

**DOĞAL GAZ KULLANILAN ENDÜSTRİYEL BİR  
TESİSTE TRİJENERASYON UYGULAMASININ ENERJİ  
VE EKONOMİK ANALİZİ**

**Rümeysa YALINDAĞ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL GAZ KULLANILAN ENDÜSTRİYEL BİR TESİSTE  
TRİJENERASYON UYGULAMASININ ENERJİ VE EKONOMİK ANALİZİ**

**Rümeysa YALINDAĞ**  
0000-0003-2738-8917

Prof. Dr. Atakan AVCI  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021  
Her Hakkı Saklıdır

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**09/08/2021**

**Rümeysa YALINDAĞ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DOĞAL GAZ KULLANILAN ENDÜSTRİYEL BİR TESİSTE TRİJENERASYON UYGULAMASININ ENERJİ VE EKONOMİK ANALİZİ

**Rümeysa YALINDAĞ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Atakan AVCI

Bu çalışmada Bursa'da bulunan otomotiv yan sanayi fabrikası için elektrik, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılayabilen bir doğalgazlı trijenerasyon sistemi değerlendirilmiştir. Önerilen trijenerasyon sistemi, elektrik enerjisi üretmek için bir gaz motorundan, proses soğutması için çalışma sıvısı olarak LiBr / H<sub>2</sub>O kullanan tek etkili bir absorpsiyonlu soğutma sisteminden ve ısıtma ihtiyacı için ısı değiştiricilerinden oluşmaktadır. Tesisin elektrik ihtiyacının karşılanması hedef alınmış, bu veriler ışığında örnek endüstriyel tesisin projesi için en uygun kapasiteli gaz motoru seçimi ve çalışma yükleri farklı senaryolarla belirlenmiştir. Bu işlemler sırasında ortaya çıkan atık ısı, maksimum verimlilikle fabrikanın çeşitli yerlerinde kullanılmıştır. Bu tesis uygulamasında trijenerasyon sisteminin yatırım ve işletme maliyetleri belirlenmiş, sistem fizibilitesi yapılmış ve alternatif senaryolar için farklı vardiyalarda geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

Vardiya sayısının mümkün olan en yüksek dereceye arttırılmasının, geri ödeme süresini kısaltılması yönünde olumlu etkilediği görülmüştür. Geri ödeme süresi fabrikada 3 vardiya halinde çalışılması durumunda 1,2,3,4,5 ve 6. senaryolar için sırasıyla 2,62 yıl, 7,37 yıl, 4,07 yıl, 7,93 yıl, 2,90 yıl ve 3,08 yıl olmuştur. 2., 3. ve 4. senaryolarda elektrik depolama sisteminin dahil edilmesiyle yatırım maliyetinde büyük bir artış olmuştur. Bu artış geri ödeme süresinin artmasına neden olmuştur. Çalışmanın sonuçları, her senaryo için 3 vardiyada çalışılması halinde yüksek verimlilik, iyi bir finansal getiri ve trijenerasyon sisteminin geleneksel sisteme iyi bir alternatif sağladığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Trijenerasyon, Absorpsiyonlu soğutma sistemleri, Atık ısı geri kazanımı

**2021, xvi + 173 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **ENERGY AND ECONOMIC ANALYSIS OF TRIGENERATION APPLICATION IN AN INDUSTRIAL FACILITY USING NATURAL GAS**

**Rümeysa YALINDAĞ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Atakan AVCI

In this paper, a trigeneration system that can meet the electricity, heating and cooling needs for a factory in Bursa is introduced. The trigeneration system consists of a gas engine to produce electrical power, a single effect absorption chiller that uses LiBr/H<sub>2</sub>O as a working fluid for process cooling, and heat exchangers for heating. The capacity of gas engines has been determined in different scenarios to meet the highest and lowest electricity demand. The waste heat generated during these processes will be used with maximum efficiency in various parts of the factory. In this facility application, the investment and operating costs of the trigeneration system were determined, system feasibility was made, and payback periods in different shifts were determined for alternative scenarios.

It has been observed that increasing the number of shifts to the highest possible degree has a positive effect on shortening the payback period. Payback period is 2.62 years, 7.37 years, 4.07 years, 7.93 years, 2.90 years and 3.08 years for scenarios 1,2,3,4,5 and 6, respectively, in case of working in 3 shifts at the factory. In the 2nd, 3rd and 4th scenarios, there has been a great increase in the investment cost with the inclusion of the electricity storage system. This increase has led to an increase in the payback period. The results of the study show that if working in 3 shifts for each scenario, high efficiency, good financial return and the trigeneration system provide a good alternative to the traditional system.

**Key words:** Energy, Trigeneration, CCHP, Absorption cooling systems, Waste heat recovery

**2021, xvi + 173 pages.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Atakan AVCI 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardımları, bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan başta Doç. Dr. Erhan PULAT olmak üzere üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, bana eğitimin önemini ve gereğini benimseten, bana güvenip beni teşvik eden, yönlendiren, daima daha ileriye gidebilmem için her türlü fedakârlığı gösteren çok değerli anne ve babama, her zaman yanımda olan sevgili kardeşlerim Sümeyye ve Zeynep'e çok teşekkür ederim.

Rümeysa YALINDAĞ  
09/08/2021

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Trijenerasyon Sistemlerinin Tanımı.....	2
1.2. Trijenerasyon Sistemlerinin Çalışma Prensipleri.....	3
1.3. Trijenerasyon Sistemini Oluşturan Elemanlar.....	6
1.3.1. Motor sürücüler.....	6
1.3.2. Atık ısı geri kazanım sistemi.....	9
1.3.3. Plakalı eşanjörler.....	10
1.3.4. Absorbsiyonlu soğutma grupları.....	11
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	14
2.1. Termodinamik Tanımlamalar.....	14
2.2. Sürekli Akışlı Açık Sistemler.....	14
2.2.1. Sürekli akışlı açık sistemlerde kütle korunumu.....	14
2.2.2. Sürekli akışlı açık sistemlerde enerji korunumu.....	15
2.3. Trijenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi.....	16
2.4. Trijenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi.....	19
2.5. Kaynak Araştırması.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	29
3.1. Tesisimizin Elektrik Enerjisi İhtiyacı.....	30
3.2. Tesisimizin Isı Enerjisi İhtiyacı.....	37
3.3. Tesisimizin Soğutma Enerjisi İhtiyacı.....	37
3.4. Tesisimiz için Trijenerasyon Sistemi Seçimi ve Elektrik Üretimi.....	37
3.5. Sistem Dizaynı.....	71
3.5.1. Egzoz gazı atık ısıyla, tesisin ihtiyacı olan 10 bar basınçta doymuş buhar üretimi.....	73
3.5.2. Motor ceket suyu ve motor yağının atık ısı ile 70–90 °C ısınma amaçlı kullanılan sıcak su üretimi.....	75
3.5.3. Absorbsiyonlu soğutma sistemi dizaynı.....	77
3.6. Sistemin Ekonomik Yönden İncelenmesi.....	81
3.6.1. Yakıt giderlerinin hesaplanması.....	82
3.6.2. Amortisman maliyeti.....	82
3.6.3. Elektrik tarifesi.....	82
3.6.4. Geri ödeme süresinin hesaplanması.....	83
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	84
4.1. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi.....	84
4.2. Trijenerasyon Sisteminin Çalışma Düzeni.....	84
4.3. Trijenerasyon Sisteminin Toplam Verimi.....	110
4.4. Trijenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi.....	118
4.4.1. Elektrik üretim geliri.....	119
4.4.2. Kullanılan gaz motorunun atık ısı gelirleri.....	120
4.4.3. Trijenerasyon sisteminde üretim giderleri.....	125

4.4.4. Trijenerasyon sisteminin amortisman maliyeti .....	132
4.4.5. Trijenerasyon sisteminin geri ödeme süresi .....	134
5. SONUÇ.....	146
KAYNAKLAR .....	149
EKLER.....	156
ÖZGEÇMİŞ.....	173



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$CF_t$	t yılı için nakit akışı
$c_p$	Akışkanın veya maddenin özgül ısısı
$h$	Entalpi
$I_0$	Yatırım miktarı
$i$	İskonto oranı
$\dot{m}$	Akışkanın kütleli debisi
$m$	Maddenin kütlesi
$T$	Sıcaklık
$t$	Zaman
$\dot{Q}$	Birim zamanda yapılan ısı alışverişi
$X$	Çözelti konsantrasyonu
$W$	Güç
$\eta$	Trijenerasyon tesisinin ısı verimi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
GÖS	Geri Ödeme Süresi
IRR	İç verim oranı
NBD	Net Bugünkü Değer
STK	Soğutma Tesir Katsayısı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Geleneksel sistem için enerji akış şeması .....	3
Şekil 1.2. Trijenerasyon sistemi için enerji akış şeması.....	4
Şekil 1.3. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin çalışma prensibi .....	5
Şekil 1.4. Trijenerasyon sisteminde kullanılan gaz motoru örneği .....	7
Şekil 1.5. Trijenerasyon sisteminde kullanılan gaz türbini örneği .....	8
Şekil 1.6. Trijenerasyon sisteminde kullanılan dizel motor örneği.....	9
Şekil 1.7. Trijenerasyon sisteminde kullanılan atık ısı geri kazanım kazanı örneği .....	10
Şekil 1.8. Trijenerasyon sisteminde kullanılan plakalı eşanjör örneği.....	11
Şekil 1.9. LiBr-Su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimi şeması .....	12
Şekil 3.1. Tesisimizin yıllık elektrik tüketim miktarı .....	30
Şekil 3.2. Tesisimizin ocak ayı için günlük elektrik tüketim miktarı .....	31
Şekil 3.3. Tesisimizin şubat ayı için günlük elektrik tüketim miktarı .....	31
Şekil 3.4. Tesisimizin mart ayı için günlük elektrik tüketim miktarı.....	32
Şekil 3.5. Tesisimizin nisan ayı için günlük elektrik tüketim miktarı .....	32
Şekil 3.6. Tesisimizin mayıs ayı için günlük elektrik tüketim miktarı .....	33
Şekil 3.7. Tesisimizin haziran ayı için günlük elektrik tüketim miktarı .....	33
Şekil 3.8. Tesisimizin temmuz ayı için günlük elektrik tüketim miktarı .....	34
Şekil 3.9. Tesisimizin ağustos ayı için günlük elektrik tüketim miktarı.....	34
Şekil 3.10. Tesisimizin eylül ayı için günlük elektrik tüketim miktarı.....	35
Şekil 3.11. Tesisimizin ekim ayı için günlük elektrik tüketim miktarı.....	35
Şekil 3.12. Tesisimizin kasım ayı için günlük elektrik tüketim miktarı .....	36
Şekil 3.13. Tesisimizin aralık ayı için günlük elektrik tüketim miktarı.....	36
Şekil 3.14. Nominal çalışma durumu için sistem şeması.....	73
Şekil 3.15. Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi .....	78

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Sistem gereksinimleri .....	37
Çizelge 3.2. GE Jenbacher JMS 320 GS-N.L motorunun teknik özellikleri .....	41
Çizelge 3.3. GE Jenbacher JMS 416 GS-N.L motorunun teknik özellikleri .....	42
Çizelge 3.4. Ocak ve şubat ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	43
Çizelge 3.5. Mart ve nisan ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	44
Çizelge 3.6. Mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	45
Çizelge 3.7. Temmuz ve ağustos ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	46
Çizelge 3.8. Eylül ve ekim ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	47
Çizelge 3.9. Kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	48
Çizelge 3.10. GE Jenbacher JMS 416 GS-N.L motorunun teknik özellikleri .....	50
Çizelge 3.11. Ocak, şubat ve mart ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	51
Çizelge 3.12. Nisan, mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	52
Çizelge 3.13. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	53
Çizelge 3.14. Ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	54
Çizelge 3.15. Ağustos ayı için bataryada depolanacak miktar .....	55
Çizelge 3.16. Ocak, şubat ve mart ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	57
Çizelge 3.17. Nisan, mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	58
Çizelge 3.18. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	59
Çizelge 3.19. Ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	60
Çizelge 3.20. Ağustos ayı için bataryada depolanacak miktar .....	61
Çizelge 3.21. Ocak, şubat ve mart ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	63
Çizelge 3.22. Nisan, mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	64
Çizelge 3.23. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	65
Çizelge 3.24. Ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	66
Çizelge 3.25. Ocak, şubat, mart ve nisan ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	68
Çizelge 3.26. Mayıs, haziran, temmuz ve ağustos ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları .....	69

Çizelge 3.27. Eylül, ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları.....	70
Çizelge 3.28. Motorun atık ısı kapasitesi.....	73
Çizelge 3.29. Geri kazanım kazanı için giriş verileri.....	74
Çizelge 3.30. Absorbsiyonlu soğutma sistemindeki elemanların kapasitelerinin literatürdeki verilerle karşılaştırılması .....	79
Çizelge 3.31. Tek etkili absorbsiyonlu soğutucudaki farklı noktaların termodinamik özellikleri.....	81
Çizelge 3.32. Tek etkili absorbsiyonlu soğutucudaki her bir elemanın ısı transfer oranları .....	81
Çizelge 3.33. Bursa ili Aralık 2020 doğalgaz tarifesini .....	82
Çizelge 3.34. Bursa ili Aralık 2020 elektrik tarife fiyatları .....	83
Çizelge 4.1. Aylık üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı.....	85
Çizelge 4.2. Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	86
Çizelge 4.3. Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	87
Çizelge 4.4. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	88
Çizelge 4.5. Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	89
Çizelge 4.6. Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	91
Çizelge 4.7. Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	92
Çizelge 4.8. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	93
Çizelge 4.9. Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	94
Çizelge 4.10. Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	96
Çizelge 4.11. Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	97
Çizelge 4.12. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	98
Çizelge 4.13. Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	99
Çizelge 4.14. Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	101
Çizelge 4.15. Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	102
Çizelge 4.16. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	103
Çizelge 4.17. Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	104
Çizelge 4.18. Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	106

Çizelge 4.19. Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	107
Çizelge 4.20. Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	108
Çizelge 4.21. Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı .....	109
Çizelge 4.22. Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı .....	111
Çizelge 4.23. Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı .....	112
Çizelge 4.24. Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı .....	114
Çizelge 4.25. Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı .....	115
Çizelge 4.26. Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı .....	116
Çizelge 4.27. Güncel veri ve kabüller .....	118
Çizelge 4.28. Güncel veri ve kabüller .....	118
Çizelge 4.29. Aylık Soğuk Su Üretimi Geliri .....	121
Çizelge 4.30. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 1.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı .....	126
Çizelge 4.31. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 2.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı .....	127
Çizelge 4.32. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 3.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı .....	128
Çizelge 4.33. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 4.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı .....	129
Çizelge 4.34. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 5.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı .....	130
Çizelge 4.35. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 6.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı .....	131
Çizelge 4.36. 1. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri.....	132
Çizelge 4.37. 2. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri.....	132
Çizelge 4.38. 3. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri.....	133
Çizelge 4.39. 4. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri.....	133
Çizelge 4.40. 5. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri.....	133
Çizelge 4.41. 6. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri.....	134
Çizelge 4.42. 1. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	135
Çizelge 4.43. 1. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	135
Çizelge 4.44. 1. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	136
Çizelge 4.45. 2. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	137
Çizelge 4.46. 2. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	137
Çizelge 4.47. 2. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	138
Çizelge 4.48. 3. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	139
Çizelge 4.49. 3. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	139

Çizelge 4.50. 3. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	140
Çizelge 4.51. 4. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	141
Çizelge 4.52. 4. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	141
Çizelge 4.53. 4. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	142
Çizelge 4.54. 5. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	143
Çizelge 4.55. 5. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	143
Çizelge 4.56. 5. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	144
Çizelge 4.57. 6. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	144
Çizelge 4.58. 6. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	145
Çizelge 4.59. 6. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması.....	145

## 1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın başından bu yana dünyada refah düzeyindeki önemli artış, öncelikle enerji kullanımına dayanmaktadır. Fosil yakıtlar, muazzam bir şekilde üretkenlik artışı sağlayan ve tüketim ürünlerinin tedarikini mümkün kılan makineleri ve süreçleri besler. Fosil yakıt kaynaklarının tükenme korkusu ve artan aşırı küresel ısınma endişesi, ısı ve elektriğin birlikte üretilmesini savunmaya ve yenilenebilir enerjide büyük bir artışı desteklemeye yol açmıştır.

Bir tesisteki elektrik ve ısı yükleri genellikle yerel elektrik şebekesinden elektrik satın alınarak ve tesiste bulunan bir kazanda bir yakıt yakılıp faydalı ısı üretilerek karşılanır. Ancak, bir elektrik santralinde elektrik üretimine ısı üretimi eşlik eder, bu da ısının tesisin egzoz gazları ve soğutma devreleri aracılığıyla çevreye atılması durumunda büyük bir enerji israfına neden olur. Bu ısının çoğu geri kazanılabilir ve ısı yükleri karşılamak için kullanılabilir. Böylece santral kojenerasyon sistemine dönüştürülerek yakıt kullanım verimliliği %40-50'den %80'lere kadar yükseltilebilir (Frangopoulos 2017, Fumo ve Chamra 2010). Bunun ışığında, birleşik ısıtma ve güç (kojenerasyon) sistemleri ve birleşik soğutma, ısıtma ve güç (trijenerasyon) sistemleri, enerji verimliliklerini iyileştirmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için temel çözümler haline gelmiştir. Trijenerasyon sistemi, 100 yıldan fazla geçmişe sahip kanıtlanmış ve güvenilir bir teknoloji olan kojenerasyon sisteminin genişletilmiş bir konseptidir (Wu ve Wang 2006).

Minciuc ve ark. (2003) trijenerasyon tesisinin çalışma prensibini şu şekilde açıklamaktadır; kombine soğutma, ısıtma ve güç üretimi sağlayan sistemlere trijenerasyon sistemleri denir. Diğer bir deyişle, kojenerasyon sistemleri ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin iş birliğine trijenerasyon sistemleri denir. Bu tesisler, tesisin mevsimsel veya sürekli havalandırma ve/veya soğutmaya ihtiyacı varsa daha iyi bir çözüm sunar. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri, geleneksel kompresörlü soğutma sistemlerine göre daha ekonomik bir alternatiftir. Kojenerasyon ekipmanının düşük emisyon değerlerini absorpsiyonlu soğutucularla birleştirerek, enerji verimliliği (Patel ve ark. 2017, Rashidi ve Khorshidi 2018) sağlarlar, soğutuculardaki

hidroflorokarbon/kloroflorokarbon emisyonlarını ortadan kaldırırlar ve böylece ortalama kirletici hava emisyonlarını azaltırlar (Srithar ve ark. 2018, Yi ve ark. 2018).

Son zamanlarda, kombine soğutma, ısıtma ve güç üretim sistemleri, daha yüksek genel verimlilik değerleri (Mohammadi-Ivatloo ve ark. 2013), daha düşük yakıt tüketimi (Liu 2015), kirlilik (Mago ve Chamra 2009) ve ayrıca işletme maliyetleri (Arcuri ve ark. 2007, Casisi ve ark. 2009, Piacentino ve Cardona 2008) gibi bazı avantajlar (Xu ve Qu 2013, Chahartaghi ve Sheykhi 2019) nedeniyle geleneksel elektrik üretim sistemlerine kıyasla dünyada daha popüler hale gelmiştir.

Bu çalışmada ise fosil yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenerek, örnek bir sanayi tesisinde kojenerasyon sistemine absorpsiyonlu soğutma sistemi eklenerek altı farklı senaryo için trijenerasyon sistemi tasarlanmış ve değişen şartlara göre aylık bazda finansal avantajların neler olduğu gösterilmiştir. Ayrıca günümüzde, Türkiye için en verimli kullanım koşullarının neler olduğu detaylı olarak incelenmiştir.

### **1.1. Trijenerasyon Sistemlerinin Tanımı**

Isı ve elektriğin birlikte üretildiği kojenerasyon sistemleri ısının daha az gerekli olduğu yaz aylarında kış aylarıyla kıyaslandığında daha az verimli olmaktadır. Bu nedenle bu sistemler geliştirilerek trijenerasyon sistemleri ortaya çıkarılmıştır. Kojenerasyon sonucu elde edilen sıcak su veya buhar absorpsiyonlu soğutucular aracılığı ile soğutma da yararlanılması esasına dayanan aynı anda ısıtma, soğutma ve güç üretebilen sisteme “trijenerasyon” denir. (Çeğil 2018). Trijenerasyon sisteminin en önemli özelliği boşa harcanan enerjinin kullanılmasıdır. Tüm endüstrilerde egzoz gazı, buhar ve sıcak su olmak üzere atık enerji üç biçimde mevcuttur (Hernández-Santoyo ve Sánchez-Cifuentes 2003). Optimum tüketim ve elektrik gücü kayıplarının azaltılmasına yönelik çözümlerden biri olan trijenerasyon sistemi, tüketicilere daha istikrarlı elektrik sağlamak, kesinti ve kayıpları azaltmak, sistemin toplam ve ekonomik verimliliğini artırmak ve çevreyi korumak için elektrik üretim noktalarını tüketicilere yaklaştırmaktadır (Amidpour ve Manesh 2021).

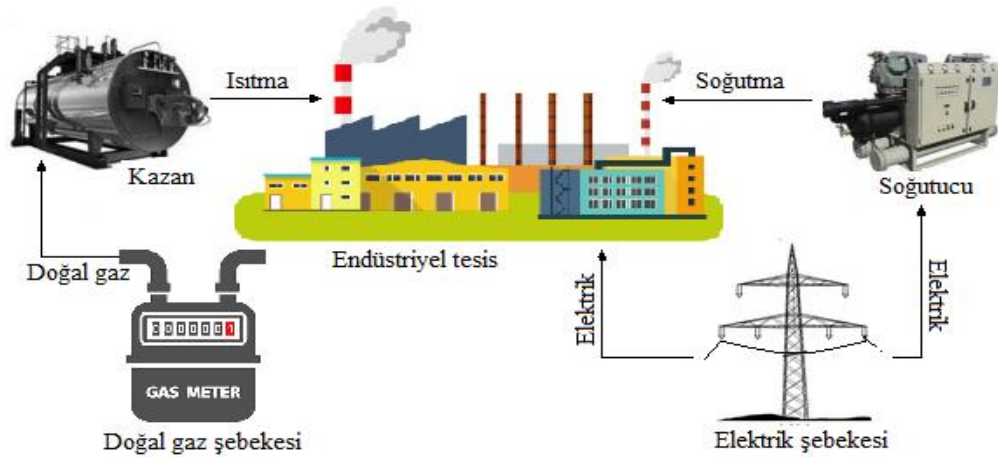


Trijenerasyon sistemlerinin temel avantajları şu şekilde sınıflandırılır:

- Verimliliği artırmak için atık enerjinin kullanılması;
- Tek bir üniteden soğutma, ısıtma ve güç üretimi;
- Hava kirliliğinin ve sera gazı emisyonlarının önlenmesi;
- Ekipmandaki enerji ve termal enerji kayıplarını azaltmak;
- Yakıtın yararlı, etkili kullanımı ve tüketiminin azaltılması bu sayede ithal enerji bağımlılığını azaltmak; (Ballı 2008)
- Mevcut güç maliyetlerini azaltmak ve termal verimliliği artırmak;
- Çok basit kurulum, devreye alma, bakım ve onarım;
- Soğutma ve ısıtma sistemleri ve enerji üretimi için gereken alanı azaltmak (Liu ve ark. 2012, Sharaf ve Orhan 2014).

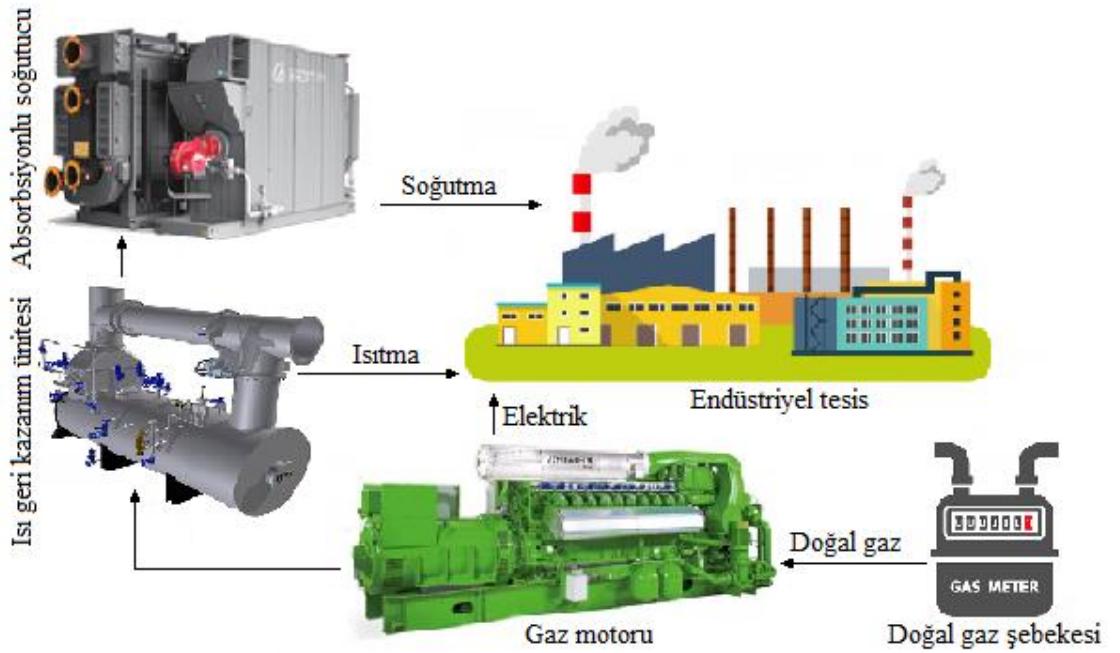
## 1.2. Trijenerasyon Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Şekil 1.1 tesisin ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyaçlarının karşılanması için geleneksel bir üretim sisteminin şemasını göstermektedir. Görüldüğü gibi geleneksel üretim sisteminde binanın soğutma yükünü sağlamak için kompresörlü soğutucu kullanılabilir. Aydınlatma ve tesis ekipmanları için elektrik ihtiyacı ve ayrıca kompresörlü soğutucuya gerekli olan elektrik gücü doğrudan elektrik şebekesinden satın alınır. Tesisin ısınma ihtiyacı da kazanda şebekeden satın alınan doğalgaz yakılarak gerekli ısıtma yükü karşılanmaktadır.



Şekil 1.1. Geleneksel sistem için enerji akış şeması

Şekil 1.2 elektrik enerjisi üretmek için içten yanmalı bir gaz motorundan oluşan trijenerasyon sistemini göstermektedir. Gaz motoru, gaz şebekesinden satın alınan yakıtı yakar ve mekanik güç üretir. Bu şekilde gerekli güç sağlanır. Ayrıca gaz motoruna ısı geri kazanım sistemi dahil edilir. Isı geri kazanım ünitesi, gaz motorundan atık ısıyı emer. Isı geri kazanım ünitesi tarafından geri kazanılan ısı, ısı kaynağı olarak kullanılarak, kışın ısıtma ihtiyacı karşılar, yıl boyunca gerekli olan sıcak suyu sağlar ve absorpsiyonlu soğutucuya ısı kaynağı olur.



Şekil 1.2. Trijenerasyon sistemi için enerji akış şeması

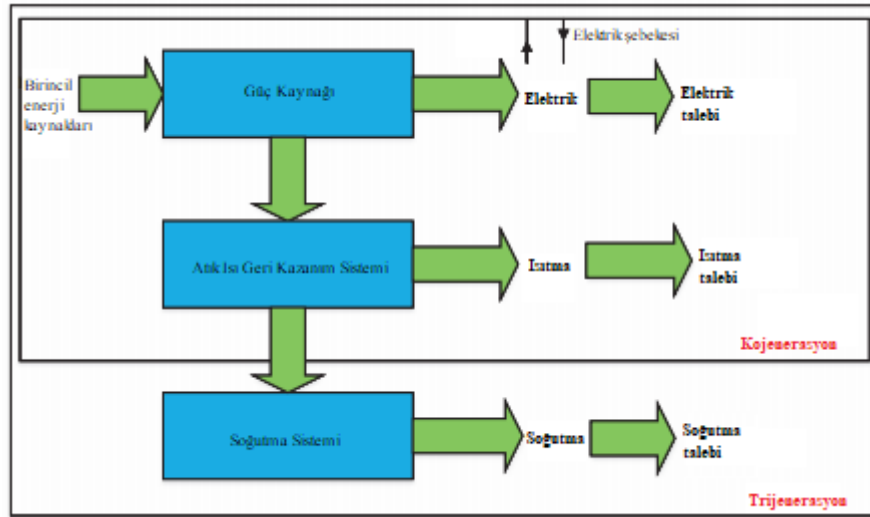
Trijenerasyon sistemlerinde, geleneksel elektrik üretim sistemlerine kıyaslandığında yüksek verim elde edilmesinin nedeni egzoz gazı, motor ceket suyu ve motor yağı gibi atık ısıların geri kazanılmasıdır. Basit çevrimlerde motor, yakıt enerjisini sadece %30-40 oranında elektrik enerjisine çevirebilirken, trijenerasyon sistemlerinde buna ek olarak atık ısının büyük bir kısmı enerjiye dönüştürülür. Trijenerasyon sisteminde, güç üreteçlere bağlı alternatör yardımı ile elektrik üretimi gerçekleştirilir. Tesisin ısıtma ve soğutma

ihtiyacı, üretim esnasında oluşan atık ısıların çeşitli yöntemler yardımıyla geri kazanılmasıyla giderilir.

Jeneratörde yanan yakıt enerjisinin (birincil enerji);

- %35-40'lık oranı mekanik güce,
- %30-35'lik oranı motor ceket ısısına
- %25-30'luk oranı egzoz ısısına dönüşmekte,
- Geri kalan %7-10'luk oranı da enerji kaybına uğramaktadır. (Kaya 2017)

Trijenerasyon sistemleri, kojenerasyon sistemlerine benzer şekilde çalışmakta olup, temel olarak beş adımda gerçekleşir. Öncelikle güç ünitesinde üretilen mekanik güç ile jeneratör tahrik edilerek elektrik üretilmektedir. Isı üreten sistemlerden çıkan ısılar atık ısı sistemleri ile kullanılabilir hale getirilir. Atık ısının bir kısmı ısıtma veya buhar üretimi için kullanılır. Atık ısının diğer bölümü ise ihtiyaca göre yardımcı bir sistem aracılığıyla soğutma ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılır. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin çalışma prensibi Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin çalışma prensibi

Şekilde görüldüğü üzere trijenerasyon sisteminde, kojenerasyon sistemine benzer olarak üretilen elektrik ve ısı absorpsiyonlu soğutucu sisteminin de eklenmesiyle üçlü üretim halini almaktadır. Şekilde görülen sistemde, kojenerasyon ünitesi herhangi bir güç ünitesi olup uygulamaya göre buhar türbini, gaz türbini, içten yanmalı motor, stirling motoru gibi sistemler olabilir. Başlıca dört bileşenden oluşan bu sistem, güç üretim ünitesi, soğutma ünitesi, ısıtma ünitesi ve elektrik jeneratörü ekipmanlarından oluşur. (Hergül 2016)

### **1.3.Trijenerasyon Sistemini Oluşturan Elemanlar**

#### **1.3.1. Motor sürücüleri**

Bir trijenerasyon sisteminin ana kısmını, elektrik jeneratörünü döndüren motor sürücüleri oluşturur. Jeneratörü döndüren 3 farklı sürücü motor vardır. Bunlar;

- Gaz Motoru
- Gaz Türbini
- Dizel Motorlardır.

Bu farklı sürücü motorların herhangi bir modelinden esas olarak projenin ihtiyacı olan çıkış gücüne ve elektrik ile ısı dengesine bağlı olarak yararlanılır.

#### ***Gaz Motoru:***

Gaz motoru düşük devirli, Otto çevrimli çok silindirli 50 ile 3500 kW güç aralığındaki pistonlu makinelerdir. Isı çıkışı genellikle güç çıkışınının 1-1.5 katıdır. Gaz motorlarından faydalı ısı, soğutma eşanjörleri, motor blok soğutma suyu ve egzoz gazı eşanjörleri vasıtasıyla geri kazanılır. Gaz motorları yakıt olarak doğal gaz, propan veya biyogazdan yararlanır. Düşük seviyelerde azot oksit emisyonu nedeniyle çevre dostudur. (Yazman 2015) Trijenerasyon sistemlerinde kullanılan gaz motoru örneği Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 1.4.** Trijenerasyon sisteminde kullanılan gaz motoru örneği

### ***Gaz Türbini:***

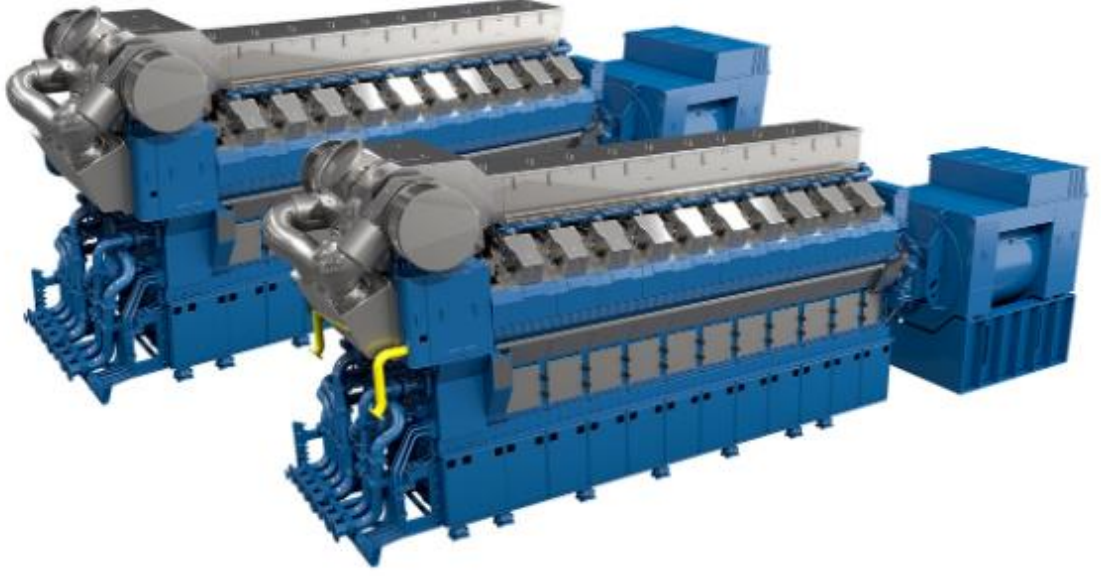
Kojenerasyon sistemlerinde türbinler önemli rol oynamaktadır. Bir rotor üzerine yerleştirilmiş açılı kanatlardan oluşan yüksek devirde döner tip bir makine olan gaz türbinlerinde, yüksek miktardaki ortam havası, filtrasyon setinden geçişinden sonra kompresör bölümüne verilir ve daha sonra farklı katlardan geçtikten sonra belirli bir oranda sıkıştırılır. Bir sonraki adımda basınçlı hava ve enjekte edilen yakıtın yanması enerjii serbest bırakır ve türbin eksenini çevirerek üretilen enerji, jeneratörün döndürülmesi için gerekli mekanik enerjiyi sağlar. Ayrıca mekanik güç üretmek için, yüksek sıcaklık türbinden çıkan egzoz gazları daha sonra kullanılmak üzere geri kazanım kazanına aktarılır. Bu gazlardan bir atık ısı kazanı vasıtasıyla suyu ısıtarak buhar elde edilir. Gaz Türbinleri genelde 5,500 kW üstündeki güç ihtiyacında tercih edilirler. Gaz türbininin ısı randımanına bağlı olarak egzoz gazlarından ısı üretimi çıkış gücünün 2,5-3 katı civarındadır (Amidpour ve Manesh 2021). Trijenerasyon sistemlerinde kullanılan gaz türbini örneği Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



**Şekil 1.5.** Trijenerasyon sisteminde kullanılan gaz türbini örneği

#### ***Dizel Motorlar:***

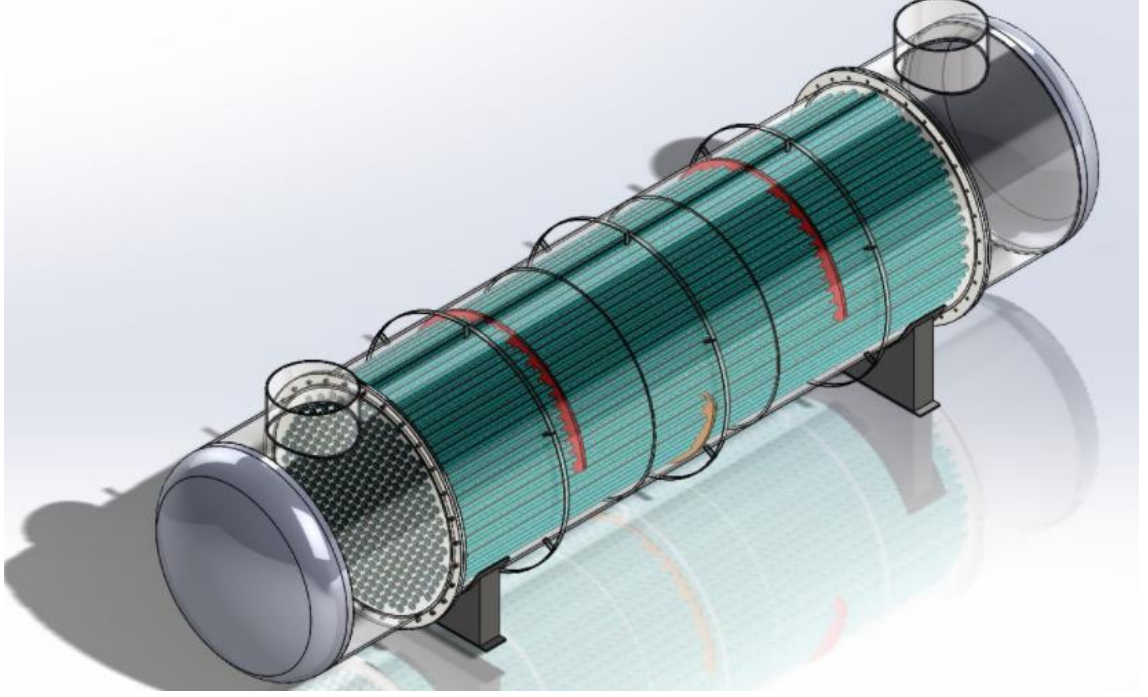
Dizel motorlar, kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Dizel motorlar nispeten sağlamdır ve %30 ile %37 arasında değişen verimliliklere sahiptir. Bu üniteler çok silindri olup, üç grupta sınıflandırılabilir: düşük hızlı dizel (200 ila 400 rpm), orta hızlı dizel (800 ila 1200 rpm) ve yüksek hızlı dizel (1500 ila 3600 rpm). Dizel motorlar motorin ve ağır fuel oil yakıtlarını kullanırlar. Yakıtı kolayca temin edilebilir ve bu nedenle hala dünya çapında kullanılan bağımsız ve yedek gücün ana kaynağıdır. Bu motorların oteller, hastaneler ve alışveriş merkezleri için güç kaynağı olarak kullanıldığı görülmektedir (Boyce 2004). Trijenerasyon sistemlerinde kullanılan dizel motor örneği Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 1.6.** Trijenerasyon sisteminde kullanılan dizel motor örneği

### **1.3.2. Atık ısı geri kazanım sistemi**

Çeşitli tiplerdeki ısıtma sistemlerinde kullanılan toplam enerjinin önemli bir kısmı genellikle boşa harcanmaktadır. Ancak kullanımdan sonra boşa harcanacak olan ısı geri kazanılabilir ve ısı uygulamalarında kullanılabilir. Bunlar gaz türbinlerinin, gaz motorlarının ve dizel motorların egzoz çıkışlarına tesis edilirler ve doğrudan egzoz gazları ile suyu ısıtarak doymuş veya kızgın buhar üretirler. Sıcak egzoz gazları doğrudan veya sıcak hava esanjörleri ile kurutma ve ısıtma işlemleri için kullanılabilir. Gaz ve dizel motorları aynı zamanda motor blok soğutma ve eşanjörler vasıtasıyla büyük miktarlarda sıcak su üretirler. Böylece trijenerasyon sistemleri aynı zamanda elektrik ve ısı üretip, toplam %90'a yakın çok yüksek bir ısıl verimle önemli enerji tasarrufu sağlarlar (Rosen ve Koohi-Fayegh 2016, Yazman 2015). Trijenerasyon sistemlerinde kullanılan atık ısı geri kazanım kazanı örneği Şekil 1.7'de gösterilmiştir.

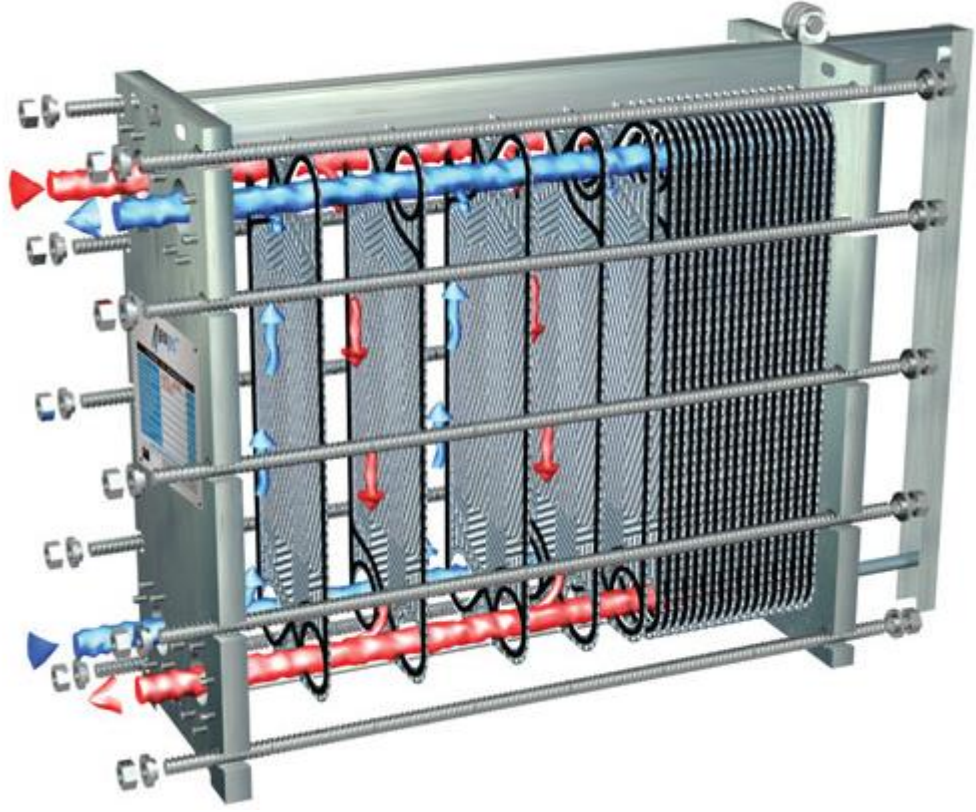


**Şekil 1.7.** Trijenerasyon sisteminde kullanılan atık ısı geri kazanım kazanı örneği

### **1.3.3. Plakalı eşanjörler**

Plakalı eşanjörler veya plakalı ısı değıştiriciler sıcaklıkları farklı, akışkan tipi aynı ya da farklı olabilecek iki akışkanın, değışik türdeki plakaların yüzeyleri üzerinden birbirlerine temas etmeden hareketi sonucu iletim ve taşınım prensiplerine göre ısı transferi oluşturan araçlardır. Trijenerasyon sisteminde atık ısıların değerlendirilmesi ve kullanıma sunulması için kilit rolü üstlenirler. Özellikler motor ceket suyu ve son soğutma (After Cooler) ünitelerinden elde edilen sıcak suyun 80-90°C kullanım suyu ve 40-45°C de kullanım suyu elde edilmesi için sisteme entegre edilmiş önemli bir elemandır. (Üstüntaş 2019, Yazman 2015) Trijenerasyon sisteminde kullanılan plakalı eşanjör örneği Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



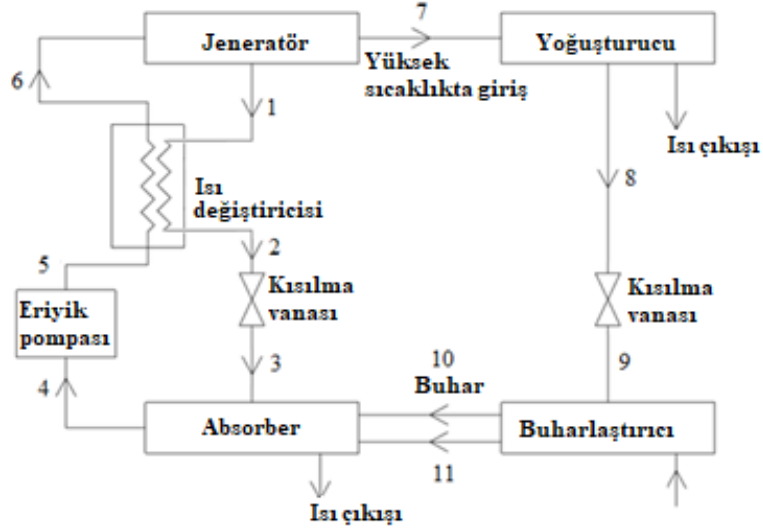


**Şekil 1.8.** Trijenerasyon sisteminde kullanılan plakalı eşanjör örneği

#### **1.3.4. Absorbsiyonlu soğutma grupları**

Çeşitli endüstriyel faaliyetler sonucunda açığa çıkan atık ısı enerjisi kullanılarak yapılabilen soğutma, absorpsiyonlu soğutmanın en önemli özelliğidir. Bu soğutma işlemi birçok amaç için kullanılabilir. Özellikle enerji maliyetlerinin yüksek olduğu ve ekonominin ön plana çıktığı günümüz dünyasında yenilenebilir enerji kaynakları ve atık ısının değerlendirilmesi açısından bu tip soğutma ve ısıtma makinelerinde buhar sıkıştırma veya absorpsiyon çevrimleri kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi, absorpsiyon döngüsünde buhar sıkıştırma döngüsüne göre çok daha az kullanılır. Absorpsiyon çevriminde buhar sıkıştırma çevriminde olan kompresör yerine bu çevrimde sadece pompa bulunduğu için daha az elektrik tüketilir.

Tek etkili bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin ana bileşenleri, Şekil 1.9'da gösterildiği gibi bir yoğuşturucu, bir buharlaştırıcı, bir absorber, bir jeneratör, bir ısı eşanjörü, bir pompa ve genişleme valfleridir.



**Şekil 1.9.** LiBr-Su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimi şeması

Eriyik pompası ile üst kısımdaki jeneratöre ön ısıtma eşanjöründen gelen çözelti, bu bölümde buhar/sıcak su bataryası ile yüksek sıcaklıklarda ısıtılır (güneş enerjisi, atık ısı, doğalgaz veya baca gazı burada kullanılır). İçerdiği suyun bir kısmı buharlaştırılarak ayrıştırılır. Ayrılan su-soğutucu akışkan buharı, yoğuşturucu bölümüne geçer ve kalan çözelti, artan Li-Br oranı ile zengin bir çözelti haline gelir. Buradan tekrar ısı eşanjörüne döner ve absorberden gelen ve jeneratöre pompalanan fakir çözelti ile soğutulur.

Jeneratörden gelen su buharı, bu bölümde soğutma kulesinden gönderilen soğutma suyunu içeren batarya ile eliminatörden geçirilerek ısısı alınarak yoğunlaştırılır. Suya dönüştürülerek dipte toplanır.

Yoğuşturucuda biriken su (soğutucu sıvı) buradan buharlaştırıcıdaki nozullar vasıtasıyla soğutma bataryasına püskürtülür. Bu haznedeki düşük basınç (6 mm Hg) su partiküllerinin 3-4 ° C gibi sıcaklıklarda buharlaşmasına neden olur. Buharlaşmanın etkisi ile soğutma bataryasından (soğutulmuş su) geçen akışkanın ısısı alınır ve soğutma işlemi

gerçekleştirilir. Buharlaşmayan su parçacıkları (soğutucu sıvı), buharlaştırıcının dibinde toplanır ve pompa vasıtasıyla nozullara geri gönderilir. Bu şekilde buharlaşmayan soğutucu akışkan yeniden kullanılır.

Jeneratörden gelen ve ısı eşanjöründe soğutulan orta konsantre (ara) Li-Br çözeltisi bu bölümdeki nozullardan püskürtülür. Püskürtülen Li-Br parçacıkları; buharlaştırıcıdaki su buharını absorbe edici kısma çekme gücünü gösterir ve buharlaştırıcıda ekstra vakum etkisi oluşturur. Absorber bölüme çekilen su buharı, absorberde bulunan soğutma suyu serpantini tarafından ısısı alınarak yoğunlaştırılır (Soğutma kulesinden gelen su, kondansatöre oradan da absorbere gönderilir). Absorberin alt kısmında su, Li-Br ile karışır ve seyreltilmiş fakir bir karışım haline gelir. Böylece döngünün başlangıç noktasına yeniden ulaşılır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Termodinamik Tanımlamalar**

Termodinamik enerjinin bilimi olarak tanımlanabilir. Termodinamik sözcüğü, latince therme (ısı) ile dynamis (güç) sözcüklerinden türemiştir ve eski zamanlarda ısıyı işe dönüştürme çabalarının en uygun tanımlaması olmaktadır. Günümüzde ise bu ad güç üretimi, soğutma ve maddenin özellikleri arasındaki ilişkileri de içeren, enerji ve enerji dönüşümlerinin tüm yönlerini barındıran bir anlam taşımaktadır.

Doğanın en temel yasalarından biri enerjinin korunumu ilkesidir. Bu yasa genel olarak, bir etkileşim sırasında enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini, fakat toplam miktarının sabit kalacağını belirtir. Bu açıdan bakıldığında, enerji yoktan var edilemez veya vardan yok edilemez. Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ilkesini ifade eder ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu vurgular (Çengel ve Boles, 1999).

### **2.2. Sürekli Akışlı Açık Sistemler**

Sürekli akışlı açık sistemde, akışkanın kontrol hacminden sürekli bir akışı vardır. Akışkanın özellikleri, kontrol hacmi içinde bir noktadan diğerine farklılıklar gösterebilir, fakat verilen bir noktada zamanla değişme olmaz. Sürekli sözcüğü ile zamanla değişmeyen anlamı belirtilmiştir. Türbin, kompresör, kısılma vanaları, difüzör gibi sistemler sürekli akışlı açık sistemlere örnek olarak gösterilebilir.

#### **2.2.1. Sürekli akışlı açık sistemlerde kütle korunumu**

Kütle korunumu doğanın en temel ilkelerinden biridir. Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez. Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam

kütleyle eşit olması gerekir. Birçok girişi ve çıkışı olan genel bir sürekli akışlı açık sistem için, kütle korunumu ilkesi aşağıdaki gibidir (Çengel ve Boles, 1999).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda kontrol} \\ \text{hacmine giren toplam kütle} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda kontrol} \\ \text{hacminden çıkan toplam kütle} \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

Veya

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\checkmark \text{ (kg/s)} \quad (2.2)$$

Burada g indisi girişi,  $\checkmark$  indisi de çıkışı simgelemektedir (Çengel ve Boles, 1999).

### 2.2.2. Sürekli akışlı açık sistemlerde enerjinin korunumu

Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacminin toplam enerjisi sabittir ( $E_{KH} = \text{sabit}$ ). Böylece kontrol hacmindeki toplam enerjisindeki değişim sıfır olur ( $E_{KH} = 0$ ). Bundan dolayı tüm biçimlerde (ısı, iş ve kütle) kontrol hacmine giren enerji miktarı kontrol hacminden çıkan enerji miktarına eşittir. Sürekli akışlı açık sistemler için termodinamiğin birinci yasasına göre enerji korunum ilkesi aşağıda verilmiştir (Çengel ve Boles, 1999).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda} \\ \text{ısı veya iş olarak} \\ \text{sınırları geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{kontrol hacminden} \\ \text{çıkan toplam enerji} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{kontrol hacmine} \\ \text{giren toplam enerji} \end{array} \right\} \quad (2.3)$$

Veya

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\checkmark \theta_\checkmark - \sum \dot{m}_g \theta_g \quad (2.4)$$

Burada,  $\theta$  akış işi de içinde olmak üzere akışkanın birim kütlelerinin toplam enerjisidir.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \left( h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (\text{kW}) \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'te giriş ve çıkış arasında kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilebilir. Bu kabuller altında sürekli akışlı açık bir sistem için Termodinamiğin birinci yasası ifade edilmiş olur;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c h_c - \sum \dot{m}_g h_g \quad (2.6)$$

### 2.3. Trijenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi

Trijenerasyon sisteminde çevresi ile arasında ısı ve iş alışverişi gerçekleşen makineler kullanılmaktadır. İş alışverişi gerçekleşen makineler türbin, motor, pompa ve kompresör olup çevreyle yapılan ısı alışverişi ihmal edilebilir. Motorlarda ilave olarak soğutma sırasında yapılan ısı alışverişi vardır. Diğer makinelerde ise iş yapılmaz ısı alışverişi olur. Bu tür makineler için,

$$\dot{Q} = \sum \dot{m}_c h_c - \sum \dot{m}_g h_g \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bir giriş ve bir çıkış olması halinde ve kütle debisinin değişmediği göz önüne alınırsa ( $\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$ ), ısı alışverişi yapan makineler için bu yasa,

$$\dot{Q} = \dot{m}_c h_c - \dot{m}_g h_g = \dot{m} (h_c - h_g) \quad (2.8)$$

Eğer akışkanda faz dönüşümü yoksa ve özgül ısı sabit kabul edilebiliyorsa sürekli akışlı sistem için,

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_c - T_g) \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Kapalı bir sistem için ise (sistemin kütlesi m) bu bağıntı,

$$Q = m c_p (T_c - T_g) \quad (2.10)$$

halini alır.

İş alışverişi gerçekleşen sürekli akışlı açık makinelerde Termodinamiğin birinci yasası,

$$\dot{W} = -\dot{m} (h_c - h_g) \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilebilir. Isı alışverişi olması halinde,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} (h_c - h_g) \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Isı değiştiricileri, karışım odaları gibi makinelerde ısı ve iş alışverişi olmaz veya ihmal edilebilir. Bu durumda Termodinamiğin birinci yasası,

$$\sum \dot{m}_c h_c = \sum \dot{m}_g h_g \quad (2.13)$$

Burada,

- $\dot{Q}$  birim zamanda yapılan ısı alışverişi (W, kW, J/s, kcal/h)
- $Q$  yapılan ısı alışverişi (J, kJ, kWh, ca, kcal)
- $\dot{m}$  akışkanın kütleli debisi (kg/s, kg/h)
- $m$  maddenin kütlesi (kg)
- $\dot{m}_g$  giren akışkanın kütleli debisi (kg/s)
- $\dot{m}_c$  çıkan akışkanın kütleli debisi (kg/s)

$h$	entalpi (kJ/kg)
$h_{\text{ç}}$	çıkan akışkanın entalpisi (kJ/kg)
$h_{\text{g}}$	giren akışkanın entalpisi (kJ/kg)
$T$	sıcaklık (K, C)
$T_{\text{ç}}$	çıkan akışkanın sıcaklığı (K, C)
$T_{\text{g}}$	giren akışkanın sıcaklığı (K, C)
$c_p$	akışkanın veya maddenin özgül ısısı (kJ/kgK, kcal/kgK)

Trijenerasyon tesisinin ısı verimi, sistemde kullanılan net faydalı iş ve ısı enerjilerin toplamının tüketilen enerjiye oranı olarak tanımlanır (Alcántara ve diğ., 2019).

$$\eta_{\text{trig}} = \frac{\dot{W}_{\text{pw}} + \dot{Q}_{\text{b}} + \dot{Q}_{\text{vap}}}{\dot{Q}_{\text{fuel}}} \quad (2.14)$$

Burada  $\dot{W}_{\text{pw}}$ ,  $\dot{Q}_{\text{b}}$ ,  $\dot{Q}_{\text{vap}}$ ,  $\dot{Q}_{\text{fuel}}$  sırasıyla motorda üretilen mekanik enerji, absorpsiyonlu soğutucunun soğutma gücü, sıcak su üretimi için kazanın gücü ve yanan yakıtın enerjisidir (kW).

Trijenerasyon içerisinde oluşturulan absorpsiyonlu soğutma sisteminde sistemin performans katsayısı (STK) faydalı enerji ile harcanan enerjiye oranı ile bulunur.

Soğutma tesir katsayısı (STK) (2.15) bağıntısı ile bulunur.

$$\text{STK} = \frac{\dot{Q}_{\text{b}}}{\dot{W}_{\text{p}} + \dot{Q}_{\text{j}}} \quad (2.15)$$

Burada  $\dot{Q}_{\text{b}}$ ,  $\dot{W}_{\text{p}}$ ,  $\dot{Q}_{\text{j}}$  sırasıyla absorpsiyonlu soğutucunun soğutma gücü, soğutma makinesinde kullanılan pompaların toplam gücü ve soğutma makinesine verilen ısı gücüdür (kW).



## 2.4. Trijenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Ekonomik analiz, istenen ekonomik koşullara dayalı karşılaştırma ve karar verme tekniklerini içerir. Yeni ekipman satın alırken, yeni bir yatırım veya projeye başlarken şirketlerin projenin fizibilitesini doğrulaması gerekir. Bu amaçla çeşitli ekonomik karar verme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu analizin doğru bir şekilde yapılabilmesi için tüm ilk yatırım maliyetleri ve bakım maliyetleri dikkate alınır. Bir sistemin sermaye yatırımı maliyeti, kurulum sırasında sistem bileşenlerinin toplam maliyetine eşittir. Dikkate alınan yatırım maliyetinin ana bileşenleri; jeneratör, atık ısı geri kazanım kazanı ve absorpsiyonlu soğutucu maliyeti, kurulum ve devreye alma maliyeti, kontrol ekipmanı, iletim ve dağıtım maliyetidir. Yatırım maliyetinin ana bileşenleri üretici firma ve montaj ekipleri tarafından verilen tekliflerden alınmıştır.

Trijenerasyon sisteminin ekonomik uygulanabilirliğini doğrulamak için, farklı zaman noktalarında paranın değerinin değerlendirilmesine ve karşılaştırılmasına izin veren ekonomik parametrelere dayalı bir finansal model uygulanmaktadır. Ekonomik değerlendirme için geri ödeme süresi yöntemi ve net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. Yatırım maliyetleri sistemin inşasının başlangıcında, sistemin işletme maliyetleri ise ekipmanın kullanım süresi boyunca harcanmaktadır. Bu nedenle, daha iyi bir karşılaştırma için, tüm bu maliyetlerin çalışılan senaryolarla uyumlu hale getirilmesi gerekir. Net bugünkü değer yöntemi, bu sorunu tüm maliyetlerin eşitlenmesiyle çözer. Yatırımcıların geri ödeme süresinin farkında olması önemlidir. Projenin finansal fizibilitesinin analizine yardımcı olan ekonomik parametreler şu şekilde gösterilmektedir (Alcântara ve diğ., 2019).

$$NBD = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1-i)^t} - I_0 \quad (2.16)$$

Ayrıca ilk yatırım ile bu yatırımın projedeki değerinin girişimci tarafından geri kazanılması arasındaki süre, geri ödeme süresi ile bulunabilmektedir. Geri ödeme

süresinin geleneksel bir şekilde hesaplanması, projelerin ekonomik karşılaştırması için yaklaşık ve hızlı bir yöntemdir ve ilk yatırımın yıllık gelirlerle dengelenmesi için gereken süreyi içerir.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 - IRR)^t} - I_0 \quad (2.17)$$

$$GÖS = t \text{ ise } \sum_{t=0}^n CF_t = I_0 \quad (2.18)$$

## 2.5. Kaynak Araştırması

Emho'nun (2003) çalışmasında belirttiği gibi, ilk trijenerasyon tesisi 1980'lerin başında Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulmuştur. Bu teknoloji sayesinde ısı ihtiyacının yanı sıra soğutmaya ihtiyaç duyan tesis, bina ve özellikle sanayi kuruluşlarında talepleri karşılayabilecek yüksek verimli çözümler elde edilmiştir. Trijenerasyon uygulamaları tüm dünyada giderek daha yaygın hale gelmektedir. Trijenerasyon sistemleri yüksek verimli enerji dönüşümlerinden (Tassou ve ark. 2007, Maidment ve Prosser 2000, Maidment ve ark. 2001) dolayı konut binaları (Bianchi ve ark. 2012, Ebrahimi ve ark. 2012), ofis binaları (Cardona ve Piacentino 2003), süpermarketler (Sugiarttha ve ark. 2009), ticari ve gıda endüstrileri (Bassols ve ark. 2002) gibi farklı alanlarda geniş bir kapasite yelpazesine ve uygulama alanlarına sahiptir. Enerji ve ekonomik analizler (Chicco ve Mancarella 2007, Temir ve ark. 2004, Zhao ve ark. 2010), ekserji analizi (Cardona ve Piacentino 2006, Deng ve ark. 2008), sistem optimizasyonu (Oh ve ark. 2007, Ren ve ark. 2008, Wakui ve Yokoyama 2011) ve kirlilik emisyonu (Mago ve Smith 2012) gibi farklı faktörlerin etkisini hesaba katan birçok akademik çalışma (Arcuri ve ark. 2007, Ge ve ark. 2009, Nami ve Anvari-Moghaddam 2020, Gao ve ark. 2008, Huicochea ve ark. 2011) bulunmaktadır. Bu bağlamda yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Maidment ve Tozer (2002), tipik bir süpermarketin soğutma, ısıtma ve güç gereksinimlerini açıklamış ve bunları enerji tasarrufu, maliyet analizleri açısından geleneksel süpermarket teknolojisi ile karşılaştırmıştır. Düşük maliyetli lityum-bromür absorpsiyonlu soğutucu kullanılan beş farklı trijenerasyon şeması araştırılmıştır. Çalışmalarının sonucunda, kısa ve orta vadede trijenerasyon sisteminin, geleneksel ısı ve güç sistemlerine kıyasla önemli miktarda birincil enerji, CO<sup>2</sup> tasarrufu ve kısa bir geri ödeme süresi sağladığı görülmüştür.

Minciuc ve ark. (2003) trijenerasyon sistemini termodinamik olarak araştırmıştır. Bu çalışmada, trijenerasyon uygulamasında absorpsiyonlu soğutmanın önemi ve enerji verimliliğine etkisi gösterilmiştir.

İster ve Koyun (2006) çalışmalarında trijenerasyon ve kojenerasyon sistemlerinde elektrik enerjisi üretimine ek olarak atık ısının kullanım yerlerini ve yöntemlerini ortaya koymuştur. Absorpsiyonlu soğutmanın trijenerasyon sistemine entegrasyonu ve kullanım alanları belirtilmiştir. Mevcut bir fabrikada kullanılması muhtemel trijenerasyon sisteminin analizi ve fizibilitesi yapılmıştır.

Kaynaklı ve Kılıç'ın (2007) çalışmalarında, LiBr/H<sub>2</sub>O kullanan absorpsiyonlu soğutma döngüsünün detaylı bir termodinamik analizi yapılmıştır. Isı eşanjörünün çalışma sıcaklığının ve etkinliğinin bileşenlerin ısı yükleri üzerindeki etkileri, performans katsayıları ve verimlilik oranı araştırılmıştır.

Di Pietra (2007), Citterio ve Di Pietra (2008) dört farklı İtalyan iklim bölgesinde bulunan iki farklı çok aileli eve entegre bir içten yanmalı motor kullanılan kojenerasyon ünitesinin performansını simüle etmiştir. Simülasyonlar, kojenerasyon sisteminin bir doğalgaz kazanı ve merkezi elektrik şebekesinden oluşan geleneksel bir sisteme kıyasla hem birincil enerji tüketimini hem de karbondioksit emisyonlarını (özellikle soğuk iklimlerde) azaltabildiğini göstermiştir.

Pulat ve ark. (2009), Bursa'daki tekstil endüstrisinde özellikle boyama işleminden elde edilen atık ısının potansiyelini değerlendirmiştir. Sudan suya borulu ısı değiştiricili atık ısı geri kazanım sistemlerinde etkili çalışma koşullarını optimize etmek için ekserji temelli bir yaklaşım gerçekleştirilmiş ve termodinamik analizi yapılmıştır. Atık ısı geri kazanım sistemleri kullanılarak enerji tüketimlerinin azaltılabildiği gösterilmiştir.

Haberdar'ın çalışmasında (2009), ilaç üretimi yapan bir tesiste, iki farklı durum için trijenerasyon sistemin tasarımı ve sistem yatırımının fizibilitesi yapılmıştır. Sistemin ana ekipmanlarından olan buhar kazanı ve absorpsiyonlu soğutma sisteminin yedekli olarak kurularak, bir arıza halinde tesisin çalışmaya devam etmesini sağlayacak şekilde ve aynı ekipmanların yedeksiz kurularak bir arıza halinde tesis üretim kapasitesi yarıya düşürülecek şekilde yatırım fizibiliteleri değerlendirilmiştir. Ayrıca trijenerasyon sisteminin termoekonomik analizi yapılarak, ekipmanlarda yapılabilecek iyileştirmeler konusunda değerlendirmeler yapılmıştır.

Arteconi ve ark. (2010) mikro üretim tesislerini enerji, evre ve ekonomik açılardan tasarlamak, değerlendirmek ve optimize etmek için bir model geliştirmiştir. Model, farklı mikro kojenerasyon teknolojilerini karşılaştırmak için bir İtalyan konut uygulamasında test edilmiştir. Geleneksel sistemle kıyaslandığında, doğal gazla beslenen mikro kojenerasyon sisteminin hem birincil enerji tüketiminin (%10'dan % 25'e) hem de yıllık CO<sup>2</sup> emisyonlarının (% 5'ten % 20'ye) azaldığı görülmüştür.

Özkok (2010) alışmasında Ankara Sheraton Otel ve Konferans Merkezinin işletme ve tesisatı incelenmiş, otelin mimari ve teknik özelliklerine uygun enerji verimliliği projeleri tasarlanmıştır. Bu projelerde, trijenerasyon sistemi ile elektrik üretmek ve sistemin atık ısıyla kışın ısıtma, yazın soğutma yapmak, güneş enerjisiyle kullanma sıcak suyu elde etmek için güneş kolektörü sistemi kurmak, mevcut ısıtma kazanlarına ekonomizör takarak kazan dönüş suyunu ısıtmak, otelin lobi klima santrali dönüş havası ile otoparkları iklimlendirmek, restoran ve toplantı odaları klima santralleri dönüş havası ile mutfakları iklimlendirmek, tesisattaki vanalara vana ceketleri ile ısı izolasyonu yapmak, ısıtma kazanlarının dış yüzeylerine ısı izolasyonu yapmak, enerji verimli ampuller kullanarak

aydınlatma için kullanılan enerjiyi azaltmaktır. Tasarlanan bu sistemlerin analizleri yapıldığında enerji verimli sistemler oluşturulduğu aynı işi yapan eski tasarımlara göre enerji tüketiminde azalma elde edildiği gözlenmiştir.

Al-Sulaiman ve ark. (2011) farklı ana taşıyıcılara sahip çeşitli trijenerasyon sistemlerinin özellikleri incelemiştir. İçten yanmalı motorlu trijenerasyon sistemlerinin en yaygın ve köklü tipler arasında olduğunu belirtmiştir.

Ilık'ın çalışmasında (2012) doğalgaz yakıtı ile çalışan bir trijenerasyon sisteminin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Kojenerasyon sisteminin termodinamik analizi sonucunda en fazla ekserji kaybının yaşandığı üniteler %32 yoğuşturucu, % 25 yanma odası, % 23'lede atık ısı kazanında olduğu ve absorpsiyonlu soğutma sisteminde ise % 37 kondenser % 31 generatör ve % 18 evaporatörde olduğu tespit edilmiştir. Öncelikle en fazla ekserji kaybının yaşandığı ünitelerde iyileştirme yapılması gerektiği görülmüş ve olası çözüm yolları sunulmuştur.

Rodriguez-Aumente ve ark. (2013) enerji ve ekonomik açıdan Madrid iklim koşullarında bir ofis binasına uygulanabilen içten yanmalı bir motorla çalışan bir trijenerasyon tesisini inceledi. Tesisin elektrik, ısıtma ve soğutma talepleri belirlendikten sonra doğalgazla beslenen pistonlu içten yanmalı motora dayalı trijenerasyon tesisi ve absorpsiyonlu soğutucunun boyutlandırılması yapıldı. Bölgedeki yüksek güneş radyasyonu nedeniyle, sıcak su üretmek için bir termal güneş kolektörü kullanılması önerildi ve bu güneş ısısı, ısıtma talebinin bir kısmını kış aylarında da karşıladı. Son olarak, yıllık kârı ve geri ödeme süresini belirlemek için bir ekonomik analiz yapıldı.

Rosato ve ark. (2013) TRNSYS yazılımı kullanılarak İtalya'daki bir konut için uygulanabilecek, doğal gazla çalışan binaya entegre mikro kojenerasyon sisteminin performansını simüle etti. Bu sistem geleneksel bir sistemle karşılaştırıldığında, birincil enerji tüketimi karbondioksit emisyonları açısından daha uygun görülürken, işletme maliyetleri açısından daha az avantajlı görülmüştür.

Açıklık (2013) çalışmasında Eskişehir Organize Sanayi Bölgesinde bulunan bir doğal gaz yakıtlı, gaz türbinli bir elektrik üretim tesisi ve çift yakıtlı motorlu bir trijenerasyon tesisi için geleneksel ekserji, geleneksel eksergoekonomik, ileri ekserji ve ileri eksergoekonomik yöntemlerle performans değerlendirmesi yapmıştır. İleri ekserji ve eksergoekonomik analizler uygulanarak geleneksel ekserji temelli yöntemlerin eksik kaldığı yönlerin ya da onların neden olduğu yanlış yönlendirmelerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Ekinci (2013) çalışmasında Erzurum Sağlık Kampüsü için trijenerasyon sisteminin uygulanabilirliğini araştırmak ve inşa edilebilirliğini belirleyebilmek için etkin ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Söz konusu sağlık kampüsünün yapımı henüz tamamlanmadığı için hastanenin yıl boyunca talep edeceği enerji miktarı tahmin edilerek trijenerasyon sistemin en etkin şekilde çalışmasını sağlayan bir simülasyon sistemi oluşturulmuştur. Sonuçlara göre sistemin çalışma periyodu göz önüne alınarak oluşturulan gelir-gider tablosu sayesinde sistemin geri ödeme süresi 2,97 yıl olarak bulunmuştur.

Timur'un çalışmasında (2013) Çukurova Üniversitesinde kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %40-45'ini tüketen Balcalı Hastanesi'ndeki mevcut durum incelenerek yapılması gereken enerji tasarrufu ve verimlilik artırıcı çalışmalar, geri ödeme süreleri hesaplanarak verilmiştir. Elektrik faturalarının analizi ve takibi, tarife değişikliği kontrolü ve aktif-reaktif güç oranlarından dolayı ceza ödememek için oran kontrolü yapan bir yazılım programı geliştirilmiştir. Mevcut sistem ve tüketim miktarları üzerinde yapılan incelemeler sonucunda %36 oranında tasarruf edilebileceği öngörülmüştür.

Zhao ve ark. (2014) Çin'deki bir tren istasyonu için trijenerasyon sisteminin tasarımını, çalışmasını inceledi ve enerji verimliliği seviyesini analiz etti. Yapılan analizler sonucunda sistem, yüksek verimli trijenerasyon sistemi olarak kabul edilmiş ve trijenerasyon sistemlerinin tasarımı ve değerlendirilmesi için bir referans gösterilmiştir.

Rosato ve ark. (2014) kış aylarında üç katlı çok aileli bir binada entegre edilen mikro kojenerasyon sisteminin performansını hem çevresel hem de ekonomik performans açısından TRNYS simülasyon yazılımı ile incelemiş ve geleneksel sistemle karşılaştırmıştır. En önemli sınır koşullarının sistemin çevresel ve ekonomik performansı üzerindeki etkileri 32 simülasyon çalıştırılarak analiz edilmiştir (üç hacim sıcak su deposu, dört farklı İtalyan şehrine (Palermo, Napoli, Roma ve Milano şehirlerine karşılık gelen dört farklı iklim bölgesi), iki elektrik talep profili ve iki mikro-kojenerasyon ünitesi kontrol stratejisi). Sonuç olarak, önerilen sistem referans sisteme kıyasla hem çevresel hem de ekonomik olarak uygulanabilir. En büyük sıcak su rezervuarı hacmi, önerilen sistemin karbondioksit emisyonlarının yanı sıra işletme maliyetlerini de en aza indirmiş ve elektrik talep profiline bakılmaksızın bina Milano'dayken en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Fong and Lee (2014), TRNSYS dinamik simülasyonunu kullanarak Hong Kong'daki yüksek katlı bir ofis binasındaki içten yanmalı motorlara dayalı (üç tip ana taşıyıcı, yani dizel yakıtla çalışan dizel motor, doğal gazla çalışan gaz motoru ve benzinli gazla çalışan gaz motoru) trijenerasyon sistemlerinin performanslarını analiz ettiler. Sonuçları, toplam birincil enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları açısından şebeke elektriği ile çalışan geleneksel sistem ile karşılaştırdılar. Doğal gazla çalışan sistemin toplam karbondioksit emisyonları, diğer sistemlere göre daha düşük olduğunu gösterdiler.

Yazman (2015) çalışmasında bina ihtiyacına en uygun kapasitede bir trijenerasyon sistemi modellemiş ve sistemin termodinamik, ekonomik analizleri yapılarak sistemin geri ödeme süresi 3,22 yıl olarak bulunup, üniversiteye kurulumu gerçekleştirilmiştir. Yapılan termodinamik analiz; sistemde olan kayıpların ve sistem içerisinde tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji yıkımlarının yeri ve miktar hesaplarını da kapsayacak şekilde detaylandırılmıştır. Bu hesaplamalar ile sistemde yapılacak öncelikli iyileştirme yerleri belirlenmiştir.

Murugan ve Horák (2016) konut uygulamaları için kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde yürütülen araştırma çalışmalarlarıyla ilgili çok sayıda makalenin bir

incelemesini yayınlarken, sistemlerde kullanılan her bir birincil motorun veya enerji dönüşürme cihazının ana özelliklerini vurgulamıştır.

Kısakesen'in çalışmasında (2016) KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin karşılaştırılması, ekonomik analizi yapılmış ve sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin geri ödeme süreleri trijenerasyon sistemi için 3,1 yıl ve kojenerasyon sistemi için 2,78 yıl olarak bulunmuştur.

Hergül'ün çalışmasında (2016) elektrik ihtiyacını tamamen şebekeden sağlayan, buhar ihtiyacını ise doğalgaz yakıtlı kazanlardan sağlayan endüstriyel bir tesise trijenerasyon sistemi kurulması durumu için enerji, çevre ve ekonomik analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde ve literatür verileri ışığında, %12,96 birincil enerji tasarrufu sağlandığı görülmüş ve elde edilen sonuçlar ile tasarruf potansiyeli ortaya konulmuştur.

Sibilio ve ark. (2017) İtalya'nın farklı iklim bölgelerindeki üç farklı İtalyan kentindeki (Palermo, Naples, and Milan) binalar için TRNSYS simülasyonları aracılığıyla binaya entegre edilmiş bir mikro trijenerasyon sisteminin (ısıtma amaçlı ve kullanım sıcak suyu üretimi için doğalgaz yakıtlı içten yanmalı motor mikro kojenerasyon ünitesi) yıllık çalışmasını araştırdı ve önerilen sistemin performansını ayrı enerji üretimine dayalı geleneksel bir sistemle karşılaştırdı. Basit geri ödeme süresinin ancak binanın Milano'da olması durumunda kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir.

Kaya (2017) yağlama yağı soğutma suyu atık ısısından faydalanılmayan sistemin, bu atık ısısının, plakalı eşanjörler ve kullanım suyu yardımıyla geri kazanılması ve akümülyasyon tankında geçici depolanarak sirkülasyon pompaları vasıtası ile boyler sisteminde ön ısıtma olarak kullanılmasıyla sistemin enerjiden yararlanma oranının artırılması üzerinde çalışmıştır.



Çetin'in (2017) çalışmasında, Edirne ilinde kurulacak 300 yataklı kamu hastanesinde enerji verimliliğini üst düzeyde kullanabilmek amacı ile tesis edilen trijenerasyon santralının teknoekonomik analizi yapılmış, santralin sistem yapısının özellikleri incelenmiş ve santralin kurulum, montaj ve devreye alma safhaları irdelenerek iş akış diyagramları oluşturulmuştur. Kojenerasyon/trijenerasyon sistemlerinin ekonomik bir şekilde çalışabilmesi için şebeke elektriği bağlantısı, yardımcı kazan ve elektrikle çalışan mekanik soğutma sistemlerinin maliyetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Abbasi ve ark. (2018) bir konutun elektrik, ısıtma ve soğutma ihtiyaçları için bir kojenerasyon sistemi tasarladı ve bunu geleneksel sistemle karşılaştırdı. Üç tip gaz motoru, dizel motor ve gaz türbinli ana taşıyıcıların enerji, ekserji ve ekonomik açılardan altı farklı kombinasyonu incelendi. Sonuç olarak, gaz motorlu ve dizel motorlu hibrid ana taşıyıcı, en yüksek enerji ve ekserji verimliliğine, en düşük yakıt tüketimine, en düşük toplam maliyete ve en kısa geri ödeme süresine sahip olduğu görüldü ve en iyi seçenek olarak kabul edildi.

Çelik'in çalışmasında (2018) parabolik güneş kolektörü kullanılarak Isparta şartlarında yer alan bir konutun elektrik, ısıtma ve soğutma ihtiyacının karşılanabilirliği araştırılmıştır ve sistemin termoeconomik analizi yapılmıştır. Ayrıca trijenerasyon sistemindeki tüm ısı değiştiriciler için yapısal bağ katsayısı metodu uygulanarak farklı sıcaklık değerlerine göre optimum çalışma alanları belirlenmiştir. Tasarlanan trijenerasyon sisteminin termodinamik ve termoeconomik analizleri için EES programı kullanılmıştır.

Çeğil'in çalışmasında (2018) örnek uygulamalar ile kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerin enerji ve ekonomik analizleri yapılmış, sistemler ve elemanları hakkında bilgi verilmiştir. Bu kapsamda, Erzurum şartlarında tasarlanan bir örnek üzerinden kojenerasyon sisteminin kullanılabilirliği incelenmiş ve sistemin ekonomik analizi yapılmış, geri ödeme süresi yaklaşık 3 yıl olarak bulunmuştur. Ayrıca, Et ve Süt Kurumu Erzurum Kombina Tesisinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere bir trijenerasyon

sisteminin kullanılabilirliği araştırılmış ve geri ödeme süresi yaklaşık 4 yıl olarak bulunmuştur.

Kandemir ve Avcı (2019) yaptıkları tez çalışmasında bir tesisin trijenerasyon sistemini termodinamik açıdan incelemişlerdir. Bu tesis uygulamasında trijenerasyon sisteminin, yatırım ve işletme maliyetleri belirlenmiştir. Geri ödeme süreleri ile sistemin uygulanabilir olup olmadığı irdelenmiştir.

Alcântaraa ve ark. (2019), bir dondurma fabrikasında bir içten yanmalı motor, bir ev tipi ısı geri kazanım ünitesi, soğutulmuş su üretmek için bir LiBr/H<sub>2</sub>O kullanan absorpsiyonlu soğutucu ve buhar üretmek için kazandan oluşan bir sistemin enerji ve finansal analizini sundu. Yaptıkları alışmalar sonucunda trijenerasyon teknolojisinin mükemmel bir teknik performansa sahip olduğu, ancak cazip finansal sonuçlar vermediği ifade edilmiştir.

Üstüntaş (2019) Diyarbakır kadın doğum ve ocuk hastalıkları hastanesinde kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinden hangisinin uygulanmasının daha verimli olacağı, verim-maliyet analizi ilişkisinin kurulması mevsimlik tüketimlerin değerlendirilmesi ile benzer uygulamalar için yapılacak hesaplamalarda izlenmesi gereken yolları açıklamıştır. Kojenerasyon sistemi için geri ödeme süresinin 2,04 yıl olduğu, eklenen soğutma grubundan kaynaklı trijenerasyon sistemi için ise 2,46 yıl olduğu tespiti yapılmıştır.

Altun ve Kılıç (2020) yaptıkları çalışmada, TRNSYS yazılımını kullanarak güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi modellemiştir. Sistemin performansı, farklı hava koşullarında dinamik modelleme kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca, optimize edilmiş sistemlerin geri ödeme süresi ve seviyelendirilmiş soğutma maliyeti incelenmiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Günümüzde tesislerin sürdürülebilirliği en önemli gelişmişlik göstergesidir. Sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi içinde enerji vazgeçilmez bir unsurdur. Tesislerin sürdürülebilirliği için de enerjisini kendisinin üretebilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda bu çalışma da Bursa ilinde bulunan otomotiv yan sanayi için motorların ısı kalkanları ve yakıt hortumları üreten bir tesisin elektrik, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılayabilen bir doğalgazlı trijenerasyon sistemi değerlendirilmiştir.

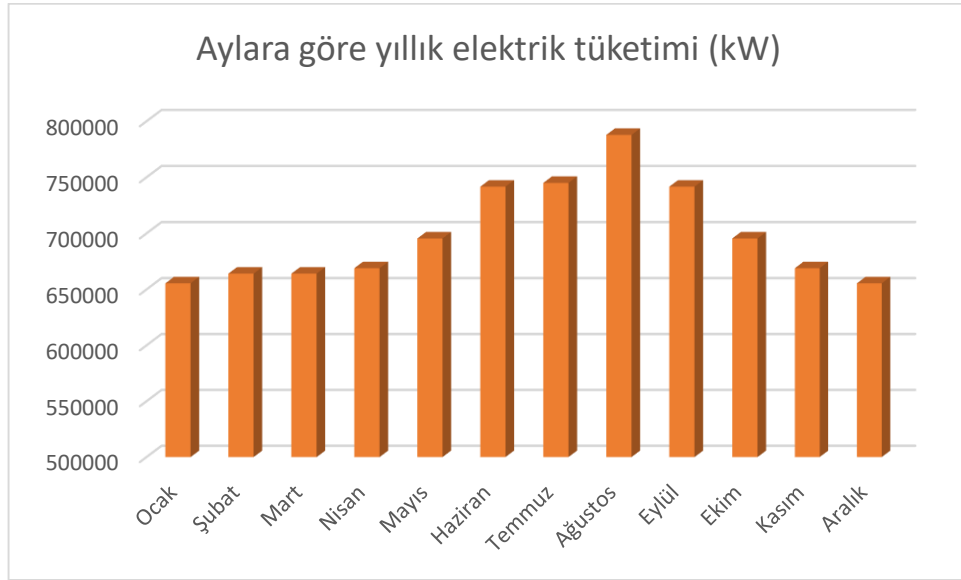
Yakıt maliyetinin ucuzluğu, kontrol mekanizmasının kolaylığı ve il bazında yaygınlaşmış kullanımının da bulunması sebebi ile gaz motoru kullanılarak elektrik üretimi sağlanacaktır. Motorun atık ısıları konfor ısıtması ve proseste kullanılacaktır. Ayrıca atık ısının bir kısmı absorpsiyonlu soğutma yoluyla proses soğutmalarında kullanılarak, sistemden maksimum verim alınması hedeflenmektedir. Örnek endüstriyel tesisimizin yıllık elektrik, ısıtma ve soğutma enerjisi giderlerinin tespiti için fizibilite çalışması yapılmıştır. Fizibilite sonucunda ilk aşamada enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için trijenerasyon teknolojilerinin çalışma sistemi oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise sistemlerin karşılaştırılması ve maliyet analizi yapılarak geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

Örnek endüstriyel tesisimizde çalışma saatleri ve vardiyalardaki çalışma yoğunluğuna bağlı olarak elektrik tüketim eğrileri gün içinde saatlere göre değişmektedir. Tesisimizde hafta içi ve cumartesi günü mesai saatlerindeki çalışma yoğunluğuna bağlı olarak neredeyse elektrik enerjisi kullanan donanımların tamamı 01:00–24:00 saatleri arasında çalışır durumda olmaktadır. Tesiste elektrik kullanımı yılın aylarına bağlı olarak da değişiklik arz etmektedir. Özellikle yaz aylarında ihtiyaç duyulan iklimlendirme uygulamaları elektrik harcamalarının bu zaman diliminde artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden endüstriyel tesisimizin gün içi ve mevsimsel etkilere bağlı olarak elektrik, soğutma ve ısıtma ihtiyaçları değişkenlik göstermektedir.

Otomotiv yan sanayi tesisinde proses ve idari amaçlarla kullanılan elektrik, ısıtma ve soğutma ihtiyacı vardır.

### 3.1. Tesisimizin Elektrik Enerjisi İhtiyacı

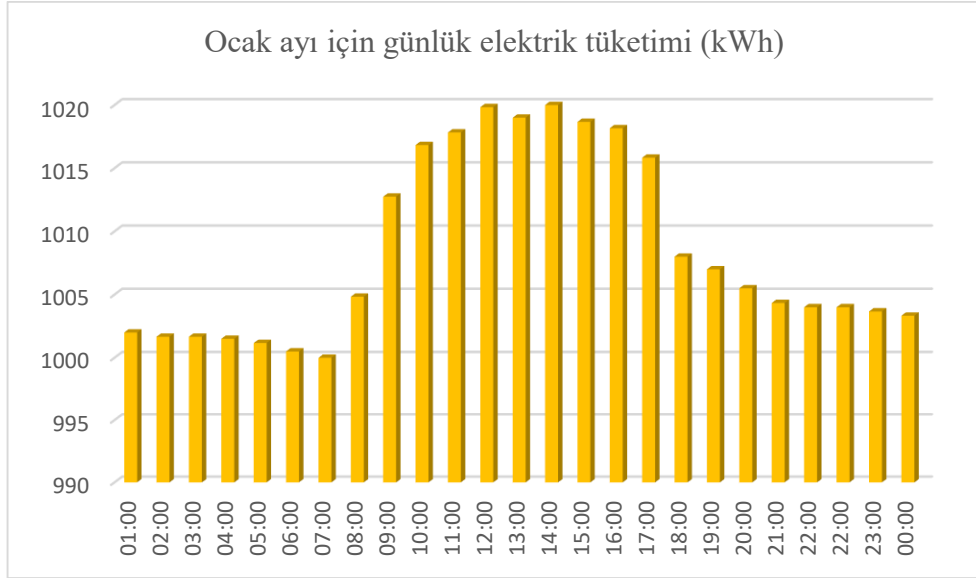
Tesisin yıl boyunca aylık elektrik tüketim verileri incelendiğinde mevsimsel faktörlerin elektrik tüketiminde önemli bir etken olduğu görülmüştür. Elektrik enerjisi ihtiyacı en fazla ağustos ayında görülmektedir. Bu durum, ihtiyaç duyulan iklimlendirme uygulamalarından kaynaklanmaktadır. Saatlik elektrik enerjisi ihtiyacının en düşük olduğu aylar kış aylarıdır. Tesisimizin aylara göre dağılmış yıllık elektrik ihtiyaçları Şekil 3.1’de verilmiştir.



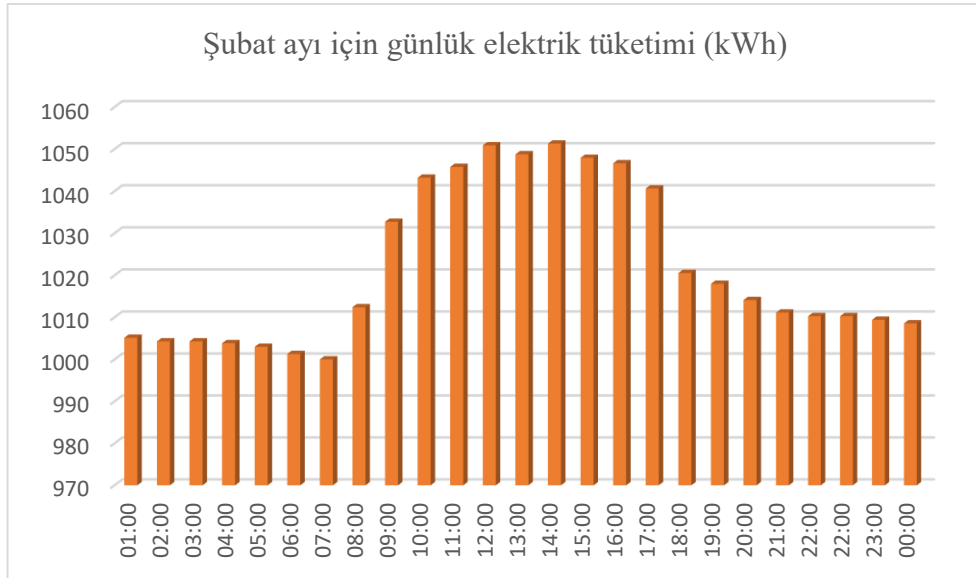
**Şekil 3.1.** Tesisimizin yıllık elektrik tüketim miktarı

Tesisin aylık elektrik ihtiyacı incelendiğinde Şekil 3.1’de verilen tüketim verilerine göre aylık minimum elektrik tüketiminin ocak ayında, aylık maksimum elektrik tüketiminin ağustos ayında gerçekleştiği görülmüştür. Şekilde görüldüğü üzere her ay elektrik tüketimi değişmektedir. Bundan dolayı aylara göre saatlik elektrik enerjisi ihtiyaçları dağılımları aşağıdaki gibi sırasıyla verilmiştir. Tesisimizin elektrik tüketim verileri ocak

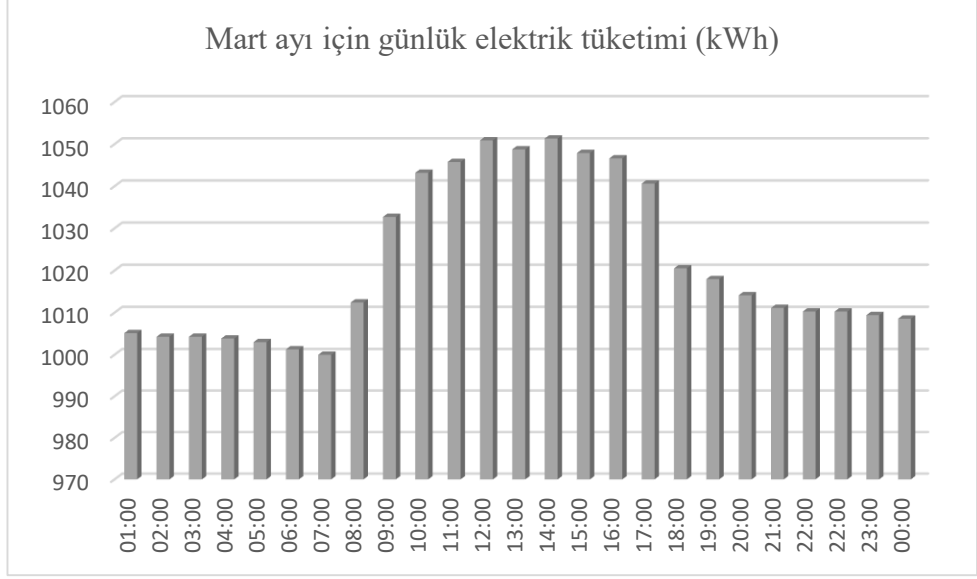
(Şekil 3.2), şubat (Şekil 3.3), mart (Şekil 3.4), nisan (Şekil 3.5), mayıs (Şekil 3.6), haziran (Şekil 3.7), temmuz (Şekil 3.8), ağustos (Şekil 3.9), eylül (Şekil 3.10), ekim (Şekil 3.11), kasım (Şekil 3.12), aralık (Şekil 3.13) aylarına ait tüketim değerleri verilmiştir.



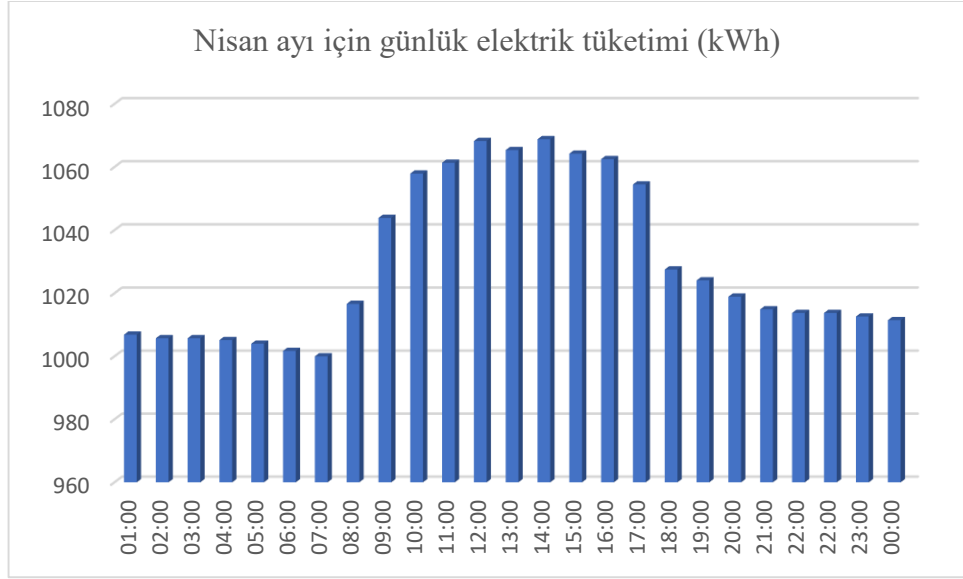
Şekil 3.2. Tesisimizin ocak ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



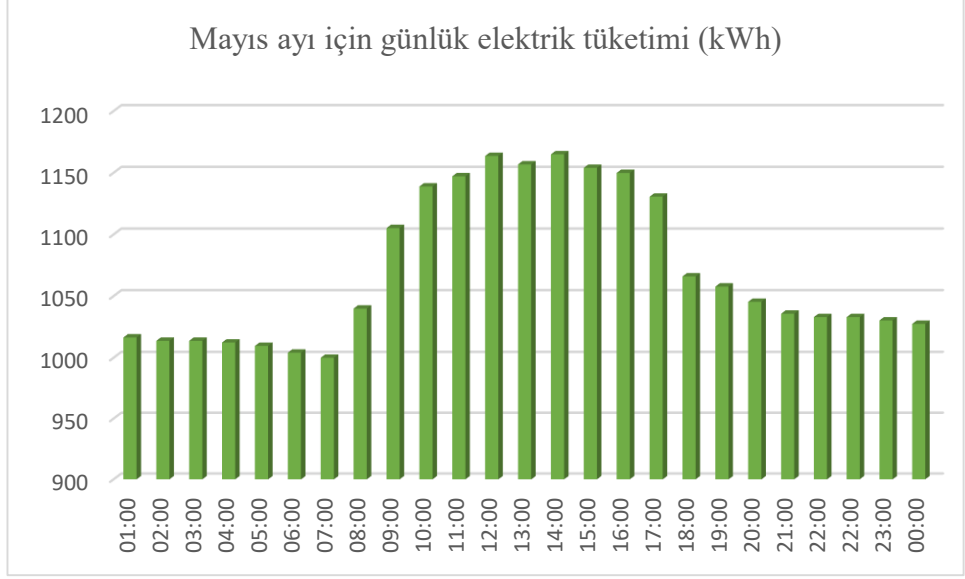
Şekil 3.3. Tesisimizin şubat ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



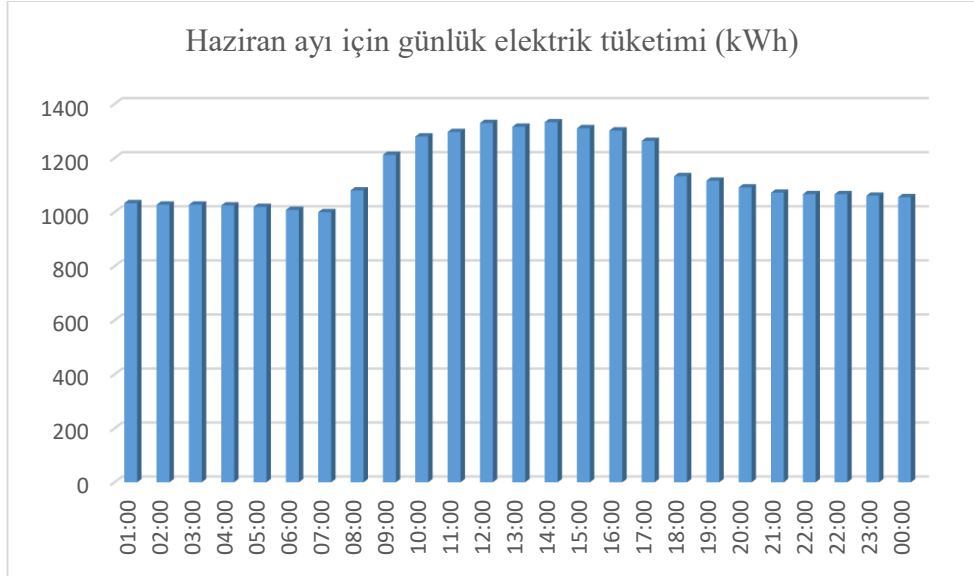
**Şekil 3.4.** Tesisimizin mart ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



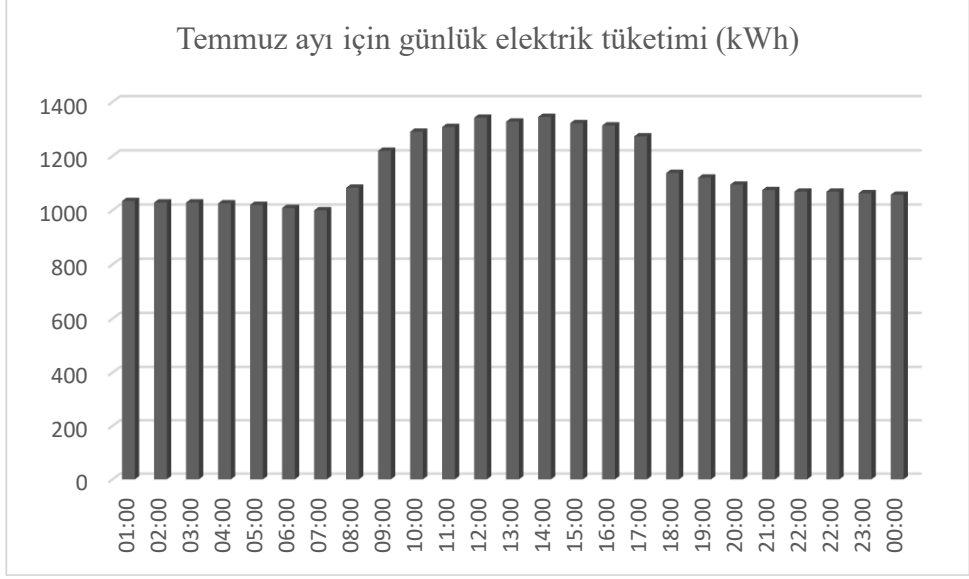
**Şekil 3.5.** Tesisimizin nisan ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



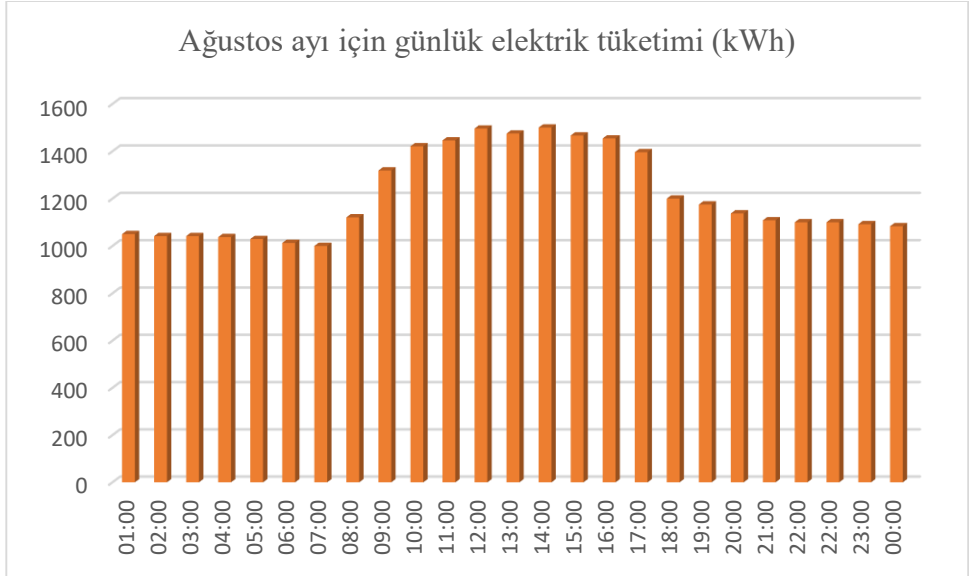
**Şekil 3.6.** Tesisimizin Mayıs ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



**Şekil 3.7.** Tesisimizin Haziran ayı için günlük elektrik tüketim miktarı

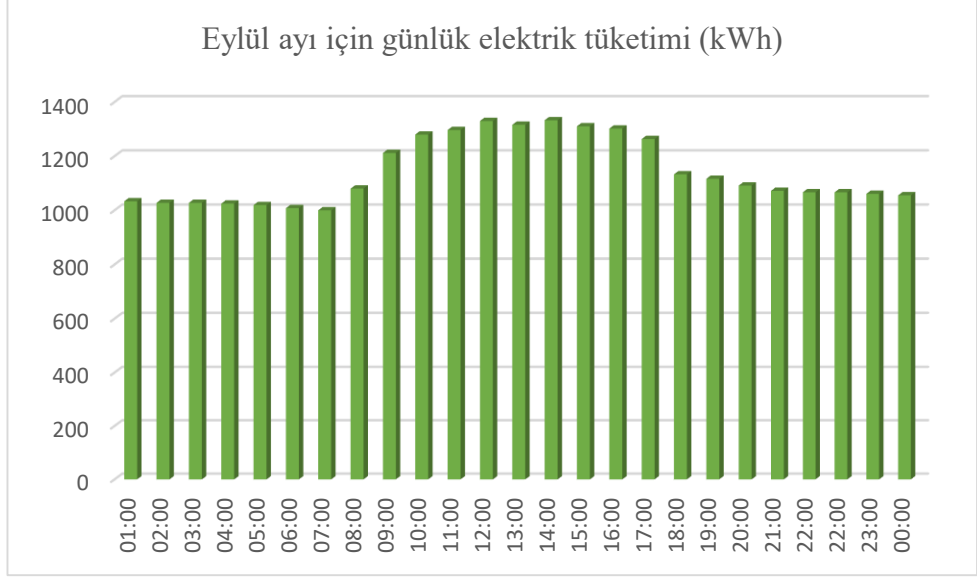


**Şekil 3.8.** Tesisimizin temmuz ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



**Şekil 3.9.** Tesisimizin ağustos ayı için günlük elektrik tüketim miktarı





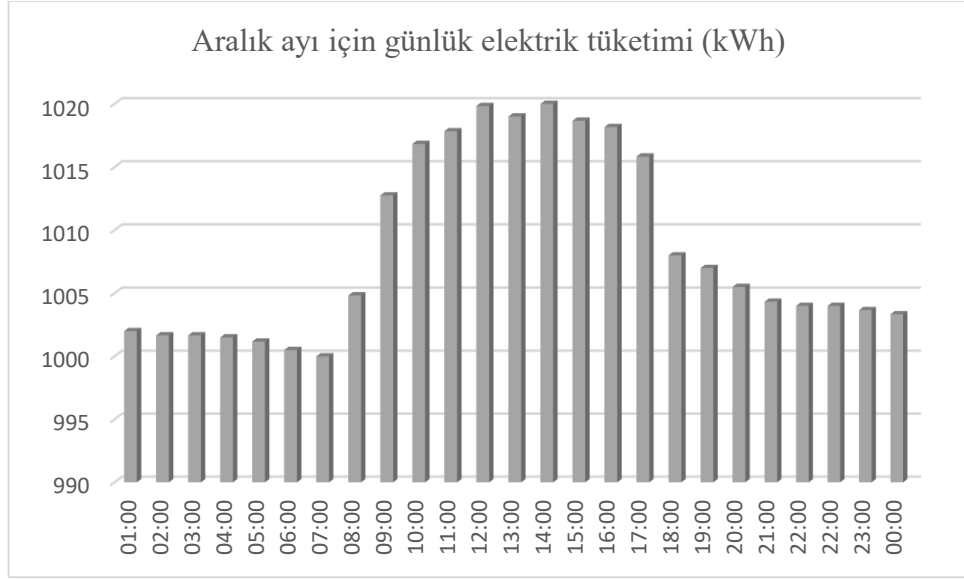
**Şekil 3.10.** Tesisimizin eylül ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



**Şekil 3.11.** Tesisimizin ekim ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



**Şekil 3.12.** Tesisimizin kasım ayı için günlük elektrik tüketim miktarı



**Şekil 3.13.** Tesisimizin aralık ayı için günlük elektrik tüketim miktarı

### 3.2. Tesisimizin Isı Enerjisi İhtiyacı

Otomotiv yan sanayi tesisinde ısı ihtiyacını buhar, havalandırma ısıtması, konfor ısıtması, kullanım sıcak suyu oluşturmaktadır. Trijenerasyon tasarımı için bu ihtiyaçların doğru belirlenmesi çok önemlidir. Daha önce de belirtildiği gibi çalışmada ele alınan endüstriyel tesisin maksimum elektrik talebi 1465 kW ve minimum elektrik talebi 1000 kW'tır. Bu sebeple farklı senaryolarda belirtilen 1067 kW, 1202 kW ve 1498 kW elektrik sağlayan motor tercih edilmiş olup, farklı yüklerde çalışarak santralin elektrik ihtiyacını karşıladığı öngörülmektedir. Bu işlem sırasında ortaya çıkan atık ısı, maksimum verimlilikle Çizelge 3.1'de gösterilen fabrikanın çeşitli yerlerinde kullanılacaktır.

#### Çizelge 3.1. Sistem gereksinimleri

4 adet ısı geri kazanımlı havalandırma cihazı	8.3 kW, 5.5 kW, 15 kW, 4.8 kW
1 adet taze hava santrali	280 kW
1 adet sıcak su boyleri	58 kW
30,8 metre radyatör	71 kW
11 adet buhar form makinesi	430 kW
Tır girişi buz çözücü	102 kW

### 3.3. Tesisimizin Soğutma Enerjisi İhtiyacı

Tesiste on adet buhar form makinesinden çıkan ürünün soğutulması için her birisine 12°C de 1,9 m<sup>3</sup>/h debide soğuk su olmak üzere 121,44 kW'lık soğutma kapasitesine ihtiyaç vardır.

### 3.4. Tesisimiz için Trijenerasyon Sistemi Seçimi ve Elektrik Üretimi

Örnek endüstriyel tesisimizde çalışma saatleri ve vardiyalardaki çalışma yoğunluğuna bağlı olarak elektrik tüketim eğrileri gün içinde saatlere göre değişmektedir. Tesisimizde hafta içi ve cumartesi günü mesai saatlerindeki çalışma yoğunluğuna bağlı olarak neredeyse elektrik enerjisi kullanan donanımların tamamı 01:00–24:00 saatleri arasında çalışır durumda olmaktadır. Tesiste elektrik kullanımını yılın aylarına bağlı olarak da

değişiklik arz etmektedir. Özellikle yaz aylarında ihtiyaç duyulan iklimlendirme uygulamaları elektrik harcamalarının bu zaman diliminde artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden endüstriyel tesisimizin gün içi ve mevsimsel etkilere bağlı olarak elektrik, soğutma ve ısıtma ihtiyaçları değişkenlik göstermektedir.

Tesisimizin elektrik tüketim eğrileri mesai saatlerine ve vardiyadaki çalışma yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Elektrik tüketimi en fazla sabah saat sekiz den akşam saat beşe kadar olan zaman diliminde tüketilmektedir. Bu zaman diliminde elektrik tüketimi sabahtan öğle saatlerine kadar artarak devam etmektedir. Öğle saatlerinde dinlenme zamanına bağlı olarak elektrik tüketiminde biraz düşüş yaşanmaktadır. Öğleden sonra tekrar maksimum seviyelere çıkmaktadır. İkinci vakitlerine doğru yavaş yavaş azalma eğilimine girmektedir. Bu azalma süreci gece yarısı sonrasına kadar devam etmektedir (Çakır 2007).

Tesisimizin enerji ihtiyaçlarının temin edilmesinde öncelikle elektrik talebinin karşılanması amaçlanmıştır. Gaz motorlu trijenerasyon sistemleri; gaz türbinli sistemlere göre daha düşük atık ısı enerjisi sağladığından ve çok çeşitli güçlerde üretilebildiğinden, özellikle elektrik ihtiyacı ısı ihtiyacından daha yüksek olan endüstriyel uygulamalarda optimum çözümdür. Gaz motorları doğal gaz, propan veya biyogaz ile çalışır. Fakat trijenerasyon tesislerinde en yaygın kullanılan yakıt türünün doğalgaz olduğu belirtilmiştir (Jradi ve Riffat, 2014). İster ve Koyun (2006) trijenerasyon tesisinde kullanılan yakıtları incelemiştir. Kojenerasyon tesislerinde kullanılan yakıt türü genellikle doğalgazdır. Doğalgazın ekonomik olması, iyi yanma özelliğine sahip olması, depolama gerektirmemesi ve çevre dostu olması kullanım alanını genişletmektedir. Gaz motorlarının atık ısı kullanımı, bölgede doğalgaz temin etme kolaylığı ve tesis ihtiyaçları ile örtüşen atık ısı kullanım verimliliği nedeniyle tercih edilmektedir.

Tesise kurulacak trijenerasyon sistem kurulumunda şu kriterlere dikkat edilmiştir;

- Sistem seçimi tespit edilirken elektrik ihtiyacının karşılanması öncelik alınmıştır.

- Mevsimsel ve gün içerisinde elektrik tüketim miktarının değişkenlik gösterdiğine dikkat edilmiştir. Bu doğrultuda değişken elektrik ihtiyacı talebinin karşılanmasında gaz motorlu sistem kullanımına karar verilmiştir.
- Sistemde kullanılacak gaz motorlarının üretici firma tarafından belirtilen motor çalışma kapasitelerine dikkat edilmiştir. Çünkü trijenerasyon sisteminin gaz motorlarının, gün içerisinde talep edilen elektrik ihtiyacının düşmesi ile çalışma yükü düşmektedir. Motor yükü %50'nin altına düşmesi sistem verimini oldukça kötü etkilemektedir (Anonymous 2002). Motorların %50 altında bir yüklenme ile çalıştırılması halinde birim güç maliyeti çok fazla artmaktadır ve sistemin çalışma ömrü azalmaktadır. Dolayısıyla kullanılacak motor veya motorlarının %50 yükün altında çalışmasına izin verilmemelidir.

Elektrik tüketimine bakıldığında yıl içinde saatlik maksimum enerji ihtiyacının 1465 kW olduğu ve gün içerisinde prosesin durumuna göre bu ihtiyacın azaldığı ve 1000 kW'ın altına da düşmediği görülmektedir. Motor kapasitesi seçiminde değişik senaryolar incelenecektir.

Tesisimizin elektrik ihtiyacının karşılanması hedef alınmış, bu veriler ışığında örnek endüstriyel tesis projesi için en uygun kapasiteli gaz motoru seçimi ve çalışma yükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Gaz motorlarının kapasitesi ise, günün saatine ve mevsimsel şartlara göre değişen elektrik talepleri doğrultusunda en yüksek ve en düşük elektrik talebini karşılayacak ölçüde farklı senaryolarla belirlenir.

1. Senaryo: Bu senaryoda doğalgaz yakıtıyla çalışan 1067 kW elektrik sağlayan GE Jenbacher TS JMS 320 GS-N.L model motor tercih edilip, tesisin elektrik ihtiyacı minimum düzeyde olsa dahi tam yükte çalışarak elektrik üreteceği öngörülmektedir. Daha fazla güce ihtiyaç duyulduğunda elektrik şebekeden satın alınacaktır.

2. Senaryo: Bu senaryoda doğalgaz yakıtıyla çalışan 1202 kW elektrik sağlayan GE Jenbacher TS JMS 416 GS-N.L model motor tercih edilip, her ay için tesisin günlük ortalama elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır.
3. Senaryo: Bu senaryoda doğalgaz yakıtıyla çalışan 1498 kW elektrik sağlayan GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motor tercih edilip, her ay için motor günlük 3 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır.
4. Senaryo: Bu senaryoda doğalgaz yakıtıyla çalışan 1498 kW elektrik sağlayan GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motor tercih edilip, her ay için motor günlük 2 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır.
5. Senaryo: Bu senaryoda doğalgaz yakıtıyla çalışan 1498 kW elektrik sağlayan GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motor tercih edilip, her ay için tesisin günlük maksimum elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi şebekeye satılacaktır.
6. Senaryo: Bu senaryoda doğalgaz yakıtıyla çalışan 1498 kW elektrik sağlayan GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motor tercih edilip, motor zaman zaman kısmi yükte çalıştırılacaktır.

#### 1. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği dalgalı elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistemde 1067 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, motor tesisin elektrik ihtiyacı minimum düzeyde olsa dahi tam yükte (%100) çalıştırılacaktır. Daha fazla güce ihtiyaç duyulduğunda elektrik şebekeden satın alınacaktır. Bu doğrultuda literatürde katalog bilgileri yer alan gaz motoru üreticilerinin katalog bilgi verileri detaylı olarak incelenmiştir. Sistemde yıl boyunca minimum elektrik enerjisi ihtiyacı 1000 kW'tır. Bu

baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1067 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 320 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçimi üretici firma teknik katalog bilgileri doğrultusunda yapılmıştır. Seçilen gaz motorunun ayrıntılı teknik özellikleri EK-1'de verilmektedir. GE Jenbacher marka, JMS 320 GS-N.L model doğalgaz yakıtlı 1067 kW elektrik üretimi sağlayan motorun teknik verileri Çizelge 3.2'de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** GE Jenbacher JMS 320 GS-N.L motorunun teknik özellikleri

Yük Durumu	%100	%75	%50
Enerjisi Girişi (kW)	2606	2007	1409
Tüketilen Doğalgaz Hacmi (Nm <sup>3</sup> /h)	271	209	147
Elektrik Enerjisi Çıkışı (kW el.)	1067	798	529
Termal Isı Çıkışı (kW)	1209	959	716
Motor Ceket Suyu (kW)	347	317	270
Motor Yağı (kW)	121	109	95
İntercooler 1. kademe (kW)	175	88	21
Egzos Gazı (kW)	566	445	330
İntercooler 2. kademe (kW)	109	79	42

## 2. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği dalgalı elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistemde 1202 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, motor her ay için tesisin günlük ortalama elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerekliğinde tekrar kullanılacaktır. Bu doğrultuda literatürde katalog bilgileri yer alan gaz motoru üreticilerinin katalog bilgi verileri detaylı olarak incelenmiştir. Sistemde günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1201,58 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1202 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 416 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçimi üretici firma teknik katalog bilgileri doğrultusunda yapılmıştır. Seçilen gaz motorunun ayrıntılı teknik özellikleri EK-2'de verilmektedir. GE Jenbacher marka, JMS 416 GS-N.L

model doğalgaz yakıtlı 1202 kW elektrik üretimi sağlayan motorun teknik verileri Çizelge 3.3’de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** GE Jenbacher JMS 416 GS-N.L motorunun teknik özellikleri

Yük Durumu	%100	%75	%50
Enerjisi Girişi (kW)	2795	2154	1512
Tüketilen Doğalgaz Hacmi (Nm <sup>3</sup> /h)	291	224	158
Elektrik Enerjisi Çıkışı (kW el.)	1202	901	599
Termal Isı Çıkışı (kW)	1253	984	717
Motor Ceket Suyu (kW)	326	282	220
Motor Yağı (kW)	158	150	137
İntercooler 1. kademe (kW)	259	121	31
Egzos Gazı (kW)	510	431	329
İntercooler 2. kademe (kW)	83	67	54

Buna göre bu motorların her ay için tesisin talep ettiği elektrik ihtiyacını karşılamak için çalışacakları motor yük değerleri Çizelge 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9’da verilmektedir.



**Çizelge 3.4.** Ocak ve şubat ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Saatler	Ocak ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Şubat ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
01:00	1002	1008,67/ % 83,943	6,670139	56,02778	1005,132	1022,25/ % 85,070	17,11558	143,7673
02:00	1001,667		7,003472		1004,277		17,97091	
03:00	1001,667		7,003472		1004,277		17,97091	
04:00	1001,5		7,170139		1003,849		18,39858	
05:00	1001,167		7,503472		1002,994		19,25391	
06:00	1000,5		8,170139		1001,283		20,96458	
07:00	1000		8,670139		1000		22,24758	
08:00	1004,833		3,836806		1012,402		9,845243	
09:00	1012,75	-4,07986	-80,8854	1032,717	-10,4689	-207,552		
10:00	1016,833	-8,16319		1043,194	-20,9468			
11:00	1017,833	-9,16319		1045,76	-23,5128			
12:00	1019,833	-11,1632		1050,892	-28,6448			
13:00	1019	-10,3299		1048,754	-26,5064			
14:00	1020	-11,3299		1051,32	-29,0724			
15:00	1018,667	-9,99653		1047,899	-25,6511			
16:00	1018,167	-9,49653		1046,616	-24,3681			
17:00	1015,833	-7,16319	1040,628	-18,3808				
18:00	1008	0,670139	24,85764	1020,528	1,719576	63,7847		
19:00	1007	1,670139		1017,962	4,285576			
20:00	1005,5	3,170139		1014,113	8,134576			
21:00	1004,333	4,336806		1011,119	11,12824			
22:00	1004	4,670139		1010,264	11,98358			
23:00	1003,667	5,003472		1009,409	12,83891			
00:00	1003,333	5,336806		1008,553	13,69424			

**Çizelge 3.5.** Mart ve nisan ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Mart ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Nisan ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1006,88	1029,83/ % 85,70	22,94528	192,7356	1014,399	1062,42/ % 88,407	48,02166	403,372
1005,733		24,09194		1011,999		50,4215	
1005,733		24,09194		1011,999		50,4215	
1005,16		24,66528		1010,799		51,62141	
1004,013		25,81194		1008,399		54,02125	
1001,72		28,10528		1003,6		58,82091	
1000		29,82528		1000		62,42066	
1016,627		13,19861		1034,798		27,62308	
1043,86		-14,0347		-278,246		1091,794	
1057,907	-28,0814	1121,192	-58,7709				
1061,347	-31,5214	1128,391	-65,9704				
1068,227	-38,4014	1142,79	-80,3694				
1065,36	-35,5347	1136,791	-74,3698				
1068,8	-38,9747	1143,99	-81,5693				
1064,213	-34,3881	1134,391	-71,97				
1062,493	-32,6681	1130,791	-68,3703				
1054,467	-24,6414	1113,992	-51,5714				
1027,52	2,305278	85,51028	1057,596	4,824665	178,9626		
1024,08	5,745278		1050,397	12,02416			
1018,92	10,90528		1039,597	22,82341			
1014,907	14,91861		1031,198	31,22283			
1013,76	16,06528		1028,798	33,62266			
1012,613	17,21194		1026,398	36,0225			
1011,467	18,35861		1023,998	38,42233			

**Çizelge 3.6.** Mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Mayıs ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Haziran ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1016,5	1071,53/ % 89,163	55,02865	462,2292	1033,25	1144,14/ % 95,194	110,8911	931,4618
1013,75		57,77865		1027,708		116,4327	
1013,75		57,77865		1027,708		116,4327	
1012,375		59,15365		1024,938		119,2036	
1009,625		61,90365		1019,396		124,7452	
1004,125		67,40365		1008,313		135,8286	
1000		71,52865		1000		144,1411	
1039,875		31,65365		1080,354		63,78689	
1105,188		-33,6589		-667,305		1211,969	
1138,875	-67,3464	1279,854	-135,713				
1147,125	-75,5964	1296,479	-152,338				
1163,625	-92,0964	1329,729	-185,588				
1156,75	-85,2214	1315,875	-171,734				
1165	-93,4714	1332,5	-188,359				
1154	-82,4714	1310,333	-166,192				
1149,875	-78,3464	1302,021	-157,88				
1130,625	-59,0964	1263,229	-119,088				
1066	5,528646	205,0755	1133	11,14106	413,2582		
1057,75	13,77865		1116,375	27,76606			
1045,375	26,15365		1091,438	52,70356			
1035,75	35,77865		1072,042	72,09939			
1033	38,52865		1066,5	77,64106			
1030,25	41,27865		1060,958	83,18273			
1027,5	44,02865		1055,417	88,72439			

**Çizelge 3.7.** Temmuz ve ağustos ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Temmuz ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Ağustos ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1034,47	1149,43/ 95,634	114,9598	965,6388	1046,5	1201,58/ 99,965	155,0807	1302,646
1028,725		120,7048		1038,75		162,8307	
1028,725		120,7048		1038,75		162,8307	
1025,853		123,5773		1034,875		166,7057	
1020,108		129,3223		1027,125		174,4557	
1008,618		140,8123		1011,625		189,9557	
1000		149,4298		1000		201,5807	
1083,303		66,12734		1112,375		89,20573	
1219,746		-70,3164		-1394,06		1296,438	
1290,123	-140,693	1391,375	-189,794				
1307,358	-157,928	1414,625	-213,044				
1341,828	-192,398	1461,125	-259,544				
1327,465	-178,035	1441,75	-240,169				
1344,7	-195,27	1465	-263,419				
1321,72	-172,29	1434	-232,419				
1313,103	-163,673	1422,375	-220,794				
1272,888	-123,458	1368,125	-166,544				
1137,88	11,54984	428,4214	1186	15,58073	577,9401		
1120,645	28,78484		1162,75	38,83073			
1094,793	54,63734		1127,875	73,70573			
1074,685	74,74484		1100,75	100,8307			
1068,94	80,48984		1093	108,5807			
1063,195	86,23484		1085,25	116,3307			
1057,45	91,97984		1077,5	124,0807			

**Çizelge 3.8.** Eylül ve ekim ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Eylül ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Ekim ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1017,5	1075,86/ % 89,524	58,36372	490,2431	1015,399	1066,756/ % 88,767	51,35673	431,3859
1014,583		61,28038		1012,833		53,92323	
1014,583		61,28038		1012,833		53,92323	
1013,125		62,73872		1011,549		55,20648	
1010,208		65,65538		1008,983		57,77298	
1004,375		71,48872		1003,85		62,90598	
1000		75,86372		1000		66,75573	
1042,292		33,57205		1037,214		29,54148	
1111,563		-35,6988		1098,169		-31,4129	
1147,292		-71,428		1129,608		-62,8525	
1156,042	-80,178	1137,308	-70,552	-622,777			
1173,542	-97,678	1152,707	-85,951				
1166,25	-90,3863	1146,291	-79,5348				
1175	-99,1363	1153,99	-87,2343				
1163,333	-87,4696	1143,724	-76,9683				
1158,958	-83,0946	1139,874	-73,1185				
1138,542	-62,678	1121,909	-55,153				
1070	5,863715	1061,596	5,159734		191,3914		
1061,25	14,61372	1053,897	12,85923				
1048,125	27,73872	1042,347	24,40848				
1037,917	37,94705	1033,365	33,39123				
1035	40,86372	1030,798	35,95773				
1032,083	43,78038	1028,232	38,52423				
1029,167	46,69705	1025,665	41,09073				
		217,5043					

**Çizelge 3.9.** Kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Kasım ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Aralık ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elektrik tüketimi/ Gereken Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Toplam Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1007,88	1034,16/ % 86,06	26,28035	220,7494	1006,132	1026,58/ % 85,431	20,45065	171,7812
1006,567		27,59368		1005,11		21,47265	
1006,567		27,59368		1005,11		21,47265	
1005,91		28,25035		1004,599		21,98365	
1004,597		29,56368		1003,577		23,00565	
1001,97		32,19035		1001,533		25,04965	
1000		34,16035		1000		26,58265	
1019,043		15,11701		1014,819		11,76365	
1050,235	-16,0747	-318,689	1039,092	-12,5089	-247,995		
1066,323	-32,163		1051,611	-25,0284			
1070,263	-36,103		1054,677	-28,0944			
1078,143	-43,983		1060,809	-34,2264			
1074,86	-40,6997		1058,254	-31,6714			
1078,8	-44,6397		1061,32	-34,7374			
1073,547	-39,3863		1057,232	-30,6494			
1071,577	-37,4163		1055,699	-29,1164			
1062,383	-28,223	1048,545	-21,9624				
1031,52	2,640347	97,9391	1024,528	2,054646	76,21352		
1027,58	6,580347		1021,462	5,120646			
1021,67	12,49035		1016,863	9,719646			
1017,073	17,08701		1013,286	13,29665			
1015,76	18,40035		1012,264	14,31865			
1014,447	19,71368		1011,242	15,34065			
1013,133	21,02701		1010,22	16,36265			

Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde motor her ay için tesisin günlük ortalama elektrik tüketimi değerinde elektrik çıkışı olacak şekilde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır.

Sistemde günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1201,58 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1202 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 416 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçilmiştir. Ayrıca sistemde günlük maksimum elektrik enerjisi depolama ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1880,6 kW'tır. Bu baz alınarak, maksimum depolama kapasitesi 1880,6 kW olan batarya sisteme dahil edilmiştir.

### 3. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği dalgalı elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistemde 1498 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için motor günlük 3 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır. Bu doğrultuda literatürde katalog bilgileri yer alan gaz motoru üreticilerinin katalog bilgi verileri detaylı olarak incelenmiştir. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçları yaklaşık olarak yakın değerlerde olması gözetilerek 3 bölüme ayrılmıştır. Bunlar 01:00-08:00 arası, 09:00-17:00 arası ve 18:00-24:00 arasındadır. Sistemde bu bölümlerden ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarının maksimum olanı ağustos ayının 2. bölümünde gerçekleşmiş ve bu değer 1410,53 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçimi üretici firma teknik katalog bilgileri doğrultusunda yapılmıştır. Seçilen gaz motorunun ayrıntılı teknik özellikleri EK-3'de verilmektedir. GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model doğalgaz yakıtlı 1498 kW elektrik üretimi sağlayan motorun teknik verileri Çizelge 3.10'da detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.10.** GE Jenbacher JMS 416 GS-N.L motorunun teknik özellikleri

Yük Durumu	%100	%75	%50
Enerjisi Girişi (kW)	3489	2689	1888
Tüketilen Doğalgaz Hacmi (Nm <sup>3</sup> /h)	363	280	197
Elektrik Enerjisi Çıkışı (kW el.)	1498	1123	745
Termal Isı Çıkışı (kW)	1563	1228	896
Motor Ceket Suyu (kW)	407	352	275
Motor Yağı (kW)	197	188	172
İntercooler 1. kademe (kW)	322	150	39
Egzos Gazı (kW)	637	538	411
İntercooler 2. kademe (kW)	104	83	67

Buna göre bu motorların her ay için tesisin talep ettiği elektrik ihtiyacını karşılamak için çalışacakları motor yük değerleri Çizelge 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14’de verilmektedir.



**Çizelge 3.11.** Ocak, şubat ve mart ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Saatler	Ocak ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Şubat ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Mart ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
01:00	1002	1001,67/ % 67,04	-0,3333	1005,132	1004,28/ %67,22	-0,8553	1006,88	1005,73/ %67,31	-1,1467
02:00	1001,667		0	1004,277		0,00	1005,733		0
03:00	1001,667		0	1004,277		0,00	1005,733		0
04:00	1001,5		0,16667	1003,849		0,42767	1005,16		0,57333
05:00	1001,167		0,5	1002,994		1,283	1004,013		1,72
06:00	1000,5		1,16667	1001,283		2,99367	1001,72		4,01333
07:00	1000		1,66667	1000		4,27667	1000		5,73333
08:00	1004,833		-3,1667	1012,402		-8,1257	1016,627		-10,893
09:00	1012,75	1017,66/ % 68,10	4,90741	1032,717	1045,31/ %69,94	12,5924	1043,86	1060,74/ %70,97	16,8815
10:00	1016,833		0,82407	1043,194		2,11457	1057,907		2,83482
11:00	1017,833		-0,1759	1045,76		-0,4514	1061,347		-0,6052
12:00	1019,833		-2,1759	1050,892		-5,5834	1068,227		-7,48512
13:00	1019		-1,3426	1048,754		-3,4451	1065,36		-4,6185
14:00	1020		-2,3426	1051,32		-6,0110	1068,8		-8,0585
15:00	1018,667		-1,0093	1047,899		-2,5898	1064,213		-3,4719
16:00	1018,167		-0,5093	1046,616		-1,3068	1062,493		-1,7519
17:00	1015,833	1,82407	1040,628	4,68057	1054,467	6,27482			
18:00	1008	1005,12/ %67,27	-2,881	1020,528	1013,14/ %67,80	-7,3925	1027,52	1017,61/ %68,10	-9,9105
19:00	1007		-1,881	1017,962		-4,8265	1024,08		-6,4705
20:00	1005,5		-0,31	1014,113		-0,9775	1018,92		-1,3105
21:00	1004,333		0,78571	1011,119		2,01614	1014,907		2,70286
22:00	1004		1,11905	1010,264		2,87148	1013,76		3,84952
23:00	1003,667		1,45238	1009,409		3,72681	1012,613		4,99619
00:00	1003,333		1,78571	1008,553		4,58214	1011,467		6,14286

**Çizelge 3.12.** Nisan, mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Nisan ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Mayıs ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Haziran ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1014,399	1011,999/ %67,73	-2,3998	1016,5	1013,75/ %67,85	-2,75	1033,25	1027,708/ %68,77	-5,5417
1011,999		0,00	1013,75		0	1027,708		0
1011,999		0,00	1013,75		0	1027,708		0
1010,799		1,19992	1012,375		1,375	1024,938		2,77083
1008,399		3,5998	1009,625		4,125	1019,396		8,3125
1003,6		8,39942	1004,125		9,625	1008,313		19,3958
1000		11,9992	1000		13,75	1000		27,7083
1034,798		-22,798	1039,875		-26,125	1080,354		-52,646
1091,794		1127,125/ %75,37	35,3309		1105,188	1145,674/ %76,61		40,4861
1121,192	5,93292		1138,875	6,79861	1279,854		13,7002	
1128,391	-1,2666		1147,125	-1,4514	1296,479		-2,9248	
1142,79	-15,666		1163,625	-17,951	1329,729		-36,175	
1136,791	-9,666		1156,75	-11,076	1315,875		-22,321	
1143,99	-16,866		1165	-19,326	1332,5		-38,946	
1134,391	-7,2662		1154	-8,3264	1310,333		-16,779	
1130,791	-3,6664		1149,875	-4,2014	1302,021		-8,4664	
1113,992	13,1324		1130,625	15,0486	1263,229		30,3252	
1057,596	1036,855/ %69,38	-20,741	1066	1042,232/ %69,74	-23,768	1133	1085,104/ %72,58	-47,896
1050,397		-13,542	1057,75		-15,518	1116,375		-31,271
1039,597		-2,7427	1045,375		-3,1429	1091,438		-6,3333
1031,198		5,6568	1035,75		6,48214	1072,042		13,0625
1028,798		8,05658	1033		9,23214	1066,5		18,6042
1026,398		10,4564	1030,25		11,9821	1060,958		24,1458
1023,998		12,8563	1027,5		14,7321	1055,417		29,6875

**Çizelge 3.13.** Temmuz, ağustos ve eylül ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Temmuz ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Ağustos ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Eylül ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1034,47	1028,725/ %68,84	-5,745	1046,5	1038,75/ %69,51	-7,75	1017,5	1014,583/ %67,90	-2,9167
1028,725		0	1038,75		0,00	1014,583		0
1028,725		0	1038,75		0,00	1014,583		0
1025,853		2,8725	1034,875		3,88	1013,125		1,45833
1020,108		8,6175	1027,125		11,63	1010,208		4,375
1008,618		20,1075	1011,625		27,13	1004,375		10,2083
1000		28,725	1000		38,75	1000		14,5833
1083,303		-54,578	1112,375		-73,63	1042,292		-27,708
1219,746	1304,325/ %87,14	84,5792	1296,438	1410,53/ %94,19	114,10	1111,563	1154,502/ %77,19	42,9398
1290,123		14,2029	1391,375		19,16	1147,292		7,21065
1307,358		-3,0321	1414,625		-4,09	1156,042		-1,5394
1341,828		-37,502	1461,125		-50,59	1173,542		-19,039
1327,465		-23,14	1441,75		-31,22	1166,25		-11,748
1344,7		-40,375	1465		-54,47	1175		-20,498
1321,72		-17,395	1434		-23,47	1163,333		-8,8310
1313,103		-8,7771	1422,375		-11,84	1158,958		-4,4560
1272,888		31,4379	1368,125		42,41	1138,542		15,9607
1137,88	1088,227/ %72,79	-49,653	1186	1119,02/ %74,84	-66,98	1070	1044,792/ %69,91	-25,208
1120,645		-32,418	1162,75		-43,73	1061,25		-16,458
1094,793		-6,5657	1127,875		-8,86	1048,125		-3,3333
1074,685		13,5418	1100,75		18,27	1037,917		6,875
1068,94		19,2868	1093		26,02	1035		9,79167
1063,195		25,0318	1085,25		33,77	1032,083		12,7083
1057,45		30,7768	1077,5		41,52	1029,167		15,625

**Çizelge 3.14.** Ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Ekim ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Kasım ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Aralık ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1015,399	1012,833/ %67,78	-2,5665	1007,88	1006,567/ %67,37	-1,3133	1006,132	1005,11/ %67,27	-1,022
1012,833		0	1006,567		0,00	1005,11		0,00
1012,833		0	1006,567		0,00	1005,11		0,00
1011,549		1,28325	1005,91		0,65667	1004,599		0,511
1008,983		3,84975	1004,597		1,97	1003,577		1,533
1003,85		8,98275	1001,97		4,59667	1001,533		3,577
1000		12,8325	1000		6,56667	1000		5,11
1037,214		-24,382	1019,043		-12,477	1014,819		-9,709
1098,169	1135,953/ %75,96	37,7846	1050,235	1069,57/ %71,55	19,3352	1039,092	1054,138/ %70,53	15,0461
1129,608		6,34496	1066,323		3,24685	1051,611		2,52661
1137,308		-1,3545	1070,263		-0,6932	1054,677		-0,5394
1152,707		-16,754	1078,143		-8,5732	1060,809		-6,6714
1146,291		-10,337	1074,86		-5,2898	1058,254		-4,1164
1153,99		-18,037	1078,8		-9,2298	1061,32		-7,1824
1143,724		-7,7708	1073,547		-3,9765	1057,232		-3,0944
1139,874		-3,9210	1071,577		-2,0065	1055,699		-1,5614
1121,909	14,0445	1062,383	7,18685	1048,545	5,59261			
1061,596	1039,414/ %69,55	-22,182	1031,52	1020,169/ %68,27	-11,351	1024,528	1015,695/ %67,97	-8,833
1053,897		-14,482	1027,58		-7,411	1021,462		-5,767
1042,347		-2,9331	1021,67		-1,501	1016,863		-1,168
1033,365		6,04961	1017,073		3,09571	1013,286		2,409
1030,798		8,61611	1015,76		4,40905	1012,264		3,431
1028,232		11,1826	1014,447		5,72238	1011,242		4,453
1025,665		13,7491	1013,133		7,03571	1010,22		5,475

Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde her ay için motor günlük 3 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerekliğinde tekrar kullanılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçları yaklaşık olarak yakın değerlerde olması gözetilerek 3 bölüme ayrılmıştır. Bunlar 01:00-08:00 arası, 09:00-17:00 arası ve 18:00-24:00 arasıdır. Sistemde bu bölümlerden ortalama

elektrik enerjisi ihtiyaçlarının maksimum olanı ağustos ayının 2. bölümünde gerçekleşmiş ve bu değer 1410,53 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçilmiştir. Ayrıca sistemde günlük maksimum elektrik enerjisi depolama ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 252,83 kW'tır. Bu baz alınarak, maksimum depolama kapasitesi 252,83 kW olan batarya sisteme dahil edilmiştir. Çizelge 3.15'de detaylı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 3.15.** Ağustos ayı için bataryada depolanacak miktar

Saatler	Ağustos ayı için Talep Edilen Elektrik (kWh)	İhtiyacı	Ort. elektrik tüketimi	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Bataryada depolanan miktar (kW)
21:00	1108,333			18,268	18,268
22:00	1100			26,018	44,286
23:00	1091,667			33,768	78,054
00:00	1083,333			41,518	119,571
01:00	1050			-7,750	111,821
02:00	1041,667			0,000	111,821
03:00	1041,667			0,000	111,821
04:00	1037,5			3,875	115,696
05:00	1029,167			11,625	127,321
06:00	1012,5			27,125	154,446
07:00	1000			38,750	193,196
08:00	1120,833		1038,75	-73,625	119,571
09:00	1318,75			114,097	233,669
10:00	1420,833			19,160	252,828
11:00	1445,833			-4,090	248,738
12:00	1495,833			-50,590	198,148
13:00	1475			-31,215	166,933
14:00	1500			-54,465	112,467
15:00	1466,667			-23,465	89,002
16:00	1454,167			-11,840	77,162
17:00	1395,833		1410,53	42,410	119,571
18:00	1200			-66,982	52,589
19:00	1175			-43,732	8,857
20:00	1137,5		1119,02	-8,857	0,000

#### 4. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği dalgalı elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1498 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için motor günlük 2 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır. Bu doğrultuda literatürde katalog bilgileri yer alan gaz motoru üreticilerinin katalog bilgi verileri detaylı olarak incelenmiştir. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçları 2 bölüme ayrılmıştır. Bunlar 01:00-14:00 arası, 14:00-00:00 arasındır. Sistemde bu bölümlerden ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarının maksimum olanı ağustos ayının 2. bölümünde gerçekleşmiş ve bu değer 1205,76 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkışı gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçimi üretici firma teknik katalog bilgileri doğrultusunda yapılmıştır. Gaz motoru ile ilgili diğer detay parametrelerin tamamı Ek-3'de yer almaktadır. Buna göre bu motorların her ay için tesisin talep ettiği elektrik ihtiyacını karşılamak için çalışacakları motor yük değerleri Çizelge 3.16, 3.17, 3.18 ve 3.19'da verilmektedir.

**Çizelge 3.16.** Ocak, şubat ve mart ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Saatler	Ocak ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Şubat ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Mart ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
01:00	1002	1008,54/ %67,50	6,54167	1005,132	1021,92/ %68,39	16,7859	1006,88	1029,38/ %68,88	22,5033
02:00	1001,667		6,875	1004,277		17,64	1005,733		23,65
03:00	1001,667		6,875	1004,277		17,64	1005,733		23,65
04:00	1001,5		7,04167	1003,849		18,0689	1005,16		24,2233
05:00	1001,167		7,375	1002,994		18,9243	1004,013		25,37
06:00	1000,5		8,04167	1001,283		20,6349	1001,72		27,6633
07:00	1000		8,54167	1000		21,9179	1000		29,3833
08:00	1004,833		3,70833	1012,402		9,51558	1016,627		12,7567
09:00	1012,75		-4,2083	1032,717		-10,799	1043,86		-14,477
10:00	1016,833		-8,2917	1043,194		-21,276	1057,907		-28,523
11:00	1017,833		-9,2917	1045,76		-23,842	1061,347		-31,963
12:00	1019,833		-11,292	1050,892		-28,974	1068,227		-38,843
13:00	1019		-10,458	1048,754		-26,836	1065,36		-35,977
14:00	1020		-11,458	1051,32		-29,402	1068,8		-39,417
15:00	1018,667	1008,85/ % 67,52	-9,8167	1047,899	1022,71 %68,44	-25,19	1064,213	1030,44/ %68,95	-33,769
16:00	1018,167		-9,3167	1046,616		-23,907	1062,493		-32,049
17:00	1015,833		-6,9833	1040,628		-17,919	1054,467		-24,023
18:00	1008		0,85	1020,528		2,1811	1027,52		2,924
19:00	1007		1,85	1017,962		4,7471	1024,08		6,364
20:00	1005,5		3,35	1014,113		8,5961	1018,92		11,524
21:00	1004,333		4,51667	1011,119		11,5898	1014,907		15,5373
22:00	1004		4,85	1010,264		12,4451	1013,76		16,684
23:00	1003,667		5,18333	1009,409		13,3004	1012,613		17,8307
00:00	1003,333		5,51667	1008,553		14,1558	1011,467		18,9773

**Çizelge 3.17.** Nisan, mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Nisan ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Mayıs ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Haziran ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)
1014,399	1061,496/ % 71,02	47,09673	1016,5	1070,469/ % 71,61	53,96875	1033,25	1142,005/ % 76,36	108,7552
1011,999		49,50	1013,75		56,71875	1027,708		114,2969
1011,999		49,50	1013,75		56,71875	1027,708		114,2969
1010,799		50,69648	1012,375		58,09375	1024,938		117,0677
1008,399		53,09631	1009,625		60,84375	1019,396		122,6094
1003,6		57,89598	1004,125		66,34375	1008,313		133,6927
1000		61,49573	1000		70,46875	1000		142,0052
1034,798		26,69815	1039,875		30,59375	1080,354		61,65104
1091,794		-30,2979	1105,188		-34,7188	1211,969		-69,9635
1121,192		-59,6959	1138,875		-68,4063	1279,854		-137,849
1128,391		-66,8954	1147,125		-76,6563	1296,479		-154,474
1142,79		-81,2944	1163,625		-93,1563	1329,729		-187,724
1136,791		-75,2948	1156,75		-86,2813	1315,875		-173,87
1143,99		-82,4943	1165		-94,5313	1332,5		-190,495
1134,391		1063,716/ %71,16	-70,6751		1154	1073,013/ %71,78		-80,9875
1130,791	-67,0753		1149,875	-76,8625	1302,021		-154,89	
1113,992	-50,2765		1130,625	-57,6125	1263,229		-116,098	
1057,596	6,119575		1066	7,0125	1133		14,13125	
1050,397	13,31908		1057,75	15,2625	1116,375		30,75625	
1039,597	24,11833		1045,375	27,6375	1091,438		55,69375	
1031,198	32,51774		1035,75	37,2625	1072,042		75,08958	
1028,798	34,91758		1033	40,0125	1066,5		80,63125	
1026,398	37,31741		1030,25	42,7625	1060,958		86,17292	
1023,998	39,71724		1027,5	45,5125	1055,417		91,71458	



**Çizelge 3.18.** Temmuz, ağustos ve eylül ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Temmuz ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Ağustos ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Eylül ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)			
1034,47	1147,216/ %76,71	112,746	1046,5	1198,59/ %80,12	163,542	1017,5	1074,74/ %71,90	57,2396			
1028,725		118,491	1038,75		171,875	1014,583		60,1563			
1028,725		118,491	1038,75		171,875	1014,583		60,1563			
1025,853		121,363	1034,875		176,042	1013,125		61,6146			
1020,108		127,108	1027,125		184,375	1010,208		64,5313			
1008,618		138,598	1011,625		201,042	1004,375		70,3646			
1000		147,216	1000		213,542	1000		74,7396			
1083,303		63,9131	1112,375		92,7083	1042,292		32,4479			
1219,746		-72,531	1296,438		-105,21	1111,563		-36,82			
1290,123		-142,91	1391,375		-207,29	1147,292		-72,552			
1307,358		-160,14	1414,625		-232,29	1156,042		-81,302			
1341,828		-194,61	1461,125		-282,29	1173,542		-98,802			
1327,465		-180,25	1441,75		-261,46	1166,25		-91,510			
1344,7		-197,48	1465		-286,46	1175		-100,26			
1321,72		1152,53/ %77,06	-169,19		1434	1205,76/ %80,60		-245,42	1163,333	1077,438/ %72,07	-85,8956
1313,103			-160,57		1422,375			-232,92	1158,958		-81,521
1272,888			-120,36		1368,125			-174,58	1138,542		-61,104
1137,88	14,6497		1186	21,25	1070		7,4375				
1120,645	31,8847		1162,75	46,25	1061,25		16,188				
1094,793	57,7372		1127,875	83,75	1048,125		29,31				
1074,685	77,8447		1100,75	112,917	1037,917		39,5208				
1068,94	83,5897		1093	121,25	1035		42,4375				
1063,195	89,3347		1085,25	129,583	1032,083		45,3542				
1057,45	95,0797		1077,5	137,917	1029,167		48,2708				

**Çizelge 3.19.** Ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Ekim ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Kasım ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Aralık ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Ort. elekt. tüket./ Motor Yük Oranı (%)	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)			
1015,399	1065,767/ %71,30	50,3676	1007,88	1033,654/ %69,17	25,7742	1006,132	1026,189/ %68,67	20,057			
1012,833		52,9341	1006,567		27,09	1005,11		21,079			
1012,833		52,9341	1006,567		27,09	1005,11		21,079			
1011,549		54,2173	1005,91		27,7442	1004,599		21,589			
1008,983		56,7838	1004,597		29,0575	1003,577		22,612			
1003,85		61,9168	1001,97		31,6842	1001,533		24,656			
1000		65,7666	1000		33,6542	1000		26,189			
1037,214		28,5523	1019,043		14,6108	1014,819		11,37			
1098,169		-32,402	1050,235		-16,581	1039,092		-12,903			
1129,608		-63,842	1066,323		-32,669	1051,611		-25,422			
1137,308		-71,541	1070,263		-36,609	1054,677		-28,488			
1152,707		-86,940	1078,143		-44,489	1060,809		-34,620			
1146,291		-80,524	1074,86		-41,206	1058,254		-32,065			
1153,99		-88,223	1078,8		-45,146	1061,32		-35,131			
1143,724		1068,141/ %71,46	-75,583		1073,547	1034,869/ %69,25		-38,678	1057,232	1027,134/ %68,73	-30,098
1139,874			-71,734		1071,577			-36,708	1055,699		-28,565
1121,909			-53,768		1062,383			-27,514	1048,545		-21,411
1061,596	6,54458		1031,52	3,349	1024,528		2,6061				
1053,897	14,2441		1027,58	7,289	1021,462		5,6721				
1042,347	25,7933		1021,67	13,199	1016,863		10,271				
1033,365	34,7761		1017,073	17,7957	1013,286		13,848				
1030,798	37,3426		1015,76	19,109	1012,264		14,870				
1028,232	39,909		1014,447	20,4223	1011,242		15,892				
1025,665	42,4756		1013,133	21,7357	1010,22		16,914				

Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde her ay için motor günlük 2 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçları 2 bölüme ayrılmıştır. Bunlar 01:00-14:00 arası, 14:00-00:00 arasındır. Sistemde bu bölümlerden ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarının maksimum olanı ağustos ayının 2.

bölümünde gerçekleşmiş ve bu değer 1205,76 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçilmiştir. Ayrıca sistemde günlük maksimum elektrik enerjisi depolama ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1885,963 kW'tır. Bu baz alınarak, maksimum depolama kapasitesi 1885,963 kW olan batarya sisteme dahil edilmiştir. Çizelge 3.20'de detaylı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 3.20.** Ağustos ayı için bataryada depolanacak miktar

Saatler	Ağustos ayı için Talep Elektrik (kWh)	Edilen İhtiyacı	Ort. elektrik tüketimi	Şarj/ Deşarj Miktarı (kW)	Bataryada depolanan miktar (kW)
18:00	1186		1198,59	19,763	19,763
19:00	1162,75			43,013	62,775
20:00	1127,875			77,888	140,663
21:00	1100,75			105,013	245,675
22:00	1093			112,763	358,438
23:00	1085,25			120,513	478,950
00:00	1077,5			128,263	607,213
01:00	1046,5		1205,76	152,094	759,306
02:00	1038,75			159,844	919,150
03:00	1038,75			159,844	1078,994
04:00	1034,875			163,719	1242,713
05:00	1027,125			171,469	1414,181
06:00	1011,625			186,969	1601,150
07:00	1000			198,594	1799,744
08:00	1112,375			86,219	1885,963
09:00	1296,4375			-97,844	1788,119
10:00	1391,375			-192,781	1595,338
11:00	1414,625			-216,031	1379,306
12:00	1461,125			-262,531	1116,775
13:00	1441,75			-243,156	873,619
14:00	1465		1221,25	-266,406	607,213
15:00	1434			-228,238	378,975
16:00	1422,375			-216,613	162,363
17:00	1368,125			-162,363	0,000

## 5. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği dalgalı elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1498 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için tesisin günlük maksimum elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi şebekeye satılacaktır. Bu doğrultuda literatürde katalog bilgileri yer alan gaz motoru üreticilerinin katalog bilgi verileri detaylı olarak incelenmiştir. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1465 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçimi üretici firma teknik katalog bilgileri doğrultusunda yapılmıştır. Gaz motoru ile ilgili diğer detay parametrelerin tamamı Ek-3'te yer almaktadır. Buna göre bu motorların her ay için tesisin talep ettiği elektrik ihtiyacını karşılamak için çalışacakları motor yük değerleri Çizelge 3.21, 3.22, 3.23 ve 3.24'de verilmektedir.

**Çizelge 3.21.** Ocak, şubat ve mart ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Saatler	Ocak ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Şubat ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Mart ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar
01:00	1002	66,23	18	1005,132	68,27	46,188	1006,88	69,40	61,92
02:00	1001,667		18,333	1004,277		47,043	1005,733		63,067
03:00	1001,667		18,333	1004,277		47,043	1005,733		63,067
04:00	1001,5		18,5	1003,849		47,471	1005,16		63,64
05:00	1001,167		18,833	1002,994		48,326	1004,013		64,787
06:00	1000,5		19,5	1001,283		50,037	1001,72		67,08
07:00	1000		20	1000		51,32	1000		68,8
08:00	1004,833		15,167	1012,402		38,918	1016,627		52,173
09:00	1012,75		7,25	1032,717		18,604	1043,86		24,94
10:00	1016,833		3,1667	1043,194		8,1257	1057,907		10,893
11:00	1017,833		2,1667	1045,76		5,5597	1061,347		7,4533
12:00	1019,833		0,1667	1050,892		0,4277	1068,227		0,5733
13:00	1019		1	1048,754		2,566	1065,36		3,44
14:00	<b>1020</b>		<b>0</b>	<b>1051,32</b>		<b>0</b>	<b>1068,8</b>		<b>0</b>
15:00	1018,667		1,3333	1047,899		3,4213	1064,213		4,5867
16:00	1018,167		1,8333	1046,616		4,7043	1062,493		6,3067
17:00	1015,833		4,1667	1040,628		10,692	1054,467		14,333
18:00	1008		12	1020,528		30,792	1027,52		41,28
19:00	1007		13	1017,962		33,358	1024,08		44,72
20:00	1005,5		14,5	1014,113		37,207	1018,92		49,88
21:00	1004,333		15,667	1011,119		40,201	1014,907		53,893
22:00	1004		16	1010,264		41,056	1013,76		55,04
23:00	1003,667		16,333	1009,409		41,911	1012,613		56,187
00:00	1003,333		16,667	1008,553		42,767	1011,467		57,333

**Çizelge 3.22.** Nisan, mayıs ve haziran ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Nisan ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Mayıs ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Haziran ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar
1014,399	74,29	129,59	1016,5	75,65	148,5	1033,25	86,53	299,25
1011,999		131,991	1013,75		151,25	1027,708		304,792
1011,999		131,991	1013,75		151,25	1027,708		304,792
1010,799		133,191	1012,375		152,625	1024,938		307,563
1008,399		135,591	1009,625		155,375	1019,396		313,104
1003,6		140,390	1004,125		160,875	1008,313		324,188
1000		143,99	1000		165	1000		332,5
1034,798		109,192	1039,875		125,125	1080,354		252,146
1091,794		52,1964	1105,188		59,8125	1211,969		120,531
1121,192		22,7984	1138,875		26,125	1279,854		52,6458
1128,391		15,5989	1147,125		17,875	1296,479		36,0208
1142,79		1,19992	1163,625		1,375	1329,729		2,77083
1136,791		7,1995	1156,75		8,25	1315,875		16,625
<b>1143,99</b>		0	<b>1165</b>		0	<b>1332,5</b>		0
1134,391		9,59933	1154		11	1310,333		22,1667
1130,791		13,1991	1149,875		15,125	1302,021		30,4792
1113,992		29,9979	1130,625		34,375	1263,229		69,2708
1057,596		86,394	1066		99	1133		199,5
1050,397		93,5935	1057,75		107,25	1116,375		216,125
1039,597		104,393	1045,375		119,625	1091,438		241,063
1031,198		112,792	1035,75		129,25	1072,042		260,458
1028,798		115,192	1033		132	1066,5		266
1026,398		117,592	1030,25		134,75	1060,958		271,542
1023,998		119,992	1027,5		137,5	1055,417		277,083

**Çizelge 3.23.** Temmuz, ağustos ve eylül ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Temmuz ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Ağustos ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Eylül ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar
1034,47	87,318	310,23	1046,5	95,13	418,5	1017,5	76,2987	157,5
1028,725		315,975	1038,75		426,25	1014,583		160,417
1028,725		315,975	1038,75		426,25	1014,583		160,417
1025,853		318,848	1034,875		430,125	1013,125		161,875
1020,108		324,593	1027,125		437,875	1010,208		164,792
1008,618		336,083	1011,625		453,375	1004,375		170,625
1000		344,7	1000		465	1000		175
1083,303		261,398	1112,375		352,625	1042,292		132,708
1219,746		124,954	1296,438		168,563	1111,563		63,4375
1290,123		54,5775	1391,375		73,625	1147,292		27,7083
1307,358		37,3425	1414,625		50,375	1156,042		18,9583
1341,828		2,8725	1461,125		3,875	1173,542		1,45833
1327,465		17,235	1441,75		23,25	1166,25		8,75
<b>1344,7</b>		<b>0</b>	<b>1465</b>		<b>0</b>	<b>1175</b>		<b>0</b>
1321,72		22,98	1434		31	1163,333		11,6667
1313,103		31,5975	1422,375		42,625	1158,958		16,0417
1272,888		71,8125	1368,125		96,875	1138,542		36,4583
1137,88		206,82	1186		279	1070		105
1120,645		224,055	1162,75		302,25	1061,25		113,75
1094,793		249,908	1127,875		337,125	1048,125		126,875
1074,685		270,015	1100,75		364,25	1037,917		137,083
1068,94		275,76	1093		372	1035		140
1063,195		281,505	1085,25		379,75	1032,083		142,917
1057,45		287,25	1077,5		387,5	1029,167		145,833

**Çizelge 3.24.** Ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Ekim ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Kasım ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar	Aralık ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şebekeye satılacak miktar
1015,399	74,93	138,591	1007,88	70,05	70,92	1006,132	88,32	55,188
1012,833		141,158	1006,567		72,2333	1005,11		56,21
1012,833		141,158	1006,567		72,2333	1005,11		56,21
1011,549		142,441	1005,91		72,89	1004,599		56,721
1008,983		145,007	1004,597		74,2033	1003,577		57,743
1003,85		150,140	1001,97		76,83	1001,533		59,787
1000		153,99	1000		78,8	1000		61,32
1037,214		116,776	1019,043		59,7567	1014,819		46,501
1098,169		55,8214	1050,235		28,565	1039,092		22,229
1129,608		24,3818	1066,323		12,4767	1051,611		9,709
1137,308		16,6823	1070,263		8,53667	1054,677		6,643
1152,707		1,28325	1078,143		0,65667	1060,809		0,511
1146,291		7,6995	1074,86		3,94	1058,254		3,066
<b>1153,99</b>		<b>0</b>	<b>1078,8</b>		<b>0</b>	<b>1061,32</b>		<b>0</b>
1143,724		10,266	1073,547		5,25333	1057,232		4,088
1139,874		14,1158	1071,577		7,22333	1055,699		5,621
1121,909		32,0813	1062,383		16,4167	1048,545		12,775
1061,596		92,394	1031,52		47,28	1024,528		36,792
1053,897		100,094	1027,58		51,22	1021,462		39,858
1042,347		111,643	1021,67		57,13	1016,863		44,457
1033,365		120,626	1017,073		61,7267	1013,286		48,034
1030,798		123,192	1015,76		63,04	1012,264		49,056
1028,232		125,759	1014,447		64,3533	1011,242		50,078
1025,665		128,325	1013,133		65,6667	1010,22		51,1

Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde motor her ay için tesisin günlük maksimum elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi şebekeye satılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1465 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L



model numaralı gaz motoru seçilmiştir. Ayrıca sistemde her ay için tesisin günlük maksimum elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırıldığında elektrik enerjisi şebekeye satılacaktır. Bunlar maliyet hesabına yansıtılacaktır.

#### 6. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği dalgalı elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1498 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için tesisin saatlik elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bu doğrultuda literatürde katalog bilgileri yer alan gaz motoru üreticilerinin katalog bilgi verileri detaylı olarak incelenmiştir. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1465 kW'tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçimi üretici firma teknik katalog bilgileri doğrultusunda yapılmıştır. Gaz motoru ile ilgili diğer detay parametrelerin tamamı Ek-3'te yer almaktadır. GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model doğalgaz yakıtlı 1498 kW elektrik üretimi sağlayan motorun teknik verileri aşağıdaki çizelgede detaylı olarak verilmiştir. Buna göre bu motorların her ay için tesisin talep ettiği elektrik ihtiyacını karşılamak için çalışacakları motor yük değerleri Çizelge 3.25, 3.26 ve 3.27'de verilmektedir.

**Çizelge 3.25.** Ocak, şubat, mart ve nisan ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Saatler	Ocak ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Şubat ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Mart ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Nisan ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)
01:00	1002	67,065	1005,13	67,273	1006,88	67,389	1014,399	67,888
02:00	1001,67	67,043	1004,28	67,216	1005,733	67,313	1011,999	67,729
03:00	1001,67	67,043	1004,28	67,216	1005,733	67,3123	1011,999	67,729
04:00	1001,5	67,032	1003,85	67,188	1005,16	67,2749	1010,799	67,649
05:00	1001,17	67,01	1002,99	67,131	1004,013	67,1988	1008,399	67,49
06:00	1000,5	66,966	1001,28	67,018	1001,72	67,047	1003,6	67,1713
07:00	1000	66,932	1000	66,932	1000	66,932	1000	66,932
08:00	1004,83	67,253	1012,40	67,756	1016,627	68,036	1034,798	69,243
09:00	1012,75	67,779	1032,72	69,105	1043,86	69,845	1091,794	73,028
10:00	1016,83	68,050	1043,19	69,801	1057,907	70,777	1121,192	74,98
11:00	1017,83	68,116	1045,76	69,971	1061,347	71,006	1128,391	75,458
12:00	1019,83	68,249	1050,89	70,312	1068,227	71,463	1142,79	76,414
13:00	1019	68,194	1048,75	70,17	1065,36	71,272	1136,791	76,015
14:00	1020	68,260	1051,32	70,34	1068,8	71,501	1143,99	76,493
15:00	1018,67	68,172	1047,9	70,113	1064,213	71,1961	1134,391	75,856
16:00	1018,17	68,139	1046,62	70,028	1062,493	71,082	1130,791	75,617
17:00	1015,83	67,984	1040,63	69,630	1054,467	70,5489	1113,992	74,502
18:00	1008	67,464	1020,53	68,295	1027,52	68,7596	1057,596	70,757
19:00	1007	67,397	1017,96	68,125	1024,08	68,5312	1050,397	70,279
20:00	1005,5	67,298	1014,11	67,869	1018,92	68,1886	1039,597	69,562
21:00	1004,33	67,220	1011,12	67,671	1014,907	67,922	1031,198	69,004
22:00	1004	67,198	1010,26	67,6134	1013,76	67,846	1028,798	68,845
23:00	1003,67	67,176	1009,41	67,557	1012,613	67,77	1026,398	68,685
00:00	1003,33	67,154	1008,55	67,500	1011,467	67,694	1023,998	68,526

**Çizelge 3.26.** Mayıs, haziran, temmuz ve ağustos ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Mayıs ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Haziran ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Temmuz ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Ağustos ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)
1016,5	68,028	1033,25	69,140	1034,47	69,221	1046,5	70,02
1013,75	67,845	1027,708	68,772	1028,725	68,84	1038,75	69,505
1013,75	67,845	1027,708	68,772	1028,725	68,84	1038,75	69,505
1012,375	67,754	1024,938	68,588	1025,853	68,65	1034,875	69,248
1009,625	67,571	1019,396	68,220	1020,108	68,267	1027,125	68,733
1004,125	67,206	1008,313	67,484	1008,618	67,505	1011,625	67,704
1000	66,932	1000	66,932	1000	66,932	1000	66,932
1039,875	69,580	1080,354	72,268	1083,303	72,464	1112,375	74,394
1105,188	73,917	1211,969	81,007	1219,746	81,524	1296,438	86,616
1138,875	76,154	1279,854	85,515	1290,123	86,197	1391,375	92,92
1147,125	76,702	1296,479	86,62	1307,358	87,341	1414,625	94,464
1163,625	77,797	1329,729	88,827	1341,828	89,63	1461,125	97,552
1156,75	77,341	1315,875	87,907	1327,465	88,676	1441,75	96,265
1165	77,888	1332,5	89,011	1344,7	89,821	1465	97,81
1154	77,158	1310,333	87,539	1321,72	88,295	1434	95,750
1149,875	76,884	1302,021	86,987	1313,103	87,723	1422,375	94,978
1130,625	75,606	1263,229	84,411	1272,888	85,052	1368,125	91,376
1066	71,315	1133	75,764	1137,88	76,088	1186	79,283
1057,75	70,767	1116,375	74,66	1120,645	74,943	1162,75	77,739
1045,375	69,945	1091,438	73,004	1094,793	73,227	1127,875	75,423
1035,75	69,306	1072,042	71,7159	1074,685	71,892	1100,75	73,622
1033	69,124	1066,5	71,348	1068,94	71,51	1093	73,108
1030,25	68,941	1060,958	70,98	1063,195	71,129	1085,25	72,593
1027,5	68,758	1055,417	70,612	1057,45	70,747	1077,5	72,078

**Çizelge 3.27.** Eylül, ekim, kasım ve aralık ayı için motorların çalışma yükleri ve elektrik üretim miktarları

Eylül ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Ekim ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Kasım ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Aralık ayı için Talep Edilen Elektrik İhtiyacı (kWh)	Motor Yük Oranı (%)
1017,5	68,094	1015,399	67,955	1007,88	67,456	1006,132	67,34
1014,583	67,901	1012,833	67,784	1006,567	67,368	1005,11	67,272
1014,583	67,901	1012,833	67,784	1006,567	67,368	1005,11	67,272
1013,125	67,804	1011,549	67,699	1005,91	67,325	1004,599	67,238
1010,208	67,610	1008,983	67,529	1004,597	67,238	1003,577	67,17
1004,375	67,223	1003,85	67,188	1001,97	67,063	1001,533	67,034
1000	66,932	1000	66,932	1000	66,932	1000	66,932
1042,292	69,741	1037,214	69,403	1019,043	68,197	1014,819	67,916
1111,563	74,340	1098,169	73,451	1050,235	70,268	1039,092	69,528
1147,292	76,713	1129,608	75,538	1066,323	71,336	1051,611	70,359
1156,042	77,294	1137,308	76,05	1070,263	71,598	1054,677	70,563
1173,542	78,456	1152,707	77,072	1078,143	72,121	1060,809	70,970
1166,25	77,972	1146,291	76,646	1074,86	71,903	1058,254	70,80
1175	78,553	1153,99	77,157	1078,8	72,1647	1061,32	71,004
1163,333	77,778	1143,724	76,476	1073,547	71,816	1057,232	70,733
1158,958	77,487	1139,874	76,220	1071,577	71,685	1055,699	70,631
1138,542	76,132	1121,909	75,027	1062,383	71,075	1048,545	70,156
1070	71,580	1061,596	71,022	1031,52	69,025	1024,528	68,561
1061,25	70,999	1053,897	70,511	1027,58	68,764	1021,462	68,357
1048,125	70,128	1042,347	69,744	1021,67	68,371	1016,863	68,052
1037,917	69,45	1033,365	69,148	1017,073	68,066	1013,286	67,814
1035	69,256	1030,798	68,977	1015,76	67,979	1012,264	67,747
1032,083	69,063	1028,232	68,807	1014,447	67,892	1011,242	67,679
1029,167	68,869	1025,665	68,637	1013,133	67,804	1010,22	67,611

Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde motor her ay için tesisin saatlik elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1465 kW'tır. Bu baz alınarak,

yeni nesil gaz motorlarından, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki GE Jenbacher marka, JMS 420 GS-N.L model numaralı gaz motoru seçilmiştir.

Çalışmanın şüana kadarki bölümünde 1,2,3,4,5 ve 6. senaryolar için; tesisin elektrik ihtiyacı belirlenmiş, sistemde kullanılacak motor ve batarya seçimi yapılmış, seçilen motorların uygun çalışma yükleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonraki bölümlerinde tesis için kurulacak trijenerasyon sistemi için tasarlanan sistemin ekonomik yönden analiz edilmesi gerçekleştirilmiştir.

### 3.5. Sistem Dizaynı

Bu çalışmada Bursa ilinde bulunan otomotiv yan sanayi fabrikası için elektrik, ısıtma (buhar üretimi, havalandırma ısıtması, konfor ısıtması, kullanım sıcak suyu) ve soğutma ihtiyaçlarını karşılayabilen bir doğal gazlı trijenerasyon sistemi değerlendirilmiştir. Önerilen trijenerasyon sistemi, elektrik enerjisi üretmek için bir gaz motorundan, proses soğutması için çalışma sıvısı olarak LiBr/H<sub>2</sub>O kullanan tek etkili bir absorpsiyonlu soğutma sisteminden ve ısıtma ihtiyacı için ısı değiştiricilerinden oluşmaktadır. Motorun atık ısısı konfor ve proses ısıtmasında kullanılacaktır. Bu sistemin temel amacı, atık ısının bir kısmını absorpsiyonlu soğutma sistemi vasıtasıyla proses soğutmasında kullanarak sistemden maksimum verim elde etmektir.

- Elektrik üretimi farklı senaryolara göre değişmektedir.
- Egzoz gazı atık ısısıyla, tesisin ihtiyacı olan 10 bar basınçta doymuş buhar üretimi yapılacaktır.
- Motor ceket suyu ve motor yağının atık ısısı ile 70 – 90 °C ısınma amaçlı kullanılan sıcak su üretimi yapılacaktır.
- ❖ İdari bina içinde bazı yerlerde havalandırma amaçlı kullanılan çeşitli kapasitelerde dört adet ısı geri kazanımlı havalandırma cihazına sahiptir. Bu cihazlarda, kış aylarında dışarıdan alınan havanın ısı yükünü karşılamak için sulu batarya ile hava ısıtılır ve hava mahal konfor sıcaklığında üflenir. Ofislerin

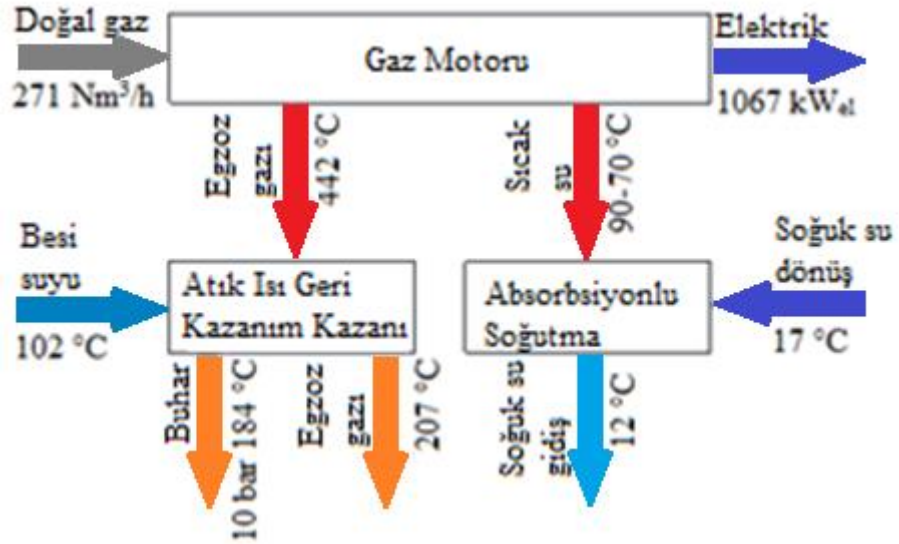
iç hava sıcaklığının 20 °C, Bursa ili için dış sıcaklığın -6 °C olduğu ve cihazın geri kazanım oranı % 40 olarak varsayıldığında, ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının (HRV) ısıtma batarya kapasiteleri sırasıyla 8,3, 5,5, 15 ve 4,8'dir. Böylece havalandırma (HRV) ısıtma bataryasının toplam ısı ihtiyacı 33,6 kW'tır.

- ❖ Tesisin üretim bölümünde genel havalandırma için kullanılan taze hava santrali bulunmaktadır. Tesiste kış aylarında dışarıdan alınan havanın ısı yükünü karşılamak için sulu batarya ile hava ısıtılır ve mahal konfor sıcaklığında üflenir. Ofislerin iç hava sıcaklığının 20 °C, Bursa ili için dış sıcaklığın -6 °C olduğu varsayıldığında klima santrali (AHU) ısıtma bataryasının toplam ısı ihtiyacı 280 kW'tır.
- ❖ Tesisin soyunma odalarında kullanılmak üzere boylerde kullanım sıcak suyu üretimi yapılmaktadır. Soyunma odasında 39 lavabo ve beş duş bulunmaktadır. Sıcak su ihtiyacını karşılamak için 1000 lt sıcak su kazanı kullanılmaktadır. 1000 lt kazan, 49815 kcal/h ısı çekmektedir. Böylece boylar ısıtma serpantininin toplam ısı ihtiyacı 58 kW'tır.
- ❖ Tesiste idari bina konfor ısıtması alanlarda toplam 30,8 metre PKKP / 600 tipi panel radyatör ile yapılmaktadır. 1 metrelik radyatör (PKKP / 600) 2302W ısı çekmektedir. Böylece radyatörün toplam ısı ihtiyacı 71 kW'tır.
- LiBr / H<sub>2</sub>O çiftini kullanan tek etkili absorpsiyonlu soğutucu, tesisteki 11 adet buhar form makinesinden çıkan ürünü soğutmak için kullanılacaktır.

Trijenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında egzoz gazı, motor ceket suyu ve motor yağından ısı enerjisi üretimi gerçekleştirilecektir. Meydana gelen atık ısı tesis içerisinde değerlendirilecektir. Motordan elde edilecek motor blok ısısı üretici firma tarafından verilen motorun teknik kataloğunda verilmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi çalışmada ele alınan endüstriyel tesisin yıl içinde maksimum elektrik talebi 1465 kW ve minimum elektrik talebi 1000 kW'tır. Bu nedenle

Şekil 3.14'te nominal çalışma durumu şematize edilen 1067 kW elektrik sağlayan GE Jenbacher TS JMS 320 model motorun tam yükte (%100) çalışması durumundaki atık ısısı baz alınıp ve bu işlem sırasında ortaya çıkan atık ısı, maksimum verimlilikle fabrikanın çeşitli yerlerinde kullanılacaktır. Motorun atık ısı kapasitesi Çizelge 3.28'de detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Nominal çalışma durumu için sistem şeması

Çizelge 3.28. Motorun atık ısı kapasitesi

Motor ceket suyu	347 kW
Motor yağı	121 kW
İntercooler (1. kademe)	175 kW
Egzoz gazı	566 kW
İntercooler (2. kademe)	102 kW

### 3.5.1. Egzoz gazı atık ısıyla, tesisin ihtiyacı olan 10 bar basınçta doymuş buhar üretimi

Tesisin farklı bölümlerinde atık ısının nasıl kullanılacağını belirlerken, tesisin ihtiyaçlarının incelenmesi gerekmektedir. Ana ihtiyaçlar buhar, havalandırma ısıtması,

konfor ısıtması, kullanım sıcak suyu, proses soğuk suyudur. Öncelikle motor egzoz gazındaki atık ısı, 10 bar basınçta buhar tüketen 11 adet buhar form makinesi ile yakıt hortumu üretiminde kullanılacaktır. Bu nedenle atık ısı geri kazanım kazanı ile tesisin ihtiyacı olan 10 bar basınçta doymuş buhar üretilecektir. Geri kazanım kazanı endüstriyel tesisatın ihtiyacına göre tasarlanabildiğinden, giriş parametreleri kullanıcı talebine göre uyarlanmıştır (Çizelge 3.29).

**Çizelge 3.29.** Geri kazanım kazanı için giriş verileri

Egzoz gazı giriş sıcaklığı	442 °C
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	207 °C
Egzoz gazı kütleli debisi (yaş)	5665 kg/h
Egzoz gazı $C_p$	1,163 kJ/kg.°C
Besleme suyu sıcaklığı	102 °C
Su buharı sıcaklığı	184 °C
Kazanın çalışma basıncı	10 bar

Atık ısı kazanı tipi: Duman borulu

Geçiş sayısı: 15 geçişli

Kullanılan boru çapı: 70/76  $d_o$ :73 mm

Giren enerji (2.9) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_c - T_g)$$

$$\dot{Q} = 5665 \text{ kg/h} \cdot 1,163 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot (442 - 207) ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = 1548273 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{Q} = 430 \text{ kW}$$

Üretilen buhar miktarı (2.8) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c h_c - \dot{m}_g h_g = \dot{m}(h_c - h_g)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} * (h_{\text{buhar}} - h_{\text{su}})$$

$$1548273 = \dot{m} * (2776 - 427)$$

$$\dot{m} = 660 \text{ kg/h}$$



Her bir buhar form makinesi 10 barda 60 kg/h buhar ihtiyacı olduğuna göre, 11 adet buhar form makinesi için yeterli buhar üretimi vardır. Egzoz gazı atık ısı kapasitesi (566 kW), atık ısı kazanı kapasitesinden (430 kW) daha büyük olduğundan tasarlanan sistem yeterlidir.

### **3.5.2. Motor ceket suyu ve motor yağının atık ısı ile 70–90 °C ısınma amaçlı kullanılan sıcak su üretimi**

Motor ceket suyu ve motor yağının ürettiği atık ısı ile 90 °C gidiş ve 70 °C dönüş sıcaklığına sahip ısınma amaçlı sıcak su üretimi yapılacaktır. Böylelikle doğalgazlı sıcak su kazanı kullanmaya gerek kalmayacaktır. Üretilen sıcak suyun kullanılacağı yerler:

- ❖ İdari bina içinde bazı yerlerde havalandırma amaçlı kullanılan çeşitli kapasitelerde dört adet ısı geri kazanımlı havalandırma cihazına sahiptir. Bu cihazlarda, kış aylarında dışarıdan alınan havanın ısı yükünü karşılamak için sulu batarya ile hava ısıtılır ve hava mahal konfor sıcaklığında üflenir. Ofislerin iç hava sıcaklığının 20 ° C, Bursa ili için dış sıcaklığın -6 ° C olduğu ve cihazın geri kazanım oranı % 40 olarak varsayıldığında, ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının (HRV) ısıtma batarya kapasiteleri sırasıyla 8,3, 5,5, 15 ve 4,8'tür. Böylece havalandırma (HRV) ısıtma bataryasının toplam ısı ihtiyacı 33,6 kW'tır.

Isı geri kazanım cihazlarındaki ısıtma bataryası kapasitesi (2.9) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_c - T_g)$$

İç hava sıcaklığı 20 °C

Dış hava sıcaklığı -6 °C (Bursa için)

Geri kazanım oranı %40

$c_p = 0.279 \text{ wh/kg}^\circ\text{C}$  (20°C de havanın özgül ısısı)

$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$  (20°C de havanın yoğunluğu)

<u>Hava Debisi</u>	<u>Isıtma Batarya Kapasitesi</u>
HRV-1 1590 m <sup>3</sup> /h (1908 kg/h)	= $[1908 \cdot 0,279 \cdot (20+6)] \cdot 0,6 = 8,3 \text{ kW}$
HRV-2 1050 m <sup>3</sup> /h (1260 kg/h)	= $[1260 \cdot 0,279 \cdot (20+6)] \cdot 0,6 = 5,5 \text{ kW}$
HRV-3 2880 m <sup>3</sup> /h (3456 kg/h)	= $[3456 \cdot 0,279 \cdot (20+6)] \cdot 0,6 = 15 \text{ kW}$
HRV-4 920 m <sup>3</sup> /h (1104 kg/h)	= $[1104 \cdot 0,279 \cdot (20+6)] \cdot 0,6 = 4,8 \text{ kW}$
HRV Isıtma Bataryası Toplam Isı İhtiyacı	=33,6 kW

- ❖ Tesisin üretim bölümünde genel havalandırma için kullanılan taze hava santrali bulunmaktadır. Tesiste kış aylarında dışarıdan alınan havanın ısı yükünü karşılamak için sulu batarya ile hava ısıtılır ve mahal konfor sıcaklığında üflenir. Ofislerin iç hava sıcaklığının 20 ° C, Bursa ili için dış sıcaklığın -6 ° C olduğu varsayıldığında klima santrali (AHU) ısıtma bataryasının toplam ısı ihtiyacı 280 kW'tır.

Taze hava santralindeki ısıtma bataryası kapasitesi (2.9) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_c - T_g)$$

İç hava sıcaklığı 20 °C

Dış hava sıcaklığı -6 °C (Bursa için)

Geri kazanım oranı %40

$c_p = 0.279 \text{ wh/kg}^\circ\text{C}$  (20°C de havanın özgül ısısı)

$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$  (20°C de havanın yoğunluğu)

<u>Hava Debisi</u>	<u>Isıtma Batarya Kapasitesi</u>
--------------------	----------------------------------

AHU 32200 m <sup>3</sup> /h (38640 kg/h)	= $[38640 \cdot 0,279 \cdot (20+6)] \cdot 0,6 = 280 \text{ kW}$
--	---

AHU Isıtma Bataryası Toplam Isı İhtiyacı =280 kW

- ❖ Tesisin soyunma odalarında kullanılmak üzere boylerde kullanım sıcak suyu üretimi yapılmaktadır. Soyunma odasında 39 lavabo ve beş duş bulunmaktadır. Sıcak su ihtiyacını karşılamak için 1000 lt sıcak su kazanı kullanılmaktadır. 1000

It kazanlara 49815 kcal/h ısı çekmektedir. Böylece boyler ısıtma serpantininin toplam ısı ihtiyacı 58 kW'tır.

- ❖ Tesiste idari bina konfor ısıtması alanlarda toplam 30,8 metre PKK / 600 tipi panel radyatör ile yapılmaktadır. 1 metrelik radyatör (PKK / 600) 2302W ısı çekiyor. Böylece radyatörün toplam ısı ihtiyacı 71 kW'tır.

Isıtma kolektörünün toplam kapasitesi 442,6 kW'tır ve sistem yeterlidir çünkü motor ceket suyu ve motor yağının toplam atık ısı (468 kW), ısıtma kolektöründeki toplam ısıdan daha büyüktür.

### 3.5.3. Absorbsiyonlu soğutma sistemi dizaynı

LiBr / H<sub>2</sub>O çiftini kullanan tek etkili absorpsiyonlu soğutucu, tesisteki 11 adet buhar form makinesinden çıkan ürünü soğutmak için kullanılacaktır. Tesisteki hidrolik presler için yaklaşık 10 °C sıcaklıkta soğutma suyu gereklidir. Bu sebeple tek etkili absorpsiyonlu soğutucu ile 10 °C sıcaklığa kadar soğutma istenir.

Tesiste 11 adet buhar form makinesinden çıkan ürünün soğutulması için her birisine 12 °C' de 1,9 m<sup>3</sup>/h debide soğuk suya ihtiyaç vardır. Soğuk suyun dönüş sıcaklığı 17 °C olacaktır.

Soğutma kapasitesi (2.9) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_c - T_g)$$

$$\dot{Q} = 1900\text{kg/h} * 1 * (17-12)$$

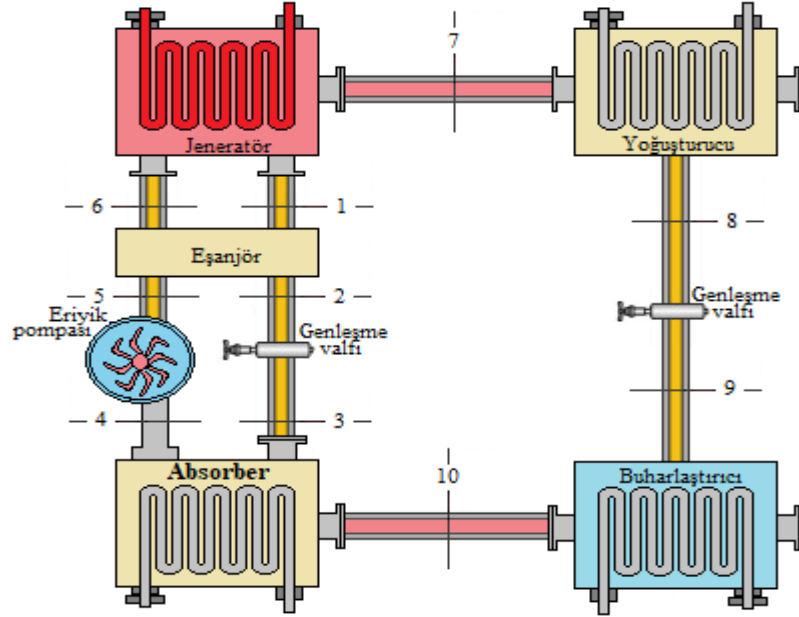
$$\dot{Q} = 9500\text{kcal/h} = 11,04 \text{ kW}$$

$$\Sigma\dot{Q} = 11 * 11,04 \text{ kW}$$

$$\Sigma\dot{Q} = 121,44 \text{ kW}$$

### *LiBr-H<sub>2</sub>O Eriyiğinin Sıcaklık, Basınç, Konsantrasyon Özellikleri*

Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi dört ana bileşenden ve pompadan oluşur. Bunlar, Şekil 3.15'te gösterildiği gibi absorber, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, jeneratör, eriyik pompası, ısı eşanjörü ve genişleme valfleridir.



**Şekil 3.15.** Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi

Bileşenlerin enerji dengesi aşağıda sunulmuştur. Aşağıdaki denklemlerde bulunan alt indisler, Şekil 3.15'te sunulan absorpsiyonlu sistem şemasında karşılık gelen döngü durum noktalarını temsil eder.

$$\dot{Q}_{\text{Jeneratör}} = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_6 h_6$$

$$\dot{Q}_{\text{Absorber}} = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_4 h_4$$

$$\dot{Q}_{\text{Yoğuşturucu}} = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_8 h_8$$

$$\dot{Q}_{\text{Buharlaştırıcı}} = \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_{10} h_{10}$$

$$\dot{Q}_{\text{Isı eşanjörü}} = \dot{m}_1 (h_1 - h_2) = \dot{m}_5 (h_6 - h_5)$$

$$\dot{W}_{\text{Pompa}} = \dot{m}_4 (h_5 - h_4) = \dot{m} v_4 (P_Y - P_B) / \eta_P$$

Önerilen sistemler için geliştirilen simülasyon modelini doğrulamak için literatürde bildirilen veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji analizi için kullanılan veritabanları, Engineering Equation Solver® (EES) yazılımının kitaplığındaki listelenmiş verilerdir. Absorpsiyonlu soğutma sistemindeki elemanların kapasitelerinin literatürdeki verilerle karşılaştırılması Çizelge 3.30'da verilmiştir.

**Çizelge 3.30.** Absorpsiyonlu soğutma sistemindeki elemanların kapasitelerinin literatürdeki verilerle karşılaştırılması

	Anand and Kumar (1987)	Arora and Kaushik (2009)	Bu tez çalışması	Fark (%)	Fark(%)
Elemanlar					
Jeneratör (kW)	3073,11	3095,69	3054	-0,6218456	-1,346711
Yoğuşturucu (kW)	2507,89	2505,91	2477	-1,2317127	-1,1536727
Buharlaştırıcı (kW)	2357,16	2355,45	2355	-0,0916357	-0,0191046
Isı eşanjörü (kW)	523,25	518,71	525,1	0,35355948	1,23190222
Pompa (kW)	-	0,03143	0,03152	-	0,28635062
STK	0,767	0,76	0,7713	0,56062582	1,48684211

Bu çalışmada geliştirilen model aracılığıyla elde edilen tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin performansına karşılık gelen simülasyon sonuçları, Anand ve Kumar (1987), Arora ve Kaushik (2009) tarafından verilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bağlı hata yüzdesi, sonuçların doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Modelin validasyonunda çalışma koşulları,  $T_{\text{jeneratör}}=87,8^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{buharlaştırıcı}}=7,2^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{yoğuşturucu}}= T_{\text{absorber}}=37,8^{\circ}\text{C}$ , ısı eşanjörünün etkinliği=0,7, kütleli debisi soğutucu için (su)=1 kg.s<sup>-1</sup> olarak alınmıştır. Bu değerler, mevcut çalışma ve referans alınan çalışmalar için aynıdır ve yalnızca doğrulama amacıyla kullanılmıştır.

Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji analizi sonuçları Çizelge 3.30'da listelenmiştir. Bu sonuçlar, burada sunulan matematiksel modelin geçerliliği için bir referanstır. Absorpsiyonlu soğutma sistemi elemanlarının ısı transfer oranları ve STK değerleri Anand ve Kumar (1987), Arora ve Kaushik (2009) tarafından bildirilen verilerle karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.30'a bakıldığında, bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatür tarafından bildirilenler arasında iyi bir uyum vardır.

Önerilen enerji üretim sistemine dayalı olarak, süreçlerin modellenmesi için burada bazı varsayımlar dikkate alınmıştır. Bu varsayımlar ve giriş parametreleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Önerilen trijenerasyon sistemi, kararlı durumda çalışır;
- Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilebilir;
- Kısılma valfleri adyabatiktir;
- Yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdan çıkan su ve buhar doymuştur.
- Borulardaki ve bileşenlerdeki ısı kayıpları ve basınç düşüşleri ihmal edilebilir düzeydedir.
- Tesisteki hidrolik presler için yaklaşık 10 °C sıcaklıkta soğutma suyuna ihtiyaç vardır. Bu nedenle absorpsiyonlu soğutma sistemi ile 10 °C sıcaklığa kadar soğutma yapılacaktır.
- Yoğuşturucuda yoğuşma sıcaklığı 40 °C'dir.
- Jeneratörde çıkış sıcaklığı 100 °C'dir.
- Isı eşanjöründen gelen zayıf çözeltilerin çıkış sıcaklığı 60 °C'dir.

Kapsamlı bir analiz yapabilmek için ilk adım olarak çevrimdeki tüm noktaların termodinamik özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Buna göre LiBr / H<sub>2</sub>O çiftini kullanan tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemindeki noktaların termodinamik özellikleri hesaplanmış ve Çizelge 3.31 ve Çizelge 3.32'de sunulmuştur. Bu termodinamik özellikler arasında sıcaklık, basınç, LiBr konsantrasyonu ve özgül entalpi bulunur.

**Çizelge 3.31.** Tek etkili absorpsiyonlu soğutucudaki farklı noktaların termodinamik özellikleri

Durum	T [°C]	P [kPa]	X [%]	h [kJ/kg]
1	100	7.375	0,67	261,4
2	72	7.375	0,67	212
3	64	1.227	0,67	212
4	40	1.227	0,55	94,86
5	40	7.375	0,55	94,86
6	60	7.375	0,55	135,9
7	74	7.375	0	2638
8	40	7.375	0	167,4
9	10	1.227	0	167,4
10	10	1.227	0	2519

**Çizelge 3.32.** Tek etkili absorpsiyonlu soğutucudaki her bir elemanın ısı transfer oranları

Elemanlar	Isı transfer oranı [kW]
Jeneratör	173,2
Yoğuşturucu	-137,3
Buharlaştırıcı	130,6
Absorber	-166,6
Isı eşanjörü	13,55

Hesaplamalar sonucunda gerekli toplam soğutma kapasitesi 121,44 kW olarak bulunmuştur. Absorpsiyonlu soğutucunun soğutma kapasitesi sisteme gerekli olan toplam soğutma kapasitesinden fazla olduğu için ihtiyacı karşılar.

### 3.6. Sistemin Ekonomik Yönden İncelenmesi

Ekonomik analiz, istenen ekonomik koşullara dayalı karşılaştırma ve karar verme tekniklerini içerir. Yeni ekipman satın alınırken, yeni bir yatırım veya projeye başlarken şirketlerin projenin fizibilitesini doğrulaması gerekir. Bu amaçla çeşitli ekonomik karar verme yöntemleri kullanılmaktadır.

25 Aralık 2020 tarihli güncel döviz kuru 1 € = 9,211 TL'dir.

### 3.6.1. Yakıt giderlerinin hesaplanması

Trijenerasyon sisteminde elektrik üretimi için bazı harcamalar olacaktır. Motorda tüketilen doğal gaz ilk sırada gelir.

Yakıt maliyeti =

Yakıt fiyatı x Saatlik yakıt tüketimi(kWh)x Yıllık çalışma saati

Bursa ili için doğal gaz dağıtım hizmeti veren BURSAGAZ A.Ş'den alınan doğalgaz fiyatlandırma tarifesi Çizelge 3.33 'te ve EK 4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.33.** Bursa ili Aralık 2020 doğalgaz tarifesi

Yıllık Tüketim Miktarı Aralığı	Doğalgaz Fiyatı (TL)	KDV Dahil Fiyatı (TL)	KDV Dahil Fiyatı (€)
0-100.000 Sm <sup>3</sup>	1,633465	1,927489	0,209259472
100.001-1.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,566075	1,847969	0,200626316
1.000.001-10.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,480207	1,746644	0,189625882

### 3.6.2. Amortisman maliyeti

Bu yatırımı yaparken kullanacağı finansman için geri dönüş süresi sonuna kadar yatırımcıya finansman maliyeti olacaktır. Finansman maliyetleri 1, 2 veya 3 vardiya göre değişmektedir. Finansman maliyetini bulmak için şimdiki değer yöntemi kullanılmış ve (2.17) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

### 3.6.3. Elektrik tarifesi

Tesisin elektriğini bölgenin elektrik dağıtımını gerçekleştiren Limak Enerji Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. den satın almaktadır. Limak Enerji Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin elektrik tarife fiyatları Çizelge 3.34'te ve EK 5'te verilmiştir.



**Çizelge 3.34.** Bursa ili Aralık 2020 elektrik tarife fiyatları

<b>Tarife Grubu Sanayi (Çift Terimli)</b>	<b>Gündüz (06:00 -17:00)</b>	<b>Puant (17:00 -22:00)</b>	<b>Gece (22:00 -06:00)</b>
<b>kr/kWh</b>	62,4339	96,4358	34,9911
<b>€/kWh</b>	0,067781891	0,104696341	0,037988383

#### **3.6.4. Geri ödeme süresinin hesaplanması**

İlk yatırım ile bu yatırımın projedeki değerinin girişimci tarafından geri kazanılması arasındaki süre, geri ödeme süresi ile bulunabilmektedir. Geri ödeme süresi, (2.19) bağıntısı ile hesaplanır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bursa'da bulunan örnek otomotiv yan sanayi fabrikasında, gaz motoru kullanılarak elektrik üretimi sağlanacaktır. Motorun atık ısısı konfor ve proses ısıtmasında kullanılacaktır. Ayrıca absorpsiyonlu soğutma sistemi ile proses soğutmada atık ısının bir kısmının kullanılmasıyla sistemden maksimum verim alınması hedeflenmektedir.

### 4.1. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi

Trijenerasyon içerisinde oluşturulan absorpsiyonlu soğutma sisteminde sistemin performans katsayısı (STK) faydalı enerji ile harcanan enerjiye oranı (2.15) bağıntısı ile bulunur. Pompa gücü, soğutma makinesine verilen termik güce göre minimum olduğundan dolayı pratikte ihmal edilebilir.

Soğutma tesir katsayısı (STK) (2.15) bağıntısı ile bulunur.

$$STK = \frac{\dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}}}{\dot{W}_{\text{pompa}} + \dot{Q}_{\text{jeneratör}}} = 0,754$$

### 4.2. Trijenerasyon Sisteminin Çalışma Düzeni

Modellemesi yapılan trijenerasyon sisteminin tesisin enerji ihtiyacını karşılamak için yıl boyunca ay içerisindeki günlük çalışma saatleri belirlenip altı farklı senaryo için çalışma çizelgeleri oluşturulmuştur. Bu çalışma çizelgeleri aşağıdaki verilmiştir;

1. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için 1067 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, tesisin elektrik ihtiyacı minimum düzeyde olsa dahi tam yükte (%100) çalıştırılacaktır. Daha fazla güce ihtiyaç duyulduğunda elektrik şebekeden satın alınacaktır. Bu baz alınarak, 1067 kW elektrik çıkış gücündeki gaz

motoru seçilmiştir. Seçilen gaz motorunun ayrıntılı teknik özellikleri EK-1’de verilmiş olup, tam yükte çalışması halinde saatte 271 Nm<sup>3</sup>/h doğal gaz tüketimi olduğu görülmektedir. Yılın 12 ayı ayda 624 saat motor tam yükte çalışacaktır (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1.** Aylık üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Aylık Üretilen Elektrik Enerjisi (kW)				Aylık Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
Gündüz (06:00-17:00)	Puant (17:00-22:00)	Gece (22:00-06:00)	Toplam	
305162	138710	221936	665808	169104

## 2. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1202 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için tesisin günlük ortalama elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır. Sistemde günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1201,58 kW’tır. Bu baz alınarak, yeni nesil gaz motorlarından, 1202 kW gaz motoru seçilmiştir. Seçilen gaz motorunun ayrıntılı teknik özellikleri EK-2’de verilmiştir. Her ay için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’te verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Saatler		Ocak ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Şubat ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mart ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )		
01:00	Gece	1008,67	83,94	247,97	1022,248	85,07	250,99	1029,825	85,70	252,68		
02:00		1008,67		249,97			250,99			252,68		
03:00		1008,67		249,97			250,99			252,68		
04:00		1008,67		249,97			250,99			252,68		
05:00		1008,67		249,97			250,99			252,68		
06:00	Gündüz	1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
07:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
08:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
09:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
10:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
11:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
12:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
13:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
14:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
15:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
16:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
17:00	Pıntı	1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
18:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
19:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
20:00		1008,67		249,97			1022,248			250,99	1029,825	252,68
21:00		1008,67	249,97	1022,248	250,99	1029,825	252,68					
22:00		1008,67	249,97	1022,248	250,99	1029,825	252,68					
23:00		1008,67	249,97	1022,248	250,99	1029,825	252,68					
00:00		1008,67	249,97	1022,248	250,99	1029,825	252,68					







### 3. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1498 kW elektrik etimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için motor günlük 3 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçları yaklaşık olarak yakın değerlerde olması gözetilerek 3 bölüme ayrılmıştır. Bunlar 01:00-08:00 arası, 09:00-17:00 arası ve 18:00-24:00 arasıdır. Sistemde bu bölümlerden ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarının maksimum olanı ağustos ayının 2. bölümünde gerçekleşmiş ve bu değer 1410,53 kW'tır. Bu baz alınarak, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki gaz motoru seçilmiştir. Seçilen gaz motorunun ayrıntılı teknik zellikleri EK-3'de verilmektedir. Her ay için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı izelge 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.



**Çizelge 4.6.** Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Saatler		Ocak ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Şubat ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mart ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )		
01:00	Gece	1001,667	67,04	253,58	1004,277	67,22	254,16	1005,733	67,31	254,48		
02:00		1001,667		253,58			1004,277			254,16	1005,733	254,48
03:00		1001,667		253,58			1004,277			254,16	1005,733	254,48
04:00		1001,667		253,58			1004,277			254,16	1005,733	254,48
05:00		1001,667		253,58			1004,277			254,16	1005,733	254,48
06:00	Gündüz	1001,667	68,10	253,58	1004,277	69,94	254,16	1005,733	70,97	254,48		
07:00		1001,667		253,58			1004,277			254,16	1005,733	254,48
08:00		1001,667		253,58			1004,277			254,16	1005,733	254,48
09:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
10:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
11:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
12:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
13:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
14:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
15:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
16:00		1017,657	257,11	1045,309	263,20	1060,742	266,61					
17:00	Puant	1017,657	67,27	257,11	1045,309	67,80	263,20	1060,742	68,10	266,61		
18:00		1005,119		254,34			1013,135			256,11	1017,610	257,10
19:00		1005,119		254,34			1013,135			256,11	1017,610	257,10
20:00		1005,119		254,34			1013,135			256,11	1017,610	257,10
21:00		1005,119		254,34			1013,135			256,11	1017,610	257,10
22:00		1005,119	67,27	254,34	1013,135	67,80	256,11	1017,610	68,10	257,10		
23:00		1005,119		254,34			1013,135			256,11	1017,610	257,10
00:00		1005,119		254,34			1013,135			256,11	1017,610	257,10

**Çizelge 4.7.** Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Nisan ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mayıs ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Haziran ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1011,9992	67,73	255,86	1013,75	67,85	256,25	1027,708	68,77	259,32
1011,9992		255,86	1013,75		256,25	1027,708		259,32
1011,9992		255,86	1013,75		256,25	1027,708		259,32
1011,9992		255,86	1013,75		256,25	1027,708		259,32
1011,9992		255,86	1013,75		256,25	1027,708		259,32
1011,9992		255,86	1013,75		256,25	1027,708		259,32
1011,9992		255,86	1013,75		256,25	1027,708		259,32
1011,9992		255,86	1013,75		256,25	1027,708		259,32
1127,1245	75,37	281,24	1145,674	76,61	285,33	1293,554	86,42	317,93
1127,1245		281,24	1145,674		285,33	1293,554		317,93
1127,1245		281,24	1145,674		285,33	1293,554		317,93
1127,1245		281,24	1145,674		285,33	1293,554		317,93
1127,1245		281,24	1145,674		285,33	1293,554		317,93
1127,1245		281,24	1145,674		285,33	1293,554		317,93
1127,1245		281,24	1145,674		285,33	1293,554		317,93
1127,1245		281,24	1145,674		285,33	1293,554		317,93
1036,8546	69,38	261,34	1042,232	69,74	262,53	1085,104	72,58	271,98
1036,8546		261,34	1042,232		262,53	1085,104		271,98
1036,8546		261,34	1042,232		262,53	1085,104		271,98
1036,8546		261,34	1042,232		262,53	1085,104		271,98
1036,8546		261,34	1042,232		262,53	1085,104		271,98
1036,8546		261,34	1042,232		262,53	1085,104		271,98
1036,8546		261,34	1042,232		262,53	1085,104		271,98

**Çizelge 4.8.** Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Temmuz ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Ağustos ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Eylül ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1028,725	68,84	259,55	1038,75	69,51	261,76	1014,583	67,90	256,43
1028,725		259,55	1038,75		261,76	1014,583		256,43
1028,725		259,55	1038,75		261,76	1014,583		256,43
1028,725		259,55	1038,75		261,76	1014,583		256,43
1028,725		259,55	1038,75		261,76	1014,583		256,43
1028,725		259,55	1038,75		261,76	1014,583		256,43
1028,725		259,55	1038,75		261,76	1014,583		256,43
1028,725		259,55	1038,75		261,76	1014,583		256,43
1304,325	87,14	320,30	1410,53	94,19	343,72	1154,502	77,19	287,28
1304,325		320,30	1410,53		343,72	1154,502		287,28
1304,325		320,30	1410,53		343,72	1154,502		287,28
1304,325		320,30	1410,53		343,72	1154,502		287,28
1304,325		320,30	1410,53		343,72	1154,502		287,28
1304,325		320,30	1410,53		343,72	1154,502		287,28
1304,325		320,30	1410,53		343,72	1154,502		287,28
1304,325		320,30	1410,53		343,72	1154,502		287,28
1088,227	72,79	272,66	1119,02	74,84	279,45	1044,792	69,91	263,09
1088,227		272,66	1119,02		279,45	1044,792		263,09
1088,227		272,66	1119,02		279,45	1044,792		263,09
1088,227		272,66	1119,02		279,45	1044,792		263,09
1088,227		272,66	1119,02		279,45	1044,792		263,09
1088,227		272,66	1119,02		279,45	1044,792		263,09
1088,227		272,66	1119,02		279,45	1044,792		263,09
1088,227		272,66	1119,02		279,45	1044,792		263,09

**Çizelge 4.9.** Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Ekim ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kasım ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Aralık ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1012,833	67,78	256,04	1006,567	67,37	254,66	1005,11	67,27	254,34
1012,833		256,04	1006,567		254,66	1005,11		254,34
1012,833		256,04	1006,567		254,66	1005,11		254,34
1012,833		256,04	1006,567		254,66	1005,11		254,34
1012,833		256,04	1006,567		254,66	1005,11		254,34
1012,833		256,04	1006,567		254,66	1005,11		254,34
1012,833		256,04	1006,567		254,66	1005,11		254,34
1012,833		256,04	1006,567		254,66	1005,11		254,34
1135,953	75,96	283,19	1069,57	71,55	268,55	1054,138	70,53	265,15
1135,953		283,19	1069,57		268,55	1054,138		265,15
1135,953		283,19	1069,57		268,55	1054,138		265,15
1135,953		283,19	1069,57		268,55	1054,138		265,15
1135,953		283,19	1069,57		268,55	1054,138		265,15
1135,953		283,19	1069,57		268,55	1054,138		265,15
1135,953		283,19	1069,57		268,55	1054,138		265,15
1135,953		283,19	1069,57		268,55	1054,138		265,15
1039,414	69,55	261,90	1020,169	68,27	257,66	1015,695	67,97	256,68
1039,414		261,90	1020,169		257,66	1015,695		256,68
1039,414		261,90	1020,169		257,66	1015,695		256,68
1039,414		261,90	1020,169		257,66	1015,695		256,68
1039,414		261,90	1020,169		257,66	1015,695		256,68
1039,414		261,90	1020,169		257,66	1015,695		256,68
1039,414		261,90	1020,169		257,66	1015,695		256,68
1039,414		261,90	1020,169		257,66	1015,695		256,68

#### 4. Senaryo:

Tesisin saatlik olarak talep ettiği elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1498 kW elektrik üretimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için motor günlük 2 farklı kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi bir batarya ile depolanacaktır. Gerektiğinde tekrar kullanılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçları 2 bölüme ayrılmıştır. Bunlar 01:00-14:00 arası, 14:00-00:00 arasıdır. Sistemde bu bölümlerden ortalama elektrik enerjisi ihtiyaçlarının maksimum olanı ağustos ayının 2. bölümünde gerçekleşmiş ve bu değer 1205,76 kW'tır. Bu baz alınarak, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki motoru seçilmiştir. Her ay için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı Çizelge 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13'te verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Saatler		Ocak ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Şubat ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mart ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
01:00	Gece	1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
02:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
03:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
04:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
05:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
06:00	Gündüz	1008,542	67,50	255,10	1021,918	68,39	258,05	1029,383	68,88	259,69
07:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
08:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
09:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
10:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
11:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
12:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
13:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
14:00		1008,542		255,10	1021,918		258,05	1029,383		259,69
15:00		1008,85		67,52	255,17		1022,709	68,44		258,22
16:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
17:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
18:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
19:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
20:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
21:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
22:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
23:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			
00:00	1008,85	255,17	1022,709		258,22	1030,444	259,93			

**Çizelge 4.11.** Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Nisan ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mayıs ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Haziran ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1061,4957	71,02	266,77	1070,469	71,61	268,75	1142,005	76,36	284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1061,4957		266,77	1070,469		268,75	1142,005		284,52
1063,7156	71,16	267,26	1073,013	71,78	269,31	1147,131	76,70	285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65
1063,7156		267,26	1073,013		269,31	1147,131		285,65

**Çizelge 4.12.** Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Temmuz ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Ağustos ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Eylül ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1147,216	76,71	285,67	1198,59	80,12	297,00	1074,74	71,90	269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216		285,67	1198,59		297,00	1074,74		269,69
1147,216	285,67	1198,59	297,00	1074,74	269,69			
1152,53	77,06	286,84	1205,76	80,60	298,58	1077,438	72,07	270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53		286,84	1205,76		298,58	1077,438		270,29
1152,53	286,84	1205,76	298,58	1077,438	270,29			



**Çizelge 4.13.** Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Ekim ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kasım ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Aralık ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1065,767	71,30	267,71	1033,654	69,17	260,63	1026,189	68,67	258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1065,767		267,71	1033,654		260,63	1026,189		258,99
1068,141	71,46	268,24	1034,869	69,25	260,90	1027,134	68,73	259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20
1068,141		268,24	1034,869		260,90	1027,134		259,20

## 5. Senaryo

Tesisin saatlik olarak talep ettiği elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1498 kW elektrik etimi sağlayan bir motor seçilip, her ay için tesisin günlük maksimum elektrik tüketimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisi şebekeye satılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1465 kW'tır. Bu baz alınarak, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki gaz motoru seçilmiştir. Her ay için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı izelge 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17'de verilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Saatler		Ocak ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Şubat ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mart ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	
01:00	Gece	1020	66,23	257,6242	1051,32	68,27	264,5287	1068,8	69,40	268,382	
02:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
03:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
04:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
05:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
06:00	Gündüz	1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
07:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
08:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
09:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
10:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
11:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
12:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
13:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
14:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
15:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
16:00		1020		257,6242	1051,32		264,5287	1068,8		268,382	
17:00		Puant		1020	257,6242		1051,32	264,5287		1068,8	268,382
18:00				1020	257,6242		1051,32	264,5287		1068,8	268,382
19:00				1020	257,6242		1051,32	264,5287		1068,8	268,382
20:00				1020	257,6242		1051,32	264,5287		1068,8	268,382
21:00	1020		257,6242	1051,32	264,5287	1068,8	268,382				
22:00		1020	257,6242	1051,32	264,5287	1068,8	268,382				
23:00		1020	257,6242	1051,32	264,5287	1068,8	268,382				
00:00		1020	257,6242	1051,32	264,5287	1068,8	268,382				

**Çizelge 4.15.** Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Nisan ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mayıs ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Haziran ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1143,99	74,285	284,958	1165	75,649	289,5896	1332,5	86,526	326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153
1143,99		284,958	1165		289,5896	1332,5		326,5153





## 6. Senaryo

Tesisin saatlik olarak talep ettiği elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistem 1498 kW elektrik etimi sağlayan bir motor seçilip, motor her ay tesisin saatlik elektrik tetimi değerinde kısmi yükte çalıştırılacaktır. Sistemde günlük elektrik enerjisi ihtiyaçlarından maksimum olanı ağustos ayında gerçekleşmiş ve bu değer 1465 kW'tır. Bu baz alınarak, 1498 kW elektrik çıkış gücündeki gaz motoru seçilmiştir. Her ay için üretilen elektrik enerjisi ve tetilen yakıt miktarı izelge 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21'de verilmiştir.

**Çizelge 4.18.** Ocak, şubat ve mart ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Saatler		Ocak ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Şubat ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mart ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
01:00	Gece	1002	67,065	253,656	1005,132	67,273	254,347	1006,88	67,389	254,732
02:00		1001,67	67,043	253,583	1004,277	67,216	254,158	1005,733	67,313	254,479
03:00		1001,67	67,043	253,583	1004,277	67,216	254,158	1005,733	67,313	254,479
04:00		1001,5	67,032	253,546	1003,849	67,188	254,064	1005,16	67,275	254,353
05:00		1001,17	67,01	253,472	1002,994	67,131	253,875	1004,013	67,199	254,1
06:00	Gündüz	1000,5	66,966	253,325	1001,283	67,018	253,498	1001,72	67,047	253,594
07:00		1000	66,932	253,215	1000	66,932	253,215	1000	66,932	253,215
08:00		1004,83	67,253	254,281	1012,402	67,756	255,949	1016,627	68,036	256,881
09:00		1012,75	67,779	256,026	1032,717	69,105	260,428	1043,86	69,845	262,884
10:00		1016,83	68,050	256,926	1043,194	69,800	262,737	1057,907	70,777	265,981
11:00		1017,83	68,116	257,147	1045,76	69,971	263,303	1061,347	71,006	266,739
12:00		1019,83	68,249	257,587	1050,892	70,312	264,434	1068,227	71,463	268,256
13:00		1019	68,194	257,404	1048,754	70,17	263,963	1065,36	71,272	267,624
14:00		1020	68,260	257,624	1051,32	70,34	264,529	1068,8	71,501	268,382
15:00		1018,67	68,172	257,330	1047,899	70,113	263,775	1064,213	71,196	267,371
16:00		1018,17	68,139	257,22	1046,616	70,028	263,492	1062,493	71,082	266,992
17:00	Puant	1015,83	67,984	256,706	1040,628	69,630	262,172	1054,467	70,549	265,222
18:00		1008	67,464	254,979	1020,528	68,295	257,741	1027,52	68,76	259,282
19:00		1007	67,397	254,758	1017,962	68,125	257,175	1024,08	68,531	258,524
20:00		1005,5	67,298	254,428	1014,113	67,869	256,326	1018,92	68,189	257,386
21:00		1004,33	67,220	254,170	1011,119	67,671	255,666	1014,907	67,922	256,501
22:00		1004	67,198	254,097	1010,264	67,614	255,478	1013,76	67,846	256,249
23:00		1003,67	67,176	254,024	1009,409	67,557	255,289	1012,613	67,77	255,996
00:00		1003,33	67,154	253,95	1008,553	67,500	255,101	1011,467	67,694	255,743



**Çizelge 4.19.** Nisan, mayıs ve haziran ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Nisan ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Mayıs ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Haziran ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1014,399	67,88838	256,3894	1016,5	68,02789	256,8526	1033,25	69,14011	260,5452
1011,999	67,72903	255,8604	1013,75	67,84529	256,2463	1027,708	68,77213	259,3235
1011,999	67,72903	255,8604	1013,75	67,84529	256,2463	1027,708	68,77213	259,3235
1010,799	67,64935	255,5959	1012,375	67,75398	255,9432	1024,938	68,58815	258,7126
1008,399	67,49	255,0668	1009,625	67,57138	255,337	1019,396	68,22017	257,491
1003,6	67,1713	254,0087	1004,125	67,20618	254,1245	1008,313	67,48423	255,0476
1000	66,93227	253,2151	1000	66,93227	253,2151	1000	66,93227	253,2151
1034,798	69,24287	260,8863	1039,875	69,58001	262,0056	1080,354	72,26787	270,9293
1091,794	73,02747	273,4512	1105,188	73,91683	276,4039	1211,969	81,00722	299,944
1121,192	74,97952	279,932	1138,875	76,15372	283,8303	1279,854	85,51488	314,9094
1128,391	75,45758	281,5191	1147,125	76,70153	285,6491	1296,479	86,6188	318,5744
1142,79	76,41368	284,6934	1163,625	77,79714	289,2865	1329,729	88,82664	325,9044
1136,791	76,01531	283,3708	1156,75	77,34064	287,7709	1315,875	87,90671	322,8503
1143,99	76,49336	284,958	1165	77,88845	289,5896	1332,5	89,01062	326,5153
1134,391	75,85595	282,8418	1154	77,15803	287,1647	1310,333	87,53873	321,6286
1130,791	75,61693	282,0482	1149,875	76,88413	286,2553	1302,021	86,98678	319,7961
1113,992	74,50147	278,3449	1130,625	75,60591	282,0116	1263,229	84,41097	311,2444
1057,596	70,75671	265,9123	1066	71,31474	267,7649	1133	75,76361	282,5352
1050,397	70,27865	264,3251	1057,75	70,76693	265,9462	1116,375	74,65969	278,8702
1039,597	69,56157	261,9444	1045,375	69,94522	263,2181	1091,438	73,00382	273,3727
1031,198	69,00384	260,0927	1035,75	69,30611	261,0963	1072,042	71,71591	269,0968
1028,798	68,84449	259,5637	1033	69,12351	260,49	1066,5	71,34794	267,8752
1026,398	68,68514	259,0347	1030,25	68,9409	259,8838	1060,958	70,97997	266,6535
1023,998	68,52579	258,5056	1027,5	68,7583	259,2776	1055,417	70,612	265,4318

**Çizelge 4.20.** Temmuz, ağustos ve eylül ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

Temmuz ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Ağustos ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Eylül ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1034,47	69,22112	260,8141	1046,5	70,01992	263,4661	1017,5	68,09429	257,073
1028,725	68,83964	259,5476	1038,75	69,50531	261,7576	1014,583	67,90062	256,4301
1028,725	68,83964	259,5476	1038,75	69,50531	261,7576	1014,583	67,90062	256,4301
1025,853	68,6489	258,9144	1034,875	69,24801	260,9034	1013,125	67,80378	256,1086
1020,108	68,26743	257,6479	1027,125	68,7334	259,1949	1010,208	67,61012	255,4656
1008,618	67,50448	255,1149	1011,625	67,70418	255,7779	1004,375	67,22278	254,1796
1000	66,93227	253,2151	1000	66,93227	253,2151	1000	66,93227	253,2151
1083,303	72,46365	271,5793	1112,375	74,39409	277,9884	1042,292	69,74048	262,5384
1219,746	81,52366	301,6585	1296,438	86,61604	318,5652	1111,563	74,34014	277,8093
1290,123	86,19671	317,1731	1391,375	92,91999	339,4944	1147,292	76,71259	285,6858
1307,358	87,34114	320,9726	1414,625	94,46381	344,6199	1156,042	77,2936	287,6148
1341,828	89,62998	328,5715	1461,125	97,55146	354,8708	1173,542	78,45562	291,4727
1327,465	88,67629	325,4053	1441,75	96,26494	350,5996	1166,25	77,97145	289,8652
1344,7	89,82072	329,2048	1465	97,80876	355,7251	1175	78,55246	291,7942
1321,72	88,29482	324,1388	1434	95,75033	348,8911	1163,333	77,77778	289,2222
1313,103	87,72261	322,2391	1422,375	94,97842	346,3284	1158,958	77,48727	288,2577
1272,888	85,05229	313,3736	1368,125	91,37616	334,3689	1138,542	76,13158	283,7569
1137,88	76,08765	283,611	1186	79,28287	294,2191	1070	71,58035	268,6467
1120,645	74,94323	279,8115	1162,75	77,73904	289,0936	1061,25	70,99934	266,7178
1094,793	73,22659	274,1123	1127,875	75,42331	281,4054	1048,125	70,12782	263,8244
1074,685	71,89143	269,6796	1100,75	73,62218	275,4256	1037,917	69,44998	261,5739
1068,94	71,50996	268,4131	1093	73,10757	273,7171	1035	69,25631	260,9309
1063,195	71,12849	267,1466	1085,25	72,59296	272,0086	1032,083	69,06264	260,288
1057,45	70,74701	265,8801	1077,5	72,07835	270,3001	1029,167	68,86897	259,645

**Çizelge 4.21.** Ekim, kasım ve aralık ayı için üretilen elektrik enerjisi ve tüketilen yakıt miktarı

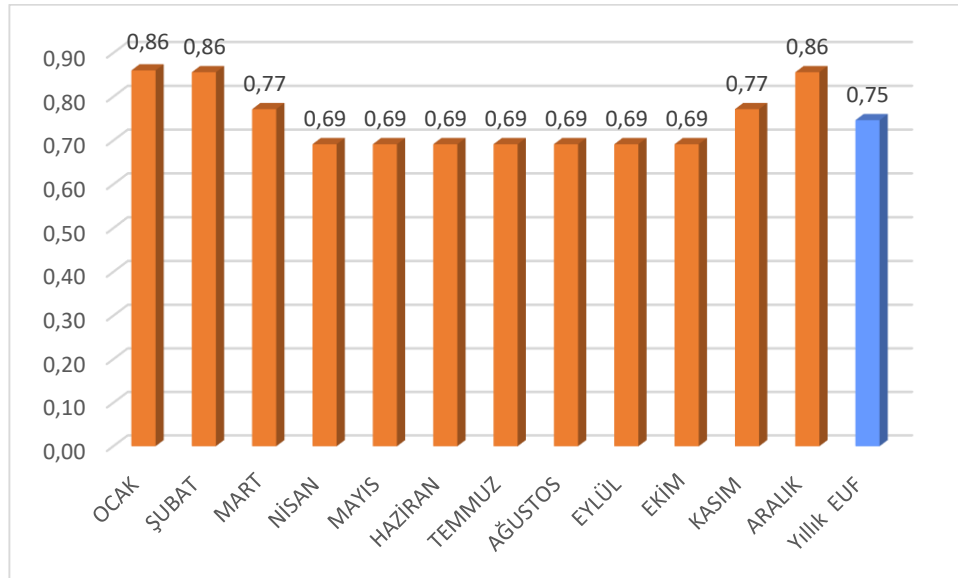
Ekim ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kasım ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )	Aralık ayı için Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Motor Yük Oranı (%)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m <sup>3</sup> )
1015,399	67,95478	256,6099	1007,88	67,45551	254,9523	1006,132	67,33944	254,5669
1012,833	67,78436	256,0441	1006,567	67,3683	254,6628	1005,11	67,27158	254,3416
1012,833	67,78436	256,0441	1006,567	67,3683	254,6628	1005,11	67,27158	254,3416
1011,549	67,69915	255,7612	1005,91	67,3247	254,518	1004,599	67,23765	254,229
1008,983	67,52874	255,1954	1004,597	67,23749	254,2285	1003,577	67,16979	254,0037
1003,85	67,1879	254,0638	1001,97	67,06308	253,6494	1001,533	67,03406	253,5531
1000	66,93227	253,2151	1000	66,93227	253,2151	1000	66,93227	253,2151
1037,214	69,40334	261,4191	1019,043	68,19677	257,4133	1014,819	67,91627	256,482
1098,169	73,45077	274,8566	1050,235	70,26793	264,2895	1039,092	69,52799	261,8329
1129,608	75,5384	281,7875	1066,323	71,33621	267,8362	1051,611	70,3593	264,5929
1137,308	76,04965	283,4848	1070,263	71,59783	268,7048	1054,677	70,56288	265,2688
1152,707	77,07216	286,8796	1078,143	72,12107	270,442	1060,809	70,97005	266,6206
1146,291	76,64612	285,4651	1074,86	71,90305	269,7181	1058,254	70,8004	266,0573
1153,99	77,15737	287,1625	1078,8	72,16467	270,5867	1061,32	71,00398	266,7332
1143,724	76,4757	284,8993	1073,547	71,81585	269,4286	1057,232	70,73254	265,832
1139,874	76,22007	284,0506	1071,577	71,68504	268,9943	1055,699	70,63074	265,4941
1121,909	75,02714	280,0901	1062,383	71,07459	266,9676	1048,545	70,15571	263,917
1061,596	71,02231	266,7941	1031,52	69,02523	260,1638	1024,528	68,56096	258,6224
1053,897	70,51106	265,0967	1027,58	68,76361	259,2952	1021,462	68,35737	257,9465
1042,347	69,74417	262,5507	1021,67	68,37118	257,9923	1016,863	68,05199	256,9326
1033,365	69,14771	260,5704	1017,073	68,06596	256,979	1013,286	67,81448	256,1441
1030,798	68,97729	260,0046	1015,76	67,97875	256,6895	1012,264	67,74661	255,9188
1028,232	68,80687	259,4388	1014,447	67,89154	256,3999	1011,242	67,67875	255,6935
1025,665	68,63645	258,873	1013,133	67,80434	256,1104	1010,22	67,61089	255,4682

### 4.3. Trijenerasyon Sisteminin Toplam Verimi

Trijenerasyon tesisinin ısı verimi, sistemde kullanılan net faydalı iş ve ısı enerjilerin toplamının tüketilen enerjiye oranı olarak tanımlanır (Alcântara ve diğ., 2019) ve (2.14) bağıntısı ile hesaplanır. Her senaryo için trijenerasyon sistem veriminin aylara göre dağılımı Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiştir. Ayrıca 2., 3., 4., 5. ve 6. senaryo için tesisin yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğal gaz miktarları Çizelge 4.22., 4.23., 4.24., 4.25. ve 4.26.’da verilmiştir.

$$\eta_{\text{trig}} = \frac{\dot{W}_{\text{pw}} + \dot{Q}_b + \dot{Q}_{\text{vap}}}{\dot{Q}_{\text{fuel}}}$$

#### 1. Senaryo:

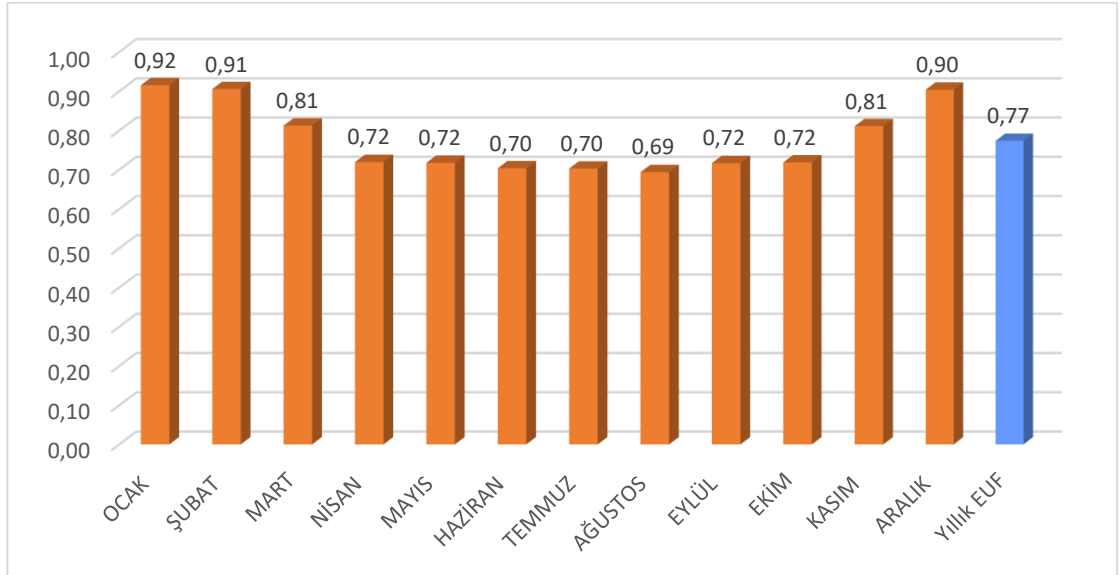


Şekil 4.1. 1.senaryo için trijenerasyon sistem veriminin aylara göre dağılımı

2. Senaryo:

**Çizelge 4.22.** Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı

		Saatlik üretilen mekanik enerji (kW)	Saatlik tüketilen doğalgaz (Nm <sup>3</sup> /h)
<b>Ocak</b>	01:00-24:00	1035,532	247,9664
<b>Şubat</b>	01:00-24:00	1049,4701	250,9887
<b>Mart</b>	01:00-24:00	1057,249	252,6754
<b>Nisan</b>	01:00-24:00	1090,711	259,9308
<b>Mayıs</b>	01:00-24:00	1100,061	261,9582
<b>Haziran</b>	01:00-24:00	1174,603	278,1211
<b>Temmuz</b>	01:00-24:00	1180,033	279,2983
<b>Ağustos</b>	01:00-24:00	1233,57	290,9067
<b>Eylül</b>	01:00-24:00	1104,511	262,9232
<b>Ekim</b>	01:00-24:00	1095,161	260,8958
<b>Kasım</b>	01:00-24:00	1061,699	253,6403
<b>Aralık</b>	01:00-24:00	1053,92	251,9536
<b>Toplam</b>	Yıllık	8259589	1966385,3



**Şekil 4.2.** 2.senaryo için trijenerasyon sistem veriminin aylara göre dağılımı

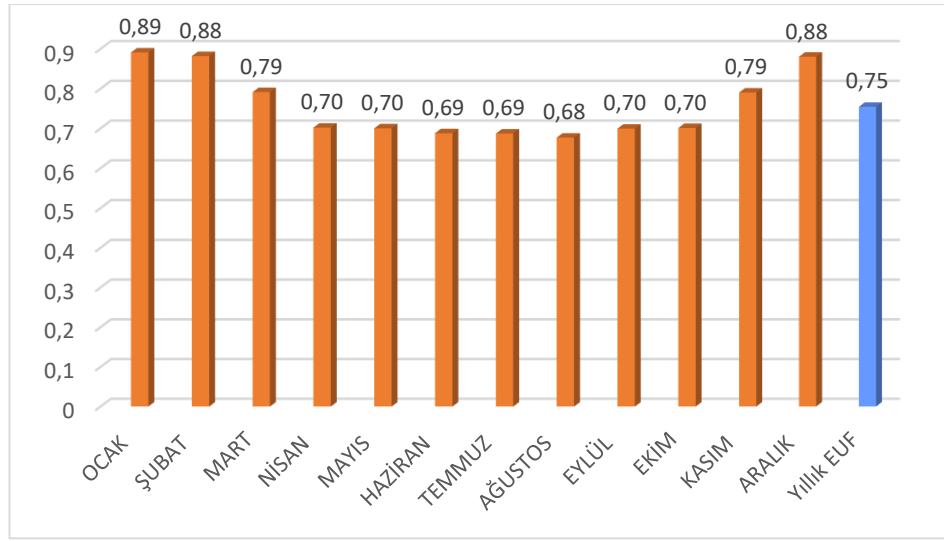
3. Senaryo:

**Çizelge 4.23.** Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı

		Saatlik üretilen mekanik enerji (kW)	Saatlik tüketilen doğalgaz (Nm <sup>3</sup> /h)
<b>Ocak</b>	01:00-08:00	1032,46	253,58
	09:00-17:00	1048,81	257,11
	18:00-24:00	1035,99	254,34
<b>Şubat</b>	01:00-08:00	1035,13	254,16
	09:00-17:00	1077,09	263,20
	18:00-24:00	1044,19	256,11
<b>Mart</b>	01:00-08:00	1036,62	254,48
	09:00-17:00	1092,87	266,61
	18:00-24:00	1048,76	257,10
<b>Nisan</b>	01:00-08:00	1043,03	255,86
	09:00-17:00	1160,75	281,24
	18:00-24:00	1068,44	261,34
<b>Mayıs</b>	01:00-08:00	1044,82	256,25
	09:00-17:00	1179,72	285,33
	18:00-24:00	1073,94	262,53
<b>Haziran</b>	01:00-08:00	1059,09	259,32
	09:00-17:00	1330,94	317,93
	18:00-24:00	1117,78	271,98
<b>Temmuz</b>	01:00-08:00	1060,13	259,55
	09:00-17:00	1341,95	320,30
	18:00-24:00	1120,98	272,66
<b>Ağustos</b>	01:00-08:00	1070,382	261,76
	09:00-17:00	1450,56	343,72
	18:00-24:00	1152,462	279,45
<b>Eylül</b>	01:00-08:00	1045,67	256,43
	09:00-17:00	1188,75	287,28
	18:00-24:00	1076,56	263,09
<b>Ekim</b>	01:00-08:00	1043,88	256,04
	09:00-17:00	1169,78	283,19
	18:00-24:00	1071,06	261,90

**Çizelge 4.24.** Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı (devam)

<b>Kasım</b>	01:00-08:00	1037,47	254,66
	09:00-17:00	1101,90	268,55
	18:00-24:00	1051,38	257,66
<b>Aralık</b>	01:00-08:00	1035,98	254,34
	09:00-17:00	1086,12	265,15
	18:00-24:00	1046,81	256,68
<b>Toplam</b>	Yıllık	8288252	2018947



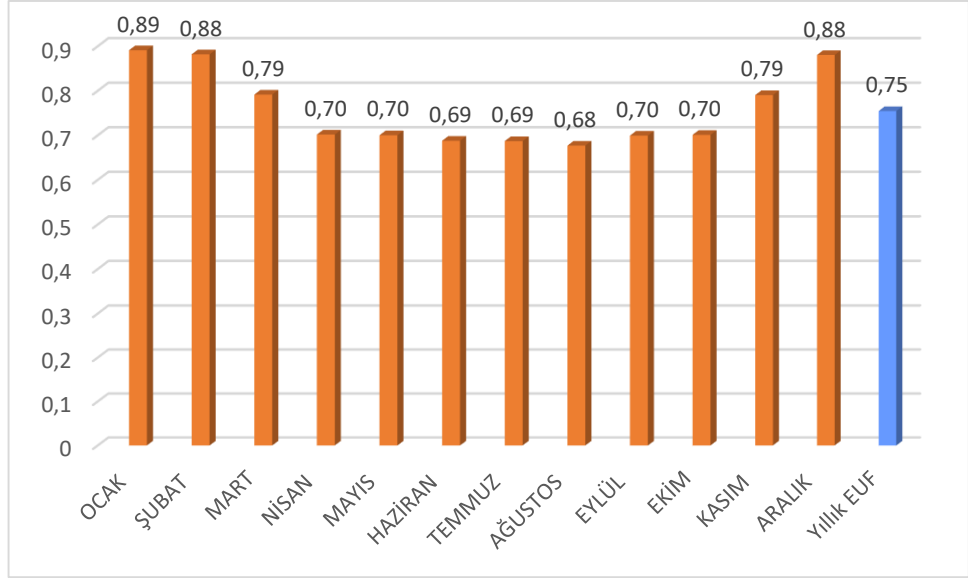
**Şekil 4.3.** 3.senaryo için trijenerasyon sistem veriminin aylara göre dağılımı

4. Senaryo:

**Çizelge 4.25.** Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı

		Saatlik üretilen mekanik enerji (kW)	Saatlik tüketilen doğalgaz (Nm <sup>3</sup> /h)
<b>Ocak</b>	01:00-14:00	1039,491	255,10
	15:00-24:00	1039,807	255,17
<b>Şubat</b>	01:00-14:00	1053,17	258,05
	15:00-24:00	1053,979	258,22
<b>Mart</b>	01:00-14:00	1060,804	259,69
	15:00-24:00	1061,888	259,93
<b>Nisan</b>	01:00-14:00	1093,641	266,77
	15:00-24:00	1095,911	267,26
<b>Mayıs</b>	01:00-14:00	1102,817	268,75
	15:00-24:00	1105,418	269,31
<b>Haziran</b>	01:00-14:00	1175,968	284,52
	15:00-24:00	1181,21	285,65
<b>Temmuz</b>	01:00-14:00	1181,296	285,67
	15:00-24:00	1186,73	286,84
<b>Ağustos</b>	01:00-14:00	1233,83	297,00
	15:00-24:00	1241,16	298,58
<b>Eylül</b>	01:00-14:00	1107,184	269,69
	15:00-24:00	1109,943	270,29
<b>Ekim</b>	01:00-14:00	1098,008	267,71
	15:00-24:00	1100,436	268,24
<b>Kasım</b>	01:00-14:00	1065,171	260,63
	15:00-24:00	1066,413	260,90
<b>Aralık</b>	01:00-14:00	1057,537	258,99
	15:00-24:00	1058,504	259,20
<b>Toplam</b>	Yıllık	8288252	2018946



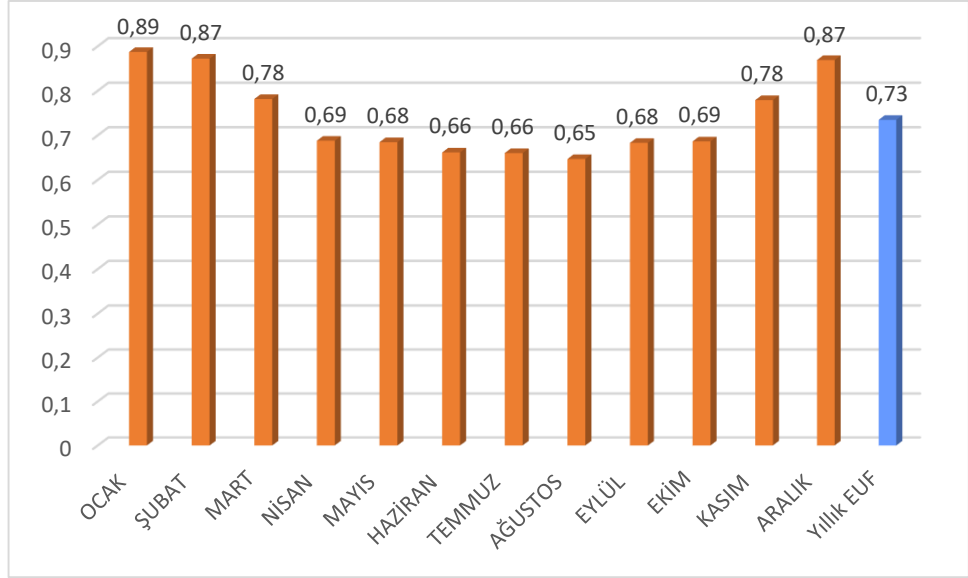


Şekil 4.4. 4.senaryo için trijenerasyon sistem veriminin aylara göre dağılımı

5. Senaryo:

Çizelge 4.26. Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı

		Saatlik üretilen mekanik enerji (kW)	Saatlik tüketilen doğalgaz (Nm <sup>3</sup> /h)
<b>Ocak</b>	01:00-24:00	1051,208	257,6242
<b>Şubat</b>	01:00-24:00	1083,236	264,5287
<b>Mart</b>	01:00-24:00	1101,11	268,3822
<b>Nisan</b>	01:00-24:00	1177,998	284,958
<b>Mayıs</b>	01:00-24:00	1199,482	289,5896
<b>Haziran</b>	01:00-24:00	1370,764	326,5153
<b>Temmuz</b>	01:00-24:00	1383,239	329,2048
<b>Ağustos</b>	01:00-24:00	1506,255	355,7251
<b>Eylül</b>	01:00-24:00	1209,708	291,7942
<b>Ekim</b>	01:00-24:00	1188,224	287,1625
<b>Kasım</b>	01:00-24:00	1111,336	270,5867
<b>Aralık</b>	01:00-24:00	1093,461	266,7332
<b>Toplam</b>	Yıllık	9033037	2179510

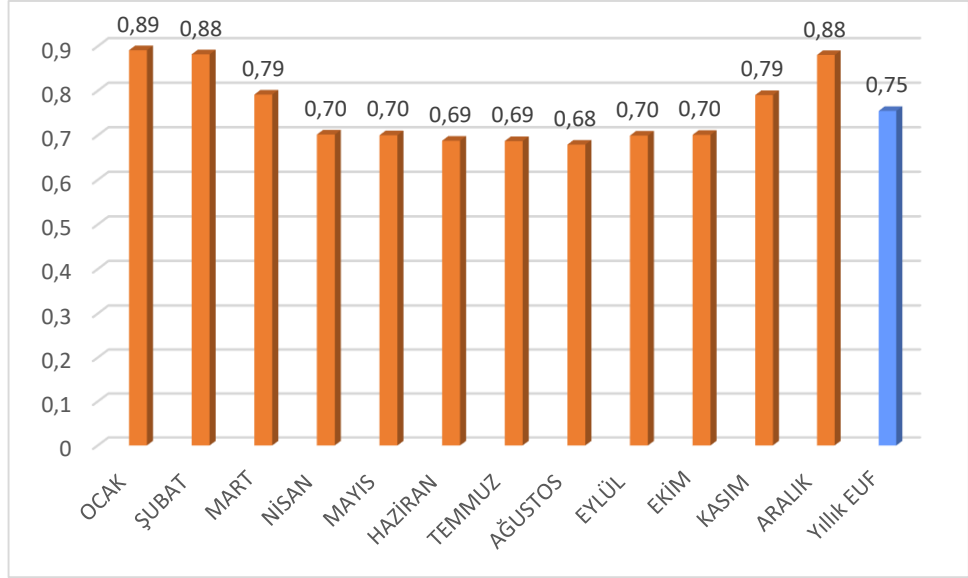


Şekil 4.5. 5.senaryo için trijenerasyon sistem veriminin aylara göre dağılımı

6. Senaryo:

Çizelge 4.27. Yıllık üretilen mekanik enerji ve tüketilen doğalgaz miktarı

		Üretilen mekanik enerji (kW)	Tüketilen doğalgaz (Nm <sup>3</sup> /h)
<b>Ocak</b>	Günlük toplam	24950,9484	6123,03564
<b>Şubat</b>	Günlük toplam	25284,16	6194,87164
<b>Mart</b>	Günlük toplam	25470,13	6234,96402
<b>Nisan</b>	Günlük toplam	26270,08	6407,42089
<b>Mayıs</b>	Günlük toplam	26493,61	6455,60973
<b>Haziran</b>	Günlük toplam	28275,65	6839,79014
<b>Temmuz</b>	Günlük toplam	28405,45	6867,77224
<b>Ağustos</b>	Günlük toplam	29685,33	7143,69406
<b>Eylül</b>	Günlük toplam	26600	6478,54587
<b>Ekim</b>	Günlük toplam	26376,48	6430,35703
<b>Kasım</b>	Günlük toplam	25576,52	6257,90016
<b>Aralık</b>	Günlük toplam	25390,55	6123,03564
<b>Toplam</b>	Yıllık	8288252,2	1492273,87



**Şekil 4.6.** 6.senaryo için trijenerasyon sistem veriminin aylara göre dağılımı

Üç farklı kapasiteli gaz motorunun çalışma parametreleri, trijenerasyon sisteminin performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Şekillerde görüldüğü gibi, farklı kapasitelerde gaz motorlarının ana taşıyıcı olduğu farklı senaryolar için trijenerasyon sisteminin enerji verimliliği aylık bazda gösterilmektedir. Farklı altı senaryoda, elektrik sağlayan gaz motorları, tesis için ihtiyaç duyulan elektriği üretebilecek farklı kısmi yüklerde çalıştırılacaktır. Bu işlemler sırasında oluşan atık ısı, fabrikanın çeşitli bölümlerinde maksimum verimle kullanılacaktır. Trijenerasyon sistemi, elektrik üretimi ve ardından ısıtma/soğutma üretimi fikrine dayanmaktadır. Soğutma talebinin ve ısıtma talebinin farklı mevsimlerde değiştiği açıktır. Bu nedenle trijenerasyonun verimliliği hem yaz hem de kış mevsimi için değerlendirilir. Burada alan ısıtma talebinin yaz aylarında sıfıra düştüğü, kışın ise maksimum değeri aldığı varsayılmıştır. Ayrıca, sistem tarafından temin edilebilecek yıl boyunca ihtiyaç duyulan kullanım sıcak suyu miktarı sabit olduğu varsayılmaktadır. Tesisin ısı ihtiyacı kış aylarında maksimum olduğu için atık ısının büyük bir kısmı kullanılmaktadır. Bu nedenle önerilen trijenerasyon sistemi kış mevsiminde daha iyi termodinamik performansa sahiptir. Yaz aylarında ise tesisin ısı geri kazanımlı havalandırma, taze hava santrali, radyatör ve buz çözme için ısıya ihtiyacı olmaması nedeniyle atık ısı kullanımını azalmaktadır. Çalışmayı genel olarak ele

aldığımızda, atık ısı kullanımına bağlı olarak tüm senaryolar için en düşük verim Ağustos ayında, en yüksek verim ise Ocak ayında gerçekleşmiştir.

#### 4.4. Trijenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Trijenerasyon yatırımının yapılabilir olup olmadığına ancak yatırımın gelir ve giderleri hesaplanarak karar verilebilir. Yatırımcı için yatırımın ilk ödemesinden sonraki kazanç çok önemlidir. Yatırımın uygulanabilir olup olmadığını tahmin etmek için en gerçekçi verilerle bir fizibilite çalışması yapmak zorunludur. Hesaplamalar için güncel veri ve varsayımlar Çizelge 4.27 ve Çizelge 4.28'de verilmiştir.

**Çizelge 4.28.** Güncel veri ve kabüller

Doğalgaz birim fiyatı	61,7227 TL=0,1896 €/Nm <sup>3</sup> (Bursagaz Aralık 2020 tarifesi)		
Elektrik alış birim fiyatı	<b>Gündüz (06:00 -17:00)</b>	<b>Puant (17:00 -22:00)</b>	<b>Gece (22:00 -06:00)</b>
	62,4339 kr/kWh	96,4358 kr/kWh	34,9911 kr/kWh
	0,067781891 €/kWh	0,104696341 €/kWh	0,037988383 €/kWh
Güncel döviz kuru	1 €= 9,211 TL (25/12/2020)		
Motorun rutin bakım gideri	5 €/h		
Motorun işletme gideri	1 €/h		
Motorun görünmeyen ek gideri	1 €/h		

**Çizelge 4.29.** Güncel veri ve kabüller

Doğalgaz alt ısı değeri	8250 kcal/m <sup>3</sup> = 9,64 kWh/Nm <sup>3</sup>	İşletme sıcak su talebi (HRV)	33 kW
Doğalgaz ısı değeri	9199,31 kcal/m <sup>3</sup> = 10,75 kWh/Nm <sup>3</sup>	İşletme sıcak su talebi (Taze hava santrali)	280 kW
İşletme elektrik talebi	Saate göre değişmektedir	İşletme sıcak su talebi (Sıcak su boyleri)	58 kW
İşletme soğuk su talebi	121,44 kW	İşletme sıcak su talebi (Radyatör)	71 kW
İşletme buhar talebi	0,66 ton/h	İşletme sıcak su talebi (Buz çözme)	102 kW

Otomotiv yan sanayi fabrikasında günde 3 vardiya olmak üzere yılda 7488 saat çalışılmaktadır. Aynı şekilde fabrikada elektrik, buhar üretimi ve absorpsiyonlu soğutma sistemi için yıllık çalışma saati 7488 saattir. Fabrikanın yıllık çalışma saati bina ısıtması için 2496 saattir.

Trijenerasyon sisteminde elektrik üretimine ek olarak atık ısı da kullanılmaktadır. Fizibilite çalışması sırasında bu kazanımlar üretim geliri olarak hesaplanmıştır. Öncelikle atık ısı gelirleri hesaplanıp sonrasında senaryolara göre ayrı ayrı elektrik üretim gelirleri ve doğal gaz giderleri hesaplanacaktır.

#### **4.4.1. Elektrik üretim geliri**

Trijenerasyonda üretilen ve tesiste tüketilen elektrik şebekeden satın alınmadığı için trijenerasyonun çıktısı olarak kabul edilir. Elektrik üretiminden elde edilen gelirin hesabında sistemin ürettiği ve tüketilen elektriğin şebekeden alış birim fiyatı ile çarpılmasıyla bulunur.

Elektrik faturası tasarrufundan elde edilen gelirin iki bileşeni vardır: Elektrik enerjisi maliyetinden kaçınmak ve tesisin çeşitli yerlerinde atık ısı kullanarak oradaki ihtiyacı karşılamak. Trijenerasyonda üretilen ve tesiste tüketilen elektrik şebekeden satın alınmadığı için trijenerasyon çıktısı olarak kabul edilmektedir. Elektrik üretiminden elde edilen gelir, sistem tarafından üretilen ve tüketilen elektriğin şebekeden satın alınan birim fiyat ile çarpılmasıyla hesaplanır.

Önlenen elektrik enerjisi maliyeti = elektrik birim fiyatı x üretilen kW

#### 4.4.2. Kullanılan gaz motorunun atık ısı gelirleri

Atık ısılar tesisin çeşitli yerlerinde kullanılınca buradaki ihtiyaçların üretilmesi için tüketilecek doğalgaz veya elektrik tesise sistemin geliri olarak kalacaktır. Atık ısının kullanıldığı her bir nokta ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

#### Soğuk Su Üretimi Geliri

Soğuk su elde etmek için üretim geliri hesaplanırken bu soğuk suyun bir soğutma makinasında ortalama 4 performans katsayısı ile üretilmesi gerektiği kabul edilerek elektriğin şebekeden alış birim fiyatı ile kWh başına birim soğutma maliyeti hesaplanır. Aylık Soğuk Su Üretimi Geliri Çizelge 4.29.'da verilmiştir.

Soğutma Maliyeti = Elektrik alış fiyatı / COP

Soğutma Maliyeti (Gündüz)= 0,0677819 €/kW / 4

Soğutma Maliyeti (Gündüz)= 0,0169455 €/kWh

Soğutma ihtiyacı ile birim maliyet çarpıldığında saatteki üretim maliyeti bulunur.

Soğutma Su Üretimi Geliri (Gündüz) = 121,44 kW \* 0,0169455 €/kWh

Soğutma Su Üretimi Geliri (Gündüz) = 2,057858 €/h

Soğutma Maliyeti (Puant)= 0,104696341 €/kW / 4

Soğutma Maliyeti (Puant)= 0,0261741 €/kWh

Soğutma ihtiyacı ile birim maliyet çarpıldığında saatteki üretim maliyeti bulunur.

Soğutma Su Üretimi Geliri (Puant)= 121,44 kW \* 0,0261741 €/kWh

Soğutma Su Üretimi Geliri (Puant)= 3,178581 €/h

Soğutma Maliyeti (Gece)= 0,037988383 €/kW / 4

Soğutma Maliyeti (Gece)= 0,0094971 €/kWh

Soğutma ihtiyacı ile birim maliyet çarpıldığında saatteki üretim maliyeti bulunur.

Soğutma Su Üretimi Geliri (Gece) = 121,44 kW \* 0,0094971 €/kWh

Soğutma Su Üretimi Geliri (Gece) = 1,153327 €/h

Yılın 12 ayı ayda 624 saat soğuk su üretimi yapılmaktadır. Saatlik üretim geliri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık üretim geliri bulunur.

Soğutma Su Üretimi Geliri (Gündüz)=2,057858 €/h\*11 h\* 26 gün=588,54745 €

Soğutma Su Üretimi Geliri (Puant) = 3,178581 €/h\*5 h\* 26 gün=413,21552 €

Soğutma Su Üretimi Geliri (Gece) = 1,153327 €/h\*8 h\* 26 gün=239,89208 €

Soğutma Su Üretimi Geliri (Toplam) = 1241,655 € (Yılın 12 ayında ayda 624 saat elektrik üretiminden elde edilen gelir)

**Çizelge 4.30.** Aylık Soğuk Su Üretimi Geliri

Aylık Soğuk Su Üretimi Geliri			
Gündüz (06:00 -17:00)	Puant (17:00 -22:00)	Gece (22:00 -06:00)	Toplam
588,54745 €	413,21552 €	239,89208 €	1241,655 €

### **Buhar Üretim Geliri**

Atık ısı kazanında üretilen buharın doğalgazlı bir buhar kazanında üretildiği düşünülürse ton-buhar başına buhar üretim maliyeti çıkar.

Buhar Maliyeti = [(Atık Isı Kazan Kapasitesi) / Kazan Verimi] / Doğalgaz Alt Isıl Değeri]

\* Doğalgaz Birim Fiyatı

Buhar Maliyeti = [(651 kW/ton-buhar / 0,85) / 9,64 kWh/Nm<sup>3</sup>] \* 0,189626 €/Nm<sup>3</sup>

Buhar Maliyeti = 15,065 €/ton-buhar

Buhar ihtiyacı ile birim maliyet çarpıldığında saatteki üretim maliyeti bulunur.

Buhar Üretim Geliri = 15,06 €/ton-buhar \* 0,66 ton/h

Buhar Üretim Geliri = 9,943 €/ h

Yılın 12 ayı ayda 624 saat buhar üretimi yapılmaktadır. Saatlik üretim geliri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık üretim geliri bulunur.

9,943 €/h \* 624 h = 6204,5626 € (Yılın 12 ayında ayda 624 saat elektrik üretiminden elde edilen gelir)

### **Sıcak Su Üretim Gelirleri**

Havalandırma cihazları, konfor ısıtması ve kullanım sıcak suyu gibi yerlerde kullanılmak üzere sıcak su üretimi vardır.

### **Isı Geri Kazanımlı Havalandırma Cihazı Geliri**

Isı geri kazanımlı havalandırma cihazlarında (HRV) yapılacak ısıtma için tüketilmesi gereken doğalgaz miktarı hesaplanmalıdır.

Doğalgaz Miktarı = Verilen Isı / (Doğalgaz Alt Isıl Değeri \* Kazan Verimi)

Doğalgaz Miktarı = 33,6 kW / (9,64 kWh/Nm<sup>3</sup>\* 0,92)

Doğalgaz Miktarı = 3,789 Nm<sup>3</sup>/h

Tüketilen doğalgaz birim doğalgaz maliyeti ile hesaplanır.

Sıcak Su Geliri (HRV) = 3,789 Nm<sup>3</sup>/h \* 0,189626 €/Nm<sup>3</sup>

Sıcak Su Geliri (HRV)= 0,718 €/ h

Kış aylarında (aralık, ocak, şubat) ayda 624 saat HRV kullanılacaktır. Mevsim geçiş aylarında (mart, kasım) yarım kullanımla ayda 312 saat HRV kullanılacağı ön görülmüştür. Diğer aylarda (nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim) HRV kullanımı olmayacaktır. Saatlik üretim geliri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık üretim geliri bulunur.

0,725 €/h \* 624 h = 448,288 € (Aralık, ocak, şubat aylarında elde edilen gelir)

0,725 €/h \* 312 h = 224,144 € (Mart, kasım aylarında elde edilen gelir)

### **Taze Hava Santrali Geliri**

Taze hava santrali ısıtma bataryasında kullanılacak sıcak su için tüketilmesi gereken doğalgaz miktarı hesaplanmalıdır.

Doğalgaz Miktarı = Verilen Isı / (Doğalgaz Alt Isıl Değeri \* Kazan Verimi)



$$\text{Doğalgaz Miktarı} = 280 \text{ kW} / (9,64 \text{ kWh/Nm}^3 * 0,92)$$

$$\text{Doğalgaz Miktarı} = 31,571 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Tüketilen doğalgaz birim doğalgaz maliyeti ile hesaplanır.

$$\text{Sıcak Su Geliri (Taze Hava Santrali)} = 31,571 \text{ Nm}^3/\text{h} * 0,189626 \text{ €/Nm}^3$$

$$\text{Sıcak Su Geliri (Taze Hava Santrali)} = 5,987 \text{ €/h}$$

Kış aylarında (aralık, ocak, şubat) ayda 624 saat taze hava santrali kullanılacaktır.

Mevsim geçiş aylarında (mart, kasım) yarım kullanımla ayda 312 saat taze hava santrali kullanılacağı ön görülmüştür. Diğer aylarda (nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim) taze hava santrali kullanımı olmayacaktır. Saatlik üretim geliri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık üretim geliri bulunur.

$$5,986 \text{ €/h} * 624 \text{ h} = 3735,729 \text{ € (Aralık, ocak, şubat aylarında elde edilen gelir)}$$

$$5,986 \text{ €/h} * 312 \text{ h} = 1867,865 \text{ € (Mart, kasım aylarında elde edilen gelir)}$$

### **Sıcak Su Boyleri Geliri**

Kullanım sıcak su boyleri ısıtma bataryasında kullanılacak sıcak su için tüketilmesi gereken doğalgaz miktarı hesaplanmalıdır.

$$\text{Doğalgaz Miktarı} = \text{Verilen Isı} / (\text{Doğalgaz Alt Isıl Değeri} * \text{Kazan Verimi})$$

$$\text{Doğalgaz Miktarı} = 58 \text{ kW} / (9,64 \text{ kWh/Nm}^3 * 0,92)$$

$$\text{Doğalgaz Miktarı} = 6,54 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Tüketilen doğalgaz birim doğalgaz maliyeti ile hesaplanır.

$$\text{Sıcak Su Geliri (Sıcak Su Boyleri)} = 6,54 \text{ Nm}^3/\text{h} * 0,189626 \text{ €/Nm}^3$$

$$\text{Sıcak Su Geliri (Sıcak Su Boyleri)} = 1,24 \text{ €/h}$$

Yılın 12 ayı ayda 624 saat kullanım sıcak suyu üretimi yapılmaktadır. Saatlik üretim geliri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık üretim geliri bulunur.

$$1,24 \text{ €/h} * 624 \text{ h} = 773,830 \text{ € (Yıllık 12 ayı ayda elde edilen gelir)}$$

### **Konfor Isıtma Geliri**

Konfor ısıtma için kullanılacak radyatörlerde tüketilmesi gereken doğalgaz miktarı hesaplanmalıdır.

Doğalgaz Miktarı = Verilen Isı / (Doğalgaz Alt Isıl Değeri \* Kazan Verimi)

Doğalgaz Miktarı = 71 kW / (9,64 kWh/Nm<sup>3</sup>\* 0,92)

Doğalgaz Miktarı = 8,006 Nm<sup>3</sup>/h

Tüketilen doğalgaz birim doğalgaz maliyeti ile hesaplanır.

Sıcak Su Geliri (Radyatör) = 8,006 Nm<sup>3</sup>/h \* 0,189626 €/Nm<sup>3</sup>

Sıcak Su Geliri (Radyatör) = 1,518 €/ h

Kış aylarında (aralık, ocak, şubat) ayda 624 saat ısınma yapılacaktır. Mevsim geçiş aylarında (mart, kasım) yarım kullanımla ayda 312 saat ısınma yapılacağı ön görülmüştür. Diğer aylarda (nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim) ısınma yapılmayacaktır. Saatlik üretim geliri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık üretim geliri bulunur.

Saatlik maliyet \* Aylık çalışma saati = Aylık maliyet

1,518 €/h \* 624 h = 947,274 € (Aralık, ocak, şubat aylarında elde edilen gelir)

1,518 €/h \* 312 h = 473,637 € (Mart, kasım aylarında elde edilen gelir)

### **Tır Parkı Buz Çözme Geliri**

Atık ısıyı ideal olarak kullanmak için açık havada bulunan tır parkında saha betonun altında atık ısı olan sıcak su dolaştırılır. Eğer bunu doğalgaz kazanında ısıtarak yapacak olsaydık tüketeceğimiz doğalgaz miktarını hesaplayalım.

Doğalgaz Miktarı = Verilen Isı / (Doğalgaz Alt Isıl Değeri \* Kazan Verimi)

Doğalgaz Miktarı = 102 kW / (9,64 kWh/Nm<sup>3</sup>\* 0,92)

Doğalgaz Miktarı = 11,501 Nm<sup>3</sup>/h

Tüketilen doğalgaz birim doğalgaz maliyeti ile hesaplanır.

Sıcak Su Geliri (Buz Çözme) = 11,501 Nm<sup>3</sup>/h \* 0,189626 €/Nm<sup>3</sup>

Sıcak Su Geliri (Buz Çözme) = 2,18 €/ h

Ocak ayında ayda 124 saat, aralık ve şubat aylarında ayda 62 saat buz çözme ihtiyacı olacaktır. Diğer aylarda buz çözme ihtiyacı olmayacaktır. Saatlik üretim geliri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık üretim geliri bulunur.

Saatlik maliyet \* Aylık çalışma saati = Aylık maliyet

2,18 €/h \* 124 h = 270,430 € (Ocak ayında elde edilen gelir)

2,18 €/h \* 62 h = 135,215 € (Aralık, şubat aylarında elde edilen gelir)

#### **4.4.3. Trijenerasyon sisteminde üretim giderleri**

Trijenerasyonda elektrik üretimi yapmak için bir takım giderler olacaktır. Bunun başındada motorda tüketilen doğalgaz gelmektedir. Ayrıca bakım giderleride olacaktır.

##### **Doğalgaz Gideri**

Motorda tüketilen doğalgaz güncel doğalgaz fiyatına ile hesaplanır.

Yılın 12 ayı ayda 624 saat kullanım doğalgaz tüketimi yapılmaktadır. Her senaryo için aylık doğalgaz tüketim gideri hesaplanıp, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4,34 ve 4.35'te verilmiştir.

##### **Bakım Gideri**

Motorun rutin bakım ve işletme giderleri vardır. Çalıştığı sürece saat başında yapılan bakım gideri üreticiden alına bilgiye göre toplamada saatte 7 €'dur.

Yılın 12 ayı ayda 624 saat kullanımda bakım gideri vardır. Saatlik bakım gideri ile ayda çalışma saati çarpıldığında aylık bakım gideri bulunur.

Saatlik maliyet \* Aylık çalışma saati = Aylık maliyet

7 €/h \* 624 h = 4368 € (Yıllık 12 ayı ayda elde edilen gelir)

Tesisin aylık toplam gelir ve giderleri toplanıp, bir yılda 7488 çalışma saati için tasarrufları hesaplanır. Aylara göre gelir- gider dağılımı 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. senaryo için sırasıyla Çizelge 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4,34 ve 4.35'te verilmiştir.

**Çizelge 4.31.** Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 1.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı

	<b>OCAK</b> <b>(€)</b>	<b>ŞUBAT</b> <b>(€)</b>	<b>MART</b> <b>(€)</b>	<b>NİSAN</b> <b>(€)</b>	<b>MAYIS</b> <b>(€)</b>	<b>HAZİRAN</b> <b>(€)</b>	<b>TEMMUZ</b> <b>(€)</b>	<b>AĞUSTOS</b> <b>(€)</b>	<b>EYLÜL</b> <b>(€)</b>	<b>EKİM</b> <b>(€)</b>	<b>KASIM</b> <b>(€)</b>	<b>ARALIK</b> <b>(€)</b>	<b>Yıllık</b> <b>Toplam</b> <b>(€)</b>
Elektrik	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	43637,88	523654,52
Soğuk Su	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	14899,86
Buhar	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	74454,75
HRV	448,29	448,29	224,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	224,14	448,29	1793,15
Taze Hava Santrali	3735,73	3735,73	1867,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1867,86	3735,73	14942,92
Sıcak Su Boyleri	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	9285,96
Radyatör	947,27	947,27	473,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	473,64	947,27	3789,10
Buz Çözme	270,43	135,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,21	540,86
<b>Üretim Gelirleri</b>	<b>57259,64</b>	<b>57124,43</b>	<b>54423,57</b>	<b>51857,92</b>	<b>51857,92</b>	<b>51857,92</b>	<b>51857,92</b>	<b>51857,92</b>	<b>51857,92</b>	<b>51857,92</b>	<b>54423,57</b>	<b>57124,43</b>	<b>643361,11</b>
Doğalgaz	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	32066,50	384797,94
Bakım	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	52416,00
<b>Üretim Giderleri</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>36434,50</b>	<b>437213,94</b>
<b>Tasarruf</b>	<b>20825,15</b>	<b>20689,93</b>	<b>17989,07</b>	<b>15423,43</b>	<b>15423,43</b>	<b>15423,43</b>	<b>15423,43</b>	<b>15423,43</b>	<b>15423,43</b>	<b>15423,43</b>	<b>17989,07</b>	<b>20689,93</b>	<b>206147,17</b>

**Çizelge 4.32. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 2.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı**

	<b>OCAK</b> <b>(€)</b>	<b>ŞUBAT</b> <b>(€)</b>	<b>MART</b> <b>(€)</b>	<b>NİSAN</b> <b>(€)</b>	<b>MAYIS</b> <b>(€)</b>	<b>HAZİRAN</b> <b>(€)</b>	<b>TEMMUZ</b> <b>(€)</b>	<b>AĞUSTOS</b> <b>(€)</b>	<b>EYLÜL</b> <b>(€)</b>	<b>EKİM</b> <b>(€)</b>	<b>KASIM</b> <b>(€)</b>	<b>ARALIK</b> <b>(€)</b>	<b>Yıllık</b> <b>Toplam</b> <b>(€)</b>
Elektrik	41288,75	41901,10	42242,85	43712,91	44123,68	47398,51	47637,03	49989,04	44319,19	43908,42	42438,36	42096,61	531056,45
Soğuk Su	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	14899,86
Buhar	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	74454,75
HRV	448,29	448,29	224,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	224,14	448,29	1793,15
Taze Hava Santrali	3735,73	3735,73	1867,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1867,86	3735,73	14942,92
Sıcak Su Boyleri	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	9285,96
Radyatör	947,27	947,27	473,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	473,64	947,27	3789,10
Buz Çözme	270,43	135,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,21	540,86
<b>Üretim Gelirleri</b>	<b>54910,52</b>	<b>55387,65</b>	<b>53028,54</b>	<b>51932,95</b>	<b>52343,73</b>	<b>55618,55</b>	<b>55857,08</b>	<b>58209,09</b>	<b>52539,24</b>	<b>52128,47</b>	<b>53224,06</b>	<b>55583,16</b>	<b>650763,04</b>
Doğalgaz	29341,01	29698,62	29898,21	30756,72	30996,61	32909,11	33048,41	34421,98	31110,79	30870,90	30012,39	29812,80	372877,56
Bakım	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	52416,00
<b>Üretim Giderleri</b>	<b>33709,01</b>	<b>34066,62</b>	<b>34266,21</b>	<b>35124,72</b>	<b>35364,61</b>	<b>37277,11</b>	<b>37416,41</b>	<b>38789,98</b>	<b>35478,79</b>	<b>35238,90</b>	<b>34380,39</b>	<b>34180,80</b>	<b>425293,56</b>
<b>Tasarruf</b>	<b>21201,51</b>	<b>21321,03</b>	<b>18762,34</b>	<b>16808,23</b>	<b>16979,12</b>	<b>18341,44</b>	<b>18440,67</b>	<b>19419,11</b>	<b>17060,45</b>	<b>16889,57</b>	<b>18843,67</b>	<b>21402,36</b>	<b>225469,49</b>

**Çizelge 4.33. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 3.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı**

	OCAK (€)	ŞUBAT (€)	MART (€)	NİSAN (€)	MAYIS (€)	HAZİRAN (€)	TEMMUZ (€)	AĞUSTOS (€)	EYLÜL (€)	EKİM (€)	KASIM (€)	ARALIK (€)	Yıllık Toplam (€)
Elektrik	41288,8	41901,1	42242,9	43712,9	44123,7	47398,5	47637,0	49989,0	44319,2	43908,4	42438,4	42096,6	531056,45
Soğuk Su	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	14899,86
Buhar	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	74454,75
HRV	448,29	448,29	224,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	224,14	448,29	1793,15
Taze Hava Santrali	3735,73	3735,73	1867,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1867,86	3735,73	14942,92
Sıcak Su Boyleri	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	9285,96
Radyatör	947,27	947,27	473,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	473,64	947,27	3789,10
Buz Çözme	270,43	135,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,21	540,86
<b>Üretim Gelirleri</b>	<b>54910,52</b>	<b>55387,65</b>	<b>53028,54</b>	<b>51932,95</b>	<b>52343,73</b>	<b>55618,55</b>	<b>55857,08</b>	<b>58209,09</b>	<b>52539,24</b>	<b>52128,47</b>	<b>53224,06</b>	<b>55583,16</b>	<b>650763,04</b>
Doğalgaz	30188,24	30542,41	30740,07	31590,33	31827,92	33722,03	33859,99	35220,4	31941,00	31703,42	30853,16	30655,49	383240,20
Bakım	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	52416,00
<b>Üretim Giderleri</b>	<b>34556,24</b>	<b>34910,41</b>	<b>35108,07</b>	<b>35958,33</b>	<b>36195,92</b>	<b>38090,03</b>	<b>38227,99</b>	<b>39984,15</b>	<b>36309,00</b>	<b>36071,42</b>	<b>35221,16</b>	<b>35023,49</b>	<b>435656,20</b>
<b>Tasarruf</b>	<b>20354,28</b>	<b>20477,24</b>	<b>17920,47</b>	<b>15974,62</b>	<b>16147,81</b>	<b>17528,52</b>	<b>17629,09</b>	<b>18224,94</b>	<b>16230,24</b>	<b>16057,05</b>	<b>18002,90</b>	<b>20559,67</b>	<b>215502,625</b>

**Çizelge 4.34.** Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 4.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı

	OCAK (€)	ŞUBAT (€)	MART (€)	NİSAN (€)	MAYIS (€)	HAZİRAN (€)	TEMMUZ (€)	AĞUSTOS (€)	EYLÜL (€)	EKİM (€)	KASIM (€)	ARALIK (€)	Yıllık Toplam (€)
Elektrik	41288,8	41901,1	42242,9	43712,9	44123,7	47398,5	47637,0	49989,0	44319,2	43908,4	42438,4	42096,6	531056,5
Soğuk Su	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	14899,86
Buhar	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	74454,75
HRV	448,29	448,29	224,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	224,14	448,29	1793,15
Taze Hava Santrali	3735,73	3735,73	1867,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1867,86	3735,73	14942,92
Sıcak Su Boyleri	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	9285,96
Radyatör	947,27	947,27	473,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	473,64	947,27	3789,10
Buz Çözme	270,43	135,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,21	540,86
<b>Üretim Gelirleri</b>	<b>54910,52</b>	<b>55387,65</b>	<b>53028,54</b>	<b>51932,95</b>	<b>52343,73</b>	<b>55618,55</b>	<b>55857,08</b>	<b>58209,09</b>	<b>52539,24</b>	<b>52128,47</b>	<b>53224,06</b>	<b>55583,16</b>	<b>650763,04</b>
Doğalgaz	30188,24	30542,41	30740,07	31590,33	31827,92	33722,03	33859,99	35220,36	31941,00	31703,42	30853,16	30655,49	383240,20
Bakım	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	52416,00
<b>Üretim Giderleri</b>	<b>34556,24</b>	<b>34910,41</b>	<b>35108,07</b>	<b>35958,33</b>	<b>36195,92</b>	<b>38090,03</b>	<b>38227,99</b>	<b>39984,15</b>	<b>36309,00</b>	<b>36071,42</b>	<b>35221,16</b>	<b>35023,49</b>	<b>435656,20</b>
<b>Tasarruf</b>	<b>20354,28</b>	<b>20477,24</b>	<b>17920,47</b>	<b>15974,62</b>	<b>16147,81</b>	<b>17528,52</b>	<b>17629,09</b>	<b>18224,94</b>	<b>16230,24</b>	<b>16057,05</b>	<b>18002,90</b>	<b>20559,67</b>	<b>215502,62</b>

**Çizelge 4.35. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 5.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı**

	<b>OCAK</b> <b>(€)</b>	<b>ŞUBAT</b> <b>(€)</b>	<b>MART</b> <b>(€)</b>	<b>NİSAN</b> <b>(€)</b>	<b>MAYIS</b> <b>(€)</b>	<b>HAZİRAN</b> <b>(€)</b>	<b>TEMMUZ</b> <b>(€)</b>	<b>AĞUSTOS</b> <b>(€)</b>	<b>EYLÜL</b> <b>(€)</b>	<b>EKİM</b> <b>(€)</b>	<b>KASIM</b> <b>(€)</b>	<b>ARALIK</b> <b>(€)</b>	<b>Yıllık</b> <b>Toplam</b> <b>(€)</b>
Elektrik	41715,68	42996,60	43711,49	46786,59	47645,85	54496,22	54995,18	59915,17	48054,83	47195,57	44120,47	43405,58	575039,24
Soğuk Su	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	14899,86
Buhar	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	74454,75
HRV	448,29	448,29	224,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	224,14	448,29	1793,15
Taze Hava Santrali	3735,73	3735,73	1867,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1867,86	3735,73	14942,92
Sıcak Su Boyleri	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	9285,96
Radyatör	947,27	947,27	473,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	473,64	947,27	3789,10
Buz Çözme	270,43	135,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,21	540,86
<b>Üretim Gelirleri</b>	<b>55337,45</b>	<b>56483,15</b>	<b>54497,19</b>	<b>55006,64</b>	<b>55865,90</b>	<b>62716,27</b>	<b>63215,22</b>	<b>68135,22</b>	<b>56274,88</b>	<b>55415,62</b>	<b>54906,16</b>	<b>56892,13</b>	<b>694745,83</b>
Doğalgaz	30483,78	31300,77	31756,74	33718,09	34266,14	38635,43	38953,67	42091,72	34527,00	33978,94	32017,59	31561,62	413291,50
Bakım	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	52416,00
<b>Üretim Giderleri</b>	<b>34851,78</b>	<b>35668,77</b>	<b>36124,74</b>	<b>38086,09</b>	<b>38634,14</b>	<b>43003,43</b>	<b>43321,67</b>	<b>46459,72</b>	<b>38895,00</b>	<b>38346,94</b>	<b>36385,59</b>	<b>35929,62</b>	<b>465707,50</b>
<b>Tasarruf</b>	<b>20485,67</b>	<b>20814,38</b>	<b>18372,44</b>	<b>16920,55</b>	<b>17231,76</b>	<b>19712,85</b>	<b>19893,56</b>	<b>21675,50</b>	<b>17379,88</b>	<b>17068,67</b>	<b>18520,57</b>	<b>20962,51</b>	<b>229038,34</b>



**Çizelge 4.36. Örnek trijenerasyon tesisi için belirlenen 6.senaryonun aylık gelir-gider dağılımı**

	<b>OCAK</b> <b>(€)</b>	<b>ŞUBAT</b> <b>(€)</b>	<b>MART</b> <b>(€)</b>	<b>NİSAN</b> <b>(€)</b>	<b>MAYIS</b> <b>(€)</b>	<b>HAZİRAN</b> <b>(€)</b>	<b>TEMMUZ</b> <b>(€)</b>	<b>AĞUSTOS</b> <b>(€)</b>	<b>EYLÜL</b> <b>(€)</b>	<b>EKİM</b> <b>(€)</b>	<b>KASIM</b> <b>(€)</b>	<b>ARALIK</b> <b>(€)</b>	<b>Yıllık</b> <b>Toplam</b> <b>(€)</b>
Elektrik	41288,75	41901,10	42242,85	43712,91	44123,68	47398,51	47637,03	49989,04	44319,19	43908,42	42438,36	42096,61	531056,45
Soğuk Su	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	1241,66	14899,86
Buhar	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	6204,56	74454,75
HRV	448,29	448,29	224,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	224,14	448,29	1793,15
Taze Hava Santrali	3735,73	3735,73	1867,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1867,86	3735,73	14942,92
Sıcak Su Boyleri	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	773,83	9285,96
Radyatör	947,27	947,27	473,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	473,64	947,27	3789,10
Buz Çözme	270,43	135,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,21	540,86
<b>Üretim Gelirleri</b>	<b>54910,52</b>	<b>55387,65</b>	<b>53028,54</b>	<b>51932,95</b>	<b>52343,73</b>	<b>55618,55</b>	<b>55857,08</b>	<b>58209,09</b>	<b>52539,24</b>	<b>52128,47</b>	<b>53224,06</b>	<b>55583,16</b>	<b>650763,04</b>
Doğalgaz	<b>30188,24</b>	<b>30542,41</b>	<b>30740,07</b>	<b>31590,33</b>	<b>31827,92</b>	<b>33722,03</b>	<b>33859,99</b>	<b>35220,36</b>	<b>31941,00</b>	<b>31703,42</b>	<b>30853,16</b>	<b>30655,49</b>	382844,42
Bakım	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	4368,00	52416,00
<b>Üretim Giderleri</b>	<b>34556,24</b>	<b>34910,41</b>	<b>35108,07</b>	<b>35958,33</b>	<b>36195,92</b>	<b>38090,03</b>	<b>38227,99</b>	<b>39588,36</b>	<b>36309,00</b>	<b>36071,42</b>	<b>35221,16</b>	<b>35023,49</b>	<b>435260,42</b>
<b>Tasarruf</b>	<b>24722,28</b>	<b>24845,24</b>	<b>22288,47</b>	<b>20342,62</b>	<b>20515,81</b>	<b>21896,52</b>	<b>21997,09</b>	<b>22988,73</b>	<b>20598,24</b>	<b>20425,05</b>	<b>22370,90</b>	<b>24927,67</b>	<b>215502,62</b>

#### 4.4.4. Trijenerasyon sisteminin amortisman maliyeti

Maliyet analizi yapılırken öncelikle trijenerasyon sisteminde elektrik üretimi için tesise yapılacak yatırımlar 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. Senaryo için sırasıyla Çizelge 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40 ve 4.41'de gösterildiği gibi belirlenmelidir. İmalatçılardan ve montaj ekiplerinden alınan yaklaşık yatırım maliyetleri aşağıdaki gibidir. Ayrıca her senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetlerinin karşılaştırılması Şekil 4.7.'de verilmiştir.

1.Senaryo:

**Çizelge 4.37.** 1. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri

Gaz motoru	310 000 €
Atık ısı geri kazanım kazanı	45 000 €
Şalt kuplajı ve ve kablaj	75 000 €
Mekanik montaj	28 000 €
Absorbsiyonlu soğutucu yatırımı	72 000 €
<b>Toplam santral yatırımı</b>	<b>530 000 €</b>

2.Senaryo:

**Çizelge 4.38.** 2. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri

Gaz motoru	390 000 €
Atık ısı geri kazanım kazanı	45 000 €
Şalt kuplajı ve ve kablaj	75 000 €
Mekanik montaj	28 000 €
Absorbsiyonlu soğutucu yatırımı	72 000 €
2000 kW/s'lik akü grubu 300 kW inverter	984 000 €
<b>Toplam santral yatırımı</b>	<b>1 594 000 €</b>

3.Senaryo:

**Çizelge 4.39.** 3. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri

Gaz motoru	430 000 €
Atık ısı geri kazanım kazanı	45 000 €
Şalt kuplajı ve ve kablaj	75 000 €
Mekanik montaj	28 000 €
Absorbsiyonlu soğutucu yatırımı	72 000 €
400 kW/s'lik akü grubu 150 kW inverter	205 000 €
<b>Toplam santral yatırımı</b>	<b>855 000 €</b>

4.Senaryo:

**Çizelge 4.40.** 4. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri

Gaz motoru	430 000 €
Atık ısı geri kazanım kazanı	45 000 €
Şalt kuplajı ve ve kablaj	75 000 €
Mekanik montaj	28 000 €
Absorbsiyonlu soğutucu yatırımı	72 000 €
2000 kW/s'lik akü grubu 300 kW inverter	984 000 €
<b>Toplam santral yatırımı</b>	<b>1 634 000 €</b>

5.Senaryo:

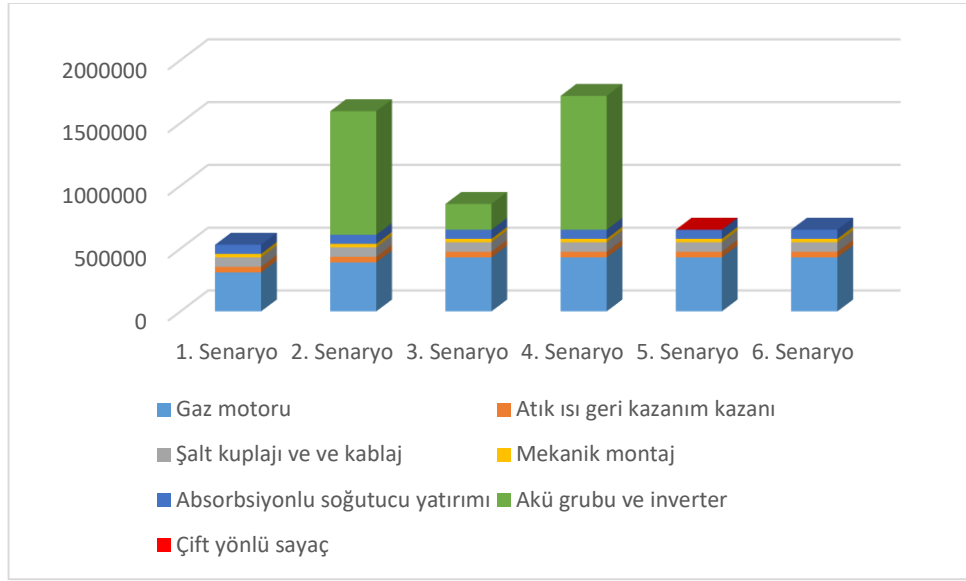
**Çizelge 4.41.** 5. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri

Gaz motoru	430 000 €
Atık ısı geri kazanım kazanı	45 000 €
Şalt kuplajı ve ve kablaj	75 000 €
Mekanik montaj	28 000 €
Absorbsiyonlu soğutucu yatırımı	72 000 €
Çift yönlü sayaç	213 €
<b>Toplam santral yatırımı</b>	<b>650 213 €</b>

6.Senaryo:

**Çizelge 4.42.** 6. senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetleri

Gaz motoru	430 000 €
Atık ısı geri kazanım kazanı	45 000 €
Şalt kuplajı ve ve kablaj	75 000 €
Mekanik montaj	28 000 €
Absorbsiyonlu soğutucu yatırımı	72 000 €
<b>Toplam santral yatırımı</b>	<b>650 000 €</b>



**Şekil 4.7.** Her senaryo için trijenerasyon tesisi kurmanın ana maliyetlerinin karşılaştırılması

#### 4.4.5. Trijenerasyon sisteminin geri ödeme süresi

1.Senaryo:

Örnek endüstriyel tesisimizde günde 3 vardiya olarak yılda 7488 saat çalışılmaktadır. İlerleyen zamanlarda vardiya sayısının 2 veya 1'e düşme olasılığını ve bunun etkisini görmek amacıyla alternatif çalışma yapılmıştır.

Yıllık tasarrufu bulmak için yıllık gelirden gideri çıkarmak gerekmektedir.

Yıllık tasarruf (3 vardiya 7488 saat için) : 206 147,2 €/yıl

Yıllık tasarruf (2 vardiya 4992 saat için): 137 431,4 €/yıl

Yıllık tasarruf (1 vardiya 2496 saat için): 68 715,72 €/yıl

Geri ödeme süresi bulunurken net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. 1. senaryo için için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplama çizelgesi Çizelge 4.42, 4.43 ve 4.44'te verilmiştir.

**Çizelge 4.43.** 1. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	530000	1			-530000
1		0,990099	206147,2	204106,1	-325894
2		0,980296	206147,2	202085,3	-123809
3		0,97059	206147,2	200084,4	76275,77

Geri Ödeme Süresi (3 vardiya 7488 saat için): 2,619 yıl

**Çizelge 4.44.** 1. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	530000	1			-530000
1		0,990099	137431,4	136070,7	-393929
2		0,980296	137431,4	134723,5	-259206
3		0,97059	137431,4	133389,6	-125816
4		0,96098	137431,4	132068,9	6252,763

Geri Ödeme Süresi (2 vardiya 4992 saat için): 3,953 yıl

**Çizelge 4.45.** 1. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i)^-t	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	530000	1			-530000
1		0,990099	68715,72	68035,37	-461965
2		0,980296	68715,72	67361,75	-394603
3		0,97059	68715,72	66694,8	-327908
4		0,96098	68715,72	66034,46	-261874
5		0,951466	68715,72	65380,65	-196493
6		0,942045	68715,72	64733,32	-131760
7		0,932718	68715,72	64092,39	-67667,3
8		0,923483	68715,72	63457,82	-4209,44
9		0,91434	68715,72	62829,52	58620,09

Geri Ödeme Süresi (1 vardiya 2496 saat için): 8,067 yıl

2.Senaryo:

Yıllık tasarrufu bulmak için yıllık gelirden gideri çıkarmak gerekmektedir.

Yıllık tasarruf (3 vardiya 7488 saat için) : 225 469,5 €/yıl

Yıllık tasarruf (2 vardiya 4992 saat için) : 150 313 €/yıl

Yıllık tasarruf (1 vardiya 2496 saat için) : 75 156,5 €/yıl

Geri ödeme süresi bulunurken net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. 2. senaryo için için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplama çizelgesi Çizelge 4.45, 4.46 ve 4.47'de verilmiştir.

**Çizelge 4.46.** 2. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i)^-t	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	1594000	1			-1594000,00
1		0,99009901	225469,49	223237,1	-1370762,89
2		0,98029605	225469,49	221026,8	-1149736,04
3		0,97059015	225469,49	218838,5	-930897,58
4		0,96098034	225469,49	216671,7	-714225,84
5		0,95146569	225469,49	214526,5	-499699,36
6		0,94204524	225469,49	212402,5	-287296,90
7		0,93271805	225469,49	210299,5	-76997,44
8		0,92348322	225469,49	208217,3	131219,84

Geri Ödeme Süresi (3 vardiya 7488 saat için) : 7,370 yıl

**Çizelge 4.47.** 2. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i)^-t	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	1594000	1			-1594000,00
1		0,99009901	150313	148824,7	-1445175,26
2		0,98029605	150313	147351,2	-1297824,03
3		0,97059015	150313	145892,3	-1151931,72
4		0,96098034	150313	144447,8	-1007483,89
5		0,95146569	150313	143017,7	-864466,24
6		0,94204524	150313	141601,6	-722864,60
7		0,93271805	150313	140199,6	-582664,96
8		0,92348322	150313	138811,5	-443853,44
9		0,91433982	150313	137437,2	-306416,28
10		0,90528695	150313	136076,4	-170339,89
11		0,89632372	150313	134729,1	-35610,80
12		0,88744923	150313	133395,1	97784,35

Geri Ödeme Süresi (2 vardiya 4992 saat için) : 11,267 yıl

**Çizelge 4.48.** 2. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i)^-t	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	1594000	1			-1594000
1		0,990099	75156,5	74412,37	-1519587,6
2		0,980296	75156,5	73675,62	-1445912
3		0,97059	75156,5	72946,15	-1372965,9
4		0,96098	75156,5	72223,91	-1300741,9
5		0,951466	75156,5	71508,83	-1229233,1
6		0,942045	75156,5	70800,82	-1158432,3
7		0,932718	75156,5	70099,82	-1088332,5
8		0,923483	75156,5	69405,76	-1018926,7
9		0,91434	75156,5	68718,58	-950208,14
10		0,905287	75156,5	68038,19	-882169,95
11		0,896324	75156,5	67364,55	-814805,4
12		0,887449	75156,5	66697,57	-748107,82
13		0,878663	75156,5	66037,2	-682070,62
14		0,869963	75156,5	65383,37	-616687,26
15		0,861349	75156,5	64736,01	-551951,25
16		0,852821	75156,5	64095,06	-487856,19
17		0,844377	75156,5	63460,45	-424395,74
18		0,836017	75156,5	62832,13	-361563,61
19		0,82774	75156,5	62210,03	-299353,58
20		0,819544	75156,5	61594,09	-237759,49
21		0,81143	75156,5	60984,25	-176775,24
22		0,803396	75156,5	60380,44	-116394,8
23		0,795442	75156,5	59782,62	-56612,179
24		0,787566	75156,5	59190,71	2578,53039

Geri Ödeme Süresi (1 vardiya 2496 saat için) : 23,956 yıl

3.Senaryo:

Yıllık tasarrufu bulmak için yıllık gelirden gideri çıkarmak gerekmektedir.

Yıllık tasarruf (3 vardiya 7488 saat için) : 215 502,625 €/yıl

Yıllık tasarruf (2 vardiya 4992 saat için) : 143 668,4163 €/yıl

Yıllık tasarruf (1 vardiya 2496 saat için) : 71 834,21 €/yıl



Geri ödeme süresi bulunurken net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. 3. senaryo için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplama çizelgesi Çizelge 4.48, 4.49 ve 4.50’de verilmiştir.

**Çizelge 4.49.** 3. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	855000	1			-855000
1		0,99009901	215502,6	213368,935	-641631,065
2		0,98029605	215502,6	211256,371	-430374,693
3		0,97059015	215502,6	209164,724	-221209,969
4		0,96098034	215502,6	207093,786	-14116,1829
5		0,95146569	215502,6	205043,353	190927,1699

Geri Ödeme Süresi (3 vardiya 7488 saat için) : 4,069 yıl

**Çizelge 4.50.** 3. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	855000	1			-855000
1		0,990099	143668,4	142245,9	-712754
2		0,980296	143668,4	140837,6	-571916
3		0,9705901	143668,4	139443,1	-432473
4		0,9609803	143668,4	138062,5	-294411
5		0,9514657	143668,4	136695,6	-157715
6		0,9420452	143668,4	135342,1	-22373,2
7		0,9327181	143668,4	134002,1	111628,9

Geri Ödeme Süresi (2 vardiya 4992 saat için) : 6,167 yıl

**Çizelge 4.51.** 3. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i)^-t	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	855000	1			-855000
1		0,99009901	71834,21	71122,98	-783877,02
2		0,980296049	71834,21	70418,79	-713458,23
3		0,970590148	71834,21	69721,58	-643736,65
4		0,960980344	71834,21	69031,26	-574705,39
5		0,951465688	71834,21	68347,79	-506357,6
6		0,942045235	71834,21	67671,08	-438686,53
7		0,932718055	71834,21	67001,06	-371685,46
8		0,923483222	71834,21	66337,69	-305347,77
9		0,914339824	71834,21	65680,88	-239666,89
10		0,905286955	71834,21	65030,57	-174636,32
11		0,896323718	71834,21	64386,71	-110249,62
12		0,887449225	71834,21	63749,21	-46500,401
13		0,878662599	71834,21	63118,03	16617,632

Geri Ödeme Süresi (1 vardiya 2496 saat için) : 12,737 yıl

4.Senaryo:

Yıllık tasarrufu bulmak için yıllık gelirden gideri çıkarmak gerekmektedir.

Yıllık tasarruf (3 vardiya 7488 saat için) : 215 502,625 €/yıl

Yıllık tasarruf (2 vardiya 4992 saat için) : 143 668,4163 €/yıl

Yıllık tasarruf (1 vardiya 2496 saat için) : 71 834,21 €/yıl

Geri ödeme süresi bulunurken net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. 4. senaryo için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplama çizelgesi Çizelge 4.51, 4.52 ve 4.53’de verilmiştir

**Çizelge 4.52.** 4. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i) <sup>-t</sup>	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	1634000	1			-1634000
1		0,99009901	215502,6	213368,9	-1420631
2		0,98029605	215502,6	211256,4	-1209375
3		0,97059015	215502,6	209164,7	-1000210
4		0,96098034	215502,6	207093,8	-793116,2
5		0,95146569	215502,6	205043,4	-588072,8
6		0,94204524	215502,6	203013,2	-385059,6
7		0,93271805	215502,6	201003,2	-184056,4
8		0,92348322	215502,6	199013,1	14956,64

Geri Ödeme Süresi (3 vardiya 7488 saat için) : 7,925 yıl

**Çizelge 4.53.** 4. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i) <sup>-t</sup>	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	1634000	1			-1634000
1		0,99009901	143668,4	142245,941	-1491754,1
2		0,98029605	143668,4	140837,565	-1350916,5
3		0,97059015	143668,4	139443,134	-1211473,4
4		0,96098034	143668,4	138062,509	-1073410,9
5		0,95146569	143668,4	136695,553	-936715,3
6		0,94204524	143668,4	135342,132	-801373,17
7		0,93271805	143668,4	134002,111	-667371,06
8		0,92348322	143668,4	132675,357	-534695,7
9		0,91433982	143668,4	131361,74	-403333,96
10		0,90528695	143668,4	130061,128	-273272,83
11		0,89632372	143668,4	128773,394	-144499,44
12		0,88744923	143668,4	127498,41	-17001,028
13		0,8786626	143668,4	126236,05	109235,022

Geri Ödeme Süresi (2 vardiya 4992 saat için) : 12,135 yıl

**Çizelge 4.54.** 4. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	1634000	1			-1634000
1		0,99009901	71834,21	71122,98	-1562877
2		0,980296049	71834,21	70418,79	-1492458,2
3		0,970590148	71834,21	69721,58	-1422736,7
4		0,960980344	71834,21	69031,26	-1353705,4
5		0,951465688	71834,21	68347,79	-1285357,6
6		0,942045235	71834,21	67671,08	-1217686,5
7		0,932718055	71834,21	67001,06	-1150685,5
8		0,923483222	71834,21	66337,69	-1084347,8
9		0,914339824	71834,21	65680,88	-1018666,9
10		0,905286955	71834,21	65030,57	-953636,32
11		0,896323718	71834,21	64386,71	-889249,62
12		0,887449225	71834,21	63749,21	-825500,4
13		0,878662599	71834,21	63118,03	-762382,37
14		0,86996297	71834,21	62493,1	-699889,26
15		0,861349475	71834,21	61874,36	-638014,91
16		0,852821262	71834,21	61261,74	-576753,16
17		0,844377487	71834,21	60655,19	-516097,97
18		0,836017314	71834,21	60054,64	-456043,33
19		0,827739915	71834,21	59460,04	-396583,29
20		0,81954447	71834,21	58871,33	-337711,96
21		0,811430169	71834,21	58288,45	-279423,51
22		0,803396207	71834,21	57711,33	-221712,18
23		0,795441789	71834,21	57139,93	-164572,25
24		0,787566127	71834,21	56574,19	-107998,06
25		0,779768443	71834,21	56014,05	-51984,009
26		0,772047963	71834,21	55459,46	3475,447

Geri Ödeme Süresi (1 vardiya 2496 saat için) : 25,937 yıl

## 5.Senaryo:

Yıllık tasarrufu bulmak için yıllık gelirden gideri çıkarmak gerekmektedir.

Yıllık tasarruf (3 vardiya 7488 saat için) : 229 038,3 €/yıl

Yıllık tasarruf (2 vardiya 4992 saat için) : 152 692,2 €/yıl

Yıllık tasarruf (1 vardiya 2496 saat için) : 76 346,11 €/yıl

Geri ödeme süresi bulunurken net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. 5. senaryo için için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplama Çizelgesu Çizelge 4.54, 4.55 ve 4.56'da verilmiştir

**Çizelge 4.55.** 5. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	650213	1			-650213
1		0,990099	229038,34	226770,63	-423442
2		0,980296	229038,34	224525,38	-198917
3		0,97059	229038,34	222302,35	23385,36

Geri Ödeme Süresi (3 vardiya 7488 saat için) : 2,895 yıl

**Çizelge 4.56.** 5. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	650213	1			-650213
1		0,990099	152692,22	151180,42	-499033
2		0,980296	152692,22	149683,58	-349349
3		0,97059	152692,22	148201,57	-201147
4		0,96098	152692,22	146734,23	-54413,2
5		0,951466	152692,22	145281,41	90868,21

Geri Ödeme Süresi (2 vardiya 4992 saat için) : 4,375 yıl

**Çizelge 4.57.** 5. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i)^-t	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	650213	1			-650213
1		0,990099	76346,112	75590,21	-574623
2		0,980296	76346,112	74841,792	-499781
3		0,97059	76346,112	74100,784	-425680
4		0,96098	76346,112	73367,113	-352313
5		0,951466	76346,112	72640,706	-279672
6		0,942045	76346,112	71921,491	-207751
7		0,932718	76346,112	71209,397	-136542
8		0,923483	76346,112	70504,354	-66037,2
9		0,91434	76346,112	69806,291	3769,139

Geri Ödeme Süresi (1 vardiya 2496 saat için) : 8,946 yıl

6.Senaryo:

Yıllık tasarrufu bulmak için yıllık gelirden gideri çıkarmak gerekmektedir.

Yıllık tasarruf (3 vardiya 7488 saat için) : 215 502,6245 €/yıl

Yıllık tasarruf (2 vardiya 4992 saat için) : 143 668,4163 €/yıl

Yıllık tasarruf (1 vardiya 2496 saat için) : 71 834,20817 €/yıl

Geri ödeme süresi bulunurken net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. 6. senaryo için için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplama Çizelgesu Çizelge 4.57, 4.58 ve 4.59'da verilmiştir

**Çizelge 4.58.** 6. Senaryo, 3 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	(1+i)^-t	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	650000	1			-650000
1		0,990099	215502,62	213368,94	-436631
2		0,980296	215502,62	211256,37	-225375
3		0,97059	215502,62	209164,72	-16210
4		0,96098	215502,62	207093,79	190883,8

Geri Ödeme Süresi (3 vardiya 7488 saat için): 3,078 yıl

**Çizelge 4.59.** 6. Senaryo, 2 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	650000	1			-650000
1		0,990099	143668,42	142245,96	-507754
2		0,980296	143668,42	140837,58	-366916
3		0,97059	143668,42	139443,15	-227473
4		0,96098	143668,42	138062,52	-89410,8
5		0,951466	143668,42	136695,57	47284,78

Geri Ödeme Süresi (2 vardiya 4992 saat için): 4,654 yıl

**Çizelge 4.60.** 6. Senaryo, 1 vardiya için net bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresinin hesaplaması

Yıl	Masraf	$(1+i)^{-t}$	Kar	NBD	Kar-Masraf
0	650000	1			-650000
1		0,990099	71834,208	71122,978	-578877
2		0,980296	71834,208	70418,79	-508458
3		0,97059	71834,208	69721,575	-438737
4		0,96098	71834,208	69031,262	-369705
5		0,951466	71834,208	68347,784	-301358
6		0,942045	71834,208	67671,074	-233687
7		0,932718	71834,208	67001,063	-166685
8		0,923483	71834,208	66337,686	-100348
9		0,91434	71834,208	65680,877	-34666,9
10		0,905287	71834,208	65030,572	30363,66

Geri Ödeme Süresi (1 vardiya 2496 saat için) : 9,536 yıl

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada Bursa'da bulunan günde 3 vardiya olarak, yılda 7488 saat çalışan otomotiv yan sanayi fabrikasında enerji ihtiyacının karşılanmasında tesis içerisine kurulması düşünülen trijenerasyon sistemi için tasarlanan altı farklı senaryonun karşılaştırılması yapılmıştır. Tesise doğru bir sistem seçimi ve kurulumu yapabilmek için ilk olarak tesisin yıllık işletme verileri tespit edilmiştir. Daha sonra yıl boyunca her ay için saatlik elektrik enerjisi ihtiyaç çizelgeleri hazırlanmıştır. Ortaya çıkan çizelgeden tesisin elektrik tüketimine bakıldığında yıl içinde saatlik maksimum enerji ihtiyacının 1465 kW olduğu ve gün içerisinde prosesin durumuna göre bu ihtiyacın azaldığı ve 1000 kW'ın altına da düşmediği görülmektedir. Bölgede doğalgaz temin etme kolaylığı ve tesis ihtiyaçları ile örtüşen atık ısı kullanım verimliliği nedeniyle farklı senaryolar için farklı kapasitede gaz motorları tercih edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda örnek endüstriyel tesis projesi için en uygun kapasiteli gaz motoru seçimi, günün saatine ve mevsimsel şartlara göre değişen elektrik talepleri doğrultusunda en yüksek ve en düşük elektrik talebini karşılayacak ölçüde farklı senaryolarla belirlenmiştir.

Motor seçimi yapıldıktan sonra tesisin işletme verilerine göre motorların çalışma yüklerinin tespit edilmesi için her ay saatlik çalışma çizelgeleri hazırlanmıştır. Bu çalışma çizelgelerine göre trijenerasyon sistemlerinde üretilen yıllık elektrik enerjisi miktarları verilmiştir. Yılın her döneminde üretimin büyük bir kısmının elektrik olduğu görülmektedir. Yaz ve kış dönemleri arasında ısıtma ihtiyaçlarında farklılıklar vardır.

Gaz motorunda çalışma yüküne göre meydana gelen motor ceket suyu, motor yağı, intercooler ve dışarı atılan egzoz gazlarının atık ısını kullanabilmek için ısı eşanjörleri ve atık ısı kazanı kullanılarak atık ısı enerjisi geri kazanım sistemi kurulmuştur. Elde edilen ısı enerjisi buhar, havalandırma ısıtması, konfor ısıtması, kullanım sıcak suyu ve absorpsiyonlu soğutma sistemi vasıtasıyla proses soğuk suyu için kullanılmaktadır.

Çalışma sonucunda Bursa'da bulunan otomotiv yan sanayi fabrikasının enerji ihtiyacının karşılanması için kurulacak trijenerasyon sisteminin yıllık karlılığı tespit edilerek hesaplanan geri ödeme süresi ilerleyen zamanlarda vardiya sayısının iki veya bire düşme olasılığından dolayı ve bunun etkisini görmek amacıyla üç farklı vardiya ve altı farklı



senaryo için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Santralin aylık çalışma süresinin yani vardiya sayısının mümkün olan en yüksek dereceye artırılmasının, geri ödeme süresini kısaltılması yönünde olumlu etkilediği görülmüştür.

Trijenerasyon sistemlerinin, tesislerdeki enerji giderlerinde karlılık sağlamıştır. Bununla birlikte sistemdeki verimliliğin ve karlılığının ulusal ve uluslararası doğalgaz ve elektrik birim fiyatları ile güçlü şekilde bağlantılı olduğu anlaşılmıştır. Ucuz doğalgaz birim fiyatı ile pahalı elektrik birim fiyatı sistemin karlılığını arttırmaktadır.

Projenin yatırımı bir finansman kurumu tarafından döviz olarak sağlanmaktadır. Enerji maliyetlerinin doğrudan dövize bağımlı olması ve yatırım ekipmanlarının büyük kısmının yabancı kaynaklardan temin edilmesi ve aynı zamanda dövize bağımlı olması nedeniyle geri ödeme süresi fiyat değişimlerinden etkilenmemiştir.

Enerji verimliliği esasına göre çalışan trijenerasyon sistemlerinde 2., 3. ve 4. senaryolarda elektrik depolama sisteminin dahil edilmesiyle yatırım maliyetinde büyük bir artış olmuştur. Bu artış geri ödeme süresinin artmasına neden olmuştur. Düşünülen elektrik depolama sistemlerinden maliyet açısından en uygulanabilir olanı her ay için motorun günlük 3 farklı kısmi yükte çalıştırıldığı ve bazı saatlerde fazla gelen elektrik enerjisinin bir batarya ile depolandığı 3. senaryodur. Fakat enerji depolamanın olduğu 2., 3. ve 4. senaryoları ilk temel senaryoyla kıyasladığımızda ısı verimin arttığı görülmektedir. Enerji depolama sistemlerinde yapılacak iyileştirmeler, yatırım maliyetini düşürdüğü takdirde ısı verimi arttırdığı için bu senaryoların uygulanabilir olduğu görülmektedir.

5. senaryoda ise, seçilen gaz motoru tesisin günlük maksimum elektrik tüketimi değerinde çalıştırılmıştır. Bu da tesisin ihtiyacından fazla atık ısı üretilmesinde sebep olmuştur. Aslında fazla gelen ısı enerjisinin de depolanabileceği bilinmektedir fakat bu tesiste buna gerek olmadığı görülmektedir. Bu yüzden diğer senaryolarla kıyaslandığında bu senaryoda ısı verim en düşüktür. Ayrıca bu senaryoda fazla gelen elektrik enerjisi şebekeye satıldığından dolayı en yüksek gelir de bu senaryodadır.

Son olarak motorun her ay için ayrı ayrı, ayın her saatindeki elektrik ihtiyacını karşılayacak kısmi yükte çalıştırıldığı 6. senaryo temel ilk senaryoyla karşılaştırıldığında, ısıl verimin arttığı ve geri ödeme süresinin düşük ve ilk senaryoya çok yakın olduğu görülmektedir.

Genel olarak sistem üzerinde yapılan maliyet analizi ve fizibilite çalışması ile sistemin kurmaya ve işletmeye değer bir tesis olup olmayacağı irdelenmiştir. Yıllık tasarrufların yaklaşık olarak yakın değerlerde olmasına rağmen yatırım maliyetindeki farklılıklardan dolayı geri ödeme süresinde büyük farklar oluşmuştur. Sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini geri ödedikten sonraki zaman periyodunda ise tesis için trijenerasyon sistemi daha kârlı bir yatırım olacaktır.

Ayrıca trijenerasyon sistemleri son yıllarda dünyada geniş bir yer bulan ve enerji verimliliği oldukça yüksek olan sistemlerdir. Bu bu sistemlerde tesislerin elektrik ihtiyaçları sistem tarafından karşılandığı için, şebekede olabilecek arıza ve enerji kesintilerinden ilgili birimler etkilenmeyecektir.

Trijenerasyon sistemi, üretim maliyetlerinde en önemli faktör olan enerji maliyetlerini düşürdüğü, rekabet gücünü artırdığı ve ayrıca sistemin verimliliğini arttırdığı bu çalışmadan anlaşılmaktadır. Ek olarak, enerji girdisindeki azalma, çevreye duyarlı tesislerin karbon emisyonlarını azaltacak ve böylelikle çevresel zararlarını azaltacaktır. Ayrıca yakıt tüketiminin azalmasıyla sera etkisinin temelini oluşturan CO<sup>2</sup> salınımının azaltılması sağlanacaktır. Temel ithalat ürünleri olan petrol ve doğalgaz alımının azaltılmasıyla dış ticaret açığının azaltılması hususunda ülke ekonomisine katkılar sağlayıp ülkenin geleceği açısından faydalı olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Abbasi, M., Chahartaghi, M. ve Hashemian, S. M. (2018). Energy, exergy, and economic evaluations of a CCHP system by using the internal combustion engines and gas turbine as prime movers. *Energy conversion and management*, 173, 359-374.
- Açikkalp, E. (2013). Doğal gaz yakıtlı bir elektrik üretim tesisi ve bir trijenerasyon sisteminin ileri ekserji ve eksergoekonomik yöntemleri kullanarak analizi. *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Alcântara, S. C. S., Ochoa, A. A. V., Da Costa, J. A. P., Michima, P. S. A. ve Silva, H. C. N. (2019). Natural gas based trigeneration system proposal to an ice cream factory: An energetic and economic assessment. *Energy Conversion and Management*, 197, 111860.
- Al-Sulaiman, F.A., Hamdullahpur, F. ve Dincer, I. (2011). Trigeneration: a comprehensive review based on prime movers, *International Journal of Energy Research*, 35, 233–258.
- Altun, A. F. ve Kilic, M. (2020). Economic feasibility analysis with the parametric dynamic simulation of a single effect solar absorption cooling system for various climatic regions in Turkey. *Renewable Energy*, 152, 75-93.
- Amidpour, M. ve Manesh, M.H.K. 2021. Cogeneration and Polygeneration Systems. Elsevier
- Anand, D. K. ve Kumar, B. (1987). Absorption machine irreversibility using new entropy calculations. *Solar Energy*, 39(3), 243-256.
- Anonymous, 2002. U.S. Environmental protection agency combined heat and power partnership. Technology Characterization of Reciprocating Engines.
- Arcuri, P., Florio, G. ve Fragiaco, P. (2007). A mixed integer programming model for optimal design of trigeneration in a hospital complex. *Energy*, 32(8), 1430-1447.
- Arora, A. ve Kaushik, S. C. (2009). Theoretical analysis of LiBr/H<sub>2</sub>O absorption refrigeration systems. *International Journal of Energy Research*, 33(15), 1321-1340.
- Arteconi, A., Bartolini, C.M., Brandoni, C ve Polonara, F. (2010) Prospects for Micro-CHP technology in the residential sector, in: Proceedings of ASME-ATI-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems, 16–19 May, Sorrento, Italy.
- Ballı, Ö. (2008). Kojenerasyon Sistemlerinin Enerji, Kullanabilirlik (Ekserji) ve Ekserjiekonomik Analiz Yöntemleri Kullanılarak Performansının Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bassols, J., Kuckelkorn, B., Langreck, J., Schneider, R. ve Veelken, H. (2002). Trigeneration in the food industry. *Applied Thermal Engineering*, 22(6), 595-602.

- Bianchi, M., De Pascale, A. ve Spina, P. R. (2012). Guidelines for residential micro-CHP systems design. *Applied Energy*, 97, 673-685.
- Boyce, M. P. (2004). Handbook for cogeneration and combined cycle power plants.
- Cardona, E. ve Piacentino, A. (2003). A measurement methodology for monitoring a CHCP pilot plant for an office building. *Energy and Buildings*, 35(9), 919-925.
- Cardona, E. ve Piacentino, A. (2006). A new approach to exergoeconomic analysis and design of variable demand energy systems. *Energy*, 31(4), 490-515.
- Casisi, M., Pinamonti, P.ve Reini, M. (2009). Optimal lay-out and operation of combined heat and power (CHP) distributed generation systems, *Energy*, 34(12), 2175–2183.
- Chahartaghi, M. ve Sheykhi, M. (2019). Energy, environmental and economic evaluations of a CCHP system driven by Stirling engine with helium and hydrogen as working gases, *Energy*, 174, 1251–1266.
- Chicco, G. ve Mancarella, P. (2007). Trigeneration primary energy saving evaluation for energy planning and policy development. *Energy policy*, 35(12), 6132-6144.
- Citterio, M.ve Di Pietra, B. (2008). Performance assessment of residential cogenerationsystems in different climatic zones, in: Proceedings of 1st International Conference & Workshop on Micro-cogeneration & Applications, 29 April–1 May, Ottawa, Canada.
- Çakır, U. (2007). Aziziye araştırma hastanesi enerji gereksinimi için kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Çeçil, Ü. (2018). Kojenerasyon Ve Trijenerasyon Sistemlerinin Kullanılabilirliği Ve Ekonomik Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Çelik, S. (2018). Güneş Enerjisi Kaynaklı Trijenerasyon Sisteminin Termodinamik Ve Termoeconomik Analizi, *Yüksek lisans tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Çengel, Y.A. ve Boles, M.A., 1999. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Literatür Yayıncılık, 867s, İstanbul.
- Çetin, E. (2017). 300 Yataklı Hastanede Kurulacak Kojenerasyon/Trijenerasyon Santralinin Teknoekonomik Analizi, *Yüksek lisans tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.

- Deng, J., Wang, R., Wu, J., Han, G., Wu, D. ve Li, S. (2008). Exergy cost analysis of a micro-trigeneration system based on the structural theory of thermoeconomics. *Energy*, 33(9), 1417-1426.
- Di Pietra, B. (2007). Performance assessment of residential cogeneration systems indifferent Italian climatic zones, in: Report of Subtask C of FC+COGEN-SIM The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems, Annex 42, IEA, ISBN 978-0-662-48192-8.
- Ebrahimi, M., Keshavarz, A. ve Jamali, A. (2012). Energy and exergy analyses of a micro-steam CCHP cycle for a residential building. *Energy and Buildings*, 45, 202-210.
- Ekinci, D.A. (2013). Erzurum Kampüs Hastanesine Uygulanacak Trijenerasyon Sisteminin Fizibilitesi, *Doktora tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Emho, L. (2003). District energy efficiency improvement with trigeneration: basic considerations and case studies. *Energy engineering*, 100(2), 66-80.
- Fong, K. F. ve Lee, C. K. (2014). Performance analysis of internal-combustion-engine primed trigeneration systems for use in high-rise office buildings in Hong Kong. *Energy Procedia*, 61, 2319-2322.
- Frangopoulos, C. A. (2017). *Cogeneration: technologies, optimisation and implementation*. Institution of Engineering & Technology.
- Fumo, N. ve Chamra, L. M. (2010). Analysis of combined cooling, heating, and power systems based on source primary energy consumption. *Applied Energy*, 87(6), 2023-2030.
- Gao, L., Wu, H., Jin, H. ve Yang, M. (2008). System study of combined cooling, heating and power system for eco-industrial parks. *International Journal of Energy Research*, 32(12), 1107-1118.
- Ge, Y. T., Tassou, S. A., Chaer, I. ve Suguartha, N. (2009). Performance evaluation of a tri-generation system with simulation and experiment. *Applied Energy*, 86(11), 2317-2326.
- Haberdar, F. (2009). Bir ilaç fabrikasında trijenerasyon sistemi kurulmasının termoeconomik analizi, *Yüksek lisans tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hergül, A.S. (2016). Trijenerasyon Sistemlerinin Enerji, Ekonomik Ve Çevresel Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Hernández-Santoyo, J. ve Sánchez-Cifuentes, A. (2003). Trigeneration: an alternative for energy savings. *Applied Energy*, 76(1-3), 219-227.

- Huicochea, A., Rivera, W., Gutiérrez-Urueta, G., Bruno, J. C. ve Coronas, A. (2011). Thermodynamic analysis of a trigeneration system consisting of a micro gas turbine and a double effect absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*, 31(16), 3347-3353.
- Ilık, A. (2012). Trijenerasyon sistemlerinin enerji ve ekserji analizi. *Doktora tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- İster, İ. Ve Koyun A. (2006). Mevcut Bir Fabrikada Trijenerasyon Uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jradi, M. ve Riffat. S. (2014). Tri-generation systems: energy policies, prime movers, cooling technologies, configurations and operation strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 396–415.
- Kandemir, P. (2019). Çok amaçlı enerji kullanımının analizi ve uygulanması. *Yüksek lisans tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kaya, R. (2017). Trijenerasyon Sisteminde Gaz Motoru Ünitesi Yağlama Yağının Soğutulmasından Elde Edilen Enerjinin Boyler Sisteminde Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kaynaklı, O. ve Kilic, M. (2007). Theoretical study on the effect of operating conditions on performance of absorption refrigeration system. *Energy Conversion and Management*, 48(2), 599-607.
- Kısakesen, T. (2016). KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin karşılaştırılması ve ekonomik analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Liu, X. J., Li, J., Qu, Y. ve Chen, J. Q. (2012). Overview of modeling of combined cooling heating and power system. *Power System and Clean Energy*, 7.
- Liu, L. (2015). Major issues and solutions in the management system of space heating system in North China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 221–231.
- Mago, P.J. ve Chamra, L.M. (2009). Analysis and optimization of CCHP systems based on energy,economical, and environmental considerations, *Energy and Buildings*, 41, 1099–1106.
- Mago, P. J. ve Smith, A. D. (2012). Evaluation of the potential emissions reductions from the use of CHP systems in different commercial buildings. *Building and Environment*, 53, 74-82.
- Maidment, G. G. ve Prosser, G. (2000). The use of CHP and absorption cooling in cold storage. *Applied Thermal Engineering*, 20(12), 1059-1073.

- Maidment, G. G., Zhao, X. ve Riffat, S. B. (2001). Combined cooling and heating using a gas engine in a supermarket. *Applied Energy*, 68(4), 321-335.
- Maidment, G.G. ve Tozer, R.M. (2002). Combined cooling heat and power in supermarkets, *Applied Thermal Engineering*, 22(6), 653-665.
- Minciuc, E., Le Corre, O., Athanasovici, V., Tazerout, M. ve Bitir, I. (2003). Thermodynamic analysis of trigeneration with absorption chilling machine. *Applied thermal engineering*, 23(11), 1391-1405.
- Mohammadi-Ivatloo, B., Moradi-Dalvand, M. ve Rabiee, A. (2013). Combined heat and power economic dispatch problem solution using particle swarm optimization with time varying acceleration coefficients, *Electric Power Systems Research*, 95, 9-18.
- Murugan, S. ve Horák, B. (2016). Tri and polygeneration systems-a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1032-1051.
- Nami, H. ve Anvari-Moghaddam, A. (2020). Small-scale CCHP systems for waste heat recovery from cement plants: Thermodynamic, sustainability and economic implications. *Energy*, 192, 116634.
- Oh, S. D., Lee, H. J., Jung, J. Y. ve Kwak, H. Y. (2007). Optimal planning and economic evaluation of cogeneration system. *Energy*, 32(5), 760-771.
- Özkok, M. (2010). Enerji Yoğun Bir Tesiste Enerji Verimliliği Proje Tasarımı Ve Uygulama Çalışması, *Yüksek lisans tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Patel, B., Desai, N.B. ve Kachhwaha, S.S. (2017). Optimization of waste heat based organic Rankine cycle powered cascaded vapor compression-absorption refrigeration system, *Energy Conversion and Management*, 154, 576-590.
- Piacentino, A. ve Cardona. (2008). F. EABOT - Energetic analysis as a basis for robust optimization of trigeneration systems by linear programming, *Energy Conversion and Management*, 49(11), 3006-3016.
- Pulat, E., Etemoglu, A. B. ve Can, M. (2009). Waste-heat recovery potential in Turkish textile industry: Case study for city of Bursa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), 663-672.
- Rashidi, H. ve Khorshidi, J. (2018). Exergoeconomic analysis and optimization of a solar based multigeneration system using multiobjective differential evolution algorithm, *Journal of Cleaner Production*, 170, 978-990.
- Ren, H., Gao, W. ve Ruan, Y. (2008). Optimal sizing for residential CHP system. *Applied Thermal Engineering*, 28(5-6), 514-523.

- Rodriguez-Aumente, P. A., del Carmen Rodriguez-Hidalgo, M., Nogueira, J. I., Lecuona, A. ve del Carmen Venegas, M. (2013). District heating and cooling for business buildings in Madrid. *Applied Thermal Engineering*, 50(2), 1496-1503.
- Rosato, A., Sibilio, S. ve Ciampi, G. (2013). Dynamic performance assessment of a building-integrated cogeneration system for an Italian residential application. *Energy and Buildings*, 64, 343-358.
- Rosato, A., Sibilio, S. ve Scorpio, M. (2014). Dynamic performance assessment of a residential building-integrated cogeneration system under different boundary conditions. Part II: environmental and economic analyses. *Energy conversion and management*, 79, 749-770..
- Rosen, M. A. ve Koohi-Fayegh, S. (2016). *Cogeneration and district energy systems: modelling, analysis and optimization* (Vol. 2). IET.
- Sharaf, O. Z. ve Orhan, M. F. (2014). An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 32, 810-853.
- Sibilio, S., Rosato, A., Ciampi, G., Scorpio, M. ve Akisawa, A. (2017). Building-integrated trigeneration system: Energy, environmental and economic dynamic performance assessment for Italian residential applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 920-933.
- Srithar, K., Rajaseenivasan, T., Arulmani, M., Gnanavel, R., Vivar, M. ve Fuentes, M. (2018). Energy recovery from a vapour compression refrigeration system using humidification dehumidification desalination. *Desalination*, 439, 155-161.
- Sugiartha, N., Tassou, S. A., Chaer, I. ve Marriott, D. (2009). Trigeneration in food retail: an energetic, economic and environmental evaluation for a supermarket application. *Applied Thermal Engineering*, 29(13), 2624-2632.
- Tassou, S. A., Chaer, I., Sugiartha, N., Ge, Y. T. ve Marriott, D. (2007). Application of tri-generation systems to the food retail industry. *Energy Conversion and Management*, 48(11), 2988-2995.
- Temir, G., Bilge, D. ve Emanet, O. (2004). An application of trigeneration and its economic analysis. *Energy sources*, 26(9), 857-867.
- Timur, O. (2013). Energy Efficiency Improvement And Energy Saving Opportunities At Çukurova University Balcalı Hospital, *Yüksek lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Üstüntaş, N. (2019). Diyarbakır Kadın Doğum Ve Çocuk Hastalıkları Hastanesinin Bileşik Isı Güç Sistemi Seçimi Ve Sistem Kurulum Analizi. *Yüksek lisans tezi*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır.



Wakui, T. ve Yokoyama, R. (2011). Optimal sizing of residential gas engine cogeneration system for power interchange operation from energy-saving viewpoint. *Energy*, 36(6), 3816-3824.

Wu, D. ve Wang, R. (2006). Combined cooling, heating and power: A review. *progress in energy and combustion science*, 32(5-6), 459-495.

Zhao, X., Fu, L., Li, F. ve Liu, H. (2014). Design and operation of a tri-generation system for a station in China. *Energy conversion and management*, 80, 391-397.

Xu, D. ve Qu, M. (2013). Energy, environmental, and economic evaluation of a CCHP system for a data center based on operational data, *Energy and Buildings*, 67, 176–186.

Yazman, E. (2015). 0, 4 MW Trijenerasyon Sisteminin Modellenmesi, Motor Seçimi Ve Verim Analizleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya.

Yi, S., Jang, Y.C. ve An, A.K. (2018). Potential for energy recovery and greenhouse gas reduction through waste-to-energy technologies, *Journal of Cleaner Production*, 176, 503–511.

Zhao, X. L., Fu, L., Zhang, S. G., Jiang, Y. ve Li, H. (2010). Performance improvement of a 70 kWe natural gas combined heat and power (CHP) system. *Energy*, 35(4), 1848-1853.

## **EKLER**

- EK 1** GE Jenbacher TS JMS 320 GS-N.L model motorun teknik kataloğu
- EK 2** GE Jenbacher TS JMS 416 GS-N.L model motorun teknik kataloğu
- EK 3** GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motorun teknik kataloğu
- EK 4** BURSAGAZ tarife bilgileri veri sayfası
- EK 5** Limak Enerji Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin EPDK Tarafından Belirlenen elektrik tarife bilgileri veri sayfası
- EK 6** Atmosfer basıncında karbon monoksit (CO) termodinamik özellikleri
- EK 7** Doymuş suyun termodinamik özellikleri
- EK 8** Lityum bromür-su eriyiğinin termodinamik özellikleri
- EK 9** Lityum bromür-su eriyiği için basınç-sıcaklık-konsantrasyon diyagramı
- EK 10** Lityum bromür-su eriyiği için entalpi-konsantrasyon diyagramı

## EK 1 GE Jenbacher TS JMS 320 GS-N.L model motorun teknik kataloğu



### 0.01 Technical Data (at module)

Data at:			Full Part Load		
			load		
Fuel gas LHV		kWh/Nm <sup>3</sup>	9,6		
			100%	75%	50%
Energy input		kW [2]	2.606	2.007	1.409
Gas volume		Nm <sup>3</sup> /h *)	271	209	147
Mechanical output		kW [1]	1.095	821	548
Electrical output		kW el. [4]	1.067	798	529
Recoverable thermal output					
~ Intercooler 1st stage		kW	175	88	21
~ Lube oil		kW	121	109	95
~ Jacket water		kW	347	317	270
~ Exhaust gas cooled to 120 °C		kW	566	445	330
Total recoverable thermal output		kW [5]	1.209	959	716
Total output generated		kW total	2.276	1.757	1.245
Heat to be dissipated					
~ Intercooler 2nd stage		kW	102	79	42
~ Lube oil		kW	~	~	~
~ Surface heat	ca.	kW [7]	91	~	~
Spec. fuel consumption of engine electric		kWh/kWh el. h [2]	2,44	2,52	2,66
Spec. fuel consumption of engine		kWh/kWh [2]	2,38	2,45	2,57
Lube oil consumption	ca.	kg/h [3]	0,33	~	~
Electrical efficiency		%	40,9%	39,8%	37,5%
Thermal efficiency		%	46,4%	47,8%	50,8%
Total efficiency		% [6]	87,3%	87,5%	88,4%
Hot water circuit:					
Forward temperature		°C	95,0	91,9	88,9
Return temperature		°C	80,0	80,0	80,0
Hot water flow rate		m <sup>3</sup> /h	77,6	77,6	77,6

\*) approximate value for pipework dimensioning  
 [ ] Explanations: see 0.10 - Technical parameters

All heat data is based on standard conditions according to attachment 0.10. Deviations from the standard conditions can result in a change of values within the heat balance, and must be taken into consideration in the layout of the cooling circuit/equipment (intercooler; emergency cooling; ...). In the specifications in addition to the general tolerance of ±8 % on the thermal output a further reserve of +5 % is recommended for the dimensioning of the cooling requirements.

## EK 1 GE Jenbacher TS JMS 320 GS-N.L model motorun teknik kataloğu (devam)



### Main dimensions and weights (at module)

Length	mm	~ 5.700
Width	mm	~ 1.900
Height	mm	~ 2.300
Weight empty	kg	~ 14.400
Weight filled	kg	~ 14.900

### Connections

Hot water inlet and outlet	DN/PN	100/10
Exhaust gas outlet	DN/PN	250/10
Fuel Gas (at module)	DN/PN	80/16
Water drain ISO 228	G	1/2"
Condensate drain	DN/PN	50/10
Safety valve - jacket water ISO 228	DN/PN	2x1 1/2"/2,5
Safety valve - hot water	DN/PN	65/16
Lube oil replenishing (pipe)	mm	28
Lube oil drain (pipe)	mm	28
Jacket water - filling (flex pipe)	mm	13
Intercooler water-Inlet/Outlet 1st stage	DN/PN	80/10
Intercooler water-Inlet/Outlet 2nd stage	DN/PN	65/10

### Output / fuel consumption

ISO standard fuel stop power ICFN	kW	1.095
Mean effe. press. at stand. power and nom. speed	bar	18,00
Fuel gas type		Natural gas
Based on methane number   Min. methane number	MZ d)	94   70
Compression ratio	Epsilon	12,5
Min./Max. fuel gas pressure at inlet to gas train	mbar	80 - 200 c)
Allowed Fluctuation of fuel gas pressure	%	± 10
Max. rate of gas pressure fluctuation	mbar/sec	10
Maximum Intercooler 2nd stage inlet water temperature	°C	40
Spec. fuel consumption of engine	kWh/kWh	2,38
Specific lube oil consumption	g/kWh	0,30
Max. Oil temperature	°C	90
Jacket-water temperature max.	°C	95
Filling capacity lube oil (refill)	lit	~ 342

c) Lower gas pressures upon inquiry

d) based on methane number calculation software AVL 3.1 (calculated without N2 and CO2)

**EK 1** GE Jenbacher TS JMS 320 GS-N.L model motorun teknik kataloğu (devam)



**0.02 Technical data of engine**

Manufacturer		GE Jenbacher
Engine type		J 320 GS-D05
Working principle		4-Stroke
Configuration		V 70°
No. of cylinders		20
Bore	mm	135
Stroke	mm	170
Piston displacement	lit	48,67
Nominal speed	rpm	1.500
Mean piston speed	m/s	8,50
Length	mm	3.320
Width	mm	1.358
Height	mm	2.065
Weight dry	kg	5.200
Weight filled	kg	5.700
Moment of inertia	kgm <sup>2</sup>	8,61
Direction of rotation (from flywheel view)		left
Radio interference level to VDE 0875		N
Starter motor output	kW	7
Starter motor voltage	V	24

**Thermal energy balance**

Energy input	kW	2.606
Intercooler	kW	277
Lube oil	kW	121
Jacket water	kW	347
Exhaust gas cooled to 180 °C	kW	464
Exhaust gas cooled to 100 °C	kW	600
Surface heat	kW	54

**Exhaust gas data**

Exhaust gas temperature at full load	°C [8]	442
Exhaust gas temperature at bmep= 13,5 [bar]	°C	~ 452
Exhaust gas temperature at bmep= 9 [bar]	°C	~ 477
Exhaust gas mass flow rate, wet	kg/h	5.665
Exhaust gas mass flow rate, dry	kg/h	5.260
Exhaust gas volume, wet	Nm <sup>3</sup> /h	4.497
Exhaust gas volume, dry	Nm <sup>3</sup> /h	3.992
Max.admissible exhaust back pressure after engine	mbar	60

**Combustion air data**

Combustion air mass flow rate	kg/h	5.485
Combustion air volume	Nm <sup>3</sup> /h	4.244
Max. admissible pressure drop at air-intake filter	mbar	10

## JENBACHER

### 0.01 Technical Data (at module)

		100%	75%	50%	
Power input	[2]	kW	2.795	2.154	1.512
Gas volume	*)	Nm <sup>3</sup> /h	291	224	158
Mechanical output	[1]	kW	1.234	925	617
Electrical output	[4]	kW el.	1.202	901	599
<b>Recoverable thermal output (calculated with Glykol 37%)</b>					
~ Intercoler 1st stage	[9]	kW	259	121	31
~ Lube oil		kW	158	150	137
~ Jacket water		kW	326	282	220
~ Exhaust gas cooled to 120 °C		kW	510	431	329
Total recoverable thermal output	[5]	kW	1.253	984	717
Total output generated		kW total	2.455	1.885	1.316
<b>Heat to be dissipated (calculated with Glykol 37%)</b>					
~ Intercoler 2nd stage		kW	83	67	54
~ Lube oil		kW	---	---	---
~ Surface heat	ca. [7]	kW	97	~	~
<b>Spec. fuel consumption of engine electric</b>					
Spec. fuel consumption of engine electric	[2]	kWh/kWel.h	2,33	2,39	2,52
Spec. fuel consumption of engine	[2]	kWh/kWh	2,27	2,33	2,45
Lube oil consumption	ca. [3]	kg/h	0,25	~	~
Electrical efficiency			43,0%	41,8%	39,8%
Thermal efficiency			44,8%	45,7%	47,4%
Total efficiency	[6]		87,8%	87,5%	87,0%
<b>Hot water circuit:</b>					
Forward temperature		°C	90,0	85,7	81,4
Return temperature		°C	70,0	70,0	70,0
Hot water flow rate		m <sup>3</sup> /h	60,3	60,3	60,3
Fuel gas LHV		kWh/Nm <sup>3</sup>	9,6		

\*) approximate value for pipework dimensioning  
 [ ] Explanations: see 0.10 - Technical parameters

All heat data is based on standard conditions according to attachment 0.10. Deviations from the standard conditions can result in a change of values within the heat balance, and must be taken into consideration in the layout of the cooling circuit/equipment (intercooler, emergency cooling; ...). In the specifications in addition to the general tolerance of ±8 % on the thermal output a further reserve of +5 % is recommended for the dimensioning of the cooling requirements.

## EK 2 GE Jenbacher TS JMS 416 GS-N.L model motorun teknik kataloğu (devam)

### JENBACHER

#### Main dimensions and weights (at module)

Length	mm	~ 6.700
Width	mm	~ 1.800
Height	mm	~ 2.200
Weight empty	kg	~ 13.400
Weight filled	kg	~ 14.000

#### Connections

Hot water inlet and outlet [A/B]	DN/PN	100/10
Exhaust gas outlet [C]	DN/PN	300/10
Fuel Gas (at module) [D]	DN/PN	125/16
Water drain ISO 228	G	½"
Condensate drain	DN/PN	50/10
Safety valve - jacket water ISO 228 [G]	DN/PN	1½"/2,5
Safety valve - hot water	DN/PN	50/16
Lube oil replenishing (pipe) [I]	mm	28
Lube oil drain (pipe) [J]	mm	28
Jacket water - filling (flex pipe) [L]	mm	13
Intercooler water-Inlet/Outlet 1st stage	DN/PN	100/10
Intercooler water-Inlet/Outlet 2nd stage [M/N]	DN/PN	65/10

#### Output / fuel consumption

ISO standard fuel stop power ICFN	kW	1.234
Mean effe. press. at stand. power and nom. speed	bar	20,20
Fuel gas type		Natural gas
Based on methane number   Min. methane number	MZ	94   75 d)
Compression ratio	Epsilon	12,5
Min./Max. fuel gas pressure at inlet to gas train	mbar	80 - 200 c)
Max. rate of gas pressure fluctuation	mbar/sec	10
Maximum Intercooler 2nd stage inlet water temperature	°C	40
Spec. fuel consumption of engine	kWh/kWh	2,27
Specific lube oil consumption	g/kWh	0,20
Max. Oil temperature	°C	85
Jacket-water temperature max.	°C	95
Filling capacity lube oil (refill)	lit	~ 360

c) Lower gas pressures upon inquiry

d) based on methane number calculation software AVL 3.2 (calculated without N2 and CO2)

## EK 2 GE Jenbacher TS JMS 416 GS-N.L model motorun teknik kataloğu (devam)

### 0.02 Technical data of engine

Manufacturer		JENBACHER
Engine type		J 416 GS-B05
Working principle		4-Stroke
Configuration		V 70°
No. of cylinders		16
Bore	mm	145
Stroke	mm	185
Piston displacement	lit	48,88
Nominal speed	rpm	1.500
Mean piston speed	m/s	9,25
Length	mm	3.660
Width	mm	1.495
Height	mm	2.085
Weight dry	kg	6.800
Weight filled	kg	7.435
Moment of inertia	kgm <sup>2</sup>	13,50
Direction of rotation (from flywheel view)		left
Radio interference level to VDE 0875		N
Starter motor output	kW	7
Starter motor voltage	V	24

### Thermal energy balance

Power input	kW	2.795
Intercooler	kW	342
Lube oil	kW	158
Jacket water	kW	326
Exhaust gas cooled to 180 °C	kW	395
Exhaust gas cooled to 100 °C	kW	548
Surface heat	kW	54

### Exhaust gas data

Exhaust gas temperature at full load	[8] °C	380
Exhaust gas temperature at bmep= 15,2 [bar]	°C	~ 407
Exhaust gas temperature at bmep= 10,1 [bar]	°C	~ 435
Exhaust gas mass flow rate, wet	kg/h	6.390
Exhaust gas mass flow rate, dry	kg/h	5.955
Exhaust gas volume, wet	Nm <sup>3</sup> /h	5.066
Exhaust gas volume, dry	Nm <sup>3</sup> /h	4.525
Max.admissible exhaust back pressure after engine	mbar	60

### Combustion air data

Combustion air mass flow rate	kg/h	6.197
Combustion air volume	Nm <sup>3</sup> /h	4.795
Max. admissible pressure drop at air-intake filter	mbar	10

basis for exhaust gas data: natural gas: 100% CH<sub>4</sub>; biogas 65% CH<sub>4</sub>, 35% CO<sub>2</sub>



## EK 3 GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motorun teknik kataloğu

### JENBACHER

#### 0.01 Technical Data (at module)

		100%	75%	50%	
Power input	[2]	kW	3.489	2.689	1.888
Gas volume	*)	Nm <sup>3</sup> /h	363	280	197
Mechanical output	[1]	kW	1.540	1.155	770
Electrical output	[4]	kW el.	1.498	1.123	745
<b>Recoverable thermal output (calculated with Glykol 37%)</b>					
~ Intercooler 1st stage	[9]	kW	322	150	39
~ Lube oil		kW	197	188	172
~ Jacket water		kW	407	352	275
~ Exhaust gas cooled to 120 °C		kW	637	538	411
Total recoverable thermal output	[5]	kW	1.583	1.228	896
Total output generated		kW total	3.061	2.351	1.642
<b>Heat to be dissipated (calculated with Glykol 37%)</b>					
~ Intercooler 2nd stage		kW	104	83	67
~ Lube oil		kW	---	---	---
~ Surface heat	ca. [7]	kW	125	~	~
<b>Spec. fuel consumption of engine electric</b>					
Spec. fuel consumption of engine electric	[2]	kWh/kWel.h	2,33	2,39	2,53
<b>Spec. fuel consumption of engine</b>					
Spec. fuel consumption of engine	[2]	kWh/kWh	2,27	2,33	2,45
Lube oil consumption	ca. [3]	kg/h	0.31	~	~
Electrical efficiency			42,9%	41,8%	39,5%
Thermal efficiency			44,8%	45,7%	47,5%
Total efficiency	[6]		87,7%	87,4%	87,0%
<b>Hot water circuit:</b>					
Forward temperature		°C	90,0	85,7	81,5
Return temperature		°C	70,0	70,0	70,0
Hot water flow rate		m <sup>3</sup> /h	75,2	75,2	75,2
Fuel gas LHV		kWh/Nm <sup>3</sup>	9,6		

\*) approximate value for pipework dimensioning  
 [ ] Explanations: see 0.10 - Technical parameters

All heat data is based on standard conditions according to attachment 0.10. Deviations from the standard conditions can result in a change of values within the heat balance, and must be taken into consideration in the layout of the cooling circuit/equipment (intercooler; emergency cooling; ...). In the specifications in addition to the general tolerance of ±8 % on the thermal output a further reserve of +5 % is recommended for the dimensioning of the cooling requirements.

## EK 3 GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motorun teknik kataloğu (devam)

### JENBACHER

#### Main dimensions and weights (at module)

Length	mm	~ 7.100
Width	mm	~ 1.800
Height	mm	~ 2.200
Weight empty	kg	~ 17.000
Weight filled	kg	~ 17.700

#### Connections

Hot water inlet and outlet [A/B]	DN/PN	100/10
Exhaust gas outlet [C]	DN/PN	300/10
Fuel Gas (at module) [D]	DN/PN	125/16
Water drain ISO 228	G	1/2"
Condensate drain	DN/PN	50/10
Safety valve - jacket water ISO 228 [G]	DN/PN	2x1 1/2" 12,5
Safety valve - hot water	DN/PN	65/16
Lube oil replenishing (pipe) [I]	mm	28
Lube oil drain (pipe) [J]	mm	28
Jacket water - filling (flex pipe) [L]	mm	13
Intercooler water-Inlet/Outlet 1st stage	DN/PN	100/10
Intercooler water-Inlet/Outlet 2nd stage [M/N]	DN/PN	65/10

#### Output / fuel consumption

ISO standard fuel stop power ICFN	kW	1.540
Mean effe. press. at stand. power and nom. speed	bar	20,17
Fuel gas type		Natural gas
Based on methane number   Min. methane number	MZ	94   75 d)
Compression ratio	Epsilon	12,5
Min./Max. fuel gas pressure at inlet to gas train	mbar	120 - 200 c)
Max. rate of gas pressure fluctuation	mbar/sec	10
Maximum Intercooler 2nd stage inlet water temperature	°C	40
Spec. fuel consumption of engine	kWh/kWh	2,27
Specific lube oil consumption	g/kWh	0,20
Max. Oil temperature	°C	85
Jacket-water temperature max.	°C	95
Filling capacity lube oil (refill)	lit	~ 437

c) Lower gas pressures upon inquiry

d) based on methane number calculation software AVL 3.2 (calculated without N2 and CO2)

**EK 3** GE Jenbacher TS JMS 420 GS-N.L model motorun teknik kataloğu (devam)

**0.02 Technical data of engine**

Manufacturer		JENBACHER
Engine type		J 420 GS-B05
Working principle		4-Stroke
Configuration		V 70°
No. of cylinders		20
Bore	mm	145
Stroke	mm	185
Piston displacement	lit	61,10
Nominal speed	rpm	1.500
Mean piston speed	m/s	9,25
Length	mm	3.750
Width	mm	1.580
Height	mm	2.033
Weight dry	kg	7.200
Weight filled	kg	7.900
Moment of inertia	kgm <sup>2</sup>	11,64
Direction of rotation (from flywheel view)		left
Radio interference level to VDE 0875		N
Starter motor output	kW	13
Starter motor voltage	V	24

**Thermal energy balance**

Power input	kW	3.489
Intercooler	kW	426
Lube oil	kW	197
Jacket water	kW	407
Exhaust gas cooled to 180 °C	kW	493
Exhaust gas cooled to 100 °C	kW	685
Surface heat	kW	67

**Exhaust gas data**

Exhaust gas temperature at full load	[8]	°C	380
Exhaust gas temperature at bmep= 15,1 [bar]		°C	~ 407
Exhaust gas temperature at bmep= 10,1 [bar]		°C	~ 435
Exhaust gas mass flow rate, wet		kg/h	7.977
Exhaust gas mass flow rate, dry		kg/h	7.434
Exhaust gas volume, wet		Nm <sup>3</sup> /h	6.324
Exhaust gas volume, dry		Nm <sup>3</sup> /h	5.648
Max. admissible exhaust back pressure after engine		mbar	60

**Combustion air data**

Combustion air mass flow rate		kg/h	7.736
Combustion air volume		Nm <sup>3</sup> /h	5.986
Max. admissible pressure drop at air-intake filter		mbar	10

basis for exhaust gas data: natural gas: 100% CH<sub>4</sub>; biogas 65% CH<sub>4</sub>, 35% CO<sub>2</sub>

**EK 4 BURSAGAZ** tarife bilgileri veri sayfası

**2020 ARALIK FİYAT TARİFESİ**

2020 YILI BAĞLANTI TARİFELERİ							
ABONE BAĞLANTI BEDELİ	TUTAR	GÜVENÇE BEDELİ		TUTAR			
200 m <sup>2</sup> ye kadar (KDV Hariç)	656,70 TL	KOMBI - OCAK		593,70 TL			
		DOĞAL GAZ SOBASI - OCAK - ŞOFBEN		593,60 TL			
201-300 m <sup>2</sup> ye kadar (KDV Hariç)	1.227,20 TL	KOMBI		563,90 TL			
		DOĞAL GAZ SOBASI		503,00 TL			
Abone bağlantı bedeli ilk 200 m <sup>2</sup> ye kadar olan konutlar için 656,70 TL+KDV(%18). 200 m <sup>2</sup> den sonra ilave her 100 m <sup>2</sup> için 570,50 TL+KDV(%18) tutan alınacaktır.		MERKEZİ SİSTEM		503,00 TL x BBS			
GAZ KESME AÇMA BEDELİ (KDV Hariç)	26,50 TL	OCAK - ŞOFBEN		90,60 TL			
		ŞOFBEN		60,80 TL			
		OCAK		29,80 TL			
Güvence bedellerinden KDV alınmamaktadır.							
ARALIK 2020 SERBEST OLMAYAN TÜKETİCİ (ABONE) ve ELEKTRİK ÜRETİMİ AMAÇLI DIŞINDAKİ KULLANIM İÇİN PERAKENDE SATIŞ FİYATLARI							
YILLIK TÜKETİM MİKTARI ARALIĞI	GAZ ALIŞ FİYATI	ÖTV (Özel Tüketim Vergisi)	SKB (Sistem Kullanım Bedeli)	SKB (TL/kWh)	Satış Fiyatı (KDV Hariç)	Satış Fiyatı (TL/KWh)	Satış Fiyatı (KDV Dahil)
0-100.000 Sm <sup>3</sup>	1,251652 TL	0,023 TL	0,210465 TL	0,01978055 TL	1,485117 TL	0,13957867 TL	1,752438 TL
100.001-300.000 Sm <sup>3</sup>	1,251652 TL	0,023 TL	0,143075 TL	0,01344690 TL	1,417727 TL	0,13324502 TL	1,672918 TL
300.001-1.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,400000 TL	0,023 TL	0,143075 TL	0,01344690 TL	1,566075 TL	0,14718750 TL	1,847969 TL
1.000.001-10.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,400000 TL	0,023 TL	0,057207 TL	0,00537660 TL	1,480207 TL	0,13911720 TL	1,746644 TL
10.000.001-100.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,400000 TL	0,023 TL	0,023605 TL	0,00221852 TL	1,446605 TL	0,13595912 TL	1,706994 TL
100.000.001 Sm <sup>3</sup> ve üzeri	1,400000 TL	0,023 TL	0,005075 TL	0,00047697 TL	1,428075 TL	0,13421758 TL	1,685129 TL
ARALIK 2020 300.001 m <sup>3</sup> ÜSTÜ KONUT TÜKETİMİ İÇİN PERAKENDE SATIŞ FİYATLARI							
YILLIK TÜKETİM MİKTARI ARALIĞI	GAZ ALIŞ FİYATI	ÖTV (Özel Tüketim Vergisi)	SKB (Sistem Kullanım Bedeli)	SKB (TL/kWh)	Satış Fiyatı (KDV Hariç)	Satış Fiyatı (TL/KWh)	Satış Fiyatı (KDV Dahil)
0-1.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,251652 TL	0,023 TL	0,143075 TL	0,01344690 TL	1,417727 TL	0,13324502 TL	1,672918 TL
1.000.001-10.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,251652 TL	0,023 TL	0,057207 TL	0,00537660 TL	1,331859 TL	0,12517472 TL	1,571594 TL
ARALIK 2020 ELEKTRİK ÜRETİMİ AMAÇLI KULLANIM İÇİN PERAKENDE SATIŞ FİYATLARI							
YILLIK TÜKETİM MİKTARI ARALIĞI	GAZ ALIŞ FİYATI	ÖTV (Özel Tüketim Vergisi)	SKB (Sistem Kullanım Bedeli)	SKB (TL/kWh)	Satış Fiyatı (KDV Hariç)	Satış Fiyatı (TL/KWh)	Satış Fiyatı (KDV Dahil)
0-100.000 Sm <sup>3</sup>	1,400000 TL	0,023 TL	0,210465 TL	0,01978055 TL	1,633465 TL	0,15352115 TL	1,927489 TL
100.001-1.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,400000 TL	0,023 TL	0,143075 TL	0,01344690 TL	1,566075 TL	0,14718750 TL	1,847969 TL
1.000.001-10.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,400000 TL	0,023 TL	0,057207 TL	0,00537660 TL	1,480207 TL	0,13911720 TL	1,746644 TL
10.000.001-100.000.000 Sm <sup>3</sup>	1,400000 TL	0,023 TL	0,023605 TL	0,00221852 TL	1,446605 TL	0,13595912 TL	1,706994 TL
100.000.001 Sm <sup>3</sup> ve üzeri	1,400000 TL	0,023 TL	0,005075 TL	0,00047697 TL	1,428075 TL	0,13421758 TL	1,685129 TL

**EK 5** Limak Enerji Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.’nin EPDK Tarafından Belirlenen elektrik tarife bilgileri veri sayfası

EPDK tarafından onaylanan ve 1 Ekim 2020 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Verij, Fon ve Pay Hariç Tarifeler												
Görevli Tedarik Şirketine Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları Tüketiciler												
Tek Zamanlı		Gündüz		Piaant		Gece						
kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh					
51,7407	52,4518	86,4536	25,0090									
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları												
Görevli Tedarik Şirketine Enerji Alan Tüketiciler						Özel Tedarikçiden Enerji Alan Tüketiciler İçin Sistem Kullanım Tarifeleri						
Kapasite			Aktif Enerji + Dağıtım			Reaktif Enerji		Kapasite			Reaktif Enerji	
Güç Bedeli	Güç Akım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Piaant	Gece	Güç Bedeli	Güç Akım Bedeli	Güç Bedeli	Güç Akım Bedeli	Orta Gerilim	Güç Bedeli	Reaktif Enerji
kr/AI/kW	kr/AI/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/AI/kW	kr/AI/kW	kr/AI/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kVAWh
Orta Gerilim												
Çift Terimli												
Sanayi	311,6009	623,2018	61,7227	62,4339	96,4358	34,9911	30,6010	Sanayi	311,6009	623,2018	9,3758	30,6010
Ticarethane	501,6750	1.003,3499	71,7576	72,4036	109,4059	42,9623	30,6010	Ticarethane	501,6750	1.003,3499	14,6119	30,6010
Mesken	489,2418	978,4836	54,1386	54,9069	82,8883	32,5307		Mesken	489,2418	978,4836	14,4731	
Tarımsal Sulama	484,1488	968,2975	63,7275	64,3105	97,5865	37,7197	30,6010	Tarımsal Sulama	484,1488	968,2975	12,0340	30,6010
Aydınlatma	498,6569	997,3137	66,3574					Aydınlatma	498,6569	997,3137	14,0243	
Tek Terimli												
Sanayi	62,5670	63,2784	97,2803	35,8355			30,6010	Sanayi			10,3564	30,6010
Ticarethane	75,7817	76,4277	113,4301	46,9863			30,6010	Ticarethane			18,2267	30,6010
Mesken	57,2465	58,0148	85,9959	35,6384				Mesken			17,8705	
Tarımsal Sulama	66,9505	67,5335	100,8095	40,9424			30,6010	Tarımsal Sulama			14,9836	30,6010
Aydınlatma	70,2072							Aydınlatma			17,4942	
Alçak Gerilim												
Tek Terimli												
Sanayi	69,4592	70,1703	104,1722	42,7276			30,6010	Sanayi			16,0234	30,6010
Ticarethane	79,9826	80,6285	117,6308	51,1872			30,6010	Ticarethane			21,7152	30,6010
Mesken	60,5082	61,2766	89,2578	38,9001				Mesken			21,2381	
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	29,0062							Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler			14,4043	
Tarımsal Sulama	70,3935	71,9202	104,2527	44,3855			30,6010	Tarımsal Sulama			17,8429	30,6010
Aydınlatma	74,1857							Aydınlatma			20,7984	
Genel Aydınlatma	50,4886											
Üreticiler İçin Veriş Yönünde Çift Terimli Dağıtım Tarifesi												
Kapasite			Dağıtım Bedeli			Reaktif Enerji		Üreticiler İçin Veriş Yönünde Tek Terimli Dağıtım Tarifesi				
Güç Bedeli	Güç Akım Bedeli	kr/AI/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	Güç Bedeli	Reaktif Enerji	Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji	Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji	kr/kVAWh
286,8050	573,6100						kr/kVAWh	kr/kWh	kr/kVAWh	kr/kWh	kr/kVAWh	kr/kVAWh
							1,9309			2,6190		30,6010
Üretici							Üretici					

**EK 6** Atmosfer basıncında karbon monoksit (CO) termodinamik özellikleri

T (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (kJ/kgK)	$\mu \cdot 10^7$ (N s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/mK)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr
600	0.56126	1.088	286	51	44	72.1	0.707
650	0.51806	1.101	301	58.1	47	82.4	0.705
700	0.48102	1.114	315	65.5	50	93.3	0.702
750	0.44899	1.127	329	73.3	52.8	104	0.702
800	0.42095	1.14	343	81.5	55.5	116	0.705

**EK 7** Doymuş suyun termodinamik özellikleri

T (K)	P (bar)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$h_{sb}$ (kJ/kg)	$C_p$ (kJ/kgK)	$\mu \cdot 10^7$ (N s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/mK)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr
273	0.00611	1000	2502	4.217	1.75	1.75	569	0.135	13
275	0.00697	1000	2497	4.211	1.652	1.652	574	0.136	12.1
280	0.0099	1000	2485	4.198	1.422	1.422	582	0.139	10.3
285	0.01387	1000	2473	4.189	1.225	1.225	590	0.141	8.7
290	0.01917	999	2461	4.184	1.08	1.081	598	0.143	7.6
295	0.02617	998	2449	4.181	0.959	0.961	606	0.145	6.6
300	0.03531	997	2438	4.179	0.855	0.858	613	0.147	5.8
305	0.04712	995	2426	4.178	0.769	0.773	620	0.149	5.2
310	0.06221	993	2414	4.178	0.695	0.7	628	0.151	4.6
315	0.08132	991.1	2402	4.179	0.631	0.637	634	0.153	4.2
320	0.1053	989.1	2390	4.18	0.577	0.583	640	0.155	3.8
325	0.1351	987.2	2378	4.182	0.528	0.535	645	0.156	3.4
330	0.1719	984.3	2366	4.184	0.489	0.497	650	0.158	3.1
335	0.2167	982.3	2354	4.186	0.453	0.461	656	0.16	2.9
340	0.2713	979.4	2342	4.188	0.42	0.429	660	0.161	2.7
345	0.3372	976.6	2329	4.191	0.389	0.398	668	0.163	2.4
350	0.4163	973.7	2317	4.195	0.365	0.375	668	0.164	2.3
355	0.51	970.9	2304	4.199	0.343	0.353	671	0.165	2.1
360	0.6209	967.1	2291	4.203	0.324	0.335	674	0.166	2
365	0.7514	963.4	2278	4.209	0.306	0.318	677	0.167	1.9
370	0.904	960.6	2265	4.214	0.289	0.301	679	0.168	1.8
373	1.0133	957.9	2257	4.217	0.279	0.291	680	0.168	1.7
375	1.0815	956.9	2252	4.22	0.274	0.286	681	0.169	1.7
380	1.2869	953.3	2239	4.226	0.26	0.273	683	0.17	1.6
385	1.5233	949.7	2225	4.232	0.248	0.261	685	0.17	1.5
390	1.794	945.2	2212	4.239	0.237	0.251	686	0.171	1.5
400	2.455	937.2	2183	5.256	0.217	0.232	688	0.172	1.3
410	3.302	928.5	2153	4.278	0.2	0.215	688	0.173	1.2
420	4.37	919.1	2123	4.302	0.185	0.201	688	0.174	1.2
430	5.699	909.9	2091	4.331	0.173	0.19	685	0.174	1.1
440	7.333	900.9	2059	4.36	0.162	0.18	682	0.174	1

**EK 8** Lityum bromür-su eriyiğinin termodinamik özellikleri

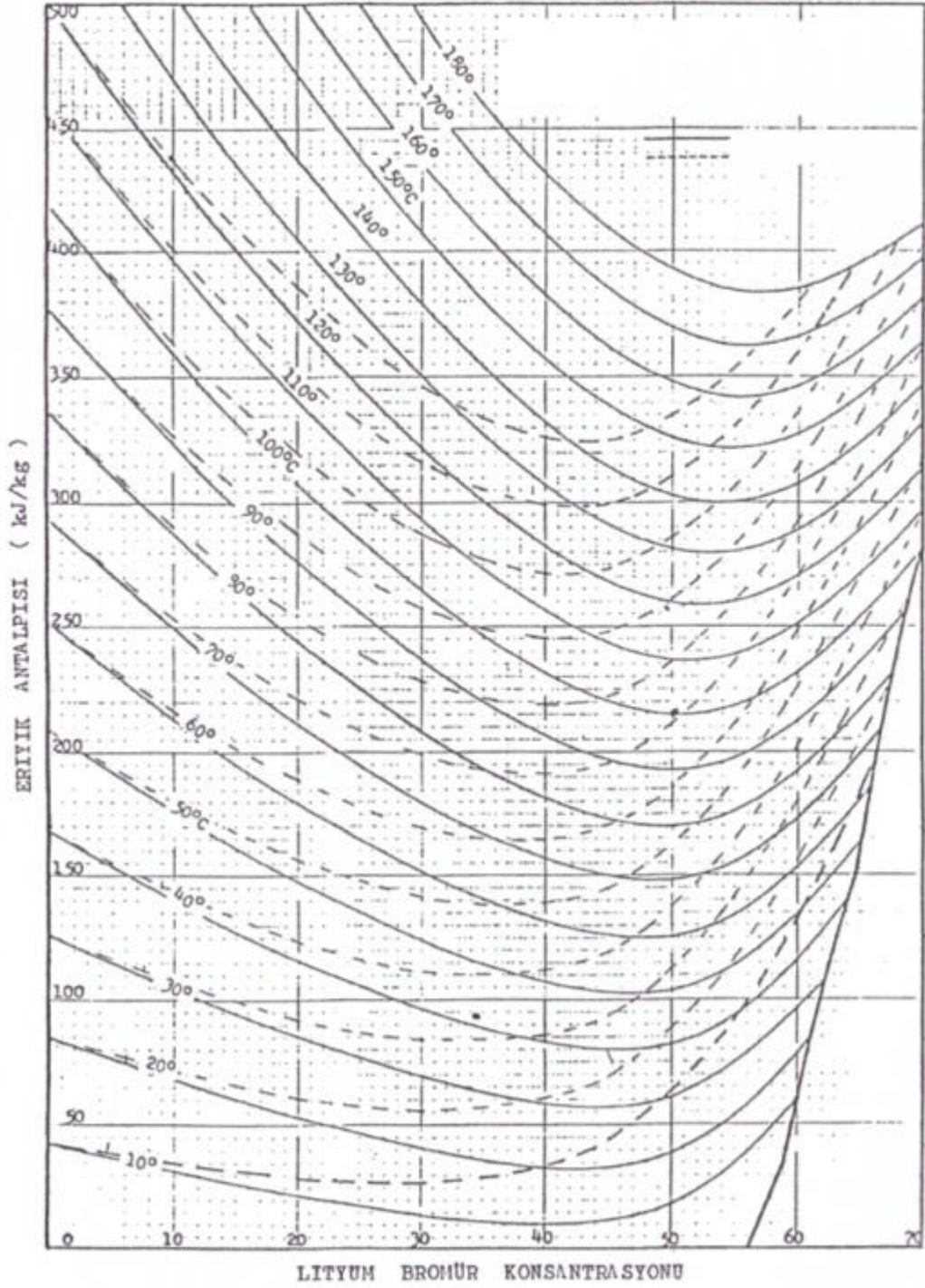
Sıcaklık		LiBr Yüzdesi										
		0	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70
20	t	20	19.1	17.7	15	9.8	5.8	-0.4	-7.7	-15.8	-23.4	-29.3
	h	84	67.4	52.6	40.4	33.5	33.5	38.9	53.2	78	111	145
30	t	30	29	27.5	24.6	19.2	15	8.6	1	-7.3	-15.2	-21.6
	h	125.8	103.3	84	68.6	58.3	56.8	60.5	73.5	96.8	128.4	161.7
40	t	40	38.9	37.3	34.3	28.5	24.1	17.5	9.8	1.3	-7	-14
	h	167.6	139.5	115.8	96	82.5	79.7	82.2	93.5	115.4	146	178.3
50	t	50	48.8	47.2	44	37.9	33.3	26.5	18.5	9.9	1.3	-6.3
	h	209.3	175.2	147	123.4	106.7	102.6	103.8	114	134.5	163.5	195
60	t	60	58.8	57	53.6	47.3	42.5	35.5	27.3	18.4	9.5	1.4
	h	251.1	211.7	179.1	151.4	131.7	125.8	125.8	134.7	153.7	181.4	211.9
70	t	70	68.7	66.8	63.3	56.6	51.6	44.4	36.1	27	17.7	9
	h	293	247.7	215	178.8	155.7	148.9	148	155.6	173.2	199.4	228.8
80	t	80	78.6	76.3	73	66	60.8	53.4	44.8	35.6	26	16.7
	h	334.9	287.8	243.6	207.3	181	172.8	170	176.2	192.6	217.2	245.7
90	t	90	88.6	86.5	82.6	75.4	70	62.3	53.6	44.1	34.2	24.3
	h	376.9	321.1	275.6	235.4	206.1	195.8	192.3	197.1	212.2	235.6	262.9
100	t	100	98.5	96.3	92.3	84.7	79.1	71.3	62.4	52.7	42.4	32
	h	419	357.6	307.9	263.8	231	219.9	214.6	218.2	231.5	253.5	279.7
110	t	110	108.4	106.2	101.9	94.1	88.3	80.2	71.1	61.3	50.6	39.7
	h	461.3	394.3	340.1	292.4	255.9	243.3	236.8	239.1	251	271.4	296.3
120	t	120	118.3	116	111.6	103.4	97.5	89.2	79.9	69.8	58.9	47.3
	h	503.7	431	372.5	320.9	281	267	259	260	270.2	289.5	313.4
130	t	130	128.3	125.8	121.3	112.8	106.7	92.8	88.7	78.4	67.1	55
	h	546.5	546.5	468.4	404.5	349.6	306.2	290.7	280.4	289.1	306.9	330.2
140	t	140	138.2	135.7	130.9	122.2	115.8	107.1	97.4	87	75.3	62.7
	h	589.1	505.6	437.8	377.9	331.3	314.2	303.2	301.1	308.1	324.7	346.9
150	t	150	148.1	145.5	140.6	131.5	125	116.1	106.2	95.5	83.5	70.3
	h	632.2	542.7	470.5	406.8	356.6	337.8	325.5	321.6	327.3	342.7	363.6
160	t	160	158.1	155.3	150.3	140.9	134.2	125	115	104.1	91.8	78.9
	h	675.6	580.8	503.1	435.4	381.9	361.2	347.7	342.2	346.1	360.3	380.1
170	t	170	168	165.2	159.9	150.3	143.3	134	123.7	112.7	100	85.7
	h	719.2	618.9	536.1	464.3	406.8	384.9	369.9	362.9	365.4	378.3	396
180	t	180	177.9	175	169.6	159.6	152.5	142.9	132.5	121.2	108.2	93.3
	h	763.2	657.1	569.4	493.4	432.1	408.8	392.1	383.4	384.3	395.8	411.3

t: Soğutucu akışkan sıcaklığı (°C)  
h: Entalpi (kJ/kg)





**EK 10** Lityum bromür-su eriyiği için entalpi-konsantrasyon diyagramı



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rümeyisa YALINDAĞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA 26.03.1993  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Özel Nilüfer Anadolu Lisesi  
Lisans : Gazi Üniversitesi  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Uludağ Üniversitesi

İletişim (e-posta) : ryalindag@uludag.edu.tr

Yayınları : Yalındağ, R., & Avcı, A. (2021). Assessment Of Natural Gas Based Trıgeneration System For Automotive Industry: Energy And Economic Analysis. TURK-COSE 2021: III. Uluslararası Türk Dünyası Fen Bilimleri ve Mühendislik Kongresi, 14-15 Haziran, 2021, Niğde, Türkiye.