



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BATMAN ATIK SU ARITMA TESİSİNDE BULUNAN
KOJENERASYON SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İDRİS ALAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

KASIM-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İdris ALAN tarafından hazırlanan “Batman Atık Su Arıtma Tesisinde Bulunan Kojenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi” adlı tez çalışması 24/11/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Rasim BEHÇET

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir AYANOĞLU bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

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.

İDRİS ALAN

Tarih: 22.12.2022

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BATMAN ATIK SU ARITMA TESİSİNDE BULUNAN KOJENERASYON
SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

İDRİS ALAN
BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

2022, 103 Sayfa

Jüri

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

Son zamanlarda teknolojiye meydana gelen çok hızlı yükselişler ile savaş, hastalık gibi sıkıntılar neticesinde gelişmiş-gelişen ülkelerde çok büyük enerji kirzileri ortaya çıkmıştır. Fosil kaynaklara erişimin zorluğu ve bu kaynakların çevrede oluşturduğu hasarların büyüklüğü yenilenebilir enerjiye olan talebi daha da arttırmıştır. Biyogaz biyokütle olarak adlandırdığımız organik maddelerin oksijen yokluğunda biyolojik olarak parçalanması ile meydana gelen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Enerji ihtiyaçlarını karşılamada büyük bir rekabetin içinde olduğu dünyada enerji verimliliğinin artırılması büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi Biyogazın da kullanıldığı sistemlerde yüksek verimliliğin elde edilmesi ve cihaz ve ekipmanların kapasitelerinin doğru kullanılması, enerji ve ekserji analizlerinin hassas bir şekilde hesaplanmasıyla mümkündür. Bu tezde Batman Belediyesi tarafından kurulan Atık su Arıtma Tesisi (AAT) sahasından elde edilen Biyogazın enerji kaynağı olarak kullanılması için kurulan kojenerasyon sisteminin enerji analizleri verilmiştir. Tezde ayrıca AAT sisteminin bölümlerinin biyogaz üretimi üzerindeki etkileri detaylıca ve şematik olarak gösterilmiştir. Kojenerasyon sisteminde elektirk-ısı ihtiyacının kesintisiz, kaliteli ve temiz bir şekilde karşılanması amacıyla biyogaz yakıtlı 0,530 MWe gücünde GUASCOR FGLD 360 tipi motor kullanılmıştır. Yanma işleminin gerçekleşmesiyle motorda elektrik enerjisi üretilmekte, aynı zamanda egzoz bacasından ve motor ceketinden sıcak su elde edilmektedir. Kojenerasyon sistemindeki motorun verimliliği, egzoz emisyonları, egzoz gaz sıcaklığı ile 2019-2020 yıllarındaki elektrik üretimleri incelenmiştir. Bu amaçla sistemdeki her bir ekipman için I. ve II. Kanun analizleri EES programında tanımlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kojenerasyon sisteminin elektriksel I. Kanun verimliliği % 35.8 ve II. Kanun verimliliği % 41.3 olup toplam sistem I. ve II. Kanun verimliliği ise sırasıyla % 69.4 ile % 45.7 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, Biyogaz, Kojenerasyon, Mühendislik Denklem Çözücü (EES), Termodinamik, Yenilenebilir enerji,

ABSTRACT
MS THESIS
THERMODYNAMIC ANALYSIS OF BATMAN WASTE WATER PLANT
COGENERATION SYSTEM

İDRİS ALAN
INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS OF BATMAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

2022, 103 Pages

Jury

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

Recently, as a result of the rapid rises in technology and problems such as war and disease, huge energy crises have emerged in developed-developing countries. The difficulty of accessing fossil resources and the magnitude of the damage caused by these resources to the environment have further increased the demand for renewable energy. Biogas is a renewable energy source that is formed by the biodegradation of organic materials, which we call biomass, in the absence of oxygen. Increasing energy efficiency is of great importance in the world where there is a great competition in meeting energy needs. For this reason, it is possible to obtain high efficiency in systems where Biogas is used, as in other energy sources, and to use the capacities of devices and equipment correctly, by calculating energy and exergy analyzes with precision. In this thesis, the energy analyzes of the cogeneration system established to use the Biogas obtained from the Waste Water Treatment Plant (WWTP) field established by Batman Municipality as an energy source are given. In the thesis, the effects of parts of the WWTP system on biogas production are shown in detail and schematically. In order to meet the electricity-heat need in the cogeneration system in an uninterrupted, high quality and clean manner, a 0.530 MWe GUASCOR FGLD 360 type engine with biogas fuel was used. With the realization of the combustion process, electrical energy is produced in the engine, and at the same time, hot water is obtained from the exhaust chimney and the engine jacket. The efficiency of the engine in the cogeneration system, exhaust emissions, exhaust gas temperature and electricity production in March, April and May were examined. For this purpose, I. and II. for each equipment in the system. Law analyzes are defined in the EES program. As a result of the calculations, the cogeneration system are 35.8 % and II. Law regulations are 41.3 %, and the total system is I. and II. Law efficiencies were obtained as 69.4 % and 45.7 %, respectively.

Keywords: Biogas, Engineering Equation Solver (EES), Cogeneration, Renewable energy, Thermodynamics, Waste water

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren beni büyük bir sabırla dinleyip bana faydalı olmak için elinden geleni yapmaya çalışan güler yüzlülüğü ve insani değerlere önem verip kimseyi kırmayan herkese yardım etmeye çalışan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY' a; çalışma boyunca değerli katkılarını aldığım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir AYANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu Çalışmayı yapmam için sağlamış olduğu imkânlardan dolayı Batman Belediyesine ve teknik ve sayısal bilgi ve verilere ulaşmamda yardımcı olan Batman Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi sorumlusu Amine Evin Tüzün'e teşekkür ederim.

Ayrıca tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca beni hep destekleyen, yanımda olan, maddi manevi yardımlarını esirgemeyen değerli aileme şükranlarımı sunarım.

İdris ALAN
BATMAN 2022

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE VE DÜNYADA ENERJİ.....	4
2.1. Dünyada Enerji	4
2.2. Türkiyede Enerji.....	4
2.3. Alternatif Enerji Kaynakları.....	5
2.4. Atıksulardan Yararlanma	6
3. BİYOGAZ NEDİR	10
3.1. Biyogaz Oluşumu Evreleri	10
3.1.1. Hidroliz evresi	10
3.1.2. Asidojenik evresi	11
3.1.3. Metan oluşum evresi	11
3.2. Biyogaz Üretimini Ve Verimini Etkileyen Faktörler	12
3.2.1. Sıcaklık	12
3.2.2. PH değişimi	13
3.2.3. C/N oranı	13
3.2.4. Organik yükleme hızı	14
3.2.5. Hidrolik bekleme süresi	15
3.2.6. Karıştırma.....	15
3.3. Biyogaz Verimi	16
3.4. Biyogaz Tesis Çeşitleri	17
3.4.1. Üretim tekniğine göre biyogaz tesisleri	17
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	22
5. BATMAN ATIKSU ARITMA TESİSİ	34
5.1. Atıksu Arıtma Tesisi (AAT)	34

5.1.1.	Atıksu arıtma tesisi giriş.....	34
5.1.2.	Giriş kanalı	38
5.1.3.	Kaba ızgara, giriş pompa istasyonu ve ince ızgara	38
5.1.4.	Kum ve yağ tutucu havuzu, kum susuzlaştırma	40
5.1.5.	Son çökeltme havuzu	41
5.1.6.	Aşırı çamur pompalama istasyonu	42
5.1.7.	Yoğunlaştırma havuzu	42
5.1.8.	Servis suyu	43
5.1.9.	Çamur çürütücü tank	43
5.1.10.	Gaz kükürtsüzleştirme ve gaz depolama tankı:	45
5.1.11.	Çamur Kurutma yatakları	49
5.2.	Elektriksel ve Isıl Verim	50
5.2.1.	Genel bilgi	51
5.2.2.	Motor	52
5.2.3.	Ana ısı değiştirici (plakalı tin ısı esaniörül.....	53
5.2.4.	Jeneratör.....	53
5.2.5.	Muhtelif bilgi.....	54
5.2.6.	Yükseltici trafo.....	54
6.	KOJENERASYON SİSTEMİNİN ÇEVİRİM HESAPLAMALARI	58
6.1.	Termodinamik Analizleri	58
6.2.	Enerji Analizi	59
6.2.1.	Kütle dengesi	59
6.2.2.	Enerji dengesi	59
6.3.	Ekserji Analizi	60
6.3.1.	Referans ortamı ve ekserji bileşenleri	60
6.3.2.	Ekserji dengesi, ekserji yıkımı ve ekserji kaybı	64
6.3.3.	Ekserji verimliliği.....	65
6.3.4.	Ekserji bozulma oranı ve ekserji kaybı oranı	66
6.3.5.	Kojenerasyon sistemlerinde performans değerlendirme parametreleri	66
6.4.	Mühendislik Denklem Çözücüsü (EES)	68
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA	69
7.1.	Kojenerasyon Ekipmanlarının Verimliliklerinin İncelenmesi	82
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR.....		97
ÖZGEÇMİŞ.....		103

SİMGELER VE KISALTMALAR

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Madde
BASKİ	: Batman Su Ve Kanalizasyon İdaresi
BOİ ₅	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CHP	: Birleşik Isıl Güç Ünitesi
CH ₄	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
C/N	: Karbon ve azot oranı
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
EES	: Engineering Equation Solver programı
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ S	: Hidrojen Sülfür
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NO _x	: Azotoksit ve türevleri
POX	: Ağır Petrolün Kısmi Oksidasyonu
Mn	: Mangan
N	: Azot
NH ₃	: Amonyak
Ni	: Nikel
O ₂	: Oksijen
P	: Fosfor
SO ₂	: Kükürtdioksit

SİMGELER

°C	:Santigrat Derece
d	: Gün
dk.	: Dakika

g : Gram
h : Saat
kcal : Kilo kalori
kg : Kilogram
Kw : Kilowatt
KWh : Kilowattsaat
Mw : Megawatt
lt : Litre
m : Metre
m³ : Metreküp
mg : Miligram
mm : Milimetre
sn : Saniye
Ppm : Milyonda bir
\$: Dolar işareti
W : Watt

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dünya elektrik üretimi (TWh) ve kaynakların payları (%)	4
Şekil 2.2. Türkiye elektrik üretimi (GWh) ve kaynakların payları (%)	5
Şekil 2.3. Türkiye’de bölgelere göre enerji tüketimi	7
Şekil 3.1. Kompleks organik maddelerin hidroliz ile basit maddelere dönüşümü	11
Şekil 3.2. Anaerobik bozulma akım şeması	12
Şekil 3.3. Mikroorganizma türlerinin büyüme hızları	13
Şekil 3.4. Aile tipi biyogaz tesislerinin şematik görünümü	18
Şekil 3.5. Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin şematik görünümü	19
Şekil 3.6. Köy tipi biyogaz tesisi çalışma döngüsü	19
Şekil 3.7. Endüstriyel bir biyogaz tesisi olan almanya-birkenfeld	20
Şekil 3.8. Kesik beslemeli tip reaktör	21
Şekil 3.9. Sürekli beslemeli tip reaktör	21
Şekil 5.1. Batman belediyesi atık su arıtma tesisi (AAT)	35
Şekil 5.2. Batman belediyesi atık su arıtma tesisi (AAT) şematik gösterimi	36
Şekil 5.3. Giriş pompa istasyonu	38
Şekil 5.4. Kaba ızgara ünitesi	39
Şekil 5.5. İnce ızgara ünitesi	39
Şekil 5.6. Kum ve yağ tutucu ünitesi	40
Şekil 5.7. Son Çökeltme havuzu	41
Şekil 5.8. Yoğunlaştırma havuzu	42
Şekil 5.9. Temiz su pompaları	43
Şekil 5.10. Çamur çürütücü tankı	44
Şekil 5.11. Gaz kükürtsüzleştirme ünitesi	46
Şekil 5.12. Gaz tankı	46
Şekil 5.12. Çürütülmüş çamur kurutma yatakları	49
Şekil 5.13. Kurutulmuş çamur toplama deposu	50
Şekil 5.14. Kojeneratör ekranı	51
Şekil 5.15. GUASCOR FGLD 360 tipinde biogaz yakıtlı gaz motoru	56
Şekil 7.1.CO, O, Lamba ölçüm değerleri	75
Şekil 7.2.CO ₂ , NO, NO _x ölçüm değerleri	75
Şekil 7.3.Verim değerleri	76
Şekil 7.4. Egzoz gaz sıcaklığı (EGS) ölçüm değerleri	76
Şekil 7.5.2019 ve 2020 yıllarına ait elektrik üretimleri	77

Şekil 7.6. 2019 Yılına ait tüketilen gaz ve üretilen elektrik verileri	77
Şekil 7.7. 2020 Yılına ait tüketilen gaz ve üretilen elektrik verileri	78
Şekil 7.8. Mart, Nisan, Mayıs aylarındaki elektrik üretimleri.....	78
Şekil 7.9. Kojenerasyon sistemi ile sistemdeki ekipmanların I. kanun ve II. kanun verimlilikleri.....	79
Şekil 7.10. Kojenerasyon sistemi.....	80
Şekil 7.11. Antifrizli suyun ön soğutucu giriş sıcaklık değerlerinin ön soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	82
Şekil 7.12. Antifrizli suyun ön soğutucu giriş basınç değerlerinin ön soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi	83
Şekil 7.13. Yakıtın turbuşarj çıkış basınç değerlerinin turbuşarj enerji ve ekserji verimliliğine etkisi	84
Şekil 7.14. Egzoz gazı turbuşarj giriş basınç değerlerinin turbuşarj enerji ve ekserji verimliliğine etkisi	85
Şekil 7.15. Yakıtın ara soğutucu giriş basınç değerlerinin ara soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi	86
Şekil 7.16. Antifrizli suyun ara soğutucu giriş sıcaklık değerlerinin ara soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	87
Şekil 7.17. Antifrizli suyun eşanjör-I giriş kütleli debi değerlerinin eşanjör-I enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	88
Şekil 7.18. Giriş havasının radyatör giriş sıcaklık değerlerinin radyatör enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	89
Şekil 7.19. Giriş havasının radyatör giriş kütleli debisi değerlerinin radyatör enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	90
Şekil 7.20. Suyun ekonomizer giriş basınç değerlerinin ekonomizer enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	91
Şekil 7.21. Egzoz gazının ekonomizer çıkış sıcaklık değerlerinin ekonomizer enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	92
Şekil 7.22. Suyun eşanjör-II giriş basınç değerlerinin eşanjör-II enerji ve ekserji verimliliğine etkisi.....	93
Şekil 7.23. Suyun eşanjör-II giriş sıcaklık değerlerinin eşanjör-II enerji ve ekserji verimliliğine etkisi	94

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Belediye atık göstergeleri.....	8
Çizelge 2.2. Belediye atıksu göstergeleri.....	8
Çizelge 2.3. Belediye su göstergeleri.....	9
Çizelge 3.1. Atıkların C, N, C/N oranı	14
Çizelge 3.2. Biyogaz üretiminde kullanılan hammaddeler ve biyogaz verimleri.....	16
Çizelge 5.1. BASKİ Atıksu arıtma tesis ortalama analiz değerleri.....	34
Çizelge 5.2. AAT Tasarım kriterleri.....	37
Çizelge 5.3. Biyogaz üretimi teknik bilgileri.....	47
Çizelge 5.4. Biyogaz depolama tankı ve gaz yakma bacası teknik bilgileri.....	47
Çizelge 5.5. Batman AAT gaz numunesindeki metan ve diğer bileşen analizleri.....	48
Çizelge 5.6. Diğer sülfür bileşikleri analizleri.....	48
Çizelge 5.7. Isıl değer ve diğer bazı gaz özellikleri analizleri.....	49
Çizelge 5.8. BASKİ AAT ortalama çıkış değerleri.....	50
Çizelge.5.9. Motor teknik özellikleri.....	52
Çizelge.5.10. Plakalı eşanjörler verileri.....	53
Çizelge 5.11. Jeneratör teknik bilgileri.....	53
Çizelge 5.12. Yanma havası /egzoz gazı (egzoz gazı eşanjörü) bilgileri.....	54
Çizelge 5.13. Yükseltici trafo özellikleri.....	55
Çizelge 7.1.Kojenerasyon sistem verileri.....	82

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğundan beri enerjiye bağlı kalarak yaşamını sürdürmüştür. Teknolojik gelişmelerin gün geçtikçe hızlanmasıyla bu ihtiyaç hızla artmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak için ise çeşitli yöntemlere başvurulmuştur (Ruşen Can, 2017). İlk dönemlerde sadece enerji üretmek olan hedef, ekonomik boyut, enerji kalitesi ve enerji verimi gibi diğer faktörlerin göz ardı edilmesine neden olmuştur. Üretimden sonra işin ekonomik boyutunun da önemli olduğunun fark edilmesi ile beraber çalışmalar üretimin yanı sıra maliyet boyutunun hesaba katıldığı çalışmalara dönüşmüştür. Üretilen enerji maliyet açısından değerlendirildikten sonra aynı şartlar ile daha kaliteli bir enerji üretmek için araştırmalar yeni bir boyut kazanmıştır. İnsanlık gelişimini sürdürürken aynı zamanda enerji tüketiminin artması enerjinin üretilmesi, maliyeti ve kalitesinin yanı sıra zaman tasarrufunun da dikkat edilmesi gereken bir unsur olduğu anlaşıldı. Yani kaliteli bir enerjiyi düşük bir maliyetle elde etmek yetmiyordu. Bu enerjinin üretilmesi için artık zamanın da verimli kullanılması gerektiği ortaya çıkan bir gerçektir. Daha kısa bir süre içerisinde aynı enerji miktarı, aynı kalitede, aynı maliyet ile üretilebilmesi için çalışmalar yeni bir boyut kazanmaya başladı. Üretim için tüm faktörler üzerine çalışmalar yürütülürken enerjinin doğrudan veya dolaylı olarak insana ve doğaya etkisinin dikkat edilmesi gereken önemli bir faktör olduğu da ortaya çıktı. Kısacası insanlar için başta tek hedef enerjiyi üretme ve tüketme iken daha sonra üretilen enerjinin maliyeti, kalitesi, süresi ve çevre sorunları gibi ölçütlerin de enerjinin üretimi ve tüketimi kadar önemli olduğu ortaya çıkmış ve hep daha iyisi için çalışmalara devam edilmiştir. Son zamanlarda çevre sorunları hızlı bir artış gösterdiğinden fosil enerji kaynakları ciddi bir şekilde önemini yitirmeye başladı. Bu yüzden tüm dünya enerji üretimi sırasında çevreye minimum zarar verecek şekilde yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmıştır (Yılmaz, 2018).

Enerji teknik olarak bir işin bir madde tarafından yapılabilme kapasitesini ifade etmektedir. Yani evrende gerçekleşen veya gerçekleştirmeyi mümkün kılan şey enerjidir. Bir insanın hareket etmesi, bir çiçeğin büyümesi, bir uçağın uçuşması, bir fabrikanın üretim yapması gibi hemen hemen her şey enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bunun için enerji bir ülkenin durumunu doğrudan etkileyen esas bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Bir işi yapabilme yeteneği olarak ifade edilen enerji günümüzde bir ülkenin istediğini yaptırabilme gücü olarak tanımlanır duruma gelmiştir. Çünkü bir toplumun gelişmişliği teknoloji ile yakın ilişki içerisinde. Globalleşen dünyada insanlar yaşam konforunu sürekli arttırmak için çaba harcamaktadır. Bunun için teknoloji hızlı bir şekilde gelişimini sürdürmeye devam etmektedir. Gelişen teknoloji paralelinde enerji ihtiyacını da arttırmaktadır. İnsanların

konforunun artması teknolojinin gelişmesi ile teknolojinin gelişmesi enerjinin varlığı ile mümkün olacağından enerjiyi üretebilen ülkeler istediğini yapabilen bir konuma sahip olmaktadır. Bu da enerji kaynaklarını verimli kullanmayı mecburi hale getirmiştir (Yılmaz, 2018).

Dünyada insan nüfusunun artması ve sanayileşmenin ilerlemesi tüketimin artmasına dolayısıyla ihtiyaçların artmasına sebep olmuştur. Artan ihtiyaçlar insanları farklı arayışlara sevk etmiştir. Bu arayışlar teknolojinin gelişmesi ve çeşitlilik kazanması üzerinde olumlu bir katkı yapmıştır. Artan teknoloji kullanımı ve artan dünya nüfusu enerjinin bilinçsiz bir şekilde tüketilmesi sorununu ortaya çıkarmıştır (Özmen, 2018). Bilinçsiz bir şekilde kullanılan enerji hem çok kullanılan fosil yakıtların tükenme tehlikesini doğurmuş hem de fosil yakıtların fazla kullanılmasından dolayı çevresel sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan bu etkenler insanları farklı arayışlara yönlendirmiş, çeşitli çalışmalar neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanımı ve kullanılan fosil kaynakların da veriminin artırılması gibi çözümler üretilmiştir (Anonim, 2022).

İhtiyaç duyulan enerji için dünyada birincil enerji kaynakları şu anda daha fazla kullanılmaktadır. En çok kullanılan birincil enerji kaynakları ise petrol, doğalgaz, kömür ve nükleer ‘ dir (Torunoğlu Gedik, 2015). 1973-2003 yılları arasında dünyada enerji arzında petrolde %10,6 azalma doğalgaz ve nükleer enerji arzında ise yaklaşık %5’lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Kömürde ise ciddi bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Yaklaşık 40 yıl petrol rezervlerinin doğalgaz rezervlerinin ise yaklaşık 62 yıl ömürlerinin olduğu belirlenmiştir (Türkyılmaz, 2007). Dünyada yükselen enerji ihtiyacını karşılamak için fosil kaynaklı enerjilere alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaya devam etmektedir. Yenilenebilir enerji türleri olarak en fazla güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi ve biokütle enerjisi kullanılmaktadır (Anonim, 2019). Bu çalışma 8 ünitelerden oluşmaktadır. Birinci ünite olan giriş kısmında enerji tanımlanmış ve enerji ihtiyacının doğuş sebebi ve 1973-2003 yılında var olan enerji kaynaklarındaki değişimler göz önüne getirilmiştir. Alternatif enerji kaynakları hakkında verilen bilgi ile ünite bitirilmiştir. İkinci ünite Türkiye ve dünyada enerji durumu kısaca anlatılmış, özellikle alternatif enerji kaynakları arasından atıksuların değerlendirilmesi incelenmiştir. Biyogazın anlatıldığı üçüncü ünite biyogaz oluşum evreleri ve üretimini etkileyen faktörler incelenmiştir. Ayrıca biyogaz tesis çeşitleri ve biyogaz verimleri de incelenmiştir. Dördüncü ünite olan kaynak araştırması bölümünde bazı çalışmalarda biyogaz üretim miktarı, bazılarında yapay sinir ağları (ANN) veya yaşam döngü analizleri (LCA) vb. programlarla analiz yapıldığı ve organik rankine çevrimi (ORC) gibi çalışmalarda biyogaz kullanımı ele

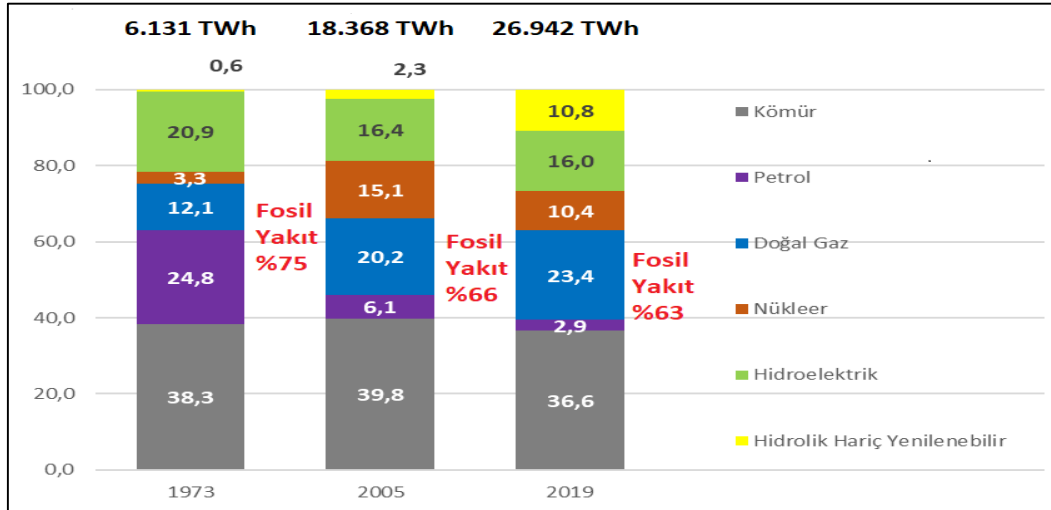
alınmıştır. Beşinci ünite Atık Arıtma Tesisi (AAT) kurulurken nüfus ve mevki göz önüne alınmış olup atık su için gerekli parametrelerin anlatıldığı bölümü oluşturmaktadır. Daha sonra AAT sisteminin bölümleri (giriş Kanalı, Kaba Izgara İnce Izgara vb.) detaylıca biyogaz üretimi üzerindeki etkileri anlatılmıştır. Gübre eldesi hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Kojenerasyonda kullanılan motor ve diğer kısımlar anlatılmış, AAT sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Altıncı ünite termodinamik formüller yani I. Kanun ve II. Kanun formülleri verilmiştir. Kojenerasyon sistemi yakıtında bulunan çamur ve biyogazın enerji verimliliği ile ilgili bilgi verilmiştir. Yedinci ünite bulgular kısmında ise motorun verimliliği, egzoz emisyonları, egzoz gaz sıcaklığı ile elektrik üretimi ve özellikleri mart, nisan, mayıs aylarındaki üretimler incelenmiştir. Kojenerasyon sisteminde ise her bir ekipmanın verimliliği incelenmiştir. Sekizinci ünite yapılan çalışmanın tartışma ve sonuç kısmının anlatılarak çalışmanın son bölümünü oluşturmaktadır

2. TÜRKİYE VE DÜNYADA ENERJİ

2.1. Dünyada Enerji

Dünyada ilerleme, gelişme, büyüme, güç, ekonomik bağımsızlık elde edilmesi için akla ilk gelen kriterlerin arasında enerji liderdir. Bu kadar stratejik bir önemi olan enerji doğal olarak tüm ülkelerin öncelikli ve özellikle üzerinde durduğu bir konu haline gelmiştir. İhtiyaç duyulan enerjiyi üretmek için farklı yöntemler geliştirmek için yoğun bir yarış halinde çalışmalar yürütülmektedir. Çünkü artan nüfus ve gelişen teknolojinin enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Dünya genelinde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı hala fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtların kullanımında artış meydana getirdiğinden doğayı ve direk insanları tehdit edecek şekilde zararlar oluşturmaya başlamıştır. Bu gibi durumlar çalışmaların yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılmasını bir zorunluluk haline getirmiştir (Anonim, 2022).

Son yıllarda hem fosil yakıtların tükenme tehlikesi hem artan enerji ihtiyacını karşılamak için hem de fosil yakıtların çevreye verdiği zararların azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında gözle görülür bir artış meydana gelmiştir (Anonim, 2022). Şekil 2.1’de dünya elektrik üretimi (twh) ve kaynakların payları (%) verilmiştir.

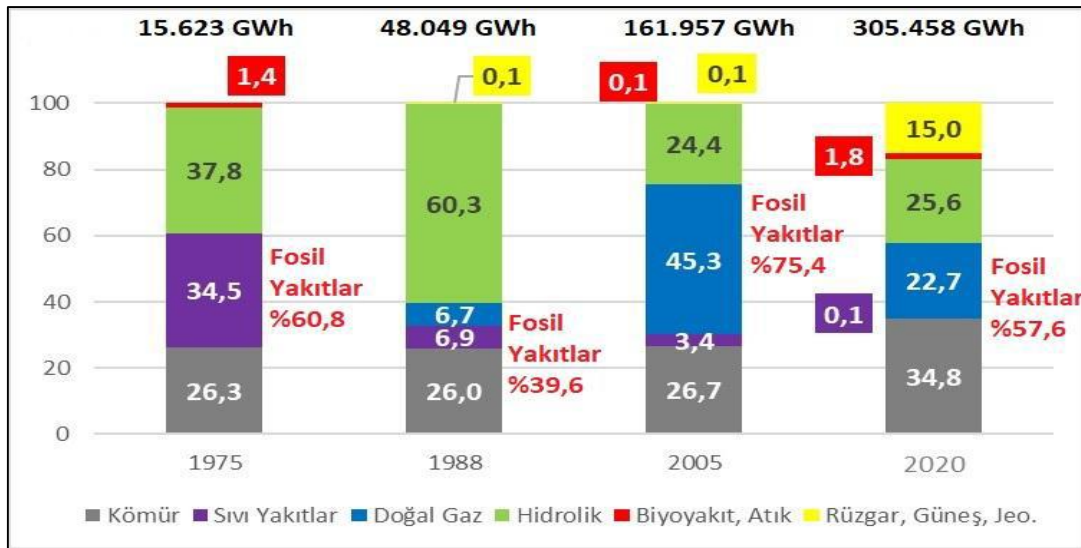


Şekil 2.1. Dünya elektrik üretimi (TWh) ve kaynakların payları (%) (Aytaç, 2021)

2.2. Türkiye’de Enerji

Türkiye fosil enerji kaynakları bakımından kendine yetemeyen, enerji ihtiyacını karşılamak için ithalat yoluna başvurmak durumunda kalan bir ülkedir. Ülkede bulunan fosil enerji kaynaklarının rezervleri yetersiz kaldığından ve enerji ihtiyacı büyük oranda petrol, doğal gaz, ve kömür gibi fosil kaynaklardan karşılandığı için enerjide dışa bağımlı bir ülke

konumuna gelmiştir. Bu durum ülkenin gelişiminde ciddi bir problem oluşturmaktadır. Bir ülkenin gelişmişlik seviyesini belirleyen önemli kriterlerden bir tanesi de enerjidir. Enerji insanların hayatında sanayileşme ve insanların yaşam konforunun artmasıyla her alanda etkisini arttırmıştır. Enerji aynı zamanda bir ülke için stratejik bir öneme de sahiptir. Çünkü günümüz teknoloji çağında enerji olmadan bir toplumun gelişmesi, bağımsız olması, ekonomik olarak güçlü olması pek mümkün değildir. Bunun içindir ki enerjide kendi ihtiyacını karşılamak için alternatif çözümler üzerinde çalışmak gerekmektedir. Fosil kaynakların bu hızla tüketilmesi halinde kısa sürede enerji kaynaklarının tükeneceği tüm dünya tarafından bilinen bir gerçektir. Bu yüzden gelişmiş ülkelerin hepsi uzun bir süredir yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili çalışmalara yönelmiş. Enerji ihtiyaçlarını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogazdan enerji üretme yöntemi önemli bir yere sahiptir. Ham maddesi ülke içinde kolayca temin edilebilir bir hammaddedir. Çünkü endüstri atıkları, bitkisel atıklar hayvansal atıklar ve evsel atıklar gibi maddelerden biyogaz elde edilmektedir. Bu atıkların bu şekilde değerlendirilmesi aynı zamanda çevre sorunlarını da beraberinde ciddi şekilde azalacağından dolayı daha temiz bir doğa elde etmek için de önem arz etmektedir (Anonim, 2022). Şekil 2.2’de Türkiye elektrik üretimi (gwh) ve kaynakların payları (%) verilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye elektrik üretimi (GWh) ve kaynakların payları (%) (Aytaç, 2021)

2.3. Alternatif Enerji Kaynakları

Fosil kaynakların bilinçsiz bir şekilde kullanılması hem tükenme hızını hem de çevreye olan zararını arttırmış durumdadır. Oysa insanlık gelişiminin ilerlemesi için enerjiye

olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu durumda alternatif enerji kaynaklarına yönelerek artan enerji ihtiyacı karşılanabilir ve fosil kaynakların tükenme süresi uzatılabilir. Bunun için yenilenebilir enerji kaynakları olan jeotermal enerji, güneş enerjisi, termoelektrik, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, biyodizel ve biyogaz üzerine çalışmaların yoğunlaştığı bir döneme geçilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları enerji ihtiyacını karşılamada fosil kaynaklara alternatif olmakla birlikte çevreye verilen zararları da azaltmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları etkinliğini her geçen gün daha da arttırmakta olup 2018 yılında elektrik üretimine katkısı % 26'ya kadar çıkmıştır. Isıtma ve soğutma sektöründe de etkisini arttıran yenilenebilir enerji kaynakları bu alanda yaklaşık % 10 gibi bir katkı sağlamıştır. Ulaşımda ise yenilenebilir enerjinin payı % 3,3 'e çıkarak bu alanda da artma eğilimini sürdürmektedir. 2018'de elektrikli otomobiller bir önceki yıla göre % 63 oranında artmıştır. Bu gelişmelerle beraber dünyadaki kurulum gücün % 33 'ünden fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir.

Biyoenerji yenilenebilir enerji oranının artmasına en büyük katkıyı sağlayan enerji türü olmayı başarmıştır. Biyoenerji ısıtma ve soğutma alanına % 5 ulaşım sektörüne % 3, elektrikte ise % 2,1 gibi ciddi bir katkı payı sağlamıştır. Biyoenerji üretiminde ilk sırada Çin yer almaktadır. Çin'den sonra gelen ülkeler ise ABD ve Avrupa ülkeleri biyo yakıtların toplam %69'unu üretmektedirler (Anonim, 2020).

Türkiye'de 2019 yılında 90 bin MW'a ulaşan kurulu gücün yaklaşık yarısı yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Yeterli yatırımlar ve bu konuda yeteri kadar teşvik yapılırsa Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması, enerji ithalatını azaltacağından ekonomik gücün uluslararası düzeyde artmasına ve zamanla enerjide tamamen bağımsız bir ülke olma yolunda önem arz etmektedir (Furuncu, 2021).

2.4. Atıksulardan Yararlanma

Nüfusun hızla arttığı dünyada buna paralel olarak tüketim de artmaktadır. Tüketim sonucunda oluşan atıklar çeşitli sorunların oluşmasına sebep olmaktadır. Nüfusun artmasına bağlı olarak artan atıkların oluşturduğu sorunlardan bir tanesi olan atıksular, insan yaşamını tehdit edecek boyutlara çıkmıştır. Dünyanın temel sorunlarından olan su ihtiyacı ve enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Bu sorunların giderilmesi için kaynakların sürdürülebilir biçimde kullanılması gerekir. Kaynakların az olması, bilinçsiz kullanım ve artan dünya nüfusu ile hem kentleşme hem de sanayileşmenin de artması kaynakların daha dikkatli kullanılması gerektiğini açıkça göstermektedir. Eldeki kaynaklar kullanıldıktan sonra

atık olarak adlandırılan suların tekrar kullanılabilir şekilde değerlendirilmesi için daha fazla çalışma yapılmıştır (Anonim, 2021). Şekil 2.3'te Türkiye'de bölgelere göre enerji tüketimi verilmiştir.



Şekil 2.3. Türkiye’de bölgelere göre enerji tüketimi (Abusoğlu ve ark., 2021)

2018 yılında yapılan ankete göre belediye atık istatistik sonuçlarına bakıldığında kişi başı ortalama günlük 1,16 kg atık toplamda da 32,2 milyon ton atık, atık hizmeti veren belediyelerde toplandığı belirlenmiştir. Toplanan bu atıkların ortalama % 67,2’si düzenli depolama tesislerine sevk edilmekte, yaklaşık % 20,2’lik kısmı çöplüklere gönderilmekte ve % 12,3’ü ise geri dönüşüm tesislerine sevk edilerek bertaraf edilmektedir (Anonim, 2021). Çizelge 2.1’de Belediye atık göstergeleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Belediye atık göstergeleri (Anonim, 2021)

Belediye atık göstergeleri 2016,2018		
	2016	2018
Toplam belediye sayısı	1397	1399
Atık hizmeti veren belediye sayısı	1390	1395
Atık hizmeti verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	98,6	98,8
Toplam atık miktarı (Bin ton)	31584	32209
Kişi başı ortalama atık miktarı	1,17	1,16
Toplanan atığın bertaraf ve geri kazanım yöntemlerine göre oranı (%)		
Düzenli depolama tesisine gönderilen	61,2	67,2
Belediye çöplüğüne gönderilen	28,8	20,2
Geri kazanım tesislerine gönderilen	9,8	12,3
Diğer bertaraf yöntemleri ⁽¹⁾	0,2	0,2
Tablodaki rakamlar yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.		
(1) Açıkta yakarak,gömerek,dereye ve araziye dökerek yapılan bertarafı kapsamaktadır.		

2018’de belediyelerde yapılan araştırmaya göre toplamda 4,8 milyar m³ atıksu deşarj edildi. Atıksuyun % 88,3’ü (4,2 milyar m³) atıksu arıtma tesisleri yardımıyla arıtıldı. Arıtma işlemi uygulanan atıksuya % 0,3’ü doğal arıtma, % 24,2 ‘si fiziksel arıtma , % 27,6’sı biyolojik arıtma ve % 47,9’una gelişmiş arıtma işlemi uygulandığı tespit edildi. Belediye nüfusunun % 78,7’sine atıksu arıtma tesisleri ile hizmet sağlandığı ve kişi başı oluşan atıksu miktarı da günlük ortalama 188 litre olarak hesaplandığı araştırma sonucunda ortaya konmuştur (Anonim, 2021). Çizelge 2.2’de Belediye atıksu göstergeleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Belediye atıksu göstergeleri (Anonim, 2021).

Belediye atıksu göstergeleri 2016,2018		
	2016	2018
Toplam belediye sayısı	1397	1399
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı	1338	1357
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	89,7	90,7
Alıcı ortamlara deşarj edilen toplam atıksu miktarı (milyon m ³)	4484	4795
Atılarak deşarj edilen atıksu oranı (%)	85, 7	88,3
Atılmadan deşarj edilen atıksu oranı (%)	14,3	11,7
Deşarj edilen toplam atıksuyun alıcı ortamlara göre dağılımı (%)		
Akarsuya	48,0	46,9
Denize	40,4	40,7
Baraja	2,8	3,1
Göl-gölete	1,8	1,4
Araziye	0,4	0,4
Diğer ⁽¹⁾	6,5	7,5
Kişi başı deşarj edilen günlük ortalama atıksu miktarı (litre/kişi-gün)	183	188
(1) Fosseptiğe, zerkemine vb. atıksu deşarjlarını içermektedir.		

Atıksuların arıtılması ile tekrar kullanılacak duruma getirilmesi için arıtma tesislerinden faydalanılmaktadır. Bu tesisler sayesinde tonlarca suyun boşa harcanmasının önüne geçilmiştir. Bu sayede insanlar için temel ihtiyaç olan su ve temel ihtiyaç düzeyine çıkan enerji ihtiyacı karşılanabilir.

2018 yılında yapılan belediye su istatistikleri anketine göre su kaynaklarından içme ve kullanma için 6,2 milyar m³ su çekildi. Çekilen bu suyun % 57,7 'si arıtma işleminden geçirildi. Arıtma tesisleri ile içme ve kullanma suyu hizmeti sağlanan belediye nüfusu % 60,1 olarak tespit edildi. Yapılan bu araştırmaya göre kaynaklardan bir kişi için çekilen su miktarı günlük ortalama 224 litre olarak belirlenmiştir (Anonim, 2021). Çizelge 2.3'de Belediye su göstergeleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Belediye su göstergeleri (Anonim, 2021)

Belediye atıksu göstergeleri 2016,2018		
	2016	2018
Toplam belediye sayısı	1397	1399
İçme ve kullanma suyu şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı	1394	1397
İçme ve kullanma suyu şebekesi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	98,2	98,6
İçme ve kullanma suyu şebekesi için çekilen toplam su miktarı (milyon m3)	5839	6193
İçme ve kullanma suyu şebekesi için çekilen suyun kaynaklarına göre dağılımı (%)		
Baraj	44,8	39,9
Kuyu	26,8	28,1
Kaynak	17,1	18,4
Akarsu	9,5	9,0
Göl/gölet/deniz	1,8	4,6
İçme ve kullanma suyu şebekesi ile dağıtılan su miktarı (milyon m3)	3733	4045
İçme ve kullanma suyu arıtma tesislerinde arıtılan su miktarı (milyon m3)	3350	3574
Kişi başı çekilen günlük ortalama su miktarı (litre/kişi-gün)	217	224

3. BİYOGAZ NEDİR

Biyogaz organik maddelerin oksijensiz bir ortamda mikrobiyolojik bakteriler yardımıyla ayrıştırılması sonucu kullanılabilir bir gaz olan metan ve karbondioksit gazına dönüştürülmesidir. Biyokimyasal dönüşüm sonucu bitkisel kaynaklar, hayvansal atıklar, orman yan ürünleri, endüstriyel atıklar, gıda yan ürünleri ve kentsel atıklar gibi organik maddelerden elde edilen biyogaz ısı değeri yüksek yanıcı bir gaz olup doğalgaza denktir (Kutlu, 2008).

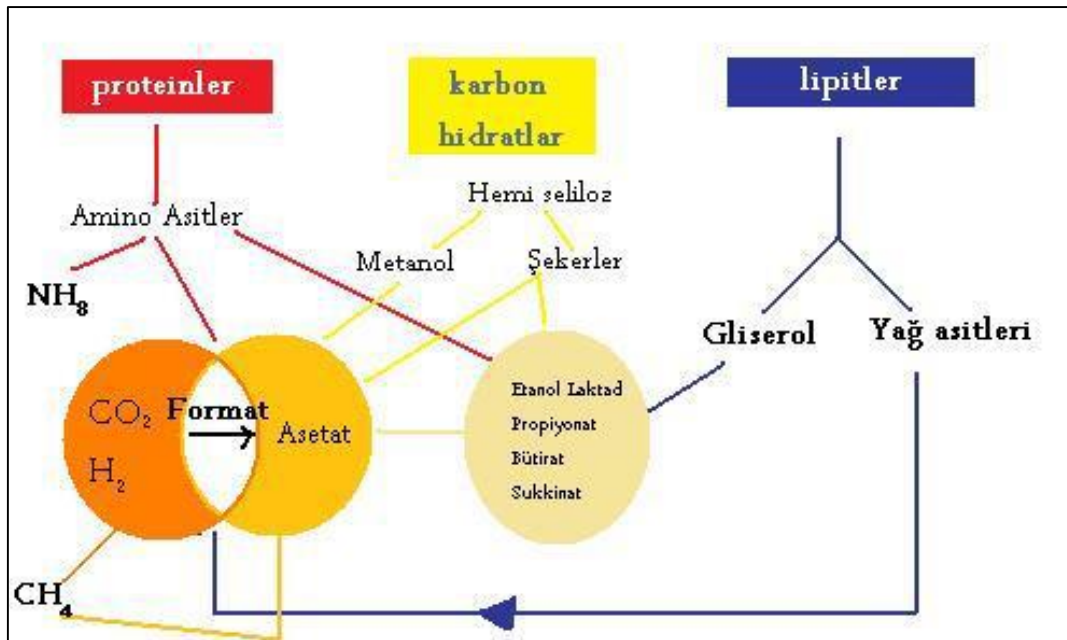
Biyogaz Bileşiminde % 50-80 metan (CH_4) ile birlikte % 20-50 karbondioksit (CO_2) ve % 0,0005-0,0002 oranında hidrojen sülfür (H_2S) % 0-3 azot (N_2), % 0-5 hidrojen (H_2) ve % 0-1 su (H_2O) bileşenlerini bulundurmaktadır. Biyogazın içeriğindeki bu oranlar sabit değildir. Bu oranlar kullanılan organik ham maddenin türüne, ortamın sıcaklığına, PH değerine ve su (nem) miktarına göre değişkenlik göstermektedir. Biyogazın kalitesini içeriğindeki metan oranı belirlediğinden metan oranının artırılması biyogaz kalitesini arttıracaktır. Yapısı itibarı ile doğalgaza oldukça benzeyen biyogaz bu özelliğini içeriğinde bulunan metan(CH_4) gazından almaktadır. Üretilen biyogazın doğalgaz ile çalışan cihazlarda kullanılabilmesi için bazı küçük işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir (Güler, 2020). Üretilen biyogaz ile ısıtma ihtiyacının karşılanmasından elektrik enerjisi elde etmeye kadar birçok sektörde yararlanılabilir.

3.1. Biyogaz Oluşumu Evreleri

Biyogaz, fermante edici ve hidrolitik bakteriler tarafından gerçekleştirilen hidroliz evresi, asetogenik bakteriler tarafından gerçekleştirilen asit oluşum evresi ve metanogenik bakteriler tarafından gerçekleştirilen metan oluşum evresi olmak üzere temelde üç evrede elde edilir (Bayraktar, 2011).

3.1.1. Hidroliz evresi

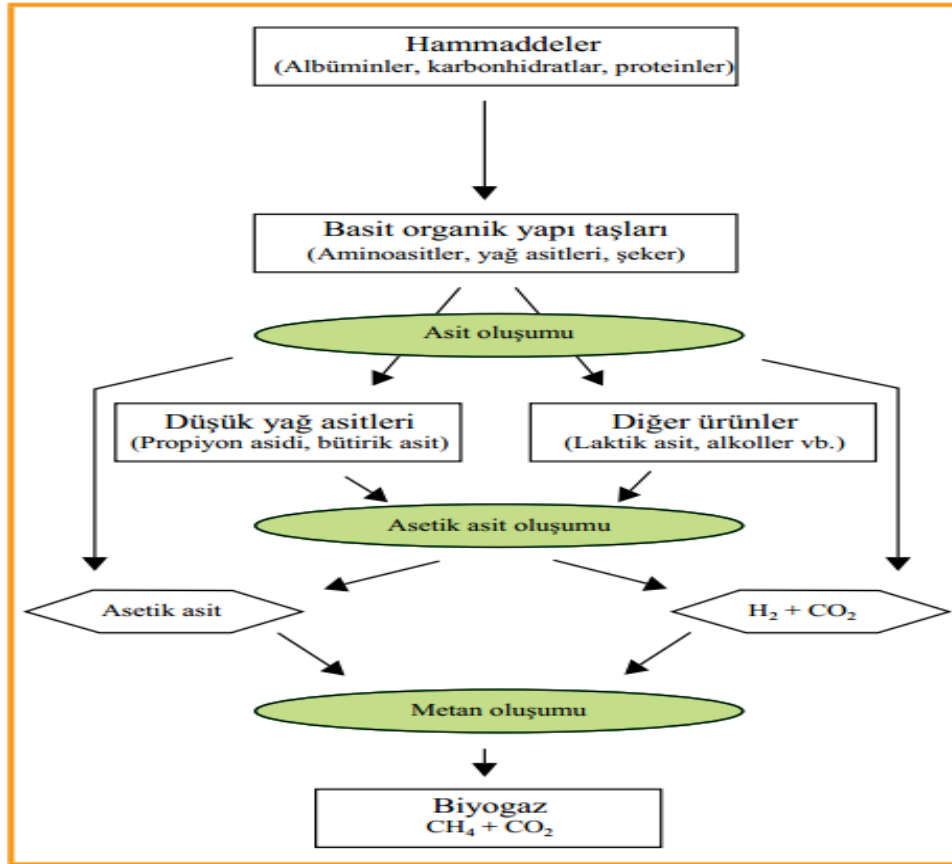
Hidroliz evresinde Fermentatif ve hidrolitik bakterilerin salgıladıkları enzimler sayesinde kompleks yapıdaki organik maddeler (protein, karbonhidrat ve albümin gibi) basit yapıdaki organik maddelere (aminoasit, glikoz ve yağ asitleri gibi) dönüşür (Anonim, 2021). Şekil 3.1’de Kompleks organik maddelerin hidroliz ile basit maddelere dönüşümü verilmiştir.



Psikofilik sıcaklık aralığı: 12-20 °C (Soğuğu seven bakterilerin yaşadığı sıcaklık aralığı)

Mezofil sıcaklık aralığı: 20-40 °C (ılığı seven bakterilerin yaşadığı sıcaklık aralığı)

Termofil sıcaklık aralığı: 40-60 °C (Sıcığı seven bakterilerin yaşadığı sıcaklık aralığı) (Anonim, 2021).



Şekil 3.2. Anaerobik bozulma akım şeması (Çelikkaya, 2016)

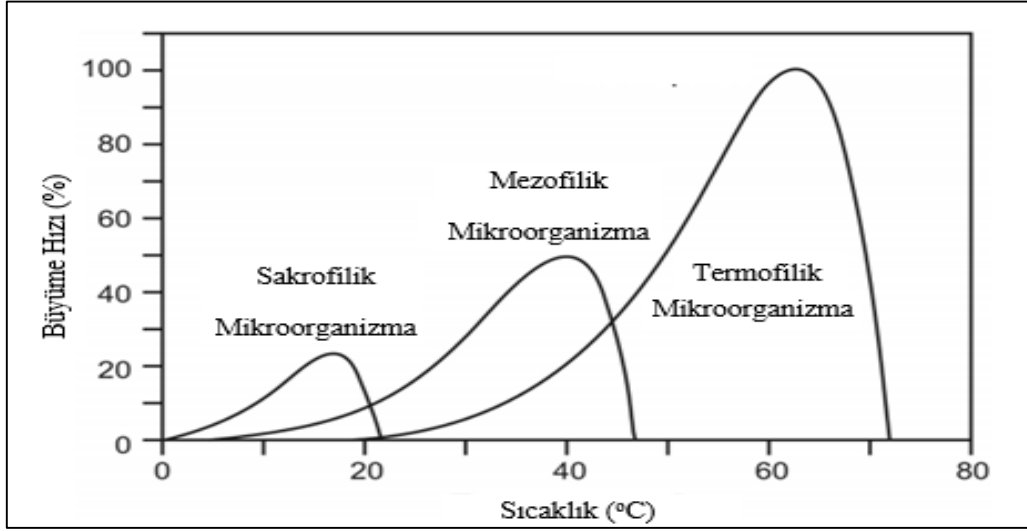
3.2.Biyogaz Üretimini ve Verimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz üretimi sırasında verimi etkileyen çeşitli faktörler belirlenmiştir. Biyogaz üretim ve veriminin yüksek olması için dış etkenlerin uygun şartlarda işlemlere dâhil edilmesi için gerekli ortam oluşturulmalıdır. Biyogaz üretimine etki eden faktörlerin başında sıcaklık ve PH değişimi gelmektedir. Bunların dışında C/N oranı, organik yükleme hızı, hidrolik bekleme süresi, Karıştırma ve partikül boyutu gibi faktörler de sıralanabilir (Tekeli, 2014).

3.2.1. Sıcaklık

Biyogaz üretiminde etkin rol oynayan bakterilerin çok yüksek ya da çok düşük sıcaklıklarda büyüme ve çoğalmaları pek mümkün olmamaktadır. Bu yüzden uygun ortam

sıcaklığının oluşturulması biyogaz üretiminde doğrudan etkisi olan esas bir faktördür. Bakteriler şu sıcaklık aralıklarında aktif olmaktadır (Tekeli, 2014).



Şekil 3.3. Mikroorganizma türlerinin büyüme hızları (Batstone ve Angelidaki, 2011)

Sıcaklık fermentasyon (bir maddenin bakteriler aracılığı ile kimyasal olarak çürümesi) süresini doğrudan etkilediği için ideal sıcaklığın oluşturulması gerekir. Yapılan araştırmalar en yüksek verimin elde edildiği sıcaklığın 55 °C ‘nin altında ortalama 35 °C sıcaklığında sabit tutulması gerektiği tespit edilmiştir (Tekeli, 2014).

3.2.2. PH değişimi

Biyogaz üretiminde rol oynayan mikroorganizmalar için sıcaklık gibi ortamın uygun bir PH değerinde olması oldukça önemlidir. Metan üretiminde etkin rolü olan bakteriler için en ideal ortam nötr ortam veya hafif alkali olan ortamdır. Anaerobik şartlarda işlem sürdürülürken ortamın ideal PH değeri 7-7,5 aralığındadır. Bu değer düşmesi bakterilerde toksit etkisi yapıp metan oluşumunu olumsuz etkileyecektir. PH değerinin düşmesinin en büyük nedenleri ani sıcaklık düşüşleri veya aşırı organik yüklemelerdir. PH değerinin yükselmesi için ilk işlemde organik madde yüklemesi kesilmelidir. İkinci olarak PH’i yükseltmek için sodyum bi karbonat (soda) ve kalsiyum hidroksit (sönmüş kireç) çözeltileri gibi kimyasal maddeler ilave edilmektedir (Anonim, 2021).

3.2.3. C/N oranı

Karbon biyogaz üretiminde rol oynayan bakteriler için enerji kaynağıdır. Azot ise biyogaz üretiminde rol oynayan bakterilerin çoğalması ve büyümesi için ihtiyaç duyulan bir

elementtir. Mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu azot miktarı bakterilerin vücut ağırlıklarının % 11 'i kadardır. C/N oranı 23/1 den büyük ve 10/1 den küçük olmamalıdır. Bakteriler için C/N oranının dar olması uygun ortam oluşturacağından bakterilerin ayrıştırma hızını artırıcı etki yapacaktır. C/N oranının 23/1 den fazla olması çürümeyi olumsuz etkileyeceğinden ve 10/1 den düşük olması da bakterileri üzerinde engelleyici etki yapacağından C/N oranının bu aralıkta tutulması gerekmektedir (Anonim, 2021). Çizelge 3.1’de Atıkların C, N, C/N oranı verilmiştir.

Çizelge 3.1. Atıkların C, N, C/N oranı (Anonim, 2021).

Gübre	C/N Oranı	N % Kuru	C % Kuru
İdrar	1	15	15
Kan	3	12	36
Kesimhane Atığı	8	8	64
Balık Atığı	8	7	56
Çiftlik Gübresi	14	3	42
Kümes Hayvan Gübresi	14	6,55	87,5
At Gübresi	15	2,3	33,4
Sığır Gübresi	18	1,66	30
Domuz Gübresi	20	3,8	76
Koyun Gübresi	22	3,8	83,6
Güvercin Gübresi	25	2	50
Kaz Gübresi	27	2	54
Soya Fasulyesi	5	3,5	17,5
İnsan Dışkısı	8	6	48
İdrarlı İnsan Dışkısı	10	7	70
Taze Çim	12	4	48
Yer Fıstığı Kabuğu	20	2	40
Mutfak Atığı	25	2,5	62,5
Ekmek	25	2	50
Soya Fasulyesi Sapı	32	2	64
Ağaç Yaprakları	50	1,5	75
Yapraklar	55	1	55
Pirinç Samanı	60	0,3	18
Yulaf Samanı	120	1,05	50,4

3.2.4. Organik yükleme hızı

Biyogaz üretimine etki eden bir diğer faktör de organik yükleme hızıdır. Organik yükleme hızı, reaktörün günlük ihtiyaç duyduğu kimyasal oksijen (KOİ) ihtiyacı veya günlük yüklenen organik madde miktarını (uçucu katı madde) ifade eder (Anonim, 2021).

$$\text{Organik Madde Muhtevası} = \frac{\text{Toplam Katı Madde (g)} - \text{Külün Ağırlığı} \times 100}{\text{Toplam Katı Madde (g)}} \quad (3.1)$$

Organik yükleme hızının optimum şekilde gerçekleşmesi biyogaz verimi için oldukça önemlidir. Dengeli bir organik madde yüklemesi olmadığı zaman biyogaz üretimi olumsuz etkilenecektir. Arıtma için organik yükleme hızı (kg/m³*gün) (Akbulut, 2011)

$$OYH = \frac{\text{Günlük Debi} \times \text{Uçucu Madde Kons.}}{\text{Sıvı Hacmi}} = \frac{\text{Gübredeki Uçucu Madde Kons}}{HBS} = \frac{1}{HBS} \times C_1 \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Denklemde C₁ uçucu madde doygunluğudur.

Organik yükleme hızının yüksek olması ortamdaki H₂'nin artmasına neden olacağından asit bakterilerinin etkisinde ortamda asit birikimine sebep olur. Bu durumda PH seviyesi düşeceğinden metan oluşturan bakteriler olumsuz etkilenir ve gaz üretim hızını düşürür. Aynı şekilde hızın düşük olması da gaz üretim hızını düşürecektir (Üregen Güler, 2020).

3.2.5. Hidrolik bekleme süresi

Atık içerisindeki organik maddelerin biyogaz üretiminde bakteriler yardımıyla çürütülmesi için geçen süre hidrolik bekleme süresi (HBS) olarak ifade edilir. Hidrolik bekleme süresi,

$$HBS(m^3/gün) = \frac{\text{Reaktör Hacmi}}{\text{Günlük Debi}} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Hidrolik bekleme süresi esnasında organik maddelerin % 70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girip geri dönüşüm işleminin gerçekleştiği zaman aralığıdır. Hidrolik bekleme süresi sıcaklığın da etkisi ile 20-120 gün aralığında değişiklik gösterebilmektedir. Sıcaklığın artması hidrolik bekleme süresini düşürdüğünden bekleme süresi sıcaklığa göre belirlenmelidir (Tekeli, 2014).

3.2.6. Karıştırma

Biyogaz üretiminin sürekliliği açısından karıştırma işlemi önemli bir faktördür. Karıştırma işlemi homojenliği sağlaması, sıcaklık dengesinin eşit kalması, üretilen gazın ham maddeden çıkmasına yardımcı olması, bakteriler etrafında biriken H₂'yi uzaklaştırması

sayesinde toksitlenmesini engellemesi, üstteki köpük oluşumunu engellemesi ve dipte çökeltiye engel olması açısından biyogaz veriminde oldukça önemlidir (Üregen Güler, 2020).

3.3. Biyogaz Verimi

Biyogaz üretiminde işlemler gerçekleşirken HBS, karıştırma vb. faktörler biyogaz verimindeki değişimde de doğrudan rol oynamaktadırlar. Biyogaz üretimi için kullanılan bitkisel atıklar, hayvansal atıklar ile endüstriyel atık sular ve evsel atık sular gibi kaynaklar biyogazın hammaddesini oluşturmaktalar. Dolayısı ile hammadde olarak çeşitli organik ürünlerden yararlanılmaktadır. Her bir ürünün biyogaz verimi içeriğindeki bileşenlere göre değişim gösterebilmektedir. Çizelge 3.2’de çeşitli maddelerin biyogaz verimleri verilmiştir (Anonim, 2021).

Çizelge 3.2. Biyogaz üretiminde kullanılan hammaddeler ve biyogaz verimleri (Anonim, 2021)

HAM MADDELER	Biyogaz verimi m ³ / ton	Organik kuru madde (Okm) %	Kuru madde (Km) %	Metan (CH ₄) %
Mısır	597,0	97.8	87.0	52.0
Arpa	578.5	97.2	87.0	52.7
Buğday	598.2	98.1	87.0	52.8
Yulaf	501.1	96.7	87.0	54.1
Pancar	569,0	92.0	89.6	51.9
Soğan	80.3	94.0	9.6	65.0
Kuru ot	132.2	87.8	25.0	54.6
Ayçiçeği	594.5	96.6	88.0	63.5
Çimen	162.7	88.5	35.0	53.0
Havuç	73.3	88.3	11.9	52.0
Taze şeker pancarı	147.1	91.9	23.0	50.8
Karnabahar	59.2	92.7	9.6	56.0
Kuru mısır	590.3	98.3	87.0	52.8
Kolza	644.5	95.5	88.0	65.7
Soya fasulyesi	1222,6	99.9	99.9	68.0
Patates unu	605,6	99.5	83.6	50.0
Kolza yağı	1197,6	99.9	99.9	68.0
Taze tavuk gübresi	100.0	75.0	15.0	65
Kuru tavuk gübresi	80.0	75.0	40.0	55.0
Sığır sıvı gübre	34.0	85.0	10,0	55.0
At gübresi	63.0	75.0	28.0	55.0
Koyun gübresi	108.0	80.0	30.0	55.0

Çizelge 3.2. Biyogaz üretiminde kullanılan hammaddeler ve biyogaz verimleri devamı

Süt sığır gübresi	20.2	85	8.5	55.0
Taze inek gübresi	90.0	80.0	25.0	50.0
Süt atıklar	673,8	94.0	79.3	67.5
Ayçiçeği küspesi	488.2	91.9	89.4	61.3
Patates gevreği	556.3	94.7	88.0	50.6
Kuru ekmek	482.0	97.2	65.0	52.8
Ayçiçeği yağı	1222,6	99.9	99.9	68.0
Gliserin	845,7	99.5	100.0	50.0
Soya atıkları	516,7	95.1	90.0	52.7
Evsel atıklar	650.6	97.1	87.7	52.8

Çizelge 3.2 çeşitli ham maddelere ait biyogaz verimi, metan verimi gibi verilerin yer aldığı bir çizelgedir. Bu çizelgede yer alan Ayçiçeği yağının Metan verimi % 68 biyogaz verimi ise 1222,6 m³ / ton olduğu, yine Taze tavuk gübresinin Metan verimi % 65 biyogaz verimi ise 100 m³ / ton olduğu, Evsel atıklara ait Metan verimi % 52,8 biyogaz verimi ise 650,6 m³ / ton olarak tespit edilmiştir. Biyogaz üretimi için birçok hammadde kullanılmakta olup verimi yüksek olan ürünlerin kullanılması gerekmektedir.

Biyogaz diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında aralarındaki ilişki şu şekildedir.

1 m³ biyogaza eşdeğer yakıt miktarları;

• 0,25 m³ propan, 0,75 litre benzin, 0,66 litre motorin ile eşdeğerdir.

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı (4700-5700 kcal/m³);

• 12,3 kg tezek, 3,47 kg odun, 0,62 litre gazyağı, 1,46 kg odun kömürü, 0,43 kg bütan gazı, 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir.

Biyogaz enerji değeri elektrikten elde edilen enerjiye göre az odundan elde edilen enerjiye göre ise fazladır (Anonim, 2021).

3.4. Biyogaz Tesis Çeşitleri

3.4.1. Üretim tekniğine göre biyogaz tesisleri

Kapasitesine göre biyogaz tesisleri 4 gruba ayrılır;

6-12 m³ Kapasiteli Aile Tipi Biyogaz Tesisleri (Çok küçük ölçekli tesisler)

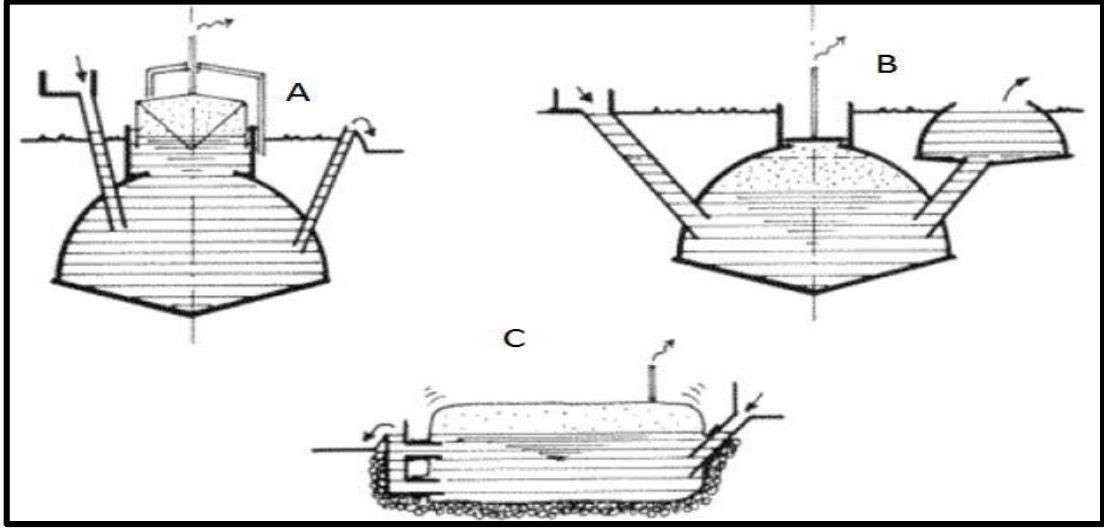
50-100 m³ Kapasiteli Çiftlik Tipi Biyogaz Tesisleri (Küçük ölçekli tesisler)

100-200 m³ Kapasiteli Köy Tipi Biyogaz Tesisleri (Orta ölçekli tesisler)

1.000-10.000 m³ Kapasiteli Endüstriyel Tip Biyogaz Tesisleri (Büyük ölçekli tesisler)

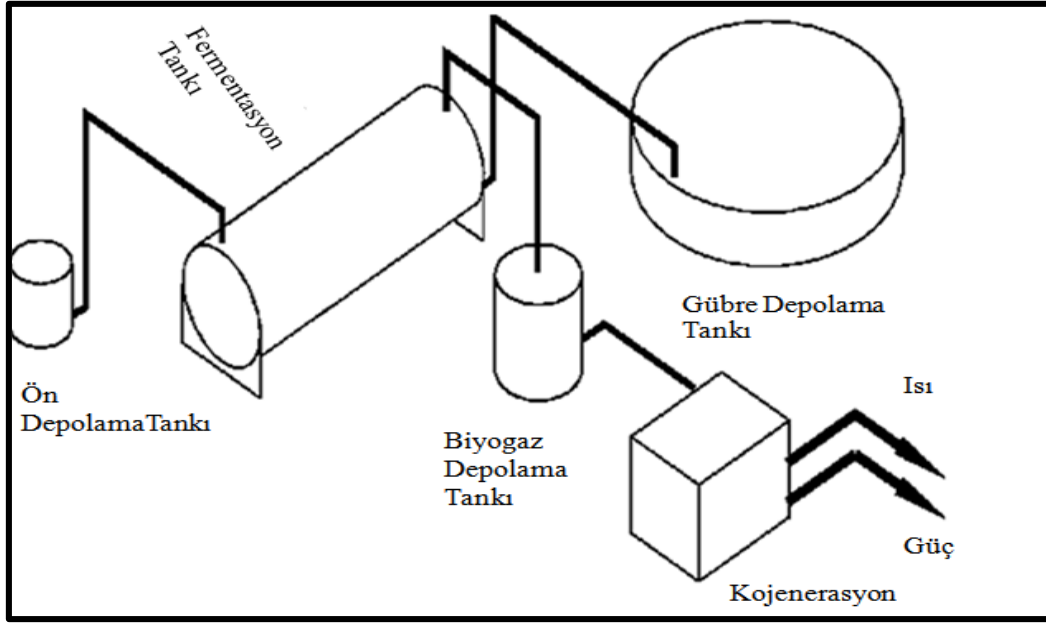
(Anonim, 2021).

6-12 m³ kapasiteli aile tipi biyogaz tesisleri: Kapasiteleri 6-12 m³ arasında olan sabit kubbeli biyogaz tesislerin yaygın olarak kullanıldığı yer Çin olarak tespit edilmiştir. Bu kapasitedeki tesisler Çin’de genel olarak ufak çiftliklerin olduğu yerlere yakın inşa edilmektedir. Bu tesislerde üretilen biyogazın kullanım yerleri genel olarak ocak ve araçlardır. Aile Tipi Biyogaz Tesisler maliyet açısından kurulum maliyeti çok düşük olan tesislerdir. Türkiye’de de bu sistem uygulanmaya çalışılmış ancak pek ilgi görmemiştir (Anonim, 2021). Şekil 3.4’te Aile tipi biyogaz tesis gösterimi verilmiştir.



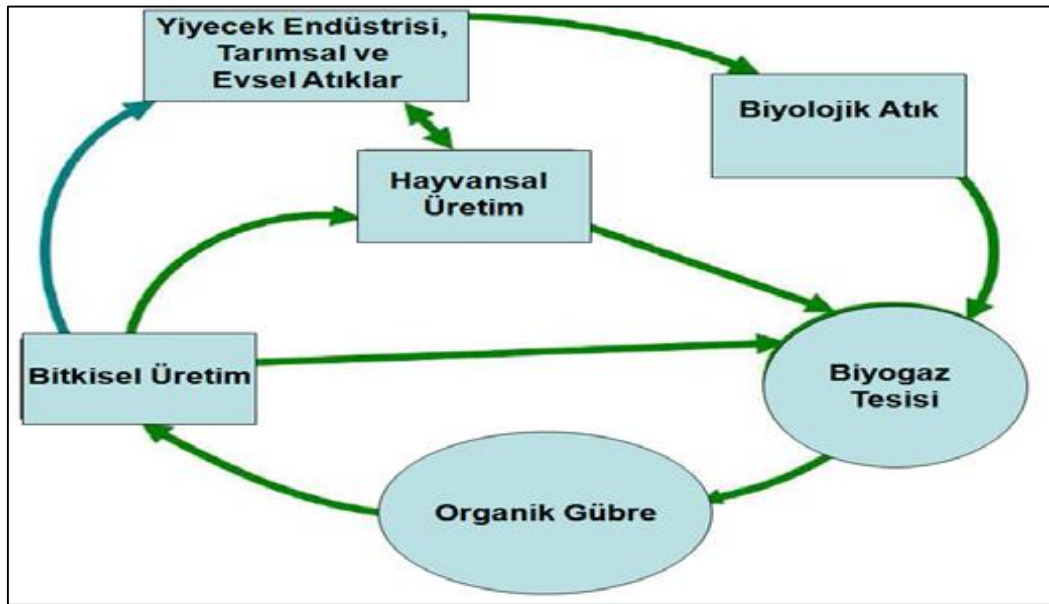
Şekil 3.4. Aile tipi biyogaz tesisleri : A.Hint Tipi, B.Çin Tipi, C. Tayvan-Çin tipi (Yokuş, 2011)

50-100 m³ kapasiteli çiftlik tipi biyogaz tesisleri: Başta Çin ve Hindistan’da olmak üzere dünyada birçok ülkede Çiftlik Tipi Biyogaz Tesisleri kurulmaktadır. Küçük ölçekli tesisler olarak bilinen Çiftlik Tipi Biyogaz Tesislerinin hem kurulum sistemi hem de çalışma şekli gayet basit olan tesislerdir. Çelikten yapılan fermentörler de betondan yapılan fermentörler de gaz sızdırmazlığı açısından hiçbir şekilde sızdırmayacak şekilde tesis edilmektedir. Bu sistem sıcaklık açısından hassas bir sistem olduğundan sıcaklığı sabit tutmak için yapılacak yalıtım metodu oldukça önem arz etmektedir (Anonim, 2021). Şekil 3.5’te Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.5. Çiftlik tipi bir biyogaz tesisinin şematik görünümü (Yokuş, 2011)

100-200 m³ kapasiteli köy tipi çiftlik tipi biyogaz tesisleri: Bu tesisleri diğerlerinden ayıran özelliği biyogaz üretim sistemi büyük olmasıdır. Köy Tipi Biyogaz Tesislerinde fermantörde bekleme süresi organik atığın türüne göre 20 ile 40 gün aralığında farklılık göstermektedir. Bu tesislerde üretilen ürünler gaz ve kompost gübre olmak üzere 2 farklı ürün ortaya çıkmaktadır (Anonim, 2021). Şekil 3.6'da Köy Tipi biyogaz tesisi çalışma döngüsü verilmiştir.



Şekil 3.6. Köy Tipi biyogaz tesisi çalışma döngüsü (Yokuş, 2011)

1.000-10.000 m³ kapasiteli büyük tipi biyogaz tesisleri: Endüstriyel Tip Biyogaz Tesisleri adıyla da bilinen bu tesislerde fermantörlerin büyüklükleri farklılık göstermektedir. Fermantörlerin büyüklükleri tesisin kapasitesine ve organik atığın hidrolik bekleme süresine göre değişiklik göstermektedir. Bu biyogaz tesislerinde de Fermantörün beton olarak inşa edilmesi veya çelik olarak inşa edilmesi mümkündür. Bu tesislerde fermantör içerisine konulan karıştırıcılar yardımı karıştırılarak malzemenin iyi bir şekilde fermante olması amaçlanmaktadır. Ayrıca gerek fermantörde yapılan izolasyon gerekse sistemin içerisine konulan ısıtıcılar yardımı ile sistemin uygun sıcaklıkta sabit kalması sağlanmaktadır (Anonim, 2021). Şekil 3.7’de Almanya’da bulunan Endüstriyel bir biyogaz tesisi görüntüsü verilmiştir.



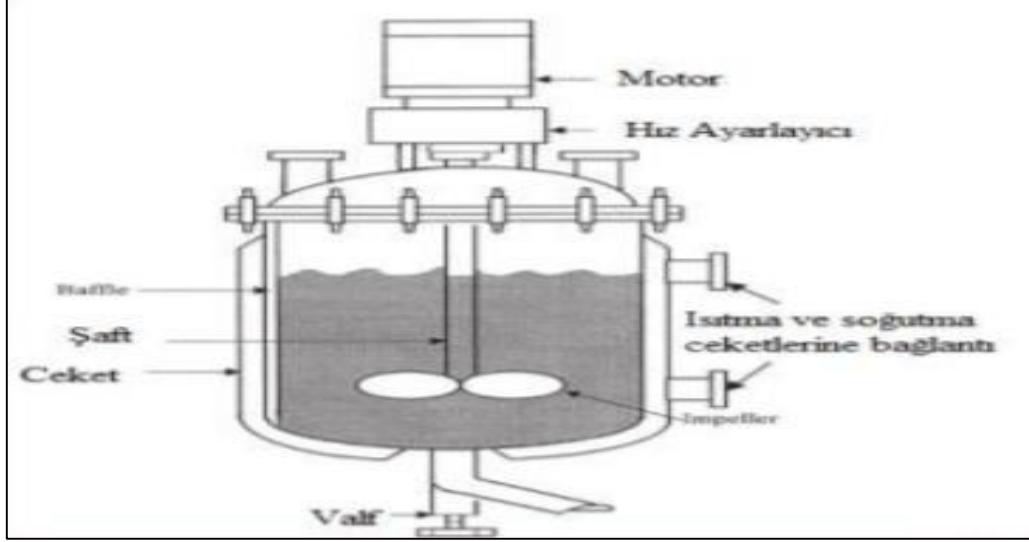
Şekil 3.7. Endüstriyel bir biyogaz tesisi olan almanya-birkenfeld (Yokuş, 2011)

Besleme şekline göre fermantasyon 3’e ayrılır;

- Kesikli Fermantasyon
- Yarı Kesikli Fermantasyon
- Sürekli Fermantasyon

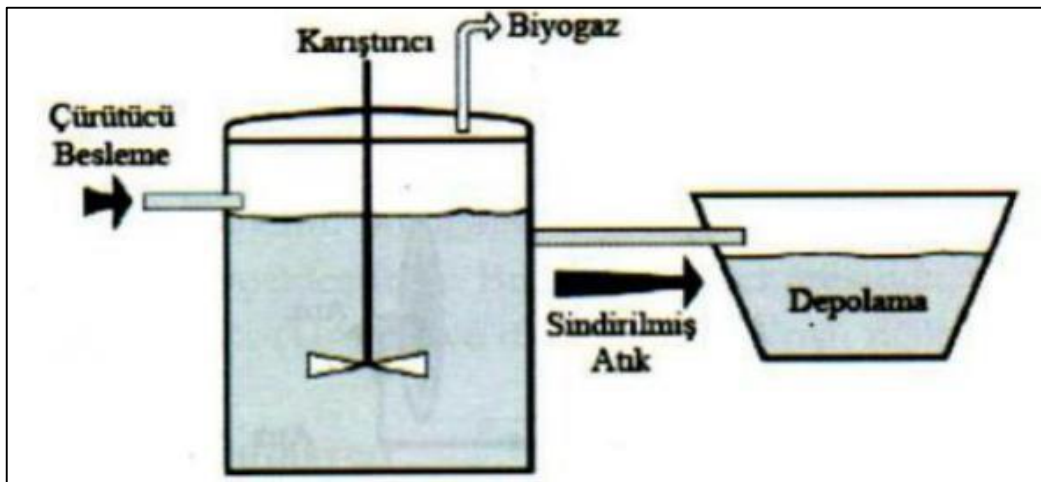
Kesikli fermantasyon : Fermantör (üretim kabı), organik atıklar ile doldurulur ve beklemeye alınarak biyogaz oluşması sağlanır. Burada bekleme süresi sistem sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bekleme süresi sona erdiğinde fermantör tamamen boşaltılarak yeni organik ürünlerle doldurulur. Bu işlem sürekli tekrarlanır (Anonim, 2021).

Beslemeli kesikli (yarı-kesikli) fermantasyon: Fermantör ilk olarak organik atıklar ile komple doldurulur ve beklemeye alınır. Belirli bir süre sonunda fermantörde bulunan atıklardan yarısı alınarak yenileri eklenir. Bu işlem sürekli bu şekilde devam eder (Yavrucu, 2019). Şekil 3.8’de Kesik beslemeli tip reaktör verilmiştir.



Şekil 3.8. Kesik beslemeli tip reaktör (Yavrucu, 2019)

Sürekli fermantasyon: Bu fermantasyonda fermantör her gün belirlenen miktarlarda belirlenen atıklar ile beslenir. Besleme miktarı kadar fermente olmuş atıkta fermantörden alınır. Bu şekilde sürekli besleme ile kesintisiz gaz üretimi sağlanmış olur (Yavrucu, 2019). Şekil 3.9’da Sürekli beslemeli tip reaktör verilmiştir.



Şekil 3.9. Sürekli beslemeli tip reaktör (Yavrucu, 2019)

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Deviren ve ark. (2017) tarafından hazırlanan makalede, biyogaz elde etmek için kullanılabilen maddeler ve biyogazın hangi alanlarda kullanılabileceği araştırılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan biyogaz, biyokütle maddelerinin havasız ortamda bazı bakteri çeşitlerinin ortak faaliyetleri neticesinde çürütülmesi esnasında oluşan ve çoğunluğu metan ve karbondioksit oluşumu hakkında veriler verilmiştir. Biyogazın üretimi için; hayvansal ve bitkisel atıklar, evsel atık sular, endüstriyel atıklar vb. materyallerden yararlanılabilmektedir. Biyogazdan elektrik enerjisi ve ısı enerjisi üretmenin yanında atık olan kısımlardan organik gübre olarak tarlalarda faydalanılabilmektedir. Biyogaz içerisindeki CO₂ gazı ayrıştırıldıktan sonra taşıtlar için yakıt olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca belli oranlarda doğalgaz ile karıştırılıp kullanılabilmektedir.

Gülhan ve ark. (2018) çalışmalarında nüfusu yaklaşık 2,5 milyon olan ileri biyolojik atıksu arıtma tesisinden çevreye atılan sera gazı emisyonu üzerinde etkisi olan çözünmüş oksijen doygunluğu ve çamur yaşı faktörlerini incelemişlerdir. Bu çalışma esnasında parametreler incelenirken GPS-X 6.5 model yazılımından faydalanılmıştır. Bunlardan çamur yaşının etkisi için 18, 13, 9, 5 ve 2 gün değerleri incelenmiş ve sırasıyla 554684 eşd/yıl, 565681 eşd/yıl, 565961 eşd/yıl, 618508 eşd/yıl ve 0 t CO₂ eşd/yıl emisyon miktarı değerleri tespit edilmiştir. Yaşı 5 günden fazla olan çamur için emisyon miktarının azaldığı ortaya çıkmıştır.

Çözünmüş oksijen doygunluğunun etkisi için 3.0 mg/lt, 2.5 mg/lt, 2.0 mg/lt, 1.5 mg/lt, 1.0 mg/lt ve 0.5 mg/lt değerleri test edilmiş ve sırasıyla 449997 eşd/yıl, 503275 eşd/yıl, 583603 eşd/yıl, 719380 eşd/yıl, 999243 eşd/yıl ve 1455632 t CO₂ eşd/yıl doğrudan emisyon miktarları sonuçları ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre artan oksijen doygunluğunun sera gazı üzerinde azaltıcı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Duyarlılık analizine göre ise incelenen parametrelerden çözünmüş oksijenin çamur yaşından daha fazla etki ettiği ortaya çıkmıştır.

Topaloğlu (2009) çalışmasında, sistem olarak Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) kullanılarak şehirlerde ortaya çıkan atık suyun farklı reaksiyon süreleri için arıtma verimleri araştırılarak, şehirlerdeki atık sular için en iyi reaksiyon süresi ve deneysel sonuçlara göre AKR tasarlanarak deneysel çalışma için en iyi reaksiyon sabitinin (k) belirlenmesi hedeflenmiştir. İşlemler esnasında; İletkenlik, Sıcaklık, Askıda Katı Madde (AKM), pH, Çözünmüş Oksijen (ÇO), Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Fosfor (TP), Toplam Azot (TN) gibi faktörlerin ölçümleri yapılmıştır. İşlemler için laboratuvar ölçekli bir AKR birbirinden farklı beş reaksiyon süresi için arıtma verimleri

incelenmiş, şehirlerdeki atıksular açısından en iyi reaksiyon süresinin 1,5 saat, deneysel sonuçlara en uygun reaksiyon sabitinin ise $0,60 \text{ h}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir.

Cırık ve Eskikaya (2018) Kahramanmaraş'taki tesis üzerine yayınladıkları çalışmadaki amaçları, Merkez Atıksu Arıtma Tesis'i'ndeki giriş atıksuyunun özelliklerinin incelenmesi ve inceleme sonucu ortaya çıkan ortalama kirlilik parametrelerinin baz alınan kaynaklarda ortaya konan düşük kuvvetli, orta kuvvetli ve kuvvetli kentsel atıksulara göre kentsel atıksuyun kirlilik seviyesinin belirlenmesidir. Bu çalışmada hem tesisin giriş atıksuyunun hem de belirlenen bazı noktalardan alınan numuneler sadece evsel atıksuyu gösteren atıksu örneklerinin özelliklerini KOİ, BOİ₅, renk (Pt-Co) toplam azot, fosfat, Ph ve debi ölçümleri ile ortaya konmuştur. Analizler neticesinde elde edilen verilere göre yalnızca kentsel atıksuyun; çözünmüş KOİ doygunluğu ortalama 298,54 mg/l ve pH'ın ortalama değeri 7,52 ile orta kuvvetli kentsel atıksu özelliklerinde olduğu ortaya konmuştur. Yaklaşık KOİ/BOİ₅ oranı 3,51 olarak belirlenmiş ve orta kuvvetli evsel atıksu kapsamına girdiği görülmüştür. Yapılan araştırmalara göre bir atıksuyun arıtılabilmesi için KOİ/BOİ₅ oranının yaklaşık değeri 2 olmalıdır.

Topal ve Arslan Topal (2014) tarafından hazırlanan çalışmada, Elazığ Belediyesi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinden atılan suları Kehli Deresindeki suyun özelliğine etkisinin incelenmesi için yapılan analizlerde, atıksu deşarjından sonra pH değerlerinin azaldığı, Eİ, amonyum, nitrit, ortofosfat, nitrat, BOİ₅, KOİ, TÇM değerlerinin ise yükseldiği belirlenmiştir. Kehli Deresi KOİ açısından Sınıf I, nitrat açısından Sınıf II, BOİ₅ açısından Sınıf III, amonyum ve nitrit açısından Sınıf IV seviyesinde yüzeysel bir su olduğu belirlenmiştir. Atıksu deşarjından sonra ise Kehli Deresi'nin BOİ₅ ve KOİ açısından Sınıf IV kalitesinde bir yüzeysel su olduğu, amonyum, nitrit ve nitrat açısından su kalitesinden herhangi bir değişiklik bulunmadığı belirlenmiştir. Arıtma tesisi Kehli Deresi'nde BOİ₅ açısından kat 9,42, ortofosfat açısından 4,17 kat, TÇM açısından 1,22 kat, amonyum açısından 7,52 kat, , nitrat açısından 1,43 kat, KOİ açısından, 8,34 kat ve nitrit açısından, 3,35 katlık fazladan kirlilik oluşturmaktadır. Kirlilik yükünün en çok BOİ₅ ve KOİ'den kaynaklandığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Elazığ Belediyesi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinden atılan suların Kehli Deresi suyu olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Gülhan ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, biyolojik nütrient giderimi yapan 720.000 eşdeğer nüfusa sahip bir atıksu arıtma tesisi ASM2d modeli ile ölçülmüş ve matematiksel olarak tasarlanmıştır. Tesiste giriş azot yükü, IR ve V_d/V oranlarının, atık suyundaki TN doygunluğu üstündeki etkilerini tespit etmek üzere iki ayrı senaryo belirlenmiş ve tesisin deşarj standardını oluştururken beraberinde minimum enerji tüketimini sağlayan ideal işletme

şartları belirlenmiştir. Birinci senaryoda, giriş azot yükü ve IR oranının çıkış TN doygunluğu üstündeki etkileri kıyaslanmıştır. Buna göre, hâlihazırdaki azot yükünü düşürmek üzere 4,4 IR oranı ile çalıştırılan tesisin, 2,5 IR oranı ile çalıştırıldığında da deşarj hattında 10 mg/l'ten az TN doygunluğu elde edildiği belirlenmiştir. Bu şekilde tesiste mevcut halde daha az bir geri devir oranı ile enerji tasarrufu yapılırken, tesisin çıkışında tasarlanan deşarj TN doygunluğu de elde edilmiştir. İkinci Senaryoda ise atıksu azot yükü ile V_d/V oranının tesis çıkış TN doygunluğuna etkisi kıyaslanmıştır. İkinci Senaryo kapsamında, V_d/V oranının 0,2 yerine 0,5 olarak belirlenerek tesisin işletilmesi durumunda, çıkışta 10 mg/L TN doygunluğunun oluşturulabileceği sonucuna varılmıştır.

Tatar ve Sağlam (2020) çalışmalarında Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde 8 ay süresince her gün tesis girişinden ve tesis çıkışından alınan 24 saatlik kompozit örnekler ile BOI_5 , KOI ve AKM değerleri analiz edilmiş ve tesis verimi incelenmiştir. Bu incelemeye göre tesis; % 93 KOI , % 93 BOI_5 ve % 94 AKM giderimi ile faaliyet göstermektedir. Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü denetimindeki Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği standartlarına uygun olduğu görülmüştür.

Küçükçongar ve Sevil (2020) yayınladıkları çalışmada azot giderimini kısmi yapan bir atıksu arıtma tesisindeki (AAT) çözünmüş organik azotun (ÇOA) biyolojik olarak ayrıştırılması araştırılmıştır. Atıksu arıtma tesisinin belirli noktalarından belirlenen bazı aylarda alınan örneklerde yapılan 28 günlük inkübasyon prosedüründen önce ve inkübasyon prosedüründen sonra çözünmüş azot türleri (Kjeldahl, amonyak, nitrit ve nitrat azotu) analiz edilmiştir. ÇOA değerleri ön arıtım işleminin çıkışında 1,9-56,76 mg/l'te ve AAT çıkışında 4,1-19,7 mg/l'te değerleri elde edilmiştir. Değişik bakterilerden yararlanarak atıksu numunelerinde biyolojik parçalanabilirlik araştırılmış ve AAT arıtım hattında ayrı ayrı örnekleme zamanlarında % 26-98 aralığında değerler görülmüştür. Biyolojik çözünmüş azotun Toplam çözünmüş azota ($B\text{ÇOA}/T\text{ÇA}$) oranı %6-85 arasında bir değer olduğu saptanmıştır.

Karabaş ve Arifoğlu (2020) tarafından hazırlanan çalışmada Düzce şehrine ait evsel içerikli atıksular Düzce Belediyesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinde ileri biyolojik arıtma işlemi uygulanmıştır. Arıtılmış atıksuyun içeriğini tespit etmede kullandığımız parametrelerden olan (BOI_5), (KOI), (AKM) ve pH parametrelerinin ölçüm sonuçları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olduğu görülmüştür. Bu parametrelerin verimlerinin de % 70'in üstünde olduğu AKM parametresinin veriminin ise % 99'a yaklaştığı belirlenmiştir. KOI parametresinin veriminin düşük olduğu tespit edilmiştir, bundan dolayı arıtma tesisinin arıtma veriminin yükseltilerek tesisinin daha iyi performans göstermesi için

sistemde otomasyonun sağlanması ve belirli periyotlar ile analizler yaparak işletme parametreleri incelenmelidir.

İrdemez ve ark (2016) yaptıkları çalışmada, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi GASKİ Genel Müdürlüğünde yer alan 1.000.000 eşdeğer nüfus kapasiteli Merkez Atıksu Arıtma Tesisinde işletilmekte olan 180 ton/gün içerisinde % 27 Kuru Madde olan atık arıtma çamuru besleme kapasiteli termal kurutma ve yakma tesisinin, kış mevsimi ve yaz mevsimi dönemlerindeki performansı ve ortaya çıkarabilecek enerji potansiyeli irdelenmiştir. Merkez Atıksu Arıtma Tesisine giren atıksuların mevsimlere göre kirlilik yükü durumları araştırılarak incelenmiştir. Bunun için bölgenin en sıcak ayı olan Temmuz ve en soğuk ayı olan Ocak ayları dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Kış mevsiminde termal kurutma ve yakma ünitesine aktarılan % 27 KM içerikli biyokattının bulundurduğu organik madde içeriğinin, yaz mevsiminde sisteme gönderilen biyokattının organik madde içeriğinden, sıcaklık nedeniyle çamur çürütücülerdeki performans azalışından dolayı, fazla olması nedeniyle açığa çıkan enerji miktarının da yaz mevsimine göre yaklaşık % 40 fazla olduğu belirlenmiştir.

Kutlu (2008) tarafından hazırlanan çalışmada, pilot ölçekli biyogaz sisteminde ekserji analizi yapılarak sistemin enerji kalitesi araştırılmıştır. Bu sistemde 5 m³ kapasiteli biyogaz reaktörünün ısıtılması için güneş enerjisinden faydalanılmıştır. Gündüz elde edilen ekserji verimi geceye göre daha yüksek olduğunun tespiti yapılmıştır. Mezofilik bölgede Günlük 3,89 kg UK/m³. gün sürekli besleme ile sığır gübresi kullanılarak 1,3 m³-biyogaz/m³-reaktör. gün verimi elde edilmiştir.

Reaktörde yapılan ekserji analiz hesabına göre, reaktörün gündüz ortalama % 93, gece ise ortalama % 91 ekserji verimi ile çalıştığı belirlenmiştir. Boyler ile reaktör arasındaki boru hattının meydana getirdiği ısı kayıpları hem reaktör verimini hem de boyler verimini düşürdüğü tahmin edilmiştir. Bütün Biyogaz sistemine ekserjetik açıdan bakıldığında sistem veriminin % 35 ile % 74 aralığında değiştiği, gündüz artış eğiliminde olduğu gece ise verimin sabitlendiği tespit edilmiştir. Kolektördeki verimin değişmesi biyogaz sisteminin verimini yaklaşık % $\pm 8,74$ etkilediği tespiti elde edilmiştir.

Ruşen Can (2017) tarafından yapılan çalışmada, Adıyaman Atıksu Arıtma Tesisindeki arıtma çamurundan Biyogaz Üretim Veriminin İncelenmesi ve biyogaz üretim kapasitesinin araştırılması düşüncesiyle Eylül 2016 - Şubat 2017 arasındaki 6 aylık veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Arıtma çamurunun debisine göre üretilen toplam biyogaz miktarında yapılan elementel analiz sonucunda metan(CH₄) % 66,61; Karbondioksit(CO₂)'in % 33,5 ortalama değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Şubat-2017 giderim verileri KOİ % 93,45; AKM % 91,04; BOİ₅ % 90,76; TN % 76,85; TP % 81,69 üretilen elektrik miktarı ise 61.162 kW/ay

şeklinde değerler tespit edilmiştir. Çamurda yapılan incelemede organik madde analiz sonucunda kg/m³ cinsinden aylık ortalama miktarlar TKM 52,6; AKM 6-7; UKM 26,35 şeklinde belirlenmiştir. Günlük yaklaşık 150-200 m³ çamurdan ortalama 1.000 - 1.200 m³ biyogaz üretimi yapılmaktadır. Elde edilen ortalama her 130 m³ biyogazla saatte 200 kW elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Ghosh ve ark. (2020) tarafından hazırlanan makalede, İleri düzey biyogaz üretimi için Katı Atık (OFMSW) ve belediye kanalizasyon çamuru Metagenomik analizi yapıldı. Etkili bakteri gruplarının aralarındaki değişiklikleri zamanla tespit etmek ve anaerobik sindirim (AD) esnasında etkilerini gözlemleyerek analiz yapmaktır. En iyi biyogaz verimi % 69.5 biyogaz/g vs ile toplam 586.2 ml metan doygunluğuna sahip OFMSW: SS (40: 60 w / w). optimum oranda olduğu gözlenmiştir Bakteri ve mantarların esas olarak işlemin ilk aşamalarında rol oynadığı tespit edilmiştir.

Tetteh ve Rathilal (2021) tarafından yapılan çalışmada, biyogazın doğal kaliteye yükseltilmesi (>%90 CH₄) için biyomanyetik nanopartikülleri atık su arıtımı için bir biyostimulan olarak sunmaktadır. Buna rağmen, anaerobik sindirimin atık sularda hala yavaş kinetik ve düşük metanasyon verimi ile olduğu görülmektedir. Burada, yüksek oranlı dört BMNPs (CuO, Fe₂O₃, TiO₂, Cu/Fe-TiO₂) anaerobik sistemin geliştirilmesi amacı ile araştırma yapıldı. Organik atıkların katma değerli ürünlere (su ve biyogaz) dönüşmesi için. Şeker rafinerisi bir atıksu substrat ve inokulum şeklinde aktif çamur olarak ele alınmıştır. Bu çalışma 800 ml hacminde 35 °C mezofilik sıcaklıkta, biyoreaktörler ve 30 günlük hidrolik tutma süresi şartlarında gerçekleştirildi. Sonuç olarak bmn'ler ile indüklendiğinde, kontrol sisteminde substrat – inokulum dönüşmesi olduğunu gösterdi. Metan (CH₄) potansiyelini % 63'ten % 100'e çıktığı görüldü. Aynı şekilde % 75'in üzerinde kimyasal oksijen su indeksi, toplam askıda katı madde ve uçucu katı madde atıldı. Biyogaz üretimi Stimulatingly ve Bmn'lerin biyoreaktörlere eklenmesiyle atık su arıtımı önemli ölçüde iyileştirildi. Çamur sonrası analiz morfolojik ve elementel Bmn'lerin dağılımı ve mikoblarla biyomanyetik etkileşimleri kirleticilerin adsorptif olarak uzaklaştırılması ve biyogaz üretim verimini gösterdi .kinetik model, tüm biyoreaktörler için elde edilen kümülatif biyogaz verimini önemli ölçüde (p < 0.05) etkiledi. 0.182504–0.203027 gün⁻¹ aralığında bir kinetik hız sabiti ile. Cu/Fe-TiO₂'nin performansı katkı maddeleri Bmn'lerin geri kalanının yerini aldı. Sonuç olarak, Bu çalışmada, organik atık yönetimi yaklaşımı biyomanyetik nanopartiküllerin eklenmesinin etkisi Atık suyun anaerobik sindiriminin artırılması için biyoenerji umut verici ve uygulanabilir olduğu ortaya konmuştur.

Yuana ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, çamur için yarı sürekli bir anaerobik sindiricide kimyasal ilaveyle birlikte biyogaz devridaiminin etkisi altında biyogaz verimini yükseltmesi, fosfor tasarrufu ve çamur şartlandırmasını sağladığı kanıtlanmıştır. Arıtma aynı zamanda, çamur arıtma maliyetini büyük ölçüde azaltır. Sonuçlar, FeCl_3 ek bağlantı biyogazının devridaim, eşdeğer MgCl_2 ilavesi ile % 75'e kıyasla çamur susuzluğunu % 94 artırabilir ve sindirimdeki % 97 fosfor, vivianit benzeri kristallerin oluşumu ile katı halde korunabilir. Biyogaz devridaim, CH_4 verimini % 13 ve içeriğini % 11 oranında artırabilir kanaatine varılmıştır.

Santos ve ark. (2016) tarafından hazırlanan çalışmanın amacı, biyogazın birincil ve ikincil biyometanizasyonunun nasıl gerçekleştiğini göstermektir bir atıksu arıtma tesisinden (AAT) aktif çamurun arıtılması fosil yakıtlara alternatif yenilenebilir enerji seçeneği olabilir. Bu çalışma, biyogaz yanma ve enerji geri kazanım süreçlerini bir termoeconomik ve ekserjetik bakış açısı ile analiz etmiştir. Sonuçlar, yıkım kazanının işlemin geri dönüşümsüzlük ve ekserjinin ana kaynağı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yanmadan kaynaklanan egzoz gazlarının enerji ve ekserji ekonomik değeri kullanmaya değer ve değerlidir. Bu nedenle, bu çalışma bir Stirling motorunun bu sürece entegre edilmesinin uygulanabilirliği ve uygunluğunu araştırıyor. Bu Çalışma ile sürdürülebilir atık yönetimine yol açan küçük bir mikro kojenerasyon sistemi oluşturmak mümkündür ve arıtma tesisinin kendisinde enerji tasarrufu olduğunu ortaya koymaktadır.

Şenol ve Açikel (2019) yaptıkları çalışmada çeşitli organik evsel katı atıklardan (EKA) ve taze sığır gübresi (SG) karışımının oksijensiz ortamda çürümesi ile biyogaz üretmişler. Varsayımla ele alınan organik evsel katı atıkların ilk olarak elementel analiz cihazı ile karbon-azot C/N oranı tespit edilmiş daha sonra kuru madde ve organik uçucu madde oranı tespiti yapılmıştır. Evsel atıkların karbon(C) içeriği azot(N) içeriğinden daha çok olduğundan C/N oranı yaklaşık 45 olarak tespit edilmiştir. Daha sonra bu atıkların karışımı C/N oranları oksijensiz ortamda çürümesi için ideal değer olan 20-35 aralığında olacak şekilde sığır gübresi (SG) ile karıştırılmıştır. Kütlece karışım oranları 1:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:1 olacak şekilde 5 farklı evsel atıklar: sığır gübresi karışım oranı oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen işlemler 500 ml' lik 2 yan boyunlu kapaklı şişelerde yapılmıştır. Bütün deneyler 3 tekrar yapılarak yürütülmüştür. Biyogaz üretimi mezofilik şartlarda (40 °C) gerçekleştirilmiştir. En iyi biyogaz üretim hızı 280 ml/g toplam katı madde olup, EKA: SG 2:1 karışım oranına sahip reaktörde olduğu tespit edilmiştir. Anaerobik fermantasyondaki KOİ 7 günlük aralıklarla ölçülmüş ve toplam KOİ giderimi en çok % 48,9 ile kütlece 2:1 oranında karıştırılan reaktörde

görülmüştür. Bu çalışma neticesinde biyogaz üretimi için evsel katı atıkların sığır gübresi ile oksijensiz ortamda çürütülmesinin iyi bir karışım oluşturduğu belirlenmiştir.

Guilera ve ark. (2020) tarafından hazırlanan çalışmada, biyogazın katalitik metanasyonu, membran yükseltme ünitesi tarafından salınan biyogaz ve karbondioksitin kısmen modernizasyonu yenilikçi mikro yapı ısı değişim reaktörleri sayesinde gerçekleştirildi. Gaz ön ısıtma, katalitik reaksiyon ve su yoğunlaşması dâhil olmak üzere 2 adımlı bir metanasyon süreci uygulandı. Reaksiyonun çoğunun ilk reaktörde meydana geldiği gözlenmiştir ($T \sim 400^{\circ}\text{C}$), ikinci reaktör ($T \sim 300^{\circ}\text{C}$) ise yüksek bir metan içeriği sağlamak için gerekli olduğu görülmüştür. Biyogaz metanasyonu reaksiyonu azalttı sıcak noktalar ve çıkıştaki metan içeriği artırılmıştır.

Lopesa ve ark. (2018) hazırladıkları çalışmada, Yüksek oranda alg kullanan orta ölçekli bir atıksu arıtma sisteminin tekno-çevresel performansı havuzlar kütle ve enerji dengeleri ve yaşam döngüsü değerlendirmesi ile değerlendirilmiştir. Sistem atık su içerir birincil tedavi, mikroalg bazlı ikincil tedavi, buhar patlaması ile termal hidroliz mikro alg, önceden işlenmiş mikro alg biyokütle ve birincil çamurun anaerobik birlikte sindirimi ve biyogaz kojenerasyonu. Ayrıca, alternatif biyogaz kullanımlarına dayanan iki senaryo göz önünde bulundurulmuştur: (1) ısı için biyogaz ve (2) ısı, elektrik ve biyometan için biyogaz. Atık suyun birincil yerleşimciye pompalanması elektrik tüketiminin ana kaynağı olarak ortaya çıktı. Geleneksel aktif çamur tesisleri ile karşılaştırıldığında, büyük bir ikincil tercih için enerji tüketiminde azalma gözlemlendi. Ayrıca, uygun bir yaşam döngüsü geleneksel enerji ürünlerinin yerini değiştirirken genellikle mikro alg bazlı sistemler için performans bulunmuştur.

Abuşoğlu ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, biyogaz ile çalışan gaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin termoekonomik analizini yapmışlardır. Kojenerasyon sistemini özgül ekserji maliyet belirleme (SPECO) yöntemini kullanarak bileşenlerinin üretim masraflarının akışlarını gösteren ilişkiler geliştirilmiştir. Kojenerasyon sisteminde kullanılan biyogaz, aynı yerleşke sınırları içerisinde yer alan atık su arıtma tesisinden elde edilmiştir. Bu Sistemde 0.387 m^3 biyogazdan 1 kW elektrik üretilmektedir. Sisteme giren ekserjinin % 73,4'ünün yıkıma uğradığı ve sistemin ekserji veriminin % 26.6 olduğu tespit edilmiştir. Biyogaz ile beslenen gaz motorlu kojenerasyon sisteminde elde edilen elektriğin ekserjiye bağlı maliyet oranı $90.0 \text{ \$}/\text{h}$ ve bu sistemdeki birim ekserji maliyeti ise $25 \text{ \$}/\text{GJ}$ sonuçları elde edilmiştir. TEDAŞ'ın sanayi işletmeleri için $0,103 \text{ \$}/\text{kW-h}$ olarak belirlediği tarife ile kıyaslandığında daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Kurt ve Abuşoğlu (2019) yaptıkları çalışmada Gaziantep Atık Su Arıtma Tesisine ile birlikte çalışan ve tesiste atık su çamurundan elde edilen biyogazdan faydalanarak elektrik enerjisi üreten biyogaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin genetik algoritma temelli termodinamik optimizasyonu değerlendirilmiştir. Bu inceleme için MATLAB programı kullanılarak kojenerasyon sistemi durumuna uygun sistem kodları üretilmiştir. Kojenerasyon sistemi 1000 kW elektrik enerjisi üretmekte ve havasız çürütme tankına ihtiyaç duyulan ısıyı vermektedir. Sistem ısı değiştiricilerinin ekserji verimi optimizasyonu ile beraber tüm sistemin ekserji verim optimizasyonu için çalışma yapılmıştır.

Kojenerasyon sistemi rulet çarkı yöntemi uygulandığında % 26,1 ekserji verimi, elitlik yöntemi uygulandığında ise % 26,5 ekserji verimi olduğu tespit edilmiştir. 1 numaralı ısı değiştiricisi için yapılan incelemede ise rulet çarkı yöntemine göre % 40 ve elitlik yöntemi uygulandığında ise % 32,5 ekserji verimi olduğu görülmüştür. Egzoz gazı ısı değiştiricisinin ekserji verimi (EGID) için yapılan optimizasyonda ise rulet çarkı yöntemi ile % 41,1 ve elitlik yönteminde ise % 44,7 ekserji verimi bulunmuştur. Sistem içinde değişken olarak belirlenen suyun akış debisi ise çürütme tankına aktarılan suyun sıcaklık aralığının yavaş olması gerektiğinden rulet çarkı yöntemi uygulandığında 21,1 kg/s ve elitlik yöntemi kullanılarak 20,5 kg/s bulunmuştur. Değişkenlerin aralıklarının etkisinin acık bir biçimde gözlemlenmesi, rulet çarkı yöntemi ile seçeneklerin çoğaltılması sayesinde çalışma aralığının büyütülmesidir.

Kankılıç ve Topal (2015) yaptıkları çalışmada, evsel organik atıklardan enerji üretmek için kullanılan teknolojilerin incelenip değerlendirilmiştir. Evsel organik atıklardan enerji elde etmek için farklı farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin temeli düzenli depolama gazı üretme ve anaerobik çürütme teknolojileridir. Yapılan incelemede elde edilen verilere göre bu teknolojiler sayesinde kentsel atıklardan biyogaz elde edilmekte ve en ideal yakma teknolojileri ile ısı enerjisi elde edilebilir. Yapılan çalışma ile dizayn edilen atık ısı kazanı ve buhar türbini ile gaz motoru milinden 2,4 MWe elektrik enerjisi, baca gazlarından 512 kWe elektrik enerjisi elde edildiği, toplamda ise 2902 kW'lık elektrik üretiminin olduğu ortaya konmuş ve bu sistemin elektrik veriminin % 43,1 olduğu belirtilmiştir.

Edward ve ark. (2021) çalışmalarında. Gana'nın en büyük mezbahalarından biri olan Kumasi Mezbahasında planlanan biyogaz üretim tesisinin teknik ve finansal yönlerini, atıklardan biyogaz üretimi için teknik çözümlere, gaz kullanımı için sce - narios analizleri incelenmiştir Finansal verilerin Anal-ysis, yani; mezbahanın elektrik faturaları, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve dizel tüketim maliyetleri ile yapıldı. Mezbahada üretilen ana atıklar katı atık ve atık sularıdır. Katı atıklar çoğunlukla katı rumen ve gübre içerir ve toplam miktar günde yaklaşık 8 tondur. Atık su esas olarak günde yaklaşık 170 ton toplam miktar ile yıkama

suyu, kan ve sıvı rumen içeriğinden oluşur. Kombine atık bileşenlerin toplam biyo-gaz potansiyeli günde 846 m³ olarak tahmin edilmektedir. Mezbahadaki enerji talebi esas olarak elektrik, sıvılaştırılmış gaz ve dizel ile ilgilidir. Mezbahanın enerji ve yakıt tüketiminin tam olarak değiştirilmesi, mezbahanın toplam biyogaz hacminden % 70 daha fazla olan yaklaşık 1448 m³ biyogaz gerektirecektir. Enerji verimliliği önlemleriyle bile, biyogaz talebi 1250 m³/d sırasına göre olacaktır. Finansal analizler, singeing'in (lpg'nin değiştirilmesi) biyogaz için finansal olarak en cazip uygulama olduğunu göstermektedir; elde edilen gaz değeri 0.46 USD/m³'tür. Elektrik üretimi için gaz kullanımı (ölçeğe bağlı olarak) yaklaşık 0.10–0.18 USD/kWh sonucunu verir.

Gholizadeha ve ark. (2019) çalışmalarında, Biyogaz, çeşitli kombine enerji santralleri için teknolojide yeni bir gelişme şeklinde çekici bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmasından ve modifiyeli organik Rankine döngüsünün fizibilite çalışması bir ısı kaynağı olarak biyogaz (%60 metan +%40 karbondioksit) ile beslenen bir gaz türbini döngüsü bu şekilde gerçekleştirildiğinden bahsetmişlerdir. Termodinamik ve termoeconomik analiz ile elde edilen sonuçlar sistemin performansı ve maliyetini tahmin etmek için en güçlü araçlar olarak kullanılmaktadır ve bağlı sistemin temeli ile karşılaştırılır. İkinci yasa analizinin sonuçları gösterilmiştir tüm bileşenler arasında ve önerilen her iki sistem için yanma odasının ekserji imha oranının en yüksek olduğu ve ardından Geri Kazanım ısı eşanjörü değerinin geldiği tespit edilmiştir. Önerilen kombine sistem 1368 kW'lık net çıkış elektriği üretebilir, bu da termal verimlilik, ekserji verimliliği ve genel olarak ürün maliyeti açısından sırasıyla % 41,83, % 38,91 ve 17,2 \$/GJ'dir. Ayrıca, buhar ile ilgili olarak her iki sistemin termal ve ekserji verimliliği, hava kompresörü basınç oranı ve türbin giriş basıncı oranı en üst düzeye çıkarılabilir, döngülerin toplam ürün maliyeti hava kompresörü basıncı ile en aza indirilebilir.

Hasdal (2010) yaptığı çalışma ile Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon idaresi (KASKİ) Atık Su Arıtma Tesisi'nde enerji potansiyeli ve biyogaz ünitesindeki biyogaz üretimi ve birleşik ısı güç ünitesindeki (CHP) biyogaz motorunun ekserji analizi araştırılmıştır. Elde edilen enerjinin işletmenin ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılama oranı aylara göre % 15-% 35 arasında değişmektedir. Tesiste yaklaşık olarak 7910 m³/d biyogaz üretimi yapıldığı belirlenmiştir. CHP ünitesindeki TBG-616 biyogaz motoruna kullanılan biyogaza entropi ve ekserji analizi işlemi yapılmıştır. Biyogaz yakıtı Motor devri 1500 dev/dk için, entropi ve ekserji hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, motor yükü % 60, % 80 ve %100 için emisyon değerlerine bakılmıştır. CHP ünitesindeki yapılan hesaplamada ekserji veriminin ortalaması % 19,02 bulunmuştur. Verimin en yüksek olduğu ay ise % 27,48 ile Mayıs ayı en düşük olduğu ay ise % 11,84 değeri ile Aralık ayında olduğu tespit edilmiştir.

Erez ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Bitkiler Polihidroksialkanoatlar üretmek için organik atıkların anaerobik arıtımından elde edilen biyogazın kullanılması (PHAs), atık arıtımında ısı ve enerji üretimine (CHP) çekici bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. CHP için biyogaz yanmasının sürdürülebilirliği, biyogazın PHA'ya biyokonversiyonu ve bir kombinasyonunun her iki senaryo için de çevresel etki, süreç ekonomisi ve sosyal açıdan karşılaştırıldı. Net bugünkü değer (0,77 MV) ve iç getiri oranı ($6,4 \pm 0,2$) ile ilgili değerlendirme senaryoları biyopolimerlerin daha yüksek piyasa değerine. PHA üretimi atmosferik atmosferde asitlenme ve koku emisyonlarının CHP'ye göre daha yüksek olmasına rağmen arazi, su, kimyasallar ve enerji gereksinimleri açısından önemli bir düşüşe neden oldu. Bu çalışma, biyogazdan PHA üretiminin günümüzde Atık arıtma tesislerinde CHP'ye gerçekçi bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur.

Sung ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, hedef biyogaz tesisi için bir dip organik Rankine döngüsü (ORC) ile birleştirilen (MGT) sistemi olan biyogaz yakıtlı bir mikro gaz türbininin termoeconomisini analiz ettiler. Her iki sistem de egzoz gazı ısını kullanarak bir biyodaycestiri ısıtmak için tasarlanmıştır. MGT için, bir dizi ticari çok üniteli sistemi ve partialload'u düşündüler. ORC için ilk önce bir exergyoptimized tasarladılar yaygın olarak kullanılan bir çalışma sıvısı olan n-pentan kullanarak döngü ve daha sonra kısmi yük performansı analiz edilmiştir. Ekonomik parametreler sistem büyüklüğüne göre ifade edildi. Sistem kontrolü, metan doygunluğu ve revizyonun etkisindeki dönemler analiz edildi. Karşılaştırma için bir membran biyogaz yükseltme sistemi göz önünde bulundurulur. Yapılan analiz sonucu Mevsimsel Değişikliklere göre maksimum NPVs sağlamak için biyogaz enerji üretim sistemleri en uygun performansı gösterdi. İkincisi, sistemin ekonomikliği, biyogaz metan oranındaki değişikliklere, elektrik fiyatlarına ve revizyona karşı çok hassastı ve üçüncüsü, elektrik fiyatlarının düşük olduğu ve doğal gaz fiyatlarının yüksek olduğu Kore'de rekabet gücü enerji üretim sistemi, doğrudan biyogaz satan bir sisteme kıyasla çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

Farahbakhsh ve Chahartaghi (2020) yayınladıkları çalışmada, yeni bir entegre AAT-CCHP Sistem performansını enerji ve ekonomik perspektiflerden araştırmak için gerçekleştirilmiştir. Etkili performans, geri ödeme süresi ve sistemin karlı Endeksi ile ilgili çeşitli parametreler incelenmiştir. (ORC) sistemin elektrik verimliliğini, bir mikro gaz türbini ve bir organik Rankine döngüsünün bir kombinasyonunu kullanılır. Aşırı ısı, anaerobik bir sindiriciye termal talep sağlamak için kullanılır. Düşüş nedeniyle sıcak mevsimde, ısı kalıntısı soğutucuyu emmek için kullanılır. Ayrıca, sıcak su yıl boyunca bir yan ürün olarak üretilmektedir. CCHP sistemi daha düşük bir enerji verimliliği ve geri ödeme süresi ve

AAT'nin yüksek kapasitesinde karlı endeks daha fazlasını gösterir. Sistemin optimizasyonu tüm çalışma koşullarında daha kısa geri ödeme periyodu ve daha yüksek karlılık endeksi ile elektrik verimliliği artar.

Poeschl ve ark. (2012) çalışmalarında, biyogazın yaşam döngüsündeki birim süreçleri tanımlamak için bir yaşam döngüsü Envanteri (LCI) geliştirilmiştir. ISO 14040 ve 14044 standartlarına uygun, SimaPro 7,2 yazılımı ve Ecoinvent v2.1 veritabanı kullanarak analiz yaptılar. Analiz, öncelikle Almanya koşulları göz önüne alındığında yayınlanan verilere dayanmaktadır. İncelenen sistemler küçük (<500 kWel) ve büyük ölçekli (500 kWel) biyogaz tesisleri ve sindirim yönetimi seçenekleri tek hammadde sindirimini ve çoklu hammaddenin birlikte sindirimini içeriyordu. Bu da;

(1) hammadde tedarik lojistiğinden kaynaklanan emisyonlar esas olarak yakıt tüketimi ve kimyasal gübre uygulamasından etkilendiği,

(2) fosil yakıt kaynaklarından üretilen elektrik ve ısı girdileri biyogaz tesisi işletimindeki emisyon yüklerini güçlü bir şekilde etkilediği,

(3) biyogaz kullanım süreci ve altyapısından kaynaklanan emisyonlar esas olarak verimlilik farklılıkları ile karakterize edildi. Biyogaz üretimi ve kullanımının en büyük katkısı enerji üretimi ve emisyon azaltıldığı sonuçlarını ortaya koymuştur.

Singha ve ark.(2020) hazırladıkları çalışmada, atık su arıtma tesisinde (AAT) 6000 m³ kapasiteli biyogaz tesisinin yaşam döngüsü değerlendirmesini (LCA) ve etkisini analiz etmişlerdir. Biyogazın bir yakıt seçeneği olarak kullanılabilirliğinin raporlama ve orta nokta yöntemlerini kullanarak etkisini araştırmışlar. Yapılan araştırma sonucunda, tesis inşaatının yaşam döngüsü üzerinde olumsuz etkisinin önemsiz olduğunu ortaya koymuştur. Biyogaz üretim tesisi kömür bazlı elektrik santrallerine göre negatif sera gazı emisyonları (-0.2385 kg CO₂ eq/m³) olduğu tespit edildi. Ayrıca atıklar kimyasal gübre yerine kullanılabilecek iyi bir seçenek olabilir. Biyogaz üretimi elektrik üretme ve yapay gübrelerden kaçınma için yararlı etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Pulcu Yıldız, (2009) yaptığı çalışmada yapay sinir ağlarıyla (ANN) modelleme çalışmaları yapılarak Denizli (Merkez) Atıksu Arıtma Tesis (DMAA) performansı kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Tesis giriş ve tesis çıkışında düzenli olarak sıcaklık, pH, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), iletkenlik, toplam fosfat ve toplam azot tespitleri yapılmaktadır. Girişte kanalizasyona atılan endüstriyel atık sulardan dolayı BOİ ve KOİ ciddi salınım yapmaktadır. Girişteki KOİ değerinin yüksek olduğu zamanlarda BOİ/KOİ oranının 0,1 değerine kadar düştüğü ve bunun endüstriyel atıksuyun arıtılmasını olumsuz etkilediği sonucunu doğurduğu söylenebilir. Tesis çıkışında ortalama

BOİ ve KOİ değerleri sırasıyla, 107 ± 40 mg/l ve 11 ± 6 mg/l olduğu ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerini genelde sağladığı tespit edilmiştir. Tesiste ÇHİ değeri ortalama 200 ml/g olup, çamur kabarma sorunu bulunmaktadır. ANN modellemesi ile yapılan çalışmada oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olup tesis çıkışındaki KOİ, BOİ, toplam azot, toplam fosfat ve havalandırma havuzu ÇHİ parametreleri için ölçülüp tahmin edilen değerler için bu parametreler arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla; 0,90, 0,83, 0,74, 0,75 ve 0,84 şeklinde tespit edilmiştir. Bu çalışma, gerçek ölçekli bir arıtma tesisinin çalışma performansının yapay sinir ağları ile yapılan tahmin çok iyi sonuçlar doğuracağı ve tesislerin daha verimli işletilebileceği sonucuna varılmıştır.

Baran (2020) tarafından yapılan çalışmada, atıksu arıtma tesislerinde (AAT) çeşitli düşü yüksekliklerinde üretilebilecek elektrik enerjisinin Türkiye'nin evsel elektrik ihtiyacını karşılama oranlarının tespiti ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Alınan yaklaşık debi değerleri ile düşü yüksekliklerinin 15 metre ve 30 metre olması halinde önümüzdeki senelerde AAT'lerden elde edilebilecek toplam mikro-hidroelektrik enerjisi üretim tahminleri yapılmıştır. Önümüzdeki senelere ait tahminler Matlab ortamında hazırlanan eğri uygulama programı kullanılarak oluşturulan denklemler kullanılarak elde edilmiştir. Aynı şekilde geçmiş senelerin verileri kullanılarak Türkiye'nin gelecek senelere ait evsel elektrik enerjisine ait yaklaşık ihtiyaç duyulan değerler elde edilmiştir. Hesaplanan verilere göre 2018-2024 yılları arasında yaklaşık % 2,73 oranında nüfus artış hızı ve aynı senelerde AAT'lerden arıtılan atıksu miktarındaki artış oranının ise % 13 dolaylarında olacağı tespit edilmiştir. Düşü yüksekliğinin 15 metre ve 30 metre olması halinde 2018-2024 yıllarında elde edilebilecek mikro-hidroelektrik güç üretimi yaklaşık % 44 artmaktadır. Ülkemizde meskenlerde kullanılması tahmin edilen elektrik enerjisi oranlarının yaklaşık % 9,00 oranında artarak 2024 yılında 73.900 GWh/yıl olması beklenmektedir. Düşü yüksekliğinin 15 metre olması halinde 2024 senesinde 84.554 tane evin, 30 metre olması halinde ise 169.104 tane evin elektrik ihtiyacının AAT'den karşılanabileceği sonucu elde edilmiştir.

Gürel (2020) çalışmasında, 2019 yılı Eylül ayı sonunda elde edilen veriler doğrultusunda Türkiye'deki güncel atık biyokütle potansiyeli tespit edilmiş ve atıkların yakılması sonucunda üretilecek toplam enerji atık bazında hesaplanmıştır. Elde edilen son verilere ışığında hesaplanan yanma enerji değerlerine bakıldığında Tavuk atıklarından üretilen yanma enerji değerinden sonra çok olandan az olana doğru sırasıyla, endüstriyel odun üretim atıklarından üretilen enerji değeri> arıtma çamuru organik atıklarından elde edilen yanma enerji değeri> kereste atıklarından üretilen yanma enerji değeri > tarımsal atıklardan üretilen yanma enerji değeri gelmektedir.

5. BATMAN ATIKSU ARITMA TESİSİ

5.1. Atıksu Arıtma Tesis (AAT)

5.1.1. Atık arıtma tesisi giriş

Batman Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri (BASKİ) Müdürlüğü tarafından Atık su Arıtma Tesis (AAT) sahasında, İkiztepe Köyü Mevkiinde bir adet biyogaz motorlu kojenerasyon tesisi 2015 yılındaki 320.000 nüfusa ve 61.000 m³/gün hidrolik kapasiteye göre kurulmuştur. Kojenerasyon santralleri tek yakıt girdisi ile aynı ünite grubundan hem elektrik hem de ısı enerjisi üreten yani ısı ve soğutma enerjilerini karşılamayı hedefleyen sistemlerdir. Mekanik, Biyolojik ve Çamur arıtımı olarak tasarlanmıştır. Yapımına 2009 yılında başlanmış olup 2011 yılında işletmeye alınmıştır. Gelen atıksu evsel niteliklidir ve mekanik olarak arıtılmaktadır. Çıkan atık çamur çürütülme işlemine tabi tutularak çıkan biyogazı (metan) enerjiye dönüştürecek, çıkan çürütülmüş çamuru (tabii gübre) ise kurutarak tarlalarda kullanılmak üzere bir depoda bekletilecektir. Belirlenen amaca göre elektrik-ısı ihtiyacını kesintisiz, kaliteli ve temiz bir şekilde elde edebilmek amacıyla biyogaz yakıtlı 0,530 MWe güç üretmek için GUASCOR FGLD 360 tipi motor kullanılmıştır. Gaz motorunun önündeki jeneratörden elektrik, motor egzozuna bağlanan kazandan ise ısı elde edilir. Bu gaz, motorda elektrik enerjisine dönüşmekte, aynı zamanda egzoz arkasında bulunan kazandan sıcak su elde edilmektedir. Çizelge 5.1’de BASKİ Atıksu Arıtma Tesis Ortalama Analiz Değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. BASKİ atıksu arıtma tesis ortalama analiz değerleri

Parametre (Parameter)	Birim(Unit)	Değer(Value)
Ort.Atıksu Girişi (Q _{atıksu})	m ³ /d	53.809
Ort. Sıcaklık (°C atıksu)	°C	19,4
Ort. pH (pH _{ort} .)	-	7,82
Ort.Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/1t	488
Ort. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	mg/1t	230
Ort. Askıda Katı Madde (AKM)	mg/1t	325
Ort.KOİ Kirlilik Yüğü	kg/d	24.241
Ort BOİ ₅ Kirlilik Yüğü	kg/d	11.125
Ort.AKM Kirlilik Yüğü	kg/d	14.026

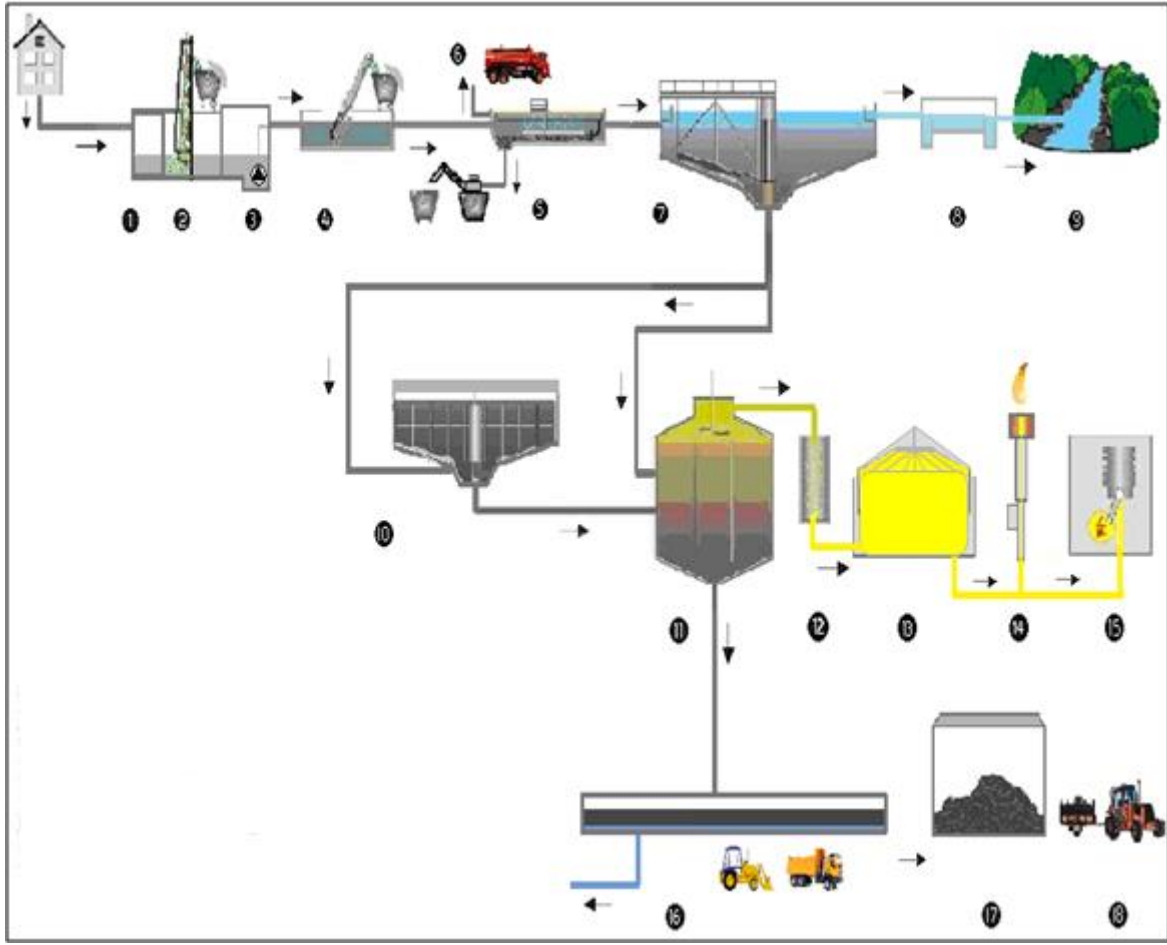
Çizelge 5.1 verilerine göre Ortalama KOİ değerinin 488 mg/1t, Ortalama BOİ₅ değerinin 230 mg/1t olduğu ve Ortalama AKM değerinin ise 325 mg/1t tespit edilmiştir. Bu parametreler biyogaz üretimi üzerinde ciddi anlamda etkisi olan parametrelerdir.

Biyolojik (Biyokimyasal) Oksijen İhtiyacı (BOİ); ortalama bir sürede uygun bir sıcaklıkta hava içeren bir su ortamında(aerobik şartlarda) oksijen, hidrojen, karbon, kükürt, fosfor ve azot gibi organik maddeleri içeren kimyasal bileşiklerin aerobik bakteriler tarafından parçalanarak sindirilebilmeleri için ortamın ihtiyaç duyduğu oksijen miktarıdır. İhtiyaç duyulan BOİ miktarı sudaki kirlilik ile doğru orantılı olarak değişmektedir. BOİ₅ testi ile sudaki kirlilik derecesi ölçülerek dünyada standart olarak kullanılan BOİ deneyi yapılmaktadır (Anonim, 2022).

Sudaki oksidan maddelerin kimyasal yöntemlerle oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarına Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) denir. Kimyasal oksijen ihtiyacı suyun kirlilik derecesini belirlemek için kullanılan en önemli göstergedir (Çelen, 2018)



Şekil 5.1. Batman belediyesi atık su arıtma tesisi (AAT)



Şekil 5.2. Batman belediyesi atık su arıtma tesisi (AAT) şematik gösterimi

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1. Giriş Kanalı | 10. Yoğunlaştırıcı |
| 2. Kaba Izgara | 11. Çürütücü Tankı |
| 3. Pompa İstasyonu | 12. Kükürt Alma Ünitesi |
| 4. İnce Izgara | 13. Gaz Tankı |
| 5.- 6. Kum ve Yağ Tutucu | 14. Fazla Gaz Yakma Kulesi |
| 7. Ön Çökeltme | 15. CHP Ünitesi (Kojenerasyon) |
| 8. Çıkış Suyu Debi Ölçer | 16. Çamur Kurutma Yatakları |
| 9. Batman Çayı | 17. Kuru Çamur Deposu |

Şekil 5.2. de şematik olarak gösterilen Batman Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisine gelen atıksu sırasıyla şu aşamalardan geçip biyogaz elde edilerek elektrik ve ısı üretilmektedir. Şehirden gelen bütün atıksu önce giriş kanalına, daha sonra Atıksu arıtma tesisine yönlendirilir. Sistemin girişine dökülen atıksular öncelikle Kaba ızgaraya oradan da atıksu giriş pompa istasyonuna aktarılır. Burada 4 adet 1680 m³ kapasiteli atıksu pompası vasıtası ile 7 m yüksekliğindeki ince ızgara ünitesine basılır. Kaba ve İnce Izgaralar vasıtasıyla büyük olan atıklar ayıklanarak helezonik konveyör yardımıyla preslenip 5 m³'lük konteynere gönderilir ve tesisten uzaklaştırılır. İnce Izgaradan geçen atıksu ise

Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu havuza iletilir. Atıksuda bulunan çökebilir nitelikteki kum, çakıl gibi inorganik malzemeler ile yağ, gres gibi yüzücü malzemeler havalandırılmalı kum ve yağ tutucu ünitelerinde giderilir. Kum ve yağ tutucu ünitesinden çıkan atıksu Son Çökeltim Havuzuna gönderilir. Arındırılmış atıksu kanalla çıkış ölçümüne gönderilerek debisi ölçülür ve oradan da son olarak Batman Nehrine deşarj edilir. Atıksu Son Çökeltim tankına girer ve çökebilir malzeme de yerçekimi kuvvetleri ile tankın tabanına çöker. Son Çökeltme tankının hunisinde çökelen birincil çamur bir Aşırı Çamur Pompası veya Çürütücüye manuel bir bypass ile Çamur Yoğunlaştırma havuzuna pompalanır. Yoğunlaştırma havuzuna gelen birincil çamur, yoğunlaştırıldıktan sonra pompalar yardımıyla eşanjöre ve oradan da çürütücüye gönderilir. Çürütücüye gelen çamur 35 °C'ye ısıtılarak ve 20 gün bekletilip, üretilen bakteriler yardımıyla çürütülür. Bakterilerin anaerobik faaliyeti sırasında ise biyogaz üretimi gerçekleşir. Çürütücüde üretilen biyogazın gaz tankına gelmeden önce kükürt alma ünitesinde kükürdünün alınmasını sağlar. Kükürdü alınmış olan biyogaz, CHP ünitesine gönderilmeden önce bir gaz depo tankında dengelenir. Çürütülmüş ve büyük oranda kokusu giderilmiş çamur kurutma yataklarında yaklaşık olarak 16 günde güneşin altında kurutulduktan sonra tarlalarda kullanılmak üzere toplama deposuna nakledilir. Çizelge 5.2'de AAT tasarım kriterleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. AAT Tasarım kriterleri

Özellik	Değer
Toplam tesis alanı	162 bin m ²
Eşdeğer nüfus	320.000
Günlük akış	61.000 m ³ /d
Saatlik akış	2542 m ³ /h
Azami BOI ₅ yükü	16.000 kg/d
Ortalama BOI ₅ değişimi	262,3 mg/l
Azami KOI yükü	33.550 kg/d
Asılı Katı madde yükü	20.000 kg/d
Ortalama KOİ değişimi	550 mg/l
Ortalama AKM değişimi	327,9 mg/l
PEI	5,5 <pH < 8,5

Çizelge 5.2'deki veriler incelendiğinde ort. AKM değişiminin 327,9 mg/l Ortalama KOİ değişiminin 550 mg/l ve Ortalama BOİ₅ değişiminin ise 262,3 mg/l olduğu tespit edilmiştir.

5.1.2. Giriş kanalı

Şehirden gelen bütün atıksu önce giriş kanalına, daha sonra giriş kanalı vasıtasıyla Atıksu arıtma tesisine yönlendirilir. İlerleyen süreçte tıkanma oluşması halinde gelen su by pass edilir.

Su alma yapısından gelen ham atık su, Giriş veya bypass yapısına girer. Kanalizasyon sistemiyle günlük yaklaşık 61000 m³ evsel atıksu 2000 mm çapındaki kanaldan sisteme dökülür. Sistemin girişine dökülen atıksular ya kaba ızgaraya ya da by-pass hattına gider. Giriş pompa istasyonu bir pompa kuyusuna kurulu dört dalgıç pompadan (1 görev /2 yardımcı /1 yedek) oluşan bir sistemdir. Giriş Pompalama İstasyonu her bir pompa kapasitesi 1680 m³/d ve basma yüksekliği ise 7,5 metredir. Giriş Pompa İstasyonunda, kaba ızgarada elenmiş atık su ince ızgara istasyonuna pompalanır (Gök, 2002).



Şekil 5.3. Giriş pompa istasyonu

5.1.3. Kaba ızgara, giriş pompa istasyonu ve ince ızgara

Atıksu içinde bulunan katı maddelerin pompa vb. tesisata zarar vermemesi için sudan ayıran ünedir. Kaba ızgaralar yatay ile 30-60°, ince ızgaralar ise yatay ile 60-80° açı yapacak şekilde yerleştirilir. Kaba ızgara çubuk aralığı 60 mm olup, 60 mm'den büyük atıklar mekanik olarak alınarak 5 m³,lük konteynere boşaltılır. Bu atıklar Belediyenin çöp sahasına

boşaltılır. Kaba Izgaradan geçen atıksu giriş pompa istasyonuna aktarılır. Burada 4 adet 1680 m³/d kapasiteli atıksu pompası vasıtası ile 7 m yüksekliğindeki ince ızgara ünitesine basılır. İnce ızgara ünitesinde ise iki adet ince ızgara bulunmaktadır. İnce Izgaralar vasıtasıyla 6 mm'den büyük olan atıkları ayıklayarak helezonik konveyör yardımıyla preslenip 5 m³'lük konteynere gönderilir. İnce ızgaralar için seçilen akış debisi 2500 m³/h'dir. İnce Izgaradan geçen atıksu ise Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu havuza gönderilir (Yıldırım, 2015)



Şekil 5.4. Kaba ızgara ünitesi



Şekil 5.5. İnce ızgara ünitesi

5.1.4. Kum ve yağ tutucu havuzu, kum susuzlaştırma

Giriş terfi yapısından basılan atık su, iki adet ikiz tasarlanmış (yani aynı özellikte) olan ince ızgaralara geldikten sonra iki adet aynı şekilde tasarlanmış kum ve yağ tutucu yapısına gelmektedir. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu havuzların her bir havuz başına düşen hacmi yaklaşık olarak 148 m^3 'dür. Bu tesiste, havalandırılmalı tip kum tutucular tasarlanmış olup, sistem için gerekli hava; biri yedek, iki asıl blower (üfleyici) ile sağlanmaktadır.

Havalandırılmalı Kum ve Yağ tutucu havuzda gereken toplam hava akışı $651,4 \text{ Nm}^3/\text{h}$, Üfleyici sayısı 2, üfleyici başına düşen gerekli debi ise $325,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 'dir. Bu pompaların taşıyacağı kum su karışımı debisi ise yaklaşık olarak $25 \text{ m}^3/\text{d}$ olarak belirlenmiştir. Tabandan çekilen kum-su karışımı, ünitenin üzerinden borular vasıtası ile kum yıkayıcıya iletilmektedir.

Kum Yıkayıcı, organik materyallerin bir kum-sıvı karışımından yıkanması için kullanılır. Entegre bir karıştırıcı organik maddeyi mekanik olarak gevşetir ve döndürür ve bu madde daha sonra bir yukarı akım yöntemi kullanılarak çalkalama/yıkama sistemi yoluyla temizlenir. Malzeme yıkama suyu çıkış bağlantısından çıkarılır ve daha ileri işleme için saflaştırma tesisine boşaltılır. Birlikte çalışan bir spiral konveyör ile yıkanmış kumu yıkama tankından çekilerek ve boşaltılır (Özince, 2019)



Şekil 5.6. Kum ve yağ tutucu ünitesi

Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu, yapı olarak iki gözlü olup, gözün birinde “kum” çöktürülürken, diğer gözde “yağ” yüzdürülmekte, yüzdürülen bu yağ köprünün üzerinde

bulunan sıyrıcıların hareketi esnasında bir tarafa doğru sıyrılmakta ve savaktan aşırılan yağ, “yağ” toplama haznesinde biriktirilmektedir. Biriktirilen yağ vidanjör yardımıyla çekilerek Belediyenin atık sahasına boşaltılmaktadır. Kum ve yağ tutucu ünitesinden çıkan atıksu Son Çökeltim Havuzuna gönderilir (Biçimli, 2019)

5.1.5. Son çökeltme havuzu

Son Çökeltim Tankı ilk aşamada bir birincil çökeltme tankı olarak çalışacak ve daha sonra da ilerdeki biyolojik aşama inşa edildiği zaman bir son çökeltim tankı olarak kullanılacaktır. Atıksu Son Çökeltim tankına yan duvardan girer ve çökebilir malzeme de yerçekimi kuvvetleri ile tankın tabanına çöker. Arındırılmış atıksu ya kanalla çıkış ölçümüne ve oradan da son olarak Batman Nehrine akar. Çökelmiş malzemenin giderilmesi için havuz üzerine bir siperli sıyrıcı kurulmuştur. Havuza kurulu olan siperli sıyrıcı, çökmüş çamuru sıyrıcı siperi ile çökeltme tankının çamur oluğuna itme görevini yaparak buradan da Aşırı çamur pompalama istasyonuna yönlendirilir. Kum ve Yağ Tutucu Havuzdan gelen atıksu Son Çökeltim havuzuna gelen proses suyu burada dinlendirilerek sedimantasyona (çökeltme) uğrattılır. Çökeltim havuzları daireseldir ve tesisin kapasitesine göre farklı çaplarda projelendirilir. Havuzlarda dairesel sıyrıcı köprüler bulunmaktadır. Dibe çöken sudan ağır maddeler dip sıyrıcılar tarafından toplanan çamur buradan Çamur Yoğunlaştırma ünitesine gider [68]. Dairesel köprünün çalışma hızı prosese göre ayarlanır. 7451 m³ hacme sahip olan bu havuza gelen atıksu içindeki çamur dibe çöker.



Şekil 5.7. Son çökeltme havuzu

5.1.6. Aşırı çamur pompalama istasyonu

Biyolojik aşama yapılandırılana kadar Aşırı Çamur Pompalama istasyonu, geçici olarak Son Çökeltmede toplanan birincil çamurun Birincil Çamur Yoğunlaştırıcısına pompalanması için kullanılacaktır.

Son Çökeltme tankının hunisinde çökelen birincil çamur bir Aşırı Çamur Pompası veya Çürütücüye manuel bir bypass ile Çamur Yoğunlaştırmaya pompalanır. 3 adet kuru monteli eksantrik vidalı pompa (görev/yedek/yedek) monte edilmiştir. Pompalar kuru çalışma ve aşırı basınç korumaları ve değişken hızlı tahriklere karşı üretilmiştir. Çalışma sisteminin önceden seçimi SCADA sistemi üzerinde yapılmaktadır. Aşırı çamur pompası bir zamanlayıcıya göre çalışır ve toplayıcı akış kontrolü üzerindedir. Pompalama istasyonu için ayrıca yüzey seviye sensörü ile bir drenaj pompası kullanılır.

5.1.7. Yoğunlaştırma havuzu

17 metre çapında ve 794 m³ hacminde olan bu havuza gelen birincil çamur, yoğunlaştırıldıktan sonra pompalar yardımıyla eşanjöre ve oradan da çürütücüye gönderilir. İki birincil çamur pompasına sahip bir pompa istasyonu, koyulaştırılmış birincil çamurun çürütücüye transferini sağlar. Bu pompaların kapasitesi 40 m³/h, pompaların basma yüksekliği ise 3 bar'dır. Pompalar, aşırı çamur pompaları ile aynı anda çalışır. Pompalar kuru çalışma ve aşırı basınç korumaları ve değişken hızlı tahrikler ile donatılmıştır. Pompalama istasyonuna bir drenaj pompası ve seviye ölçümü de sağlanmıştır.

Harici çalışma esnasında Birincil Çamur Koyulaştırıcısı da bypass edilebilir; bu durumda görevdeki aşırı çamur pompası koyulaştırılmamış birincil çamuru doğrudan Çürütücüye pompalayacaktır. Birincil çamur koyulaştırıcısının bypass edilmesi SCADA sisteminde önceden ayarlanır.



Şekil 5.8. Yoğunlaştırma havuzu

5.1.8. Servis suyu

Sahada sulama suyu, servis suyu, sıhhi tesisat suyu ve yangın suyu sağlamak için 1 adet kuyu bulunmaktadır. Kuyuda bir adet dalgıç pompa bulunmakta olup suyu temiz su deposuna aktarmaktadır. Depodan kuyu suyu temiz su pompalarına (servis suyu takviye istasyonuna) aktarılır.



Şekil 5.9. Temiz su pompaları

5.1.9. Çamur çürütücü tank

Havasız çürütme işlemi, çamur hacmini azaltmak, belli bir oranda dezenfeksiyon sağlayarak çamuru stabilize hale getirmek ve yan ürün olarak biyogaz üretmek amacıyla kullanılmaktadır ve uygulamada çoğunlukla yoğunlaştırılmış çamur kullanılmaktadır. Biyogaz üretimi atıksu arıtma tesislerinin enerji verimliliği açısından önem taşımaktadır. Anaerobik çürütme işleminin performansını artırarak daha az miktarlarda çamur ve daha yüksek biyogaz verimleri elde etmek için uygulanmaktadır (Güleç, 2015).

Batman Atık su Arıtma Tesisinde bulunan Çürütücü tank 18 m çapında ve 4300 m³ hacimlidir. Yoğunlaştırma tankından ve eşanjör üzerinden çamur pompalama vasıtası ile Çürütücü tanka gönderilir. Çürütücüye gelen çamur 35 °C ısıtılarak ve 20 gün bekletilip üretilen bakteriler yardımıyla çürütülür. Bakterilerin anaerobik faaliyeti sırasında ise biyogaz üretimi gerçekleşir.

Çürütücü, bir sıcak su boru eşanjörü içinden çürütücü çamurun sirkülasyonu ile ısıtılır ve burada 90 °C sıcak sudan 35 °C ılık suya düşer. Bu amaç için bir çift görev /yedek çamur sirkülasyon pompası mevcuttur. Bu çamur sirkülasyon pompalarının kapasitesi 238 m³/h, Çürütücü besleme pompalarının kapasitesi ise 40 m³/h'dır.

Sirkülasyon amaçları için çürütücüden iki çamur çekme noktası bulunur: Çürütücünün alt kısmında (normalde kullanılan) ve bir çamur yükseltme hattı (çamur boşaltma hattı)

yoluyla çamur hunisinden çamur çekilir. Otomatik operasyon için normalde alt kısmından çekiş kullanılır. Çamur, çamur hunisinden sirküle edileceği zaman uygun el geçiş valfleri çalıştırılarak çekiş noktası seçilmelidir.

Görevdeki çamur sirkülasyon pompası sürekli olarak çalışmaz: sadece çürütücüye bir ısıtma gerektirdiği zaman veya sadece çamur çürütücü beslendiği zaman çalışır.

Çürütücü içerisindeki karıştırma işlemi ise gaz enjeksiyon kompresörü ile gerçekleştirilir. Bir gaz enjeksiyon kompresörü, gazı çürütücünün gaz borusundan gaz çubuklarına pompalar ve bunlar çürütücü çamur içine gömülüdür. Çürütücü 8 askıda enjeksiyon çubuğu ile çürütücü konisinin merkezinde ilave bir enjeksiyon hattı ile donatılmıştır. 8 çubuk, her bir bölümde 4 çubuk olmak üzere iki bölmede düzenlenmiştir. Her bir bölme, motorlu bir boşaltma valfi ile monte edilmiştir. Çürütücünün alt konisi için ise çubuk da motorlu bir valf ile montajlanmıştır. Çürütücü karıştırma sistemi bir zamanlayıcı ile kontrollü bir sistemdir ve çürütücünün çeşitli bölmeleri için karıştırma ve bekleme süreleri ayarlanır.

Çürütücü konisinin tepesinde ise bir köpük kapanı monte edilmiştir. Gaz çıkış borusunun önüne bir seviye elektrotu (sensör) yerleştirilmiştir. Eğer sensör köpük algılıyorsa selenoid valf 5-10 dakika aralığında açılır ve suyun köpüğü koninin tepesinden atılır.



Şekil 5.10. Çamur çürütücü tank

5.1.10. Gaz kükürtsüzleştirme ve gaz depolama tankı

Çürütücüde üretilen biyogaz'ın gaz tankına gelmeden önce bu üniteye kükürdünün alınmasını sağlar (Yaman Koymatçık, 2018)

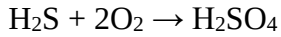
Biyogaz temel bileşen olarak metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) gazlarından oluşmaktadır. Bu temel bileşenler ile birlikte biyogaz içeriğinde bulunan hidrojen (H₂), azot (N₂), hidrojen sülfür (H₂S), amonyak (NH₃) ve az miktarda da olsa diğer gazlarda bulunabilmektedir (Anonim, 2022).

Biyogaz üretim tesislerinde biyogazda bulunan yüksek orandaki Hidrojen Sülfür (H₂S) içeriği korozyona sebep olduğundan ve tepkimenin ardından ortaya çıkacak olan kükürt miktarının da fazla olacağını göstermektedir. Kükürt miktarının fazla olması plastik dolgu halkaların tıkanmasına sebep olacağından biyogazın içerisinde bulunan sülfür oranı uygun seviyeye düşürülmelidir.

Biyolojik Desülfürizasyon veya Biyolojik Kükürt Giderme sistemi; sülfür oksitleyici bakteriler sistemde bulunan Hidrojen Sülfürü (H₂S) tüketerek H₂S'in parçalanmasıyla uygulamada oksijen miktarının % 2 üzerinde olduğu proseslerde sülfürik asit üretilmesini sağladıkları ya da oksijen miktarının % 0,1 ve % 1 aralığında olduğu proseslerde elementel kükürdün üretilmesini sağladıkları sistemlerdir (Anonim, 2022).

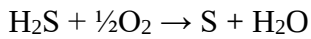
Bu işlemdeki tepkimeler şu şekilde olmaktadır.

Bakterilerin bulunduğu ortamda oksijen miktarı yeterli seviyedeysse, H₂S parçalanarak büyük ölçüde sülfürik asit elde edilir. Tepkimesi ise ;



Şeklinde gerçekleşir.

Bakterilerin bulunduğu ortamda oksijen miktarı yeterli seviyede değil ise H₂S parçalanarak elementel sülfüre elde edilir. Tepkimesi ise ;



Şeklinde gerçekleşir.

Kükürtsüzleştirme işlemini ile biyogaz sistemlerdeki motorlara gönderilmeden önce H₂S miktarı 200 ppm seviyesinin altına düşürülür (Anonim, 2022).



Şekil 5.11. Gaz kükürtsüzleştirme ünitesi

Kükürdü alınmış olan gaz 1000 m³ lük gaz tankında toplanır. Toplam Biyogaz Miktarı 3077 m³ /d ve CH₄ miktarı ise 2000 m³/d olmaktadır. Çizelge 5.3'te biyogaz üretimi teknik bilgileri verilmiştir.



Şekil 5.12. Gaz tankı

Çizelge 5.3. Biyogaz üretimi teknik bilgileri

	Değer	Birim
Çürütücüye gelen Org. KM	59,09	Kg orgKM/d
Biyogaz Üretimi	52,07	m ³ /kg orgKM
Toplam Biyogaz Miktarı	3077	m ³ /d
Biyogaz CH ₄ içeriği oranı	78,4	%
CH ₄ miktarı	2000	m ³ /d
Ünite adedi	1	adet
Metan gazının kalorifik değeri	6,5	kW h/ m ³
Oluşan Biyogazın enerji içeriği	13000	kW h/d

Üretilen biyogaz, CHP ünitesine gönderilmeden önce bir gaz depo tankında dengelenir. Acil durumlarda, biyogaz bu tanktan gaz yakma ünitesine gönderilir. Çizelge.5.4'te biyogaz depolama tankı ve gaz yakma bacası teknik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5.4. Biyogaz depolama tankı ve gaz yakma bacası teknik bilgileri

Parametre	Değer	Birim
Günlük Gaz Üretimi	4032	Nm ³ /d
Maksimum saatlik gaz üretimi	336	Nm ³ /h
Tank sayısı	1	adet
Ortalama Metan İçeriği	78,4	%
Gaz Tutma Tankı Hacmi	1000	m ³
Depolama Kapasitesi	0,25	d
Gaz Yakma Bacası Sayısı	1	adet
Gaz Yakma Bacası Akış Kapasitesi	400	Nm ³ /h
Gaz Domları sayısı	1	adet
Gaz Domu Akış Kapasitesi	400	Nm ³ /h

Türkiye Petrol Batman Bölge Müdürlüğü Üretim Müdürlüğü Rezervuar Laboratuvarı Gaz Analizi Raporu 28.04.2016 tarihli raporunda ASTM-D 1945 standartlarına göre Metan oranının % 78.00 oranında yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Çizelge.5.5'te Batman AAT gaz numunesindeki metan ve diğer bileşen analizleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Batman AAT gaz numunesindeki metan ve diğer bileşen analizleri

BİLEŞENLER	MOL(%)	ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ
HİDROJEN (H ₂)	0.000	-
ARGON (Ar)	0.000	-
AZOT (N ₂)	5.693	0.202
KARBONDİOKSİT (CO ₂)	15.856	0.250
METAN (C1)	78.400	0.099
ETAN (C2)	0.008	0.000
PROPAN (C3)	0.004	0.000
İSO-BUTAN (iC4)	0.000	-
n-BUTAN (nC4)	0.008	0.000
İSO-PENTAN (iC5)	0.003	0.000
n-PENTAN (nC5)	0.011	0.000
n-HEKZAN (nC6)	0.016	0.001
TOPLAM	100.00	100.00

Kükürt oranı ise ASTM-D 5504 standartlarına göre 592.98 olup kükürt oranının desülfürizasyon ünitesinde indirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Çizelge.5.6'da Diğer Sülfür Bileşikleri analizleri verilmiştir.

Çizelge 5.6. Diğer sülfür bileşikleri analizleri

BİLEŞENLER	ppm
HİDROJEN SÜLFÜR (H ₂ S)	592.98
KARBONİL SÜLFÜR (COS)	> 100
METİL MERKAPTAN (CH ₃ SH)	< 0.10
ETİL MERKAPTAN (C ₂ H ₅ SH)	9.41

Gazın diğer özelliklerinde ise kritik olarak alt ısı değeri 6388,278 kcal/sm³ ve üst ısı değeri 7095,024 kcal/sm³ olduğu ISO 6976 standartlarına göre olup kalorifik değerinin standartlara yakın olduğu tespit edilmiştir. Üst ısı değeri su bulunmaktadır ancak alt ısı değeri su olmadığından esas değerdir. Çizelge.5.7’de Isıl değer ve diğer bazı gaz özellikleri analizleri verilmiştir.

Çizelge 5.7. Isıl değer ve diğer bazı gaz özellikleri analizleri

Parametre	Değer
PSEUDO KRİTİK BASINÇ	721.048 (psi)
PSEUDO KRİTİK SICAKLIK	369.065 (°R)
MOL AĞIRLIK	21,184 (g/mol)
ÖZGÜL AĞIRLIK	0,733 (kg/m ³ ;25°C-1 atm)
ÜST ISI DEĞERİ	7095,024 (kcal/sm ³)
ALT ISI DEĞERİ	6388,278 (kcal/sm ³)
WOBBE SAYISI	8288,289 (kcal/sm ³)
SIKIŞTIRMA FAKTÖRÜ	0,998

5.1.11. Çamur kurutma yatakları

Çürütülmüş ve büyük oranda kokusu giderilmiş çamur kurutma yataklarında yaklaşık olarak 16 gün güneşin altında kurutulduktan sonra toplama deposuna nakledilir. Çamur kurutma yatağı yüzeyi 567 m² ‘dir. Çıkan atık çamur çürütülme işlemine tabi tutularak çıkan biyogazı(metan) enerjiye dönüştürecek, çıkan çürütülmüş çamuru (tabii gübre) ise kurutarak tarlalarda kullanılmak üzere bir depoda bekletilecektir (Hasdal, 2010). Çizelge 5.8’de BASKİ AAT Ortalama Çıkış Değerleri verilmiştir.



Şekil 5.12. Çürütülmüş çamur kurutma yatakları



Şekil 5.13.Kurutulmuş çamur toplama deposu

Çizelge 5.8. BASKİ AAT ortalama çıkış değerleri

Parametre	Birim	Değer
Ort. pH (pH _{ort.})	-	7,56
Ort.Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mg/1t	256
Ort. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	mg/1t	149
Ort. Askıda Katı Madde (AKM)	mg/1t	101
Ort.KOİ Kirlilik Yüğü	kg/d	13.227
Ort BOİ ₅ Kirlilik Yüğü	kg/d	7.738
Ort.AKM Kirlilik Yüğü	kg/d	6.072

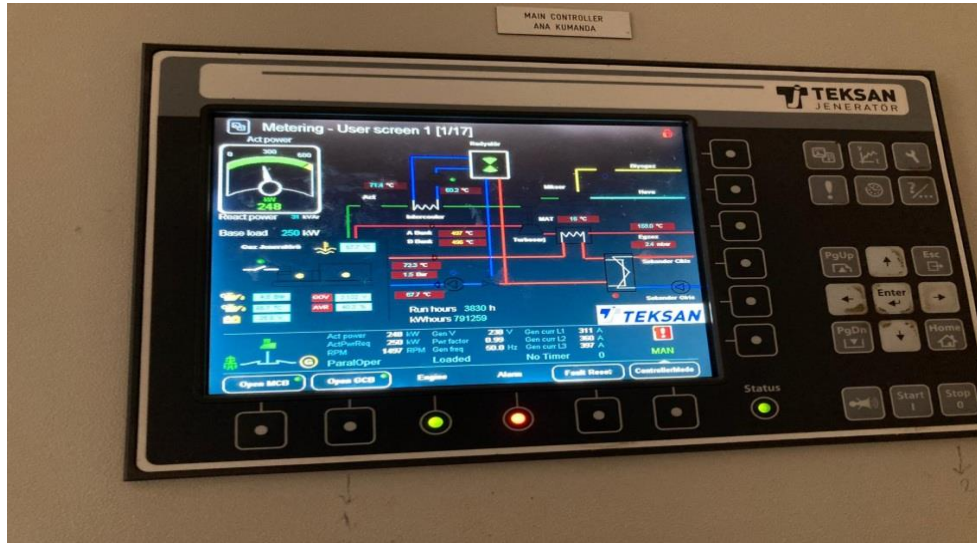
Çizelge 5.8 deki verilere göre ortalama KOİ ihtiyacı değeri 256 mg/1t olduğı, ortalama BOİ₅ ihtiyacı değeri 149 mg/1t olduğı ve ortalama AKM değeri ise 101 mg/1t olduğı tespit edilmiş ve bu değerler standartlara uygundur.

5.2. Elektriksel ve Isıl Verim

Gaz motorlarının çalıştırılmasıyla, 530 kWh elektrik enerjisi Step-Up trafo ile 31.500 kV'a çıkarılıp şebekeye verilmektedir. Gaz motoru elektrik ürettiğı sürece 70-90 °C sıcak su üretmektedir. Kojenerasyon sistemi (CHP) tarafından sağlanan su sıcaklığı mevcut kazanların sağladığı sıcak sudan daha yüksek sıcaklığa ayarlandığından dolayı mevcut kazanlar çalışmayacaktır. Kojenerasyon sisteminde üretilen sıcak suyun ısısının kullanılmayan bir kısmı otomatik olarak, konteynerler üzerindeki radyatörlerde soğutulacaktır. Üretilen kızgın

su kış döneminde tesisin ısıtma enerji ihtiyacını karşılayacaktır. Bu sistem ile mevcuttaki tesis binalarının ısıtılması da sağlanmaktadır.

CHP ünitesi, çalışması için gerekli tüm motorlu ekipmanları ve vanaları ile paket bir ünedir. Biyogaz basınçlandırıldıktan sonra 1 adet CHP ünitesine aktarılır. Enerji üretmek için kimyasal enerjinin mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülmesi gerekir. Prensipde gaz ve türbin motor olmak üzere 2 ayrı motor vardır. Bu tesiste elektrik enerjisi üretmek için gaz motoru kullanılır. Gaz motoru, otomobillerin motoruna benzer. Gaz motoru içten yanmalı motordur. Bu motor piston içerisinde genişleyen gazı ısı enerjisi için metanı yakarak kimyasal bağ enerjisini dönüştürür. Bu ısı enerjisi tahrik milini hareket ettirerek mekanik enerji elde edilir. Dönen tahrik mili içindeki mekanik enerji, elektrik jeneratörü içinde birleşir. Mekanik enerji, elektrik veren alternatif akımlı jeneratörü çalıştırmak için kullanılır. Jeneratör aynı zamanda elektrik güç dağıtım sistemine bağlanmıştır (Adalı, 2014).



Şekil 5.14. Kojeneratör ekranı

Şekil 5.14 te SCADA sistemi ve sıcaklık basınç ayarları gösterilmiştir. Çalışma sisteminin seçimi önceden SCADA sistemi üzerinde yapılmaktadır.

Elektrik-ısı santralinin ana karakteristikleri, teknik veriler:

5.2.1. Genel bilgi

Kojenerasyon ünitesi, çalışması için gerekli tüm motorlu ekipmanları ve vanaları ile paket bir ünedir. Biyogaz basınçlandırıldıktan sonra 1 adet CHP ünitesine

aktarılır. Gaz motorunun önündeki jeneratörden elektrik, motor egzozuna bağlanan kazandan ise ısı elde edilir.

5.2.2. Motor

Yanma tipi kıvılcım yakmalı gaz motoru, mekanik verimi %36,4 ve motor devri 1500 rpm, olan GUASCOR gaz motoru 12 silindirli motor bloğu dökme demirden imal edilmiştir. Motorun Hava/Yakıt Oranı (Lambda) 14,7, piston devri ise 8,25 m/s'dir. Çizelge.5.9'da Motor teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.9. Motor teknik özellikleri

Özellik	Birim
Silindir	12 V
Silindir Çapı x Boyu	152x165 mm
Devir	1500 rpm
Piston Devri	8.25 m/s
Sıkıştırma Oranı	11.0:1
Ortalama Efektif Basınç	12.25 bar
ISO-IFNC Şartlarında Güç	550 kW
Özgül Gaz Tüketimi	2.69 kWh/kWhmech
Özgül Yağ Tüketimi	0.35 g/kWh
Yağ Tüketimi	226 ml/h
Motorun Ağırlığı (kuru)	4200 kg
Starter Motor (24 V)	6.5 kW
Akü	2x143 Ah
Hava/Yakıt Oranı (Lambda)	14,7
Mekanik Verim	% 36,4

5.2.3. Ana ısı değiştirici (plakalı tip ısı eşanjörü)

Sıcaklıkları farklı iki akışkan arasında ısı transferi gerçekleştirmek için birbirinden plakalar yardımı ayrılan tesisat ekipmanına eşanjör denir. Isı transfer verimliliği açısından daha avantajlı olan su debisi 51.7/28.9 m³/h plakalı eşanjörler kullanılmıştır. Çizelge 5.10'da plakalı eşanjörler verileri verilmiştir.

Çizelge 5.10. Plakalı eşanjörler verileri

Özellik	Değer
Su Debisi (primer / sekonder)	51.7/28.9 m ³ /h
Sıcaklık Giriş / Çıkış primer	93.2/81.6 °C
Sıcaklık Giriş / Çıkış sekonder	70 /90 °C
Basınç Kaybı (primer / sekonder)	300/130 mbar

5.2.4. Jeneratör

Ağırlığı 1670 kg olan jeneratör 651 kVA gücünde olup verimi % 94,7'dir. Jeneratöre ait benzer bilgiler aşağıda verilmiştir. Çizelge 5.11'de Jeneratör teknik bilgileri verilmiştir. Çizelge 5.12'de ise Yanma havası /egzoz gazına ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 5.11. Jeneratör teknik bilgileri

Özellik	Değer
Form	IMB 35
Soğutma	Hava
Max. Dış Hava Sıcaklığı	30 °C
Elektriksel Verim @ p.f. = 0.8 -1.0	% 94.7 / 96.4
Güç Sınıfı H	800 kVA
Aktif Güç	530 kW
Güç @ p.f. = 0.8	651 kVA
Voltaj / Frekans	400/50 V/ Hz
Akım @ p.f. = 0.8 /1.0	948 / 765 A
İzolasyon Sınıfı	H
Atalet Momenti	9.67 kg m ²
Ağırlık	1670 kg

Çizelge 5.12. Yanma havası /egzoz gazı (egzoz gazı eşaniörü)

Özellik	Birim
Yanma Havası Kütlesel Debisi	1483 kg/h
Yanma Havası Hacimsel Debisi	2227 Nm ³ /h
Intercooler Su Sıcaklığı	55 °C
Hava Filtresindeki max. Basınç Farkı	20 mbar
Egzoz Gazı Kütlesel Debisi	1584 kg/h
Egzoz Gazı Hacimsel Debisi	2548 Nm ³ /h
Egzoz Gazı Eşanjörü Öncesi Sıcaklık	499 °C
Egzoz Gazı Eşanjörü Sonrası Sıcaklık	165,8 °C
Egzoz Gazı Eşanjörü Basınç Kaybı	8 mbar
Motor sonrası max. Art Basınç	45 mbar
Lambda Kontrol Sistemi TA-Luft (opsiyonel)	NO _x @ 5 % O ₂ < 500mg/Nm ³ CO @5 % O ₂ < 800 mg/Nm ³ NMHC @ 5 % O ₂ < 300 mg/Nm ³

5.2.5. Muhtelif bilgi

Üniteye 1 m mesafede ses basınç seviyesi 102/75 dB(A), Egzost'a 1 m mesafede ise ses basınç seviyesi 85 dB(A)'dir. Hava Sıcaklığı min 5 max 30 °C olmakta, 30 °C' de Taze hava (yanma havası ile) 9,400 m³/h 'dür. Fan Basınç Artımı 150 Pa, Atık Hava max. Sıcaklık 50 °C, Atık Hava Debisi (at 50 °C) ise 7,400 m³/h olmaktadır.

5.2.6. Yükseltici trafo

Kombine çevrim elektrik enerjisi üretimi uygulamalarında kullanılan DTE 800/36 Tipindeki Trafo 800 kVA gücünde olup 4 kademeli çıkış gerilimi özelliğindedir. işletme akımı 400 V için 1154,7 A frekansı ise 50 Hz olan bir trafo seçilmiştir. Çizelge 5.13'te yükseltici trafo özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.13. Yükseltici trafo özellikleri

Özellik	Birim
Gücü	800 kVA
Giriş gerilimi	400 V
Çıkış gerilimi	1. kademe 36000 2. kademe 34500 3. kademe 33000 4. kademe 31500 5. kademe 30000
İşletme akımı	400 V için 1154.70 A
Frekans	50 Hz
Yalıtım seviyesi	HV (36kV) LI170 AC70/LV (1,1 kV) LI-AC3
Standart Bobin direnci %	IEC 60076-11 : 6.25 : 2 sec
Kısa devre Ağırlığı	2685 kg
Çalışma sırasında gürültü	< 72



Şekil 5.15. GUASCOR FGLD 360 tipinde biyogaz yakıtlı gaz motoru

GUASCOR FGLD 360; Elektriksel I. kanun verimliliği % 35,8 , II. kanun verimliliği ise % 41,3 olmaktadır.

Üniteden çıkacak 499 °C sıcaklığa sahip, Yanma Havası Kütlesel Debisi 1483 kg/h, Yanma Havası Hacimsel Debisi 2227 m³/h olan egzoz gazlar atık ısı kazanından geçirilerek

kızgın su üretilmesi planlanmıştır. Üretilen kızgın su kış döneminde tesisin ısıtma enerji ihtiyacını karşılayacaktır. Bu sistem ile mevcuttaki tesis binalarının ısıtılması sağlanmaktadır.

Çalışma prensibi 4 vuruş ve 25 °C'ye kadar % 100 mevcut yüke dem eden, otomatik yağlama sistemi olan yağlama için dişli pompası, yağ soğutucu soğutma suyu devresi ile entegredir. Sürgü dişlisi starteri 24 V olan kapalı devre motor soğutma sistemi, sirkülasyon pompası ile üç fazlı AC motor, güvenlik basınç tasfiye vanası ve diyafram tipli genleşme tankı bulunmaktadır. Dizayn olarak, alternatör mili elastik olarak motor çarkına birleştirilmiştir. Motor ve alternatör SAE çarkı muhafazası yoluyla mono bloğa bağlıdır. Temel çerçeve kaynaklı yapıdadır. Motor alternatör ile temel çerçeve arasındaki anti titreşim elementleri bulunur

Ses muhafazası; temele bağlı olarak önceden monte edilmiş aparatlardan meydana gelir. Yaklaşık 25 dB'dir. Kontrol paneli muhafazanın dışına monte edilmiştir. Hava giriş ve çıkış susturucusu tedarik kapsamındadır.

Isı Eşanjör Sistemi; Motor soğutma sistemi ve egzoz gazı ısı eşanjörü yoluyla geri kazanımı için kullanılır. Motor soğutma suyu ve ısıtma suyu arasında plaka ısı eşanjör sistemi dizayn edilmiştir. Giriş sıcaklığı 70 °C'de ve çıkış sıcaklığı 90 °C olmaktadır. Kullanma suyu sıcaklığı da 20 °C'den ile 55 °C'ye çıkmaktadır.

Egzoz gazı ısı eşanjörü dâhili soğutma suyu sistemi ile entegredir. Uç yüzünde ısıtma suyu bağlantıları, Isı eşanjörleri ve kılıf gerektiği şekilde izolasyonludur, Isı eşanjörleri Alman AD (basınç araçları) kodlarına uygundur. Basınç Aracı Regülasyon Grubu II ve DIN4751 standartlarındadır.

Egzoz Sistemi; Egzoz gaz sisteminde yoğunlaşma noktası altındaki sıcaklıklar önlenmiştir. Yoğunlaşma suyu sürekli olarak boşaltılmaktadır. Yoğunlaşma çıkışında hidrolik conta bulunmaktadır.

Gaz Tedariki; Gürültü muhafazasının içine kurulum için ön monteli teslim edilen Alman standartlarına güvenlik gaz hattı ile gaz tedariki mevcuttur. Gaz treni bir gaz filtresi, iki selenoid valf, basınç regülatörü, lineer gaz düzenleme valfi, lambda kontrolü ve esnek bir paslanmaz çelik hortum içermektedir.

Modül Kontrol ve İzleme Sistemi; Fonksiyonel ünite ve hazır kablo olarak aşağıdaki bileşenler ile ekli modül kontrol sistemi bulunmaktadır.

Star/stop kontrolü için mikro işlemci ile tam modül kontrolü, şebeke bağlantı operasyonu ve acil durum tedariki (opsiyonel), yağ basıncı için analog gözlem , motor sonrasında ve egzoz gazı eşanjörü sonrası soğutma suyu sıcaklığı , ısıtma suyu sıcaklığı, giriş havası sıcaklığı, karışım sıcaklığı , hızı , ikili jeneratör koil sıcaklığı gözlemi, soğutma suyu

seviyesi min., yağ seviyesi min./max. güvenlik sıcaklığı limit maksimum , gaz basıncı minimum Alternatör devre kesici (yüklenici) gibi ekipmanlar bulunmaktadır. Başlangıç, sabit veya değişken belirleme noktası için güç çıkışı, başlatma ve kapatma için rampa fonksiyonu ve otomatik çıktı indirmesi, kapsamlı giriş havası sıcaklığı Lambda kontrolü bulunmaktadır. Transfer ve jeneratör kırıcıları, yardımcı tahriklerin kontrolü için voltajsız serbest temaslar ile ikili fonksiyonlar bulunmaktadır. Operasyon ve hata sinyalleri için voltajsız serbest temaslar bulunmaktadır. Uzaktan başlatma, sabit ve değişken set noktası kontrolü için voltajsız girdiler bulunmaktadır. Soğutma suyu pompası, yağlama yağı cihazı, hız kontrolü, yakma, gaz hortumu, batarya şarjı, starter için yardımcı cihazlar ve veri iletişim için ara yüz (Modbus) bulunmaktadır.

İşletme parametreleri, hata sinyalleri, durum sinyalleri, set noktaları ve kontrol parametreleri için LCD göstergeleri ile işletme ve gösterme paneli yeterli bağımsız ESD sistemi bulunmaktadır.

Emisyon; Egzoz gazı emisyonları (referans oksijen: 7,7 % kuru egzoz gazında) NO_x içerik NO₂ = 441 mg/m³ olarak ölçülmüştür ve CO içeriği = 686 mg/m³ ölçülmüştür.

Kojenerasyon tesisi, Mevcut gaz devresinin, mevcut sıcak su kazanlarına giriş hattından bransman alınarak yeni kurulu kojenerasyon sistemine devreye alınacaktır. Bu devre üzerinde bir adet kükürt arıtım cihazı konulmuştur. Bu devre kojenerasyon konteynerine bağlanıp Kojenerasyon sistemi üretilen gaza bağlı olarak çalışmakta ve elektrik üretmektedir.

6. KOJENERASYON SİSTEMİNİN ÇEVİRİM HESAPLAMALARI

6.1. Termodinamik Analizleri

Enerji terimi, hem enerji mühendisliği hem makine mühendisliğindeki en önemli terimdir. Enerji dengeleri, enerji çevrim sistemlerinin planlanması ve analizinde sıklıkla tercih edilmektedir. Enerji dengeleri, ısı, sıvı akışları gibi şaft işleri olarak enerji arz ihtiyaçlarını belirleyebilse de, enerjinin verimliliği hakkında yeterli bilgi veremezler. Enerjinin sistem üzerinde bir bütün olarak incelenmesi gerekmektedir.

Enerji dengesi, toplam enerji seviyesine odaklanır ve enerjinin verimliliğini odaklanmaz. Bir enerji kaynağının termodinamik değeri (yani kalitesi), bir değişiklik yaratma, yani bir mahallin ısını arttırmak, bir gazı sıkıştırmak ya da bir endotermik kimyasal reaksiyonu başlatmak gibi “faydalı bir işlem yapmak” potansiyeli ile tanımlanır. Mekanik, Kinetik, potansiyel ve elektrik enerjisi, ideal bir ortamda başka bir enerji formuna dönüştürülebilirken, kimyasal ve ısı enerjisinin niteliği, enerji taşıyıcısına ve enerji taşıyıcısının basınç, sıcaklık ve kimyasal bileşim vb. gibi parametreleri ile ilişkilidir. Termodinamikte, belli miktardaki enerjinin kalitesi, ekserjisi ile tanımlanır.

Ekserji, bir ısı sistemden elde edilebilecek teorik maksimum faydalı işi ifade eder. Alternatif olarak ekserji, çevrede bulunan maddelerden bir miktar taşıyıcı madde elde etmek ve bu enerjiyi belirli bir forma girdirmek için ihtiyaç duyulan minimum enerjidir (elektrik işi veya şaft işi gibi). Çünkü taşıyıcı madde bu referans ortam ile termodinamik dengeye getirilirken, ısı transferi sadece bu ortamla gerçekleşir. Bu duruma göre ekserjinin bir ölçülebilir bir değer olduğu söylenebilir.

Tüm gerçek enerji çevrim sistemlerindeki süreçler geri çevrilemez ve sistemin bütününe sağlanan ekserjinin bir kısmı yok edilir. Sadece tersinir bir sistemde ekserji aynı kalır. Bir sistemin gerçek verimsizlikleri, sistem sınırlarının içerisinde ortaya çıkan ekserji yıkımı ve genel kurulumda daha az kullanılan sistemden ekserji transferleri olan ekserji kayıplarıdır. Ekserji yıkımının en önemli nedenlerinden bir kısmı, farklı sıvıların karışmasını, sonlu bir sıcaklık farkından dolayı ısı transferini, akış kısmı, sıvı sürtünmesi ve kimyasal reaksiyondur.

Bu bölümde, enerji ve ekserji metotlarını kapsayacak şekilde termodinamik analizlerinin genel formülleri ifade edilecek. Bu Formüller, atık su arıtma sistemleri ve biyogaz motoruyla çalışan kojenerasyon sistemine dâhil olmak üzere enerji dönüşüm sistemleri için kullanılabilir.

6.2. Enerji Analizi

6.2.1. Kütle Dengesi

Kütlenin korunumu kanunu, bir işlem esnasında bir sisteme veya sistemden net kütle transferinin, o işlem esnasında sistemin toplam kütledeki net değişime (artış veya azalış) eşit olması şeklinde tanımlanabilir.

Kütlenin korunumu ilkesi eşitlik (6.1) ile hesaplanır.

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\chi = \frac{dm_{sistem}}{dt} \quad (6.1)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada;

m= kütle

g = kontrol hacminin giriş indisi

χ= kontrol hacminin çıkış indisini

ifade eder.

Sabit bir akış işleminde, bir kontrol hacmi içerisinde bulunan toplam kütle sabit kalır (MKH = kontrol haciminde sabit). O halde kütlenin korunumu ilkesi, bir kontrol hacmine giren toplam kütlenin, kontrol hacminden çıkan toplam kütle miktarına eşit olmasını gerektirir. Birden fazla giriş ve çıkışa sahip genel bir sürekli akış sistemi için, kütlenin korunumu ilkesi hız biçiminde eşitlik (6.2) ile hesaplanır.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\chi \quad (6.2)$$

6.2.2. Enerji Dengesi

Deneyisel gözlem verilerine bakarak, termodinamiğin birinci kanununa göre, enerjinin yoktan yaratılamayacağını ya da yok edilemeyeceğini bahseder; enerjinin sadece form değiştirebileceğini ifade eder. Bundan dolayı, bir işlem esnasında her bir enerji biti göz önünde bulundurulmalıdır. Enerjinin korunumu kanunu şu şekilde ifade edilebilir: Bir işlem esnasında sistemin toplam enerjisindeki net değişim (artış veya azalış), o işlem esnasında sisteme giren enerji ile sistemden çıkan toplam enerji arasındaki farka eşittir. Belirli bir işlem yürütülen bir sistem için enerji dengesi eşitlik (6.3) ile hesaplanır.

$$\dot{E}_g - \dot{E}_\chi = \Delta \dot{E}_{net,sistem} \quad (6.3)$$

Burada;

$\dot{E}$ = enerjiyi ifade etmektedir.

Bir sürekli akış işlemi esnasında, bir kontrol hacminin toplam enerjisi değişmez (Ecv = sabit) ve bundan dolayı toplam enerjideki değişim sıfırdır. Bu nedenle, her biçimde (ısı, iş

ve kütle ile) bir kontrol hacmine dâhil edilen enerji miktarı, kontrol hacminden çıkan toplam enerji miktarına eşit olmalıdır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç \quad (6.4)$$

Enerjinin aktarımının sadece ısı, iş ve kütle ile olabileceği göz önünde bulundurularak, enerji genel bir sürekli akış sistemi için yukarıdaki denge, daha açık bir ifade ile eşitlik (6.5) ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g \right) = \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \sum \dot{m}_ç \left(h_ç + \frac{v_ç^2}{2} + gz_ç \right) \quad (6.5)$$

Burada;

h= entalpiyi

v= kütlenin hızı

z =yüksekliği ifade eder.

6.3. Ekserji Analizi

Isıl sistemlerin enerji analizi ve geliştirilmesi için, termodinamik verimliliklerin, kaynaklar ve sistem arasındaki etkileşimleri incelemek gerekmektedir. Tüm gerçek enerji dönüşüm süreçleri, tükenmeden dolayı geri çevrilemez. Taşıyıcı maddenin farklı oranlarda veya hallerde karıştırılması, sınırsız genişleme ve sürtünme, kimyasal reaksiyon, sonlu bir sıcaklıkta ısı transferi gibi etkiler elde edilerek verilerde farklılıklar oluşturulur. Ekserji dengeleri, sistem bileşenleri içerisindeki ekserji yıkımının hesaplanabilmesi için fayda sağlar. Böylece termodinamik verimlilikler ve buna yol açan süreçler belirlenebilir. Şu anda mevcut olan en iyi teknolojinin yardımıyla Termodinamiğin sadece bir parçası için verimlilikler iyileştirilebilir. Performans değerlendirmeleri için boyutsuz parametrelerden yararlanılabilir. Uygun şekilde tanımlanmış ekserjetik verimlilik, bir sistemin performansını alt başlıklı konularda net olarak tanımlanabilir.

6.3.1. Referans Ortamı ve Ekserji Bileşenleri

Ekserji tanımında ifade edilen çevre, termodinamik bir süreçte ısı ve madde alışverişi esnasında durum değişkenlerinin (T_0 , P_0) ve içerisindeki kimyasal bileşenlerin kimyasal potansiyelinin sabit kaldığı büyük bir denge sistemidir. Çevre, başka bir sistem için ekserji-referans ortamı veya termodinamik ortam olarak ifade edilebilir.

Burada belirtilen sıcaklık T_0 ve basınç P_0 gibi durum değerleri genellikle standart olarak $T_0 = 298.15$ K ve $P_0 = 1.013$ bar olarak ifade edilir. Ancak, bu özellikler uygulamaya bağlı olarak değişik şekilde ifade edilebilir. Örneğin, T_0 ve P_0 belki söz konusu sistemin

tasarlandığı veya çalıştığı zaman ve yer için sırasıyla gerçek veya ortalama ortam sıcaklığı ve basıncı olarak alınabilir. Örneğin, sistemde hava kullanılıyorsa, sıcaklık T_0 ortalama hava sıcaklığı olarak alınabilir. Dış ortamdan hem hava hem de su kullanılıyorsa, sıcaklık T_0 genellikle sistem, ortam sıcaklığının üzerinde çalıştığında hava ve su sıcaklıklarının daha düşük olan seçilir.

Çevrenin yoğun özelliklerinin sabit kaldığı kabul edilmesine rağmen, kapsamlı özellikler diğer çevre ile olan etkileşimler sonucunda değişkenlik gösterebilir.

Sistemlerde çevresel ve kimyasal bileşenler arasında herhangi bir kimyasal reaksiyonun gerçekleşmemesi önemlidir. Çevrenin ekserjisi sıfıra eşittir. Manyetik, Nükleer, elektriksel ve yüzey gerilimi etkilerinin olmadığı, bir sistemin toplam ekserjisi (Ex_{siys}) Fiziksel ekserji (Ex^{FE}), kinetik ekserji (Ex^{KE}), potansiyel ekserji, (Ex^{PE}) ve kimyasal ekserji (Ex^{CH}) şeklinde dört bileşen olarak ifade edilebilir. Bir sistemin toplam ekserjisi eşitlik (6.6) ile hesaplanır.

$$Ex_{siys} = Ex_{sys}^{FE} + Ex^{KE} + Ex^{PE} + Ex^{CH} \quad (6.6)$$

Burada;

Ex = toplam ekserji

FE = fiziksel

KE = kinetik

PE = potansiyel

CH = kimyasal

Şeklinde ifade edilmektedir.

Alt simge olarak siys, bir sistemin toplam ekserjisini ve fiziksel ekserjisini, madde akışlarıyla ilişkili transferler dahil olmak üzere diğer ekserji miktarlarından ayırır. Bu kütle bazında toplam özgül ekserji Ex_{siys} Bir termodinamik sistemle ilişkili fiziksel ekserji şu şekilde verilir: eşitlik (6.7) ve eşitlik (6.8) ile hesaplanır.

$$\Psi_{siys} = \Psi_{sys}^{FE} + \Psi^{KE} + \Psi^{PE} + \Psi^{CH} \quad (6.7)$$

$$Ex_{siys}^{FE} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (6.8)$$

burada ;

Ψ = ekserji

U = sistemin iç enerjisini,

V = sistemin hacmini

0 alt simgesi çevrenin değerlerini ifade eder.

P_0 basınç ve T_0 aynı sistemin sıcaklıktaki durumunu gösterir. Fiziksel ekserji oranı Ex^{FE} birleşmiş bir malzeme akışı ile eşitlik (6.9) ile hesaplanır.

$$\dot{Ex}^{FE} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (6.9)$$

Burada;

T =sıcaklık

H = entalpi

S = entropiyi ifade eder.

Sistemin fiziksel ekserjisi eşitlik (6.10) ile hesaplanır.

$$\dot{Ex}^{FE} = \dot{Ex}^T + \dot{Ex}^M \quad (6.10)$$

Burada;

M = mekanik

T = termal

P =basınç

olarak ifade edilmektedir.

Bir sistemin fiziksel ekserjisi Ex^{FE} mekanik ekserji Ex^M ile termal ekserjiden Ex^T oluşur. ve: spesifik mekanik Ex^M (sistem basıncından dolayı) ve Spesifik termal Ex^T (sistemdeki sıcaklık nedeniyle) ekserjinin net bir şekilde hesaplaması sadece sıkıştırılabilir sıvılar ve ideal gazlar için eşitlik (6.11) ve eşitlik (6.12) ile hesaplanır.

$$\psi^T = \int_{T_0, P_0}^{T_0, P} c \left(1 - \frac{T}{T_0}\right) dT \quad (6.11)$$

$$\psi^M = \int_{T_0, P_0}^{T_0, P} v dP \quad (6.12)$$

burada V ile ifade edilen değer, belirli bir hacmi göstermektedir. Herhangi bir akışkan için, bir sıvının özgül ısı ekserjisi P basıncı ve T sıcaklığındaki akış eşitlik (6.13) ile hesaplanır.

$$\psi^M = \int_{T_0, P_0}^{T_0, P} v dP \quad (6.13)$$

Mekanik ekserjiyi eşitlik (6.14) ile hesaplanır.

$$Ex^M = Ex^{FE} - Ex^T \quad (6.14)$$

Kinetik ekserji kinetik enerjiye, potansiyel ekserji ise potansiyel enerjilere eşittir ve eşitlik (6.15) ve eşitlik (6.16) ile hesaplanır.

$$Ex^{KE} = \frac{1}{2} m \vec{v}^2 \quad (6.15)$$

$$Ex^{PE} = mgz \quad (6.16)$$

Kimyasal ekserji, sistem T sıcaklığında ve P basıncında referans ortam ile kimyasal dengeye getirildiğinde elde edilebilecek teorik maksimum faydalı iştir. Isı transferi sadece bu

ortam ile gerçekleşir. Böylece, kimyasal ekserjiyi hesaplamak için sadece T_0 sıcaklığını, ve P_0 basıncını değil ayrıca ortamın kimyasal bileşimi de belirtilmelidir. Referans ortamın ekserjisi sifıra eşittir ve ortamın parçaları arasındaki etkileşimlerden iş geliştirme olasılığı yoktur. Elementlerinden oluşan herhangi bir maddenin standart molar kimyasal ekserjisi belirli Gibbs fonksiyonundaki değişiklik kullanılarak eşitlik (6.17) ile hesaplanır.

$$\psi_{sub}^{CH}(T_0, P_0) = \overline{g}_{sub}(T_0, P_0) - \sum_{i=1}^M v_i [\psi_i^{CH}(T_0, P_0) - \overline{g}_i(T_0, P_0)] \quad (6.17)$$

Çevresel gaz fazının mol fraksiyonuna sahip bir kimyasal gaz element için P_0 ve T_0 'daki Gibbs fonksiyonu sırasıyla reaksiyondaki stokiyometrik katsayı ve standart kimyasal ekserji eşitlik (6.18)'deki şekilde belirtilir.

$$\psi_i^{ch} = -\overline{R}T_0 \ln x_i^e \quad (6.18)$$

Kimyasal ekserji İdeal bir N ideal gaz karışımı için eşitlik (6.19) ile hesaplanır.

$$\psi_{M,ig}^{ch} = \sum_{i=1}^N x_i \psi_i^{ch} + \overline{R}T_0 \sum_{i=1}^N x_i \ln x_i \quad (6.19)$$

Burada standart molar kimyasal ekserji ψ^{ch} ile çevre sıcaklığı ise T_0 ile ifade edilmektedir. x_i , i'inci maddenin ekserjisi ve sistemdeki k'inci maddenin T_0 'daki mol kesridir. Sıvıların kimyasal ekserji hesaplamaları için, kimyasal ekserji Aktivite katsayıları γ_k biliniyorsa eşitlik (6.20) ile hesaplanır.

$$\psi_{M,l}^{ch} = \sum_{i=1}^N x_i \psi_i^{ch} + \overline{R}T_0 \sum_{i=1}^N x_i \ln(\gamma_k x_i) \quad (6.20)$$

Referans durumda kanalizasyonun spesifik kimyasal ekserjisi, KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) değeri eşitlik (6.21) ile hesaplanır.

$$\psi_{\text{çamur}}^{KE} = 13.6 \times KOİ \quad (6.21)$$

teknik bir yakıtın özgül kimyasal ekserjisi eşitlik (6.22) ile hesaplanır.

$$\psi_{\text{çamur}}^{KE} = (LHV_{\text{lağım}} + h_{\text{evap}} z_{su})\beta + (\psi_{\text{sulfur}}^{KE} - LHV_{\text{sulfur}})z_{\text{sulfur}} + \psi_{\text{kül}}^{KE} z_{\text{kül}} + \psi_{\text{su}}^{KE} z_{\text{su}} \quad (6.22)$$

AID (Alt Isıl Değer) çamuru ve AID kükürt çok az miktarda kül içeren çamur olarak kabul edilebilir. Çamur ve kükürtün daha düşük ısıtma değerleridir sırasıyla; hevap su buharlaşmasının entalpisidir; z_{su} , $z_{\text{sülfür}}$, $z_{\text{kül}}$ sırasıyla su, kükürt ve kül fraksiyonları; $\psi_{\text{sulfur}}^{KE}$, $\psi_{\text{kül}}^{KE}$ ve ψ_{su}^{KE} sırasıyla kükürt, kül ve suyun kimyasal enerjileri. β , bir karışımdaki atomik oranları veren ve çevresel parametrelere bağlı olmayan değişken bir orandır. Oksijenin karbona oranını içeren çamur için eşitlik (6.23) ile hesaplanır

(O/C) aşağıdaki ilişki ile 0,5'ten az

$$\beta_{\text{sludge}} = 1.0437 + 0.0140 \frac{H}{C} + 0.0968 \frac{O}{C} + 0.0467 \frac{N}{C} \quad (6.23)$$

burada sırasıyla O, H, C ve N çamurdaki oksijen, hidrojen, karbon ve azotun yüzde değerleridir. Biyogazın referans durumundaki spesifik kimyasal ekserjisi, karışımın mol fraksiyonlarına, y_f , karışıma göre ayarlanmalıdır.

Böylece, biyogaz karışımının referans durumundaki kimyasal ekserjisi eşitlik (6.24) ile hesaplanır

$$\Psi_{biogas}^{KE} = \sum y_{f,mixt} \Psi_{f,mixt}^{KE} + R_{f,mixt} T_0 \sum y_{f,mixt} \ln y_{f,mixt} \quad (6.24)$$

referans durumunda $\Psi_{f,mixt}^{KE}$ biyogaz karışımındaki herhangi bir bileşenin spesifik kimyasal ekserjisidir.

6.3.2. Ekserji Dengesi, Ekserji Yıkımı ve Ekserji Kaybı

Ekserji yıkımı, yok edilen ekserjiyi $\dot{E}x_T$ tersinmezlikler nedeniyle (entropi üretimi) bir sistem içinde ekserjiyi temsil eder. Tersinmezliklere kimyasal reaksiyon, sonlu bir sıcaklık farkı yoluyla ısı transferi, maddenin karışması ve sınırsız genişleme ile sürtünme neden olur. Ekserji yıkımı (a) dikkate alınan sistem için formüle edilmiş bir ekserji dengesi veya (b) sistem içinde (bir entropi dengesinden hesaplanır) entropi üretimi, $\dot{S}_{üret.}$ yardımı ile eşitlik (6.25) ile hesaplanır

$$\dot{E}x_T = T_0 \dot{S}_{üret.} \quad (6.25)$$

Kapsamlı bir egzersiz değerlendirmesi yapıldığında ilk seçenek önerilir. Tüm sistemdeki ekserji yıkımı, eşitlik (6.26) ile hesaplanır

$$\dot{E}x_{T,total} = \sum_{k=1}^{n_k} \dot{E}x_{T,k} \quad (6.26)$$

tüm sistem bileşenlerinde ekserji yıkımı eşitlik (6.27) ile hesaplanır

$$\dot{E}x_{T,k} = \dot{E}x_{F,k} - \dot{E}x_{P,k} - \dot{E}x_{L,k} \quad (6.27)$$

Burada

, $\dot{E}x_{F,k}$: ekserjetik yakıt

$\dot{E}x_{P,k}$: ekserjetik üründür

$\dot{E}x_{L,k}$: kth bileşenindeki ekserji hızı olarak iade edilmiştir.

Bileşen sınırları T_0 olduğunda genellikle sıfırdır. Genel bir sistem için, $\dot{E}x_{L,k}$, toplam tarafından reddedilen tüm yararlı olmayan akışların ekserji akış hızlarını içerir. Toplam ekserji yıkım değeri, tüm sistem için yazılan ekserji dengesinden de eşitlik (6.28) ile elde edilir.

$$\dot{E}x_{D,total} = \dot{E}x_{F,total} - \dot{E}x_{P,total} - \dot{E}x_{L,total} \quad (6.28)$$

Bir bileşenin veya sistemin termodinamik verimliliğini iyileştirmeye yönelik tüm çabaların, önlenebilir ekserji yıkımına odaklanması gerektiği açıktır. Bir kontrol hacmi sisteminin sınırı boyunca bir ekserji transferi, ya bir malzeme akışı ya da iş ya da ısı yoluyla bir enerji transferi ile ilişkilendirilebilir. Sisteme olan ısı transferinin pozitif yönü ve sistemden olan iş transferinin pozitif yönü alınarak, madde ve enerjinin çoklu giriş ve çıkış akımlarını içeren bir kontrol hacmi için ekserji dengesinin genel formu eşitlik (6.29) ile hesaplanır

$$\frac{dEx_{cv}}{dt} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV_{cv}}{dt}\right) + \sum \dot{Ex}_g - \sum \dot{Ex}_c - \dot{Ex}_D \quad (6.29)$$

burada $\dot{Ex}_g$ ve $\dot{Ex}_c$ giriş ve çıkıştaki toplam ekserji transfer oranlarıdır, sırasıyla toplam, fiziksel, kimyasal, kinetik ve potansiyel ekserji için kütle transferleri ile Dönem $\dot{Q}_k$, konumdaki sıcaklığın T_k olduğu sınırdaki ısı transfer oranını temsil eder. İlişkili ekserji transfer hızı eşitlik (6.30) ile hesaplanır.

$$\dot{Ex}_{q,k} = \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k \quad (6.30)$$

$T_k > T_0$ için ekserji oranı $\dot{Ex}_{q,k}$ ısı transferi ile ilişkili her zaman daha küçüktür ısı transfer hızı $\dot{Q}_k$. Ortam sıcaklığının altındaki uygulamalarda, $T_k < T_0$ ve $\dot{Ex}_{q,k}$ ve $\dot{Q}_k$ zıt işaretlere sahip: Enerji verildiğinde sistemden ekserji çıkarılır ve bunun tersi de geçerlidir. Sürekli akışlı sistemler için eşitlik (6.31) ile hesaplanır.

$$0 = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV_{cv}}{dt}\right) + \sum \dot{Ex}_g - \sum \dot{Ex}_i - \dot{Ex}_D \quad (6.31)$$

6.3.3. Ekserji Verimliliği

Performans değerlendirmelerinde boyutsuz kriterler kullanılmaktadır. Uygun şekilde tanımlanmış ekserjetik verimlilik, bir sistem veya sistem bileşeninin performansını termodinamik bakış açısından açık bir şekilde karakterize eder. Ekserji verimliliği, benzer koşullar altında çalışan benzer bileşenlerin performansını karşılaştırmak için de kullanılmalıdır. Farklı bileşenlerin karşılaştırılması için ekserji imha oranı kullanılabilir. Ekserji verimliliği eşitlik (6.32) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_k = \frac{\dot{Ex}_{P,k}}{\dot{Ex}_{F,k}} = 1 - \frac{\dot{Ex}_{D,k} + \dot{Ex}_{L,k}}{\dot{Ex}_{F,k}} \quad (6.32)$$

Ekserjetik k. bileşen ε_k 'nin ekserjetik verimliliği ürün ve yakıt arasındaki oran olarak tanımlanır. Ürünün ekserji oranları $\dot{Ex}_{P,k}$ ve yakıt $\dot{Ex}_{F,k}$ tarafından tanımlanır. Bileşen tarafından üretilen istenen sonucu ve bu sonucu elde etmek için harcanan kaynaklar sırasıyla: (a) fiziksel ve kimyasal ekserji veya (b) termal, mekanik ve kimyasal ekserji veya (c) termal

mekanik, reaktif ve reaktif olmayan ekserji arasındaki ayrım, bazı bileşenler için daha rasyonel ekserjetik verim tanımlanabilir.

6.3.4. Ekserji Bozulma Oranı ve Ekserji Kaybı Oranı

Ekserji yıkımına ek bileşen olarak $\dot{E}x_{D,k}$ ve ekserjetik verimler η_k , ekserji yıkım oranı $y_{D,k}$ termodinamik değerlendirmesinde kullanılır. Bu oran, kth bileşenindeki ekserji yıkımını eşitlik (6.33) ile hesaplanır.

$$y_{D,k} = \frac{\dot{E}x_{D,k}}{\dot{E}x_{F,toplam}} \quad (6.33)$$

Sağlanan toplam yakıt ekserjisi $\dot{E}x_F$ genel sistem toplamı eşitlik (6.34) ile hesaplanır.

$$y_{D,k} = \frac{\dot{E}x_{D,k}}{\dot{E}x_{D,toplam}} \quad (6.34)$$

Alternatif olarak, kth bileşeninin ekserji yıkım hızı, toplam ekserji yıkım hızı $\dot{E}x_{D,k}$ toplam ile karşılaştırılabilir ve eşitlik (6.35) ile hesaplanır.

$$y_{L,toplam} = \frac{\dot{E}x_{L,toplam}}{\dot{E}x_{F,toplam}} \quad (6.35)$$

Tüm sisteme sağlanan toplam yakıt ekserjisindeki kayıp Ekserji yok etme oranı ile ekserjetik verim arasındaki fark, birincisinde bir bileşen içindeki ekserji yok edilmesi, tüm sisteme sağlanan yakıt ekserjisiyle ilgiliyken, ikincisinde bileşene sağlanan yakıt ekserjisiyle aynı ekserji yok edilmesini ifade eder. Ekserji yıkım oranı, ekserji verimindeki azalmanın yüzdesini ifade eder.

kth sistem bileşenindeki ekserji yıkımının neden olduğu genel sistem eşitlik (6.36) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_{toplam} = \frac{\dot{E}x_{P,toplam}}{\dot{E}x_{F,toplam}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{D,toplam} + \dot{E}x_{L,toplam}}{\dot{E}x_{F,toplam}} = 1 - y_{D,toplam} - y_{L,toplam} \quad (6.36)$$

Hemen hemen her durumda bileşen düzeyinde hiçbir ekserji kaybı tanımlanmadığından, ekserji kaybı oranı yalnızca tüm sistem için tanımlanır.

6.3.5. Kojenerasyon Sistemlerinde Performans Değerlendirme Parametreleri

Literatürde kojenerasyon sistemlerinin çeşitli performans değerlendirme parametreleri bulunmaktadır. Bu parametrelerden on tanesi şu şekilde tanımlanmaktadır: yakıt kullanım

verimliliği, güç üretiminin verimliliği, güce göre ücretlendirilebilen yakıt, güç-ısı oranı, enerji tasarrufu endeksi, yakıt enerji tasarrufu oranı, yakıt tasarruf oranı, ikinci kanun verimliliği ve ekonomik uygunluk. Bu parametreler arasında yakıt kullanım verimliliği en yaygın kullanılan parametredir. Bununla birlikte, güç/ısı oranı ve ikinci kanun verimi en yararlı parametreler olarak belirtilmiştir.

Yakıt kullanım verimliliği kavramı, proses ısısı tarafından yürütülen birim enerjinin, üretilen iş veya elektrik tarafından yürütülen birim enerji kadar eşit değerli olduğu varsayımına dayanmaktadır. Başka bir deyişle, herhangi bir birim enerji sistem tarafından faydalı uygulama için aktarılanlar eşit değerde dikkate alınır. Yakıt kullanım verimliliği, proses ısısı veya elektrik olarak kullanılan çevrimin enerji çıkış hızının, kojenerasyon sistemi tarafından kullanılan yakıtın enerji giriş hızına oranı olarak tanımlanır ve eşitlik (6.37) ile hesaplanır.

$$FUE = \frac{(\dot{W}_{el})_{tesis} + \Delta H_{proses}}{\dot{m}_{yakıt} \cdot LHV_{yakıt}} \quad (6.37)$$

burada $(\dot{W}_{el})_{tesis}$, kojenerasyon tesisi tarafından üretilen güçtür, ΔH_{proses} süreci bu aynı tesis tarafından üretilen proses ısısı ve paydadaki terim kojenerasyon tesisine verilen toplam yakıt enerjisidir.

Bir kojenerasyon sisteminin iki çıktısı arasında elektriğin değeri, proses ısısının değerinden daha yüksektir. Bu gözlem bizi basit bir sonuca götürür: Aynı miktarda proses ısısı için ne kadar büyük elektrik üretirsek, kojenerasyon sisteminin performansı o kadar iyi olur. Bu nedenle, elektriğin çevrimin proses ısısına oranı, farklı kojenerasyon sistem tasarımlarının karşılaştırılması için değerli bilgiler sağlar. Matematiksel olarak güç/ısı oranı (GIO) olarak ifade edilerek eşitlik (6.38) ile hesaplanır.

$$GIO = \frac{(\dot{W}_{el})_{tesis}}{\Delta H_{proses}} \quad (6.38)$$

Birinci kanun verimliliği olarak da adlandırılan yakıt kullanım verimliliği aşağıdaki zayıflığa sahiptir: Enerji her zaman bir sistemden iş şeklinde dönüştürülemez. Bununla birlikte, termodinamik biliminin temeli, enerji ve işin tamamen birbirinin yerine geçemeyeceği gözlemine dayanmaktadır. Birinci yasa veriminin zayıflığını gidermek için kojenerasyon sistemi için yeni bir verimin tanımlanması gerekmektedir. Bu yeni tanım, termodinamiğin yalnızca birinci kanununu değil, aynı zamanda ikinci kanununu da kullanır. İkinci kanun verimini tanımlamak için, kojenerasyon sisteminin çeşitli çıktıları, yani proses ısısı ve elektrik, iş üretme yetenekleri açısından ölçülür. Girdi yakıtının nihayetinde üretebileceği iş miktarı da değerlendirilir. Oranı girdiye çıktı, ekserji oranı cinsinden ölçülür,

ikinci kanun verimini verir (yani, ekserjetik verimlilik) $\Delta \dot{E}x_{process}$ proses ısısının proses ekserjisi ve $\dot{E}x_{fuel}$ toplam yakıt kojenerasyon tesisine verilen ekserji olarak üretilir. Eşitlik (6.39) ile hesaplanır. (Abuşoğlu, 2008)

$$\varepsilon_{Tesis} = \frac{(\dot{W}_{el})_{tesis} + \Delta \dot{E}x_{proses}}{\dot{E}x_{yakıt}} \quad (6.39)$$

6.4. Mühendislik denklem çözücüsü (EES)

Birleştirilmiş doğrusal olmayan cebirsel ve diferansiyel denklemleri sayısal olarak çözmeye yarayan mühendislik denklem çözme (EES) programıdır. Temel olarak Newton Raphson metoduna göre çalışan bu program ayrıca optimizasyon analizi, birim çevirme, birim tutarlılığını kontrol etmek, belirsizlik analizleri sağlamak, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizlerini çözümlmek için kullanılmaktadır. Programı ön plana çıkaran bir diğer özelliği de denklem çözme yeteneği ile kullanılmasına izin veren ve yüzlerce madde için sağlanan yüksek doğrulukta ki bir termodinamik veri arşividir. Bu çalışmada 2013 EES Service Pack 1 kullanılmıştır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Termodinamiğin ikinci kanununu veya mevcut enerjinin ikinci dereceden verimliliği olan formülleri, kompleks enerji sistemleri üzerinde sistematik bir çözüm olması için bir araçtır. Amacı, termodinamik analizin birinci veya ikinci kanununu matematiksel olarak tek bir modele indirgeyip çözümlemektir. Isıl (termal) sistemlerin enerji ve ekserji analizlerini yapmak için çok sayıda çalışma literatürde bulunmaktadır.

Atık su arıtma tesislerinin birleşik ısı ve güç (CHP) sistemleri, yani kojenerasyon sistemi için, bu çalışmalar üç ana grupta sınıflandırılabilir: (i) biyogazın CHP sistemlerinin enerji analizi, (ii) ve CHP sistemlerinin ekserji analizleri. CHP'nin enerji ve ekserji analizleri için literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu bölümde, Batman Belediyesi için Atıksu arıtma tesisinin enerji ve ekserji analizleri, daha önceki bölümlerde açıklanan metodolojiler formüllerin uygulanmasıyla yapılmıştır. EES programında bütün analizler yapılmıştır.

Batman biyogaz motorlu kojenerasyon (BBMK) tesisinin şeması Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Bu santral, biyogaz yakıtlı 0,530 MWe güç üretmek için GUASCOR FGLD 360 tipi motor kullanılmıştır. Santral Türkiye'nin güneydoğusunda, Batman ilinde bulunmaktadır. 2011 yılında elektrik ve buhar üretmeye başlamıştır. Gaz motorunun önündeki jeneratörden elektrik, egzoz arkasında bulunan kazandan sıcak su elde edilmektedir.

Biyogaz Motorlu Kojenarasyon Sistemi'nde, yaz mevsimlerinde havanın sıcak olmasından dolayı, Ön Soğutucu ile havanın sıcaklığı yaklaşık 19 °C'ye düşürülür. Hava ile Biyogaz Mikser'de homojen olarak karıştırılır. Mikser'de karıştırılan biyogaz-hava 19 °C sıcaklık ve 100 kPa basınç ile homojen yakıt karışımı Turbo Şarj Ünitesi'ne Biyogaz Motorunda kullanılmak üzere doldurulur. Turbo şarjda yakıtın basıncı 200 kPa'a sıcaklığı ise 76,3 °C'ye yükselerek yanmak üzere biyogaz motoruna aktarılır. Yakıt motora girmeden önce Turbo şarjdan çıkıp Ara Soğutucu'da sıcaklığı 63,8 °C'ye düşürülür. Antifrizli su ise Radyatör'de sıcaklığı 65.5 °C'den 56,3 °C'ye kadar düşürüldükten sonra ara soğutucuda yakıttan aldığı ısı ile sıcaklığı tekrar 66,7 °C'ye çıkmaktadır. Ara soğutucudan dönüşte tekrar radyatörde 63.8 °C'ye düşürülmektedir. Biyogaz Motoru'nda ise biyogaz yakıldıktan sonra 499 °C'de çıkan egzoz gazı turbo şarj ünitesinin türbininden geçerek sıcaklığı 437 °C'ye düşer. Daha sonra 437 °C'de Eşanjöre-I'e giren egzoz gazı antifrizli suyu ısıtır. Eşanjöre-I'den geçen antifrizli suyun sıcaklığı 67,9 °C'den 86,1 °C'ye çıkmaktadır. Egzoz gazı Eşanjör-1'de antifrizli suya aktarılan ısı ile 165,8 °C'ye kadar soğutulduktan sonra Ekonomizer'e gönderilir. Ekonomizerde ise egzoz gazı ısıyı suya aktararak suyun sıcaklığını

70 °C 'den 90 °C'ye çıkararak egzoz gazının sıcaklığının biraz daha düşmesine yardımcı olur. Egzoz gazı atmosfere yaklaşık olarak 105 °C'de atılır.

Biyogaz Motorun çalışmasıyla elde edilen şaft gücü Jeneratör'e aktararak elektrik üretimi sağlanır. Biyogaz motoru tahrik mili ile jeneratörü çevirdikten sonra ısınır. motorun soğutulması için hem antifrizli su hem de yağ kullanılır. Çalışmadan dolayı ısınan yağın sıcaklığı 69 °C'ye çıkmakta ve Eşanjöre-II'de sıcak su elde etmek için ısısını suya aktarır 69 °C'den 52 °C'ye soğutulur. Sıcaklığı 20 °C'den 55 °C'ye çıkan su sistemde kullanıldıktan sonra Eşanjöre-II'de kullanılmak için Pompa-I tarafından basılır. Basıncı düşen yağ Pompa-III tarafından Acil Durum Soğutucusuna basılır. Ardından motoru soğutmak üzere motora gönderilerek sistem döngüsü tamamlanır. Acil Durum Soğutucusu olağandışı durumlarda devreye girerek akışkanın sıcaklığını düşürmek için kullanıldığından hesaplamalarda dikkate alınmadan işlemler yapılmıştır.

Bu çalışmada tesisin Mayıs 2020 verileri kullanılmaktadır (bkz. Çizelge 7.1). Havanın referans (yani ölü noktası) sıcaklığı ve basıncı, gerçek ortam koşulları (20 °C ve 100 kPa) olarak alınır. Diğer varsayımlar şunları

- a. BBMK sistem çalışması sabit durumda sabit akış kabul edilmiştir.
- b. İdeal gaz ilkeleri hem havaya hem de egzoz gazlarına uygulanmıştır.
- c. Biyogaz motorunda yanma tepkimesi tamamlanmıştır.
- d. Kinetik ve potansiyel enerji değişiklikleri ihmal edilmiştir.
- e. İçten yanmalı motorlarda egzozdaki suyun hali genellikle buhar olduğu için yakıtın düşük ısı değeri (LHV) kullanılmıştır.

Tesis Bileşenleri için Enerji ve Ekserji İlişkileri

Tesisin bileşenleri için enerji ve ekserji ilişkileri verilmiştir. İlişkiler, Bölüm 6'da verilen genel formülasyonlara dayanmaktadır ve kütle, enerji ve ekserji dengelerinin yanı sıra ekserji yıkımları ve ekserji verimliliklerini içermektedir. Durum numaraları Şekil 7.10'a bakılarak revize edilebilir.

Kojenerasyon sistemi ekipmanları için enerji ve ekserji analizleri EES programı yardımı ile yapılmıştır. Her bir ekipman için yapılan analizlerde EES programına tanımlanarak kullanılan eşitlikler şu şekildedir:

Ön Soğutucu ;

Ön Soğutucuya ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2, \quad \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (7.1)$$

$$\dot{Q}_{on_sog} = \dot{m}_1(h_1 - h_2) \quad (7.2)$$

$$\dot{Q}_{max_on_sog} = C_{min_on_sog}(T_1 - T_{10}) \quad (7.3)$$

$$\phi_{on_sog} = \dot{Q}_{on_sog} / \dot{Q}_{max_on_sog} \quad (7.4)$$

$$\varepsilon_{on_sog} = \frac{\dot{m}_{10}(\psi_{11} - \psi_{10})}{\dot{m}_1(\psi_1 - \psi_2)} \quad (7.5)$$

Turboşarj;

Turboşarja ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4, \quad \dot{m}_6 = \dot{m}_7 \quad (7.6)$$

$$\dot{W}_{cmp_tc} = \dot{m}_3(h_4 - h_3) \quad (7.7)$$

$$\dot{W}_{trb_tc} = \dot{m}_6(h_6 - h_7) \quad (7.8)$$

$$r_{b_tc} = \dot{W}_{cmp_tc} / \dot{W}_{trb_tc} \quad (7.9)$$

$$\varepsilon_{cmp_tc} = \frac{\dot{W}_{cmp_tc}}{\dot{m}_3(\psi_4 - \psi_3)} \quad (7.10)$$

Ara Soğutucu ;

Ara Soğutucuya ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5, \quad \dot{m}_{16} = \dot{m}_{15} \quad (7.11)$$

$$\dot{Q}_{ara_sog} = \dot{m}_4(h_4 - h_5) \quad (7.12)$$

$$\dot{Q}_{max_ara_sog} = C_{min_ara_sog}(T_4 - T_{15}) \quad (7.13)$$

$$\phi_{ara_sog} = \dot{Q}_{ara_sog} / \dot{Q}_{max_ara_sog} \quad (7.14)$$

$$\varepsilon_{ara_sog} = \frac{\dot{m}_{15}(\psi_{16} - \psi_{15})}{\dot{m}_4(\psi_4 - \psi_5)} \quad (7.15)$$

Eşanjör-I ;

Eşanjör-I'e ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8, \dot{m}_{12} = \dot{m}_{13} \quad (7.16)$$

$$\dot{Q}_{esan_I} = \dot{m}_7(h_7 - h_8) \quad (7.17)$$

$$\dot{Q}_{max_esan_I} = C_{min_esan_I}(T_7 - T_{12}) \quad (7.18)$$

$$\phi_{esan_I} = \dot{Q}_{esan_I} / \dot{Q}_{max_esan_I} \quad (7.19)$$

$$\varepsilon_{esan_I} = \dot{m}_{12} \frac{\psi_{13} - \psi_{12}}{\dot{m}_7(\psi_7 - \psi_8)} \quad (7.20)$$

Radyatör;

Radyatöre ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_{14} = \dot{m}_{17} = \dot{m}_{12}, \dot{m}_{rh_e} = \dot{m}_{rh_i} \quad (7.21)$$

$$\dot{Q}_{rad} = \dot{m}_{rh_i}(h_{rh_e} - h_{rh_i}) \quad (7.22)$$

$$\dot{Q}_{max_rad} = C_{min_rad}(T_{16} - T_{rh_i}) \quad (7.23)$$

$$\phi_{rad} = \dot{Q}_{rad} / \dot{Q}_{max_rad} \quad (7.24)$$

$$\varepsilon_{rad} = \frac{\dot{m}_{rh_i}(\psi_{rh_e} - \psi_{rh_i})}{\dot{m}_{14}(\psi_{14} - \psi_{17}) + \dot{m}_{15}(\psi_{16} - \psi_{15})} \quad (7.25)$$

Pompa-I ;

Pmpa-I'e ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{23} \quad (7.26)$$

$$w_{pump_I} = v_{22}(P_{23} - P_{22}) \quad (7.27)$$

$$\eta_{pump_I} = \frac{h_{23s} - h_{22}}{h_{23} - h_{22}} \quad (7.28)$$

$$\varepsilon_{pump_I} = \frac{\psi_{23} - \psi_{22}}{w_{pump_I}} \quad (7.29)$$

Ekonomizer;

Ekonomizere ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9, \dot{m}_{27} = \dot{m}_{26} \quad (7.30)$$

$$\dot{Q}_{eko} = \dot{m}_8(h_8 - h_9) \quad (7.31)$$

$$\dot{Q}_{max_eko} = C_{min_eko}(T_8 - T_{26}) \quad (7.32)$$

$$\phi_{eko} = \dot{Q}_{eko} / \dot{Q}_{max_eko} \quad (7.33)$$

$$\varepsilon_{eko} = \frac{\dot{m}_{26}(\psi_{27} - \psi_{26})}{\dot{m}_8(\psi_8 - \psi_9)} \quad (7.34)$$

Esanjör-II ;

Eşanjör-II'ye ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_{23} = \dot{m}_{24} \quad (7.35)$$

$$\dot{Q}_{esan_II} = \dot{m}_{20}(h_{21} - h_{20}) \quad (7.36)$$

$$\dot{Q}_{max_esan_II} = C_{min_esan_II}(T_{21} - T_{23}) \quad (7.37)$$

$$\phi_{esan_II} = \dot{Q}_{esan_II} / \dot{Q}_{max_esan_II} \quad (7.38)$$

$$\varepsilon_{esan_II} = \frac{\dot{m}_{23}(\psi_{24} - \psi_{23})}{\dot{m}_{20}(\psi_{21} - \psi_{20})} \quad (7.39)$$

Pompa-II;

Pmpa-II'e ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} \quad (7.40)$$

$$w_{pump_II} = v_{25}(P_{26} - P_{25}) \quad (7.41)$$

$$\eta_{pump_II} = \frac{h_{26s} - h_{25}}{h_{26} - h_{25}} \quad (7.42)$$

$$\varepsilon_{pump_II} = \frac{\psi_{26} - \psi_{25}}{w_{pump_II}} \quad (7.43)$$

Motor Enerji-Ekserji Verimi;

Motora ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{Q}_{biyogaz} = (\dot{m}_{byo} q_{AID_byo}) \quad (7.44)$$

$$\dot{E}_{sağlanan} = (1 - (T_L/T_H)) \dot{Q}_{byo} \quad (7.45)$$

$$\eta_{jen} = \dot{W}_{jen} / \dot{Q}_{byo} \quad (7.46)$$

$$\varepsilon_{jen} = \dot{W}_{jen} / \dot{E}_{sağlanan} \quad (7.47)$$

Kojenerasyon Enerji-Ekserji Verimi;

Kojenerasyon sistemine ait enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplandığı eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\dot{Q}_{prs} = \dot{Q}_{esan_I} + \dot{Q}_{esan_II} + \dot{Q}_{eko} \quad (7.48)$$

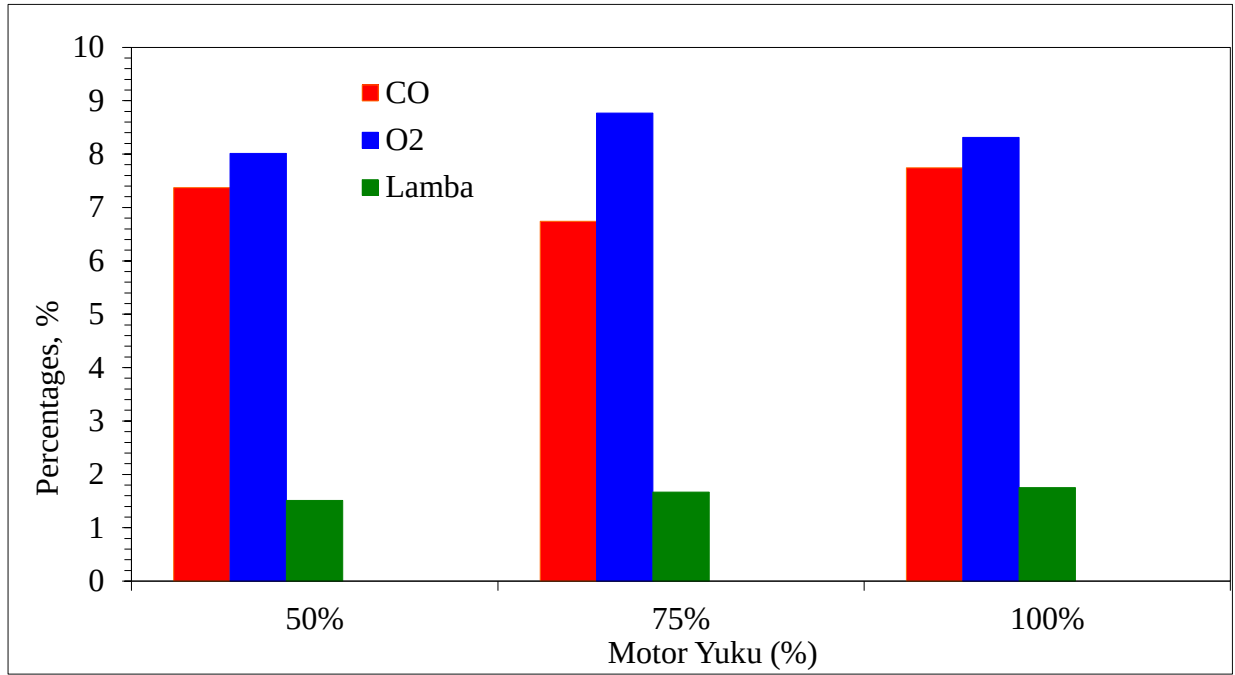
$$\dot{E}_{prs} = (1 - (T_{p_L}/T_{p_H})) \dot{Q}_{prs} \quad (7.49)$$

$$\eta_{koj} = \frac{\dot{W}_{jen} + \dot{Q}_{prs}}{\dot{Q}_{byo}} \quad (7.50)$$

$$\varepsilon_{koj} = \frac{\dot{W}_{jen} + \dot{E}_{prs}}{\dot{E}_{sağlanan}} \quad (7.51)$$

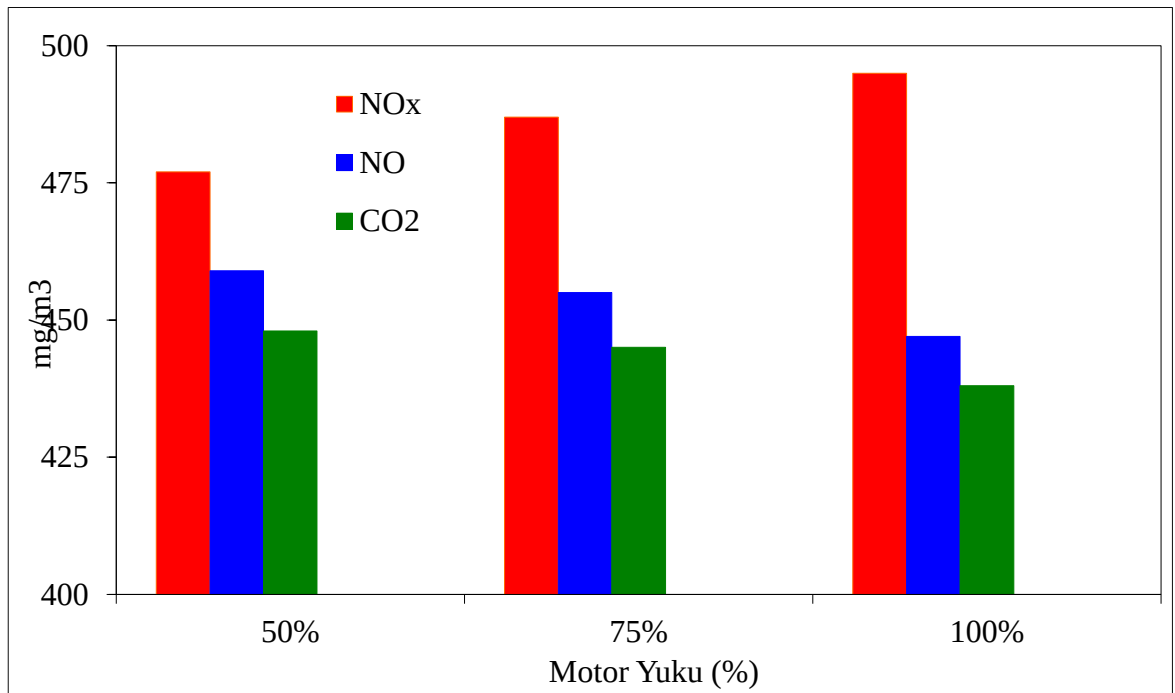
Biyogaz üretimi sırasında verimi etkileyen çeşitli faktörler ortaya çıkmaktadır. Üretim veriminin yüksek olması için dış etkenlerin uygun şartlarda işlemlere katılması için gerekli ortam oluşturulmalıdır. Biyogaz üretimine etki eden faktörlerin başında sıcaklık ve PH değişimi gelmektedir. Bunların dışında C/N oranı, organik yükleme hızı, hidrolik bekleme süresi, Karıştırma ve partikül boyutu gibi faktörler sıralanabilir

Kojenerasyon sistemi için tasarım şartları, parametreleri, güç çevrimi analizleri yapılarak sistemsel olarak incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle mevcut Biyogaz sisteminin termodinamik özellikleri temel alınarak sistem denklemleri EES programına tanımlanmıştır.



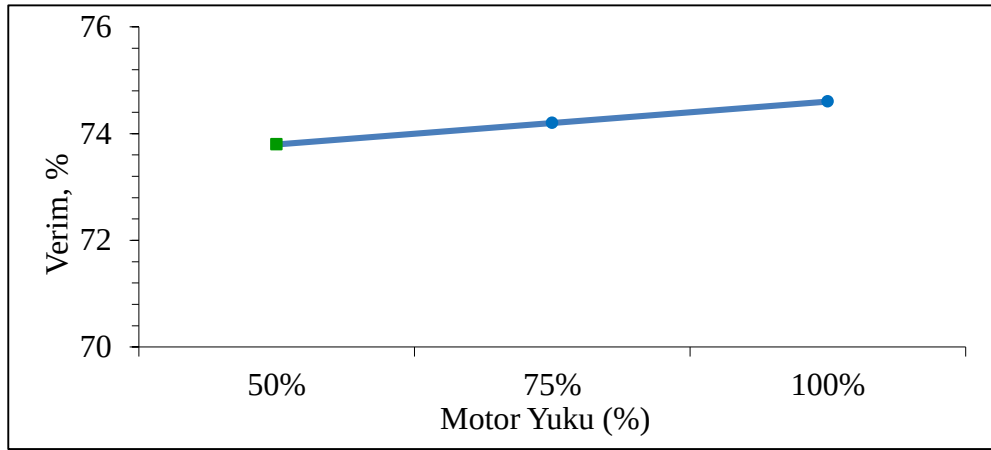
Şekil 7.1. CO, O, Lamba ölçüm değerler

Şekil 7.1’de motorun egzoz emisyonlarında 50,75 ve 100 % yüklemelerde CO O₂ ve Hava Katsayısı olan lamba (λ) ölçüm değerleri incelenmiştir. Motor için hava katsayısı uygun olup egzozdan çıkan CO ise çevreyi eser miktarda kirletmektedir.

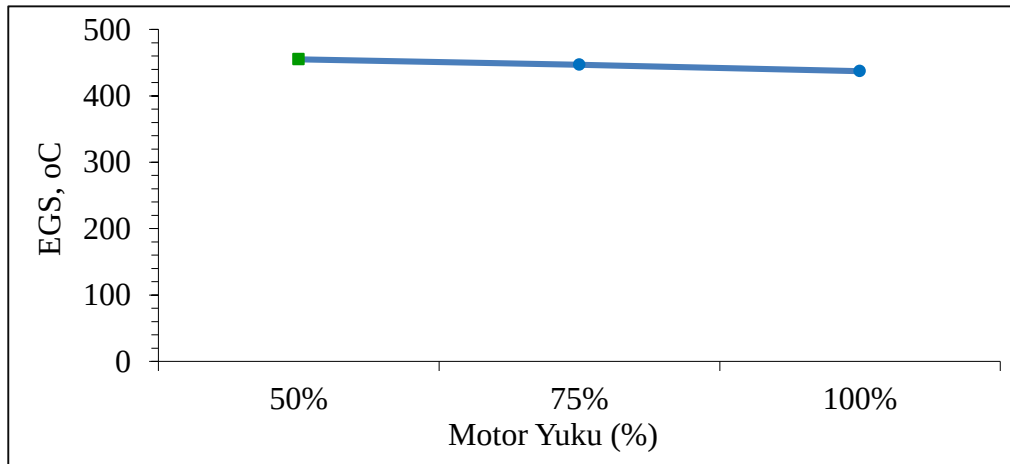


Şekil 7.2.CO₂, NO, NOx ölçüm değerleri

Şekil 7.2’de motorun egzoz emisyonlarında 50,75 ve 100 % yüklemelerde CO₂,NO ve egzoz gaz sıcaklığı (EGS) ölçüm değerleri incelenmiştir. CO₂ miktarının az olması yanmanın verimli gerçekleştiğini göstermektedir. NOx ve NO miktarları ise atmosferi daha az ısıttığını göstermektedir. Dizele göre daha yüksek miktarda oksijen içeren biyogaz, motor yükünün artışı ile birlikte O₂ emisyonunda artışa gidilmektedir. O₂ miktarının yüksek olduğu durumlarda NO miktarı da artmaktadır. NOx miktarı ise O₂ artışı ile birlikte yanma sıcaklığı ile doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Ancak motorun % 100 yükte çalışması NOx oluştuğundan O₂ miktarında azalmaya sebep olmaktadır. O₂’nin azalması CO₂ miktarının da azalmasına yol açmaktadır. Bu durum CO miktarında ise artış olmasına sebebiyet vererek enerji kaybına yol açmaktadır.

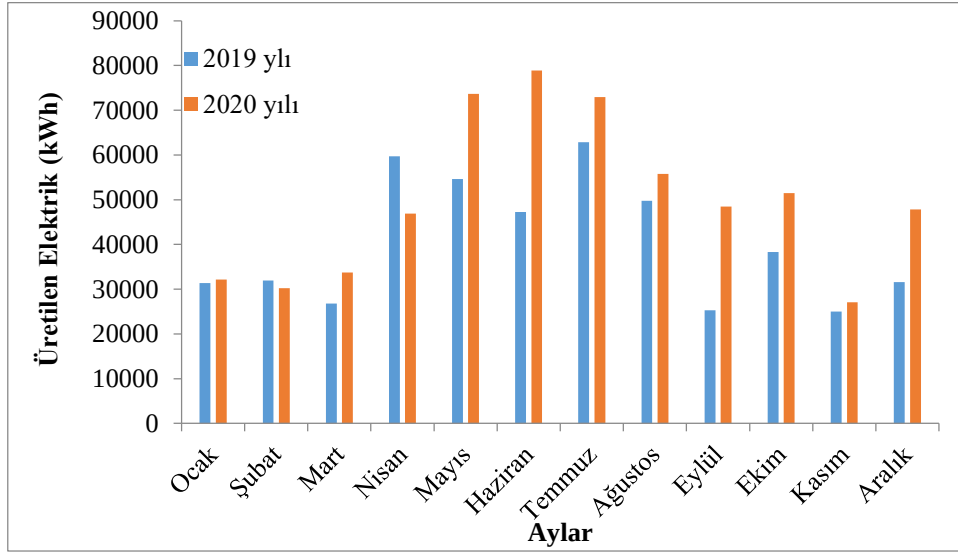


Şekil 7.3. Verim değerleri

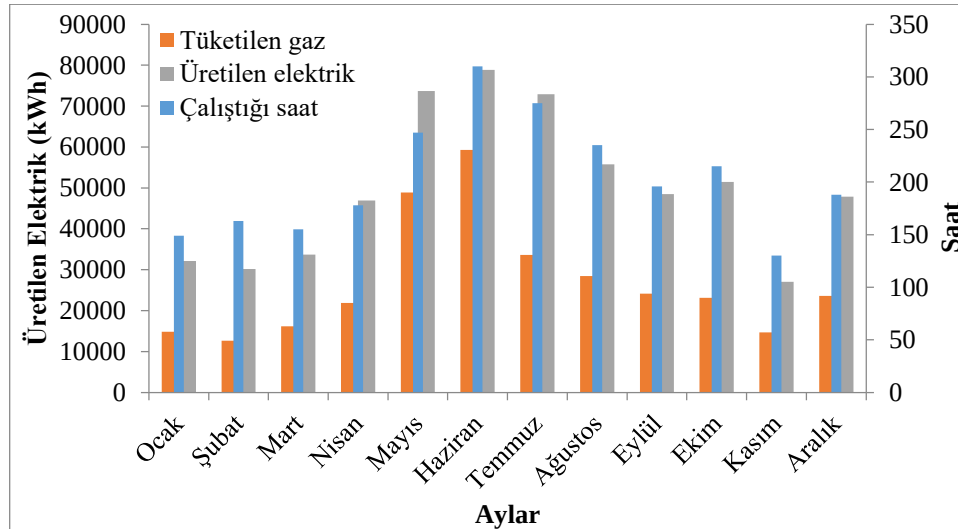


Şekil 7.4. Egzoz gaz sıcaklığı (EGS) ölçüm değerleri

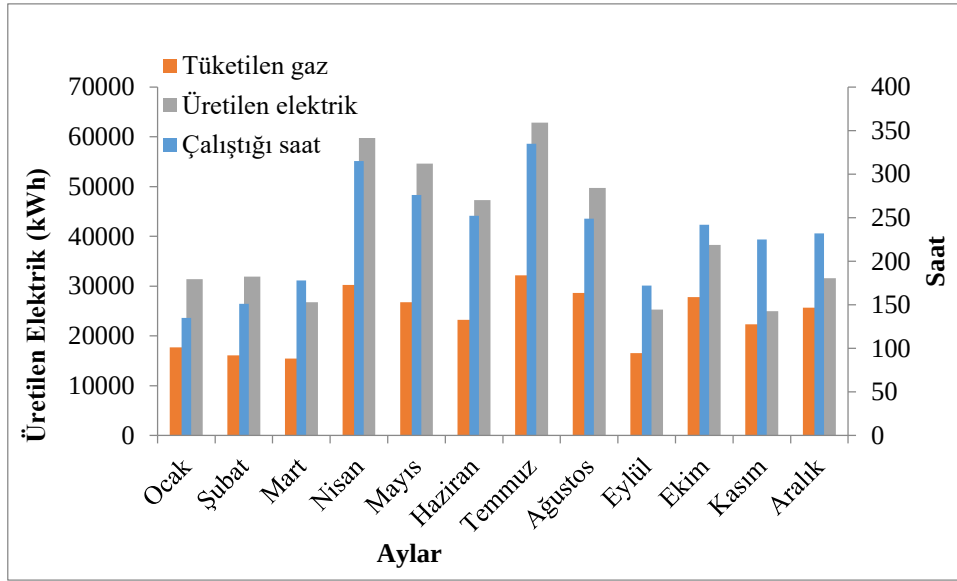
Şekil 7.3 ve Şekil 7.4 ‘te Motorun 1500 rpmde çalıştırılırken egzoz emisyonlarında 50,75 ve 100 % yüklemelerde CO CO₂ NO, NO_x ve egzoz gaz sıcaklığı (EGS) ile Hava Katsayısı olan lamba (λ) ölçüm değerlerinin birbirine yakın olduğu ve istenilen standartta olduğu tespit edilmiştir. Motor verimliliği ise 76 % olup iyi bir seviyededir. Şekil 7.5’te 2019 ve 2020 yıllarına ait elektrik üretim verileri verilmiştir. Ayrıca Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de de aylık ortalama tesisin çalıştığı süreye göre sırasıyla 2019 ve 2020 yıllarına ait tüketilen biyogaz ve üretilen elektrik verileri gösterilmiştir.



Şekil 7.5. 2019 ve 2020 yıllarına ait elektrik üretimleri

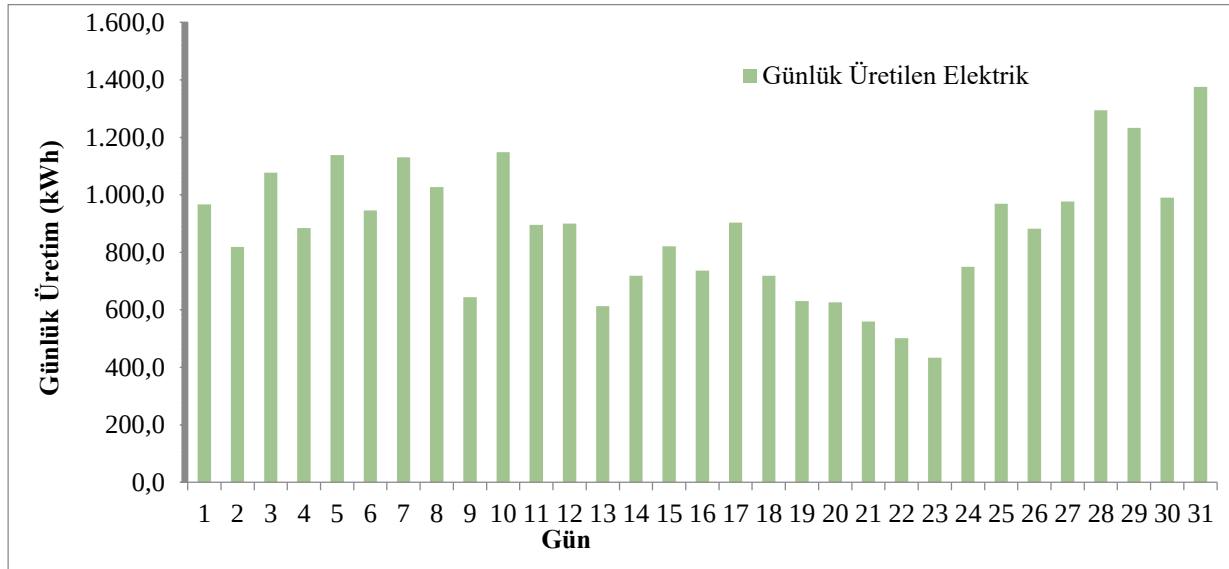


Şekil 7.6. 2019 Yılına ait tüketilen gaz ve üretilen elektrik verileri



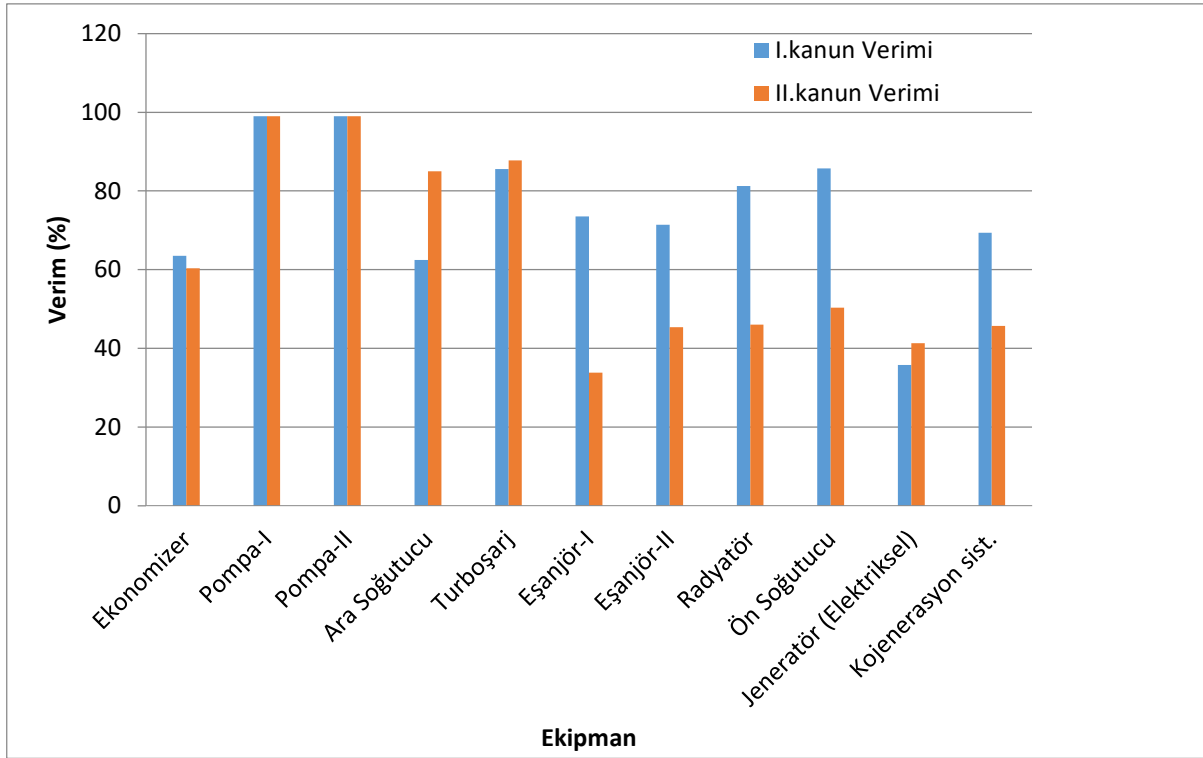
Şekil 7.7. 2020 Yılına ait tüketilen gaz ve üretilen elektrik verileri

Üretilen elektrik miktarının ise mevsime bağlı olarak ve tesisteki arızalara göre değiştiği, nisan, mayıs, haziran ve temmuz aylarında maksimum düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Üretim miktarının yaza doğru arttığı kış aylarında ise azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 7.8’de mayıs 2020 için günlük elektrik üretimleri verilmiştir.



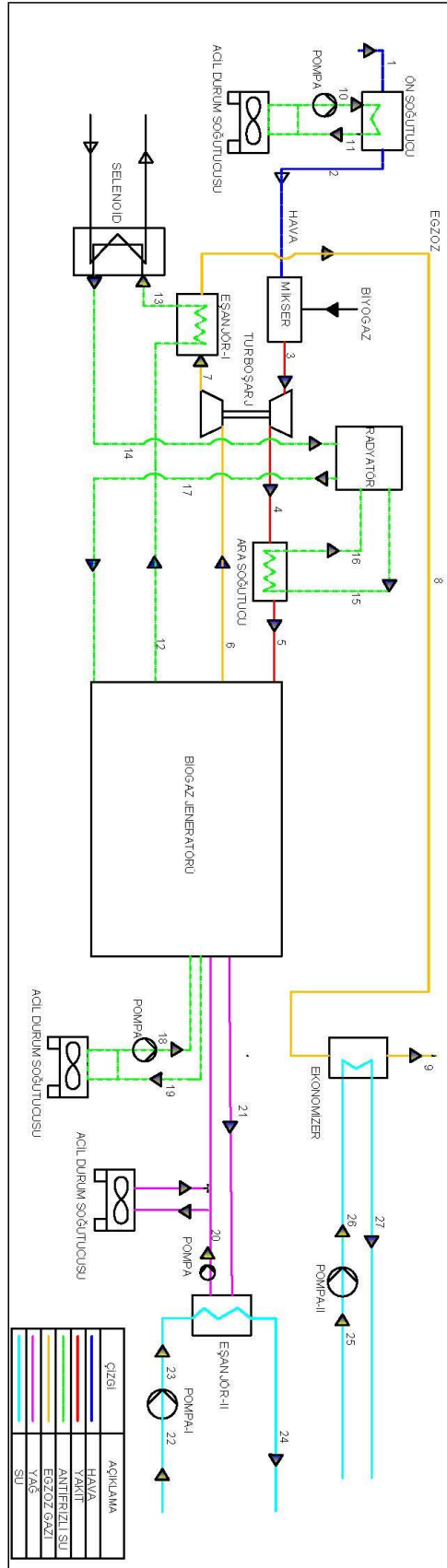
Şekil 7.8. 2020 Mayıs ayı elektrik üretimleri

Kojenerasyon sisteminin toplam enerji ve ekserji verimleri ile sistemde yer alan ekipmanların enerji ve ekserji verimlilikleri Şekil 7.9’da verilmiştir.



Şekil 7.9. Kojenerasyon sistemi ile sistemdeki ekipmanların I. kanun ve II. kanun verimlilikleri

Batman biyogaz motorlu kojenerasyon sisteminde yer alan ekipmanların enerji ve ekserji analizlerini belirlemek amacıyla her bir noktanın parametreleri termodinamik bir model EES programında hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda Ön Soğutucu için I. kanun verimliliği % 85,71, II. kanun verimliliği ise % 50,37; Turboşarj için I. kanun verimliliği % 85,54, II. kanun verimliliği ise % 87,79; Ara Soğutucu için I. kanun verimliliği % 62,49, II. kanun verimliliği ise % 85,03; Eşanjör-I için I. kanun verimliliği % 73,53, II. kanun verimliliği ise % 33,79; Radyatör için I. kanun verimliliği % 81,26, II. kanun verimliliği ise % 46,06; Ekonomizer için I. kanun verimliliği % 63,48, II. kanun verimliliği ise % 60,35; Eşanjör-II için I. kanun verimliliği % 71,42, II. kanun verimliliği ise % 45,39; Pompa-I ve Pompa-II için I.kanun ve II.kanun verimliliği % 99; Jeneratörün elektriksel verimliliği için I. kanun verimliliği % 35,8, II. kanun verimliliği ise % 41,3 olarak hesaplanmıştır. Kojenerasyon sisteminin toplam verim analizi neticesinde ise I. kanun verimliliği % 69,4, II. kanun verimliliği de % 45,69 olarak tespit edilmiştir.



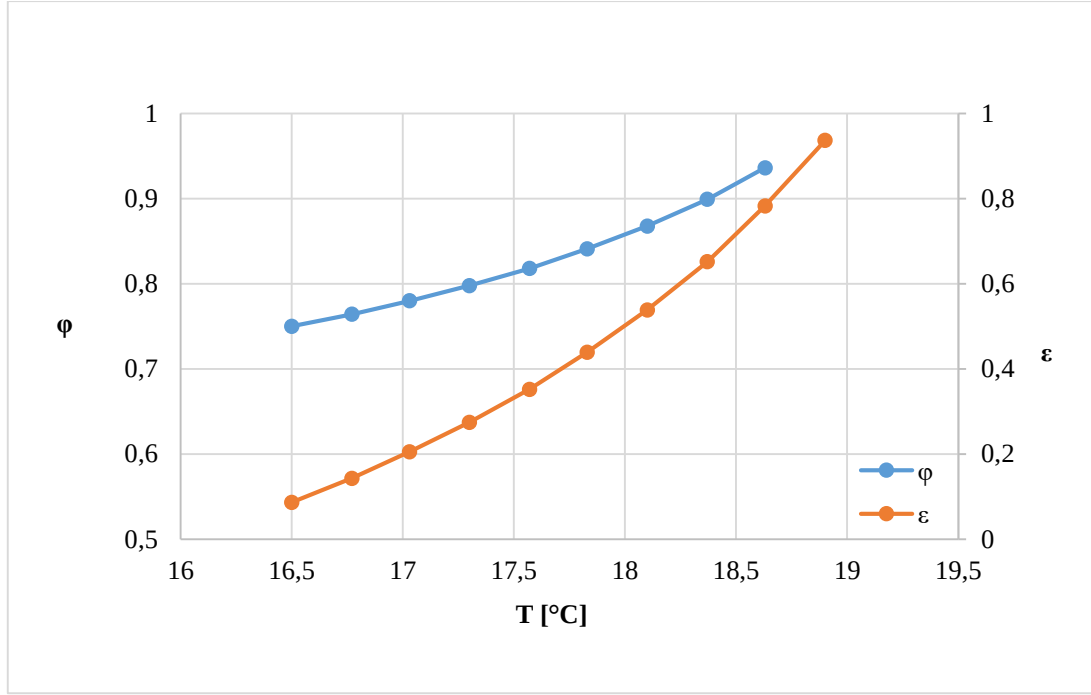
Şekil 7.10. Kojenerasyon Sistemi

Çizelge 7.1. Kojenerasyon sistem verileri

Nokta	Akışkan	$\dot{m}$ [i]	P[i]	T[i]	h[i]	s[i]	ψ [i]
		(kg/sn)	(kPa)	(°C)	(kJ/kg)	(kJ/kg-K)	(kJ/kg)
1	Hava	0.412	100	25	298.4	6.864	0.04242
2	Hava	0.412	100	19	292.4	6.844	0.00173
3	Yakıt	0.44	100	19	292.4	6.844	0.00173
4	Yakıt	0.44	200	76.3	350	6.825	63.16
5	Yakıt	0.44	200	63.8	337.4	6.788	61.32
6	Egzoz gazı	0.44	230	499	792.1	7.609	275.2
7	Egzoz gazı	0.44	150	437	724.8	7.641	198.6
8	Egzoz gazı	0.44	150	165.8	440.9	7.139	61.95
9	Egzoz gazı	0.44	150	105	379.1	6.987	44.58
10	Antf. su	0.1	500	18	75.94	0.2675	0.4293
11	Antf. su	0.1	500	24	101	0.3528	0.5138
12	Antf. su	1.637	150	67.9	284.3	0.9292	14.83
13	Antf. su	1.637	150	86.1	360.6	1.147	27.23
14	Antf. su	1.637	150	65.5	274.3	0.8996	13.45
15	Antf. su	0.1277	150	56.3	235.8	0.7844	8.738
16	Antf. su	0.1277	150	66.7	279.3	0.9144	14.13
17	Antf. su	1.637	150	63.8	267.2	0.8786	12.51
18	Antf. su	0.97	500	70.33	294.8	0.9587	16.64
19	Antf. su	0.97	500	72.19	302.6	0.9813	17.79
20	Yağ	0.7	500	52	100	0.3325	3.668
21	Yağ	0.7	500	69	134.9	0.437	7.919
22	Su	0.1668	100	20	83.93	0.2962	0
23	Su	0.1668	400	20	84.23	0.2962	0.3005
24	Su	0.1668	400	55	230.6	0.7678	8.398
25	Su	0.3243	100	70	293.1	0.9549	16.04
26	Su	0.3243	400	70.01	293.4	0.9549	16.34
27	Su	0.3243	400	90	377.2	1.192	30.57

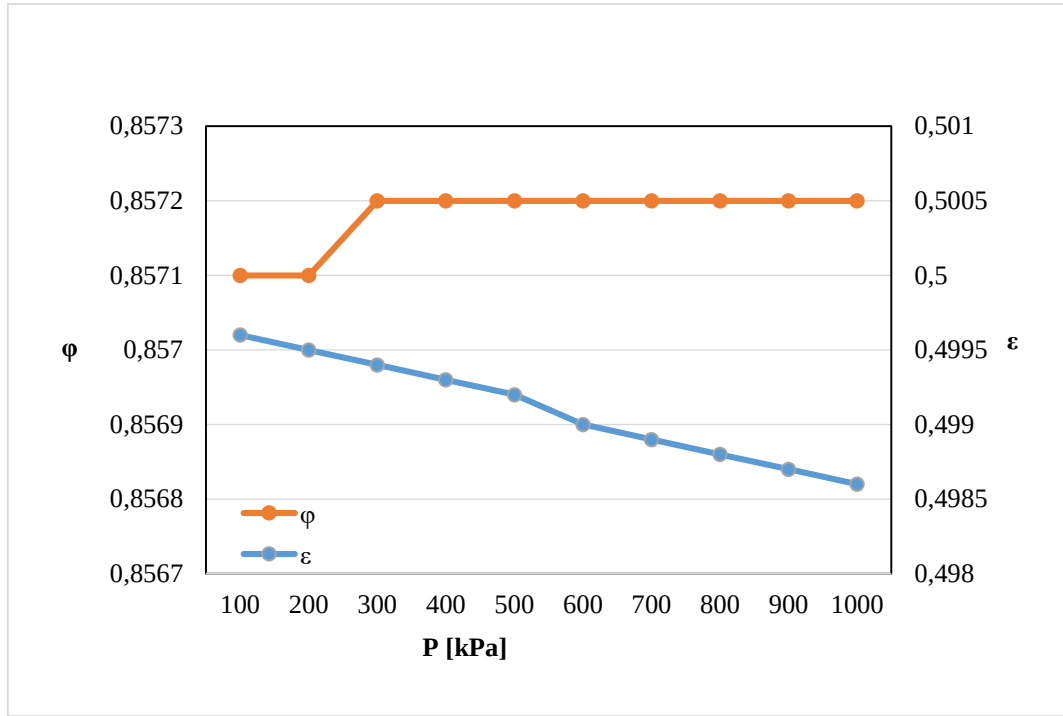
7.1. Kojenerasyon Ekipmanlarının Verimliliklerinin İncelenmesi

Batman biyogaz motorlu kojenerasyon sisteminde yer alan ekipmanların enerji ve ekserji analizleri termodinamik özellikleri temel alınıp sistem denklemleri EES programına tanımlanarak elde edilen sonuçlar grafikler halinde listelenmiştir.



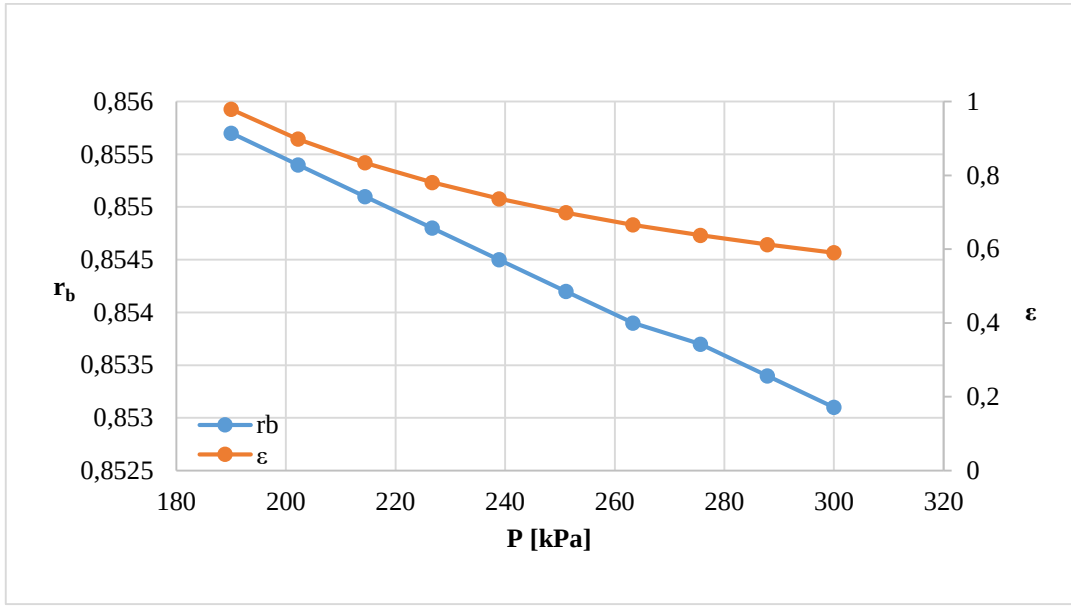
Şekil 7.11. Antifrizli suyun ön soğutucu giriş sıcaklık değerlerinin ön soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.10'da antifrizli suyun ön soğutucu giriş sıcaklık değerlerinin ön soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 16,5 °C'den 18,9 °C'e sıcaklığa kadar antifrizli suyun ön soğutucu giriş sıcaklık değerlerinde; ön soğutucunun enerji verimliliğinin 0,7501 ile 0,981 arasında ve ön soğutucunun ekserji verimliliğinin 0,08638 ile 0,9366 arasında değiştiği görülmektedir. Grafikten anlaşılabileceği üzere antifrizli suyun ön soğutucu giriş sıcaklık değeri arttıkça ön soğutucunun enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin arttığı görülmektedir. Antifrizli suyun Ön soğutucu giriş sıcaklık değeri 16,5 °C; 17,83 °C ve 18,9 °C olduğunda ön soğutucunun enerji verimlilikleri sırasıyla 0,7501 ve 0,8411, 0,981 olduğu görülmüştür.



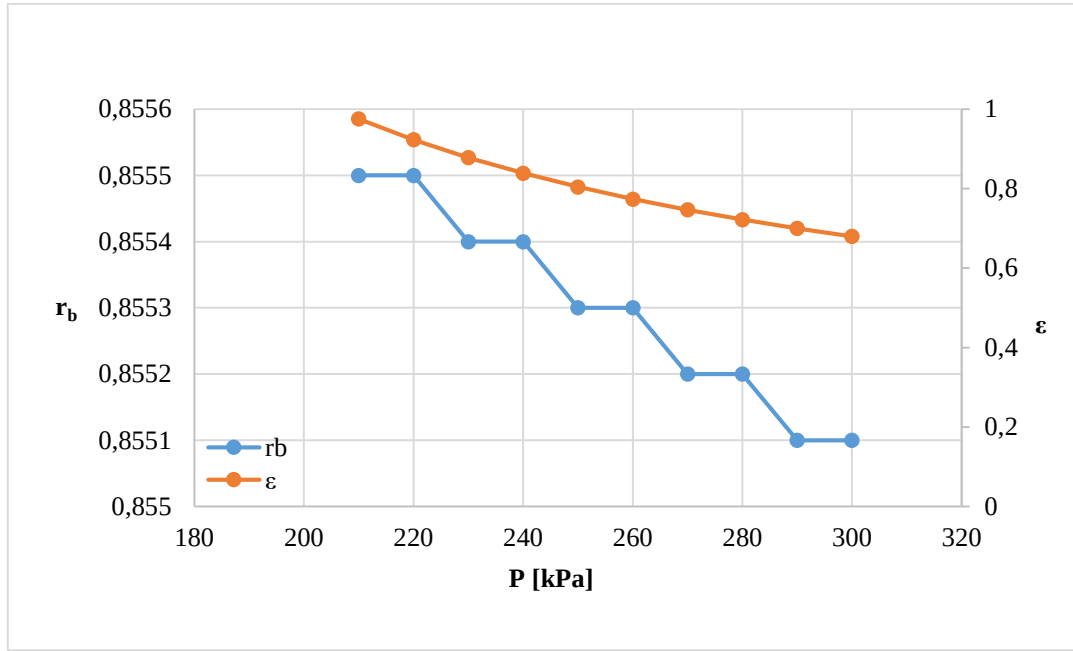
Şekil 7.12. Antifirizli suyun ön soğutucu giriş basınç değerlerinin ön soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.11’de antifirizli suyun ön soğutucu giriş basınç değerlerinin önsoğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 100 kPa’dan 1000 kPa basıncına kadar antifirizli suyun ön soğutucu giriş basınç değerlerinde; ön soğutucunun enerji verimliliğinin 0,8571 ile 0,8572 arasında, ön soğutucunun ekserji verimliliğinin ise 0,4996 ile 0,4986 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Grafikten anlaşılabacağı gibi antifirizli suyun ön soğutucu giriş basınç değeri arttıkça ön soğutucu, enerji (I. kanun) verimliliğinin arttığı, ekserji (II. kanun) verimliliğinin ise azaldığı görülmektedir.



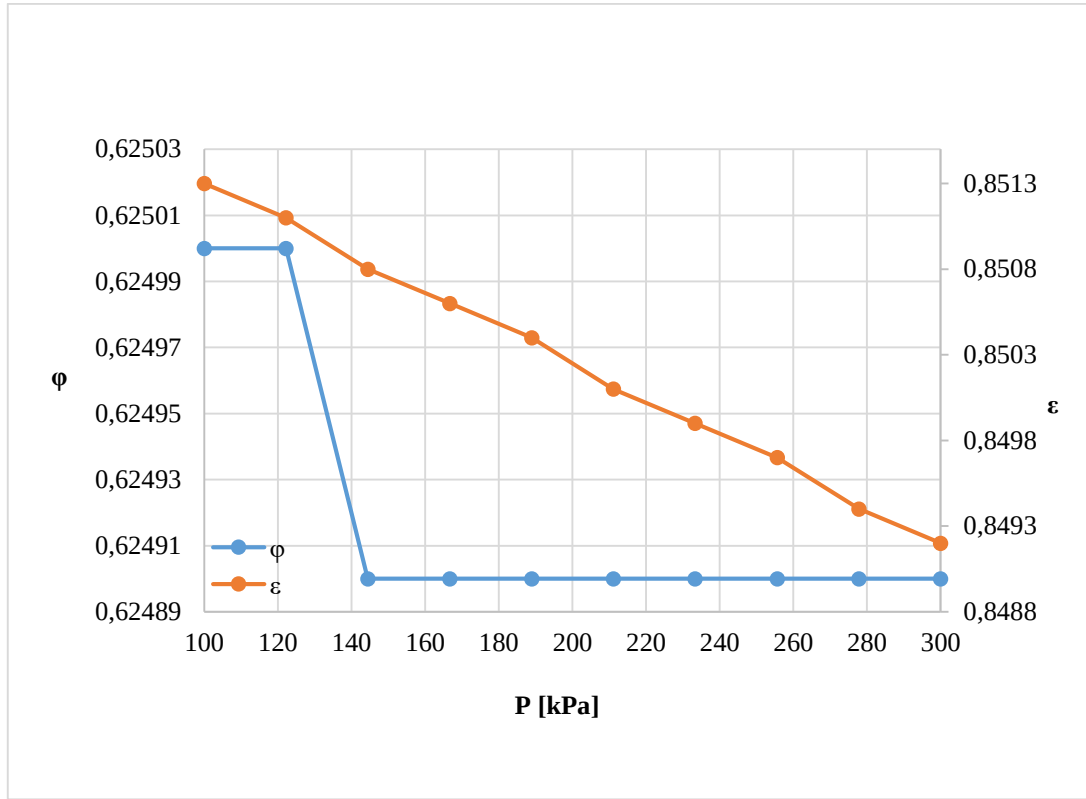
Şekil 7.13. Yakıtın turbuşarj çıkış basınç değerlerinin turbuşarj enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.12’de yakıtın Turbuşarj çıkış basınç değerlerinin Turbuşarj enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 190 kPa’dan 300 kPa basıncına kadar yakıtın Turbuşarj çıkış basınç değerlerinde; Turbuşarjın enerji verimliliğinin 0.8557 ile 0.8531 arasında olduğu, Turbuşarjın ekserji verimliliğinin ise 0.9789 ile 0,5904 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Grafikten anlaşılabacağı gibi yakıtın Turbuşarj çıkış basınç değeri arttıkça Turboşarj, enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin azaldığı görülmektedir. Yakıtın Turboşarj çıkış basınç değeri 190 kPa; 251,1 kPa ve 300 kPa olduğunda Turbuşarjın enerji verimlilikleri sırasıyla 0.8557 ve 0.8542 ve 0.8531 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0,9789, 0,6987 ve 0,5904 olduğu görülmüştür.



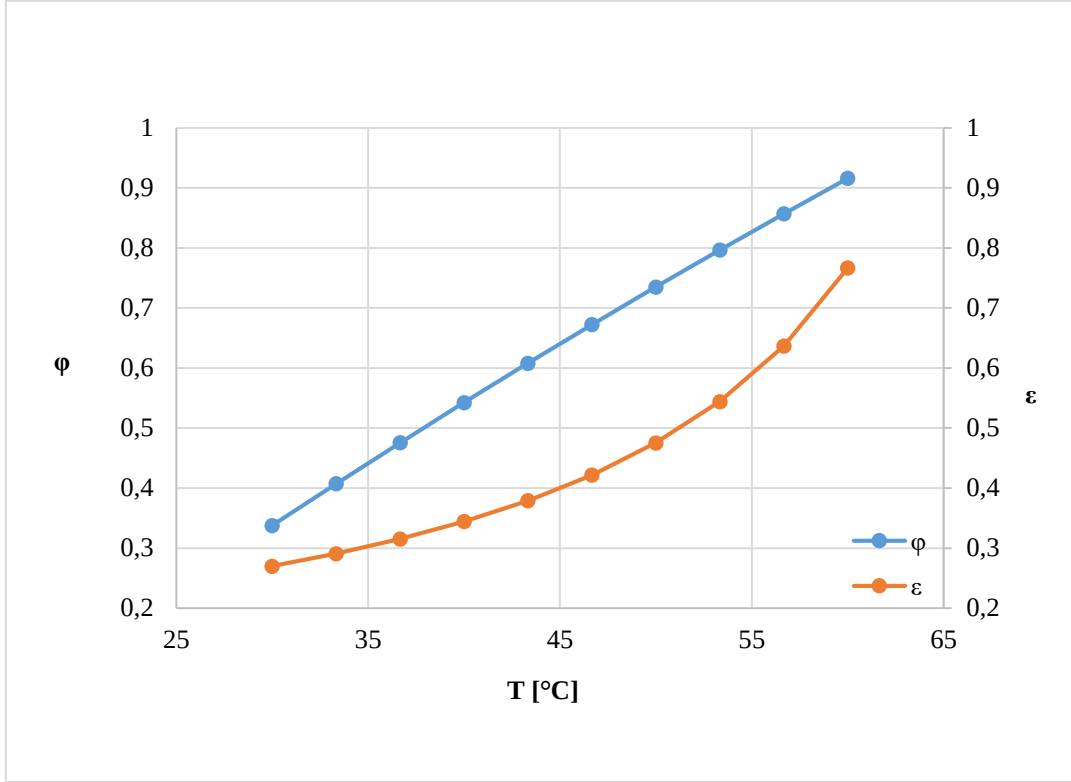
Şekil 7.14. Egzoz gazı turboşarj giriş basınç değerlerinin turboşarj enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.13.'te egzoz gazının turboşarj giriş basınç değerlerinin Turboşarj enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 210 kPa'dan 300 kPa basıncına kadar egzoz gazının Turboşarj giriş basınç değerlerinde; turboşarjın enerji verimliliğinin 0.8555 ile 0.8551 arasında olduğu, turboşarjın ekserji verimliliğinin ise 0,9753 ile 0,6797 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı gibi egzoz gazının turboşarj giriş basınç değeri arttıkça turboşarj, enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin azaldığı görülmektedir. Egzoz gazının turboşarj giriş basınç değeri 210 kPa; 250 kPa ve 300 kPa olduğunda turboşarjın enerji verimlilikleri sırasıyla 0.8555 ve 0.8553 ve 0.8551 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0,9753, 0,8043 ve 0,6797 olduğu görülmüştür.



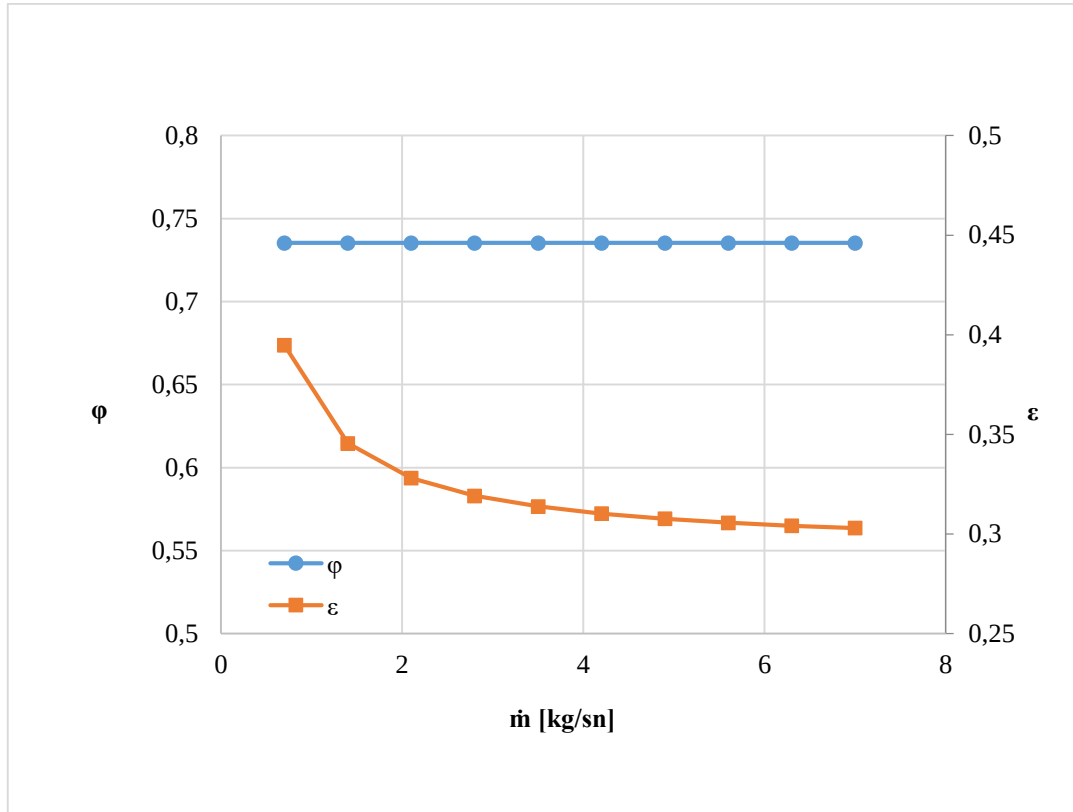
Şekil 7.15. Yakıtın ara soğutucu giriş basınç değerlerinin ara soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.14.'te yakıtın ara soğutucu giriş basınç değerlerinin ara soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 100 kPa'dan 300 kPa basıncına kadar yakıtın ara soğutucu giriş basınç değerlerinde; ara soğutucunun enerji verimliliğinin 0,625 ile 0,6249 değerleri arasında olduğu, ara soğutucunun ekserji verimliliğinin ise 0,8513 ile 0,8492 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Grafikten anlaşılabileceği gibi yakıtın ara soğutucu giriş basınç değeri arttıkça ara soğutucu, enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin azaldığı görülmektedir.



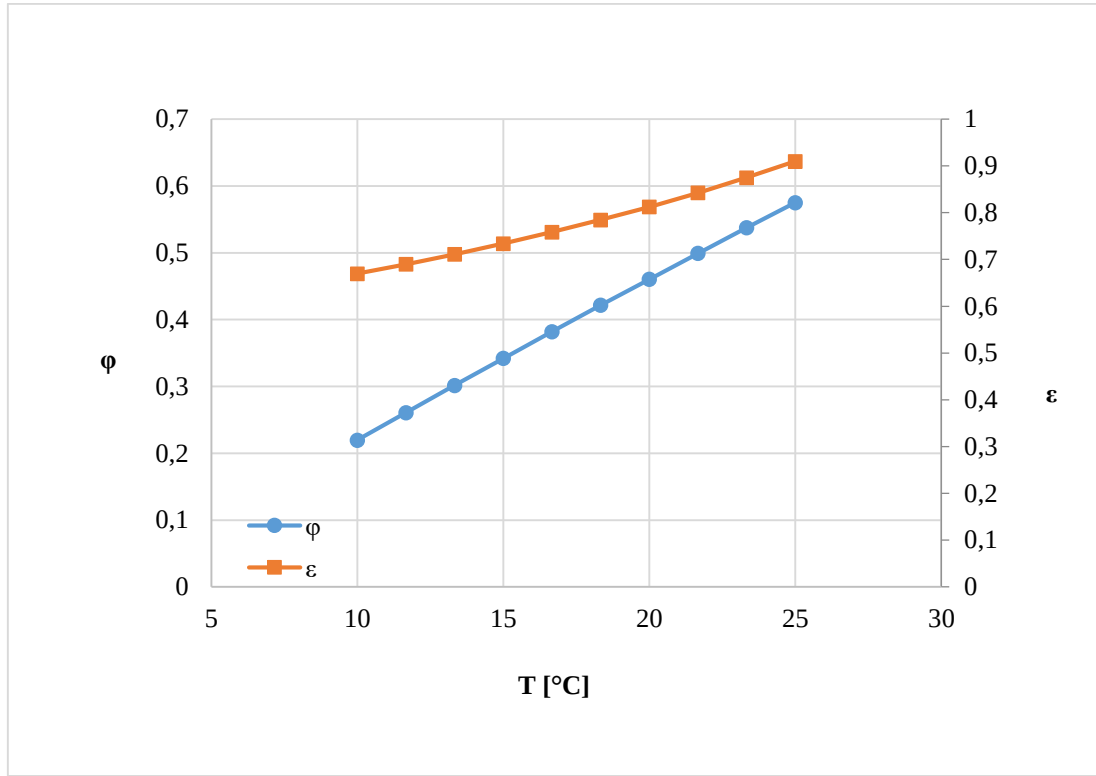
Şekil 7.16. Antifirizli suyun ara soğutucu giriş sıcaklık değerlerinin ara soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.15.'te antifirizli suyun ara soğutucu giriş sıcaklık değerlerinin ara soğutucu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 30 °C'den 60 °C'e sıcaklığa kadar antifirizli suyun ara soğutucu giriş sıcaklık değerlerinde; ara soğutucunun enerji verimliliğinin 0.3376 ile 0,7668 arasında ve ara soğutucunun ekserji verimliliğinin 0.2699 ile 0.7668 arasında değiştiği görülmektedir. Grafikten anlaşılabileceği üzere antifirizli suyun ara soğutucu giriş sıcaklık değeri arttıkça ara soğutucunun enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin arttığı görülmektedir. Antifirizli suyun Ara soğutucu giriş sıcaklık değeri 30 °C, 50 °C ve 60 °C olduğunda ara soğutucunun enerji verimlilikleri sırasıyla 0.3376, 0.735 ve 0.9161 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.2699, 0.4752 ve 0.7668 olduğu görülmüştür.



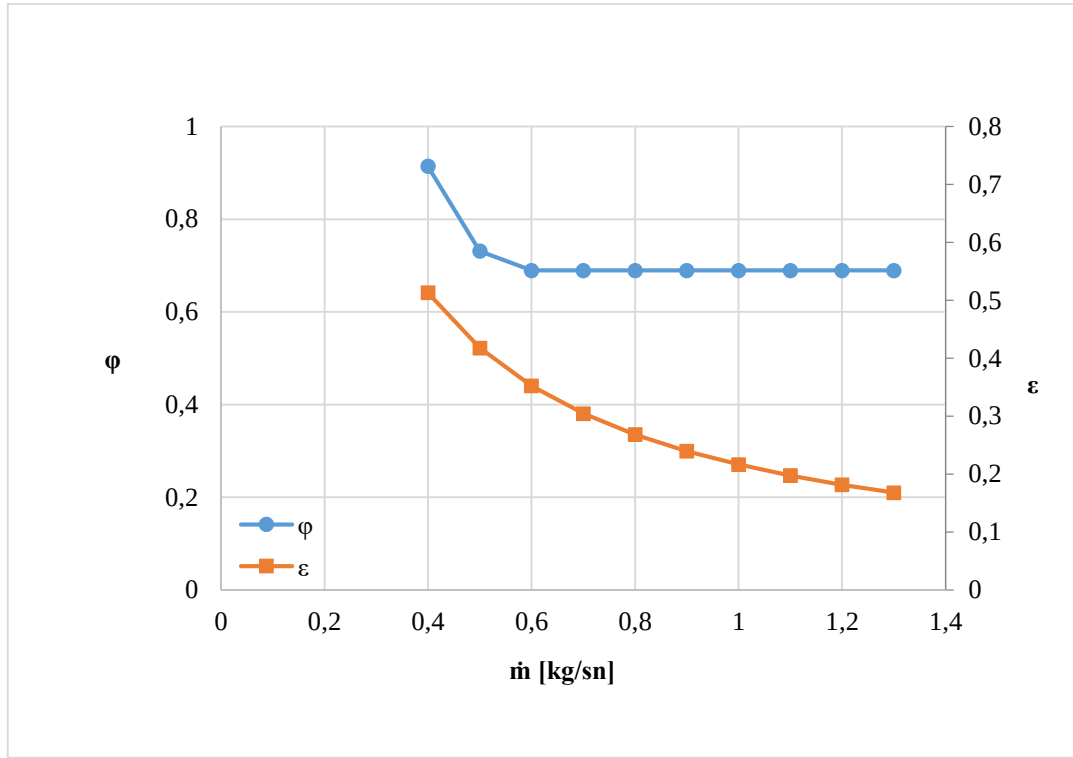
Şekil 7.17. Antifirizli suyun eşanjör-I giriş kütleli debi değerlerinin eşanjör-I enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.16.'da antifirizli suyun eşanjör-I giriş kütleli debisi değerlerinin eşanjör-I enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 0,7 kg/sn'den 7 kg/sn debi değerlerine kadar antifirizli suyun eşanjör-I giriş kütleli debi değerlerinde; eşanjör-I'in enerji verimliliğinin 0,7353 olduğu ve eşanjör-I'in ekserji verimliliğinin 0.3948 ila 0.303 arasında değiştiği görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere antifirizli suyun eşanjör-I giriş kütleli debi değeri arttıkça eşanjör-I'in enerji (I. kanun) verimliliğinin sabit kaldığı ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin ise azaldığı görülmektedir. Antifirizli suyun eşanjör-I giriş kütleli debi değeri 0,7 kg/sn; 3,5 kg/sn ve 7 kg/sn olduğunda eşanjör-I'in II. kanun verimliliği sırasıyla 0.3948 ve 0.3139, 0.303 olduğu görülmüştür.



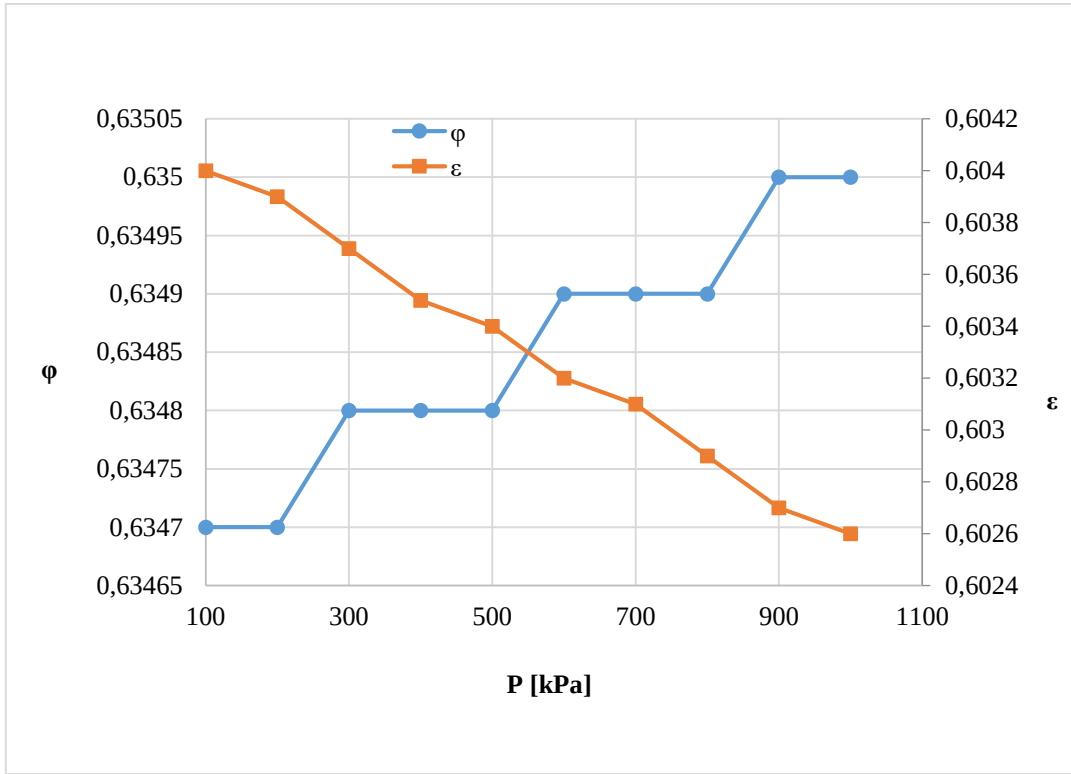
Şekil 7.18. Giriş havasının radyatör giriş sıcaklık değerlerinin radyatör enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.17.'de giriş havasının radyatör giriş sıcaklık değerlerinin radyatör enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 10 °C'den 25 °C'e sıcaklığa kadar giriş havasının radyatör giriş sıcaklık değerlerinde; radyatör'ün enerji verimliliğinin 0.2197 ile 0.5752 arasında ve radyatör'ün ekserji verimliliğinin 0.6695 ile 0.9098 arasında değiştiği görülmektedir. Grafikten anlaşılabacağı üzere giriş havasının radyatör giriş sıcaklık değeri arttıkça radyatör'ün enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin arttığı görülmektedir. Giriş havasının radyatör giriş sıcaklık değeri 10 °C; 15 °C ve 25 °C olduğunda radyatör'ün enerji verimlilikleri sırasıyla 0.2197, 0.3421 ve 0.5752 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.6695, 0.7341 ve 0.9098 olduğu görülmüştür.



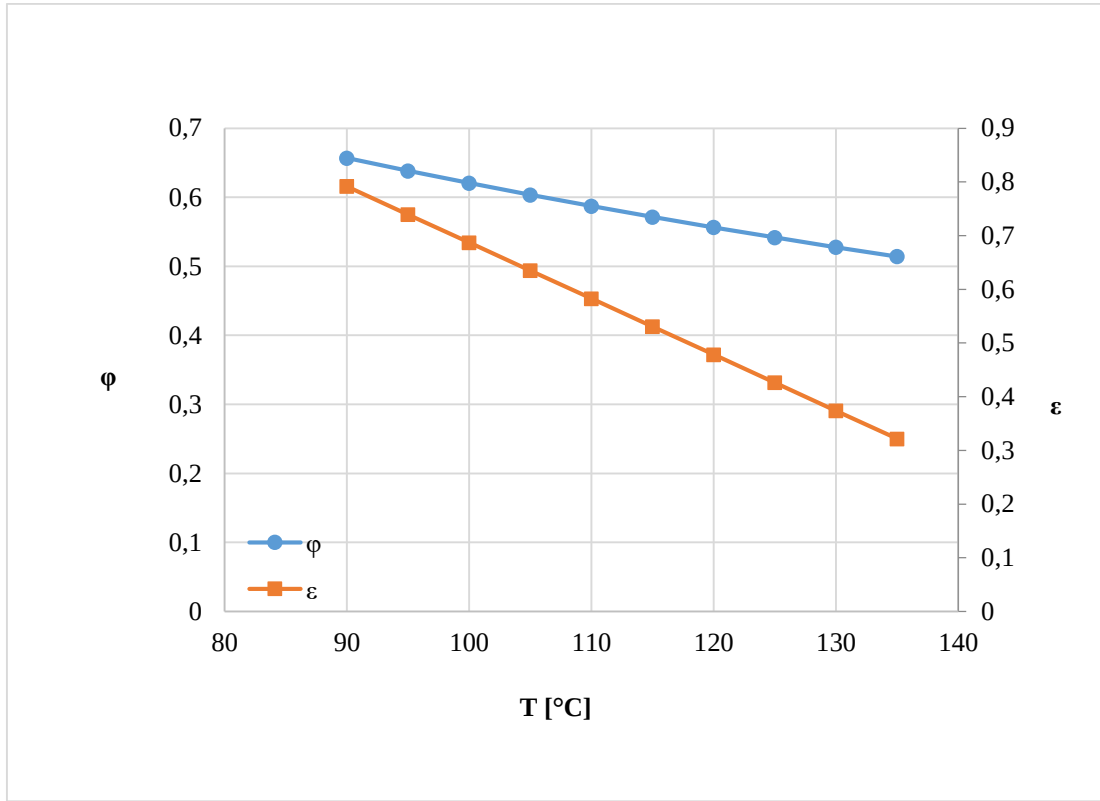
Şekil 7.19. Giriş havasının radyatör giriş kütleli debisi değerlerinin radyatör enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.18.'de giriş havasının radyatör giriş kütleli debisi değerlerinin radyatör enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 0,4 kg/sn'den 1,3 kg/sn debi değerlerine kadar giriş havasının radyatör giriş kütleli debi değerlerinde; radyatör'ün enerji verimliliğinin 0,914 ile 0,6895 arasında ve radyatör'ün ekserji verimliliğinin 0,5131 ile 0,1681 arasında değiştiği görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere giriş havasının radyatör giriş kütleli debi değeri arttıkça radyatör'ün enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin ise azaldığı görülmektedir. Giriş havasının radyatör giriş kütleli debi değeri 0,4 kg/sn; 1 kg/sn ve 1,3 kg/sn olduğunda radyatör'ün I. kanun verimliliği sırasıyla 0,914, 0,6895 ve 0,6895 olduğu ve II. kanun verimliliği sırasıyla 0,5131, 0,2166 ve 0,1681 olduğu görülmüştür.



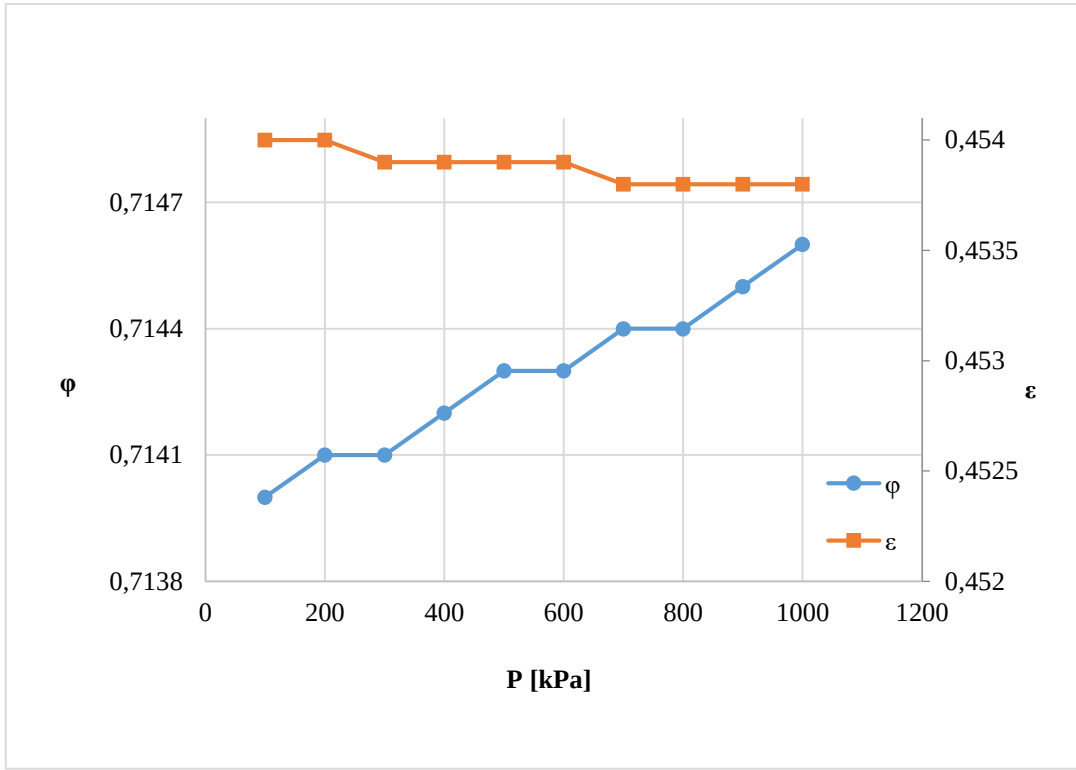
Şekil 7.20. Suyun ekonomizer giriş basınç değerlerinin ekonomizer enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.19.'da suyun ekonomizer giriş basınç değerlerinin ekonomizer enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 100 kPa'dan 1000 kPa basıncına kadar suyun ekonomizer giriş basınç değerlerinde; ekonomizer ın enerji verimliliğinin 0.6347 ile 0.635 arasında olduğu, ekonomizer ın ekserji verimliliğinin ise 0.604 ile 0.6026 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Grafikten anlaşılabacağı gibi suyun ekonomizer giriş basınç değeri arttıkça ekonomizer, enerji (I. kanun) verimliliğinin arttığı, ekserji (II. kanun) verimliliğinin ise azaldığı görülmektedir. Suyun ekonomizer giriş basınç değeri 100 kPa, 500 kPa ve 1000 kPa olduğunda ekonomizer enerji verimlilikleri sırasıyla 0.6347 ve 0.6348 ve 0.635 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.604, 0.6034 ve 0.6026 olduğu görülmüştür.



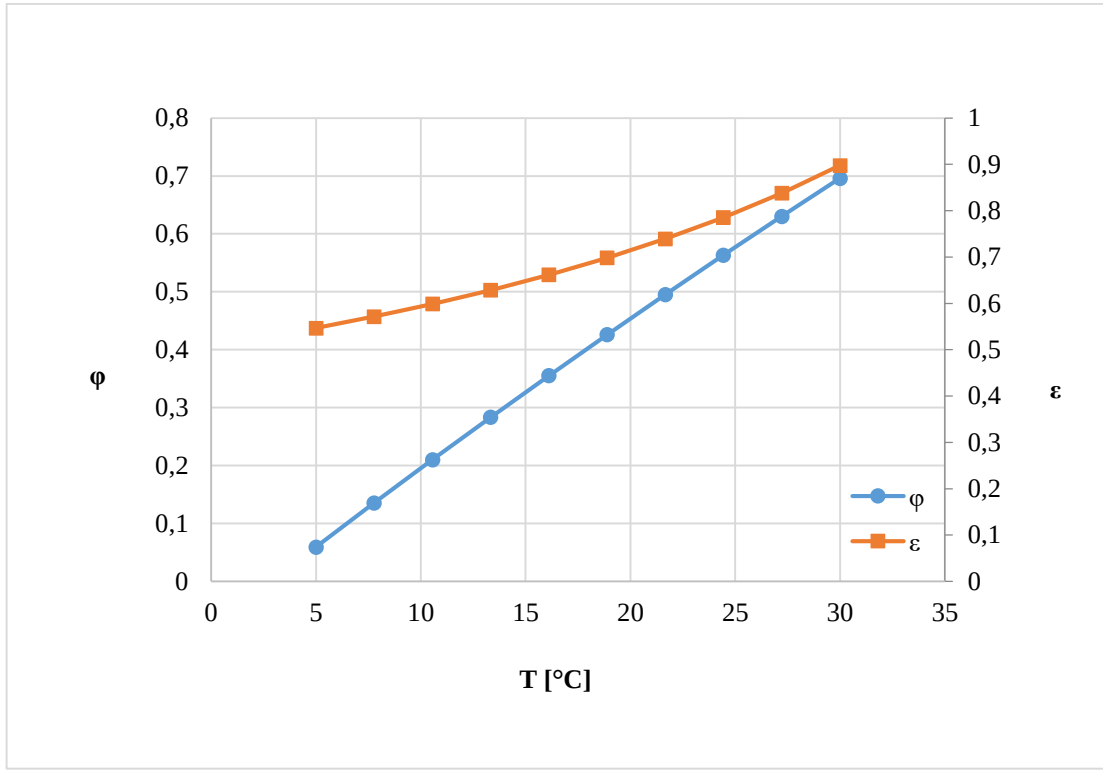
Şekil 7.21. Egzoz gazının ekonomizer çıkış sıcaklık değerlerinin ekonomizer enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.20.'de egzoz gazının ekonomizer çıkış sıcaklık değerlerinin ekonomizer enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 90 °C'den 135 °C'e sıcaklığa kadar egzoz gazının ekonomizer çıkış sıcaklık değerlerinde; ekonomizer in enerji verimliliğinin 0,6567 ile 0,5141 arasında ve ekonomizer in ekserji verimliliğinin 0.7915 ile 0.3215 arasında değiştiği görülmektedir. Grafikten anlaşılabacağı üzere egzoz gazının ekonomizer çıkış sıcaklık değeri arttıkça ekonomizer in enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin arttığı görülmektedir. Egzoz gazının ekonomizer çıkış sıcaklık değeri 90 °C; 105 °C ve 135 °C olduğunda ekonomizer in enerji verimlilikleri sırasıyla 0,6567, 0.6035 ve 0,5141 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.7915, 0.6348 ve 0.3215 olduğu görülmüştür.



Şekil 7.22. Suyun eşanjör-II giriş basınç değerlerinin eşanjör-II enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.21.'de suyun eşanjör-II giriş basınç değerlerinin eşanjör-II enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 100 kPa'dan 1000 kPa basıncına kadar suyun eşanjör-II giriş basınç değerlerinde; eşanjör-II enerji verimliliğinin 0,714 ile 0,7146 arasında olduğu, eşanjör-II'nin ekserji verimliliğinin ise 0,454 ile 0,4538 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Grafikten anlaşılabacağı gibi suyun eşanjör-II giriş basınç değeri arttıkça eşanjör-II, enerji (I. kanun) verimliliğinin arttığı, ekserji (II. kanun) verimliliğinin ise azaldığı görülmektedir. Suyun eşanjör-II giriş basınç değeri 100 kPa; 500 kPa ve 1000 kPa olduğunda eşanjör-II'nin enerji verimlilikleri sırasıyla 0,714, 0,7143 ve 0,7146 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0,454, 0,4539 ve 0,4538 olduğu görülmüştür.



Şekil 7.23. Suyun eşanjör-II giriş sıcaklık değerlerinin eşanjör-II enerji ve ekserji verimliliğine etkisi

Şekil 7.22.'de suyun eşanjör-II giriş sıcaklık değerlerinin eşanjör-II enerji ve ekserji verimliliğine etkisi incelenmiştir. 5 °C'den 30 °C'e sıcaklığa kadar suyun eşanjör-II giriş sıcaklık değerlerinde; eşanjör-II'nin enerji verimliliğinin 0.05935 ile 0.6961 arasında ve eşanjör-II'nin ekserji verimliliğinin 0.5467 ile 0.8976 arasında değiştiği görülmektedir. Grafikten anlaşılabileceği üzere suyun eşanjör-II giriş sıcaklık değeri arttıkça eşanjör-II'nin enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin arttığı görülmektedir. Suyun eşanjör-II giriş sıcaklık değeri 5 °C, 16,11 °C ve 30 °C olduğunda eşanjör-II'nin enerji verimlilikleri sırasıyla 0.05935, 0.3554 ve 0.6961 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.5467, 0.6616 ve 0.8976 olduğu görülmüştür.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Batman Belediyesi, BASKİ Müdürlüğü'ne ait Kojenerasyon biyogaz jeneratörünün termodinamik I. ve II. kanun analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Antifirizli suyun Ön soğutucu giriş sıcaklık değeri 16,5 °C; 17,83 °C ve 18,9 °C olduğunda ön soğutucunun enerji verimlilikleri sırasıyla 0,7501 ve 0,8411, 0,981 olduğu görülmüştür.
- Antifirizli suyun ön soğutucu giriş basınç değeri arttıkça ön soğutucu, enerji (I. kanun) verimliliğinin arttığı, ekserji (II. kanun) verimliliğinin ise azaldığı görülmektedir.
- Yakıtın Turboşarj çıkış basınç değeri 190 kPa; 251,1 kPa ve 300 kPa olduğunda Turboşarjın enerji verimlilikleri sırasıyla 0.8557 ve 0.8542 ve 0.8531 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0,9789, 0,6987 ve 0,5904 olduğu görülmüştür.
- Yakıtın ara soğutucu giriş basınç değeri arttıkça ara soğutucu, enerji (I. kanun) verimliliğinin ve ekserji (II. kanun) verimliliğinin azaldığı görülmektedir.
- Antifirizli suyun Ara soğutucu giriş sıcaklık değeri 30 °C; 50 °C ve 60 °C olduğunda ara soğutucunun enerji verimlilikleri sırasıyla 0.3376, 0.735 ve 0.9161 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.2699, 0.4752 ve 0.7668 olduğu görülmüştür.
- Antifirizli suyun eşanjör-I giriş kütleli debi değeri 0,7 kg/sn; 3,5 kg/sn ve 7 kg/sn olduğunda eşanjör-I'in II. kanun verimliliği sırasıyla 0.3948 ve 0.3139, 0.303 olduğu görülmüştür.
- Giriş havasının radyatör giriş sıcaklık değeri 10 °C; 15 °C ve 25 °C olduğunda radyatör'ün enerji verimlilikleri sırasıyla 0.2197, 0.3421 ve 0.5752 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.6695, 0.7341 ve 0.9098 olduğu görülmüştür.
- Giriş havasının radyatör giriş kütleli debi değeri 0,4 kg/sn; 1 kg/sn ve 1,3 kg/sn olduğunda radyatör'ün I. kanun verimliliği sırasıyla 0,914, 0,6895 ve 0,6895 olduğu ve II. kanun verimliliği sırasıyla 0,5131, 0,2166 ve 0,1681 olduğu görülmüştür.
- Suyun ekonomizer giriş basınç değeri 100 kPa; 500 kPa ve 1000 kPa olduğunda ekonomizer enerji verimlilikleri sırasıyla 0.6347 ve 0.6348 ve 0.635

olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.604, 0.6034 ve 0.6026 olduğu görölmüştür.

- Egzoz gazının ekonomizer çıkış sıcaklık değeri 90 °C; 105 °C ve 135 °C olduğuunda ekonomizer in enerji verimlilikleri sırasıyla 0,6567, 0.6035ve 0,5141 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.7915, 0.6348 ve 0.3215 olduğu görölmüştür.
- Suyun eşanjör-II giriş basınç değeri 100 kPa; 500 kPa ve 1000 kPa olduğuunda eşanjör-II'nin enerji verimlilikleri sırasıyla 0,714, 0,7143 ve 0,7146 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0,454, 0,4539 ve 0,4538 olduğu görölmüştür.
- Suyun eşanjör-II giriş sıcaklık değeri 5 °C; 16,11 °C ve 30 °C olduğuunda eşanjör-II'nin enerji verimlilikleri sırasıyla 0.05935, 0.3554 ve 0.6961 olduğu, ekserji verimlilikleri ise sırasıyla 0.5467, 0.6616 ve 0.8976 olduğu görölmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucunda kojenerasyon sisteminin elektriksel I. Kanun verimliliği % 35.8 ve II. Kanun verimliliği % 41.3 olup toplam sistem I. ve II. Kanun verimliliği ise sırasıyla % 69.4 ile % 45.7 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Kojenerasyon sisteminin ekserji veriminin elektriksel ekserji verimiliğine göre daha düşük olduğu, bunun sebebinin sistemdeki atık ısının büyük çoğunluğunun kullanılmadığı görölmüştür. Bu yüzden ekserji verimliliğinin artması için yüksek sıcaklıktaki egzoz gazının geçtiği Eşanjör-I'in kayıp ısının değeriendirilmesi öngörölmüştür.

KAYNAKLAR

- Abuşoğlu, A., 2008, Exergetic and Thermo-economic Performance Analysis and Optimization of Diesel Engine Powered Cogeneration Systems, Gaziantep University Graduate School Of Natural & Applied Sciences, Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
- Abuşoğlu, A., Demir, S., ve Kanoğlu, M., 2013, Biyogaz Beslemeli Gaz Motorlu Bir Kojenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33(2),9-21
- Abuşoğlu, A., Demir, S., ve Kanoglu, M., 2021, Chapter 31 Assessment of Sewage Sludge Potential from Municipal Wastewater Treatment Plants for Sustainable Biogas and Hydrogen Productions in Turkey, *Department of Mechanical Engineering, University of Gaziantep*
- Adalı N., 2014, Organize Sanayi Bölgeleri İçin Atıksu Arıtımında Optimizasyon: Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Kavramsal Tasarım Seçeneklerinin Belirlenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri Ve Mühendisliği Programı
- Akbulut, A., 2011, Biyogazın Isı Ve Elektrik Üretiminde Kullanılmasının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya
- Atıkların C, N, C/N oranı, <http://www.cevrehir.kutuphanesi.com>, 2021
- Aytaç O., 2021, Dünyada Ve Türkiye’de Enerji Görünümü, *Türkiye Bilişim Derneği, Tmmob Makina Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu*, İnsan Ve Teknoloji” Etkinlikleri 2
- Batstone, D., & Angelidaki, I. (2011). Anaerobic Digestion: Process. T. Christensen içinde, *Solid Waste Technology & Management*. Wiley
- Bayraktar, M., 2011, Hayvan Ve İşlenmiş Süt Atıklarından Biyogaz Ve Hidrojen Üretiminin Termodinamik Açısından Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- Belediye_Atik_Istatistikleri_2018, <https://data.tuik.gov.tr>, 2021
- Biçimli H., 2019, Diyarbakır Atıksu Çamurlarından Hümik Asit Araştırılması Ve Kimyasal Analizler Bakımından İncelenmesi, *Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı, Diyarbakır
- Biyogaz,biyolojik kukurtsuzlestirme unitesi proses izahi, <https://www.bioferenerji.com>, 2022
- Biyogaz, <https://tr.wikipedia.org/wiki>, 2021
- Biyogaz kullanımı ve üretimi prosesi. <http://www.thesisat.org>, 2021
- Biyolojik oksijen ihtiyacı nedir ve nasıl ölçülür. <https://www.thermomed.com.tr>, 2022

Biyogaz üretim, <http://www.altacaenerji.com>, 2021

Burhan Baran, B., 2020, Atıksu Arıtma Tesislerinden Elde Edilen Hidroelektrik Üretiminin Türkiye Mesken Elektrik Talebini Karşılama Oranı, *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 8-1, 139-145

Cırık, K. ve Eskikaya, O., 2018, Kahramanmaraş Merkez Atıksu Arıtma Tesisi Giriş Atıksuyunun Karakterizasyonu, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4):286-294

Çelen, E., 2018, Pastörizasyon Ön İşleminin Biyogaz Üretim Verimine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*, İstanbul.

Çelikkaya, H., 2016, Biyogaz, *Fırat Kalkınma Ajansı*

Deviren, H, İlkılıç, C. ve Aydın, S., 2017, Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt 7 Sayı 2/2

Dünya enerji kaynakları ve potansiyeli/ Türkiye’de Enerji, <https://uslsmart.com>, 2022

Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu, <https://turkiyedeenerji.com>, 2022

Edward A. Awafo A . ve Amenorfe, J., 2021, Techno-economic studies of an industrial biogas plant to be implemented at Kumasi Abattoir in Ghana , *Scientific African*, 11

Erez, V.P., Esar ,C., Mota, R. ve Lebrero R.M.R., 2020, Polyhydroxyalkanoates (PHA) production from biogas in waste treatment facilities: Assessing the potential impacts on economy, environment and society , *Chemosphere*, 255

Farahbakhsh , M.T. ve Chahartaghi, M., 2020, Performance analysis and economic assessment of a combined cooling heating and power (CCHP) system in wastewater treatment plants (WWTPs), *Energy Conversion and Management* , 224

Furuncu, Y., 2021 Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları ve RES ve GES yatırımları’ [online], SETA perspektif ağustos 2020, www.setav.org. [Ziyaret Tarihi: Ocak 2021]

Gholizadeha, T., Vajdia, M., ve Mohammadkhanib, F., 2019, Thermodynamic and thermoeconomic analysis of basic and modified power generation systems fueled by biogas, *Energy Conversion and Management*, 181

Ghosha, P., Kumara, M. Kapoor, R. Kumara, S.S. ,Singh, L., Vijaya, V., Vijaya, V.K., Kumara, V. ve Thakur, I.S, 2020, Enhanced biogas production from municipal solid waste via co-digestion with sewage sludge and metabolic pathway analysis, *Bioresource Technology*, 296

Gök O., 2002, Osmaniye İli Evsel Atıksuların Kirlilik Envanteri Çalışması Ve Arıtma Tesisi Seçimi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*

- Guilera, J. *, Andreu , T., Basset ,N., Tim Boeltken , T., Timm , F. Mallol , I. ve Morante, J.R., 2020, Synthetic natural gas production from biogas in a waste water treatment plant, *Renewable Energy* 146
- Güleç F. S., 2015, Entegre Demir Çelik Tesislerinde Atık Su Arıtma Çıkış Suyunun Tekrar Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi ,Karabük
- Güler, N. Ü., 2020, Yerli kaynaklardan biyogaz üretimi ve oksijenli biyogaz yanması, Yüksek lisans tezi, *Gazi üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü*, Ankara
- Gülhan, H., Dereli, R. K., Özgün, H., Erşahin, M. E. ve İzzet Öztürk, İ., 2018, İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Parametrelerinin Doğrudan Sera Gazı Emisyon Miktarı Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi, *Pamukkale Üniv. Müh Bilim Derg*, 24(6), 1117-1124,
- Gülhan, H., Dereli, R. K., Özgün, H., Erşahin, M. E. Erkan, F. D., Özdemir, Ö.ve İzzet Öztürk, İ., 2018, Tam Ölçekli Bir İleri Biyolojik Evsel Atıksu Arıtma Tesisinin Matematiksel Modellemesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), ss. 213-224
- Gürel, B., 2020, Türkiye’deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açından Ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 407 – 416
- Hasdal, D., 2010, Kaski Arıtma Tesisindeki Ekserji ve Enerji Potansiyelinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri
- İrdemez, Ş., Yılmaz, A. E., ve Anlatıcı, E., 2016, Evsel Atıksu Arıtma Çamurlarının Termal Kurutma-Yakma Prosesi ile Uzaklaştırılmasında Arıtma Verimi–Enerji İlişkisinin İncelenmesi, *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.*, 6(4): 65-73
- Kankılıç, T., Topal, H. 2015. ,Belediye Atıklarından Düzenli Depolama Sahalarında Biyogaz ve Enerji Üretimi, *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 669, s.58-69.
- Karabaş H.ve Arifoğlu Y, (2020), Düzce Belediyesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Arıtma Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi, *Journal of Environmental and Natural Studies* ,2 (1), 1-9
- Kurt, Ö.F.,ve Abuşoğlu, A., 2019, Biyogaz Motorlu bir Birleşik Isı ve Güç Üretim Sisteminin Genetik Algoritma Yöntemi ile Optimizasyonu, *HRU Muh Der*, 4(1): 109-116
- Kutlu, Ö., 2008, Bir Biyogaz Üretim Prosesinin Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir,
- Küçükçongar, S. ve Sevil, A., 2020, Atıksu Arıtma Tesisinde Çözünmüş Organik Azotun Biyolojik Parçalanabilirliğinin İncelenmesi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 32(2), 303-312

Lopesa,A.C., Valenteb,A. Diego Iribarrenb,D., ve González-Fernández, C., 2018, Energy balance and life cycle assessment of a microalgae-based wastewater treatment plant: A focus on alternative biogas uses , *Bioresource Technology*, 270 ,138–146

Maliyet planlama, <http://www.soleaenerji.com>, 2021

Özdiñçer B., 2009, Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Optimizasyonu, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Gebze

Özince N., 2019, Atıksu Arıtma Tesisi Çürütücü Ünitesi Biyogaz Üretim Tahmin Sistemi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı,

Özmen, E., 2018, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımında Bir Model Olarak Güneş Şehirler: Manisa Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul

Poeschl , M., Ward , S. ve Owende , P., 2012, Environmental impacts of biogas deployment e Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air, *Journal of Cleaner Production* 24 , 168-183

Pulcu Yıldız, S., 2009, Denizli (Merkez) Atıksu Arıtma Tesisi Performansının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa,

Ren Yenilenebilir 2019 Küresel Durum Raporu, Temmuz 2019, *Dünya Enerji Konseyi*.

Ruşen Can, Z., 2017,Adıyaman Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Üretim Veriminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adıyaman

Santos, A.C., Puch, G.Z. David Borge-Diez, D.B. ve Dieguez C.G.,2016, Thermodynamic and exergoeconomic analysis of energy recovery system of biogas from a wastewater treatment plant and use in a Stirling engine , *Renewable Energy*, 88

Singha, A.D., Upadhyaya, A., Sandeep Shrivastavab, S., Vivekananda, V., 2020, Life-cycle assessment of sewage sludge-based large-scale biogas plant, *Bioresource Technology* ,309

Sung, T., Kim,S. Kim , K.C., 2017, Thermoeconomic analysis of a biogas-fueled micro-gas turbine with a bottoming organic Rankine cycle for a sewage sludge and food waste treatment plant in the Republic of Korea ,*Applied Thermal Engineering*, 127 , 963–974

Şenol, H. ve Açikel, Ü., 2019, Evsel Organik Atıklar ve Sığır Gübresi Karışımlarından Biyogaz Üretiminin İncelenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 132-142

- Tatar,Ş., ve Sağlam, M.N., 2020, Kızıltepe İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin KOİ, BOİ5ve AKM Yönünden İşletme Verimliliğinin Değerlendirilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* Sayı 20, S. 265-269
- Tekeli, M., 2014, Türkiye biyogaz potansiyelinin belirlenerek Isı ve elektrik enerjisi üretimine uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.
- Tetteh, E.K. ve Rathilal, S., 2021, Application of biomagnetic nanoparticles for biostimulation of biogas production from wastewater treatment, *Materials Today: Proceedings*
- Topal, M, ve Arslan Topal, E. I., 2014, Kentsel Atıksu Arıtma Tesis Çıkış Sularının Kehli Deresi Su Kalitesi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 53-64
- Topaloğlu, D., 2009, Evsel Atıksuyun Ardaşık Kesikli Biyoreaktör ile Arıtılması: Deneysel ve Modelleme, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 13. Cilt, 1. Sayı, s. 66-73
- Torunoğlu Gedik, Ö., 2015, Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Türkyılmaz, O., (2007) Dünyada Ve Türkiyede Enerji Sektörünün Durumu, *Mühendis Ve Makine* 48 (569)
- Üregen Güler, N., 2020, Yerli Kaynaklardan Biyogaz Üretimi Ve Oksi Biyogaz Yanması Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ürünler, biyolojik desulfurizasyon, <https://barat.com.tr>, 2022
- Ürünler, biyolojik desulfurizasyon, sistemi/73 <https://barat.com.tr>, 2022
- Yaman Koymatçık Ç., 2018, Demir Çelik Entegre Tesis Atık Çamurunun Demir Tozu Geri Dönüşümü Ve Enerji Üretiminde Kullanımının Deneysel İncelenmesi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
- Yavrucu, K., 2019, Biyogaz Üretim Parametrelerinin İncelenmesi, Safılaştırılması Ve Askeri Birlikler İçin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yenilenebilir enerjiler 2019 küresel durum raporu, Dünya enerji konseyi, <https://www.dunyaenerji.org.tr>, 2020
- Yenilenebilir enerji kaynaklari temelleri, <https://ekolojist.net>, 2022
- Yıldırım M.,2015,Atıksu Arıtma Sisteminin Seçiminde Karar Destek Sistemleri Ve Hayat Boyu Değerlendirme Yaklaşımının Kullanılması, *Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,

- Yılmaz, S. S., 2018, Türkiye’de Ve Dünya’da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu, Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul
- Yokuş İ.,2011, Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Yuana,T,, Wanga,Y., Nuramkhaana, M. Wanga, X. Zhanga,Z., Leia,Z., Shimizua,K. Utsumia,M. Adachia,Y. Leeb,D.J., 2020, Coupling biogas recirculation with FeCl₃ addition in anaerobic digestion system for simultaneous biogas upgrading, phosphorus conservation and sludge conditioning, *Bioresource Technology*, 315