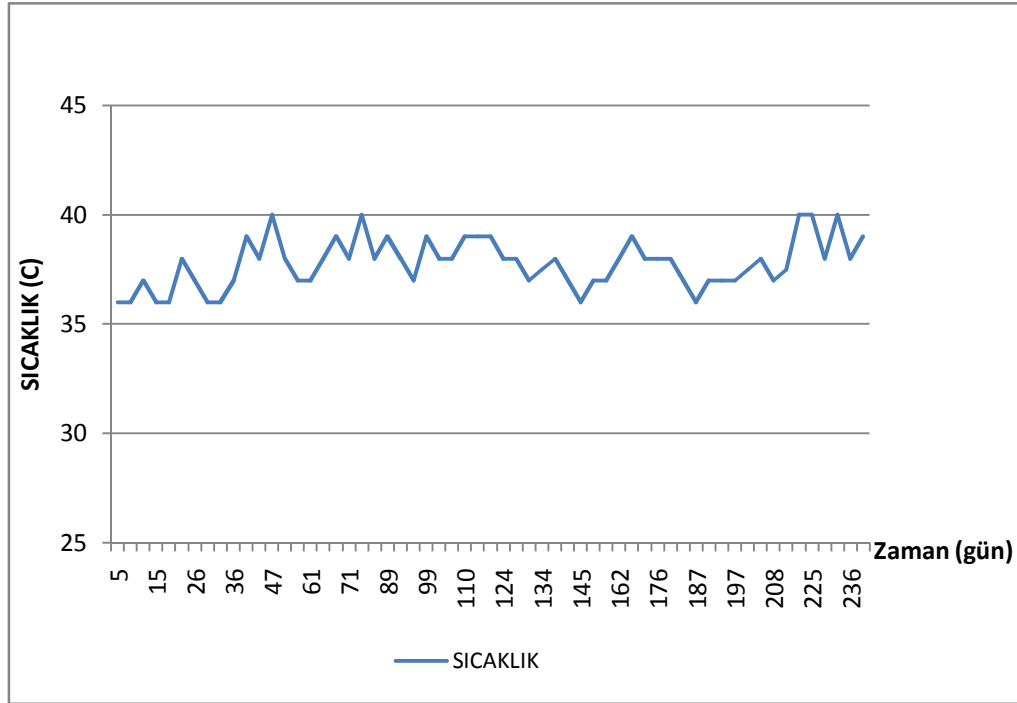
Şekil 4.1.11. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) Q_{bes} değişimi.

Referans çürütücüde Q_{bes} 13.6–15.2 m³/h arasında değişmekte olup, ortalaması Q_{bes} 14.6 m³/h olarak tespit edilmiştir.

Tasarımda Q_{bes} değeri yaklaşık 13.50 m³/h öngörüldüğü dikkate alındığında; elde edilen ortalama Q_{bes} ’in tasarım değerinin üzerinde kaldığı görülmüştür.

4.1.12. Sıcaklık

Referans çürütücüdeki sıcaklık parametresinin değişimi Şekil 4.1.12’de verilmiştir.



Şekil 4.1.12. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) sıcaklık değişimi.

Referans çürütücünün sıcaklığı 36-40 °C arasında değişmekte olup, ortalaması 38 °C olarak tespit edilmiştir.

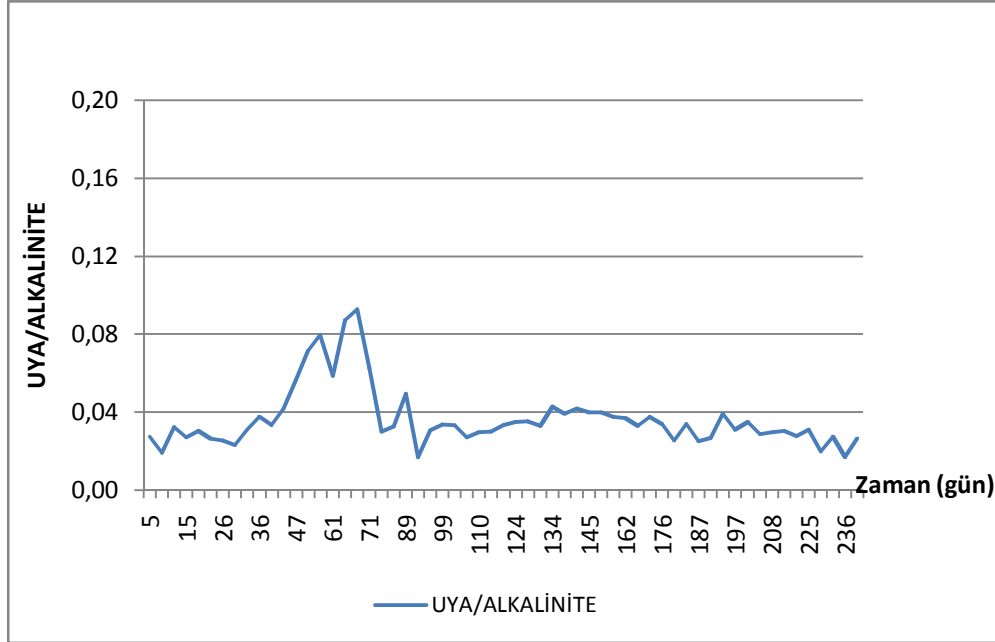
Sıcaklık bütün biyolojik olayların hızlarını kontrol eder. Hayatı imkansız kılan maksimum ve minimum sınırları mevcuttur. Bir sınırlandırıcı faktör olarak sıcaklık özgül büyüme hızını etkilemektedir (Muslu, 2001). Mezofilik sistemlerde sıcaklık aralığı 25-40 °C’ dır. Reaktör sıcaklığının düşmesinin nedenleri; aşırı hidrolik yükleme veya yetersiz karıştırma olabilir (Öztürk, 2007).

Tam çürüme için gerekli zaman artan sıcaklık ile azalır. Sıcaklıktaki +/- 2,8 °C’ lik değişikliği sistem tolere edebilir (Topacık, 1987).

Tasarımda sıcaklık değeri yaklaşık 35 °C öngörüldüğü dikkate alındığında; elde edilen ortalama sıcaklık değerinin, anaerobik çamur arıtımında kullanılan mezofilik çürütücüler için belirlenen aralıkta kaldığı, fakat ortalama sıcaklığın tasarım değerinin üzerinde kaldığı görülmüştür.

4.1.13. Uçucu yağ asidi / alkalinite oranı (UYA/Alkalinite)

Referans çürütücüdeki UYA/Alkalinite parametresinin değişimi Şekil 4.1.13’de verilmiştir.



Şekil 4.1.13. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) UYA/Alkalinite değişimi.

Referans çürütücünün UYA/Alkalinite oranı 0.02-0.09 arasında değişmekte olup, ortalaması 0.04 olarak tespit edilmiştir.

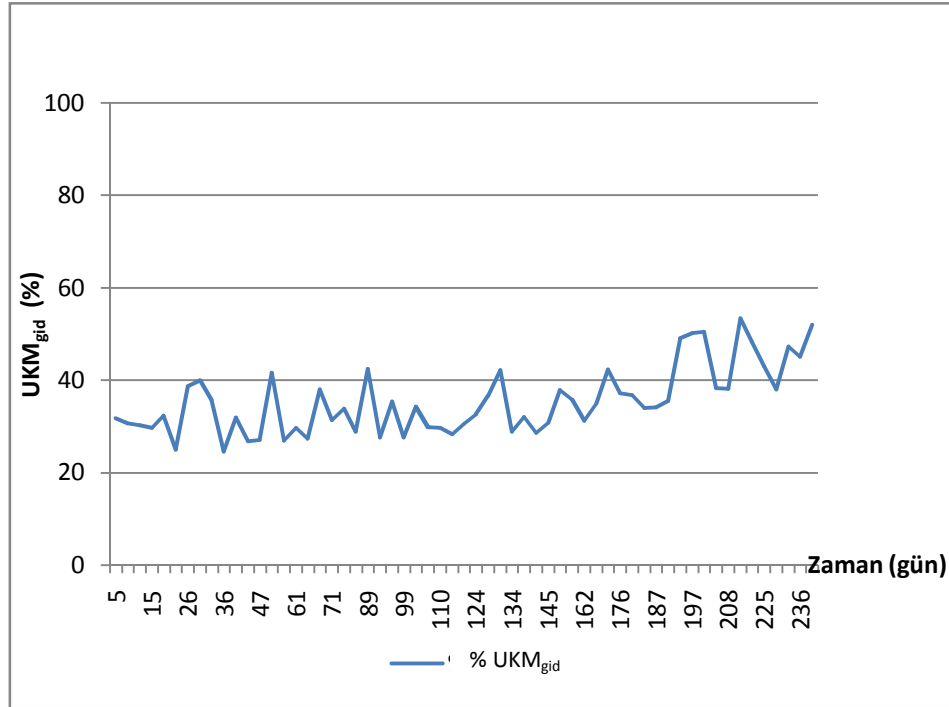
Anaerobik çamur çürütücülerin işletilmesinde dikkate alınacak en önemli parametrelerdendir. Bu değerin 0.1’den küçük olması durumunda çürüme işleminin iyi olduğunu gösterir. Bu oranın artmasına aşırı hidrolik yükleme sebep olabilir ve CO₂ oranının da artmasına neden olur. Böyle bir durumda çürütücüdeki karıştırıcı ve ısıtıcılar kontrol altında tutulmalıdır (Öztürk, 2007).

UYA/Alkalinite bağıntısı başarılı bir çürüme işlemi için anahtar kelimedir. UYA’nın düşük seviyede ve alkalitenin yüksek olduğu durumlarda çürüme gerçekleşir. Bu oran artar ve önlem alınmazsa, çürütücü gazın CO₂ değeri artacak, çürütücüdeki çamurun pH’ı düşecek ve çürütücü bozulacaktır. Çürütücüye ham çamurun aşırı beslenmesi, çürümüş çamurun çok çekilmesi veya şok yükler bu oranın dengesini bozabilir (Topacık, 2000).

Tasarımda UYA/Alkalinite ≤ 0.1 öngörüldüğü dikkate alındığında; elde edilen ortalama UYA/Alkalinite değerinin istenilen işletme şartlarında olduğu ve bu değerlerde sistemin normal olarak çalıştığı görülmüştür.

4.1.14. Uçucu katı madde giderim yüzdesi (% UKM_{gid})

Referans çürütücüdeki % UKM_{gid} parametresinin değişimi Şekil 4.1.14’de verilmiştir.



Şekil 4.1.14. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % UKM_{gid} değişimi.

Referans çürütücünün % UKM_{gid} değeri 25-53 arasında değişmekte olup, ortalaması % 35 olarak tespit edilmiştir.

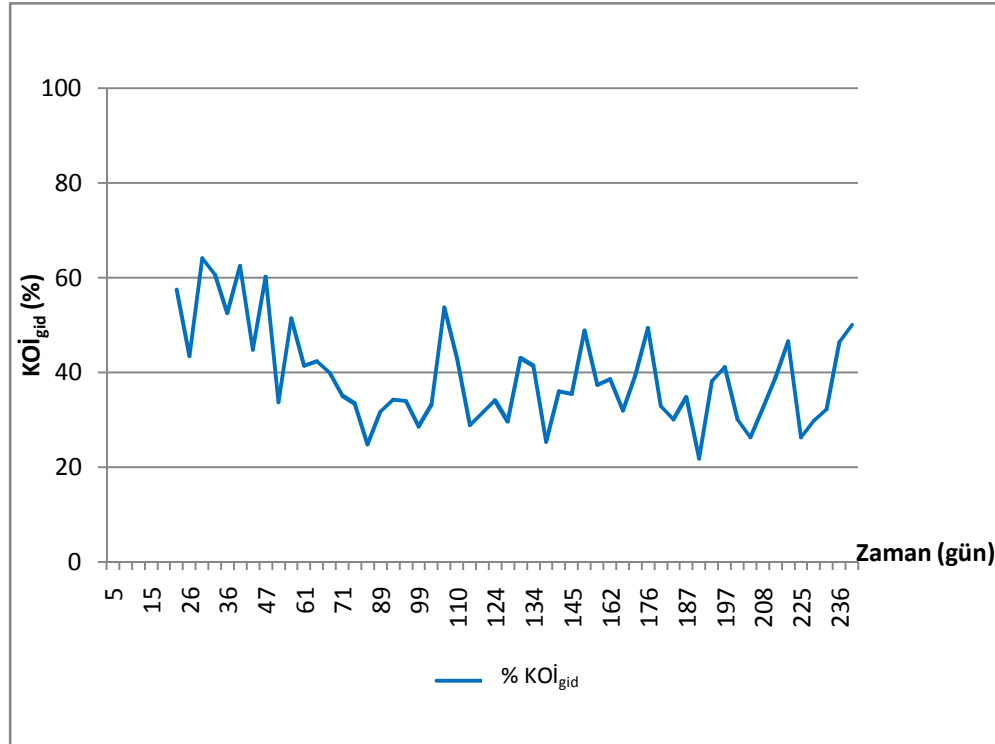
Anaerobik arıtım için gerekli tasarım işlemlerinden olan uçucu katı maddelerin giderimi (UKM_{gid}) , başlangıçta bulunan inert maddenin miktarına bağlı olarak % 40-60 aralığında değişebilmektedir (Özbay, 2006).

Benzer bir çalışmada % UKM_{gid} 45'in üzerine çıktığında gaz üretim hızının arttığı belirtilmektedir (Demirci ve ark., 2003).

Tasarımda % UKM_{gid} yaklaşık 54 olarak öngörüldüğü dikkate alındığında; elde edilen ortalama % UKM_{gid} değerinin tasarım değerinin altında kaldığı görülmüştür.

4.1.15. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi (% KOİ_{gid})

Referans çürütücüdeki % KOİ_{gid} parametresinin değişimi Şekil 4.1.15’de verilmiştir.

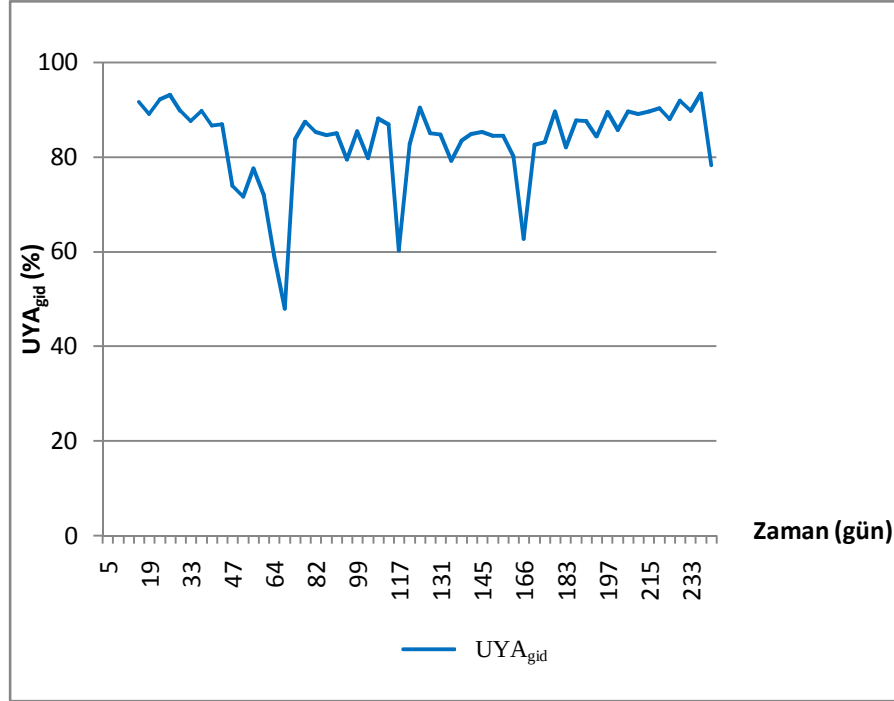


Şekil 4.1.15. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % KOİ_{gid} değişimi.

Referans çürütücünün % KOİ_{gid} değeri 22-64 arasında değişmekte olup, ortalaması 39 olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamurlarında bulunan KOİ miktarı tamamen atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

4.1.16. Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi (% UYA_{gid})

Referans çürütücüdeki % UYA_{gid} parametresinin değişimleri Şekil 4.1.16'da verilmiştir.



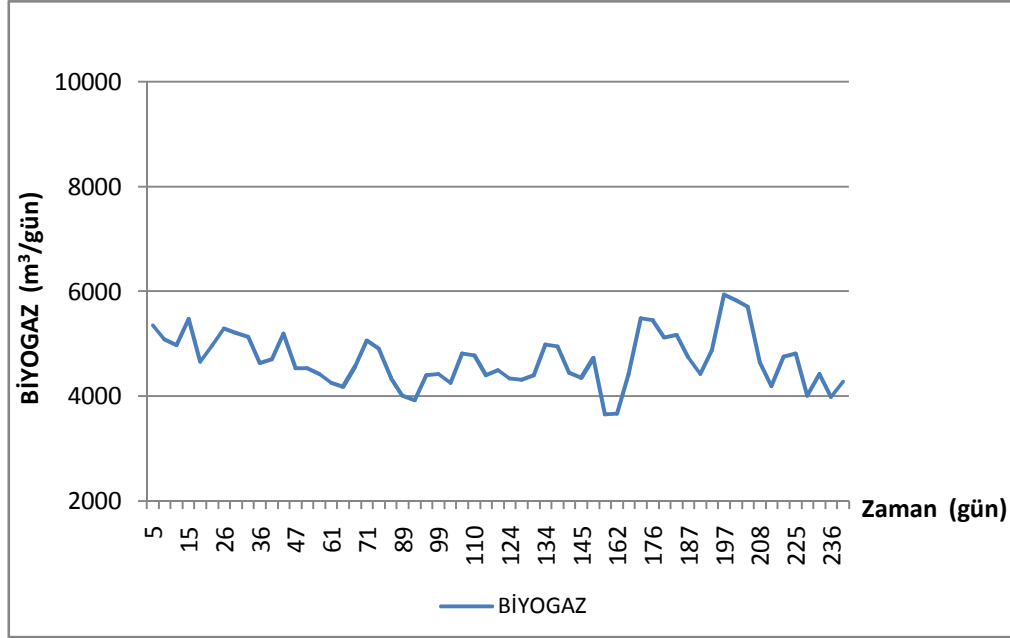
Şekil 4.1.16. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % UYA_{gid} değişimi.

Referans çürütücünün % UYA_{gid} değeri 48-93 arasında değişmekte olup, ortalama % UYA_{gid} 83 olarak tespit edilmiştir.

OLR fazla olduğunda bakteriler asetik asiti de yeteri kadar CH₄'e dönüştüremezler. Dolayısıyla çıkış suyunda uçucu yağ asiti miktarı artar. UYA konsantrasyonunun artması pH'ın azalmasına sebep olur. Bu da metan bakterilerinin çalışmasını olumsuz yönde etkiler. Hatta pH düşüşü devam ederse metanojenik faaliyet tamamen durur. Bu yüzden anaerobik arıtma sistemlerinde UYA, sürekli izlenmesi gereken çok önemli bir parametredir. UYA konsantrasyonu arttığında pH'ın düşüşünü tamponlamak için alkalinitenin arttırılması ve yağ asiti konsantrasyonundaki bu artışın nedenlerinin araştırılması gereklidir (Debik ve ark., 2008)

4.1.17. Biyogaz

Referans çürütücüdeki biyogaz parametresinin değişimi Şekil 4.1.17’de verilmiştir.



Şekil 4.1.17. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) biyogaz değişimi.

Referans çürütücünün biyogazı 3,660–5,938 m³/gün arasında değişmekte olup, ortalama üretilen biyogaz 4,661 m³/gün olarak tespit edilmiştir.

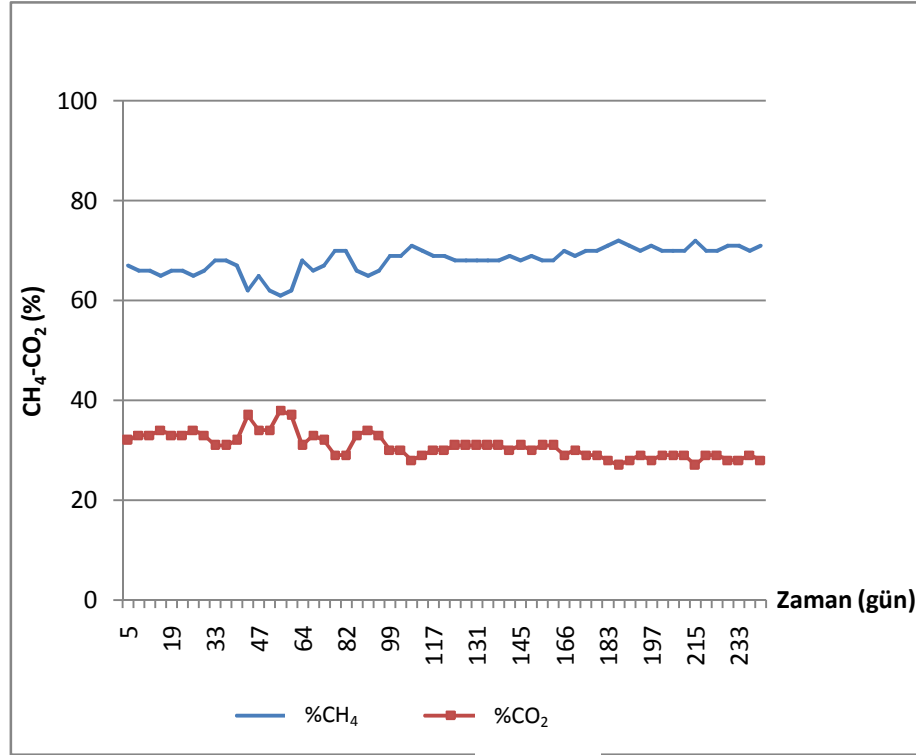
Anaerobik bir çürütücünün düzgün bir şekilde işletildiğinin en önemli göstergesi gaz üretimidir. Üretilen biyogaz yakıt olarak kullanılabilir. Fakat beslenen çamurda gözlenen değişken UKM konsantrasyonları ve çürütücüdeki biyolojik aktiviteye bağlı olarak gaz üretimi, çok geniş bir aralıkta salınım gösterebilmektedir (AATTUT, 2010).

Üretilen gazın bileşimi, miktarı ve toplam hacmi bir çürütücünün verimini ifade eder. Çürütücüye verilen çamur miktarının sabit olduğu düşünülürse, üretilen gazın toplam hacmi, çürütücüdeki reaksiyonun derecesinin bir ölçüsüdür. Gaz üretimindeki azalma sebepleri; organik yükleme hızında azalma, toksik elementlerin metan üreten bakterilere etki etmesi ve sıcaklık değişimleri gibi etkenlerden olmuş olabilir. Gaz üretimindeki ani artış, yüksek organik yükün bir göstergesidir (Topacık, 1987).

Tasarımda SRT 20 gün için biyogaz değeri yaklaşık 5,526 m³/gün öngörüldüğü dikkate alındığında; elde edilen ortalama biyogaz değerinin tasarım değerinin altında kaldığı görülmüştür.

4.1.18. Biyogaz bileşenindeki metan ve karbondioksit gazlarının oranları (% CH₄-% CO₂)

Referans çürütücüdeki % CH₄-% CO₂ parametresinin değişimi Şekil 4.1.18’de verilmiştir.



Şekil 4.1.18. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) % CH₄ ve % CO₂ değişimi.

Referans çürütücüde üretilen biyogazın CH₄ %’si 61-72 arasında değişmekte olup, ortalaması 68 olarak tespit edilmiştir.

Çamur çürütme süreci esnasında üretilen biyogaz önemli bir enerji kaynağıdır. Çürütücü gazı % 60-70 CH₄ içerir. Bu oran ne kadar yüksek olursa sistemin de o kadar iyi çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

Elde edilen ortalama % CH₄ değerinin işletme değerlerinde kaldığı görülmüştür.

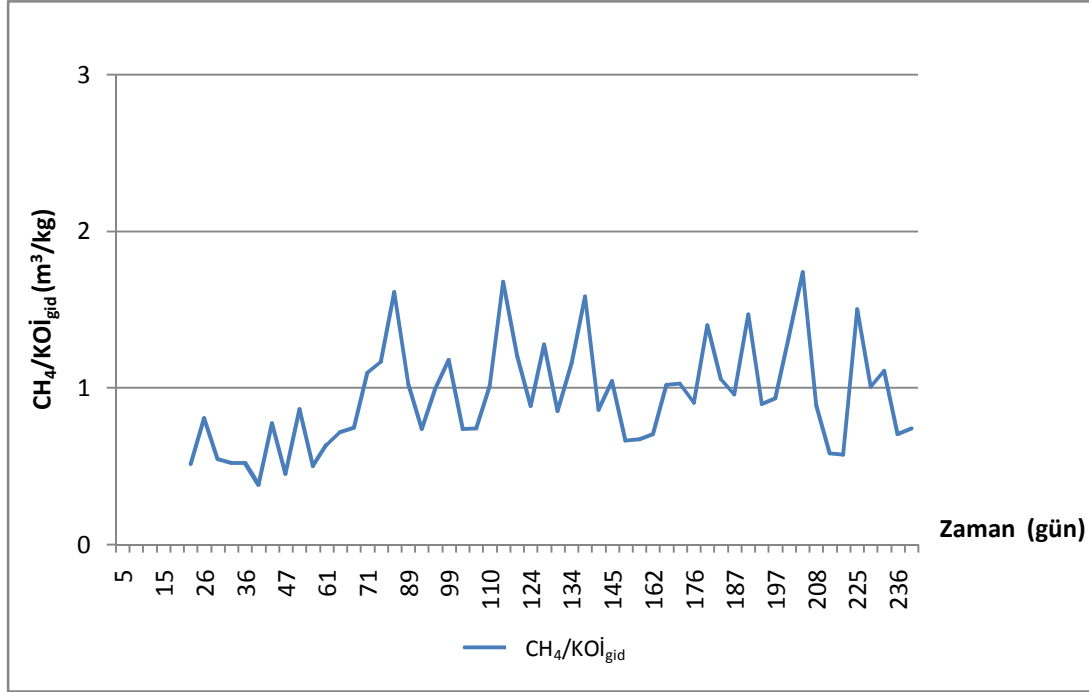
Referans çürütücüde üretilen biyogazın CO₂ %’si 27-38 arasında değişmekte olup, ortalaması 31 olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü gazı % 15-35 CO₂ içerir. Bu oran ne kadar düşük olursa sistemin de o kadar iyi çalıştığını gösterir (Öztürk ve ark., 2005)

Elde edilen ortalama % CO₂ değerinin istenilen değerlerde kaldığı görülmüştür.

4.1.19. Giderilen KOİ miktarına göre üretilen metan gazı ($CH_4/KOİ_{gid}$)

Referans çürütücüdeki $CH_4/KOİ_{gid}$ parametresinin değişimi Şekil 4.1.19'da verilmiştir.



Şekil 4.1.19. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) $CH_4 / KOİ_{gid}$ değişimi.

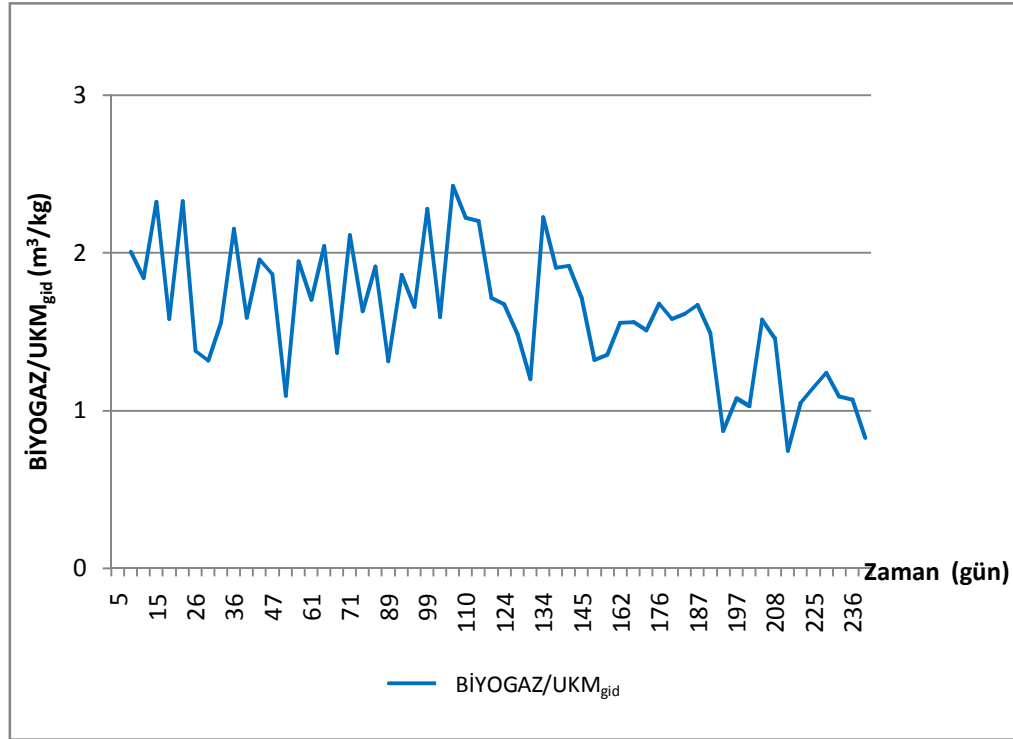
Referans çürütücüde $CH_4/KOİ_{gid}$ 0.38-1.74 m³/kg arasında değişmekte olup, ortalama $CH_4/KOİ_{gid}$ 0.74 m³/kg olarak tespit edilmiştir.

Çürütücülerde KOİ giderimi ile oluşan metan gazı arasındaki ilişki ile üretilen enerji verimi açısından önemli bir kriterdir.

Elde edilen ortalama $CH_4/KOİ_{gid}$ değerine göre sistemin verimli çalıştığı söylenebilir.

4.1.20. Giderilen UKM_{gid} miktarına göre üretilen biyogaz ($Biyogaz/UKM_{gid}$)

Referans çürütücüdeki $Biyogaz/UKM_{gid}$ parametresinin değişimi Şekil 4.1.20’de verilmiştir.



Şekil 4.1.20. Referans çürütücüde (SRT=20 gün) $Biyogaz/UKM_{gid}$ değişimi.

Referans çürütücüde $Biyogaz/UKM_{gid}$ $0.74-2.43 \text{ m}^3/\text{kg}$ arasında değişmekte olup, ortalama $Biyogaz/UKM_{gid}$ $1.42 \text{ m}^3/\text{kg}$ olarak tespit edilmiştir.

Çürütücülerde UKM giderimi ile oluşan biyogaz arasındaki ilişki sistemin etkinliği açısından önemli bir kriterdir. $Biyogaz \text{ (m}^3\text{)/kg.UKM}_{gid}$ oranının $0.75-1.12$ aralığında olması sistemin verimli çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

Ayrışan organik maddeden spesifik biyogaz üretim hızı, katı madde bileşimine bağlıdır (Küçükhemek ve ark., 2007).

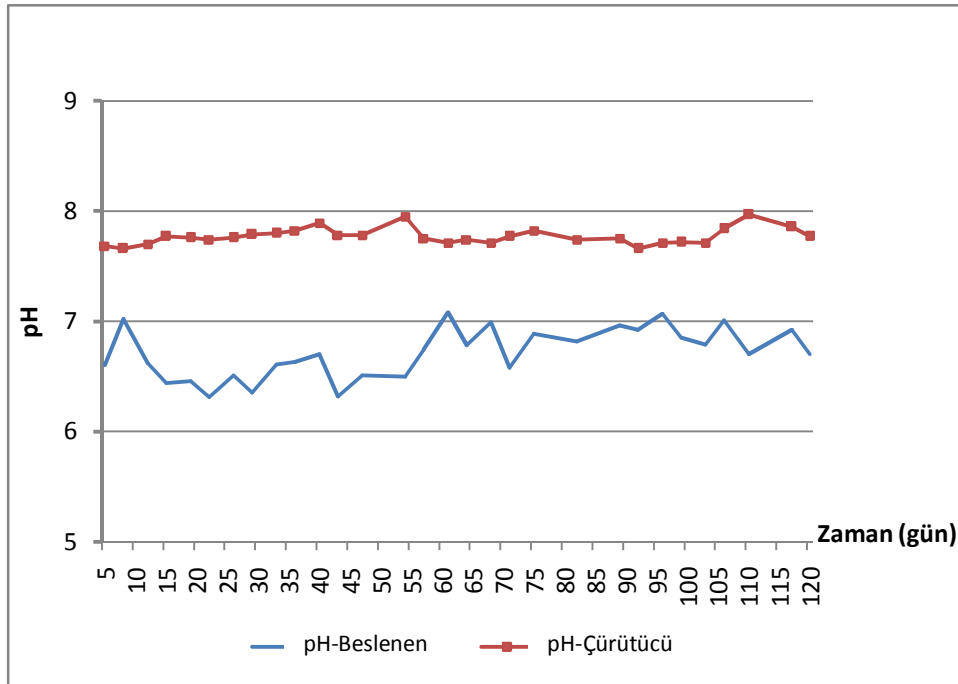
Tasarımda SRT 20 gün için $Biyogaz/UKM_{gid}$ değeri yaklaşık $0.9 \text{ m}^3/\text{kg } UKM_{gid}$ öngörüldüğü dikkate alındığında; elde edilen ortalama $Biyogaz/UKM_{gid}$ değerinin tasarım değerinin üstünde kaldığı görülmüştür.

4.2. Denek Çürütücüye ait (SRT=17 gün) Araştırma Sonuçları

Denek çürütücüde SRT 17 gün olacak şekilde gerçek ölçekli prosese ait verilerinin değişimi izleme noktalarında 120 gün boyunca yapılan analizlerle belirlenmiştir. Bu süreçte, çürütücülere beslenen çamurda ve çürütme işlemi sonrasındaki çamurda izlenen parametreler ve değişimleri aşağıda özetlenmiştir.

4.2.1. pH

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki pH parametresinin değişimleri Şekil 4.2.1’de verilmiştir.



Şekil 4.2.1. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) pH değişimi.

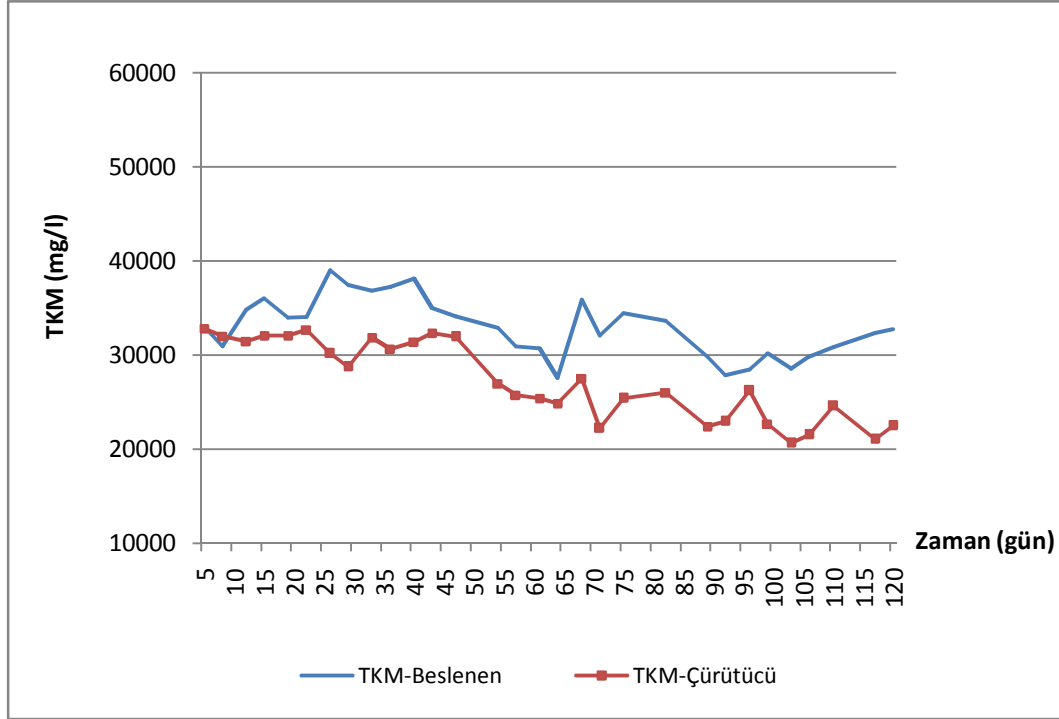
Beslenen çamurunun pH'ı 6.3-7.1 arasında değişmekte olup, ortalaması 6.7 olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun pH'ı ise 7.7-8.0 arasında değişmekte olup, ortalaması 7.8 olarak tespit edilmiştir.

Beslenen ve çürütülmüş çamurun ortalama pH değerlerinin istenilen işletme şartlarında olduğu ve bu değerlerde sistemin normal olarak çalıştığı görülmüştür.

4.2.2. Toplam katı madde (TKM)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki TKM parametresinin değişimleri Şekil 4.2.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2.2. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) TKM değişimi.

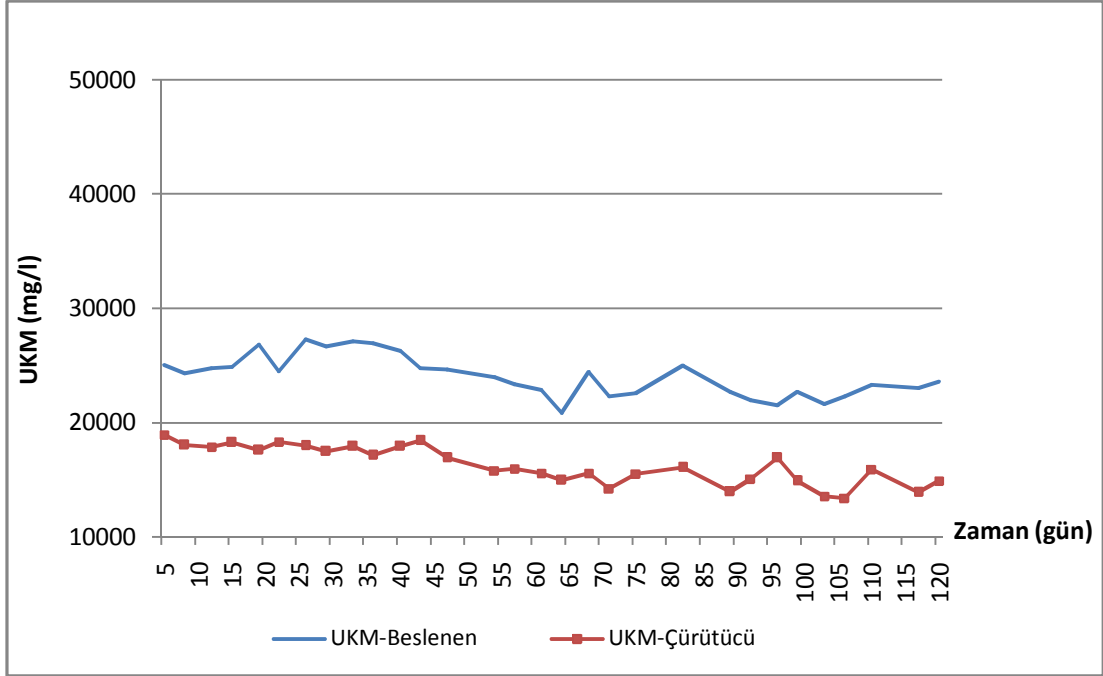
Besleme çamurunun TKM’si 26,600-39,040 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 32,979 mg/l (% 3.3) olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun TKM’si 20,670–32,820 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 27,295 mg/l (% 2.7) olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen ortalama TKM değerlerinin, işletme değerlerinde olduğu görülmüştür. TKM oranları tamamen giriş atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

4.2.3. Uçucu katı madde (UKM)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki UKM parametresinin değişimleri Şekil 4.2.3’de verilmiştir.



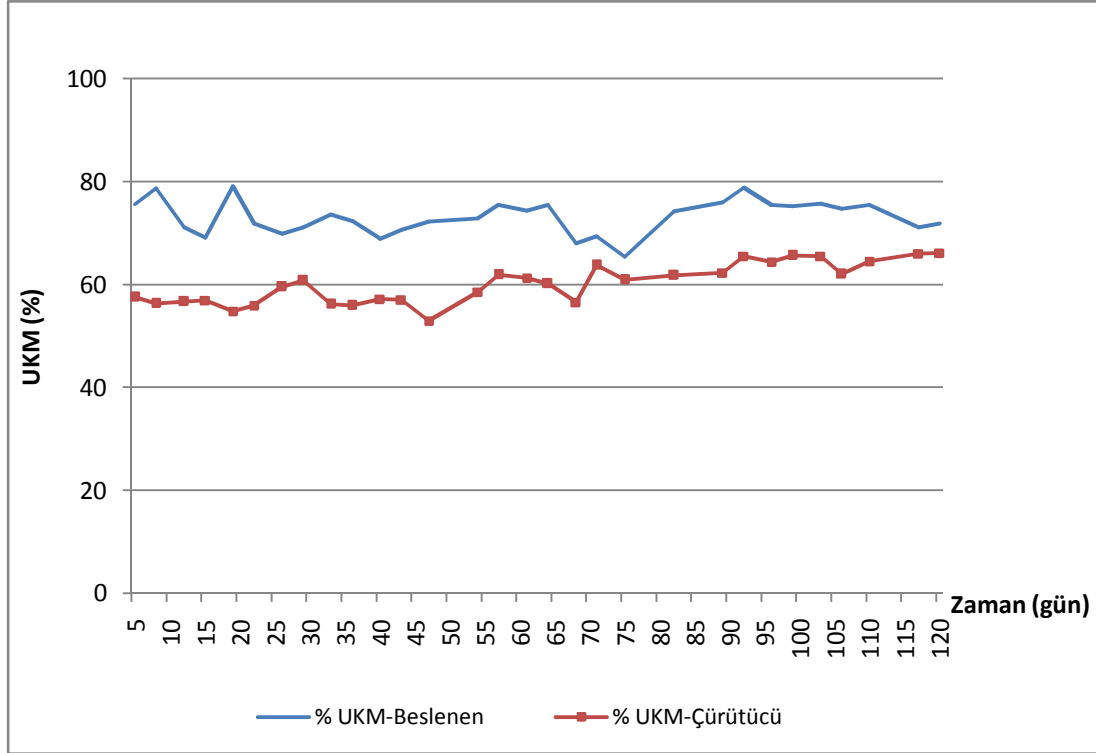
Şekil 4.2.3. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) UKM değişimi.

Beslenen çamurun UKM’si 20,820–27,290 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 24,056 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun UKM’si 13,370–18,910 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 16,288 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.2.4. Uçucu katı madde yüzdesi (% UKM)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki % UKM parametresinin değişimleri Şekil 4.2.4’de verilmiştir.



Şekil 4.2.4. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) % UKM değişimi.

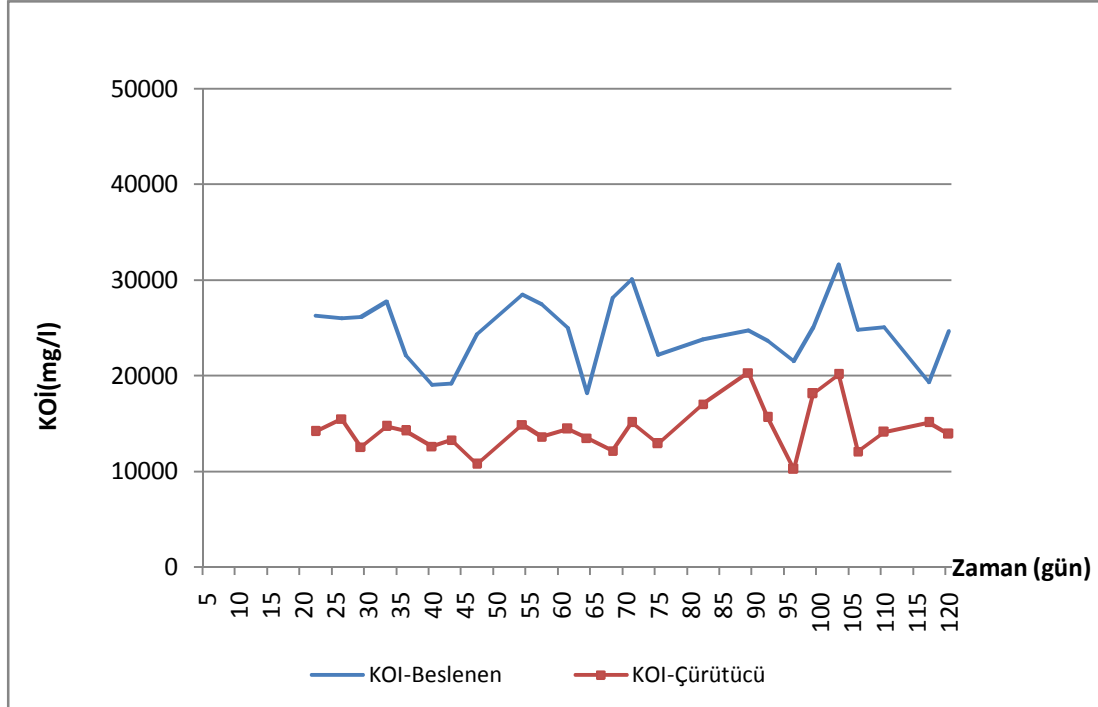
Beslenen çamurun UKM %’si 65–79 arasında değişmekte olup, ortalaması 73 olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun UKM %’si 53–66 arasında değişmekte olup, ortalaması 60 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama % UKM değerlerinin kabul edilen normal işletme değerlerinde olduğu görülmüştür.

4.2.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki KOİ parametresinin değişimleri Şekil 4.2.5’de verilmiştir.



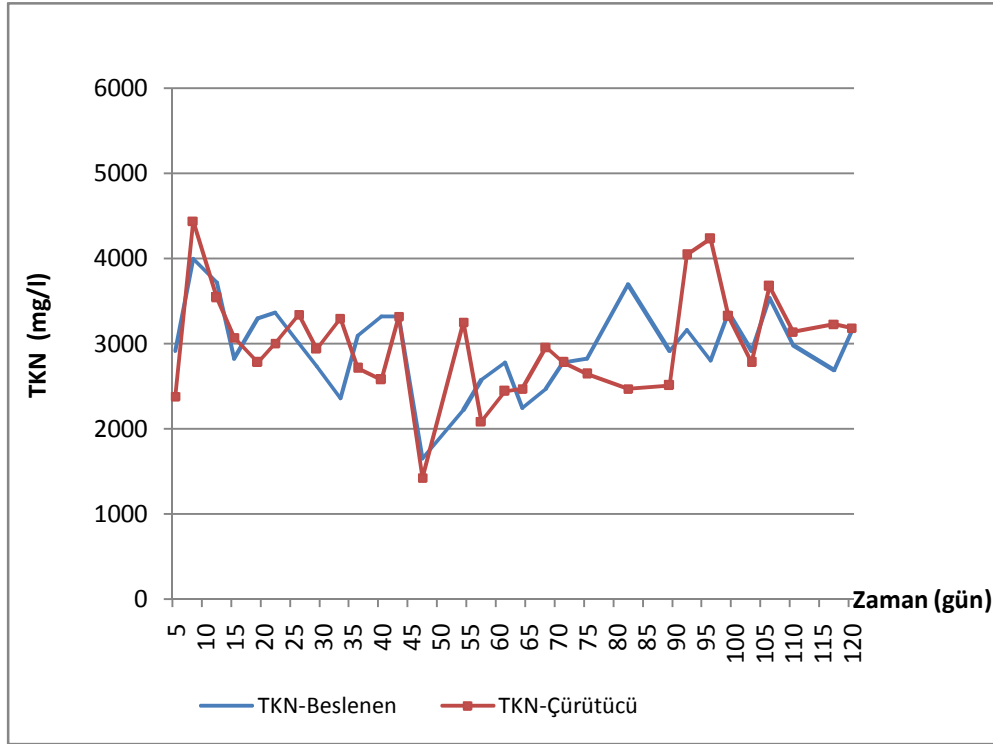
Şekil 4.2.5. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) KOİ değişimi.

Beslenen çamurun KOİ’si 18,191–31,604 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 24,570 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun KOİ’si 10,206–20,296 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 14,422 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.2.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki TKN parametresinin değişimleri Şekil 4.2.6’de verilmiştir.



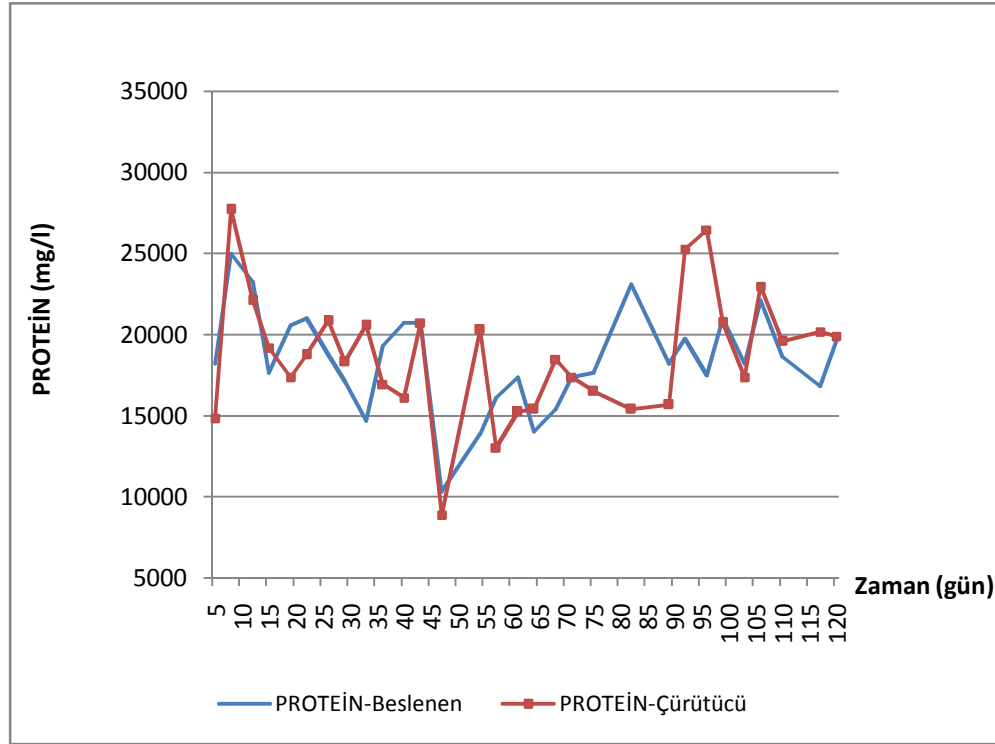
Şekil 4.2.6. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) TKN değişimi.

Beslenen çamurun TKN’si 1,650–3,998 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 2,954 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun TKN’si 1,420–4,435 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 2,998 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.2.7. Protein

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki protein parametresinin değişimleri Şekil 4.2.7’de verilmiştir.



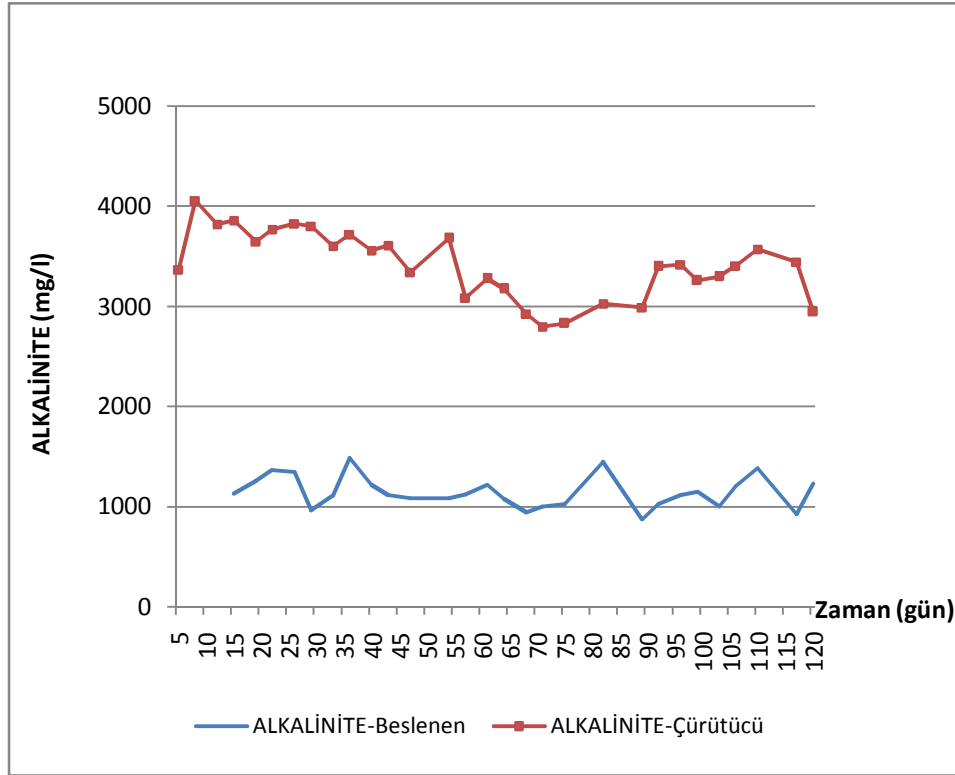
Şekil 4.2.7. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) protein değişimi.

Beslenen çamurun proteini 10,313–24,988 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 18,462 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun proteini 8,875–27,719 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 18,739 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.2.8. Alkalinite

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki alkalinite parametresinin değişimleri Şekil 4.2.8’de verilmiştir.



Şekil 4.2.8. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) alkalinite değişimi.

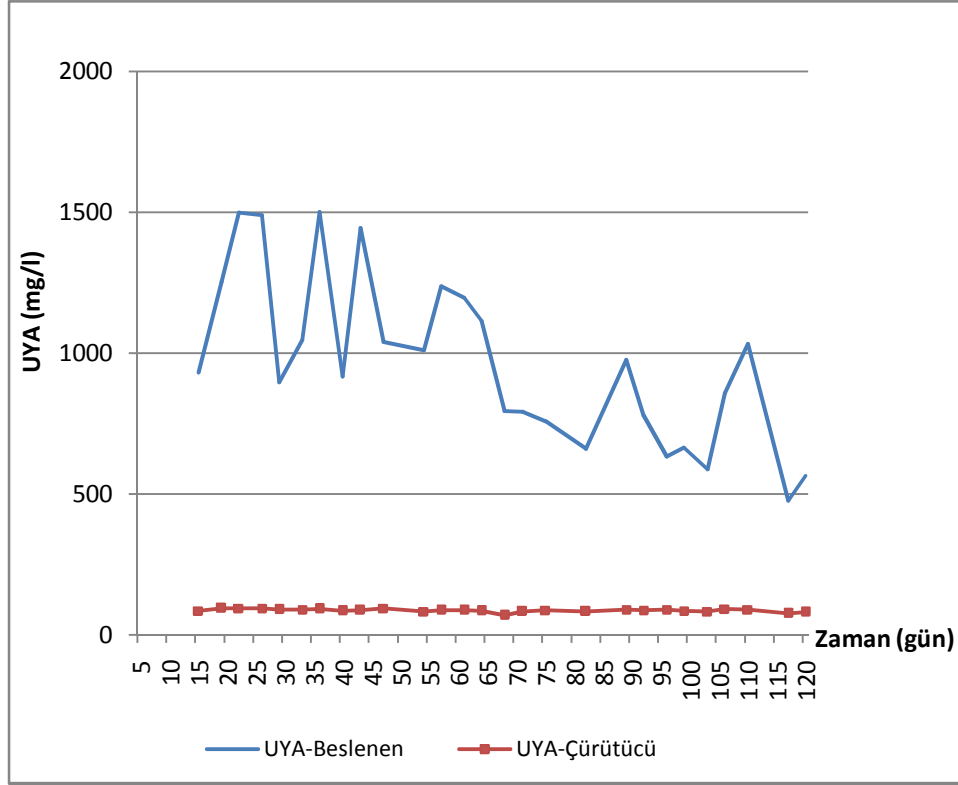
Beslenen çamurun alkalinitesi 869-1,488 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 1,142 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun alkalinitesi ise 2,796–4,056 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 3,416 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen verilerin normal işletme değerlerinde olduğu görülmüştür.

4.2.9. Uçucu yağ asitleri (UYA)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki UYA parametresinin değişimleri Şekil 4.2.9’de verilmiştir.



Şekil 4.2.9. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) UYA değişimi.

Beslenen çamurun UYA’sı 476-1,500 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 968 mg/l olarak tespit edilmiştir.

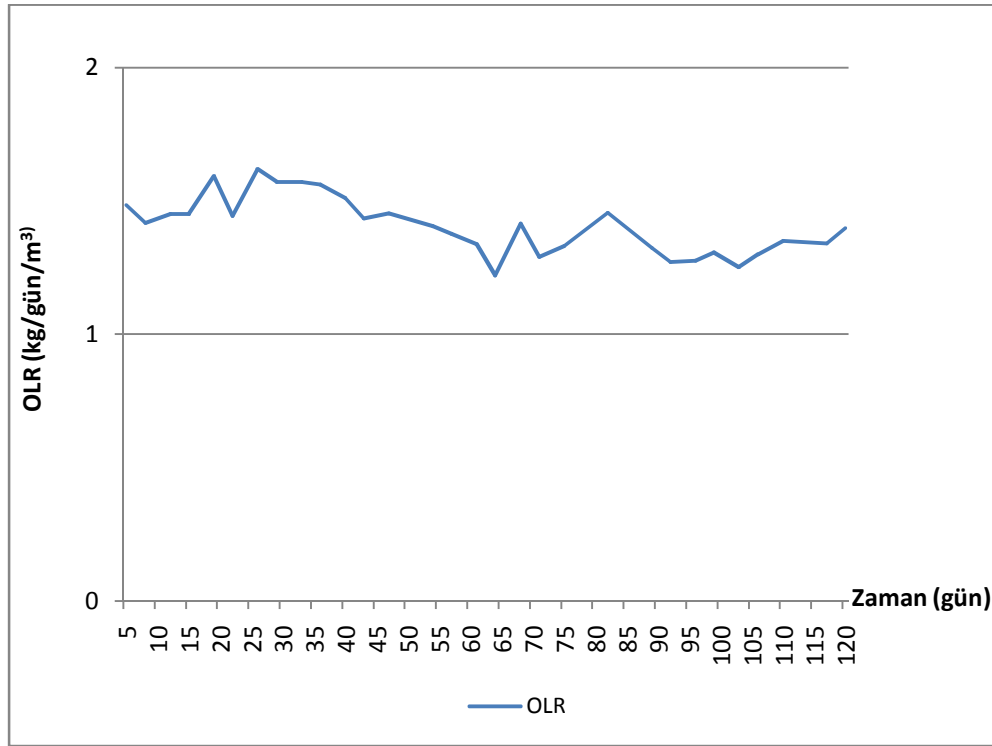
Besleme çamurunda elde edilen ortalama UYA değerinin, istenen UYA değerlerinin altında kaldığı görülmüştür.

Çürütücü çıkışındaki çamurun UYA’sı ise 70–249 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 123 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkış çamurunda elde edilen ortalama UYA’nın optimum değerlerde olduğu görülmüştür.

4.2.10. Organik yükleme hızı (OLR)

Denek çürütücündeki OLR parametresinin değişimi Şekil 4.2.10'da verilmiştir.



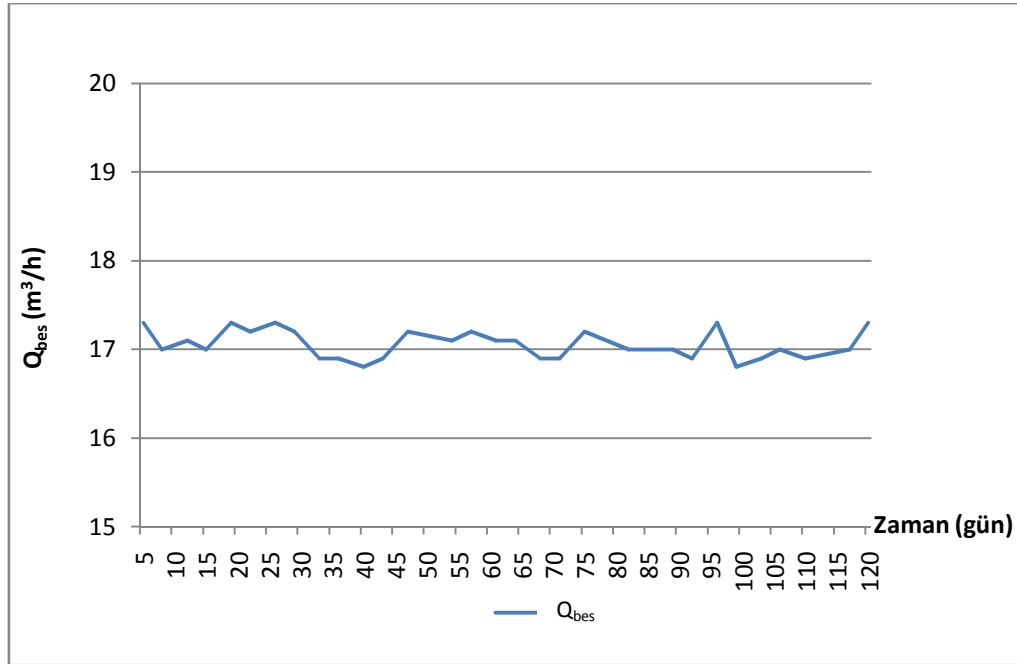
Şekil 4.2.10. Denek çürütücünde (SRT=17 gün) OLR değişimi.

Denek çürütücünün OLR'si 1.2–1.6 kg/gün/m³ arasında değişmekte olup, ortalaması 1.4 kg/gün/m³ olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama OLR değerlerinin, anaerobik arıtmada genel biyolojik arıtma prensibi olarak OLR aralığı olan 1.0-6.4 kg/gün/m³ aralığında kaldığı görülmüştür.

4.2.11. Çamur besleme debisi (Q_{bes})

Denek çürütücüdeki Q_{bes} parametresinin değişimi Şekil 4.2.11’de verilmiştir.

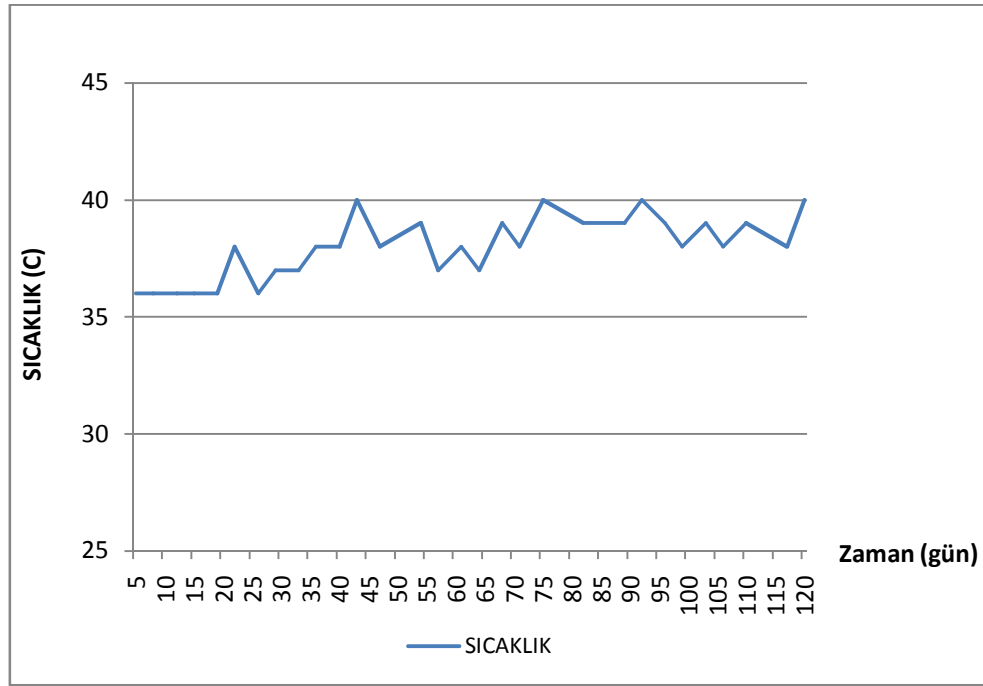


Şekil 4.2.11. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) Q_{bes} değişimi.

Denek çürütücünün Q_{bes} ’i 16.8–17.3 m³/h arasında değişmekte olup, ortalaması 17.1 m³/h olarak tespit edilmiştir.

4.2.12. Sıcaklık

Denek çürütücüdeki sıcaklık parametresinin değişimi Şekil 4.2.12’de verilmiştir.



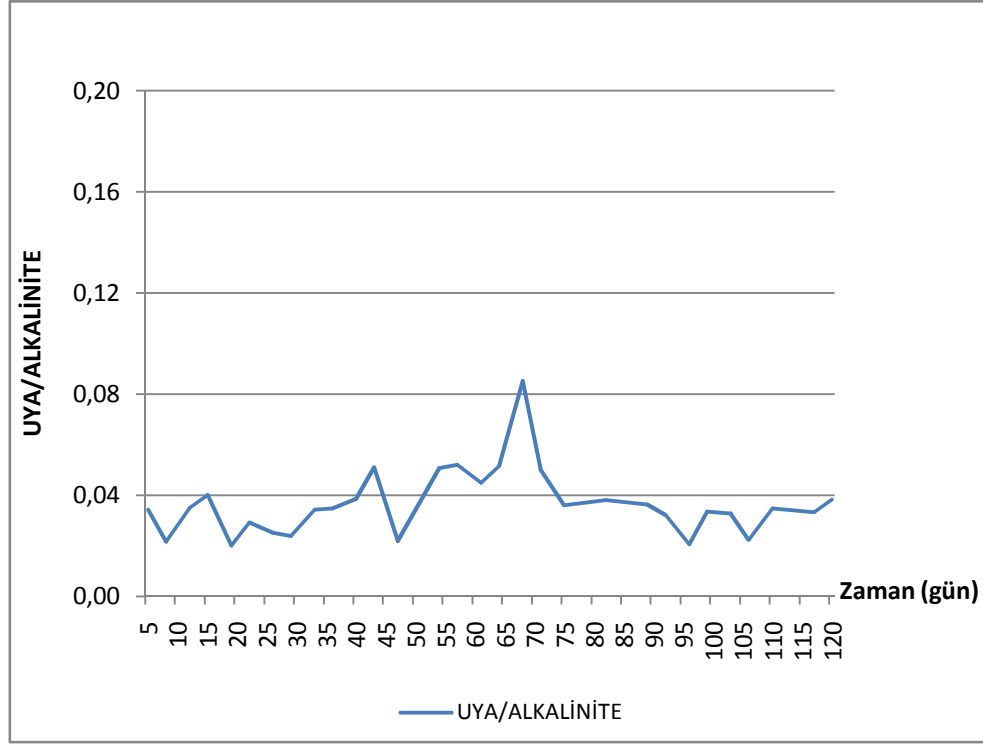
Şekil 4.2.12. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) sıcaklık değişimi.

Denek çürütücüde sıcaklık 36-40 °C arasında değişmekte olup, ortalaması 38 °C olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama sıcaklık değerinin, anaerobik çamur arıtımında kullanılan mezofilik çürütücüler için belirlenen aralıkta kaldığı görülmüştür.

4.2.13. Uçucu yağ asidi / alkalinite oranı (UYA/Alkalinite)

Denek çürütücündeki UYA/Alkalinite parametresinin değişimi Şekil 4.2.13’de verilmiştir.



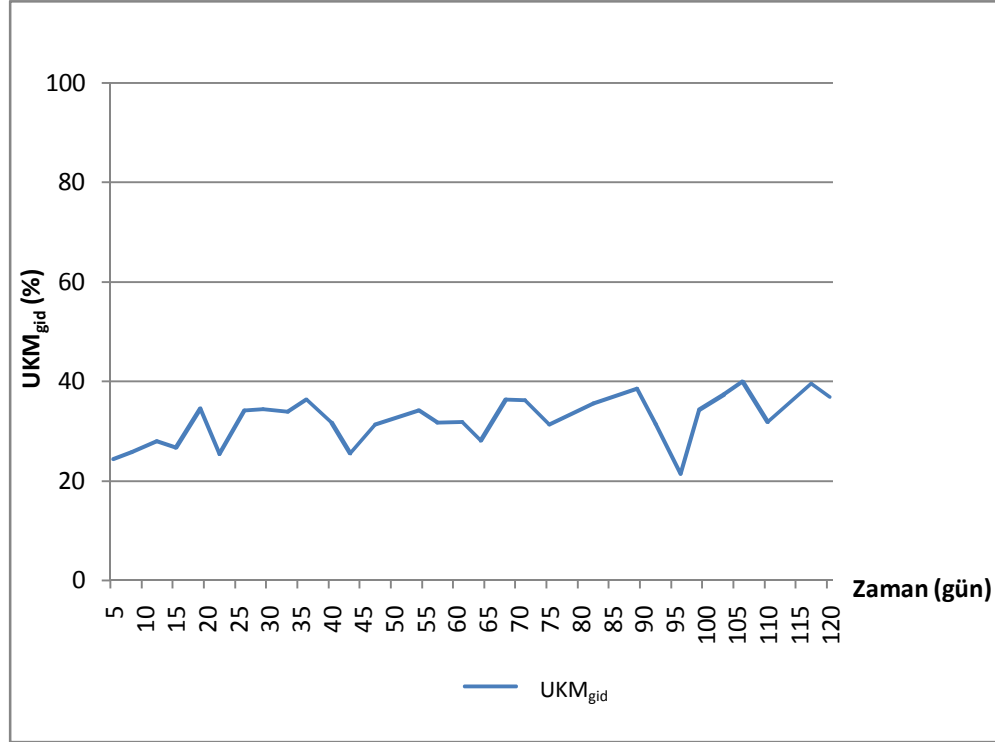
Şekil 4.2.13. Denek çürütücünde (SRT=17 gün) UYA/Alkalinite değişimi.

Denek çürütücünün UYA/Alkalinitesi 0.02-0.09 arasında değişmekte olup, ortalaması 0.04 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama UYA/Alkalinite değerinin, anaerobik çamur arıtımında genel biyolojik arıtma prensibi olarak UYA/Alkalinite oranının istenilen değerlerde kaldığı görülmüştür.

4.2.14. Uçucu katı madde giderim yüzdesi (% UKM_{gid})

Denek çürütücündeki % UKM_{gid} parametresinin değişimi Şekil 4.2.14.'de verilmiştir.



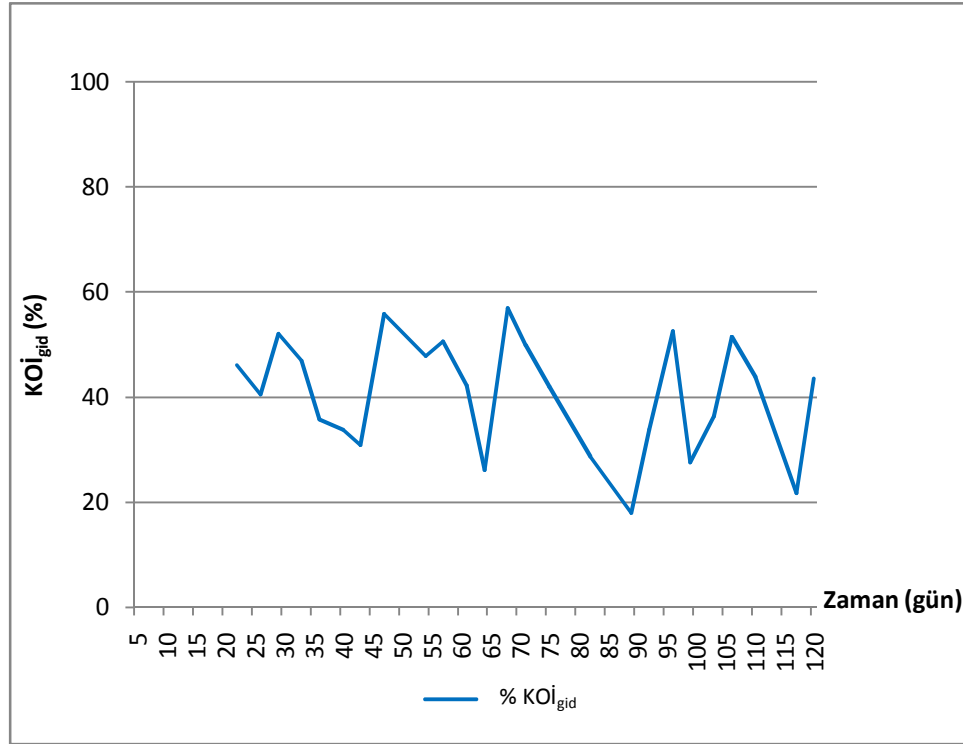
Şekil 4.2.14. Denek çürütücünde (SRT=17 gün) % UKM_{gid} değişimi.

Denek çürütücünün % UKM_{gid} değeri 15-47 arasında değişmekte olup, ortalaması 32 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama % UKM_{gid} değerinin, literatür değeri olan 40-60 aralığının altında kaldığı görülmüştür.

4.2.15. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi (% KOİ_{gid})

Denek çürütücüdeki % KOİ_{gid} parametresinin değişimi Şekil 4.2.15’de verilmiştir.

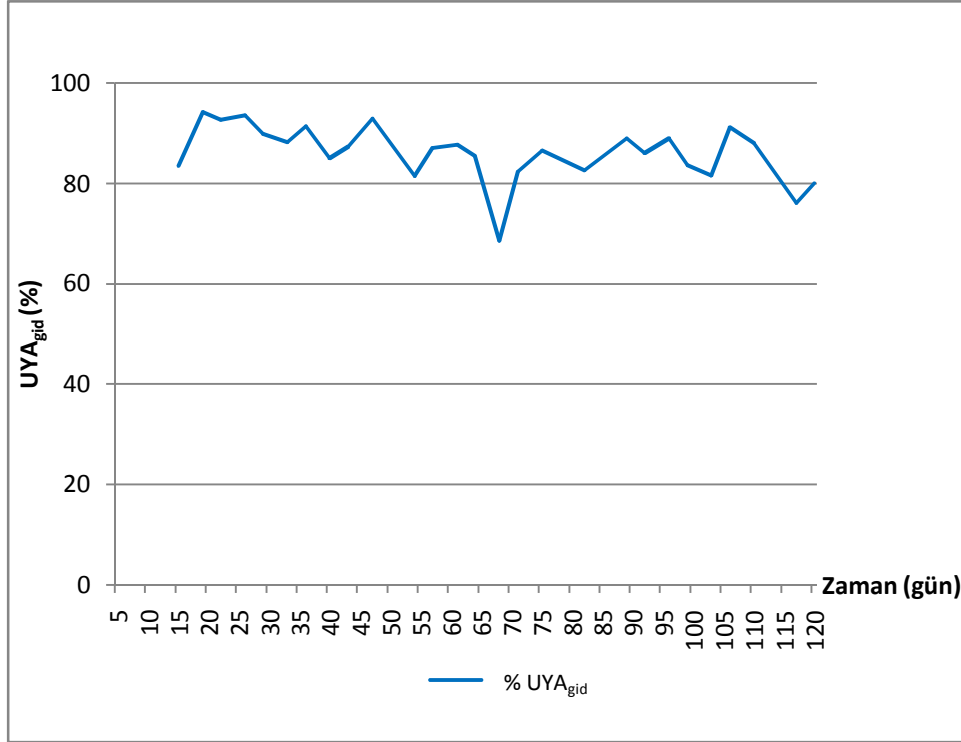


Şekil 4.2.15. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) % KOİ_{gid} değişimi.

Denek çürütücünün % KOİ_{gid} değeri 18-57 arasında değişmekte olup, ortalaması 41 olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamurlarında bulunan KOİ miktarı tamamen atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir

4.2.16. Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi (% UYA_{gid})

Denek çürütücündeki % UYA_{gid} parametresinin değişimi Şekil 4.2.16’da verilmiştir.

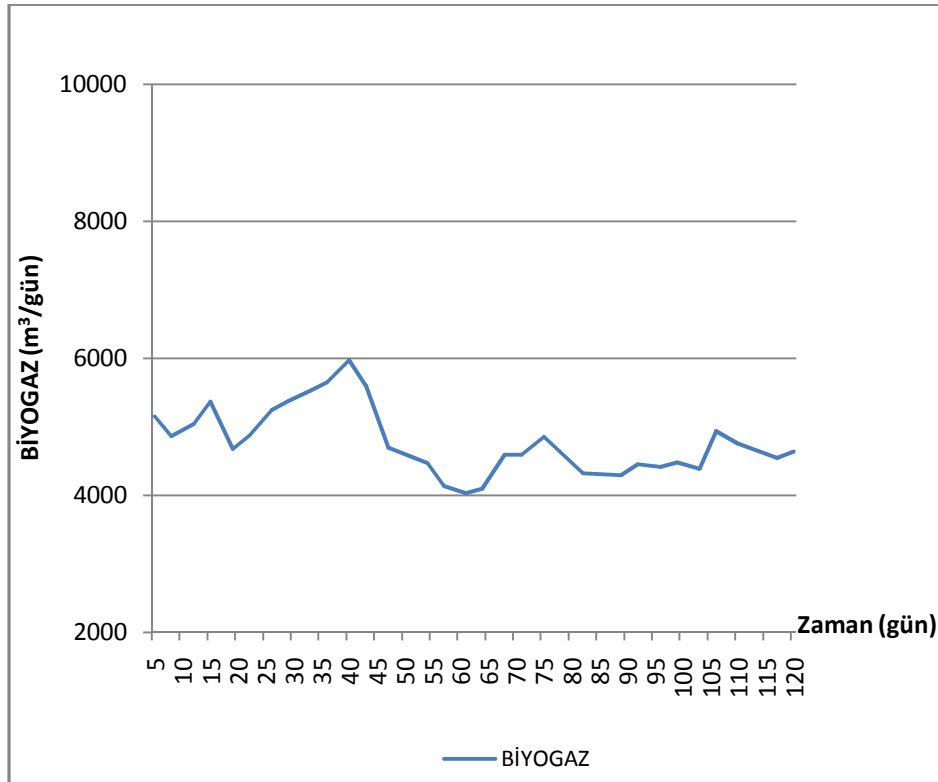


Şekil 4.2.16. Denek çürütücünde (SRT=17 gün) % UYA_{gid} değişimi.

Denek çürütücünün % UYA_{gid} değeri 69-94 arasında değişmekte olup, ortalaması 86 olarak tespit edilmiştir.

4.2.17. Biyogaz

Denek çürütücüdeki biyogaz parametresinin değişimi Şekil 4.2.17’de verilmiştir.

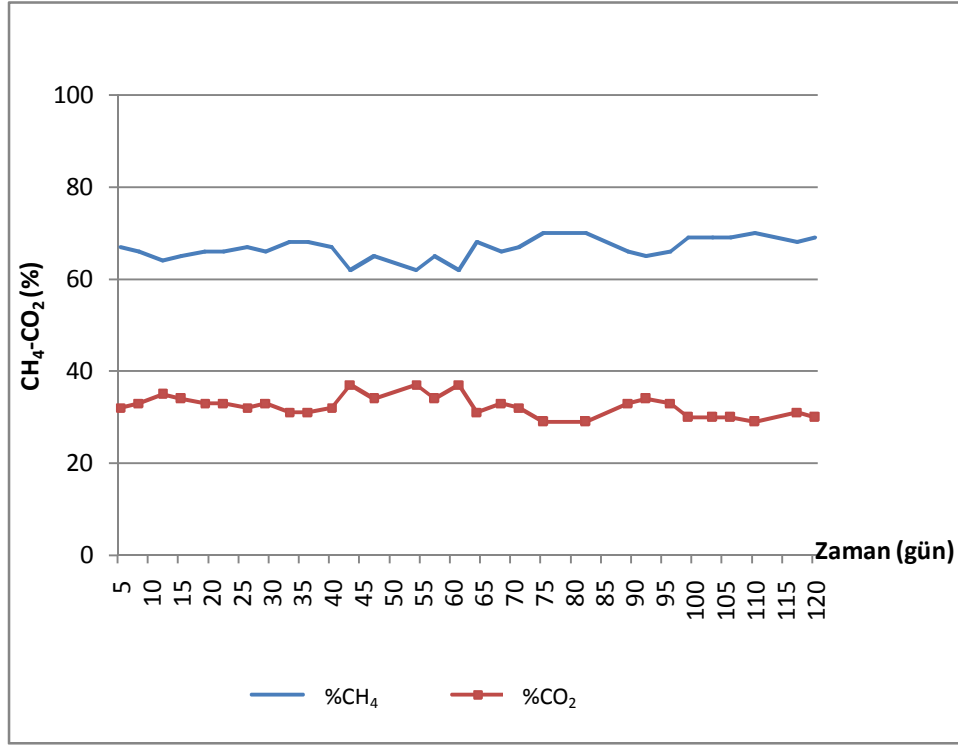


Şekil 4.2.17. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) biyogaz değişimi.

Denek çürütücünün biyogazı 4,032–5,976 m³/gün arasında değişmekte olup, ortalaması 4,756 m³/gün olarak tespit edilmiştir.

4.2.18. Biyogaz bileşenindeki metan ve karbondioksit gazlarının oranları (% CH₄-% CO₂)

Denek çürütücündeki % CH₄ ve % CO₂ parametrelerinin değişimleri Şekil 4.2.18’de verilmiştir.



Şekil 4.2.18. Denek çürütücünde (SRT=17 gün) % CH₄ ve % CO₂ değişimi.

Denek çürütücünde üretilen biyogazın CH₄ %'si 62-70 arasında değişmekte olup, ortalaması 67 olarak tespit edilmiştir.

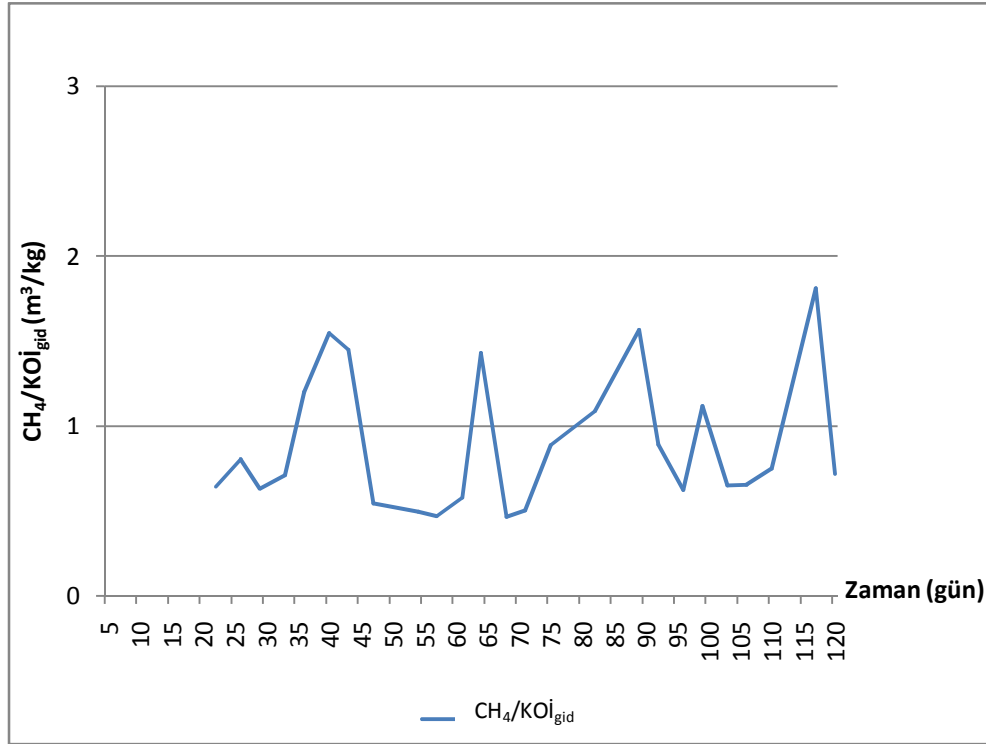
Elde edilen ortalama % CH₄ değerinin, işletme değerlerinde kaldığı görülmüştür.

Denek çürütücünde üretilen biyogazın CO₂ %'si 29-37 arasında değişmekte olup, ortalaması 32 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama % CO₂ değerinin, istenilen değerlerde kaldığı görülmüştür.

4.2.19. Giderilen KOI miktarına göre üretilen metan gazı (CH_4/KOI_{gid})

Denek çürütücüdeki CH_4/KOI_{gid} parametrelerinin değişimi Şekil 4.2.19'da verilmiştir.



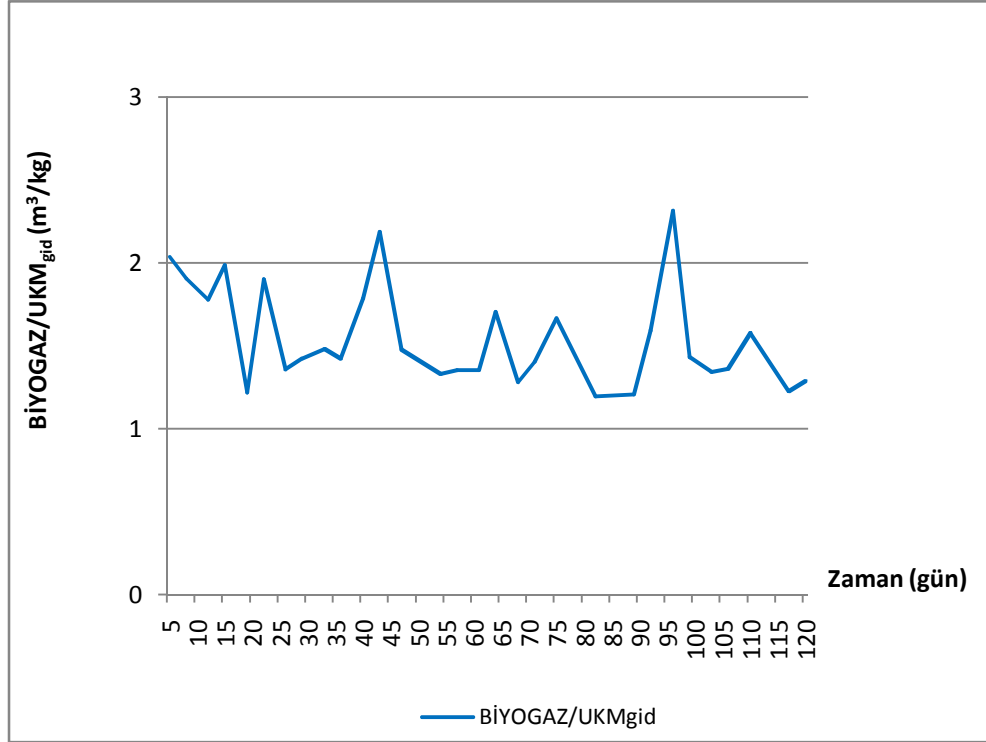
Şekil 4.2.19. Denek çürütücüsünde (SRT=17 gün) CH_4 / KOI_{gid} değişimi.

Denek çürütücüsünde CH_4/KOI_{gid} $0.47-1.81 \text{ m}^3/kg$ arasında değişmekte olup, ortalaması $0.77 \text{ m}^3/kg$ olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama CH_4/KOI_{gid} değerine göre sistemin verimli çalıştığı söylenebilir.

4.2.20. Giderilen UKM miktarına göre üretilen biyogaz (Biyogaz/UKM_{gid})

Denek çürütücüdeki Biyogaz/UKM_{gid} parametrelerinin değişimi Şekil 4.2.20’de verilmiştir.



Şekil 4.2.20. Denek çürütücüde (SRT=17 gün) biyogaz / UKM_{gid} değişimi.

Denek çürütücüde Biyogaz/UKM_{gid} 1.2-2.3 m³/kg arasında değişmekte olup, ortalama Biyogaz / UKM_{gid} 1.41m³/kg olarak tespit edilmiştir.

Biyogaz (m³)/kg.UKM_{gid} oranının 0.75-1.12 aralığında olması sistemin verimli çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

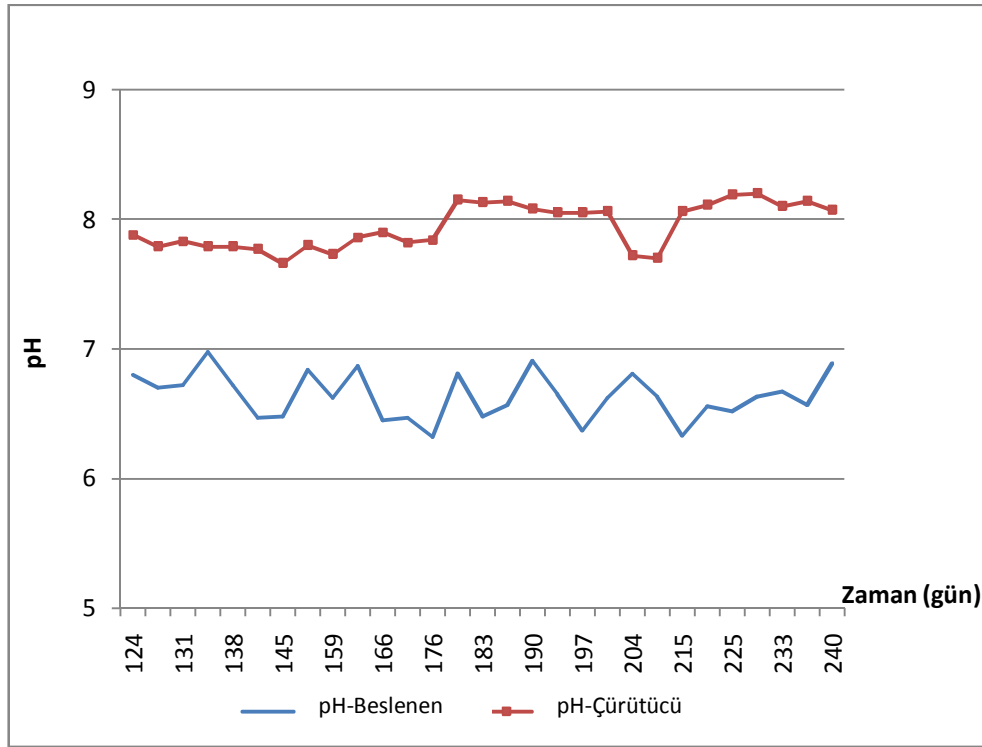
Elde edilen ortalama Biyogaz/UKM_{gid} değerine göre etkili bir biyogaz üretimi gerçekleştirildiği görülmüştür.

4.3. Denek Çürütücüye ait (SRT=23 gün) Araştırma Sonuçları

Denek çürütücüde SRT 23 gün olacak şekilde gerçek ölçekli prosese ait verilerinin değişimi izleme noktalarında 120 gün boyunca yapılan analizlerle belirlenmiştir. Bu süreçte, çürütücülere beslenen çamurda ve çürütme işlemi sonrasındaki çamurda izlenen parametreler ve değişimleri aşağıda özetlenmiştir.

4.3.1.pH

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki pH parametresinin değişimleri Şekil 4.3.1’de verilmiştir.



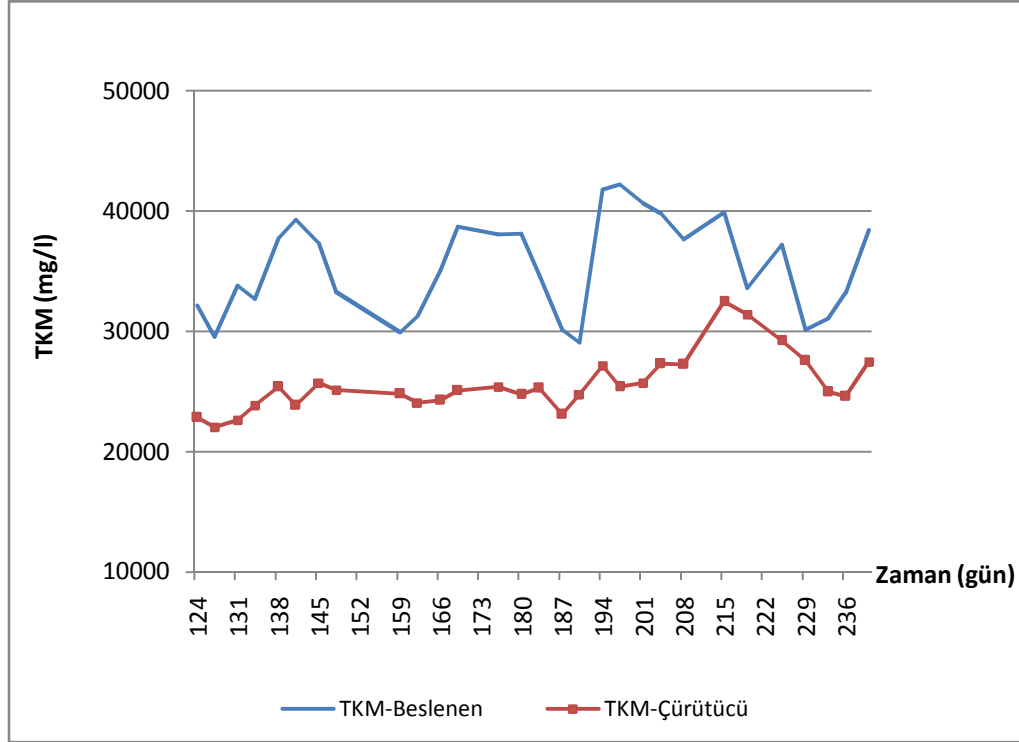
Şekil 4.3.1. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) pHdeğişimi.

Beslenen çamurun pH'ı 6.3-7.0 arasında değişmekte olup, ortalaması 6.6 olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun pH'ı ise 7.7-8.2 arasında değişmekte olup, ortalaması 7.9 olarak tespit edilmiştir.

4.3.2. Toplam katı madde (TKM)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki TKM parametresinin değişimleri Şekil 4.3.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3.2. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) TKM değişimi.

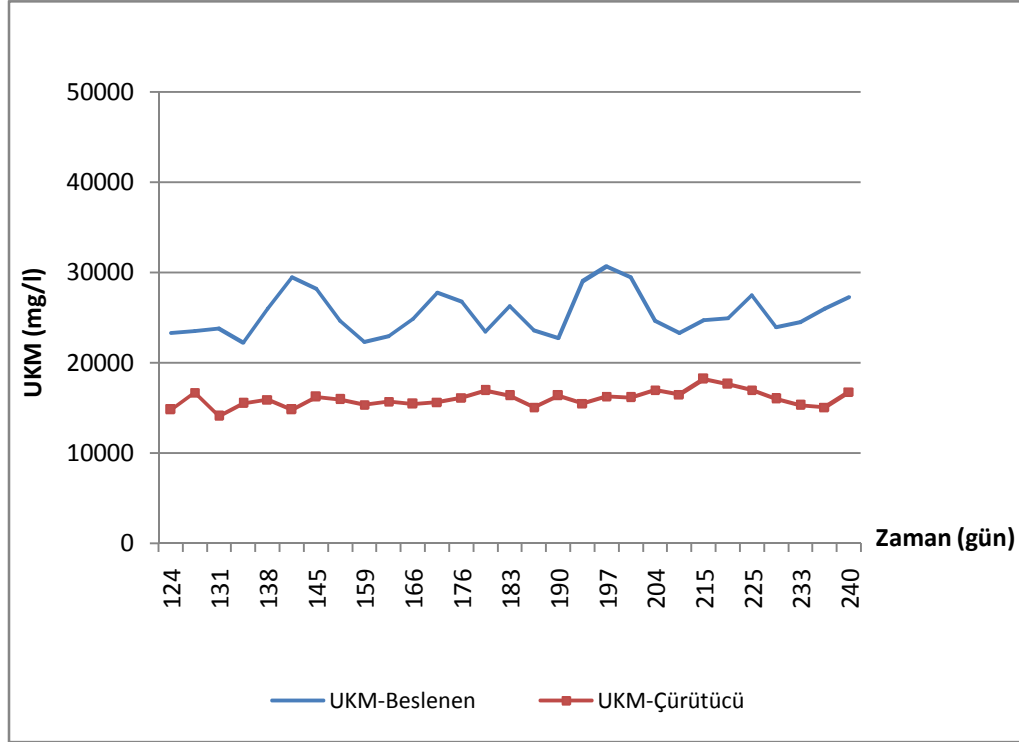
Beslenen çamurun TKM’si 29,050–42,200 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 35,381 mg/l (% 3.5) olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun TKM’si 22,020–32,470 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 25,632 mg/l (% 2.6) olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen ortalama TKM değerlerinin, işletme değerlerinde olduğu görülmüştür. TKM oranları tamamen giriş atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

4.3.3. Uçucu katı madde (UKM)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki UKM parametresinin değişimleri Şekil 4.3.3’de verilmiştir.



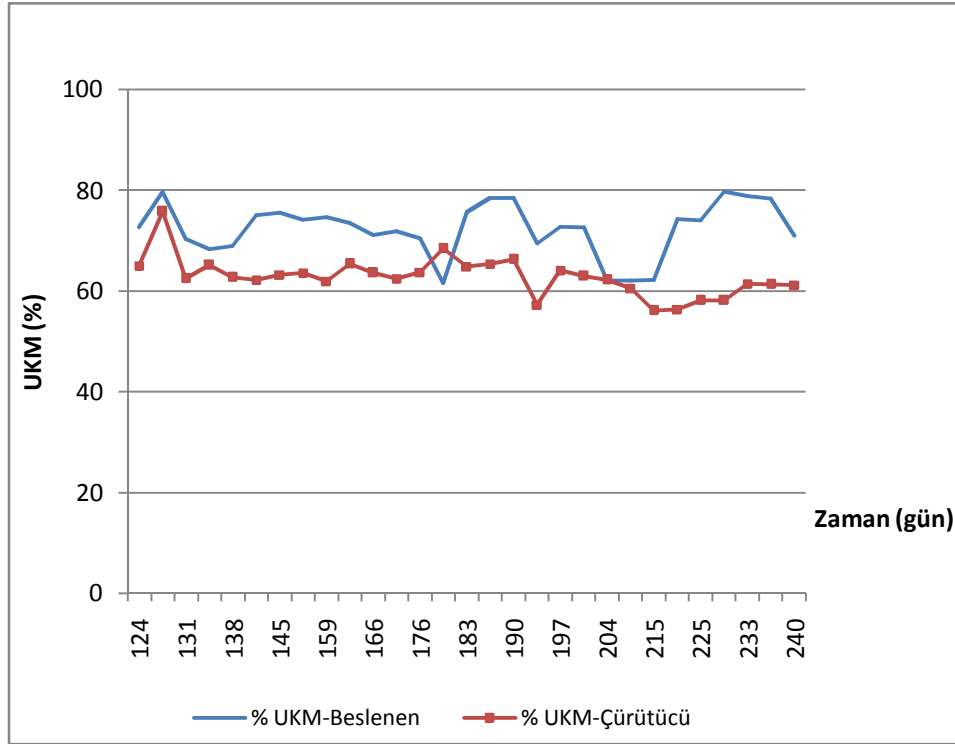
Şekil 4.3.3. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) UKM değişimi.

Beslenen çamurun UKM’si 22,300–30,700 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 25,473 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun UKM’si 14,130–18,240 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 16,040 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.3.4. Uçucu katı madde yüzdesi (% UKM)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki % UKM parametresinin değişimleri Şekil 4.3.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3.4. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) % UKM değişimi.

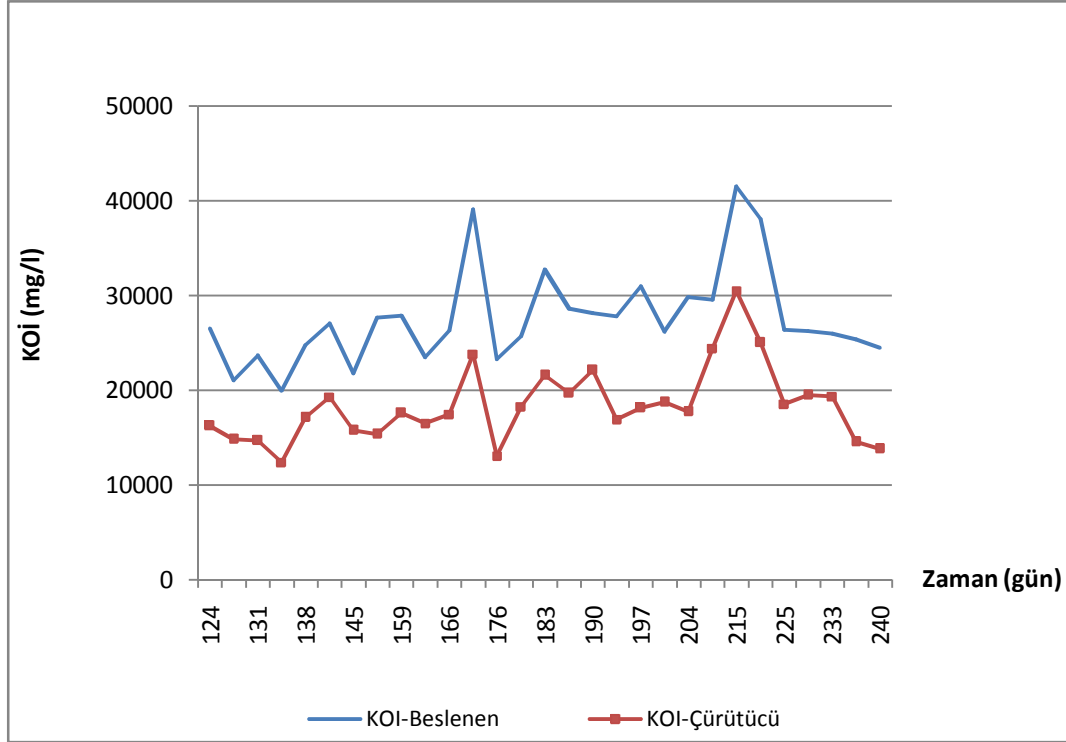
Beslenen çamurun % UKM’si 62–80 arasında değişmekte olup, ortalaması 72 olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun % UKM’si 56–76 arasında değişmekte olup, ortalaması 63 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama % UKM değerlerinin kabul edilen normal işletme değerlerinde olduğu görülmüştür.

4.3.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki KOİ parametresinin değişimleri Şekil 4.3.5’de verilmiştir.



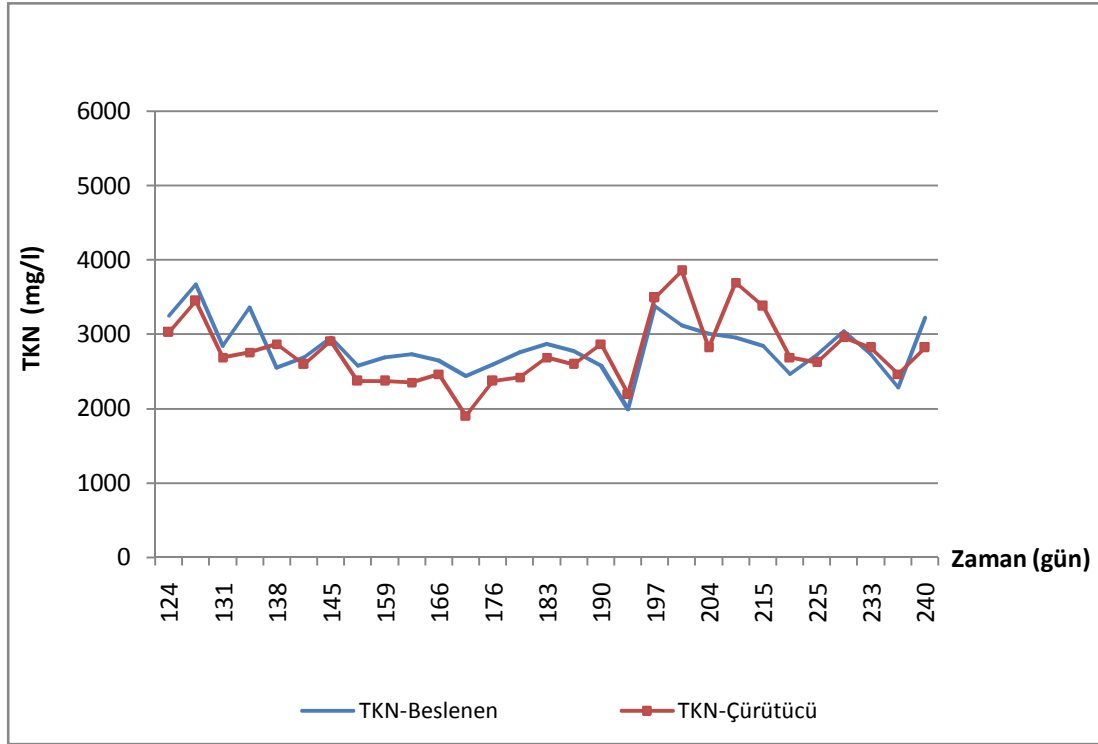
Şekil 4.3.5. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) KOİ değişimi.

Beslenen çamurun KOİ’si 19,978–41,530 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 27,589 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun KOİ’si 12,368–30,490 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 18,385 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.3.6. Toplam kjeldahl azotu (TKN)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki TKN parametresinin değişimleri Şekil 4.3.6’da verilmiştir.



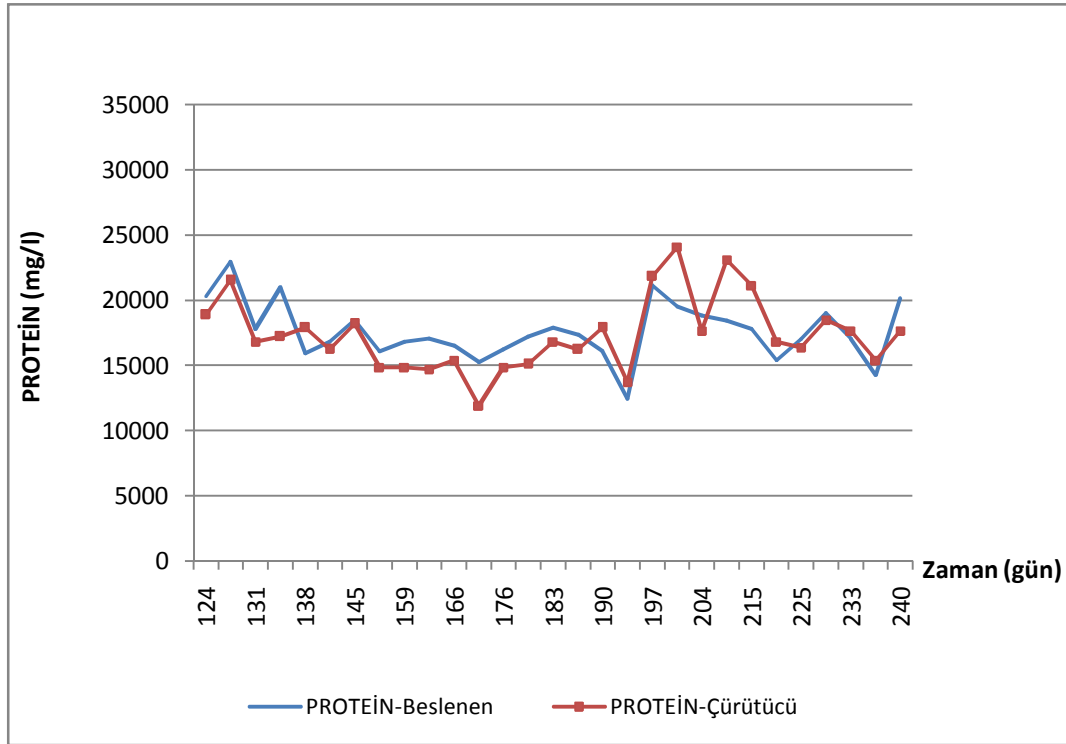
Şekil 4.3.6. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) TKN değişimi.

Beslenen çamurun TKN’si 1,994–3,673 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 2,819 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun TKN’si 1,904–3,853 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 2,777 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.3.7. Protein

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki protein parametresinin değişimleri Şekil 4.3.7’de verilmiştir.



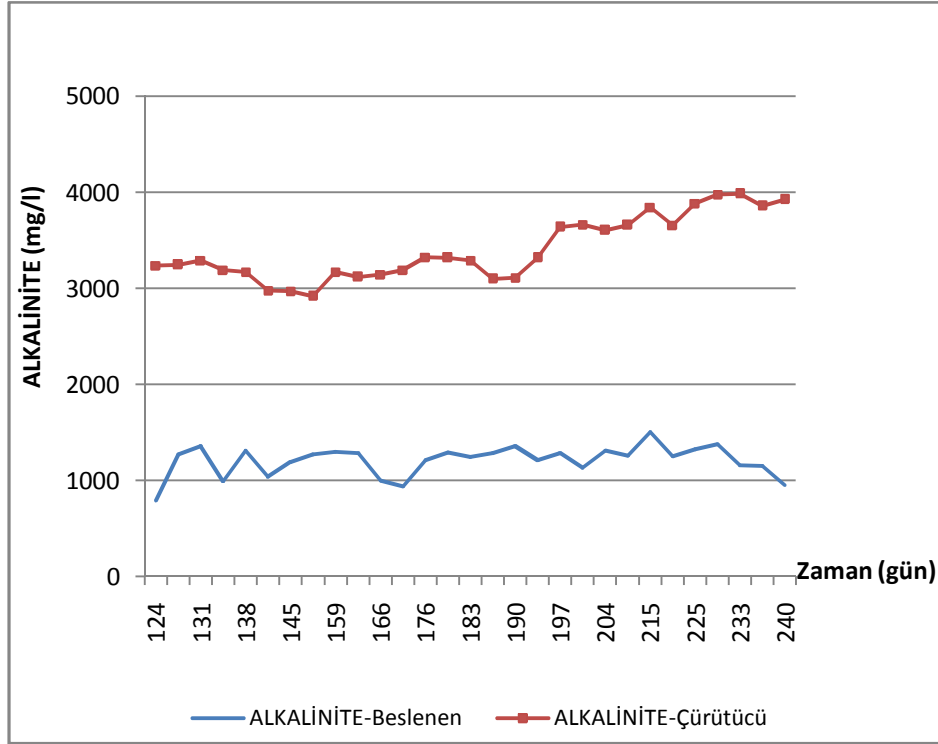
Şekil 4.3.7. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) protein değişimi.

Beslenen çamurun proteini 12,463–22,956 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 17,621 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun proteini 11,900–24,081 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 17,354 mg/l olarak tespit edilmiştir.

4.3.8. Alkalinite

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki alkalinite parametresinin değişimleri Şekil 4.3.8’de verilmiştir.



Şekil 4.3.8. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) Alkalinite değişimi.

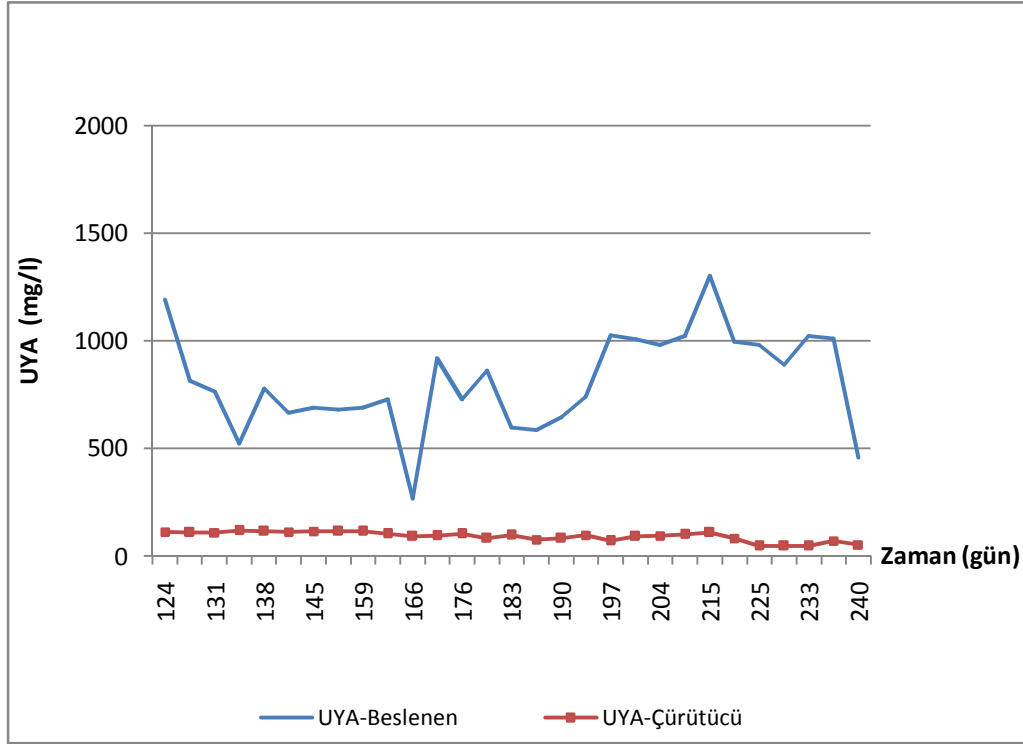
Beslenen çamurun alkalinitesi 796-1,506 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 1,209 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun alkalinitesi ise 2,920–3,988 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 3,407 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen verilerin normal işletme değerlerinde olduğu görülmüştür.

4.3.9. Uçucu yağ asitleri (UYA)

Denek çürütücüye beslenen ve çürütülmüş çamurdaki UYA parametresinin değişimleri Şekil 4.3.9’da verilmiştir.



Şekil 4.3.9. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) UYA değişimi.

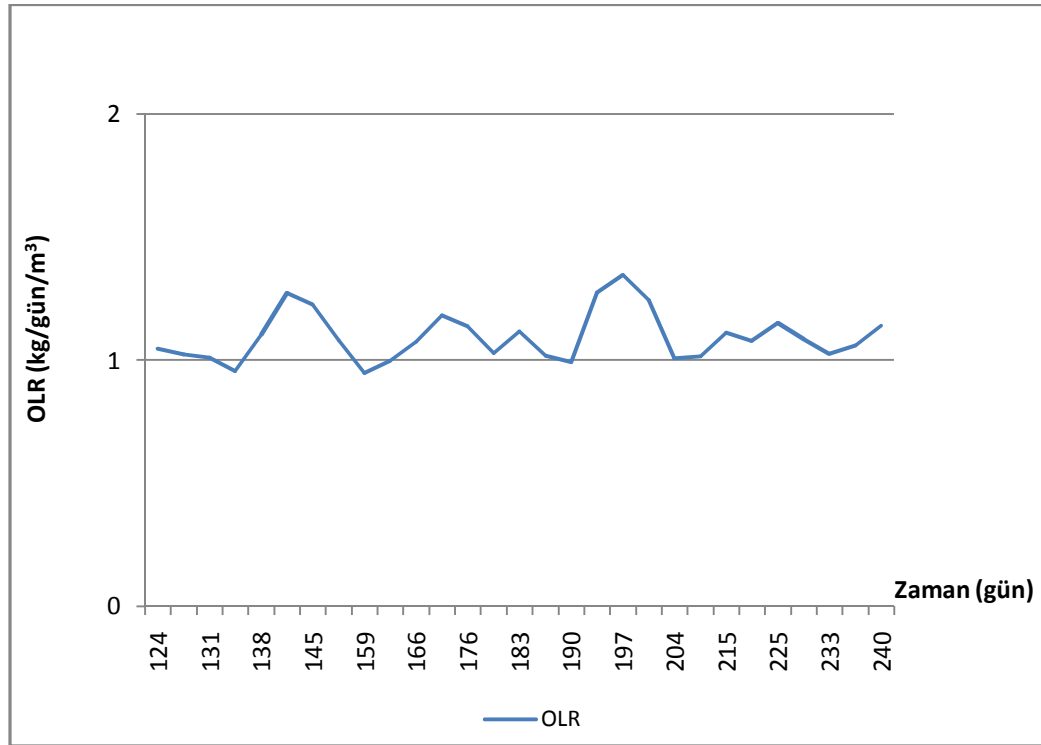
Beslenen çamurun UYA’sı 266-1,303 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 813 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkışındaki çamurun UYA’sı ise 47–119 mg/l arasında değişmekte olup, ortalama UYA 92 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Çürütücü çıkış çamurunda elde edilen ortalama UYA’nın optimum değerlerde olduğu görülmüştür.

4.3.10. Organik yükleme hızı (OLR)

Denek çürütücündeki OLR parametresinin değişimi Şekil 4.3.10'da verilmiştir.



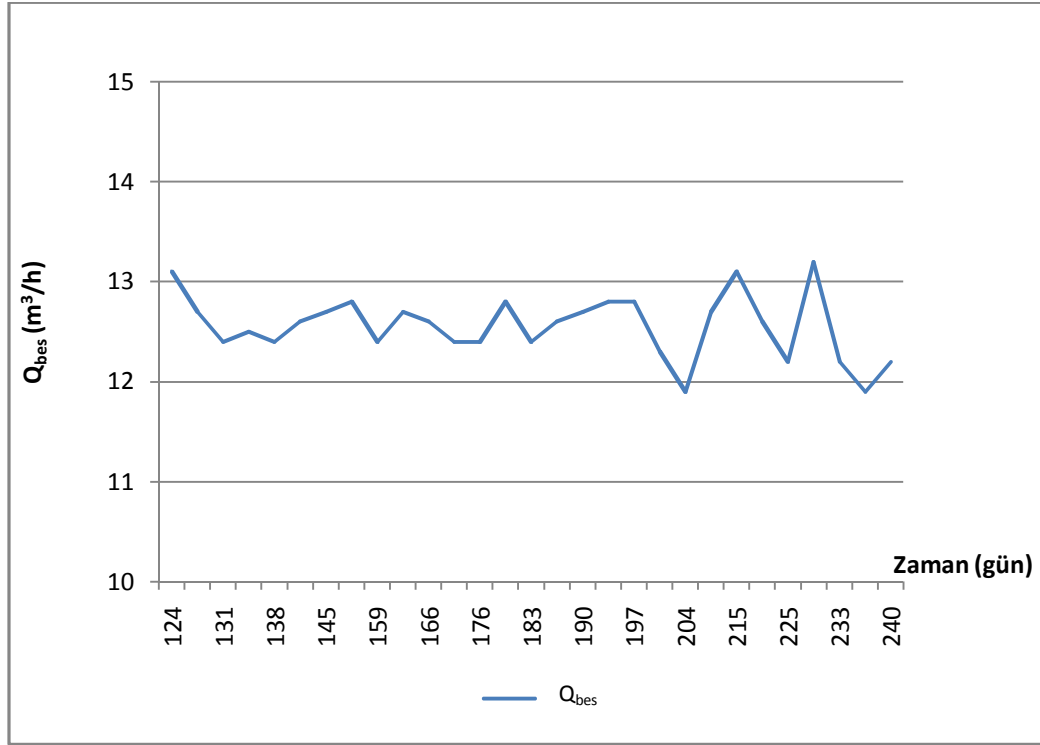
Şekil 4.3.10. Denek çürütücünde (SRT=23 gün) OLR değişimi.

Denek çürütücünün OLR'si 0.9–1.3 kg/gün/m³ arasında değişmekte olup, ortalaması 1.1 kg/gün/m³ olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama OLR değerlerinin, anaerobik arıtımda genel biyolojik arıtma prensibi olarak OLR aralığı olan 1-6.4 kg/gün/m³ aralığında kaldığı görülmüştür.

4.3.11. Çamur besleme debisi (Q_{bes})

Denek çürütücündeki Q_{bes} parametresinin değişimi Şekil 4.3.11’de verilmiştir.

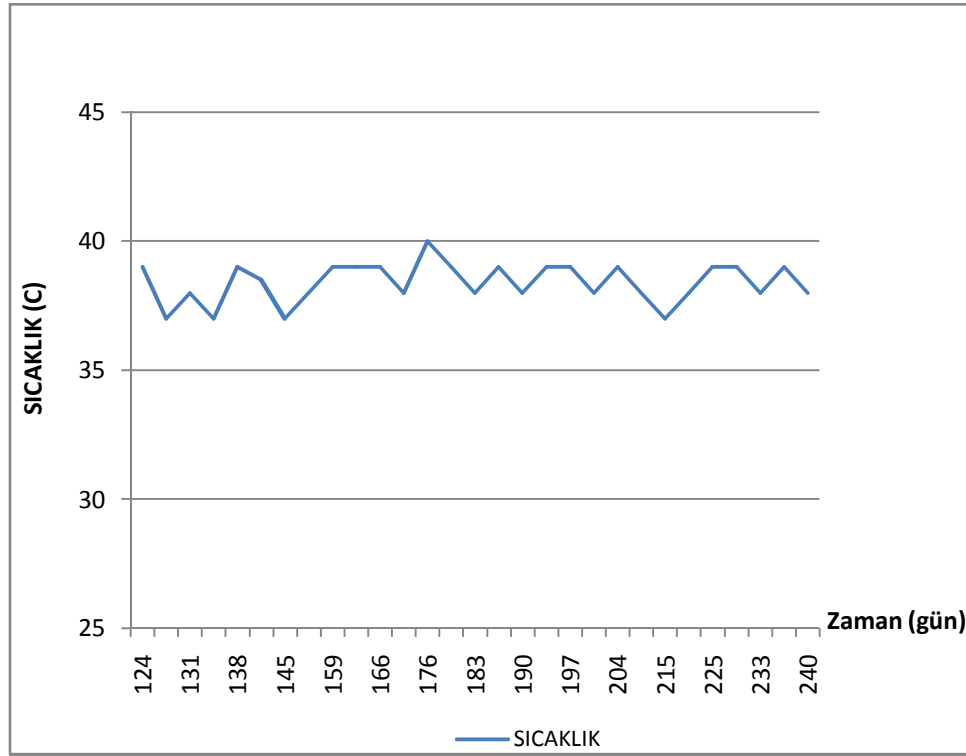


Şekil 4.3.11. Denek çürütücünde (SRT=23 gün) Q_{bes} değişimi.

Denek çürütücünün Q_{bes} 'i 11.9–13.2 m³/h arasında değişmekte olup, ortalaması 12.6 m³/h olarak tespit edilmiştir.

4.3.12. Sıcaklık

Denek çürütücüdeki sıcaklık parametresinin değişimi Şekil 4.3.12’de verilmiştir.



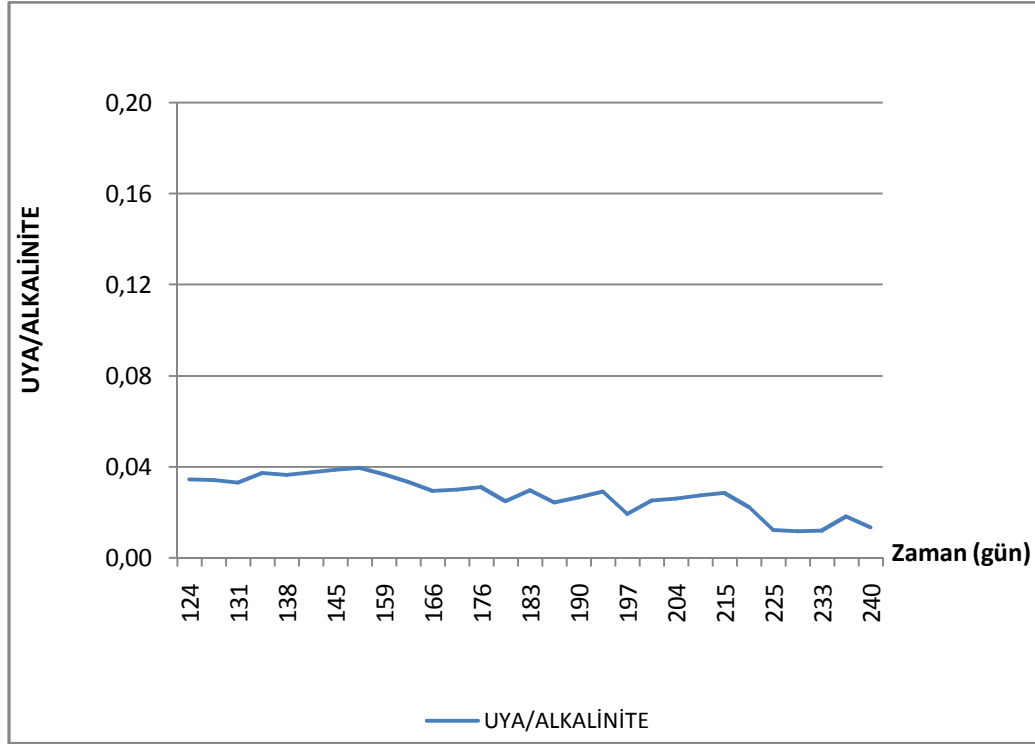
Şekil 4.3.12. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) sıcaklık değişimi.

Denek çürütücünün sıcaklığı 37-40 °C arasında değişmekte olup, ortalaması 38 °C olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama sıcaklık değerinin, anaerobik çamur arıtımında kullanılan mezofilik çürütücüler için belirlenen aralıkta kaldığı görülmüştür.

4.3.13. Uçucu yağ asidi / alkalinite oranı (UYA/Alkalinite)

Denek çürütücündeki UYA/Alkalinite parametresinin değişimi Şekil 4.3.13’de verilmiştir.



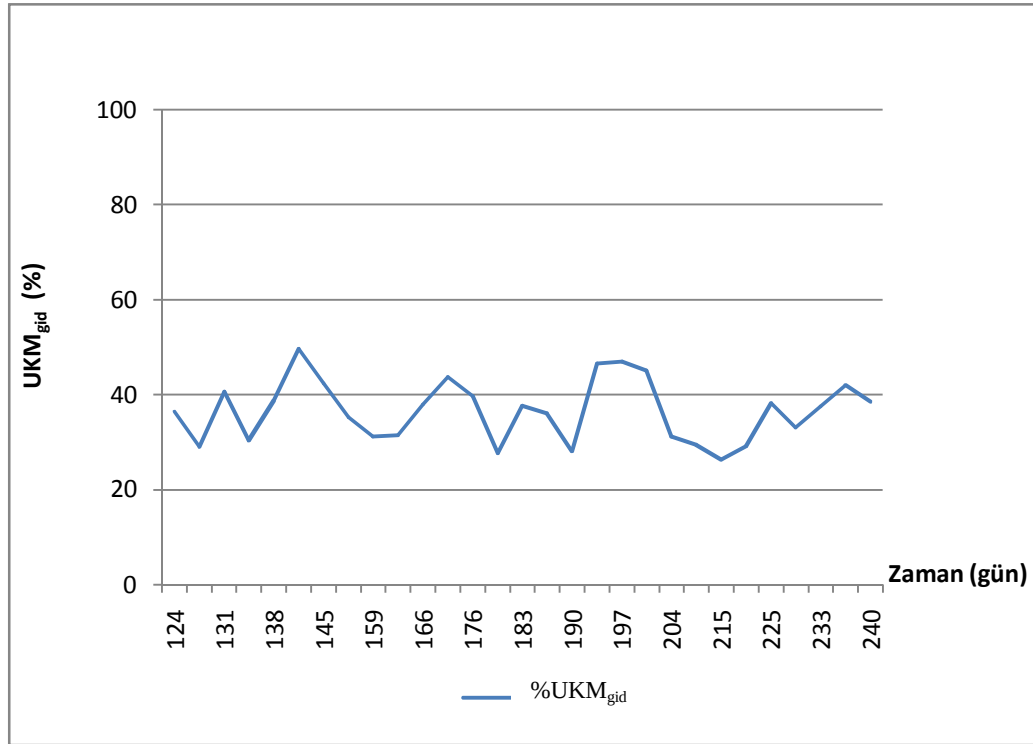
Şekil 4.3.13. Denek çürütücünde (SRT=23 gün) UYA/Alkalinite değişimi.

Denek çürütücünün UYA/Alkalinite değeri 0.01-0.04 arasında değişmekte olup, ortalaması 0.03 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama UYA/Alkalinite değerinin, istenilen değerlerde kaldığı görülmüştür.

4.3.14. Uçucu katı madde giderim yüzdesi (% UKM_{gid})

Denek çürütücündeki % UKM_{gid} parametresinin değişimi Şekil 4.3.14’de verilmiştir.



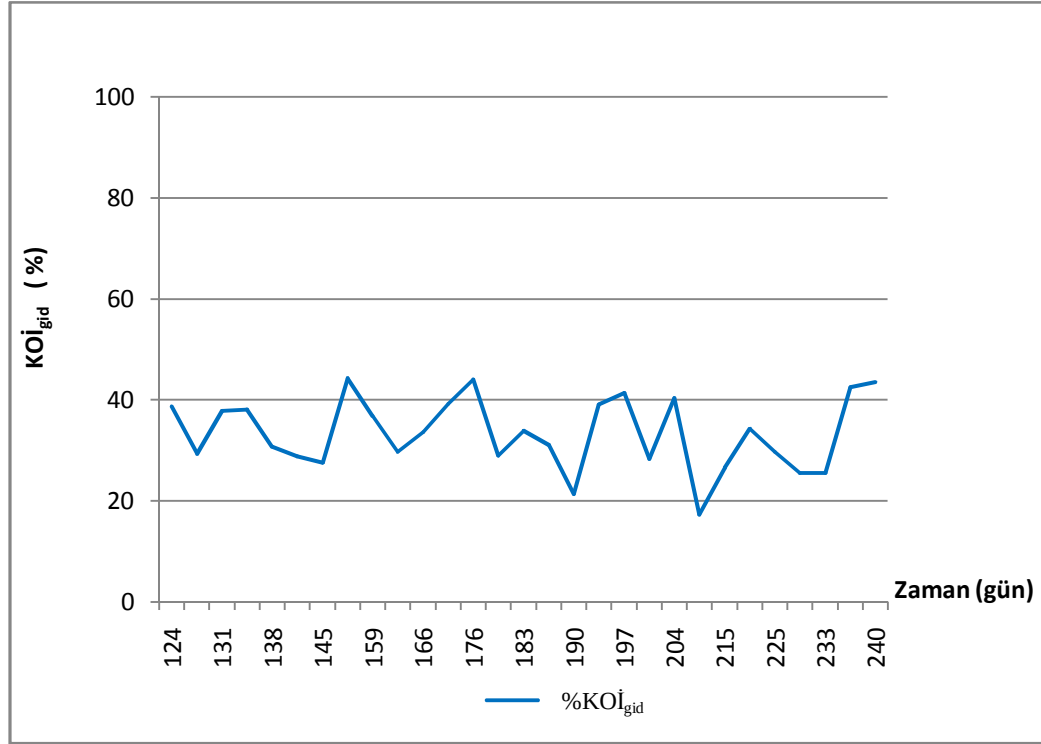
Şekil 4.3.14. Denek çürütücünde (SRT=23 gün) % UKM_{gid} değişimi.

Denek çürütücünün UKM_{gid} %’si 26-50 arasında değişmekte olup, ortalaması 37 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama UKM_{gid} %’si, literatür değeri olan 40-60 aralığının altında kaldığı görülmüştür.

4.3.15. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi (% KOİ_{gid})

Denek çürütücündeki % KOİ_{gid} parametresinin değişimleri Şekil 4.3.15’de verilmiştir.

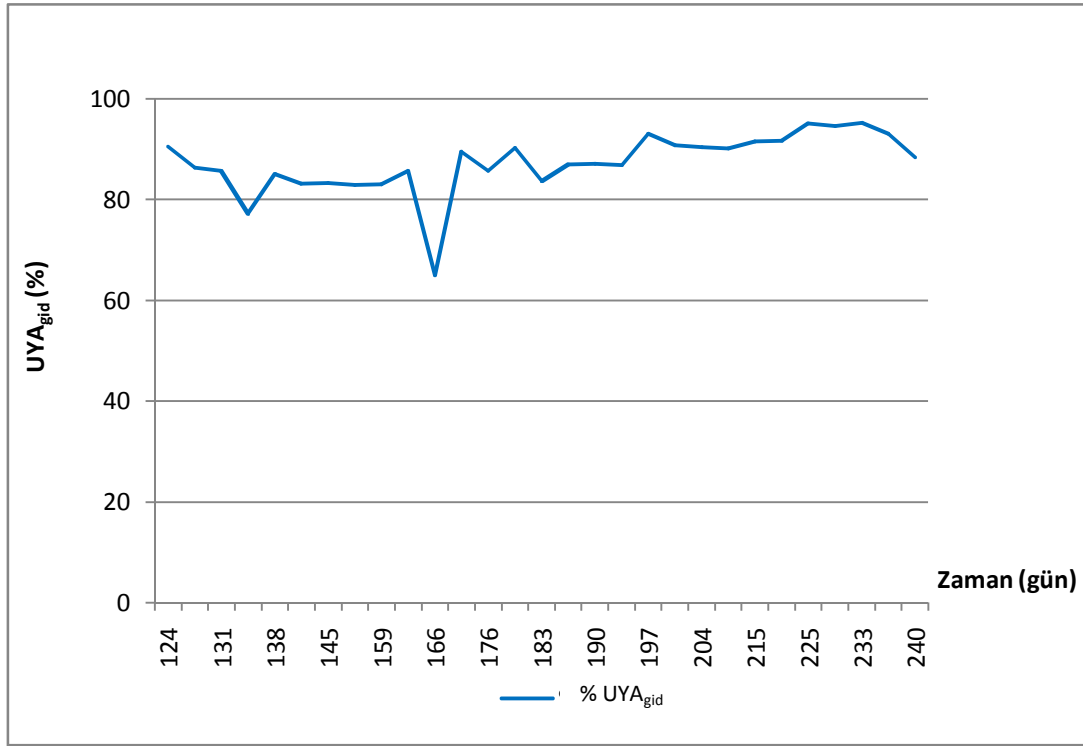


Şekil 4.3.15. Denek çürütücünde (SRT=23 gün) % KOİ_{gid} değişimi.

Denek çürütücünün KOİ_{gid} %’si 17-44 arasında değişmekte olup, ortalaması % 33 olarak tespit edilmiştir.

4.3.16. Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi (% UYA_{gid})

Denek çürütücündeki % UYA_{gid} parametresinin değişimi Şekil 4.3.16’da verilmiştir.

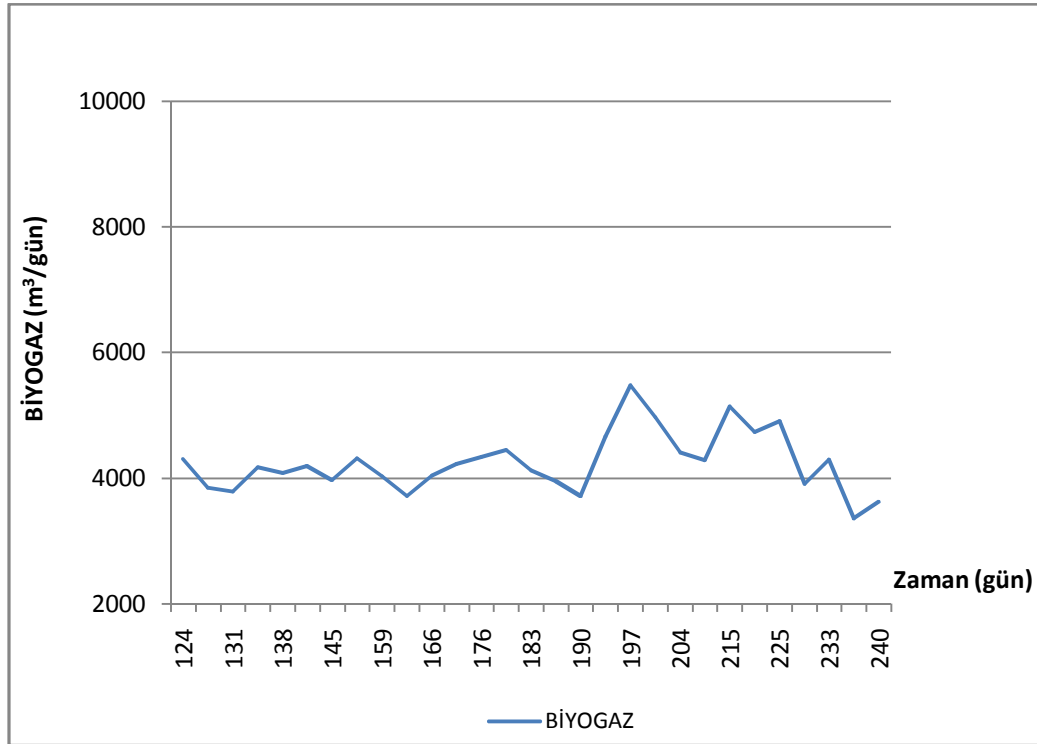


Şekil 4.3.16. Denek çürütücünde (SRT=23 gün) % UYA_{gid} değişimi.

Denek çürütücünün % UYA_{gid} değeri 65-95 arasında değişmekte olup, ortalaması 87 olarak tespit edilmiştir.

4.3.17. Biyogaz

Denek çürütücüdeki biyogaz parametresinin değişimi Şekil 4.3.17’de verilmiştir.

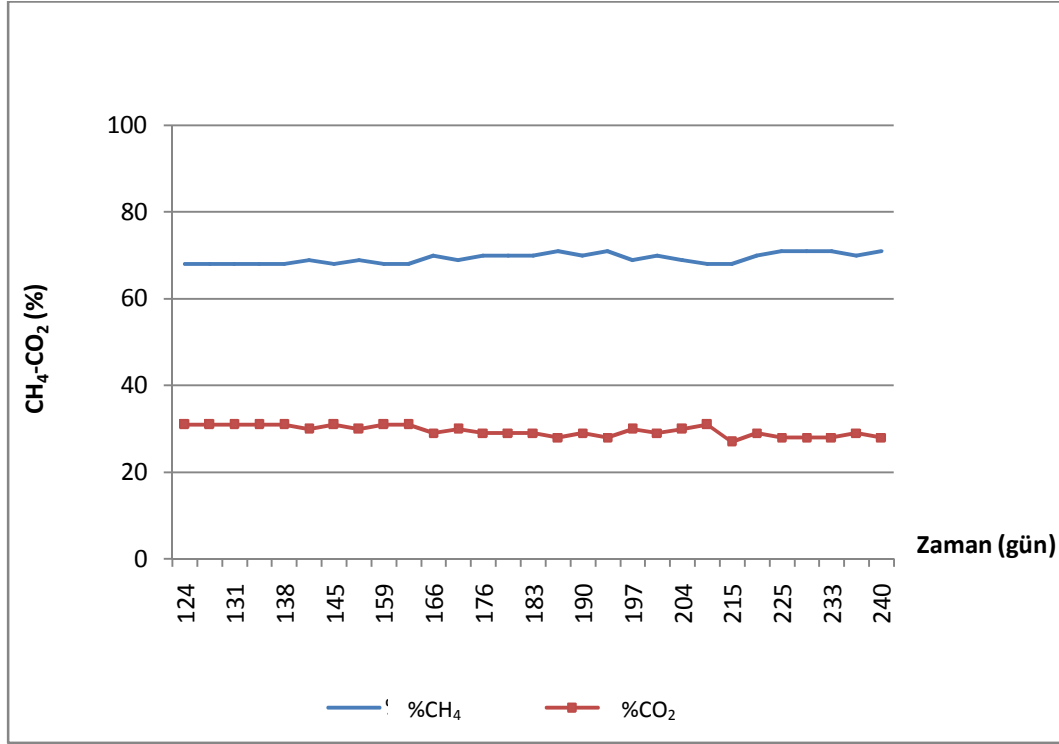


Şekil 4.3.17. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) biyogaz değişimi

Denek çürütücünün biyogazı 3,358–5,484 m³/gün arasında değişmekte olup, ortalaması 4,232 m³/gün olarak tespit edilmiştir.

4.3.18. Biyogaz bileşenindeki metan ve karbondioksit gazlarının oranları (% CH₄-% CO₂)

Denek çürütücüdeki % CH₄ ve % CO₂ parametresinin değişimleri Şekil 4.3.18’de verilmiştir.



Şekil 4.3.18. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) % CH₄ ve % CO₂ değişimi.

Denek çürütücüde üretilen biyogazın CH₄ %’si 68-71 arasında değişmekte olup, ortalaması % 69 olarak tespit edilmiştir.

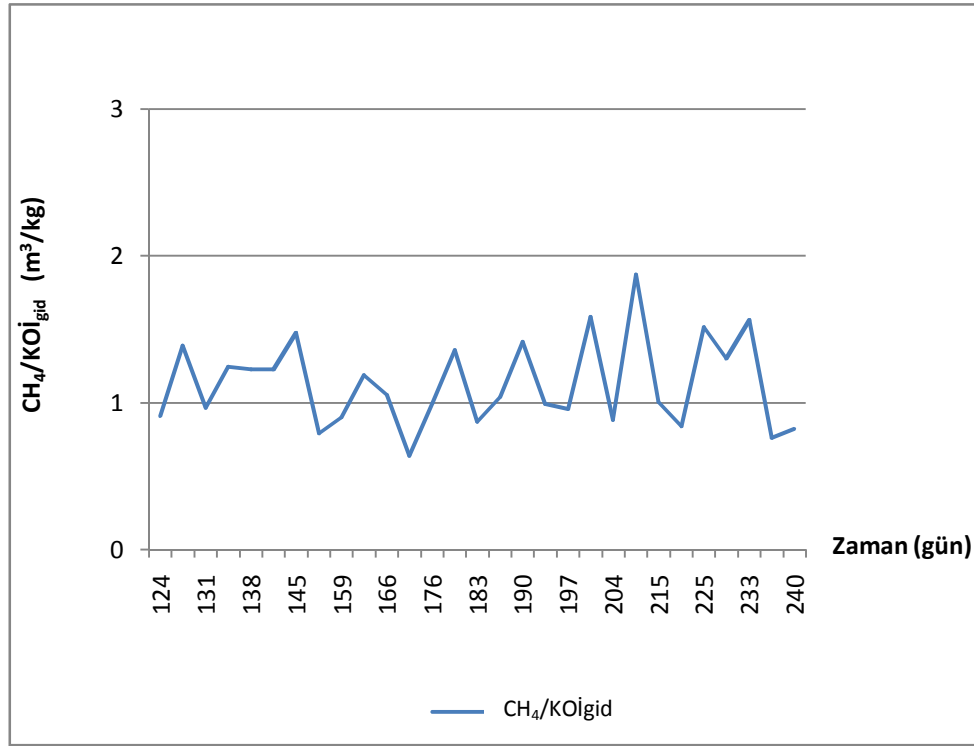
Elde edilen ortalama % CH₄ değerinin, istenilen işletme değerlerinde kaldığı görülmüştür.

Denek çürütücüde üretilen biyogazın CO₂ %’si 27-31 arasında değişmekte olup, ortalaması % 30 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama % CO₂ değerinin, istenilen değerlerde kaldığı görülmüştür.

4.3.19. Giderilen KOI miktarına göre üretilen metan gazı ($\text{CH}_4/\text{KOI}_{\text{gid}}$)

Denek çürütücüdeki $\text{CH}_4/\text{KOI}_{\text{gid}}$ parametresinin değişimi Şekil 4.3.19'da verilmiştir.



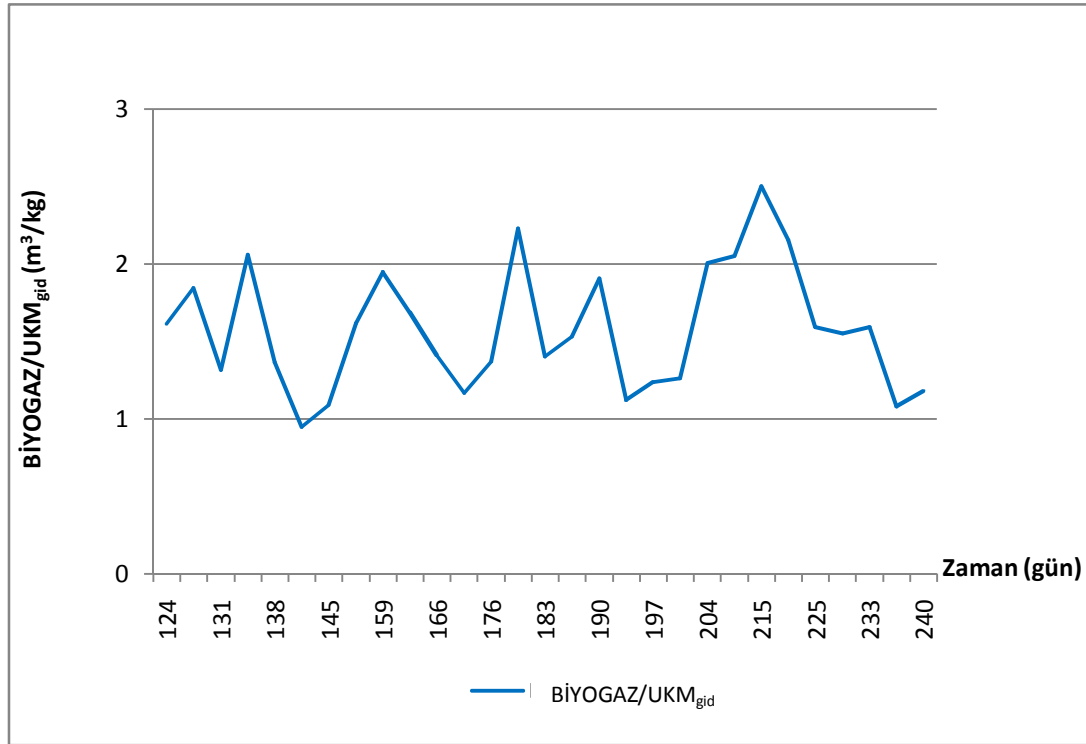
Şekil 4.3.19. Denek çürütücüde (SRT=23 gün) $\text{CH}_4 / \text{KOI}_{\text{gid}}$ değişimi.

Denek çürütücüde $\text{CH}_4/\text{KOI}_{\text{gid}}$ $0.64\text{-}1.87 \text{ m}^3/\text{kg}$ arasında değişmekte olup, ortalaması $1.05 \text{ m}^3/\text{kg}$ olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama $\text{CH}_4/\text{KOI}_{\text{gid}}$ değerine göre sistemin verimli çalıştığı söylenebilir.

4.3.20. Giderilen UKM_{gid} miktarına göre üretilen biyogaz (Biyogaz/ UKM_{gid})

Denek çürütücündeki Biyogaz/ UKM_{gid} parametresinin değişimleri Şekil 4.3.20’de verilmiştir.



Şekil 4.3.20. Denek çürütücünde (SRT=23 gün) Biyogaz / UKM_{gid} değişimi.

Denek çürütücünde Biyogaz/ UKM_{gid} $0.95-2.50 m^3/kg$ arasında değişmekte olup, ortalaması $1.41 m^3/kg$ olarak tespit edilmiştir.

Biyogaz (m^3)/kg. UKM_{gid} oranının $0.75-1.12$ aralığında olması sistemin verimli çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

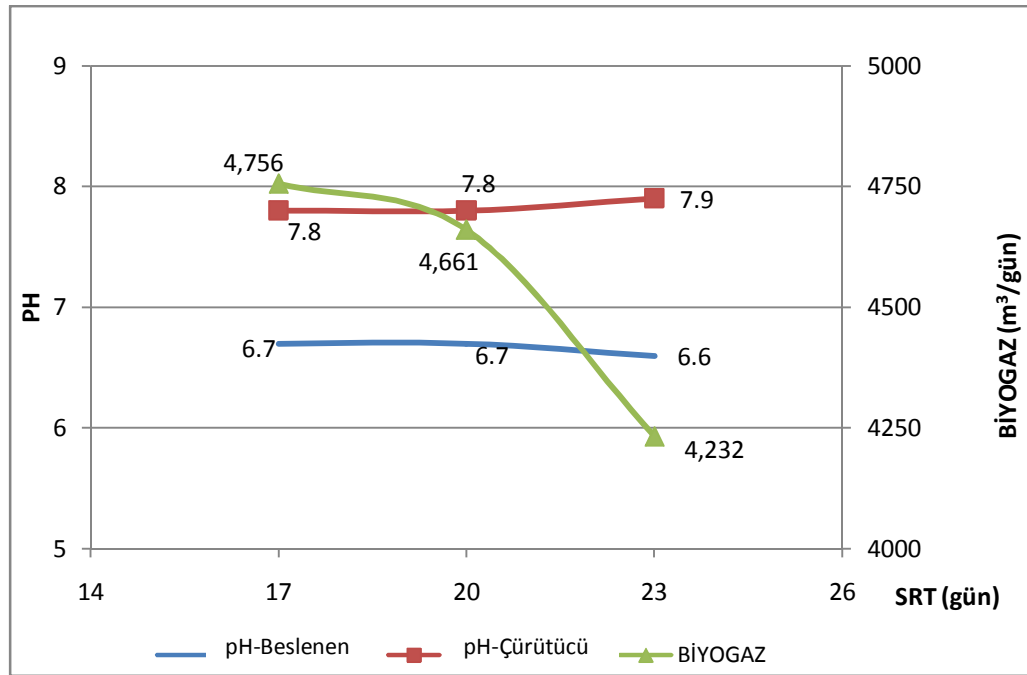
Elde edilen verilere göre etkili bir biyogaz üretimi gerçekleşmiştir.

4.4. İşletme Parametrelerinin Farklı SRT' lerde Oluşan Biyogaza Etkileri

Referans çürütücüde SRT 20 gün olacak şekilde 240 gün boyunca, denek çürütücülerde ise SRT 17 ve 23 gün olacak şekilde 120'şer gün boyunca çalıştırılmıştır. Farklı SRT'lerde yapılan işletme süresince, anaerobik mezofilik çürütücülere beslenen ve çürütülmüş çamurdaki işletme parametrelerinin analizleri ve ölçümleri yapılarak verilerin aritmetik ortalamaları alınmak suretiyle, proseste üretilen biyogaz verimine etkileri değerlendirilmiş ve aşağıda bu parametrelerin değişimleri özetlenmiştir.

4.4.1.pH

Farklı SRT'lerdeki pH'ın değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.4.1. SRT parametresi ile pH ve biyogaz üretiminin değişimi.

Bu çalışmada anaerobik çürütücülerde SRT'nin değiştirilmesi ile pH değerlerinin etkilenmediği, çürütülmüş çamur pH'sı beslenen çamur pH'ına göre yüksek olduğu görülmüştür.

Değişik SRT'lerde beslenen ve çürütücü çamurundaki ortalama pH değerlerinin istenilen işletme şartlarında olduğu ve bu değerlerde sistemin normal olarak çalıştığı görülmüştür.

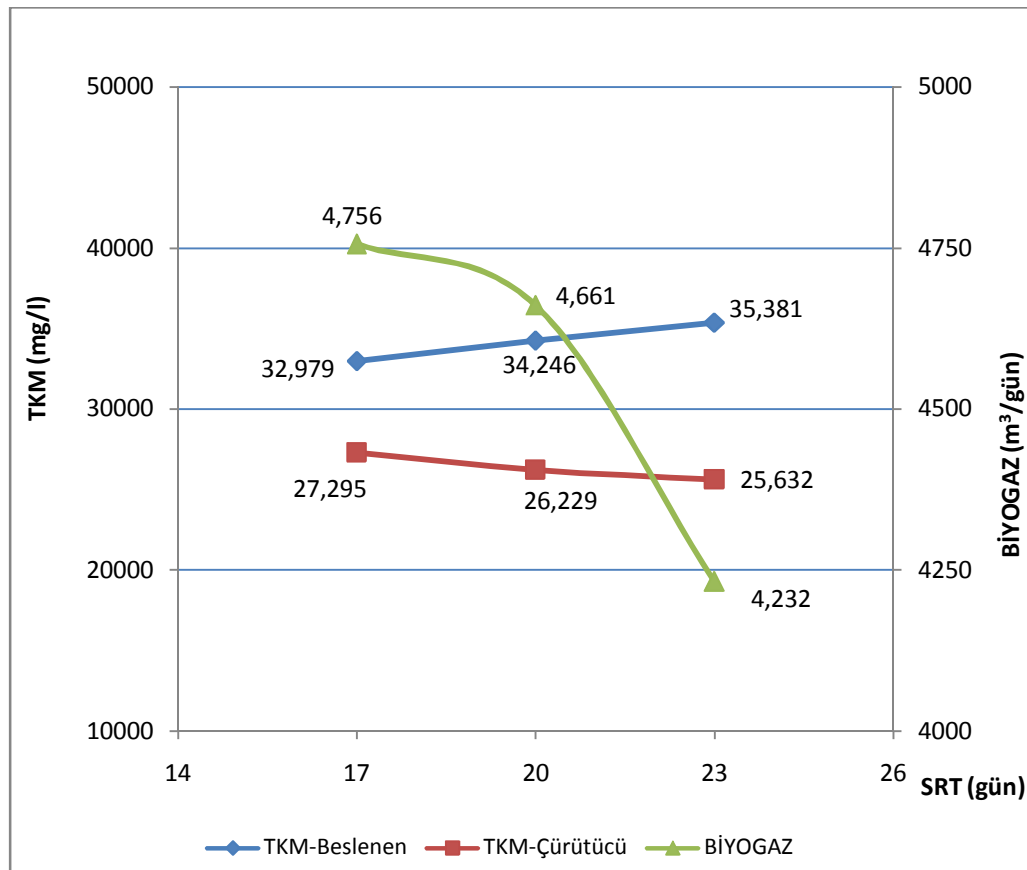
Çalışma süresince 17, 20 ve 23 günlük SRT'lerde ortalama pH değerlerinin

önemli ölçüde değişmediği, ancak SRT'nin artırılması ile biyogaz üretiminin düştüğü görülmektedir. Bu değişimin optimum aralıkta olan pH'dan kaynaklanmadığı, fakat diğer işletme parametrelerin etkin olduğu belirlenmiştir.

Anaerobik çürütücü içerisinde asetik asit ve H_2 tüketildiğinden pH'da yükselmenin meydana geldiği ve sonuçta çürütülmüş çamurda 7.8-7.9 değerlerine ulaştığı görülmüştür.

4.4.2. Toplam katı madde (TKM)

Farklı SRT'lerdeki TKM'nin değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.4.2. SRT parametresi ile TKM ve biyogaz üretiminin değişimi.

Bu çalışmada, beslenen çamurdaki TKM miktarının SRT'ye paralel olarak arttığı, fakat çürütücü çıkış çamurundaki TKM miktarının ise azaldığı görülmüştür. Beslenen çamurun TKM miktarı giriş atıksu karakterizasyonu ve yoğunlaştırıcı performansına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu durumun SRT ile bir ilgisi bulunmamaktadır.

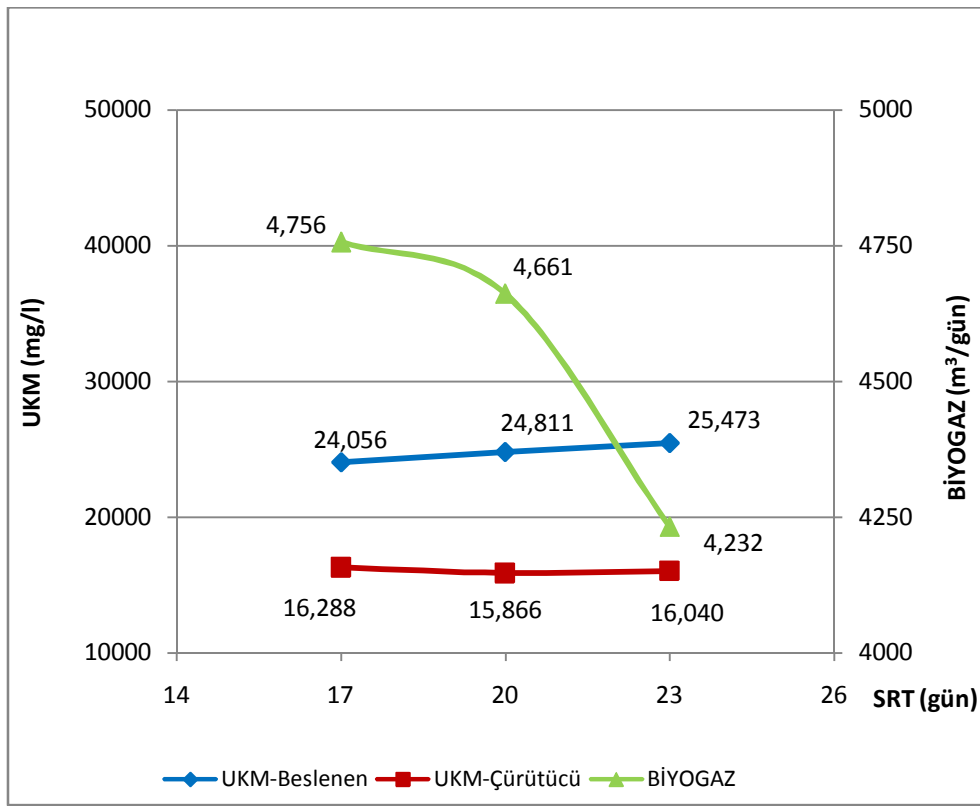
Anaerobik çürütücülerde SRT'nin değiştirilmesi ile TKM değerlerinin

etkilenmediği, çürütücülerde TKM giderimi olduğundan dolayı, çürütücü çıkış çamur TKM'sinin besleme çamur TKM'sine göre daha düşük olduğu görülmüştür. TKM oranları tamamen giriş atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

TKM'nin düşmesi ile biyogaz üretim veriminin de düştüğü görülmüştür. En yüksek biyogaz üretiminin elde edildiği SRT 17 gün'lük işletme şartlarında çürütücü çamurundaki TKM'nin de en yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.4.3. Uçucu katı madde (UKM)

Farklı SRT'lerdeki UKM'nin değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.4.3. SRT parametresi ile UKM ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte beslenen çamurdaki UKM miktarının da arttığı, çürütücü çıkış çamurundaki UKM miktarının ise SRT 20 gün'de en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.

Arıtma çamurlarında toplam çamur içindeki UKM oranı; ham su karakteristiğine, arıtma yöntemine, ön çamurunun çürütmeye alınıp alınmamasına göre farklılık gösterir (Alpaslan, 2004).

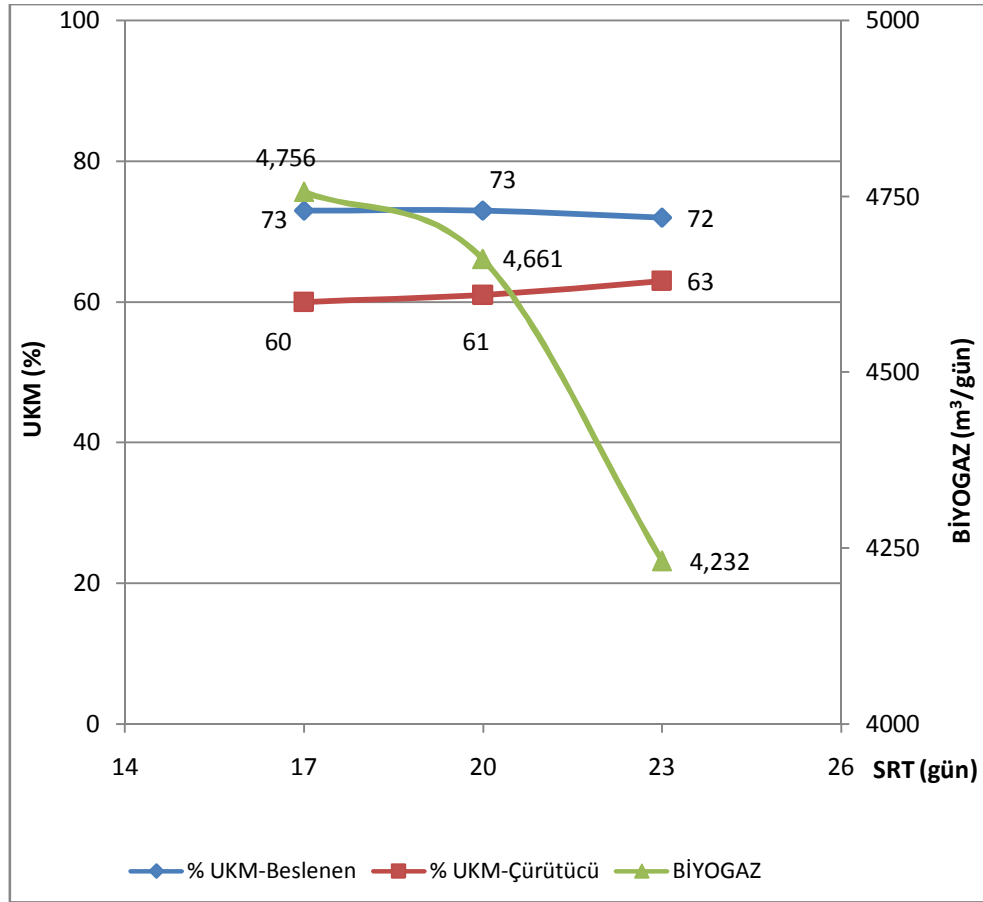
Anaerobik çürütücülerde SRT'nin değiştirilmesi ile UKM değerlerinin etkilenmediği, çürütücülerde UKM giderimi olduğundan dolayı, çürütücü çıkış çamur

UKM'sinin beslenen çamurun UKM'sine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Elde edilen ortalama UKM değerlerinin değişik SRT'lerde üretilen biyogaz miktarları ile ilgili ilişkisi kurulamamıştır.

4.4.4. Uçucu katı madde yüzdesi (% UKM)

Farklı SRT'lerdeki % UKM'nin değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4.4. SRT parametresi ile % UKM ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte besleme çamurundaki % UKM'nin azaldığı, çürütücü çıkış çamurundaki % UKM'nin ise arttığı tespit edilmiştir.

Arıtma çamurlarında toplam çamur içindeki UKM oranı; ham su karakteristiğine, arıtma yöntemine, ön çamurun çürütmeye alınıp alınmamasına göre değişmekte olup, UKM oranı % 30-70 mertebesinde (Alpaslan ve ark., 2004).

Elde edilen ortalama % UKM değerlerinin kabul edilen normal işletme değerlerinde olduğu görülmüştür.

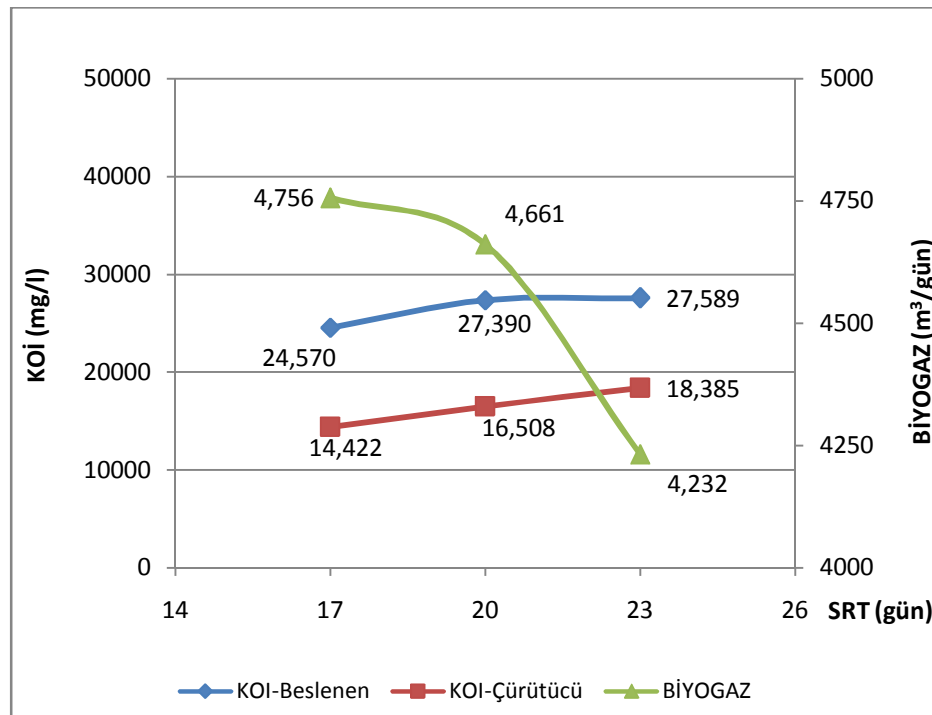
Sistemin bu % UKM verileri çerçevesinde çalıştırılması durumunda farklı

SRT’lerde biyogaz üretim verimine % UKM’nin herhangi bir etkisi olmamıştır. Çünkü yaklaşık sabit % UKM değerlerinde çalıştırılan proseste farklı SRT’lerde biyogaz üretilmiştir.

Anaerobik çürütücülerde SRT’nin değiştirilmesi ile % UKM değerlerinin etkilenmediği, çürütücülerde UKM giderimi olduğundan dolayı, çürütücü çıkış çamur % UKM’sinin besleme çamur % UKM’sine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

4.4.5. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Farklı SRT’lerdeki KOİ’nin değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.4.5. SRT parametresi ile KOİ ve biyogaz üretiminin değişimi.

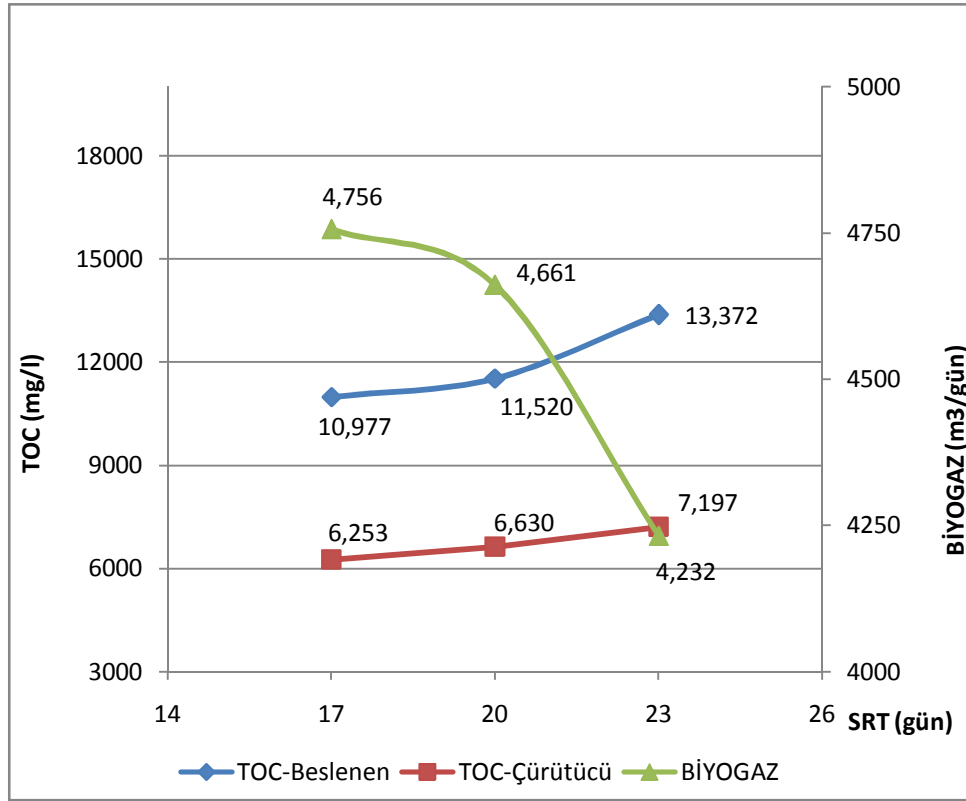
SRT’nin yükselmesi ile birlikte besleme ve çürütücü çıkış çamurlarındaki KOİ miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir. Fakat beslenen çamurun KOİ miktarı, giriş atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak farklılık gösterdiği, SRT ile bir ilişkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Elde edilen ortalama KOİ değerleri ile farklı SRT’lerde üretilen biyogaz miktarları arasında ilişki kurulamamıştır.

Arıtma çamurlarının KOİ’si giriş atıksuyun karakterizasyonuna göre farklılıklar göstermektedir. Metan bakterileri tarafından organik maddenin tüketilmesi sonucunda çürütücü çamurunun KOİ’si beslenen çamurunun KOİ’sine göre daha düşük değerlerde seyretmektedir

4.4.6. Toplam organik karbon (TOC)

Farklı SRT'lerdeki TOC'nin değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4.6. SRT parametresi ile TOC ve biyogaz üretiminin değişimi.

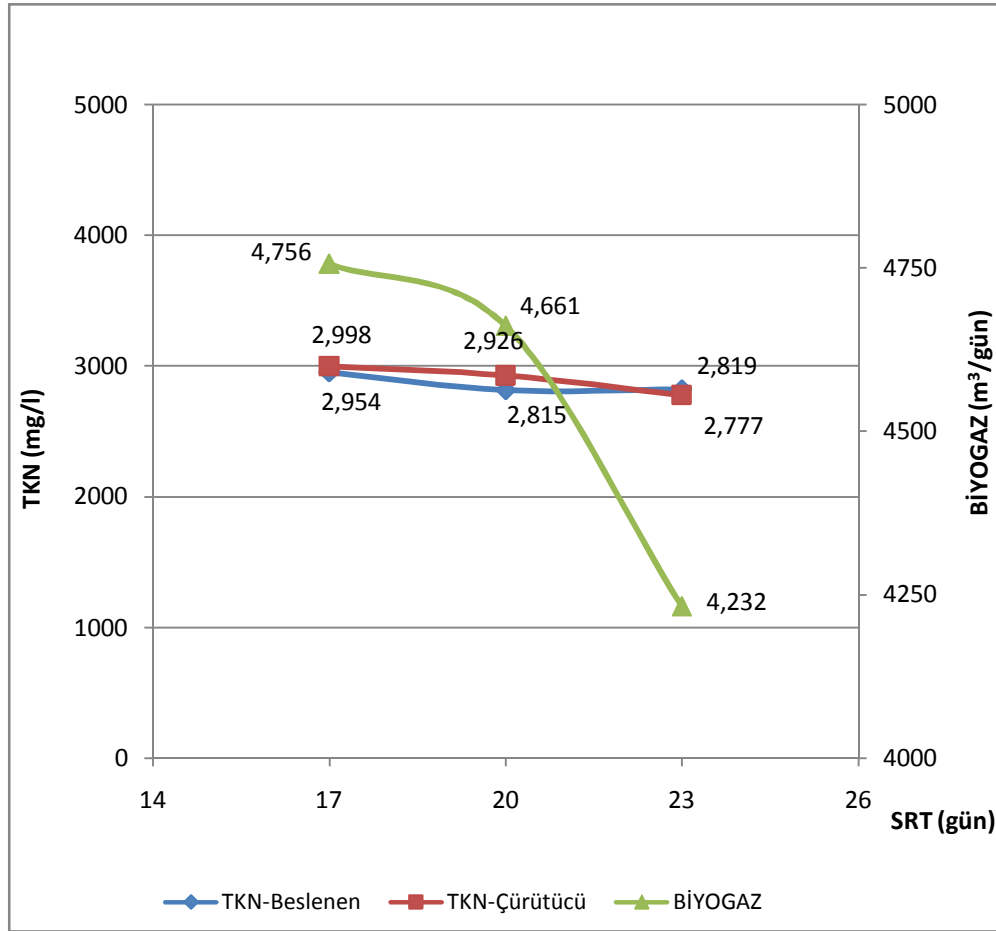
SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte besleme ve çürütücü çıkış çamurlarındaki TOC miktarlarının da arttığı görülmüştür.

Elde edilen ortalama TOC değerleri değişik SRT'lerde üretilen biyogaz miktarları arasında ilişki kurulamamıştır.

Anaerobik çürütücülerde SRT'nin değiştirilmesi ile TOC değerlerinin etkilenmediği ve çürütücülerde TOC giderimi olduğundan, çürütücü çıkış çamur TOC'sinin besleme çamur TOC'sine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

4.4.7. Toplam kjeldahl azotu (TKN)

Farklı SRT'lerdeki TKN'nin değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.7'de verilmiştir.



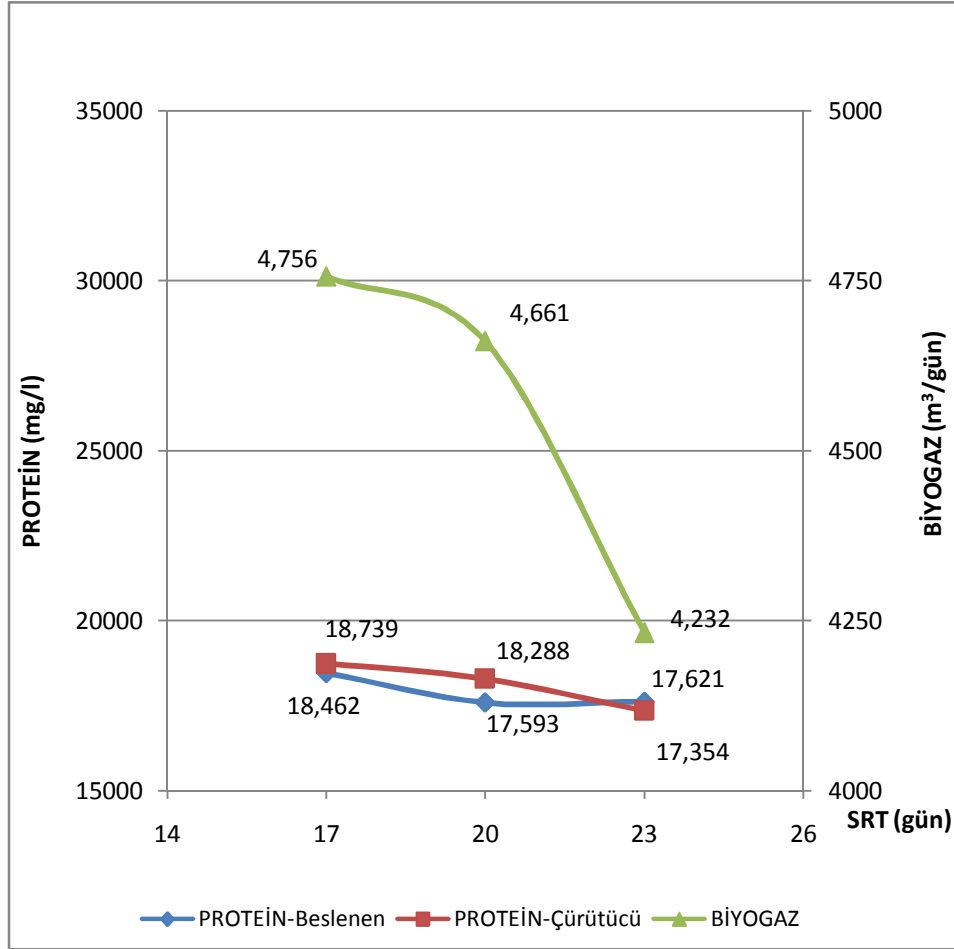
Şekil 4.4.7. SRT parametresi ile TKN ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte besleme çamurundaki TKN'nin değişkenlik gösterdiği, fakat çürütücü çıkış çamurundaki TKN miktarının ise azaldığı görülmüştür.

Besleme çamurundaki TKN konsantrasyonu giriş atıksu karakterizasyonuna göre değişkenlik gösterir. Özellikle endüstriyel atıksu deşarjları ve hayvancılık faaliyetleri azot değerlerine etki eden önemli faktörlerdir.

4.4.8. Protein

Farklı SRT'lerdeki proteinin değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.8'de verilmiştir.

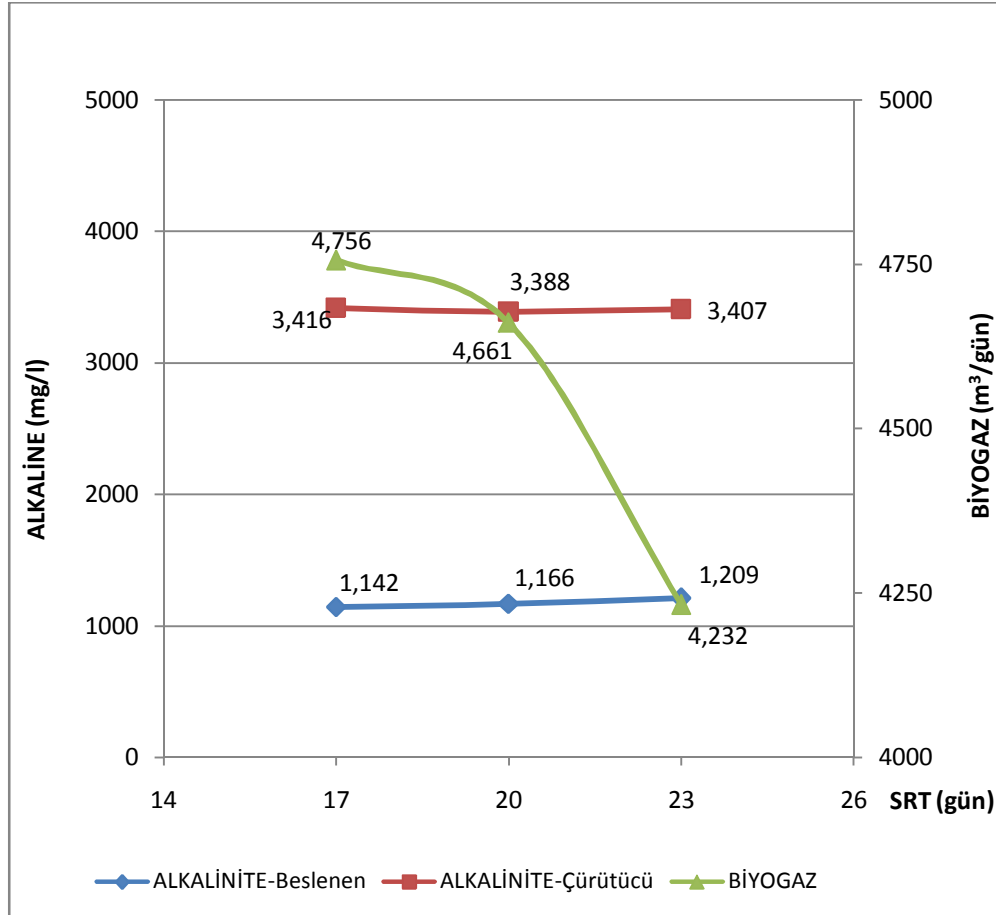


Şekil 4.4.8. SRT parametresi ile protein ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte besleme çamurundaki proteinin değişkenlik gösterdiği, fakat çürütücü çıkış çamurundaki protein miktarının ise SRT'ye paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir.

4.4.9. Alkalinite

Farklı SRT’lerdeki alkalinite değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.4.9. SRT parametresi ile alkalinite ve biyogaz üretiminin değişimi.

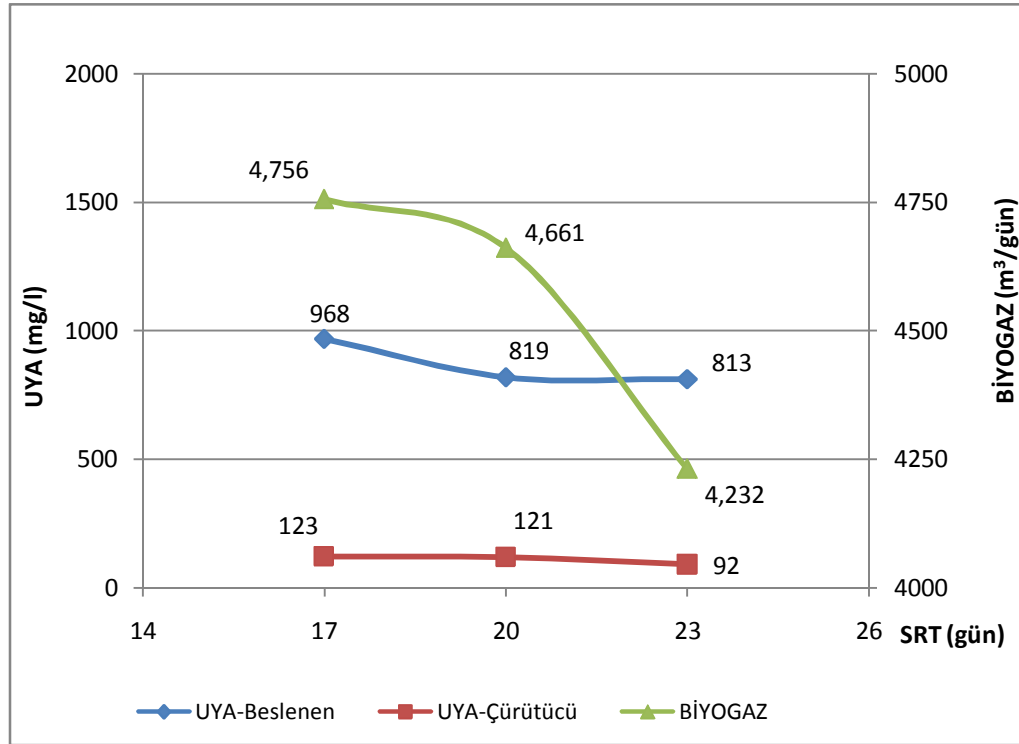
SRT’nin yükseltilmesi ile birlikte besleme çamurundaki alkalinitenin de arttığı, fakat çürütücü çıkış çamurundaki alkalinite miktarının ise değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Besleme ve çürütülmüş çamurda elde edilen ortalama alkalinite değerleri istenilen işletme değerlerinde kalmıştır. Beslenen çamurun alkalinitesi giriş atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir.

Sistemin bu alkalinite verileri çerçevesinde çalıştırılması durumunda farklı SRT’lerde biyogaz üretim verimine alkalinitenin herhangi bir etkisi olmamıştır.

4.4.10. Uçucu yağ asitleri (UYA)

Farklı SRT'lerdeki UYA değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.4.10. SRT parametresi ile UYA ve biyogaz üretiminin değişimi.

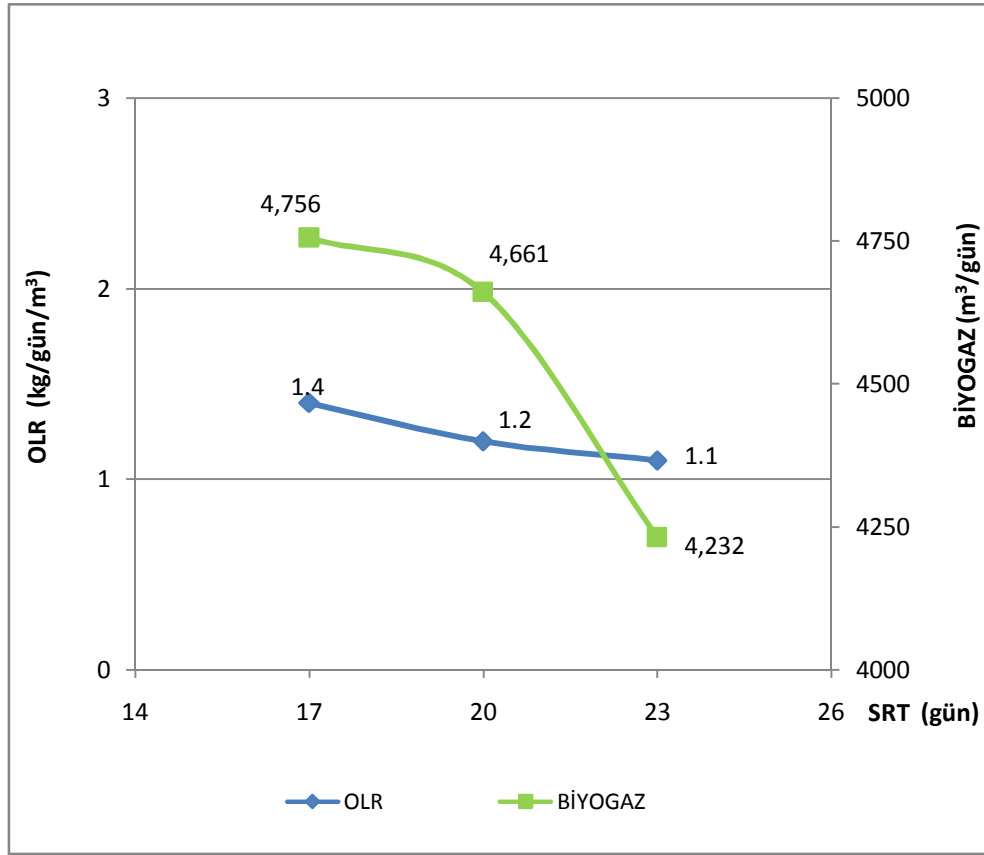
SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte besleme ve çürütücü çıkış çamurundaki UYA miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Benzer bir çalışmada SRT'nin artması UYA miktarında azalma olduğu belirtilmiştir (Sosnowski ve ark., 2008).

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte asetik asitin parçalanması daha çok gerçekleşeceğinden dolayı çürütülmüş çamurdaki UYA miktarında azalma ve buna paralel olarak üretilen biyogaz miktarında da azalma olduğu görülmüştür.

4.4.11. Organik yükleme hızı (OLR)

Farklı SRT’lerdeki OLR değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.11’de verilmiştir.

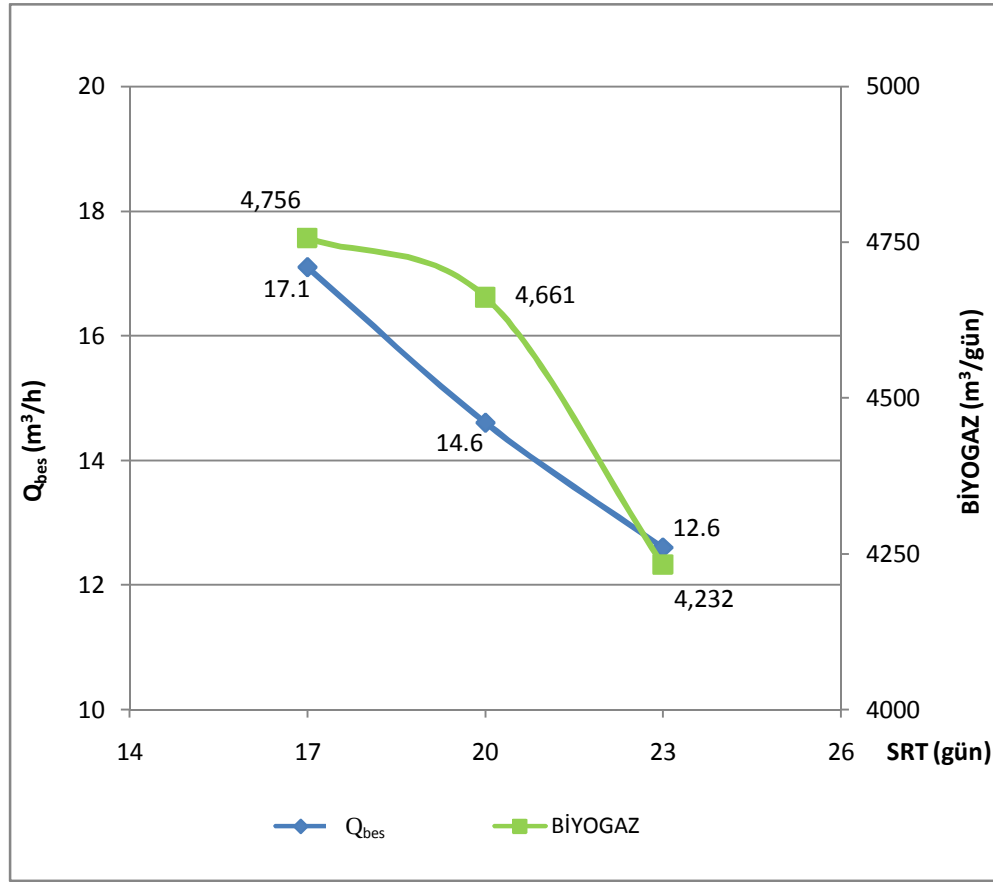


Şekil 4.4.11. SRT parametresi ile OLR ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT’nin yükseltilmesi ile birlikte OLR değerinde azalma ve buna paralel olarak üretilen biyogaz miktarında da azalma olduğu görülmüştür.

4.4.12. Çamur besleme debisi (Q_{bes})

Farklı SRT'lerdeki Q_{bes} değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.12'de verilmiştir.

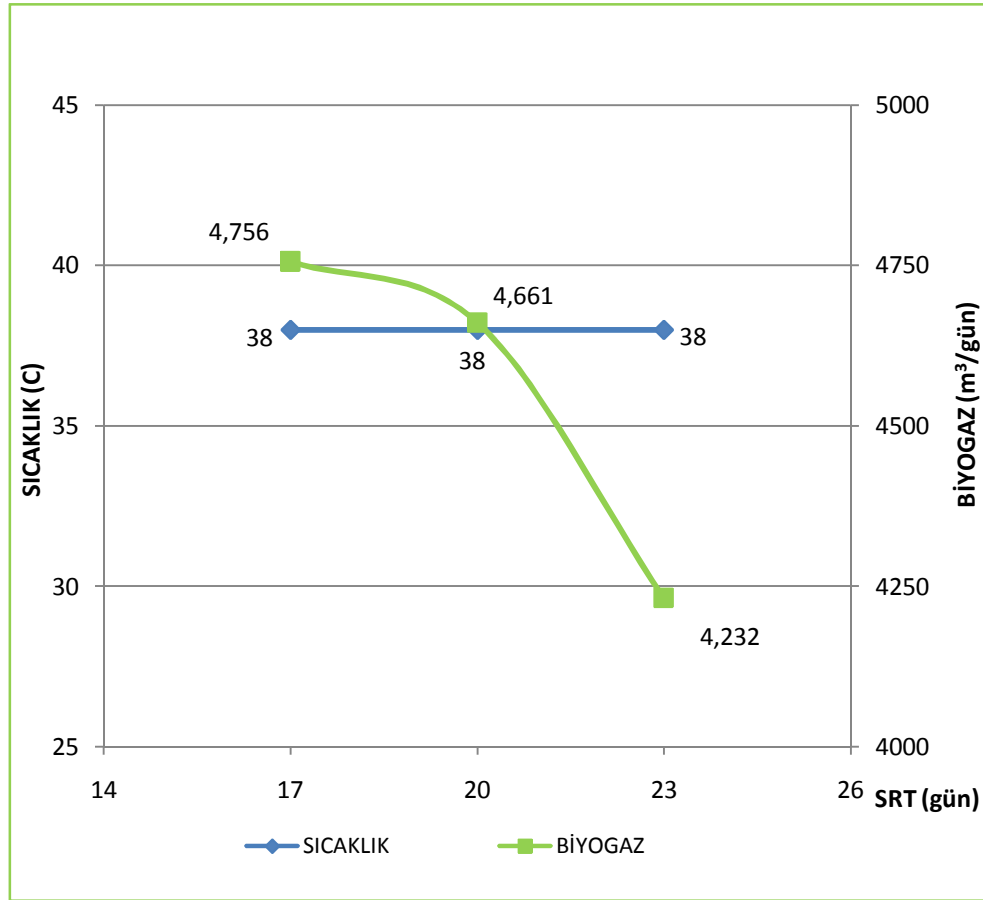


Şekil 4.4.12. SRT parametresi ile Q_{bes} ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte Q_{bes} değerinde de azalma görülmüştür. Reaktöre beslenen katı madde miktarında da azalma olacağından dolayı üretilen biyogaz miktarında da azalma olduğu görülmüştür.

4.4.13. Sıcaklık

Farklı SRT'lerdeki sıcaklık değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.13'de verilmiştir.



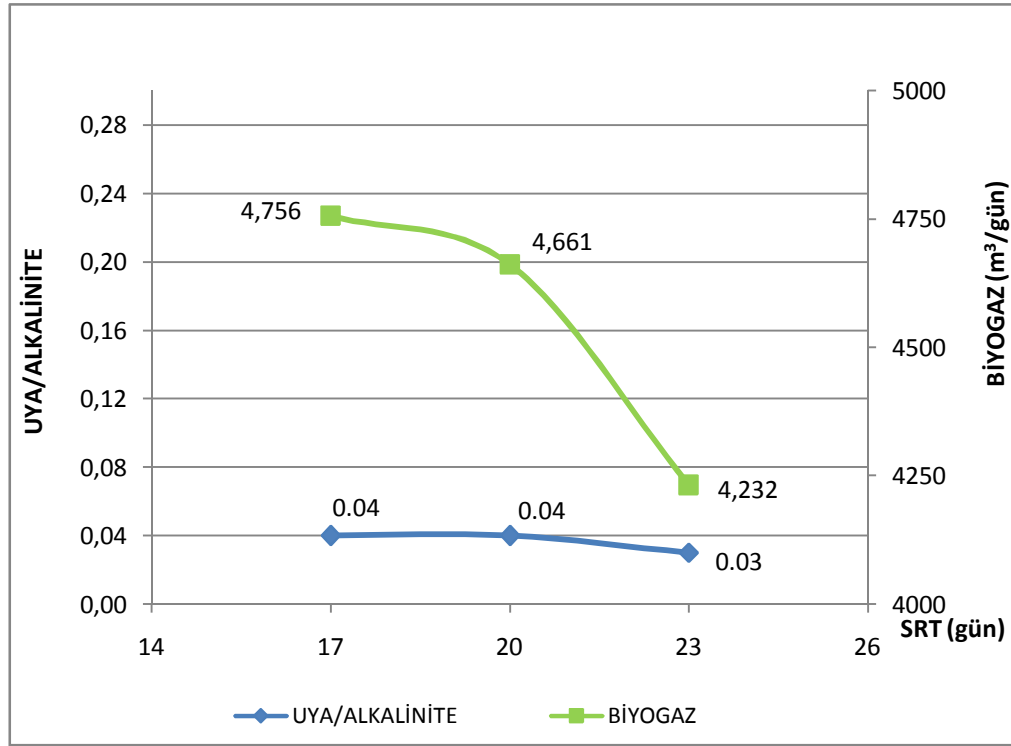
Şekil 4.4.13. SRT parametresi ile sıcaklık ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin artırılması ile birlikte ortalama sıcaklığın sabit tutulduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama sıcaklık değerlerinin, anaerobik çamur arıtımında kullanılan mezofilik çürütücüler için belirlenen sıcaklık aralığının literatür değeri olan 20-40°C aralığında sabit tutulduğundan dolayı, bu çalışmada farklı SRT'lerde üretilen biyogaz miktarlarına sıcaklığın etkisi olmamıştır.

4.4.14. Uçucu yağ asidi / alkalinite oranı (UYA/Alkalinite)

Farklı SRT'lerdeki UYA/Alkalinite değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.14'de verilmiştir.



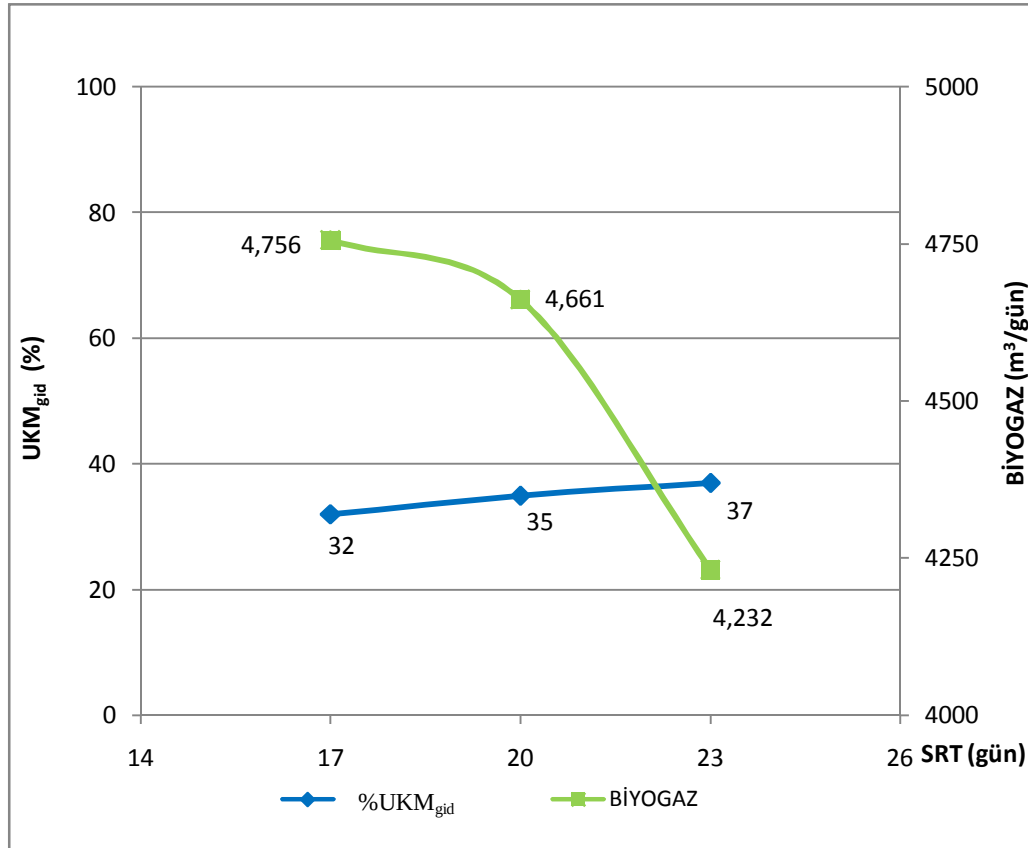
Şekil 4.4.14. SRT parametresi ile UYA/Alkalinite ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin arttırılması ile birlikte UYA/Alkalinitenin azaldığı tespit edilmiştir.

Elde edilen ortalama UYA/Alkalinite değerlerinin, anaerobik çamur arıtımında UYA/Alkalinite aralığının literatür değeri olan < 0.1 aralığında kaldığından dolayı farklı SRT'lerde üretilen biyogaz miktarlarının UYA/Alkalinite oranına etkisi olmamıştır.

4.4.15. Uçucu katı madde giderim yüzdesi (% UKM_{gid})

Farklı SRT'lerdeki % UKM_{gid} değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.4.15. SRT parametresi ile % UKM_{gid} ve biyogaz üretiminin değişimi.

Benzer bir çalışmada, % UKM_{gid} değerinin SRT ile arttığı belirtilmiştir (Lee ve ark., 2011).

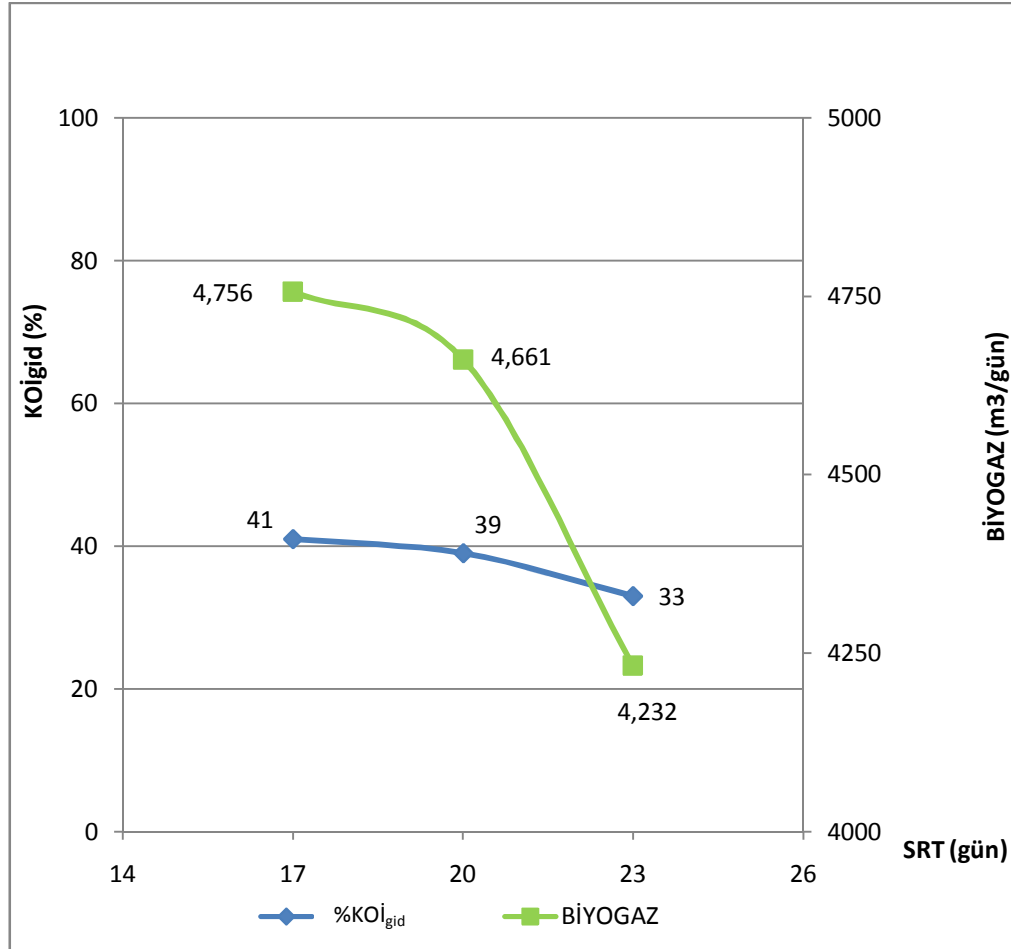
SRT'nin arttırılması ile birlikte % UKM_{gid}'nin de arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, SRT' nin artması ile hidroliz reaksiyonların fazlaca gerçekleşmesi sonucu % UKM_{gid} oranını arttığını göstermektedir.

Elde edilen ortalama % UKM_{gid} değerlerinin, anaerobik çamur arıtımında literatür değeri olan % 40-60 aralığının altında kaldığı görülmüştür.

SRT'nin arttırılması ile % UKM_{gid} oranı da arttığından üretilen biyogazın da artması beklenebilir. Fakat SRT 23 gün sürecinde % UKM_{gid} en fazla olmasına rağmen üretilen biyogaz miktarı en az olmuştur. Bu durum; OLR'nin azalması ve hidroliz süresinin artması ile organik maddelerin daha çok parçalanmaları ile açıklanabilir.

4.4.16. Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim yüzdesi (% KOI_{gid})

Farklı SRT'lerdeki % KOI_{gid} değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.16'da verilmiştir.



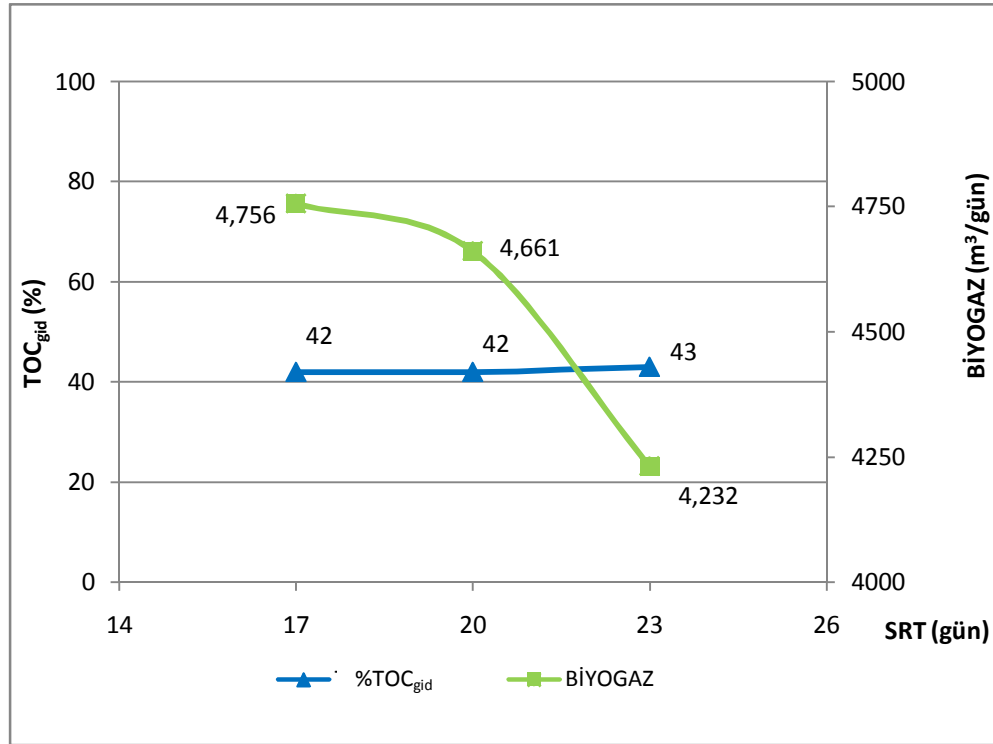
Şekil 4.4.16. SRT parametresi ile % KOI_{gid} ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte % KOI_{gid} değerinde azalma ve buna paralel olarak üretilen biyogaz miktarında da azalma olduğu görülmüştür.

En yüksek % KOI_{gid} değerinin elde edildiği SRT 17 gün işletme şartlarında en yüksek biyogaz üretimi sağlanmıştır.

4.4.17. Toplam organik karbon (TOC_{gid})

Farklı SRT'lerdeki TOC_{gid} değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.17'de verilmiştir.

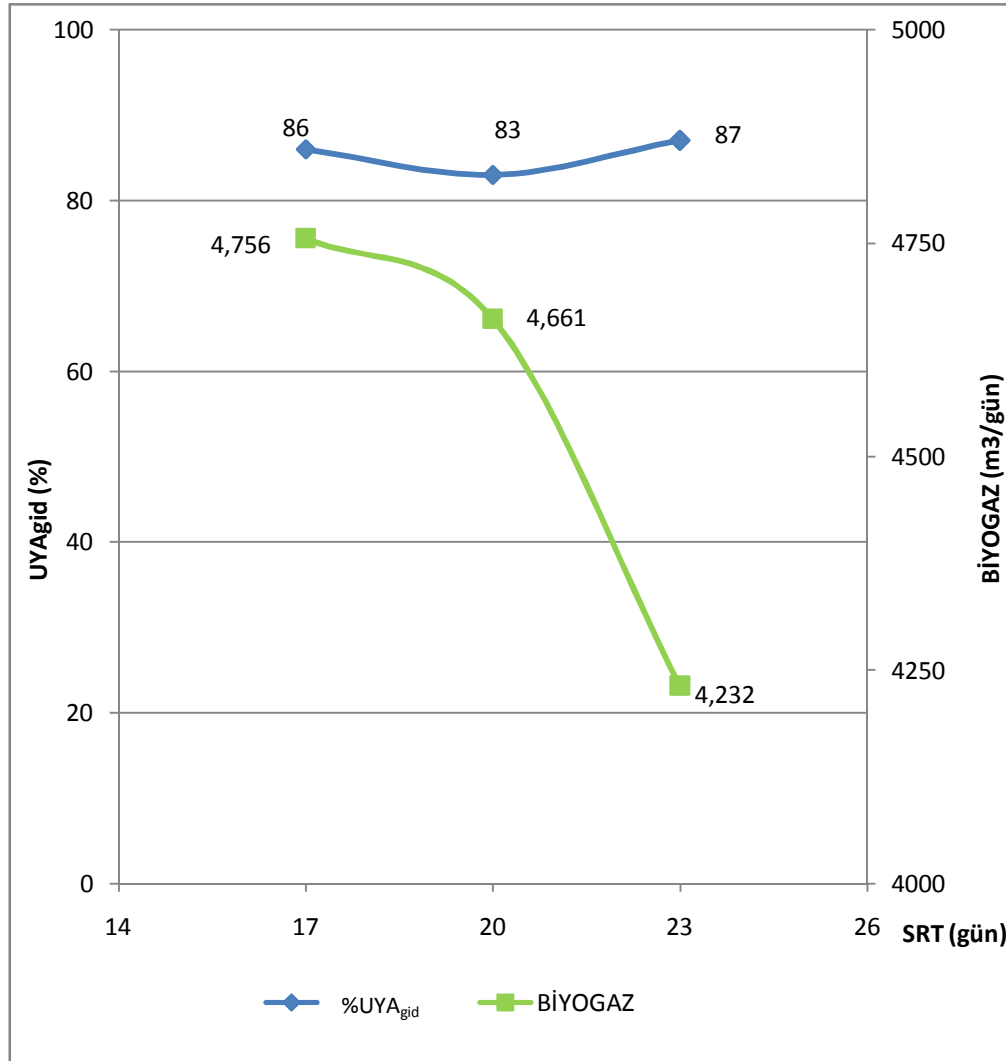


Şekil 4.4.17. SRT parametresi ile % TOC_{gid} ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin arttırılması ile birlikte ortalama % TOC_{gid} değerinin SRT 17 ve 20 gün proseslerinde aynı, fakat SRT 23 gün prosesinde ise artış gösterdiği görülmüştür.

4.4.18. Uçucu yağ asitleri giderim yüzdesi (% UYA_{gid})

Farklı SRT'lerdeki UYA_{gid} değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.18'de verilmiştir.



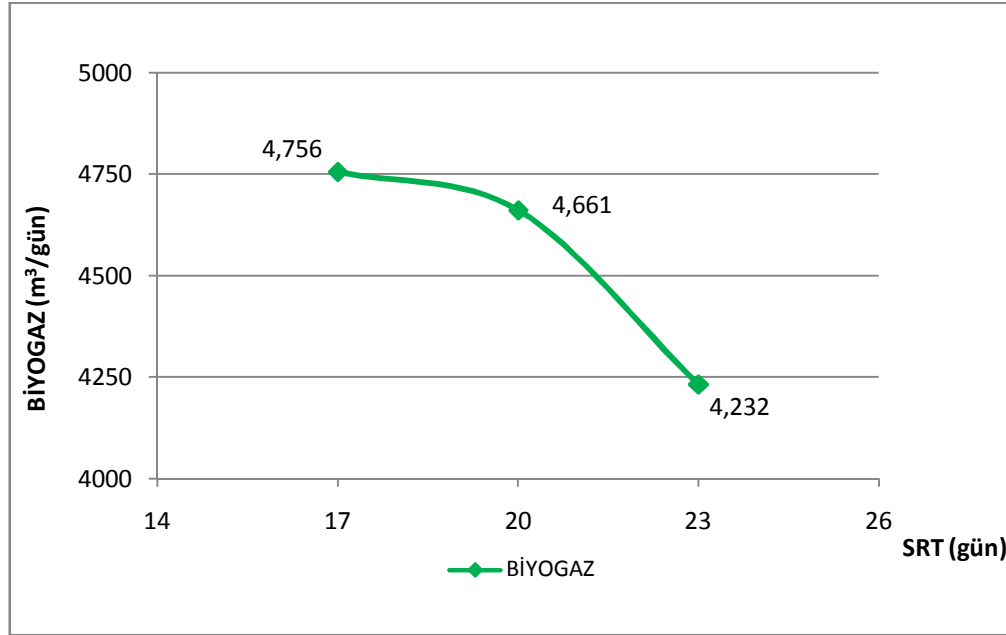
Şekil 4.4.18. SRT parametresi ile % UYA_{gid} ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin arttırılması ile birlikte % UYA_{gid}'nin değişkenlik gösterdiğinden üretilen biyogaz ile bir ilişki kurulamamıştır.

En yüksek UYA_{gid} değerinin elde edildiği SRT 23 gün prosesinde en az biyogaz üretimi sağlanmasına karşılık, bu değerden daha düşük UYA_{gid} değerinin elde edildiği SRT 17 gün prosesinde ise daha yüksek biyogaz üretimi sağlanmıştır.

4.4.19. Biyogaz

Farklı SRT'lerdeki biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.4.19. SRT parametresi ile biyogaz üretiminin değişimi.

Çalışma süresince referans ve denek çürütücülerde üretilen toplam biyogaz ölçümleri yapılarak, ortalama biyogaz üretimi belirlenmiştir. SRT'nin arttırılması ile birlikte biyogaz üretimi değişkenlik göstermiştir.

Anaerobik bir çürütücünün düzgün bir şekilde işletildiğinin en önemli göstergesi gaz üretimidir. Fakat beslenen çamurda gözlenen değişken UKM konsantrasyonları ve çürütücüdeki biyolojik aktiviteye bağlı olarak gaz üretimi, çok geniş bir aralıkta salınım gösterebilmektedir (AATTUT, 2010).

Referans çürütücüde (SRT=20 gün) yapılan 240 günlük izleme süresince üretilen toplam biyogaz 1,118,526 m³/gün olup, ortalama **4,661** m³/gün biyogaz üretimi elde edilmiştir.

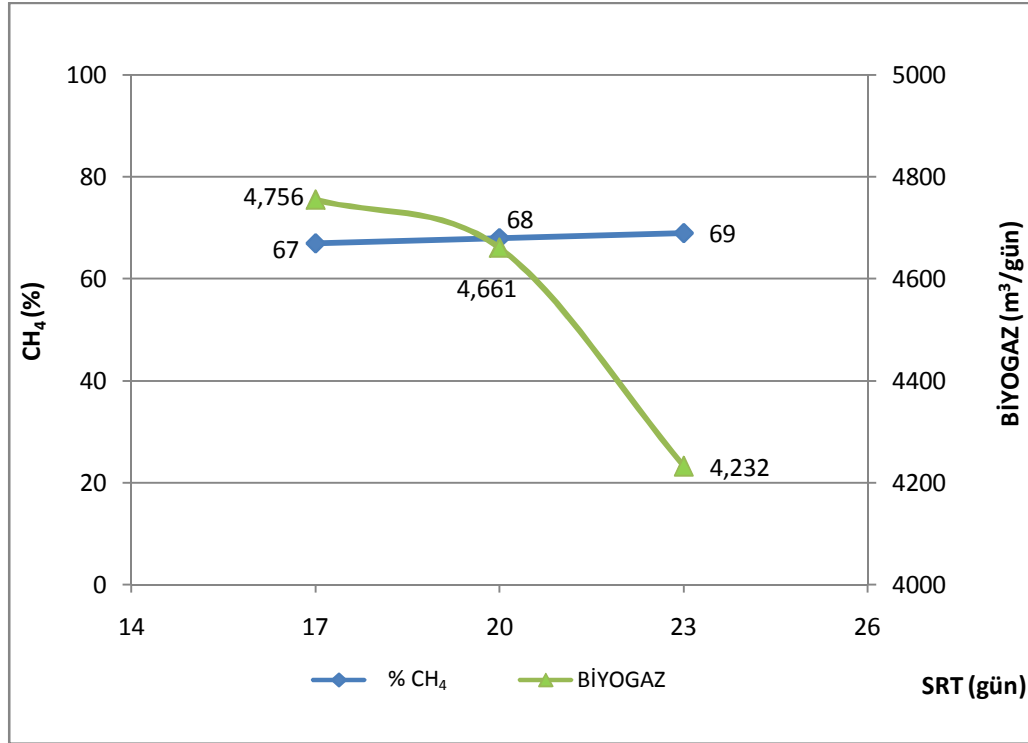
I. denek çürütücüde (SRT = 17 gün) yapılan 120 günlük izleme süresince üretilen toplam biyogaz 570,734 m³/gün olup, ortalama **4,756** m³/gün biyogaz üretimi elde edilmiştir.

II. denek çürütücüde (SRT = 23 gün) yapılan 120 günlük izleme süresince üretilen toplam biyogaz 507,857 m³/gün olup, ortalama **4,232** m³/gün biyogaz üretimi elde edilmiştir.

Bu çalışmada; SRT 17 gün prosesinde en yüksek, SRT 23 gün prosesinde ise en az biyogaz üretilmiştir.

4.4.20. Biyogaz bileşenindeki metan gazının oranı (% CH₄)

Farklı SRT'lerdeki % CH₄ değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.4.20. SRT parametresi ile % CH₄ ve biyogaz üretiminin değişimi

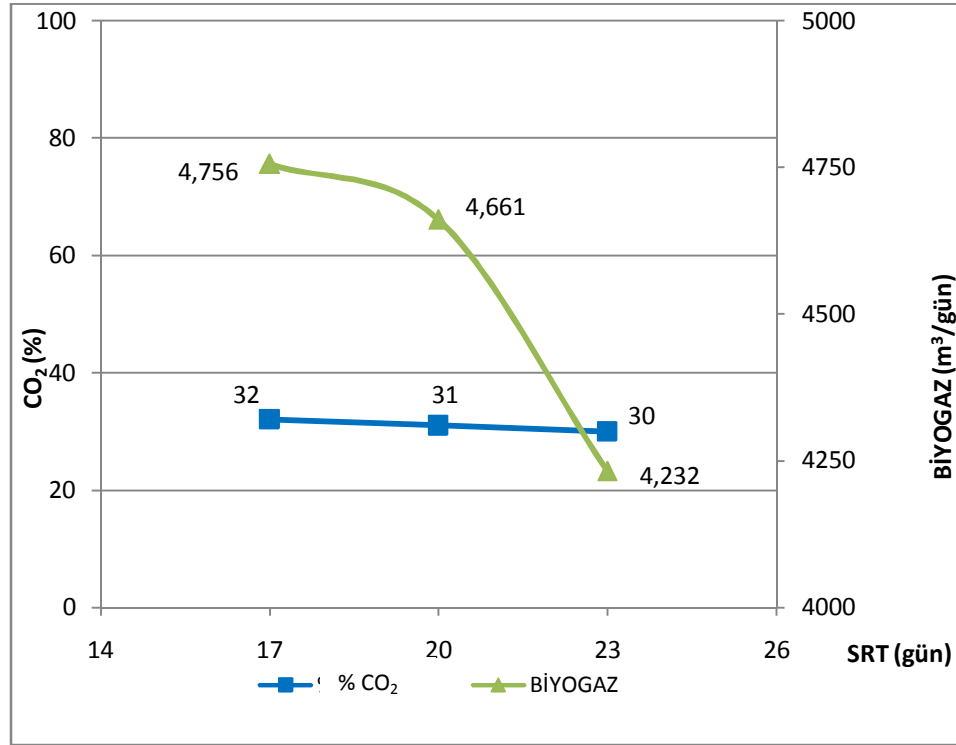
SRT'nin artırılması ile birlikte % CH₄ miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir.

Çamur çürütme süreci esnasında üretilen biyogaz önemli bir enerji kaynağıdır. Çürütücü gazı % 60-70 CH₄ içerir. Bu oran ne kadar yüksek olursa sistemin de o kadar iyi çalıştığını gösterir (Öztürk, 2007).

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte % CH₄ değerinde artma ve üretilen biyogaz miktarında ise azalma olduğu görülmüştür.

4.4.21. Biyogaz bileşenindeki karbondioksit gazının oranı (% CO₂)

Farklı SRT'lerdeki % CO₂ değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.21'de verilmiştir.



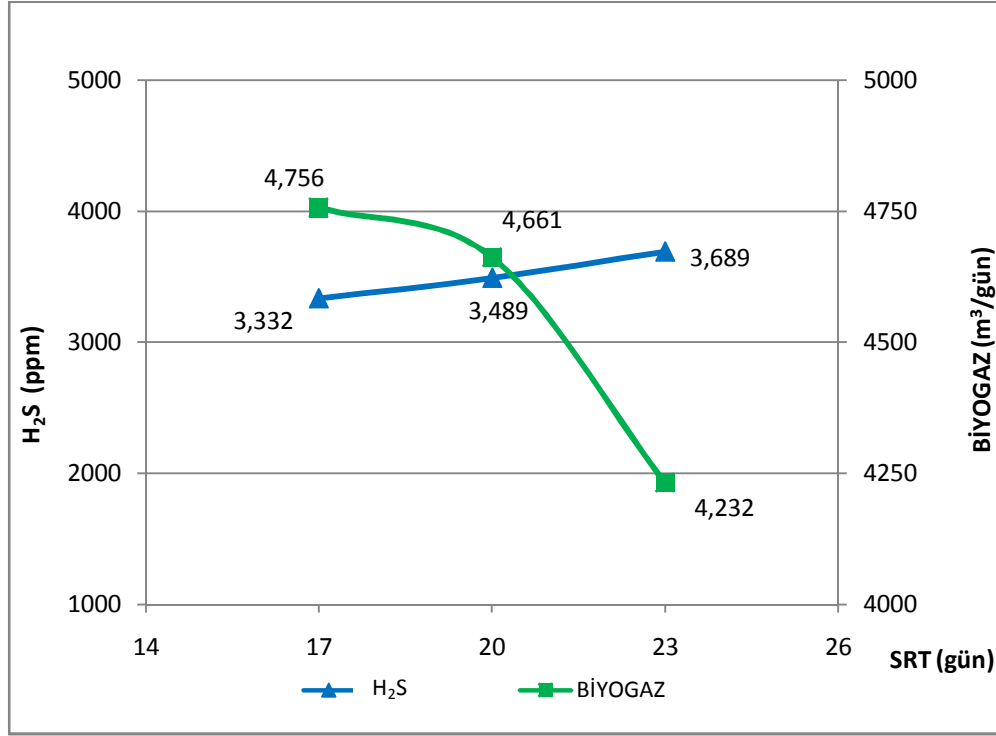
Şekil 4.4.21. SRT parametresi ile % CO₂ ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin arttırılması ile birlikte % CO₂ miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte % CO₂ değerinde azalma ve üretilen biyogaz miktarında da azalma olduğu görülmüştür.

4.4.22. Biyogaz bileşenindeki hidrojen sülfür gazının oranı (H_2S)

Farklı SRT'lerdeki H_2S değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.4.22. SRT parametresi ile H_2S ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT'nin arttırılması ile birlikte H_2S miktarlarının arttığı tespit edilmiştir.

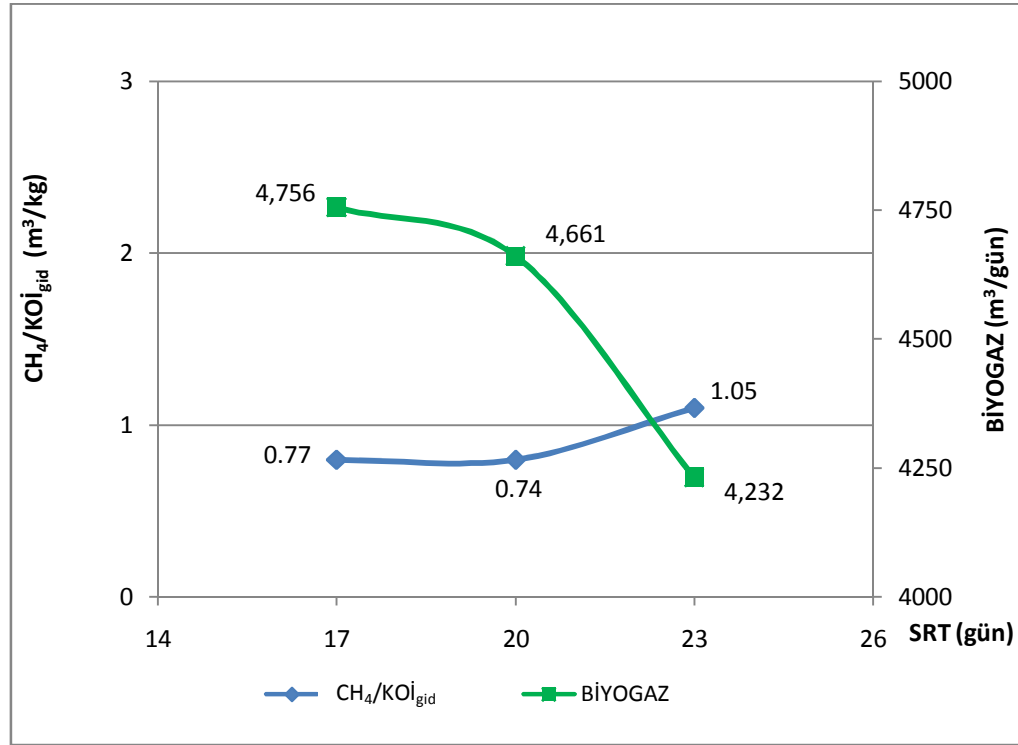
Üretilen biyogaz içerisindeki H_2S değerleri ortalama 3,332-3,689 ppm aralığındadır. H_2S 'in giderilmesi için tesis edilen biyolojik desülfürizasyon ünitesi çıkışındaki değerler 0-120 ppm aralığında kalmaktadır.

Desülfürizasyonun çıkışındaki ortalama H_2S değerleri, anaerobik çamur arıtımında genel biyolojik arıtma prensibi olarak istenilen değerlerde kaldığı görülmüştür.

SRT'nin yükseltilmesi ile birlikte H_2S değerinde artma ve üretilen biyogaz miktarında ise azalma olduğu görülmüştür.

4.4.23. Giderilen KOI miktarına göre üretilen metan gazı ($\text{CH}_4/\text{KOI}_{\text{gid}}$)

Farklı SRT'lerdeki $\text{CH}_4/\text{KOI}_{\text{gid}}$ değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.23'de verilmiştir.

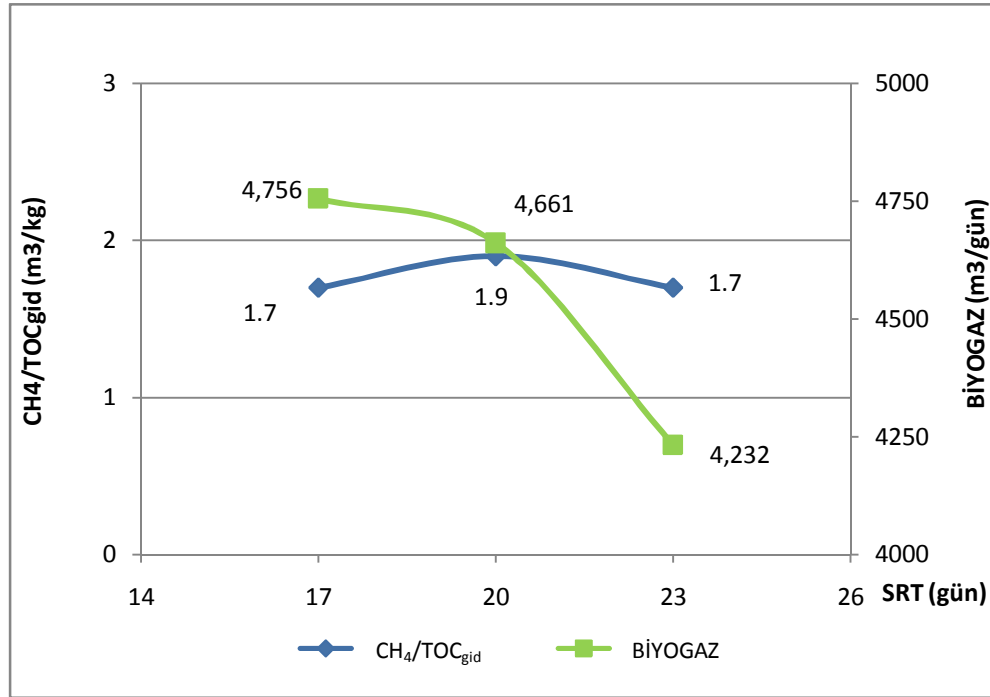


Şekil 4.4.23. SRT parametresi ile $\text{CH}_4 / \text{KOI}_{\text{gid}}$ ve biyogaz üretiminin değişimi.

Farklı SRT'lerde $\text{CH}_4/\text{KOI}_{\text{gid}}$ oranının değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

4.4.24. Giderilen TOC miktarına göre üretilen metan gazı ($\text{CH}_4/\text{TOC}_{\text{gid}}$)

Farklı SRT'lerdeki $\text{CH}_4/\text{TOC}_{\text{gid}}$ değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.24'de verilmiştir.

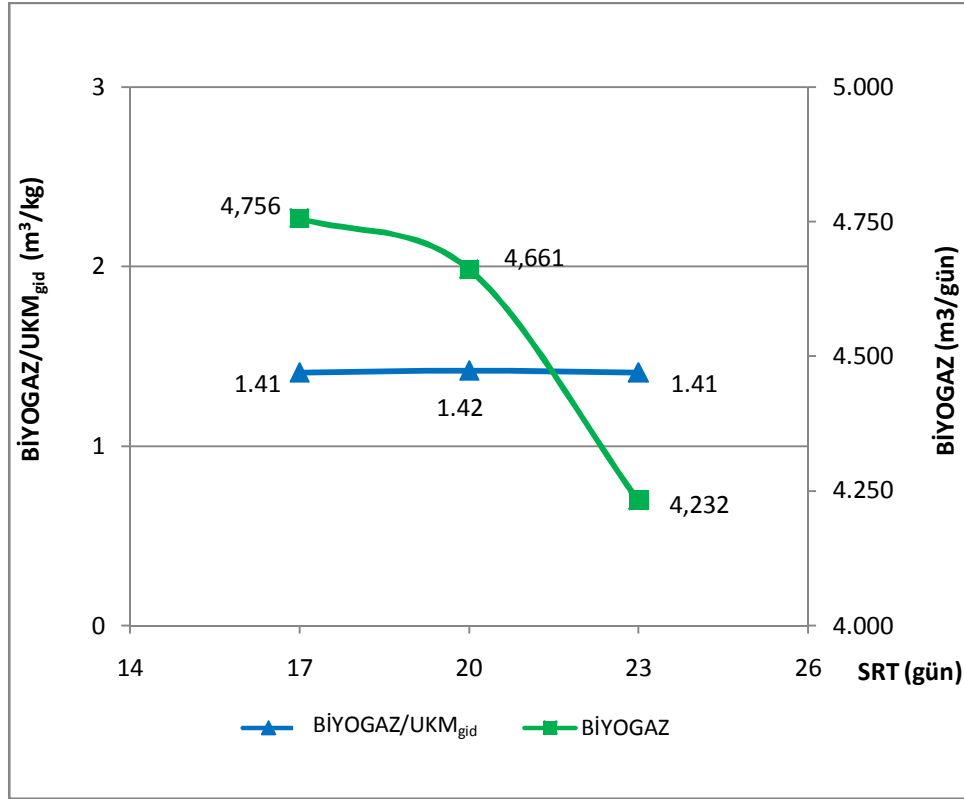


Şekil 4.4.24. SRT parametresi ile $\text{CH}_4/\text{TOC}_{\text{gid}}$ ve biyogaz üretiminin değişimi.

Farklı SRT'lerde $\text{CH}_4/\text{TOC}_{\text{gid}}$ oranının değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

4.4.25. Giderilen UKM_{gid} miktarına göre üretilen biyogaz (Biyogaz/ UKM_{gid})

Farklı SRT'lerdeki Biyogaz/ UKM_{gid} değişimi ve biyogaz üretim değerleri Şekil 4.4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.4.25. SRT parametresi ile Biyogaz/ UKM_{gid} ve biyogaz üretiminin değişimi.

SRT' nin arttırılması ile birlikte Biyogaz/ UKM_{gid} oranının değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Elde edilen ortalama Biyogaz/ UKM_{gid} değerine göre etkili bir biyogaz üretimi gerçekleştirildiği görülmüştür.

4.5. Tasarım Kriterlerine ve Farklı SRT’lerdeki İşletme Verilerine Göre AAT Performansının Ünite Bazında Değerlendirilmesi

Konya AAT, ATV 131 E standartlarına göre dizayn edilmiştir. İlk kademesi 2015 yılına göre projelendirilen ve gelecekteki nüfusu 1,000,000 kişi alınan tesisin, atıksu ve çamur arıtım ünitelerinin performansları elde edilen işletme verileri ışığında değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında; tesisin değişik SRT’lerde çalıştırılması durumunda ATV 131 E standartlarına göre dizayn edilen ünitelerin performansları ve mevcut ünite kapasitelerinin yeterliliği değerlendirilmiştir. Değişik SRT’lerde (17, 20 ve 23 gün) sadece çamur çürütücüye alınacak çamur miktarları ve enerji performansı yönünden farklılıklar görülecektir. Tesisin diğer ünitelerine giren kirlilik konsantrasyon ve yüklerinde farklı SRT’ler için herhangi bir değişiklik olmayacaktır.

Bu çalışma kapsamında, 240 günlük izleme ve analizler ile tesisin son iki yıllık işletme verileri ışığında gerçekleşen ortalama değerler belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile tasarım değerleri karşılaştırılarak ünite bazında performanslar ve sapma miktarları hesaplanmıştır.

Konya AAT’de azot ve fosfor giderimine yönelik olarak; I. Kademedeki kısmi azot giderimi, II. Kademedeki ise tam azot ve fosfor giderimi yapılacak şekilde dizayn yapılmıştır. Bu bölümde izlenen azot ve fosfor parametrelerinin mevcut proseste giderimleri hakkında fikir sahibi olunmuş, performans yönünden değerlendirmeye alınmamıştır.

4.5.1.Tasarım ve işletme için giriş atıksuyu özellikleri

Tesise giren atıksu karakterizasyonun tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.5.1.Giriş atıksu özelliklerinin değişimi.

SENARYO	Giriş debisi (m ³ /gün)	AKM (mg/l)	AKM (kg/gün)	KOI (mg/l)	KOI (kg/gün)	TOC (mg/l)	TOC (kg/gün)	BOI ₅ (mg/l)	BOI ₅ (kg/gün)	TN (mg/l)	TN (kg/gün)	TP (mg/l)	TP (kg/gün)	pH
TASARIM	200,000	295	59,000	775	155,000			320	64,000	50	10,000	15	3,000	8.0
MEVCUT İŞLETME	164,142	388	63,687	810	132,955	238	39,066	407	66,806	82	13,525	11	1,871	7.8
ARTIŞ/AZALIŞ	-35,858	93	4,687	35	-22,045	238		87	2,806	32	3,525	-4	-1,129	-0.2
SAPMA ORANI (%)	-18	32	8	5	-14			27	4	65	35	-24	-38	-3

Çizelge 4.5.1’de görüldüğü gibi; Konya AAT’nin I. Kademesi için proje debisi 200,000 m³/gün, AKM 295 mg/l, KOİ 775 mg/l, BOİ 320 mg/l, TN 50 mg/l, TP 15 mg/l olacak şekilde kirlilik konsantrasyonları belirlenmiş ve pH’da 8 olacak şekilde tasarım yapılmıştır.

Kirlilik yükleri olarak; AKM 59,000 kg/gün, KOİ 155,000 kg/gün, BOİ 64,000 kg/gün, TN 10,000 kg/gün ve TP 3,000 kg/gün olarak projelendirilmiştir.

Elde edilen işletme verilerine göre ise; tesise giren atıksu debisi 164,142 m³/gün, AKM 388 mg/l, KOİ 810 mg/l, TOC 238 mg/l, BOİ 407 mg/l, TN 82 mg/l, TP 11 mg/l ve pH 7.8 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen işletme verilerine göre tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.1’de görüldüğü gibi işletme şartlarında; tesise giren atıksu debisinde% 18 azalma, AKM’de % 32 artış, KOİ’de % 5 artış, BOİ’de % 27 artış, TN’de % 65 artış, TP’de % 24 azalma ve pH’da ise% 3 azalma belirlenmiştir.

Evsel nitelikli atıksuyun karakterizasyonu; AKM 100-350 mg/l, BOİ 110-400 mg/l, KOİ 250-1,000 mg/l, TOC 80-290 mg/l, TN 20-85 mg/l ve TP 4-15 mg/l arasında değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 2003).

2015 yılına göre dizayn edilen tesisin giriş atıksuyunda AKM, KOİ, BOİ ve TN konsantrasyonlarının ve AKM, BOİ ve TN kirlilik yüklerinin dizayn değerlerinin üstünde olduğu görülmüştür. Giriş atıksu debisi, KOİ yükü, TP konsantrasyonu ve yükünün henüz dizayn değerlerine ulaşmadığı, AKM, BOİ ve TN konsantrasyonların tipik evsel atıksu karakterizasyonu için belirlenen değerlerin üstünde olduğu görülmüştür.

Mevcut giriş debisi 164,142 m³/gün olduğundan, tesiste hidrolik kapasite anlamında bir problem gözlenmediğinden, ilave ünite ve ekipman yatırımına ihtiyaç olmadığı görülmektedir.

4.5.2. Debi ölçüm kanalı-ön çökeltme havuzu giriş kriterleri

Debi ölçüm kanalı-ön çökeltme havuzu giriş parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.5.2. Debi ölçüm kanalı-ÖÇH giriş atıksu parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Süzüntü suyu (m ³ /gün)	Toplam debi (m ³ /gün)	AKM (mg/l)	AKM (kg/gün)	KOİ (mg/l)	KOİ (kg/gün)	BOİ ₅ (mg/l)	BOİ ₅ (kg/gün)	TN (mg/l)	TN (kg/gün)	TP (mg/l)	TP (kg/gün)
TASARIM	4,800	204,800	302	60,416	794	158,720	328	65,536	55	11,000	18	3,600
MEVCUT İŞLETME	3,373	167,515	527	88,280	1,095	183,429	495	82,920	108	18,092	18	3,015
ARTIŞ/AZALIŞ	-1,427	-37,285	225	27,864	301	24,709	167	17,384	53	7,092	0	-585
SAPMA ORANI (%)	-30	-18	74	46	38	16	51	27	96	64	0	-16

Tesis giriş yapısına giren atıksular ızgaralardan geçirildikten sonra KYT ünitesine ve devamında debi ölçüm kanalına ulaşır. Atıksu ve çamur arıtım ünitelerinden dönen akımlar süzüntü suyu olarak değerlendirilir.

Çizelge 4.5.2’de görüldüğü gibi; proje süzüntü suyu debisi ATV 131 E standartına göre proje debisinin % 2,4 olacak şekilde 4,800 m³/gün, toplam debi 204,800 m³/gün, AKM 302 mg/l, KOİ 794 mg/l, BOİ 328 mg/l, TN 55 mg/l ve TP 18 mg/l olacak şekilde projelendirilmiştir.

İşletme verilerine göre ortalama süzüntü suyu debisi 3,373 m³/gün, AKM 527 mg/l, KOİ 1,095 mg/l, BOİ 495 mg/l, TN 108 mg/l ve TP 18 mg/l olarak belirlenmiştir.

Elde edilen işletme verilerine göre tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.2’ de görüldüğü gibi; süzüntü suyu debisinde % 30 azalma, AKM’de % 74 artış, KOİ’de % 38 artış, BOİ₅’de % 51 artış, TN’de % 96 artış ve TP’de tasarım değeri olacak şekilde parametrelerin konsantrasyonları belirlenmiştir.

2015 yılına göre dizayn edilen debi ölçüm kanalı- ön çökeltme havuzu giriş atıksuyunda AKM, KOİ, BOİ ve TN konsantrasyonlarının ve AKM, BOİ ve TN kirlilik yüklerinin dizayn değerlerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Süzüntü suyu debisi ve toplam atıksu debileri ile TP yükünün henüz dizayn değerlerine ulaşmadığı ve TP konsantrasyonunun ise dizayn değeri ile aynı olduğu görülmüştür.

4.5.3.Ön çökeltme havuzu kriterleri

ÖÇH parametrelerine ilişkin tasarım, işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5.3. ÖÇH parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Toplam debi (m ³ /gün)	AKM _{gid} (%)	KOI _{gid} (%)	BOI _{gid} (%)	TN _{gid} (%)	TP _{gid} (%)	AKM _{gid} (kg/gün)	KOI _{gid} (kg/gün)	BOI _{gid} (kg/gün)	TN _{gid} (kg/gün)	TP _{gid} (kg/gün)
TASARIM	204.800	64.286	44.946	33.330	9.090	11.110	38,839	71,338	21,843	1,000	400
MEVCUT İŞLETME	167.515	69.829	50.685	41.212	24.074	38.889	61,645	92,971	34,173	4,355	1,173
ARTIŞ/AZALIŞ	-37.285	5.543	5.739	7.882	14.984	27.779	22,806	21,633	12,330	3,355	773
SAPMA ORANI (%)	-18	9	13	24	165	250	59	30	56	336	193

Tasarımda, proje debisi 204,800 m³/gün, hesap debisi 254,800 m³/gün AKM_{gid} % 64.29, KOİ_{gid} % 44.95, BOİ_{gid} % 33.33, TN_{gid} % 9.09 ve TP_{gid} % 11.11 olacak şekilde belirlenmiştir. Bu kriterlere göre ÖÇH'da giderilen madde miktarları ise; AKM_{gid} 38,839 kg/gün (ÖÇÇ), KOİ_{gid} 71,338 kg/gün, BOİ_{gid} 21,843 kg/gün, TN_{gid} 1,000 kg/gün ve TP_{gid} 400 kg/gün olarak hesaplanmıştır.

İşletme verilerine göre; ortalama debi 167,515 m³/gün, AKM_{gid} % 69.83, KOİ_{gid} % 50.69, BOİ_{gid} % 41.21, TN_{gid} % 24.07 ve TP_{gid} % 38.89 olarak hesaplanmıştır. Bu kriterlere göre ön çökeltme havuzunda giderilen madde miktarları ise; AKM_{gid} 61,645 kg/gün (ÖÇÇ), KOİ_{gid} 92,971 kg/gün, BOİ_{gid} 34,173 kg/gün, TN_{gid} 4,355 kg/gün ve TP_{gid} 1,173 kg/gün olarak hesaplanmıştır.

2015 yılına göre dizayn edilen ÖÇH'da AKM, KOİ, BOİ ve TN ve TP giderim oranlarının ve buna bağlı olarak ÖÇH'da giderilen organik madde miktarının da dizayn değerlerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir.

4.5.4. Ön çökeltme havuzu çıkışı-havalandırma havuzu girişi kriterleri

ÖÇH çıkışı-HHgiriş atıksu karakterizasyonun tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.5.4. ÖÇH çıkışı-HH giriş parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Toplam debi (m ³ /gün)	AKM (mg/l)	KOI (mg/l)	BOI ₅ (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	AKM (kg/gün)	KOI (kg/gün)	BOI ₅ (kg/gün)	TN (kg/gün)	TP (kg/gün)	ÖÇÇ (kg/gün)	% KM	ÖÇÇ (m ³ /gün)
TASARIM	204,800	105	427	213	50	16	21,577	87,382	43,693	10,000	3,200	38,839	2.00	1,942
MEVCUT İŞLETME	167,515	159	540	291	82	11	26,635	90,458	48,747	13,736	1,843	61,645	3.78	1,568
ARTIŞ/AZ ALIŞ	-37,285	54	113	78	32	-5	5,058	3,076	5,054	3,736	-1,357	22,806	1.78	-374
SAPMA ORANI (%)	-18	51	27	36	64	-31	23	4	12	37	-42	59	89	-19

Tasarım kriterleri olarak; AKM 105 mg/l, KOİ 427 mg/l, BOİ 213 mg/l, TN 50 mg/l ve TP 16 mg/l ve kirlilik yükleri olarak; AKM 21,577 kg/gün, KOİ 87,382 kg/gün, BOİ 43,693 kg/gün, TN 10,000 kg/gün ve TP 3,200 kg/gün olacak şekilde tasarlanmıştır.

İşletme verilerine göre; AKM 159 mg/l, KOİ 540 mg/l, BOİ 291 mg/l, TN 82 mg/l, TP 11 mg/l ve kirlilik yükleri olarak; AKM 26,635 kg/gün, KOİ 90,458 kg/gün, BOİ 48,747 kg/gün, TN 13,736 kg/gün ve TP 1,843 kg/gün olacak şekilde hesaplanmıştır.

Elde edilen işletme verilerine göre tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.4' de görüldüğü gibi; toplam atıksu debisinde % 18 azalma, AKM'de % 51 artış, KOİ'de % 27 artış, BOİ'de % 36 artış, TN'de 32 % 64 artış, ve TP'de % 31 azalma olacak şekilde konsantrasyon değişimi gösterdiği belirlenmiştir.

2015 yılına göre dizayn edilen ön çökeltme havuzu çıkışındaki AKM, KOİ, BOİ ve TN konsantrasyon ve kirlilik yüklerinin dizayn değerlerinin üstünde ve TP konsantrasyon ve kirlilik yükünün henüz dizayn değerlerine ulaşmadığı görülmüştür.

Ön Çökeltme Çamuru (ÖÇÇ)

Çizelge 4.5.4' de görüldüğü gibi; ÖÇH çıkışında 2015 yılı dizayn kriterleri olarak; %KM 2, oluşacak primer çamurun kütleli miktarı 38,839 kg/gün ve hacimsel miktarı ise 1,942 m³/gün olarak belirlenmiştir.

İşletme verilerine göre; TKM 37,800 mg/l, UKM 27,084 mg/l, % UKM 72 ve % KM 3.78 olarak tespit edilmiştir. Primer çamurun kütleli miktarı 61,645 kg/gün ve hacimsel miktarı ise 1,568 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen işletme verileri ışığında tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.4' de görüldüğü gibi; primer çamurun kütleli debisinde % 59 artış, KM'de % 89 artış ve hacimsel debide % 19 azalma olduğu görülmüştür.

Ön çamurunun % KM ve çamurun kütleli debisinin dizayn değerlerinden yüksek olduğu, fakat çamurun % KM oranının yüksek olmasından dolayı oluşan primer çamurun hacimsel debisinin dizayn değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen verilere göre ÖÇH'nin hidrolik kapasitesi mevcut debiyi karşılayacak durumdadır.

4.5.5. Havalandırma havuzu kriterleri

HH parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5.5. HH parametrelerinin değişimi.

SENARYO	MLSS (mg/l)	AKM/BOİ	Çamur yaşı (gün)	F/M (gün ⁻¹)	Toplam hacim (m ³)
TASARIM	3,780	0.49	11.2	0.15	77,000
MEVCUT İŞLETME	4,488	0.55	11.3	0.14	77,000
ARTIŞ/AZALIŞ	708	0.05	0.06	0.01	
SAPMA ORANI (%)	19	11	0.6	-6	

Çizelge 4.5.5’de görüldüğü gibi; HH’ları için dizayn kriterleri olarak; MLSS 3,780 mg/l (3.78 kg/m³), AKM/BOİ 0.49, çamur yaşı 11.2 gün, F/M oranı 0.15 gün⁻¹ alınarak, toplam hacim 77,000 m³ seçilmiştir.

İşletme verilerine göre; Çizelge 4.5.5’ de görüldüğü gibi MLSS 4,488 mg/l (4.49 kg/m³), AKM/BOİ 0.55, çamur yaşı 11.3 gün ve F/M oranı 0.14 gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen işletme verileri ışığında tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.5’ de görüldüğü gibi; MLSS % 19 artış, AKM/BOİ % 11 artış, çamur yaşı % 0.6 artış ve F/M oranı % 6 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

2015 yılına göre dizayn edilen HH’da MLSS ve AKM/BOİ oranının arttığı, çamur yaşı ve F/M oranının ise tasarım sınır değerlerinde olduğu görülmüştür.

4.5.6. Son çökeltme havuzu kriterleri

SÇH parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.5.6. SÇH parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Toplam debi (m ³ /gün)	Spesifik çamur üretimi (kg KM / kg BIO _{gid})	BFÇ (kg/gün)	BFÇ % KM	BFÇ (m ³ /gün)
TASARIM	254,800	0.5927	25,897	0.882	2,936
MEVCUT İŞLETME	253,373	0.6275	30,589	1.060	2,775
ARTIŞ/AZALIS	-1,427	0.0348	4,692	0.178	-161
SAPMA ORANI (%)	-0.6	6	18	20	-5

Çizelge 4.5.6'da görüldüğü gibi; SÇH dizayn kriterleri olarak; hesap debisi 254,800 m³/gün, hidrolik bekletme süresi 4.9 saat ve toplam hacim 51,650 m³olarak belirlenmiştir.

2015 yılına göre dizayn edilen son çökeltme havuzu için belirlenen dizayn değerlerinde tesisin işletilmesinde hidrolik açıdan herhangi bir problem görülmemektedir.

Biyolojik Fazla Çamur (BFÇ)

Çizelge 4.5.6'da görüldüğü gibi; SÇH'da oluşan BFÇ için tasarım kriterleri olarak; spesifik çamur üretim katsayısı 0.5927 kg KM/kg BOI_{gid}, BFÇ katı madde oranı % 0.882, sekonder çamurun kütleli miktarı 25,897 kg/gün ve hacimsel miktarı ise 2,936 m³/gün olarak belirlenmiştir.

İşletme verilerine göre, spesifik çamur üretim katsayısı 0.6275 kg KM/kg BOI_{gid}, BFÇ katı madde oranı % 1.06, sekonder çamurun kütleli miktarı 30,589 kg/gün ve hacimsel miktarı ise 2,775 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

Spesifik çamur üretim katsayısı, çamurun % KM oranı ve oluşan BFÇ' nin kütleli debisinin tasarım değerlerinden yüksek olduğu, fakat çamurun % KM oranının yüksek olmasından dolayı oluşan BFÇ' nin hacimsel debisinin tasarım değerinden düşük olduğu görülmüştür.

4.5.7. Arıtılmış atıksu kriterleri

Arıtılmış atıksu parametrelerine ilişkin tasarım, işletme ve sapma değerleri Çizelge 4.5.7’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5.7. Arıtılmış atıksu parametrelerinin değişimi.

SENARYO	pH	KOI (mg/l)	AKM (mg/l)	BOI ₅ (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	TOC (mg/l)	KOI _{gid} (%)	AKM _{gid} (%)	BOI _{gid} (%)	TN _{gid} (%)	TP _{gid} (%)	TOC _{gid} (%)
STANDART	6-10	< 120	<40	<40	<10	< 1	-	-	-	-	-	-	-
TASARIM	8	90	20	20	10	1.0	-	88.39	93.22	93.75	80.00	93.33	-
MEVCUT İŞLETME	8	70	25	25	61	3.7	42	91.36	93.56	93.86	25.97	67.54	82.35
ARTIŞ/AZALIŞ	0	-20	5	5	51	2.7	-	2.97	0.34	0.11	-54.03	-25.79	82.35
SAPMA ORANI (%)	0	-22	25	25	510	270		3	0	0	-68	-28	

Konya AAT'nin 2015 yılı arıtılmış atıksu karakterizasyonuna ilişkin tasarım kriterleri olarak; pH 8, KOİ 90 mg/l, AKM 20 mg/l, BOİ₅ 20 mg/l, (II. Kademe için TN 10 mg/l, TP 1 mg/l), KOİ_{gid} % 88.39, AKM_{gid} % 93.22, BOİ_{gid} % 93.75, (II. Kademe için TN_{gid} % 80, TP_{gid} % 93.33) olacak şekilde projelendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında 240 günlük izlemeler ve tesisin son iki yıllık işletme verilerine göre arıtılmış atıksu için gerçekleşen ortalama değerler belirlenmiştir.

İşletme verilerine göre; pH 8, KOİ 70 mg/l, AKM 25 mg/l, BOİ₅ 25 mg/l, TN 10 mg/l, TP 3.7 mg/l, TOC 42 mg/l, KOİ_{gid} % 91.36, AKM_{gid} % 93.56, BOİ_{gid} % 93.86, TN_{gid} % 25.97, TP_{gid} % 67.54, TOC_{gid} % 82.35 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen işletme verilerin tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir. Buna göre; Çizelge 4.5.7' de görüldüğü görüldüğü gibi; KOİ'de % 22 azalma, AKM'de % 25 artış, BOİ₅'de % 25 artış, TN'de % 510 artış, TP'de % 270 artış, KOİ_{gid} oranında % 3 artış, AKM_{gid} oranında % 0.4 artış, BOİ_{gid} oranında % 0.1 artış, TN_{gid} oranında % 68 azalma ve TP_{gid} oranında % 28 azalma olduğu görülmüştür.

2015 yılına göre dizayn edilen tesisin arıtılmış atıksuyunda pH, AKM, KOİ ve BOİ₅ konsantrasyonları deşarj limitlerinde kalmaktadır. AKM_{gid}, KOİ_{gid} ve BOİ_{gid} verimleri de dizayn değerlerinden fazla bir oranda gerçekleşmiştir.

İlk kademede kısmi TN giderimi planmış, fakat TP giderim ünitesi dizayn edilmemiştir. Elde edilen verilere göre kısmi bir TN giderimi ve önemli bir oranda da P giderimi söz konusudur. II. Kademe ise TN ve TP giderim üniteleri tam kapasite ile devreye alınması planlanmaktadır.

4.5.8. Çamur yoğunlaştırıcı girişi kriterleri

ÇY giriş parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.8’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5.8. ÇY parametrelerinin değişimi.

SENARYO	ÖÇÇ (kg/gün)	BFÇ (kg/gün)	Toplam çamur (kg/gün)	ÖÇÇ+BFÇ (kg/m ³)	Toplam çamur (m ³ /gün)
TASARIM	38,839	25,897	64,736	1.33	4,878
MEVCUT İŞLETME	61,645	30,589	92,234	2.04	4,343
ARTIŞ/AZALIŞ	22,806	4,692	27,498	0.72	-535
SAPMA ORANI (%)	59	18	42	54	-11

Çizelge 4.5.8’de görüldüğü gibi ÇY girişi için 2015 yılı tasarım kriterleri olarak; ÖÇÇ 38,839 kg/gün, BFÇ 25,897 kg/gün, bu karışım çamurun katı madde oranı % 1.33 ve alınarak, yoğunlaştırıcıya giren toplam çamurun kütleli debisi 64,736 kg/gün ve hacimsel debisi ise 4,878 m³/gün olacak şekilde projelendirilmiştir.

İşletme verilerine göre Çizelge 4.5.8’de görüldüğü gibi ÖÇÇ 61,645 kg/gün, BFÇ 30,589 kg/gün, bu karışım çamurun katı madde oranı % 2.04 alınarak, yoğunlaştırıcıya giren toplam çamurun kütleli debisi 92,234 kg/gün ve hacimsel debisi ise 4,343 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen işletme verilerine göre tasarımdan sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.8’ de görüldüğü gibi ÖÇÇ % 59 artış, BFÇ % 18 artış, KM % 54 artış, kütleli debi % 42 artış ve hacimsel debi ise % 11 azalma göstermiştir

Oluşan toplam çamurun kütleli debisinin tasarım değerinden yüksek olduğu, fakat karışım çamurunun % KM oranının yüksek olmasından dolayı oluşan toplam çamurun hacimsel debisinin 2015 yılı dizayn değerinden düşük olduğu görülmüştür.

4.5.9. Anaerobik çamur çürütücü kriterleri

Anaerobik çamur çürütücü parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.5.9. Anaerobik çamur çürütücü parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Toplam giriş çamuru (kg/gün)	% KM	Toplam giriş çamuru (m ³ /gün)	Çürütücüye alınan çamur (m ³ /gün)	Çürütücüye alınan çamur (kg/gün)	Fazla çamur (m ³ /gün)	Fazla çamur (kg/gün)	Karışım çamuru için UKM (%)	Anaerobik olarak çürütülecek UKM (kg UKM/gün)	Toplam hacim (m ³)	Sıcaklık (°C)	OLR (kg UKM/ m ³ .gün)	Toplam UKM _{gid} (%)	Toplam UKM _{gid} (kg UKM/ gün)	Çürütülmüş çamu (kg/gün)
TASARIM	64,736	5.00	1,295	1,295	64,736	-	-	70	45,315	28,000	37	1.6	54	24,561	40,175
SRT=20 gün	92,234	3.53	2,512	1,400	51,397	1,112	40,837	73	37,520	28,000	38	1.2	35	13,132	38,265
SRT=17 gün	92,234	3.53	2,512	1,647	60,467	865	31,767	73	44,141	28,000	38	1.4	32	14,135	46,342
SRT=23 gün	92,234	3.53	2,512	1,217	44,693	1,295	47,541	72	32,179	28,000	38	1.1	37	11,906	32,787
ARTIŞ/AZALIŞ	27,498	-1.47	1,218												
(SRT=20 gün) ARTIŞ/AZALIŞ				105	-13,339	1,112	40,837		-8,309			-0.4	-19	-11,429	-1,910
(SRT=17 gün) ARTIŞ/AZALIŞ				352	-4,269	865	31,767		-1,779			-0.2	-22	-10,436	6,167
(SRT=23 gün) ARTIŞ/AZALIŞ				-77	-20,043	1,295	47,541		-13,136			-0.5	-17	-12,655	-7,388
SAPMA ORANI (%)	42	-29	94												
(SRT=20 gün) SAPMA ORANI (%)				8	-21				-18			-26	-35	-47	-5
(SRT=17 gün) SAPMA ORANI (%)				27	-7				-4			-14	-41	-42	15
(SRT=23 gün) SAPMA ORANI (%)				-6	-31				-29			-32	-32	-52	-18

Çizelge 4.5.9'da tasarım ve işletme parametreleri verilmiştir. ÇY çıkışı-çürütücü girişindeki çamur karışımının katı madde oranı % 5, çürütücü girişi için toplam çamurun kütleli debisi 64,736 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,295 m³/gün, çamur karışımının organik madde oranı % 70, anaerobik olarak çürütülecek organik madde miktarı 45,315 kg UKM/gün, toplam çürütücü hacmi 28,000 m³, etkili SRT 21,6 gün, çürütücü sıcaklığı 35-40 °C, OLR 1.62 kg UKM/m³.gün, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} oranı % 54.2, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 24,561 kg UKM/gün, çürütücüde giderilemeyip kalan UKM_{kalan} miktarı 20,754 kg UKM/gün ve çürütme sonrası çürütücü çıkışındaki kalan toplam katı madde miktarı 40,175 kg KM/gün olacak şekilde projelendirilmiştir.

SRT 20 günlük referans çürütücü için 240 gün boyunca gerçekleşen değerler; girişteki karışım çamurun katı madde oranı % 3.53, çürütücü girişi için toplam çamurun kütleli debisi 92,234 kg/gün ve hacimsel debisi ise 2,512 m³/gün, çürütücüye alınan toplam çamurun kütleli debisi 51,397 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,400 m³/gün, çürütücü kapasitesini aşan ve reaktöre alınamayan fazla çamurun kütleli debisi 40,837 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,112 m³/gün, karışım çamurunun organik madde oranı % 72, anaerobik olarak çürütülecek organik madde miktarı 37,006 kg UKM/gün, toplam çürütücü hacmi 28,000 m³, etkili SRT 20 gün, çürütücü sıcaklığı 38 °C, OLR 1.30 kg UKM/m³.gün, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} oranı % 37, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 13,692 kg UKM/gün, çürütücüde giderilemeyip kalan UKM_{kalan} miktarı 23,314 kg UKM/gün ve çürütme sonrası çürütücü çıkışındaki kalan toplam katı madde miktarı 37,705 kg KM/gün olarak hesaplanmıştır.

Yine Çizelge 4.5.9' da SRT 17 günlük denek çürütücü için tasarım ve işletme parametreleri verilmiştir. Girişteki çamur karışımının katı madde oranı % 3.53, çürütücü girişi için toplam çamurun kütleli debisi 92,234 kg/gün ve hacimsel debisi ise 2,512 m³/gün, çürütücüye alınan toplam çamurun kütleli debisi 60,467 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,647 m³/gün, çürütücü kapasitesini aşan ve reaktöre alınamayan fazla çamurun kütleli debisi 31,767 kg/gün ve hacimsel debisi ise 865 m³/gün, karışım çamurunun organik madde oranı % 72, anaerobik olarak çürütülecek organik madde miktarı 43,536 kg UKM/gün, toplam çürütücü hacmi 28,000 m³, etkili SRT 17 gün, çürütücü sıcaklığı 38 °C, OLR 1.40 kg UKM/m³.gün, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} oranı % 34, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 14,802 kg UKM/gün, çürütücüde giderilemeyip kalan organik madde UKM miktarı 28,734 kg UKM/gün ve

çürütme sonrası çürütücü çıkışındaki kalan toplam katı madde miktarı 45,665 kg KM/gün olarak hesaplanmıştır.

Yine Çizelge 4.5.9'da görüldüğü gibi SRT 23 günlük çürütücü için 120 gün boyunca gerçekleşen değerler; girişteki karışım çamurun katı madde oranı % 3.53, çürütücü girişi için toplam çamurun kütleli debisi 92,234 kg/gün ve hacimsel debisi ise 2,512 m³/gün, çürütücüye alınan toplam çamurun kütleli debisi 44,693 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,217 m³/gün, çürütücü kapasitesini aşan ve reaktöre alınamayan fazla çamurun kütleli debisi 47,541 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,295 m³/gün, karışım çamurunun organik madde oranı % 72, anaerobik olarak çürütülecek organik madde miktarı 32,179 kg UKM/gün, toplam çürütücü hacmi 28,000 m³, etkili SRT 23 gün, çürütücü sıcaklığı 38 °C, OLR 1.10 kg UKM/m³.gün, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} oranı % 38, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 12,228 kg UKM/gün, çürütücüde giderilemeyip kalan UKM_{kalan} miktarı 19,951 kg UKM/gün ve çürütme sonrası çürütücü çıkışındaki kalan toplam katı madde miktarı 32,465 kg KM/gün olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen işletme verilerine göre tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir.

Elde edilen veriler ışığında SRT 20 gün senaryosu için Çizelge 4.5.9'da görüldüğü gibi; çürütücüye alınan toplam çamurun kütleli debisinde % 21 azalma, hacimsel debisinde % 8 artış, anaerobik olarak çürütülecek organik madde miktarında % 18 azalma, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} % 35 oranında giderilmiş ve çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarında % 47 azalma olduğu görülmüştür.

Elde edilen işletme verileri ışığında SRT 17 gün senaryosu için Çizelge 4.5.9' da görüldüğü gibi çürütücüye alınan toplam çamurun kütleli debisinde % 7 azalma, hacimsel debisinde % 27 artış, etkili SRT'de % 21 azalma, OLR'de % 14 azalma, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} oranında % 41 azalma ve çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarında % 42 azalma olduğu görülmüştür.

İşletme verileri ışığında SRT 23 gün senaryosu için Çizelge 4.5.9'da görüldüğü gibi çürütücüye alınan toplam çamurun kütleli debisinde % 31 azalma, hacimsel debisinde % 6 azalma, anaerobik olarak çürütülecek organik madde miktarında % 29 azalma, etkili SRT'de % 6 artma, OLR'de % 32 azalma, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} oranında %32 azalma ve çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarında % 50 azalma olduğu görülmüştür.

Anaerobik olarak çürütülecek organik çamur miktarı ve çürütücülere organik

madde yükleme hızı, için dizayn değerlerine en yakın değerler SRT 17 günlük senaryoda görülmektedir.

Çürütücünün farklı SRT' lerde çalıştırılması neticesinde; SRT 17 günlük işletme senaryosunda tesiste oluşan çamurun maksimum oranda çürütülerek en yüksek biyogaz verimi gerçekleştiği görülmüştür.

4.5.10. Enerji Kriterleri

Enerji parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.5.10. Enerji parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Spesifik biyogaz üretimi ($\text{m}^3/\text{kg UKM}_{\text{gid}}\cdot\text{gün}$)	UKM _{gid} (kg/gün)	Toplam üretilen biyogaz ($\text{m}^3/\text{gün}$)	Toplam elektrik üretimi (kWh/gün)	Toplam elektrik tüketimi (kWh/gün)	Enerji geri dönüşüm Oranı (%)
TASARIM	0.90	24,561	22,105	53,641	50,000	107
SRT=20 gün	1.42	13,132	18,647	45,251	45,448	100
SRT=17 gün	1.41	14,125	19,916	48,330	45,448	106
SRT=23 gün	1.42	11,906	16,788	40,738	45,448	90
ARTIŞ/AZALIŞ						
(SRT=20gün) ARTIŞ/AZALIŞ	0.52	-11,429	-3,457	-8,390	-4,552	-8
(SRT=17gün) ARTIŞ/AZALIŞ	0.51	-10,436	-2,188	-5,310	-4,552	-1
(SRT=23gün) ARTIŞ/AZALIŞ	0.51	-12,655	-5,317	-12,903	-4,552	-18
SAPMA ORANI (%)						
(SRT=20 gün) SAPMA ORANI (%)	58	47	-16	-16	-9	-7
(SRT=17 gün) SAPMA ORANI (%)	57	42	-10	-10	-9	-1
(SRT=23 gün) SAPMA ORANI (%)	57	52	-24	-24	-9	-16

Enerji kazanımı için 2015 yılı tasarım kriterleri olarak; spesifik biyogaz üretim katsayısı $0.90 \text{ m}^3/\text{kg UKM}_{\text{gid}}\cdot\text{gün}$, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 24,561 kg $\text{UKM}/\text{gün}$, toplam biyogaz üretimi $22,104 \text{ m}^3/\text{gün}$, toplam elektrik üretimi $53,641 \text{ kWh}/\text{gün}$, tesisin toplam elektrik tüketimi $50,000 \text{ kWh}/\text{gün}$ ve elektrik geri dönüşüm oranı % 107 olarak projelendirilmiştir.

Çizelge 4.5.10'da görüldüğü gibi; SRT 20 günlük çürütücü için yapılan teorik hesaplamalarda; spesifik biyogaz üretim katsayısı $1.42 \text{ m}^3/\text{kg UKM}_{\text{gid}}\cdot\text{gün}$, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 13,132 kg $\text{UKM}/\text{gün}$, toplam biyogaz üretimi $18,647 \text{ m}^3/\text{gün}$, toplam elektrik üretimi $45,251 \text{ kWh}/\text{gün}$, tesisin toplam elektrik tüketimi

45,448 kWh/gün ve elektrik geri dönüşüm oranı % 100 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5.10'da görüldüğü gibi; SRT 17 günlük çürütücü için yapılan teorik hesaplamalarda; spesifik biyogaz üretim katsayısı $1.41 \text{ m}^3/\text{kg UKM}_{\text{gid.gün}}$, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 14,125 kg UKM/gün, toplam biyogaz üretimi 19,916 $\text{m}^3/\text{gün}$, toplam elektrik üretimi 48,330 kWh/gün, tesisin toplam elektrik tüketimi 45,448 kWh/gün ve elektrik geri dönüşüm oranı % 106 olarak belirlenmiştir.

Yine Çizelge 4.5.10' da görüldüğü gibi SRT 23 günlük çürütücü için yapılan teorik hesaplamalarda; spesifik biyogaz üretim katsayısı $1.41 \text{ m}^3/\text{kg UKM}_{\text{gid.gün}}$, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 11,906 kg UKM/gün, toplam biyogaz üretimi 16,788 $\text{m}^3/\text{gün}$, toplam elektrik üretimi 40,738 kWh/gün, tesisin toplam elektrik tüketimi 45,448 kWh/gün ve elektrik geri dönüşüm oranı % 90 olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması süresince tesiste enerji geri dönüşüm oranı ortalama % 69 olarak gerçekleşmiştir.

Bu çalışma kapsamında; tesiste bulunan 4 adet anaerobik çamur çürütücülerin eş zamanlı olarak aynı SRT'lerde çalıştırılmadığından dolayı, tesisin tamamında farklı SRT için bir değer belirlenememiştir. Ancak referans ve denek çürütücülerin farklı SRT'leri için üretilen biyogaz miktarları kaydedilmiştir. Bu durumda 1 adet çürütücü için; SRT 17 günde 4,756 $\text{m}^3/\text{gün}$, SRT 20 günde 4,661 $\text{m}^3/\text{gün}$ ve SRT 23 günde ise 4,232 $\text{m}^3/\text{gün}$ biyogaz üretimi elde edilmiştir. Bu durumda, en yüksek biyogaz üretiminin tesiste bulunan 4 adet çürütücünün SRT 17 günlük işletme şartlarında çalıştırılması ile elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

4.5.11. Çamur karışım tankı giriş kriterleri

ÇKT giriş parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.11' de verilmiştir.

Çizelge 4.5.11. ÇKT giriş parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Giriş çamuru (kg/gün)	KM (%)	Giriş çamuru (m ³ /gün)
TASARIM	40,175	3.1	1,295
SRT=20 gün	38,265	2.6	1,400
SRT=17 gün	46,342	2.7	1,647
SRT=23 gün	32,787	2.6	1,217
ARTIŞ/AZALIŞ			
(SRT=20 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-1,910	-0.5	105
(SRT=17 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	6,167	-0.4	352
(SRT=23 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-7,388	-0.5	-77
SAPMA ORANI (%)			
(SRT=20 gün) SAPMA ORANI (%)	-5	-17	8
(SRT=17 gün) SAPMA ORANI (%)	15	-14	27
(SRT=23 gün) SAPMA ORANI (%)	-18	-17	-6

Çizelge 4.5.11'de görüldüğü gibi; çamur karışım tankı girişi için 2015 yılı tasarım kriterleri olarak; karışım çamurunun katı madde oranı % 3.1, toplam çamurun kütleli debisi 40,175 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,295 m³/gün olarak tasarlanmıştır.

SRT 20 günlük çürütücü için 240 gün boyunca gerçekleşen değerler; karışım çamurun katı madde oranı % 2.6, toplam çamurun kütleli debisi 38,265 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,400 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

SRT 17 günlük çürütücü için 120 gün boyunca gerçekleşen değerler; karışım çamurun katı madde oranı % 2.7, toplam çamurun kütleli debisi 46,342 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,647 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

Yine Çizelge 4.5.11' de görüldüğü gibi; SRT 23 günlük çürütücü için 120 gün boyunca gerçekleşen değerler; karışım çamurun katı madde oranı % 2.6, toplam çamurun kütleli debisi 32,787 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,217 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

SRT 17 gün senaryosunda daha fazla çamur çürütüldüğünden dolayı çamur karışım tankı girişindeki çamurun debisi de en fazla olmuştur.

4.5.12. Çamur karışım tankı çıkışı-dekantör girişi kriterleri

ÇKT çıkışı-dekantör girişi parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.12' de verilmiştir.

Çizelge 4.5.12. ÇKT çıkışı-dekantör girişi parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Toplam çamur (kg/gün)	KM (%)	Toplam çamur (m ³ /gün)
TASARIM	40,175	3.1	1,295
SRT=20 gün	38,265	2.6	1,400
SRT=17 gün	46,342	2.7	1,647
SRT=23 gün	32,787	2.6	1,217
ARTIŞ/AZALIŞ			
(SRT=20 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-1,910	-0.5	105
(SRT=17 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	6,167	-0.4	352
(SRT=23 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-7,388	-0.5	-77
SAPMA ORANI (%)			
(SRT=20 gün) SAPMA ORANI (%)	-5	-17	8
(SRT=17 gün) SAPMA ORANI (%)	15	-14	27
(SRT=23 gün) SAPMA ORANI (%)	-18	-17	-6

Çizelge 4.5.12' de görüldüğü gibi çamur karışım tankı çıkışı-dekantör girişi için 2015 yılı dizayn kriterleri olarak; karışım çamurun katı madde oranı % 3.1 ve çamurun kütleli debisi 40,175 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,295 m³/gün olarak belirlenmiştir.

İşletme verilerine göre, SRT 20 günlük çürütücü için 240 gün boyunca gerçekleşen değerler; karışım çamurun katı madde oranı % 2.6 ve çamurun kütleli debisi 38,265 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,400 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre, SRT 17 günlük çürütücü için 120 gün boyunca gerçekleşen değerler; karışım çamurun katı madde oranı % 2.7 ve çamurun kütleli debisi 46,342 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,647 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

Yine Çizelge 4.5.12' de görüldüğü gibi SRT 23 günlük çürütücü için 120 gün boyunca gerçekleşen değerler; karışım çamurun KM oranı % 2.6 ve çamurun kütleli debisi 32,787 kg/gün ve hacimsel debisi ise 1,217 m³/gün olarak hesaplanmıştır.

SRT 20 gün için elde edilen verilerin tasarım değerlerinden olan sapma miktarları ve oranları olarak; karışım çamurun KM oranında % 17 azalma, çamurun kütleli debisinde % 5 azalma ve hacimsel debisinde ise % 8 artış gerçekleşmiştir.

SRT 17 gün için elde edilen verilerin tasarım değerlerinden olan sapma miktarları ve oranları olarak; karışım çamurun katı madde oranında % 14 azalma, çamurun kütleli debisinde % 15 ve hacimsel debisinde ise % 27 artış gerçekleşmiştir.

SRT 23 gün için elde edilen verilerin tasarım değerlerinden olan sapma miktarları ve oranları olarak; karışım çamurun KM oranında % 17 azalma, çamurun kütleli debisinde % 18 ve hacimsel debisinde ise % 6 azalma gerçekleşmiştir.

SRT 17 gün senaryosunda daha fazla çamur çürütüldüğünden dolayı çamur karışım tankı çıkışı-dekantör girişindeki çamurun debisi de en fazla olmuştur.

4.5.13. Dekantör kriterleri

Dekantör çıkışı parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.5.13. Dekantör çıkış parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Giriş çamuru (kg/gün)	Giriş çamuru (m ³ /gün)	Çıkış çamur KM (%)	Dekantör çıkış çamuru (m ³ /gün)
TASARIM	40,175	1,295	27	143
SRT=20 gün	38,265	1,400	26	142
SRT=17 gün	46,342	1,647	26	172
SRT=23 gün	32,787	1,217	26	122
ARTIŞ/AZALIŞ				
(SRT=20 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-1,910	105	-1	-1
(SRT=17 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	6,167	352	-1	29
(SRT=23 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-7,388	-77	-1	-21
SAPMA ORANI (%)				
(SRT=20 gün) SAPMA ORANI (%)	-5	8	-4	-1
(SRT=17 gün) SAPMA ORANI (%)	15	27	-4	20
(SRT=23 gün) SAPMA ORANI (%)	-18	-6	-4	-15

AAT’de bulunan dekantörlerin tasarım değerleri Çizelge 4.5.13’de görüldüğü gibi; çamur kekinin KM oranı % 27 ve toplam çamurun kütleli debisi 40,175 kg/gün, susuzlaştırılmış çamurun hacimsel debisi ise 143 m³/gün olarak projelendirilmiştir.

Elde edilen işletme verilerine göre SRT 20 günlük çürütücü için çamur kekinin KM oranı % 26, toplam çamurun kütleli debisi 38,265 kg/gün ve susuzlaştırılmış çamurun hacimsel debisi ise 142 m³/gün olarak belirlenmiştir.

Elde edilen işletme verilerine göre SRT 17 günlük çürütücü için çamur kekinin KM oranı % 26, toplam çamurun kütleli debisi 46,342 kg/gün ve susuzlaştırılmış çamurun hacimsel debisi ise 172 m³/gün olarak belirlenmiştir.

Elde edilen işletme verilerine göre SRT 23 günlük çürütücü için çamur kekinin KM oranı % 26, toplam çamurun kütleli debisi 32,787 kg/gün ve susuzlaştırılmış çamurun hacimsel debisi ise 122 m³/gün olarak belirlenmiştir.

SRT 17 gün senaryosunda daha fazla çamur susuzlaştırıldığından dolayı dekantör çıkışındaki susuzlaştırılmış çamur miktarı da en fazla olmuştur.

Dekantör çıkışındaki çamurda 240 günlük çalışma süresince TKM izlemeleri

yapılmıştır. Çürütülmüş ve susuzlaştırılmış çamurun TKM'si 21,160–33,510 mg/l arasında değişmekte olup, ortalaması 25,888 mg/l olarak tespit edilmiştir. Stabilize çamurun ortalama % KM oranı yaklaşık olarak 26 olarak belirlenmiştir.

4.5.14. Biyogaz üretim kriterleri

Biyogaz üretim parametrelerine ilişkin tasarım ve işletme verileri ile sapma değerleri Çizelge 4.5.14' de verilmiştir.

Çizelge 4.5.14. Biyogaz üretim parametrelerinin değişimi.

SENARYO	Çürütücüye alınabilecek toplam çamur (kg/gün)	Çürütücüye alınabilecek toplam çamur (m ³ /gün)	Toplam UKM _{gid} (kgUKM _{gid} /gün)	Toplam biyogaz üretimi (m ³ /gün)	Spesifik biyogaz üretimi (m ³ /kg UKM _{gid})
TASARIM	64,736	1,295	24,561	22,105	0.90
SRT=20 gün	51,397	1,400	13,132	18,647	1.42
SRT=17 gün	60,467	1,647	14,125	19,916	1.41
SRT=23 gün	44,693	1,217	11,906	16,788	1.41
ARTIŞ/AZALIŞ					
(SRT=20 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-13,339	105	-11,429	-3,457	0.5
(SRT=17 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-4,269	352	-10,436	-2,188	0.5
(SRT=23 gün) ARTIŞ/AZALIŞ	-20,043	-77	-12,655	-5,317	0.5
SAPMA ORANI (%)					
(SRT=20 gün) SAPMA ORANI (%)	-21	8	-47	-16	58
(SRT=17 gün) SAPMA ORANI (%)	-7	27	-42	-9,9	57
(SRT=23 gün) SAPMA ORANI (%)	-31	-6	-52	-24	57

Tesisin tasarım kriterleri Çizelge 4.5.14'de görüldüğü gibi; çürütücüye beslenen çamurun kütsel debisi 64,736 kg/gün, hacimsel debisi 1,295 m³/gün, anaerobik olarak çürütülecek toplam organik madde miktarı 45,315 kg UKM/gün, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 24,561 kg UKM/gün, toplam biyogaz üretimi 22,104 m³/gün, ve spesifik biyogaz üretim katsayısı 0.90 m³/kg UKM_{gid}.gün olacak şekilde projelendirilmiştir.

SRT 20 günlük çürütücü için 240 gün boyunca gerçekleşen değerler; çürütücüye beslenen çamurun kütsel debisi 51,397 kg/gün, hacimsel debisi 1,400 m³/gün, anaerobik olarak çürütülecek toplam organik madde miktarı 37,520 kg UKM/gün,

çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 13,132 kg $UKM/gün$, toplam biyogaz üretimi 18,647 $m^3/gün$, ve spesifik biyogaz üretim katsayısı 1.42 m^3/kg $UKM_{gid}.gün$ olarak hesaplanmıştır.

SRT 17 günlük çürütücü için 120 gün boyunca gerçekleşen değerler; çürütücüye beslenen çamurun kütleli debisi 60,467 kg/gün, hacimsel debisi 1,647 $m^3/gün$, anaerobik olarak çürütülecek toplam organik madde miktarı 44,141 kg $UKM/gün$, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 14,125 kg $UKM/gün$, toplam biyogaz üretimi 19,916 $m^3/gün$, ve spesifik biyogaz üretim katsayısı 1.41 m^3/kg $UKM_{gid}.gün$ olarak hesaplanmıştır.

SRT 23 günlük çürütücü için 120 gün boyunca gerçekleşen değerler; çürütücüye beslenen çamurun kütleli debisi 44,693 kg/gün, hacimsel debisi 1,217 $m^3/gün$, anaerobik olarak çürütülecek toplam organik madde miktarı 32,179 kg $UKM/gün$, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarı 11,906 kg $UKM/gün$, toplam biyogaz üretimi 16,788 $m^3/gün$, ve spesifik biyogaz üretim katsayısı 1.41 m^3/kg $UKM_{gid}.gün$ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen işletme verilerinin SRT 20 gün senaryosu için tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir. Çizelge 4.5.14'de görüldüğü gibi; çürütücüye beslenen çamurun kütleli debisinde % 21 azalma, hacimsel debisinde % 8 artış, anaerobik olarak çürütülecek toplam organik madde miktarında % 17 azalma, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarında % 47 azalma, toplam biyogaz üretiminde % 16 azalma ve spesifik biyogaz üretim katsayısında % 62 artış olduğu görülmüştür.

Elde edilen işletme verilerinin SRT 17 gün senaryosu için tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir. Çizelge 4.5.14'de görüldüğü gibi; çürütücüye beslenen çamurun kütleli debisinde % 7 azalma, hacimsel debisinde % 27 artış, anaerobik olarak çürütülecek toplam organik madde miktarında % 3 azalma, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarında % 42 azalma, toplam biyogaz üretiminde % 10 azalma, ve spesifik biyogaz üretim katsayısında % 57 artış olduğu görülmüştür.

Elde edilen işletme verilerinin SRT 23 gün senaryosu için tasarım değerlerinden sapma miktarları ve oranları belirlenmiştir. Çizelge 4.5.14'de görüldüğü gibi; çürütücüye beslenen çamurun kütleli debisinde % 31 azalma, hacimsel debisinde % 8 azalma, anaerobik olarak çürütülecek toplam organik madde miktarında % 29 azalma, çürütücüde giderilen toplam UKM_{gid} miktarında % 52 azalma, toplam biyogaz

üretiminde % 24 azalma, ve spesifik biyogaz üretim katsayısında % 57 artış olduğu görülmüştür.

Tesisin farklı SRT’lerde çalıştırılması durumunda oluşan biyogaz üretimi ile ilgili parametrelerin değerlendirilmesi neticesinde; SRT 17 günlük işletme senaryosunda tesiste oluşan biyogaz üretim verileri ile 2015 dizayn yılı verileri arasındaki artış ve sapma oranlarının en az olduğu görülmüştür. SRT 17 günlük işletme şartlarında spesifik biyogaz üretim katsayısının dizayn yılı değerinden de yüksek olduğu görülmüştür. Çürütücüde giderilen organik madde miktarı dizayn değerinin çok altında gerçekleşmiştir. Çürütücüye giren çamurun seyreltik olmasından dolayı organik madde giderimi az gerçekleşmiştir. Yeni ilave revizyonlarla çürütücü girişindeki çamurun katı madde miktarının artırılması ile bu giderim oranının istenilen değerlere ulaşacağı ve üretilen biyogazın da dizayn değerinin üzerine çıkacağı söylenebilir. Maksimum oranda çamurun çürütülmesi, en yüksek değerde biyogaz üretilmesi ve tesisin optimum enerji döngüsünü kurmak ve maksimum fayda sağlamak için prosesin 17 günlük SRT ile işletilmesinin uygun olduğu görülmüştür.

4.6. Maliyet Analizi

Maliyet analizinde; SRT 17 gün’de elde edilen biyogazın mali kazancı, farklı SRT’lerde üretilen biyogazın elektrik enerjisi cinsinden parasal değeri, oluşan fazla çamurların mevcut işletme şartlarında ve % 6 KM durumunda çürütülmesi için ilave yatırımların maliyetleri ortaya konularak optimum işletme şartları belirlenmiştir.

4.6.1. İşletme verilerine göre SRT 17 gün (% KM=3,53) için 4 adet çürütücüde oluşabilecek fazla biyogazın maliyeti.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre; en yüksek biyogaz SRT 17 gün ve %KM 3.53 olan işletme şartlarında elde edilmiştir. Tesiste bulunan 4 adet çürütücünün SRT 17 gün ve % KM 3.53 olması durumunda mevcut işletmeye göre (SRT 20 gün ve % KM 3.53) üretilebilecek fazla biyogazın elektrik ve parasal değeri hesaplanarak Çizelge 4.6.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.6.1. Mevcut işletmeye göre SRT 17 gün ve % KM 3.53 şartlarında üretilen fazla biyogazın maliyeti.

SENARYO	Tesisin biyogaz debisi (m ³ /gün)	Teorik elektrik Üretimi (kWh/gün)	Elektrik birim fiyatı (TL/kWh)	Fazla biyogaz (m ³ /gün)	Fazla biyogazın elektrik değeri (kWh/gün)	Maliyet kazancı (TL/gün)
SRT=20 gün	18,647	45,242				
SRT=17 gün	19,024	46,164	0.31	380	922	286

1 USD= 1.98 TL
1 EUR= 2.74 TL

Mevcut işletme durumu olan SRT=20 gün, % KM = 3.53 ve planlanan senaryo olan SRT=17 gün, % KM = 3.53 için 4 adet çürütücünün aynı biyogaz üreteceği kabulüyle hareket ederek tesiste üretilen toplam biyogaz ile ilgili maliyet analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.6.1’de görüldüğü gibi; SRT 20 gün için çürütücülerin toplamında elde edilen ortalama biyogaz debisi 18,644 m³/gün ve SRT 17 gün için çürütücülerin toplamında elde edilen ortalama biyogaz debisi 19,024 m³/gün olması beklenmektedir.

Prosesin SRT 17 gün şartlarında çalıştırılması durumunda toplamda ortalama 380 m³/gün biyogaz daha fazla üretilenektir. Bu biyogazın elektrik enerjisi olarak karşılığı 922 kWh/gün ve parasal değeri ise 286 TL/gün olarak hesaplanmıştır.

Prosesin SRT 17 gün işletme şartlarında çalıştırılması durumunda daha fazla çamur çürütölüp ilave 286 TL/gün ve yıllık bazda ise 104,390 TL/yıl ek kazanç elde edilebilecektir

4.6.2. SRT=17 gün ve % KM=6 işletme şartlarında tesiste oluşan BFÇ'nin bertarafı için ilave yatırım maliyeti

Tesiste oluşan arıtma çamurlarının optimum bertarafı ve enerji kazanımı için ÖÇÇ ve BFÇ'ların ayrı ayrı yoğunlaştırılarak daha fazla KM içerikli çamur halinde çürütmeye tabi tutmak gerekir. Bu senaryo için ilave yoğunlaştırıcı ünite ve ekipmanlarının tesis edilmesi gerekecektir.

Yapılabilecek yatırımlardan biri SRT 17 gün işletme şartlarında çamurun katı madde içeriği yükseltilerek (% KM=6) mevcut ünite ve ekipmanlarla işletmeye devam etmektir. Bunun için mekanik yoğunlaştırıcıların temin edilmesi tasarlanabilir. Oluşan ÖÇÇ'nin tamamı için mevcut graviteli yoğunlaştırıcılar ve ekipmanları, BFÇ için ise ilave temin edilecek olan mekanik yoğunlaştırıcılar ve ekipmanlar kullanılabilir. Bu yatırımın maliyetine ilişkin piyasa araştırması neticesinde elde edilen fiyatların ve kazanılacak ilave enerji maliyetlerinin analizleri Çizelge 4.6.2. ve Çizelge 4.6.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.6.2. SRT=17 gün ve % KM=6 işletme şartlarında BFÇ'nin enerji maliyeti.

SENARYO	BFÇ (kg/gün)	Gerekli % KM	BFÇ (m ³ /gün)	UKM (%)	Anaerobik olarak çürütülecek UKM (kg UKM/gün)	UKM _{gid} (%)	UKM _{gid} (kg UKM/ gün)	Spesifik biyogaz üretimi (m ³ /kg UKMgid- gün)	Biyogaz üretimi (m ³ /gün)	Elektrik üretimi (kWh/gün)	Elektrik birim fiyatı (TL/kWh)	Enerji fayda maliyeti (TL/gün)
SRT=17 gün	30,589	6	490	72	22,024	32	7,048	1.41	9,937	24,114	0.31	7,475

1 USD= 1.98 TL
1 EUR= 2.74 TL

Çizelge 4.6.2’de görüldüğü gibi tesiste oluşan BFÇ’nin kütsel debisi 30,589 kg/gün, % KM= 6 ve hacimsel debisi ise 490 m³/gün olarak beklenmektedir.

SRT 17 gün işletme şartlarında oluşan parametrelerin değerleri baz alınarak yapılan hesaplamalara göre 9,937 m³/gün biyogaz üretilerek, 7,475 TL/gün ilave enerji kazancı beklenmektedir.

Çizelge 4.6.3. BFÇ için ilave yatırım maliyetleri.

SENARYO								
	BFÇ (kg/gün)	Polimer dozlama (kg/ton)	Polimer birim maliyeti (TL/kg)	Polimer maliyeti (TL/gün)	3 adet mekanik yoğunlaştırıcı setinin enerji gideri (TL/gün)	Net kazanç (TL/gün)	3 adet mekanik yoğunlaştırıcı seti maliyeti (TL)	Amörtisman (gün)
SRT=17 gün	30,589	5	7,5	1,147	33.48	6,295	3,610,869	574

1 USD= 1.98 TL
1 EUR= 2.74 TL

Tesiste oluşan BFÇ’nin arıtımı için Çizelge 4.6.3’de görüldüğü gibi; gerekli ilave polimer miktarı 153 kg/gün ve 1,147 TL/gün ve 3 adet mekanik yoğunlaştırıcı setinin enerji maliyeti 33.48 TL/gün gider olarak hesaplanmıştır. Enerji kazancı ile polimer ve enerji giderleri neticesinde ise net kazanç 6,295 TL/gün beklenmektedir.

Çizelge 4.6.3’de görüldüğü gibi; her biri 55 m³/h kapasiteli 3 adet mekanik yoğunlaştırıcı ile ekipmanları ve poli dozlama ünitesi için yapılan piyasa araştırmalarına göre sözkonusu mekanik yoğunlaştırıcı seti için 3,610,869 TL. maliyet belirlenmiştir. Bu durumda ilave mekanik yoğunlaştırıcı setinin ve polimer sarfiyatına ait amörtisman süresi olarak 574 gün hesaplanmış ve yapılacak yatırımın fizibil olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında; Konya AAT'den kaynaklanan arıtma çamurlarının anaerobik şartlarda çürütülerek elde edilen biyogazdan optimum enerji kazancını ve tesisin maksimum performansta çalıştırılması sağlamak için en uygun işletme şartlarının belirlenmesine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu kapsamda; referans çürütücüde SRT 20 gün olacak şekilde 240 gün boyunca ve denek çürütücülerde ise SRT 17 ve 23 gün olacak şekilde 120 gün boyunca gerçek ölçekli proses çalıştırılmış ve gerekli izlemeler yapılmıştır. Prosesi etkileyen parametrelerin ölçüm ve analizleri yapılarak veriler kayıt altına alınmış ve elde edilen bulgular literatür çerçevesinde değerlendirilerek, optimum biyogaz ve enerji eldesi için çeşitli senaryolar irdelenerek, en uygun işletme şartları belirlenmiştir.

Ayrıca, ATV 131 E standartlarına göre dizayn edilen Konya AAT'nin tez çalışması süresince ve son iki yılda gerçekleşen işletme verileri ışığında tesisin performansı değerlendirilerek, dizayn kriterleri ile işletme verileri arasında oluşan sapma miktarları belirlenmiştir.

Tesiste oluşan arıtma çamurlarının dizayn değerlerinin üzerinde olmasından dolayı, oluşan çamurların anaerobik olarak çürütülüp, enerjiye dönüştürülmesi için gerekli işletme senaryoları irdelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

5.1.1. SRT, Biyogaz ve diğer işletme parametrelerine ilişkin sonuçlar

1- Çalışma süresince değişik SRT senaryoları için proste işlem gören çamurların pH değerleri; çürütücüye beslenen çamurda 6.6-6.7 ve çürütülmüş çamurda ise 7.8-7.9 aralıklarında değiştiği ve anaerobik çamur arıtımında genel biyolojik arıtma prensibine uygun değerlerde kaldığı görülmüştür.

Farklı SRT'lerdeki pH değerlerinin istenilen işletme değer aralığında olduğu görülmüştür. Metan bakterileri asetik asit ile H_2 'yi tükettiklerinden dolayı çürütücüde bazik bir ortam olduğundan değişik SRT senaryolarında çürütücü çamurunun pH'ı beslenen çamurun pH'ından yüksek olduğu görülmüştür.

2- ÖÇÇ ve BFÇ'lerin TKM ve UKM oranlarının dizayn değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu parametrelerin, giriş atıksu karakterizasyonu, çamur çökeltme kabiliyeti vb. etkenlere bağlı olarak değişim gösterdikleri görülmüştür.

SRT 17 gün senaryosunda TKM değerleri; beslenen çamurda 32,979 mg/l olarak en düşük ve çürütülmüş çamurda ise 27,295 mg/l olarak en yüksek tespit edilmiştir. SRT'nin arttırılması ile artan % UKM_{gid} oranına göre biyogaz üretimi gerçekleşmemiştir. SRT 23 gün senaryosunda beslenen çamurun TKM, UKM ve UKM_{gid} değerleri en yüksek olmasına rağmen üretilen biyogaz miktarı en az olmuştur. Bu durum, anaerobik çürütmede biyogaz üretim veriminin diğer işletme parametrelerinin etkisinde kaldığı söylenebilir.

3- Çürütücüye beslenen ve çürütücü çıkışındaki çamurların KOİ ve TOC değerlerinin değişimi, giriş atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Buna göre; beslenen çamurda KOİ değerleri 24,570-27,589 mg/l aralığında iken çürütülmüş çamurda 14,422-18,385 mg/l aralığında değişim göstermiştir.

SRT 23 gün senaryosunda beslenen çamurun KOİ değeri en yüksek olmasına rağmen KOI_{gid} değeri (% 33) ve üretilen biyogaz (4,232 m³/gün) en düşük olmuştur. Bu durum, anaerobik çamur çürütme proseslerinde SRT'nin KOİ ve TOC değerlerine etkisinin olmadığı, fakat değişik SRT'lerde üretilen biyogaz miktarına bu parametrelerin giderim oranlarının etkisi olduğu ve KOI_{gid} değeri % 41 ile en yüksek olan SRT 17 gün senaryosunda en yüksek biyogaz üretimi gerçekleştiği görülmüştür.

4- Çürütücüye beslenen ve çürütücü çıkışındaki çamurların TKN ve buna bağlı olarak protein değerlerinin değişimi, giriş atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Hayvancılık faaliyetleri ve kontrolsüz endüstriyel atıksu deşarjları TKN'nin değişiminde etkili olabilir. Beslenen ve çürütülmüş çamurda SRT 17 gün senaryosunda 2,954 mg/l ve 2,998 mg/l olarak tespit edilmiştir.

SRT'nin değiştirilmesinin beslenen çamurun TKN ve protein miktarlarına etkisinin olmadığı görülmüştür.

5- Çürütücüye beslenen ve çürütücü çıkışındaki çamurların alkalinite değerleri, anaerobik çamur arıtımında genel biyolojik arıtma prensibi olarak istenilen değerlerde kaldığı görülmüştür.

SRT 17 gün senaryosunda bu değerler beslenen çamurda 1,142 mg/l ve çürütülmüş çamurda 3,416 mg/l olarak belirlenmiştir.

6- Atıksu karakterizasyonuna bağı olarak, farklı SRT’lerde çürütücüye beslenen çamurdaki UYA değerleri 813-968 mg/l aralığında istenilen değerlerin (1,000-1,500 mg/l) altında olduğu tespit edilmiştir.

OLR’nin en fazla olduğu SRT 17 gün senaryosunda çürütülmüş çamurun UYA değeri 123 mg/l olacak şekilde iyi kalitede çürütülmüş çamur elde edildiği görülmüştür.

Çürütücü içerisindeki biyolojik faaliyetler neticesinde UYA giderim verimine bağı olarak çürütücü çamurunun UYA değerleri, beslenen çamurun UYA değerlerinden düşük olduğu ve çürütücü çamurundaki UYA değerlerinin giderim verimlerine bağı olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür.

SRT’nin arttırılması ile % UYA_{gid} veriminin de arttığı ve SRT 23 gün senaryosunda UYA_{gid} değeri % 87 ile en yüksek olmasına rağmen üretilen biyogaz miktarı en az olmuştur. SRT’nin değiştirilmesi ile UYA değerleri ve UYA_{gid} veriminin değişim gösterdiği, fakat aynı değişimin biyogaz üretim verimine etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

7- Beslenen çamurun debisine ve çürütücü hacmine bağı olarak farklı SRT’ler için OLR değerleri hesaplanmıştır. Anaerobik çürütücüler 17, 20 ve 23 gün SRT’ler için sırasıyla 1.4, 1.2 ve 1.1 kg/gün/m³ OLR değerlerinde çalıştırılmıştır.

8- Beslenen çamurun debisi ile SRT arasında ters bir orantı olduğu, SRT 17 gün senaryosunda beslenen çamurun debisi 17.1 m³/h ve üretilen biyogaz değeri ise 4,756 m³/gün ile en yüksek olduğu görülmüştür.

9- Anaerobik çürütücüler 120’şer günlük ve 240 günlük denemelerde ortalama 38 °C’de çalıştırılmış ve bu işletme süresince ise gün içinde +/- 2 °C’nin altında sıcaklık salınımı olduğu görülmüştür. Farklı SRT’lerde ortalama sıcaklık değerleri aynı olduğundan, bu çalışmada üretilen biyogaz verimine sıcaklığın etkisi olmamıştır.

10- Mezofilik çürütme prosesi sırasında değişik SRT’ler için izlenen UYA/Alkalinite değerleri 17, 20 ve 23 gün için sırasıyla 0.04, 0.04 ve 0.03 olarak istenilen değerlerde (< 0.1) kaldığı ve UYA/Alkalinite açısından sistemlerin iyi çalıştığı görülmüştür.

SRT’nin değiştirilmesi ile elde edilen biyogaz miktarlarına UYA/Alkalinite’nin etkisinin olmadığı söylenebilir.

Biyogaz üretim veriminin en önemli göstergesi olan % UKM_{gid} oranının 17, 20 ve 23 gün için sırasıyla 32, 35, 37 olarak tasarımda öngörülen % 54 değerinin altında kaldığı görülmüştür. Bunun neticesinde; elde edilen biyogaz miktarları da dizayn değerlerin altında olmuştur. Tez çalışması süresince farklı SRT’ler için elde edilen

veriler, anaerobik çamur çürütme proseslerinde "SRT'nin arttırılması ile UKM giderimi de artar" prensibine uyumlu olduğu görülmüştür. Fakat ortalama % UKM_{gid} oranına karşılık biyogaz üretimi artmamış ve SRT 17 gün için en yüksek biyogaz verimi elde edilmiştir. Elde edilen UKM_{gid} oranlarının istenilen değerlerde olmaması, beslenen çamurun % KM'sinin düşük olması, çamurun seyreltik olması ve aynı karakterizasyonlu çamur için OLR'nin arttırılması ile açıklanabilir. Ayrıca, çamurun içindeki organik maddenin biyogaza dönüşüm kapasitesine bakıldığı zaman, UKM'nin biyogaza dönüşümü tamamlandıktan sonra SRT'nin arttırılması ile biyogaz üretiminin artmadığı görülmüştür. SRT 23 gün senaryosunda en yüksek UKM_{gid} oranına ulaşılmasına rağmen en düşük biyogaz değeri elde edilmiştir.

Değişik SRT'lerde beslenen çamurun KOI değerine bağlı olarak % KOI_{gid} değerleri sistemde 33-41 aralığında değişim göstermiştir. % TOC_{gid} oranları ise atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak farklılıklar göstermiştir.

11- SRT 17, 20 ve 23 gün senaryoları için % UYA_{gid} oranları sırasıyla 86, 83 ve 87 olarak elde edilmiştir. Bu giderim oranları neticesinde çürütülmüş çamurdaki UYA değerleri, iyi kalitede çürütülmüş çamur elde edildiğini göstermektedir. Beslenen çamurdaki UYA'nın çürütücü içerisindeki metanojen bakterilerine herhangi bir zehirlilik etkisi oluşturmadığından dolayı UYA giderimleri de yüksek oranlarda olmuştur.

12- Tez çalışması süresince referans çürütücüde 240 günde $1,118,526 m^3$ biyogaz üretilmişken, denek çürütücülerde ise 120'şer günde SRT 17 ve 23 gün için sırasıyla $570,734$ ve $507,857 m^3$ biyogaz üretilmiştir. Buna göre, birçok parametrenin etkisi altında SRT 17, 20 ve 23 gün işletme şartları için üretilen ortalama biyogaz değerleri sırasıyla $4,756$, $4,661$ ve $4,232 m^3/gün$ olarak gerçekleşmiştir. SRT 17 ve 20 gün işletme senaryoları arasındaki ortalama biyogaz farkı 1 adet çürütücü için $95 m^3/gün$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre, en yüksek biyogaz veriminin elde edildiği SRT 17 gün işletme şartlarının Konya AAT için optimum işletme senaryosu olduğu belirlenmiştir.

SRT 17, 20 ve 23 gün için üretilen biyogazın içerisindeki % CH_4 oranları sırasıyla 67, 68 ve 69 olduğu ve anaerobik çamur arıtımında genel biyolojik arıtma prensibi olarak istenilen değerlerde (% 60-70) kaldığı görülmüştür.

13- Değişik SRT'lerde üretilen biyogazın içerisindeki % CO_2 oranları anaerobik çamur arıtımında genel biyolojik arıtma prensibi olarak istenilen değerlerde (% 15-35) kaldığı görülmüştür. % CO_2 çürütücü içindeki alkaliniteyi tüketirse çürütülmüş çamurun

alkalinitesi istenilen değerlerin altında olur. Fakat çalışma süresince böyle bir sorun ile karşılaşılmamıştır. Tez çalışması süresince SRT 23 gün senaryosunda % CO₂ oranı 30 ile en düşük değer tespit edilmiştir.

14- Konya AAT’de bulunan biyolojik desülfürizasyon ünitesi çıkışında H₂S miktarlarının 0-120 ppm aralığında olduğu ve istenilen değerin (< 400 ppm) sağlandığı görülmüştür.

15- Değişik SRT’lerde üretilen biyogaz verimine ilişkin CH₄/KOI_{gid} için 0.74-1.05 m³/kg aralığında değerler elde edilmiştir.

16- Değişik SRT’lerde üretilen biyogaz verimine ilişkin Biyogaz/UKM_{gid} oranı 1.41-1.42 m³/kg olarak anaerobik çamur arıtımında istenilen değerlerin (0.75-1.12 m³/kg) üzerinde kaldığı görülmüştür.

5.1.2. Tesisin ünite bazında performansının değerlendirilmesine ait sonuçlar

1- Giriş atıksu parametreleri: Elde edilen verilere göre; giriş atıksuyunda AKM, KOİ, BOİ, TN konsantrasyonlarının ve AKM, BOİ ve TN kirlilik yüklerinin dizayn değerlerinin üstünde olduğu ve giriş atıksu debisi, KOİ yükü, TP konsantrasyonu ve yükünün henüz tasarım değerlerine ulaşmadığı görülmüştür.

2- Debi ölçüm kanalı- ön çökeltme havuzu girişi: Elde edilen verilere göre giriş atıksuyunda AKM, KOİ, BOİ, TN konsantrasyonlarının ve AKM, BOİ ve TN kirlilik yüklerinin dizayn değerlerinin üstünde olduğu görülmüştür. Süzüntü ve toplam atıksu debileri ile TP yükünün henüz tasarım değerlerine ulaşmadığı ve TP konsantrasyonun ise dizayn değeri ile aynı olduğu görülmüştür.

3- Ön çökeltme havuzu: Bu üniteadaki AKM, KOİ, BOİ ve TN ve TP giderim oranlarının dizayn değerlerinin üstünde olduğu ve buna bağlı olarak da ön çökeltme havuzunda giderilen organik madde miktarının da fazla olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre; ön çökeltme havuzuna giren kirlilik konsantrasyon ve yükleri ile oluşan ön çökeltme çamuru ve ünite performansının tasarım değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür.

4- Ön çökeltme havuzu çıkışı-havalandırma havuzu girişi: Elde edilen verilere göre; havalandırma havuzu girişindeki AKM, KOİ, BOİ, TN konsantrasyon ve kirlilik yüklerinin dizayn değerlerinin üstünde olduğu, TP konsantrasyon ve kirlilik yükünün henüz dizayn değerlerine ulaşmadığı görülmüştür. Mevcut durumda yer almayan TP giderim ünitesinin II. Kademedeki projelendirilmesi ile havalandırma havuzu girişinde TP’nin istenilen değerlerde olacağı beklenmektedir.

Ön çökeltme çamurunun kütleli debisinin tasarım değeriinden yüksek olduğu, fakat çamurun % KM oranının dizayn değeriinden yüksek olmasından dolayı oluşan primer çamurun hacimsel debisinin tasarım değeriinden düşük olduğu görölmüştür. Ön çökeltme havuzunun hidrolik kapasitesi mevcut atıksu debisini karşılayacak durumda olduğu görölmüştür.

5- Havalandırma havuzu: Çamur yaşı 11.2 gün olacak şekilde dizayn edilen havalandırma havuzu ortalama 10.3 gün çamur yaşında çalıştırılmıştır. Sistemde öngörölen MLSS değeri 3,780 mg/l iken 4,488 mg/l olarak gerçekteşmiştir. Buna karşılık tasarımda öngörölen 0.15 kg/kg.gün F/M oranına çok yakın olarak 0.14 değeriinde işletildiği görölmüştür.

6- Son çökeltme havuzu: Elde edilen verilere göre; son çökeltme havuzu için belirlenen dizayn değeriinde tesisin işletilmesinde hidrolik açıdan herhangi bir problem görünmemektedir.

Tasarımda biyolojik fazla çamurun % KM oranı 0.88 öngörölmüşken, işletmede bu değeri 1.06 olarak gerçekteşmiştir. Çamurun KM muhtevasının yüksek olması ünite performansının iyi olduğunun göstergesidir.

7- Çamur yoğunlaştırıcı girişi: Çamur yoğunlaştırıcı ünitesine giren toplam çamurun kütleli debisinin tasarım değeriinden yüksek, fakat karışım çamurunun % KM oranının tasarım değeriinden yüksek olmasından dolayı oluşan toplam çamurun hacimsel debisidizayn değeriinden düşük olmuştur.

8- Çamur yoğunlaştırıcı çıkışı-çürütücü girişi: Çamur yoğunlaştırıcısının girişi ve çıkışındaki çamur kütleli debisi değışmemektedir. Fakat çamurun % KM oranındaki değışiklikten dolayı çamurun hacimsel debisinde girişi ve çıkış değeriinde farklılıklar görölmektedir.

Yoğunlaştırıcı çıkışındaki çamurun hacimsel debisi ve hidrolik bekletme süresinin tasarım değeriinden yüksek olduğu, fakat karışım çamurunun % KM oranının düşük olmasından dolayı oluşan toplam çamurun hacimsel debisinin tasarım değeriinden yüksek olduğu görölmüştür.

Tasarımda yoğunlaştırıcı çıkışındaki karışım çamurunun KM oranı %5 olarak öngörölmüşken, tez çalışması süresince KM oranı ortalama % 3.53 olarak gerçekteştiği görölmüştür.

Ayrı çökelme kabiliyetine sahip birincil ve ikincil çamurun birleştirilerek yoğunlaştırıcı tanklarına verilmesinden dolayı, ünite performansı tasarım değeriinde altında kaldığı görölmüştür.

9- Anaerobik çamur çürütücü: Anaerobik çürütücünün değişik SRT’lerde çalıştırılması neticesinde; SRT 17 günlük işletme senaryosunda tesiste oluşan çamurun maksimum oranda çürütüldüğü ve enerji geri dönüşümüne de en büyük katkının sağlandığı görülmüştür.

Mevcut çamur arıtım ünitelerinin kapasiteleri ile oluşan çamurun anaerobik çürütülerek enerji elde edilmesi için alternatif çözümler irdelenmelidir.

Mevcut çürütücü kapasitesi kullanarak oluşan çamurun SRT 17 günlük simülasyonda değerlendirmek için yoğunlaştırıcı çıkışındaki çamurun ortalama % KM oranını artırmak gerekmektedir. Bu durumda çürütücüye girecek çamurun hacimsel debisi azalacağından çamurun tamamı mevcut çürütücülerle anaerobik olarak çürütülebilecektir.

Tesiste 20 günlük SRT değerinde 37,520 kgUKM/gün çamur çürütülebilirken, 17 günlük SRT’de ise 44,141 kgUKM/gün çamur çürütülebilmektedir. Bu durum, SRT 17 günlük senaryosunda üretilebilecek enerjinin maksimum olması anlamına gelmektedir.

Organik madde giderimleri incelendiğinde 17 günlük SRT’de % 32 UKM giderilirken 20 günde % 35 giderilebilmektedir. SRT 17gün için % UKM_{gid} oranının düşük olmasının sebebi, çürütücüye giren çamurun % KM oranının düşük olmasından (seyretilik çamur) kaynaklandığı söylenebilir. Bu işletme şartlarında % KM oranının yükselmesi ve elde edilecek enerjinin de optimum değerlere ulaşması beklenmektedir.

10- Enerji parametreleri: Tesisin farklı SRT’lerde çalıştırılması durumunda oluşan enerji ile ilgili parametrelerin değerlendirilmesi neticesinde; SRT 17 günlük işletme senaryosunda tesiste oluşan enerji verileri ile tasarım verileri arasındaki artış ve sapma oranlarının en az olduğu görülmüştür. Proje dizaynında tesiste 53,641 kWh/gün elektrik üretilmesi beklenirken, SRT 20 günde 45,251 kWh/gün elektrik üretilebilirken, SRT 17 günde ise en yüksek değer olarak 48,330 kWh/gün elektrik üretilebilmektedir.

11- Dekantör kriterleri: Dekantör çıkışındaki çamurun ortalama % KM oranı 26 olarak belirlenmiştir. Bu oran dizayn değeri olan % 27’nin altında gerçekleşmiştir. Çürütücüye beslenen çamurun % KM oranı istenilen değerin altında olmasından dolayı çürütücü çıkışından dekantöre beslenen çamurun da % KM oranı düşüktür.

SRT 20 gün işletme şartlarında dekantörden 142 m³/gün çamur % 26 KM muhtevasında uzaklaştırılırken, SRT 17 gün senaryosunda ise 172 m³/gün çamur bertaraf edilebilmektedir.

12- Arıtılmış atıksu parametreleri: Elde edilen verilere göre; arıtılmış atıksuyun pH, AKM, KOİ ve BOİ konsantrasyonları deşarj limitlerini sağlamaktadır. AKM_{gid} , $KOİ_{gid}$ ve $BOİ_{gid}$ verimleri de dizayn değerlerinden fazla bir sapma göstermeden gerçekleşmiştir.

İlk kademedeki kısmi azot giderimi planlanmış, fakat fosfor giderim ünitesi dizayn edilmemiştir. Konya AAT'de arıtılmış atıksular sulama suyu olarak kullanılması hedeflendiğinden, tam azot ve fosfor giderimi II. Kademe için planlanmıştır.

Konya AAT'de arıtılmış atıksuyun 2 saatlik kompozit numuneleri için deşarj limitleri; $pH=6-9$, $AKM < 40 \text{ mg/l}$, $BOİ_5 < 40 \text{ mg/l}$ ve $KOİ < 120 \text{ mg/l}$ 'dir (SKKY, 2008).

Tesis çıkış suyunda pH, AKM, $BOİ_5$ ve KOİ parametrelerin deşarj limitlerini sağladığı ve atıksu arıtım parametreleri açısından tesisin iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

13- Biyogaz üretimi: Anaerobik çürütücülerin farklı SRT'lerde çalıştırılması durumunda oluşan biyogaz üretimi ile ilgili parametrelerin değerlendirilmesi neticesinde; SRT 17 günlük işletme senaryosunda tesiste oluşan biyogaz üretim verileri ile tasarım verileri arasındaki artış ve sapma oranları olarak en az olduğu görülmüştür.

Elde edilen verilere göre SRT 17 gün için denek çürütücüde üretilen biyogaz ile SRT 20 için referans çürütücüde üretilen biyogaz arasında 1 adet çürütücü için $95 \text{ m}^3/\text{gün}$ olmak üzere SRT 17 gün işletme senaryosunda daha fazla biyogaz üretilmiştir.

5.1.3. Maliyet analizine ait sonuçlar

Tez çalışmasında elde edilen bulgular ışığında, tesiste oluşan arıtma çamurlarından optimum enerji elde etmek ve tesisin maksimum performansla işletilmesini sağlamak için yapılması gereken işletme operasyonlarının maliyet analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda;

1- Mevcut ünite ve ekipmanların kapasiteleri kullanılarak, ilave bir yatırım yapmadan oluşan fazla çamurdan optimum enerji üretimi yapmak için proses SRT 17 gün işletme şartlarına göre çalıştırılmalıdır. Bu durumda; tesiste bulunan 4 adet çürütücünün SRT 17 gün ve KM % 3.5 işletme şartlarında çalıştırılması ile $380 \text{ m}^3/\text{gün}$ ilave biyogaz üretilerek, yaklaşık 286 TL/gün ve yıllık bazda da yaklaşık $104,390 \text{ TL/gün}$ daha ilave enerji maliyet kazancı beklenmektedir.

2- Tesiste oluşan çamurların bertarafı için ÖÇÇ ile BFÇ ayrı ayrı yoğunlaştırılarak çürütülmesi optimum çözüm olacaktır. Bu durumda ÖÇÇ mevcut graviteli ÇY ünitelerinde yoğunlaştırılması ve BFÇ için ise ilave mekanik yoğunlaştırıcı ve ekipmanlarına ihtiyaç duyulacaktır. İlave çürütücü ve diğer ünite yatırımı yapmak, bu aşamada fizibil görülmemektedir. Ancak II. Kademenin projelendirilmesinde bu hususun dikkate alınması daha optimum bir çözüm olacaktır.

3- BFÇ için tesis edilmesi öngörülen mekanik yoğunlaştırıcı çıkışındaki çamurun % 6 KM muhtevasına getirilmesi beklenmektedir. Tesiste oluşan yaklaşık 30,589 kg/gün ve KM % 6 BFÇ'den SRT 17 gün işletme şartlarında yaklaşık 9,937 m³/gün biyogaz üretilmesi ile birlikte yaklaşık 7,475 TL/gün ilave enerji maliyet kazancı beklenmektedir

4- BFÇ'nin % 6 KM muhtevasında ve SRT 17 gün işletme şartlarında bertarafı için kullanılacak ilave polimer ve enerji maliyetleri toplamı 1,180,48 TL/gün olarak hesaplanmıştır.

BFÇ'lerin % 6 KM muhtevası ve SRT 17 gün işletme şartlarında çürütülmesi durumunda, net 6,295 TL/gün ilave kazanç beklenmektedir.

5- BFÇ'lerin % 6 KM muhtevasına getirebilmek için gereken mekanik yoğunlaştırıcılar ve ekipmanları ile polimer ünitesinin maliyeti ise yaklaşık 3,610,869 TL'dir. Bu durumda ilave yatırımın kendini amörti etme süresi ise 574 gün olarak hesaplanmıştır.

5.2. Öneriler

AAT'ler için önemli bir sorun olan arıtma çamurlarının arıtımı için değişik metotlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle arıtma çamurlarının anaerobik şartlarda çürütülerek optimum enerji üretimine ilişkin bilimsel çalışmalar artmıştır.

Bu tez çalışması, gerçek ölçekli Konya kentsel AAT'de prosesi etkileyen parametrelerin izlenmesi mevcut şartlarda gerçekleştirilmiştir. Tesiste oluşan arıtma çamurlarından optimum enerji elde edebilmek ve işletme şartlarını belirlemek için çürütücüler farklı SRT'lerde işletilerek elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, ATV 131 E standartlarına göre dizayn edilen Konya kentsel AAT' nin tez süresince elde edilen sonuçları ışığında, optimum atıksu, çamur arıtımı ve enerji üretimi için belirlenen şartlarda tesisin işletilmesi amacıyla yapılması gereken işletme operasyonları ve ilave yatırımlar hususundaki öneriler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1-Giriş atıksu kirlilik parametrelerinden AKM, KOİ, BOİ, ve TN konsantrasyonları dizayn ve istenilen değerlerden yüksektir. Bu durumda tesiste oluşan çamur miktarı artmakta ve atıksu deşarj limitlerini yakalamak için daha fazla enerji tüketilmesi gerekmektedir. Tesisin optimum performansta çalıştırılması için kirlilik konsantrasyon ve yüklerinin kontrol altına alınması gerekir. Bunun için öncelikle endüstriyel atıksu deşarjlarının etkili uygulamalarla kontrol altına alınması ve birleşik sistem olan kanalizasyon şebekesinin kademeli olarak yağmur suyunu ayıracak şekilde ayırık sisteme geçilmesi planlanmalıdır.

2- Dört (4) kademeli Bardenpho prosesi olarak tasarlanan Konya AAT'de kısmi nitrifikasyon öngörülmüş, fosfor giderimi ise II. Kademedede yapılmak üzere tasarlanmıştır. İlave bir yatırıma gerek kalmaksızın mevcut ünite ve ekipman kapasiteleri ile kısmi azot giderimi yapılacak şekilde işletmeye devam edilerek, havalandırma havuzu girişindeki TN ve BOİ değerleri vekısmi azot giderim verimi izlenmelidir.

3-Mevcut debi (164,142 m³/gün) dizayn debisinden (200,000 m³/gün) düşük olduğu için tesisin hidrolik kapasitesi yeterli görünmektedir. Bu durumda, ilave ünite ve ekipman yatırımına ihtiyaç olmadığı görülmektedir.

4- Yapılacak işletme operasyonlarıyla kısmi azot giderim verimi ve havalandırma havuzundaki işletme parametreleri takip edilmelidir. Sistemden daha fazla çamur atmak ve daha fazla enerji geri dönüşümü kazanmak için çürütücülerin SRT 17 gün senaryosuna göre işletilerek gerekli parametreler izlenmelidir. Bu operasyonla sistemde çamur kütle dengesi kurulacağından dolayı dönen akımlardan kirlilik yükleri, çamur çökmesi ve oluşan çamur karakterizasyonunda iyileşmeler beklenebilir.

5-Çürütücüye giren çamurun seyreltik olmasından dolayı organik madde giderimi az gerçekleşmiştir.Yapılacak işletme operasyonlarıyla çürütücü girişindeki çamurun katı madde miktarının arttırılması ile bu giderim oranının istenilen değerlere ulaşacağı ve üretilen biyogazın da dizayn değerinin üzerine çıkılacağı beklenebilir. Maksimum oranda çamurun çürütülmesi, en yüksek değerde biyogaz üretilmesi ve tesisin optimum enerji döngüsünü kurmak için çürütücüye beslenen çamurun % KM oranının artırılması gerekir.

6- Yoğunlaşmış çamurun KM oranı (% 3.53) dizayn değerinin (% altında olduğu için oluşan çamurun hacimsel debisi yüksektir. SRT 17 gün işletme durumuna göre yoğunlaştırıcı çıkışında çamurun % KM oranı izlenerek, artış veya azalışlar kaydedilmelidir. Bu durumda belli süre işletme yapılarak sistemdeki çamur miktarı

izlenmelidir. Eğer sistemde çamur dengesi oluşuyor, çamurun % KM oranı artıyor ve yoğunlaştırıcı çıkışındaki çamurun tamamı mevcut çürütücülere alınabiliyorsa ilave bir yatırıma gerek kalmadan prosesin bu işletme şartlarında çalıştırılmasına devam edilmelidir. Eğer bu işletme şartlarında çamurun % KM oranı artmıyor ve yoğunlaştırıcı çıkışındaki toplam çamur mevcut çürütücülere beslenemiyorsa, mevcut çürütücü hacimleri kullanılarak toplam çamuru bertaraf etmek için çamurun % KM oranı arttırmak gerekecektir. Bunun için ÖÇÇ için mevcut graviteli yoğunlaştırıcılar ve BFÇ için ise mekanik yoğunlaştırıcılar irdelenmelidir.

7- Tez çalışması neticesinde; anaerobik çamur çürütücülerin optimum işletme şartları SRT 17 gün için oluşmuştur. Daha fazla enerji geri kazanımı elde etmek için prosesin SRT 17 gün işletme şartlarında çalıştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- AATTUT, (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği), 2010, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, R.G: 27527, Ankara.
- Ahring, B.K., 1994, Status on science and application of thermophilic anaerobic digestion, *Water Science and Technology*, 30 (12), 241-249.
- Alpaslan, N., 2004, Atıksu arıtma tesislerinin tasarım esasları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, İzmir.
- Alvarez, M.J., 2003, Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes, *Iwa Publishing*, U.K.
- Anderson, G. H. and Yang, G., 1992, Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration, *Water Environment Research*, 64 (1), 53-59.
- Anonymous, 1980, Energy from biological processes: Volume II-Technical and environmental analyses.
- Anonymous, 1999, Biogas digest volume I- Biogas basics, information and advisory service on appropriate technology.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. and Dewi, R., 2008, Principles and potential of anaerobic digestion of waste-activated sludge, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 755-781.
- Arceivala, S.J., 2002, Wastewater treatment for pollution control (Çevre kirliliği kontrolünde atıksu arıtımı), Balman V., Balman, A.H., New Delhi.
- Arıkan Y., 2004, Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi kapsamında ulusal ve uluslar arası alanda yaşanan gelişmeler, 5. *Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, 8-11.
- Balku, Ş., 2007, Enerji, çevre ve rüzgar türbinleri, *Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı*, 351-355.
- Bolzonella, D., Pavan, P., Battistoni P. and Cecchi, F., 2005, Mesophilic anaerobic digestion of activated sludge: influence of solid retention time in the wastewater treatment process, *Process Biochemistry*, 40, 1453-1460.
- Chen, Y., Fu, B., Wang, Y., Jiang, Q. and Liu, H., 2012, Reactor performance and bacterial pathogen removal in response to sludge retention time in a mesophilic anaerobic digester sewage sludge, *Bioresource Technology*, 106, 2012-2026.

- Chynoweth, D.P. and Isaacson, R., 1987, Anaerobic digestion of biomass, *Springer; 1 edition*, 282.
- Çokgör, E.U. ve Filibeli, A., Sanin, F.D., Erdinçler, A., Insel, G., Ayol, A., İmamoğlu, İ., Alagöz, A., Arıkan, O., Büyükkamacı, N., Sever, A., Ersöz, E. ve Gençsoy, E.B., 2012, Evsel/Kentsel atıksu arıtma tesislerinde çamur üretim potansiyeli: mevcut durum, *4.Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi (UKAY)*, 22-25.
- Çokgör, E.U., Mantaş, E.P., Taş, D.O., Insel, G., Aydın, E., Ölmez, T. ve Görgün, E., 2009, Biyolojik arıtma çamurların anaerobik stabilizasyonunun değerlendirilmesi, *II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu*, 89-95.
- Debik, E., Manav, N. ve Coşkun, T., 2008, Biyolojik temel işlemler ders notları, İstanbul.
- Demirci Y. ve Saatçi, Y., 2003, Bir anaerobik çamur çürütme sisteminde çeşitli yük parametrelerinin sistem verimine etkileri, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (3), 337-348.
- Duan, N., Dong, B., Wu, B. and Dai, X., 2012, High-solid anaerobic digestion of sewage sludge under mesophilic conditions: Feasibility study, *Bioresource Technology*, 104, 150-156.
- Dumlu, L., Günerhan, Ü., Kökdemir, E., Perendeci, A. ve Yılmaz, V., 2011, Organik atıkların biyogaz potansiyelinin belirlenmesinde biyokimyasal metan potansiyeli testinin rolü, *9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, 109-115.
- Eastman, J.A. and Ferguson, J.F., 1981, Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 53 (3), 352 - 366.
- Erden, G. ve Filibeli, A., 2009, Kentsel nitelikli arıtma çamurlarının ultrasonik yöntemle ön arıtımı, *II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu*, 195-204.
- Erdinç E. ve Kroiss, H., 2009, Viyana’ da ASAT çamurlarının yakmanın ekonomisi ve ekolojisi, *II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu*, 293-300.
- Ferry, J. G., 1993, Methanogenesis; ecology, physiology, biochemistry and genetics, New York.
- Filibeli, A. ve Kaynak, E. G., 2006, Anaerobik çamur çürütücü miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler, *İTÜ Dergisi Seri E: Su Kirlenmesi Kontrolü*, 16 (1-3):3-12.
- Filibeli, A., 2005, Arıtma çamurlarının işlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir.

- Francioso, O., Estrada, R.T.M., Montecchio, D., Salomoni, C., Caputo, A., and Palenzona, D., 2010, Chemical characterization of municipal wastewater sludges produced by two-phase anaerobic digestion for biogas production, *Journal of Hazardous Materials*, 175, 740-746.
- Gavala, H.N., Yenal, U., Skiadas, I.V., Westermann, P. and Ahring, B.K., 2003, Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge: effect of pre-treatment at elevated temperature, *Water Research*, 37, 4561 - 4572.
- Halisdemir B., 2009, Aktif çamur ve portakal posasının biyogaz üretim verimleri ve bazı ön işlemlerin biyogaz üretim verimine etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- İlkiliç, C. ve Deviren, H., 2011, Biyogazın oluşumunu etkileyen fiziksel ve kimyasal parametreler, 6th *International Advanced Technologies Symposium (IATS'II)*, 123-131.
- KAATLEK, (Konya atıksu arıtma tesisi laboratuvarı el kitabı), 2009, *Sistem Yapı İnş. San. ve Tic. A.Ş.*, Konya.
- KAATPR, (Konya atıksu arıtma tesisi proje raporu), 2005, *Sistem Yapı İnş. Tic. ve San. A.Ş.*, Konya.
- Karayılmazlar, S. ve Saraçoğlu, N., Çabuk, Y. ve Kurt, R., 2011, Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (19), 63-75.
- Kelessidis, A., and Stasinakis, S.A., 2012, Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries, *Waste Management*, 32, 1186-1195.
- Klein, J., 2002, Anaerobic wastewater treatment-the anaerobic digestion of lipids, *Tampere University of Technology, Department of Environmental Engineering*.
- Kocasoy, G., 2009, Farklı ülkelerde atıksu anaerobik çamur çürütücü uygulamaları, II. *Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu*, 1-15.
- Küçükhemek, M., Gün, Ö. ve Demir, A., 2007, Bölgesel yenilenebilir enerji üretim tesisleri olarak anaerobik çürütücüler: Konya kenti örneği, *Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı*, 357-362.
- Lee, S., and Rittmann, B.E., 2011, Effect of low retention time and focused pulsed pre-treatment on anaerobic digestion of waste activated sludge, *Bioresource Technology*, 102, 2542-2548.

- Lee, S., Parameswaran, P. and Rittmann, B.E, 2011, Effects of solids retention time on methanogenesis in anaerobic digestion of thickened mixed sludge, *Bioresource Technology*, 102, 10266-10272.
- Lusk, P. and Moser, M., 1996, Anaerobic Digestion; Yesterday, today and tomorrow, *Ninth European Bioenergy Conference*, 284-289.
- Machaim, U. and Criden, J., 1981, Resource and development in the utilization of agricultural waste in Israel for energy, Florida.
- Metcalf ve Eddy, 2003, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, McGraw-Hill inc, New York.
- Muslu Y., 2001, Göl ve haznelerde su kalitesi yönetimi, İstanbul.
- Mutlu, S. F., 2003, Biyogazın kırsal kesimde kullanımı ve tasarım temelleri, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 27, 39-41.
- Müller J. A., Winter A., Strünkmann G., 2004, Investigation and assessment of sludge pretreatment processes, *Water Science and Technology*, 49 (10), 97-104.
- Nges, A.I. and Liu, J., 2010, Effects of solids retention time on anaerobic digestion of dewatered-sewage sludge in mesophilic and thermophilic conditions, *Renewable Energy*, 35, 2200-2206.
- Oles, J., 1995, Arıtma tesislerinde makine aksam ve teknik donanımlar, *Su ve Atıksular Ekonomisi Sempozyumu Kongresi*, VIII (1-21).
- Örücü, A.Y. ve Alp, K., 2007, İklim değişikliği sürecinde yenilenebilir enerji kaynakları, *Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı*, 333-341.
- Özbay M., 2006, Katı atık yönetiminde mühendislik sistemleri, Ankara.
- Özcan, M., Öztürk, S., Yıldırım, M., 2011, Türkiye'nin farklı kaynak tiplerine göre biyogaz potansiyellerinin belirlenmesi, *VII. Enerji verimliliği ve kalitesi Sempozyumu (EVK'2011)*, 243-247.
- Öztürk, İ., 1999, Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları, İstanbul.
- Öztürk, İ., 2007, Anaerobik arıtma ve uygulamaları, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul.
- Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U., 2005, Atıksu arıtımının esasları, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Rajeshwari, K.V., Balakrishnan, M., Kansal, A., Lata, K. and Kishore, V.V.N., 2000, State-of-Art of Anaerobic Digestion Technology for Industrial Wastewater Treatment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 135-156.

- Ram, M.S., Singh, L., Suryanar, M.V.S. and Alam, S.I., 2000, Effect of iron, nickel and cobalt on bacterial activity and dynamics during anaerobic oxidation of organic matter, *Water, Air, and Soil Pollution*, 117, 305-312.
- Rittmann, B.E. and McCarty, P.L., 2001, Environmental biotechnology principles and applications, *McGraw-Hill inc. New York*.
- Saraçoğlu, N., 2010, Küresel iklim değişimi, biyoenerji ve enerji ormancılığı, Ankara.
- Schmidt, J.E., Mladenovska, Z., Lange, M. and Ahring, B.K., 2000, Acetate Conversion in Anaerobic Biogas Reactors: Traditional and molecular tools for studying this important group of anaerobic microorganisms, *Biodegradation*, 11, 359-364.
- Schober, G., Schafer, J., Schmid, U. and Trosch, U., 1999, One and two-stage digestion of solid organic waste. *Water Research*, 33, 854-860.
- SKKY, (Su kirliliği kontrolü yönetmeliği), 2008, *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara*.
- Sohtaoğlu, N.H. ve Papur, D., 2009, Biyokütle ve atıkların küresel enerji dengesindeki rolü, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 208-214.
- Sosnowski, P., Smolka, K.A., Kaczorek, K. and Ledakowicz, S., 2008, Kinetic investigations of methane co-fermentation of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes, *Bioresource Technology*, 99, 5731-5737.
- Speece, R.E., 1996, Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters, *Archae Press*.
- Şahinkaya, S., 2011, Ultrasonik (US) ön işlemin anaerobik çamur çürütme reaktörünün verimliliğine etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.
- Şerit, G., Yiğit, K.S., Gündüz, M., Şengün R.B. ve Toraman, A., 2010, İki fazlı biyogaz üretim tesislerinde gaz üretimine etki eden parametreler, *3.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 232-237.
- Tong, X. and McCarty, P.L., 1991, Microbial hydrolysis of lignocellulosic materials. In: R. Isaacson, Editor, Methane from community wastes, *Elsevier Applied Science*, 61 - 100.
- Topacık, D., 1987, Atıksu arıtma tesisleri işletilmesi, *İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi.Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul*.
- Topacık, D., 2000, Atıksu arıtma tesisleri işletme el kitabı, *İSKİ Genel Müdürlüğü Yayınları, İstanbul*.
- Türker, M., 2008, Anaerobik biyoteknoloji ve biyogaz üretimi dünyada ve Türkiye’de eğilimler, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES’2008)*, 305-312.

- Uslu, G. ve Koçer (Nacar), N., 1998, Organik atıklardan biyogaz üretimi ve kullanım alanları, *1. Atıksu Sempozyumu*, 115-118.
- Van Die, P., 1987, An Assessement of Agriculture Canada's Anaerobic Digestion Program, Agriculture Canada Research Branch, Engineering and Statistical Research Centre, *Report*, 1-933.
- Yasui, H. and Shiba, M., 1994, An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process, *Water Science and Technology*, 30 (9), 11-20.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serdar KOYUNCU
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Sinanlı-15.05.1975
Telefon : 0-538-671 48 10
Faks : 0-332-235 46 34
e-mail : serdar.koyuncu@koski.gov.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Polatlı Lisesi / Polatlı / ANKARA	1992
Üniversite	: Ondokuz Mayıs Ün. Çevre Müh. Böl./Samsun	1997
Yüksek Lisans	: Selçuk Ün. Fen Bil. Enst. Çevre Müh. ABD/Konya	2005
Doktora	: Selçuk Ün. Fen Bil. Enst. Çevre Müh. ABD/Konya	-

İŞ DENEYİMLERİ

YIL	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

1997-2006 Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) Gn.Md. Kontrol Mühendisi

Bu görevde yürüttüğü bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Başarakavak, Tepekent AAT ve Aslım terfi istasyonunun işletilmesi ve Konya kenti içmesuyu kaynaklarından olan Altınapa baraj havzasının koruma çalışmaları,
- Yüksek Lisans Tez Konusu olan “Konya Endüstriyel Atıksu Karakterizasyonu ve Kontrol Yöntemlerinin Belirlenmesi” çalışması kapsamında; Konya’da faaliyet gösteren tüm endüstriyel kuruluşlarına ilişkin envanter çıkarılması, her endüstri grubunun atıksu karakterizasyonu ve uygulanacak kontrol yöntemlerinin belirlenmesi işleri,
- Endüstriyel tesislerin atıksu denetimleri, Bağlantı Kalite Kontrol Ruhsatlarının düzenlenmesi ve KOSKİ Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği çerçevesinde Kirlilik Önlem Payı (KÖP) uygulamalarının yapılması işleri.

2006-2012 KOSKİ Gen. Md. Atıksu Kontrol Şube Müdürü

Bu görevde yönettiği bazı işler aşağıda özetlenmiştir.

- Uluslararası olarak ihalesi yapılan Konya Atıksu Arıtma Tesis Projesinin her aşamasındaki çalışmaları (Fizibilite- ÇED raporları, avan projeleri, uluslararası olarak ihale dökümanlarını oluşturan şartnamelerin hazırlanması), ihalenin değerlendirip sonuçlandırılması, tesisin yapım-montaj-proses ve işletme kontrollük işleri,

- Endüstriyel atıksu kontrol işleri kapsamında; endüstriyel atıksu üreten işletmelere yaptırılan arıtma ve/veya ön arıtma tesislerinin proje, yapım ve işletme denetimi ile ruhsatlandırma işleri.

2013-Halen KOSKİ Gen. Md. Atıksu Arıtma Tesisleri Şube Müdürü

Halen yönettiği bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Konya AAT'nin (200.000 m³/gün kapasiteli), Atıksu Geri Kazanım Tesis (Mor Şebeke) ve arıtma çamurlarından Enerji Üretim Tesis ile birlikte işletme işleri,

- 2013 yılı içerisinde yürürlüğe giren 6360 Sayılı Büyükşehir Belediyeler Kanunu ile KOSKİ'nin sorumluluk alanı Konya il sınırı olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda; Konya AAT, Kulu, Cihanbeyli, Ereğli, Beyşehir, Tepeken, Başarakavak vb. yerleşim bölgelerinde bulunan atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi işleri,

- Konya il sınırında yapılması gereken atıksu arıtma tesislerinin planlamasına ilişkin çalışmalar.

UZMANLIK ALANI

Atıksu Arıtma Tesisleri (fizibilite, proje, ihale, yapım kontrollüğü, işletme), Endüstriyel Atıksu Yönetimi ve Denetimi.

YABANCI DİLLER

Almanca /İyi derece

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Uluslararası Deneyimi: Bulunduğu görevlerde mesleki konularda uluslararası alanda aldığı eğitim ve deneyimleri aşağıda özetlenmiştir.

Uluslararası Faaliyetler	Yıl
Almanya (Atıksu arıtma tesisleri konusunda mesleki ve yabancı dil eğitimi)	2007
Avusturya (Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili teknik inceleme)	2008
Macaristan (Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili teknik inceleme)	2008
Çekoslavya (Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili teknik inceleme)	2008
Danimarka (Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili teknik inceleme)	2008
İspanya (Konya atıksu arıtma tesisi kredi prosedürleri eğitimi)	2008
İsveç (Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili teknik inceleme)	2008
İspanya (Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili teknik inceleme)	2009
Almanya (Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili teknik inceleme)	2010
Fransa (Çevre Teknolojileri)	2011
Pakistan (Atıksu Yönetimi), Çalıştay Konuşmacısı	2013
Namibya (Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımı), IWA Sempozyumu	2013

YAYINLAR

1- Küçükhemek, M., Mansur, Ş., **Koyuncu, S.** "Konya Kenti Arıtılmış Atıksuların Yeşil Alanların Sulamasında Kullanımı: Fizibilite Çalışması" *Uluslararası Sürdürülebilir Su ve Atıksu Yönetimi Sempozyumu*, 1155-1165.

2- Nas, B., Küçükhemek, M., **Koyuncu, S.** "Konya Kentsel Atıksularının İleri Arıtma ile Yeşil Alanların Sulanmasında Yeniden Kullanımı: Pilot Tesis Sonuçları ve Uygulama Projeleri" 9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 301-310.

3- Nas, B., Küçükhemek, M., **Koyuncu, S.** "Restricted urban reuse of Konya (Turkey) Municipal Wastewater Treatment Plant Effluents via Reclaimed Water Distribution System" 9 th IWA International (IWA) Conference on Water Reuse, 2013, Namibya.