



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MESKEN TİPİ BİR MİKRO-KOJENERASYON
TESİSİNİN ENERJİ, EKSERJİ, EKONOMİK
VE ÇEVRESEL ANALİZİ

Mehmet KAPLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Mehmet KAPLAN

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MESKEN TİPİ BİR MİKRO-KOJENERASYON TESİSİNİN ENERJİ, EKSERJİ, EKONOMİK ve ÇEVRESEL ANALİZİ

Mehmet KAPLAN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Sami BÜKER

2020, 155 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Sami BÜKER

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKKURT

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Hilmi AKSOY

Birleşik ısı-güç üretim sistemi olan mikro-kojenerasyon üniteleri ısı ve elektriği aynı anda tek sistemden elde eder. Doğal gazla çalışan genellikle küçük kapasiteli mikro-kojenerasyon sistemleri uygulama alanlarında tüketilmesi amacıyla elektrik üretir. Elektrik üretimi esnasında oluşan atık ısı mahal ısıtma sisteminde kullanılarak faydalı enerjiye dönüştürülür.

Bu çalışmada, Türkiye’de ilk kez kurulumu gerçekleştirilen mesken tipi bir mikro kojenerasyon sistemi, 137 konutluk projeye uygulanarak enerji üretimi, ekonomiklik, ekserji analizi ve çevresel etki açısından incelenmiştir. Kurulumu sağlanan mikro kojenerasyon 71 kWe ve 116 kWt kapasiteye sahiptir.

Enerji analizine göre, sistem aylık ortalama 6.998 m³/ay doğal gaz tüketmiş ve karşılığında 18.480 kWh/ay elektrik elde etmiştir. Üretilen elektrik enerjisinin sitede kullanımıyla şebekeden çekilen elektrik enerjisi %51 oranında azalmıştır. Mikro kojenerasyon sisteminin yaz döneminde 30,54 kW ortalama saatlik güç üretimine karşılık kış döneminde bu değer saatlik ortalama 48 kW olarak gözlemlenmiştir. Mevsimsel dönem farklılıkları ile konut sakinlerinin enerji kullanım alışkanlıklarının birbirinden farklı olması kurulumu sağlanan sistemin uykuya geçme süresini dönemsel olarak etkilemiştir. Bundan dolayı yaz dönemindeki sistemsel uyku modu kış dönemine göre %44 daha fazladır. Termodinamik analizler sonucunda, sistemin birinci yasa verimi % 85,09 olarak bulunmuştur.

Ekserji analizi sonuçlarıyla, sistem ekipmanlarında meydana gelen ekserji yıkımlarının sistemin ikinci yasa verimini düşürdüğü görülmüştür. Ekserji yıkım hesabı sistemde iyileştirme yapılması gereken noktanın tespitini sağladığından HT eşanjörünün ikinci yasa verimi %63,7 olarak çıkmış ve bu ekipmanda yıkım 41,69 kW olarak tespit edilmiştir. Bu ekipmanın iyileştirilmesi sistem toplam verimine pozitif etki oluşturacağı tespit edilmiştir. Yani sistemin ekserji hesapları yapılarak ekserji yıkımının en fazla olduğu sistem bileşenleri belirlenmiş ve gerekli verim artırıcı çalışmaların yapılabilmesinin zemini oluşturulmuştur. Sistem ekipmanlarında meydana gelen ekserji yıkımları neticesinde ikinci yasa verimi %57,51 olarak hesaplanmıştır.

Ekonomik analiz, konut sakininin aylık net kazancının 2016 yılı test döneminde 22,1\$ olduğu Nisan-Mayıs/2020 analiz döneminde ise 21,08\$ olduğunu göstermiştir. Dolar kurunun ve konut sakinlerinin enerjiyi kullanım alışkanlığının değişkenliği test dönemindeki konut sakininin aylık net kazancını %21’den %31’e yükseltmiştir. Test dönemi verileri yardımıyla site aylık kar miktarı yaklaşık olarak 3.116,25\$ tespit edilmiş ve amortisman süresi 3,7 yıl olarak belirlenmiştir. Sistem kurulumu için harcanan 140.000,00 \$’lık yatırımın bugünkü değer (BD) yöntemiyle sistemin hurda değeri motor rektefiye olma süresi dikkate alınarak 10 yıllık süre zarfında paranın değeri 256.637,62 \$ olduğu ve bunun yatırım miktarından fazla olması yatırımın kabul edilebilir olduğunu göstermiştir. Net bugünkü

değer (NBD) yöntemiyle ikinci bir ekonomik analiz uygulanmış olup sistemin ekonomik faydalarından masrafların çıkarılması ile 116.633,89 \$ elde edilmiştir. Paranın zaman değerini dikkate alan BD ile NBD'nin sonuçları birbirine yakın çıkmıştır.

Son olarak çevre etki analiziyle, sistemin doğaya karşı faydaları incelenerek mikro kojenerasyonun devrede olduğu her yıl için sitenin yıllık 30 yetişkin ağacı doğaya kazandırdığı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki analizi, Ekonomik analiz, Konut tipi mikro-kojenerasyon, Termodinamik analiz



ABSTRACT

MS THESIS

ENERGY, EXERGY, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL (4E) ANALYSIS OF A RESIDENTIAL TYPE MICRO-COGENERATION SYSTEM

Mehmet KAPLAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENERGY SYSTEMS
ENGINEERING

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Sami BÜKER

2020, 155 Pages

Jury

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Sami BÜKER

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKKURT

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Hilmi AKSOY

Micro-cogenerations are combined heat-power generation systems that generate heat and electricity simultaneously from a single source. These are usually natural gas-powered and small-capacity systems that generate electricity for in-situ consumption. The waste heat generated during electricity generation is converted into useful thermal energy for space heating system, domestic hot water etc.

In this study, the first residential micro-cogeneration application in Turkey were examined in terms of energy production, economy, exergy, analysis and environmental impact. The micro-cogeneration installed has a capacity of 71 kWe and 115 kWt and applied to a multi-family house with 137 apartments. This system consumed an average of 6,998 m³ / month of natural gas and received 18,480 kWh / month of electricity in return. The electrical energy drawn from the network has decreased by 51% with the use of micro-CHP producing electricity on-site. While the micro cogeneration system produced an average hourly power of 30.54 kW in the summer period, this value was observed as an average of 48 kW per hour in the winter period. Since seasonal period differences and energy usage habits of residents differ from each other, the system was inserted into sleep-mode 44% more in summer than winter. As a result of series of analysis, the energy efficiency of the system has been determined as 85,09 %.

According to exergy analysis, exergy destruction in system equipment reduces the efficiency of the second law. As the exergy destruction account provides the determination of the point in which the system needs improvement, the second law efficiency of the HT heat exchanger was 63.7% and amount of destruction was quantified as 41.69 kW in this equipment. It has been determined that the improvement of this equipment will have a positive effect on the total efficiency of the system. In other words, by calculating the exergy of the system, the system components with the highest exergy destruction have been determined and the ground for performing the necessary efficiency enhancing works has been established. As a result of exergy destructions occurring in system equipment, the second law efficiency was calculated as 57.51%.

According to the economic analysis, the residents' monthly net income was \$ 22.1 in 2016 and \$ 21.08 in the April-May / 2020 analysis period. The variability of the dollar rate and residents' energy use habit has increased the monthly net income of residents during the test period from 21% to 31% (the increase was considered in Turkish Lira). With the help of the test period data, the monthly profit amount of the site was determined as approximately \$ 3.116.25 and the depreciation period was determined as 3.7

years. With the present value (PV) method of the investment of \$ 140,000.00 spent on system installation, the value of the money was \$ 256,637.62 over a 10-year period, considering that the system's scrap value was the period of motor deduction, and the investment was profitable. A second economic analysis was applied with the net present value (NPV) method, and \$ 116,633.89 was obtained by subtracting expenses from the economic benefits of the system. Considering the time value of money, the results of PV and NPV are close to each other.

Last but not the least, by examining the benefits of the system to nature, it has been determined that the site has brought 30 adult trees annually to the nature for each year when micro cogeneration is in use.

Keywords: Economic analysis, Environmental impact analysis, Residential type micro-cogeneration, Thermodynamic analysis



ÖNSÖZ

Türkiye’ de ilk kez konutlara uygulanan mikro kojenerasyon sisteminin çalışması, ekonomik analizi, termodinamik analizi ve çevreye duyarlılığı incelenmiştir. Enerji kaynaklarının verimli ve etkin kullanımı ülkemizin enerjide dışa olan bağımlılığını azaltacağından sistemin yaygınlaştırılması ülkemizin enerji cari açığını nispeten azaltacaktır. Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalına Yüksek Lisans tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

Tezimin planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Sami BÜKER’e, yöneticim Mehmet Ali KORKMAZ’a ve Seha Yapı A.Ş.’ne sonsuz teşekkürlerimi sunar, manevi desteğini her an yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet KAPLAN
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünya Enerji Görünümü.....	1
1.1.1. Enerji Yatırımları	2
1.1.2. Birincil Enerji Tüketimi.....	3
1.1.3. Elektrik Üretimi	3
1.2. TÜRKİYE' nin Enerji Görünümü	4
1.2.1. Elektrik Enerjisi Görünümü.....	4
1.2.2. Elektrik Enerjisi Üretimi.....	5
1.2.3. Enerji Tüketim Maliyetleri	6
1.2.4. Avrupa Birliği Ülkeleri Fiyat Sıralamaları	7
1.2.5. Türkiye'ye Doğal gaz Sağlayan Uluslararası Hatlar	10
2. KAYNAK TARAMASI	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Motor Bazlı Kojenerasyon Sistemleri.....	16
3.1.1. Isıl Güç (Kojenerasyon) Sistem Yapısı Ve Çalışma Prensipleri.....	17
3.1.2. Kojenerasyon Sisteminin Bileşenleri.....	20
3.1.2.1. PTKM makine parçaları.....	20
3.1.2.2. PTKM sistem şeması	22
3.1.2.3. PTKM sistem kontrolü.....	23
3.1.2.4. PTKM ayar parametreleri	29
3.1.2.5. PTKM sistem bakımı	30
3.2. Mikro Kojenerasyon Ünitesi Enerji Kaynakları	31
3.3. Kojenerasyon Sisteminin Faydaları	32
3.4. Kojenerasyon Uygulaması	33
3.4.1. Kazanın Devreye Girmesi ve Devreden Çıkması	35
3.4.2. Paket Tipi kojenerasyon Sisteminin Devreye Girmesi	37
3.5. Bina - Entegre Mikro Kojenerasyon Tesisi	38
3.6. Bina - Entegre Mikro Kojenerasyon Ünitesinde Enerji Transferi	39
3.7. Enerji Üretimi	42
3.7.1. Elektrik Enerjisi Üretimi ve Transferi	43
3.7.2. Termal Enerji Geri Kazanımı	46
3.8. Sistemin Termodinamik Analizi	47

3.8.1. Aftercooler Termodinamik Analizi	50
3.8.1.1. Aftercooler akım yolu debi hesabı	50
3.8.1.2. Aftercooler giriş/çıkış akım yolu ekserjileri	51
3.8.1.3. Aftercooler ekserji yıkım hesabı	52
3.8.1.4. Aftercooler ünitesinde ikinci yasa verim hesabı	53
3.8.2. Jacket Water Termodinamik Analizi	53
3.8.2.1. Jacket water akım yolu debi hesabı	53
3.8.2.2. Jacket water giriş/çıkış akım yolu ekserjileri	54
3.8.2.3. Jacket water ekserji yıkım hesabı	55
3.8.2.4. Jacket water ünitesinde ikinci yasa verim hesabı	56
3.8.3. LT Eşanjörün Termodinamik Analizi	56
3.8.3.1. LT eşanjörü akım yolu debi hesabı	56
3.8.3.2. LT eşanjör giriş/çıkış akım yolu ekserjileri	57
3.8.3.3. LT eşanjör ekserji yıkım hesabı	59
3.8.3.4. LT eşanjör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı	60
3.8.4. HT Eşanjörün Termodinamik Analizi	60
3.8.4.1. HT eşanjörü akım yolu debi hesabı	60
3.8.4.2. HT eşanjör giriş/çıkış akım yolu ekserjileri	61
3.8.4.3. HT eşanjör ekserji yıkım hesabı	63
3.8.4.4. HT eşanjör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı	64
3.8.5. HW Eşanjörün Termodinamik Analizi	64
3.8.5.1. HW eşanjörü akım yolu debi hesabı	64
3.8.5.2. HW eşanjör giriş/çıkış akım yolu ekserjileri	65
3.8.5.3. HW eşanjör ekserji yıkım hesabı	67
3.8.5.4. HW eşanjör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı	68
3.8.6. LT Eşanjörü Soğutma Radyatörünün Termodinamik Analizi	68
3.8.6.1. LT eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin akım yolu debi hesabı	68
3.8.6.2. LT eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin akım yolu ekserjileri	68
3.8.6.3. LT eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin ekserji yıkım hesabı	70
3.8.6.4. LT eşanjör soğutma radyatör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı	71
3.8.7. HT Eşanjörü Soğutma Radyatörünün Termodinamik Analizi	71
3.8.7.1. HT eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin akım yolu debi hesabı	71
3.8.7.2. HT eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin akım yolu ekserjileri	72
3.8.7.3. HT eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin ekserji yıkım hesabı	73
3.8.7.4. HT eşanjör soğutma radyatör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı	74
3.8.8. Baca Gazı Termodinamik Analiz	74
3.8.8.1. Baca gazı ekserji analizi	74
3.8.8.2. Baca gazı ekserji yıkım hesabı	79
3.8.9. Mikro Kojenerasyon Ünitesine İlişkin Toplam Ekserji Yıkımı	80
3.8.10. Sistemin Birinci Yasa Verimi	81
3.8.11. Sistemin İkinci Yasa Verimi	81
3.9. Ekonomik Analiz	84
3.9.1. Fizibilite Çalışmasına Etki Eden Parametreler	84
3.9.2. Statik (Paranın Zaman Değerini Dikkate Almayan) Yöntem	85
3.9.2.1. Karlılık Oranı	85
3.9.2.2. Geri Ödeme Süresi Yöntemi	85
3.9.3. Paranın Zaman Değerini Dikkate Alan Yöntemler	86
3.9.3.1. Bugünkü Değer Yöntemi	86
3.9.3.2. Net Bugünkü Değer Yöntemi	87
3.9.4. PTKM' nin Test Dönemi Ekonomik Analizi	87

3.9.5. PTKM'nin Dönemsel Ekonomik Analizi	92
3.9.6. Motor Rektifiye Süresinin Hesaplanması	95
3.9.7. Sistem Verimliliği	95
3.10. Çevresel Analiz	97
3.10.1. Emisyon	98
3.10.1.1. Küresel Isınmanın Neden Olduğu Zararlar	100
3.10.2. Karbon ayak izi	101
3.10.2.1. Bina-Entegre Mikro Kojenerasyon Sistemi CO ₂ Emisyon Hesabı....	101
3.10.2.2. Karbon ayak izi yok etme yöntemleri	102
3.10.3. Kojenerasyon tesisinde gaz yakıt kullanılmasının nedenleri	103
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	105
4.1. Enerji Dengesi.....	105
4.2. Mikro Kojenerasyon Kapasite Tespit Diyagramı	106
4.3. Enerji Üretimi	108
4.3.1. Enerji Senkronizasyonu	109
4.3.2. Termal Enerji	110
4.3.2.1. Plaka Isı Eşanjöründe Termal Enerji Değişim.....	110
4.3.2.2. Doğal Gaz Tüketimi ve Kazanımı	112
4.4. Sistemin Elektriksel Enerji Analizi.....	113
4.4.1. Bina – Entegre Mikro Kojenerasyon Sistemi Elektriksel Güç Üretimi.....	113
4.4.2. Bina – Entegre Mikro Kojenerasyon Sistemi Akım Değerlemesi	114
4.5. Sistemin Termodinamik Analizi	115
4.5.1. Sıcaklığa Bağlı Entropi Değişimi	115
4.5.2. Sıcaklık ile Egzos Gazlarının Entropi Karakteristiği	116
4.5.3. Sıcaklık ile Baca Gazı Entalpi ve Entropi Değişimi.....	117
4.5.4. Akım Yolu Noktalarına Ait Ekserji Yıkım Analizi	119
4.5.5. Mikro Kojenerasyon Ekipmanlarına Ait İkinci Yasa Verim Analizi	121
4.5.6. Akım Yolu Noktalarına Ait Entalpi ve Entropi Değişimi	122
4.5.7. Akım Yolu Noktalarına Ait Sıcaklığa bağlı Ekserji Değişimi	123
4.5.8. Mikro Kojenerasyon Ekipmanlarının Verim ile Ekserji Yıkım Analizi.....	124
4.5.9. Mikro Kojenerasyon Sistemi 1. ve 2. Yasa verimleri.....	124
4.6. Sisteminin Ekonomik Analizi.....	125
4.6.1. Test Dönemine Ait Ekonomik Analiz	125
4.6.2. Dönemsel Ekonomik Analiz	127
4.6.3. Paranın Zaman Değerini Dikkate Alan Yöntemler.....	128
4.6.3.1. Bugünkü Değer (BD) Yöntemi.....	128
4.6.3.2. Net Bugünkü Değer (NBD) Yöntemi	129
4.7. Sistemin Çevresel Analizi.....	130
4.7.1. Sisteminin mevsimsel CO ₂ emisyonu.....	130
5. SONUÇLAR.....	132
KAYNAKLAR	135
EKLER	139
EK-1 EES program kodları.....	139
EK-2 Mikro kojenerasyon sistemi anlık bakım tespit çizelgesi.	146
EK-2 Su buharının ideal gaz özellikleri.....	149

EK-3 CO ₂ ' nin ideal gaz özellikleri.....	151
EK-4 N ₂ ' nin ideal gaz özellikleri.....	153
EK-5 O ₂ ' nin ideal gaz özellikleri.....	155
EK-6 25 °C' de ve 1 atm basıçtaki gazla ait mutlak etropi ve oluşum entalpileri...	157
EK-7 Gazların molar kütlelerine ait yüksek ve düşük ısıtma değerleri.....	158
ÖZGEÇMİŞ	159



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Nüfus, GSYİH büyüme ve birincil enerji talep projeksiyonları	2
Şekil 2. 2016-2040 arası kaynaklara göre enerji arzı altyapısı için yatırımlar	2
Şekil 3. 2016 sonu kaynak bazlı Türkiye'nin elektrik enerji üretimi	6
Şekil 4. Uluslararası doğal gaz boru hatları.....	11
Şekil 5. 2017 yılında Türkiye'de sektörel elektrik enerji tüketim oranları	14
Şekil 6. Mikro kojenerasyonun uygulandığı site	16
Şekil 7. İçten yanmalı motorlu sistemin şematik gösterimi.....	17
Şekil 8. Normlara göre enerji tüketim eğrisi	19
Şekil 9. Kojenerasyon kapasite seçim diyagramı	19
Şekil 10. Mikro kojenerasyonun sol, ön, arka ve sağ görünüşleri.....	21
Şekil 11. PTKM – Şematik yapı (EM-70/115).....	22
Şekil 12. Sistem gaz hattı	24
Şekil 13. Hava gaz karışımı	25
Şekil 14. PTKM'nin panel görüntüsü	27
Şekil 15. Mikro kojenerasyonun elektrik ölçüm sayacı	29
Şekil 16. Harici JUMO digital gösterge	30
Şekil 17. Mikro kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtlar	32
Şekil 18. Kurulumu gerçekleştirilen blok tipi mikro kojenerasyon.....	33
Şekil 19. Uygulanan mikro kojenerasyon sistem şeması	34
Şekil 20. Kurgulanan ısı depolu PTKM sistem şeması	36
Şekil 21. Mikro kojenerasyon sistem kurulum şeması	38
Şekil 22. Konutlarda geleneksel enerji akış diyagramı	39
Şekil 23. Mikro kojenerasyonun uygulandığı binanın enerji akış diyagramı.....	40
Şekil 24. Doğal gaz tüketim adım diyagramı.	40
Şekil 25. Termal enerji kazanımına karşılık gelen kazan tespit diyagramı.	41
Şekil 26. Kojenerasyon sistemine ait verim gösterimi	42
Şekil 27. PTKM ile üretilen elektriğin şebekeye çıkmadığı senaryo	44
Şekil 28. PTKM ile üretilen elektriğin şebeke ile mahsuplaştığı senaryo.....	44
Şekil 29. PTKM ile paralel şebeke işletimi	45
Şekil 30. PTKM ile yedek şebeke fonksiyonlu paralel şebeke.....	45
Şekil 31. Çeket suyu sıcaklığı ve egzoz ısısı geri kazanımı	47
Şekil 32. İntercooler ısı geri kazanım devreli termal kazanım	47
Şekil 33. PTKM enstrüman diyagramı	49
Şekil 34. EES ile çevre koşullarına ait entalpi ve entropi değerleri	51
Şekil 35. Aftercooler sistem enstrümanı	51
Şekil 36. Jacket Water sistem enstrümanı	54
Şekil 37. Düşük sıcaklık eşanjörü sistem enstrümanı.....	57
Şekil 38. Yüksek sıcaklık eşanjörü sistem enstrümanı.....	61
Şekil 39. Sıcak su eşanjörü sistem enstrümanı	65
Şekil 40. Düşük sıcaklık eşanjör soğutma radyatörü sistem enstrümanı.....	69
Şekil 41. Yüksek sıcaklık eşanjör soğutma radyatörü sistem enstrümanı.....	72
Şekil 42. Konvansiyonel sistem ile kojenerasyonlu sistemin karşılaştırılması.	97
Şekil 43. Deniz suyu sıcaklıklarının yıllara bağlı değişimi.	100
Şekil 44. Enerji Akış Sankey Diyagramı.....	106
Şekil 45. Çalışma saatine bağlı kapasite seçimi	107
Şekil 46. PTKM' nin aylık çalışma durum eğrisi.....	108
Şekil 47. PTKM' nin enerji senkronizasyonu	110

Şekil 48. Motor çalışma yüküne bağlı termal değişim	110
Şekil 49. Plakalı eşanjördeki termal enerji dönüşümü	111
Şekil 50. Doğal gaz tüketimi ile PTKM' den elde edilen elektrik enerjisi.....	112
Şekil 51. Elde edilen termal enerjiye karşılık harcanmayan doğal gaz miktarı.....	112
Şekil 52. Kış ve yaz dönemi ortalama saatlik elektrik üretimi	114
Şekil 53. Kış ve yaz dönemine ait ortalama saatlik güç ve akım	115
Şekil 54. Egzos Gazlarının Sıcaklığa Bağlı Entropi Değerleri.....	116
Şekil 55. 25 °C' deki gazların entropi değişimleri	117
Şekil 56. 700 °C' deki gazların entropi değişimleri	117
Şekil 57. Baca gazı sıcaklığına bağlı entalpi oluşumu	118
Şekil 58. Baca gazı sıcaklığına bağlı entropi oluşumu	118
Şekil 59. Sistem akım yolu debi değişimi	120
Şekil 60. Sistem akım yolu ekserji değişimi.....	120
Şekil 61. Mikro kojenerasyon ünitesine ait ekserji yıkım dağılımı	120
Şekil 62. Mikro kojenerasyon ünitesine ait ekserji yıkımı (kW).....	121
Şekil 63. Kojenerasyon ünitelerine ait ikinci yasa verimleri.....	122
Şekil 64. Sistem akım yolu noktalarına ait Entalpi ve Entropi değerleri	123
Şekil 65. Akım yolu noktalarının sıcaklığına bağlı ekserji değişimi.....	123
Şekil 66. Sistem ekipmanlarının verimlerine ait ekserji yıkımları	124
Şekil 67. Termodinamik 1. ve 2. yasa verimleri.....	125
Şekil 68. Mikro kojenerasyon tesisine ait yaz sezonu CO ₂ emisyon değişimi.....	131
Şekil 69. Mikro kojenerasyon tesisine ait kış sezonu CO ₂ emisyon değişimi.....	131

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Dünya birincil enerji tüketimi (Milyon TEP)	3
Tablo 2. Bazı ülkelerin 2015 yılı elektrik üretimleri.....	4
Tablo 3. Türkiye'nin elektrik enerji görünümü (GWh).	4
Tablo 4. Elektrik enerjisi tüketim maliyetinin asgari ücret içindeki payı	6
Tablo 5. Doğal gaz tüketim maliyetinin asgari ücret içindeki payı	7
Tablo 6. AB ülkeleri konut elektrik fiyatları sıralaması (€/kWh).....	8
Tablo 7. AB ülkeleri konut doğal gaz fiyatları sıralaması (€/kWh).....	9
Tablo 8. Mikro kojenerasyon ünitesi bakım programı verisi	31
Tablo 9. Mikro kojenerasyonun teknik özellikleri	35
Tablo 10. Mikro kojenerasyon sistemine ait işletme parametreleri	38
Tablo 11. PTKM' ü akım yolları termofiziksel özellikleri	50
Tablo 12. After cooler giriş/çıkış akımlarının termofiziksel değerleri	53
Tablo 13. Jacket Water giriş/çıkış akımlarının termofiziksel değerleri	55
Tablo 14. LT Eşanjörü giriş/çıkış akımlarının termofiziksel değerleri.....	59
Tablo 15. HT Eşanjörü giriş/çıkış akımlarının termofiziksel değerleri	63
Tablo 16. HW Eşanjörü giriş/çıkış akımlarının termofiziksel değerleri	67
Tablo 17. LT Eşanjör Soğutma Radyatörü giriş/çıkış akım termofiziksel değerler	70
Tablo 18. HT Eşanjör Soğutma Radyatörü giriş/çıkış akım termofiziksel değerler	73
Tablo 19. CO ₂ , H ₂ O, N ₂ ve O ₂ gazlarının sıcaklığa bağlı termodinamik değerleri	74
Tablo 20. Akım yolu noktalarının sıcaklık, entalpi, entropi, debi ve ekserjileri.....	79
Tablo 21. Ekonomik veriler	86
Tablo 22. Kyoto Protokolünde yer alan sera gazları ve eşdeğerleri	99
Tablo 23. Kyoto Protokolü-Ülkelerin sınıflandırılması	101
Tablo 24. PTKM' de eşanjör giriş çıkış sıcaklıkları ile termal ısı güçleri	111
Tablo 25. Plaka eşanjöründe soğutma suyu ve ısıtma suyu termal geçişi	111
Tablo 26. Mikro kojenerasyon sistemine ilişkin ilk uygulama verileri	125
Tablo 27. Uygulamaya ilişkin performans ve ekonomik veriler.....	126
Tablo 28. Mikro kojenerasyon dönemsel performans tablosu.....	127
Tablo 29. BD yöntemi hesap cetveli	129
Tablo 30. NBD hesaplama akışı.....	129

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E	Üretilen elektrik miktarı
F	Kullanılan yakıt miktarı
H	Üretilen ısı enerjisi miktarı
T_{ss}	Soğutma suyu sıcaklığı
T_{ec}	Egzozdan çıkan suyun sıcaklığı
η	Verim
η_{toplam}	Toplam verim
$\eta_{kon.sis}$	Konvansiyonel sistem verimi
η_{kojen}	Kojenerasyon sistem verimi
$\eta_{1.yasa}$	Termodinamiğin 1. Yasa verimi
$\eta_{2.yasa}$	Termodinamiğin 2. Yasa verimi

Kısaltmalar

AFR	Hava yakıt karışımını ayarlayan mikser
ATS	Dış hava sıcaklık sensörü
AV	Kapama ventili
CHP	Combined heat and power
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
DN2	Bağlantı çapı
ETV	Elektrik tüketim vergisi
EV	Elastik yataklama
FC	Yakıt hücresi
FK	Kazan suyu sıcaklık sensörü
FR	Dönüş suyu sıcaklık sensörü
FVS	Strateji sensörü
FZ	Ortak gidiş sıcaklık sensörü
FZB	Dönüş suyu sıcaklık sensörü
HK	Isıtma devresi
IC	İçten yanmalı pistonlu motor
KV	Ventil
MAG	Membranlı genişleme tankı
NO _x	Azot oksit
PH	Isıtma devresi sirkülasyon pompası
PR	Dönüş suyu sıcaklık kontrolü için pompa
PTK	Paket tipi kojenerasyon
PTKM	Paket tipi kojenerasyon modülü
SE	Stirling motor
SH	Isıtma devresi için için 3 yollu vana
SK	Dönüş suyu kontrolü için 3 yollu vana
SV	Emniyet ventili
TRT	Türkiye radyo televizyon
NŞA	Normal şartlar altında

VTS	Gidiş suyu sıcaklık sensörü
LHV	Düşük kalorifik değer
H_u	Alt ısı değer
GÖS	Geri ödeme süresi
BD	Bugünkü değer
NBD	Net bugünkü değer
i	İskonto oranı
n	Yıl
AC	Aftercooler
JW	Jacket Water
LT	Düşük sıcaklık
HT	Yüksek sıcaklık
HW	Sıcak su



1. GİRİŞ

Thomas Edison Pearl Street istasyonunda komşularının enerjilerini karşılayabilmek için enerji üretim tesisi kurmuştur. Dünyada ilk kez 1882'de elektrik ve ısıyı aynı anda üretebilen bu tesiste, üretilen elektrik ve ısı enerjilerinin yanında oluşan atık ısıyı da sisteme dâhil ederek kayıp enerji miktarını minimuma indirmiş ve verimi arttırmıştır. Böylelikle komşularının enerji ihtiyacını karşılamayı başarmıştır. 1882'den itibaren bilinen kojenerasyon kavramı, popüleritesini 1970'lerin sonu 1980'lerin başlarında kazanmıştır. Bu, petrol krizinin bu dönemde yaşattığı şokun bir sonucudur. Bunu erken dönemde fark eden Kuzey ve Doğu Avrupa ülkeleri merkezi ısınma sistemleri oluşturarak atık ısıdan kaynaklanan kayıpları minimumda tutabilmişlerdir (Kanoğlu, 2005).

Ülkelerin sürdürülebilir enerji politikaları için enerji israfının engellenmesine ve doğaya salınımı gerçekleşen zararlı gazların azaltılmasına yönelik birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Bu da kaynakların verimli ve etkin kullanımı ile mümkündür. Termik santrallerde 1 kWh elektrik elde edilebilmesi için yakıt olarak kömür kullanılmış ve doğaya 0,915 kg. CO₂'nin salındığı tespit edilmiştir. Enerji santrallerindeki yakıt kaynaklarının çeşitlilik göstermesi doğaya salınımı gerçekleşen zararlı gaz emisyon oranlarını etkilemekte bu da ortalama olarak 1 kWh elektrik üretimi için 0,5 kg ile 0,44 kg arasında CO₂'nin havaya salınımı olarak kabul edilmektedir (Anonim, 2015).

Bu çalışmada, Türkiye'de ilk kez kurulumu gerçekleştirilen mikro kojenerasyon, 137 konutluk projeye uygulanarak mikro kojenerasyon sisteminin (≤ 100 kWe) meskenlere uygulanabilirliği irdelenmiştir. Söz konusu paket tipi kojenerasyon modülü enerji verimliliği, işletme performansı, enerji tasarrufu ve çevre duyarlılığı açısından detaylı incelenmiştir. Mikro kojenerasyon ile yerinde enerji üretip tüketmenin enerjinin üretim, iletim ve dağıtımına ilişkin bazı alışkanlıkları kökünden değiştireceği ve bunun maksimum fayda sağlayacağı tespit edilmiş, mesken tipi kojenerasyonların geleceği irdelenmiştir.

1.1. Dünya Enerji Görünümü



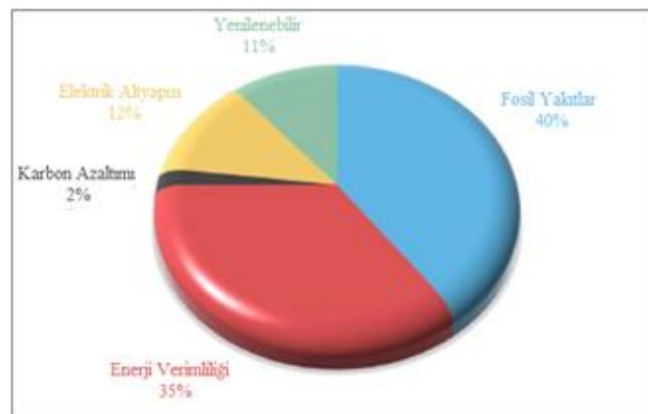
Şekil 1. Nüfus, GSYİH büyüme ve birincil enerji talep projeksiyonları (Anonim, 2017).

Dünyadaki nüfus ve gelir artış oranı birincil enerji tüketimini arttıran temel etkenler olup küresel çaptaki enerji taleplerinin artışında etki eder (Anonim, 2017).

Öngörülen projeksiyonlara göre 2040'a kadar fosil yakıt kullanımının azalacağı bilinmesine rağmen bu yakıt kaynaklarının etkinliği baskın olarak devam edecektir (Anonim, 2017).

1.1.1. Enerji Yatırımları

Dünyanın enerji ihtiyacını karşılayabilmek için küresel ölçekte enerji yatırımları her sene artış göstermektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'ı (UEA) enerji sektörüne 2016 yılından 2040 yılına kadar küresel çapta 66,5 trilyon dolarlık toplam yatırım yapılacağını belirtmiştir (Anonim, 2017).



Şekil 2. 2016-2040 arası kaynaklara göre enerji arzı altyapısı için yatırımlar (Anonim, 2017)

1.1.2. Birincil Enerji Tüketimi

Birincil enerji tüketimi sıralamasında Türkiye dünyada 19. sıradadır. Birincil enerji tüketimlerine göre bazı ülkeler Tablo 1’de sıralanmıştır (Anonim, 2017).

Tablo 1. Dünya birincil enerji tüketimi (Milyon TEP) (Anonim, 2017).

ÜLKE	2013	2014	2015	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
Çin	2.903,9	2.970,3	3.014,0	22,9%	1
ABD	2.271,7	2.300,5	2.280,6	17,3%	2
Hindistan	626,0	666,2	700,5	5,3%	3
Rusya	688,0	689,8	666,8	5,1%	4
Japonya	465,8	453,9	448,5	3,4%	5
Kanada	335,0	335,5	329,9	2,5%	6
Almanya	325,8	311,9	320,6	2,4%	7
Brezilya	290,0	297,6	292,8	2,2%	8
Güney Kore	270,9	273,1	276,9	2,1%	9
İran	247,6	260,8	267,2	2,0%	10
Suudi Arabistan	237,4	252,4	264,0	2,0%	11
Fransa	247,4	237,5	239,0	1,8%	12
Endonezya	175,0	188,3	195,6	1,5%	13
Birleşik Krallık	201,4	188,9	191,2	1,5%	14
Meksika	188,9	190,0	185,0	1,4%	15
İtalya	155,7	146,8	151,7	1,2%	16
İspanya	134,2	132,1	134,4	1,0%	17
Avustralya	130,7	129,9	131,4	1,0%	18
Türkiye	120,3	123,9	126,9	1,0%	19
Tayland	120,3	123,4	124,9	0,9%	20
Güney Afrika	124,6	128,0	124,2	0,9%	21
Tayvan	109,9	111,4	110,7	0,8%	22
BAE	97,2	99,0	103,9	0,8%	23
Polonya	96,0	92,4	95,0	0,7%	24
Ukrayna	114,7	101,0	85,1	0,6%	25
TOPLAM	12.873,1	13.020,6	13.147,3	100,0%	

Türkiyenin her yıl artan birinci enerji tüketim miktarının verimli tesisler yardımı ile azaltılması mümkündür. Yani enerji tüketiminin %30,01’lik kısmının konutlarda olması konutlara yönelik çalışma yapılması gerekliliğini doğurmuştur. Konvansiyonel yöntemler ile enerji üretilerek konutlarda tüketilmesinin yerine mikro kojenerasyon tesislerinin konutlara uygulanması ile enerji temininin sağlanması verim arttırıcı bir yöntemdir.

1.1.3. Elektrik Üretimi

Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminin oranı her geçen gün artmaktadır. Avrupa Birliği (AB) bölgesinde yenilenebilir enerji kaynak kullanımının arttığı tespit edilmiştir. Eurelectric verisine göre 2015 yılında AB’de üretilen elektriğin

%56'sı düşük karbondan elde edilirken %29'u yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir. Tablo 2'de bazı ülkelerin elektrik üretimleri verilmiştir (Anonim, 2017).

Tablo 2. Bazı ülkelerin 2015 yılı elektrik üretimleri (Anonim, 2017).

ÜLKE	Miktar (TWh)	Dünya Toplamındaki Payı (%)	SIRA
Çin	5.810,6	24,1%	1
ABD	4.303,0	17,9%	2
Hindistan	1.304,8	5,4%	3
Rusya	1.063,4	4,4%	4
Japonya	1.035,5	4,3%	5
Almanya	647,1	2,7%	6
Kanada	633,3	2,6%	7
Brezilya	579,8	2,4%	8
Fransa	568,8	2,4%	9
Güney Kore	522,3	2,2%	10
Birleşik Krallık	337,7	1,4%	11
Suudi Arabistan	328,1	1,4%	12
Meksika	306,7	1,3%	13
İran	281,9	1,2%	14
İtalya	281,8	1,2%	15
İspanya	278,5	1,2%	16
Türkiye	261,8	1,1%	17
Tayvan	258,0	1,1%	18
Avustralya	253,6	1,1%	19
Güney Afrika	249,7	1,0%	20
Endonezya	234,7	1,0%	21
Mısır	180,6	0,7%	22
TOPLAM DÜNYA	24.097,7	100%	

1.2. TÜRKİYE' nin Enerji Görünümü

1.2.1. Elektrik Enerjisi Görünümü

2016 yılında Türkiye'nin elektrik üretiminin 273,4 milyar kWh, elektrik tüketiminin ise 278,3 milyar kWh olduğu kaydedilmiştir. Türkiye'nin son 15 yıllık enerji tüketim verisi geriye dönük incelendiğinde enerji tüketimindeki artış hızının %5,4 olduğu tespit edilmiştir. Bu artış hızından dolayı 2002'deki elektrik tüketimi 132,6 milyar kWh iken 2016'da bu değer yaklaşık 278,3 milyar kWh olarak 2 katına çıkmıştır. Bu veriler ile Türkiye'nin yıllara göre elektrik enerji görünümü Tablo 3'de yer almaktadır. (Anonim, 2017).

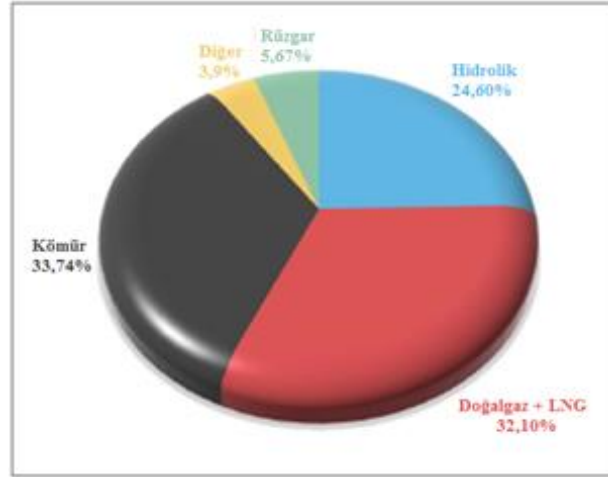
Tablo 3. Türkiye'nin elektrik enerji görünümü (GWh) (Anonim, 2017).

YIL	ÜRETİM	İTHALAT	İHRACAT	TÜKETİM	Üretim Artış Oranı	Tüketim Artış Oranı
2002	129.400	3.588	435	132.553	5,4%	4,5%
2003	140.581	1.158	588	141.151	8,6%	6,5%
2004	150.698	464	1.144	150.018	7,2%	6,3%
2005	161.956	636	1.798	160.794	7,5%	7,2%
2006	176.300	573	2.236	174.637	8,9%	8,6%
2007	191.558	864	2.422	190.000	8,7%	8,8%
2008	198.418	789	1.122	198.085	3,6%	4,3%
2009	194.813	812	1.546	194.079	-1,8%	-2,0%
2010	211.208	1.144	1.918	210.434	8,4%	8,4%
2011	229.395	4.556	3.645	230.306	8,6%	9,4%
2012	239.497	5.826	2.954	242.370	4,4%	5,2%
2013	240.154	7.429	1.227	246.357	0,3%	1,6%
2014	251.963	7.953	2.696	257.220	4,9%	4,4%
2015	261.783	7.135	3.194	265.724	3,9%	3,3%
2016	273.387	6.400	1.442	278.345	4,4%	4,7%

1.2.2. Elektrik Enerjisi Üretimi

2016 yılında Türkiye’de 273.387 GWh’lik elektrik üretiminin 184.889 GWh’lik kısmı termik enerji santrallerinden, 67.268 GWh’lik kısmı hidroelektrik enerji santrallerinden ve 21.230 GWh’lik kısmı ise yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir. 2009 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjide artışlar tespit edilmiştir. 2002 yılında üretilen elektrik enerjisinin 153 GWh’i yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal ve rüzgârdan elde edilirken bu değer 2016 yılında güneşinde kaynak olarak kullanımıyla 21.230 GWh seviyesine ulaşmıştır (Anonim, 2017).

Türkiyede kaynak bazlı elektrik enerji üretimi dikkate alındığında doğal gaz ile elektrik üretimi %32,1 ile ikinci sırada yer almaktadır. Artan enerji tüketim miktarı enerjinin etkin ve verimli üretiminin sağlanması gerekliliğini vurgulamaktadır. Konutlarda yerinde enerji üretimi ile hem elektrik enerjisi hem de ısıtma sistemine takviye enerji elde edilir. Bu ancak mikro kojenerasyon sistemi ile mümkündür. Mikro kojenerasyon sistem kurulumu enerji verimliliğine pozitif yönlü etki eder.



Şekil 3. 2016 sonu kaynak bazlı Türkiye'nin elektrik enerji üretimi (Anonim, 2017).

1.2.3. Enerji Tüketim Maliyetleri

Tablo 4'teki verilere göre 200 kWh'lik enerji tüketim maliyetinin asgari ücretteki payı yıllara bağlı değişkenlik gösterdiği ancak 2002-2016 yılları arasında bu oranın genel olarak azaldığı tespit edilmiştir. 2002 yılından 2016 yılına kadar ki dönemde enerji tüketim maliyeti 2,5 katına, asgari ücretin ise 8,5 katına çıktığı görülmektedir (Anonim, 2017).

Tablo 4. Elektrik enerjisi tüketim maliyetinin asgari ücret içindeki payı (Anonim, 2017).

YIL	ASGARİ ÜCRET (Net, ₺)	200 kWh'lik Elektrik Tüketimi (₺)*	Asgari Ücret İçindeki Pay (%)
01.01.2002	164,6	33,1	20,1
01.01.2003	226,0	36,2	16,0
01.01.2004	303,1	31,7	10,4
01.01.2005	350,2	31,7	9,0
01.01.2006	380,5	31,7	8,3
01.01.2007	403,0	31,3	7,8
01.01.2008	481,6	37,3	7,7
01.01.2009	527,1	50,5	9,6
01.01.2010	577,0	54,5	9,4
01.01.2011	630,0	54,4	8,6
01.01.2012	701,2	59,2	8,5
01.01.2013	773,0	73,0	9,4
01.01.2014	846,0	73,0	8,6
01.01.2015	949,1	79,7	8,4
01.01.2016	1.301,0	82,3	6,3
01.01.2017	1.404,06	82,5	5,9

*Bir ailenin aylık ortalama tüketimi

Tablo 5'te tüketimi gerçekleşen 125 m³'lük doğal gaz maliyetinin asgari ücretteki payı yıllara bağlı değişkenlik gösterdiği ancak 2002-2016 yılları arasında bu oranın genel olarak azaldığı tespit edilmiştir. 2002 yılından 2016 yılına kadar ki dönemde tüketilen doğal gaz maliyetinin asgari ücretteki payı %32,2'den %9,8'e düştüğü görülmektedir (Anonim, 2017).

Tablo 5. Doğal gaz tüketim maliyetinin asgari ücret içindeki payı (Anonim, 2017).

YIL	ASGARİ ÜCRET (Net, ₺)	125 m ³ 'lük Doğal Gaz Tüketimi (₺)*	Asgari Ücret İçindeki Pay (%)
01.01.2002	164,6	52,6	32,2
01.01.2003	226,0	48,4	21,4
01.01.2004	303,1	39,2	12,9
01.01.2005	350,2	51,2	14,6
01.01.2006	380,5	61,3	16,1
01.01.2007	403,0	76,9	19,1
01.01.2008	481,6	83,1	17,3
01.01.2009	527,1	136,3	25,8
01.01.2010	577,0	90,2	15,6
01.01.2011	630,0	90,2	14,3
01.01.2012	701,2	104,3	14,9
01.01.2013	773,0	134,9	17,4
01.01.2014	846,0	134,9	15,7
01.01.2015	949,1	146,9	15,5
01.01.2016	1.301,0	149,1	11,5
01.01.2017	1.404,06	137,2	9,8

*Bir ailenin aylık ortalama tüketimi

Enerji tüketim maliyetlerinin kişi başı asgari ücret içindeki payı azımsanmayacak miktarda olması enerji kullanımının verimli ve etkin kullanılması gerektiği sonucunu oluşturmaktadır. Yani enerjinin konutlarda enerjinin verimli kullanılmasının yollarından biri olan mikro kojenerasyon tesisleri ile enerji tüketim alışkanlığı yapısal olarak değişmiş olacağından enerji tüketiminin maddi olarak asgari ücret içindeki oranında azalacaktır.

1.2.4. Avrupa Birliği Ülkeleri Fiyat Sıralamaları

AB ülkeleri elektrik enerji birim fiyatlarında Türkiye konut sektöründe 0,1267 €/kWh'lik birim fiyat ile 2016 yılının 1. döneminde 7. sırada bulunduğu, doğal gaz birim fiyat sıralamasında ise Türkiye'nin 0,0336 €/kWh birim fiyat ile 2. sırada yer aldığı tespit edilmiştir (Anonim, 2017).

Tablo 6. AB ülkeleri konut elektrik fiyatları sıralaması (€/kWh) (Anonim, 2017)

	2014 2.Dönem	2015 1.Dönem	2015 2.Dönem	2016 1.Dönem	SIRALAMA
<i>Bulgaristan</i>	0,0895	0,0942	0,0957	0,0956	1
<i>Macaristan</i>	0,1146	0,1127	0,1145	0,1114	2
<i>Estonya</i>	0,1325	0,1302	0,1291	0,1208	3
<i>Litvanya</i>	0,1319	0,1256	0,1243	0,1231	4
<i>Malta</i>	0,1248	0,1257	0,1269	0,1257	5
<i>Romanya</i>	0,1248	0,1303	0,1319	0,1263	6
<i>Türkiye</i>	0,1310	0,1360	0,1222	0,1267	7
<i>Hırvatistan</i>	0,1324	0,1317	0,1312	0,1311	8
<i>Polonya</i>	0,1408	0,1444	0,1418	0,1332	9
<i>Çek Cumhuriyeti</i>	0,1274	0,1273	0,1293	0,1420	10
<i>Slovakya</i>	0,1523	0,1506	0,1517	0,1423	11
<i>Kıbrıs</i>	0,2356	0,1957	0,1838	0,1527	12
<i>Finlandiya</i>	0,1538	0,1552	0,1530	0,1541	13
<i>Slovenya</i>	0,1632	0,1589	0,1631	0,1618	14
<i>Hollanda</i>	0,1801	0,1986	0,1846	0,1620	15
<i>Letonya</i>	0,1301	0,1635	0,1650	0,1628	16
<i>Fransa</i>	0,1620	0,1624	0,1675	0,1685	17
<i>Lüksemburg</i>	0,1738	0,1767	0,1767	0,1698	18
<i>Yunanistan</i>	0,1785	0,1767	0,1771	0,1760	19
<i>İsveç</i>	0,1867	0,1851	0,1874	0,1894	20
<i>İngiltere</i>	0,2013	0,2125	0,2183	0,1951	21
<i>Avusturya</i>	0,1987	0,2009	0,1983	0,2034	22
<i>İspanya</i>	0,2367	0,2309	0,2370	0,2185	23
<i>İrlanda</i>	0,2536	0,2426	0,2454	0,2306	24
<i>Portekiz</i>	0,2231	0,2279	0,2285	0,2350	25
<i>İtalya</i>	0,2338	0,2450	0,2428	0,2413	26
<i>Belçika</i>	0,2043	0,2126	0,2352	0,2544	27
<i>Almanya</i>	0,2974	0,2951	0,2946	0,2969	28
<i>Danimarka</i>	0,3035	0,3068	0,3042	0,3088	29

Tablo 7. AB ülkeleri konut doğal gaz fiyatları sıralaması (€/kWh) (Anonim, 2017)

	2014 2.Dönem	2015 1.Dönem	2015 2.Dönem	2016 1.Dönem	SIRALAMA
<i>Romanya</i>	0,0319	0,0311	0,0340	0,0333	1
<i>Türkiye</i>	0,0373	0,0378	0,0347	0,0336	2
<i>Macaristan</i>	0,0351	0,0353	0,0352	0,0344	3
<i>Bulgaristan</i>	0,0484	0,0477	0,0391	0,0368	4
<i>Polonya</i>	0,0500	0,0501	0,0498	0,0392	5
<i>Litvanya</i>	0,0499	0,0423	0,0436	0,0413	6
<i>Letonya</i>	0,0488	0,0496	0,0485	0,0424	7
<i>Hırvatistan</i>	0,0475	0,0473	0,0459	0,0428	8
<i>Estonya</i>	0,0494	0,0456	0,0384	0,0442	9
<i>Lüksemburg</i>	0,0514	0,0496	0,0482	0,0454	10
<i>Slovakya</i>	0,0519	0,0496	0,0495	0,0460	11
<i>Belçika</i>	0,0650	0,0584	0,0621	0,0547	12
<i>İngiltere</i>	0,0646	0,0635	0,0668	0,0553	13
<i>Yunanistan</i>	0,0798	0,0681	0,0750	0,0564	14
<i>Çek Cumhuriyeti</i>	0,0563	0,0574	0,0583	0,0583	15
<i>Slovenya</i>	0,0634	0,0629	0,0609	0,0599	16
<i>Fransa</i>	0,0762	0,0701	0,0733	0,0650	17
<i>İrlanda</i>	0,0745	0,0673	0,0724	0,0652	18
<i>Almanya</i>	0,0681	0,0676	0,0681	0,0661	19
<i>İspanya</i>	0,0959	0,0731	0,0956	0,0677	20
<i>Avusturya</i>	0,0730	0,0730	0,0711	0,0690	21
<i>Danimarka</i>	0,0878	0,0802	0,0764	0,0717	22
<i>İtalya</i>	0,0951	0,0766	0,0905	0,0731	23
<i>Hollanda</i>	0,0820	0,0756	0,0803	0,0779	24
<i>Portekiz</i>	0,1039	0,0976	0,0982	0,0913	25
<i>İsveç</i>	0,1138	0,1131	0,1173	0,1129	26

AB ülkeleri konut elektrik ve doğal gaz fiyat sıralamasında Türkiye diğer ülkelere oranla Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterildiği gibi iyi bir sıradadır. Mikro kojenerasyon tesisinin kurulumu için temel şartlarımızdan olan enerji üretiminin

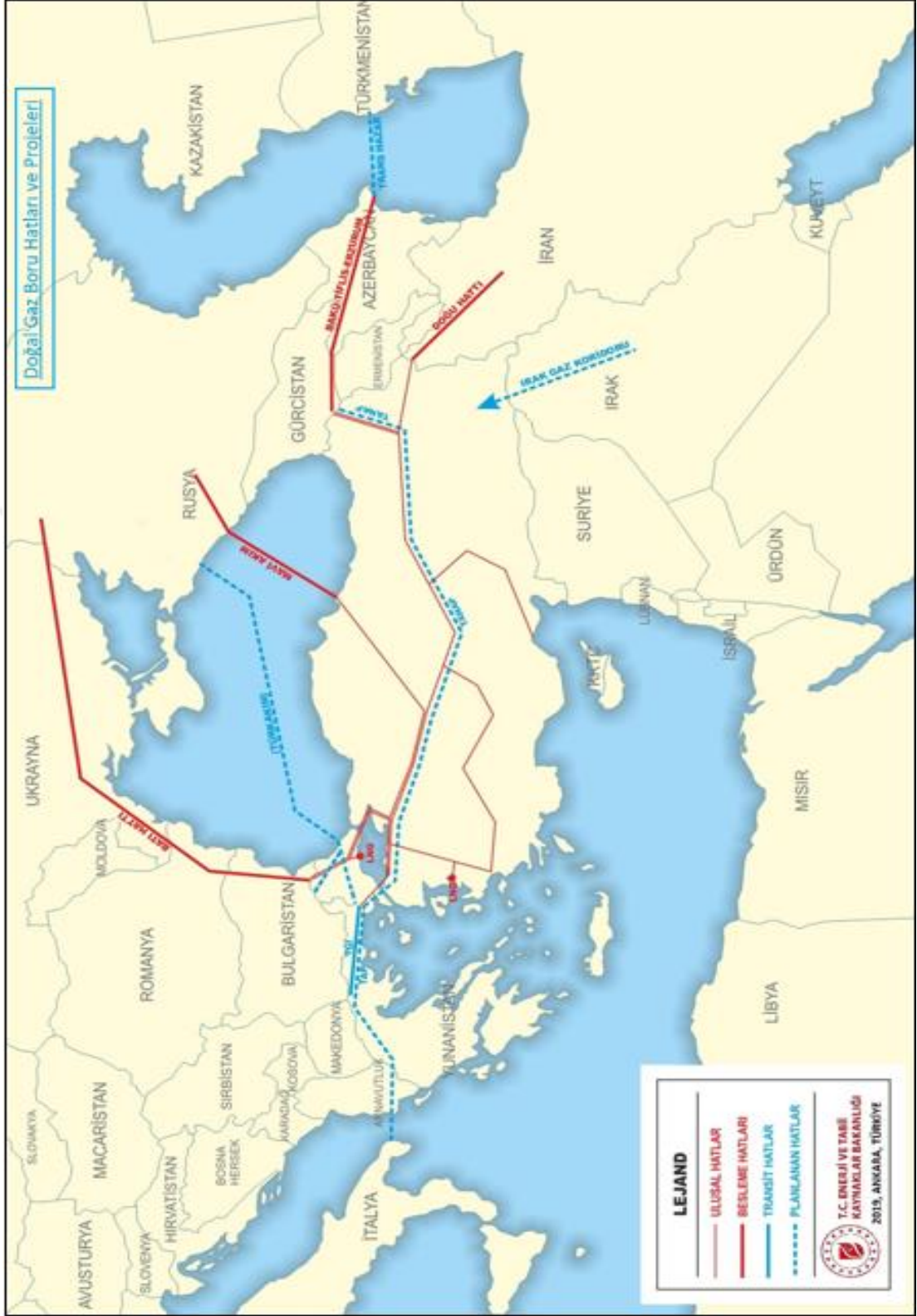
devamlılığı ve doğal gaz ile elektrik birim fiyat farkının yerinde enerji üretmeye uygun olmasıdır.

1.2.5. Türkiye'ye Doğal gaz Sağlayan Uluslararası Hatlar

- Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Batı Hattı)
14 milyar m³ doğal gaz ithali gerçekleştirilir (Anonim, 2017).
- Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Mavi Akım)
16 milyar m³ doğal gaz ithali gerçekleştirilir (Anonim, 2017).
- İran – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı
9,6 milyar m³ doğal gaz ithali gerçekleştirilir (Anonim, 2017).
- Bakü – Tiflis – Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE)
Maksimum 20 milyar m³ kapasiteli bir boru hattıdır. 6,6 milyar m³ doğal gaz ithali gerçekleştirilir (Anonim, 2017).
- Türkiye – Yunanistan Doğal Gaz Enterkonneksiyonu (ITG)
- Trans – Anadolu Gaz Boru Hattı (TANAP) Projesi
6 milyar m³ doğal gaz ithali gerçekleştirilir (Anonim, 2017).
- Türkakım Gaz Boru Hattı Projesi
14 milyar m³ doğal gazın türkakım üzerinden direkt olarak ülkemize taşınması planlanmaktadır (Anonim, 2017).

Şekil 4'te yer alan doğal gaz boru hatlarına ilişkin harita gösteriyor ki Türkiye doğal gaz boru hatları Asya ile Avrupa arasında köprü konumundadır. Bu da doğal gaz ile enerji üretmenin geleceğine işaret etmektedir. Konutlarda doğal gaz tüketimi ile enerji üretmenin en doğru yolu mikro kojenerasyon tesislerinin kurulumundan geçmektedir.

Bir sonraki bölümde araştırmacıların kojenerasyon sistemleri ile ilgili ulusal ve uluslararası araştırmaları ele alınmıştır.



Şekil 4. Uluslararası doğal gaz boru hatları (Anonim, 2017).

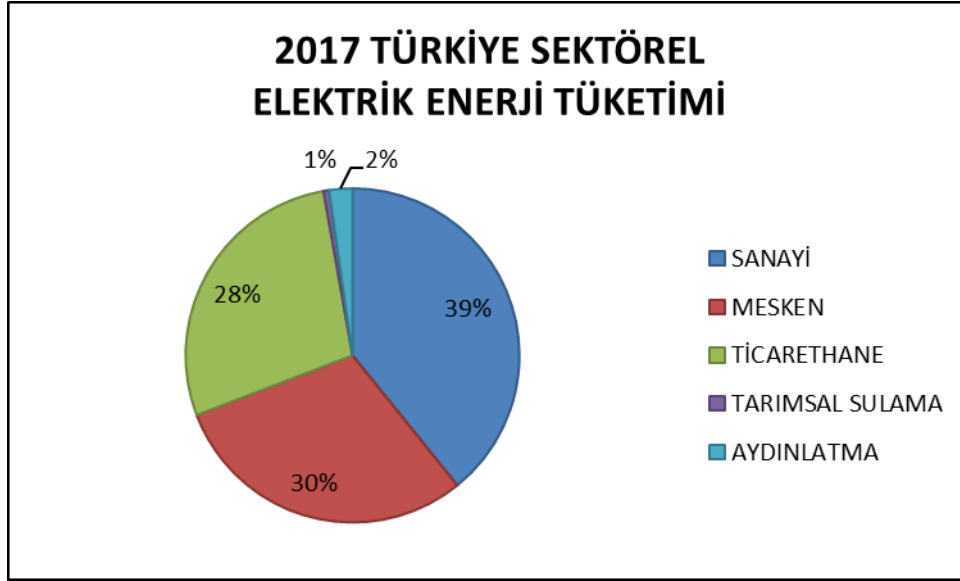
2. KAYNAK TARAMASI

Çevre kirliliğinin küresel çaptaki etkisi endüstriyel ve ticari alanlarla sınırlı değildir. Enerjinin kullanım alanlarından olan konutlarda da geleneksel yöntemlerin ve eski sistemlerin terk edilmesi gerekmektedir. Böylelikle birincil enerji kaynaklarının bilinçli tüketimi ile enerji israfı engellendiği gibi doğa zararlı gaz emisyonuna minimum düzeyde maruz kalacaktır. Konvansiyonel sistemler terk edilmeli ve bu alanlar yüksek verimli, CO₂ emisyonu yok denecek kadar az olan mikro kojenerasyon sistemlerine bırakmalıdır.

Dünya genelinde mikro kojenerasyonlar ile ilgili birtakım akademik çalışmalar ve analizler devam etmektedir. Son zamanlarda konutlarda mikro kojenerasyon uygulamalarına yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Wang ve diğ., (2015); Kannan ve Strachan, (2009) çalışmalarında enerji tasarrufu ve emisyon azaltımını önermektedirler. Enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı ile ilgili kullandıkları teknolojinin, kullanım derecesine bağlı olarak enerji tasarruf miktarı ile emisyon azaltımı orta gelirli şehirlerde az ve yüksek gelirli şehirlerde fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Ren ve Gao (2010) konutlara yönelik enerji çalışmalarında iki farklı mikro kojenerasyon sistemi uygulamış ve analiz etmişlerdir. Burada yakıt hücreli ve gaz motorlu mikro kojenerasyonlar analiz edilmiş olup yakıt hücreli mikro kojenerasyonların daha verimli olduğunu ortaya koymuşlardır. Pilavachi ve diğ. (2006) son kullanıcı gereksinimlerini değerlendirebilmek için birçok birleşik ısı ve güç (CHP) sistem seçeneğini dikkate alarak bunlar arasından içten yanmalı motorlar (Otto ve Dizel), gaz türbinleri, buhar türbinlerini incelemişlerdir. Literatürden veri elde ederek birleşik ısı ve güç sistemlerinin genel verimlilik, yatırım maliyeti, yakıt maliyeti, elektrik maliyeti, ısı maliyeti, CO₂ üretimi ve kapladığı alan gibi farklı kriterleri değerlendirmişlerdir. Her bir sistemin teknik, ekonomik ve sosyal yönleri entegre bir şekilde değerlendirilmiş ve sonuçların sürdürülebilirliğini irdelemişlerdir. Merkel ve diğ. (2015) mikro kojenerasyon sistemlerinin İngiltere'deki binalara uygulanmasına yönelik kapasite seçimi, planlama ve ekipman sevkiyatına yönelik optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Modelin ampirik verilere uygulanması, toplam yıllık maliyetlerde % 30'a varan ekonomik tasarrufların, bir mikro-kojenerasyon ünitesi, bir kazan ve bir sıcak su depolama tankından oluşan bir sistemin optimum boyutlandırılması ve çalıştırılmasıyla sağlanabileceğini göstermektedir. En büyük belirsizlikleri, ilk yıldan itibaren, birkaç yıllık tüm zaman dilimini temsil eden varsayılan yük profilleri ile

ilgilidir. Daha fazla araştırma, ayırık çalışma modlarını daha doğru bir şekilde temsil etmenin yanı sıra yöntemi diğer binalara ve kojenerasyon teknolojilerine uygulama üzerine odaklanmalarıdır. Alahäivälä ve diğ. (2015) meskenlerde mikro kojenerasyon aracılığı ile üretilen elektrik enerjisinin kullanımına ilişkin bir takım çalışmalar yürütmüş ve tüketim fazlasının nasıl kullanılacağını ele almışlardır. Bu nedenle, bu tür sistemlerde yerinde elektrik üreterek tüketme ve şebekeye satış söz konusudur. Daha çok şebekeden satın alınan elektrikle ilgilenen bu araştırmacılar sistemin bazen fazla elektrik üretimine neden olduğunu ve böyle bir durumda, bir mikro-CHP sisteminde ısı üretimi esas alınarak elektriğin kullanılmasının kârlı olabileceğini tespit etmişlerdir. Smith ve Mago (2014) hibrit bir mikro kojenerasyonun elektriksel ve termal verimini irdelemiştir. EnergyPlus bina simülasyon yazılımı kullanılarak modellenen farklı iklim bölgelerindeki büyük bir otel kıyaslamasında saat başı uygulanan yöntem ile CHP sistem verimlilik değerleri % 74 ile % 86 arasında olduğunu gözlemlemişlerdir. Noussan ve diğ. (2014) biyokütle ateşlemeli mikro kojenerasyonun bir yerleşkeye ait optimum özelliklerini irdelemiştir. Mevcut bir bölgesel ısıtma sisteminde bir ısı depolama sistemine birleştirilmiş biyokütle yakıtlı ünitenin kurulması hem enerji hem de ekonomik açıdan analiz edilmiş ve dikkate değer avantajlar sağlayan ısı depolama sisteminin maksimum boyutunun 150 m³ / MW_{th} olduğunu tespit etmiştir. Onovwiona ve Ugursal (2006) kojenerasyon sistemlerinde enerji üretiminin geleneksel sistemlere göre daha verimli olduğunu ve toplam verimin %80'in üzerine çıkacağını belirtmiştir. Enerji verimliliğindeki bu artış, geleneksel olarak ayrı ayrı ısı ve elektrik üretme yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetlere ve sera gazı emisyonlarında da azalmaya neden olacağını belirten araştırmacılar paket tipi kojenerasyon modüllerini mikro türbinli, içten yanmalı motorlu (IC), stirling motorlu (SE) ve yakıt hücreli (FC) olmak üzere dört sınıfta incelemişlerdir.

İtalya'nın toplam enerjisinin %32'si konutlarda tüketilirken (Badami ve diğ., 2018) bu oran TÜİK 2017 verilerine göre Türkiye'de %30,01 olarak Şekil 5'teki gibi tespit edilmiştir. Konutlarda elektrik tüketiminin sektörel bazlı oransal değeri bu alanlarda mikro kojenerasyonların daha etkin kullanılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 5. 2017 yılında Türkiye’de sektörel elektrik enerji tüketim oranları

Büyük ölçekli kojenerasyon sistemleri geleneksel olarak endüstriyel uygulamalarda yaygındır (Horlock, 1997). Enerji piyasasında yeni teknolojilerin gelişmesi rekabet ortamını doğurmuş ve bu küçük ölçekli kojenerasyon sistemlerinin oluşmasını sağlamıştır (Rosselli ve diğ., 2011; Mongibello ve diğ., 2016). Konutlarda içten yanmalı pistonlu motor bazlı (IC) mikro kojenerasyon sistemlerinin veriminin yüksek olması kullanımını da yaygınlaştırmıştır (Wakui ve Yokoyama, 2014). Konut sakinlerinin birbirinden farklı enerji tüketim alışkanlıkları düzensiz enerji yük profilini oluşturmaktadır. Bundan dolayı mahale uygun mikro kojenerasyon kapasite tespiti oldukça zordur (Barbieri ve diğ., 2012). Çoğunlukla simülasyon verileri yada sisteme entegre enerji analizörlerinden toplanan veriler ışığında mikro kojenerasyon kapasitesi tespit edilir. Tespit edilen kapasitenin başarısı elektrik ve ısı yüklerinin birlikte tüketimi ile mümkündür. Burada sistemin performansı toplam konut sakini sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Kişi başı enerji kullanım miktarlarının önemli olduğu bu konut uygulamalarında sistemin verimliliği ve geri dönüş süresi tespiti toplam enerji kullanım miktarı ile doğrudan bağlantılıdır (Shimoda ve diğ., 2017). Sistem verim artışı senkronize olan elektrik ve termal enerjiye bağlı olup (Riva ve diğ., 2014) aynı zamanda enerjinin depolanması ile ilişkilidir (Bianchi ve diğ., 2013). Konutlara kurulumu gerçekleştirilen mikro kojenerasyonun uyku moduna geçmemesi için modülün en kazançlı enerji üretim ve tüketim zaman dilimlerinde devrede kalması sağlanmalıdır (Arteconi ve diğ., 2012).

Elektrik ve termal enerjinin tüketildiği konutlarda, elektrik ve ısının bağımsız sistemler aracılığı ile üretilmesi yerine her iki enerjinin aynı sistemden elde edilmesini sağlayan mikro kojenerasyonlara ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Mikro kojenerasyonlarda tek tip enerji kaynağı iki farklı enerjiye dönüştürülür. Yani doğal gazın sistemde yakılması ile birbirinden farklı iki enerji türü olan elektrik ve ısı açığa çıkar. Mikro kojenerasyon sistem çevriminde doğal gazın tüketimi ile oluşan elektrik ve ısı enerjisinin yanında kullanılmayan kayıp enerjide oluşur. Yararlı ısı enerjisi egzoz gazı ısisından, motor soğutma suyunda toplanarak ısıtma sistemine gönderilir. Kayıp ısı enerjisi elektrik enerjisinin ve termik enerjinin oluşumu esnasında mekanik sürtünmelerden, hissedilebilir artık ısıdan ve radyasyon kayıplarından meydana gelir. Geleneksel sistemlerde atık ısının sisteme kazancı söz konusu değildir. Bundan dolayı konvansiyonel sistemlerin verimi mikro kojenerasyon sistemlerine kıyasla daha düşüktür (Pravadalıoğlu, 2011). Paket tipi kojenerasyon modülünde belirli miktarda tüketilen yakıt karşılık açığa çıkan elektrik ve ısı enerjilerinin toplam verimi %80'lerde iken konvansiyonel yöntemlerin kullanıldığı ve şartların aynı olduğu başka bir sistemde aynı miktar yakıt tüketimine karşılık elde edilen enerji verimi %30-35 seviyelerindedir (Onovwiona ve Ugursal, 2006). Sıfır enerji tüketimli binalar fikri bilim adamlarını yeni teknolojileri araştırmaya yöneltmiştir (Asaee ve diğ., 2015).

Bir sonraki bölümde mikro kojenerasyon sistemine ait araştırmalar ve veriler derlenmiş olup sistemin çalışma metodu, kontrol parametreleri, makina parçaları, yan ve temel ekipmanların akuple çalışması, bakımı, kapasite seçimi, enerji kaynakları, enerji üretim ve transfer şekli irdelenecek olup termodinamik, ekonomik ve çevresel etki analizleri gerçekleştirilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kojenerasyonlar ile şehirlerin ve belirli bölgelerin ısıtma ve güç ihtiyacı karşılanabileceği gibi mikro kojenerasyonlar ile sitelerin ısıtma ve güç ihtiyacının karşılanması da mümkündür. Bu sistem birçok ülkede merkezi ısıtma olarak kullanılmaktadır. Kış sezonu uzun olan bölgelerde ısı kullanımı fazla olacağından kojenerasyon sistemlerinin kullanımı enerji ekonomisi sağladığı gibi zararlı gaz emisyonunuda azaltır. Rusyada binaların %70'inde merkezi ısıtma sistemi bulunmakta iken bu oran İskandinav ülkelerinde %30 ile %80 arasında değişmektedir. Merkezi ısıtma sistemleri denen bu tesislerde ısı ve elektriksel güç birlikte üretilir (Yöntem, 2011). Türkiye'de ise mesken tipi kojenerasyon sistemi ilk kez Konya'da devreye alınarak enerji üretilmiştir. Burada konutların elektrik ve ısı ihtiyacının karşılanabilmesi için siteye paket tipi kojenerasyon sistemi tesis edilmiş ve toplam 137 daireye enerji transferi sağlanmıştır.



a) Uygulama sitesi

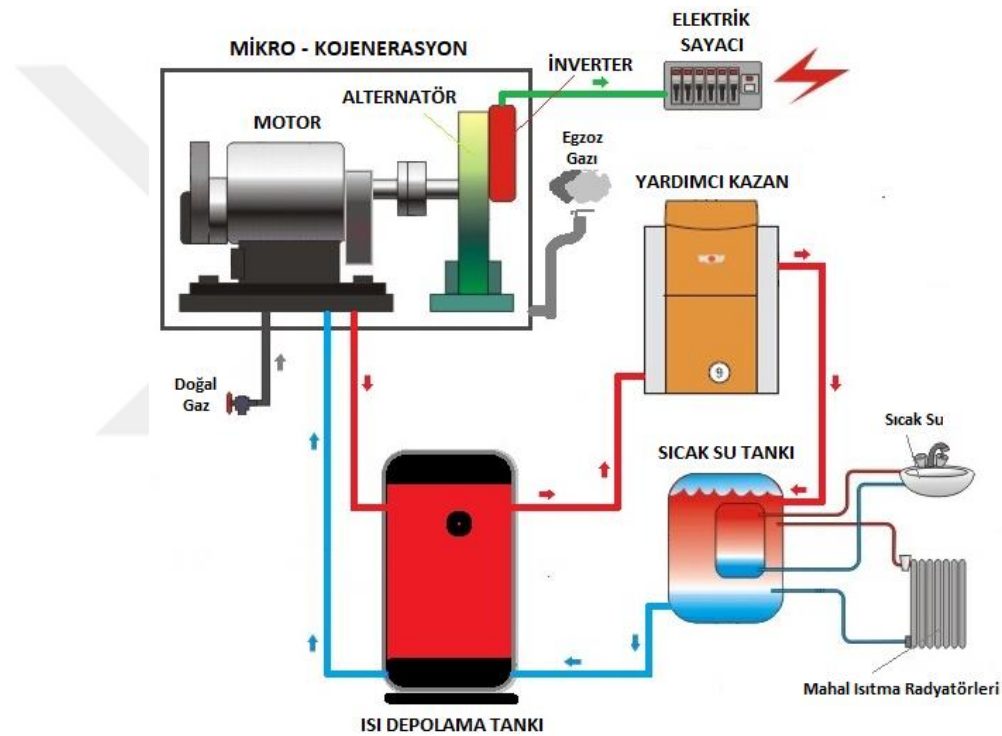
b) Türkiye'deki yeri

Şekil 6. Mikro kojenerasyonun uygulandığı site

3.1. Motor Bazlı Kojenerasyon Sistemleri

Tesiste kullanımı sağlanan mikro kojenerasyon pistonlu içten yanmalı motor tipine sahiptir. Bu motor tipinde yanma ile silindir içinde artı basınç meydana gelir oluşan artı basınç pistonu iter ve hareket açığa çıkar. Paket tipi kojenerasyon modülleri ile kurulan tesislerde daha çok pistonlu içten yanmalı motor tipine sahip olanlar tercih edilir (Possidente ve diğ., 2006; Asaee ve diğ., 2015). Şekil 7'de kurulumu gerçekleşen tesisin şematik gösterimi yer almaktadır.

Pistonlu içten yanmalı motor tipli olan mikro kojenerasyonların yanında dıştan yanmalı motorlu olan mikro kojenerasyonlarda vardır. Bunlar daha çok stirling motor olarak bilinen mikro kojenerasyonlardır (Cioccolanti ve diğ., 2015; Renzi ve diğ., 2014). Stirling motorlu mikro kojenerasyonlar sessiz ve küçük oluşları nedeniyle konut içi uygulamalarda tercih edilirler. Stirling motorlu kojenerasyonlar termal enerji kazanımına göre elektrik üretir. Kurulum maliyetinin yüksek oluşu ve devamlı uyku moduna düşmesinden dolayı sistemin amortisman süresi uzundur. İlk yatırım masraflarının çok yüksek oluşu ve geri dönüş süresinin uzunluğu Türkiye’de uygulama alanı bulamamasına neden olmuştur.



Şekil 7. İçten yanmalı motorlu sistemin şematik gösterimi.

3.1.1. Isıl Güç (Kojenerasyon) Sistem Yapısı Ve Çalışma Prensibi

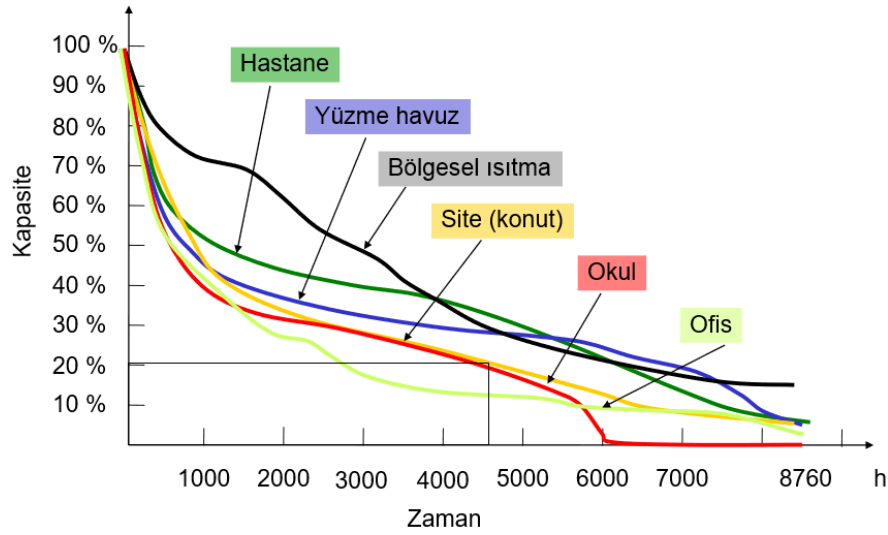
Mikro kojenerasyon sistemlerinde egzoz gazı ısısından ve ceket soğutma suyundan elde edilen ısıdan ikincil bir enerji elde edilir. Bu sistemin basit çevrimli sistemlere göre yüksek verimli oluşunun temel nedeni bu kayıp olması muhtemel enerjilerin kazanımı ile doğrudan ilgilidir. Basit çevrimli elektrik üretim sistemlerinde doğal gaz girdisine karşılık sadece %30-40 verimle elektrik enerjisi alınırken geriye kalan kısım atık ısı olarak doğaya salınır. Mikro kojenerasyon tesislerinde elektrik

üretiminin yanında faydalı ısının toplanarak geri dönüşümünün sağlanması sistemin toplam verimini %87'lere taşır. Bu da sistemin avantajlı yanını oluşturur (Rahim ve Gündüz, 2013).

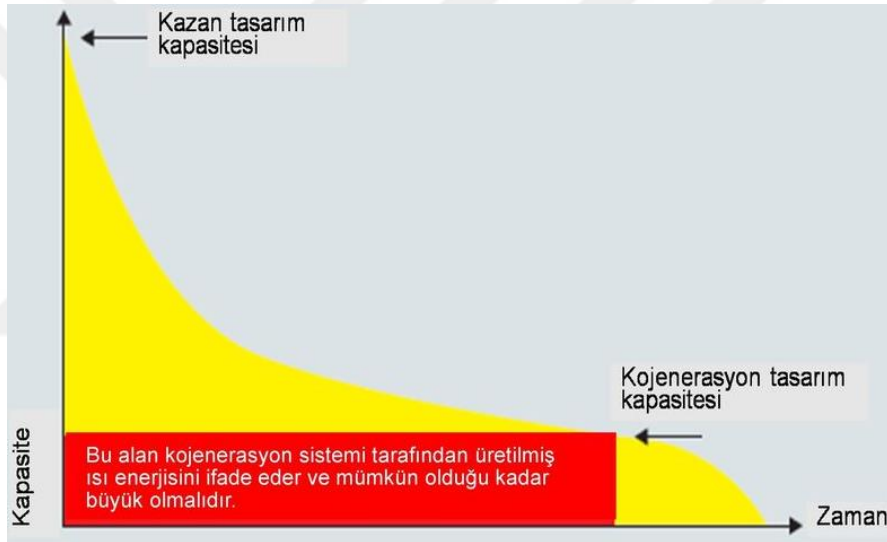
Mikro kojenerasyon tesisi bir set olup bu setin içeriğinde motor, alternatör, su devridaim pompaları, eşanjörler, borulama sistemi, elektrik transfer hattı yer alır. Sistemin yardımcı donanımlarından olan egzoz susturucuda sistemin bir parçası olup gaz motoru çıkışındaki rahatsız edici yüksek güçteki sesi ilave tedbirler ile 52 dB'e kadar düşürür.

Gaz motorlu mikro kojenerasyon sistemleri türbinli sistemlere göre daha fazla tercih edilirler. Üretilen elektrik enerjisinin kazanılan ısı enerjisine oranı ne kadar yüksek olursa sistemin kullanılabilirliği arttığından tercih sebebi olmaktadır. Yani türbin esaslı mikro kojenerasyonlarda bir birim elektrik enerjisi üretilirken üç birim ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Gaz motorlu mikro kojenerasyon sistemlerinde ise iki birim elektrik üretimine karşılıklı yaklaşık iki birim ısı enerjisi elde edilmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi türbin esaslı kojenerasyon tesislerinde oran 1/3 iken gaz motorlu mikro kojenerasyonlarda bu oran yaklaşık 1'dir. Belirtilen bu oranlar tercih sebebini belirlemekte olup konut uygulamaları için gaz motorlu mikro kojenerasyonlar tercih edilir. Gaz motorlu mikro kojenerasyonlarda doğal gazın tüketimi ile oluşan toplam enerjinin %35-40'luk kısmı mekanik enerjiye dönüşür ve bu mekanik enerji alternatör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir. Toplam enerjinin %30-35'lik kısmı motor ceket ısısına, %25-30'luk kısmı egzoz ısısına ve %7-10'luk kısmı ise kayıp enerji olarak açığa çıkar (İmal ve diğ., 2016).

Şekil 8'de normlara göre enerji tüketim eğrileri verilmiştir. Kurulumu sağlanan mikro kojenerasyonun uygulama alanı bir site olup mikro kojenerasyonun termal kapasite seçimi kazan tasarım gücünün ortalama olarak %20'sini karşılık gelir (Anonim, 2012a). Bu kapasitenin üstünde bir termal kapasitenin seçimi kış sezonu için problem teşkil etmez iken yaz sezonunda kullanılmayacak termal enerji fazlalığına neden olacaktır. Bundan dolayı kojenerasyonların kullanım yerlerine özgü kapasite tespit diyagramları kullanılarak sistemin üreteceği enerjinin ekonomik değeri artırılır. Mikro kojenerasyon kapasite seçimi Şekil 9'da gösterildiği gibi üretilen termal enerjinin yani grafikteki işaretli kırmızı bölgenin alanı ne kadar büyük ise sistemin ekonomik değeri de o ölçüde artar.



Şekil 8. Normlara göre enerji tüketim eğrisi (Anonim, 2012a).



Şekil 9. Kojenerasyon kapasite seçim diyagramı (Anonim, 2012a).

Şekil 9'da mikro kojenerasyon kapasite seçim diyagramı yer almaktadır. Bu kapasite belirleme işlemi sistemin kurulumundan önceki safha olup fizibilite aşamasını işaret eder. Tesisin ısı yükü kullanımı ile elektrik enerji kullanım miktarının doğru tespit edilmesi seçilecek mikro kojenerasyon kapasitesinin doğru hesaplanmasını sağlayacaktır. Kurulumu gerçekleştirilen ürünün katalog değeri sistemin uyku moduna düşmemesi için hedef yıllık çalışma saatinin 4500 h/yıl olması gerektiğini belirtir (Anonim, 2012a). Bu değer altında modülün tüketmiş olduğu doğal gaz gideri ile bakım giderlerinin toplamı üretilen enerji giderinin (termal ve elektrik) toplamından daha fazla olacağından sistem zarar ettirecektir. Bundan dolayı 4500 h/yıl değeri

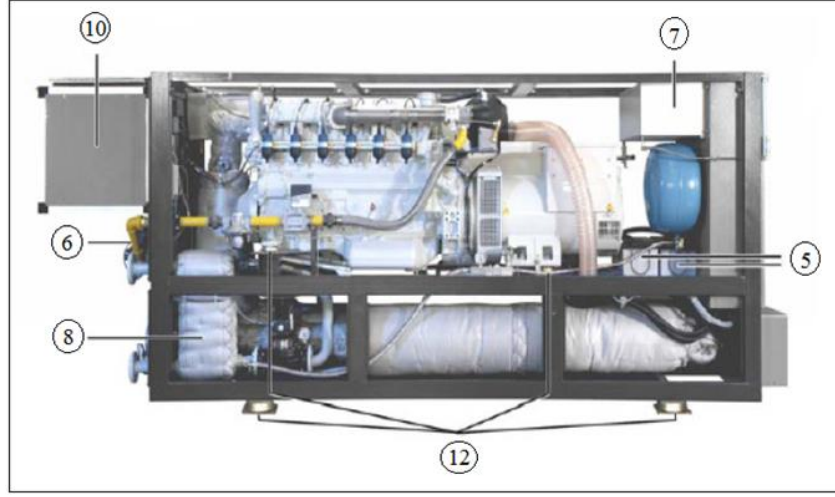
referans değer olup gerçek sistemin bu değerin ne kadar altında ya da ne kadar üstünde çalıştığı irdelenerek sistemin performansı ve ekonomik değeri tespit edilir.

3.1.2. Kojenerasyon Sisteminin Bileşenleri

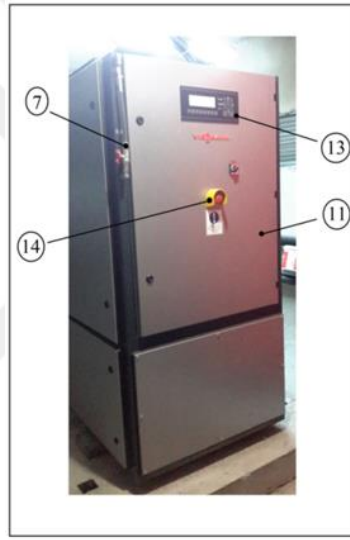
Mikro kojenerasyon birçok alt elmanın bir araya gelmesi ile oluşur. Bunlar; Düşük ve yüksek sıcaklık hattı elektrik pompası, ateşleyici, mikser (hava ve yakıt karışım ayarlayıcısı AFR), hız kontrol cihazı, aktüatör, hava filtresi, sıcaklık sensörü, basınç sensörü, hız sensörü, motor şasesi, alternatör şasesi, kojenerasyon gövde şasesi, yüksek verimli alternatör, gövde titreşim takozları, acil durum radyatörleri, kablo bağlantı kitleri, çıkış şalteri, intercooler, yağ soğutucu, üç yollu vanalar, plakalı eşanjör, egzoz hattı, genleşme tankı, egzoz eşanjörü, emniyet vanası (ařırđ basınç), purjrler (hava deşarj), analog göstergeler (sıcaklık ve basınç), filtre, kelebek vanalar, gaz regülatörü, selenoid valf (iftli), küresel vana, fleks bağlantı ve preostat sistemi oluşturan alt elemanlardır. Bunların yanında sistemin tamamlayıcı ek elemanları olan diferansiyel koruma, ses izolasyon kabini, alternatör diyot koruma, alternatör nem alıcı, katalitik konvertör ( yollu), aktif AFR kontrolü, silindir vuruntu kontrol ekipmanı, otomatik yağ tamamlama, otomatik yağ boşaltma, uzaktan izleme sistemi, su arıtma sistemi (ters ozmoz), tropikal yağmurlama, OG ekipmanları, radyatör, sismik uyarđ tertibatđ, ROCOF rölesi ve pano ısıtıcı gibi çeşitli işlevsel ekipmanlar kurulumu sağlanan sistemin kurgusuna göre sisteme dâhil olurlar.

3.1.2.1. PTKM makine parçaları

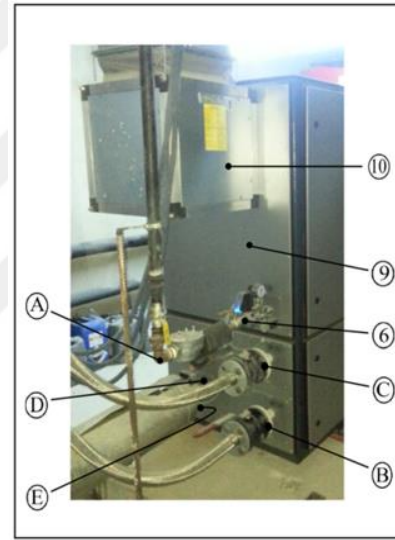
Konya'da yerel bir inşaat firması tarafından kurulumu gerçekleştirilen Vitobloc EM-200 70/115 paket tipi kojenerasyon modülünün ön, arka ve yan görünüşleri Şekil 10 (a) (b) (c) (d) de gösterildiği gibidir. Makina etiketinde yer alan 70/115 ifadesindeki 70 elektriksel gücü gösterirken 115 ise termal gücü ifade eder. Modül kapalı oda içerisine yerleşimi yapılmış olup ses izolasyon kabini kullanılmıştır. Böylelikle yasal st sınır olan 87 dB' in çok altında olan 52 dB gürültü ölçülmüş ve yerel belediye onayı alınmıştır.



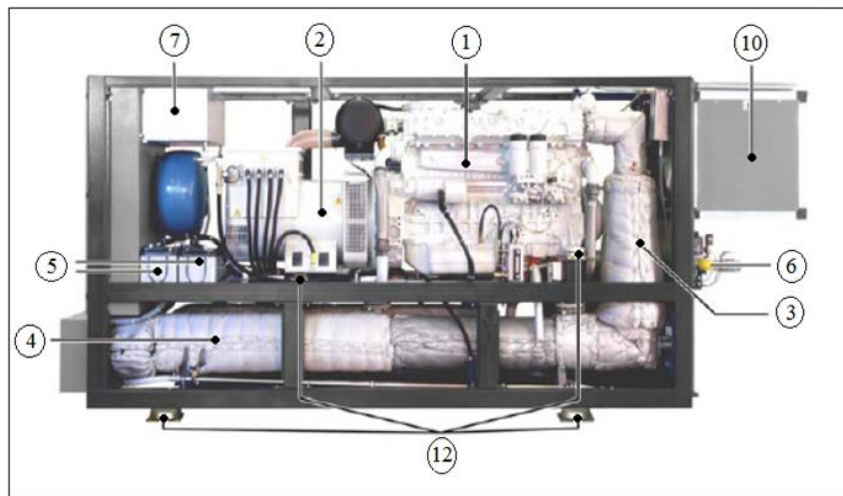
(a) Mikro kojenerasyon soldan görünüm



(b) Mikro kojenerasyon önden görünüm



(c) Mikro kojenerasyon arkadan görünüm

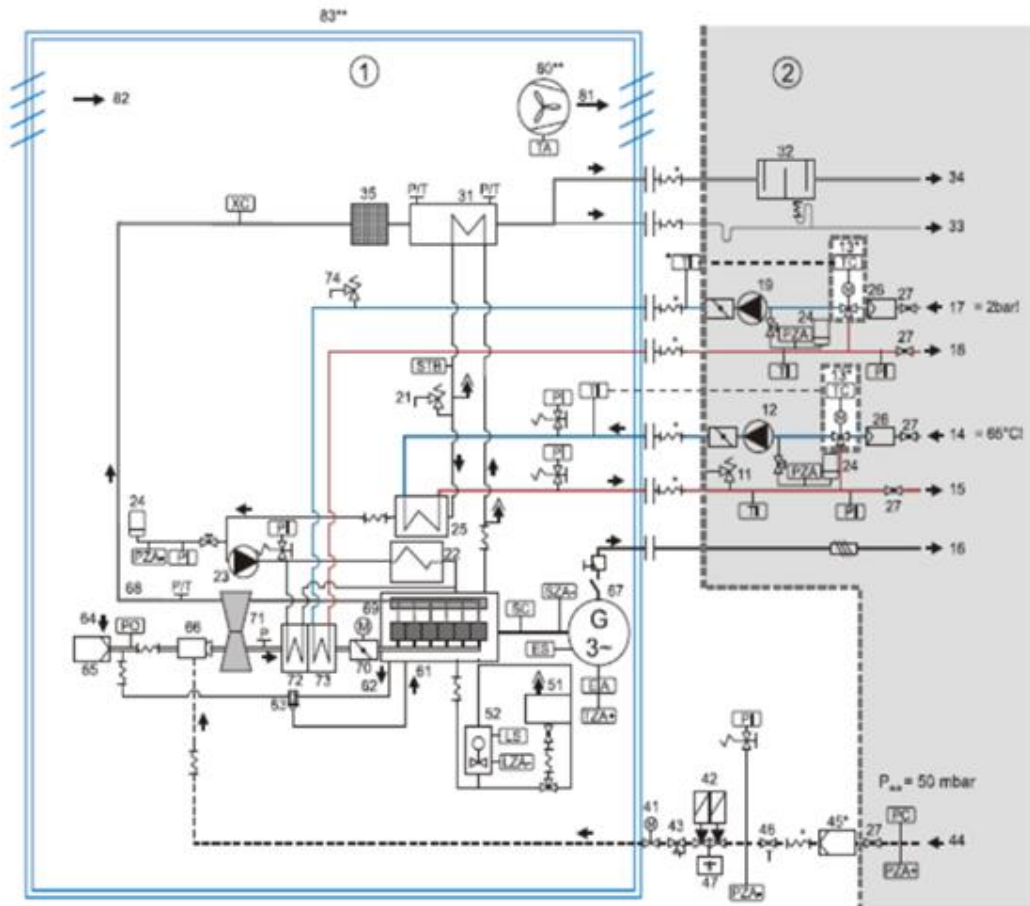


(d) Mikro kojenerasyon sağdan görünüm

Şekil 10. Mikro kojenerasyonun sol, ön, arka ve sağ görüşleri (Anonim, 2012a).

- | | | | |
|----|---|---|--|
| 1 | Gaz motoru | A | Gaz bağlantısı |
| 2 | Senkron jeneratör | B | Isıtma suyu girişi (ısıtma sistemi dönüşü) |
| 3 | Egzost temizleme sistemi | C | Isıtma suyu çıkışı (ısıtma sistemi gidişi) |
| 4 | Egzost gazı ön susturucu | D | Egzost gazı bağlantısı |
| 5 | Starter sistemi | E | Kondens tahliye ağızı |
| 6 | Gaz kontrol hattı | | |
| 7 | Yağ göstergeli yağlama sistemi | | |
| 8 | Dâhilî soğutma devresi (plakalı esanjör) | | |
| 9 | Ses koruma kabini | | |
| 10 | Kabinli hava tahliye fanı | | |
| 11 | PTKM kumanda panosu | | |
| 12 | Elastik yataklama - Titresim alıcı altlık | | |
| 13 | Kontrol Paneli | | |
| 14 | Emergency | | |

3.1.2.2. PTKM sistem şeması



Şekil 11. PTKM – Şematik yapı (EM-70/115)

Şekil 11’de PTKM EM-70/115 modülüne ait şematik yapı yer almaktadır. Burada 1. Kısım makine modülü üzerinde gelmekte olup bu bir pakettir. 2. Kısım müşteriye ait olan kısımdır.

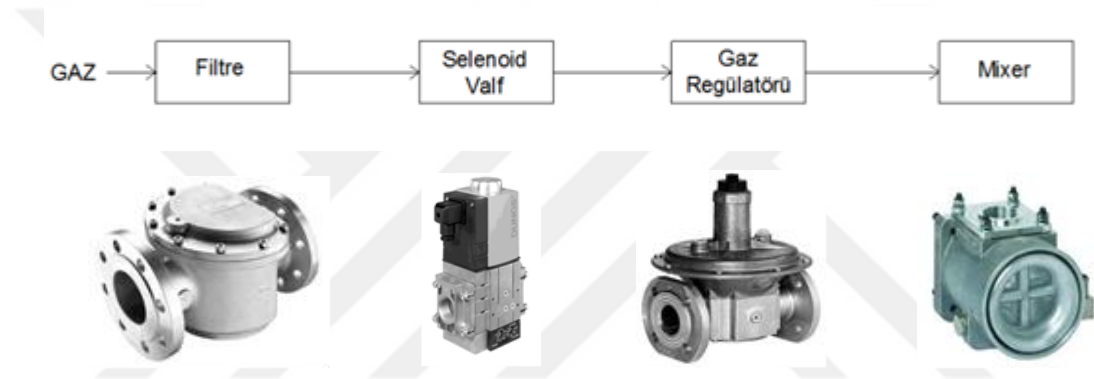
1	Modül teslimat kapsamı	44	Gaz bağlantı ağızı
2	Uygulamacı firma tarafından yapılacaklar	45	Gaz filtresi
10	Deflagrasyon emniyeti (Biyogaz)	46	Termik emniyet ventilli gaz vanası
11	Emniyet ventili (ısıtma suyu)	47	Sızdırmazlık kontrolü
12	Isıtma suyu pompası	51	Yağ tankı (yeni yağ)
13	Dönüş suyu sıcaklık kontrolü	52	Yağ seviye göstergeli otomatik yağ doldurma
14	Isıtma suyu dönüşü	61	Yağ dönüşü (yağ kesiciden)
15	Isıtma suyu gidişi	62	Krank odası hava tahliyesi
16	Elektrik, 400 V, 50 Hz	63	Yağ kesici
17	Karışım soğutma suyu gidişi	64	Yanma havası
18	Karışım soğutma suyu dönüşü	65	Hava filtresi
19	Karışım soğutma suyu pompası	66	Gaz-Hava-Karıştırıcı
21	Emniyet ventili (motor soğutma suyu)	67	Jeneratör
22	Yağ soğutucu	68	Egzost gazı toplama borusu
23	Soğutma suyu pompası	69	Motor
24	Memranlı genişleme tankı	70	Devir kontrolü ve kısma klapesi
25	Soğutma suyu eşanjörü	71	Turbo şarj
26	Pislik tutucu	72	Karışım soğutucu (intercooler) 1. kademe
27	Kapama vanası	73	Karışım soğutucu (intercooler) 2. kademe
31	Egzost gazı ısı eşanjörü	74	Tahliye ventili - Düşük sıcaklık devresi
32	Ses yutucu	80	Hava tahliye fanı
33	Kondens suyu çıkışı	81	Tahliye havası
34	Egzost gazı çıkışı	82	Emiş havası
35	Katalizatör	83	Ses yutucu kabin
41	Lambda-Kontrol ventili		
42	Manyetik ventil		
43	Basınç presostatlı manyetik ven		

3.1.2.3. PTKM sistem kontrolü

Gaz Hattı Lambda Kontrolü

Doğal gaz ile çalışan PTKM’ nin gaz hattı ile gaz kontrol sistemi mevcut olup bu sistemler motor türüne göre değişkenlik gösterir. Örneğin, sıfır basınç ile çalışan bazı motorların gaz girişine sıfır basınç regülatörü yerleştirilirken bazı tip motorlarda ise basınç altında çalışma gerçekleşebildiğinden motor ile gaz hattı arasına basınç ayarını

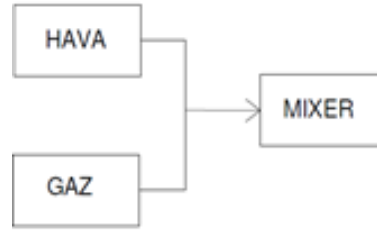
motorun istediği ayara getirebilen gaz regülatörü yerleştirilir. Motor gaz hattında Şekil 12’de görüldüğü gibi filtre, selenoid valf, gaz regülatörü ve karbiraör (Mixer) bulunur. Motora giren doğal gaz hava ile 1/14 oranında karışır. Yani 1 birim gaza karşılık 14 birim hava ile motor silindirlerinde doğru, düzenli ve verimli yanma gerçekleşir. Motora giren gazın hava ile karışımı lambda oranını verir. Lambda oranının 1 olması demek 1 birim gaza 14 birim havanın karıştırılması demektir. Sistem kontrol panosunda lambda oranı anlık olarak izlenir. Lambda oranına müdahale gerekiyorsa sistem kontrol kartları aracılığı ile gerekli müdahaleler yapılır. Bu müdahaleler makinenin düzenli çalışmasını, hızını ve verimini doğrudan etkiler. Ayrıca lambda ayarının sağlıklı takibi ile gaz emisyonu gözetim altına alınmış olur.



Şekil 12. Sistem gaz hattı

Devreye alınmış olunan mikro kojenerasyonun sisteminde lambda sensörü verisinin dönemsel 420 mV ile 700 mV arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu, hava-yakıt karışım oranındaki değişkenliği göstermektedir. Motor çıkışındaki gaz karışım bilgisini lambda sensörü aktarmaktadır. 420 mV ölçüm durumu egzoz gaz karışımının ideale yakın olduğunu gösterirken 650 mV ölçüm durumu zengin karışım oranını işaret eder. Egzoz gazında yanmamış yakıtın bulunması zengin karışımı, yanmamış O₂'nin bulunması fakir karışımı ifade eder. Lambda sensöründen aldığı bilgi ile yakıt-hava oranını 1 yakıt/14 hava olarak ayarlayan MCU (Motor kontrol kartı) sistemde ideal gaz karışımını sağlayarak sistem performansını artırır. İdeal hava- yakıt karışımı ile lambda 450 mV çıkış voltajı oluşturur. Oksijen sensörü olarak bilinen lambda sensörü egzoz iç ortamı ile dış ortam arasındaki O₂ farkına göre mV seviyesinde gerilim oluşturur. Kurulumu yapılmış modülde ortalama 470 mV seviyelerinde üretilen gerilim MCU (Motor kontrol ünitesi) tarafından yakıtın ayarlanarak kojenerasyona iletilmesini sağlar. Böylelikle ideal hava-yakıt karışımı sağlanır. İdeal karışım oluşması lambda değerinin 1

olması ile mümkündür. Lambda değerini 1’de tutabilmek için MCU (Motor kontrol ünitesi) enjektörleri kumanda ederek yakıtı, kelebek vanaları kontrol ederek havayı kontrol altına alır ve hava-yakıt oranını ayarlar. Böylelikle lambda oranı 1 devamlı olarak denetlenir. Bu da kurulumu yapılmış olan mikro kojenerasyondan elde edilecek olan ısı ve elektrik enerjisinin daha az yakıt girdisi ile elde edilmesini sağlar.



Şekil 13. Hava gaz karışımı

Vuruntu & Vibrasyon Kontrolü

Sitemdeki vibrasyon ve vuruntu makinenin yük durumuna göre sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Vibrasyon ve vuruntunun devamlılık arz etmesi sistemin çalışmasını olumsuz etkilediği gibi makinenin ömrünü ve verimini de düşürür. Motor üzerine yerleştirilecek knocksensor (vuruntu sensörü) yardımıyla toplanan bilgiler kontrol ünitesinde değerlendirilir. Çalışmayı olumsuz etkileyecek vuruntu bilgileri sistem ekranına alarm olarak iletilir. Sistem yazılımındaki referans kodlara göre ya sistem kendini kapatır ya da yük atımını başlatır.

Murphy Yağ Sistemi

Motorun yağ seviyesi, motor çalışırken bile kontrol edilmesi gerekmektedir. Yağ kontrolü Murphy firmasına ait yağ kontrol sistemi tarafından yapılır. MurphyLM 500 ürünü, yağ seviye göstergesi ile yağ seviyesi dışarıdan gözlenebilirken yağ seviyesi istenilen seviyenin dışına çıktığında alarm verir. Yağ seviyesi azaldığında pano ekranında da “Düşük Yağ Seviyesi” alarmı alınabilmektedir. MurphyL 129 ürünü ile de aşırı yüksek veya aşırı düşük yağ seviyesi alarmı alınabilmektedir. Bütün bunlar bu cihazlardan alınan bir kontak ile motor kontrol panosuna alarm bildirimini gönderilmektedir.

Kontrol Sistemi

Jeneratör kontrol sistemi, Comap kojenerasyon kontrol sistemi ve yazılımları ile oluşturulmaktadır. Şebeke ile çalışma modu için ayrı bir Comap kontrol ünitesi kullanılmaktadır. Comap'a ait Genconfig ve Inteli Monitor yazılımları ile tüm kontrol üniteleri programlanabilir ve set değerleri ayarlanabilmektedir.

Comap InteliSys-NTC-Basebox kontrol ünitesi ile sistemin akım, gerilim, gaz hattı, şalter açma-kapama, AVR, kojenerasyon tarafından alınan sıcaklık, basınç bilgileri, motor yağı, silindir sıcaklıkları, actuator kontrolü, marş sistemi, ateşleme, vuruş vs. gibi tüm kontrol edilmesi gereken sistemler bu kontrol ünitesinde toplanır, değerlendirilir ve ekrana yansıtılır.

Şebeke Kontrolü

Şebeke kontrol panosunda şebekenin izlenmesi ve kontrolü Comap firmasının bir ürünü olan InteliMains-NTC-BaseBox kontrol ünitesi ile yapılmaktadır. Ayrıca ekran olarak InteliVision8 ekran ünitesi ile sistem canlı olarak izlenebilmektedir. Şalter panosunda sistemi devreye alan ve onları aynı barada senkron yapan motorlu şalterler bulunur. Sistem kurgusu enerjisiz duruma göre kilit atarak enerjinin şebekeye çıkmasını engellemektedir. Çift kontak kontrolü ile bu durum kontrol altında tutularak güvenlik üst seviyeye taşınmıştır. Şebekeye çıkılarak enerji satışı durumlarında bu scada ile takip edilerek hat güvenliği sağlanır. Bu durum şebeke enerjisi olmadığı durumlarda acil enerji modunu üstlenmiş olacaktır.

DC Güç Ünitesi ve Marş Sistemi

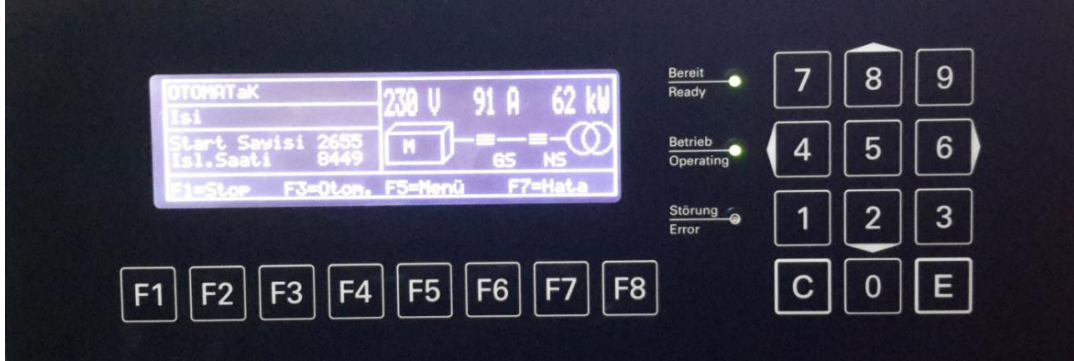
Sisteme iki ayrı akü grubundan DC besleme verilir. Bu akü gruplarından biri panoyu besler. Panoya gelen 220V şebeke gerilimi redresör sayesinde 24V DC'ye dönüştürülerek akü grubu depolanır. Böylece şebeke varken akü gerilimi hiçbir zaman azalma göstermez. Gerekli olan güce göre redresör sayısı artabilir.

Diğer akü grubu ise doğrudan marş motorunu besler. Marş motorları genelde 24V DC gerilim altında çalışır. Motor üzerinde bir marş kontağı bulunur. Bu kontak marş rölesini besleyen akü grubu için güvenlik amacı ile konulmuştur. Marş yapılmak istendiğinde önce bu kontak kapalı konuma getirilir, daha sonra sisteme start verilir.

Sistem Kontrol Paneli

Kontrol panelinde otomatik ve 1s1 sekmesi aktif olduğunda PTKM devrede demektir. Start sekmesi modülün kaç kez devreye girip çıktığını sayısal olarak tutar.

Mikro kojenerasyonun kaç saat devrede kaldığını betriebsstd sekmesi altında depolar. Şekil 14'te PTKM'nin sistem panel görüntüsü yer almakta olup bu panel üzerinde yer alan kullanıcılara yönelik ekran tuşlarının görevleri aşağıda sıralanmıştır;



Şekil 14. PTKM'nin panel görüntüsü

F1 Tuşu: Bu tuş ile PTKM devre dışı bırakılır.

F2 Tuşu: Motor etiketine ait bilgilerin yer aldığı ekrana giriş kısmı olup buradan lambdasonde (Lambda sensörü), Abgastemp (Egzoz sıcaklığı), Kühlwasser (Soğutma suyu), Drehzahl (Devir sayısı), Öldruck (Yağ basıncı), Batterie (Akü) verilerine ulaşılır. F2 tuşuna iki defa basılması ile gidiş / dönüş soğutma suyu sıcaklıklarına anlık olarak ulaşılmış olacak ve değerler cihaz verimi hesaplamalarında kullanılacaktır.

F3 Tuşu: Kojenerasyon bu tuş ile devreye alınır. Aynı zamanda bu tuş ile PTKM manuel konumdan otomatik konuma döner.

F4 Tuşu: Bu tuş yardımı ile anlık olarak cihaz panelinde şebekenin ve mikro kojenerasyonun üretmiş olduğu elektrik enerjisine ilişkin akım, gerilim, güç, cosQ bilgilerine ulaşılır. Mikro kojenerasyonda üretilen enerji ile şebeke enerjisi anlık olarak MCU' da (Motor kontrol ünitesi) karşılaştırılarak senkronizasyon sağlanmakta ve sistemsel faz çakışmasının önüne geçilmektedir. Senkron dışı enerji tespiti söz konusu ise MCU (Motor kontrol ünitesi) yardımı ile mikrokojenerasyon devre dışı bırakılır. Faz çakışmasına neden olan sorun giderilmeyene kadar modül kilit mekanizması devre dışı kalmayacağından sistem enerji üretmez.

F5 Tuşu: Menü sekmesinin açıldığı tuşdur. Burada sürüm bilgisi, servis hizmetleri, regülatör, parametreler, şifreleme, durum bilgisi, COM 1 bilgisi gibi bilgilere ulaşım sağlanır.

F6 Tuşu: Şifre seçiminin yapıldığı tuşdur.

F7 Tuşu: Kurulan sistem üzerindeki arızaların listelendiği sekmeyi açar. Sistem çalışırken açığa çıkan arızalar önem sınıfına göre derlenerek depolanır. Arıza kaynağı kojenerasyona hasar oluşturacak sınıfta ise otomatik olarak cihazı devre dışı bırakır. Arıza giderilmeden kilit mekanizması kalkmayacağından cihaz resetlenemeyecek ve devreye alınamayacaktır. Ancak hata kaynağı sistemsel olarak kurgulanan yapıya hasar oluşturmayacak sınıfta ise sadece uyarı olarak ekrana bilgi belirli aralıklar ile düşürülür. Bu hata kodları sistemin devre dışı kalmasını sağlamaz. Hata kodları ile sistemin devre dışı kalıp kalamayacağı cihazın otomatik konumda olması ile mümkündür. Manuel pozisyonda bırakılmış cihazlarda sistemin çalışmasına engel olacak arızaları baypasladığından sistem zarar görene kadar çalışmasına devam edecek ve ciddi hasar ile duracaktır. Bu arıza kayıtları F7 sekmesi altında anlık depolanır ve uyarı sinyali ile dış ortama bildirilir.

F8 Tuşu: Arızalar giderildikten sonra F7’de yer alan arıza listesinin boşaltılması için F8 tuşu kullanılır. F8 reset tuşudur.

C Tuşu: Menü pozisyonuna geri dönme tuşudur.

E Tuşu: Giriş onaylama tuşudur.

Cihaz kurulumunun gerçekleştirildiği ortam şartlarının üretilen güç üzerinde önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Yani mikro kojenerasyon etiket değerinin 71 kW olmasına rağmen 65 kW üzerine çıkılamaması Konya’ nın rakımı ile doğrudan ilgilidir. Rakım arttıkça oksijen oranı düşeceğinden cihaz performansı düşer. Mikro kojenerasyon deniz seviyesinden ne kadar yüksek bir noktada kullanılacak ise önceden tespit edilip o bölgeye göre güç tayin edilmesi şarttır. Aksi takdirde beklenen gücün altında enerji üretimi söz konusu olacak ve amortisman süresini doğrudan etkileyecektir.

Mikro kojenerasyonun $\cos Q$ 'si 0.99 olup üretilen enerji için kompanzasyon tertibatına gerek kalmamıştır.

Mikro kojenerasyonun devreye girebilmesinin ön şartı şebeke olup olmaması olarak ayarlanmıştır. Yani kurgulanan sistemde modül tarafından üretilen enerjinin şebeke enerjisinin kesilmesi durumunda engellenmesi şartı ön şart olarak belirlenmiştir. Bunun gerekliliği işletme koşullarında arıza-bakım esnasında enerji hattı üzerinde çalışanların tersten mikro kojenerasyonun ürettiği enerjiye maruz kalmalarını engellemek içindir. Bu düşünce ile kilit mekanizması kurulmuş olup modülün kendi kilit mekanizmasına ilave olarak ekstra ilave kilit mekanizması kurgulanarak sistem

sağlığı çift aşamada sağlanmıştır. Böylelikle oluşması muhtemel enerji kazalarının önüne geçilmiştir.

Şekil 15'te gösterilen sayaç mikro kojenerasyon panosu içerisinde yer almaktadır. Bu sayacın çarpanı 30 olup ölçülen değer ile çarpılarak toplam üretilen enerji elde edilir.



Şekil 15. Mikro kojenerasyonun elektrik ölçüm sayacı

Şekil 15'teki sayacın görüntüsünün alındığı anda mikro kojenerasyonun ürettiği toplam elektrik enerjisi denklem 1 yardımı ile hesaplanır.

ÜEE: Üretilen Elektrik Enerjisi

$$\text{ÜEE} = 12,974.34 \text{ kWh} \times 30 \text{ (Sayaç Çarpanı)}$$

(1)

$$\text{ÜEE} = 389,230.3 \text{ kWh elektrik enerjisi üretilmiş.}$$

3.1.2.4. PTKM ayar parametreleri

Sistem kurulumunda yer alan ekipmanların ayar sahaları PTKM'nin güvenli çalışma sınırlarını belirlemiştir. Sensörlerin iletmiş olduğu sinyaller MCU'da işlenerek jumo ve kojenerasyonun kendi ekranında kendine yer bulur. Jumo digital gösterge ile PTKM'nin panelinde yer alan ayar tuşları ile devreye girme, devreden çıkma, alt limit, üst limit, arıza listesi, sistem ayarları, kullanıcı ayar parametreleri, şifreleme, kilit atma, kilit kaldırma, ...vb birçok işlem yapılabilmektedir. Şekil 16'da yer alan digital gösterge PTKM üzerinde olmayıp harici pano üzerinde yer almaktadır. Şekil 14'te yer alan panel kullanmış olduğumuz PTKM olan vitobloc EM 200 75/115'e aittir. Her iki göstergeye girdi MCU'dan sağlanır bu ise PTKM'nin yapısı içerisinde.



Şekil 16. Harici JUMO digital gösterge

JUMO digital göstergede K1 (Üst sıcaklık), K2 (Alt sıcaklık), K3 (Pompa çalıştı bilgisi) çıkışlarına, giriş sağlayan sensörler mikro kojenerasyonun devreye girip çıkmasını sağlamıştır

Program tuşuna iki defa basılması ile (BHKW EIN) yani modülün devreye girmesi gereken alt ve üst sıcaklık değerleri ortaya çıkar. Histerisiz 2 °C'ye ayarlanmış olup modül 69 °C'de devreye girer 71 °C'de modül devreden çıkar.

JUMO digital göstergede yer alan kazan ile ilgili 80 °C verisi kazanı çalıştırma veya durdurmaya yönelik değildir. Çünkü kurulumu yapılmış olan mikro kojenerasyon ile kazan haberleşmemektedir.

Sekonder pompa 70 °C'ye ayarlı olup histerisiz 6 °C'ye ayarlanmıştır. Bu demek oluyor ki alt histerisize göre 67 °C ve altında sekonder pompa stop ederken 73 °C ve üzerinde olduğunda sekonder pompa çalışır.

Mikro kojenerasyon (BHKW AUS) alt sıcaklığı 74 °C ayarlanarak histerisizi 1 °C olarak belirlenmiştir. Böylelikle 73.5 °C'de stop eden cihaz 74.5 °C'de devreye girer.

Kurulan sistemde mikro kojenerasyonun devreye girebilmesi için K2 (alt sıcaklık) parametresinin 73.5 °C ve K1 (üst sıcaklık) parametresinin 69 °C olması şartlarının sağlanarak K1, K2 çıkışlarının aktif olması ısı talebinin olduğu bilgisi mikro kojenerasyona iletilir. Böylelikle mikro kojenerasyon motor kontrol kartı yardımıyla mevcut sensör bilgilerinde problem oluşturacak herhangi bir parametre yok ise devreye girer.

3.1.2.5. PTKM sistem bakımı

Sisteme 15 günlük bakım uygulanmaktadır. Bakım verileri modülün sağlıklı çalışmasını ve ömrünü uzatmaya yönelik etki oluşturmaktadır. İlk 15 günlük bakım verisi Tablo 8’de yer almaktadır. Bakım planı kapsamı 1.000 h ile 50.000 h arasında 25 kademedede gerçekleşmektedir. Bu 25 kademe 3 bakım seviyesine sahiptir. Bu bakım seviyelerinde değişimi gerçekleştirecek yağ, yağ filtresi, hava filtresi, akü, buji, problemler, sensörler, ... vb. ekipmanların değişimi çalışma saatine bağlı olarak gerçekleşmektedir. 50.000 çalışma saati motor rektifiye olma süresi olarak tanımlanmıştır. Bu da demektir ki makina günde 15 saat çalışırsa 9 yıl 3 ay sonra motorunun değişimi söz konusu olacaktır. Tabii bu süre mikro kojenerasyon ünitesinin bakım periyotlarının düzenli takibi ile mümkündür.

Sistem bakım verileri cihaz programı yardımı ile analiz edilerek toplanır. Arızalı ve aksaklık oluşturması muhtemel ekipmanların bakımı planlanır. Tablo 8 bu sistem kontrol programının çıktılarında biri olup detayı EK-6’da yer almaktadır.

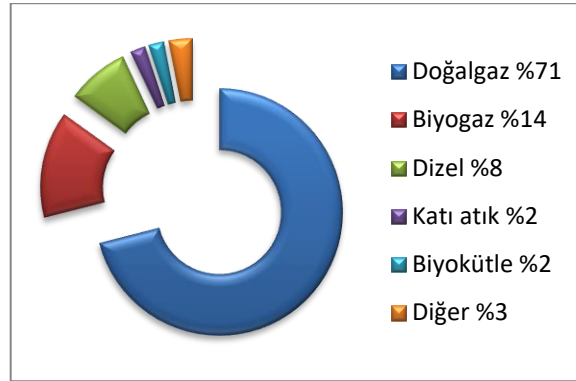
Tablo 8. Mikro kojenerasyon ünitesi bakım programı verisi

Modül Numarası		Modül - Statü		Tarih	28.12.17
000000003104				Saat	11:58:52
Mod	OTOMATİK	Durum	İşletme	Isi	
Lamda Sens.	677 mV	Devir	1500 Ddak		
Batarya	26.0 V	Yag.Basinc	6.4 bar		
Sog.Suyu	80.8 °C				
Isitma Suyu	80.6 °C	Egz. Sic. A	640 °C		
Isletme Saati	5303	Modül Start Sayisi	1628		
Kontrol	72.0 °C	Mev. Deger	71.8 °C		
Iptal	99.9 °C	Etkinlest.	65.0 °C		
	Sebeke	Jeneratör	Elk. Akimi	Kapasite	
Faz 1	227 V	227 V	93 A		
Faz 2	228 V	228 V	93 A		
Faz 3	225 V	228 V	94 A		
Toplam	227 V	228 V	93 A	61 kW	

Sistem ölçüm zaman dilimi anlık olup saniye bazında veriler toplanır. Senkron sistem hatası, yağ seviye düşük, ateşleme yok, faz kaybı, basınç yok, ... gibi veriler bakım planının yol haritasının çizer. Böylelikle bakım ekibi kontrol etmesi gereken noktaları detaylı inceleme fırsatı bulur.

3.2. Mikro Kojenerasyon Ünitesi Enerji Kaynakları

Kojenerasyon sistemleri doğalgaz, biyogaz, dizel,...vb. geniş yelpazede yakıt kullanabilme şekline sahiptir. Şekil 17'de gösterildiği gibi %71 oranında doğalgazı yakıt olarak kullanan kojenerasyonlar ağırlıklıdır.



Şekil 17. Mikro kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtlar

Kullanılan paket tipi kojenerasyon modülü içten yanmalı motorlu olup ateşleme gerçekleştiği an itibari ile mekanik enerji oluşur. Oluşan mekanik enerji senkron jeneratör aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Egzoz gazı ısı, motor bloğu ısı, toplama borusu ısı ve motor gres yağı termik ısısının açığa çıktığı noktalardan termik enerji toplanarak faydalı ısıya dönüşümü gerçekleştirilerek sıcak kullanım suyu veya iç ortam ısısına takviye olarak kullanılır.

Böylelikle yukarıdan da anlaşılacağı gibi kullanılan PTKM'de (Paket tipi kojenerasyon modülü) ortalama %90 seviyelerinde enerji verimliliği sağlanmış olacaktır.

3.3. Kojenerasyon Sisteminin Faydaları

Konut, ticari ve endüstriyel alanlarda tüketicilerin talepleri doğrultusunda enerji üretimi sağlayan kojenerasyon sistemleri elektrik şebekesinden bağımsız enerji üretebileceği gibi şebekeye paralel de enerji üretimini gerçekleştirebilir. Sistemin çalışma prensibi kurulum yerine özgü olacağından şebekede elektrik olmasada bağlı olduğu hatta stabil ve kaliteli enerjiyi anlık iletebilir. Bu kurulumu sağlanan mikro kojenerasyonun yedek güç üretim modunda çalışması anlamına gelir.

Mikro kojenerasyon tesislerinin kısa sürede kurularak enerji üretebiliyor olması bu enerji üretim tesisinin avantajlı yanıdır. Ayrıca sistemin enerji kesme ve üretme

protokolü yaklaşık 10-15 sn ile sınırlı olup sistem kısa sürede kendini toparlayarak enerji üretimine devam edebilmektedir.

Doğal gaz, Propan, Biyogaz, Çöp gazı gibi çeşitli yakıt kaynaklarına sahip olan mikro kojenerasyonlar da daha çok doğal gaz tercih edilir. Bu tesisler yüksek yanma verimlerinin yanında düşük CO₂ emisyonları ile doğaya katkı sağlar. Atık ısı geri kazanıldığından konvansiyonel sistemlere kıyasla atmosferi de ısıtma etkisi yoktur.

Mikro kojenerasyon sistemleri enerji verimliliği ve ekonomik getirilerinin yanında vergi avantajı (TRT, ETV,.. vb), sürdürülebilir enerji üretimi, enerji arz güvenliği ve çevre dostu olması gibi birtakım ek faydalar barındırır. Kurulumu gerçekleşen sistemin tüketim yerinde elektrik ve ısı üretip tüketime sunması şebeke hattından bağımsız olduğundan hat kapasitesine yönelik yatırımların yapılmasını engellediği gibi enerji iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplarında önüne geçer. Bu faydalarla birlikte sistem kurulumları makro ölçekte Türkiye'nin enerji cari açığındaki dışa bağımlılığını minimize eder.

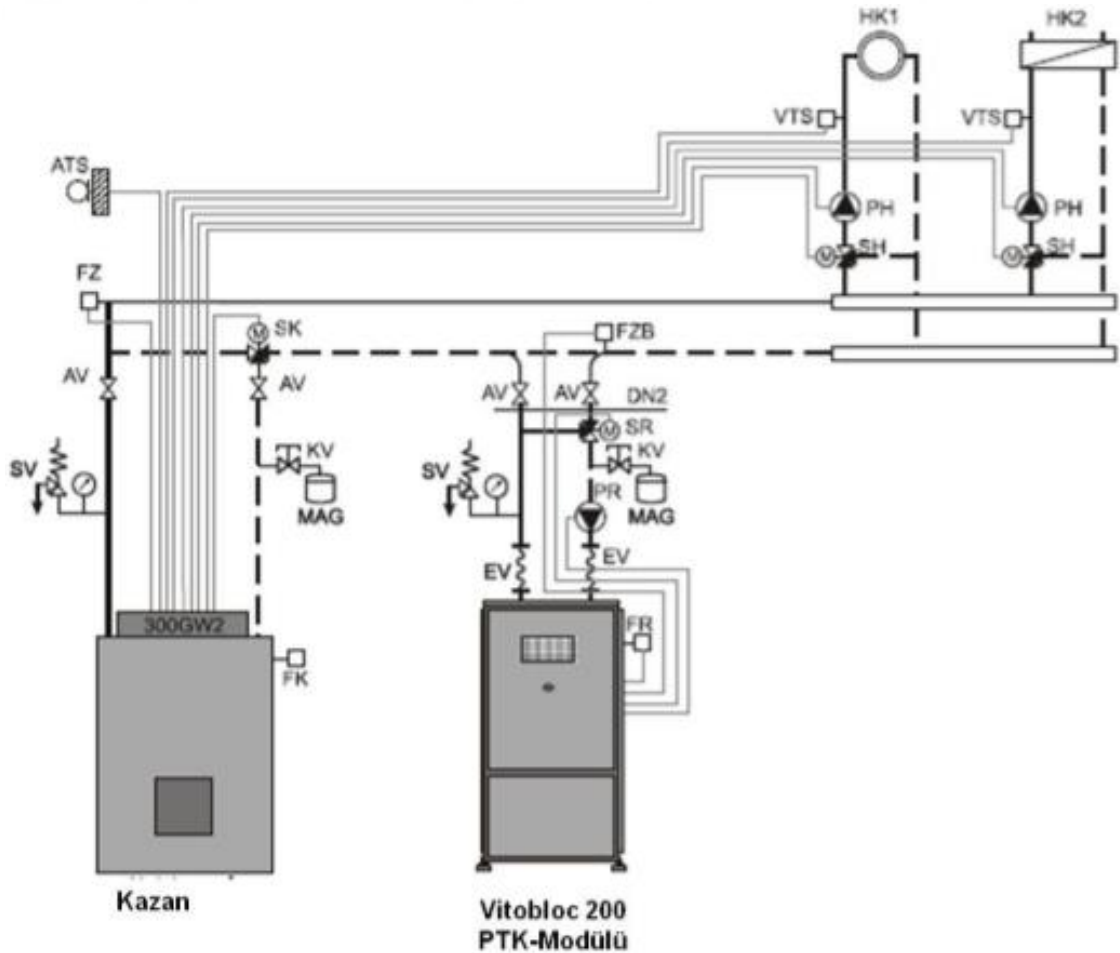
3.4. Kojenerasyon Uygulaması

Konya'da kurulumu gerçekleştirilen gaz motorlu kojenerasyon Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. Kurulumu gerçekleştirilen blok tipi mikro kojenerasyon

Kurulumu gerçekleştiren Viessmann Vitaobloc 200 PTK'nın yardımcı ekipmanları sırasıyla; Elastik yataklama (EV), kapama ventili (AV), sistem dönüş suyu sıcaklık sensörü (FR), dış hava sıcaklık sensörü (ATS), kazan suyu sıcaklık sensörü (FK), ortak gidiş sıcaklık sensörü (FZ), gidiş suyu sıcaklık sensörü (VTS), ilave sıcaklık sensörü (FZB), ısıtma devresi sirkülasyon pompası (PH), ısıtma devresi (HK), ventil (KV), genişleme tankı membranlı (MAG), dönüş suyu sıcaklık kontrolü için pompa (PR), ısıtma devresi kontrolü için 3 yollu vana (SH), emniyet ventili (SV) ve dönüş suyu için 3 yollu vana (SK) yardımcı ekipmanlardan iken kazan, senkronizasyon panosu, ADP panosu ve şalt ürünleri sistemin ana ekipmanlarıdır. Uygulanan mikro kojenerasyon sistem şeması Şekil 19'da görselleştirilmiştir.



Şekil 19. Uygulanan mikro kojenerasyon sistem şeması

Mikro kojenerasyon ünitesi uygulama sitesinin tüketebileceği toplam ısı kapasitesi dikkate alınarak seçilmelidir. Sistemin ısı kapasitesi bina toplam ısı tüketim kapasitesinin %15'ini aşmamalıdır. Aksi durumda mikro kojenerasyon elde edilen fazla

ısıyı sisteme kazandıramayacak ve atık ısının oluşmasına neden olacaktır. Kojenerasyonun ayar parametreleri değiştirilerek kazanç eldesi yöntemi uygulandığında ise sistemin uyku modunda geçireceği süre uzamış olacaktır. Yani sistemin kapasite tayini doğru hesaplanmaz ise sistem verimsiz çalışacaktır. Uygulaması gerçekleştirilen sistemin kapasite tayini fizibilite aşamasında tespit edilmiş olup modülün teknik özellikleri Tablo 9'da yer almaktadır.

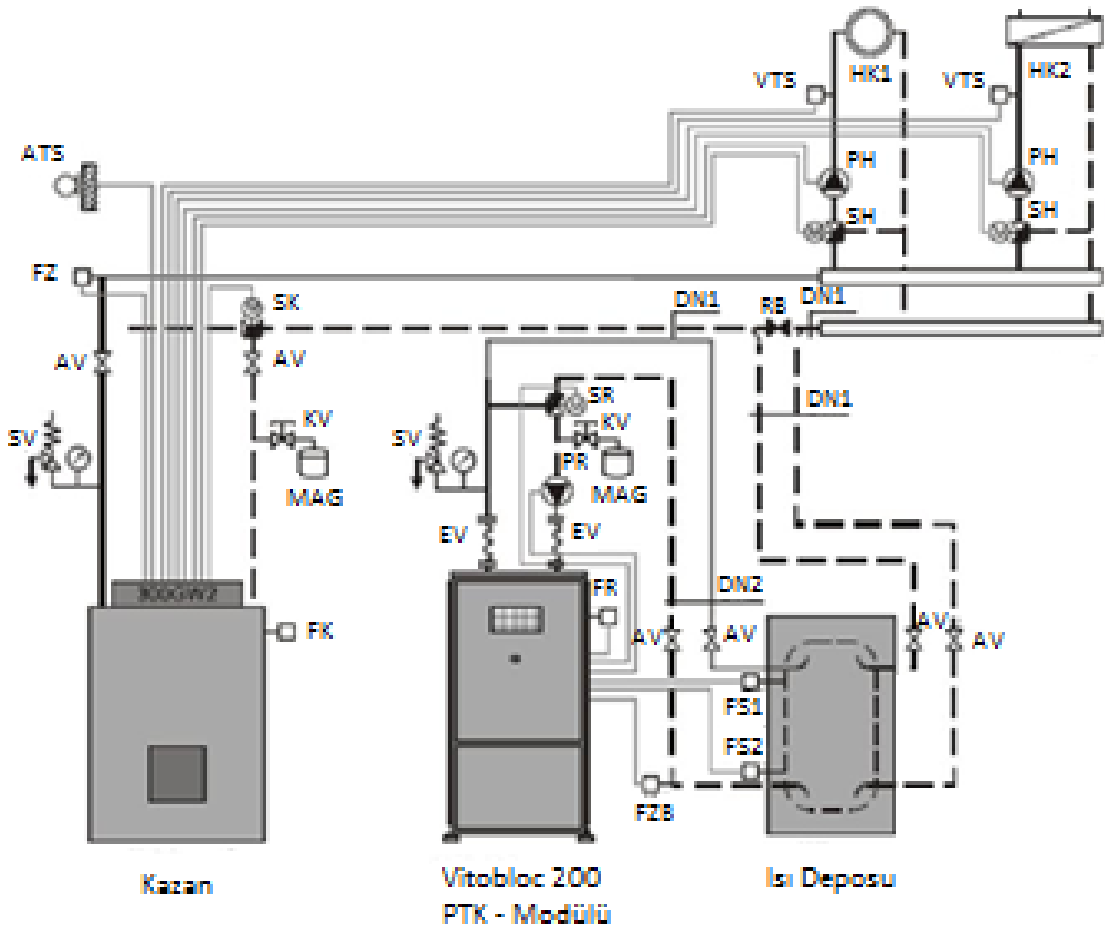
Tablo 9. Mikro kojenerasyonun teknik özellikleri (Anonim, 2012a)

Motor Tipi	MAN E 0836 E
Elektrik Gücü	71 ekW
Termal Gücü	115 tkW ± %5
Yakıt Tüketimi	204 tkW ± %5
Egzoz Çıkış Sıcaklığı	610 °C
Elektriksel Verim	% 34,3
Isıl Verim	% 56,4
Toplam Çevrim Verimi	% 90,7
Geri dönüş sıcaklığı min./max.	60 °C / 70 °C
Isıtma suyu akış hızı	4,9 m ³ /h
Azami işletme basıncı	10 Bar
Gürültü Seviyesi	52 dB

3.4.1. Kazanın Devreye Girmesi ve Devreden Çıkması

Paket tipi kojenerasyon sisteminin uygulanmış olduğu site çoklu kazan yapısına sahiptir. Kojenerasyon sisteminden elde edilen ısı sitenin toplam ısı tüketiminin %15'ini geçmemekte olup mevcut ısı tüketim hattını takviye edicidir. Mevsimsel sıcaklık şartlarına göre mikro kojenerasyon tesisi sitenin ihtiyacı nispetinde iki adet kazanı çalıştırır veya sırasıyla devre dışı bırakır. Yani kış sezonunda sitenin ihtiyacı olan ısının tamamı kojenerasyondan sağlanamayacağı bilinmekte olup iki kazan ile kojenerasyon aynı anda devrede kalır burada mikro kojenerasyon kazanlara ön ısıtma sağlayarak yakıt tüketimini azaltır. Mevsimsel geçiş dönemleri olan ilkbahar ve sonbahar sezonlarında sitenin ihtiyacı olan ısı yükünü tek kazan ve mikro kojenerasyon sistemi sağlayarak ikinci kazanın devrede kalması engellenir. Yaz döneminde ise sitenin ısı yükü düşük olduğundan mikro kojenerasyon sitenin sıcak su kullanımına yeterli enerji üretir. Böylece klavuz kazan yaz boyu sitenin ihtiyacı olan sıcak su temini için devrede

kalmayacaktır. Bahsi geçen bu kazanların devreye girip çıkma durumu sıcaklık sensörlerinden alınan bilgiler doğrultusunda gerçekleşir. FZ ortak gidiş sıcaklık sensörünün algılamış olduğu değer 62°C 'nin altında ise önce klavuz kazan (1. Kazan) devreye girer eğer sitenin ihtiyacı olan toplam ısı hâlâ istenen değerde değilse ikinci kazan da devreye girer. Isıtma devresinde istenen yüksek sıcaklık seviyesini FZ sensörü veya FVS (strateji) sensörü belirler. FZ ile FVS sensörleri istenilen yüksek sıcaklıktan daha yüksek bir değer algılar ise ikinci kazan devre dışı bırakılır. Isıtma sisteminde hâlâ yüksek sıcaklık algılanması durumunda klavuz kazan da devre dışı kalır. Kazanların devre dışı kalması ile sitenin ısı yükü mikro kojenerasyon üzerinde kalır. İlave sıcaklık sensörlerinden olan FZB 70°C 'nin üzerinde bir değer algılamadıkça mikro kojenerasyon devrede kalır. Dönüş suyu sıcaklığı 70°C 'nin üstüne çıkınca mikro kojenerasyon devre dışı kalır.



Şekil 20. Kurgulanan ısı depolu PTKM sistem şeması (Anonim, 2012a)

Mikro kojenerasyon modülünün sıcaklık sensörleriyle devreye girip çıkma sıklığı sistemin performansını etkilediğinden ilk kurgusu gerçekleştirilen sisteme Şekil 20'deki gibi 5 tonluk akümülyasyon tankı eklenerek modülün uyku moduna geçme sıklığı engellenmiştir. Ortalama aylık 440 saat çalışan mikro kojenerasyon tesisi akümülyasyon tankının eklenmesi ile 490 saatlere kadar çıkarılabilmektedir. Akümülyasyon tankının sisteme eklenmesi ile sistemin devreye girip çıkması ısı ihtiyacına değil elektrik ihtiyacını ön plana almıştır.

3.4.2. Paket Tipi kojenerasyon Sisteminin Devreye Girmesi

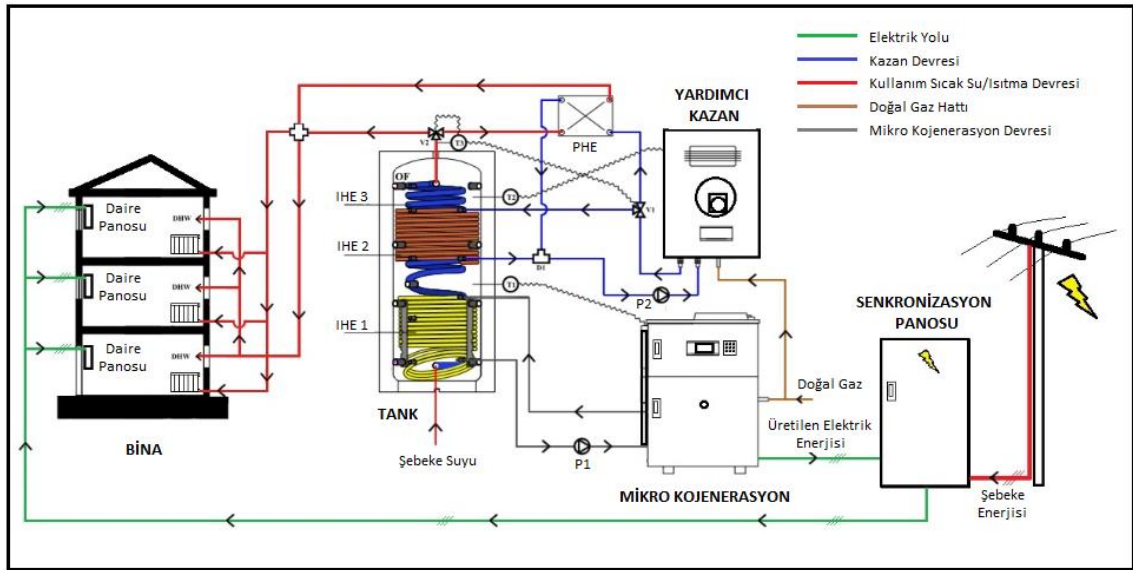
Mikro kojenerasyon sisteminin sıcaklığa bağlı devreye girip çıkma sıklığı ilk işletme parametrelerinin doğru ayarlanmasına bağlıdır. Sistem kontrol kartı sensörlerden aldığı bilgiler doğrultusunda sisteme müdahalelerde bulunur. FS1 ısı deposu sıcaklık sensörü yardımıyla dönüş suyu sıcaklığı ölçülür. Bu ölçülen değer önerilen 70 °C'nin altındaysa mikro kojenerasyon ünitesi devreye girer. Kazanların devreye girip çıkma senaryosu ile mikro kojenerasyonun devrede kalması akümülyasyon tankı bulunmayan sistem ile aynı olmakla birlikte sadece akümülyasyon tankının sıcaklığını ölçen sensör (FS1) dönüş suyu sıcaklık değerini ölçer bu ölçülen değer 70 °C'nin altındaysa mikro kojenerasyon modülü devrede kalır. Yine aynı şekilde FS2 sensörü ile akümülyasyon tank sıcaklığı 62 °C'yi algıladığı anda sisteme entegre kazanlar sırasıyla devre dışı kalır. Sıcaklık sensörü 62 °C'nin altında bir değer algılar ise mikro kojenerasyondan elde edilen ısının sisteme yetmediği anlamına gelir ki önce klavuz kazan daha sonra 2. kazan devreye sırasıyla girer. Eğer FZB sıcaklık sensörü 70 °C'nin üzerinde bir değer algılasa mikro kojenerasyon kendini uyku moduna çeker ve akümülyasyon tankındaki sıcak suyun 70 °C'nin altına düşmesi beklenir.

Tablo 10'da üretici firma tarafından motor teknik kataloğunda verilmiş olunan işletme parametreleri yer almaktadır. Burada motorun yüklenme durumuna göre işletme parametrelerinin lineer artmadığı görülmüştür. Yani %50 yüklü durumda mikro kojenerasyon sistemi 122 kW enerji tüketirken bu oranın %100 yük durumunda 244 kW olması gerekirken 204 kW olarak belirtilmiş buda yüksüz makinanın veriminin düşük olacağını göstermiştir. Mikro kojenerasyon ünitesinde verim kaybı yaşamamak için sistem işletme yük set değeri %46'ya ayarlanmıştır. Bu değer altında mikro kojenerasyon uyku moduna geçer. Aksi durumda mikro kojenerasyon her yük kademesi için çalışacağından yakıt tüketimi üretilen enerjiden fazla olacak ve verim düşecektir.

Tablo 10. Mikro kojenerasyon sistemine ait işletme parametreleri

PTKM Modülü işletme parametreleri	Vitobloc 200 EM – 70/115		
	%50 Yük	%75 Yük	%100 Yük
Paralel şebeke işletiminde sürekli güç			
Elektrik gücü (kW)	35	53	70
Isı gücü (kW)	66	85	115
Yakıt uygulaması (kW)	122	159	204

3.5. Bina - Entegre Mikro Kojenerasyon Tesisi

**Şekil 21.** Mikro kojenerasyon sistem kurulum şeması

Şekil 21’de kurulumu analiz edilen mikro kojenerasyon tesisi gösterilmektedir. Sistem, bir mikro kojenerasyon cihazı (PTKM), kombine bir sıcak su deposu (TANK), üç iç ısı eşanjörü (IHE1, IHE2, IHE3), yardımcı bir kazan, plaka ısı eşanjörü (PHE), muhtelif yerlerde bulunan termostatlar (T1, T2, T3), pompa (P1, P2), üç akış yönlendirici (D1, D2, D3), üç adet 3 yollu vana (V1, V2, V3) ve senkron panodan oluşmaktadır.

Aşağıdaki dört devre, Şekil 21’de verilmiştir:

- 1) Doğal gaz yakıtlı kazan devresi
- 2) Mikro kojenerasyon cihaz devresi
- 3) Kullanım sıcak suyu devresi
- 4) Alan ısıtma devresi.

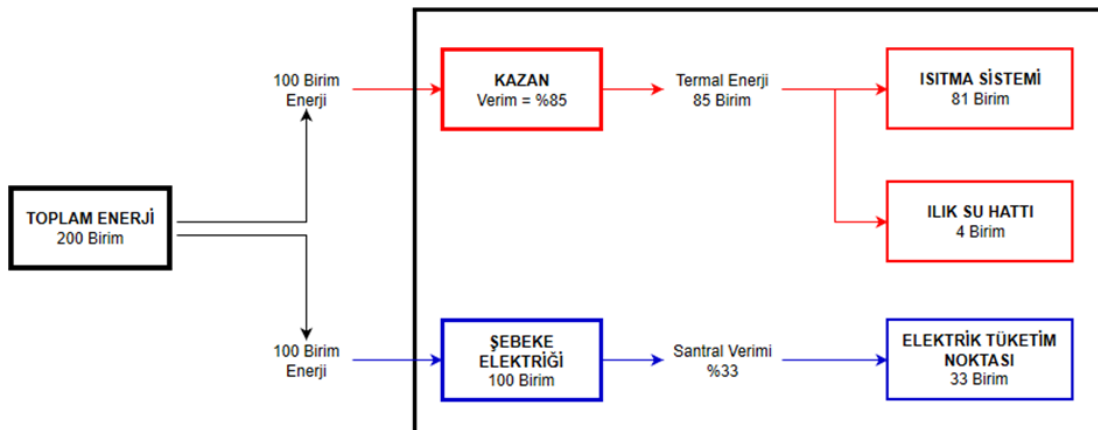
Şekil 21’de hem doğal gaz hem de elektrik hatları incelenmiştir. Önerilen sistemde alan ısıtma, kullanım sıcak suyu talepleri ve binanın elektrik talebi yer

almaktadır. Tank, kullanım sıcak suyu ve ısıtma sistemine takviye termal enerji transferi sağlar. Dâhilî ısı eşanjörü su olması durumunda yıl boyunca sıcak kullanım suyu üretir. Dâhilî ısı eşanjöründen çıkan sıcaklık 45 °C'den düşükse gerekli ek ısı plakalı eşanjör PHE kullanılarak yardımcı doğal gazla çalışan kazan tarafından sağlanır.

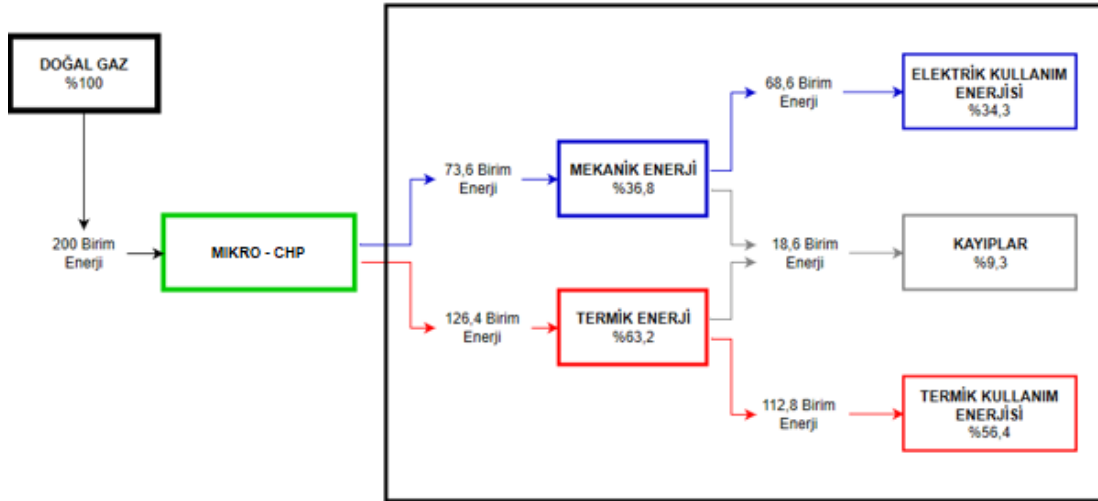
Mikro kojenerasyon modülünde üretilen elektrik enerjisi şebeke elektriği ile senkron olacak şekilde daire içlerine ana bara üzerinden iletilmiştir. Mikro kojenerasyon modülünün ürettiği elektrik enerjisi; aydınlatma cihazları, ev aletleri (buzdolabı, bilgisayar, TV, bulaşık makinası, çamaşır makinası, yardımcı motorlar gibi) tüketim noktalarında harcanır.

3.6. Bina - Entegre Mikro Kojenerasyon Ünitesinde Enerji Transferi

Şekil 22 geleneksel yöntemler ile enerjisi sağlanan binaların enerji akış diyagramıdır. Burada 200 birim enerjinin yararlı enerjiye dönüşüm miktarı 118 birim olarak elde edilmiş olup geriye kalan 82 birim enerji kayıp enerji olarak doğaya aktarılmıştır. Bu kayıp enerji hem maddi olarak zarar oluşturur iken hem de gaz emisyonu nedeniyle iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Şekil 23'te mikro kojenerasyonlu sistemin enerji döngüsüne ait akım şemasını göstermekte olup atık olarak atılması muhtemel enerji yararlı enerjiye dönüştürülerek kullanılmıştır. Mekanik kayıplar, hissedilebilir atık ısı ve radyasyon kayıpları %9,3'lük atık enerji kısmını oluşturmuştur.

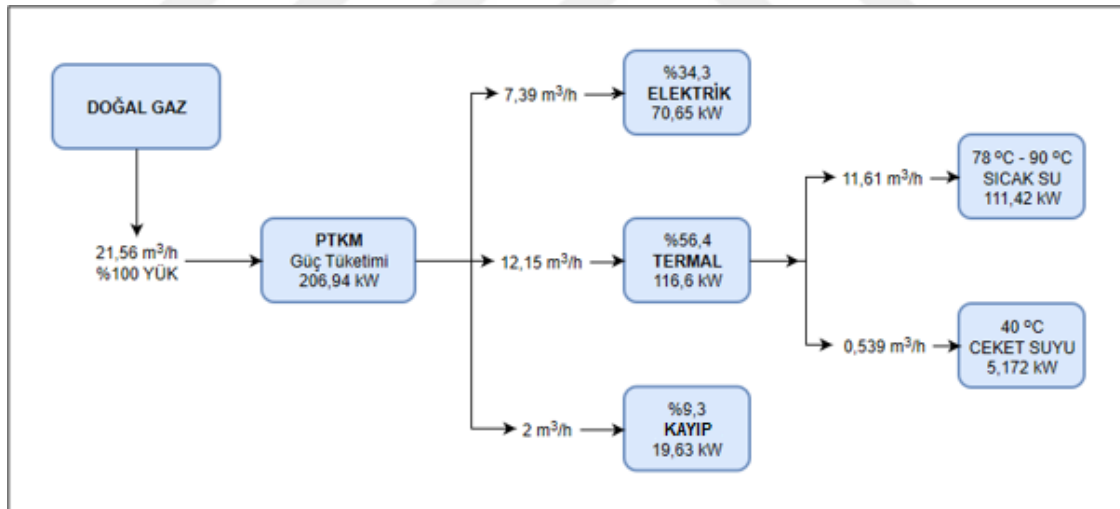


Şekil 22. Konutlarda geleneksel enerji akış diyagramı



Şekil 23. Mikro kojenerasyonun uygulandığı binanın enerji akış diyagramı

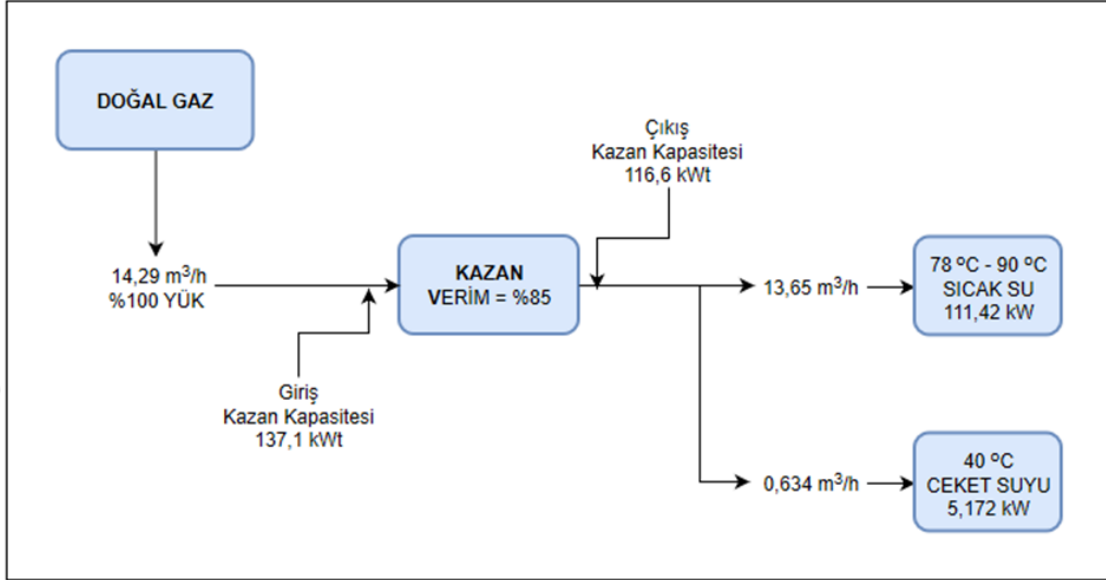
Tüketilen doğal gaz miktarına göre açığa çıkarılan elektrik ve termal enerji akım şeması Şekil 24'te yer almaktadır. 21,56 m³/h doğal gaz tüketimine karşılık 70,65 kW Elektrik, 116,6 kW termal enerji elde edilmiş olup 19,63 kW kayıp enerji (Mekanik kayıplar, hissedilebilir atık ısı ve radyasyon kayıpları) olarak açığa çıkar.



Şekil 24. Doğal gaz tüketim adım diyagramı.

Mikro kojenerasyon tesis kurulumu gerçekleşen binanın termal enerji kazanımına karşılık olması gereken ama sisteme dâhil olmayan kazan (boiler) tespit diyagramı Şekil 25'te yer almaktadır. Burada sisteme dâhil olmayan %85 verimlilikle giriş /çıkış kapasiteleri 137,1 kW / 116,6 kW olan kazanın üretmesi gereken enerjiyi mikro kojenerasyon sistem içi olarak üretmektedir. Sistem içi üretilen termal enerji

kazanımına karşılık gelen bu sisteme dâhil olmayan kazan (boiler) kullanılmadığı gibi mevcut kazanların kullanım saatini azaltarak kazanların bakım sürelerini uzatır. Böylece kazan bakım gideri de azalır.



Şekil 25. Termal enerji kazanımına karşılık gelen kazan tespit diyagramı.

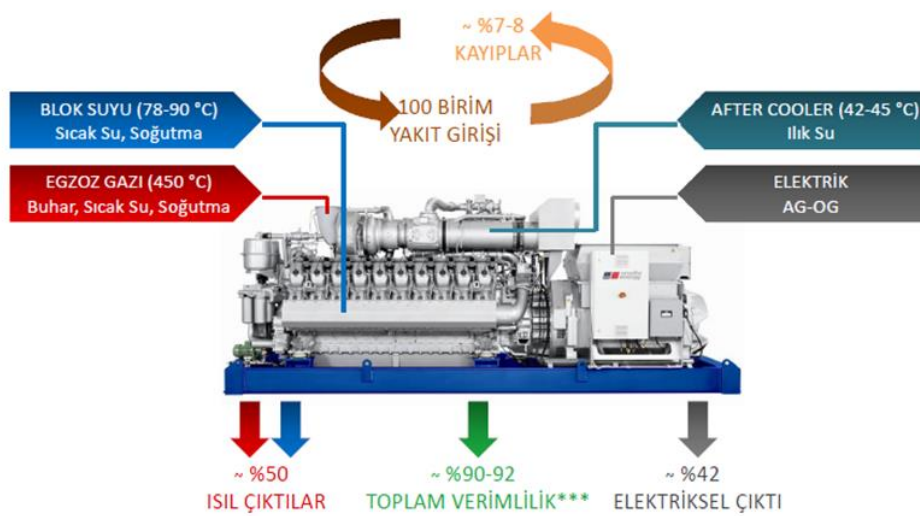
Konut binalarının enerji tüketimini ve emisyonlarını azaltmanın olası bir yolu, mikro-CHP olarak adlandırılan küçük ölçekli birleşik ısıtma ve güç sistemi kullanımudur. Konvansiyonel (geleneksel) elektrik santrali elektrik ürettiğinde, tesis ile son kullanıcı arasındaki uzun mesafeden dolayı bir miktar faydalı ısı boşa harcanır. CHP son kullanıcının yanında kurulabilir. Bu nedenle, CHP'nin Şekil 21'de gösterildiği gibi binaya uygulanmasıyla enerji verimliliği artırılabilir. Geleneksel binalarda termal ve elektrik yükleri sırasıyla kazan ve şebeke gücü tarafından sağlanır. CHP uygulamalı bina için bina elektrik yükü CHP ve şebeke ile senkron sağlanır. CHP'den elde edilen ısı, alan ısıtmasında ve sıcak su tüketiminde kullanılırken üretilen elektrik gücü elektrik tüketim yükü için kullanılır. Üretilen güç elektrik yükünden düşük olduğunda yetersiz yükü dengelemek için şebeke enerjisine ihtiyaç vardır. Kurulumu sağlanan sistemde çift yönlü sayaç bulunmamakta olup iç tüketim dengesi oluşturularak sistem kurgulanmıştır. Alahäivälä ve diğ. (2015) mikro kojenerasyon sistemlerinden elde edilen tüketim fazlası elektrik enerjisinin şebekeye transferi üzerine çalışma yürütmüş ve bu yöntemin verimi arttıracaklarını söylemiştir. Ancak bu enerji alış ve satış birim fiyatı ile ilgili olduğundan sistem uygulama bölgesindeki şartlar bu verim artışını belirler.

3.7. Enerji Üretimi

Aynı sistem üzerinden elektrik ve ısının üretildiği yerde tüketime sunulması, elektrik ve ısı enerjilerinin farklı tesislerde üretilip tüketime sunulmasından çok daha yüksek verime sahiptir. Mikro kojenerasyon ünitesinde gaz motorundan elde edilen mekanik enerji alternatör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Aynı zamanda oluşan motor ceket ısısı ile egzoz atık ısısı borulu eşanjörler aracılığı ile toplanarak sitenin sıcak su ihtiyacında kullanıma sunulur. Bu termal enerji kazanımı ileriki bölümlerde detaylı incelenecektir.

Mekanik enerji motor silindirlisinde gerçekleşen yanmanın pistonları hareketlendirmesi ile oluşur. Bu enerji türü alternatör yardımıyla elektrik enerjisine ve sürtünme ile de atık ısıya dönüşür. Bu atık ısı 400-600 °C egzoz gazı ısısı açığa çıkarırken bu ısının yanında motor ceketinde de ısı oluşur. Motor ceket soğutma suyu ceket üzerindeki atık ısıyı motordan uzaklaştırmak için bünyesine alırken ısınan ceket soğutma suyundan plakalı eşanjör aracılığı ile 80-90 °C aralığında sıcak su elde edilir. Elde edilen sıcak su, site genel ısıtma sistemini besleyerek ısıtmaya katkı sağlar. Bu, sistemin verimini %45-%55 civarı artırır.

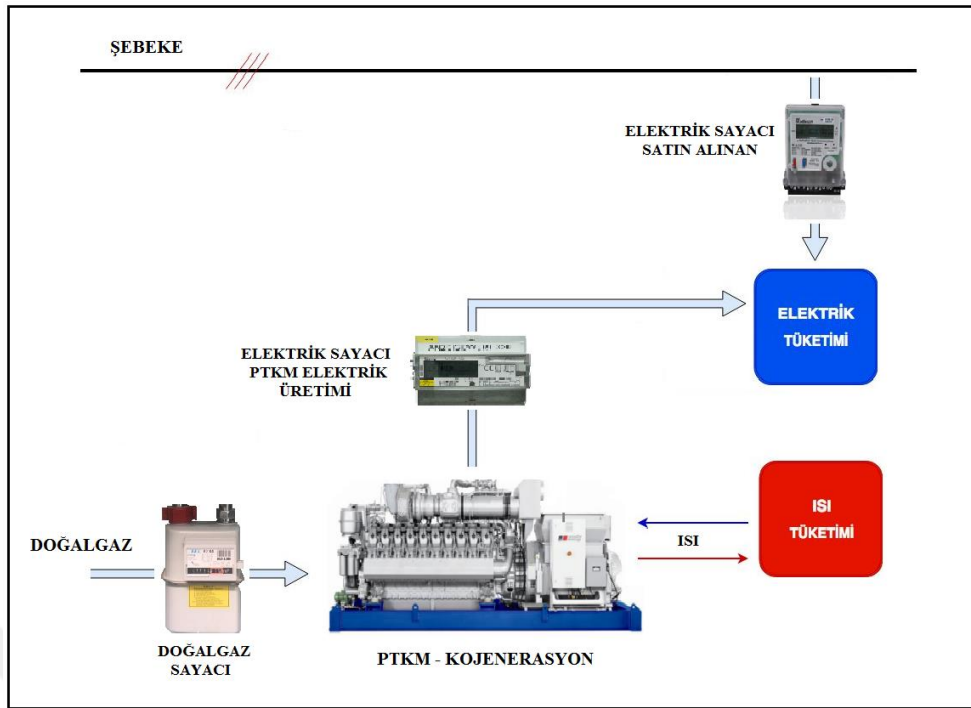
Gaz yakıtlı otto-yanma motorlu mikro kojenerasyon Şekil 26'da gösterilmiştir. Gaz motorunda üretilen elektrik enerjisinin verimi %40-45 civarındadır. Bundan dolayı mikro kojenerasyon sistemlerinde gaz motorları yüksek verimlilikle çalışır.



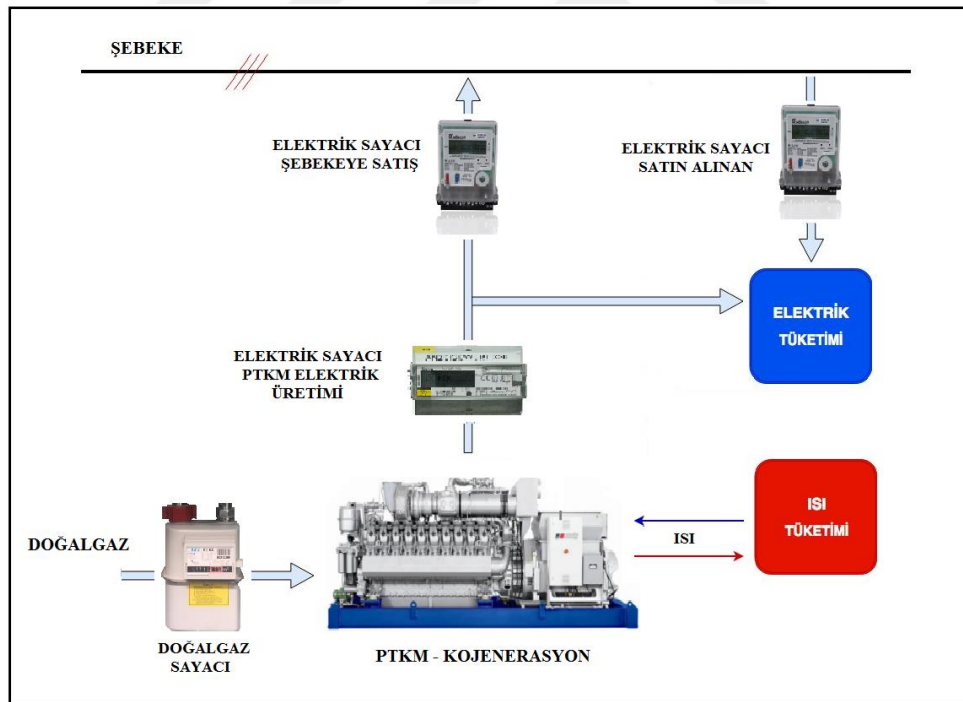
Şekil 26. Kojenerasyon sistemine ait verim gösterimi (Anonim, 2019)

3.7.1. Elektrik Enerjisi Üretimi ve Transferi

Mesken tipi mikro kojenerasyon uygulamasında en önemli konu enerjinin tüketim yerinde tümüyle tüketilip tüketilemeyeceğine ilişkin verilerin net olup olmadığıdır. Bu verilerin netliğine göre sistem tüketime uygun tasarlanır. Böylelikle şebekeye çıkılmadan minimum düzeyde yatırım ile tasarım gerçekleştirilir. Şekil 27’de gösterildiği gibi burada çift yönlü sayaç kurguda yer almayacağından şebekeye satış söz konusu değildir. Yine binalarda söz konusu olan ikinci uygulama diyebileceğimiz ve Şekil 28’de gösterilen şebekeye enerji satışı kurgusu ile sistem tasarımı yapılabilir. Burada çift yönlü sayaç ile sistemde üretilen enerji fazlası şebeke ile mahsuplaştırılır. Elektrik tüketimi üretimden az ise açığa çıkan elektrik enerji fazlası şebekeye, elektrik enerji tüketimi üretimden fazla ise şebekeden siteye elektrik enerji girişi çift yönlü sayaç ile alınır. Böylelikle ay içerisinde şebekeden alınan ve şebekeye verilen enerji mahsuplaştırılır. Şebekeden alınan elektrik enerjisi fazla ise fazla miktar kadar fatura enerji dağıtım şirketi (EDŞ) tarafından siteye çıkarılır. Aksi takdirde sitenin elektrik enerji üretimi fazla ise şebeke ile mahsuplaştırılanın fazlası kadar EDŞ (Enerji dağıtım şirketi) ile yapılan sözleşmede yer alan site iban numarasına EDŞ tarafından bedel yatırılması gerekir. Böylelikle paket tipi kojenerasyon modülü ile tam yük koşullarında maksimum verim sağlanır.



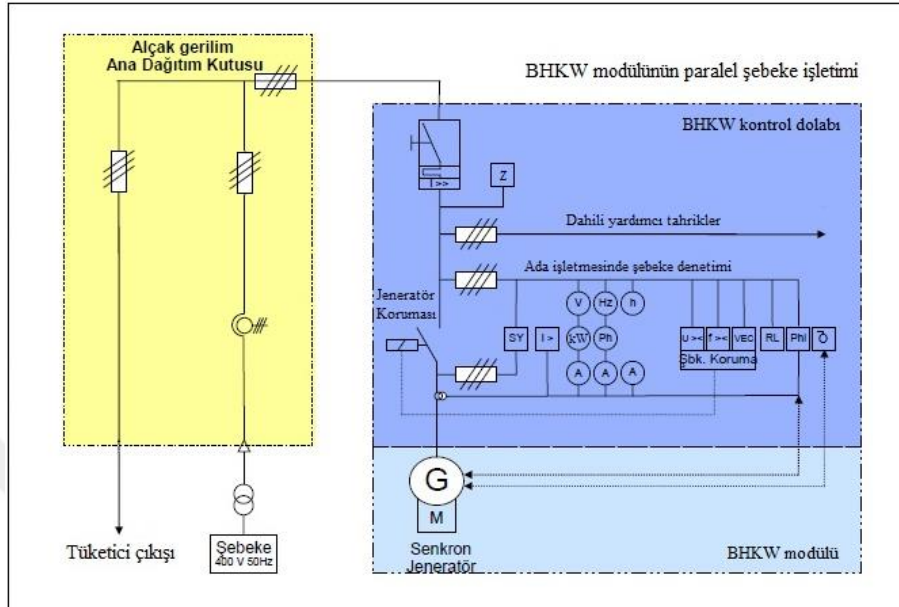
Şekil 27. PTKM ile üretilen elektriğin şebekeye çıkmadığı senaryo



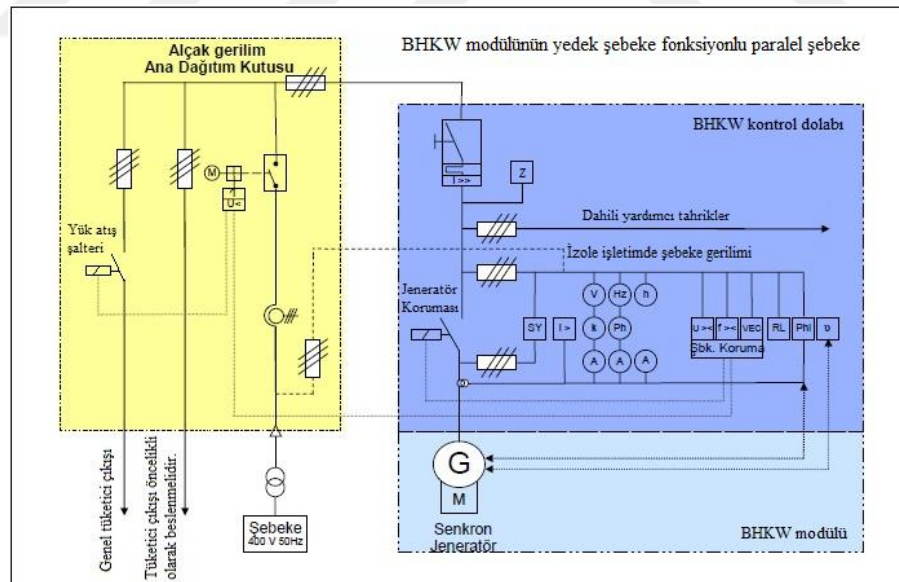
Şekil 28. PTKM ile üretilen elektriğin şebeke ile mahsuplaştığı senaryo

PTKM uygulamasında sitede ortak mahal besleme uygulamasının veriminin düşük olması ve enerji dengesizlikleri nedeni ile modülün uzun süre uyku moduna geçeceğinden sistem senaryosu konut bazlı oluşturuldu. Yani üretilen elektrik enerjisi ön ödemeli sayaçlar yardımı ile (sayaç yazılımlı) daire içlerine verilerek tüketim



























dengelessnessi minimuma indirilmiştir. Şekil 30’da gösterildiği gibi motorlu güç şalteri yardımıyla çift kontrol, çift kilit mekanizmalı yapı kurgulanarak PTKM’de üretilen enerji şebeke enerjisi ile senkron olacak şekilde ana baraya iletilmiş olup olası elektrik kazalarının önüne geçilmiştir.



Şekil 29. PTKM ile paralel şebeke işletimi (Anonim, 2012a)



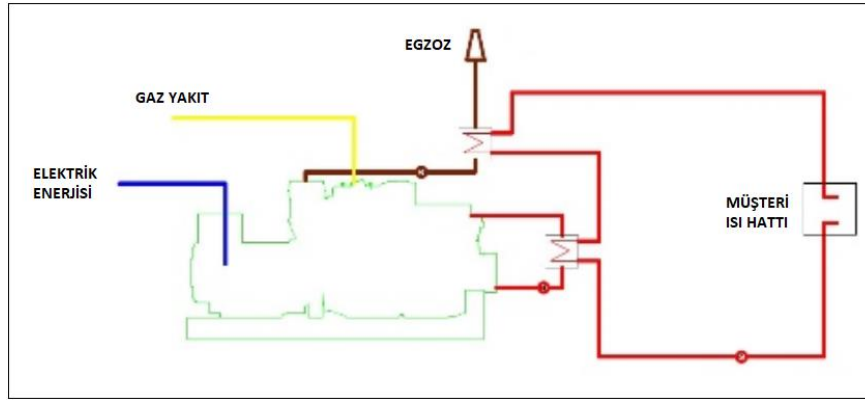
Şekil 30. PTKM ile yedek şebeke fonksiyonlu paralel şebeke (Anonim, 2012a)

LEJANT							
	Akım ölçer		Geri dönüş gücü denetleyicisi		Motor tahrikli jeneratör		Termomanyetik tetikleyicili motorlu güç şalteri
	Gerilim ölçer		Güç faktörü regülasyonu				
	Güç ölçer		Jeneratör sargı sıcaklığı		Şebeke beslemesi		Termomanyetik tetikleyicili, manuel çalıştırılan güç şalteri
	Frekans ölçer		kWh sayacı				
	İşletim saati sayacı		Şebeke koruması den. Aşırı düşük gerilim, frek. Vektör atlaması		Şalter veya Anahtar örn. yük atış şalteri örn. jeneratör şalteri		Akım dönüştürücü
	Güç faktörü göstergesi		Senkronizasyon				
	Aşırı akım tetikleyici		Sigorta 3 fazlı				

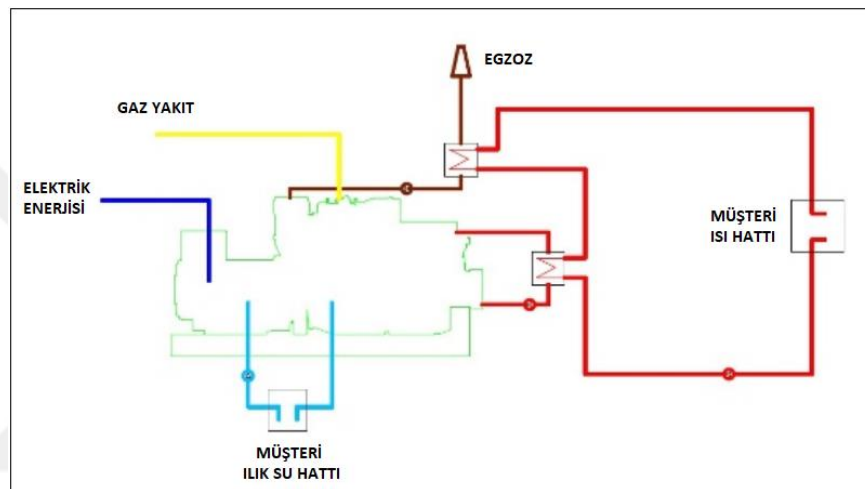
3.7.2. Termal Enerji Geri Kazanımı

Mikro kojenerasyon ünitesinde gaz motorunun ceketinde çalışma esnasında ısı oluşur. Bu ısı motorun çalışma performansını olumsuz etkiler. Bundan dolayı ceket üzerinde oluşan atık ısının uzaklaştırılabilmesi için soğutma suyu dolaştırılır. Ceket üzerinden toplanan atık ısı ile ceket soğutma suyunun ısısı artar. Ceket soğutma suyunun tekrar motor ceketinde dolaşabilmesi için plakalı eşanjör aracılığı ile bu ısıyı 80-90 °C'lik sıcak su üretimi için kullanır. Plakalı eşanjör aracılığı ile soğuyan su 3 yollu vana yardımıyla cekete veya soğutulmak üzere radyatöre iletilir. 70-80 °C'e soğuyan su cekete gönderilir. Böylece tekrar soğuyan ceket suyu dolaşımına devam eder. Bu dolaşım motor çalıştıkça tekrar ederek sıcak su üretilir. Bunlara ek olarak motorda yanma sonucu oluşan 400-600°C'deki yüksek sıcaklığa sahip egzoz gazından ısı geri kazanımı eşanjör yardımıyla gerçekleşir. Mikro kojenerasyon sisteminde atık ısının 1/3 egzoz gazı sıcaklığından, 2/3 ise motor ceket soğutma suyundan geri kazanılır. Ayrıca motor yağının soğutulması esnasında elde edilen yaklaşık 40 °C'lik ılık su geri kazanımı da mevcuttur. İntercooler olarak bilinen bu hattan elde edilen ılık su havuz ısıtması, musluk suyu ısıtması gibi düşük sıcaklık ihtiyacı olan noktalarda tüketime sunulur (Beştaş, 2018).

Şekil 31'de motor ceket soğutma suyundan elde edilen ısı ile egzoz sıcaklığından geri kazılan termal enerjinin müşteri hattına iletimi şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 32'de ise Şekil 31'e ek olarak motor yağ soğutmasından elde edilen ılık su hattı (intercooler) sisteme eklenmiştir. Kurulumu gerçekleştiren yapıda intercooler devresi kullanılarak ılık su kazanımı da sağlanmıştır.



Şekil 31. Ceket suyu sıcaklığı ve egzoz ısı geri kazanımı



Şekil 32. İntercooler ısı geri kazanım devreli termal kazanım

3.8. Sistemin Termodinamik Analizi

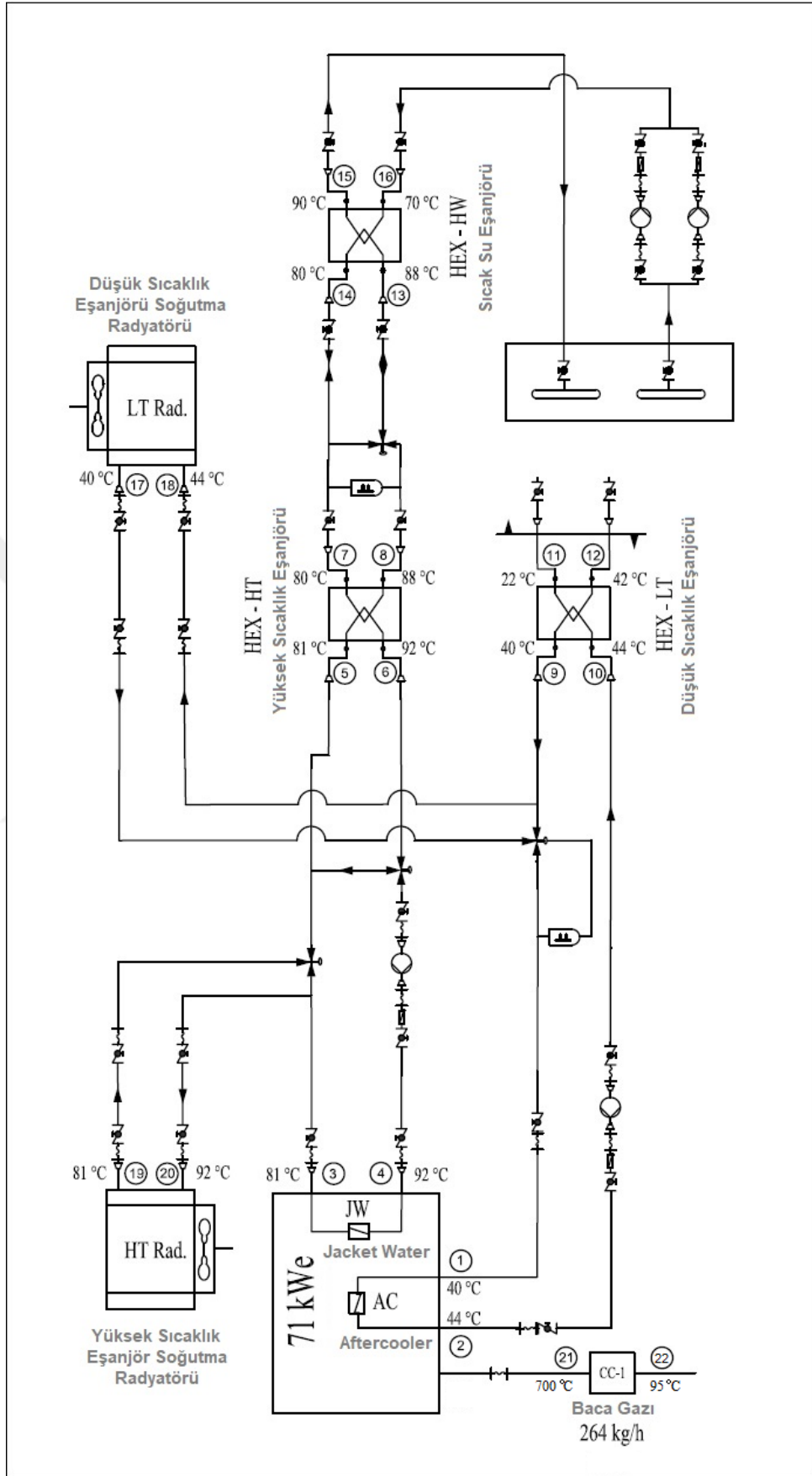
Şekil 33'te PTKM'ye ilişkin sistemin enstrüman diyagramı verilmiştir. Bu diyagram üzerinde 22 nokta üzerinde analiz yapılarak sistemin ikinci yasa verimi çıkarılmış (Beştaş, 2018).

Sistem Enstrüman diyagramında yer alan aftercooler devresi 1 ve 2 nolu akım yollarına göstermektedir. 1 nolu akım yolunun 40 °C olduğu ve motor yağı üzerindeki ısıyı bünyesine alarak 2 nolu akım yolundan 44 °C olarak çıkar. Bu 2 nolu akım yolu 10 nolu düşük sıcaklık eşanjörünün girişine bağlanarak eşanjör çıkışında yani 9 nolu akım yolunda 40 °C olarak ısınıp bırakarak geri döner. Bu aftercooler döngüsü devam ederken düşük sıcaklık eşanjöründen almış olduğu ısı ile 12 nolu akım yolu noktasının sıcaklığı 22 °C'den 42 °C'ye yükselir. Bu kazanılan ılık su sosyal donatıda yer alan havuz beslemesine iletilir.

3 nolu akım yolu jacket water girişi olup 81 °C iken 4 nolu çıkıştan 92 °C'ye yükselerek blok ısısını toplar. 4 nolu akım yolu yüksek sıcaklık eşanjörünün 6 ve 5 nolu bacaklarından geçerek ısısını yüksek sıcaklık eşanjörünün 7 ve 8 nolu bacaklarına iletilir. 7 nolu bacaktan 80 °C olarak giren sıcak su 88 °C olarak 8 nolu bacaktan çıkar. Böylece toplanan ısı sıcak su eşanjörü aracılığı ile merkezi ısıtma sistemin takviye sağlar. Sıcak su eşanjörü girişi 70 °C iken bu değer 90 °C olarak 16 nolu bacaktan çıkar.

Baca gazı egzoz sıcaklığı etiket değeri olarak 400 – 600 °C olup tespit edilen sıcaklık 700 °C'dir. Egzoz çıkış sıcaklığı etiket değeri <120 °C küçüktür. Sistem analizörlerinden elde edilen değer 95 °C' dir.





Şekil 33. PTKM enstrüman diyagramı

Akım yollarına ilişkin Şekil 33'te numaralandırmalar yapılmış ve bu numaralara ilişkin termodinamik veriler Tablo 11'de yer almaktadır. Sistem enstrüman diyagramında yer alan 20 akım yoluna ilişkin sıcaklık değerlerinin değişkenliği her akım yolu noktasına ait entalpi ve entropi değerinin değişkenliğine neden olmaktadır. Bu sıcaklık, entalpi ve entropi değerlerinin değişkenliği akım yolu noktalarının ekserji değerinin oluşumuna neden olur. Baca gazına ait giriş çıkış akım yolu ekserjisi bölüm sonunda irdelenerek tabloya dâhil edilecektir. Böylece ekserji yıkımı ve sistem ekipmanlarının 2. yasa verimi ortaya çıkacaktır (Beştaş, 2018).

Tablo 11. PTKM' ü akım yolları termofiziksel özellikleri

AKIM YOLU NO	T(°C)	T(K)	P(kPa)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
1	40	313,15	1000	168,4	0,572
2	44	317,15	1000	185,1	0,625
3	81	354,15	1000	339,9	1,087
4	92	365,15	1000	386,1	1,215
5	81	354,15	1000	339,9	1,087
6	92	365,15	1000	386,1	1,215
7	80	353,15	1000	335,7	1,075
8	88	361,15	1000	369,3	1,169
9	40	313,15	1000	168,4	0,572
10	44	317,15	1000	185,1	0,625
11	22	295,15	1000	93,1	0,324
12	42	315,15	1000	176,7	0,599
13	88	361,15	1000	369,3	1,169
14	80	353,15	1000	335,7	1,075
15	90	363,15	1000	377,7	1,192
16	70	343,15	1000	293,8	0,954
17	40	313,15	1000	168,4	0,572
18	44	317,15	1000	185,1	0,625
19	81	354,15	1000	339,9	1,087
20	92	365,15	1000	386,1	1,215

3.8.1. Aftercooler (Son Soğutucu) Termodinamik Analizi

3.8.1.1. Aftercooler akım yolu debi hesabı

Motor soğutmasında Aftercooler (AC) kullanılmıştır. Aftercooler bir ısı değiştirici olarak çalışmaktadır. 5 kW kapasiteye sahip olan bu soğutucuda giriş / çıkış debisi denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \dot{m}_g * h_g - \dot{m}_ç * h_ç \quad (2)$$

$$Q = \dot{m}_2 * h_2 - \dot{m}_1 * h_1$$

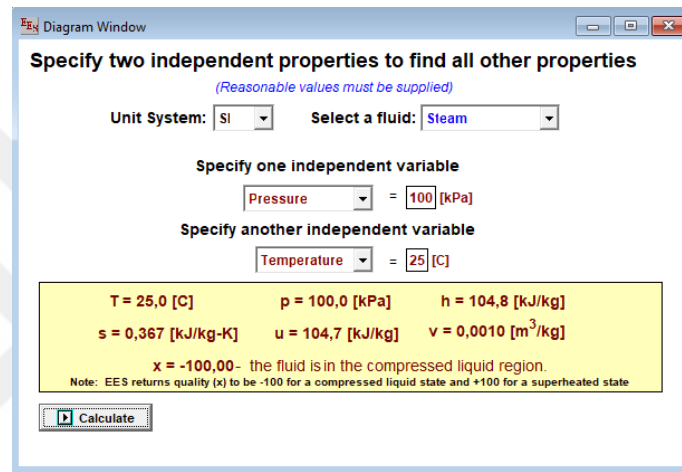
$$Q = \dot{m}_1 * (h_2 - h_1)$$

$$5kW * 3600 = \dot{m}_1 * (185,1 - 168,4)$$

$$18.000 = \dot{m}_1 * 16,7$$

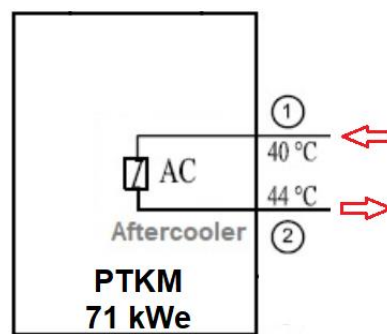
$$\dot{m}_1 = 1077,844 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$



Şekil 34. EES ile çevre koşullarına ait entalpi ve entropi değerleri

3.8.1.2. Aftercooler giriş/çıkış akım yolu ekserjileri



Şekil 35. Aftercooler sistem entrümanı

1 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Giriş Suyu) ($T=40^{\circ}\text{C}$);

40°C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 1 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 1 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES

programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 3 ve denklem 4 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_1 = (h_1 - h_0) - T_0 * (s_1 - s_0)$$

(3)

$$\mathcal{Q}_1 = (168,4 - 104,89) - 298,15 * (0,572 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_1 = 2,5085 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_1 = \dot{m}_1 * \mathcal{Q}_1$$

(4)

$$\dot{E}_1 = 1077,844 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,5085 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_1 = 2703,771 \text{ kJ/h}$$

2 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Çıkış Suyu) (T=44°C);

44 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 2 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 2 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 5 ve denklem 6 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_2 = (h_2 - h_0) - T_0 * (s_2 - s_0)$$

(5)

$$\mathcal{Q}_2 = (185,1 - 104,89) - 298,15 * (0,625 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_2 = 3,4065 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_2 = \dot{m}_2 * \mathcal{Q}_2$$

(6)

$$\dot{E}_2 = 1077,844 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 3,4065 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_2 = 3671,675 \text{ kJ/h}$$

3.8.1.3. Aftercooler ekserji yıkım hesabı

Aftercooler ünitesindeki ekserji yıkımı giriş çıkış akım yolu ekserjilerinin farkı ile elde edilir. Bu, denklem 7 yardımı ile hesaplanır. Üniteye ait giriş/çıkış akım yolu termodinamik özellikler Tablo 12’de yer almaktadır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c - \dot{E}_Y$$

(7)

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 - \dot{E}_{Y_{AfterCooler}}$$

$$2703,771 \text{ kJ/h} = 3671,675 \text{ kJ/h} - \dot{E}_{Y_{AfterCooler}}$$

$$\dot{E}_{Y_{AfterCooler}} = 967,904 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y_{AfterCooler}} = 0,2688 \text{ kW}$$

Tablo 12. After cooler giriş/çıkış akımlarının termofiziksel değerleri

AKIM YOLU NO	1	2
T (°C)	40	44
T (K)	313,15	317,15
h (kJ/kg)	168,40	185,10
s (kJ/kgK)	0,572	0,625
ṁ (kg/h)	1077,844	1077,844
Q̇ (kJ/kg)	2,508	3,406
Ē (kJ/h)	2703,771	3671,675

3.8.1.4. Aftercooler ünitesinde ikinci yasa verim hesabı

Aftercooler ünitesindeki ikinci yasa verim hesabı denklem 8 yardımı ile bulunur.

$$\eta_{\square_{AfterCooler}} = 1 - \left(\frac{\text{Kaybedilen Güç}}{\text{Sisteme Verilen Güç}} \right)$$

(8)

$$\eta_{\square_{AfterCooler}} = 1 - \left(\frac{0,2688 \text{ kW}}{5 \text{ kW}} \right)$$

$$\eta_{\square_{AfterCooler}} = \%94,6$$

3.8.2. Jacket Water Termodinamik Analizi

3.8.2.1. Jacket water akım yolu debi hesabı

Motor soğutmasında Jacket Water (JW) kullanılmıştır. Jacket Water bir ısı değiştirici olarak çalışmaktadır. 77 kW kapasiteye sahip olan bu soğutucuda giriş / çıkış debisi denklem 9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \dot{m}_g * h_g - \dot{m}_c * h_c \quad (9)$$

$$Q = \dot{m}_4 * h_4 - \dot{m}_3 * h_3$$

$$Q = \dot{m}_3 * (h_4 - h_3)$$

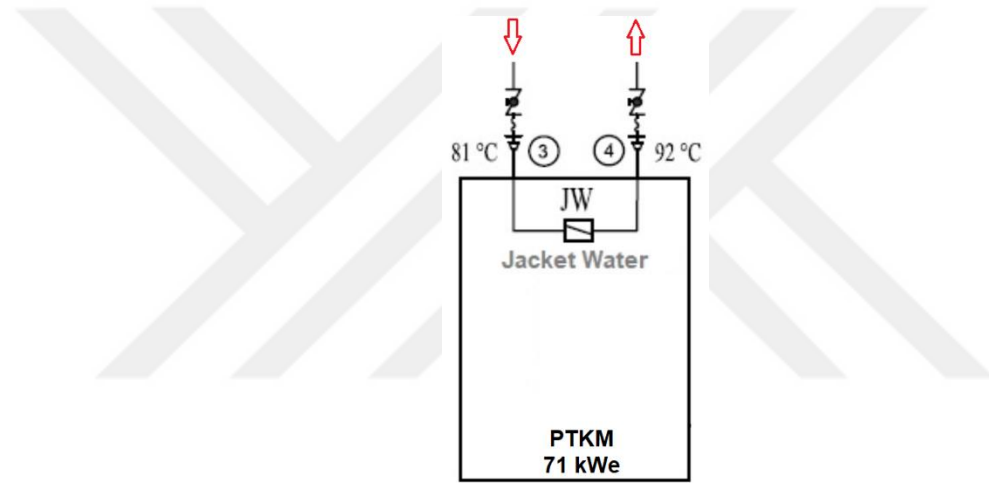
$$77kW * 3600 = \dot{m}_3 * (386,1 - 339,9)$$

$$277.200 = \dot{m}_3 * 46,2$$

$$\dot{m}_3 = 6000 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

3.8.2.2. Jacket water giriş/çıkış akım yolu ekserjileri



Şekil 36. Jacket Water sistem entrümanı

3 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Giriş Suyu) ($T=81^{\circ}\text{C}$);

81°C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 3 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 3 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 10 ve denklem 11 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_3 = (h_3 - h_0) - T_0 * (s_3 - s_0)$$

$$(10)$$

$$\mathcal{Q}_3 = (339,9 - 104,89) - 298,15 * (1,087 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_3 = 20,47 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_3 = \dot{m}_3 * \mathcal{Q}_3$$

$$(11)$$

$$\dot{E}_3 = 6000 \frac{kg}{h} * 20,47 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{E}_3 = 122.820 \text{ kJ/h}$$

4 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Çıkış Suyu) (T=92°C);

92 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 4 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 4 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 12 ve denklem 13 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_4 = (h_4 - h_0) - T_0 * (s_4 - s_0) \quad (12)$$

$$\mathcal{Q}_4 = (386,1 - 104,89) - 298,15 * (1,215 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_4 = 28,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_4 = \dot{m}_4 * \mathcal{Q}_4 \quad (13)$$

$$\dot{E}_4 = 6000 \frac{kg}{h} * 28,5 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{E}_4 = 171.000 \text{ kJ/h}$$

3.8.2.3. Jacket water (Gömlek Soğutma Suyu) ekserji yıkım hesabı

Jacket Water ünitesindeki ekserji yıkımı, giriş çıkış akım yolu ekserjilerinin farkı ile elde edilir. Bu, denklem 14 yardımı ile hesaplanır. Üniteye ait giriş/çıkış akım yolu termodinamik özellikler Tablo 13’te yer almaktadır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç - \dot{E}_Y \quad (14)$$

$$\dot{E}_3 = \dot{E}_4 - \dot{E}_{Y \text{ JacketWater}}$$

$$122.820 \text{ kJ/h} = 171.000 \text{ kJ/h} - \dot{E}_{Y \text{ JacketWater}}$$

$$\dot{E}_{Y \text{ JacketWater}} = 48.180 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y \text{ JacketWater}} = 13,383 \text{ kW}$$

Tablo 13. Jacket Water giriş/çıkış akımlarının termofiziksel değerleri

AKIM YOLU NO	3	4
T (°C)	81	92

T (K)	354,15	365,15
h (kJ/kg)	339,90	386,10
s (kJ/kgK)	1,09	1,22
\dot{m} (kg/h)	6.000,00	6.000,00
Q (kJ/kg)	20,47	28,50
\dot{E} (kJ/h)	122.820,00	171.000,00

3.8.2.4. Jacket water ünitesinde ikinci yasa verim hesabı

Jacket water ünitesindeki ikinci yasa verim hesabı denklem 15 yardımı ile bulunur.

$$\eta_{\square JacketWater} = 1 - \left(\frac{\text{Kaybedilen Güç}}{\text{Sisteme Verilen Güç}} \right) \quad (15)$$

$$\eta_{\square JacketWater} = 1 - \left(\frac{13,383 \text{ kW}}{77 \text{ kW}} \right)$$

$$\eta_{\square JacketWater} = \%82,6$$

3.8.3. LT (Düşük Sıcaklık) Eşanjörün Termodinamik Analizi

3.8.3.1. LT (Düşük Sıcaklık) eşanjörü akım yolu debi hesabı

Sitenin ihtiyacı olan 41 °C kullanım suyunun temini için düşük sıcaklık eşanjörü kullanılmaktadır. Sistemin işletme basıncı 10 bar olup 5 kW kapasiteli eşanjör bulunmaktadır. 5 kW kapasiteye sahip olan bu eşanjörün giriş / çıkış akım debisi denklem 16 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \dot{m}_g * h_g - \dot{m}_ç * h_ç \quad (16)$$

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

$$Q = \dot{m}_9 * (h_{10} - h_9)$$

$$5 \text{ kW} * 3600 = \dot{m}_9 * (185,1 - 168,4)$$

$$18.000 = \dot{m}_9 * 16,7$$

$$\dot{m}_9 = 1077,844 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10}$$

$$Q = \dot{m}_{12} * h_{12} - \dot{m}_{11} * h_{11}$$

$$Q = \dot{m}_{11} * (h_{12} - h_{11})$$

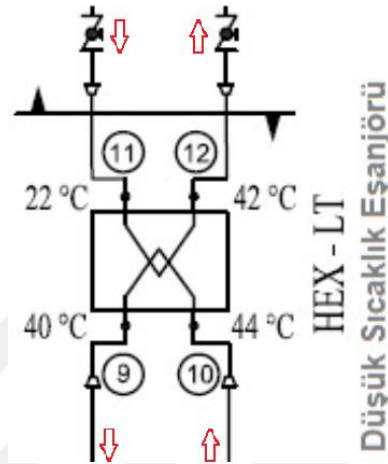
$$5kW * 3600 = \dot{m}_{11} * (176,7 - 93,1)$$

$$18.000 = \dot{m}_{11} * 83,6$$

$$\dot{m}_{11} = 215,311 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12}$$

3.8.3.2. LT (Düşük Sıcaklık) eşanjör giriş/çıkış akım yolu ekserjileri



Şekil 37. Düşük sıcaklık eşanjörü sistem enstrümanı

10 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Giriş Suyu) (T=44°C);

44 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 10 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 10 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 17 ve denklem 18 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_{10} = (h_{10} - h_0) - T_0 * (s_{10} - s_0)$$

(17)

$$\mathcal{Q}_{10} = (185,1 - 104,89) - 298,15 * (0,625 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_{10} = 3,41 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{10} = \dot{m}_{10} * \mathcal{Q}_{10}$$

(18)

$$\dot{E}_{10} = 1077,844 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 3,41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{10} = 3675,44 \text{ kJ/h}$$

9 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Çıkış Suyu) (T=40°C);

40 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 9 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 9 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 19 ve denklem 20 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_9 = (h_9 - h_0) - T_0 * (s_9 - s_0)$$

(19)

$$\mathcal{Q}_9 = (168,4 - 104,89) - 298,15 * (0,572 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_9 = 2,51 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_9 = \dot{m}_9 * \mathcal{Q}_9$$

(20)

$$\dot{E}_9 = 1077,844 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,51 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_9 = 2705,38 \text{ kJ/h}$$

11 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Kullanım Tarafı Giriş Suyu) (T=22°C);

22 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 11 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 11 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 21 ve denklem 22 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_{11} = (h_{11} - h_0) - T_0 * (s_{11} - s_0)$$

(21)

$$\mathcal{Q}_{11} = (93,1 - 104,89) - 298,15 * (0,324 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_{11} = 1,149 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{11} = \dot{m}_{11} * \mathcal{Q}_{11}$$

(22)

$$\dot{E}_{11} = 215,311 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1,149 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{11} = 247,392 \text{ kJ/h}$$

12 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Kullanım Tarafı Çıkış Suyu) (T=42°C);

42 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 12 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 12 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES

programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 23 ve denklem 24 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_{12} = (h_{12} - h_0) - T_0 * (s_{12} - s_0)$$

(23)

$$\mathcal{Q}_{12} = (176,7 - 104,89) - 298,15 * (0,599 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_{12} = 2,759 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{12} = \dot{m}_{12} * \mathcal{Q}_{12}$$

(24)

$$\dot{E}_{12} = 215,311 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,759 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{12} = 594,043 \text{ kJ/h}$$

3.8.3.3. LT (Düşük Sıcaklık) eşanjör ekserji yıkım hesabı

LT (Düşük Sıcaklık) Eşanjör ünitesindeki ekserji yıkımı, giriş çıkış akım yolu ekserjilerinin farkı ile elde edilir. Bu, denklem 25 yardımı ile hesaplanır. Üniteye ait giriş/çıkış akım yolu termodinamik özellikler Tablo 14’te yer almaktadır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç - \dot{E}_Y$$

(25)

$$\dot{E}_{10} + \dot{E}_{11} = \dot{E}_9 + \dot{E}_{12} + \dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör}}}$$

$$3675,44 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 247,392 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2705,38 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 594,043 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör}}}$$

$$\dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör}}} = 623,409 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör}}} = 0,173 \text{ kW}$$

Tablo 14. LT Eşanjörü giriş/çıkış akımlarının termodinamik değerleri

AKIM YOLU NO	9	10	11	12
T (°C)	40	44	22	42
T (K)	313,15	317,15	295,15	315,15
h (kJ/kg)	168,4	185,1	93,1	176,7
s (kJ/kgK)	0,572	0,625	0,324	0,599
\dot{m} (kg/h)	1077,844	1077,844	215,311	215,311
\mathcal{Q} (kJ/kg)	2,51	3,41	1,149	2,759

\dot{E} (kJ/h)	2705,38	3675,44	247,392	594,043
------------------	---------	---------	---------	---------

3.8.3.4. LT eşanjör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı

LT Eşanjör ünitesindeki ikinci yasa verim hesabı denklem 26 yardımı ile bulunur.

$$\eta_{LT \text{ Eşanjör}} = 1 - \left(\frac{\text{Kaybedilen Güç}}{\text{Sisteme Verilen Güç}} \right)$$

(26)

$$\eta_{LT \text{ Eşanjör}} = 1 - \left(\frac{0,173 \text{ kW}}{5 \text{ kW}} \right)$$

$$\eta_{LT \text{ Eşanjör}} = \%96,5$$

3.8.4. HT (Yüksek Sıcaklık) Eşanjörün Termodinamik Analizi

3.8.4.1. HT (Yüksek Sıcaklık) eşanjörü akım yolu debi hesabı

Yüksek sıcaklık eşanjörü 92-81°C aralığında çalışarak bina ısıtmasına kış aylarında destek sağlar. Yüksek sıcaklık eşanjörü sıcak su eşanjörünü besleyerek sitenin ihtiyacı olan 70-90 °C sıcak su teminini sağlar. Kış aylarında yüksek sıcaklık (HT) eşanjörü çıkışındaki su yine bu eşanjörün çıkışındaki kontrol edilebilen üç yollu vana ile sıcak su (HW) eşanjörüne yönlendirilir. Sistemin işletme basıncı 10 bar olup 115 kW kapasiteli eşanjör bulunmaktadır. 115 kW kapasiteye sahip olan bu eşanjörün giriş / çıkış akım debisi denklem 27 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \dot{m}_g * h_g - \dot{m}_ç * h_ç$$

(27)

$$Q = \dot{m}_6 * h_6 - \dot{m}_5 * h_5$$

$$Q = \dot{m}_5 * (h_6 - h_5)$$

$$115 \text{ kW} * 3600 = \dot{m}_5 * (386,1 - 339,9)$$

$$414.000 = \dot{m}_5 * 46,2$$

$$\dot{m}_5 = 8961,03 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$$

$$Q = \dot{m}_8 * h_8 - \dot{m}_7 * h_7$$

$$Q = \dot{m}_7 * (h_8 - h_7)$$

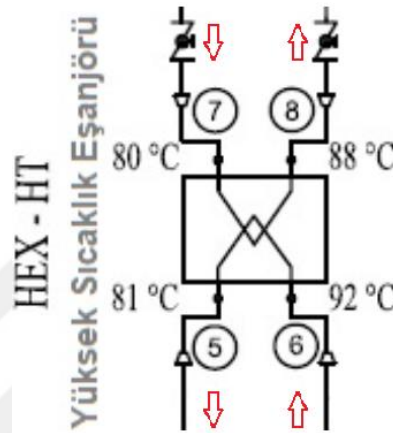
$$115kW * 3600 = \dot{m}_7 * (369,3 - 335,7)$$

$$414.000 = \dot{m}_7 * 33,6$$

$$\dot{m}_7 = 12.321,42 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8$$

3.8.4.2. HT (Yüksek Sıcaklık) eşanjör giriş/çıkış akım yolu ekserjileri



Şekil 38. Yüksek sıcaklık eşanjörü sistem enstrümanı.

6 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Giriş Suyu) (T=92°C);

92 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 6 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 6 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 28 ve denklem 29 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\omega_6 = (h_6 - h_0) - T_0 * (s_6 - s_0)$$

(28)

$$\omega_6 = (386,1 - 104,89) - 298,15 * (1,22 - 0,3674)$$

$$\omega_6 = 27,01 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_6 = \dot{m}_6 * \omega_6$$

(29)

$$\dot{E}_6 = 8961,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 27,01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_6 = 242.037,42 \text{ kJ/h}$$

5 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Çıkış Suyu) (T=81°C);

81 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 5 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 5 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 30 ve denklem 31 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$Q_5 = (h_5 - h_0) - T_0 * (s_5 - s_0)$$

(30)

$$Q_5 = (339,9 - 104,89) - 298,15 * (1,09 - 0,3674)$$

$$Q_5 = 19,57 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_5 = \dot{m}_5 * Q_5$$

(31)

$$\dot{E}_5 = 8961,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 19,57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_5 = 175.367,35 \text{ kJ/h}$$

7 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Kullanım Tarafı Giriş Suyu) (T=80°C);

80 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 7 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 7 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 32 ve denklem 33 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$Q_7 = (h_7 - h_0) - T_0 * (s_7 - s_0)$$

(32)

$$Q_7 = (335,7 - 104,89) - 298,15 * (1,08 - 0,3674)$$

$$Q_7 = 18,35 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_7 = \dot{m}_7 * Q_7$$

(33)

$$\dot{E}_7 = 12.321,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 18,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_7 = 226.098,05 \text{ kJ/h}$$

8 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Kullanım Tarafı Çıkış Suyu) (T=88°C);

88 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 8 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 8 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 34 ve denklem 35 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_8 = (h_8 - h_0) - T_0 * (s_8 - s_0) \quad (34)$$

$$\mathcal{Q}_8 = (369,3 - 104,89) - 298,15 * (1,17 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_8 = 25,12 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_8 = \dot{m}_8 * \mathcal{Q}_8 \quad (35)$$

$$\dot{E}_8 = 12.321,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 25,12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_8 = 309.514,07 \text{ kJ/h}$$

3.8.4.3. HT (Yüksek Sıcaklık) eşanjör ekserji yıkım hesabı

HT (Yüksek Sıcaklık) Eşanjör ünitesindeki ekserji yıkımı, giriş çıkış akım yolu ekserjilerinin farkı ile elde edilir. Bu, denklem 36 yardımı ile hesaplanır. Üniteye ait giriş/çıkış akım yolu termodinamik özellikler Tablo 15’te yer almaktadır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç - \dot{E}_Y$$

$$(36)$$

$$\dot{E}_6 + \dot{E}_8 = \dot{E}_5 + \dot{E}_7 + \dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör}}}$$

$$242.037,42 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 309.514,07 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 175.367,35 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 226.098,05 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör}}}$$

$$\dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör}}} = 150.086,09 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör}}} = 41,69 \text{ kW}$$

Tablo 15. HT Eşanjörü giriş/çıkış akımlarının termodinamik özellikleri

AKIM YOLU NO	5	6	7	8
T (°C)	81	92	80	88
T (K)	354,15	365,15	353,15	361,15
h (kJ/kg)	339,90	386,10	335,70	369,30
s (kJ/kgK)	1,09	1,22	1,08	1,17
\dot{m} (kg/h)	8.961,03	8.961,03	12.321,42	12.321,42
\mathcal{Q} (kJ/kg)	19,57	27,01	18,35	25,12

\dot{E} (kJ/h)	175.367,35	242.037,42	226.098,05	309.514,07
------------------	------------	------------	------------	------------

3.8.4.4. HT eşanjör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı

HT Eşanjör ünitesindeki ikinci yasa verim hesabı denklem 37 yardımı ile bulunur.

$$\eta_{HT Eşanjör} = 1 - \left(\frac{\text{Kaybedilen Güç}}{\text{Sisteme Verilen Güç}} \right)$$

(37)

$$\eta_{HT Eşanjör} = 1 - \left(\frac{41,69 \text{ kW}}{115 \text{ kW}} \right)$$

$$\eta_{HT Eşanjör} = \%63,7$$

3.8.5. HW (Sıcak Su) Eşanjörün Termodinamik Analizi

3.8.5.1. HW (Sıcak Su) eşanjörü akım yolu debi hesabı

Sıcak su eşanjörü 70-90°C aralığında çalışarak bina ısıtmasına kış aylarında destek sağlar. Yüksek sıcaklık eşanjörü sıcak su eşanjörünü besleyerek sitenin ihtiyacı olan 70-90°C sıcak suyu temin eder. Temin edilen sıcak su bina yerden ısıtma sistemine pompalanarak bina ısıtılmasına destek olur. İşletme basıncı 10 bar olan sistemden 90°C sıcak su temini için 115 kW kapasiteye sahip plakalı eşanjör görev yapar. 115 kW kapasiteye sahip olan bu eşanjörün giriş / çıkış akım debisi denklem 38 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \dot{m}_g * h_g - \dot{m}_ç * h_ç$$

(38)

$$Q = \dot{m}_{13} * h_{13} - \dot{m}_{14} * h_{14}$$

$$Q = \dot{m}_{13} * (h_{13} - h_{14})$$

$$115 \text{ kW} * 3600 = \dot{m}_{13} * (369,3 - 335,7)$$

$$414.000 = \dot{m}_{13} * 33,6$$

$$\dot{m}_{13} = 12.321,42 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14}$$

$$Q = \dot{m}_{15} * h_{15} - \dot{m}_{16} * h_{16}$$

$$Q = \dot{m}_{15} * (h_{15} - h_{16})$$

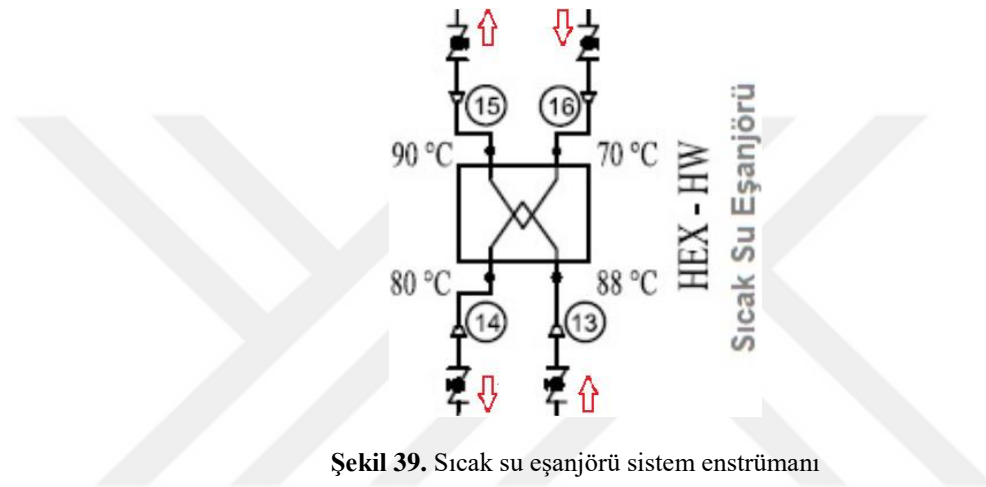
$$115kW * 3600 = \dot{m}_{15} * (377,7 - 293,8)$$

$$414.000 = \dot{m}_{15} * 83,9$$

$$\dot{m}_{15} = 4.934,44 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16}$$

3.8.5.2. HW (Sıcak Su) eşanjör giriş/çıkış akım yolu ekserjileri



Şekil 39. Sıcak su eşanjörü sistem enstrümanı

14 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Çıkış Suyu) (T=80°C);

80 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 14 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 14 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 39 ve denklem 40 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_{14} = (h_{14} - h_0) - T_0 * (s_{14} - s_0) \quad (39)$$

$$\mathcal{Q}_{14} = (335,7 - 104,89) - 298,15 * (1,075 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_{14} = 19,84 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{14} = \dot{m}_{14} * \mathcal{Q}_{14} \quad (40)$$

$$\dot{E}_{14} = 12.321,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 19,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{14} = 244.456,97 \text{ kJ/h}$$

13 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Giriş Suyu) (T=88°C);

88 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 13 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 13 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 41 ve denklem 42 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$Q_{13} = (h_{13} - h_0) - T_0 * (s_{13} - s_0) \quad (41)$$

$$Q_{13} = (369,3 - 104,89) - 298,15 * (1,169 - 0,3674)$$

$$Q_{13} = 25,42 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{13} = \dot{m}_{13} * Q_{13} \quad (42)$$

$$\dot{E}_{13} = 12.321,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 25,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{13} = 313.210,49 \text{ kJ/h}$$

16 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Kullanım Tarafı Giriş Suyu) (T=70°C);

70 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 16 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 16 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 43 ve denklem 44 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$Q_{16} = (h_{16} - h_0) - T_0 * (s_{16} - s_0)$$

$$(43)$$

$$Q_{16} = (293,8 - 104,89) - 298,15 * (0,954 - 0,3674)$$

$$Q_{16} = 14,02 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{16} = \dot{m}_{16} * Q_{16}$$

$$(44)$$

$$\dot{E}_{16} = 4.934,44 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 14,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{16} = 69.180,84 \text{ kJ/h}$$

15 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Kullanım Tarafı Çıkış Suyu) (T=90°C);

90 °C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 15 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 15 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 45 ve denklem 46 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$Q_{15} = (h_{15} - h_0) - T_0 * (s_{15} - s_0)$$

(45)

$$Q_{15} = (377,7 - 104,89) - 298,15 * (1,192 - 0,3674)$$

$$Q_{15} = 26,96 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{15} = \dot{m}_{15} * Q_{15}$$

(46)

$$\dot{E}_{15} = 4.934,44 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 26,96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{15} = 133.032,50 \text{ kJ/h}$$

3.8.5.3. HW (Sıcak Su) eşanjör ekserji yıkım hesabı

HW (Sıcak Su) Eşanjör ünitesindeki ekserji yıkımı, giriş çıkış akım yolu ekserjilerinin farkı ile elde edilir. Bu, denklem 47 yardımı ile hesaplanır. Üniteye ait giriş/çıkış akım yolu termodinamik özellikler Tablo 16'da yer almaktadır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç - \dot{E}_Y$$

(47)

$$\dot{E}_{16} + \dot{E}_{13} = \dot{E}_{14} + \dot{E}_{15} + \dot{E}_{Y_{HW \text{ Eşanjör}}}$$

$$69.180,84 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 313.210,49 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 244.456,97 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 133.032,5 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \dot{E}_{Y_{HW \text{ Eşanjör}}}$$

$$\dot{E}_{Y_{HW \text{ Eşanjör}}} = 4.901,86 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y_{HW \text{ Eşanjör}}} = 1,36 \text{ kW}$$

Tablo 16. HW Eşanjörü giriş/çıkış akımlarının termodinamik değerleri

AKIM YOLU NO	13	14	15	16
T (°C)	88	80	90	70
T (K)	361,15	353,15	363,15	343,15
h (kJ/kg)	369,30	335,70	377,70	293,80
s (kJ/kgK)	1,17	1,08	1,19	0,95
\dot{m} (kg/h)	12.321,42	12.321,42	4.934,44	4.934,44
Q (kJ/kg)	25,42	19,84	26,96	14,02
\dot{E} (kJ/h)	313.210,49	244.456,97	133.032,50	69.180,84

3.8.5.4. HW eşanjör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı

HW Eşanjör ünitesindeki ikinci yasa verim hesabı denklem 48 yardımı ile bulunur.

$$\eta_{\text{HW Eşanjör}} = 1 - \left(\frac{\text{Kaybedilen Güç}}{\text{Sisteme Verilen Güç}} \right)$$

(48)

$$\eta_{\text{HW Eşanjör}} = 1 - \left(\frac{1,36 \text{ kW}}{115 \text{ kW}} \right)$$

$$\eta_{\text{HW Eşanjör}} = \%98,8$$

3.8.6. LT (Düşük Sıcaklık) Eşanjörü Soğutma Radyatörünün Termodinamik Analizi

3.8.6.1. LT (Düşük Sıcaklık) eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin akım yolu debi hesabı

LT eşanjörü soğutma radyatörü 44-40°C aralığında çalışır. Bu radyatör aftercooler (son soğutucu) ünitesinin ısısını LT eşanjörünün yetersiz olduğu durumda 44 °C sıcaklığından 40 °C'ye düşürür. 5 kW kapasiteye sahip olan bu radyatörün (hava soğutma grubu) giriş / çıkış akım debisi denklem 49 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \dot{m}_g * h_g - \dot{m}_ç * h_ç$$

(49)

$$Q = \dot{m}_{18} * h_{18} - \dot{m}_{17} * h_{17}$$

$$Q = \dot{m}_{17} * (h_{18} - h_{17})$$

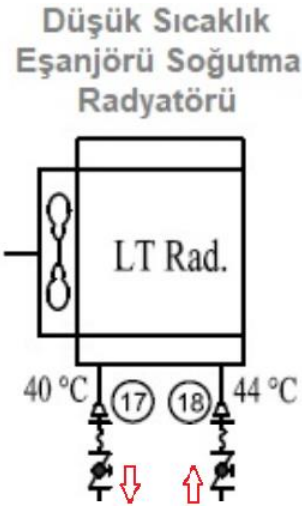
$$5 \text{ kW} * 3600 = \dot{m}_{17} * (185,1 - 168,4)$$

$$18.000 = \dot{m}_{17} * 16,7$$

$$\dot{m}_{17} = 1.077,84 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{18}$$

3.8.6.2. LT (Düşük Sıcaklık) eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin giriş/çıkış akım yolu ekserjileri



Şekil 40. Düşük sıcaklık eşanjör soğutma radyatörü sistem enstrümanı

17 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Radyatör Çıkış Suyu) ($T=40^{\circ}\text{C}$);

40°C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 17 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 17 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 50 ve denklem 51 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_{17} = (h_{17} - h_0) - T_0 * (s_{17} - s_0)$$

(50)

$$\mathcal{Q}_{17} = (168,4 - 104,89) - 298,15 * (0,572 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_{17} = 2,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{17} = \dot{m}_{17} * \mathcal{Q}_{17}$$

(51)

$$\dot{E}_{17} = 1.077,84 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{17} = 2.694,6 \text{ kJ/h}$$

18 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Radyatör Giriş Suyu) ($T=44^{\circ}\text{C}$);

44°C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 18 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 18 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 52 ve denklem 53 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_{18} = (h_{18} - h_0) - T_0 * (s_{18} - s_0)$$

(52)

$$\mathcal{Q}_{18} = (185,1 - 104,89) - 298,15 * (0,625 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_{18} = 3,41 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{18} = \dot{m}_{18} * \mathcal{Q}_{18}$$

(53)

$$\dot{E}_{18} = 1.077,84 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 3,41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{18} = 3.675,43 \text{ kJ/h}$$

3.8.6.3. LT (Düşük Sıcaklık) eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin ekserji yıkım hesabı

LT (Düşük Sıcaklık) Eşanjörü Soğutma Radyatör ünitesindeki ekserji yıkımı, giriş çıkış akım yolu ekserjilerinin farkı ile elde edilir. Bu, denklem 54 yardımı ile hesaplanır. Üniteye ait giriş/çıkış akım yolu termodinamik özellikler Tablo 17'de yer almaktadır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç - \dot{E}_Y$$

(54)

$$\dot{E}_{18} = \dot{E}_{17} + \dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör S.R.}}}$$

$$3.675,43 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2.694,6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör S.R.}}}$$

$$\dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör S.R.}}} = 980,83 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y_{LT \text{ Eşanjör S.R.}}} = 0,272 \text{ kW}$$

Tablo 17. LT Eşanjör Soğutma Radyatörü giriş/çıkış akım termodinamik değerler

AKIM YOLU NO	17	18
T (°C)	40	44
T (K)	313,15	317,15
h (kJ/kg)	168,40	185,10
s (kJ/kgK)	0,57	0,63
\dot{m} (kg/h)	1.077,84	1.077,84
\mathcal{Q} (kJ/kg)	2,50	3,41
\dot{E} (kJ/h)	2.694,60	3.675,43

3.8.6.4. LT (Düşük Sıcaklık) eşanjör soğutma radyatör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı

LT (Düşük Sıcaklık) Eşanjör Soğutma Radyatör ünitesinde, ikinci yasa verim hesabı denklem 55 yardımı ile bulunur.

$$\eta_{\square_{LT} Eşanjör S.R.} = 1 - \left(\frac{\text{Kaybedilen Güç}}{\text{Sisteme Verilen Güç}} \right)$$

(55)

$$\eta_{\square_{LT} Eşanjör S.R.} = 1 - \left(\frac{0,272 \text{ kW}}{5 \text{ kW}} \right)$$

$$\eta_{\square_{LT} Eşanjör S.R.} = \%94,5$$

3.8.7. HT (Yüksek Sıcaklık) Eşanjörü Soğutma Radyatörünün Termodinamik Analizi

3.8.7.1. HT (Yüksek Sıcaklık) eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin akım yolu debi hesabı

HT eşanjörü soğutma radyatörü 92-81°C aralığında çalışır. Bu radyatör jacket water (ceket suyu) ünitesinin ısısını, HT eşanjörünün yetersiz olduğu durumda 92°C sıcaklığından 81°C' ye düşürür. 115 kW kapasiteye sahip olan bu radyatörün (hava soğutma grubu) giriş / çıkış akım debisi denklem 56 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \dot{m}_g * h_g - \dot{m}_ç * h_ç$$

(56)

$$Q = \dot{m}_{20} * h_{20} - \dot{m}_{19} * h_{19}$$

$$Q = \dot{m}_{19} * (h_{20} - h_{19})$$

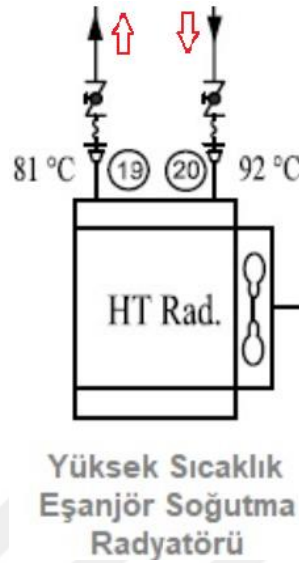
$$115 \text{ kW} * 3600 = \dot{m}_{19} * (386,1 - 339,9)$$

$$414.000 = \dot{m}_{19} * 46,2$$

$$\dot{m}_{19} = 8.961,03 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{19} = \dot{m}_{20}$$

3.8.7.2. HT (Yüksek Sıcaklık) eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin giriş/çıkış akım yolu ekserjileri



Şekil 41. Yüksek sıcaklık eşanjör soğutma radyatörü sistem enstrümanı

19 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Radyatör Çıkış Suyu) ($T=81^{\circ}\text{C}$);

81°C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 19 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 19 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 57 ve denklem 58 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$Q_{19} = (h_{19} - h_0) - T_0 * (s_{19} - s_0)$$

(57)

$$Q_{19} = (339,90 - 104,89) - 298,15 * (1,09 - 0,3674)$$

$$Q_{19} = 19,57 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{19} = \dot{m}_{19} * Q_{19}$$

(58)

$$\dot{E}_{19} = 8.961,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 19,57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{19} = 175.367,35 \text{ kJ/h}$$

20 Nolu Akım Yolu Ekserjisi (Radyatör Giriş Suyu) ($T=92^{\circ}\text{C}$);

92°C sıcaklık ve 10 bar basınç değeri 20 nolu akım yolu noktasının entropi ve entalpi değerini değiştirir. 20 nolu akım yoluna ait entalpi ve entropi değerleri EES

programı kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 11’de yer alan bu değerler denklem 59 ve denklem 60 yardımı ile ekserji eldesinde kullanılmıştır.

$$\mathcal{Q}_{20} = (h_{20} - h_0) - T_0 * (s_{20} - s_0)$$

(59)

$$\mathcal{Q}_{20} = (386,1 - 104,89) - 298,15 * (1,22 - 0,3674)$$

$$\mathcal{Q}_{20} = 27,01 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{20} = \dot{m}_{20} * \mathcal{Q}_{20}$$

(60)

$$\dot{E}_{20} = 8.961,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 27,01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{20} = 242.037,42 \text{ kJ/h}$$

3.8.7.3. HT (Yüksek Sıcaklık) eşanjörü soğutma radyatörüne ilişkin ekserji yıkım hesabı

HT (Yüksek Sıcaklık) Eşanjörü Soğutma Radyatör ünitesindeki ekserji yıkımı, giriş çıkış akım yolu ekserjilerinin farkı ile elde edilir. Bu, denklem 61 yardımı ile hesaplanır. Üniteye ait giriş/çıkış akım yolu termodinamik özellikler Tablo 18’de yer almaktadır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç - \dot{E}_Y$$

(61)

$$\dot{E}_{20} = \dot{E}_{19} + \dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör S.R.}}}$$

$$242.037,42 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 175.367,35 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör S.R.}}}$$

$$\dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör S.R.}}} = 66.670,07 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y_{HT \text{ Eşanjör S.R.}}} = 18,519 \text{ kW}$$

Tablo 18. HT Eşanjör Soğutma Radyatörü giriş/çıkış akım termodinamik değerler

AKIM YOLU NO	19	20
T (°C)	81	92
T (K)	354,15	365,15

h (kJ/kg)	339,90	386,10
s (kJ/kgK)	1,09	1,22
ṁ (kg/h)	8.961,03	8.961,03
Q̇ (kJ/kg)	19,57	27,01
Ė̇ (kJ/h)	175.367,35	242.037,42

3.8.7.4. HT (Yüksek Sıcaklık) eşanjör soğutma radyatör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı

HT (Yüksek Sıcaklık) Eşanjör Soğutma Radyatör ünitesinde ikinci yasa verim hesabı denklem 62 yardımı ile bulunur.

$$\eta_{HT \text{ Eşanjör S.R.}} = 1 - \left(\frac{\text{Kaybedilen Güç}}{\text{Sisteme Verilen Güç}} \right) \quad (62)$$

$$\eta_{HT \text{ Eşanjör S.R.}} = 1 - \left(\frac{18,519 \text{ kW}}{115 \text{ kW}} \right)$$

$$\eta_{HT \text{ Eşanjör S.R.}} = \%83,8$$

3.8.8. Baca Gazı Termodinamik Analiz

3.8.8.1. Baca gazı ekserji analizi

21 Nolu Akım Yolu (Baca Gazı Giriş) Ekserjisi ($T=700^{\circ}\text{C}$);

Bacadan salınımı gerçekleşen CO_2 , H_2O , N_2 ve O_2 gazlarına ait ayrı ayrı ekserji hesabı yapılarak toplam baca gazı ekserji hesabı oluşturulur. 700°C bacada salınımı gerçekleşen gazların molar oranları ile sıcaklığa bağlı değişen entalpi ve entropi değerleri Tablo 19'da yer almaktadır.

Tablo 19. CO_2 , H_2O , N_2 ve O_2 gazlarının sıcaklığa bağlı termodinamik değerleri

Madde	\bar{h}_f kJ/kmol	$\bar{h}_{973\text{K}}$ kJ/kmol	$\bar{h}_{368\text{K}}$ kJ/kmol	$\bar{h}_{298\text{K}}$ kJ/kmol	$\bar{s}_{973\text{K}}$ kJ/kmol K	$\bar{s}_{368\text{K}}$ kJ/kmol K	$\bar{s}_{298\text{K}}$ kJ/kmol K	X_i
CO₂	-393,52	41.307,0	12.068	9.364	267,731	221,824	213,685	0,0807
H₂O	-241,82	34.775,4	12.263,2	9.904	231,473	195,825	188,720	0,1605
N₂		29.248,5	10.704,6	8.669	227,164	197,634	191,502	0,7265
O₂		30.449,1	10.749,4	8.682	242,518	211,259	205,033	0,0323

298 K sıcaklığında bacadan salınımı gerçekleşen gazların (CO₂, H₂O, N₂ ve O₂) entalpi ve entropisi denklem 63 ve denklem 64 ile hesaplanmıştır.

$$\bar{h}_{298K} = (X_{CO_2} * \bar{h}_{298K_{CO_2}} + X_{H_2O} * \bar{h}_{298K_{H_2O}} + X_{N_2} * \bar{h}_{298K_{N_2}} + X_{O_2} * \bar{h}_{298K_{O_2}})$$

(63)

$$\bar{h}_{298K} = [(0,0807 * 9364) + (0,1605 * 9904) + (0,7265 * 8669) + (0,0323 * 8682)]$$

$$\bar{h}_{298K} = 8.923,72 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_{298K} = \bar{s}_i - R_u * \ln\left(\frac{X_i * P}{P_0}\right)$$

(64)

$$\frac{P}{P_0} = 1$$

$$\bar{s}_{CO_2} = \bar{s}_{298K_{CO_2}} - R_u * \ln X_{CO_2} = 213,685 - 8,314 * \ln 0,0807 = 234,611 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = \bar{s}_{298K_{H_2O}} - R_u * \ln X_{H_2O} = 188,720 - 8,314 * \ln 0,1605 = 203,930 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{N_2} = \bar{s}_{298K_{N_2}} - R_u * \ln X_{N_2} = 191,502 - 8,314 * \ln 0,7265 = 194,158 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{O_2} = \bar{s}_{298K_{O_2}} - R_u * \ln X_{O_2} = 205,033 - 8,314 * \ln 0,0323 = 233,572 \text{ kJ/kmolK}$$

298 K sıcaklığında baca gazlarının molar ağılıkları ile entropi değerlerinin denklem 65 yardımı ile işlenmesi 298 K sıcaklığındaki baca gazı entropisinin elde edilmesini sağlamıştır.

$$\bar{s}_{298K} = (X_{CO_2} * \bar{s}_{CO_2} + X_{H_2O} * \bar{s}_{H_2O} + X_{N_2} * \bar{s}_{N_2} + X_{O_2} * \bar{s}_{O_2})$$

(65)

$$\bar{s}_{298K} = (0,0807 * 234,611 + 0,1605 * 203,930 + 0,7265 * 194,158 + 0,0323 * 233,572)$$

$$\bar{s}_{298K} = 200,264 \text{ kJ/kmolK}$$

973 K sıcaklığında bacadan salınımı gerçekleşen gazların (CO₂, H₂O, N₂ ve O₂) entalpi ve entropisi, denklem 66 ve denklem 67 ile hesaplanmıştır.

$$\bar{h}_{973K} = (X_{CO_2} * \bar{h}_{973K_{CO_2}} + X_{H_2O} * \bar{h}_{973K_{H_2O}} + X_{N_2} * \bar{h}_{973K_{N_2}} + X_{O_2} * \bar{h}_{973K_{O_2}})$$

(66)

$$\bar{h}_{973K} = [(0,0807 \cdot 41307,0) + (0,1605 \cdot 34775,4) + (0,7265 \cdot 29248,5) + (0,0323 \cdot 30449,1)]$$

$$\bar{h}_{973K} = 31.147,467 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_i = \bar{s}_{973K} - R_u \cdot \ln\left(\frac{X_i \cdot P}{P_0}\right)$$

(67)

$$\frac{P}{P_0} = 1$$

$$\bar{s}_{CO_2} = \bar{s}_{973K_{CO_2}} - R_u \cdot \ln X_{CO_2} = 267,731 - 8,314 \cdot \ln 0,0807 = 288,657 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = \bar{s}_{973K_{H_2O}} - R_u \cdot \ln X_{H_2O} = 231,473 - 8,314 \cdot \ln 0,1605 = 246,683 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{N_2} = \bar{s}_{973K_{N_2}} - R_u \cdot \ln X_{N_2} = 227,164 - 8,314 \cdot \ln 0,7265 = 229,820 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{O_2} = \bar{s}_{973K_{O_2}} - R_u \cdot \ln X_{O_2} = 242,518 - 8,314 \cdot \ln 0,0323 = 271,057 \text{ kJ/kmolK}$$

973 K sıcaklığında baca gazlarının molar ağılıkları ile entropi değerlerinin denklem 68 yardımı ile işlenmesi 973 K sıcaklığındaki baca gazı entropisinin elde edilmesini sağlamıştır.

$$\bar{s}_{973K} = (X_{CO_2} \cdot \bar{s}_{CO_2} + X_{H_2O} \cdot \bar{s}_{H_2O} + X_{N_2} \cdot \bar{s}_{N_2} + X_{O_2} \cdot \bar{s}_{O_2})$$

(68)

$$\bar{s}_{973K} = (0,0807 \cdot 288,657 + 0,1605 \cdot 246,683 + 0,7265 \cdot 229,820 + 0,0323 \cdot 271,057)$$

$$\bar{s}_{973K} = 238,606 \text{ kJ/kmolK}$$

Bacadan çıkan gazlara ilişkin ekserji hesabı denklem 69 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\bar{\Psi}_{21} = (\bar{h}_{973K} - \bar{h}_{298K}) - T_{298K} \cdot (\bar{s}_{973K} - \bar{s}_{298K})$$

(69)

$$\bar{\Psi}_{21} = (31.147,467 - 8.923,72) \text{ kJ/kmol} - 298 \cdot (238,606 - 200,264) \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{\Psi}_{21} = 10.797,831 \text{ kJ/kmol}$$

Bacadan çıkan 1 birim gazın 0,0807 (%8.07)'si CO₂

0,1605 (%16.05)'i H₂O

0,7265 (%72.65)'i N₂

0,0323 (%03.23)'ü O₂'dir.

Bacadan salınımı gerçekleşen gazların molar kütleleri sırasıyla; $\text{CO}_2 = 44,01$ g/mol, $\text{H}_2\text{O} = 18,01528$ g/mol, $\text{N}_2 = 28,0134$ g/mol, $\text{O}_2 = 31,9988$ g/mol'dür. Denklem 70'teki gibi gazların molar kütleleri ile birim gazda bulunma yüzdelerini çarparsak bir molün kütlelerini elde ederiz.

$$\text{Bir molün kütlesi} = [(0,0807 * 44,01 \text{ g/mol}) + (0,1605 * 18,01528 \text{ g/mol}) + (0,7265 * 28,0134 \text{ g/mol}) + (0,0323 * 31,9988 \text{ g/mol})]$$

(70)

$$\text{Bir molün kütlesi} = 27,8283 \text{ g/mol}$$

Her bir molün kütlesi yaklaşık olarak 27,83 g/mol olarak alınırsa ekserji denklem 71 ve denklem 72 yardımı ile hesaplanır.

(71)

$$\bar{q}_{21} = \frac{10.797,831 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}}{27,83 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$$

$$\bar{q}_{21} = 387,992 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{21} = \dot{m}_{21} * \bar{q}_{21} = 264 \text{ kg/h} * 387,992 \text{ kJ/kg} = 102.429,8 \text{ kJ/h}$$

(72)

$$\dot{E}_{21} = 28,45 \text{ kW}$$

22 Nolu Akım Yolu (Baca Gazı Çıkış) Ekserjisi ($T=95^\circ\text{C}$);

Bacadan salınımı gerçekleşen CO_2 , H_2O , N_2 ve O_2 gazlarına ait ayrı ayrı ekserji hesabı yapılarak toplam baca gazı çıkış ekserji hesabı oluşturulur. 95°C olarak bacadan salınımı gerçekleşen gazların molar oranları ile sıcaklığa bağlı olarak değişen entalpi ve entropi değerleri Tablo 19'da yer almaktadır.

368 K sıcaklığında bacadan salınımı gerçekleşen gazların (CO_2 , H_2O , N_2 ve O_2) entalpi ve entropisi, denklem 73 ve denklem 74 ile hesaplanmıştır.

$$\bar{h}_{368\text{K}} = (X_{\text{CO}_2} * \bar{h}_{368\text{KCO}_2} + X_{\text{H}_2\text{O}} * \bar{h}_{368\text{KH}_2\text{O}} + X_{\text{N}_2} * \bar{h}_{368\text{KN}_2} + X_{\text{O}_2} * \bar{h}_{368\text{KO}_2}) \quad (73)$$

$$\bar{h}_{368\text{K}} = [(0,0807 * 12.068) + (0,1605 * 12.263,2) + (0,7265 * 10.704,6) + (0,0323 * 10.749,4)]$$

$$\bar{h}_{368K} = 11.066,228 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_i = \bar{s}_{973K} - R_u * \ln\left(\frac{X_i * P}{P_0}\right)$$

(74)

$$\frac{P}{P_0} = 1$$

$$\bar{s}_{CO_2} = \bar{s}_{368K_{CO_2}} - R_u * \ln X_{CO_2}$$

$$\bar{s}_{CO_2} = 221,824 - 8,314 * \ln 0,0807$$

$$\bar{s}_{CO_2} = 242,750 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = \bar{s}_{368K_{H_2O}} - R_u * \ln X_{H_2O}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = 195,825 - 8,314 * \ln 0,1605$$

$$\bar{s}_{H_2O} = 211,035 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{N_2} = \bar{s}_{368K_{N_2}} - R_u * \ln X_{N_2}$$

$$\bar{s}_{N_2} = 197,634 - 8,314 * \ln 0,7265$$

$$\bar{s}_{N_2} = 200,290 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{O_2} = \bar{s}_{368K_{O_2}} - R_u * \ln X_{O_2}$$

$$\bar{s}_{O_2} = 211,259 - 8,314 * \ln 0,0323$$

$$\bar{s}_{O_2} = 239,798 \text{ kJ/kmolK}$$

368 K sıcaklığında baca gazlarının molar ağılıkları ile entropi değerlerinin denklem 75 yardımı ile işlenmesi 368 K sıcaklığındaki baca gazı entropisinin elde edilmesini sağlamıştır.

$$\bar{s}_{368K} = (X_{CO_2} * \bar{s}_{CO_2} + X_{H_2O} * \bar{s}_{H_2O} + X_{N_2} * \bar{s}_{N_2} + X_{O_2} * \bar{s}_{O_2}) \quad (75)$$

$$\bar{s}_{368K} = (0,0807 * 242,750 + 0,1605 * 211,035 + 0,7265 * 200,290 + 0,0323 * 239,798)$$

$$\bar{s}_{368K} = 206,717 \text{ kJ/kmolK}$$

Bacadan çıkan gaz 95 °C olup ekserji hesabı denklem 76 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\bar{\Psi}_{21} = (\bar{h}_{368K} - \bar{h}_{298K}) - T_{298K} * (\bar{s}_{368K} - \bar{s}_{298K})$$

(76)

$$\bar{\Psi}_{21} = (11.066,228 - 8.923,72) \text{ kJ/kmol} - 298 * (206,717 - 200,264) \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{\Psi}_{21} = 219,514 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının molar kütlesi 27,8283 g/ mol' dür.

Her bir molun kütlesi yaklaşık olarak 27,83 g/mol olarak alınırsa ekserji denklem 77 ve denklem 78 yardımı ile hesaplanır.

$$\bar{Q}_{21} = \frac{219,514 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}}{27,83 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \quad (77)$$

$$\bar{Q}_{21} = 7,88 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{21} = \dot{m}_{21} * \bar{Q}_{21} = 264 \text{ kg/h} * 7,88 \text{ kJ/kg} = 2.080,32 \text{ kJ/h} \quad (78)$$

$$\dot{E}_{21} = 0,577 \text{ kW}$$

3.8.8.2. Baca gazı ekserji yıkım hesabı

Baca gazı ekserji yıkımı, baca girişi ve çıkışındaki egzoz gazlarının ekserji farkı ile elde edilir. Bu, denklem 79 yardımı ile hesaplanır.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c - \dot{E}_Y$$

(79)

$$\dot{E}_{20} = \dot{E}_{21} + \dot{E}_{Y_{Egzoz}}$$

$$102.429,8 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2.080,32 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + \dot{E}_{Y_{Egzoz}}$$

$$\dot{E}_{Y_{Egzoz}} = 100.349,48 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{E}_{Y_{Egzoz}} = 27,87 \text{ kW}$$

Tablo 20. Akım yolu noktalarının sıcaklık, entalpi, entropi, debi ve ekserjileri

AKIM YOLU NO	T(°C)	T(K)	P(kPa)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	m (kg/h)	Q (kJ/kg)	E (kJ/h)
1	40	313,15	1000	168,4	0,572	1.077,84	2,51	2.703,77
2	44	317,15	1000	185,1	0,625	1.077,84	3,41	3.671,68
3	81	354,15	1000	339,9	1,087	6.000,00	20,47	122.820,00
4	92	365,15	1000	386,1	1,215	6.000,00	28,5	171.000,00
5	81	354,15	1000	339,9	1,087	8.961,03	19,57	175.367,35
6	92	365,15	1000	386,1	1,215	8.961,03	27,01	242.037,42
7	80	353,15	1000	335,7	1,075	12.321,42	18,35	226.098,05
8	88	361,15	1000	369,3	1,169	12.321,42	25,12	309.514,07
9	40	313,15	1000	168,4	0,572	1.077,84	2,51	2.705,38
10	44	317,15	1000	185,1	0,625	1.077,84	3,41	3.675,44
11	22	295,15	1000	93,1	0,324	215,31	1,15	247,39
12	42	315,15	1000	176,7	0,599	215,31	2,76	594,04
13	88	361,15	1000	369,3	1,169	12.321,42	25,42	313.210,49
14	80	353,15	1000	335,7	1,075	12.321,42	19,84	244.456,97
15	90	363,15	1000	377,7	1,192	4.934,44	26,96	133.032,50
16	70	343,15	1000	293,8	0,954	4.934,44	14,02	69.180,84
17	40	313,15	1000	168,4	0,572	1.077,84	2,5	2.694,60
18	44	317,15	1000	185,1	0,625	1.077,84	3,41	3.675,43
19	81	354,15	1000	339,9	1,087	8.961,03	19,57	175.367,35
20	92	365,15	1000	386,1	1,215	8.961,03	27,01	242.037,42
21	700	973,15		31147,4	238,6	264,00	387,99	102.429,80
22	95	368,15		11066,2	206,7	264,00	7,88	2.080,32

3.8.9. Mikro Kojenerasyon Ünitesine İlişkin Toplam Ekserji Yıkımı

Mikro kojenerasyon sisteminin ekserji yıkımı denklem 80 ile hesaplanır. Bu her ünitenin ekserji yıkımlarının toplamı demektir.

$$\sum \dot{E}_Y = \dot{E}_{Y_{AfterCooler}} + \dot{E}_{Y_{JacketWater}} + \dot{E}_{Y_{LT Eşanjör}} + \dot{E}_{Y_{HT Eşanjör}} + \dot{E}_{Y_{HW Eşanjör}} + \dot{E}_{Y_{LT Eşanjör S.R.}} + \dot{E}_{Y_{HT Eşanjör S.R.}} + \dot{E}_{Y_{Egzoz}}$$

(80)

$$\dot{E}_{Y_{AfterCooler}} = 0,2688 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{Y_{JacketWater}} = 13,383 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{Y_{LT Eşanjör}} = 0,173 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{Y_{HT Eşanjör}} = 41,69 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{Y_{HW Eşanjör}} = 1,36 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{Y_{LT Eşanjör S.R.}} = 0,272 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{Y_{HT Eşanjör S.R.}} = 18,519 \text{ Kw}$$

$$\dot{E}_{Y_{Egzoz}} = 27,87 \text{ kW}$$

$$\Sigma \dot{E}_Y = 0,2688 + 13,383 + 0,173 + 41,69 + 1,36 + 0,272 + 18,519 + 27,87$$

$$\Sigma \dot{E}_Y = 103,53 \text{ kW}$$

3.8.10. Sistemin Birinci Yasa Verimi

Doğal gaz girişi ile elektriksel enerji ve termal enerji kazanımı gerçekleşir. Bu çevrimde az da olsa kayıp enerji ortaya çıkar. Giren enerji ile çıkan enerji arasındaki oran sistemin toplam verimini verir.

Toplam giren enerji denklem 81 yardımıyla elde edilir,

$$\dot{Q}_{giren_N} = \dot{m}_{giren_N} \times LHV \quad (81)$$

LHV: Doğal gazın düşük kalorifik değeri

$$\dot{Q}_{giren_N} = 21,56 \text{ m}^3/h \times 9,77 \text{ kWh/m}^3$$

$$\dot{Q}_{giren_N} = 210,64 \text{ kW}$$

Çıkan toplam termal enerji denklem 82 yardımıyla elde edilir,

$$\dot{Q}_{çikan_termal} = \dot{m}_{çikan_termal} \times LHV \quad (82)$$

$$\dot{Q}_{çikan_termal} = 12,15 \text{ m}^3/h \times 9,77 \text{ kWh/m}^3$$

$$\dot{Q}_{çikan_termal} = 118,70 \text{ kW}$$

Çıkan toplam elektrik enerjisi denklem 83 yardımıyla elde edilir,

$$W_{çikan_el} = \sqrt{3} * U_{çıkış} * I_{çıkış} * \cos\phi \quad (83)$$

$$W_{çikan_el} = \sqrt{3} * 380 * 92 * 1$$

$$W_{çikan_el} = 60,55 \text{ kW}$$

Toplam birinci yasa verimi elde edilen elektrik ve termal enerjilerin giren yakıt enerjisine oranı olarak tanımlanır. Bu denklem 84 yardımıyla elde edilir,

$$\eta_{I. \text{ yasa}} = \frac{(W_{çikan_el} + \dot{Q}_{çikan_termal})}{\dot{Q}_{giren_N}} \quad (84)$$

$$\eta_{I. \text{ yasa}} = \frac{(60,55 + 118,70)}{210,64}$$

$$\eta_{I. \text{ yasa}} = \%85,09$$

3.8.11. Sistemin İkinci Yasa Verimi

Gaz yakıtın ekserjisi denklem 85'teki gibi fiziksel ve kiyasal ekserjilerin toplamı olarak değerlendirilir. Fiziksel ekserji hesabında denklem 86 ve kimyasal ekserji hesabında denklem 87 kullanılır. Yani;

$$E_{X(yakıt)} = E_{X(fiz, yakıt)} + E_{X(kim, yakıt)} \quad (85)$$

$$E_{X(fiz, yakıt)} = C_{p, yakıt} \times \left[(T - T_0) - T_0 \times \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + R_u \times T_0 \times \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (86)$$

$$E_{X(kim, yakıt)} = \varphi \times H_{u, yakıt} \quad (87)$$

$H_{u, yakıt}$: Yakıtın alt ısı değeri

$C_{p, yakıt}$: 28,35 kJ/kcal-K

φ : 1,18 (Sabit)

T: 40 °C 313,16 K

T_0 : 25 °C 298,16 K

$$P/P_0 = 1$$

$$R_u = 8,314$$

Doğal gazın yoğunluğu 0,67 kg/m³ olarak alınmıştır.

$$E_{X(fiz, yakıt)} = C_{p, yakıt} \times \left[(T - T_0) - T_0 \times \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + R_u \times T_0 \times \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

$$E_{X(fiz, yakıt)} = 28,35 \times \left[(313,16 - 298,16) - 298,16 \times \ln\left(\frac{313,16}{298,16}\right) \right] + 8,314 \times 298,16 \times \ln(1)$$

$$E_{X(fiz, yakıt)} = 10,347 \text{ kJ/kmol}$$

Doğal gazın molar kütlesi 18 kg/kmol olup fiziksel yakıt ekserjisinin molar kütleyle oranı;

$$E_{X(fiz, yakıt)} = \frac{10,347 \text{ kJ/kmol}}{18 \text{ kg/kmol}}$$

$$E_{X(fiz, yakıt)} = 0,574 \text{ kJ/kg}$$

Saatlik tüketilen doğal gaz 21,56 m³/h' dir. Bu değer doğal gazın yoğunluğu yardımıyla;

$$21,56 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,67 \text{ kg}/\text{m}^3 = 14,445 \text{ kg}/\text{h}$$

$$\dot{E}_{X(\text{fiz, yakıt})} = \dot{m}_{21} * E_{X(\text{fiz, yakıt})}$$

$$\dot{E}_{X(\text{fiz, yakıt})} = 14,445 \text{ kg}/\text{h} * 0,57 \text{ kJ}/\text{kg}$$

$$\dot{E}_{X(\text{fiz, yakıt})} = 8,291 \text{ kJ}/\text{h}$$

$$\dot{E}_{X(\text{fiz, yakıt})} = 8,291 \text{ kJ}/\text{h} \times \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right)$$

$$\dot{E}_{X(\text{fiz, yakıt})} = 0,0023 \text{ kW}$$

Doğal gazın fiziksel ekserjisi çok küçük olup ihmal edilebilir. Ancak buradaki hesaplara dâhil edildi. Fiziksel ekserjinin yanında birde doğal gazın kimyasal ekserjisi vardır. Bu şu şekilde hesaplanır;

$$E_{X(\text{kim, yakıt})} = \varphi \times H_{u, \text{yakıt}}$$

$$E_{X(\text{kim, yakıt})} = 1,18 \times 8250 \text{ kcal}/\text{Nm}^3 \times 4,18 \text{ kJ}/\text{kcal}$$

$$E_{X(\text{kim, yakıt})} = 40692,3 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

$$\dot{E}_{X(\text{kim, yakıt})} = \dot{m}_{21} * E_{X(\text{fiz, yakıt})}$$

$$\dot{E}_{X(\text{kim, yakıt})} = 21,56 \text{ m}^3/\text{h} \times 40692,3 \text{ kJ}/\text{Nm}^3 \times \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right)$$

$$\dot{E}_{X(\text{kim, yakıt})} = 243,701 \text{ kW}$$

Yakıt olarak mikro kojenerasyonda kullanılan doğal gazın ekserjisi;

$$E_{X(\text{yakıt})} = E_{X(\text{fiz, yakıt})} + E_{X(\text{kim, yakıt})}$$

$$E_{X(\text{yakıt})} = 0,0023 + 243,701$$

$$E_{X(\text{yakıt})} = 243,7033 \text{ kW}$$

İkinci yasa verimi denklem 88 yardımıyla elde edilir.

$$\eta_{\text{II. yasa}} = \frac{\dot{E}_{X(\text{yakıt})} - \sum \dot{E}_Y}{\dot{E}_{X(\text{yakıt})}} \quad (88)$$

$$\eta_{\text{II. yasa}} = \frac{243,7033 - 103,53}{243,7033}$$

$$\eta_{\text{II. yasa}} = \%57,51$$

3.9. Ekonomik Analiz

Projelerin ekonomik açıdan incelenmesi ve değerlendirilmesi projelerin olumlu ve olumsuz etkilerinin karşılaştırılması amacıyla yapılır. Ekonomik değerlendirme yapılabilmesi için;

- Yatırım tutarı,
- Yatırımın ömrü,
- Yatırımın hurda değeri,
- İskonto oranı,
- Paranın zaman değerinin

bilinmesi gerekir (Anonim, 2012b).

Enerji üretim sistemlerinde atık ısı oluşuyorsa ve bu ısı da toplanarak yararlı ısı olarak kullanılabilirse sistemin yatırım kârlılığı maksimum seviyelerde demektir. Yatırımın yapılabilirliği amortisman süresi ve kârlılık ile direkt ilişkilidir. Amortisman süresinin minimum çıkması yatırımın yapılabilmesinin önünü açar.

Sistemdeki atık ısıdan yararlanabilmek için atık ısı sıcaklığı kullanılabilir olmalıdır. Sistemin üretmiş olduğu ısı ve elektrik enerjilerinin tüketim noktasına olan mesafesi, tüketim noktasının enerji talep miktarı, ihtiyaç duyulan enerji miktarının hangi zaman dilimlerinde olması gerektiği gibi birtakım etkenler paket tipi kojenerasyon modülünün verimini direkt etkiler. Mikro kojenerasyonda üretilen enerji mevsimlere göre değişkenlik göstermekte olup kış, ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde sisteme destek mahiyetinde iken yaz döneminde sistemin enerji üretimi tüketiciye yetebiliyor olmalıdır. Bu düşünce ile kurulan mikro kojenerasyonlar yüksek verimle çalışır.

Mikro kojenerasyon sisteminin ekonomik ve teknik analizi karmaşık olup elektrik üretim maliyetinin ısıl enerji üretim maliyetinden çok daha yüksek oluşu bu karmaşıklığın temel nedenidir. Ekonomik analiz, sistemin enerji verimini dikkate aldığı gibi şebeke elektriğinin birim fiyatı, doğal gaz (şebeke) birim fiyatı ve mikro kojenerasyon ünitesinde tüketilen yakıtın cinsi ve birim fiyatıyla direkt ilgilendir.

3.9.1. Fizibilite Çalışmasına Etki Eden Parametreler

Mikro kojenerasyon tesisinin kurulumu gerçekleştirilmeden önce hazırlık döneminde fizibilitenin doğru veriler üzerinden yapılması gerekmektedir. Fizibiliteye konu olan en önemli parametreler;

- Doğal gaz ve elektrik birim fiyatlarının değişken olması,
- Elektrik ve ısı enerjisi tüketim miktarlarının ay, gün ve saat olarak doğru tespiti,
- Bakım periyotlarının süresel kısalığından kaynaklı yüksek bedellerin oluşması,
- Modül ömrünün 50000 saat ile sınırlı olması,
- Yatırım masraflarında yer alması gerekmeyen ancak yerel EDŞ' nin (Enerji dağıtım şirketlerinin) bir takım altyapıya yönelik yaptırımları

fizibilitenin önemli kalemlerini oluşturmaktadır.

3.9.2. Statik (Paranın Zaman Değerini Dikkate Almayan) Yöntem

3.9.2.1. Karlılık Oranı

Bir yatırım önerisinin yıllık net karının ortaya konulan toplam sermayeye oranı karlılık oranını verir (Anonim, 2012b). Bu denklem 89 ile gerçekleştirilir.

$$\text{Karlılık Oranı} = \frac{\text{Yıllık Net Getiri}}{\text{Toplam Yatırım Tutarı}} \quad (89)$$

$$\text{Karlılık Oranı} = \frac{37.391,00 \$}{140.000,00 \$}$$

$$\text{Karlılık Oranı} = \%26,7$$

3.9.2.2. Geri Ödeme Süresi Yöntemi

Bir yatırımcı tarafından gerçekleştirilen yatırım maliyetinin yatırımdan elde edilen net kazanç ile birbirine eşitlendiği durum geri ödeme süresi olarak adlandırılır (Anonim, 2012b).

Projenin sağlayacağı net nakit girişi yıllar itibariyle sabitse geri ödeme süresi denklem 90 ile hesaplanır,

$$\text{GÖS} = \frac{\text{Toplam Yatırım}}{\text{Yıllık Fayda}} \quad (90)$$

$$\text{Yıllık Fayda} = \text{Yıllık Enerji Tasarrufu} - \text{Yıllık Bakım Gideri}$$

$$\text{Yıllık Fayda} = 39.708,00 \$ - 2.328,78 \$$$

$$\text{Yıllık Fayda} = 37.379,22 \$$$

$$GÖS = \frac{140.000,00 \$}{37.379,22 \$}$$

$$GÖS = 3,74 \text{ Yıl}$$

GÖS Yöntemi İle İlgili aşağıdakiler bilinmelidir;

- Yatırımın ekonomik ömrü ve hurda değerini dikkate almaz.
- Paranın zaman değerini dikkate almaz.
- Geri ödeme süresinden sonraki nakit girişlerini dikkate almaz.

3.9.3. Paranın Zaman Değerini Dikkate Alan Yöntemler

3.9.3.1. Bugünkü Değer Yöntemi

Paranın zaman değerini dikkate alan ve gelecekteki paranın değerini belli bir iskonto oranı ile bugüne indirgeyen bir yöntemdir. Tüm fayda ve masraflar bugünkü değere getirilir. Bugünkü değerde toplam fayda, bugünkü değerde toplam masraftan büyükse, proje kabul edilir (Anonim, 2012b). Bunun için denklem 91 kullanılır,

BD: Bugünkü Değer

$$\sum_{m=m+1}^t \frac{F_n}{(1+i)^n} > \sum_{n=0}^m \frac{M_n}{(1+i)^n} \quad (91)$$

Tablo 21. Ekonomik veriler

Yatırım bedeli	140.000,00 \$
Yıllık Enerji tasarrufu	39.708,00 \$
Sistem hurda değeri	69.914,5 \$
Yıllık bakım gideri	2.328,00 \$
i (İskonto oranı)	% 10
Toplam zaman (n) (yıl)	10

$$BD = 37.379,22 * \frac{(1+0,1)^{10}-1}{(1+0,1)^{10}*0,1} + 69.914,5 * \frac{1}{(1+0,1)^{10}}$$

$$BD = 37.379,22 * \frac{1,59374}{0,25937} + 69.914,5 * \frac{1}{2,59374}$$

$$BD = 229682, +26955,09$$

$$BD = 256.637,62 \$$$

256.637,62 \$ >140.000 \$ olduğundan bugünkü değer yöntemine göre proje kabul edilebilir ekonomik bir işletmedir.

3.9.3.2. Net Bugünkü Değer Yöntemi

Bu yöntemde ilk olarak bir “i” faiz oranı belirlenir. Bu faiz oranı ile projenin ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı toplam faydalar ile toplam masrafların bugünkü değerlerinin arasındaki fark bulunur. Tespit edilen NBD değeri pozitif ise proje kabul edilirken negatif olması durumunda red edilir (Anonim, 2012b). Bunun için denklem 92 kullanılır,

NBD: Net Bugünkü Değer

$$NBD = \sum_{m=m+1}^t \frac{F_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^m \frac{M_n}{(1+i)^n} \quad (92)$$

Tablo 21 ekonomik verileri yardımıyla fayda ve masraf aşağıdaki gibi elde edilir.

$$Fayda = 39.708 * \frac{(1+0,1)^{10}-1}{(1+0,1)^{10}*0,1} + 69.914,5 * \frac{1}{(1+0,1)^{10}}$$

$$Fayda = 39.708 * \frac{1,59374}{0,25937} + 69.914,5 * \frac{1}{2,59374}$$

$$Fayda = 270.943,22 \$$$

$$Masraf = 140.000 + 2328,78 * \frac{(1+0,1)^{10}-1}{(1+0,1)^{10}*0,1}$$

$$Masraf = 154.309,33 \$$$

$$NBD = Fayda - Masraf$$

$$NBD = 270.943,22 - 154.309,33$$

$$NBD = 116.633,89 \$$$

Net bugünkü değer yöntemine göre proje kabul edilebilir ekonomik bir işletmedir.

3.9.4. PTKM’ nin Test Dönemi Ekonomik Analizi

Sitede 71 kW PTKM kurulumu yapılmış olup test döneminde ortalama veriler üzerinden kısmi analizler gerçekleştirilmiştir.

- 71 kW PTKM' nin elektriksel verimi = %34.3
- 71 kW PTKM' nin termal verimi = %56.4

Mikro kojenerasyon güç tüketimi denklem 93 yardımı ile hesaplanmıştır. Bu değer makine etiketinde %100 yük durumunda 204 kW olarak belirtilmiştir.

$$\frac{71}{34,3} = 2,069 * 100 = 206,9 \text{ kW}$$

(93)

Termal güç denklem 94 yardımı ile hesaplanmıştır. Bu değer makine etiketinde 115 kWt olarak belirtilmiştir.

$$206,9 \quad \times \quad \%56,4 \quad = \quad 116.6 \quad \text{kWt}$$

(94)

Elektriksel güç denklem 95 yardımı ile hesaplanmıştır. Bu değer makine etiketinde 71 kW olarak belirtilmiştir.

$$206.9 \quad \times \quad \%34.3 \quad = \quad 70.65 \quad \text{kWh}$$

(95)

- Radyan olan kayıp enerji hesabı;

$$116.6 \text{ kWt} + 70.65 \text{ kW} = 187.25 \text{ kW}$$

$$206.9 \text{ kW} - 187.25 \text{ kW} = 19.65 \text{ Kw} \rightarrow \text{Bu radyan kayıp enerji miktarıdır.}$$

- Yukarıda bahsi geçen enerjilerin açığa çıkabilmesi için kaç m³/h doğal gaz tüketilmeli;

Doğal gaz tüketim düzeltme katsayısı denklem 96 ile elde edilmiş olup denklem 97 yardımı ile %100 yüklü durumdaki tüketilecek doğal gaz miktarı hesaplanır.

$$\frac{8250}{860} = 9,593$$

(96)

$$\frac{206,9}{9,593} = 21,567 \quad \text{m}^3/\text{h}$$

(97)

- Doğal gaz m³/h birim fiyatı \cong 0.97 TL olarak alınmış olup bu değer analiz yapılan döneme aittir. Denklem 98 bir saatte tüketilecek doğal gaz miktarının TL karşılığını verir.

$$21.567 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad \times \quad 0.97 \quad \text{TL} \quad = \quad 20.92 \quad \text{TL} \quad (98)$$

- Kurulumu yapılmış olan mikro kojenerasyon sisteminde açığa çıkan elektriğin birim maliyeti denklem 99 yardımı ile elde edilmiştir.

$$\frac{20,92 \text{ TL}}{70,65 \text{ kWh}} = 0,296 \quad \text{TL/kWh} \quad (99)$$

- %85 verimle çalışan bir kazan 116.6 kWt' lik bir güç açığa çıkaracak olup denklem 100 yardımı ile hayali olması gereken kazan değeri hesaplanmıştır.

$$\frac{116,6 \text{ kWt}}{0,85} = 137,1 \quad \text{kWt} \quad (100)$$

Bu demek oluyor ki saatte 137.1 kWt enerji açığa çıkaran kazan olmadan mikro kojenerasyon modülü 116.6 kWt' lik enerji üretebiliyor.

- 137.1 kWt' lik termal enerji için harcanmayacak doğal gaz miktarı denklem 101 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\frac{8250}{860} = 9,593$$

$$\frac{137,1 \text{ kWt}}{9,593} = 14,29 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (101)$$

Bu kadar doğal gaz tüketilmeden 137.1 kWt enerji geri kazanımı gerçekleşmiştir.

- 78 °C – 90 °C arası sıcak su 14.29 m³/h doğal gaz tüketilmeden elde ediliyor. Bunun saatlik TL karşılığı denklem 102'de verilmiştir.

$$14.29 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad \times \quad 0.97 \quad \text{TL} \quad = \quad 13.86 \quad \text{TL} \quad (102)$$

➤ Mikro kojenerasyon sisteminde 40 °C ceket suyu sıcaklığı açığa çıkar ve bunun TL karşılığı;

- Kojenerasyon sisteminde açığa çıkan 206.9 kW'lık enerjinin %2.5'lük kısmı denklem 103'teki gibi ceket enerjisi olarak açığa çıkar. Yani;

$$206.9 \text{ kW} \times \% 2.5 = 5.172 \text{ kWt}$$

(103)

$$\frac{5,172 \text{ kWt}}{0,85} = 6,084 \text{ kWt}$$

(104)

Denklem 104 ile hesaplanan termal enerjiyi verebilecek ısı üreticisine (kazan) ihtiyaç vardır.

$$\frac{8250}{860} = 9,593$$

$$\frac{6,084}{9,593} = 0,634 \text{ m}^3/\text{h}$$

(105)

Denklem 105 ile hesaplanan 0,634 m³/h doğal gaz tüketilmeden 6.084 kWt enerji geri kazanımı gerçekleşmiştir.

40 °C ceket suyu sıcaklığının kullanılması ile saatlik elde edilen kâr denklem 106 ile hesaplanmıştır.

$$0.634 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.97 \text{ TL} = 0.614 \text{ TL}$$

(106)

➤ Her sistem gibi PTKM'de ve çevre ekipmanların da enerji tüketimi bulunmakta olup buna iç tüketim denir. İç tüketimde harcanan elektrik enerjisi %3 olarak hesaplanır.

Buradan;

$$70.65 \text{ kWh} \times \% 3 = 2.119 \text{ kWh}$$

(107)

PTKM İç tüketim enerjisi denlem 107 yardımı ile bulunur.

➤ PTKM'de iç tüketim elektrik giderinin birim fiyatı PTKM'de elde edilen enerji birim fiyatı ile denklem 108'deki gibi iç tüketim enerji tutarı hesaplanır.

$$2.119 \text{ kWh} \times 0.296 = 0.627 \text{ TL}$$

(108)

- Şebekeden çekilmeyen ancak tüketilen elektrik enerjisinin saatlik TL karşılığı hesabında denklem 109 kullanılmıştır.

$$70.65 \text{ kWh} \times 0.41 \text{ TL} = 28.96 \text{ TL}$$

(109)

PTKM' de üretilen elektrik enerjisinin şebekeden alınması durumundaki tutardır. Bu harcanmayan şebeke elektrik enerji tutarıdır.

- Mikro kojenerasyon sisteminde üretilen 70,65 kWh' lik elektrik enerjisinin saatlik TL karşılığı denklem 110 ile hesaplanmıştır.

$$70.65 \text{ kWh} \times 0.296 \text{ TL} = 20.91 \text{ TL}$$

(110)

- Mikro kojenerasyon sisteminin saatlik bakım gideri 0,37 Euro olduğu ve bunun saatlik TL karşılığı denklem 111 ile hesaplanmıştır.

$$0.37 \times 4.9 = 1.813 \text{ TL}$$

(111)

- PTKM' nin kurulmasının gerçekleştiği sitede saatlik elde edilen kâr denklem 112 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Saatlik Kâr} = \text{Saatlik Top. Kazanç} - \text{Saatlik Top. Gider}$$

(112)

$$= (28.96 + 13.86 + 0.614) - (20.91 + 0.627 + 1.813)$$

$$= 43.434 - 23.35$$

$$= 20.08 \text{ TL}$$

- Siteye kurulumu gerçekleştirilen mikro kojenerasyon modülünün günlük ortalama çalışma süresi 15 saat olarak kabul edilirse (günlük ve mevsimlik değişken şartlarda çalışma süreleri 14 h ile 21 h arası değişkenlik göstermekte) sitenin aylık net kazancı denklem 113 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Aylık Net Kazanç} = \text{Saatlik kazanç} \times \text{Günlük Ort. Çalışma Süresi} \times \text{Gün}$$

(113)

$$= 20.08 \text{ TL} \times 15 \text{ h} \times 30$$

$$= 9,036.00 \text{ TL}$$

- Sitede yer alan konut sayısı 141 olup konut sakinlerinin aylık net kazancında denklem 114 kullanılmıştır.

$$\text{Konut Sakininin Net Kazancı} = \frac{\text{Aylık Net Kazanç}}{141}$$

(114)

$$\text{Konut Sakininin Net Kazancı} = \frac{9.036,00}{141} = 64,08 \text{ TL}$$

- Sitede oturan konut sakinlerinin aylık enerji giderleri birbirlerinden farklı olup denklem 115 yardımı ile ortalama 300 TL olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Konut Aylık Ortalama Enerji Tüketimi} = \frac{\text{Yıllık Toplam Enerji Gideri}}{12}$$

(115)

$$= \frac{(\text{Yıllık Elektrik Enerji Tük.}) + (\text{Yıllık Isı Enerji Tük.})}{12}$$

$$= \frac{1320 + 2300}{12}$$

$$\text{Konut sakininin aylık ortalama enerji tüketimi} \cong 300.00 \text{ TL}$$

- PTKM kurulumu gerçekleşmiş olan bir sitede konut sakininin aylık ortalama kazancı %21.36 olduğu tespit edilmiştir.

3.9.5. PTKM'nin Dönemsel Ekonomik Analizi

Nisan/2020 – Mayıs/2020 dönem verileri üzerinden mikro kojenerasyon sisteminin kurulduğu sitenin ekonomik analizi aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

- Nisan/2020 – Mayıs/2020 döneminde doğal gaz m³/h birim fiyatı $\cong 1,77$ TL olarak alınmış olup bu değer güncel değerdir. Denklem 116 bir saatte tüketilecek doğal gaz miktarının TL karşılığını verir.

$$21,567 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,77 \text{ TL} = 38,17 \text{ TL}$$

(116)

- Kurulumu yapılmış olan mikro kojenerasyon sisteminde açığa çıkan elektriğin birim maliyeti denklem 117 yardımı ile elde edilmiştir.

$$\frac{38,17 \text{ TL}}{70,65 \text{ kWh}} = 0,54 \text{ TL/kWh}$$

(117)

- 78 °C – 90 °C arası sıcak su 14,29 m³/h doğalgaz tüketilmeden elde ediliyor. Bunun saatlik TL karşılığı denklem 118'de verilmiştir.

$$14,29 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,77 \text{ TL} = 25,29 \text{ TL}$$

(118)

- Mikro kojenerasyon sisteminde 40 °C ceket suyu sıcaklığı açığa çıkar ve bunun TL karşılığı;

40 °C ceket suyu sıcaklığının kullanılması ile saatlik elde edilen kâr denklem 119 ile hesaplanmıştır.

$$0,634 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,77 \text{ TL} = 1,12 \text{ TL}$$

(119)

- PTKM de iç tüketim elektrik giderinin birim fiyatı PTKM'de elde edilen enerji birim fiyatı ile denklem 120'deki gibi iç tüketim enerji tutarı hesaplanır.

$$2,119 \text{ kWh} \times 0,54 = 1,14 \text{ TL} \quad (121)$$

- Şebekeden çekilmeyen ancak tüketilen elektrik enerjisinin saatlik TL karşılığı hesabında denklem 122 kullanılmıştır.

$$70,65 \text{ kWh} \times 0,73 \text{ TL} = 51,57 \text{ TL}$$

(122)

PTKM' de üretilen elektrik enerjisini şebekeden alınması durumundaki tutardır. Bu harcanmayan şebeke elektrik enerji tutarıdır.

- Mikro kojenerasyon sisteminde üretilen 70,65 kWh' lik elektrik enerjisinin saatlik TL karşılığı denklem 123 ile hesaplanmıştır.

$$70,65 \text{ kWh} \times 0,54 \text{ TL} = 38,15 \text{ TL}$$

(123)

- Mikro kojenerasyon sisteminin saatlik bakım gideri 0,37 Euro olduğu ve bunun saatlik TL karşılığı denklem 124 ile hesaplanmıştır.

$$0,37 \quad \times \quad 7,7 \quad = \quad 2,84 \quad \text{TL}$$

(124)

- PTKM'nin kurulumunun gerçekleştiği sitede saatlik elde edilen kâr denklem 125 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Saatlik Kâr} = \text{Saatlik Top. Kazanç} - \text{Saatlik Top. Gider}$$

(125)

$$\begin{aligned} &= (51,57 + 25,29 + 1,12) - (38,15 + 1,14 + 2,84) \\ &= 77,98 - 42,13 \\ &= 35,85 \text{ TL} \end{aligned}$$

- Siteye kurulumu gerçekleştirilen mikro kojenerasyon modülünün günlük ortalama çalışma süresi 18 saat olarak kabul edilirse (günlük ve mevsimlik değişken şartlarda çalışma süreleri 14 h ile 21 h arası değişkenlik gösterir) sitenin aylık net kazancı denklem 126 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Aylık Net Kazanç} = \text{Saatlik kazanç} \times \text{Günlük Ort. Çalışma Süresi} \times \text{Gün}$$

(126)

$$\begin{aligned} &= 35,85 \text{ TL} \times 18 \text{ h} \times 30 \\ &= 19.359,00 \text{ TL} \end{aligned}$$

- Sitede yer alan konut sayısı 137 olup konut sakinlerinin aylık net kazancında denklem 127 kullanılmıştır.

$$\text{Konut Sakininin Net Kazancı} = \frac{\text{Aylık Net Kazanç}}{137}$$

(127)

$$\text{Konut Sakininin Net Kazancı} = \frac{19.359,00}{137} = 141,3 \text{ TL}$$

- Sitede oturan konut sakinlerinin 2019 - 2020 dönemine ait ortalama aylık toplam enerji giderleri birbirlerinden farklı olup denklem 128 yardımı ile bir konuta ait ortalama aylık enerji gideri 450,00 TL olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Konut Aylık Ortalama Enerji Tüketimi} = \frac{\text{Yıllık Toplam Enerji Gideri}}{12}$$

(128)

$$= \frac{(\text{Yıllık Elektrik Enerji Tük.}) + (\text{Yıllık Isı Enerji Tük.})}{12}$$

$$= \frac{2400 + 3000}{12}$$

Konut sakininin aylık ortalama enerji tüketimi \cong 450,00 TL

- PTKM kurulumu gerçekleşmiş olan bir sitede konut sakininin aylık ortalama kazancı %31 olduğu tespit edilmiştir.

3.9.6. Motor Rektifiye Süresinin Hesaplanması

PTKM'nin ömrünün 50000 saat ile sınırlı olması rektifiye süresi ile ilgili olup bu süre sonunda modülün önemli parçalarının değişmesi gerekmekte ve modülün bedeline yakın harcamaya neden olacağından paket tipi kojenerasyonun değişimi söz konusu olmaktadır.

- Günlük ortalama çalışma süremiz 15 saat olduğundan modülün rektifiye olma süresinin hesaplanmasında denklem 129 kullanılmıştır.

$$\frac{50000}{15 \cdot 30 \cdot 12} = \frac{50000}{5400} = 9,26 \text{ yıl} \quad (9 \text{ yıl} \quad 3 \text{ ay})$$

(129)

3.9.7. Sistem Verimliliği

Mikro kojenerasyon modülünden elde edilen 70°C civarındaki atık ısı iç ortam ısıtmasında kullanılmak üzere genel ısıtma sistemine iletilir. Böylece atık ısı faydalı ısıya dönüştürülür. Aynı zamanda motor yağ soğutmasından elde edilen yaklaşık 40°C sıcaklığındaki ılık su geri kazanılarak tüketim noktasına iletilir ve azda olsa termal enerji kazancı sağlanır. Mikro kojenerasyon ile site genel ısıtma sistemi birbirine yakın mahallerde olmalıdır. Çünkü termal enerji iletiminden doğacak kayıp-kaçak minimumda olmalıdır.

Birleşik santralin verimi denklem 130 kullanılarak hesaplanır (Özil ve diğ., 2012).

$$\eta = \frac{(H+E)}{F} \quad (130)$$

η : Verim

H: Üretilen termal enerji miktarı

E: Üretilen elektrik enerji miktarı

F: Tüketilen yakıt enerji miktarı

Burada yakıt enerjisi, ısı ve elektrik enerjisi olarak açığa çıkmıştır. Bu da denklem 131 ve denklem 132'deki gibi hesaplanır.

$$F_h = \frac{H}{\eta} = F \left[\frac{H}{(E+H)} \right] \quad (131)$$

$$F_e = \frac{[F - H]}{\eta} = F \left[\frac{E}{(E + H)} \right] \quad (132)$$

Toplam elde edilen ısı ve elektrik enerjisinin, sisteme verilen toplam ısı enerjisine oranı denklem 133'deki gibi verimi verir (Özil ve diğ., 2012).

$$\eta_{\text{toplam}} = \frac{[(\text{Elektrik Üretimi} + \text{Isı Üretimi}) / \text{Sistem Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100}{100} \quad (133)$$

Basit aritmetik kullanılarak konvansiyonel yapıları bir sistem ile kojenerasyonlu bir sistem şekil 42'deki gibi kıyaslanır ise;

$$\eta_{\text{toplam}} = \frac{[(\text{Elektrik Üretimi} + \text{Isı Üretimi}) / \text{Sistem Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100}{100}$$

$$\eta_{\text{kon.sis}} = [(33+70)/200]*100$$

$$\eta_{\text{kon.sis}} = \% 51,5$$

Mikro kojenerasyon modülünün termal enerji verimi %55, elektriksel enerji verimi %30 olarak alınmış olup toplam 200 birimlik yakıt tüketimine karşılık sistemden 110 birimlik termal enerji, 60 birimlik de elektriksel enerji elde edilmiştir.

$$\eta_{\text{toplam}} = \frac{[(\text{Elektrik Üretimi} + \text{Isı Üretimi}) / \text{Sistem Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100}{100}$$

$$\eta_{\text{kojen}} = [(110+60)/200]*100$$

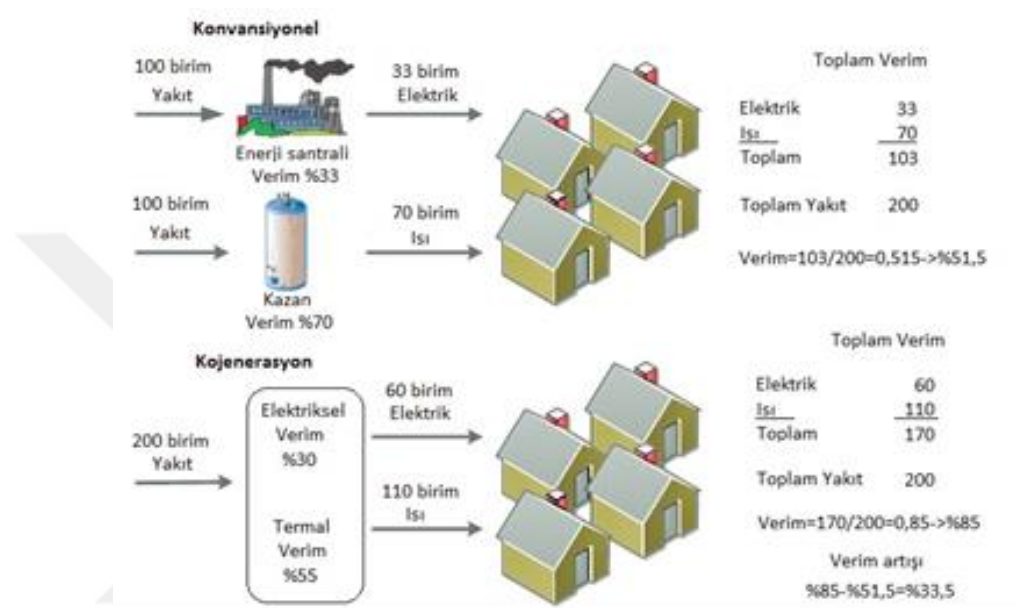
$$\eta_{\text{kojen}} = \% 85$$

Konvansiyonel yapıları sistemde sistem toplam verimi %51,5 olarak tespit edilmiş bu verim aynı yakıt tüketimine karşılık mikro kojenerasyonlu sistemde %85 olarak hesaplanmıştır. Birbirinden farklı bu iki enerji üretim sisteminin verim kıyası denklem 134 ile yapılmıştır.

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{kojen}} - \eta_{\text{kon.sis}} \quad (134)$$

$$\eta_{\text{toplam}} = \% 85 - \% 51,5 = \% 33,5$$

Yapmış olduğumuz tespitlere göre kojenerasyonlu bir sistem konvansiyonel (geleneksel) yapıli bir sisteme göre yaklaşık %33,5 daha verimli olup Onovwiona ve Ugursal (2006)'ın tespitleriyle aynı yöndedir.



Şekil 42. Konvansiyonel sistem ile kojenerasyonlu sistemin karşılaştırılması (Fuentes-Cortésa ve diğ., 2015).

3.10. Çevresel Analiz

Enerji tüketimi ile baş gösteren problemler (petrol krizi), ekolojik yönler (iklim değişikliği), elektrik talebinde yaşanan artışlar ve toptan satış piyasalarının finansal / düzenleyici kısıtlamaları dünya çapında artış göstermektedir. Bu problemlere etkili çözümler teknolojik bir takım çözümler üretilmektedir. Modern teknolojilerin sağladığı avantajlar;

- Enerji verimliliği sağlamak
- Daha az çevre kirliliğine sebebiyet vermek
- Güç dağıtım şebekelerinin yerini bireysel enerji üretim sistemlerine bırakması
- Daha yüksek güvenli işlemler
- Maliyeti düşük enerji üreticileri

Enerji üretim teknolojileri yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji teknolojileri olmak üzere ikiye ayrılır. Kojenerasyon üniteleri yenilenemeyen enerji üretim teknolojilerindedir.

Kojenerasyon ünitelerinde elektrik enerjisi üretiminin yanında termal enerji kazanımı söz konusudur. CHP (Combined Heat and Power) ünitelerinde verimli yakıt tüketimi ile fayda sağlanır iken atık enerjinin faydalı enerjiye dönüşümü ile verim maksimuma dönüştürülür.

İçten yanmalı CHP ünitesi tipik bir binada elektrik ve termal enerji üretirken CO₂, CO ve NO içeren hava kirleticileri az da olsa üretir. Mikro kojenerasyon tesisi geleneksel bir ısı üretici ile kıyaslandığında CO₂ emisyonlarında %3-5 azalma oluşur (Alanne ve diğ., 2010). Bu azalmanın nedenleri;

- İçten yanmalı motor kullanılması,
- Enerji tüketim yerine ilişkin detaylı inceleme yapılarak ekserji hesaplarının yapılması,
- Yakıtın tam ve etkili tüketimi ile enerji zayıflığının önüne geçilmesi ile birlikte boşa tüketilmesi muhtemel yakıtın oluşturacağı emisyonların engellenmesi,
- Geleneksel yöntemlerde oluşan atık ısının oluşturacağı emisyonların mikro kojenerasyon sistemlerinde minimize edilmesi,

sayılabilir.

3.10.1. Emisyon

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği yeryüzünde yaşamı tehdit etmekte olup insanoğlu bu tehlikeye karşı bir takım tedbirler almaktadır. Bu tedbirlerin başında geleneksel bir takım enerji üretim yöntemlerinin terk edilerek bilimsel, teknolojik yöntemler ile temiz enerji üretilmesine bağlı düşük CO₂ üretimi ile emisyon değerlerinin minimuma indirilmesi gelir. Küresel bazda zararlı gaz salınımlarının kontrol altına alınması kyoto protokolü ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu protokol, yeryüzündeki emisyon salınımının min. %55' ine sebep ülkelerin karbon emisyon değerlerini kontrol altına almaya çalışır. Bu kontrol ülkelere verilen kota ile denetlenmektedir. Taraf ülkelere daha az karbon salınımı için sektörel bazda birtakım teşvik paketleri uygulanmaktadır (Bekiroğlu, 2011).

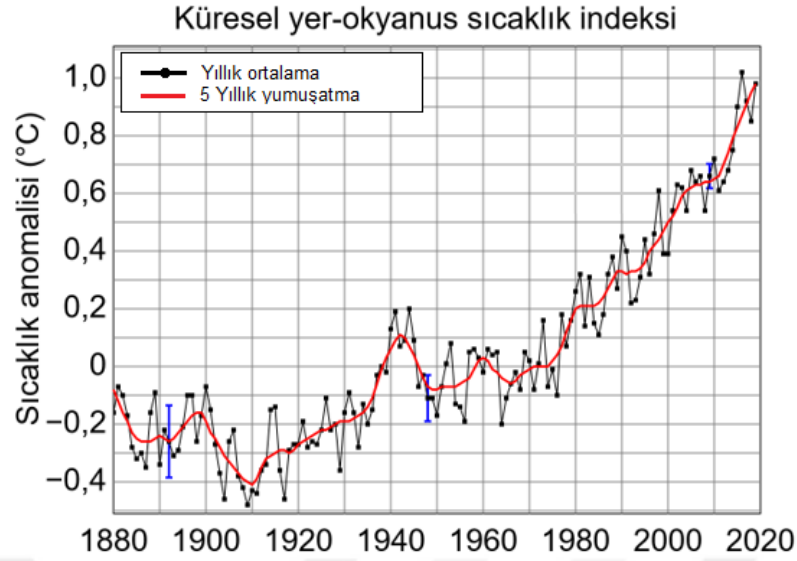
İnsanoğlu tarafından doğaya salınımı gerçekleşen zararlı gazlar ile sera etkisi oluşmakta bu etki küresel ısınmaya neden olmaktadır. İnsan eli ile gerçekleşen bu küresel ısınma ani iklim değişikliklerini doğurmaktadır. Bu iklimsel ani değişimlerin canlı yaşamını olumsuz etkilemesi sera gazı salınımına tedbir alınmasını sağlamıştır (Bekiroğlu, 2011).

İklim şartları 18. yy' da gerçekleşen sanayi devrimine kadar dengede iken bu tarih itibari ile sistem bozulmuştur. Sanayi devrimi ile birlikte orman alanları işgal edilmiş fosil yakıt kullanımları artmıştır. Sanayileşmenin getirmiş olduğu kontrolsüz sera gazı salınımları küresel ısınmaya neden olmaktadır (Bekiroğlu, 2011).

Tablo 22. Kyoto Protokolünde yer alan sera gazları ve eşdeğerleri (Bekiroğlu, 2011).

Sembol	İsim	CO ₂ Eşdeğeri	Ana Kaynak
CO ₂	Karbon Dioksit	1	Fosil yakıtların yanması, Orman yangınları, Çimento üretimi
CH ₄	Metan	21	Landfill sahalar, Petrol ve doğalgazın üretim ve dağıtım, Çiftlik hayvanlarının sindirim sistemlerindeki fermentasyon
N ₂ O	Nitroksit	310	Fosil yakıtların yanması, Gübreler, Naylon üretimi
HFC _s	Hidrofloro karbonlar	140 ~ 11.700	Buzdolabı gazları, Alüminyum eritme, Yarı iletken üretimi
PFC _s	Perfloro karbonlar	6.500 ~ 9.200	Alüminyum üretimi, Yarı iletken üretimi
SF ₆	Sülfür heksaflorit	23.900	Elektrik iletim ve dağıtım sistemleri, Magnezyum üretimi

Tablo 22'de Kyoto protokolüne konu olan 6 adet gaz ve eşdeğerleri yer almaktadır. CO₂ referans alınarak diğer gazların CO₂'ye eşdeğeri oluşturulmuştur. CH₄, N₂O, HFC_s, PFC_s, SF₆ gazlarının CO₂ gazına eşdeğeri bu gazların ısı tutabilme kapasitelerinin CO₂ ' ye göre kaç kat daha fazla olduğu ile ilişkilidir. Bu hesaplama yöntemini kolaylaştırmış ve uygulamalara standart getirmiştir. Tabi bu kıyas cetveli aynı miktar gazlar için geçerlidir. Tablo 22'den de anlaşılacağı gibi en tehlikeli gaz SF₆ (Sülfür heksaflorit)'dir. SF₆ (Sülfür heksaflorit) gazı ısı tutabilme kapasitesi çok yüksek olması bu gazın gazlı kesicilerde kullanılmasını sağlamıştır. Kesici kontakları arasında oluşan ark SF₆ gaz kapalı haznesi yardımıyla kolayca bertaraf edilir. CO₂ en düşük kapasiteye sahip olmasına rağmen doğada çok fazla bulunmasından dolayı en tehlikeli gaz durumundadır (Bekiroğlu, 2011).



Şekil 43. Deniz suyu sıcaklıklarının yıllara bağlı değişimi (Anonim, 2020).

Şekil 43'te küresel ortalama yüzey sıcaklığı 1951–1980 ortalamasına göre 1880'den 2020'ye değişmektedir. Siyah çizgi küresel yıllık ortalama iken kırmızı çizgi beş yıllık yerel ağırlıklı grafik yumuşatmasıdır. Mavi belirsizlik çubukları %95 güven sınırını göstermektedir (Anonim, 2020).

3.10.1.1. Küresel Isınmanın Neden Olduğu Zararlar

- Tatlı su kaynakları azalmakta ve canlılar susuz kalmaktadır.
- Kutuplarda yer alan buz dağları yok olmaktadır.
- Deniz ve okyanus seviyesine yakın yerleşim yerleri sular altında kalacaktır.
- Sıcaklık artışına bağlı ölümler gerçekleşecek. Yaşanan ölümler canlı türlerini yok edecektir.
- Erozyon, kuraklık ve çölleşme ile doğal afetler oluşacaktır.
- Ormanlarda sıcaklığa bağlı yangınlar oluşacaktır.
- Bölgesel çölleşmeler göç hareketlerine neden olacak buda bulaşıcı hastalıklara neden olacaktır.

Kyoto protokolü ilk olarak 1997 yılında imzaya açılmış olmasına rağmen 2005 yılında yürürlüğe girerek kabul görmüştür. 2008-2012 yıllarında Tablo 23'de yer alan Ek-1 ülkelerinin 1990 yılı sera gazı salınımlarının %5,2'nin altına çekilmesi

hedeflenmiştir. Kyoto Protokolü'ne bugün Avrupa Birliği dâhil 182 ülke ile 1 ekonomik topluluk taraftır (Anonim, 1).

Tablo 23. Kyoto Protokolü-Ülkelerin sınıflandırılması (Anonim, 1)

Listeler	Ülkeler	Sorumluluklar
Ek-1	OECD+AB+PEGSÜ (40 Ülke)	Emisyon azaltımı
Ek-2	OECD+AB-15 (25 Ülke) Türkiye (Hariç)	Teknoloji transferi ve mali destek sağlamak
Ek-1 Dışı	Diğer Ülkeler (Çin, Hindistan, Pakistan, Meksika, Brezilya, ...)	Yükümlülükleri yok.
Ek-B	Ek-1 Ülkeleri (38 Ülke) Türkiye ve Belarus (hariç)	2008-2012 arası dönem için <u>1990 seviyesine</u> göre sera gazı emisyonlarında %5 azalım.

3.10.2. Karbon ayak izi

İnsan faaliyetlerinin neden olduğu CO₂ cinsinden salınımların gerçekleştiği toplam sera gazlarının doğada yol açtığı zararın ölçüsüdür. Karbon ayak izi birimi “ton.CO₂_eşdeğer” veya “kg. CO₂_eşdeğer” dir (Bekiroğlu, 2011).

3.10.2.1. Bina-Entegre Mikro Kojenerasyon Sistemi CO₂ Emisyon Hesabı

Kişilerin evlerinde fosil yakıt tüketimi ile kullanmış oldukları elektrik ve termal enerji tüketimleri sonucunda oluşan CO₂ emisyonları birincil kişisel karbon ayak izini oluşturmaktadır. Bundan dolayı mikro kojenerasyon tertibatının geleneksel yöntemler ile enerji eldesinden daha az kişisel karbon ayak izi oluşturacağından doğaya verilen zarar minimuma indirilmiş olmaktadır. Yani geleneksel yöntemler ile elektrik ve termal enerji üretimi gerçekleştirilse idi hem elektrik için hem de ısınma için fosil kaynaklar tüketileceğinden CO₂ salınımı artacaktı. Bunun yerine sitede mikro kojenerasyon kurulumu gerçekleştirilerek aynı miktar yakıttan %33,5 verim artışı ile enerji elde edilmekte böylelikle CO₂ salınımı verim artışına paralel olarak azalmış olacaktır. Tüketilen her 1 kWh için doğaya salınımı gerçekleşen CO₂ emisyonu 0,6 kg olarak hesaplanabilir (Bekiroğlu, 2011).

Sitede kurulumu sağlanan mikro kojenerasyon ünitesi ile bir ayda üretilen elektrik enerjisi ile salınımı engellenen CO₂ miktarı;

1 kWh elektrik üretiminde 0,6 kg CO₂ salınımı gerçekleşir (Bekiroğlu, 2011).

Bir ayda mikro kojenerasyon sisteminde üretilen elektrik enerjisi 18480 kWh/ay iken termal enerji kazanımı aylık olarak 64432,8 kWh/ay' dır.

Üretilen enerjinin geleneksel yöntemlere göre enerji eldesinden %33,5 verimli olduğu hesaplanmış olup CO₂_emisyonu'nu bu verime göre hesaplamak gerekmektedir. Yani denklem 135'te aylık CO₂ salınımı hesaplanırken denklem 136 ile kurulumu sağlanan sistemin yıllık doğaya sağladığı yarar hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ salınımı} = \sum(E_{\text{üretilen enerji}} + T_{\text{enerji kazanımı}}) \times 0,6 \text{ kg} \quad (135)$$

$$(18480 \text{ kwh/ay} + 64432,8 \text{ kWh/ay}) * 0,6 \text{ kg} = 49747,68 \text{ kg/ay}$$

$$49747,68 \text{ kg/ay} * 12 * 0,335 = 199985,67 \text{ kg/yıl} \quad (136)$$

Kurulumu gerçekleşen sistemin bir yılda doğaya sağladığı yarar yaklaşık olarak 199,98 ton CO₂_emisyonu' nun salınımının gerçekleşmemesidir. Salınımı gerçekleşmeyen CO₂ emisyonunun fiziksel karşılığı yetişkin ağaç yetiştirile birlik ile ölçülür. Yani fosil yakıt kullanımı ile havaya salınımı gerçekleşen CO₂ emisyon miktarını bertaraf edebilecek ağaç sayısı bunun fiziksel karşılığı demektir.

Yetişkin bir ağaç bir saatte 2,35 kg CO₂ bünyesine alırken 1,7 kg O₂ üretimi sağlar (Anonim, 2). Bir yılda bertaraf edilen CO₂ emisyon miktarı denklem 137 ile hesaplanmıştır.

$$2,35 * 8 * 30 * 12 = 6768 \text{ kg/yıl CO}_2 \quad (137)$$

$$\frac{199985,67 \text{ kg/yıl}}{6768 \text{ kg/yıl}} = 29,54 \text{ adet yetişkin ağaç} \quad (138)$$

Yıllık bertaraf edilen CO₂ emisyon miktarına karşılık dikilmesi muhtemel ağaç miktarı denklem 138 ile hesaplanmıştır. Sitede her yıl ortalama 30 yetişkin ağaç dikilmiş gibi işlem gören çevreci bir enerji üretim santrali kurulumu yapılmış olundu.

3.10.2.2. Karbon ayak izi yok etme yöntemleri

- Verimli enerji kullanımı
- Geri dönüşüm çalışmaları
- Ağaç dikme
- Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı kullanma
- Yakıt cinsini verim artışı sağlayacak yönde değiştirme
- Ulaşım tercihlerini, minimum yakıt tüketimine göre endeksleme

Bu sayılan yöntemler doğaya salınımı gerçekleşen CO₂ emisyonunu ya tamamıyla yok eder ya da azaltır.

3.10.3. Kojenerasyon tesisinde gaz yakıt kullanılmasının nedenleri

Fosil yakıt kaynaklarından doğal gaz tercihi çevreye daha az zarar verir. Sitede uygulaması gerçekleştirilen PTKM'de (Paket tipi kojenerasyon modülü) doğal gaz tüketimi söz konusu olup bu yakıtın çevreye vereceği zarar minimize edilmiştir.

Külü ve dumanı olmayan doğal gazın yakıt kaynağı olarak kullanılması sistemin sıfır atık oluşturmasını sağlar. Yakıt kaynakları arasında doğal gazın zararlı gaz emisyonu (CO ve NO_x) yok denecek seviyededir. Bundan dolayı bu yakıt kaynağı oldukça çevrecidir. Yakıt kaynakları arasında ulaşılması en kolay olandır. Tüketimi anlık olarak doğal gaz sayacı ile kolaylıkla ölçülebilir. Bu yakıt tüketimine ilişkin bakım ve işletme maliyeti oldukça düşük olup bu yakıt türünün taşıma ve depolama gideri de yoktur. Doğal gaz kullanımı tüketicilere konforlu yaşam olarak geri döner. Havadan hafif bu gaz serbest halde bir yerde birikmez.

Mikro kojenerasyon sistemlerinde çok çeşitli yakıt kaynakları kullanılmakla birlikte genellikle doğal gaz tercih edilir. Doğal gaz harici kullanılabilecek yakıt kaynakları olarak ilk karşımıza çıkanlar propan, biyogaz, çöp gazıdır. Bu yakıt kaynakları da kaliteli ve kesintisiz yüksek verimli enerji açığa çıkarır ancak bu kaynaklara ulaşılması zor ve depolama sıkıntısı bulunmaktadır.

Enerji tüketiminin her yıl artması enerji üretim santrallerinde tüketilen fosil kaynakların da artışına sebebiyet verir. Fosil yakıt kaynaklarının tüketiminin artması ile ortaya çıkan CO₂ emisyonu ve bu CO₂ emisyonunun neden olduğu küresel ısınma insanlık için yaşamsal tehdit oluşturmaktadır. Zincirleme reaksiyonların doğurduğu yaşamsal riskleri bertaraf etmek için küresel çapta mücadele başlamıştır. Uygulaması

gerçekleştirilen mikro kojenerasyon ile site enerji ihtiyacının karşılanması, bizim bu mücadelede bireysel olarak yer almamızı sağlamıştır.

Bir sonraki bölümde mikro kojenerasyon ile enerji temini sağlanan siteye ilişkin veriler analiz edilmiş olup enerji dengesi, kapasite seçimi, elektriksel enerji analizi, termal enerji analizi, Ekonomik analiz ve Çevresel analiz bulguları irdelenmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gerekli ön incelemeler ve fizibilite çalışmaları neticesinde konut sektöründe uygulaması gerçekleştirilmiş olan paket tipi kojenerasyon 71 kWe / 115 kWt olarak tasarlanmıştır. Termal ısı kapasitesi 115 kWt olan bu makine binanın tüm ısı yükününün yaklaşık %10 gibi bir kısmına destek enerji sağlamaktadır. Buradaki amaç elektrik enerjisini maksimum kullanımına ilişkin oluşan atık ısının maksimum kullanımı ile fayda sağlamaktır. Aksi düşünce ile oluşan sistemlerde ya elektrik enerji üretimi ya da atık termal enerji kullanılamayacak kadar fazla çıkmakta buda faydadan daha çok zararın oluşmasına neden olmaktadır.

Gerçekleştirilen uygulamada baca gazından elde edilen termal geri kazanım 38 kW olarak hesaplanmış bu değer yaklaşık olarak 5 kW'lık kısmı bina sıcak su boylerine takviye sağlamaktadır. Bu değer yaz aylarında ve mevsimsel geçişlerde yeterli olmakta iken kış ayında sadece termal destek sağlamaktadır.

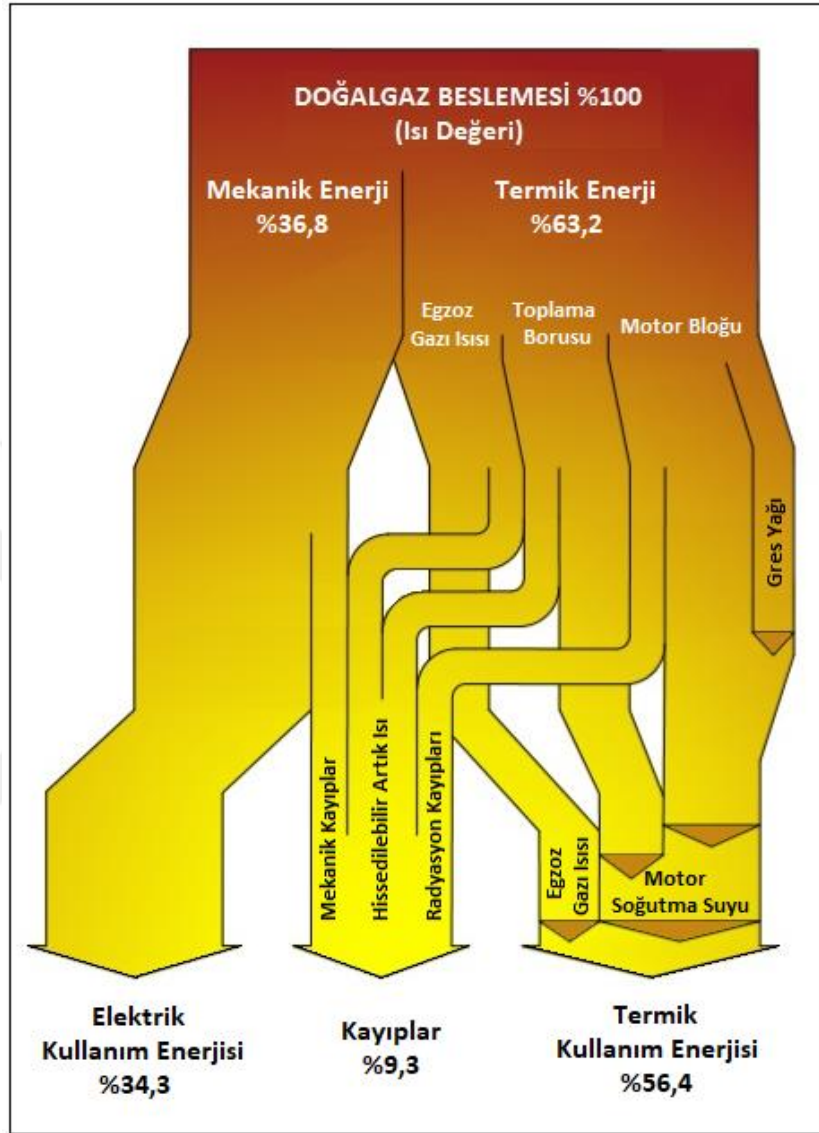
Uygulanan sistemin başlıca üniteleri Aftercooler (Son soğutucu), Jacket Water (Ceket suyu), LT Exchanger (Düşük sıcaklık eşanjörü), HT Exchanger (Yüksek sıcaklık eşanjörü), HW Exchanger (Sıcak su eşanjörü), HT Radyatör ve LT Radyatör ekipmanlarıdır. Sistemde giriş/çıkış akımlarının çalışma basıncı 10 bar' dır.

4.1. Enerji Dengesi

Dört bloktan oluşan sitede mikro kojenerasyon sistemine ilişkin enerji akış diyagramı Şekil 44'te yer almaktadır. Enerji dengesinde %100 doğal gazdan elde edilen temel enerjinin elektrik, termik ve kayıp enerjiye dönüşümü görsel olarak gösterilmiştir.

İçten yanmalı motora sahip olan mikro kojenerasyon doğal gazın yakılması ile gaz motoru mekaniksel olan dönü hareketi kazanır. Bu dönü hareketi sistem içerisinde yer alan senkron jeneratörde elektrik enerjisine dönüşür. %100 doğal gazın tüketimi ile %36,8'i mekanik enerjiye dönüşür. Bu mekanik enerjinin %2,5'u mekanik kayıp olarak atılmaktadır. Doğal gazın tüketimi ile termik enerji oluşur. Bu termik enerji toplama borusu ısısı, egzoz gazı ısısı, motor bloğu ısısı ve gres yağı ısısı olarak dağılır. Oluşan %63,2 termik enerjinin %56,4'ü tüketilebilir termik enerjiye dönüşümü sağlanırken %6,8'i hissedilebilir artık ısı ve radyasyon kaybı olarak atılmaktadır. Mekanik enerji kayıpları, hissedilebilir artık ısı ve radyasyon kayıplarının toplamı %9,3 olup toplam

kayıbı oluşturmaktadır. Mikro kojenerasyon ünitesinin toplam etki derecesi, kullanılabilir elektrik ve termik enerjilerinin toplamıdır.



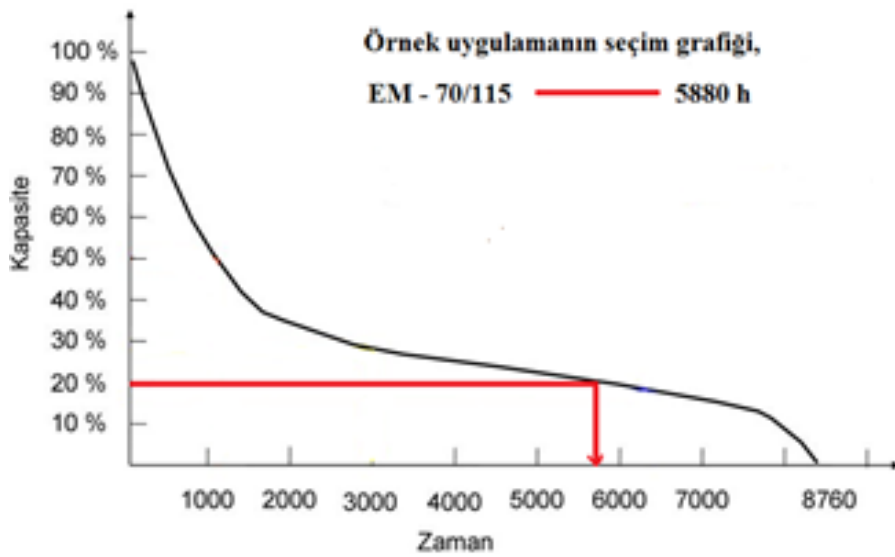
Şekil 44. Enerji Akış Sankey Diyagramı

Ren ve Gao (2010) yakıt hücreli mikro kojenerasyonların daha verimli olduğunu ortaya koyarken bizim uygulamamız gaz motorlu mikro kojenerasyon sistemi olup verimi %85'in üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Mikro Kojenerasyon Kapasite Tespit Diyagramı

Normlara göre enerji tüketim eğrileri hastane, bölgesel ısıtma, site, okul, ofis, yüzme havuzu, ... vb. alanlara özgü kendi içinde oluşturulur. Sitede kurulumu sağlanan

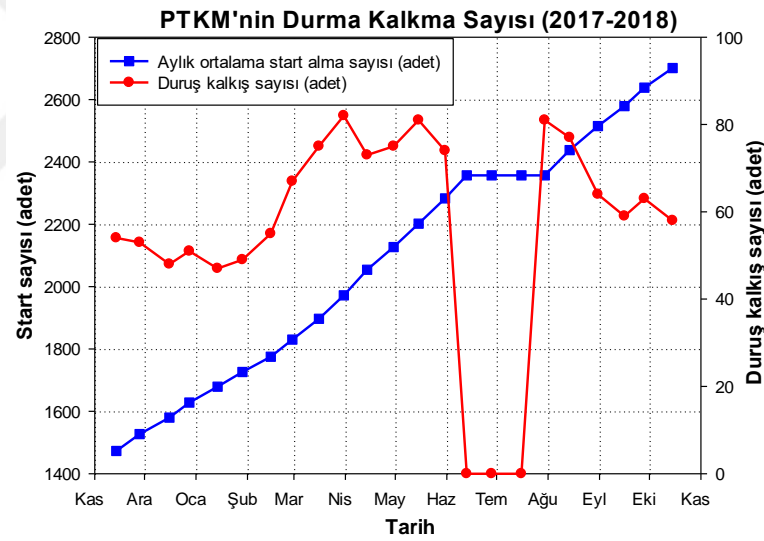
mikro kojenerasyon sisteminin termal enerji değerinin site kazan kapasitesinin %20 yük durumuna göre seçilmesi sistemin ekonomik değerini arttırıcı etki oluşturmaktadır. Yani kazan kapasitesinin %20 yük durumunun üstündeki mikro kojenerasyon termal güç eldesi, ünitenin kurulumunun sağlandığı alana kapasite olarak büyük olduğu ve üretilen toplam enerjiyi (elektrik ve termal) tam anlamıyla tüketemediği bundan dolayı zarara neden olacağı anlamına gelmektedir. Elektrik maliyetinin yakıt maliyetine oranı birden büyük olma durumu işletmenin ekonomikliği açısından bilgi verir. Bu oran bir ise kojenerasyon kurulumuna gerek yoktur. Çünkü yakıt sarfiyatı ile sadece elektrik enerji üretimi sağlayacak makine bakım giderleri ile birlikte sistemin çalıştırılmamasına neden olacaktır. Bundan dolayı her sistem kendi içinde değerlendirilerek psikolojik sınır oluşturulmuş ve devrede kalma minimum süreleri tespit edilmiştir. Bizim kurgusunu sağladığımız sistemin 4500 h' den daha az bir süre ile devrede kalması sistemin uyku moduna düşmesine neden olacak ve ekonomik işletmeden uzaklaştıracaktır. Mikro kojenerasyon ünitesi yıllık 4500 h ve üzerinde çalışır ise kurulduğu yapıya ekonomik fayda sağlayacaktır (Viessmann Vitobloc 200 PTK). Devreye alınan Viessmann EM-70/115 modülünün yıllık ortalama devrede kalma süresi 5880 h olarak belirlenmiş ve devrede kalma süresince üretilen elektrik ve termal enerji, enerji tüketim noktalarında kullanıma sunularak yüksek verimlilik oluşturulmuştur. Mikro kojenerasyon sisteminin uygulama alanına uygun kapasitede seçilip seçilmediğinin tespiti çalışma saati dikkate alınarak Şekil 45'teki gibi gösterilmiştir.



Şekil 45. Çalışma saatine bağlı kapasite seçimi

4.3. Enerji Üretimi

Mikro kojenerasyon tesisinin işletme şartlarındaki toplam devreye girip çıkma sayısı ile toplam start alma sayısı Şekil 46’da gösterilmiştir. Yük karakteristiğindeki değişkenlik mikro kojenerasyonunun yıl içi aylık duruş kalkış sayısına yansır. Aylık duruş kalkış sayısının yüksekliği mikro kojenerasyonun kolay devreye girip çıkmasının istenmesine neden olur. Bundan dolayı sistemin devreye girip çıkma süresi önemli olacağından mikro kojenerasyon ünitesinde pistonlu içten yanmalı gaz motor tercih edilir. Gaz motorunun devreye girip çıkma sayısı ve süresi sistemin uyku modu ile ilgili olacağından verimi direkt etkiler. Yaz sezonunda sistemin duruş-kalkış süre ve sayısı kış sezonuna kıyasla %44 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni olarak kış sezonunda tüketilen enerji miktarının yaz sezonunda tüketilen enerji miktarına göre daha yüksek oluşu gösterilebilir.



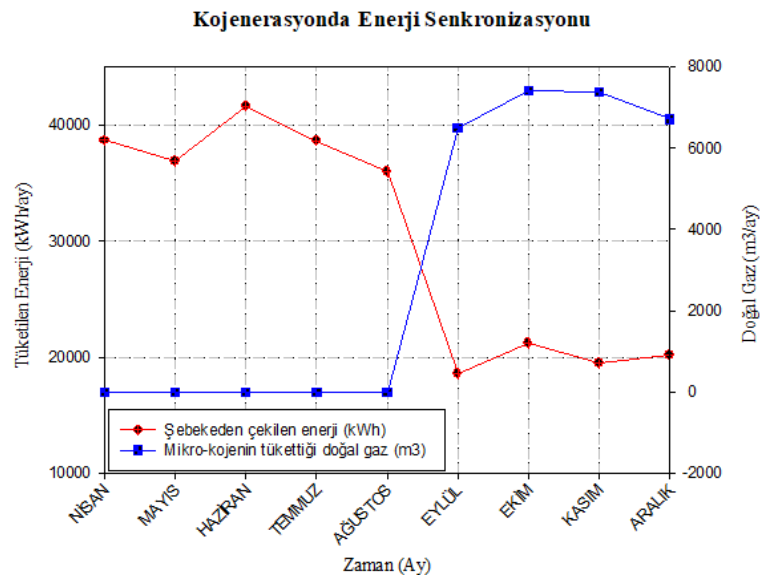
Şekil 46. PTKM' nin aylık çalışma durum eğrisi

Yaz döneminde sitenin ihtiyacı olan sıcak kullanma suyu talebine göre mikro kojenerasyonun alt limit ayarlı kilit mekanizması devreye girerek anlık termal kontrol sağlar. İhtiyacın oluşmaması durumlarında kontrol mekanizması mikro kojenerasyonu uyku moduna düşürür. Sitenin sıcak su kullanım alanını dairelerin sıcak su tüketimleri ve sosyal alanlarında yer alan duşluklar, Türk hamamı, havuz, sauna vb. alanlar oluşturur. Kış ve mevsimsel geçiş aylarında sistemin termal denetimine gerek kalmaz. Çünkü genel ısıtma sistemine takviye olarak kojenerasyon sistemi ısı enerji sağlar. Yani mikro kojenerasyonun tek başına sisteme ürettiği ısı, sitenin ısı tüketim yükünün

yaklaşık olarak 1/20'si olup mikro kojenerasyon kazanlar ile birlikte senkron çalışır. Mikro kojenerasyon tesisi tarafından üretilen termal enerji kazancı, site toplam termal enerji tüketiminin maksimum olduğu kış aylarında %5'ine denk iken yaz aylarında bu oran %100'ünü karşılar. Böylece kazanlar normal çalışma sürelerinin altında çalışacaklarından bakım süreleri uzar. Bu bakım kazancı fizibilite hesaplarına girmeyen artı kazançlardır.

4.3.1. Enerji Senkronizasyonu

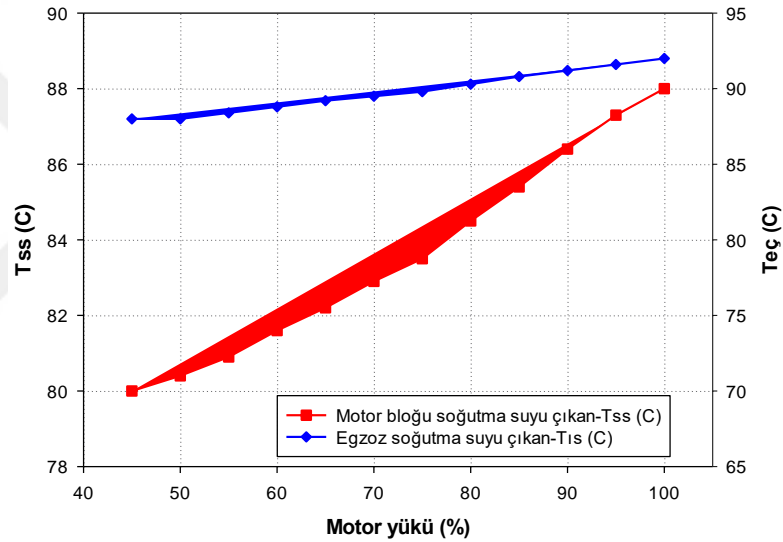
Paket tipi kojenerasyon modülü devrede kaldığı süre boyunca doğal gaz tüketir ve bu tüketime karşılık elektrik enerjisi, motor blok ısısı ve egzoz ısısı açığa çıkarır. Test dönemine ait birtakım veriler Şekil 47'de görselleştirilmiş olup mikro kojenerasyonun aylık tükettiği ortalama 6998 m³ doğal gaza karşılık yine aylık ortalama 18480 kWh' lik elektriksel enerji elde edilmiştir. Paket tipi kojenerasyon modülünün devreye alınması ile şebekeden çekilerek kullanılan elektrik enerji miktarı ortalama %51 oranında azalır. Bunun yanında sistemden elde edilen faydalı ısı enerjisi için kazan kullanılmamış olduğundan yaz sezonunda kılavuz kazan dâhil genel ısıtma sisteminde aktif kazan bulunmaz. İlkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde mikro kojenerasyon sisteminin ürettiği termal enerjiye ek olarak, yerleşkede bulunan 2 adet 1120 kWt' lik kazanların sistematik olarak devreye girip çıkması sitenin genel ısıtma sisteminin termal enerji ihtiyacına göre şekillenir. Böylece termal enerji kazanımının yanında kazanların bakım süreside uzamış olur.



Şekil 47. PTKM' nin enerji senkronizasyonu

4.3.2. Termal Enerji

Uygulaması gerçekleştirilen paket tipi kojenerasyon modülündeki gaz motorunun, çalışma yüküne göre motor ceket soğutma suyu sıcaklığı (T_{ss}) ile egzoz gazı sıcaklığından elde edilen suyun sıcaklık (T_{ec}) değişimi Şekil 48'de görselleştirilmiştir. Motor ceket suyu soğutmasından elde edilen yaklaşık 80°C sıcaklığındaki sıcak su, egzoz gazı ısısının geri kazanımı ile 88°C'ye yükselir. Bu teknik veriler motorun yüklenmesi ile ısı geri kazanım miktarının artacağını gösterir.



Şekil 48. Motor çalışma yüküne bağlı termal değişim

4.3.2.1. Plaka Isı Eşanjöründe Termal Enerji Değişim

Sistemde açığa çıkan elektrik enerjisinin yanında motor blok soğutması ısı eşanjörü (motor bloğu ve gres yağı) ve egzoz gazı ısı eşanjörü yardımıyla soğutma suyu sıcaklığı 92 °C'ye çıkarılır. 92 °C giriş sıcaklığına sahip olan plaka ısı eşanjörü ısısını ısıtma suyuna aktararak çıkışta 81 °C olur. Soğutma suyu sıcaklığı çıkışta 81 °C iken ısıtma suyu sıcaklığı çıkışta 90 °C olur. Şekil 49'da gösterildiği gibi plaka ısı eşanjöründe giriş / çıkış sıcaklıkları 92 / 81 °C iken ısıtma suyu giriş / çıkış sıcaklıkları 70 / 90 °C olur. Böylelikle soğutma suyu yardımıyla sistem performansı artırılırken atık ısı olarak atılacak enerji faydalı sıcak suya çevrilir. Tablo 24'te eşanjörlerin termal

güçlerine ilişkin giriş/ çıkış sıcaklıkları belirtilmiştir. Burada motor blok soğutma ısı eşanjöründe akışkan 80 °C'den 88 °C'ye yükselir bu egzoz gazı eşanjörü aracılığı ile 88 °C'den 92 °C'ye çıkar. Böylece Tablo 25'te de görüleceği gibi sıcaklığı artan akışkan ısısını plaka ısı eşanjörü yardımıyla ısıtma suyuna aktararak sıcaklığını 70 °C'den 90 °C'ye çıkarır. Buda bina sıcak su sistemine takviye sağlar.

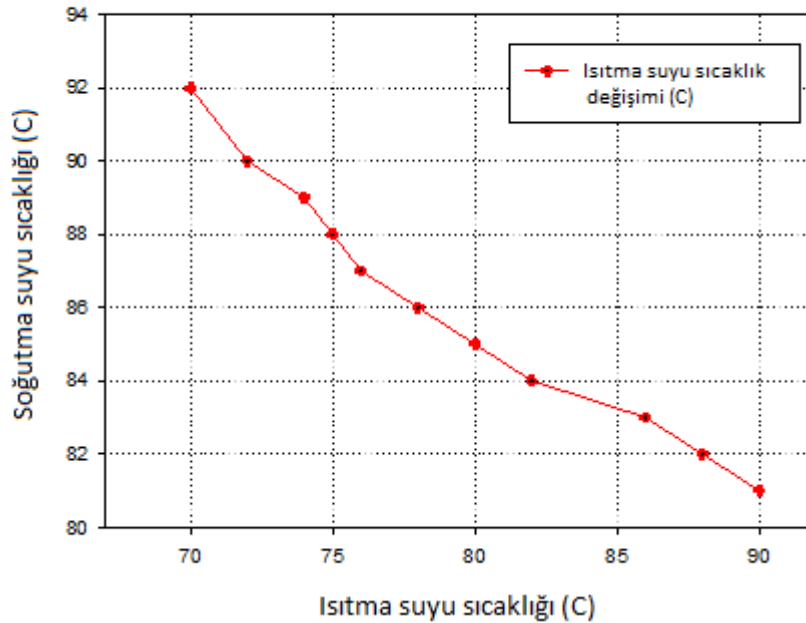
Tablo 24. PTKM' de eşanjör giriş çıkış sıcaklıkları ile termal ısı güçleri

	Isı Gücü (kWt)	Soğutma Suyu Sıcaklığı	
		Giriş (°C)	Çıkış (°C)
Motor blok soğutması ısı eşanjörü	77	80	88
Egzoz gazı ısı eşanjörü	38	88	92
Plaka ısı eşanjörü	115	92	81

Tablo 25. Plaka eşanjöründe soğutma suyu ve ısıtma suyu termal geçişi

	Plaka Isı Eşanjörü	
	Giriş (°C)	Çıkış (°C)
Soğutma suyu sıcaklığı	92	81
Isıtma suyu sıcaklığı	70	90

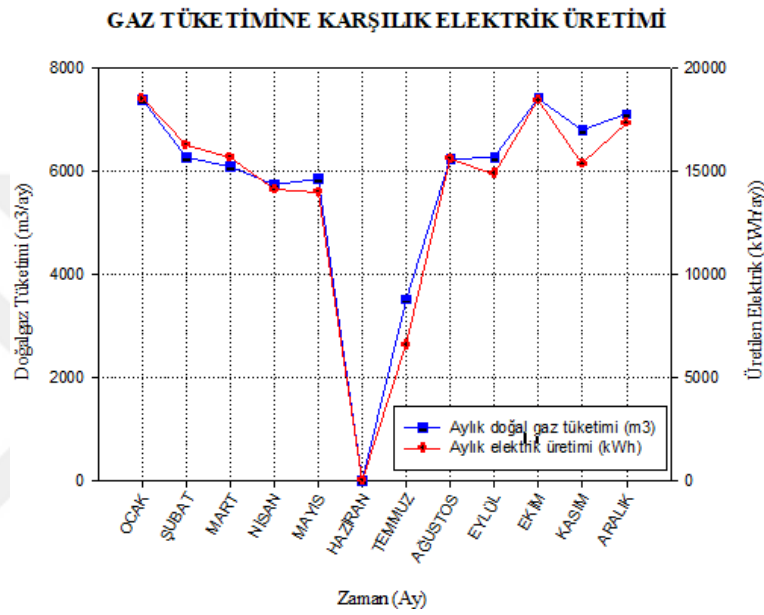
PLAKALI EŞANJÖRDE ISITMA VE SOĞUTMA SUYUNUN TERMAL GEÇİŞİ



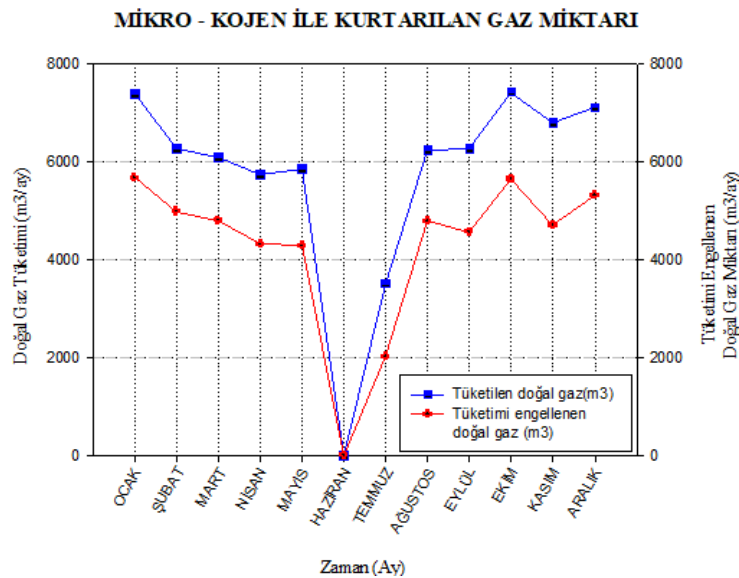
Şekil 49. Plakalı eşanjördeki termal enerji dönüşümü

4.3.2.2. Doğal Gaz Tüketimi ve Kazanımı

Paket tipi kojenerasyon modülünde yakıt olarak harcanan doğal gaz ile elektrik enerjisi ve termal ısı kazancı elde edilir. Şekil 50 ve Şekil 51’de haziran ve temmuz aylarındaki sistemin kapatılması (sistem bakımı ve yedek malzeme beklenmesi) nedeniyle hem doğal gaz tüketimi oluşmamış hem de enerji açığa çıkmamıştır.



Şekil 50. Doğal gaz tüketimi ile PTKM’ den elde edilen elektrik enerjisi



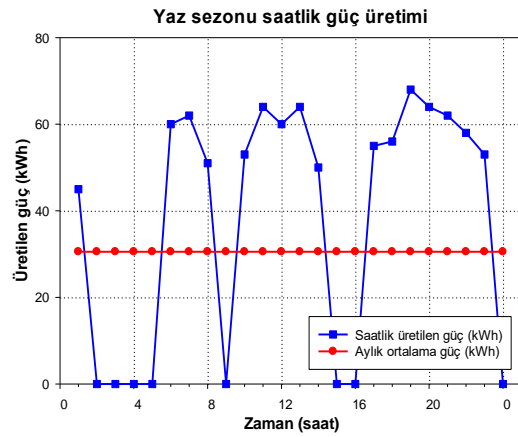
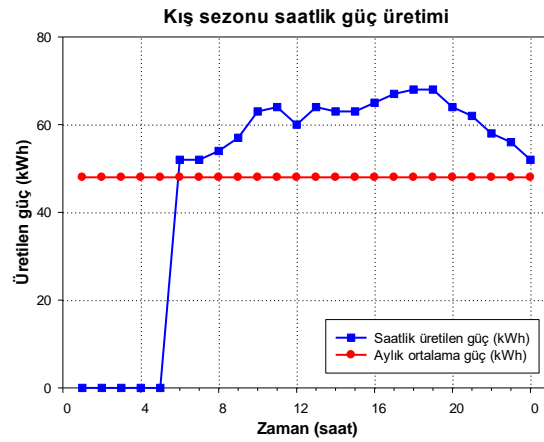
Şekil 51. Elde edilen termal enerjiye karşılık harcanmayan doğal gaz miktarı

Tüketilen doğal gaz karşılık elde edilen elektrik enerjisi Şekil 50’de gösterilmiştir. Burada unutulmaması gereken nokta Şekil 51’de gösterilen termal enerjinin ekstra olarak oluşmasıdır. Yani Şekil 51’de belirtildiği gibi doğal gaz tüketimi olmadan termal enerji kazanımı söz konusu olup bunun oluşabilmesi için tüketilmesi muhtemel doğal gaz sitenin kârını oluşturmuştur.

4.4. Sistemin Elektriksel Enerji Analizi

4.4.1. Bina – Entegre Mikro Kojenerasyon Sistemi Elektriksel Güç Üretimi

Kış sezonunda ortalama saatlik güç üretimi 48 kW olup Şekil 52 (a)’daki gibi gösterilmiştir. Bu ortalama değer yaz sezonu için 30,54 kW olarak tespit edilmiş ve Şekil 52 (b)’deki gibi gösterilmiştir. Dikkat edilirse yaz döneminde mikro kojenerasyon modülü kış dönemine göre daha fazla uyku moduna düşmüştür. Bunun nedeni mevsimsel şartlar ile konut sakinlerinin enerjiyi kullanım alışkanlıklarının birbirlerinden çok farklı oluşudur.



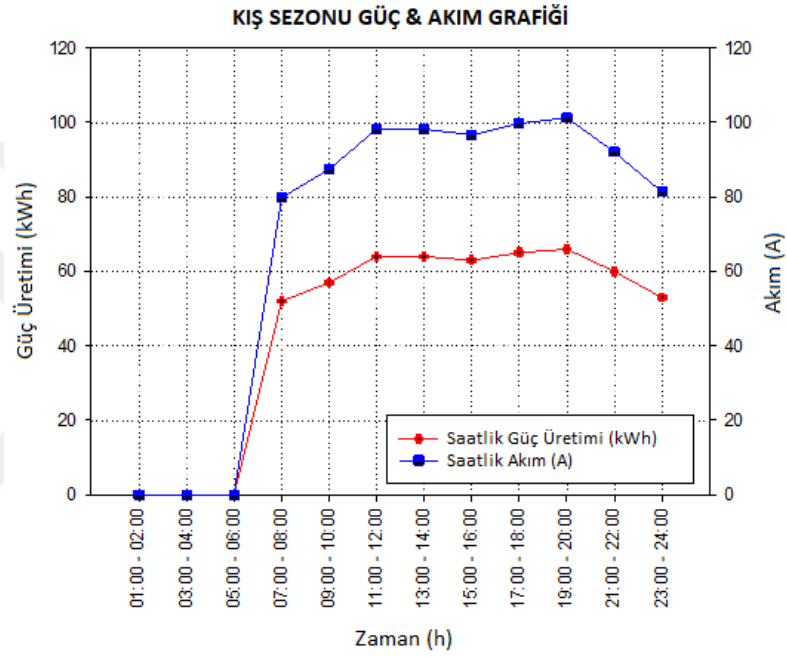
(a) PTKM yaz sezonu ortalama elektrik üretimi

(b) PTKM kış sezonu ortalama elektrik üretimi

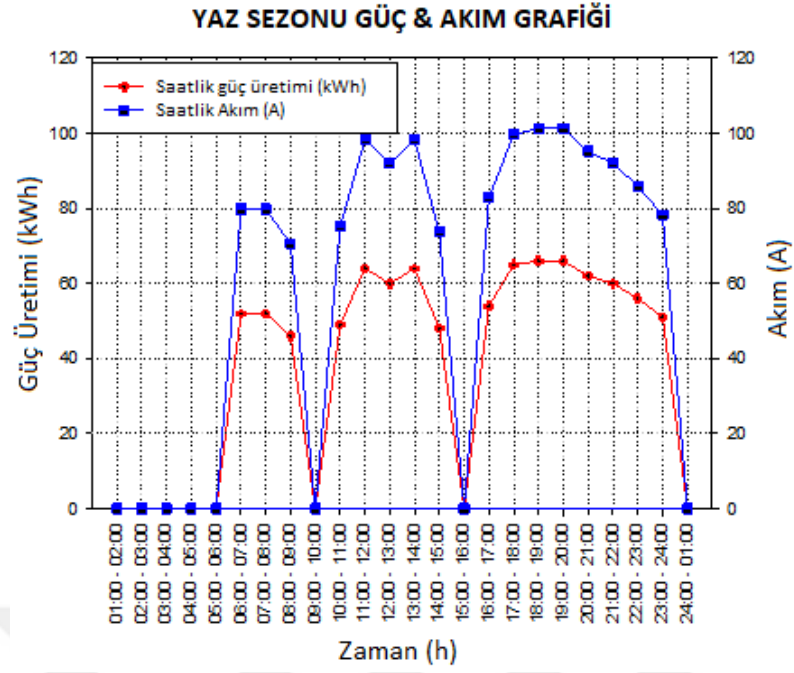
Şekil 52. Kış ve yaz dönemi ortalama saatlik elektrik üretimi

4.4.2. Bina – Entegre Mikro Kojenasyon Sistemi Akım Değerlemesi

Şekil 53 (a)'da ortalama anlık güç üretimine karşılık sistemden çekilen elektrik akımı kış sezonunda 72 Amp ile 102 Amp. arasında değişirken bu yaz sezonunda Şekil 53 (b)'de 70Amp. ile 101 Amp. arasında değişmektedir. Çekilen akımın çok değişmemesi aslında uyku modundan dolayı geçen sürenin ortalama güç değerine etki etmiş olmasındandır.



(a) Kış sezonu üretilen ortalama saatlik güç akım grafiği

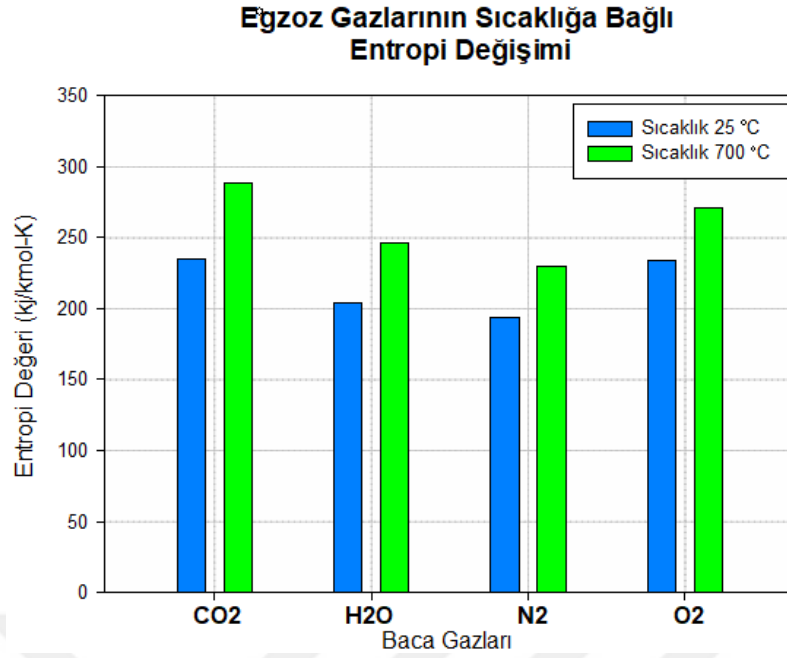


(b) Yaz sezonu üretilen ortalama saatlik güç akım grafiği
Şekil 53. Kış ve yaz dönemine ait ortalama saatlik güç ve akım

4.5. Sistemin Termodinamik Analizi

4.5.1. Sıcaklığa Bağlı Entropi Değişimi

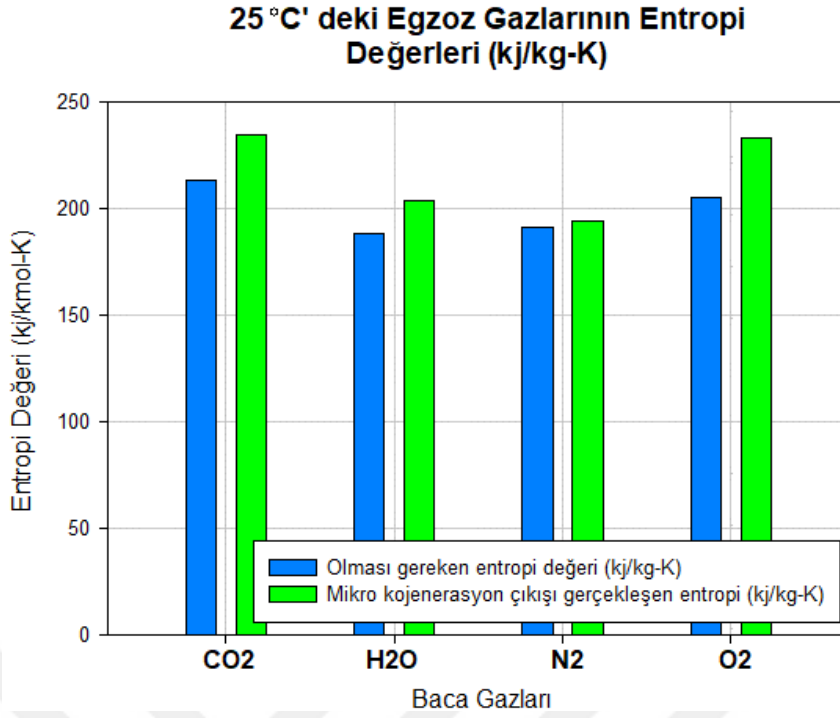
25 °C ve 700 °C sıcaklıklarında CO₂, H₂O, N₂ ve O₂ gazlarının entropi değerlerindeki değişim Şekil 54'te görselleştirilmiştir. Sistemsel düzensizlik olarak bilinen entropinin sıcaklık ile artma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. 25 °C ve 700 °C sıcaklıklardaki gazların entropilerindeki bu değişimler ile baca gazı ekserji yıkım hesabı gerçekleştirilir. Böylece mikro kojenerasyon sisteminde iyileştirilmesi gereken nokta tespiti gerçekleştirilerek verim artışı sağlanır.



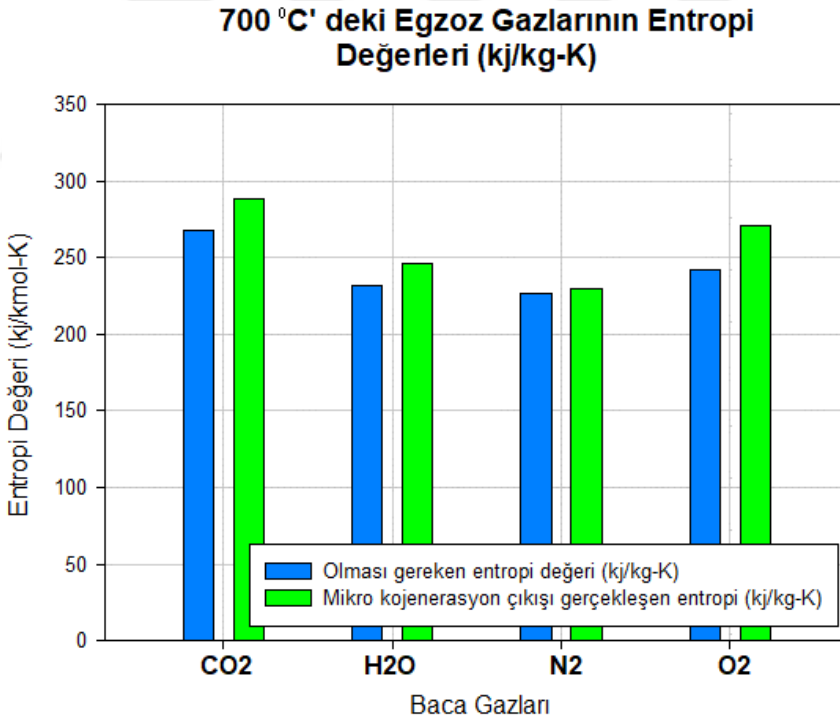
Şekil 54. Egzoz Gazlarının Sıcaklığa Bağlı Entropi Değerleri

4.5.2. Sıcaklık ile Egzoz Gazlarının Entropi Karakteristiği

25 °C ve 700 °C' deki egzoz gazlarının normal şartlar altındaki değerleri ile kurgusu gerçekleşen sistemin çıktısı olan entropi değerleri arasında azda olsa fark oluşmaktadır. Bu da Şekil 55 ve Şekil 56'da görselleştirilmiştir. Bu fark NŞA'da (normal şartlar altında) gerçekleştirilen gazların entropi değerlerinin kurulumu gerçekleşen işlek bir sistemin çalışma koşullarının ölçümlere ne ölçüde yansıdığını göstermektedir. Yani değişken ortam şartlarında egzoz gazında bulunan CO₂, H₂O, N₂ ve O₂ gazlarının her birinin molar ağırlıkları değişkenlik gösterdiğinden sıcaklık aynı olmasına rağmen NŞA koşullarındaki gazların entropileri ile mikro kojenerasyon egzoz çıkışı gazların entropi değerleri azda olsa farklılık göstermektedir. Bu farklılık baca gazı entropisinin elde edilmesini sağlar.



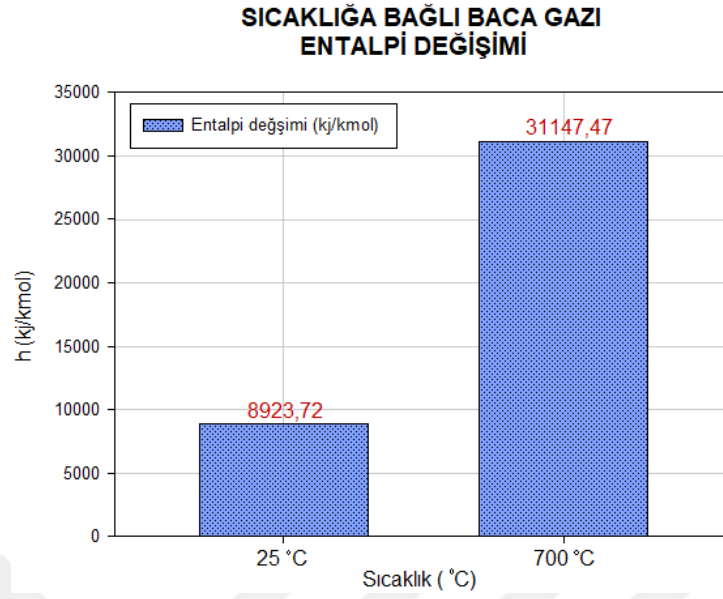
Şekil 55. 25 °C' deki gazların entropi değişimleri



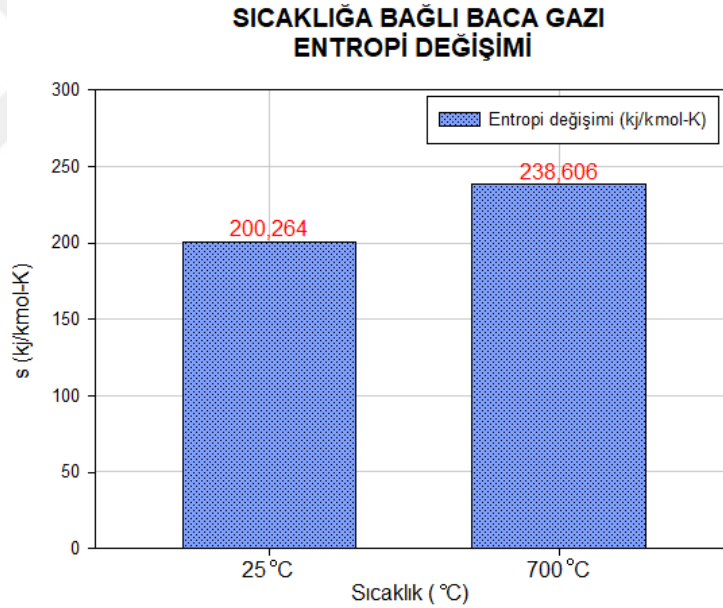
Şekil 56. 700 °C' deki gazların entropi değişimleri

4.5.3. Sıcaklık ile Baca Gazı Entalpi ve Entropi Değişimi

25 °C ile 700 °C 'deki CO₂, H₂O, N₂ ve O₂ gazlarına ait hesaplanan entalpi ve entropi değer değişimleri Şekil 57 ve Şekil 58'de görselleştirilmiştir.



Şekil 57. Baca gazı sıcaklığına bağlı entalpi oluşumu



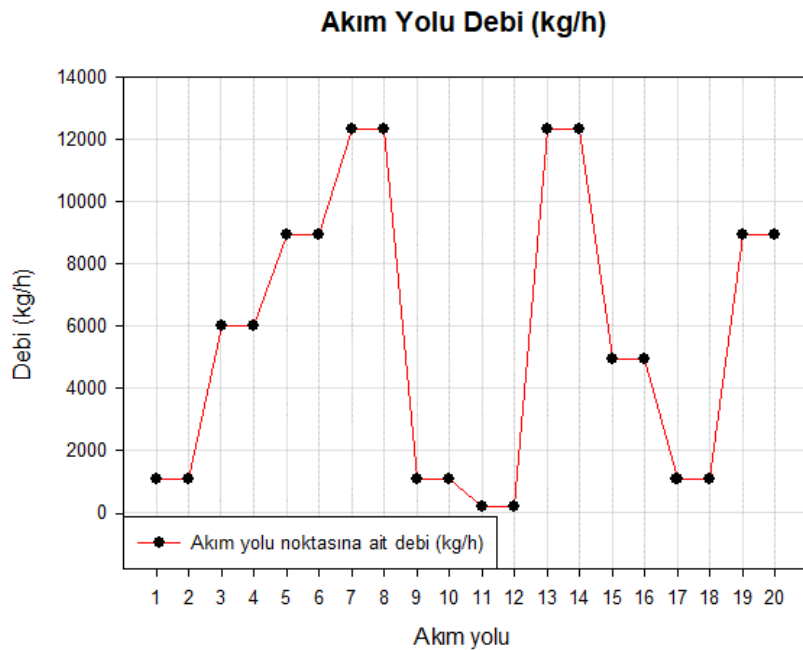
Şekil 58. Baca gazı sıcaklığına bağlı entropi oluşumu

Her bir gazın molar ağırlık oranlarına göre entalpilerinin toplamı 1 mol başına baca gazının entalpisini verir. Bunun 25 °C'deki ile 700 °C'deki değeri farklılık göstermektedir. Bu farklılık Şekil 57'de gösterilmiştir. Yine aynı şekilde 1 mol baca gazında bulunan gazların molar ağırlık oranlarına göre her bir gazın entropi değeri oluşturulmuş ve bu değerlerin 25 °C'deki değeri ile 700 °C'deki değeri farklılık göstermektedir. Bu farklılık Şekil 58'de görselleştirilmiştir. Sıcaklığa bağlı baca gazı

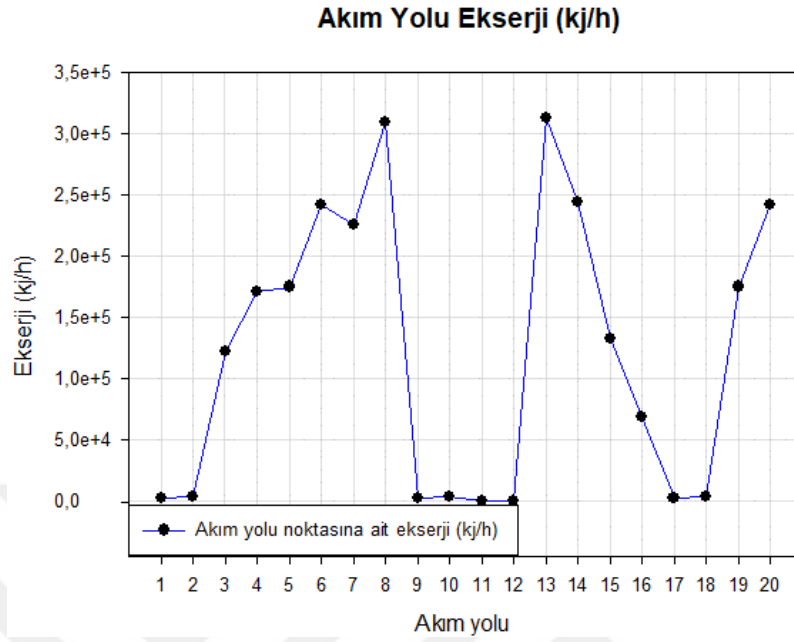
entalpi ve entropi değerleri arasındaki fark ne kadar fazla ise baca gazı ekserjisi o kadar yüksek çıkmaktadır.

4.5.4. Akım Yolu Noktalarına Ait Ekserji Yıkım Analizi

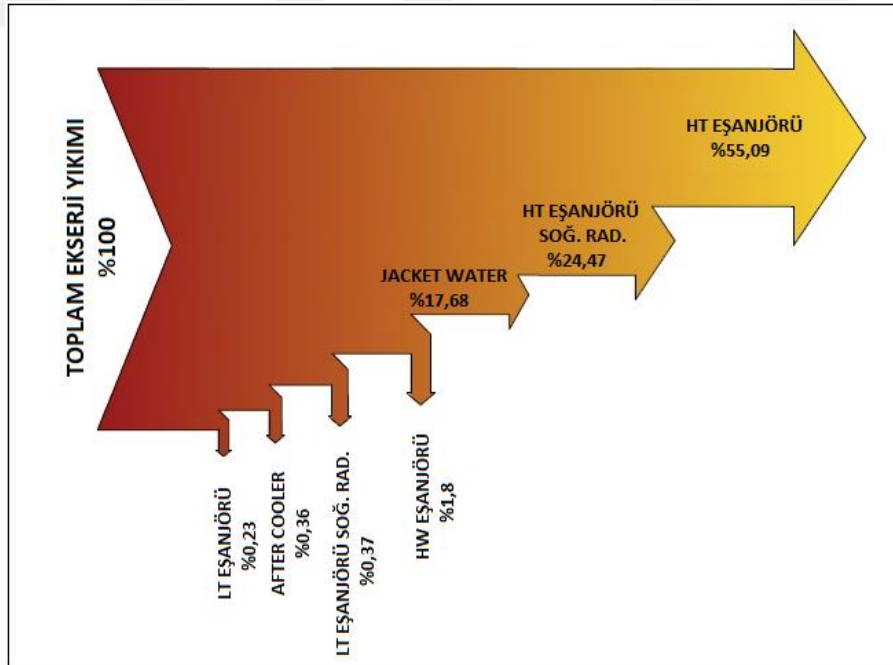
Sistemin akım yolu noktalarına ait sıcaklığa bağlı entalpi ve entropi oranlarının değişkenlik göstermesi her noktanın ekserji değerini Şekil 60'taki gibi farklılık göstermesine neden olmaktadır. Bu da Şekil 61'de yer alan akış diyagramındaki ekserji yıkımlarına neden olmaktadır. Grafiklerin 7, 8 nolu akım yollarına ilişkin değerlerin pik yaptığı bu noktaların yüksek sıcaklık eşanjör çıkışı olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık eşanjörü 92-81°C aralığında çalışarak bina ısıtmasına kış aylarında destek sağlar. Yüksek sıcaklık eşanjörü sıcak su eşanjörünü besleyerek sitenin ihtiyacı olan 70-90 °C sıcak suyu sağlar. Eşanjördeki bu ısı transferi sistemin 8 nolu akım yoluna ait noktanın ekserji değerini yükseltir. Aynı durum sıcak su eşanjör girişi olan 13 nolu akım yolu noktasında da sözkonusudur. Grafiklerin 13 nolu akım yoluna ilişkin değerlerin pik yaptığı bu noktanın sıcak su eşanjör girişi olduğu tespit edilmiş olup sıcak su eşanjörü 70-90 °C aralığında çalışarak bina ısıtmasına kış aylarında destek olur. Bu sıcak su eşanjöründeki ısı transferi sistemin 13 nolu akım yolu noktasının ekserji değerini yükseltir. Şekil 59, Şekil 60 ve Şekil 61'de yer alan verilerin görselleştirildiği grafikler ve akış diyagramı sistemin veriminin yükseltilmesine ilişkin iyileştirmelerin yapılabileceği ekipmanı ortaya çıkarır.



Şekil 59. Sistem akım yolu debi değişimi



Şekil 60. Sistem akım yolu ekserji değişimi

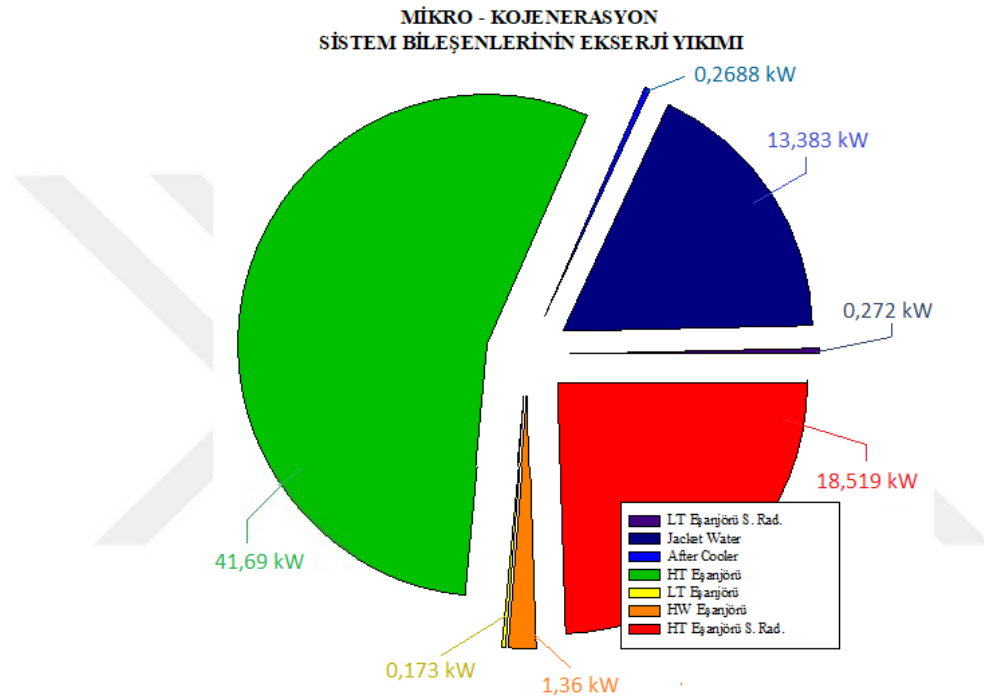


Şekil 61. Mikro kojenerasyon ünitesine ait ekserji yıkım dağılımı

Kurgusu gerçekleştirilen sistemin ekserji yıkımına ilişkin akış diyagramı Şekil 61'de görselleştirilmiştir. Bu veri bize iyileştirilmesi gereken ekipman ile ilgili bilgi

vermektedir. HT eşanjörü olarak belirtilen yüksek sıcaklık eşanjöründeki yıkım %55,09 olarak hesaplanmış olup bu ünitenin irdelenmesi gerektiği sonucunu doğurmuştur.

Şekil 62’de her üniteye ilişkin ekserji yıkım değerleri kW olarak belirtilmiş olup en fazla ekserji yıkımı 41,69 kW ile yüksek sıcaklık eşanjörüne aittir. Bu ünitenin iyileştirilmesi ile verim artışı sağlanacaktır. Kurulumu gerçekleştirilen sistemde yüksek sıcaklık eşanjörüne ilişkin henüz bir iyileştirilme yapılmamış olup termodinamik, ekonomik ve çevresel analizler mevcut hal üzerinden gerçekleştirilmiştir.

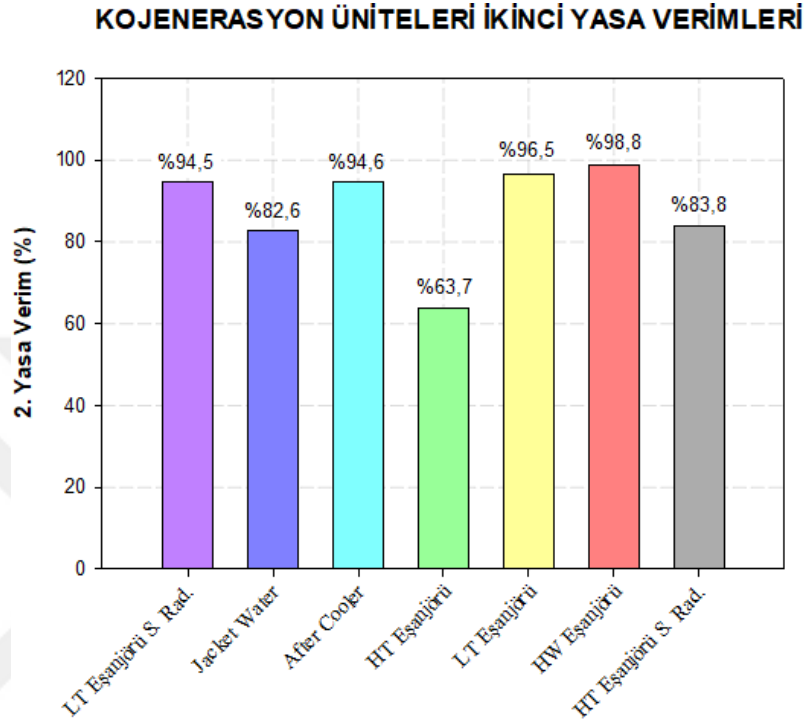


Şekil 62. Mikro kojenerasyon ünitesine ait ekserji yıkımı (kW)

4.5.5. Mikro Kojenerasyon Ekipmanlarına Ait İkinci Yasa Verim Analizi

Şekil 63’te mikro kojenerasyon sistem parçalarına ait ikinci yasa verimleri gösterilmiştir. Burada da belirtildiği gibi yüksek sıcaklık eşanjörünün verimi sistemi etkilemektedir. İyileştirmeleri yüksek sıcaklık eşanjörüne yönelik yapmak sistem performansına pozitif katkı sağlayacaktır. Yüksek sıcaklık eşanjörünün verimi %63,7 olup bu sistem performansını düşürmektedir. Yüksek sıcaklık eşanjörüne yönelik iyileştirme yapılırsa idi verim yükselecek ve yüksek sıcaklık eşanjörünün 80-88°C aralığındaki çıkış sıcaklığı, sıcak su eşanjörünün giriş sıcaklığı olduğundan daha yüksek sıcaklıkta sıcak su sisteme verilmiş olunacaktı. Sıcak su eşanjörünün çıkışı olarak tespit edilen sıcaklık aralığı 70-90 °C’ dir. Yüksek sıcaklık eşanjöründeki verim artışıyla sıcak

su temini 90 °C seviyelerine çıkmakta bu da daha az doğal gaz enerji gideri ile daha fazla faydalı enerji eldesini sağlamaktadır. Böylece kurulumu gerçekleştirilen sistemin enerji performansı artacağından ekonomik analiz iyileşecek bu da sistemin amortisman (geri dönüş) süresini kısaltacaktır.

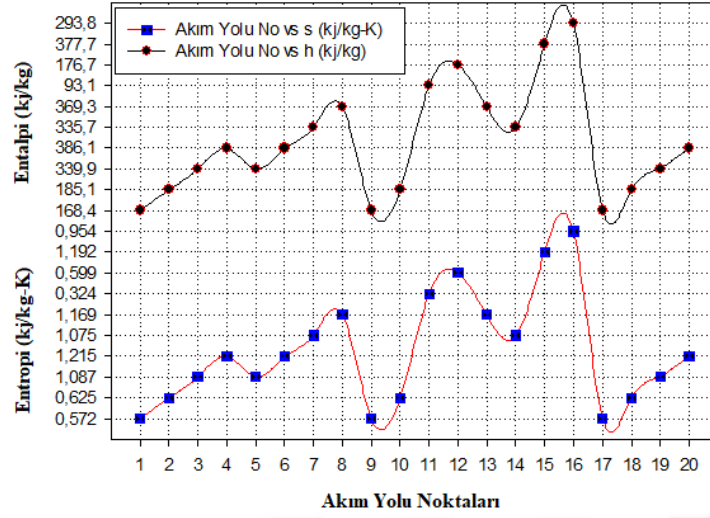


Şekil 63. Kojenerasyon ünitelerine ait ikinci yasa verimleri

4.5.6. Akım Yolu Noktalarına Ait Entalpi ve Entropi Değişimi

Kurgusu gerçekleşen mikro kojenerasyon sisteminin enerji akış yoluna ait her noktanın entalpi ve entropi oranları EES programı yardımıyla bulunmuş ve bu değerler Şekil 64'te görselleştirilmiştir. Her bir akım yolu noktasının sıcaklığı farklılık göstermekte olup sistem basıncı 10 bar olarak sabitlenmiştir. Bu sıcaklık ve basınç şartlarında sistem akım yolu noktalarının entalpi ve entropi değerleri ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu tespitler her bir akım yolu noktasının ekserji değerinin oluşturulmasında kullanılırken aynı zamanda sistem ekipmanlarının ekserji yıkım ve veriminin oluşturulmasını sağlar.

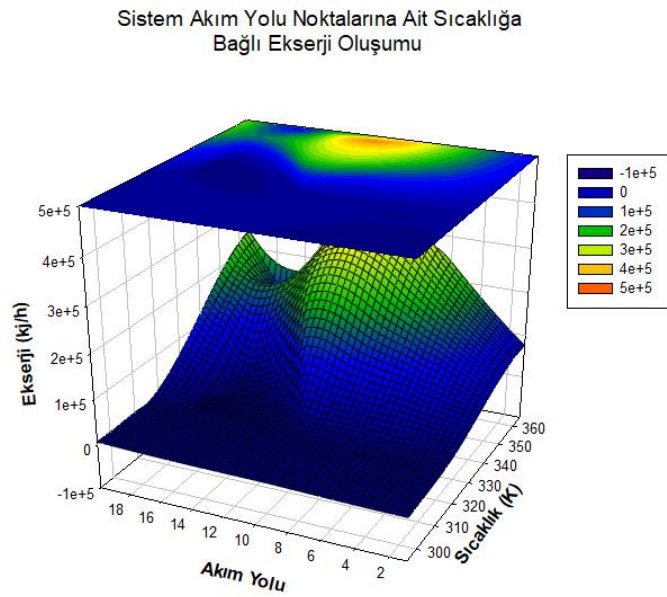
**Sistem Akım Yolu Noktalarına Ait
Entalpi&Entropi Değişimi**



Şekil 64. Sistem akım yolu noktalarına ait Entalpi ve Entropi değerleri

4.5.7. Akım Yolu Noktalarına Ait Sıcaklığa bağlı Ekserji Değişimi

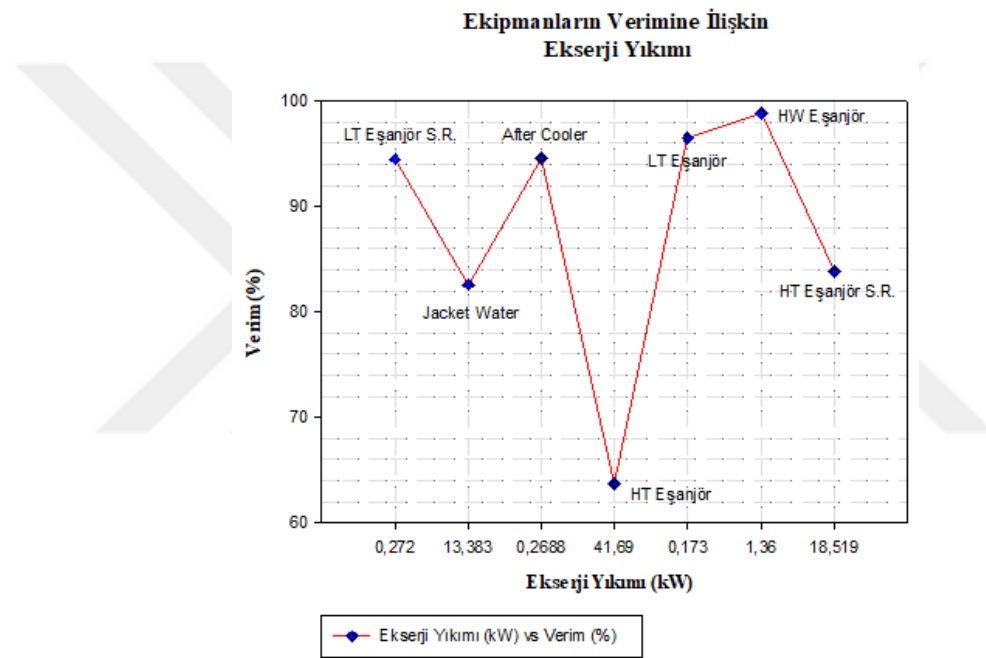
Mikro kojenerasyon sistemine ait akım yolu noktalarının sıcaklık ile ekserji oluşumlarının şeklen analizi Şekil 65'te gösterilmiş olup burada da HT (yüksek sıcaklık) eşanjörüne yönlendirme söz konusudur. Çünkü yüksek sıcaklık eşanjörüne ait akım yolu numaraları 5,6,7 ve 8 olarak kodlanmıştır. Şekil 65'ten de görüleceği gibi sıcaklık artışı ile ekserji yıkımı artmakta buda ilgili ekipmanın verimini düşürmektedir.



Şekil 65. Akım yolu noktalarının sıcaklığına bağlı ekserji değişimi

4.5.8. Mikro Kojenerasyon Ekipmanlarının Verim ile Ekserji Yıkım Analizi

Mikro kojenerasyon sisteminde yer alan ekipmanların termodinamik analizleri EES programı yardımıyla gerçekleştirilmiş olup ekserji yıkımlarına ait sistem verimleri Şekil 66'da görselleştirilmiştir. Bu analiz sistemin neresinde iyileştirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Yani yüksek sıcaklık eşanjöründeki ekserji yıkımı oldukça yüksek çıkmakta buda veriminin düşük olmasına sebep olmaktadır. Kurulumu gerçekleştirilen mikro kojenerasyon sistem veriminin daha iyi hale getirilmesinin yolu yüksek sıcaklık eşanjörüne müdahaleden geçmektedir.

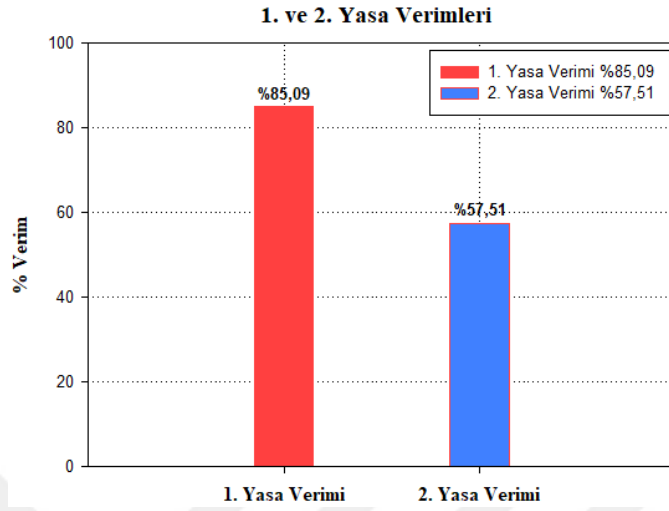


Şekil 66. Sistem ekipmanlarının verimlerine ait ekserji yıkımları

4.5.9. Mikro Kojenerasyon Sistemi 1. ve 2. Yasa verimleri

Termodinamiğin birinci yasasına göre elde edilen sistem verimi Şekil 67'deki gibi %85,09 iken sisteme ait, ekserji yıkımlarının gerçekleşmesi nedeniyle, termodinamiğin ikinci yasa verimi %57,51 olarak tespit edilmiştir. Birinci yasa verimi elde edilen toplam elektrik ve termal enerjilerin giren toplam yakıt enerjisine oranı olarak tanımlanır. İkinci yasa veriminde ise giren doğal gazın toplam ekserjisinden sistemin toplam ekserji yıkımının düşülmüş halinin toplam giren doğal gazın ekserjisine

oranıdır. Burada giren doğal gazın fiziksel ekserjisi kimyasal ekserjisinin yanında ihmal edilebilir seviyelerde olmasına rağmen hesaplara dahil edilmiştir.



Şekil 67. Termodinamik 1. ve 2. yasa verimleri

4.6. Sisteminin Ekonomik Analizi

4.6.1. Test Dönemine Ait Ekonomik Analiz

Tablo 26 ve Tablo 27’de yer alan mikro kojenerasyona ait sistem verileri uygulama test dönemine ait olup ölçümlere dayalı olarak elde edilmiştir.

Tablo 26. Mikro kojenerasyon sistemine ilişkin ilk uygulama verileri

Parametreler			
Konut sayısı	137 + 4		
Günlük çalışma süresi	15 h		
Veri toplama süresi	980 h		
İç tüketim	1 kW/h		
Kojen gücü		Kojenerasyon verimi	
Elektriksel güç	71 ekW	Elektriksel verim	%34,3
Termal güç	116 tkW	Termal verim	%56,4
Ekonomik Göstergeler		Yatırım Bedeli	
Bakım gideri	0,35 €/h	Trafo ve altyapı yatırım bedeli	\$ 101.694,00
Daire sakininin aylık kazancı	\$ 22,10	Mikro kojenerasyon cihaz bedeli	\$ 91.525,00
Sitenin aylık kâr marjı	\$ 3.115,93	Sayaç bedeli	\$ 11.949,00
Yatırımın fizibilite geri dönüş süresi	5,48 YIL		
Yatırımın gerçek geri dönüş süresi	3,7 YIL	TOPLAM	\$ 205.168,00
Daire sakininin yıl içi aylık kazanç yüzdesi	%15,34 - %34		

Elde edilen bu verilere göre kurulumu gerçekleştirilen sistemin amortisman süresi 3,7 yıl olup daire başı aylık ortalama net kazanç \$22,10 olarak hesaplanmıştır. Tablo 27’de yer alan veriler 2016 yılında devreye alınan mikro kojenerasyon sistemine ait olup test dönemi olan ekim ve kasım ayı performans verileridir.

Tablo 27. Uygulamaya ilişkin performans ve ekonomik veriler

KOJEN PERFORMANS TABLOSU (10.&11. AY)						
KOJEN OLMASAYDI	KOJEN ELK. ÜRETİM	Elektrik üretim değeri	kwh	46.849,00	KOJEN GETİRİSİ	\$ 40.643,62
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,157		
		Kojen elektrik katkı TL değeri	\$	7.368,79		
	KOJEN ISIL KAZANÇ	Kojen ısıl güç	kw	115		
		Kojen Düzeltilmiş tüketim	m3	13,98		
		Kojen toplam ısıl kazancın TL değeri	\$	4.645,81		
	SİTE ELEKTRİK TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Elektrik Tüketimi	kwh	39.775,00		
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,157		
		Kojen Harici Elektrik Tüketimi	\$	6.256,13		
	KAZAN GAZ TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Isı Tüketimi	m3	66.000,00		
		Doğal gaz Birim Fiyatı	\$	0,338		
		Kojen Harici Doğal gaz Tüketimi	\$	22.372,88		
KOJEN PERFORMANS TABLOSU (10.&11. AY)						
KOJEN DEVREDE İKEN	KOJEN DOĞAL GAZ TÜKETİM	Kojen doğal gaz tüketim	\$	6.830,33	KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11
	KOJEN İÇ TÜKETİM	İç Tüketim	kW/h	1,00		
		İç Tüketim Elektrik Birim Fiyat	\$	0,118		
		İç tüketim gideri	\$	116,27		
	KOJEN BAKIM GİDERİ	Bakım gideri birim fiyat (Saat)	Euro	0,35		
		Bakım gideri	\$	453,45		
	KAZAN GAZ TÜKETİMİ	Sitenin Isınma Tüketim Doğal gaz Miktarı	m3	66.000,00		
		Doğal gaz Birim Fiyatı	\$	0,338		
		Kojen Harici Doğal gaz Tüketimi	\$	22.372,88		
	SİTE ELEKTRİK TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Elektrik Tüketimi	kW/h	39.775,000		
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,118		
		Kojen Harici Elektrik Tüketimi	\$	4.638,16		
	KOJEN TOPLAM KAZANÇ					
KOJEN AYLIK KAZANÇ				\$3.116,25		
KONUT SAKİNİNİN AYLIK KAZANÇI				\$22,10		

Performans verileri kojenerasyonun devrede olduğu dönem ile geleneksel sistem üzerinden enerji elde edilen dönem kıyaslamasına dayanır. Bu kıyaslamada doğal gaz gideri, elektrik enerji üretimi, termal enerji kazanımları, iç tüketim ve bakım giderleri göz önüne alınarak ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Ekim ve kasım aylarına ait olan bu analiz sonucunda toplam ekonomik fayda \$6.232,50 olup aylık ortalama \$3.116,25 olarak alınabilir. Konut sakininin aylık net kazancı \$22,10 olduğu görülmektedir.

Mikro kojenerasyon sisteminde elektrik ve ısıya dayalı farklı çalışma modelleri söz konusu olabilmektedir. Isı bazlı sistem kurgusunda binada ısı tüketilmez ise elektrik oluşmayacak, elektrik enerjisi oluşmaz ise tasarruf meydana gelmeyecektir. Böylece fizibilite çalışmalarında tasarrufun oluşmayacağı öngörülüyorsa mikro kojenerasyon kurulumu için yatırımın yapılamayacağı belirtilir. Aksi durum söz konusu ise kojenerasyonun yıllık verimli çalışma saati önemli olup çalışma saati ne kadar yüksek ise tasarruf miktarı da o ölçüde artar. Sistemin ürettiği elektrik ve ısı enerjisinin, tüketim noktasında tümüyle tüketilebilmesi sistemin geri dönüş süresini kısaltır. Kurulumu gerçekleştirilen sistem ısı yükü baz alınarak tasarlanmamış olup, sitenin elektrik enerji tüketim miktarına göre tasarlanmıştır. Böylece sistemden elde edilen elektrik enerjisi site içerisinde tümüyle tüketimi sağlanmış ve sistemde oluşan atık ısı da faydalı ısıya dönüştürülerek geri kazanılmıştır.

4.6.2. Dönemsel Ekonomik Analiz

Kurulumu sağlanan mikro kojenerasyon sisteminin Nisan-Mayıs/2020 dönemine ait performansı Tablo 28’de yer almaktadır. Güncel elektrik ve doğal gaz birim fiyatları ile site enerji faturalarının yardımıyla dönemsel analiz gerçekleştirilmiş olup test dönemine ilişkin elde edilen veriler ile aralarında çok az bir değişiklik bulunmaktadır. Bu değişiklik konut sakinlerinin enerji kullanım alışkanlığının değişkenliği ve dolar kuruna bağlı enerji birim fiyatlarının değişkenliği ile ilgilidir. Test döneminde konut sakininin 22,10\$’lık kazancı aylık enerji giderinin %21,36’sına denk iken Nisan-Mayıs/2020 dönemindeki 20,93\$’lık aylık kazancı konut sakininin aylık enerji giderinin %31’ine denk gelmektedir.

Tablo 28. Mikro kojenerasyon dönemsel performans tablosu.

MİKRO KOJENERASYON (NİSAN-MAYIS/2020) PERFORMANS TABLOSU							
KOJEN YOKKEN	TOPLAM ELEK. TÜKETİMİ		kwh	56.800,00	HARCANAN	\$9.958,60	
	BİRİM FİYAT		\$	0,11			
	TOPLAM BEDEL		\$	5.964,00			
	TOPLAM MUHTEMEL ISI TÜKETİMİ		m3	14.740,20			
	BİRİM FİYAT		\$	0,27			
	TOPLAM BEDEL		\$	3.994,60			
	KOJEN DEVREDE İKEN	ELK ÜRETİM	Elektrik üretim değeri	kWh			34.850,44
Elektrik Birim Fiyat			\$	0,11			
Kojen elektrik katkı \$ değeri			\$	3659,2965			
KOJEN ISIL KAZANÇ		Kojen ısı güç	kWt	115,00	Üretimin Tüketimdeki Payı 55%		
		Kojen Düzeltilmiş tüketim	m3	14,19			
		Kojen toplam ısı kazancın \$ değeri	\$	2.183,98			
KOJEN DOĞALGAZ TÜKETİMİ		Kojen doğalgaz tüketim	\$	2.176,07			
BAKIM GİDERİ		Bakım gideri birim fiyat(Saat)	Euro	1,00			
		Bakım gideri	\$	630,83			
HARİCİ ELK. TÜKETİMİ		Şebekeden harcanan elk.	\$	2.610,47			
HARİCİ ISI TÜKETİMİ		Genel ısı merk. tüketimi	\$	1.674,22			
SİTE TOPLAM AYLIK KAZANÇ			\$	2.867,01			
KONUT SAKİNİNİN AYLIK KAZANCI			\$	20,93			

4.6.3. Paranın Zaman Değerini Dikkate Alan Yöntemler

4.6.3.1. Bugünkü Değer (BD) Yöntemi

BD yönteminde tüm faydalar ve tüm masraflar bugünkü değerine getirilir. Motor rektefiye olma süresi yaklaşık 10 yıl olması ve bu zaman dilimindeki belirlenen iskonto oranı (%10) ile 140.000,00 \$ yatırımın bugünkü değeri 116.537,63 \$ olarak

belirlenmiştir. Burada tüm faydalar tüm masraflardan yüksek çıkıyorsa proje kabul edilir. Aksi durumda proje red edilir. Kurulumu gerçekleşen sistemin yıllık enerji tasarruflarının toplamı ile sistem hurda değerinin toplamı faydayı oluştururken, yıllık bakım giderlerinin toplamı masrafı belirler. Tüm faydalar ile tüm masraflar arasındaki fark 116.537,63 \$ olması yatırımın kabul edilebilirliğini göstermiştir.

Tablo 29. BD yöntemi hesap cetveli

YIL	YATIRIM TUTARI	YILLIK ENERJİ TASARRUFU	YILLIK BAKIM GİDERİ	HURDA DEĞERİ	NAKİT AKIŞI	TABLO DEĞERİ	NAKİT AKIŞLARIN BUGÜNKÜ DEĞERİ
0	\$140.000,00				\$140.000,00	1	\$140.000,00
1		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,909	\$33.977,71
2		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,826	\$30.875,24
3		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,751	\$28.071,79
4		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,683	\$25.530,01
5		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,621	\$23.212,50
6		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,565	\$21.119,26
7		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,513	\$19.175,54
8		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,466	\$17.418,72
9		\$39.708,00	\$2.328,78		\$37.379,22	0,424	\$15.848,79
10		\$39.708,00	\$2.328,78	\$69.914,50	\$107.293,72	0,385	\$41.308,08
							\$116.537,63

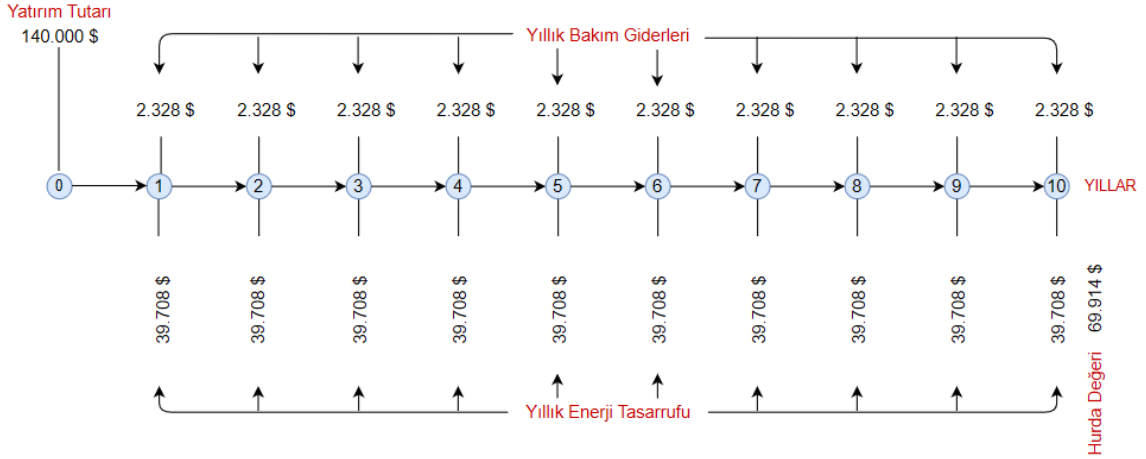
İskonto Oranı : %10

4.6.3.2. Net Bugünkü Değer (NBD) Yöntemi

NBD yönteminde belirli bir faiz oranı ile (%10) projenin ekonomik ömrü gözetilerek, toplam faydalar ile toplam masrafların bugünkü değeri arasındaki fark pozitif ise proje kabul edilir, negatif ise proje red edilir. Tablo 30'da yıllık enerji tasarrufları ile hurda değeri toplam faydayı oluştururken yıllık bakım giderleri toplam masrafı oluşturmuştur. Toplam fayda ile toplam masraf arasındaki fark 116.633,89 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer projenin kabul edilebilir olduğunu net bugünkü değer yöntemiyle göstermiştir.

Tablo 30. NBD hesaplama akışı

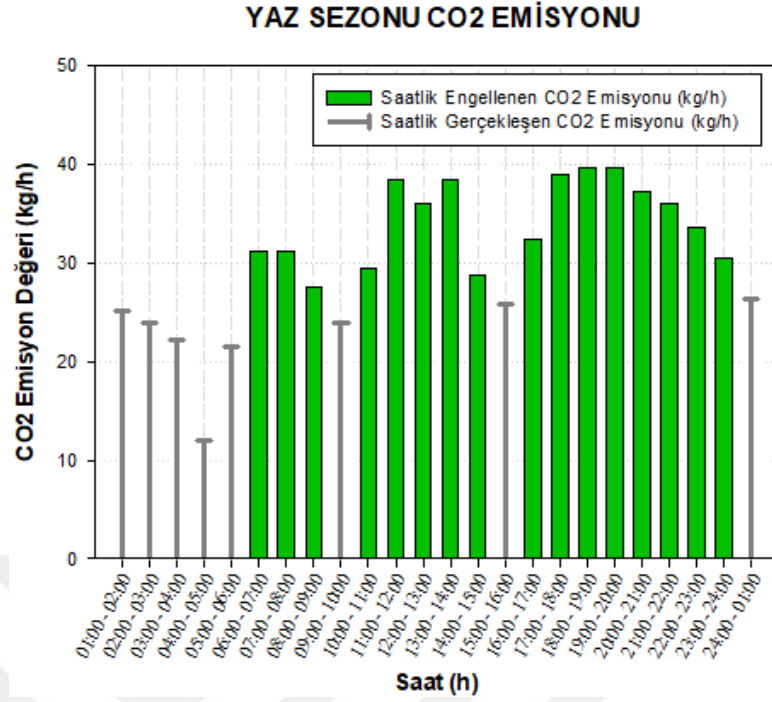
İskonto Oranı : %10



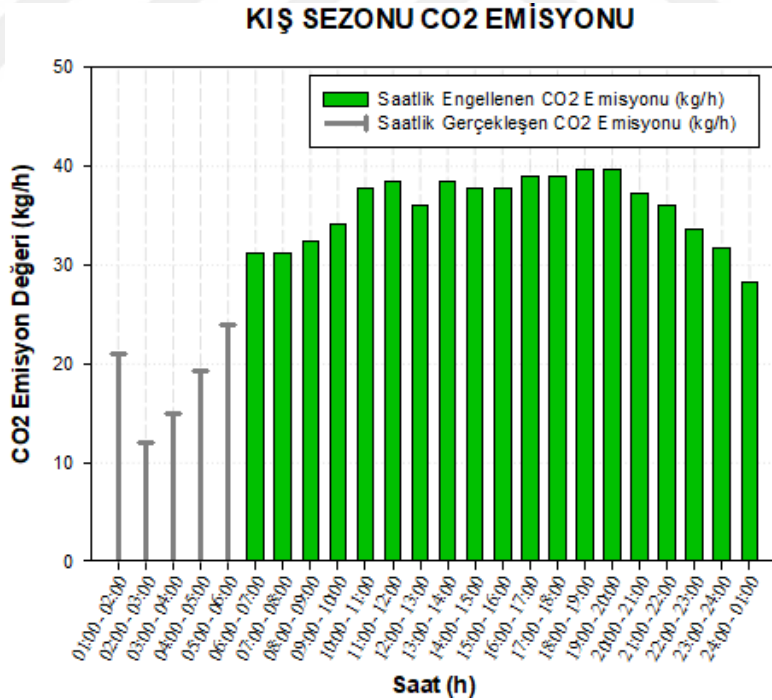
4.7. Sistemin Çevresel Analizi

4.7.1. Sisteminin mevsimsel CO₂ emisyonu

Şekil 68 ve Şekil 69’da yaz ve kış aylarında sitenin enerji ihtiyacının geleneksel yöntemlerin dışında kurgulanmış olan mikro kojenerasyon yardımıyla elde edilmesine karşılık doğaya olan katkısı, engellenen CO₂ miktarı ile gösterilmiştir. Burada bir günlük ortalama veri dikkate alınmış olup gece saatlerinde sistemin uyku modunda olması ile şebeke enerjisi kullanılmaktadır. Mikro kojenerasyon tarafından üretilen enerjinin set değeri 44 kWh olarak ayarlanmış olup bu değer altında mikro kojenerasyon ünitesinin enerji üretim-tüketim dengesi fizibil olmamakta bundan dolayı doğaya salınımı gerçekleşen CO₂ miktarının saatlik kg cinsinden değeri bu şartlar altında oluşturulmuştur. Gece enerji kullanımına karşılık günün gece koşullarının (01:00 ile 05:00 arası) dışında kullanılan enerji mikro kojenerasyon sistemi yardımıyla oluşturulduğundan enerji verimliliği oluşacak olup bu doğaya atılması muhtemel enerjinin sera gazı olarak karşılığı kg cinsinden hesaplanmıştır. Kurgulanan sistemde kış sezonunun sistemin çalışmasının yaz sezonuna nispeten çevreyi daha fazla koruduğu tespit edilmiştir. Yani yaz sezonunda sistem enerji kullanımının gün içi oldukça dalgalı olması sistemin uyku moduna defalarca girip çıkmasına neden olmakta buda seragazı oluşumunun engellenmesine mani olmaktadır. CO₂ en düşük kapasiteye sahip olmasına rağmen doğada çok fazla bulunmasından dolayı en tehlikeli gaz durumundadır (Bekiroğlu, 2011). Bundan dolayı enerji üretimi esnasında doğaya en çok zarar veren CO₂ emisyonu baz alınarak işlemler gerçekleştirilmiştir. 1 kWh elektrik üretiminde 0,6 kg CO₂’nin doğaya salınması söz konusudur.



Şekil 68. Mikro kojenerasyon tesisine ait yaz sezonu CO₂ emisyon değişimi



Şekil 69. Mikro kojenerasyon tesisine ait kış sezonu CO₂ emisyon değişimi

Bir sonraki bölümde sisteme ilişkin çıktılarının sonuçları ve gelecek projeksiyonu irdelenmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye’de ilk kez konutlara uygulanan mikro kojenerasyon sistemi enerji üretimi, ekonomiklik, ekserji analizi ve çevresel etki açısından irdelenmiştir. Söz konusu teknolojinin yaygınlaşabilmesi için meskenlere yönelik mikro kojenerasyon uygulaması detaylı analiz edilerek yol haritası çizilmiştir. Kurulumu gerçekleşen mikro kojenerasyon sistemine giren enerji, çıkan elektriksel ve termal güç, toplam verim, toplam yatırım maliyeti, sistemin geri dönüşüm süresi ile ilgili bilgiler değerlendirilerek analiz edilmiştir. Mikro kojenerasyon sisteminde termal enerji çıkış gücü 116 kWt olup elektriksel güç olan 71 kW’e’den daha yüksektir.

Kurulumu gerçekleşen sistemin elektriksel verimi %34,3 iken termal verimi %56,4’tür. Sistemin birinci yasa verimi % 85,09, ikinci yasa verimi ise %57,51 olarak hesaplanmıştır. Sistem ekipmanlarında meydana gelen ekserji yıkımlarının ikinci yasa verimini düşürdüğü tespit edilmiştir. HT eşanjörünün ikinci yasa verimi %63,7 olarak çıkmış ve bu ekipmanda yıkım 41,69 kW olarak tespit edilmiştir. Bu veri bize HT eşanjörünün iyileştirilmesi ile sistemin toplam ikinci yasa veriminin yükseleceğini göstermektedir.

Analiz dönemine ilişkin ekonomik veriler, konut sakininin aylık net kazancının 2016 yılı test döneminde 22,1\$, Nisan-Mayıs/2020 analiz döneminde ise 21,08\$ olduğunu göstermiştir. Dolar kurunun ve konut sakinlerinin enerjiyi kullanım alışkanlığının değişkenliği test dönemindeki konut sakininin aylık net kazancını %21’den %31’e yükseltmiştir. Test dönemi verileri yardımıyla site aylık kar miktarı yaklaşık olarak 3.116,25\$ tespit edilmiş ve amortisman süresi 3,7 yıl olarak belirlenmiştir.

Kojenerasyon, elektrik ve ısıyı aynı anda tüketim noktasında yaklaşık %85’lik bir verimle üretebilen kompakt yapıları enerji üretim cihazıdır. Enerjinin ayrı sistemler üzerinden temini yani elektriğin termik santralde üretilerek kullanım yerine ulaştırılması ve termal enerjisinin bir kazan yardımı ile temin edilmesi modeli geleneksel enerji temin şeklidir. Geleneksel enerji üretim modelinin verimi yaklaşık %51 civarındadır. Geleneksel sistemden kojenerasyonlu sisteme geçilerek enerjinin üretilip yerinde tüketilmesi ile enerji verimi yaklaşık olarak %33 artacağı tespit edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken noktaların başında mikro kojenerasyon sisteminin kapasitesinin doğru seçilmesi gerekliliğidir. Bu da mikro kojenerasyon sisteminin termal kapasitesinin binanın toplam ısı ihtiyacının %15’ini geçmemesi ile sınırlıdır. Kurgusu

gerçekleştirilen sistem yaz sezonunda siteye %100 termal enerji sağlarken ara mevsimlerde kademeli olarak düşerek kış sezonunda bu oran %5'e kadar gerilemektedir. Sitede yer alan kazan 1120 kWt olup 168 kWt sistemin termal üst sınırıdır. Site elektrik kapasitesi dikkate alınarak sistem kurulumu gerçekleştirildiğinden 116 kWt kapasiteye sahip olan mikro kojenerasyon yapıya uygundur. Bu termal enerjinin üstündeki seçimlerde mikro kojenerasyon çalışmayacak devamlı olarak uyku moduna geçecektir.

Yakıt m³ birim bedelinin elektrik kWh birim bedeline oranı ≥ 3 ise kurulumu gerçekleşen sistemin geri dönüş süresi oldukça kısaldır. Sistemin verimli çalışması yerel idarelerin elektrik ve doğal gaz birim fiyatlarının takibi ile mümkün olup dönemsel olarak sistemin kontrollü bir şekilde durdurulup devreye alınması sistemin kârlılığını artırır. Ayrıca kurulumu gerçekleştirilen mikro kojenerasyon sistemi senkronize olduğu şebeke enerjisinden elektrik enerji tarifesinin pahalı olduğu puant ve gündüz dönemlerinde sistemin aralıksız çalıştırılması ile şebekeden çekilmesi muhtemel pahalı enerjisinin kullanımını engelleyecek ve sistemin kârlılığını arttıracaktır. Yine aynı şekilde en düşük elektrik tarifeye sahip gece tarifesinde mikro kojenerasyon sistemi uyku moduna geçerek site yerel şebekenin ucuz olan tarifesi ile beslenir. Böylece kurulumu gerçekleştirilen sistemin hem bakım süresi uzamış olacak hemde artı kârlılık oluşturacaktır. Bunlar sitenin elektrik aboneliğinin çift tarifeli olması ile mümkündür.

Kurulumu gerçekleşen sisteme 140.000,00 \$ yatırım yapılmıştır. Bu paranın bugünkü değer (BD) yöntemiyle 10 yıllık süre zarfında değeri 256.637,62 \$'dır. Bu bedelin yatırım miktarından fazla olması yatırımın kabul edilebilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca ekonomik analiz yöntemlerinden bir diğeri olan net bugünkü değer (NBD) yöntemiyle 116.633,89 \$ elde edilmiştir. Böylece paranın zaman değerini dikkate alan BD ile NBD'nin sonuçları birbirine destekleyen çıktı üretmiştir.

Konvansiyonel sistemler ile kojenerasyonlu sistemler CO₂ emisyon oranları açısından kıyaslandığında konvansiyonel sistemlerin doğaya zararı kojenerasyonlu sistemlere göre 3 kat daha fazladır. Kurulumu gerçekleşen sistemin bir yılda doğaya sağladığı yarar yaklaşık olarak 199,98 ton CO₂_{emisyonu}' nun salınımının engellenmesi olup bunun fiziki karşılığı mikro kojenerasyon sisteminin her yıl doğaya 30 yetişkin ağaç kazandırmasıdır.

Mikro kojenerasyonların enerji üretimindeki yüksek verimleri, amortisman sürelerinin oldukça kısa olması ve zararlı gaz emisyonlarının oldukça düşük olması bu sistemlerin yaygınlaştırılması gerektiğini gösterir. Bu sistemlerin yaygınlaştırılabilmesi

için bir takım mevzuat ve yönetmelik değişikliklerine ihtiyaç olduğu gibi kullanıcı ve üreticilere yönelik teşvikler de sağlanmalıdır. Mikro kojenerasyon sistemlerinin en belirgin olumsuz yanı Türkiye’de sistemlerin yaygın olmamasından kaynaklı bakım giderlerinin çok yüksek olmasıdır. Saatlik bakım gideri 0,37 €/h olup motor çalışma süresi esas alınarak bakım ücretlendirilir. Mesken tipi mikro kojenerasyon sistemlerinin zamanla artması bakım giderlerini düşürecek ve sistem kendine yeni bir iş kolu oluşturacaktır.

2017 Tüik verilerine göre Türkiye’de enerji tüketiminin %30,01’inin konutlarda harcandığı bilinmekte olup tüketim yerinde enerji üretip tüketmenin önemi daha net anlaşılacaktır. Sonuç olarak mikro kojenerasyon sistem verimi geleneksel yöntemlerin kullanıldığı yapılaradaki enerji veriminden daha fazladır. Bu bilinç ile hareket edilerek enerji üretilip tüketilmesi ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmayla içten yanmalı pistonlu motor teknolojisine sahip bir mikro kojenerasyon sisteminin Türkiye’nin iklim koşullarındaki performansı analiz edilmiştir. Sistemde üretilen enerjiyi maksimuma çıkarabilmek için operasyon çizelgelemesini dengeleme stratejileri, mikro kojenerasyon sistemlerinin operasyonel optimizasyonu, enerji yönetimi konuları ve set değerlerinin değişkenlik göstermesine yönelik elde edilecek veriler ile çıktılarının verim analiz değişken sonuçlarının irdelenmesi bu çalışmanın bir sonraki araştırma konularındandır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın oluşumunda emeği geçen, kıymetli bilgi ve vaktini paylaşan değerli yöneticim Sayın Mehmet Ali KORKMAZ’a teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

- Kanoğlu, M., 2005, Jeotermal elektrik üretim sistemleri ve kojenerasyon, Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- Anonim, 2015, Üretilen birim güç başına eşdeğer karbondioksit salınım miktarı ne kadardır?, <https://arge7.com/detay.asp?id=2648> [Ziyaret Tarihi: 22 Mart 2019].
- Wang, Q., Su, B., Sun, J., Zhou, P. and Zhou, D., 2015, Measurement and decomposition of energy-saving and emissions reduction performance in Chinese cities, *Applied Energy*, 151, 85-92.
- Kannan, R. and Strachan, N., 2009, Modelling the UK residential energy sector under long-term decarbonisation scenarios: Comparison between energy systems and sectoral modelling approaches, *Applied Energy*, 86(4), 416-428.
- Ren, H. and Gao, W., 2010, Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan, *Energy and Buildings*, 42(6), 853-861.
- Pilavachi, P. A., Roumpeas, C. P., Minett, S. and Afgan, N. H., 2006, Multi-criteria evaluation for CHP system options, *Energy Conversion and Management*, 47(20), 3519-3529.
- Merkel, E., McKenna, R. and Fichtner, W., 2015, Optimisation of the capacity and the dispatch of decentralised micro-CHP systems: A case study for the UK, *Applied Energy*, 140, 120-134.
- Alahäivälä, A., Heß, T., Cao, S. and Lehtonen, M., 2015, Analyzing the optimal coordination of a residential micro-CHP system with a power sink, *Applied Energy*, 149, 326-337.
- Smith, A. D. and Mago, P. J., 2014, Effects of load-following operational methods on combined heat and power system efficiency, *Applied energy*, 115, 337-351.
- Noussan, M., Abdin, G. C., Poggio, A. and Roberto, R., 2014, Biomass-fired CHP and heat storage system simulations in existing district heating systems, *Applied Thermal Engineering*, 71(2), 729-735.
- Onovwiona, H. I. and Ugursal, V. I., 2006, Residential cogeneration systems: review of the current technology, *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(5), 389-431.
- Badami, M., Chicco, G., Portoraro, A. and Romaniello, M., 2018, Micro-multigeneration prospects for residential applications in Italy, *Energy Conversion and Management*, 166, 23-36.

- Horlock, J. H., 1997, Cogeneration-Combined Heat and Power (CHP): Thermodynamics and Economics.
- Roselli, C., Sasso, M., Sibilio, S. and Tzscheuschler, P., 2011, Experimental analysis of microgenerators based on different prime movers, *Energy and buildings*, 43(4), 796-804.
- Mongibello, L., Bianco, N., Caliano, M. and Graditi, G., 2016, Comparison between two different operation strategies for a heat-driven residential natural gas-fired CHP system: Heat dumping vs. load partialization, *Applied energy*, 184, 55-67.
- Wakui, T. and Yokoyama, R., 2014, Optimal structural design of residential cogeneration systems in consideration of their operating restrictions, *Energy*, 64, 719-733.
- Barbieri, E. S., Spina, P. R. and Venturini, M., 2012, Analysis of innovative micro-CHP systems to meet household energy demands, *Applied Energy*, 97, 723-733.
- Shimoda, Y., Taniguchi-Matsuoka, A., Inoue, T., Otsuki, M. and Yamaguchi, Y., 2017, Residential energy end-use model as evaluation tool for residential micro-generation, *Applied Thermal Engineering*, 114, 1433-1442.
- Riva, G., Sotte, M. and Coccia, G., 2014, L'accumulo di energia termica quale importante strumento per la realizzazione di edifici nZEB, Report Ricerca di Sistema Elettrico, ENEA.
- Bianchi, M., De Pascale, A. and Melino, F., 2013, Performance analysis of an integrated CHP system with thermal and Electric Energy Storage for residential application, *Applied Energy*, 112, 928-938.
- Arteconi, A., Hewitt, N. J. and Polonara, F., 2012, State of the art of thermal storage for demand-side management, *Applied Energy*, 93, 371-389.
- Pravadaloğlu, S., Komisyonu, E. M. O. İ. Ş. E. ve Şti, Ü. T. E. M. L., 2011, Yerde Enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri, EMO.
- Asaee, S. R., Ugursal, V. I. and Beausoleil-Morrison, I., 2015, Techno-economic evaluation of internal combustion engine based cogeneration system retrofits in Canadian houses—A preliminary study, *Applied Energy*, 140, 171-183.
- Anonim, 2017, Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Sayı 15.
- Yöntem, M. A., 2011, Küçük ölçekli kojenerasyon sistemlerinin verimliliğinin incelenmesi, Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Possidente, R., Roselli, C., Sasso, M. and Sibilio, S., 2006, Experimental analysis of micro-cogeneration units based on reciprocating internal combustion engine, *Energy and Buildings*, 38(12), 1417-1422.

- Cioccolanti, L., Savoretti, A., Renzi, M., Caresana, F. and Comodi, G., 2015, Design and test of a single effect thermal desalination plant using waste heat from m-CHP units, *Applied Thermal Engineering*, 82, 18-29.
- Renzi, M. and Brandoni, C., 2014, Study and application of a regenerative Stirling cogeneration device based on biomass combustion, *Applied Thermal Engineering*, 67(1-2), 341-351.
- Rahim, M. ve Gündüz, D., 2013, Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç (Kojenerasyon) Çevrim Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi: Ankara Şartlarında Uygulama, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 19-27.
- İmal, M., Kısakesen, T. ve Kaya, A., 2016, Enerji Ekonomisi Açısından Kojenerasyon ve Trijenerasyon Teknolojilerinin Isıtma-Soğutma Kapasitelerinin Analizi, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 19(2), 9-19.
- Anonim, 2012a, Viessmann Vitobloc 200 PTK EM-70/115 Modül kullanım kılavuzu.
- Anonim, 2019, Kojenerasyon sistemlerinde gaz jeneratörü, <http://gesenerji.com/istatistik/imag/kojenerasyon.PNG> [Ziyaret Tarihi: 22 Mart 2019].
- Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, A. and Olgun, B., 2012, Santral Ekonomisi, Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği, *Türkiye Elektrik Sanayi Birliği (TESAB) Ticari İşletmesi*, Cilt 3, 331-334.
- Fuentes-Cortés, L. F., Ávila-Hernández, A., Serna-González, M. and Ponce-Ortega, J. M., 2015, Optimal design of CHP systems for housing complexes involving weather and electric market variations, *Applied Thermal Engineering*, 90, 895-906.
- Alanne, K., Söderholm, N., Sirén, K. and Beausoleil-Morrison, I., 2010, Techno-economic assessment and optimization of Stirling engine micro-cogeneration systems in residential buildings, *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2635-2646.
- Gielen, D. and Kram, T., 1998, The role of non-CO2 greenhouse gases in meeting Kyoto targets, In *Economic Modelling of Climate Change*, OECD Workshop Report, pp. 17-18.
- Bekiroğlu, O., 2011, Sürdürülebilir kalkınmanın yeni kuralı: karbon ayak izi, [Çevrim içi], http://www.emo.org.tr/ekler/49c17cab08ed10e_ek.pdf [Ziyaret Tarihi: 6 Mayıs 2016].
- Sağlam, N. E., Düzgüneş, E. ve Balık, İ., 2008, Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, *Su Ürünleri Dergisi*, 25(1), 89-94.
- Beştaş, E.H., 2018, Üç Bloklı Bir Sitenin Isıtma İhtiyacının Kojenerasyon Sistemi İle Karşılanması ve Enerji-Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir

Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Anonim, 1, UNFCCC. <http://unfccc.int>

Anonim, 2, Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı tema.org.tr/web_14966-2_1/entitalfocus.aspx?primary_id=639&type=2&target=categorial1&detail=single&sp_table=&sp_primary=&sp_table_extra=&openfrom=sortial [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2020].

Anonim, 2020, NASA GISS, https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/ [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2020].

Anonim, 2012b, Enerji Yöneticisi Eğitim Ders Notları, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Cilt 2, UEM



EKLER**EK-1** EES program kodları

```

P_AfterCooler=5 [kW]
P_JacketWater=77 [kW]
P_LTEşanjörü=5 [kW]
P_HTEşanjörü=115 [kW]
P_HWEşanjörü=115 [kW]
P_LTEşanjörüSR=5 [kW]
P_HTEşanjörüSR=115 [kW]
{CO2 'nin molar ağırlık oranının ln değeri ; A=ln0,0807}
A=-2,51701
{H2 O' nin molar ağırlık oranının ln değeri ; A=ln0,1605}
B=-1,82946
{N2 ' nin molar ağırlık oranının ln değeri ; C=ln0,7265}
C=-0,31951
{O2 ' nin molar ağırlık oranının ln değeri ; C=ln0,0323}
D=-3,43268
X_CO2=0,0807
X_H2O=0,1605
X_N2=0,7265
X_O2=0,0323
h_298KCO2=9364 [kJ/kmol]
h_298KH2O=9904 [kJ/kmol]
h_298KN2=8669 [kJ/kmol]
h_298KO2=8682 [kJ/kmol]
RU=8,314
s_298KCO2=213,685 [kJ/kmol-K]
s_298KH2O=188,720 [kJ/kmol-K]
s_298KN2=191,502 [kJ/kmol-K]
s_298KO2=205,033 [kJ/kmol-K]
h_973KCO2=41307 [kJ/kmol]
h_973KH2O=34775,4 [kJ/kmol]
h_973KN2=29248,5 [kJ/kmol]
h_973KO2=30449,1 [kJ/kmol]
s_973KCO2=267,731 [kJ/kmol-K]
s_973KH2O=231,473 [kJ/kmol-K]
s_973KN2=227,164 [kJ/kmol-K]
s_973KO2=242,518 [kJ/kmol-K]
m_CO2=44,01 [g/mol]
m_H2O=18,01528 [g/mol]
m_N2=28,0134 [g/mol]
m_O2=31,9988 [g/mol]
m_21=264 [kg/h]

```

{0 Noktası Şartları}

```

T_0 =25 [C]
P_0=100 [kPa]
h_0=Enthalpy(Water;T=T_0;P=P_0)
s_0=Entropy(Water;T=T_0;P=P_0)

```

{1 Noktası Şartları}

$T_1 = 40$ [C]
 $P_1 = 1000$ [kPa]
 $h_1 = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_1; P=P_1)$
 $s_1 = \text{Entropy}(\text{Water}; T=T_1; P=P_1)$

$$U_1 = (h_1 - h_0) - (T_0 + 273) * (s_1 - s_0)$$

{2 Noktası Şartları}

$T_2 = 44$ [C]
 $P_2 = 1000$ [kPa]
 $h_2 = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_2; P=P_2)$
 $s_2 = \text{Entropy}(\text{Water}; T=T_2; P=P_2)$

$$U_2 = (h_2 - h_0) - (T_0 + 273) * (s_2 - s_0)$$

{3 Noktası Şartları}

$T_3 = 81$ [C]
 $P_3 = 1000$ [kPa]
 $h_3 = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_3; P=P_3)$
 $s_3 = \text{Entropy}(\text{Water}; T=T_3; P=P_3)$

$$U_3 = (h_3 - h_0) - (T_0 + 273) * (s_3 - s_0)$$

{4 Noktası Şartları}

$T_4 = 92$ [C]
 $P_4 = 1000$ [kPa]
 $h_4 = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_4; P=P_4)$
 $s_4 = \text{Entropy}(\text{Water}; T=T_4; P=P_4)$

$$U_4 = (h_4 - h_0) - (T_0 + 273) * (s_4 - s_0)$$

{5 Noktası Şartları}

$T_5 = 81$ [C]
 $P_5 = 1000$ [kPa]
 $h_5 = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_5; P=P_5)$
 $s_5 = \text{Entropy}(\text{Water}; T=T_5; P=P_5)$

$$U_5 = (h_5 - h_0) - (T_0 + 273) * (s_5 - s_0)$$

{6 Noktası Şartları}

$T_6 = 92$ [C]
 $P_6 = 1000$ [kPa]
 $h_6 = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_6; P=P_6)$
 $s_6 = \text{Entropy}(\text{Water}; T=T_6; P=P_6)$

$$U_6 = (h_6 - h_0) - (T_0 + 273) * (s_6 - s_0)$$

{7 Noktası Şartları}

$T_7 = 80$ [C]
 $P_7 = 1000$ [kPa]
 $h_7 = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_7; P=P_7)$
 $s_7 = \text{Entropy}(\text{Water}; T=T_7; P=P_7)$

$$U_7=(h_7-h_0)-(T_0 +273)*(s_7-s_0)$$

{8 Noktası Şartları}

$$\begin{aligned} T_8 &= 88 \text{ [C]} \\ P_8 &= 1000 \text{ [kPa]} \\ h_8 &= \text{Enthalpy(Water;T=T}_8\text{;P=P}_8\text{)} \\ s_8 &= \text{Entropy(Water;T=T}_8\text{;P=P}_8\text{)} \end{aligned}$$

$$U_8=(h_8-h_0)-(T_0 +273)*(s_8-s_0)$$

{9 Noktası Şartları}

$$\begin{aligned} T_9 &= 40 \text{ [C]} \\ P_9 &= 1000 \text{ [kPa]} \\ h_9 &= \text{Enthalpy(Water;T=T}_9\text{;P=P}_9\text{)} \\ s_9 &= \text{Entropy(Water;T=T}_9\text{;P=P}_9\text{)} \end{aligned}$$

$$U_9=(h_9-h_0)-(T_0 +273)*(s_9-s_0)$$

{10 Noktası Şartları}

$$\begin{aligned} T_{10} &= 44 \text{ [C]} \\ P_{10} &= 1000 \text{ [kPa]} \\ h_{10} &= \text{Enthalpy(Water;T=T}_{10}\text{;P=P}_{10}\text{)} \\ s_{10} &= \text{Entropy(Water;T=T}_{10}\text{;P=P}_{10}\text{)} \end{aligned}$$

$$U_{10}=(h_{10}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{10}-s_0)$$

{11 Noktası Şartları}

$$\begin{aligned} T_{11} &= 22 \text{ [C]} \\ P_{11} &= 1000 \text{ [kPa]} \\ h_{11} &= \text{Enthalpy(Water;T=T}_{11}\text{;P=P}_{11}\text{)} \\ s_{11} &= \text{Entropy(Water;T=T}_{11}\text{;P=P}_{11}\text{)} \end{aligned}$$

$$U_{11}=(h_{11}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{11}-s_0)$$

{12 Noktası Şartları}

$$\begin{aligned} T_{12} &= 42 \text{ [C]} \\ P_{12} &= 1000 \text{ [kPa]} \\ h_{12} &= \text{Enthalpy(Water;T=T}_{12}\text{;P=P}_{12}\text{)} \\ s_{12} &= \text{Entropy(Water;T=T}_{12}\text{;P=P}_{12}\text{)} \end{aligned}$$

$$U_{12}=(h_{12}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{12}-s_0)$$

{13 Noktası Şartları}

$$\begin{aligned} T_{13} &= 88 \text{ [C]} \\ P_{13} &= 1000 \text{ [kPa]} \\ h_{13} &= \text{Enthalpy(Water;T=T}_{13}\text{;P=P}_{13}\text{)} \\ s_{13} &= \text{Entropy(Water;T=T}_{13}\text{;P=P}_{13}\text{)} \end{aligned}$$

$$U_{13}=(h_{13}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{13}-s_0)$$

{14 Noktası Şartları}

$$\begin{aligned} T_{14} &= 80 \text{ [C]} \\ P_{14} &= 1000 \text{ [kPa]} \end{aligned}$$

h_14=Enthalpy(Water;T=T_14;P=P_14)
s_14=Entropy(Water;T=T_14;P=P_14)

$$U_{14}=(h_{14}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{14}-s_0)$$

{15 Noktası Şartları}

T_15 =90 [C]
P_15=1000 [kPa]
h_15=Enthalpy(Water;T=T_15;P=P_15)
s_15=Entropy(Water;T=T_15;P=P_15)

$$U_{15}=(h_{15}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{15}-s_0)$$

{16 Noktası Şartları}

T_16 =70 [C]
P_16=1000 [kPa]
h_16=Enthalpy(Water;T=T_16;P=P_16)
s_16=Entropy(Water;T=T_16;P=P_16)

$$U_{16}=(h_{16}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{16}-s_0)$$

{17 Noktası Şartları}

T_17 =40 [C]
P_17=1000 [kPa]
h_17=Enthalpy(Water;T=T_17;P=P_17)
s_17=Entropy(Water;T=T_17;P=P_17)

$$U_{17}=(h_{17}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{17}-s_0)$$

{18 Noktası Şartları}

T_18 =44 [C]
P_18=1000 [kPa]
h_18=Enthalpy(Water;T=T_18;P=P_18)
s_18=Entropy(Water;T=T_18;P=P_18)

$$U_{18}=(h_{18}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{18}-s_0)$$

{19 Noktası Şartları}

T_19 =81 [C]
P_19=1000 [kPa]
h_19=Enthalpy(Water;T=T_19;P=P_19)
s_19=Entropy(Water;T=T_19;P=P_19)

$$U_{19}=(h_{19}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{19}-s_0)$$

{20 Noktası Şartları}

T_20 =92 [C]
P_20=1000 [kPa]
h_20=Enthalpy(Water;T=T_20;P=P_20)
s_20=Entropy(Water;T=T_20;P=P_20)

$$U_{20}=(h_{20}-h_0)-(T_0 +273)*(s_{20}-s_0)$$

$Q_{12AfterCooler}=3600 \cdot P_{AfterCooler}$
 $Q_{34JacketWater}=3600 \cdot P_{JacketWater}$
 $Q_{LTE\text{Şanjörü}}=3600 \cdot P_{LTE\text{Şanjörü}}$
 $Q_{HTE\text{Şanjörü}}=3600 \cdot P_{HTE\text{Şanjörü}}$
 $Q_{HWE\text{Şanjörü}}=3600 \cdot P_{HWE\text{Şanjörü}}$
 $Q_{LTE\text{ŞanjörüSR}}=3600 \cdot P_{LTE\text{ŞanjörüSR}}$
 $Q_{HTE\text{ŞanjörüSR}}=3600 \cdot P_{HTE\text{ŞanjörüSR}}$

$m_1=(Q_{12AfterCooler})/(h_2-h_1)$
 $m_2=m_1$
 $m_3=(Q_{34JacketWater})/(h_4-h_3)$
 $m_3=m_4$
 $m_5=(Q_{HTE\text{Şanjörü}})/(h_6-h_5)$
 $m_5=m_6$
 $m_7=(Q_{HTE\text{Şanjörü}})/(h_8-h_7)$
 $m_7=m_8$
 $m_9=(Q_{LTE\text{Şanjörü}})/(h_{10}-h_9)$
 $m_9=m_{10}$
 $m_{11}=(Q_{LTE\text{Şanjörü}})/(h_{12}-h_{11})$
 $m_{11}=m_{12}$
 $m_{13}=(Q_{HWE\text{Şanjörü}})/(h_{13}-h_{14})$
 $m_{13}=m_{14}$
 $m_{15}=(Q_{HWE\text{Şanjörü}})/(h_{15}-h_{16})$
 $m_{15}=m_{16}$
 $m_{17}=(Q_{LTE\text{ŞanjörüSR}})/(h_{18}-h_{17})$
 $m_{17}=m_{18}$
 $m_{19}=(Q_{HTE\text{ŞanjörüSR}})/(h_{20}-h_{19})$
 $m_{19}=m_{20}$

$E_{1AfterCooler}=m_1 \cdot U_1$
 $E_{2AfterCooler}=m_2 \cdot U_2$
 $E_{3JacketWater}=m_3 \cdot U_3$
 $E_{4JacketWater}=m_4 \cdot U_4$
 $E_{5HTE\text{Şanjörü}}=m_5 \cdot U_5$
 $E_{6HTE\text{Şanjörü}}=m_6 \cdot U_6$
 $E_{7HTE\text{Şanjörü}}=m_7 \cdot U_7$
 $E_{8HTE\text{Şanjörü}}=m_8 \cdot U_8$
 $E_{9LTE\text{Şanjörü}}=m_9 \cdot U_9$
 $E_{10LTE\text{Şanjörü}}=m_{10} \cdot U_{10}$
 $E_{11LTE\text{Şanjörü}}=m_{11} \cdot U_{11}$
 $E_{12LTE\text{Şanjörü}}=m_{12} \cdot U_{12}$
 $E_{13HWE\text{Şanjörü}}=m_{13} \cdot U_{13}$
 $E_{14HWE\text{Şanjörü}}=m_{14} \cdot U_{14}$
 $E_{15HWE\text{Şanjörü}}=m_{15} \cdot U_{15}$
 $E_{16HWE\text{Şanjörü}}=m_{16} \cdot U_{16}$
 $E_{17LTE\text{ŞanjörüSR}}=m_{17} \cdot U_{17}$
 $E_{18LTE\text{ŞanjörüSR}}=m_{18} \cdot U_{18}$
 $E_{19HTE\text{ŞanjörüSR}}=m_{19} \cdot U_{19}$
 $E_{20HTE\text{ŞanjörüSR}}=m_{20} \cdot U_{20}$

{After Cooler Ekserji Yıkım Hesabı}

$E_{Y12}=E_{2AfterCooler}-E_{1AfterCooler}$
 $E_{Y12P}=(E_{Y12})/(3600)$

{After Cooler İkinci Yasa Verim Hesabı}

$$\text{Ver_2AfterCooler}=1-(\text{E_Y12P/P_AfterCooler})$$

{Jacket Water Ekserji Yıkım Hesabı}

$$\begin{aligned} \text{E_Y34} &= \text{E_4JacketWater} - \text{E_3JacketWater} \\ \text{E_Y34P} &= (\text{E_Y34}) / (3600) \end{aligned}$$

{Jacket Water İkinci Yasa Verim Hesabı}

$$\text{Ver_2JacketWater}=1-(\text{E_Y34P/P_JacketWater})$$

{LT Düşük Sıcaklık Eşanjörü Ekserji Yıkım Hesabı}

$$\begin{aligned} \text{E_YLTEşanjörü} &= \text{E_10LTEşanjörü} + \text{E_11LTEşanjörü} - \text{E_9LTEşanjörü} - \text{E_12LTEşanjörü} \\ \text{E_YLTEşanjörüP} &= (\text{E_YLTEşanjörü}) / (3600) \end{aligned}$$

{LT Düşük Sıcaklık Eşanjörü İkinci Yasa Verim Hesabı}

$$\text{Ver_2YLTEşanjörü}=1-(\text{E_YLTEşanjörüP/P_LTEşanjörü})$$

{HT Yüksek Sıcaklık Eşanjörü Ekserji Yıkım Hesabı}

$$\begin{aligned} \text{E_YHTEşanjörü} &= \text{E_6HTEşanjörü} + \text{E_8HTEşanjörü} - \text{E_5HTEşanjörü} - \text{E_7HTEşanjörü} \\ \text{E_YHTEşanjörüP} &= (\text{E_YHTEşanjörü}) / (3600) \end{aligned}$$

{HT Yüksek Sıcaklık Eşanjörü İkinci Yasa Verim Hesabı}

$$\text{Ver_2YHTEşanjörü}=1-(\text{E_YHTEşanjörüP/P_HTEşanjörü})$$

{HW Sıcak Su Eşanjörü Ekserji Yıkım Hesabı}

$$\begin{aligned} \text{E_YHWEşanjörü} &= \text{E_16HWEşanjörü} + \text{E_13HWEşanjörü} - \text{E_14HWEşanjörü} - \text{E_15HWEşanjörü} \\ \text{E_YHWEşanjörüP} &= (\text{E_YHWEşanjörü}) / (3600) \end{aligned}$$

{HW Sıcak Su Eşanjörü İkinci Yasa Verim Hesabı}

$$\text{Ver_2YHWEşanjörü}=1-(\text{E_YHWEşanjörüP/P_HWEşanjörü})$$

{LT Düşük Sıcaklık Eşanjörü Soğuma Radyatörü Ekserji Yıkım Hesabı}

$$\begin{aligned} \text{E_YLTEşanjörüSR} &= \text{E_18LTEşanjörüSR} - \text{E_17LTEşanjörüSR} \\ \text{E_YLTEşanjörüSRP} &= (\text{E_YLTEşanjörüSR}) / (3600) \end{aligned}$$

{LT Düşük Sıcaklık Eşanjörü Soğuma Radyatörü İkinci Yasa Verim Hesabı}

$$\text{Ver_2YLTEşanjörüSR}=1-(\text{E_YLTEşanjörüSRP/P_LTEşanjörüSR})$$

{HT Yüksek Sıcaklık Eşanjörü Soğuma Radyatörü Ekserji Yıkım Hesabı}

$$\begin{aligned} \text{E_YHTEşanjörüSR} &= \text{E_20HTEşanjörüSR} - \text{E_19HTEşanjörüSR} \\ \text{E_YHTEşanjörüSRP} &= (\text{E_YHTEşanjörüSR}) / (3600) \end{aligned}$$

{HT Yüksek Sıcaklık Eşanjörü Soğuma Radyatörü İkinci Yasa Verim Hesabı}

$$\text{Ver_2YHTEşanjörüSR}=1-(\text{E_YHTEşanjörüSRP/P_HTEşanjörüSR})$$

{298 K sıcaklığında bacadan salınımı gerçekleşen gazların (CO₂, H₂O, N₂, O₂) entalpi ve entropisi}

$$h_{298K} = X_{CO_2} * h_{298KCO_2} + X_{H_2O} * h_{298KH_2O} + X_{N_2} * h_{298KN_2} + X_{O_2} * h_{298KO_2}$$

$$\begin{aligned}
s_{25CO2} &= s_{298KCO2} - RU * A \\
s_{25H2O} &= s_{298KH2O} - RU * B \\
s_{25N2} &= s_{298KN2} - RU * C \\
s_{25O2} &= s_{298KO2} - RU * D \\
s_{298K} &= X_{CO2} * s_{25CO2} + X_{H2O} * s_{25H2O} + X_{N2} * s_{25N2} + X_{O2} * s_{25O2}
\end{aligned}$$

{973 K sıcaklığında bacadan salınımı gerçekleşen gazların (CO₂, H₂O, N₂, O₂) entalpi ve entropisi}

$$\begin{aligned}
h_{973K} &= X_{CO2} * h_{973KCO2} + X_{H2O} * h_{973KH2O} + X_{N2} * h_{973KN2} + X_{O2} * h_{973KO2} \\
s_{700CO2} &= s_{973KCO2} - RU * A \\
s_{700H2O} &= s_{973KH2O} - RU * B \\
s_{700N2} &= s_{973KN2} - RU * C \\
s_{700O2} &= s_{973KO2} - RU * D \\
s_{973K} &= X_{CO2} * s_{700CO2} + X_{H2O} * s_{700H2O} + X_{N2} * s_{700N2} + X_{O2} * s_{700O2}
\end{aligned}$$

$$u_{21} = (h_{973K} - h_{298K}) - (T_0 + 273) * (s_{973K} - s_{298K})$$

$$M_{\text{molarkütle}} = (X_{CO2} * m_{CO2}) + (X_{H2O} * m_{H2O}) + (X_{N2} * m_{N2}) + (X_{O2} * m_{O2})$$

$$U_{u21} = (u_{21}) / (M_{\text{molarkütle}})$$

$$E_{\text{Bacagazı}} = m_{21} * U_{u21}$$

$$E_{\text{BacagazıP}} = E_{\text{Bacagazı}} / 3600$$

{Mikrokojenerasyon ünitesine ait toplam ekserji yıkımı}

$$E_Y = E_{Y12P} + E_{Y34P} + E_{YLTE\text{şanjörüP}} + E_{YHTE\text{şanjörüP}} + E_{YHWE\text{şanjörüP}} + E_{YLTE\text{şanjöröSRP}} + E_{YHTE\text{şanjöröSRP}}$$

EK-2 Mikro kojenerasyon sistemi anlık bakım tespit çizelgesi.

Modül Numarası		Modül - Statü		Tarih	28.12.17
000000003104				Saat	11:58:52
Mod	OTOMATİK	Durum	İşletme	Isi	
Lamda Sens.	677 mV	Devir	1500 Ddak		
Batarya	26.0 V	Yag.Basinc	6.4 bar		
Sog.Suyu	80.8 °C				
Isitma Suyu	80.6 °C	Egz. Sic. A	640 °C		
Isletme Saati	5303	Modül Start Sayisi	1628		
Kontrol	72.0 °C	Mev. Deger	71.8 °C		
lptal	99.9 °C	Etkinlest.	65.0 °C		
	Sebeke	Jeneratör	Elk. Akimi	Kapasite	
Faz 1	227 V	227 V	93 A		
Faz 2	228 V	228 V	93 A		
Faz 3	225 V	228 V	94 A		
Toplam	227 V	228 V	93 A	61 kW	
Modül Numarası		Modül - Parametre		Tarih	28.12.17
000000003104				Saat	11:59:46
Modül - Parametre		Stada			
1 Ist. Kapasite Degeri Gaz B/A	50 kW	50 kW	50 kW	64 kW	
2 Isitma Sınir Degeri	0	-	60.0 °C	0	-
3 Kapasite Sınir Degeri (S)	10 sek	55 kW	10 sek	75 kW	
4 Geri Bildirim Kapasite (S)	10 sek	5 kW	10 sek	5 kW	
5 Kapasite Rampasi Yüksek/Alcak	2 sek	1 kW	2 sek	2 kW	
6 Denetim Kapasite Kontrolü (S)	15 min	5 kW	15 min	5 kW	
7 Ölü Band Kapasite Kontrolü	0	-	1 kW	0	-
8 Vuruntu Kapasite Min %	0	-	20 %	0	-
9 Lambda Sens.Ost.Deger Gaz B/A	700.0 mV	700.0 mV	700.0 mV	670.0 mV	
10 Lambda Sensörü Impuls Süresi	0.2 sek	0.2 sek	0.2 sek	0.2 sek	
11 Lambda Sensörü Bekleme Süresi	2.0 sek	2.0 sek	2.0 sek	1.5 sek	
12 Lambda Kontrolü Ölü Band	30.0 mV	3.0 mV	30.0 mV	3.0 mV	
13 Lambda Kontrolü Denetimi (S)	15 min	30.0 mV	15 min	30.0 mV	
17 Egzost Sicakligi Etkinlestir	5 sek	300 oC	5 sek	300 oC	
18 Batarya Düşük Gerilim (S)	20 sek	21.0 V	20 sek	21.0 V	
19 Mars Motoru / Atesleme	450 Upm	650 Upm	450 Upm	650 Upm	
20 Istenen Devir / Yüksek Devir	1500 Upm	1800 Upm	1500 Upm	2300 Upm	
21 Fan Ön/Uzatma Calismasi	10 sek	15 min	10 sek	15 min	
22 Sog.Suyu Pomp.Ön/Uzatm.Calis.	0 sek	10 min	10 sek	10 min	
23 Sicaklik Kontrolü Min, Rezerv	10 %	0	10 %	0	
24 Sicaklik Kontrolü Kp, Tn	5.0 Kp	2.0 Tn	5.0 Kp	2.0 Tn	
25 Devir Kontrolü 0:10-0V,1:0-5V	0	-	0 Typ	0	-
26 Motor Calisma Uzatma Süresi	3.0 sek	0	3.0 sek	0	
29 Jeneratör Gerilimi Az (S)	3 sek	190 V	3 sek	190 V	
30 Jeneratör Gerilimi Fazla (S)	3 sek	285 V	3 sek	285 V	
33 Yag Basinci Min.	2 sek	2.0 bar	2 sek	2.0 bar	
34 Offset Lamda Sesnsörü	0	0.0 mV	0	0.0 mV	
35 Offset NiCrNi A	0	0 oC	0	0 oC	
36 Offset Motor Sogutma Suyu	0	0.0 oC	0	0.7 oC	
37 Offset Sicaklik PT100-2	0	0.0 oC	0	0.7 oC	
38 Offset Sicaklik PT100-3	0	0.0 oC	0	0.0 oC	
39 Offset Yag Basinci	0	0.0 bar	0	0.0 bar	

27.12	14:13:00	0.Rezerv 79
27.12	14:13:00	4.Yag Seviyesi Min.
27.12	14:13:00	0.Rezerv 79
27.12	14:13:00	4.Yag Seviyesi Min.

EK-2 Su buharının ideal gaz özellikleri

Ideal-gas properties of water vapor, H ₂ O							
<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ^o	<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ^o
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212.920
220	7,295	5,466	178.576	610	20,765	15,693	213.529
230	7,628	5,715	180.054	620	21,130	15,975	214.122
240	7,961	5,965	181.471	630	21,495	16,257	214.707
250	8,294	6,215	182.831	640	21,862	16,541	215.285
260	8,627	6,466	184.139	650	22,230	16,826	215.856
270	8,961	6,716	185.399	660	22,600	17,112	216.419
280	9,296	6,968	186.616	670	22,970	17,399	216.976
290	9,631	7,219	187.791	680	23,342	17,688	217.527
298	9,904	7,425	188.720	690	23,714	17,978	218.071
300	9,966	7,472	188.928	700	24,088	18,268	218.610
310	10,302	7,725	190.030	710	24,464	18,561	219.142
320	10,639	7,978	191.098	720	24,840	18,854	219.668
330	10,976	8,232	192.136	730	25,218	19,148	220.189
340	11,314	8,487	193.144	740	25,597	19,444	220.707
350	11,652	8,742	194.125	750	25,977	19,741	221.215
360	11,992	8,998	195.081	760	26,358	20,039	221.720
370	12,331	9,255	196.012	770	26,741	20,339	222.221
380	12,672	9,513	196.920	780	27,125	20,639	222.717
390	13,014	9,771	197.807	790	27,510	20,941	223.207
400	13,356	10,030	198.673	800	27,896	21,245	223.693
410	13,699	10,290	199.521	810	28,284	21,549	224.174
420	14,043	10,551	200.350	820	28,672	21,855	224.651
430	14,388	10,813	201.160	830	29,062	22,162	225.123
440	14,734	11,075	201.955	840	29,454	22,470	225.592
450	15,080	11,339	202.734	850	29,846	22,779	226.057
460	15,428	11,603	203.497	860	30,240	23,090	226.517
470	15,777	11,869	204.247	870	30,635	23,402	226.973
480	16,126	12,135	204.982	880	31,032	23,715	227.426
490	16,477	12,403	205.705	890	31,429	24,029	227.875
500	16,828	12,671	206.413	900	31,828	24,345	228.321
510	17,181	12,940	207.112	910	32,228	24,662	228.763
520	17,534	13,211	207.799	920	32,629	24,980	229.202
530	17,889	13,482	208.475	930	33,032	25,300	229.637
540	18,245	13,755	209.139	940	33,436	25,621	230.070
550	18,601	14,028	209.795	950	33,841	25,943	230.499
560	18,959	14,303	210.440	960	34,247	26,265	230.924
570	19,318	14,579	211.075	970	34,653	26,588	231.347
580	19,678	14,856	211.702	980	35,061	26,913	231.767
590	20,039	15,134	212.320	990	35,472	27,240	232.184

Ideal-gas properties of water vapor, H ₂ O (Continued)							
T	\bar{h}	u	s°	T	\bar{h}	u	s°
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol·K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol·K
1000	35,882	27,568	232.597	1760	70,535	55,902	258.151
1020	36,709	28,228	233.415	1780	71,523	56,723	258.708
1040	37,542	28,895	234.223	1800	72,513	57,547	259.262
1060	38,380	29,567	235.020	1820	73,507	58,375	259.811
1080	39,223	30,243	235.806	1840	74,506	59,207	260.357
1100	40,071	30,925	236.584	1860	75,506	60,042	260.898
1120	40,923	31,611	237.352	1880	76,511	60,880	261.436
1140	41,780	32,301	238.110	1900	77,517	61,720	261.969
1160	42,642	32,997	238.859	1920	78,527	62,564	262.497
1180	43,509	33,698	239.600	1940	79,540	63,411	263.022
1200	44,380	34,403	240.333	1960	80,555	64,259	263.542
1220	45,256	35,112	241.057	1980	81,573	65,111	264.059
1240	46,137	35,827	241.773	2000	82,593	65,965	264.571
1260	47,022	36,546	242.482	2050	85,156	68,111	265.838
1280	47,912	37,270	243.183	2100	87,735	70,275	267.081
1300	48,807	38,000	243.877	2150	90,330	72,454	268.301
1320	49,707	38,732	244.564	2200	92,940	74,649	269.500
1340	50,612	39,470	245.243	2250	95,562	76,855	270.679
1360	51,521	40,213	245.915	2300	98,199	79,076	271.839
1380	52,434	40,960	246.582	2350	100,846	81,308	272.978
1400	53,351	41,711	247.241	2400	103,508	83,553	274.098
1420	54,273	42,466	247.895	2450	106,183	85,811	275.201
1440	55,198	43,226	248.543	2500	108,868	88,082	276.286
1460	56,128	43,989	249.185	2550	111,565	90,364	277.354
1480	57,062	44,756	249.820	2600	114,273	92,656	278.407
1500	57,999	45,528	250.450	2650	116,991	94,958	279.441
1520	58,942	46,304	251.074	2700	119,717	97,269	280.462
1540	59,888	47,084	251.693	2750	122,453	99,588	281.464
1560	60,838	47,868	252.305	2800	125,198	101,917	282.453
1580	61,792	48,655	252.912	2850	127,952	104,256	283.429
1600	62,748	49,445	253.513	2900	130,717	106,605	284.390
1620	63,709	50,240	254.111	2950	133,486	108,959	285.338
1640	64,675	51,039	254.703	3000	136,264	111,321	286.273
1660	65,643	51,841	255.290	3050	139,051	113,692	287.194
1680	66,614	52,646	255.873	3100	141,846	116,072	288.102
1700	67,589	53,455	256.450	3150	144,648	118,458	288.999
1720	68,567	54,267	257.022	3200	147,457	120,851	289.884
1740	69,550	55,083	257.589	3250	150,272	123,250	290.756

EK-3 CO₂' nin ideal gaz özellikleri

Ideal-gas properties of carbon dioxide, CO ₂							
<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	u kJ/kmol	s° kJ/kmol-K	<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	u kJ/kmol	s° kJ/kmol-K
0	0	0	0	600	22,280	17,291	243.199
220	6,601	4,772	202.966	610	22,754	17,683	243.983
230	6,938	5,026	204.464	620	23,231	18,076	244.758
240	7,280	5,285	205.920	630	23,709	18,471	245.524
250	7,627	5,548	207.337	640	24,190	18,869	246.282
260	7,979	5,817	208.717	650	24,674	19,270	247.032
270	8,335	6,091	210.062	660	25,160	19,672	247.773
280	8,697	6,369	211.376	670	25,648	20,078	248.507
290	9,063	6,651	212.660	680	26,138	20,484	249.233
298	9,364	6,885	213.685	690	26,631	20,894	249.952
300	9,431	6,939	213.915	700	27,125	21,305	250.663
310	9,807	7,230	215.146	710	27,622	21,719	251.368
320	10,186	7,526	216.351	720	28,121	22,134	252.065
330	10,570	7,826	217.534	730	28,622	22,522	252.755
340	10,959	8,131	218.694	740	29,124	22,972	253.439
350	11,351	8,439	219.831	750	29,629	23,393	254.117
360	11,748	8,752	220.948	760	30,135	23,817	254.787
370	12,148	9,068	222.044	770	30,644	24,242	255.452
380	12,552	9,392	223.122	780	31,154	24,669	256.110
390	12,960	9,718	224.182	790	31,665	25,097	256.762
400	13,372	10,046	225.225	800	32,179	25,527	257.408
410	13,787	10,378	226.250	810	32,694	25,959	258.048
420	14,206	10,714	227.258	820	33,212	26,394	258.682
430	14,628	11,053	228.252	830	33,730	26,829	259.311
440	15,054	11,393	229.230	840	34,251	27,267	259.934
450	15,483	11,742	230.194	850	34,773	27,706	260.551
460	15,916	12,091	231.144	860	35,296	28,125	261.164
470	16,351	12,444	232.080	870	35,821	28,588	261.770
480	16,791	12,800	233.004	880	36,347	29,031	262.371
490	17,232	13,158	233.916	890	36,876	29,476	262.968
500	17,678	13,521	234.814	900	37,405	29,922	263.559
510	18,126	13,885	235.700	910	37,935	30,369	264.146
520	18,576	14,253	236.575	920	38,467	30,818	264.728
530	19,029	14,622	237.439	930	39,000	31,268	265.304
540	19,485	14,996	238.292	940	39,535	31,719	265.877
550	19,945	15,372	239.135	950	40,070	32,171	266.444
560	20,407	15,751	239.962	960	40,607	32,625	267.007
570	20,870	16,131	240.789	970	41,145	33,081	267.566
580	21,337	16,515	241.602	980	41,685	33,537	268.119
590	21,807	16,902	242.405	990	42,226	33,995	268.670

Ideal-gas properties of carbon dioxide, CO ₂ (Concluded)							
T	\bar{h}	u	s°	T	\bar{h}	u	s°
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K
1000	42,769	34,455	269.215	1760	86,420	71,787	301.543
1020	43,859	35,378	270.293	1780	87,612	72,812	302.217
1040	44,953	36,306	271.354	1800	88,806	73,840	302.884
1060	46,051	37,238	272.400	1820	90,000	74,868	303.544
1080	47,153	38,174	273.430	1840	91,196	75,897	304.198
1100	48,258	39,112	274.445	1860	92,394	76,929	304.845
1120	49,369	40,057	275.444	1880	93,593	77,962	305.487
1140	50,484	41,006	276.430	1900	94,793	78,996	306.122
1160	51,602	41,957	277.403	1920	95,995	80,031	306.751
1180	52,724	42,913	278.361	1940	97,197	81,067	307.374
1200	53,848	43,871	297.307	1960	98,401	82,105	307.992
1220	54,977	44,834	280.238	1980	99,606	83,144	308.604
1240	56,108	45,799	281.158	2000	100,804	84,185	309.210
1260	57,244	46,768	282.066	2050	103,835	86,791	310.701
1280	58,381	47,739	282.962	2100	106,864	89,404	312.160
1300	59,522	48,713	283.847	2150	109,898	92,023	313.589
1320	60,666	49,691	284.722	2200	112,939	94,648	314.988
1340	61,813	50,672	285.586	2250	115,984	97,277	316.356
1360	62,963	51,656	286.439	2300	119,035	99,912	317.695
1380	64,116	52,643	287.283	2350	122,091	102,552	319.011
1400	65,271	53,631	288.106	2400	125,152	105,197	320.302
1420	66,427	54,621	288.934	2450	128,219	107,849	321.566
1440	67,586	55,614	289.743	2500	131,290	110,504	322.808
1460	68,748	56,609	290.542	2550	134,368	113,166	324.026
1480	66,911	57,606	291.333	2600	137,449	115,832	325.222
1500	71,078	58,606	292.114	2650	140,533	118,500	326.396
1520	72,246	59,609	292.888	2700	143,620	121,172	327.549
1540	73,417	60,613	292.654	2750	146,713	123,849	328.684
1560	74,590	61,620	294.411	2800	149,808	126,528	329.800
1580	76,767	62,630	295.161	2850	152,908	129,212	330.896
1600	76,944	63,741	295.901	2900	156,009	131,898	331.975
1620	78,123	64,653	296.632	2950	159,117	134,589	333.037
1640	79,303	65,668	297.356	3000	162,226	137,283	334.084
1660	80,486	66,592	298.072	3050	165,341	139,982	335.114
1680	81,670	67,702	298.781	3100	168,456	142,681	336.126
1700	82,856	68,721	299.482	3150	171,576	145,385	337.124
1720	84,043	69,742	300.177	3200	174,695	148,089	338.109
1740	85,231	70,764	300.863	3250	177,822	150,801	339.069

EK-4 N₂' nin ideal gaz özellikleri.

Ideal-gas properties of nitrogen, N ₂							
<i>T</i>	\bar{h}	<i>u</i>	<i>s</i> ^o	<i>T</i>	\bar{h}	<i>u</i>	<i>s</i> ^o
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K
0	0	0	0	600	17,563	12,574	212.066
220	6,391	4,562	182.639	610	17,864	12,792	212.564
230	6,683	4,770	183.938	620	18,166	13,011	213.055
240	6,975	4,979	185.180	630	18,468	13,230	213.541
250	7,266	5,188	186.370	640	18,772	13,450	214.018
260	7,558	5,396	187.514	650	19,075	13,671	214.489
270	7,849	5,604	188.614	660	19,380	13,892	214.954
280	8,141	5,813	189.673	670	19,685	14,114	215.413
290	8,432	6,021	190.695	680	19,991	14,337	215.866
298	8,669	6,190	191.502	690	20,297	14,560	216.314
300	8,723	6,229	191.682	700	20,604	14,784	216.756
310	9,014	6,437	192.638	710	20,912	15,008	217.192
320	9,306	6,645	193.562	720	21,220	15,234	217.624
330	9,597	6,853	194.459	730	21,529	15,460	218.059
340	9,888	7,061	195.328	740	21,839	15,686	218.472
350	10,180	7,270	196.173	750	22,149	15,913	218.889
360	10,471	7,478	196.995	760	22,460	16,141	219.301
370	10,763	7,687	197.794	770	22,772	16,370	219.709
380	11,055	7,895	198.572	780	23,085	16,599	220.113
390	11,347	8,104	199.331	790	23,398	16,830	220.512
400	11,640	8,314	200.071	800	23,714	17,061	220.907
410	11,932	8,523	200.794	810	24,027	17,292	221.298
420	12,225	8,733	201.499	820	24,342	17,524	221.684
430	12,518	8,943	202.189	830	24,658	17,757	222.067
440	12,811	9,153	202.863	840	24,974	17,990	222.447
450	13,105	9,363	203.523	850	25,292	18,224	222.822
460	13,399	9,574	204.170	860	25,610	18,459	223.194
470	13,693	9,786	204.803	870	25,928	18,695	223.562
480	13,988	9,997	205.424	880	26,248	18,931	223.927
490	14,285	10,210	206.033	890	26,568	19,168	224.288
500	14,581	10,423	206.630	900	26,890	19,407	224.647
510	14,876	10,635	207.216	910	27,210	19,644	225.002
520	15,172	10,848	207.792	920	27,532	19,883	225.353
530	15,469	11,062	208.358	930	27,854	20,122	225.701
540	15,766	11,277	208.914	940	28,178	20,362	226.047
550	16,064	11,492	209.461	950	28,501	20,603	226.389
560	16,363	11,707	209.999	960	28,826	20,844	226.728
570	16,662	11,923	210.528	970	29,151	21,086	227.064
580	16,962	12,139	211.049	980	29,476	21,328	227.398
590	17,262	12,356	211.562	990	29,803	21,571	227.728

Ideal-gas properties of nitrogen, N ₂ (Concluded)							
<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ^o	<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ^o
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K
1000	30,129	21,815	228.057	1760	56,227	41,594	247.396
1020	30,784	22,304	228.706	1780	56,938	42,139	247.798
1040	31,442	22,795	229.344	1800	57,651	42,685	248.195
1060	32,101	23,288	229.973	1820	58,363	43,231	248.589
1080	32,762	23,782	230.591	1840	59,075	43,777	248.979
1100	33,426	24,280	231.199	1860	59,790	44,324	249.365
1120	34,092	24,780	231.799	1880	60,504	44,873	249.748
1140	34,760	25,282	232.391	1900	61,220	45,423	250.128
1160	35,430	25,786	232.973	1920	61,936	45,973	250.502
1180	36,104	26,291	233.549	1940	62,654	46,524	250.874
1200	36,777	26,799	234.115	1960	63,381	47,075	251.242
1220	37,452	27,308	234.673	1980	64,090	47,627	251.607
1240	38,129	27,819	235.223	2000	64,810	48,181	251.969
1260	38,807	28,331	235.766	2050	66,612	49,567	252.858
1280	39,488	28,845	236.302	2100	68,417	50,957	253.726
1300	40,170	29,361	236.831	2150	70,226	52,351	254.578
1320	40,853	29,378	237.353	2200	72,040	53,749	255.412
1340	41,539	30,398	237.867	2250	73,856	55,149	256.227
1360	42,227	30,919	238.376	2300	75,676	56,553	257.027
1380	42,915	31,441	238.878	2350	77,496	57,958	257.810
1400	43,605	31,964	239.375	2400	79,320	59,366	258.580
1420	44,295	32,489	239.865	2450	81,149	60,779	259.332
1440	44,988	33,014	240.350	2500	82,981	62,195	260.073
1460	45,682	33,543	240.827	2550	84,814	63,613	260.799
1480	46,377	34,071	241.301	2600	86,650	65,033	261.512
1500	47,073	34,601	241.768	2650	88,488	66,455	262.213
1520	47,771	35,133	242.228	2700	90,328	67,880	262.902
1540	48,470	35,665	242.685	2750	92,171	69,306	263.577
1560	49,168	36,197	243.137	2800	94,014	70,734	264.241
1580	49,869	36,732	243.585	2850	95,859	72,163	264.895
1600	50,571	37,268	244.028	2900	97,705	73,593	265.538
1620	51,275	37,806	244.464	2950	99,556	75,028	266.170
1640	51,980	38,344	244.896	3000	101,407	76,464	266.793
1660	52,686	38,884	245.324	3050	103,260	77,902	267.404
1680	53,393	39,424	245.747	3100	105,115	79,341	268.007
1700	54,099	39,965	246.166	3150	106,972	80,782	268.601
1720	54,807	40,507	246.580	3200	108,830	82,224	269.186
1740	55,516	41,049	246.990	3250	110,690	83,668	269.763

Source: Tables A-18 through A-25 are adapted from Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), pp. 787-98. Originally published in JANAF, *Thermochemical Tables*, NSRDS-NBS-37, 1971.

EK-5 O₂' nin ideal gaz özellikleri.

Ideal-gas properties of oxygen, O ₂							
<i>T</i>	\bar{h}	<i>u</i>	<i>s</i> ^o	<i>T</i>	\bar{h}	<i>u</i>	<i>s</i> ^o
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K
0	0	0	0	600	17,929	12,940	226.346
220	6,404	4,575	196.171	610	18,250	13,178	226.877
230	6,694	4,782	197.461	620	18,572	13,417	227.400
240	6,984	4,989	198.696	630	18,895	13,657	227.918
250	7,275	5,197	199.885	640	19,219	13,898	228.429
260	7,566	5,405	201.027	650	19,544	14,140	228.932
270	7,858	5,613	202.128	660	19,870	14,383	229.430
280	8,150	5,822	203.191	670	20,197	14,626	229.920
290	8,443	6,032	204.218	680	20,524	14,871	230.405
298	8,682	6,203	205.033	690	20,854	15,116	230.885
300	8,736	6,242	205.213	700	21,184	15,364	231.358
310	9,030	6,453	206.177	710	21,514	15,611	231.827
320	9,325	6,664	207.112	720	21,845	15,859	232.291
330	9,620	6,877	208.020	730	22,177	16,107	232.748
340	9,916	7,090	208.904	740	22,510	16,357	233.201
350	10,213	7,303	209.765	750	22,844	16,607	233.649
360	10,511	7,518	210.604	760	23,178	16,859	234.091
370	10,809	7,733	211.423	770	23,513	17,111	234.528
380	11,109	7,949	212.222	780	23,850	17,364	234.960
390	11,409	8,166	213.002	790	24,186	17,618	235.387
400	11,711	8,384	213.765	800	24,523	17,872	235.810
410	12,012	8,603	214.510	810	24,861	18,126	236.230
420	12,314	8,822	215.241	820	25,199	18,382	236.644
430	12,618	9,043	215.955	830	25,537	18,637	237.055
440	12,923	9,264	216.656	840	25,877	18,893	237.462
450	13,228	9,487	217.342	850	26,218	19,150	237.864
460	13,525	9,710	218.016	860	26,559	19,408	238.264
470	13,842	9,935	218.676	870	26,899	19,666	238.660
480	14,151	10,160	219.326	880	27,242	19,925	239.051
490	14,460	10,386	219.963	890	27,584	20,185	239.439
500	14,770	10,614	220.589	900	27,928	20,445	239.823
510	15,082	10,842	221.206	910	28,272	20,706	240.203
520	15,395	11,071	221.812	920	28,616	20,967	240.580
530	15,708	11,301	222.409	930	28,960	21,228	240.953
540	16,022	11,533	222.997	940	29,306	21,491	241.323
550	16,338	11,765	223.576	950	29,652	21,754	241.689
560	16,654	11,998	224.146	960	29,999	22,017	242.052
570	16,971	12,232	224.708	970	30,345	22,280	242.411
580	17,290	12,467	225.262	980	30,692	22,544	242.768
590	17,609	12,703	225.808	990	31,041	22,809	242.120

Ideal-gas properties of oxygen, O ₂ (Concluded)							
<i>T</i>	\bar{h}	\bar{u}	s°	<i>T</i>	\bar{h}	\bar{u}	s°
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol-K
1000	31,389	23,075	243.471	1760	58,880	44,247	263.861
1020	32,088	23,607	244.164	1780	59,624	44,825	264.283
1040	32,789	24,142	244.844	1800	60,371	45,405	264.701
1060	33,490	24,677	245.513	1820	61,118	45,986	265.113
1080	34,194	25,214	246.171	1840	61,866	46,568	265.521
1100	34,899	25,753	246.818	1860	62,616	47,151	265.925
1120	35,606	26,294	247.454	1880	63,365	47,734	266.326
1140	36,314	26,836	248.081	1900	64,116	48,319	266.722
1160	37,023	27,379	248.698	1920	64,868	48,904	267.115
1180	37,734	27,923	249.307	1940	65,620	49,490	267.505
1200	38,447	28,469	249.906	1960	66,374	50,078	267.891
1220	39,162	29,018	250.497	1980	67,127	50,665	268.275
1240	39,877	29,568	251.079	2000	67,881	51,253	268.655
1260	40,594	30,118	251.653	2050	69,772	52,727	269.588
1280	41,312	30,670	252.219	2100	71,668	54,208	270.504
1300	42,033	31,224	252.776	2150	73,573	55,697	271.399
1320	42,753	31,778	253.325	2200	75,484	57,192	272.278
1340	43,475	32,334	253.868	2250	77,397	58,690	273.136
1360	44,198	32,891	254.404	2300	79,316	60,193	273.891
1380	44,923	33,449	254.932	2350	81,243	61,704	274.809
1400	45,648	34,008	255.454	2400	83,174	63,219	275.625
1420	46,374	34,567	255.968	2450	85,112	64,742	276.424
1440	47,102	35,129	256.475	2500	87,057	66,271	277.207
1460	47,831	35,692	256.978	2550	89,004	67,802	277.979
1480	48,561	36,256	257.474	2600	90,956	69,339	278.738
1500	49,292	36,821	257.965	2650	92,916	70,883	279.485
1520	50,024	37,387	258.450	2700	94,881	72,433	280.219
1540	50,756	37,952	258.928	2750	96,852	73,987	280.942
1560	51,490	38,520	259.402	2800	98,826	75,546	281.654
1580	52,224	39,088	259.870	2850	100,808	77,112	282.357
1600	52,961	39,658	260.333	2900	102,793	78,682	283.048
1620	53,696	40,227	260.791	2950	104,785	80,258	283.728
1640	54,434	40,799	261.242	3000	106,780	81,837	284.399
1660	55,172	41,370	261.690	3050	108,778	83,419	285.060
1680	55,912	41,944	262.132	3100	110,784	85,009	285.713
1700	56,652	42,517	262.571	3150	112,795	86,601	286.355
1720	57,394	43,093	263.005	3200	114,809	88,203	286.989
1740	58,136	43,669	263.435	3250	116,827	89,804	287.614

EK-6 25 °C’ de ve 1 atm basıçtaki gazla ait mutlak entropi ve oluşum entalpileri

Enthalpy of formation, Gibbs function of formation, and absolute entropy at 25°C, 1 atm				
Substance	Formula	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{g}_f° kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol·K
Carbon	C(s)	0	0	5.74
Hydrogen	H ₂ (g)	0	0	130.68
Nitrogen	N ₂ (g)	0	0	191.61
Oxygen	O ₂ (g)	0	0	205.04
Carbon monoxide	CO(g)	-110,530	-137,150	197.65
Carbon dioxide	CO ₂ (g)	-393,520	-394,360	213.80
Water vapor	H ₂ O(g)	-241,820	-228,590	188.83
Water	H ₂ O(l)	-285,830	-237,180	69.92
Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂ (g)	-136,310	-105,600	232.63
Ammonia	NH ₃ (g)	-46,190	-16,590	192.33
Methane	CH ₄ (g)	-74,850	-50,790	186.16
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	+226,730	+209,170	200.85
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	+52,280	+68,120	219.83
Ethane	C ₂ H ₆ (g)	-84,680	-32,890	229.49
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	+20,410	+62,720	266.94
Propane	C ₃ H ₈ (g)	-103,850	-23,490	269.91
n-Butane	C ₄ H ₁₀ (g)	-126,150	-15,710	310.12
n-Octane	C ₈ H ₁₈ (g)	-208,450	+16,530	466.73
n-Octane	C ₈ H ₁₈ (l)	-249,950	+6,610	360.79
n-Dodecane	C ₁₂ H ₂₆ (g)	-291,010	+50,150	622.83
Benzene	C ₆ H ₆ (g)	+82,930	+129,660	269.20
Methyl alcohol	CH ₃ OH(g)	-200,670	-162,000	239.70
Methyl alcohol	CH ₃ OH(l)	-238,660	-166,360	126.80
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH(g)	-235,310	-168,570	282.59
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH(l)	-277,690	-174,890	160.70
Oxygen	O(g)	+249,190	+231,770	161.06
Hydrogen	H(g)	+218,000	+203,290	114.72
Nitrogen	N(g)	+472,650	+455,510	153.30
Hydroxyl	OH(g)	+39,460	+34,280	183.70

Source: From JANAF, *Thermochemical Tables* (Midland, MI: Dow Chemical Co., 1971); *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3, 1968; and *API Research Project 44* (Carnegie Press, 1953).

EK-7 Gazların molar kütlelerine ait yüksek ve düşük ısıtma değerleri

Properties of some common fuels and hydrocarbons							
Fuel (phase)	Formula	Molar mass, kg/kmol	Density, ¹ kg/L	Enthalpy of vaporization, ² kJ/kg	Specific heat, ¹ c_p kJ/kg-K	Higher heating value, ³ kJ/kg	Lower heating value, ³ kJ/kg
Carbon (s)	C	12.011	2	—	0.708	32,800	32,800
Hydrogen (g)	H ₂	2.016	—	—	14.4	141,800	120,000
Carbon monoxide (g)	CO	28.013	—	—	1.05	10,100	10,100
Methane (g)	CH ₄	16.043	—	509	2.20	55,530	50,050
Methanol (ℓ)	CH ₄ O	32.042	0.790	1168	2.53	22,660	19,920
Acetylene (g)	C ₂ H ₂	26.038	—	—	1.69	49,970	48,280
Ethane (g)	C ₂ H ₆	30.070	—	172	1.75	51,900	47,520
Ethanol (ℓ)	C ₂ H ₆ O	46.069	0.790	919	2.44	29,670	26,810
Propane (ℓ)	C ₃ H ₈	44.097	0.500	335	2.77	50,330	46,340
Butane (ℓ)	C ₄ H ₁₀	58.123	0.579	362	2.42	49,150	45,370
1-Pentene (ℓ)	C ₅ H ₁₀	70.134	0.641	363	2.20	47,760	44,630
Isopentane (ℓ)	C ₅ H ₁₂	72.150	0.626	—	2.32	48,570	44,910
Benzene (ℓ)	C ₆ H ₆	78.114	0.877	433	1.72	41,800	40,100
Hexene (ℓ)	C ₆ H ₁₂	84.161	0.673	392	1.84	47,500	44,400
Hexane (ℓ)	C ₆ H ₁₄	86.177	0.660	366	2.27	48,310	44,740
Toluene (ℓ)	C ₇ H ₈	92.141	0.867	412	1.71	42,400	40,500
Heptane (ℓ)	C ₇ H ₁₆	100.204	0.684	365	2.24	48,100	44,600
Octane (ℓ)	C ₈ H ₁₈	114.231	0.703	363	2.23	47,890	44,430
Decane (ℓ)	C ₁₀ H ₂₂	142.285	0.730	361	2.21	47,640	44,240
Gasoline (ℓ)	C _n H _{1.87n}	100–110	0.72–0.78	350	2.4	47,300	44,000
Light diesel (ℓ)	C _n H _{1.8n}	170	0.78–0.84	270	2.2	46,100	43,200
Heavy diesel (ℓ)	C _n H _{1.7n}	200	0.82–0.88	230	1.9	45,500	42,800
Natural gas (g)	C _n H _{3.8n} N _{0.1n}	18	—	—	2	50,000	45,000

¹At 1 atm and 20°C.

²At 25°C for liquid fuels, and 1 atm and normal boiling temperature for gaseous fuels.

³At 25°C. Multiply by molar mass to obtain heating values in kJ/kmol.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet KAPLAN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Gevaş / 06.10.1981
Telefon : (0505) 447 24 81
Faks :
e-mail : mkaplan.energy@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Elazığ Lisesi, Merkez, ELAZIĞ	1999
Üniversite	: Fırat Üniversitesi, Merkez, ELAZIĞ	2005
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2019	İttifak Holding (Sehayapı)	Elk. Grup Şefi
2011-2015	Kombassan Holding (Komyapı)	Elk. Proj. Müh.
2007-2011	Limak Holding (Kurtalan Çimento Fab.)	Elk. Birim Sorumlusu
2007-2007	Yıldırım Holding	Elektrik Müh.

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Büker, M.S. & Kaplan, M., 2018, “Binalarda Enerji Verimliliği: Kojenerasyon Uygulaması”, VI Uluslararası KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, Konya, Türkiye. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

KAPLAN, M., & BÜKER, M. S. KONUTLARDA PAKET TİPİ KOJENERASYON İLE YERİNDE ENERJİ ÜRETİMİ-KONYA ŞARTLARINDA UYGULAMA. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(4), 749-767. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

Büker, M.S. & Kaplan, M., 2019, “Türkiye’de ilk kez uygulanan konut tipi bir mikro-kojenerasyon sisteminin performans değerlendirmesi”, UTUFEM 19, Niğde, Türkiye, (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).

Büker, M. S., & Kaplan, M. (2019, October). Performance investigation of a residential type micro-cogeneration system–Energy and Economic analysis. In *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-9). IEEE. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).

Kaplan M. and Bker M. S., “Energetic, exergetic, economic and environmental (4E) assessment of a residential micro-CHP system: A case study”, **Journal of Polytechnic**. (Yksek Lisans tezinden yapılmıştır).

