

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARIM SEKTÖRÜNDE BİRLİKTE ISI VE GÜÇ SİSTEMLERİ
İLE YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANAN
MELEZ SİSTEMLERİN TASARIMI İÇİN EKSERJİ TABANLI
BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ**

FUNDA BAYULU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2014

**TARIM SEKTÖRÜNDE BİRLİKTE ISI VE GÜÇ SİSTEMLERİ
İLE YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANAN
MELEZ SİSTEMLERİNİN TASARIMI İÇİN EKSERJİ
TABANLI BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF AN EXEGY BASED ALGORITHM FOR
THE DESIGN OF HYBRID SYSTEMS USING COMBINED
HEAT AND POWER SYSTEMS AND RENEWABLE
ENERGY RESOURCES IN THE AGRICULTURAL SECTOR**

FUNDA BAYULU

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ENERJİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.
2014

“ Tarım Sektöründe Birlikte Isı Ve Güç Sistemleri İle Yenilebilir Enerji Kaynakları Kullanan Melez Sistemlerinin Tasarımı İçin Ekserji Tabanlı Bir Algoritma Geliştirilmesi ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 15/09/2014 tarihinde, **ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan (Danışman) : Prof. Dr. Birol KILKIŞ

Üye : Prof. Dr. Tahir YAVUZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özgür EROL

ONAY

....../....../.....

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tezin tüm süreçlerinde değerli fikir, deneyim, öneri ve görüşleriyle hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Birol KILKIŞ' a emekleri için sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tezimi tamamlamam için gösterdiği sabrı ve her aşamada verdiği cesaret dolu desteklerini hiçbir zaman unutmayacağım.

Çalışmamı tamamlarken özellikle akademik çalışmaları ve deneyimlerinden faydalandığım sevgili arkadaşım Şiir KILKIŞ' a, akademik eğitimim süresince bilgi ve deneyimleriyle yanımda olan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince maddi ve manevi her koşulda tüm güvenleriyle yanımda olan en kıymetlim sevgili ailem Gülcan ve Metin BAYULU, diğer yarım kardeşim Mert BAYULU' ya gösterdikleri sabır ve sevgi dolu destekleri için sonsuz teşekkür ederim.

Tezimi yazmaya başladığım ilk günden bitirdiğim son güne kadar gece gündüz her anımda yanımda olarak gösterdiği büyük sabır ile pes ettiğim her an verdiği sevgi, güven ve cesaret dolu paha biçilemez desteği için, hayatıma değer katan Mert ÇALIŞKAN' a sonsuz teşekkür ederim.

Ve hayatımdaki tüm değerli insanlara...

ÖZ

TARIM SEKTÖRÜNDE BİRLİKTE ISI VE GÜÇ SİSTEMLERİ İLE YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI KULLANAN MELEZ SİSTEMLERİNİN TASARIMI İÇİN EKSERJİ TABANLI BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

Funda BAYULU

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapılı çevrede ekserji yıkımlarının en aza indirgenmesi için ön koşul, enerji verimi yüksek melez sürdürülebilir enerji sistemlerini kurgulayabilmek, bu kurguyu da ekserji arz ve talep dengelerine oturtabilmektir. Bu çalışmanın amacı arz tarafındaki ekserji girdilerinin en yüksek ortalama akılcı ekserji yönetim verimi sağlayacak şekilde harmanlanarak yapılı çevrenin ekserji taleplerine en uygun şekilde dağıtılmasını belirleyecek bir karar verici algoritmanın MS Excel programı ile hazırlanması ve çeşitli senaryoların bu program içerisinde modellenmesidir.

Söz konusu algoritma, örnek bir çiftlik projesinde çeşitli senaryolar ile MS Excel programında sınanarak enerji verimliliğine, CO₂ salımlarına, yakıt tasarrufuna olası olumlu katkıları irdelenerek değerlendirilmiştir. Amaç fonksiyonunda iki senaryo arası ekserji verimi oranı, karbon salım oranı ve basit geri ödeme süresi oranları toplanarak senaryolara ait tümleşik amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmıştır. Bu doğrultuda temel senaryo sonuçları ile karşılaştırmalı olarak yazılan amaç fonksiyonunu en küçükleyecek senaryo bulunmuştur. Elde edilen örnek sonuçlar incelendiğinde en yüksek akılcı ekserji verimine 0,55 değeriyle içerisinde birlikte ısı ve güç, ısı depolama, ısı pompası, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve biyogaz gibi sistemlerin olduğu yenilikçi bir yeşil çiftlik senaryosunda ulaşılmıştır. Aynı senaryoda temel senaryo kış işletmesinde 571 ton CO₂/yıl olan karbondioksit salımının 61 ton CO₂/yıl'a indirgendiği gözlemlenmiştir.

Kabul edilen örnek değerler ile algoritmanın uygulanabilirliği ve yetkinlik koşulları da incelenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde verilen tüm değişken değerlerde en

küçükleyen senaryonun söz konusu senaryo olduğu görülmüştür. Senaryolarda kullanılan enerji dönüştürüm sistemleri ilk yatırım maliyetleri, enerji/yakıt maliyetleri belirlenen örnek değerler ile hesaplanarak basit geri ödeme süreleri incelenmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Birlikte ısı ve güç sistemleri, akılcı ekserji yönetimi, karbondioksit salımı, yenilebilir enerji, yeşil çiftlikler, yakıt tasarrufu, geri ödeme süresi.

Danışman: Prof. Dr. Birol KILKIŞ, Başkent Üniversitesi, Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN EXERGY BASED ALGORITHM FOR THE DESIGN OF HYBRID SYSTEMS USING COMBINED HEAT AND POWER SYSTEMS AND RENEWABLE ENERGY RESOURCES IN THE AGRICULTURAL SECTOR

Funda BAYULU

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı

The prerequisite for minimizing the exergy destructions in the built environment is to base energy-efficient hybrid renewable energy systems on a good balance between the supply and demand of exergy. The aim of this study is to develop a novel decision-making algorithm with MS Excel by modeling various scenarios within to ensure the most appropriate way of allocating the supply exergy among various demands with different exergies and to attain the highest average rational exergy management efficiency in the built environment.

The potential positive impact of the algorithm to energy efficiency, CO₂ emissions, and fuel savings have been investigated and were rated with a sample design regarding a green farm. In this respect, four scenarios were considered with the objective of minimizing the average rational management efficiency and a composite objective function was compared to a basic scenario about furnishing the power and energy demand of the farm. In the composite objective function, the ratio of exergy efficiency improvement, carbon dioxide emissions reductions and simple payback period reduction between those scenarios were compiled and calculations were made. According to the sample results that were collected, the rational exergy management efficiency was reached with value 0.55 in green farm that had renewable energy methods like combined heat and power, heat pump and solar and wind energy. In the same scenario, it's observed in the main scenario that the carbon dioxide emissions measured as 571 tons CO₂/year were drastically reduced to 61 tons CO₂/year.

The applicability and competence level of the algorithm were tested with the accepted sample values. The simple payback periods were analyzed by calculating the initial investment costs of energy conversion systems and energy/fuel costs with the determined sample values in those scenarios.

KEY WORDS: Combined heat and power systems, rational exergy management model, carbon dioxide emissions, renewable energy, green farms, fuel saving, payback period.

Supervisor: Prof. Dr. Birol KILKIŞ, Başkent University, Head of Energy Engineering Graduate Program.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

Sayfa

ÖZ.....	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	1
1.2. Amaç ve Kapsam	1
2. KURAM.....	3
2.1. Enerji Dönüştürüm Sistemleri	3
2.1.1. Yedek kazan	3
2.1.2. Isı pompası	4
2.1.3. Birlikte ısı ve güç sistemi	5
2.1.4. Absorbsiyonlu veya adsorbsiyonlu soğutucu (ısı soğurmalı soğutma makinesi)	8
2.1.5. Chiller (gaz sıkıştırmalı soğutma grubu)	9
2.1.6. Düzlemsel güneş toplacı (Flat Plate Collector)	10
2.1.7. Güneş gözesi (PV)	10
2.1.8. Güneş enerjili birlikte üretim (PVT)	11
2.1.9. Photo-Heat Voltaic and Thermal (PHVT)	12
2.1.10. Photo-Voltaic Thermal and Cold, Üçlü Birlikte Üretim	13
(PVTC)	13
2.1.11. Biyokütle enerji dönüştürüm sistemleri	14
2.1.12. Depolama sistemleri	17
2.2. Maliyet Hesaplamaları	19
2.2.1. Yakıt ve enerji tüketimi	19
2.2.2. İlk yatırım maliyeti	21
2.2.3. Bakım/onarım maliyeti	21
2.3. CO ₂ Salım Hesaplamaları	22
2.4. Ekserji Analiz ve Hesaplamaları	24
3. SİSTEM TASARIM VE MODELLEME - Örnek Çalışma	46
3.1. Senaryolar için Enerji, Maliyet, Ekserji ve CO ₂ Salım Hesaplamaları	50
3.1.1. Temel senaryo	50
3.1.1.1. Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları	52
3.1.1.2. Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri	57
3.1.1.3. CO ₂ salım değerleri	62
3.1.2. Senaryo 1	64
3.1.2.1. Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları	67
3.1.2.2. Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri	77
3.1.2.3. CO ₂ salım hesaplamaları	85
3.1.3. Senaryo 2	86

3.1.3.1.	<u>Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları</u>	90
3.1.3.2.	<u>Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri</u>	105
3.1.3.3.	<u>CO₂ salım hesaplamaları</u>	112
3.1.4.	Senaryo 3	113
3.1.4.1.	<u>Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları</u> ..	116
3.1.4.2.	<u>Ortalama akılcı ekserji verimi hesaplamaları</u>	132
3.1.4.3.	<u>CO₂ salım hesaplamaları</u>	139
3.1.5.	Senaryo 4	140
3.1.5.1.	<u>Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları</u> ..	143
3.1.5.2.	<u>Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri</u>	150
3.1.5.3.	<u>CO₂ salım hesaplamaları</u>	162
4.	SAYISAL SONUÇLARA GÖRE ANALİZLER	165
4.1.	Geri Ödeme Süresi Analizleri	165
4.2.	Amaç Fonksiyonu ve Analizler	169
5.	BULGULAR VE ÖNERİLER	176
5.1.	BULGULAR	176
5.2.	ÖNERİLER	179
	KAYNAKLAR LİSTESİ	180
	EKLER	182

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	PVT sistem modeli	11
Şekil 2.2	PHVT sistem modeli.....	13
Şekil 2.3	PHVT ekserji akış çubuğu	13
Şekil 2.4	PVTC sistem modeli.....	14
Şekil 2.5	Metan gazı için eşdeğer yakıt değerleri.....	16
Şekil 2.6	Biyogaz üretim tesisinin akış şeması [15].	16
Şekil 2.7	Enerji ve Güç tüketen bir tesisin karbondioksit sorumlulukları	23
Şekil 2.8	Melez enerji dönüştürüm sistemleri arz ve talep çeşitleri	25
Şekil 2.9	Kümülatif Karbon Salımı Azaltma Etkinliği	26
Şekil 2.10	Enerji ve ekserji dengeleri.....	27
Şekil 2.11	Ekserji yıkımının yararlı uygulamadan önce olduğu durum.....	29
Şekil 2.12	Ekserji yıkımının yararlı uygulamadan sonra olduğu durum	30
Şekil 2.13	Optimum melez sistem ekserji matematiksel analizi için bir format .	31
Şekil 2.14	Ekserji arz ve talepleri arasında yük dağıtımı.....	32
Şekil 2.15	Örnek 1 için enerji arz ve talepleri	34
Şekil 2.16	Örnek 1 için ekserji arz ve talep dengesi.....	35
Şekil 2.17	Örnek 1 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu.....	35
Şekil 2.18	Örnek 1'de ısıtma çözümleme sınırları.....	37
Şekil 2.19	Soğutma sistemi ekserji akış çubuğu	38
Şekil 2.20	Akılcı ekserji verimi hesaplamada gözlem sınırı	40
Şekil 2.21	Örnek 1 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu.....	41
Şekil 2.22	BIG sistemi ekserji akış çubuğu	42
Şekil 2.23	BIG sistem modeli	43
Şekil 2.24	BIG ve ORC sistem modeli	44
Şekil 2.25	BIG ve ORC sistem modeli ekserji akış çubuğu.....	44
Şekil 3.1	AÇKAR Çiftlik Modeli.....	47
Şekil 3.2	Temel senaryo enerji arz ve talepleri	50
Şekil 3.3	Temel senaryo ekserji arz ve talepleri.....	58
Şekil 3.4	Temel senaryo ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu.....	59
Şekil 3.5	Temel senaryo elektrik üretimi ekserji akış çubuğu.....	61
Şekil 3.6	Senaryo 1 enerji arz ve talepleri.....	64
Şekil 3.7	Senaryo 1 kış mevsimi ısı yük karşılaştırma akışı.....	70
Şekil 3.8	Senaryo 1 yaz mevsimi elektrik yükleri karşılaştırma akışı	70
Şekil 3.9	Senaryo 1 ekserji arz ve talepleri	78
Şekil 3.10	Senaryo 1 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu	79
Şekil 3.11	Senaryo 1 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu	81
Şekil 3.12	Senaryo 1 BIG elektrik üretimi ekserji akış çubuğu.....	82
Şekil 3.13	Senaryo 2 enerji arz ve talepleri.....	87
Şekil 3.14	Senaryo 2 kış mevsimi ısı yük karşılaştırma akışı.....	99
Şekil 3.15	Senaryo 2 yaz mevsimi elektrik yükü karşılaştırma akışı	100
Şekil 3.16	Senaryo 2 ekserji arz ve talepleri	105
Şekil 3.17	Senaryo 2 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu	106
Şekil 3.18	Senaryo 2 BIG elektrik üretimi ekserji akış çubuğu	108
Şekil 3.19	Senaryo 2 santralde elektrik üretimi ekserji akış çubuğu	111
Şekil 3.20	Senaryo 3 enerji arz ve talepleri.....	114
Şekil 3.21	Senaryo 3 yaz mevsimi ısı pompası için akış şeması	120

Şekil 3.22	Senaryo 3 yaz mevsimi ABS sistemi için akış şeması	121
Şekil 3.23	Senaryo 3 kış mevsimi ABS sistemi için akış şeması	123
Şekil 3.24	BIG sistemi kış mevsimi çalışma prensibi akış şeması	126
Şekil 3.25	BIG sistemi yaz mevsimi çalışma prensibi akış şeması	127
Şekil 3.26	Senaryo 3 ekserji arz ve talepleri	132
Şekil 3.27	Senaryo 3 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu	133
Şekil 3.28	Senaryo 3 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu	135
Şekil 3.29	Senaryo 3 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu	138
Şekil 3.30	Senaryo 4 enerji arz ve talepleri	141
Şekil 3.31	Senaryo 4 ekserji arz ve talepleri	151
Şekil 3.32	Senaryo 4 yenilebilir kaynaklar ekserji arz ve talepleri	152
Şekil 3.33	Senaryo 4 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu	153
Şekil 3.34	Senaryo 4 BIG elektrik üretimi ekserji akış çubuğu	156
Şekil 3.35	Senaryo 4 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu	160
Şekil 4.1	Maliyet kalemleri arasındaki fark artışlarının grafiksel gösterimi	167
Şekil 4.2	Yakıt ve Enerji maliyetlerinde sağlanan faydaların gösterimi	168
Şekil 4.3	Senaryolara göre geri ödeme süreleri	169
Şekil 4.4	Amaç fonksiyonları grafiksel gösterimi	172
Şekil 4.5	Senaryolara göre ortalama akılcı ekserji verim ve karbon salımları	174
Şekil 4.6	Senaryolara göre ortalama akılcı ekserji verimleri ve GÖS değerleri	174

ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Senaryolar için ortak kullanıcı verileri 49
Çizelge 3.2	Temel senaryo enerji dönüştürüm sistemleri 51
Çizelge 3.3	Kış işletmesi elektrik talepleri 53
Çizelge 3.4	Yaz işletmesi elektrik talepleri 53
Çizelge 3.5	Temel senaryo kazan veri ve sonuçları 54
Çizelge 3.6	Temel senaryo soğutma grubu veri ve sonuçları 54
Çizelge 3.7	Temel senaryo kışlık yakıt/enerji maliyetleri 56
Çizelge 3.8	Temel senaryo yazlık yakıt/enerji maliyetleri 56
Çizelge 3.9	Temel senaryo senelik toplam maliyetler 57
Çizelge 3.10	Senaryo 1 enerji dönüştürüm sistemleri 65
Çizelge 3.11	Senaryo 1 kışlık elektrik talepleri 67
Çizelge 3.12	Senaryo 1 yazlık elektrik talepleri 67
Çizelge 3.13	Senaryo 1 BIG sistemi veri ve sonuçları 71
Çizelge 3.14	Senaryo 1 kazan veri sonuçları 72
Çizelge 3.15	Senaryo 1 soğutma grubu veri ve sonuçları 73
Çizelge 3.16	Senaryo 1 kış mevsimi enerji/yakıt maliyetleri 75
Çizelge 3.17	Senaryo 1 yaz mevsimi enerji/yakıt maliyetleri 76
Çizelge 3.18	Senaryo 1 senelik toplam maliyetler 77
Çizelge 3.19	Senaryo 2 enerji dönüştürüm sistemleri 88
Çizelge 3.20	Senaryo 2 kış mevsimi ısı talepleri 91
Çizelge 3.21	Senaryo 2 kış mevsimi elektrik talepleri 91
Çizelge 3.22	Senaryo 2 yaz mevsimi ısı talepleri 91
Çizelge 3.24	Senaryo 2 ısı pompası veri ve sonuçları 94
Çizelge 3.25	Senaryo 2 soğutma grubu veri ve sonuçları 95
Çizelge 3.26	Senaryo 2 BIG sistemi veri ve sonuçları 101
Çizelge 3.27	Senaryo 2 kışlık yakıt/enerji maliyetleri 103
Çizelge 3.28	Senaryo 2 yazlık yakıt/enerji maliyetleri 103
Çizelge 3.29	Senaryo 2 senelik toplam maliyetler 105
Çizelge 3.30	Senaryo 3 Enerji dönüştürüm sistemleri 115
Çizelge 3.31	Senaryo 3 kış işletmesi ısı talepleri 117
Çizelge 3.32	Senaryo 3 kış işletmesi elektrik talepleri 117
Çizelge 3.33	Senaryo 3 yaz işletmesi ısı talepleri 118
Çizelge 3.34	Senaryo 3 yaz işletmesi elektrik talepleri 118
Çizelge 3.35	Senaryo 3 ısı pompası veri ve sonuçları 124
Çizelge 3.37	Senaryo 3 kazan veri ve sonuçları 128
Çizelge 3.38	Senaryo 3 kışlık yakıt/enerji maliyetleri 130
Çizelge 3.39	Senaryo 3 yazlık yakıt/enerji maliyetleri 130
Çizelge 3.40	Senaryo 3 senelik maliyetler 132
Çizelge 3.41	Senaryo 4 enerji dönüştürüm sistemleri 142
Çizelge 3.42	Senaryo 4 kış işletmesi ısı talepleri 143
Çizelge 3.44	Senaryo 4 yaz işletmesi ısı talepleri 144
Çizelge 3.45	Senaryo 4 yaz işletmesi elektrik talepleri 145
Çizelge 3.46	Senaryo 4 ısı pompası veri ve sonuçları 145
Çizelge 3.47	Senaryo 4 BIG sistemi veri ve sonuçları 146
Çizelge 3.48	Senaryo 4 kazan veri ve sonuçları 146
Çizelge 3.49	Senaryo 4 kış mevsimi yakıt/enerji maliyetleri 148

Çizelge 3.50	Senaryo 4 yaz mevsimi yakıt/enerji maliyetleri	149
Çizelge 4.1	Senaryolara göre yıllık maliyetler	166
Çizelge 4.2	Temel senaryo ile olan maliyet kalemleri farkları ve geri ödeme süreleri	166
Çizelge 4.3	Senaryolara ait hesaplanan değerler	170
Çizelge 4.4	Amaç fonksiyonda kullanılan değişken değerleri.....	171
Çizelge 4.5	Amaç fonksiyonu ağırlık değerleri.....	171
Çizelge 4.6	Senaryolara göre amaç fonksiyonu değerleri.....	172

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	Elektrik enerjisine ödenen birim fiyat, TL/kW·h
b	Yakıta ödenen birim fiyat (yakıtın alt ısı değerine göre), TL/kW·h
BM	Enerji dönüştürüm sistemi birim maliyeti, TL/kW
BOM	Enerji dönüştürüm sistemi bakım/onarım maliyeti, TL
BIG	Birlikte ısı ve güç sistemi
c	Birlikte ısı ve gücün pik yük karşılama oranı
C	BIG tesisinde üretilen gücün üretilen yararlı ısıya oranı
c_i	Birim yakıtın saldıdığı CO ₂ miktarı, kg CO ₂ /kW veya kg CO ₂ /kW·h
$CHPH\eta$	Yararlı ısı üretimi kısmi verimi
$CHPE\eta$	Güç üretimi kısmi verimi
COP_C	Soğutma Performans Katsayısı
COP_{CABS}	Absorbsiyonlu soğutma sistemi soğutma performans katsayısı
COP_H	Isıtma Performans Katsayısı
COP_{HP}	Isı pompası performans katsayısı
COP_{CHP}	Isı Pompası Soğutma Performans Katsayısı
COP_{HHP}	Isı Pompası Isıtma Performans Katsayısı
CO_2	Asal karbondioksit salımı, kg CO ₂ (veya Gton CO ₂ /yıl)
d	Kullanılan yakıtın yoğunluk değeri, kWh/m ³
E_{CHP}	BÜ sisteminde üretilen elektrik (mekanik) enerjisi, kW·h
$E_{biyogaz}$	Biyogaz üretim sisteminde üretilen enerji miktarı, kW·h
G_i	Isıtma gün sayısı
G_s	Soğutma gün sayısı
H_{CHP}	Birlikte ısı ve güç sisteminde üretilen yararlı ısı, kW·h
H_K	Kazan tarafından üretilen anlık ısı yükü, kW-h
I	Güneş ışınımı, W/m ²
IF	Yıllık ortalama işletme faktörü
KF	Yıllık ortalama kapasite faktörü
K_{CHP}	Birlikte üretimde elektrik gücü üretim kapasitesi için anma (katalog) değeri, kW
k_{ABS}	Absorbsiyonlu soğutma makinesi kullanım oranı
k_C	Gaz sıkıştırırmalı soğutucu (Chiller) kullanım oranı

k_C	Isı pompası kullanım oranı
M	Enerji dönüştürüm sistemi mevsimlik yakıt maliyeti, TL
$M_{\text{şebeke}}$	Mevsimlik Şebeke elektrik tüketim maliyeti, TL
$M_{\text{gübre}}$	Günlük toplam yaş gübre miktarı , kg
m	Büyükbaş hayvan günlük ortalama gübre miktarı, kg
n	Büyükbaş hayvan sayısı
w	Isı pompası kullanım oranı
SK	Kullanılan enerji dönüştürüm sistemi için seçilen kapasite, kW
S_{ABS}	Absorbsiyonlu soğutucu kullanım kapasitesi, kW veya kW·h
S_C	Soğutucu (chiller) kullanım kapasitesi, kW veya kW·h
Q_C	Anlık tüketici soğutma talebi, kW-h
Q_E	Anlık tüketici elektrik talebi (Eğer YDF bire eşit ise o zaman elektrik üretim kapasitesi olarak da bu simge kullanılabilir), güç veya enerji olarak, kW veya kW·h
Q_{EC}	Chiller tarafından sistemden çekilen güç, kW veya kW·h
Q_{EHP}	Isı pompası tarafından sistemden çekilen güç, kW veya kW·h
Q_H	Tüketici ısı talebi (sıcak su, kızgın su, buhar vb toplamı). (Veya ısı üretim kapasitesi), güç veya enerji olarak, kW veya kW·h
Q_{HABS}	Absorbsiyonlu soğutucunun talep ettiği ısı yükü, kW veya kW·h
Q_{HP}	Isı pompası kullanım kapasitesi, kW veya kW·h
Q_{HK}	Mevsimlik toplam kazan ısı yükü, kW-h
$Q_{\text{şebeke}}$	Şebekeden çekilecek elektrik yükü, kW
T_a	İç mekân tasarım konfor sıcaklığı, °C (K)
T_{arz}	Enerji girdisinin (gerçek veya eşdeğer) sıcaklığı, K
T_{talep}	Enerji talebi sıcaklığı, K
T_{appi}	(i) uygulamasına giren yararlı ısı sıcaklığı (uygulama sıcaklığı), K
T_E	Birlikte güç üretimini terk eden işletme akışkanının sıcaklığı, K
T_g	Yıllık ortalama toprak sıcaklığı (3 m de), K
T_0	Dış hava sıcaklığı, K
T_{ref}	Çevrenin referans (denge) sıcaklığı, K
T_f	Yakıtın yanma (alev) sıcaklığı veya enerjinin ekserji eşdeğeri sanal yanma sıcaklığı, K
YM	İlk yatırım maliyeti, TL
YT	Enerji dönüştürüm sistemi anlık yakıt tüketimi, kW-h

YT_{CHP}	Birlikte ısı ve güç sistemi anlık yakıt tüketimi, kW-h
YT_K	Kazan yakıt tüketimi, kW-h
z	Karbon salım azaltım faktörü
η_{EX}	2'nci yasaya göre verim
η_I	1'nci Yasaya göre verim
η_i	Her hangi bir (i) uygulamasının verimi
η_{CHP}	Birleşik Isı ve Güç (CHP) sisteminin verimi
η_K	Kazan sistemi verimi
η_T	Merkezi santraldeki ilk enerji dönüşümünden sonra, tüketiciye kadar olan çevrim, iletim, dağıtım ve koşullandırma (transformatör gibi) aşamalarını kapsayan toplam verim
ε_{appi}	(i) uygulamasının birim yükünü gerçekleştirebilecek en düşük ekserji
ε_{talep}	Tüketici ekserji talebi, kW veya kW·h
$\varepsilon_{yıkımı}$	Yıkılan ekserji, kW veya kW·h
ε_{max}	(i) uygulamasının birim yükü için harcanan ve bir kısmı yok edilen ekserji
ε_{arz}	Tesisin (ünitenin) sağladığı ekserji, kW veya kW·h
ψ_{Ri}	(i) uygulamasına ilişkin Akılcı Ekserji Verimi
$\bar{\psi}$	Ortalama ekserji verimi
ΔT	Sıcaklık Farkı, K
ΔCO_2	Ekserji verimsizliğine bağlı (önlenebilir) CO ₂ salımı, kg CO ₂ (veya Gton CO ₂ /yıl)
ΣCO_2	Toplam CO ₂ salımı, kg CO ₂ (veya Gton CO ₂ /yıl)

Alt Simgeler

i	Tüketici alanındaki her hangi bir uygulamanın indisi
j	Güç Santralinin indisi

Kısaltmalar

AEK	Alternatif enerji kaynakları
ASHRAE	American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
BIG	Birlikte Isı ve Güç Üretimi (Cogeneration)

CHP	Birleşik Isı ve Güç (Combined Heat and Power)
PV	Fotovoltaik
PVT	Photo-Voltaic and Thermal
PVTC	Photo-Voltaic, Thermal and Cooling
PHVT	Photo-Heat Voltaic and Thermal
REMM	Rational Exergy Management Model
TEC	Thermo-electric Cooling

1. GİRİŞ

Dünyada enerji tüketiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının tükenir nitelikte olması ve enerji dönüştürümü sonucunda oluşturdukları atık ve salımların çevreye zararlı olması gelecek adına önemli problemler oluşturmaktadır. Bu probleme çözüm olarak da; dünya üzerinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının, diğer enerji kaynakları ile birlikte melez olarak (harmanlanarak) kullanılması gösterilmektedir. Bu şekilde tasarlanan melez sürdürülebilir enerji sistemlerinde akılcı çözümlere ulaşabilmek için toplum refahı, enerji, ekonomi ve çevre dörtleminin parçalarının ayrı ayrı değerlendirilmesi yerine bu dörtlemin parçaları arasındaki ilişkiler birlikte incelenmeli ve sorgulanmalıdır.

Yapılı çevrede kullanılan ısıtma ve soğutma sistemleri, bu çevredeki yaşam alanlarında konfor şartlarının sağlanması ve endüstriyel uygulamalarda da kullanılması açısından önemlidir. Ancak birincil enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerjinin maliyetinin gün geçtikçe yükselmesi nedeni ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji ihtiyacını karşılamak aynı paralellikte maliyetli hale de gelmektedir. Bu ısı talepleri yanında sürekli ve kaliteli enerji isteği de elektrik taleplerini hızla arttırmaktadır. Burada fosil yakıtlara bağıllık, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin henüz yeterli seviyede olmayışı, iletim ve dağıtım hatlarında oluşan kayıplar vb. sorunlar devreye girmektedir. Bu durum da diğer sistemlerle birlikte enerji üretiminin tüketildiği yerde (bölgesel) gerçekleştirilmesinin yani birlikte ısı ve güç santrallerinin önemini göstermektedir.

1.1. Literatür Araştırması

Literatür araştırması yapılırken enerji verimliliği, akılcı ekserji verimi, yüksek performanslı ısıtma ve soğutma sistemleri ısı analiz ve tasarım, karbon salım analizleri, birlikte ısı ve güç sistemleri, melez enerji sistemleri, yeşil binalar, biyogaz sistemleri ve yenilebilir enerji sistemlerini içeren çalışmalar incelenmiştir. Melez enerji sistemlerinde enerji/ekserji arz ve taleplerinin birbiri ile en doğru eşleşmesinin karbon salımları, enerji verimliliği, fosil yakıt tüketimi ve sistem maliyetleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

Kılış, çalışmasında akılcı ekserji yönetimi modeli (Rational Exergy Management Model, REMM)'ni geliştirmiştir. Bu modele göre ekserji verimi, talep ile arz ekserjilerinin oranıdır. Bu model kullanılarak toplum refahı, enerji, ekonomi ve çevre dörtleminin birbiri ile ilişkilerini bina, tesis, santral gibi dar alanlarda “tek başına” kavramı dışında talep ekserjileri arasındaki denge bir bütün olarak değerlendirilebilmektedir. Melez enerji dönüştürüm sistemlerinin modellenmesinde ve analizinde enerji verimliliğinin yanı sıra, akılcı ekserji yönetimi modeli (Rational Exergy Management Model, REMM) kullanılarak tüm sistemler ideal Carnot çevrimi tabanında ortak bir ısı platforma taşınmaktadır [1].

Kılış, B. ve Ş., çalışmalarında yenilebilir enerji kaynaklarının birlikte üretim kavramı içerisinde en akılcı biçimde değerlendirilmesine ilişkin yeni ölçütler yanı sıra bir eniyileme algoritması geliştirerek örnek tasarım senaryolarına uygulamışlardır. Enerji ve güç taleplerinin karşılanmasında çeşitli yenilebilir enerji kaynaklarının melezleştirilmelerinin yararları incelenmiştir [2].

Kılış'ın “Üçlü güneş enerjili net sıfır ekserji evi” adlı çalışmasında bir binada güneş enerjisinden elektrik gücü temini, konfor ısıtması, sıcak kullanım suyu hazırlanması ve konfor soğutması işlevlerini çok katmanlı, tek bir birimde eş-zamanlı olarak gerçekleştirebilecek yenilikçi bir yapı malzemesi -Güneş Tuğlası- tanıtılmaktadır. Bu bağlamda, güney doğu yönündeki cepheleri birbirlerine seri veya paralel bağlanabilen güneş tuğlaları ile kaplanmış aynı

sistem çatıya da uygulanmış tek katlı bir konutta enerji ve ekserji performansları incelenmiştir. Çalışmada aynı örnek konut ev özelinde binaların sorumlu oldukları doğrudan ve dolaylı CO₂ salımlarındaki azaltım potansiyeli *Akılcı Ekserji Yönetimi Modeli (REMM)* kullanılarak incelenmiştir [3].

Kandilli vd., çalışmalarında foto-voltaik termal (PVT) sisteminin termodinamik modellemesi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasını yapmışlardır. PVT sistemlerden en yüksek enerji veriminin elde edilmesi ve en uygun çalışma koşullarında işletilmesi için bu sistemlerin tasarımı aşamasında ayrıntılı ısı transfer analizleri yaparak ve termodinamik modellemeyi yaparak elde ettikleri sonuçları benzetim sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonuçlarına göre aradaki uyumu gözlemlemişleridir. PVT ısı transfer mekanizması ayrıntılı olarak çalışmada incelenmiştir [4].

Çakmanus vd., Ankara'da yerleşik ESER Yeşil Yönetim Binası'nda gerçekleşen yüksek performanslı, yeşil HVAC tasarım optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Makalede optimal (en uyguna yakın) bir yeşil mekanik sistem; rüzgâr türbinleri, güneş gözeleri (PV), güneş toplaçları, toprak kaynaklı ısı pompası, enerji depolama sistemleri ile soğurmalı soğutma makinesini içeren doğal gaz tahrikli üçüz-üretim (tri-generation) sistemi gibi yenilenebilir, sürdürülebilir ve çoğulcu mekanik elemanların en uygun tümleşmesi anlatılmaktadır. Çalışmada tasarlanan, birkaç sistemin karma (melez) bir bileşimi olan bu yeşil-mekanik-sistemin amacı, en yüksek verimi elde etmenin yanı sıra, minimum ekserji yıpranması ve yaşam-çevrim maliyeti gibi hedefleri yakalamaktır. Yapılan parametrik çalışmalar ile bu tür bir tasarım yaklaşımının, çok düşük CO₂ salımına sahip, daha çevre-dostu tasarımlara giden ikinci nesil binalar için güçlü bir adım olduğu araştırılmıştır. Ayrıca çalışma, Türkiye'deki ilk ve tek LEED Platin Sertifikasını alan proje özelliğine sahiptir [5].

Mohammadkhani vd., dizel motorlu birlikte ısı ve güç sistemi için detaylı termodinamik analizler yapılmıştır. Sistem parçaları için ekserji analizleri ve ekserji yıkımları hesaplanmıştır. Bununla birlikte yakıt tasarrufu, enerji verimliliği oranları ve sistem ısısal işlem oranları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, diğer sistem parçalarıyla karşılaştırıldığında dizel motor ve ısı değiştiricide en düşük ekserji verimleri ve yüksek ekserji yıkımları olduğu

gözlemlenmiştir. Bu durum için ekserji bakış açısıyla sistemin ekserji-ekonomik analizlerine temel oluşturacak çalışmada bu sistem bileşenlerine daha fazla dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [6].

Dinçer vd., yaptıkları çalışmalarında enerji verimliği ve sürdürülebilirliğin artışında, çevre etkilerinin azaltımında ekserjinin rolünü incelemişleridir. Ekserji kavramının, sürdürülebilir enerji ve teknolojilerin avantajlarının tanımlanması ve açıklanması için bir ölçü olduğu belirtilmektedir. Ekserjinin araştırmalarda kullanılmasıyla sürdürülebilir enerji teknolojilerin kullanımının artışı için faydalarının, yeşil enerji kullanımının ve mevcut enerji sistemleri üzerinde yapılacak geliştirmelerin daha doğru açıklanabileceği üzerinde durulmuştur. Aynı zamanda sürdürülebilir teknolojilerde ekserji kavramının verimlilik artışının sağlanması, termodinamik kayıpların azaltılması için de büyük önem taşıdığı belirtilmektedir. Sürdürülebilir kalkınmayı, ekserji verimliliğinin nasıl etkilediğini ölçmek amaçlı sürdürülebilirlik endeksi geliştirilmiştir. Sonuçlara göre de yeşil enerji ve teknolojileri ile ilgili alınacak tüm karar ve kısıtlarda ekserji kavramının tüm karar vericiler tarafından kullanılmasının önemi vurgulanmıştır [7].

Bingöl vd., çalışmalarında çoklu birlikte üretim, enerji kaynağından en yüksek termodinamik verimin sağlanabilmesi amacı ile, faydalı ısıdan buhar, soğutulmuş su, sıcak su ve elektrik gibi farklı ekonomik taleplerin aynı anda ve bir arada karşılanabilmesi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar ODTÜ' de kurulan 145 kW elektrik ve 160 kW ısı kapasiteli EU FP6 HEGEL Çoklu Birlikte Üretim projesi üzerinde yapılmıştır. Sonuçlar çoklu üretim sistemlerinin modellenmesinde ve analizinde enerji verimliliğinin yanı sıra, Akılcı Ekserji Yönetimi Modeli (Rational Exergy Management Model, REMM) önemini vurgulamaktadır. Bununla birlikte geliştirilen metrikler ile en uygun çoklu üretim sistemleri için enerji ve ekserji verimliliği, yakıt tasarrufu, ekonomik ve çevresel katkılar incelenmiştir [8].

Kılış, bir başka çalışmada, enerji ve ekserji verimleri yüksek, enerji kaynaklarını akılcı kullanan, gerçek anlamda yakıt tasarrufunu, çevrenin korunmasını ve enerji emniyetini sağlayan, uluslararası norm ve yönergelere uygun uygulamalara ışık tutmak üzere yüksek performanslı bina kavramı

çerçevesinde Birlikte Üretimin uygulaması incelenmiştir. İçeriksel anlamda, Mega Hastane uygulamaları ön plana çıkarılmış, bu bağlamda yeni tasarım, kapasite eniyilemesi ve performans değerlendirme yöntemleri geliştirilmiştir [8].

Yavuz vd., yaptıkları çalışmalarında, enerji niteliğine dayalı enerji ve sürdürülebilirlik politikalarının oluşturulması için gerekli bilimsel ve teknik altyapı bilgileri verilmektedirler. Geliştirilen metrikler tanıtılmakta ve geliştirilen yeni bir model örneklerle anlatılmaktadır. Bu model kullanılarak karbon salım eşdeğerlerinin de daha gerçekçi hesaplanabildiği gösterilmektedir [9].

Sugözü vd., son yıllarda üzerinde en çok durulan ve araştırılan konular arasında yer alan hayvan ve bitki artıklarından biyogaz üretimi üzerine araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, hayvancılığın Türkiye'deki yeri ve hayvan atıklarından elde edilen gübre miktarına karşılık biyogaz miktarları tespit edilmiştir. Tükenen fosil yakıtlara alternatif olarak uygulanabilir ve kullanışlı bir nitelik taşıyan ve önemli bir potansiyele sahip olan biokütleden hareketle, biyogaz elde edilmesi ve bunun özellikle küçük yerleşim yerlerinde tüketilmesi çalışmada incelenmiştir. Bu alternatifin kullanımının da hem ekonomi açısından hem de çevresel sorunları azaltımındaki payı açısından önemi vurgulanmıştır [10].

Çevre, ekonomi, enerji ve toplum refahı dörtleminin tek çerçeve altında incelenmesine olanak sağlayan melez enerji sistemlerinin karbon salımları, enerji tüketimleri, enerji verimliliği, yakıt tasarrufu gibi unsurları üzerine etkilerinin incelenmesi giderek önem kazanmaktadır. Yapılan birçok araştırma incelendiğinde, melez enerji sistemleri ile enerji verimliliğine odaklanan yani sadece enerji arz ve taleplerinin yöneten sistemlerin tek başına yeterli olmadığı aynı zamanda ekserji verimliliğine odaklanılan sistemlerde enerji arz ve taleplerin daha akılcı yönetildiği gözlemlenmiştir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasının temel amacı enerji arz ve talepleri arasında farklı enerji kaynaklarını bir arada kullanan melez enerji sistemleri incelenirken bu sistemlerin enerji, çevre, ekonomi ve toplum refahı açısından mevcut veriler kullanılarak en akılcı modelin oluşturulmasıdır. Bu kapsamda, melez sistemlerde arz tarafındaki ekserji girdilerinin en yüksek ortalama ekserji verimi sağlanarak talep tarafındaki ekserji ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde dağıtılması birincil öncelik olarak tutulmuştur. Bu amaç ve kapsam doğrultusunda, çalışmanın özü arz tarafındaki ekserji girdilerinin en yüksek ortalama ekserji verimi sağlayacak şekilde harmanlanarak yapıllı çevrenin ekserji taleplerine en uygun şekilde eşlemesini belirleyecek bir karar verici algoritmanın altyapısının hazırlanmasıdır.

Excel programı kullanılarak geliştirilen algorithmada, değişik senaryolarla hesaplanan ekserji verim değerleri içinde en yüksek verim değerindeki eşleme modeli bize en akılcı çözümü verecektir. Excel programında hazırlanan algoritma ile etkileşimli bir tasarım ve çözümleme ortamı oluşturulup kullanıcı arz ve talepleri, enerji dönüştürüm sistem çeşitleri, sisteme girilen kullanıcı verileri değiştirilerek farklı senaryolar modellenmesine olanak sağlanmaktadır.

Çalışmada, konvansiyonel enerji sistemlerini içeren modelden başlanarak melez enerji sistemleri ve kullanılan kaynakları çeşitlendirilerek birçok senaryo kurgulanmıştır. Bu senaryolar içerisinde en önemli paya günümüzde gerek enerji tüketimi gerek karbon salımları açısından önemli bir yere sahip çiftlik modeli sahiptir. Tez kapsamında Başkent Üniversitesi kuruluşu olan AÇKAR A.Ş. incelenerek mevcut sistemleri örnek parametrelerle modellenmiştir. Böylece melez enerji sistemlerinde ekserji verimliliği temelinde arz ve talep dengelerinin sağlanmasında kullanılan yük eşleme algoritmasının etkileri yakından incelenmektedir.

Tüm senaryolar için hesaplanan CO₂ salımları, sistem toplam maliyetleri ve ortalama akılcı ekserji verim değerleri amaç fonksiyonunda çeşitli ağırlıklar verilerek aynı paydada toplanmıştır. Bu şekilde verilen ağırlıkların değişimine göre senaryolar karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Her senaryo için hesaplanan toplam maliyet değerleri ile temel senaryo temel alınarak hesaplanan basit geri ödeme süreleri de değerlendirilerek çalışma kapsamında incelenmiştir.

Yapılan bu araştırma ile farklı enerji kaynakları kullanan melez enerji sistemleri, enerji verimliği, sürdürülebilir enerji sistemleri, yakıt tasarrufları, yenilebilir enerjiler, enerji ekonomisi ve karbon salımları üzerine çalışan tüm akademik çalışmalara destek ve kaynak olması da amaçlanmıştır.

2. KURAM

Artan enerji taleplerinin karşılanabilmesi ve taleplerin akılcı yönetilebilmesi için çalışmada, enerji talepleri, mevcutta hangi enerji dönüştürüm sistemlerine sahip olduğu ve belirli işletme bilgileri kullanıcı verisi olarak alınarak çeşitli senaryolar geliştirilen çözüm algoritmasıyla modellenerek sonuçlar incelenmektedir.

2.1. Enerji Dönüştürüm Sistemleri

2.1.1. Yedek kazan

Katı, sıvı ya da gaz halindeki bir yakıtın yakılarak, kimyasal enerjisinin ısı enerjisine döndürülmesini sağlayan, ve bu ısı enerjisi ile akışkan bir sıvıyı ısıtarak, ısıyı başka bölgelere aktaran basınçlı bir kaptır. Kullanım akışkanın özelliklerine göre kazanlar;

- 1-Sıcak su kazanları
- 2-Kızgın su kazanları
- 3-Kızgın yağ kazanları
- 4-Buhar kazanları olarak 4 grupta incelenir.

Kazanların verimliliği ise yanma esnasında oluşan ısıнын hangi oranda kullanma mahalline taşındığına bağlıdır. Yanma sonucu oluşan ısıyı ne kadar önemli ve akılcı değerlendirsek o oranda enerji ve yapılı çevre yakıt tüketimi, atmosfere salınan atık gaz ve parçacıklar, kazan maliyeti, işçiliği ve malzeme giderleri azalacaktır.

Talep edilen ısı yüküne göre kazan verimi kullanılarak kazan yakıt gereksinimi hesaplanmaktadır.

$$\text{Kazan Yakıt Gereksinimi} = \frac{\text{Talep edilen ısı yükü}}{\text{Kazan verimi}} \quad (2-1)$$

$$Y_{T_K} = \frac{Q_H}{\eta_K} \quad (2-2)$$

2.1.2. Isı pompası

Isı pompası, dışarıdan enerji verilmesi ile düşük sıcaklıktaki bir ortamdan aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki ortama veren bir makinedir. Kışın ısıtma maksadı ile kullanılan ısı pompası, yazın da soğutma için kullanılabilir.

Bir ısı pompasının en önemli karakteristiği performans katsayısıdır (COP). Verimli bir sistemin COP değerleri tipik olarak 4'e eşittir, yani sisteme girilen birim birincil enerji (veya güç) karşılığında 4 birim enerji (veya güç) elde edilmektedir. Termodinamiğin Birinci yasası uyarınca 3 birim enerji (veya güç) çevreden temin edilmektedir.

Isı pompasının çekeceği elektrik miktarı, kullanım amacına göre seçilen ısı pompası kullanım kapasitesi ve COP değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. COP değeri ısıtma ve soğutma için farklı değerler alabilmektedir. Isı pompası kullanım kapasitesi, soğutma yükünün belirlenen kullanım oranı kadar alınması ile hesaplanmaktadır.

$$Isı\ pompası\ kapasitesi = k_{HP} \times soğutma\ yükü \quad (2-3)$$

$$S_c = k_{HP} \times Q_c \quad (2-4)$$

$$Çekilen\ elektrik\ enerjisi(kWh) = \frac{ısı\ pompası\ kapasitesi}{Performans\ katsayısı} \quad (2-5)$$

$$Q_{EHP} = \frac{Q_{HP}}{COP_{HP}} \quad (2-6)$$

2.1.3. Birlikte ısı ve güç sistemi

Kojenerasyon (*B/G*), tercihen ısı tüketimi olan yerlerde kullanılan ve aynı zamanda bölge ısıtma ağını yararlı ısıyla besleyebilen elektrik enerjisi ve ısı üretebilen modüler yapıları bir sistemdir. Bu sistem kombine ısı ve güç sistemi ilkesine dayanmaktadır.

Geleneksel yerinde ısıtma sistemleri (kazan gibi) ve merkezi enerji santrallerine kıyasla daha yüksek toplam verime sahiptir. Elektrik üretiminde geri kazanılan atık ısı doğrudan yararlı işlerde (buhar, kızgın su, sıcak su gibi) aynı yerde kullanılır. Elektrik enerjisi verimliliği tesis büyüklüğünden bağımsız olarak %25 ile %50 arasında değişmektedir. BIG sistemleri %40 kadar birincil enerjiyi tasarruf edebilmektedirler.

İdeal olarak referans şebeke bağılı olup, fazla üretimin elektrik şebekesini beslemesi sağlanır. Isı, ısıtma ve sıcak su hazırlamak için kullanılır. Eğer BIG verimi bölgesel ısınma ihtiyacını karşılamaya yönelikse, ısıtma yönelimli BIG sisteminden bahsedilir. Bu gibi tesislerde üretilen elektrik mümkün mertebede tesis içinde kullanılırken, artan enerji genel ağına dağıtılır ve uygun şekilde mahsup edilir.

Elektrik üretimi yönelimli kojenerasyon sistemlerinde kapasite çıktıları elektrik ihtiyacına göre yönlendirilir. Elektrik üretimi sırasında üretilen ısı bir termal depoda sonraki kullanımlar için saklanır veya bir soğutma sistemi üzerinden verimliliği düşürmesine rağmen atık ısı olarak çevreye verilir. Bu tarz çalışma biçimleri genellikle genel ağıdan bağımsız olan elektrik ağlarında kullanılır.

Öte yandan yenilenebilir hammaddelerle işletilen BIG Sistemleri Türkiye'de genellikle elektrik enerjisi üretimi yönelimli olarak kullanılır,

çünkü yenilenebilir enerji kaynakları yasasına göre elektrik dağıtım tarifesinden yüksek karlılık getirmektedir [11] .

Birlikte ısı ve güç sisteminde, kapasite seçimi yük takibine göre yapılmaktadır. Takip edilen yükün (elektrik veya ısı yükü) iki mevsim için pik yükleri karşılaştırılarak takip edilecek pik yük belirlenmektedir. Seçilecek kapasite ise pik yükün belirli bir oranda alınmasıyla hesaplanmaktadır. Kullanıcı verisi olarak alınacak pik yük karşılama oranı (c) ile pik yük çarpılarak, pik yükün ne kadarının BIG sistemi ile karşılanacağı hesaplanmaktadır.

Bu oran ile hesaplama yapılmasının temel amacı, hem BIG sisteminin pik yükü karşılayacak şekilde büyük kapasitelerde seçilerek sebep olacağı yüksek yatırım maliyetleri ve geri ödeme sürelerindeki artışı engellemek hem de takip edilen pik yük harici, üretilen ısı/güç yükünün takip edilen yüke göre atıl duruma düşmesini engellemektir. Modellenen senaryolarda BIG sistemi talep edilen elektrik pik yüklerini takip etmektedir.

$$Q_{Epik} = Q_E \times c \quad (2-7)$$

Hesaplanan Q_{Epik} değerine göre birlikte ısı ve güç sisteminin anma kapasitesi (K_{CHP}) belirlenmektedir. Anma kapasitesi birlikte ısı ve güç sisteminde üretilen elektrik enerjisini (E_{CHP}) vermektedir.

Birlikte ısı güç sistemlerinde, üretilen gücün yararlı ısıya oranı (C) kullanılarak, BIG sistemi tarafından üretilen ısı kapasitesi (H_{CHP}) hesaplanmaktadır. Sistemde güç/ısı oranı kullanıcı verisi olarak alınmaktadır.

$$C = \frac{E_{CHP}}{H_{CHP}} \quad (2-8)$$

BIG sistemi anlık yakıt tüketimi, mevsimlik kullanılan BIG kapasitesine göre değişmektedir.

Kış mevsiminde; BIG sistemi tarafından üretilen ısı yükü (H_{CHP}), o mevsimlik talep edilen ısı yükünden Q_H düşük ise BIG sistemi tam kapasite çalıştırılır. Fakat talep edilen ısı yükü, BIG sistemi tarafından üretilen ısı yükünden düşük ise, BIG sistemi o mevsim talep edilen elektrik yükü (Q_E) kadar çalıştırılır.

Yaz mevsiminde; BIG sistemi kapasitesi (E_{CHP}), o mevsim talep edilen pik yük (Q_E) ile karşılaştırılmaktadır. Yüklerden büyük olana göre çalıştırma kapasitesi seçilerek BIG sistemi elektrik verimine ($CHPE_\eta$) göre anlık yakıt tüketimi hesaplanmaktadır.

$$YT_{CHP} = \frac{E_{CHP}}{CHPE_\eta} \quad (2-9)$$

ya da

$$YT_{CHP} = \frac{Q_E}{CHPE_\eta} \quad (2-10)$$

Çalışmada yapılan tüm seçimler sonrası karşılanamayan elektrik talebi kontrolü yapılmaktadır. Bu şekilde, modellenen her örnek senaryoda şebekeden çekilen elektrik yükü hesaplanarak, yakıt maliyetine eklenmektedir. Seçilen BIG sistem kapasitesi E_{CHP} , talep edilen elektrik yükünden (Q_E) büyük olması durumundan şebekeden elektrik çekilmesine gerek kalmayacaktır. Fakat seçilen kapasitenin talep edilen yükten az olması durumunda aradaki fark kadar şebekeden yük alınacaktır. Denklem (2.11) ile şebekeden çekilecek elektrik yükü hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{sebeke}} = Q_E - E_{CHP} \quad (2-11)$$

2.1.4. Absorbsiyonlu veya adsorbsiyonlu soğutucu (ısı soğurmalı soğutma makinesi)

Bu birimler çok az elektrik gücü kullanarak ısıyı soğuğa çeviren sistemlerdir. Düşük sıcaklıkta da atık ısı üretirler. Elektrik gücü girdisi ve kullanılmıyor ise atık ısı ihmal edilebilir. (Soğutma çıktısının % 5 inden daha az).

Absorbsiyonlu soğutma sistemi kullanımı ülkemizde de BIG sistemlerinin kullanılması ile birlikte artmıştır. BIG sistemlerinin oluşturduğu atık ısı vasıtası ile kullanılan absorbsiyonlu sistemler ile yapılan soğutma maliyeti oldukça düşüktür. Burada bahsedilen atık ısı kaynakları motor soğutma suları, buhar türbinlerinden alınan buhar, süreçte kullanılan makinelerin soğutma suları ve baca gazlarının kullanımı ile ısı değişiriciler aracılığı ile elde edilen sıcak sulardır [12].

Enerji maliyetlerinin artması ile önem kazanan absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan atık ısılar soğutma maliyetini düşürmektedir. Yakıt maliyetlerinin artması ve kimya sanayisinde olduğu gibi birçok süreçte düşük sıcaklıktaki (90-100°C) ısı enerjileri atmosfere atılmaktaydı. Bu nedenle düşük sıcaklıkla soğutma yükü sağlayabilen absorpsiyonlu sistemlerin kurulması atılan ısıdan ihtiyacın karşılanması gibi çok büyük bir avantaj sağlanmaktadır [13].

Çalışmada, absorbsiyonlu soğutucu için bu sistemi kullanan örnek durumlarda kullanım oranı hesaplanmaktadır. Hesaplanan kullanım oranına göre karar verilen kullanım oranı ile absorbsiyonlu soğutma sistemi için mevsimlik kullanım kapasitesi belirlenmektedir.

$$S_{ABS} = k_{ABS} \times Q_c \quad (2-12)$$

Belirlenen absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanım kapasitesi (S_{ABS}), sistemden soğutma kapasitesine göre ısı talep etmektedir.

Absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanan senaryolarda mevsimlik ısı yükü, soğutma kapasitesinin ısı yükü kadar artmaktadır. Bu yükün hesaplanmasında, soğutma performans katsayısı kullanılarak absorpsiyonlu soğutma sistemi ısı yükü belirlenmektedir.

$$ABS \text{ ısı yükü} = \frac{\text{Soğutma kapasitesi}}{COP_{ABS}} \quad (2-13)$$

$$Q_{HABS} = \frac{S_{ABS}}{COP_{ABS}} \quad (2-14)$$

2.1.5. Chiller (gaz sıkıştırmalı soğutma grubu)

Soğutmanın amacı kapalı bir mahalde, çevre sıcaklığının altında sıcaklıklar elde etmek ve bu düşük sıcaklığı sürekli olarak muhafaza etmektir. Ancak ısı sıcaktan soğuğa kendiliğinden akarken, tersine akış kendi kendine olmaz. İki sistem arasındaki dengeyi bozabilmek için enerji gereklidir. Günümüzde bu iş soğutucu makineler tarafından gerçekleştirilir. Soğutucu makineler çalışma prensiplerine ve çalıştıkları sıcaklık aralığına göre sınıflandırılırlar. Mekanik yöntemle soğutma dışarıdan iş verilerek soğutucu akışkanın basınç ve sıcaklığının yükseltilmesi esasına dayanır. Termodinamiğin 2. kanununa göre ters Carnot çevrimi prensibine göre çalışmaktadırlar.

Çalışmada, senaryolarda yapılan modellemelerde kullanılan chiller (soğutma grubu) kapasiteleri, mevsimlik soğutma yüklerine göre belirlenmektedir. Aynı senaryoda içerisinde birden fazla soğutma sistemi kullanılması durumunda, chiller (soğutma grubu) kullanım oranı ile soğutma grubu kapasitesi hesaplanmaktadır.

$$S_c = k_c \times Q_c \quad (2-15)$$

Belirlenen soğutma kapasitesine (S_c) sahip chiller (soğutma grubu) çalıştığı mevsimlik dönemde sistemden çektiği elektrik kadar mevsimlik elektrik yükünü arttırmaktadır. Chiller (soğutma grubu) mevsimlik soğutma performans katsayısı (COP_c) kullanılarak soğutma yükü elektrik talebi (Q_{EC}) hesaplanmaktadır.

$$Q_{EC} = \frac{S_c}{COP_c} \quad (2-16)$$

2.1.6. Düzlemsel güneş toplacı (Flat Plate Collector)

Güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır.

Düzlemsel güneş kollektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Toplaçlar, kullanılacakları bölgenin enlemine bağlı olarak güneş ışınlarını maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler.

Güneş toplaçlı sıcak su üretim sistemleri, güneş enerjisini toplayan düzlemsel toplaçlar, ısınan suyun toplandığı depo ve bu iki kısım arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular, pompa ve kontrol edici gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşmaktadır.

2.1.7. Güneş gözesi (PV)

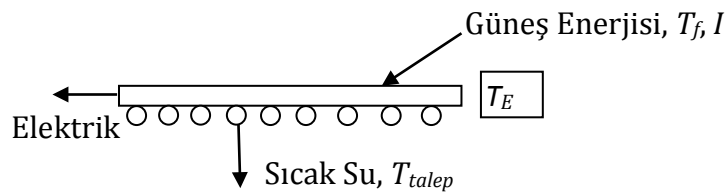
Yüzeylerine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere ‘fotovoltaik piller’ veya ‘güneş pilleri’ denir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilmektedirler.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü veya fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç W'tan MW'lara kadar sistem oluşturulur. Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir.

Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

2.1.8. Güneş enerjili birlikte üretim (PVT)

Güneş panellerinde oluşan ısının da kullanıldığı PVT, yani aynı soğurma yüzeyinden aynı anda elektrik gücü ve ısı üreten sistemler geliştirilmiştir.



Şekil 2.1 PVT sistem modeli

Bu sistemde, güneş panellerinin güneş enerjisini soğurması ile oluşan ısıyı faydalı bir şekilde kazanarak paneldeki güneş gözelerinin ısıdıkça azalan elektrik güç üretim verimlerinin de sabit kalması gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, güneş panelinin ön yüzeyinde yerleşik güneş gözesi katmanının altına yerleştirilen ısı değiştirgeçleri ile sıcak su elde edilmektedir. Üretilen elektrik gücünün ufak bir bölümü su

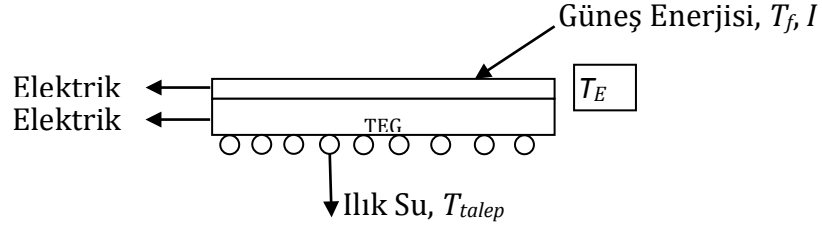
pompası, denetim devresi gibi ikincil güç taleplerini karşılamakta, geri kalan elektrik gücü ve yararlı ısı binaya verilmektedir. Yararlı ısı genellikle sıcak servis suyu hazırlanmasında kullanılmaktadır.

Güneş boylerine giren soğuk şebeke suyu ısı değiştirgecinde kapalı devrede ısınarak binaya verilmektedir. Güneş boyleri ise ikinci bir kapalı devrede güneş panellerinden elde edilen ısı ile ısıtılmaktadır. PVT sisteminin avantajı, güç ve ısının aynı soğurma yüzey alanından elde edilebilmesidir. Bunun sonucunda, bina çatıları ve diğer yüzeylerindeki güneş ışınımından daha yararlı ve birden çok türde enerji edilebilmesidir. Bu yöntem aslında birlikte ısı ve güç sisteminin yenilenebilir enerjili bir örneğini oluşturmaktadır.

Sistemin bir olumsuz yönü ise ışıının en fazla olduğu yaz aylarında daha çok ısı üretilmesine karşın binalarda konfor soğutma yüklerinin artmasıdır. Her ne kadar elde edilen ısı kullanılarak absorbsiyonlu sistemlerle konfor soğutması dolaylı olarak yapılabilse de, genelde elde edilen ısının sıcaklığı bu tür bir soğutma sisteminin çok verimli çalışabilmesi için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle de daha pahalı ve ağır olan fakat daha düşük sıcaklıklarda çalışabilen adsorbsiyonlu sistemlere gerek duyulmaktadır.

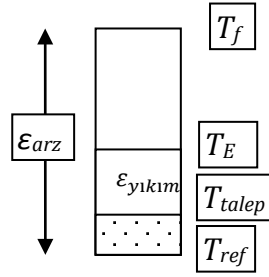
2.1.9. Photo-Heat Voltaic and Thermal (PHVT)

Bu birim PV gözesi ve TEG (Thermo-elektric Generator) modülünden meydana gelen bir karma birimdir. Birim alandan daha fazla elektrik daha az ılık su üretir. Bu çözümleme yönteminde birime giren soğuk suyun ekserjisi ihmal edilmektedir. Bu birim aslında PVT ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 2.2 PHVT sistem modeli

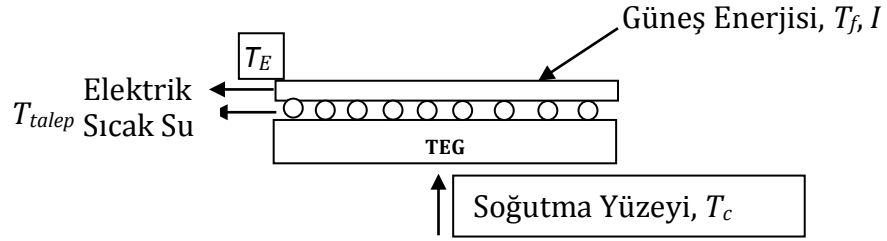
Bu birimin ekserji akışı çubuğu (Şekil 3-3) yönünden PVT ile benzerlik gösterir. En önemli fark T_E nin bir denetleyici tarafından en fazla elektrik gücü eldesi amacı ile enuygun (optimum) bir düşük değerde tutulmasıdır. Diğer yandan T_{talep} bu durumda ılık suyun birimden çıkış sıcaklığıdır. Dolayısı ile $\varepsilon_{yıkım}$ daha azdır.



Şekil 2.3 PHVT ekserji akış çubuğu

2.1.10. Photo-Voltaic Thermal and Cold, Üçlü Birlikte Üretim (PVTC)

PVT ve öncelikle yaz aylarında konfor soğutmasını da gerçekleştirilebilecek bir üçüncü katman üzerinde duran güneş enerjisi ile üçlü üretimi gerçekleştirecek bir sistemdir.



Şekil 2.4 PVTC sistem modeli

Bu sistemde güneş enerjisinden üretilen elektrik gücü soğutma yüklerinin özellikle fazla olduğu gündüz saatlerinde doğrudan bina iç yüzeylerine bakan TEG’lerde kullanılmaktadır. Bu sistem hissedilir soğutma yüklerini karşılayabilmektedir.

Sistemin çalışmasına olanak veren en önemli etkenler; yaz aylarında soğutma yüklerinin güneşin en çok ısıdığı saatlere denk gelmesi, ayrıca bu zaman dilimi içerisinde aydınlatma yüklerinin de oldukça az olmasıdır. Kış aylarında ise, doğru akımla çalışan ısı-elektrik elemanlarının elektrik bağlantı kutupları bir elektronik devre aracılığı ile değiştirilerek bu elemanlar konfor ısıtmasında da kullanılabilir.

Söz konusu üç katmanlı sistemin dikkat çeken en olumlu yönü de aynı soğurma yüzeyinden binaların dört değişik enerji talebine cevap verebilmesidir. Günlük yaşamda tri-jenerasyon olarak geçen doğal gazlı bir birlikte üretim birimi ve absorpsiyonlu soğutma birimi ile aynıdır. Sağlanan yükler; elektrik gücü, sıcak su, konfor soğutması (gerektiğinde) ve konfor ısıtması (gerektiğinde) dir.

2.1.11. Biyokütle enerji dönüştürüm sistemleri

Biyokütle ve diğer organik atıkların enerji amaçlı kullanılması için çeşitli dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Ön işlemden geçirilmiş atıkların elektrik, ısı ve ışık ihtiyacı olarak kullanılması durumunda uygulanan teknolojiler başlıca üç grupta toplanır. Bunlar; termokimyasal dönüşüm,

fizikokimyasal dönüşüm ve biyokimyasal dönüşümdür. Günümüzde enerji amaçlı kullanılan atıkların büyük bir kısmı termokimyasal yöntemle ısı ve elektriğe dönüştürülmektedir. Biyolojik arıtma sisteminin bir alternatifi olan biyogaz üretimi, aslında küçük ölçekli bir anaerobik arıtma sistemidir ve biyogaz üretiminde hammadde olarak genellikle organik atıklardan yararlanılmaktadır.

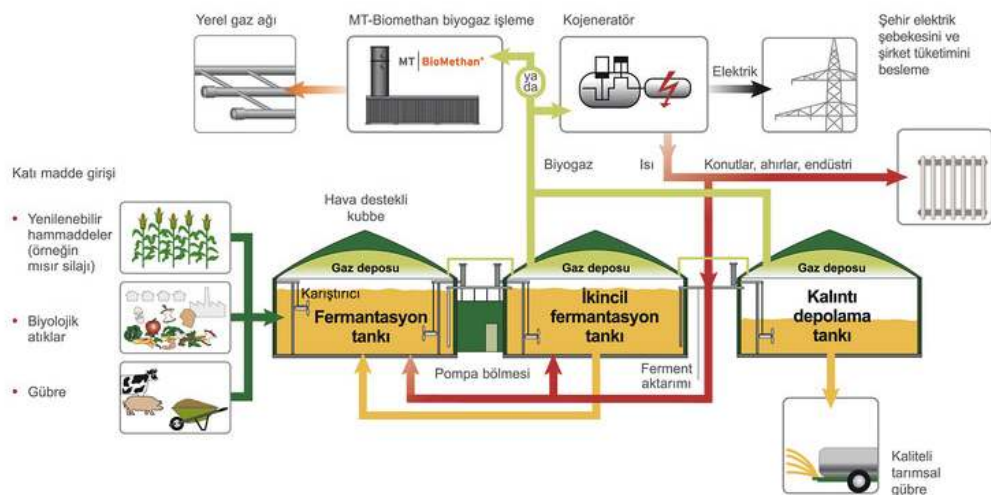
Genelde biyogaz üretimi atığın içerdiği uçucu katı madde miktarı ile orantılıdır. Veya yaklaşık olarak biyogaz üretiminin toplam katı madde (kuru ağırlık) miktarı ile de orantılı olduğu düşünülebilir. Biyogaz, organik maddelerin fermentasyon sonucu açığa çıkan ve üretim şekli ile üretilen ham maddeye bağlı olarak meydana gelen renksiz, yanıcı ve karışımında genellikle % 60-70 metan, % 30-40 CO₂ ve az miktarda kükürtlü hidrojen, azot, hidrojen ve karbon monoksit bulunan bir gazdır. Yaklaşık 1 ton toplam katı madde içeren hayvan gübresinden 200 m³ metan içeren biyogaz üretilmektedir. 1 m³ metanın enerji içeriğinin yaklaşık 10 kWh olduğu kabulü ile 1 ton katı madde içeren gübrenin enerji eşdeğeri yaklaşık 2000 kWh olmaktadır [14].

Günlük ortaya çıkan gübre miktarı hayvanların gübre verimleri cinslerine göre değişik miktarlarda olabilmektedir. Gübre miktarının hesabında; büyükbaş hayvanlar için 10-20kg/gün (yaş) gübre verimi kabul edilebileceği gibi canlı ağırlığın %5-6'sı da günlük gübre miktarına esas alınabilir [10].

The diagram illustrates the energy equivalence of 1 m³ of methane gas. At the center is a green oval containing the text: **1 m³ metan = 8570 kcal**. Four purple arrows point from this central oval to four different energy sources, each accompanied by an icon:

- Top Left:** An icon of a fuel nozzle next to the text **1.15 litre Benzin**.
- Top Right:** An icon of a pile of coal next to the text **1.3 kg Kömür**.
- Bottom Left:** An icon of a power line tower next to the text **9.7 kW.h Elektrik**.
- Bottom Right:** An icon of a gas flare next to the text **0.94 m³ Doğal gaz**.

Bir biyogaz üretim tesisinin akış şeması Şekil 3-6’te verilmiştir.



Biyogaz enerji girdisi hesaplamaları için öncelikle günlük toplam gübre miktarı hesaplanmaktadır. Toplam yaş gübre miktarı, girilen büyükbaş

hayvan sayısı ve ortalama büyükbaş hayvan başına günlük gübre miktarı ile hesaplanmaktadır.

$$M_{gübre} = n \times m \quad (2-17)$$

1 ton toplam katı madde içeren hayvan gübresinden 200 m³ metan içeren biyogaz üretildiği ve 1 m³ CH₄ ≈ 10 kWh [14] kabulü ile hesaplanan toplam gübre miktarına göre biyogaz ile sağlanan toplam enerji miktarı (kWh) hesaplanmaktadır.

$$E_{biyogaz} = \left(M_{gübre} * 0,15 / 1000 \right) \times 200 \times 10 \quad (2-18)$$

2.1.12. Depolama sistemleri

Mevcut enerji kaynaklarımızdan daha etkili bir biçimde yararlanmak giderek artan bir önem kazanmaktadır. Bir yandan enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjiyi depolama (örneğin sanayi ve endüstrideki atık ısının depolanması gibi), diğer yandan, yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen (örneğin; güneş enerjisi gibi) yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkı gidermek amaçlamaktadır.

Isı enerjisi depolaması kullanım süresine göre ikiye ayrılır. Bunlar kısa süreli depolama (gece-gündüz) ve uzun süreli depolama mevsimlik (yaz-kış)'dır. Kullanım amacına ve sıcaklığına göre sıcak depolama, soğuk depolama veya her iki amaç için sıcak ve soğuk depolama yapılabilir. Uzun dönem depolama ile hedeflenen, yazın sıcaklığını depolayıp kışın kullanmak, veya kışın soğukunu depolayıp yazın kullanmaktır.

Isı enerjisinin depolaması, enerjinin elde edilmesiyle kullanımı arasındaki yer ve zaman farkını kapatarak, hem ısıtma hem de soğutma

için alternatif çözümler vermektedir. Konut, sanayi, tarım ve ulaşım sektörlerinde uygulanan depolama, elektrik enerjisi ve kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır.

Isı depolama, enerji verimliliği ve enerjinin sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Depolamanın yapılabilmesi için bir ısı kaynağına ihtiyaç vardır. Bu ısı kaynağı bir santralin atık ısısı olabileceği gibi güneş enerjisi, jeotermal enerji vb. ısı kaynaklı sistemler olabilir [16] .

Çalışmada, enerji depolama ile birlikte enerji arz ve talepleri arasında pik yüklerin değişkenlikleri azaltılarak sabit yük takibi yapılması amaçlanmaktadır. Depolar, ısı yüklerin üretiminde, dağıtımında, atık ısı kazanımında denetim etkinliğini arttırmakta, ekserji verimliliğini yükseltmektedir. Depolama ile, ısı talep yükleri ısı pik yk törpüleme faktörü kadar azaltılarak arz edilen ısı enerjide kazanç sağlanmaktadır. Aynı zamanda depolama, talep edilen yükün karşılanması için kullanılacak yakıt girdisinin azaltılmasında da büyük rol oynamaktadır. Daha az yakıt girdisi olması, fosil yakıt girdisini de düşürerek karbon salımlarında da düşüş sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada, üretim ve tüketim takipleri yapılarak sistemlerin ısı depolama miktarları hesaplanmamıştır. Bunun yerine ısı depolamalar için belirlenen pik yk törpüleme faktörü kullanılarak, ısı depolamanın sistem talepleri üzerindeki azaltım etkileri genel hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Yaz ve kış işletmeleri için ayrı ayrı ısı, soğuk ve buz depolama için pik yk törpüleme değerleri senaryolarda kullanıcı verisi olarak alınmakta ve pik talep yüklerinde düzeltme yapılmaktadır.

2.2. Maliyet Hesaplamaları

2.2.1. Yakıt ve enerji tüketimi

Enerji dönüştürüm sistemlerinde seçilen kapasitelere göre mevsimlik yakıt tüketimleri hesaplanmaktadır. Yakıt tüketimi hesaplamalarında, enerji dönüştürüm sistemleri anlık yakıt tüketimleri kullanıldıkları mevsim ısıtma ve soğutma gün sayılarına göre yıllık yakıt tüketimini vermektedir. Yıllık yakıt tüketiminin, günlük meteorolojik dalgalanmalar ve aylık dalgalanmalardan etki düzeyini azaltmak için ısıtma, soğutma ve elektrik yükleri için mevsimlik işletme faktörü ve kapasite faktörü kullanılmaktadır.

Kapasite faktörü, kurulu bir enerji dönüştürüm sisteminin yıl boyunca üretebileceği gerçek enerjinin yıl boyunca sanal olarak üretebiliyor olduğu varsayılan en üst tasarım değerine olan oranıdır. Örneğin, bir güneş gözesi yılda ortalama 400 W/m^2 'den 3000 saat çalışabiliyorsa ürettiği toplam enerji $400 * 3000 * 3600 \text{ sn} = 4320 \text{ MJ}$ 'dur. Eğer bu sistemin tasarım kapasitesi 600 W/m^2 ve öngörülen yıllık işletme saati 3500 saat ise sanal kapasite $*3600 \text{ sn} = 7560 \text{ MJ}$ 'dur. Bu durumda kapasite faktörü 0,57 'dir.

İşletme faktörü, kurulu bir enerji dönüştürüm sisteminin bağlı olduğu talep noktasının zamana bağlı talep dalgalanmaları nedeniyle işletme sırasında bazen tasarım kapasitesinin altında çalışmasını simgeler. Örneğin kurulu bir BIG sisteminin tasarım kapasitesinde ve öngörülen işletme koşullarında bir yıl boyunca üretebileceği elektrik enerjisinin toplamı $X \text{ kWh}$ ise ancak talep dalgalanmaları nedeniyle sadece $Y \text{ kWh}$ üretme durumunda kalıyorsa işletme faktörü Y/X 'tir.

Örneklerde modellenen enerji dönüşüm sistemlerinden BIG ve kazan yakıt maliyetleri için de yine kullanıcı verisi olarak alınan doğalgaz fiyatı ile ücretlendirme yapılmaktadır. BIG sisteminde yakıt girdisi olarak

biyogaz kullanılabilen senaryolarda sistemin toplam enerji talebinden biyogaz üretim tesisinden sağlanan toplam enerji miktarı ($E_{biyogaz}$) çıkartılarak kalan enerji talebine göre doğalgaz talebi hesaplanmaktadır. Kalan doğalgaz talebi de m^3 değerine göre yakıt maliyetini belirlemektedir.

Kazan mevsimlik toplam yükü hesaplanırken, saatlik kazan kapasitesinin 24 saat, işletme ve kapasite faktörleri, mevsime göre ısıtma veya soğutma gün sayısı ile çarpılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_{MKY} = Q_{KY} \times \dot{I}F \times KF \times 24 \times G_{1/s} \quad (2-19)$$

Mevsimlik yakıt tüketimi, enerji dönüştürüm sistemleri mevsimlik yakıt yüklerinin kullanılan yakıt yoğunluğuna bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

Kazan mevsimlik yüküne göre toplam yakıt tüketimi;

$$YT_K = \left(\frac{Q_{HK}}{\eta_K} \right) / d \quad (2-20)$$

Birlikte ısı ve güç sistemi mevsimlik toplam yakıt tüketimi, anlık yakıt tüketiminin işletme ve kapasite faktörleri ile düzeltilmesiyle hesaplanmaktadır.

$$YT_{BIG} = (YT_{ABIG} / d) \times 24 \times \dot{I}F \times KF \times G_{1/s} \quad (2-21)$$

Enerji dönüştürüm sistemi yakıt maliyeti , bulunan mevsimlik yakıt tüketimlerinin kullanılan yakıtın birim maliyeti ile çarpılarak hesaplanmaktadır.

$$M = YT \times b \quad (2-22)$$

Enerji dönüştürüm sistemleri yakıt maliyetlerinin yanında, BIG sistemi tarafından karşılanamayan elektrik yükü için şebekeden kalan elektrik yükü karşılanacaktır. Şebeke elektrik fiyatları, puant, gece ve gündüz olarak üç tarife şeklindedir. Fakat senaryolarda, kullanıcı verisi olarak tek fiyat tarifi dikkate alınarak hesaplamalar yapılmaktadır.

Her örnek modelleme içinde, BIG hesaplamalarında seçilen kapasite ile talep edilen elektrik karşılaştırılıp, şebeke elektrik ihtiyacı belirlenmektedir. Belirlenen eksik kapasite kullanıcı verisi olarak alınan fiyat, mevsimlik elektrik için kapasite ve işletme faktörü, mevsimlik ısıtma/soğutma gün sayısı kullanılarak mevsimlik şebeke elektrik tüketim maliyeti hesaplanmaktadır.

$$M_{\text{şebeke}} = Q_{\text{şebeke}} \times 24 \times \dot{I}F \times KF \times G_1 / G_s \times a \quad (2-23)$$

2.2.2. İlk yatırım maliyeti

Sistem içinde modellenen örneklerde, hesaplamalar sonucu kapasiteleri belirlenen enerji dönüştürüm sistemlerinin birim kapasite maliyetleri kullanılarak yatırım maliyetleri hesaplanmaktadır.

Birim maliyetler değerleri kullanıcı verisi olarak alınıp, seçilen kapasite ile çarpılarak sistemin ilk yatırım maliyeti hesaplanmaktadır.

$$YM(TL) = BM(TL/kW) \times SK(kW) \quad (2-24)$$

2.2.3. Bakım/onarım maliyeti

İlk yatırım maliyetleri dışında, sistemlerin yıllık bakım ve onarım maliyetleri de ilk yatırım maliyetlerinin %10'nu kadar kabul edilip yatırım maliyetlerine eklenmektedir.

$$BOM = YM * \%10 \quad (2-25)$$

2.3. CO₂ Salım Hesaplamaları

Senaryolarda modellenen enerji dönüştürüm sistemlerinin doğrudan ve dolaylı olarak sebep oldukları karbondioksit salımları en genel haliyle denklem (2.26) ile hesaplanmaktadır.

$$\Sigma CO_2 = CO_{2i} + \Delta CO_{2j} = \left[\left(\frac{c_i}{\eta_i} \right) + \left(\frac{c_j}{\eta_i \times \eta_T} \right) (1 - \bar{\psi}_{Ri}) \right] \times \Sigma Q_H + \left(\frac{c_j}{\eta_j \eta_T} \right) \times \Sigma Q_E \quad (2-26)$$

Denklemdaki ilk terim herhangi bir (*i*) tesisindeki alışılmış sistem (Örneğin, kazan) verimine bağlı karbondioksit salımı, ikinci terim aynı sistemin neden olduğu ekserji yıkımına ilişkin ve büyük ölçüde önlenabilir karbondioksit salımı, son terim ise konvansiyonel sistemin bulunduğu tesisteki elektrik talebinin santralde neden olduğu karbondioksit salımıdır. Dolayısı ile bir binanın veya endüstriyel tesisin üç ayrı karbondioksit salan bacası bulunmaktadır (Şekil 2.7).

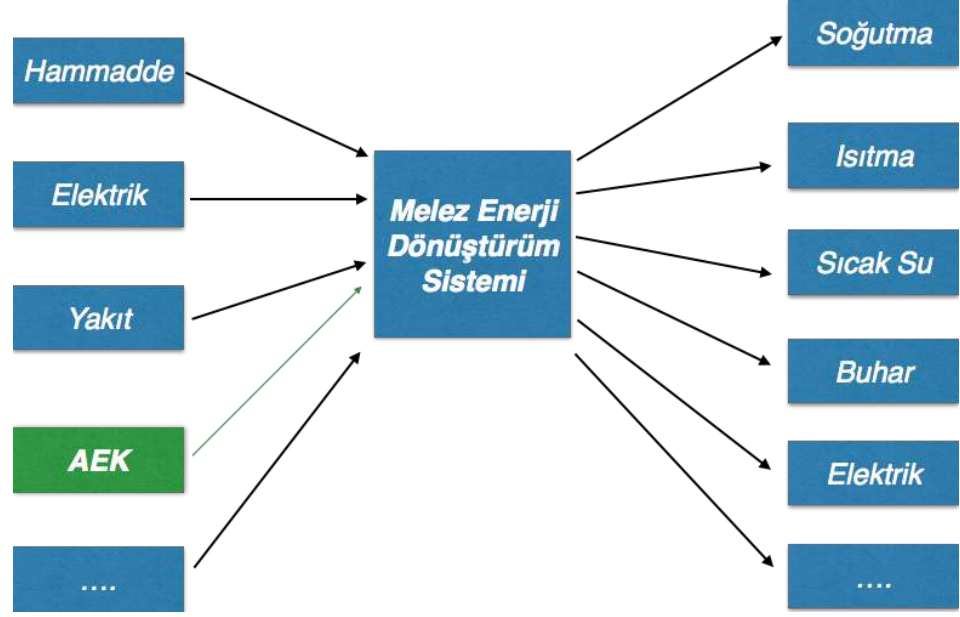
kullanmayıp elektrik enerjisini (j) indisli bir termik santralden almaktadır. Binanın bu elektrik yüküne karşılık, santralin toplam yükü artmakta ve bu oranda santral daha fazla CO_2 salımı yapmaktadır (ΣCO_{2j}).

REMM Modeli aynı zamanda, bir binanın/çiftliğin/tesisın doğrudan ve dolaylı salım sorumluluklarının toplamı ile akılcı ekserji yönetimi verimi arasındaki bağlantıyı doğrudan vermektedir. Bunun için farklı senaryolarda hesaplanan ortalama akılcı ekserji verimleri kullanılarak temel senaryoya göre karbon salım azaltım potansiyelleri de incelenerek yapılan modellemelerde ne kadar iyileştirme yapıldığı gözlemlenebilmektedir. Örneğin, PV ve PVTC her ne kadar doğrudan CO_2 salımı yapmasalar da yıktıkları ekserjinin sonucu olarak dolaylı bir salımdan sorumludurlar. Bu ilişki A ve B senaryoları arasındaki bir oranın bulunmasında (z ; salım azaltım oranı) kullanılırsa Denklem (2.27) ile bu oran hesaplanmaktadır.

$$z = \frac{CO_{2A}}{CO_{2B}} = \frac{(1-\overline{\psi_{RA}})}{(1-\overline{\psi_{RB}})} \quad (2-27)$$

2.4. Ekserji Analiz ve Hesaplamaları

Yapılı çevrede enerji arz ve talep noktaları arasında enerji akısının niceliği ve niteliği (ekserji) bağlamındaki dengelerin oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta enerji verimi yüksek melez enerji dönüştürüm sistemlerini kullanmak ve aynı zamanda arz ve talep noktaları arasındaki ekserji dengelerini oluşturabilmektir. Melez enerji dönüştürüm sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenebilir nitelikteki birincil enerji kaynakları ile birlikte kullanılması zorunluluğu nedeni ile ortaya çıkmıştır. Güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kesikli olması da birincil enerji kaynakları ile harmanlamasında da etken olmuştur. Enerji sistemlerinde bu kavram birden çok güç sisteminin bir arada (melez) kullanılması olarak açıklanabilmektedir.

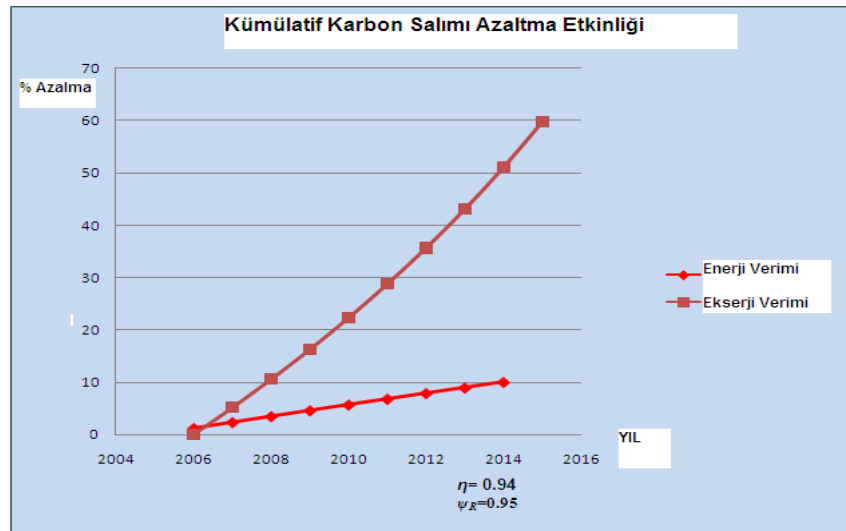


Şekil 2.8 Melez enerji dönüştürüm sistemleri arz ve talep çeşitleri

Farklı enerji kaynaklarının bir arada kullanılmasının çeşitli nedenleri bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliklerinin bulunmaması ve sürekli yükleri tek başlarına karşılayamamalarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları da harmanlanabilir. Örneğin güneş ve rüzgâr enerji kaynaklarının tepe değerleri arasında ortalama 6 saat fark bulunmaktadır. Bu nedenle öğlen saatlerinde güneş enerjisi en fazla iken rüzgâr pek esmez ama akşam saatlerinde bu kez rüzgâr enerjisi artmaya başlar. Dolayısı ile çoğu kez güneş ve rüzgâr enerjisinin harmanlanması akılcı bir çözüm olmaktadır. Bu şekilde birbirini tamamlayıcı özellik gösteren alternatif enerji kaynakları melez enerji dönüştürüm sistemlerinde kullanılarak gerekli güç eksiğini tamamlamakta ve sistem güvenilirliğini artırmaktadırlar. Benzer şekilde çeşitli depolama sistemleri kullanılarak da melez enerji sistemlerinde oluşan süreksizlik problemi aşılabilmektedir. Melez enerji sistemlerinde enerji kaynakları ve enerji talepleri arasındaki denge için enerji verimliliği düşünülürken ekserji verimleri unutulmamalıdır. Çünkü yüksek performanslı sistemler için en önemli çıkış noktası arz ve talep arasındaki ekserji dengesinin sağlanmasıdır.

Ekserji, bir sistemin içerdği enerjinin, bir çevre referans sıcaklığı tabanında yararlı işe dönüşebilme potansiyelinin bir göstergesidir. Yani ekserji terimi bize enerjinin karakteristiği, kalitesi, niteliği hakkında bilgi vermektedir. Sürdürülebilir sistemlerin temeli de enerji kaynağı ve enerji ihtiyacının ekserjileri arasındaki dengenin en iyi şekilde eşleşmesine dayanmaktadır.

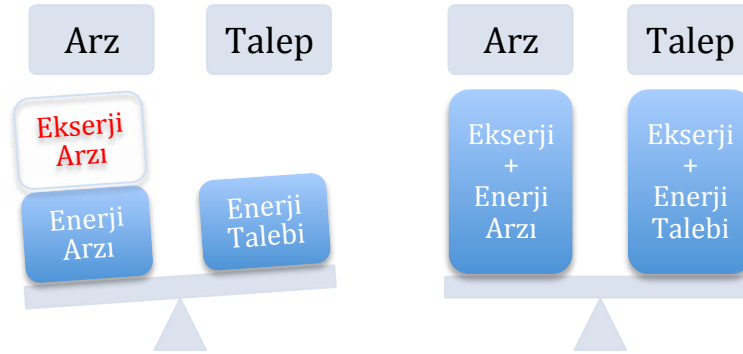
Yapılan birçok çalışma incelendiğinde enerji verimliliğine odaklanan yani sadece enerji arz ve taleplerini yöneten sistemlere oranla ekserji verimliliğine odaklanılan sistemlerin enerji kaynak ve taleplerini daha akılcı yönettikleri görülmüştür. Akılcı yönetilen enerji kaynaklarının karbon salımlarında da en önemli takoz potansiyeli oluşturduğu görülmektedir [17].



Şekil 2.9 Kümülatif Karbon Salımı Azaltma Etkinliği

Şekil 2.9 incelendiğinde de akılcı ekserji yönetimi ile ulaşılan ekserji verimliliğinin karbondioksit salımlarına etkisindeki potansiyeli enerji verimliliklerine oranla oldukça fazladır. Çünkü bir enerji kaynağı ekserji değerine bakılmaksızın kullanıldığında talep tarafında düşük ekserji ihtiyaçları karşılanırken, kaynak ne kadar temiz enerji olursa olsun aslında ana kaynakta fark edilmeyen büyük ekserji yıkımları oluşacaktır. Bu ekserji yıkımları da akılcı kullanım verimini oldukça düşürürken salımlara etkisini de oldukça azaltmaktadır. Bu da bize enerjinin niceliğinden çok niteliğinin

incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Verimliliğinin tek başına incelendiği melez sistemler ne kadar iyi modellenip enerji verimli olursa olsun hiçbir zaman tek başına gerçekçi sonuçları yansıtmazlar.



Şekil 2.10 Enerji ve ekserji dengeleri

Şekil 2.10'un ilk bölümünde, sadece enerji arz ve talep dengelerine göre tasarlanan sistemde, enerji talepleri karşılanabilmektedir. Fakat talep edilenden daha fazla ekserjiye sahip olan bir enerji kaynağının kullanımının neden olduğu ekserji yıkımını sadece tesisi ve tüketici alanını çevreleyen dar bir sahadaki çözümlemeyi yansıtmaktadır. Şekil 3-9'un ikinci bölümünde ise birincil önceliğin çıktığı ekserjileri ile talep ekserjilerinin uyumlu ve dengeli olduğu, enerji arz ve taleplerinin de eşitlendiği optimum sistem dengeleri gösterilmektedir.

Akılcı ekserji verim modeline göre [1] ekserji verimi talep ile arz ekserjilerinin oranıdır. Melez enerji dönüştürüm sistemlerinin modellenmesinde ve analizinde enerji verimliliğinin yanı sıra, Akılcı Ekserji Yönetimi Modeli (Rational Exergy Management Model, REMM) kullanılmaktadır [1]. Bu model kullanılarak toplum refahı, enerji, ekonomi ve çevre dörtleminin birbiri ile ilişkilerini bina, tesis, santral gibi dar alanlarda "tek başına" kavramı dışında talep ekserjileri arasındaki denge bir bütün olarak değerlendirilebilmektedir.

Akılcı Ekserji Verimi (ψ_{Ri}); Herhangi bir (i) uygulamasının talep ettiği en az ekserjiye (ε_{appi}) karşın arz edilen ekserjinin (ε_{max}) ne denli dengede olduklarını sorgulamaktadır. Eğer sistemde ekserji önce yıkılıyor ise,

örneğin doğal gazlı bir kazanda sadece sıcak su üretiliyor ise veya güneş panelinde sadece sıcak su üretiliyor ise,

$$\psi_{Ri} = \frac{\varepsilon_{appi}}{\varepsilon_{max}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{appi}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)} \quad (2-28)$$

Bu model (REMM) kullanılarak tüm sistemler ideal Carnot çevrimi tabanında ortak bir ısı platforma taşınmaktadır. Bu amaçla da sistemin gerçek sıcaklıkları (Doğal Gazın serbest yanma sıcaklığı gibi) veya eşdeğer sıcaklıklar kullanılarak, örneğin güneş enerjisinin eşdeğer sıcaklığı kullanılarak tüm süreçler ideal Carnot çevrimi temeline indirgenmektedir.

Bu aşamayı takiben de ekserji arz(lar)ının ekserji taleplerine ne denli eşleşik, uyumlu ve dengeli oldukları sıcaklık ekseninde incelenebilmektedir. Bu eksen üzerinde ise akılcı ekserji yönetimi verimi, ψ_R hesaplanmaktadır.

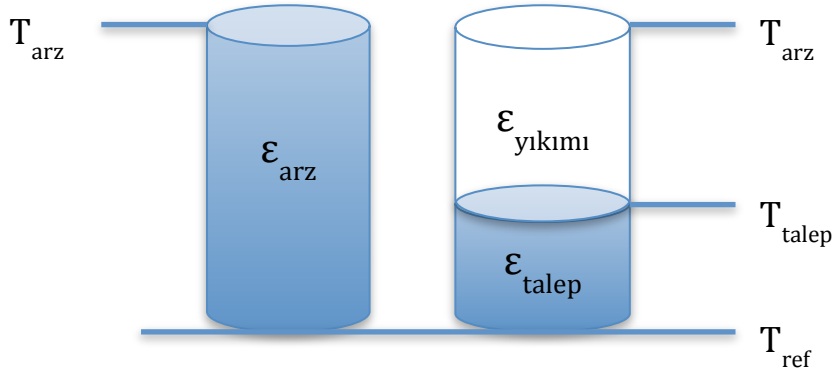
REMM çözümlemesinde iki senaryo geçerlidir. Bunlar;

Senaryo a- Ekserji yıkımı yararlı uygulamadan öncedir.

Senaryo b- Ekserji yıkımı yararlı uygulamadan sonradır.

Senaryo - a

Örneğin; Doğal gazlı bir kazanda doğalgazın ekserjisi sadece düşük sıcaklıklardaki uygulamalarda kullanıldığında yüksek sıcaklıklarda mevcut ekserji ilk sırada yıkılmaktadır.



Şekil 2.11 Ekserji yıkımının yararlı uygulamadan önce olduğu durum

Bu şekilde ε_{talep} ideal Carnot çevrimine göre sistemin birim yük başına gerek duyduğu ekserji, ε_{arz} ise bu gereksinim için arz edilen ekserjiyi simgelemekte olup, T_{arz} , enerji girdisinin (gerçek veya eşdeğer) sıcaklığı, T_{talep} , enerji talebi sıcaklığı, T_{ref} , ise sistemin ısıl dengeye ulaşacağı çevre referans sıcaklığıdır. (Örneğin toprak sıcaklığı). T_0 , soğutmaya ilişkin eşitlikte dış hava sıcaklığını ifade eder.

$$\varepsilon_{talep} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right) \quad \{\text{Isıtma}\} \quad (2-29)$$

$$\varepsilon_{talep} = \left[\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_0}\right) - \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right)\right] \quad \{\text{soğutma}\} \quad (2-30)$$

$$\varepsilon_{arz} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) \quad \{\text{Isıtma}\} \quad (2-31)$$

$$\varepsilon_{arz} = \left[\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_0}\right) - \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right)\right] \quad \{\text{soğutma}\} \quad (2-32)$$

$$\varepsilon_{yıkımı} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right) = (1 - \psi_R) \quad (2-33)$$

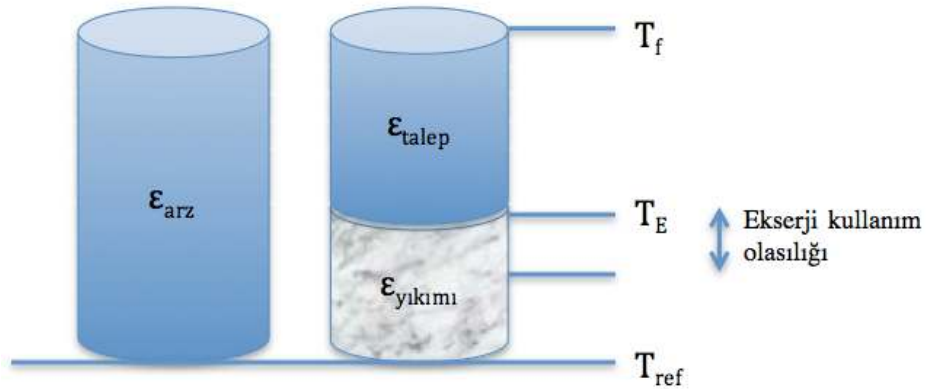
Akılcı ekserji verimi denkleminde de, arz ve talep arasında ekserji dengesi sorgulanmaktadır.

$$\psi_R = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right)} \quad (2-34)$$

2.34 numaralı denklem genellikle sadece ısı içeren sistemlerde geçerlidir.

Senaryo – b

Bu senaryoda ekserji yıkımı uygulamadan sonra düşük ekserjilerde oluşmaktadır. Örneğin; Doğalgaz motorlu bir BIG (Birlikte ısı ve güç) sisteminde doğalgazın yüksek ekserjisine uyumlu olarak önce elektrik gücü üretilir, atık ısının önemli bir bölümünü tüketici yararlı ısı olarak kullanır, geri kalan ısının düşük ekserjisi kullanılmadığından ekserji yıkılır. Aynı durum güneş gözesinde de (PV) geçerlidir. Güneş gözelerinde önce elektrik gücü daha sonra sıcak su üretildiği durumlarda ekserji yıkımı ekserji kullanımından sonradır.

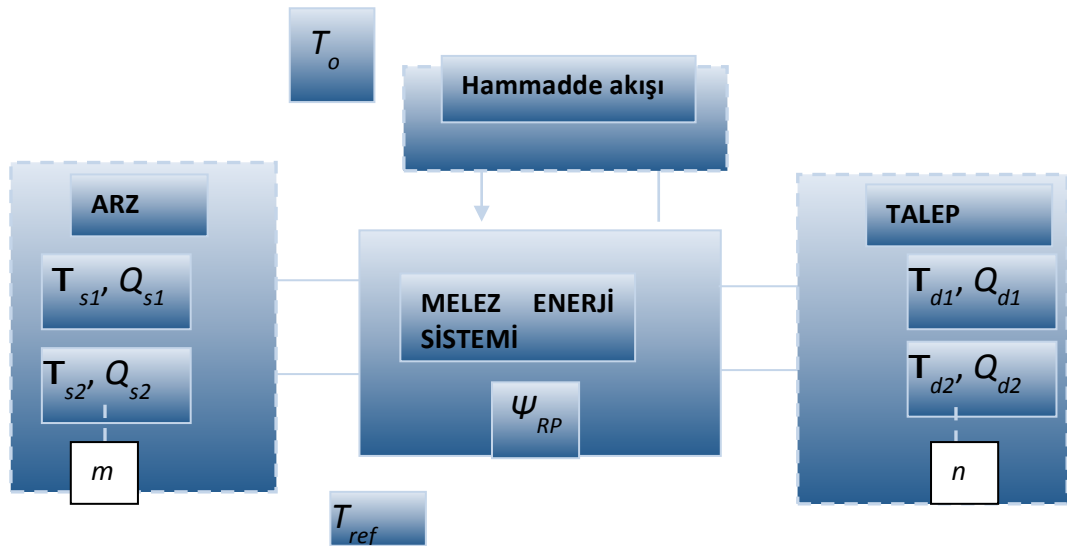


Şekil 2.12 Ekserji yıkımının yararlı uygulamadan sonra olduğu durum

Bu şekilde ε_{talep} ideal Carnot çevrimine göre sistemin birim yük başına gerek duyduğu ekserji, ε_{arz} ise bu birim gereksinim için arz edilen ekserjiyi simgelemektedir. T_f , enerji girdisinin (gerçek veya eşdeğer) sıcaklığı, T_E , enerjinin yararlı işe çevrilmesini takip eden süreç sıcaklığı (örneğin BIG motorundan çıkan eksoz sıcaklığı), T_{ref} , ise sistemin ısıl dengeye ulaşacağı çevre referans sıcaklığıdır. (Örneğin toprak sıcaklığı).

$$\varepsilon_{yıkım1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_E}\right) \quad (2-35)$$

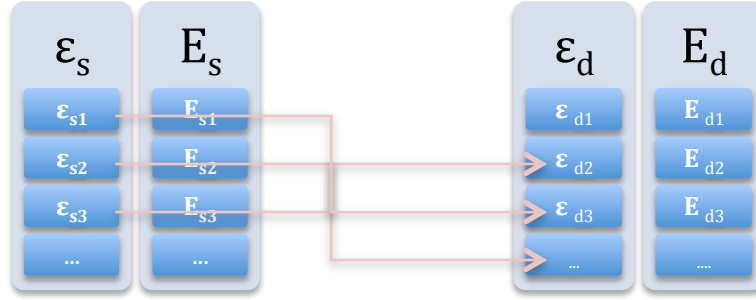
$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım1}}{\varepsilon_{arz}} \quad \text{ısıtmada } T_E \geq T_{app} \quad (2-36)$$



Şekil 2.13 Optimum melez sistem ekserji matematiksel analizi için bir format

Farklı sıcaklık ve enerjilerdeki arz ve talepler melez enerji dönüştürüm sisteminde, bir sıcaklık etki alanında eşlenen ve Carnot Çevrimini takip gerektiren süreçlerden geçerler. Şekil 2.13'te optimum melez sistem ekserji matematiksel analizi için uygun bir format sunmaktadır. Sistem ekserji kaynağı, verilen kaynak sıcaklık özellikleri ile referans toprak sıcaklığı ile ilişkilendirilerek tanımlanmaktadır. Akılcı ekserji verim modeli (Rational Exergy Management Model, REMM), optimum melez sistemler için sistem verimlilikleri (Termodinamiğin Birinci Yasası) yerine ekserjiye

(Termodinamiğin İkinci Yasasına) dayalı karşılaştırma yapılması gerektiğini göstermektedir. Yapılan modellemede parametrik olarak incelenen akılcı ekserji verimi arz ve talep ekserjileri arasındaki uyumsuzluğun sistemlere olan etkisini ilişkilendirmek için kullanılmaktadır.



Şekil 2.14 Ekserji arz ve talepleri arasında yük dağıtımı

Melez enerji dönüştürüm sistemi çerçevesinde ekserji arz ve talep dengelerinin sağlanabilmesi ve melez sistem için doğru kaynak tahsisi yapılabilmesi için ölçülebilir bir yöntem oluşturulması sağlamaktadır. Akılcı ekserji verimi, farklı sistem bileşenleri için ekserji rasyonellik düzeyini arttırmak için bir standart oluşturmaktadır. Bu standart ile de ekserji dengesinin kurulabilmesi için değişen kısıtlar ile birçok olasılık değerlendirilmektedir. Bu sayede sistemde kaynak ekserjisinin ne kadarının değerlendirildiği, değerlendirilemeyen ekserji sebebiyle başka kaynak veya sistem gerekliliği ya da var olan sistemin uygunsuzluğu değerlendirilmektedir.

Sisteme farklı ekserjilerde güç girişi ve güç çıkışı varsa (Şekil 2.14), ortalama REMM verimi, $\bar{\psi}_R$ kullanılır. N tane ortalama akılcı ekserji verimi de denklem (2.37) ile hesaplanmaktadır.

Sürdürülebilir enerji sistemleri doğru ekserji kaynağını doğru ekserji talebi ile eşleştiren enerji sistemleridir. Kullanılan kaynak ne kadar temiz, yenilenebilir veya yüksek verimli olursa olsun eğer sistem talep edilen ekserji ile arz edilen ekserjileri doğru bir şekilde yönetemez ise ekserji kaybının sebep olduğu büyük verimsizliklere sebep olacaktır. Doğru

eşlenmeyen ekserji arz ve talepleri birleşik karbon salımlarının artışına sebep olacaktır. Herhangi bir sistemde akılcı ekserji yönetim veriminin çok küçük yüzdelere sahip olması sistemde yüksek nitelikteki enerjinin düşük nitelikteki enerji ihtiyacı için harcandığını göstermektedir.

Sistemde ekserjinin akılcı kullanılmadığı ve $\varepsilon_{yıkım}$ 'ın büyük değerlere ulaştığı yani $(1 - \psi_R)$ değerinin arttığı, ikinci kanun verimi yani enerji niteliğinin değerlendirilme veriminin çok düşük olduğu durumlar, sistemin var olan kaynağı akılcı değerlendiremediği gibi bu değer kadar da birincil enerji kaynağına ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır.

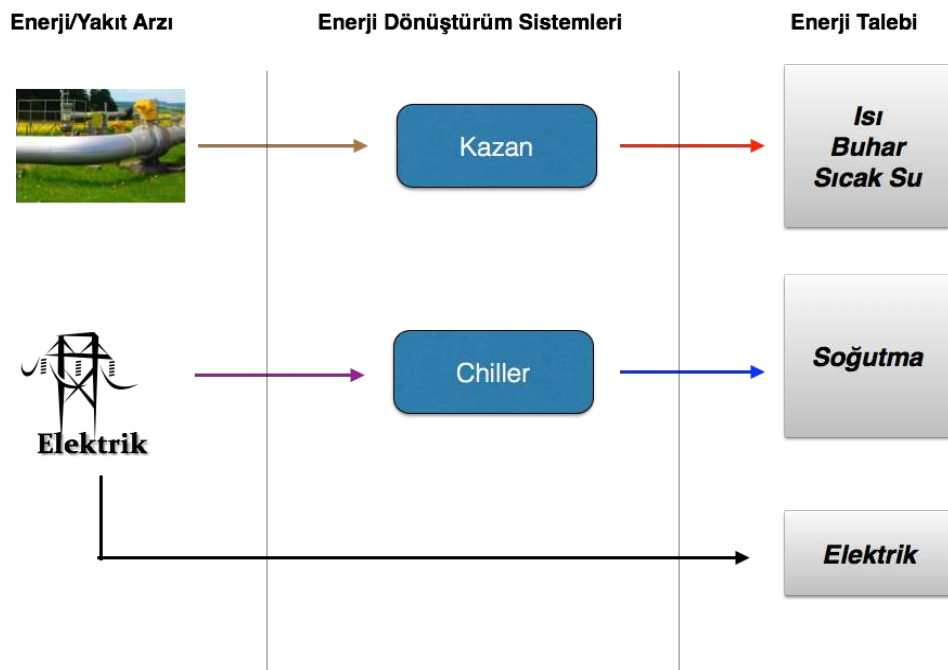
Bu sebeple, melez sistemlerde arz tarafındaki ekserji girdilerinin en yüksek ortalama ekserji verimi sağlanarak talep tarafındaki ekserji ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde dağıtılması birincil öncelik olmalıdır. Bu denge sağlanırken aynı zamanda da arz ve talep tarafındaki enerji miktarları da düşünülürse ortalama ekserji verimini enbüyükleyecek optimum melez enerji dönüştürüm sistemleri modellenmiş olacaktır. Melez enerji sistemleri Şekil 2.13'te [2] olduğu gibi birden çok ekserji arzı ve talebini bir arada içerebilen sistemlerdir. Bu sistemlerde birden fazla ekserji girdisi birden fazla talep ekserjisini en akılcı şekilde karşılamak üzere yönetilmelidir.

Sistem bir bütün olarak düşünüldüğünde ekserji arzları ve ekserji taleplerinin olduğu melez bir sistemde ekserji dengeleri birden fazla şekilde sağlanabilmektedir. Arz tarafından birden fazla ekserji tek bir ekserji talebini karşılarken, tek bir ekserji arzı birden fazla ekserji talebini de karşılayabilmektedir. Örneğin, elektrik ekserji talebi için rüzgâr ve şebeke elektrik ekserji arzı kullanılırken, doğalgaz ekserji arzı ile ısıtma ve soğutma ekserji talebi birlikte ısı ve güç sisteminde karşılanabilmektedir. Bununla birlikte ekserji arz ve talepler birebir de eşleşebilmektedir. Ekserji eşlemeleri yapılırken ekserji arz havuzundan alınan değerlerin karşılayacakları talep ekserjisi için ekserji sürece girmeden değerlendirilip kullanılmadan arz ekserji havuzuna geri eklenmelidir. Sistemdeki arz ve talepler zamana bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bu durumda algoritma belirli bir t anında tek bir melez sistemin çeşitli arz ve talep eşleme örnek durumlarını

inceleyerek ortalama akılcı ekserji verimlerini hesaplayacaktır. Hesaplanan değerler içinde en yüksek verim değerindeki eşleme şekli var olan kaynaklar ve modeller arasında bize en akılcı çözümü gösterecektir.

Yukarıda anlatılan akılcı ekserji uygulamasını örnekleme adına basit bir sistem ele alınıp incelenirse;

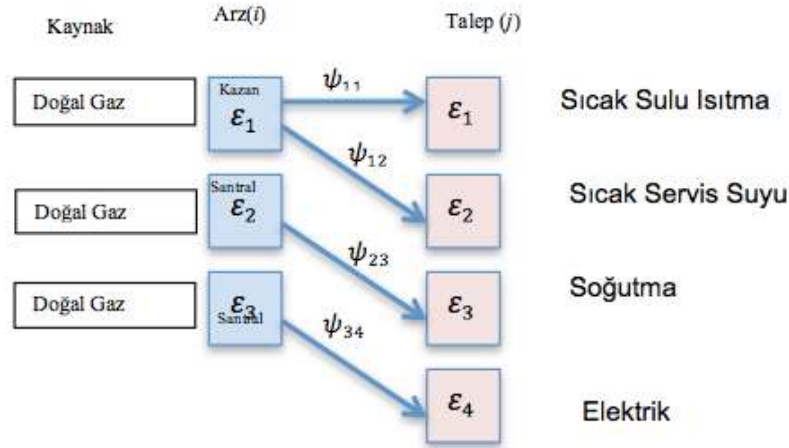
Örnek 1



Şekil 2.15 Örnek 1 için enerji arz ve talepleri

Modelde elektrik talebi şebekeden, ısıtma talebi klasik doğalgaz ile çalışan alışılmış türdeki bir kazandan, soğutma talebi gaz sıkıştırırmalı ve elektrik gücüne dayalı chiller (soğutma grubu)'dan karşılanmaktadır. Isıtma talebi yüksek (konfor ısıtması) ve düşük ekserji (Sıcak su) talepleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Örnek değerler ise, düşük ekserji ısıtma talebi 10 kW, yüksek ekserji talebi 5 kW, soğutma talebi 10 kW, elektrik gücü talebi 5 kW olarak alınmıştır. T_{ref} yaz/kış 283 K olarak sabit alınmıştır. Yaz ve kış iç mekân konforu operatif sıcaklığı 295 K (22 °C) olarak sabit tutulmuştur. Referans T_0 değeri 303 K (30 °C) olarak alınmıştır.

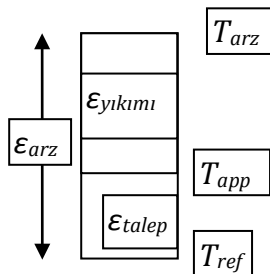
ψ_{11} ve ψ_{12} değerleri konfor ve sıcak su ısıtı için olan arz ve talepler arasındaki kısmi akılcı ekserji verimlerini, ψ_{23} soğutma arz (Santralden sağlanan elektrik) ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{34} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.



Şekil 2.16 Örnek 1 için ekserji arz ve talep dengesi

Burada m 3, n ise 4 dür.

Isıtma sistemi için Ekserji Akış Çubuğu çizilir ve denklem (2.29) kullanılarak düşük ve yüksek ekserji talebi hesaplamaları yapılır. Bu uygulamada ekserji önce yıkılmaktadır.



Şekil 2.17 Örnek 1 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu

Yüksek ekserjide konfor ısı talebi (90 °C) ekserji değeri;

$$\varepsilon_{J=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep1}}\right) = \left(1 - \frac{283}{363}\right) = 0,22 \quad \{\text{ısıtma}\}$$

Düşük ekserjide sıcak su ısı talebi (40 °C) ekserji değeri;

$$\varepsilon_{J=2} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right) = \left(1 - \frac{283}{313}\right) = 0,1$$

Yüksek ve düşük ekserji talepleri aynı doğalgazlı kazan ile karşılanmaktadır. Doğal gaza dayalı ekserji arzı T_{arz} (doğal gazın açık ortamda yanma sıcaklığı yaklaşık 2100 K) kullanılarak hesaplanır.

$$\varepsilon_{i=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) = \left(1 - \frac{283}{2100}\right) = 0,86 \quad \{\text{doğal gaz}\}$$

Seçenek 1- Çözümleme sınırı Sıcak Su talep noktasında sona ererse:

Isı talepleri için kısmi akılcı ekserji verim değerleri sırasıyla denklem (2.34) ile hesaplanır.

$$\psi_{11} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,22}{0,86} = 0,26$$

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12$$

Burada ekserji çözümlemesi sınırları sıcak su talepleri noktasına kadardır (90°C ve 40°C).

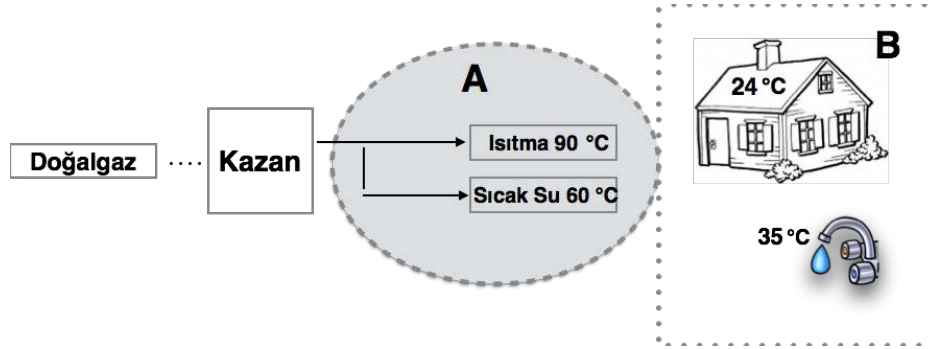
Seçenek 2- Çözümleme sınırı konfor talep noktasına ve musluk noktasına kadar genişletilirse:

Eğer ekserji çözümlemesi sınırları musluktan akan ılıştırılmış su (35°C) ve konfor ısısı (Operatif Sıcaklık 22°C) olarak alınsa idi bu kısmi değerler şu şekilde olacaktır

$$\psi_{11} = \frac{1 - \frac{283}{273,15 + 22}}{0,86} = 0,048$$

$$\psi_{12} = \frac{1 - \frac{283}{273,15 + 35}}{0,86} = 0,095$$

Bu iki çözümleme sınır seçeneği akılcı ekserji verimliliği çözümlemesi sırasında seçilecek çözümleme sınırlarının çok önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.18 Örnek 1’de ısıtmada çözümleme sınırları

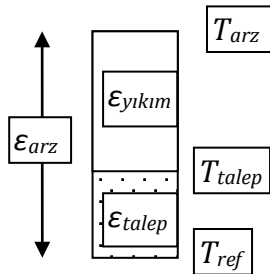
Çözümleme sınırı A bölgesinde sıcak sulu ısıtma ve sıcak su talep noktasında sona ermektedir. B bölgesinde ise çözümleme sınırları musluktan akan ılıştırılmış su ve konfor ısısında sona ermektedir.

Örneğe 1. seçenekle devam edildiğinde, yüksek ekserji talebinin bile akılcı ekserji verimi hesaplamalarında oldukça düşük değerlere karşılık geldiği görülmektedir. Bu ısı talebi 60°C’ye düşürülse akılcı ekserji verimi de daha da azalacaktı. Örneğin döşemeden ısıtma yapılması durumunda daha az ısı talebi olmasına rağmen akılcı ekserji verim değeri bu hesaplanandan oldukça az bir değeri gösterecektir. Bu sonuç biraz zor anlaşılır olsa da doğrudur. Bunun nedeni akılcı ekserji verimi çözümlemesinin bize enerji kaynaklarının ne denli akılcı kullanıldığı konusunda bilgi vermesidir. Burada da döşemeden ısıtma kullanılsa bile doğal gazın konfor ısıtmasında

kullanılmasının akılcı olmadığını göstermektedir. Döşemeden ısıtmada bu akılcılığın daha da azalmasının anlamı doğal gaz seçeneğinden daha da uzaklaşıp, diğer düşük ekserji kaynaklarına, örneğin güneş enerjisine daha da yaklaşıldığına işaret etmektedir. Kısaca, sonuçlar bize düşük ekserjili konfor ısıtma sistemlerinin normal kazanlarla kullanılmamasını, ısı pompaları hatta güneş enerjisi ile kullanılmalarının gerekli olduğunu göstermektedir.

Dikkat çekici diğer bir konu ise eğer çözümleme sınırı olarak Seçenek 2 kullanılsa idi kullanılacak cihazlara ilişkin olarak bu tür sonuçlara ulaşılamayacaktı çünkü her durumda (Kazan veya güneş enerjisi kullanımı) operatif konfor sıcaklığı aynıdır ve bu tür bir çözümlemede hangi tip ısıtma sistemi kullanıldığı görülmemektedir. Bu durum da göstermektedir ki çözümlemelerde tek bir sınır değil birden çok sınır seçeneğinin ard arda kullanılması ve sonuçların bir arada karşılaştırmalı olarak irdelenmesi ve genel bir çözümün ortaya çıkarılması gereklidir. Bu tür bir yaklaşım uzun ve zahmetli görülse de enerji ve ekserji tasarrufunun hassas biçimde hesaplanması ve sonuçlar/dersler çıkarılması için gereklidir.

Örneğe devam edilecek olursa, soğutma sistemi için de kendine özgü ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.29) kullanılarak ekserji talebi hesaplamaları yapılır. Bu uygulamada, elektrik enerjisi kullanarak soğutma yapan chiller (soğutma grubu) sisteminde ekserji önce yıkılır. Denklem (2.34) kullanılarak da akılcı ekserji verimleri hesaplanır.



Şekil 2.19 Soğutma sistemi ekserji akış çubuğu

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right) = \left(1 - \frac{283}{24 + 273}\right) = 0,047$$

Aynı soğutma talebi denklem (2.31) ile hesaplanarak kabul edilen ekserji denklemleri arasındaki fark incelenir.

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_0}\right) - \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right) \right] \{soğutma\}$$

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303}\right) - \left(1 - \frac{283}{297}\right) \right] = 0,066 - 0,05 = 0,016$$

Bu iki eşitlik oldukça farklı sonuçlar vermektedir. İlk denklemde dış ortam sıcaklığı dikkate alınmamaktadır. Hâlbuki soğutmada nem alma işlemi de genelde söz konusu olduğundan sistem şu veya bu şekilde dış ortam havası ile ilintilidir ve sistemin performansı dış hava sıcaklığı ile ilintilidir. Aynı durum özellikle ofis ve ticari binalarda kışın da nem kontrolü yapılan merkezi klima sistemleri için de geçerli olabilmektedir.

Bu örnekteki soğutma işleminde merkezi klima sistemi kullanıldığı varsayılarak 0,016 değeri alınacaktır. Eğer nem kontrolsüz yoğunlaşmalı fan-coil (üfleçli serpantin) sistemi kullanılıyor olsaydı 0,047 değeri kullanılabilirdi. Gene akılcı ekserji verimi çözümlemesi bize hangi iklimde hangi sistemin akılcı olduğunu göstermektedir.

Soğutma için akılcı ekserji verimi hesaplanan farklı ekserji değerleri ile Eşitlik 1'de yerine konularak hesaplanır. Bu hesaplarda doğal gazla çalışan bir termik santral varsayılmıştır. Doğal gazı kullanan termik santralden çıkan elektrik talep noktasına termik santral verimi, hat iletim verimi, transformatör verimi gibi verimlerle gelmektedir. Bu toplam Birinci yasa verimi yaklaşık 0,27 dir. Bu örnekte ise doğal gazın kullanıldığı bir termik santral göz ardı edilerek doğal gazdan elde edilen elektrik (çevrim santralinden bağımsız) ile konfor soğutması incelenmiş ve doğal gazın birim ekserji değeri 0,86 kullanılmıştır.

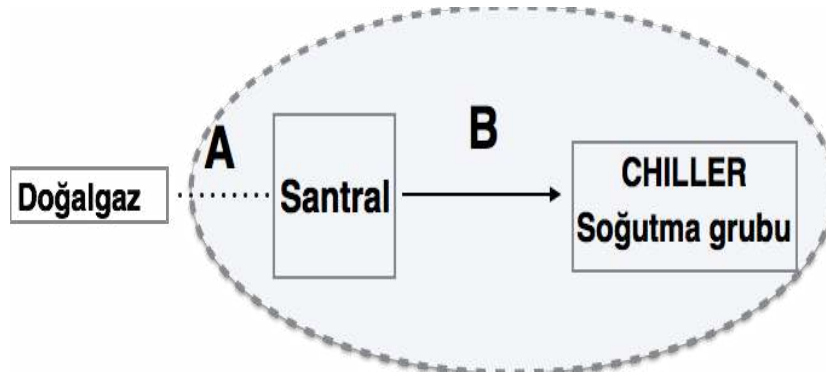
$$a) \psi_{23} = \frac{\varepsilon_{talepj=3}}{\varepsilon_{arzi=2}} = \frac{0,047}{0,86} = 0,054$$

Soğutma için ekserji arz değeri 0,86 santralde kullanılan doğal gaz içindir.

$$b) \psi_{23} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,016}{0,86} = 0,018$$

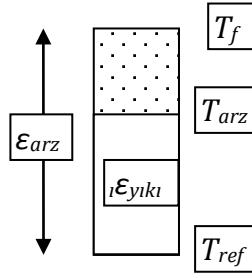
Bu örnekte 0,018 değeri kullanılmıştır.

Şekil 2.20 incelendiğinde A bölgesindeki ekserji değeri bize doğal gazdan elde edilen elektrik (çevrim santralinden bağımsız) ile konfor soğutmasını yani B bölgesindeki sistemin sorgulanmadığını sınırın yakıtı sorguladığını göstermektedir.



Şekil 2.20 Akılcı ekserji verimi hesaplamada gözlem sınırı

Elektrik için ekserji değeri genel olarak 1 alınmaktadır (0,96 da kullanılmaktadır). Fakat incelemeler daha kapsamlı konuma getirilmek istendiğinde elektriğin doğalgaz kullanılarak üretilmesi göz önünde tutulur. Bu uygulamada, ekserji yıkımı uygulamadan sonra düşük ekserjilerde olduğu için ikinci senaryo dikkate alındığında ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.36) 'da değerler yerine konularak hesaplamalar yapılırsa termik santralde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri 0,39 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.21 Örnek 1 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_{34} = 1 - \frac{1 - \frac{283}{600}}{0,86} = 0,39$$

Yukarıdaki hesapta termik santral için bazı kabuller yapılarak 0,39 değeri elde edilmiştir. Ancak T_{arz} sıcaklığı santral tipine göre değişir ve 0,39 değeri de değişir. Bu sonuç da bize seçilen ekserji çözümleme sınırının bizlere değişik ipuçları verebileceğini göstermektedir. Örneğin santral özelliklerini de çözümlemeye katmak istersek son hesap yönteminin kullanılması gerekmektedir.

Tüm sistem bir bütün olarak düşünülürse ortalama akılcı ekserji yönetimi verimi değerini hesaplamak için tüm kısmi akılcı ekserji verim değerleri, ilgili birinci kanun verimleri ve enerji talepleri denklem (2.37)'de yerine konulur. Bu eşitlikte bir arz noktasından değişik talep noktalarına varış veya bir talep noktasına birden fazla arz noktasından giriş olabileceği düşünüldüğünde bir matris elde edilir. Burada (i) herhangi bir arz noktası (j) ise herhangi bir talep noktasını simgelemektedir.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \psi_{Rij} \left(\frac{Q_{dj}}{\eta_{ij}} \right)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_{dj}}{\eta_{ij}} \right)} \quad (2-37)$$

Denklem (2.37)'de Q_{dj} (j) arz noktasının enerji talebi (Demand), η_{ij} ise Q_{dj} talebini karşılayan (i) sisteminin bu talebi karşılarken ki Birinci Yasa Verimi, ψ_{Rij} , (j) noktasının enerji talebini yani Q_{dj} yi (i) arz noktasının karşılamasına ilişkin kısmi akılcı ekserji verimidir. (m) indisi sistemdeki toplam arz noktası

sayısını, (n) indisi de sistemdeki toplam talep noktası sayısını verir. Isıtma için kullanılan kazan verimi (η_{k1}) 0,9 olarak alınmıştır. Soğutma sisteminde chiller COP değeri 3 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.

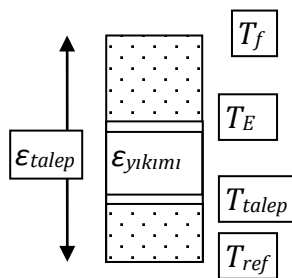
$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{11} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{12} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{12}} + \psi_{23} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{23}} + \psi_{34} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{34}}}{\sum_{j=1}^4 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_R} = \frac{0,26 \times \frac{5}{0,9} + 0,12 \times \frac{10}{0,9} + 0,018 \times \left(\frac{10}{3} \div 0,27 \right) + 0,39 \times \frac{5}{0,27}}{\frac{5}{0,9} + \frac{10}{0,9} + \left(\frac{10}{3} \div 0,27 \right) + \frac{5}{0,27}}$$

$$\overline{\psi_R} = 10,22/47,53=0,22$$

Yukarıda incelenen sistemde elektrik gücü doğal gazla çalışan bir merkezi termik santralden (off-site), ısı ise mahalde kurulu (on-site) bir doğal gazlı kazandan elde edilmektedir.

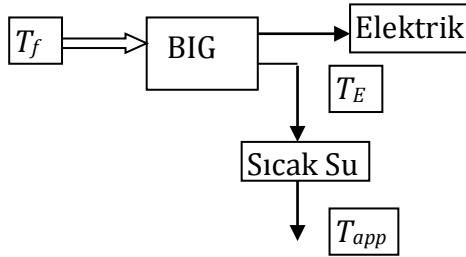
Günümüzde elektrik ve ısıyı aynı kaynaktan ve aynı cihazdan elde eden sistemler tercih edilmeye başlanmıştır. Buna Birlikte Isı ve Güç, BIG (CHP: Combined Heat and Power) sistemi denilmektedir. Bu durumda ekserji akış çubuğu aşağıdaki gibi olmaktadır. Akılcı ekserji verim değeri için de denklem (2.38) kullanılır.



Şekil 2.22 BIG sistemi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım1}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{talep}}{T_E}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}} \quad (2-38)$$

Bu yöntem ile doğal gazlı veya biyogazlı birlikte üretim birimi (BIG) akılcı ekserji verimi incelenebilmektedir. T_f değeri yakıtın serbest ortamdaki yanma sıcaklığıdır. Biyogaz için yaklaşık bu değer 1600 K dir.



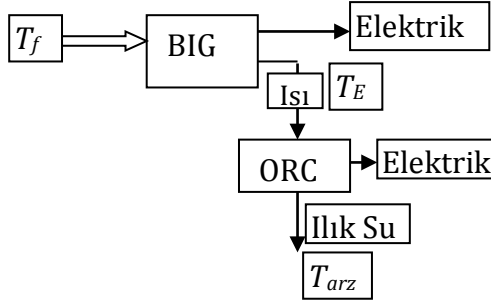
Şekil 2.23 BIG sistem modeli

Örnek değerler, $T_f = 2100$ K (Doğal Gaz), $T_E = 110^\circ\text{C}$ (383 K), $T_{ref} = 283$ K, $T_{talep} = 90^\circ\text{C}$ (363 K) olarak alınmıştır.

Değerler denklem (2.38)'da yerine konulursa akılcı ekserji verim değeri 0,94 olarak hesaplanır. Aynı değerler sabit tutulup yakıt olarak biyogaz kullanılırsa, akılcı ekserji verim değeri 0,82 olarak hesaplanmaktadır. Çeşitli kaynaklar ile T_f değerinin akılcı ekserji verim değeri üzerine etkileri incelenebilir. Fakat genel olarak akılcılığın arttırıldığı sistemlerde verim değeri diğer sistemlere göre her zaman oldukça yüksek olacaktır. Bu sonuçta bize enerji dönüştürüm sistemleri modellemeleri yapılırken akılcılığı sağlamak adına sistem talep yüklerini karşılayanın tek başına amaç olmaması gerektiği aynı zamanda hangi kaynak ile hangi enerji talebinin karşılanması gerektiğinin de incelenmesinin önemini göstermektedir.

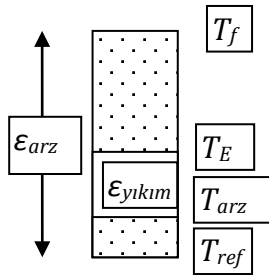
Yukarıdaki örnekte birlikte üretim ile sağlanan fayda incelenmiştir. Bu şekilde sistemlerde akılcılığı incelemek üzere yapılan çalışmalar farklı faydaların değerlendirilmesi ile çeşitlendirilebilirler. Örneğin, talep edilen

farklı nicelikte elektrik gücünün olması durumunda birlikte ısı ve güç (BIG) üretim birimine organik Rankin çevrimli ek bir elektrik üretici konulması ile elde edilen sistem (Organic Rankine Cycle: ORC) modellenebilir.



Şekil 2.24 BIG ve ORC sistem modeli

Bu durumda elde edilecek elektrik gücünün niceliği bu seçeneği daha tercih edilir kılabilir ve buna karşın başka tür bir uygulamada daha düşük sıcak su tercih edilebilir. Modeldeki ekserji akış çubuğu yukarıdaki örnek ile benzerlik gösterir fakat T_E daha düşük sıcaklıkta olduğu için ekserji yıkımı daha az olmasına rağmen akılcı ekserji verim değeri daha düşük olacaktır.



Şekil 2.25 BIG ve ORC sistem modeli ekserji akış çubuğu

T_{arz} , bu durumda ılık suyun birimden çıkış sıcaklığıdır. Dolayısı ile $\epsilon_{yıkım}$ daha azdır. ψ_R için denklem (2.38) kullanılır. Hesaplanan değer daha fazla elektrik gücü üretilmesine rağmen yukarıdaki örnekten daha düşüktür.

Burada karar verici mekanizma talep edilen enerjinin önceliğidir. Sistemde daha fazla elektrik gücü üretmek genel modelde yüksek fayda sağlıyor ve talep edilen ısı yükünü de karşılaması bu duruma göre tercih edilebiliyorsa ya da daha fazla elektrik gücü talebi daha düşük ısı talebi varsa, verim

değeri tek başına modelin en akılcı olduğu kararı için yeterli olmayacaktır. Örneklerden çıkarılacak sonuç ise, birinci, ikinci kanun verimlerinin ve amaçlanan hedeflerin de ψ_R ile birlikte göz önünde tutulmasının gerekliliğidir.

3. SİSTEM TASARIM VE MODELLEME - Örnek Çalışma

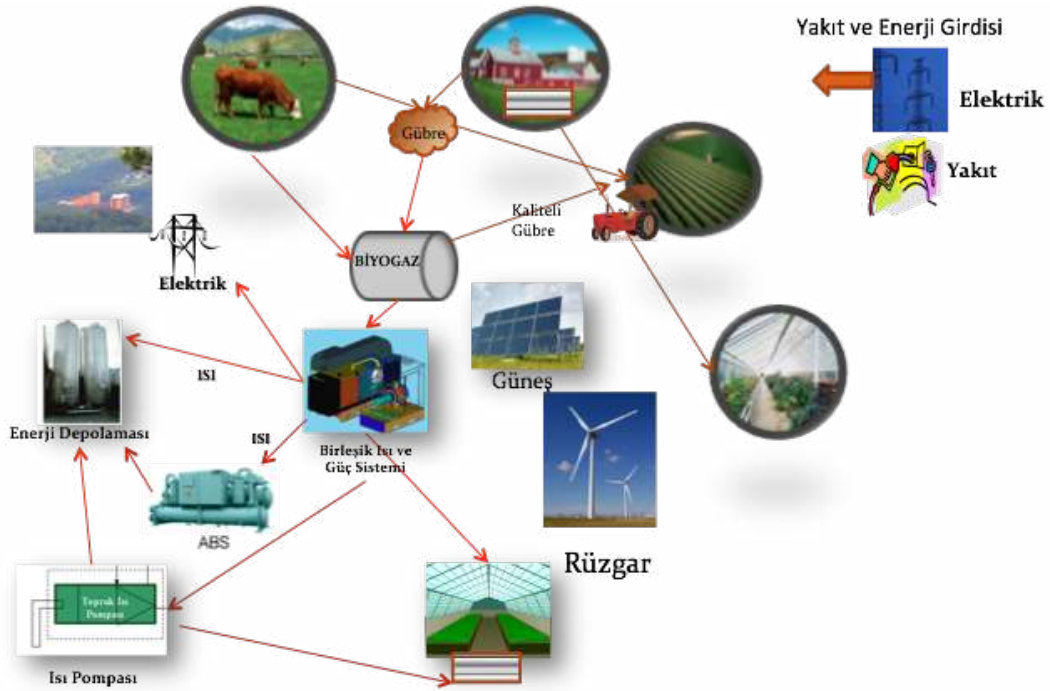
Sistem tasarım ve modelleme bölümünde yük dağıtım algoritması ile senaryolar modellenerek arz ve talep yükleri arasında yüklerin dağıtımı sağlanmaya çalışılmıştır. Modellenen senaryolarda kullanılan enerji dönüştürüm sistemleri yazılan koşullara göre arz ve talep yükleri arasında akılcı bir dağıtım dengesinin kurulmasını sağlamaktadır. Her senaryoda, yükler sabit tutularak enerji dönüştürüm sistemlerinde ekleme ve çıkarma yapılarak modellerde yük dağıtımlarının nasıl değiştiği hesaplanmıştır.

Senaryolarda ortalama akılcı ekserji verim değerleri ve karbondioksit salım hesaplamaları yapılarak modellemelerin akılcılıkları karşılaştırılmaktadır. Bu şekilde senaryo modellerinde konvansiyonel sistemlere göre melez enerji sistemlerinin kullanılmasının etki analizi yapılmış olacaktır. Yenilebilir enerji kaynak ve sistemlerinin diğer sistemlerle birlikte kullanımının yüklerin sağlıklı ve akılcı karşılanmasına katkıları araştırılmaktadır.

Çalışmada, çeşitli modellemelerin yapıldığı senaryolarda, en temel sistem modeli yani konvansiyonel sistemden başlanarak melez sistem bileşenlerini en geniş şekilde kapsayan çiftlik modeline kadar senaryolar modellenmiştir. Bu sayede konvansiyonel sistemler, yenilebilir enerji sistemleri ve birlikte ısı ve güç sisteminin kullanıldığı en kapsamlı senaryoda melez enerji sistemlerinin akılcılıkları gözlemlenmektedir.

Senaryo 1'den başlanarak her senaryoda biraz daha genişletilen melez enerji sistem modellemesinde Senaryo 4 'te AÇKAR A.Ş örnek alınarak çiftlik modelinde en kapsamlı melez enerji sistemi modellemesi yapılmıştır. Kullanıcı verisi olarak çiftlik verilerine en yakın değerlerin kullanılarak hesaplamaların yapıldığı çalışmada modellemeler arası karşılaştırmalar sayısal değerler ile örneklendirilmiş ve değerlendirilmiştir.

En genel şekli ile çiftlik modeli şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 AÇKAR Çiftlik Modeli

Yük dağıtım algoritmasında kullanılan ortak özellikler;

- Elektrik talepleri birlikte ısı ve güç sistemi ve şebekeden karşılanmaktadır.
- Birlikte ısı ve güç sistemi mevsimlik yüklerde elektrik yükünü takip etmektedir.
- Seçilen BIG sistem kapasitesi ile karşılanmayan elektrik talebi şebekeden alınmaktadır.
- BIG sisteminde yakıt girdisi olarak doğalgaz ve biyogaz kullanılabilir.
- BIG sisteminin senaryolarda kullanımının daha akılcı ve gerçekçi olması için BIG sistem kapasitesi seçimi yapılırken pik yük karşılama değişkeni kullanılarak takip edeceği pik yük miktarı belirlenen oranda düşürülmektedir.

- Sistem, enerji depolama kullanımına olanak sağlamaktadır.
- Enerji depolama için kullanıcı verisi olarak alınan, yaz ve kış mevsimlik değerleri farklı olmak üzere, ısı depolama, soğuk depolama ve buz depolama için pik yük törpüleme değerleri kullanılmaktadır. Bu değerler kullanıcı verisi olarak alınmaktadır.
- Isıl yük depolama yapılan örneklerde pik yükler pik yük törpüleme faktörleri ile düzeltilerek kullanılmaktadır.
- Mevsimlik ısıtma, soğutma ve elektrik yakıt/enerji tüketimleri hesaplanırken, işletme faktörü ve kapasite faktörleri kullanıcı verisi olarak alınarak hesaplamalarda kullanılmaktadır.
- Sistem maliyetleri; mevsimlik yakıt maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve bakım/onarım maliyetlerinden oluşmaktadır.

Kullanıcı verisi olarak alınan ve tüm senaryolarda ortak olarak kullanılan değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.1 Senaryolar için ortak kullanıcı verileri

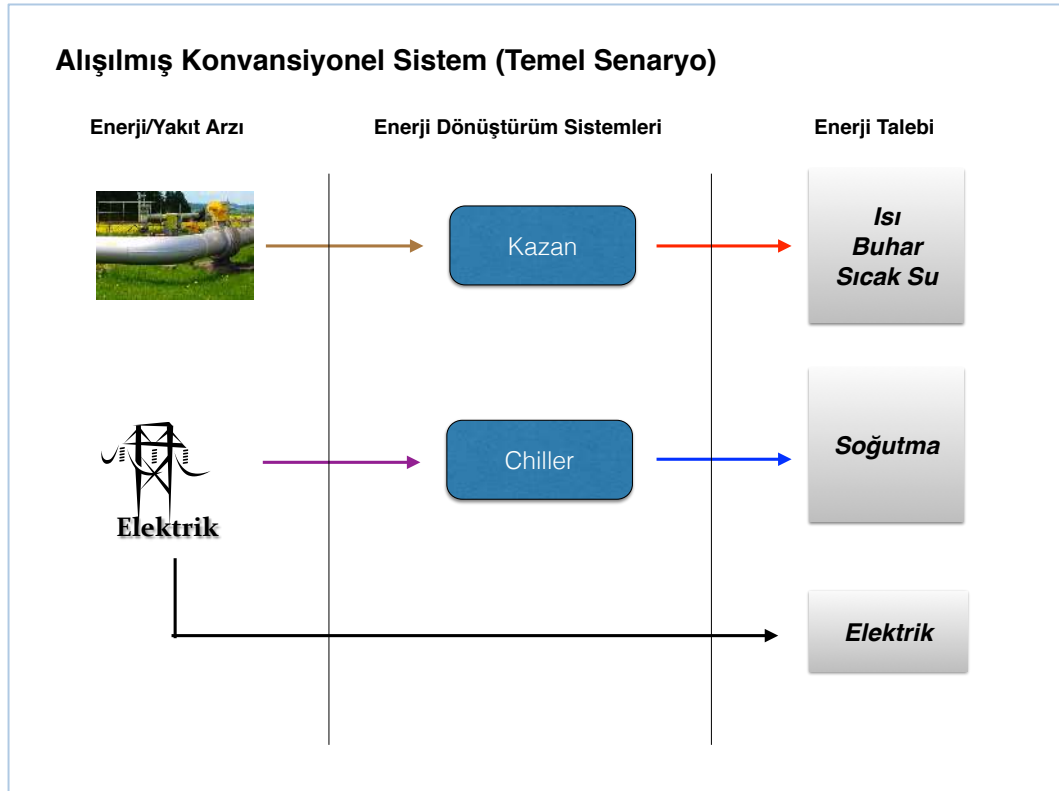
Seçilen Bölge	Ankara		
X (Pik Yük Törpüleme Faktörü)			
	Isı	Soğuk	Buz
Yaz	0,9	0,75	0,15
Kış	0,8	0,9	0
Kapasite Faktörü (KF)			
Isıtma		0,5	
Soğutma		0,3	
Elektrik		0,9	
İşletme Faktörü (İF)			
Isıtma		0,6	
Soğutma		0,4	
Elektrik		0,7	
Isıtma Gün Sayısı		200	
Soğutma Gün Sayısı		165	
Tesis Isı Talebi (kWh)			
	Yüksek Ekserji	Düşük Ekserji	
Yaz	0	70	
Kış	50	100	
Tesis Soğutma Talebi (kWh)			
Yaz		300	
Kış		100	
Tesis Elektrik Talebi (kWh)*		55	
CHP güç-ısı oranı (C)		1	
CHP Pik Yük Karşılama Oranı		0,7	

* Tabloda yer alan tesis elektrik yükü sadece sabit olan bina elektrik yüküdür. Modeller içerisinde yer alan enerji dönüştürüm sistemleri elektrik yükleri eklenmemiştir.

3.1. Senaryolar için Enerji, Maliyet, Ekserji ve CO₂ Salım Hesaplamaları

3.1.1. Temel senaryo

Konvansiyonel sistem modeli günümüzde oldukça sık karşılaşılan ve kullanılan sistem modelidir. Modelde herhangi bir yenilikçi enerji dönüştürüm sistemi ve yenilenebilir bir kaynak kullanılmamıştır. Var olan kaynaklar sadece konvansiyonel sistemler kullanılarak talep edilen yükleri karşılamaktadır. Çalışmanın devamında modellenen tüm örnekler bu temel üzerine eklenerek yürütülecektir.



Şekil 3.2 Temel senaryo enerji arz ve talepleri

Kullanılan Enerji Dönüştürüm Sistemleri;

- Isıtma taleplerini karşılamak için kazan
- Soğutma taleplerini karşılamak için Chiller (soğutma grubu) (soğutma grubu)

kullanılmıştır.

Çizelge 3.2'de senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri, kapasite ve maliyet değerleri verilmiştir. Enerji dönüştürüm sistem kapasiteleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanıp tabloya eklenmiştir.

Çizelge 3.2 Temel senaryo enerji dönüştürüm sistemleri

Enerji Dönüştürüm Sistemleri				
Sistem Türü	Mevcut mu ?	Kapasite	Birim	Maliyet
BIG	H			0
BIG ELEKTRİK*				
BIG ISI				
Kazan	E	150	kW	15000
Chiller (soğutma grubu)				75000
Buz	H	0	kW	0
Soğutma	E	300	kW	75000
Isı Pompası	H			0
Absorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Adsorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Rüzgâr Türbini	H			0
PV	H			0
PVT	H			0
PVTC	H			0
PHVT	H			0
Depo	H			0
Buz deposu (+çiller)				0
Soğuk su deposu				0
Sıcak su deposu				0
Biyogaz Reaktörü	H			0

Sistem elektrik talepleri için kullanılan herhangi bir enerji üretim sistemi bulunmamaktadır ve talep yük şebekeden karşılanmaktadır. Enerji dönüştürüm sistemlerinde yakıt türü olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Model içinde kullanılacak ısı yük talepleri çizelge 3.1'den alınmaktadır. Modellemede enerji depolama yapılmamasından dolayı mevcut talep yüklerinde herhangi bir düzeltme yapılmadan sistemlerde karşılanmak üzere kullanılacaktır.

Senaryo'da yakıt türü olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgaz birim maliyeti 0,9 TL/m³ , yoğunluk değeri ise 10 kWh/m³ olarak sabit değerler alınmıştır. Elektrik birim fiyatı, 0,5 TL/kWh olarak sabit ve tek tarife fiyatı kabul edilerek hesaplamalarda kullanılmaktadır. Gün içinde değişkenlik gösteren puant, gece ve gündüz fiyatları hesaplamalarda kullanılmamaktadır.

3.1.1.1. Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları

Enerji dönüştürüm sistemleri, yaz/kış işletmeleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanarak modellenmektedir. Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 'de yaz ve kış işletmesi elektrik talepleri verilmektedir. Bina elektrik yükü sabit olarak kullanıcı verisi olarak alınmaktadır. Eklenen chiller (soğutma grubu) elektrik yükü, soğutma talebinin chiller tarafından karşılanmasından dolayı kaynaklanmakta ve soğutma talebine göre değişkenlik göstermektedir. Temel senaryoda kullanılan ısı yükler Çizelge 3.1'de kullanıcı verisi olarak alınan ve tüm senaryolarda sabit olan yüklerdir.

Kış işletmesi;

Çizelge 3.3 Kış işletmesi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık (T)
Bina Elektrik	55	kWh	5600 K
Chiller Elektrik Talebi	33,3	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	88,3	kWh	

Yaz işletmesi;

Çizelge 3.4 Yaz işletmesi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık (T)
Bina Elektrik	55	kWh	5600 K
Chiller Elektrik Talebi	120	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	175	kWh	

Kazan;

Mevsimlik ısı yüklerine göre kazan kapasitesi belirlenmektedir. Modelde ısı yükünün sadece kazan tarafından karşılanmasından dolayı başka herhangi bir kısıta bakılmadan, alınan mevsimlik ısı talep yükleri karşılaştırılmaktadır ve kazan kapasitesi büyük yükü takibi edecek şekilde seçilmektedir. Bu senaryoda kazan, büyük olan kış ısı yükünü takip etmektedir. Çizelge 3.5'te kazan için kullanılan veri ve sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.5 Temel senaryo kazan veri ve sonuçları

SİSTEM	Temel Senaryo	
	KIŞ	YAZ
Kazan Verimi	0,9	0,9
Kazan Kullanım Kapasitesi	150	70
İhtiyaç Olan Kazan Kapasitesi (kW)	150	

Chiller (soğutma grubu)

Modellenen sistem içerisinde soğutma yükünün tamamı chiller (soğutma grubu) ile karşılanmaktadır. Bu durumda Chiller ile karşılanan soğutma yükünün elektrik talebi oluşmaktadır. Mevsimlik soğutma yükleri ve chiller *COP* değerleri, denklem (2.16) 'da yerine konularak chiller (soğutma grubu) için mevsimlik elektrik talepleri hesaplanmaktadır. Çizelge 3.6'da Soğutma grubu için hesaplanan mevsimlik sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 3.6 Temel senaryo soğutma grubu veri ve sonuçları

SENARYO	Temel Senaryo	
	KIŞ	YAZ
<i>COP</i>	3,0	2,5
Soğutma Kapasitesi	100	300
Çekilen Elektrik (kWh)	33,3	120

Soğutma grubunda kapasite seçimi için mevsimlik soğutma yükleri karşılaştırılarak büyük yüke göre seçim yapılmaktadır. Senaryoda yaz soğutma yüküne kapasite seçilmiştir. Chiller (soğutma grubu) kapasitesi 300 kW olarak belirlenmiştir.

Yakıt/enerji ve kapasite maliyetleri

Temel senaryoda, elektrik yükünün tamamı şebekeden karşılanmaktadır. Mevsimlik toplam şebeke elektrik talebi, bina elektrik talepleri ve mevsimlik soğutma yükünün elektrik taleplerinin toplamından oluşmaktadır.

$$Q_{\text{sebeke}} = E_{\text{bina}} + Q_{EC}$$

Hesaplanan toplam şebeke elektrik yükü (Q_{sebeke}) ve kullanıcı verisi olarak alınacak birim elektrik maliyeti (a) ile çarpılarak şebeke elektrik tüketim maliyeti (M_{sebeke}) hesaplanmaktadır. Kış ve yaz için toplam elektrik talepleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilmiştir. Birim elektrik maliyeti (a) ise kullanıcı verisi olarak alınan ve tek tarife olarak kabul edilen 0,5 TL/ kWh 'tir. Hesaplamalar mevsimlik olarak yapılmaktadır ve bu durumda kış mevsimi, ısıtma gün sayısına göre, yaz mevsimi soğutma gün sayısına göre belirlenmektedir. Denklem (2.23) ile mevsimlik şebeke elektrik tüketim maliyetleri hesaplanmaktadır.

Yaz ve kış olarak mevsimlik kazan kullanım kapasiteleri belirlenen sistemde, mevsimlik kazan yükü (Q_{MKY}), işletme faktörü, kapasite faktörü ve yaz/kış için ısıtma/soğutma gün sayıları denklem (2.19)'da yerine konularak mevsimlik kazan yükü belirlendikten sonra bu değer ve kazan verimi denklem (2.20)'de kullanılarak mevsimlik yakıt tüketimi (YT_K) hesaplanmaktadır. Mevsimlik yakıt tüketiminin m^3 cinsinden hesaplanabilmesi için yakıt olarak kullanılan kaynağın yoğunluk (d kWh/ m^3) değeri denklemde yerine konulmaktadır. Senaryoda yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Mevsimlik yakıt tüketim maliyetleri (M) denklem (2.22)'de mevsimlik yakıt tüketimi (YT_K) ve yakıt birim maliyet değeri yerine konularak hesaplanmaktadır. Senaryoda doğalgaz birim yakıt maliyeti (0,9 TL/ m^3) olarak alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8’de yakıt ve enerji maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 3.7 Temel senaryo kışlık yakıt/enerji maliyetleri

Kışlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	216000
Mevsimlik yakıt tüketimi(m ³)	24000
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	21600
Mevsimlik elektrik tüketimi	267120
Mevsimlik elektrik maliyeti (TL)	133560
Mevsimlik toplam maliyet (TL)	155160

Çizelge 3.8 Temel senaryo yazlık yakıt/enerji maliyetleri

Yazlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	83160
Mevsimlik yakıt tüketimi(m ³)	9240
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	8316
Mevsimlik elektrik tüketimi	436590
Mevsimlik elektrik maliyeti (TL)	218295
Mevsimlik toplam maliyet (TL)	226611

Seçilen enerji dönüştürüm sistemleri kapasiteleri (*SK*) ve birim maliyetleri (*BM*) denklem (2.24)’de kullanılarak sistemlerin ilk yatırım maliyetleri (*YM*) hesaplanmaktadır.

Kazan için kış talep yüküne göre takip yapıp bu kapasiteye göre de anma kapasitesi olarak 150 kW belirlenmiştir. Kazan birim maliyet değeri 100 TL/kW alınarak ilk yatırım maliyeti 15000 TL olarak hesaplanmıştır.

Chiller (soğutma grubu)'da yaz talep yükü takip edilmektedir. Talep edilen en yüksek yük 300 kW'tır ve bu yük soğutucu kapasitesi olarak belirlenmiştir. Birim maliyet değeri 250 TL/kW olarak alınmıştır. Bu durumda ilk yatırım maliyeti 75000 TL olarak hesaplanmıştır.

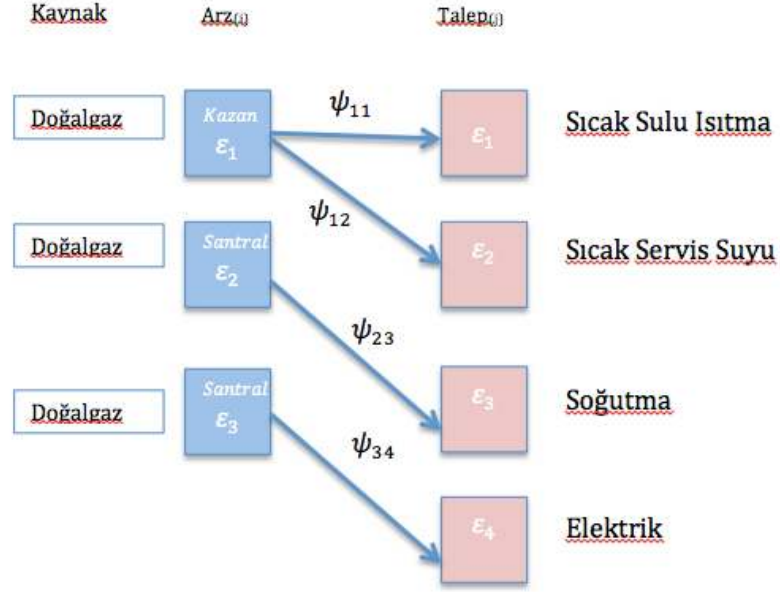
Senelik toplam sistem maliyeti, şebeke elektrik tüketim ($M_{\text{şebeke}}$) ve yakıt maliyeti, sistem yatırım maliyetleri (YM), bakım/onarım maliyetleri toplamından oluşmaktadır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Temel senaryo senelik toplam maliyetler

Maliyet Kalemleri	Tutar (TL)
Yıllık Toplam Enerji/Yakıt Maliyeti	381771
Sistem İlk Yatırım Maliyeti	90000
Bakım/Onarım	9000
TOPLAM MALİYET (TL)	480771

3.1.1.2. Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri

Modelde elektrik talebi şebekeden, ısıtma talebi klasik doğalgaz ile çalışan alışılmış türdeki bir kazandan, soğutma talebi gaz sıkıştırırmalı ve elektrik gücüne dayalı chiller (soğutma grubu)'dan karşılanmaktadır. Isıtma talebi yüksek (Konfor ısıtması) ve düşük ekserji (Sıcak su) talepleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

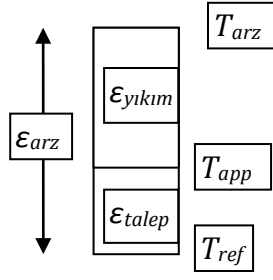


Şekil 3.3 Temel senaryo ekserji arz ve talepleri

ψ_{11} ve ψ_{12} değerleri konfor ve sıcak su ısıtı için olan arz ve talepler arasındaki kısmi akılcı ekserji verimlerini, ψ_{23} soğutma arz (Santralden sağlanan elektrik) ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{34} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.

Senaryoda ekserji hesaplamaları yapılırken, T_{ref} yaz/kış 283 K, Yaz ve kış iç mekân konforu operatif sıcaklığı 295 K (22 °C) ve referans T_0 değeri 303 K (30 °C) sabit değerler olarak alınmıştır.

Isıtmada yüksek ve düşük ekserji talepleri aynı doğalgazlı kazan ile karşılanmaktadır. Isıtmada doğalgazlı kazan kullanılan uygulamada ekserji önce yıklmaktadır. Bu durum için aşağıdaki ekserji akış çubuğu çizilmektedir ve ekserji hesaplamaları denklem (2.29) kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.4 Temel senaryo ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu

Yüksek ekserjide konfor ısı talebi (90 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$,
 $T_{talep1}= 363\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep1}}\right) = \varepsilon_{talep} = \left(1 - \frac{283}{363}\right) = 0,22 \quad \{\text{Isıtma}\}$$

Düşük ekserjide sıcak su ısı talebi (40 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$,
 $T_{talep2}= 313\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=2} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right) = \left(1 - \frac{283}{313}\right) = 0,1$$

Doğal gazı dayalı ekserji arzı T_{arz} (doğal gazın açık ortamda yanma sıcaklığı yaklaşık 2100 K) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{i=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) = \left(1 - \frac{283}{2100}\right) = 0,86 \quad \{\text{doğal gaz}\}$$

Uygulamada çözümleme sınırı sıcak su talep noktalarına (90°C ve 40°C) kadar alınmıştır. Isıtma için kısmi akılcı ekserji verim değerleri denklem (2.34) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\psi_{11} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,22}{0,86} = 0,26$$

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12$$

Soğutma sistemi için de denklem (2.30)'da değerler yerine konularak ekserji talebi hesaplamaları yapılmaktadır. Bu uygulamada, elektrik enerjisi kullanarak soğutma yapan chiller (soğutma grubu) sisteminde ekserji önce yıkılmaktadır. Bu durumda ekserji akış çubuğu şekil 4.4'deki gibi olmaktadır. Senaryoda soğutma için T_{talep} değeri 280 K 'dir.

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{283}{280} \right) \right]$$

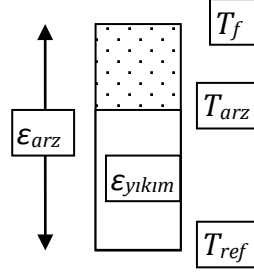
$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{280}{283} \right) \right] = 0,066 - 0,011 = 0,055$$

Denklemden T_{talep} değerinin T_{ref} değerinden küçük olduğu durumlarda kesir ters çevrilerek işleme devam edilmektedir.

Bu uygulamada doğal gazın kullanıldığı bir termik santral göz ardı edilerek doğal gazdan elde edilen elektrik (çevrim santralinden bağımsız) ile konfor soğutması incelenmiş ve doğal gazın birim ekserji değeri 0,86 kullanılmıştır. Soğutma için kısmi akılcı ekserji verim değeri denklem (2.34) ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{23} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

Uygulamada elektrik üretimi için, ekserji yıkımı uygulamadan sonra düşük ekserjilerde olduğu için teori bölümünde ekserji senaryolarından ikinci senaryo dikkate alınarak ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.36) 'da değerler yerine konularak hesaplamalar yapılırsa termik santralde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri 0,39 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.5 Temel senaryo elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım1}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$$\psi_{34} = 1 - \frac{1 - \frac{283}{600}}{0,86} = 0,39$$

Tüm sistem bir bütün olarak düşünülürse ortalama akılcı ekserji yönetimi verimi değerini hesaplamak için tüm kısmi akılcı ekserji verim değerleri, ilgili birinci kanun verimleri ve enerji talepleri denklem (2.37)'de yerine konulmaktadır.

Uygulamada, ısıtma için kullanılan kazan verimi (η_k) 0,9 , soğutma sisteminde chiller *COP* değeri 3 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.

Kış işletmesi için ortalama akılcı ekserji verimi;

Enerji talepleri, yüksek ekserji enerji talebi (Q_1) 50 kWh, düşük ekserji enerji talebi (Q_2) 100 kWh, soğutma talebi (Q_3) 100 kWh, elektrik talebi (Q_4) 88,3 kWh 'dır.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{11} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{12} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{12}} + \psi_{23} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{23}} + \psi_{34} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{34}}}{\sum_{j=1}^4 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = \frac{0,26 \times \frac{50}{0,9} + 0,12 \times \frac{100}{0,9} + 0,064 \times \left(\frac{100}{3} \div 0,27 \right) + 0,39 \times \frac{88,3}{0,27}}{\frac{50}{0,9} + \frac{100}{0,9} + \left(\frac{100}{3} \div 0,27 \right) + \frac{88,3}{0,27}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = 163,22/617,16=0,27$$

Yaz işletmesi için ortalama akılcı ekserji verimi;

Enerji talepleri, yüksek ekserji enerji talebi (Q_1) 0 kWh, düşük ekserji enerji talebi (Q_2) 70 kWh, soğutma talebi (Q_3) 300 kWh, elektrik talebi (Q_4) 175 kWh 'dır.

$$\overline{\psi_{R2}} = \frac{\psi_{11} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{12} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{12}} + \psi_{23} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{23}} + \psi_{34} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{34}}}{\sum_{j=1}^4 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_R} = \frac{0,26 \times \frac{0}{0,9} + 0,12 \times \frac{70}{0,9} + 0,064 \times \left(\frac{300}{3} \div 0,27 \right) + 0,39 \times \frac{175}{0,27}}{\frac{0}{0,9} + \frac{70}{0,9} + \left(\frac{300}{3} \div 0,27 \right) + \frac{175}{0,27}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = 285,82/1096,3=0,26$$

3.1.1.3. CO₂ salım değerleri

Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için tüm sistemin sebep olduğu toplam karbon salım değeri denklem (2.26) ile hesaplanmaktadır.

Denkleimde c_i tüketilen yakıtın ısıl değerine bağlı birim karbon çıktısını ($\text{kg CO}_2 / \text{kWh}$), η_i ısı verimi, η_T şebeke ve enerji dönüşüm kayıplarını simgelemektedir.

$$\sum CO_2 = CO_{2i} + \Delta CO_{2j} = \left[\left(\frac{c_i}{\eta_i} \right) + \left(\frac{c_j}{\eta_i \times \eta_T} \right) (1 - \bar{\psi}_{Ri}) \right] \times \sum Q_H + \left(\frac{c_j}{\eta_j \eta_T} \right) \times \sum Q_E$$

Uygulamada $c_i = 0,2$, $c_j = 0,3$ (Türkiye geneli santrallerde tüketilen yakıtlar için ortalama birim karbon çıktısı), $\eta_i = 0,9$ (kazan verimi), $\eta_j \eta_T = 0,27$ (Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri) olarak alınmıştır.

Kış işletmesi için ortalama akılcı ekserji verim değeri $\bar{\psi}_{R1} = 0,27$, toplam ısı talebi $Q_H = 216000 \text{ kWh}$ ve toplam elektrik talebi $Q_E = 267120 \text{ kWh}$, yaz işletmesi için $\bar{\psi}_{R2} = 0,26$, $Q_H = 83160 \text{ kWh}$, $Q_E = 436590 \text{ kWh}$ 'tir.

Kış işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,9} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,27) \right] \times 216000 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) \times 267120$$

$$\sum CO_2 = 520 \text{ ton CO}_2$$

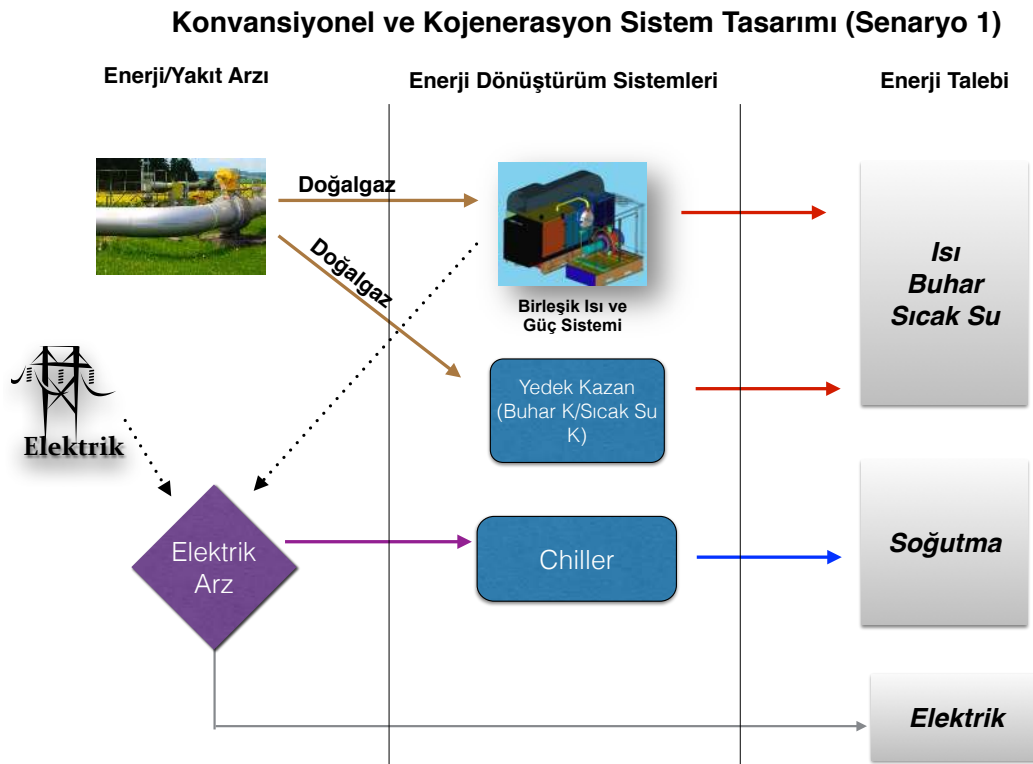
Yaz işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,9} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,27) \right] \times 83160 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) \times 436590$$

$$\sum CO_2 = 571,03 \text{ ton CO}_2$$

3.1.2. Senaryo 1

Senaryo 1’de ana enerji ve güç kaynağı olarak yüksek verimli birlikte ısı ve güç sistemi konvansiyonel enerji dönüştürüm sistem bileşenlerine eklenmiştir. İncelenecek modellemede, BIG sisteminin temel uygulama olan konvansiyonel sisteme göre katkıları incelenmektedir.



Şekil 3.6 Senaryo 1 enerji arz ve talepleri

Kullanılan Enerji Dönüştürüm Sistemleri;

- Isıtma ve elektrik taleplerini karşılamak için birlikte ısı ve güç sistemi
- Isıtma talebini (BIG sisteminin yetmediği durumlarda) karşılamak için destek olarak kazan
- Soğutma taleplerini karşılamak için Chiller (soğutma grubu)

kullanılmıştır.

Senaryo 1 tasarımında, Birlikte Isı ve Güç Sistemi, Yedek Isı Kazanı (Buhar K./Sıcak Su Kazanı) ve Chiller (soğutma grubu) enerji dönüştürüm sistemleri kullanılarak talep edilen yükleri karşılamak üzere akılcı kapasite seçimleri yapmak, enerji tüketimlerini doğru dağıtmak ve yakıt maliyetlerini düşürmek amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.10'da senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri, kapasite ve maliyet değerleri verilmektedir. Enerji dönüştürüm sistem kapasiteleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanıp tabloya eklenmiştir.

Çizelge 3.10 Senaryo 1 enerji dönüştürüm sistemleri

Enerji Dönüştürüm Sistemleri				
Sistem Türü	Mevcut mu ?	Kapasite	Birim	Maliyet
BIG	E			156000
BIG ELEKTRİK*	E	130	kW	
BIG ISI	E	130	kW	
Yedek Kazan	E	20	kW	2000
Çiller	E			75000
Buz	H			0
Soğutma	E	300	kW	75000
Isı Pompası	H			0
Isı Pompası Isıtma				0
Isı Pompası Soğutma				0
Absorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Adsorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Rüzgâr Türbini	H			0
PV	H			0
PVT	H			0
PVTC	H			0
PHVT	H			0
Depo	H			0
Buz deposu (+çiller)				0

Soğuk su deposu				0
Sıcak su deposu				0
Biyogaz Reaktörü	H			0

Şekil 3.4' de görüldüğü üzere, ısı enerji talebi öncelikli olarak BIG sistemi ile karşılanmaya çalışılmaktadır. Talep edilen ısı yükün tamamen BIG sistemi ile karşılanamadığı durumlarda yedek kazan devreye alınmaktadır.

Soğutma talebinin tamamının karşılanmasında Chiller (soğutma grubu) (soğutma grubu) kullanılmaktadır.

Toplam elektrik yükü, bina ve chiller (soğutma grubu) elektrik yüklerinden oluşmaktadır. Talebin öncelikli olarak BIG sistemi ile karşılanması sağlanacaktır. BIG kapasitesinin yeterli olmadığı yüklerde şebeke desteği alınarak elektrik talebi karşılanmaktadır. Seçilen BIG sistemi güç üretiminin herhangi bir mevsim toplam talepten fazla olması durumunda ise, fazla yük şebekeye verilerek mevsimlik enerji/yakıt maliyetlerinin düşürülmesi sağlanmaktadır. Modelde, yedek kazan ve BIG sistemleri yakıt girdisi olarak doğalgaz kullanılmaktadır.

Enerji dönüştürüm sistemi için hesaplanan mevsimlik yakıt tüketimi, kullanıcı verisi olarak alınacak doğalgaz yakıt birim maliyetinin denklem (3.22)'de yerine konulması ile toplam yakıt maliyetleri hesaplanmaktadır. Doğalgaz birim maliyeti $0,9 \text{ TL/m}^3$, yoğunluk değeri (d) ise 10 kWh/m^3 olarak sabit değerler alınmıştır. Elektrik birim fiyatı, $0,5 \text{ TL/m}^3$ olarak sabit ve tek tarife fiyatı kabul edilerek hesaplamalarda kullanılmaktadır. Gün içinde değişkenlik gösteren puant, gece ve gündüz fiyatları hesaplamalarda kullanılmamaktadır.

3.1.2.1. Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları

Enerji dönüştürüm sistemleri, yaz/kış işletmeleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanarak modellenmektedir. Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12 'de yaz ve kış işletmesi elektrik talepleri verilmektedir. Bina elektrik yükü sabit olarak kullanıcı verisi olarak alınmaktadır. Eklenen chiller (soğutma grubu) elektrik yükü, soğutma talebinin chiller tarafından karşılanmasından dolayı kaynaklanmaktadır ve soğutma talebine göre değişkenlik göstermektedir. Senaryoda kullanılan ısı yükler Çizelge 3.1 'de kullanıcı verisi olarak alınan ve tüm senaryolarda sabit olan yüklerdir.

Kış işletmesi;

Çizelge 3.11 Senaryo 1 kışlık elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(°C)
Bina Elektrik	55,0	kWh	5600 K
Chiller Elektrik Talebi	33,3	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	88,3	kWh	

Yaz işletmesi;

Çizelge 3.12 Senaryo 1 yazlık elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(°C)
Bina Elektrik	55	kWh	5600 K
Chiller Elektrik Talebi	120	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	175	kWh	

Birlikte ısı ve güç sistemi

Senaryo 1' de, BIG sisteminin mevsimlik hangi yükü takip etmesi gerektiği kararını vermek için yapılacak çalışmalar daha sonraya bırakılarak bu modelde elektrik yükünü takip edeceği kabul edilmiştir. Kış ve yaz olmak üzere iki mevsim için de elektrik talepleri belirlenerek BIG sistemi kapasite seçimi yapılmaktadır.

Mevcut model içerisinde elektrik talebine bina ve chiller (soğutma grubu) yükleri etki etmektedir. Bunun için sabit kullanıcı verisi olarak alınan bina elektrik talebine ek olarak soğutma yükü talebine göre değişkenlik gösteren chiller (soğutma grubu) elektrik yükü hesaplanmaktadır.

Her iki mevsim için belirlenen pik elektrik yükü talepleri karşılaştırılarak büyük olan yüke göre BIG güç kapasitesi belirlenmektedir. Bu karşılaştırma için aşağıdaki koşula göre yapılmaktadır:

$$= EĞER (kış elektrik talebi > yaz elektrik talebi; kış elektrik talebi; yaz elektrik talebi)$$

Bu koşul sonucu alınacak değer, kullanıcı verisi olarak alınan BIG sistemi pik yük karşılama oranı ile çarpılarak pik yükün ne kadarının BIG sistemi tarafından karşılanacağı belirlenmektedir. Dolayısıyla, BIG sistemi kapasitesi pik elektrik yüküne göre değil hesaplanan talep yükünün yeni değeri dikkate alınarak seçilmektedir.

Pik yük karşılama oranına göre hesaplanan yeni yük değeri dikkate alınarak BIG sistemi anma kapasitesi (K_{CHP}) belirlenmektedir. Belirlenen BIG sistemi kapasitesine göre de senaryo için ısı yük talepleri değerlendirilmektedir.

Belirlenen BIG sistemi güç kapasitesi (E_{CHP}), denklem (2.8)'de kullanılarak ısı/güç oranına göre BIG sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}) hesaplanmaktadır. Mevsimlik hesaplanan bina ısı yükleri (ısı, buhar, sıcak su...), BIG sistemi maksimum ısı kapasitesiyle karşılaştırılarak, model içerisinde yedek kazan ihtiyacı olup olmadığı varsa da ihtiyaç kapasitesi belirlenmektedir. Bu değer için aşağıdaki koşul dikkate alınmaktadır.

$$=EĞER (H_{CHP} > Q_H; 0; Q_H - H_{CHP})$$

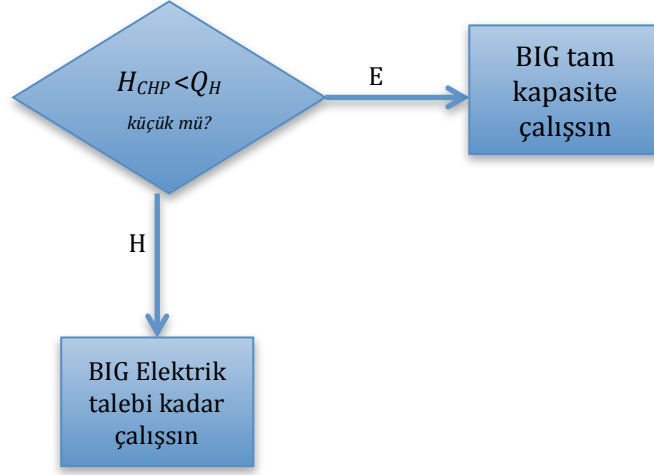
BIG sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}), mevsimlik ısı talebinden büyük ise kazan ihtiyacı yoktur, küçük olması durumunda ise mevsimlik ısı talebi ile maksimum ısı kapasitesi farkı alınmaktadır.

Seçilmiş olan BIG sistemi güç kapasitesi, mevsimlik elektrik yükü talepleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma için aşağıdaki koşula göre yapılmaktadır.

$$=EĞER (E_{CHP} > Q_E; 0; Q_E - E_{CHP})$$

Karşılaştırma sonucu talep yükün üretimden fazla olması durumunda şebekeden çekilecek elektrik miktarı ($Q_{şebeke}$) hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer daha sonra mevsimlik enerji/yakıt maliyetleri hesaplamalarında kullanılmaktadır.

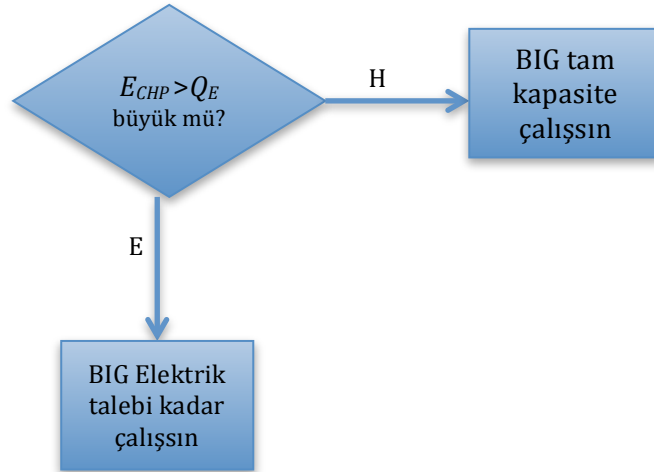
BIG sistemi saatlik yakıt tüketimi, mevsimlik olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Kış mevsimi yakıt tüketimi hesaplamaları için öncelikle ısı yükü talebi (Q_H) ve birlikte ısı güç sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}) karşılaştırılarak BIG sisteminin çalışma prensibi belirlenmektedir. Kış aylarında elektrik yerine ısı yüklerin fazla olmasından dolayı ısı yükler arası karşılaştırma yapılarak BIG sisteminin mevsimlik çalışma kapasitesi belirlenmektedir.



Şekil 3.7 Senaryo 1 kış mevsimi ısı yük karşılaştırma akışı

Yukarıdaki akışa göre kararı verilen BIG sistemi çalışma kapasitesi denklem (2.9) veya denklem (2.10)' da kullanılarak BIG sistemi anlık yakıt tüketimi (YT_{CHP}) hesaplanmaktadır.

Yaz mevsimi anlık yakıt tüketimi için ise aşağıdaki akış izlenerek BIG sistemi çalışma prensibine karar verilmektedir.



Şekil 3.8 Senaryo 1 yaz mevsimi elektrik yükleri karşılaştırma akışı

Bu durumda BIG sistemi güç kapasitesi (E_{CHP}) toplam elektrik talebinden büyük ise BIG sistemi elektrik talebi kadar çalışmaktadır,

tersi durumda ise tam kapasite çalışmaktadır. Yukarıdaki akışa göre kararı verilen yaz mevsimi BIG sistemi çalışma kapasitesi denklem (2.9) veya denklem (2.10)'da kullanılarak BIG sistemi anlık yakıt tüketimi (YT_{CHP}) hesaplanmaktadır.

Yük dağıtım algoritması yukarıda anlatılan BIG sistemi için hesaplanan değerler Çizelge 3.13' te verilmiştir.

Çizelge 3.13 Senaryo 1 BIG sistemi veri ve sonuçları

BIG Sistemi	Senaryo 1	
	KIŞ	YAZ
<i>c</i> (pik yük karşılama oranı)	0,7	0,7
<i>C</i> (güç-ısı oranı)	1,0	1,0
Isı Verimi	0,5	0,5
Elektrik Verimi	0,4	0,4
Elektrik Talebi (pik yük) (kWh)	88,3	175,0
Isı Talebi (kWh)	150,0	70,0
BIG seçim için pik yük	122,5	
BIG elektrik Kapasitesi (kW)	130	
En fazla Isı Kapasitesi (kW)	130	
Anlık Yakıt Tüketimi (m3)	37,1	37,1
Yedek Kazan İhtiyacı (kW)	20	0,0
Şebeke elektrik ihtiyacı (kWh)	0	45

Bina elektrik talebine (55 kWh), chiller (soğutma grubu) için hesaplanan soğutmanın elektrik yükü eklenerek toplam talep kış işletmesi için 88,3 kWh olarak belirlenmiştir, yaz işletmesi için toplam değer 175 kWh olarak hesaplanmıştır. Isı talepleri her iki işletme için de yüksek ve düşük ekserji talepleri toplamından oluşmaktadır. BIG sistemi kapasitesi belirlemede kış ve yaz için elektrik yükleri karşılaştırılmaktadır ve fazla olan yaz yükü 175 kWh'a göre seçim yapılmaktadır. Talep edilen tepe (pik) yük, Çizelge 4.1'den alınan pik yük karşılama oranı ile çarpılarak BIG sisteminin 122,5 kWh'lık pik

yükü karşılayabilecek bir kapasitede olması beklenmektedir. Senaryoda 130 kW_e güç kapasitesinde BIG sistemi seçilmiştir.

BIG sistemi için güç-ısı oranının 1 olması sebebiyle elektrik ve ısı kapasiteleri (E_{BIG} ve Q_{BIG} değerleri) aynı olmaktadır. Yaz işletmesinde BIG elektrik kapasitesi toplam elektrik talebini karşılamaya yetmediği için 45 kWh yük şebekeden karşılanmaktadır.

Kış işletmesi için BIG sistemi Şekil 3.5 'te yazılan akış adımlarına göre olarak ısı yükü takip ederek çalışmaktadır. Toplam ısı talebi BIG maksimum ısı kapasitesinden büyük olduğu için birlikte ısı güç sistemi tam kapasite ile çalışmaktadır.

Yedek Kazan

Birlikte ısı ve güç sistemi kapasite seçimine göre mevsimlik olarak yedek kazan ihtiyacı kapasitesi hesaplanmaktadır. Kış işletmesinde eksik kalan ısı yüküne göre 20 kW_h kapasitede bir kazan seçilmiştir, yaz işletmesinde ise ısı yüklerinin karşılanmasında yedek kazan ihtiyacı bulunmamaktadır.

Çizelge 3.14'te senaryo 1 için yapılan kazan hesaplamaları ve sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3.14 Senaryo 1 kazan veri sonuçları

SİSTEM	Senaryo 1	
	KIŞ	YAZ
Kazan Verimi	0,9	
Kazan Kullanım Kapasitesi	20	0
İhtiyaç Olan Kazan Kapasitesi (kW)	20	0

Chiller (soğutma grubu)

Mevsimlik soğutma talepleri karşılaştırılarak chiller (soğutma grubu) kapasitesi (S_C) fazla olan mevsimlik yükü karşılayacak şekilde seçilmektedir. Soğutma talebi elektrik yükü (Q_{EC}) mevsimlik soğutma performans katsayısı (COP_C) ve chiller (soğutma grubu) kapasitesi (S_C) değerleri denklem (3.16)'da yerine konularak hesaplanmaktadır.

Belirlenen soğutma kapasitesine (S_C) sahip chiller (soğutma grubu), çalıştığı mevsimlik dönemde sistemden çektiği elektrik kadar mevsimlik elektrik yükünü arttırmaktadır. Chiller (soğutma grubu) elektrik yükü mevsimlik toplam elektrik talebine eklenerek toplam talebe göre şebekeden elektrik ihtiyacı olup olmadığı kontrol edilmektedir.

Chiller (soğutma grubu) için yapılan hesaplamalar Çizelge 3.15'te verilmektedir.

Çizelge 3.15 Senaryo 1 soğutma grubu veri ve sonuçları

SENARYO	Senaryo 1	
	KIŞ	YAZ
COP	3,0	2,5
Soğutma Kapasitesi (kW)	100	300
Çekilen Elektrik	33,3	120

Yakıt/Enerji Maliyetleri

Senaryo 1'de yakıt girdisi kullanılacak enerji dönüştürüm sistemleri; birlikte ısı ve güç sistemi ve yedek kazandır.

Kış işletmesinde kullanılacak olan ve 20 kW_h olarak belirlenen anlık kazan yükü, işletme faktörü, kapasite faktörü ve yaz/kış için ısıtma/soğutma gün sayıları ile mevsimlik kazan yükü (Q_{MKY})

belirlendikten sonra bu değer ve kazan verimi denklem (2.2)'de kullanılarak mevsimlik yakıt tüketimi (YT_K) hesaplanmaktadır.

BIG sisteminde ise daha önce çalışma prensiplerine göre belirlenen BIG mevsimlik çalışma kapasiteleri BIG elektrik verimine bölünerek anlık yakıt tüketimleri mevsimlik olarak hesaplanmaktadır.

Senaryoda kış ve yaz işletmeleri anlık BIG yakıt tüketimleri 37 m^3 olarak hesaplanmıştır. Mevsimlik yakıt tüketimi (YT_{BIG}) ise denklem (2.21)'de işletme ve kapasite faktörü, ısıtma/soğutma gün sayıları kullanılarak hesaplanmaktadır.

Anlık yakıt tüketimleri, 24 saat ve ısıtma/soğutma gün sayısı ile çarpılarak sistemlerin mevsimlik yükleri hesaplanmaktadır. Yıllık yakıt tüketimleri hesaplanırken kullanıcı verisi olarak alınacak işletme ve kapasite faktörleri ile mevsimlik yükler düzeltilerek günlük meteorolojik değişkenlik ve mevsimlik aylık değişkenlikler minimuma indirilmektedir. Senaryoda yakıt olarak doğalgaz kullanılmakta olup yoğunluk değeri de 10 kWh/m^3 olarak alınmıştır.

Enerji dönüştürüm sistemleri yıllık yakıt maliyeti (M) mevsimlik yakıt tüketimleri ve yakıt birim maliyet değeri denklem (2.22) 'de yerine konularak hesaplanmaktadır. Yakıt için birim maliyetleri b (m^3/TL) kullanıcı verisi olarak alınmaktadır. Senaryoda doğalgaz birim yakıt maliyeti $0,9 \text{ TL/m}^3$ olarak alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Şebekeden çekilecek toplam yük ($Q_{\text{şebeke}}$), BIG sistemi kapasitesi toplam elektrik talebinden küçükse aradaki fark kadar olmaktadır. Şebeke elektrik maliyeti $M_{\text{şebeke}}$, hesaplanan fark ve kullanıcı verisi olan şebeke birim elektrik fiyatı (a) çarpılarak hesaplanmaktadır.

Kış ve yaz için toplam elektrik talepleri Çizelge 3.11 ve Çizelge 4.12'de verilmektedir. Birim elektrik maliyeti (a) ise kullanıcı verisi olarak alınan ve tek tarife olarak kabul edilen 0,5 TL/ kWh 'tir. Hesaplamalar mevsimlik olarak yapılmaktadır ve bu durumda kış mevsimi, ısıtma gün sayısına göre, yaz mevsimi soğutma gün sayısına göre belirlenmektedir. Denklem (2.23) ile mevsimlik şebeke elektrik tüketim maliyetleri hesaplanmaktadır.

Senaryo yakıt ve enerji maliyetleri mevsimlik olarak Çizelge 3.16 ve Çizelge 3.17'de verilmektedir.

Çizelge 3.16 Senaryo 1 kış mevsimi enerji/yakıt maliyetleri

Kışlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	28800
Mevsimlik yakıt tüketimi(m ³)	3200
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	2880
Mevsimlik yakıt tüketimi (m ³)	112320
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	101088
Mevsimlik elektrik tüketimi	0
Mevsimlik elektrik maliyeti	0
Mevsimlik toplam maliyet (TL)	103968

Kış işletmesi elektrik yükü seçilen BIG sistemi ile karşılanmaktadır dolayısıyla mevsimlik elektrik yükü yoktur.

Çizelge 3.17 Senaryo 1 yaz mevsimi enerji/yakıt maliyetleri

Yazlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi(m ³)	0
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi (m ³)	92664
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	83397,6
Mevsimlik elektrik tüketimi (şebeke)	112266
Mevsimlik elektrik maliyeti	56133
Mevsimlik toplam maliyet (TL)	139530,6

Yaz işletmesinde ısı yüklerinin tamamı BIG sistemi ile karşılanabildiği için kazan yakıt maliyeti bulunmamaktadır.

Senaryoda, birlikte ısı ve güç, Chiller (soğutma grubu) ve yedek kazan sistemlerinin kullanılmasından dolayı ilk yatırım maliyetleri bu üç sistemin maliyetleri toplamı olarak alınmaktadır. Seçilen enerji dönüştürüm sistemleri kapasiteleri (*SK*) ve birim maliyetleri (*BM*) denklem (2.24)'te kullanılarak sistemlerin ilk yatırım maliyetleri (*YM*) hesaplanmaktadır.

Kazan için kış işletmesi kazan anma kapasitesi olarak 20 kW olarak belirlenmiştir. Kazan birim maliyet değeri 100 TL/kW alınarak ilk yatırım maliyeti 2000 TL olarak hesaplanmıştır.

Chiller (soğutma grubu)'da yaz talep yükü takip edilmektedir. Talep edilen en yüksek yük 300 kW'tır ve bu yük soğutucu kapasitesi olarak belirlenmiştir. Birim maliyet değeri 250 TL/kW olarak alınmıştır. Bu durumda ilk yatırım maliyeti 75000 TL olarak hesaplanmıştır.

BIG sistem kapasitesi 130 kW olarak belirlenmiştir. Birim maliyet değeri 1200 TL/kW_e olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 156000 TL olarak hesaplanmıştır.

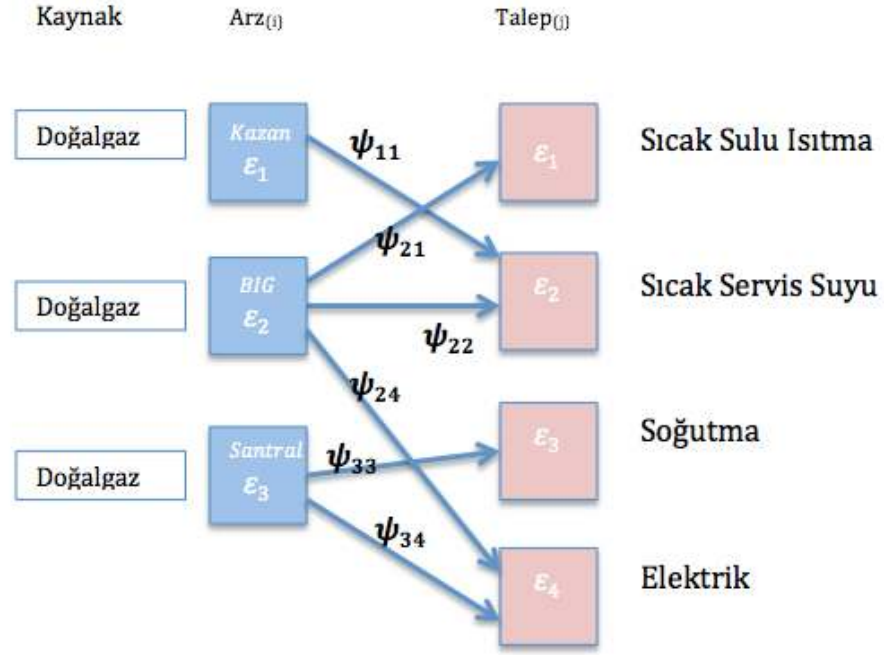
Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için toplam maliyet kalemleri; yakıt /enerji maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve bakım/onarım maliyetleri olacaktır. Bakım ve onarım maliyeti için denklem (2.25) kullanılarak hesaplanan değer toplam maliyete eklenmektedir. Senelik enerji/yakıt maliyeti mevsimlik maliyetlerin toplamından oluşmaktadır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.18’te verilmektedir.

Çizelge 3.18 Senaryo 1 senelik toplam maliyetler

Maliyet Kalemleri	Tutar (TL)
Yıllık Toplam Enerji/Yakıt Maliyeti	243498,6
Sistem İlk Yatırım Maliyeti	233000
Bakım/Onarım	23300
TOPLAM MALİYET (TL)	499798,6

3.1.2.2. Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri

Modelde elektrik talebi öncelikli olarak BIG sisteminden eksik kalan yüklerde ise şebekeden, ısıtma talebi de öncelikli olarak BIG sisteminden, eksik kalan yüklerde ise klasik doğalgaz ile çalışan alışılmış türdeki bir kazandan, soğutma talebi gaz sıkıştırırmalı ve elektrik gücüne dayalı chiller (soğutma grubu)’dan karşılanmaktadır.



Şekil 3.9 Senaryo 1 ekserji arz ve talepleri

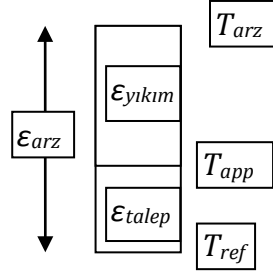
ψ_{12} değeri kazan tarafından sıcak servis suyu için olan arz ve talep arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ve ψ_{21} ve ψ_{22} değerleri konfor ve sıcak su ısıtı için olan arz ve talepler arasındaki kısmi akılcı ekserji verimlerini, ψ_{33} soğutma arz (BIG'den sağlanan elektrik) ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{24} ve ψ_{34} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimlerini göstermektedir.

Kış işletmesi ortalama akılcı ekserji verimi;

Isıtma talebi yüksek (Konfor ısıtması) ve düşük ekserji (Sıcak su) talepleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kış işletmesinde, BIG sistemi kapasitesi öncelikli olarak yüksek ekserji talebini daha sonra kalan kapasitesi ile düşük ekserji talebi karşılamaktadır. Q_{BIG} (130 kWh) öncelikli olarak 50 kWh yüksek ekserji ısı talebini daha sonra da 80 kWh düşük ekserji talebini karşılamaktadır. Kalan 20 kWh

düşük ekserji ısı talebi kazan tarafından karşılanmaktadır.

Bu durum için aşağıdaki ekserji akış çubuğu çizilerek ve ekserji hesaplamaları denklem (2.29) ve denklem (2.31) kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.10 Senaryo 1 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu

Uygulamada çözümleme sınırı sıcak su talep noktalarına (90°C ve 40°C) kadar alınmıştır. Yüksek ekserjide konfor ısı talebi (90 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$, $T_{talep1}= 363\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep1}}\right) = \varepsilon_{talep} = \left(1 - \frac{283}{363}\right) = 0,22 \quad \{\text{Isıtma}\}$$

Düşük ekserjide sıcak su ısı talebi (40 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$, $T_{talep2}= 313\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=2} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right) = \left(1 - \frac{283}{313}\right) = 0,1$$

Doğal gaza dayalı ekserji arzı T_{arz} (doğal gazın açık ortamda yanma sıcaklığı yaklaşık 2100 K) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{i=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) = \left(1 - \frac{283}{2100}\right) = 0,86 \quad \{\text{doğal gaz}\}$$

Isıtma için kısmi akılcı ekserji verim değerleri denklem (2.34) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{kazan ile düşük ekserji ısıtma \}$$

$$\psi_{21} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,22}{0,86} = 0,26 \quad \{BIG ile yüksek ekserji ısıtma \}$$

$$\psi_{22} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{BIG ile düşük ekserji ısıtma \}$$

Soğutma sistemi için de denklem (2.30)'da değerler yerine konularak ekserji talebi hesaplamaları yapılmaktadır. Bu uygulamada, elektrik enerjisi kullanarak soğutma yapan chiller (soğutma grubu) sisteminde ekserji önce yıkılmaktadır. Bu durumda ekserji akış çubuğu şekil 3.10'daki gibi olmaktadır. Senaryoda soğutma için T_{talep} değeri 280 K 'dir.

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{283}{280} \right) \right]$$

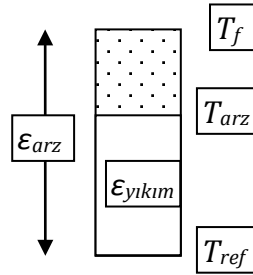
$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{280}{283} \right) \right] = 0,066 - 0,011 = 0,055$$

Denklemden T_{talep} değerinin T_{ref} değerinden küçük olduğu durumlarda kesir ters çevrilerek işleme devam edilmektedir.

Bu uygulamada elektrik üretimi için doğal gazın kullanıldığı bir birlikte ısı ve güç sistemi göz ardı edilerek doğal gazdan elde edilen elektrik (BIG'bağımsız) ile konfor soğutması incelenmiş ve doğal gazın birim ekserji değeri 0,86 kullanılmıştır. Soğutma için kısmi akılcı ekserji verim değeri denklem (2.34) ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

Uygulamada elektrik üretimi için, ekserji yıkımı uygulamadan sonra düşük ekserjilerde olduğu dikkate alınarak ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.36) 'da değerler yerine konularak hesaplamalar yapılırsa termik santralde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri 0,39 olarak hesaplanmaktadır.

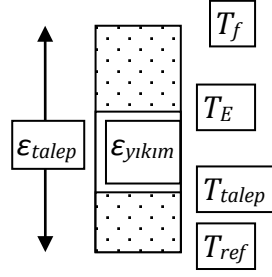


Şekil 3.11 Senaryo 1 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım1}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$$\psi_{34} = 1 - \frac{1 - \frac{283}{600}}{0,86} = 0,39$$

Aynı şekilde BIG sisteminde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri için ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.38) 'da değerler yerine konularak ψ_{24} değeri hesaplanır.



Şekil 3.12 Senaryo 1 BIG elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım1}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{talep}}{T_E}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$T_f = 2100$ K (Doğal Gaz), $T_E = 450$ K, $T_{ref} = 283$ K,

$T_{talep} = 90^\circ\text{C}$ (363 K) olarak alınmıştır ve ψ_{24} değeri 0,78 olarak hesaplanmıştır.

Tüm sistem bir bütün olarak düşünülürse ortalama akılcı ekserji yönetimi verimi değerini hesaplamak için tüm kısmi akılcı ekserji verim değerleri, ilgili birinci kanun verimleri ve enerji talepleri denklem (2.37)'de yerine konulmaktadır.

Uygulamada, ısıtma için kullanılan kazan verimi (η_k) 0,9 , soğutma sisteminde chiller COP değeri 3 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda BIG sistemi yararlı ısı kısmi verimi ($CHPH\eta$) 0,5 , BIG sistemi güç üretimi kısmi verimi ($CHPE\eta$) 0,4 'tür. Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.

Kış işletmesi ortalama akılcı ekserji hesaplaması;

Enerji talepleri, kazan için düşük ekserji enerji talebi (Q_1) 20 kWh, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_2) 80 kWh, BIG için yüksek

ekserji enerji talebi (Q_3) 50 kWh, soğutma talebi (Q_4) 100 kWh, elektrik talebi (Q_5) 88,3 kWh 'tir.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{12} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{21} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{22}} + \psi_{22} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{23}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{34}} + \psi_{44} \times \frac{Q_{j=5}}{\eta_{45}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = \frac{0,12 \times \frac{20}{0,9} + 0,12 \times \frac{80}{0,5} + 0,26 \times \frac{50}{0,5} + 0,064 \times \left(\frac{100}{3}\right) + 0,78 \times \frac{88,3}{0,4}}{\frac{20}{0,9} + \frac{80}{0,5} + \frac{50}{0,5} + \left(\frac{100}{3}\right) + \frac{88,3}{0,4}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = 222,19/536.31=0,41$$

Yaz işletmesi ortalama akılcı ekserji hesaplaması;

Yaz işletmesinde ısı yükler BIG ile karşılanmaktadır ve kazan ihtiyacı bulunmamaktadır. Bu durumda ψ_{11} değeri yaz işletmesinde kullanılmamaktadır. Yüksek ekserji talebi bulunmayan yaz işletmesinde, ψ_{22} düşük ekserji ısı arz ve talepler arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{33} soğutma arz (BIG'den sağlanan elektrik) ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{24} ve ψ_{34} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.

Yaz işletmesinde toplam elektrik talebi 175 kWh'tır. Bu yükün 130 kWh'ı BIG ile karşılanmaktadır. Soğutma yükünün elektrik talebinin (120 kWh) tamamı ve bina elektrik yükünün (55 kWh) 10 kWh'i BIG ile karşılanırken geri kalan 45 kWh şebekeden çekilerek karşılanmaktadır.

BIG ile karşılanan düşük ekserji talebi için kısmi akılcı ekserji verimi;

$$\psi_{22} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{BIG \text{ ile düşük ekserji ısıtma} \}$$

Soğutma için kısmi akılcı ekserji verimi;

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

BIG sisteminde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri;

$$\psi_{24} = 1 - \frac{1 - \frac{363}{450}}{0,86} = 0,78$$

Termik santralde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri;

$$\psi_{34} = 1 - \frac{1 - \frac{283}{600}}{0,86} = 0,39$$

Enerji talepleri, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_1) 70 kWh, soğutma talebi (Q_2) 300 kWh, BIG ile karşılanan elektrik talebi 130kWh (Q_3), şebekeden çekilen elektrik talebi (Q_4), 45 kWh 'dir. Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{22} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{22}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{33}} + \psi_{24} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{24}} + \psi_{34} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{34}} +}{\sum_{j=1}^4 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = \frac{0,12 \times \frac{70}{0,5} + 0,064 \times \frac{300}{3} + 0,78 \times \left(\frac{130}{0,4}\right) + 0,39 \times \frac{45}{0,27}}{\frac{70}{0,5} + \frac{300}{3} + \frac{130}{0,4} + \frac{45}{0,27}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = 341,7/731,67=0,47$$

3.1.2.3. CO₂ salım hesaplamaları

Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için tüm sistemin sebep olduğu toplam karbon salım değeri denklem (2.26) ile hesaplanmaktadır. Senaryo 1’de modellenen sistemde temel senaryodan farklı olarak enerji dönüştürüm sistemlerine BIG sistemi eklenmiştir. Bu şekilde yaz ve kış işletmelerinde ısı ve elektrik talepleri öncelikle BIG sistemi ile karşılanmaya çalışılmıştır.

BIG sistemin talepleri karşılamada kullanılmasının akılcılığının yıllık toplam karbon salım miktarına etkisi incelenmektedir. Senaryoda karbon denkleminde kullanılan verim ve yakıtların birim karbon salım değerleri temel senaryodaki gibi alınmıştır.

Kış işletmesi için ortalama akılcı ekserji verim değeri $\overline{\psi_{R1}} = 0,41$, yıllık toplam ısı talebi $Q_H = 216000$ kWh ve yıllık toplam elektrik talebi $Q_E = 267120$ kWh, yaz işletmesi için $\overline{\psi_{R2}} = 0,47$, $Q_H = 83160$ kWh, $Q_E = 436590$ kWh ‘tir. Kış işletmesinde elektrik talebinin tamamı BIG ile karşılanırken, yaz işletmesinde ise toplam talebin 112266 kWh’ti şebekeden karşılanmaktadır. BIG ile karşılanan yükler için BIG elektrik verimi 0,4 alınmıştır.

Kış işletmesinde ısı yükünün kazan ve BIG ile birlikte karşılanmasından dolayı karbon hesaplamalarında toplam ısı yükünün sebep olduğu karbon salımı hesaplanırken sistem verimi ortalama bir değer olarak hesaplanmıştır. Bu değer BIG ve kazanın karşıladıkları ısı yükleri oranında sistem verimleri kullanılarak hesaplanıp denklemde 0,55 olarak alınmıştır. Elektrik yükünün tamamının BIG ile karşılanabiliyor olması bu yükün

sebepler olacağı karbon salımını sıfır yapacaktır. Bu da BIG sistemi kullanarak sağlanan akılcılığın karbon salımındaki faydasıdır.

Yaz işletmesinde tüm ısı yükü BIG ile sağlandığı için denklemden kullanılan verim değeri BIG ısı verimi (0,5)' dir. BIG sistemiyle karşılanamayıp şebekeden alınan elektrik yükünün karbon salımı da toplam salım üzerine eklenmiştir.

Kış işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,55} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,41) \right] \times 216000 + 0$$

$$\sum CO_2 = 220,15 \text{ ton } CO_2$$

Yaz işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

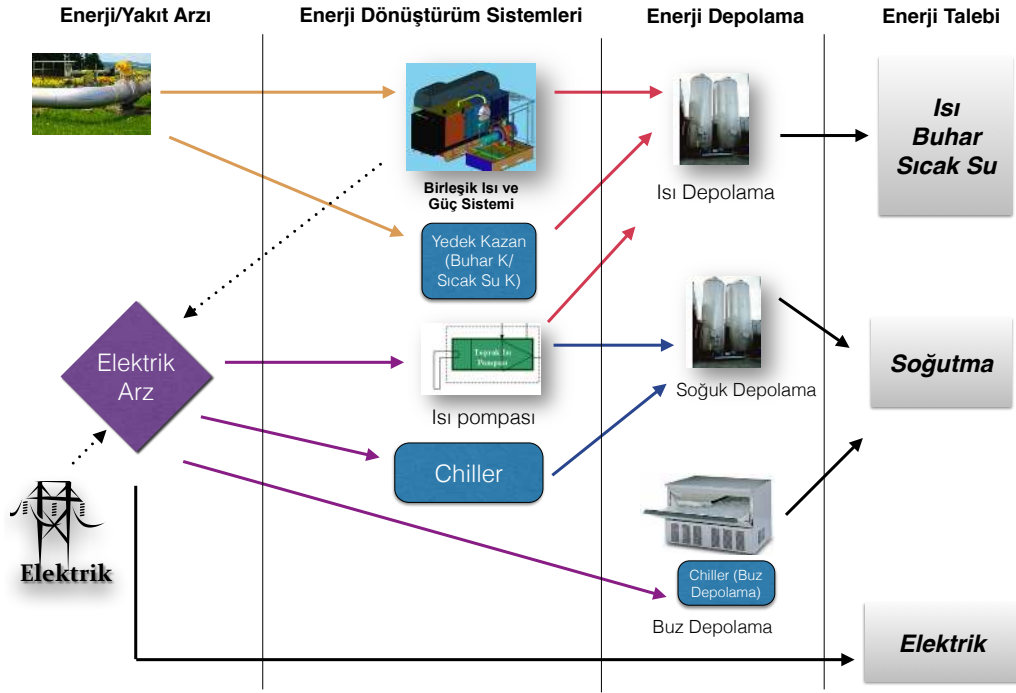
$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,5} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,47) \right] \times 83160 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) \times 112266 + 0$$

$$\sum CO_2 = 206,98 \text{ ton } CO_2$$

3.1.3. Senaryo 2

Senaryo 2 'de daha önce modellenen senaryolara ek olarak ısı pompası ve ısı depolama sistemleri eklenmiştir. Ana enerji ve güç kaynağı olarak yüksek verimli birlikte ısı ve güç sistemi öncelikli olarak kullanılmaktadır. İncelenen modellemelerde, özellikle ısı yüklerinde kullanılacak depolamanın diğer sistem modellerine göre katkıları araştırılmaktadır.

Isı Pompası Eklenen Sistem Tasarımı (Senaryo 2)



Şekil 3.13 Senaryo 2 enerji arz ve talepleri

Kullanılan Enerji Dönüştürüm Sistemleri;

- Isıl depolama sistemleri
- Isıtma ve elektrik taleplerini karşılamak için birlikte ısı ve güç sistemi
- Mevsimlere göre ısıtma/soğutma amaçlı ısı pompası
- Isıtma talebini karşılamak için destek olarak kazan
- Soğutma talepleri için Chiller (soğutma grubu)

kullanılmaktadır.

Sistem tasarımında Birlikte Isı ve Güç Sistemi, Yedek Isı Kazanı (Buhar K./Sıcak Su Kazanı), ısı pompası, Chiller (soğutma grubu) (soğutma grubu) enerji dönüştürüm sistemleri ve ısı depolama kullanılarak talep edilen yükleri karşılamak üzere akılcı kapasite

seçimleri yapmak, enerji tüketimlerini doğru dağıtmak ve yakıt maliyetlerini düşürmek amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.19’da senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri, kapasite ve maliyet değeri verilmektedir. Enerji dönüştürüm sistem kapasiteleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanıp tabloya eklenmiştir.

Çizelge 3.19 Senaryo 2 enerji dönüştürüm sistemleri

Enerji Dönüştürüm Sistemleri				
Sistem Türü	Mevcut mu?	Kapasite	Birim	Maliyet
BIG	E			120000
BIG ELEKTRİK*	E	100		
BIG ISI	E	100		
Yedek Kazan	H	0	kW	0
Çiller (soğutma grubu)	E	90		22500
Buz	E	0		0
Soğutma	E	90	kW	22500
Isı Pompası	E	120		90000
Isı Pompası Isıtma	E	20		
Isı Pompası Soğutma	E	120		
Absorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Adsorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Rüzgâr Türbin	H			0
PV	H			0
PVT	H			0
PVTC	H			0
PHVT	H			0
Depo	E			0
Buz deposu (+çiller)				
Soğuk su deposu				
Sıcak su deposu				
Biyogaz Reaktörü	H			0

Şekil 3.13' de görüldüğü üzere, ısı enerji talebi öncelikli olarak BIG sistemi ile karşılanmaya çalışılırken karşılanamayan talep oluştuğunda mevsimlik yükler kontrol edilerek öncelikli olarak ısı pompası ve ekstra yüklerde de yedek kazan devreye alınmaktadır.

Soğutma talebi için mevsimlik seçimlere göre Chiller (soğutma grubu) ve/veya ısı pompası kullanılmaktadır. Yaz mevsimlik soğutma yükü takibi Chiller (soğutma grubu) ve ısı pompası ile birlikte yapılmaktadır. Bu iki sistem için kullanıcı verisi olarak kullanım oranı değişkeni alınarak belirli oranda soğutma yükünün paylaştırılması sağlanmaktadır. Senaryoda kış mevsimi ısıtma yükünün yüksek olmasından dolayı ısı pompası öncelikli olarak ısı yükünü takip edecek şekilde tercih edilmektedir. Isı pompası seçilen BIG sisteminin ısı yükü karşılayamama durumunda kalan ısı talebin karşılanmasında kullanılmaktadır. BIG ve ısı pompası toplam ısı talebin karşılanmasında yetersiz kalırsa yedek kazan ihtiyacı hesaplanarak kalan yük yedek kazan ile desteklenmektedir. Soğutma yükünün tamamı ise chiller (soğutma grubu) ile karşılanmaktadır.

Toplam elektrik talebini; bina, chiller (soğutma grubu) ve ısı pompası elektrik yükleri kalemleri oluşturmaktadır. Elektrik talebi öncelikli olarak BIG sistemi ile karşılanmaya çalışılmaktadır, yeterli olmayan yüklerde ise şebeke desteği alınmaktadır. Seçilen BIG sisteminin mevsimlik hesaplamalarda oluşan elektrik talebinden fazla güç üretimi olması durumunda, şebeke beslenerek toplam maliyetlerde azalma sağlanacaktır.

Modelde, BIG sistemi yakıt girdisi olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Her sistem için hesaplanan mevsimlik yakıt tüketimleri ve kullanıcı verisi olarak alınacak yakıt birim maliyeti kullanılarak toplam yakıt maliyetleri senaryo 2 için hesaplanmaktadır.

Senaryo 2'de, ısı enerji depolama kullanılmaktadır. Enerji depolama ile enerji arz ve talepleri arasında pik yüklerin kullanım değişkenlikleri

azaltılarak sabit yük takibi yapılmaktadır. Böylelikle depolar, ısı yüklerinin üretiminde, dağıtımında, atık ısı kazanımında denetim etkinliğini arttırmakta ve ekserji verimliliğini yükseltmektedir. Isıl talep yükleri pik yük törpüleme faktörü kadar azaltılarak arz edilen ısı enerjide kazanç sağlanmaktadır.

3.1.3.1. Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları

Enerji dönüştürüm sistemleri, yaz/kış işletmeleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanarak modellenmektedir. Çizelge 3.21 ve Çizelge 3.23'te yaz ve kış işletmesi elektrik talepleri verilmektedir. Bina elektrik yükü sabit kullanıcı verisi olarak alınmaktadır. Eklenen chiller (soğutma grubu) elektrik yükü, soğutma talebinin chiller tarafından karşılanmasından dolayı kaynaklanmaktadır ve soğutma talebine göre değişkenlik göstermektedir. Isı pompası elektrik talebi yazın soğutmanın elektrik yükü kışın ise ısıtmanın elektrik yükünden kaynaklanmaktadır.

Senaryoda kullanılan ısı yükleri Çizelge 3.1'de kullanıcı verisi olarak alınan ve tüm senaryolarda sabit olan yüklerdir. Fakat bu senaryoda ısı depolama kullanılmasından dolayı tablodaki ısı yüklerinde belirtilen pik yük törpüleme faktörleri oranında düzeltme yapılmıştır. Talep yüklerindeki düzeltme sonrası yeni değerle yaz ve kış işletmeleri için aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

Kış işletmesi;

Çizelge 3.20 Senaryo 2 kış mevsimi ısı talepleri

BİNA ISI TALEPLERİ (KIŞ)			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık (T)
ISI TALEBİ			
Yüksek Ekserji	40	kWh	363 K
Düşük Ekserji	80	kWh	313 K
SOĞUTMA TALEBİ	90	kWh	290K

Çizelge 3.21 Senaryo 2 kış mevsimi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
Bina Elektrik	55,0	kWh	5600 K
Chiller Elektrik Talebi	30,0	kWh	
Isı Pompası Elektrik Talebi	6,7	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	91,7	kWh	

Yaz işletmesi;

Çizelge 3.22 Senaryo 2 yaz mevsimi ısı talepleri

BİNA ISI TALEPLERİ (YAZ)			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
ISI TALEBİ			
Yüksek Ekserji	0	kWh	363 K
Düşük Ekserji	63	kWh	313 K
SOĞUTMA TALEBİ	180	kWh	290K

Çizelge 3.23 Senaryo 2 yaz mevsimi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
Bina Elektrik	55	kWh	5600 K
Chiller Elektrik Talebi	24	kWh	
Isı Pompası Elektrik Talebi	40	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	119	kWh	

Isı Depolama Sistemi

Sistem modelinde ısı depolama, soğuk depolama ve buz depolama bileşenleri bulunmaktadır. Çalışmada bu depolama sistemlerinin sadece talep yüklerde sağladığı destek dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Depolama sistemleri detayları çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

Depolama sistemleri, ısı yük taleplerinde kullanılan pik yük törpüleme faktörü oranında azaltım sağlamaktadır. Normal şartlarda yük profiline, depo kapasitelerine ve işletme faktörlerine bağlı olan bu faktör, senaryoda kullanıcı verisi olarak sabit bir değer alınmaktadır.

Yaz ve kış mevsimleri ısı talepleri için ayrı ayrı alınan ısı, soğuk ve buz depolama faktörleri talep yüklerle çarpılarak enerji dönüştürüm sistemlerinin kullanacakları talep yüklerin yeni değerleri belirlenmektedir. Çizelge 3.1'den alınan kullanıcı verilerine göre kış ısı talep değerleri (ısıtma 50 kW yüksek ekserji ve 100 kW düşük ekserji, soğutma 100 kW) pik yük törpüleme değerleri (ısıtma 0,8 ve soğutma 0,9) oranında sırasıyla azaltılmaktadır. Bu talep yüklerinin yeni değerleri Tablo ()'da verilmiştir. Tablo()' de yine aynı şekilde yaz ısıtma ve soğutma yükleri (ısıtma 70 kW düşük ekserji, soğutma 300 kW) pik yük törpüleme faktörü değerleri (ısıtma 0,9 , soğutma 0,75 ve buz 0,15) oranında sırasıyla azaltılmaktadır. Yaz talep yüklerinin yeni değerleri Tablo ()'da verilmiştir.

Hesaplamalarda soğutma taleplerinde düzeltme yapılırken buz için pik yük törpüleme değeri soğutma pik yük değerinden çıkartılarak talep yükü çarpılmaktadır. Bu durumda yaz için soğutma talep yükü hesaplanırken pik yük törpüleme oranı 0,6 olmaktadır.

Isı Pompası

Isı pompası için yapılacak hesaplamalar mevsimlik kullanım amacına göre yapılmaktadır.

Yaz işletmesi ısı pompası hesaplamaları;

Yaz işletmesi için gereken ısı pompası kapasitesi, kullanıcı verisi olarak alınan soğutma yükünün ne kadarının ısı pompası ile karşılanması istenildiğini belirten kullanım oranıyla belirlenmektedir. Bu değer soğutma yüküyle çarpılarak ısı pompası kapasitesi hesaplanmaktadır.

Senaryo 2 için ısı pompası kullanım oranı toplam soğutma yükünün 2/3'ü kadardır. Dolayısıyla toplam soğutma yükünün (180 kW) bu orana göre hesaplanmış değeri 120 kW ısı pompasıyla karşılanmaktadır.

Isı pompasının istenilen oranda kullanması yaz soğutma yükünün elektrik talebini oluşturmaktadır. Isı pompasının çektiği elektrik miktarı, yaz için alınan *COP* değerinin denklem (2.6)'da yerine konulmasıyla 40 kW olarak hesaplanmıştır ve bu değer toplam elektrik talebine girdi olarak eklenmektedir.

Kış işletmesi ısı pompası hesaplamaları;

Isı pompası, kış mevsiminde yüksek ısı talebinden dolayı ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Seçilen BIG sistemi maksimum ısı

kapasitesinin karşılayamadığı ısı talebi olması durumunda aradaki fark ısı pompası kapasitesini belirlemektedir. BIG sistemi maksimum ısı kapasitesinin ısı talebinden büyük olması durumunda ise ısı pompası kullanılmayacaktır. Bunun için aşağıdaki koşul yazılarak kapasite belirlenmesi yapılmaktadır.

$$=EĞER (H_{CHP} > Q_H; 0; Q_H - H_{CHP})$$

Bu koşula göre kış işletmesi toplam ısı yükünün (120 kW) 100 kW (H_{CHP}) kadarı BIG sistemi ile karşılanmaktadır. Kalan 20 kW ısı yükü kış işletmesinde ısı pompasıyla karşılanmaktadır. Isı pompası, ısı talebini karşılarken yaz soğutma kapasitesi ile karşılaştırılarak bu değerden fazla olması durumunda ısı taleplerin karşılanması için yedek kazan devreye alınmaktadır.

Isı pompası ihtiyacı olması durumunda, hesaplanan kapasite ve COP değeri denklem (2.6)'da kullanılarak ısıtma yükünün elektrik talebi hesaplanmaktadır. Senaryoda kış işletmesi için ısı pompası elektrik talebi 6,7 kW'tır.

Isı pompası için yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 3.24'te verilmektedir.

Çizelge 3.24 Senaryo 2 ısı pompası veri ve sonuçları

SİSTEM	Senaryo 2	
	KIŞ	YAZ
COP	3,0	3,0
Kapasitesi	20	120
Çekilen Elektrik (kWh)	6,7	40

Chiller (soğutma grubu)

Yaz işletmesi soğutma grubu hesaplamaları

Chiller (soğutma grubu) kullanım kapasitesi, kullanıcı verisi olarak alınan chiller (soğutma grubu) kullanım oranı ve yaz soğutma yükünün çarpılması ile hesaplanmaktadır. Bu şekilde istenilen oran doğrultusundaki soğutma yükü chiller (soğutma grubu) kapasitesini belirlemektedir. Senaryoda yaz soğutma yükünün 1/3'ü chiller ile karşılanmaktadır. 180 kWh soğutma yükünün 60 kWh'ı chiller ile karşılanacaktır.

Yaz soğutma yükünün karşılanmasında kullanılan chiller (soğutma grubu) soğutma yükü elektrik talebi miktarı, chiller kullanım kapasitesi ve *COP* değeri denklem (2.16)'da yerine konularak 24 kWh olarak hesaplanmıştır ve toplam elektrik talebine eklenmiştir.

Kış işletmesi soğutma grubu hesaplamaları

Senaryoda soğutma talebinin tamamı chiller (soğutma grubu) (soğutma grubu) ile karşılanmaktadır. Soğutma yükü elektrik talebi denklem (2.16) ile hesaplanarak toplam elektrik talebine eklenmektedir.

Soğutma grubu için mevsimlik yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 3.25'te verilmektedir.

Çizelge 3.25 Senaryo 2 soğutma grubu veri ve sonuçları

SENARYO	Senaryo 2	
	KIŞ	YAZ
<i>COP</i>	3,0	2,5
Soğutma Kapasitesi	90	60
Çekilen Elektrik	30	24

Yaz ve kış mevsimleri için belirlenen chiller (soğutma grubu) (soğutma grubu) kapasiteleri karşılaştırılarak büyük olan yüke göre anma kapasitesi belirlenmektedir. Yapılacak yatırım bu seçime göre belirlenmektedir. Senaryoda chiller (soğutma grubu) kapasite ihtiyacı kış işletmesinde daha büyüktür bu durumda karşılaştırma sonucuna göre 90 kW'lık bir chiller seçilmiştir.

Birlikte Isı ve Güç Sistemi

BIG sistemi seçilecek kapasite kararı mevsimlik yüklerin karşılaştırılmasıyla verilmektedir. Yaz işletmesinde kullanılacak ısı pompası ve chiller oranları belirli değerler olması elektrik taleplerinin sabit olarak hesaplanabilmesine olanak sağlamaktadır.

Fakat kış işletmesinde seçilecek BIG sistemi maksimum ısı kapasitesine göre karşılanamayan ısıtma yükü için kış mevsiminde ısı pompası desteği alınmaktadır. Bu durumda ısıtma yükünün elektrik talebi oluşacaktır. Kış mevsimi elektrik yükü, seçilecek kapasitelere göre değişkenlik göstermesinden dolayı aşağıdaki elektrik talebi toplamı formülü yazılarak seçilen her değişik kapasiteye göre kalan ısı talebi kontrol edilerek kış mevsimi ısı pompası elektrik talebi hesaplanmıştır. Hesaplanan elektrik talebi mevsimlik toplam elektrik talebine eklenmektedir.

$$= \text{Kış mevsimi toplam elektrik talebi} + ((Q_H - H_{CHP})/COP_{HP})$$

Her iki mevsim için belirlenen pik elektrik yükü talepleri karşılaştırılarak büyük olan yüke göre BIG güç kapasitesi belirlenmektedir. Bu karşılaştırma aşağıdaki koşula göre yapılmaktadır :

$$= E_{\check{G}ER} (\text{kış elektrik talebi} > \text{yaz elektrik talebi}; \text{kış elektrik talebi}; \text{yaz elektrik talebi})$$

Bu koşul sonucu alınacak değer, kullanıcı verisi olarak alınacak BIG sistemi pik yük karşılama oranı ile çarpılarak pik yükün ne kadarının BIG sistemi tarafından karşılanmak istendiği hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, BIG sistemi kapasitesi pik elektrik yüküne göre değil hesaplanan talep yükünün yeni değeri dikkate alınarak seçilmektedir.

Bu koşullar altında kış işletmesi elektrik talebi 91,7 kWh, yaz işletmesi elektrik talebi 119 kWh olan senaryoda yaz elektrik yüküne göre seçim yapılmıştır ve pik yük karşılama oranında (0,7) azaltılarak 83,3 kWh olarak alınmıştır.

Pik yük karşılama oranına göre hesaplanmış yeni yük değerine uygun BIG sistemi anma kapasitesi (K_{CHP}) belirlenmektedir. Senaryo 2 için BIG sistemi anma kapasitesi (K_{CHP}) 100 kW olarak belirlenmiştir.

Belirlenen BIG sistemi kapasitesine göre senaryoda için ısı yük talepleri değerlendirilmektedir. Belirlenen BIG sistemi güç kapasitesi (E_{CHP}), denklem (2.8)'de kullanılarak ısı/güç oranına göre BIG sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}) hesaplanmaktadır. H_{CHP} , değeri senaryo 2 için 100 kW'tır.

Yaz mevsimi bina ısı yükleri (ısı, buhar, sıcak su...), BIG sistemi maksimum ısı kapasitesiyle karşılaştırılarak, model içerisinde yedek kazan ihtiyacı olup olmadığı varsa da ihtiyaç kapasitesi belirlenmektedir. Bu değer için aşağıdaki koşul kullanılmaktadır.

$$=EĞER (H_{CHP} > Q_H; 0; Q_H - H_{CHP})$$

BIG sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}), mevsimlik ısı talebinden büyük ise kazan ihtiyacı yoktur, küçük olması durumunda ise mevsimlik ısı talebi ile maksimum ısı kapasitesi farkı alınmaktadır.

Yaz işletmesi için ısı yük talebi 63 kW 'tır ve bu talep BIG sistemi maksimum ısı kapasitesi (100 kW) ile karşılandığı için senaryoda yaz işletmesi için yedek kazan kullanım ihtiyacı bulunmamaktadır.

Kış mevsiminde ısıtma talebinin karşılanması için enerji dönüştürüm sistemleri arası öncelik sırası BIG, ısı pompası ve yedek kazan şeklindedir. Bu durumda,

$$= E\check{G}ER \text{ (kış mevsimi ısı pompası kapasitesi} < \text{yaz mevsimi ısı pompası kapasitesi; } 0 ; Q_H - (H_{CHP} + Q_{HP}))$$

koşulu yazılarak, yaz mevsimi ısı pompası kapasitesinin kış mevsimi kapasitesinden büyük olması durumunda yedek kazan ihtiyacı olmayacaktır. Çünkü seçilen ısı pompası ihtiyaç duyulan ısı yükü karşılayabilecek kapasitededir. Bu koşul dışı kalan durumlarda toplam ısı talebinden birlikte ısı güç sistemi maksimum ısı kapasitesi ve ısı pompası ısı kapasiteleri toplamı çıkartılarak yedek kazan ihtiyacı belirlenmektedir. Senaryoda, kış işletmesi ısı yükün karşılanmasında yedek kazan ihtiyacı bulunmamaktadır.

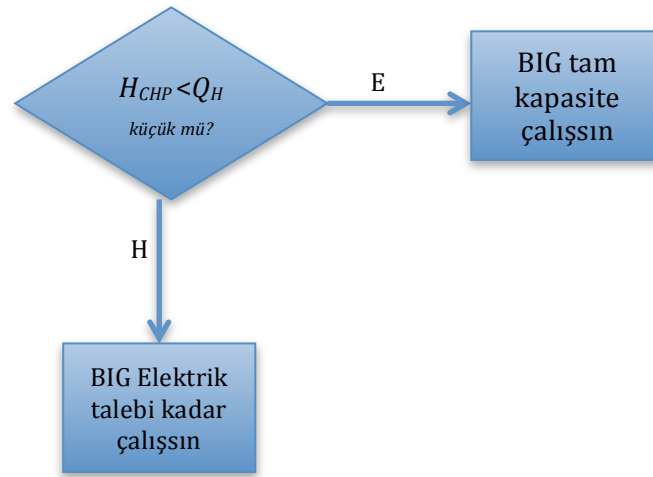
Seçilmiş olan BIG sistemi güç kapasitesi, mevsimlik elektrik yükü talepleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma için aşağıdaki koşul kullanılmaktadır.

$$=E\check{G}ER (E_{CHP} > Q_E; 0; Q_E - E_{CHP})$$

Karşılaştırma sonucu talep yükün üretimden fazla olması durumunda şebekeden çekilecek elektrik miktarı (Q_{sebeke}) hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer daha sonra mevsimlik enerji/yakıt maliyetleri hesaplamalarında kullanılmaktadır. Senaryoda kış işletmesi elektrik talebi (91,7 kWh) BIG sistemi elektrik kapasitesi (E_{CHP}) ile karşılanmaktadır. Yaz işletmesi elektrik talebi 119 kWh'dir ve bu yükün tamamı E_{CHP} (100 kWh) ile karşılanamadığından dolayı şebekeden elektrik çekilmektedir. Bu değer (Q_{sebeke}) senaryoda 19

kWh'dir. BIG sistemi saatlik yakıt tüketimi, mevsimlik olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

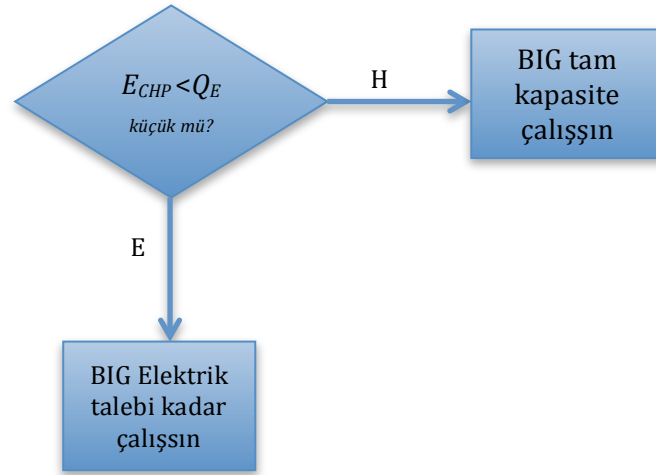
Kış mevsimi yakıt tüketimi hesaplamaları için öncelikle ısı yükü talebi (Q_H) ve birlikte ısı güç sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}) karşılaştırılmaktadır. Kış aylarında elektrik yerine ısı yüklerin fazla olmasından dolayı ısı yükler arası karşılaştırma yapılarak BIG sisteminin mevsimlik çalışma kapasitesi belirlenmektedir.



Şekil 3.14 Senaryo 2 kış mevsimi ısı yük karşılaştırma akışı

Yukarıdaki akışa göre tam kapasite çalışması kararı verilen BIG sistemi çalışma kapasitesi denklem (2.9) veya denklem (2.10)' da kullanılarak BIG sistemi saatlik yakıt tüketimi (YT_{CHP}) hesaplanmaktadır.

Yaz mevsimi yakıt tüketimi için ise elektrik kapasitesi ve talebi arasındaki karar koşulu izlenerek karar verilecektir.



Şekil 3.15 Senaryo 2 yaz mevsimi elektrik yükü karşılaştırma akışı

Yukarıdaki akışa göre kararı tam kapasite çalışması kararı verilen yaz mevsimi BIG sistemi çalışma kapasitesi denklem (2.9) veya denklem (2.10)'da kullanılarak BIG sistemi saatlik yakıt tüketimi (YT_{CHP}) hesaplamaktadır.

Tüm hesaplamaları detaylı bir şekilde anlatılan birlikte ısı ve güç sistemine ait sonuçlar Çizelge 3.26'da verilmektedir.

Çizelge 3.26 Senaryo 2 BIG sistemi veri ve sonuçları

BIG Sistemi	Senaryo 2	
	KIŞ	YAZ
c	0,7	0,7
C	1,0	1,0
Isı Verimi	0,5	0,5
Elektrik Verimi	0,4	0,4
Elektrik Talebi (pik yük)	91,7	119
Isı Talebi	120	63
CHP seçim için pik yük	83,3	
CHP elektrik Kapasitesi	100	
Maksimum Isı Kapasitesi	100	
Yakıt Tüketimi (m ³)	28,6	28,6
Yedek Kazan İhtiyacı	0	0
Şebeke elektrik ihtiyacı	0	19

Yedek Kazan

Birlikte ısı ve güç sistemi kapasite seçimine göre mevsimlik olarak hesaplanan yedek kazan ihtiyacı kapasitesi kazan verimi (η_k) ile birlikte denklem (2.2) kullanılarak, kazan yakıt kullanım miktarı belirlenmektedir. Her iki mevsim için de tablo()’da görüldüğü üzere yedek kazan ihtiyacı bulunmamaktadır.

Yakıt/Enerji Maliyetleri

Senaryo 2’de yakıt girdisi kullanılacak enerji dönüştürüm sistemleri; birlikte ısı ve güç sistemi ve yedek kazandır. Bu sistemlerin mevsimlik yakıt tüketimleri denklem (2.20) ve denklem (2.21) kullanılarak hesaplanacaktır. Yedek kazan senaryoda kullanılmadığından herhangi bir yakıt girdisi ve maliyeti bulunmamaktadır.

Her iki iletmede de BIG sistemi tam kapasite çalışmaktadır ve anlık yakıt tüketim miktarı Çizelge 3.26'da verildiği üzere 28,6 kWh'dir. Anlık yakıt tüketimleri, 24 saat ve ısıtma/soğutma gün sayısı ile çarpılarak sistemlerin mevsimlik yükleri hesaplanmaktadır. Yıllık yakıt tüketimleri hesaplanırken kullanıcı verisi olarak alınacak işletme ve kapasite faktörleri ile mevsimlik yükler düzeltilerek günlük meteorolojik değişkenlik ve mevsimlik çalışıldığı için aylık değişkenlikler minimuma indirilmektedir.

Enerji dönüştürüm sistemleri yıllık yakıt maliyeti (M) denklem (2.22) ile hesaplanmaktadır. Yakıt için birim maliyetleri b (m^3/TL) kullanıcı verisi olarak alınacaktır. Senaryoda birim maliyet değeri olarak doğalgaz verileri kullanılmıştır.

Şebekeden çekilecek toplam yük ($Q_{\text{şebeke}}$), BIG sistemi kapasitesi toplam elektrik talebinden küçükse aradaki fark kadar olmaktadır. Şebeke elektrik maliyeti $M_{\text{şebeke}}$, hesaplanan fark ve kullanıcı verisi olan şebeke birim elektrik fiyatı kullanılarak denklem (2.23) ile hesaplanmaktadır. Senaryoda elektrik birim fiyatı 0,5 TL/kWh olarak alınmıştır. Denklemden mevsimlik kullanım gün sayısı ile kış ve yaz mevsimleri için toplam mevsimlik maliyetlerin hesaplanması yapılmaktadır. Yine elektrik için işletme ve kapasite faktörleri ile mevsimlik düzeltmeler yapılarak şebeke ihtiyacının maliyeti hesaplanmaktadır.

Kış işletmesinde tüm elektrik talep yükü BIG sistemi ile karşılanırken yaz işletmesinde 19 kWh eksik kalan yük şebekeden alınmaktadır. Yıllık kış ve yaz işletmeleri için enerji/yakıt maliyetleri Çizelge 3.27 ve Çizelge 3.28 'de verilmiştir.

Çizelge 3.27 Senaryo 2 kışlık yakıt/enerji maliyetleri

Kışlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi(m ³)	0
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi (m ³)	86400
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	77760
Mevsimlik Isı Pompası Yükü (kWh)	28800
Mevsimlik Isı Pompası Elektrik tüketimi (kW)	9600
Mevsimlik elektrik tüketimi	0
Mevsimlik elektrik maliyeti	0
Mevsimlik toplam maliyet (TL)	77760

Çizelge 3.28 Senaryo 2 yazlık yakıt/enerji maliyetleri

Yazlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi (m ³)	0
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi (m ³)	71280
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	64152
Mevsimlik Isı Pompası Yükü (kWh)	57024
Mevsimlik Isı Pompası Elektrik tüketimi (kW)	19008
Mevsimlik elektrik tüketimi (şebeke)	47401,2
Mevsimlik elektrik maliyeti	23700,6
Mevsimlik toplam maliyet (TL)	87852,6

Yatırım Maliyetleri

Senaryoda, birlikte ısı ve güç, Chiller (soğutma grubu) , ısı pompası, ve yedek kazan sistemlerinin kullanılmasından dolayı ilk yatırım maliyetleri bu sistemlerin maliyetleri toplamı olarak alınmaktadır. Seçilen enerji dönüştürüm sistemleri kapasiteleri (SK) ve birim maliyetleri (BM) denklem (2.24)'te kullanılarak sistemlerin ilk yatırım maliyetleri (YM) hesaplanmaktadır.

Yedek kazan yaz ve kış işletmelerinde ihtiyaç duyulmadığından yatırım maliyeti bulunmamaktadır.

Chiller (soğutma grubu)'da yaz talep yükü takip edilmektedir. Talep edilen en yüksek yük 90 kW'tır ve bu yük soğutucu kapasitesi olarak belirlenmiştir. Birim maliyet değeri 250 TL/kW olarak alınmıştır. Bu durumda ilk yatırım maliyeti 22500 TL olarak hesaplanmıştır.

BIG sistem kapasitesi 100 kW olarak belirlenmiştir. Birim maliyet değeri 1200 TL/kW_e olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 120000 TL olarak hesaplanmıştır.

Isı pompası için seçilen kapasite 120 kW'tır. Birim maliyet değeri 750 TL/kW_h olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 90000 TL olarak hesaplanmıştır.

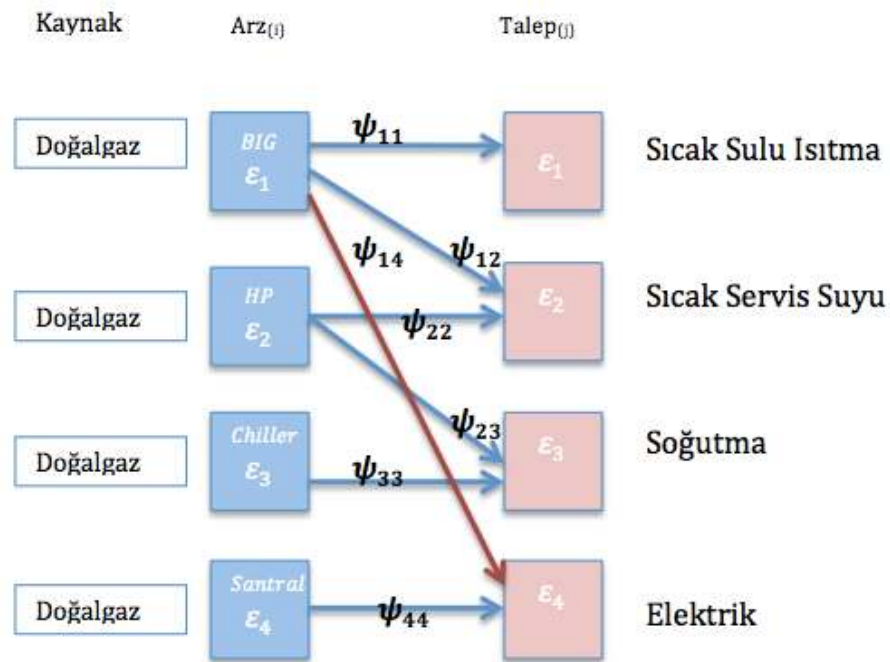
Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için toplam maliyet kalemleri; yakıt /enerji maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve bakım/onarım maliyetleri olacaktır. Bakım ve onarım maliyeti için denklem (2.25) kullanılarak hesaplanan değer toplam maliyete eklenmektedir. Senelik enerji/yakıt maliyeti mevsimlik maliyetlerin toplamından oluşmaktadır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.29'da verilmektedir.

Çizelge 3.29 Senaryo 2 senelik toplam maliyetler

Maliyet Kalemleri	Tutar (TL)
Yıllık Toplam Enerji/Yakıt Maliyeti	165612,6
Sistem İlk Yatırım Maliyeti	242500
Bakım/Onarım	24250
TOPLAM MALİYET (TL)	432362,6

3.1.3.2. Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri

Modelde elektrik talebi öncelikli olarak BIG sisteminden eksik kalan yüklerde ise şebekeden, ısıtma talebi de öncelikli olarak BIG sisteminden ve eksik kalan yüklerde ise kış işletmesinde ısı pompasından, soğutma talebi gaz sıkıştırılmalı ve elektrik gücüne dayalı chiller (soğutma grubu)' ve yaz işletmesinde eksik kalan yüklerde ısı pompasından karşılanmaktadır.



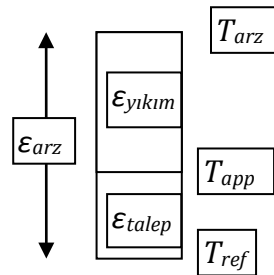
Şekil 3.16 Senaryo 2 ekserji arz ve talepleri

ψ_{11} ve ψ_{12} değerleri BIG tarafından ısı arz ve talep arasındaki kısmi akılcı ekserji verimlerini, ψ_{22} ısı pompası ile sağlanan sıcak su ısı arz ve talepleri arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{23} değeri ısı pompası ile sağlanan soğutma arz ve talepleri arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{33} soğutma arz ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{14} ve ψ_{44} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.

Kış işletmesi ortalama akılcı ekserji verimi;

Isıtma talebi yüksek (Konfor ısıtması) ve düşük ekserji (Sıcak su) talepleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kış işletmesinde, BIG sistemi kapasitesi öncelikli olarak yüksek ekserji talebini daha sonra kalan kapasite ile düşük ekserji talebi karşılamaktadır.

Q_{BIG} (100 kWh) öncelikli olarak 40 kWh yüksek ekserji ısı talebini daha sonra da 60 kWh düşük ekserji talebini karşılamaktadır. Kalan 20 kWh düşük ekserji ısı talebi ısı pompası tarafından karşılanmaktadır. Bu durum için aşağıdaki ekserji akış çubuğu çizilerek ve ekserji hesaplamaları denklem (2.29) ve denklem (2.31) kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.17 Senaryo 2 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu

Uygulamada çözümleme sınırı sıcak su talep noktalarına (90°C ve 40°C) kadar alınmıştır. Yüksek ekserjide konfor ısı talebi (90 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$, $T_{talep1}= 363\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep1}}\right) = \varepsilon_{talep} = \left(1 - \frac{283}{363}\right) = 0,22 \quad \{\text{ısıtma}\}$$

Düşük ekserjide sıcak su ısı talebi (40 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$, $T_{talep2}= 313\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=2} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right) = \left(1 - \frac{283}{313}\right) = 0,1$$

Doğal gazı dayalı ekserji arzı T_{arz} (doğal gazın açık ortamda yanma sıcaklığı yaklaşık 2100 K) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{i=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) = \left(1 - \frac{283}{2100}\right) = 0,86 \quad \{\text{doğal gaz}\}$$

Isıtma için kısmi akılcı ekserji verim değerleri denklem (2.34) kullanılarak hesaplanmaktadır. Düşük ekserji talebi için hesaplanan kısmi akılcı ekserji verim değeri kazan ve BIG ile ortak karşılandığı

$$\psi_{11} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,22}{0,86} = 0,26 \quad \{\text{BIG ile yüksek ekserji ısıtma}\}$$

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{\text{BIG ile düşük ekserji ısıtma}\}$$

$$\psi_{22} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{\text{ısı pompası ile düşük ekserji ısıtma}\}$$

Soğutma sistemi için de denklem (2.30)'da değerler yerine konularak ekserji talebi hesaplamaları yapılmaktadır. Bu uygulamada, elektrik enerjisi kullanarak soğutma yapan chiller (soğutma grubu)

sisteminde ekserji önce yıkılmaktadır. Bu durumda ekserji akış çubuğu şekil (3.17)'deki gibi olmaktadır. Senaryoda soğutma için T_{talep} değeri 280 K 'dir.

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{283}{280} \right) \right]$$

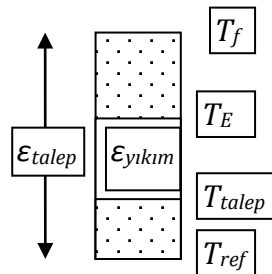
$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{280}{283} \right) \right] = 0,066 - 0,011 = 0,055$$

Denklemden T_{talep} değerinin T_{ref} değerinden küçük olduğu durumlarda kesir ters çevrilerek işleme devam edilmektedir.

Bu uygulamada doğal gazın kullanıldığı bir birlikte ısı ve güç sistemi göz ardı edilerek doğal gazdan elde edilen elektrik (çevrim santralinden bağımsız) ile konfor soğutması incelenmiş ve doğal gazın birim ekserji değeri 0,86 kullanılmıştır. Soğutma için kısmi akılcı ekserji verim değeri denklem (2.34) ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

BIG sisteminde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri için ekserji akış çubuğu aşağıdaki şekilde gibidir. Denklem (2.38) 'da değerler yerine konularak ψ_{14} değeri hesaplanmaktadır.



Şekil 3.18 Senaryo 2 BIG elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkımı}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{talep}}{T_E}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$T_f = 2100$ K (Doğal Gaz), $T_E = 450$ K, $T_{ref} = 283$ K,

$T_{talep} = 90^\circ\text{C}$ (363 K) olarak alınmıştır ve ψ_{14} değeri 0,78 olarak hesaplanmıştır.

Tüm sistem bir bütün olarak düşünülürse ortalama akılcı ekserji yönetimi verimi değerini hesaplamak için tüm kısmi akılcı ekserji verim değerleri, ilgili birinci kanun verimleri ve enerji talepleri denklem (2.37)'de yerine konulmaktadır.

Uygulamada, ısıtma için kullanılan kazan verimi (η_k) 0,9 , soğutma sisteminde chiller ve ısı pompası COP değeri 3 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda BIG sistemi yararlı ısı kısmi verimi ($CHPH\eta$) 0,5 , BIG sistemi güç üretimi kısmi verimi ($CHPE\eta$) 0,4 'tür.

Enerji talepleri, BIG için yüksek ekserji enerji talebi (Q_1) 40 kWh, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_2) 60 kWh, ısı pompası için düşük ekserji enerji talebi (Q_3) 20 kWh, soğutma talebi (Q_4) 90 kWh, elektrik talebi (Q_5) 91,7 kWh 'dır.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{11} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{12} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{12}} + \psi_{22} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{22}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{33}} + \psi_{14} \times \frac{Q_{j=5}}{\eta_{14}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = \frac{0,26 \times \frac{40}{0,5} + 0,12 \times \frac{60}{0,5} + 0,12 \times \frac{20}{3} + 0,064 \times \left(\frac{90}{3}\right) + 0,78 \times \frac{91,7}{0,4}}{\frac{40}{0,5} + \frac{60}{0,5} + \frac{20}{3} + \left(\frac{90}{3}\right) + \frac{91,7}{0,4}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = 216,74/465.92=0,47$$

Yaz işletmesi ortalama akılcı ekserji hesaplaması;

Yaz işletmesinde ısı yükler BIG ile karşılanmaktadır. Bu durumda ψ_{22} değeri yaz işletmesinde kullanılmamaktadır. Yüksek ekserji talebi bulunmayan yaz işletmesinde, ψ_{12} düşük ekserji ısı arz ve talepler arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{33} chiller (soğutma grubu) ile soğutma arz (BIG'den sağlanan elektrik) ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{23} ısı pompası ile sağlanan soğutma arz (BIG'den sağlanan elektrik) ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{14} ve ψ_{44} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.

Yaz işletmesinde toplam elektrik talebi 119 kWh'dir. Bu yükün 100 kWh'ı BIG ile karşılanmaktadır. Geri kalan yük şebekeden karşılanmaktadır.

BIG ile karşılanan düşük ekserji talebi için kısmi akılcı ekserji verimi;

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{BIG \text{ ile düşük ekserji ısıtma} \}$$

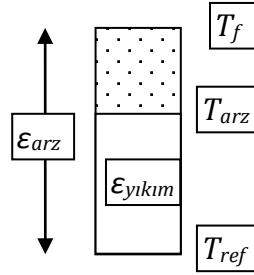
Soğutma için chiller ve ısı pompası için kısmi akılcı ekserji verimi;

$$\psi_{23} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

BIG sisteminde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri ψ_{14} değeri 0,78 olarak hesaplanmıştır.

Uygulamada çevrim santralinde elektrik üretimi için, ekserji yıkımı uygulamadan sonra düşük ekserjilerde olduğu dikkate alınarak ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.36) 'da değerler yerine konularak hesaplamalar yapılırsa termik santralde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri 0,39 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.19 Senaryo 2 santralde elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım1}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$$\psi_{44} = 1 - \frac{1 - \frac{283}{600}}{0,86} = 0,39$$

Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.

Enerji talepleri, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_1) 63 kWh, ısı pompası soğutma talebi (Q_2) 120 kWh, chiller soğutma talebi (Q_3) 60 kWh, BIG ile karşılanan elektrik talebi 100kWh (Q_4), şebekeden çekilen elektrik talebi (Q_5), 19 kWh 'dir. Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{12} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{12}} + \psi_{23} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{23}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{33}} + \psi_{14} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{14}} + \psi_{44} \times \frac{Q_{j=5}}{\eta_{44}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = \frac{0,12 \times \frac{63}{0,5} + 0,064 \times \frac{120}{3} + 0,064 \times \frac{60}{3} + 0,78 \times \left(\frac{100}{0,4}\right) + 0,39 \times \frac{19}{0,27}}{\frac{63}{0,5} + \frac{120}{3} + \frac{60}{3} + \frac{100}{0,4} + \frac{19}{0,27}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = 241,40/506,37=0,48$$

3.1.3.3. CO₂ salım hesaplamaları

Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için tüm sistemin sebep olduğu toplam karbon salım değeri denklem (2.26) ile hesaplanmaktadır. Senaryo 2’de modellenen sistemde diğer senaryolardan farklı olarak ısı pompası eklenmiştir. Bu şekilde yaz ve kış işletmelerinde ısı ve elektrik talepleri öncelikle BIG sistemi karşılanmaktadır. Kış işletmesinde eksik kalan ısı yüklerinde ısı pompası kullanılmaktadır. Yaz işletmesinde eksik kalan elektrik talebi şebekeden çekilmektedir.

Senaryoda, BIG sistemi ve ısı pompasının talepleri karşılamada kullanılmasının, bununla birlikte uygulamada faydalanan ısı depolamanın talep yüklerde sağladığı azaltımın akılcılığının yıllık toplam karbon salım miktarına etkisi incelenmektedir. Senaryoda yakıtların birim karbon salım değerleri temel senaryodaki gibi alınmıştır.

Kış işletmesi için ortalama akılcı ekserji verim değeri $\overline{\psi_{R1}} = 0,47$, yıllık toplam ısı talebi $Q_H=172800$ kWh ve yıllık toplam elektrik talebi $Q_E=277301$ kWh, yaz işletmesi için $\overline{\psi_{R2}} = 0,48$, $Q_H= 74844$ kWh, $Q_E = 296881$ kWh ‘tir. Kış işletmesinde elektrik talebinin tamamı BIG ile karşılanırken, yaz işletmesinde ise toplam talebin 47401,2 kWh’ti şebekeden karşılanmaktadır. BIG ile karşılanan

yükler için BIG elektrik verimi 0,4, ısı pompası *COP* değeri 3 alınmıştır.

Kış işletmesinde, ısı yükünün ısı pompası ve BIG sistemi ile birlikte karşılanmasından dolayı karbon salım hesaplamaları yapılırken ısı yükü ikiye ayrılmaktadır. Isıtmadan dolayı olan karbon salımı BIG tarafından karşılanan ısı yükünden kaynaklanmaktadır. Isı pompası tarafından karşılanan ısı yükü için oluşan karbon salımı, ısı pompasının bu ısı yükünü karşılamasında oluşan elektrik yükü içinde yer almaktadır. Tüm elektrik yükü BIG ile karşılanmaktadır dolayısıyla elektrik yükü karbon salımı sıfırdır. Yaz işletmesinde de şebekeden alınan elektrik yükünün oluşturduğu karbon salımı hesaplamalara eklenmektedir.

Kış işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,5} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,47) \right] \times 144000 + 0$$

$$\sum CO_2 = 142,4 \text{ ton } CO_2$$

Yaz işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

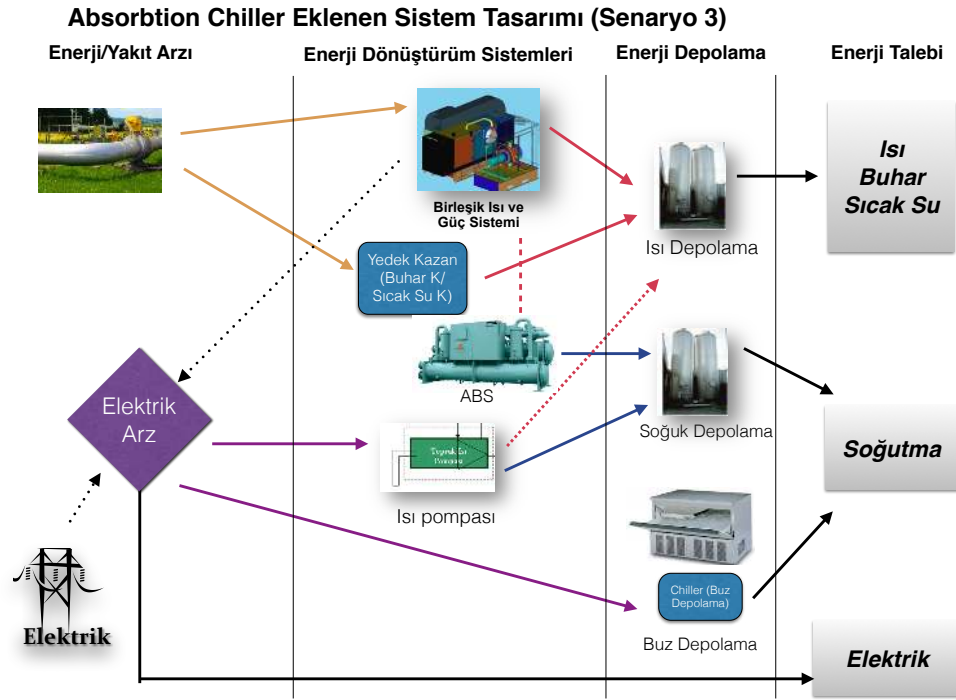
$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,5} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,48) \right] \times 74844 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) \times 47401,2 + 0$$

$$\sum CO_2 = 125,85 \text{ ton } CO_2$$

3.1.4. Senaryo 3

Senaryo 3 'te daha önce modellemesi yapılan sistemlere ek olarak absorpsiyonlu soğutucu sistemi eklenmiştir. Ana enerji ve güç kaynağı

olarak yüksek verimli birlikte ısı ve güç sistemi öncelikli olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte diğer modellerden farklı olarak modelde ihtiyaç duyulan soğutma yükünün karşılanmasında chiller (soğutma grubu) devre dışı bırakılarak ısı pompası ve absorpsiyonlu soğutucu ile bu yükün karşılanmasının katkıları araştırılmaktadır.



Şekil 3.20 Senaryo 3 enerji arz ve talepleri

Kullanılan Enerji Dönüştürüm Sistemleri;

- Isıl depolama sistemleri
- Isıtma ve elektrik talepleri için Birlikte ısı ve güç sistemi
- İhtiyaç duyulması halinde ısıtma için Yedek kazan
- Soğutma taleplerinin karşılanması için absorpsiyonlu soğutucu
- Isıtma ve soğutma talepleri için ısı pompası

kullanılmıştır.

Çizelge 3.30' da senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri, kapasite ve maliyet değerleri verilmektedir. Enerji dönüştürüm sistem

kapasiteleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanıp tabloya eklenmiştir.

Çizelge 3.30 Senaryo 3 Enerji dönüştürüm sistemleri

Enerji Dönüştürüm Sistemleri				
Sistem Türü	Mevcut mu?	Kapasite	Birim	Maliyet
BIG	E	100		120000
BIG ELEKTRİK*	E			
BIG ISI	E			
Yedek Kazan	E	20	kW	2000
Çiller	H			0
Isı Pompası	E	180	kW	135000
Isı Pompası Isıtma	E			
Isı Pompası Soğutma	E			
Absorbsiyonlu Soğutucu	E	0	kW	0
Adsorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Rüzgâr Türbini	H			0
PV	H			0
PVT	H			0
PVTC	H			0
PHVT	H			0
Depo	E			0
Buz deposu (+çiller)	E			0
Soğuk su deposu	E			0
Sıcak su deposu	E			0
Biyogaz Reaktörü	H			0

Senaryo 3'te de ısı enerji depolama kullanılarak enerji arz ve talepleri arasında pik yüklerin kullanım değişkenlikleri azaltılmaktadır.

Şekil 3.20'de görüldüğü üzere, ısıtma talebi öncelikli olarak BIG sistemi ile karşılanmaya çalışılırken karşılanamayan talep oluştuğunda mevsimlik yükler kontrol edilerek mevsimlere göre öncelikli olarak ısı pompası ve ekstra yüklerde de yedek kazan devreye alınmaktadır.

Soğutma talebi için mevsimlik seçimlere göre ABS ve/veya ısı pompası kullanılmaktadır. Bir önceki senaryodan farklı olarak bu iki sistem için kullanıcı verisi olarak kullanım oranı değişkeni alınmamaktadır. Belirli oranda soğutma yükünün paylaştırılması modeldeki BIG sistemi güç/ısı oranı kullanılarak hesaplanmaktadır.

Toplam elektrik talepleri; bina, ABS ve ısı pompası elektrik yükleri kalemler oluşturmaktadır. Elektrik talebi öncelikli olarak BIG sistemi ile karşılanmaya çalışılmaktadır, yeterli olmayan yüklerde ise şebeke desteği alınmaktadır. Seçilen BIG sisteminin mevsimlik üretimi elektrik talebinden fazla güç üretimi olması durumunda, şebeke beslenerek toplam maliyetlerde azalma sağlanmaktadır.

Modellemede kullanılan ısı pompası yaz ve kış mevsimleri için öncelikli olarak soğutma yükünü takip etmektedir. Kış mevsimlik yük takibinde ise yedek kazan seçilen BIG sisteminin ısı yükü karşılayamama durumunda kalan ısı talebin karşılanmasında devreye alınmaktadır.

Modelde, BIG sistemi yakıt girdisi olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Her sistem için hesaplanan mevsimlik yakıt tüketimleri ve kullanıcı verisi olarak alınacak yakıt birim maliyeti kullanılarak toplam yakıt maliyetleri senaryo 3 için hesaplanmaktadır. Senaryoda yakıt türü olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgaz birim maliyeti 0,9 TL/m³, yoğunluk değeri ise 10 kWh/m³ olarak sabit değerler alınmıştır. Elektrik birim fiyatı, 0,5 TL/kWh olarak sabit ve tek tarife fiyatı kabul edilerek hesaplamalarda kullanılmaktadır. Gün içinde değişkenlik gösteren puant, gece ve gündüz fiyatları hesaplamalarda kullanılmamaktadır.

3.1.4.1. Enerji dönüştürüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları

Sistem tasarımında Birlikte Isı ve Güç Sistemi, Yedek Isı Kazanı (Buhar K./Sıcak Su Kazanı), ısı pompası, absorpsiyonlu soğutucu

enerji dönüştürüm sistemleri ve ısı depolama kullanılarak talep edilen yükleri karşılamak üzere akılcı kapasite seçimleri yapmak, enerji tüketimlerini doğru dağıtmak ve yakıt maliyetlerini düşürmek amaçlanmaktadır.

Senaryoda kullanılan ısı yükler Çizelge 3.1’de kullanıcı verisi olarak alınan ve tüm senaryolarda sabit olan yüklerdir. Fakat senaryoda ısı depolama kullanılmasından dolayı tablodaki ısı yüklerde belirtilen pik yük törpüleme faktörleri oranında düzeltme yapılmıştır. Talep yüklerdeki düzeltme sonrası yeni değerler yaz ve kış işletmeleri için aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

Kış işletmesi;

Çizelge 3.31 Senaryo 3 kış işletmesi ısı talepleri

BİNA ISI TALEPLERİ (KIŞ)			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
ISI TALEBİ			
Yüksek Ekserji	40	kWh	363 K
Düşük Ekserji	80	kWh	313 K
SOĞUTMA TALEBİ	90	kWh	290K

Çizelge 3.32 Senaryo 3 kış işletmesi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E.Sıcaklık(T)
Bina Elektrik + Absorbsiyon pompa	55	kWh	5600 K
Isı Pompası Elektrik Talebi	30	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	90	kWh	

Yaz İşletmesi;

Çizelge 3.33 Senaryo 3 yaz işletmesi ısı talepleri

BİNA ISI TALEPLERİ (YAZ)			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
ISI TALEBİ			
Yüksek Ekserji	0	kWh	363 K
Düşük Ekserji	63	kWh	313 K
SOĞUTMA TALEBİ	180	kWh	290K

Çizelge 3.34 Senaryo 3 yaz işletmesi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
Bina Elektrik + Absorbsiyon pompa	55	kWh	5600 K
Isı Pompası Elektrik Talebi	60	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	120	kWh	

Isı Depolama Sistemi

Sistem modelinde ısı depolama, soğuk depolama ve buz depolama bileşenleri bulunmaktadır. Çalışmada bu depolama sistemlerinin sadece talep yüklerde sağladığı destek dikkate alınarak modelleme yapılmaktadır. Depolama sistemleri detayları çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

Depolama sistemleri, ısı yük taleplerinde kullanılan pik yük törpüleme faktörü oranında azaltım sağlamaktadır. Normal şartlarda yük profiline, depo kapasitelerine ve işletme faktörlerine bağlı olan bu faktör, senaryoda kullanıcı verisi olarak alınmaktadır.

Yaz ve kış mevsimleri ısı talepleri için ayrı ayrı alınan ısı, soğuk ve buz depolama faktörleri talep yüklerle çarpılarak enerji dönüştürüm sistemlerinin kullanacakları talep yüklerin yeni değerleri belirlenmektedir. Çizelge 3.1'den alınan kullanıcı verilerine göre kış ısı talep değerleri (ısıtma 50 kW yüksek ekserji ve 100 kW düşük ekserji, soğutma 100kW) pik yük törpüleme değerleri (ısıtma 0,8 ve soğutma 0,9) oranında sırasıyla azaltılmaktadır. Bu talep yüklerinin yeni değerleri Çizelge 3.31'de verilmektedir. Çizelge 3.1 de yine aynı şekilde yaz ısıtma ve soğutma yükleri (ısıtma 70 kW düşük ekserji, soğutma 300 kW) pik yük törpüleme faktörü değerleri (ısıtma 0,9 , soğutma 0,75 ve buz 0,15) oranında sırasıyla azaltılmaktadır. Yaz talep yüklerinin yeni değerleri Çizelge 3.33' de verilmektedir.

Hesaplamalarda soğutma taleplerinde düzeltme yapılırken buz için pik yük törpüleme değeri soğutma pik yük değerinden çıkartılarak talep yükü çarpılmaktadır. Bu durumda yaz için soğutma talep yükü hesaplanırken pik yük törpüleme oranı 0,6 olmaktadır.

Isı pompası ve Absorbsiyonlu Soğutucu

Yaz işletmesi modelleme;

Soğutma talep yükünün yüksek olduğu yaz mevsimlik dönemde, talep soğutma yükünün karşılanabilmesi için sistemde ısı pompası ve ABS sistemleri modellenmektedir. Senaryoda soğutma yükünün karşılanmasında ısı pompası kullanımından doğan elektrik yükü elektrik talebine, ABS'nin kullanımından doğan soğutmanın ısı yükü de ısı talep yüküne eklenmektedir.

Senaryoda ısı pompası ve ABS için herhangi bir kullanım oranı kaynak olarak alınmadığı için birlikte ısı ve güç sisteminin güç-ısı oranı (C) değeri kullanılarak yazılan eşitlik ile kullanım oranları hesaplanmaktadır. Bu orantı içerisinde enerji dönüştürüm sistemlerinin

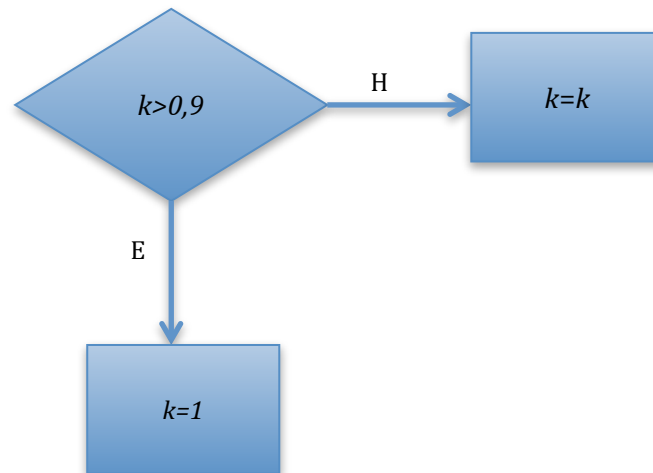
elektrik ve ısı talepleri de mevcut taleplere eklenerek bu taleplerin etkileri dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır.

$$\frac{\text{Bina elektrik talebi} + \text{ısı pompası elektrik yükü}}{\text{Bina ısı talebi} + \text{Soğutmanın ısı yükü}} = C$$

$$\frac{\text{Bina elektrik talebi} + \frac{k \times \text{soğutma yükü}}{COP_{HP}}}{\text{Bina ısı talebi} + (1 - k) \frac{\text{soğutma yükü}}{COP_{ABS}}}$$

Senaryo içerisinde alınan C değerine göre k değişkeni (ısı pompası kullanım oranı) hesaplanmaktadır. Hesaplanan k değişkeni ile toplam soğutma talebinin ısı pompası ve ABS sistem kapasiteleri belirlenmektedir.

Hesaplanan k değişkeni değerine göre enerji dönüştürüm sistemleri arasında daha anlamlı seçimler yapılabilmesi için bir kontrol koşulu eklenip iki sistem arasında seçim yapılırken kullanılmaktadır. k değerinin 0,9'dan büyük olması durumunda diğer bir sistemi kullanmak mantıklı olmayacağı için sistemin kullanım oranı değeri 1 olacaktır. Küçük olması durumunda ise hesaplanan değer karar verilen değer olarak kabul edilmektedir. Bu karar için kullanılan kontrol koşulu;

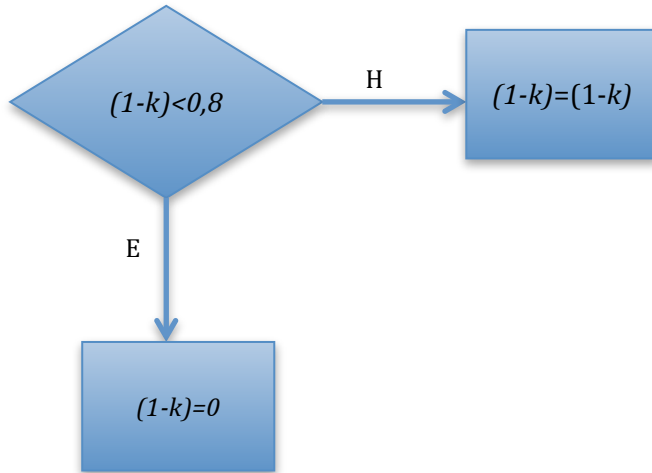


Şekil 3.21 Senaryo 3 yaz mevsimi ısı pompası için akış şeması

EĞER ($k > 0,9; 1; k$)

Kontrol koşulu sonrası alınan değere göre yaz mevsimi ABS sistemi kullanım oranı $(1-k)$ olarak alınmaktadır. Senaryoda, k değişkeni değeri 0,95 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda değerin 0,9'dan büyük olması soğutmada ısı pompası kullanımının diğer tüm enerji dönüştürüm sistemleri ile birlikte modelleme yapıldığında daha akılcı olacağını göstermektedir. Burada sistemlerin tekil faydalarından çok melez sistem modellemeleri yapılan senaryolarda kullanılan enerji dönüştürüm sistemlerinin tümleşik faydalarını en fazla yapmak amaçlanmaktadır.

$(1-k)$ olarak hesaplanan ABS sistemi kullanım oranının da 0,8'den küçük olması koşulu kullanılarak sistemin bu değerden daha az kullanım oranına sahip olması durumunda modelde yer almasının çok anlamlı olmayacağı kararı verilmektedir. Bu kontrol için aşağıdaki koşul kullanılmaktadır. $(1-k)$ değerinin bu orandan az olması durumunda ABS kullanım oranı değeri 0 olarak alınacaktır. Diğer koşul da ise hesaplanan değer karar verilen değer olarak alınacaktır.



Şekil 3.22 Senaryo 3 yaz mevsimi ABS sistemi için akış şeması

EĞER $((1-k)<0,8;0;(1-k))$

Senaryoda hesaplanan k değerinin 0,95 olmasından dolayı absorbsiyonlu soğutucu kullanım oranının %20'nin altında kalmaktadır. Bu durumda yapılacak yatırımın ve diğer sistemlerle tümleşik kullanımının çok da akılcı olmayacağını göstermektedir.

Kış işletmesi için modelleme;

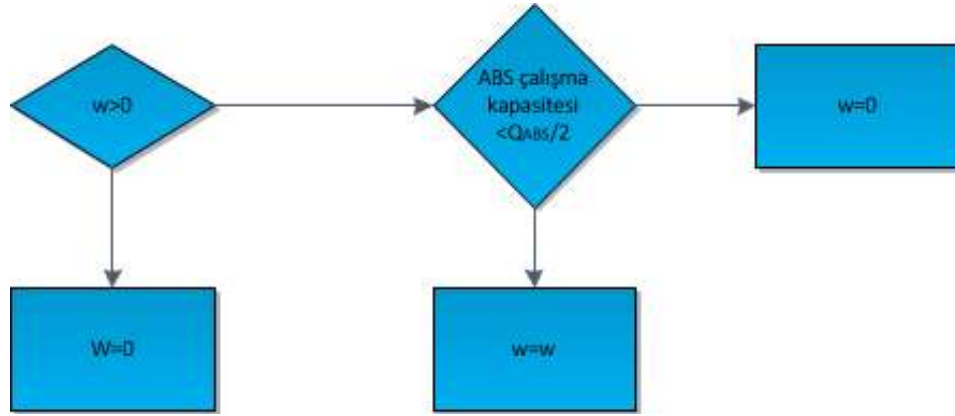
Yaz işletmesi için yapılan hesaplama gibi kış işletmesi için de herhangi bir kullanım oranının kullanıcı tarafından alınmamasından dolayı değerler güç-ısı (C) oranı kullanılarak hesaplanmaktadır

$$\frac{Bina\ elektrik\ talebi + ısı\ pompası\ elektrik\ yükü}{Bina\ ısı\ talebi + Soğutmanın\ ısı\ yükü} = C$$

$$\frac{Bina\ elektrik\ talebi + \frac{(1-w) \times soğutma\ yükü}{COP_{HP}}}{Bina\ ısı\ talebi + (w) \frac{soğutma\ yükü}{COP_{ABS}}}$$

Kış mevsimi için öncelikle ABS sistemi kullanım oranı (w) hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değere göre yazılacak koşullar ile karar verilen w değeri ve kış işletmesi ısı pompası kullanım oranı (1-w) belirlenmektedir.

Hesaplanan w değerine göre aşağıdaki karar koşulu kullanılarak sistemin kullanıp kullanılmayacağı kararı verilmektedir;



Şekil 3.23 Senaryo 3 kış mevsimi ABS sistemi için akış şeması

$$\text{EĞER } (w>0; \text{EĞER}(((\text{CHP}_H - Q_H) \times \text{COP}_{\text{ABS}}) / S_{\text{ABS}}) < 0,5); 0; w; 0)$$

Koşula göre, hesaplanan w değerinin sıfırdan büyük olması durumunda; hesaplanan ABS çalışma kapasitesi seçilen ABS kapasitesinin yarısından küçük ise alınacak w değeri sıfır olacaktır. Bu da bize seçilen kapasitenin yarısından küçük kullanım oranına sahip olunması sistemin kullanımının akılcı kılmadığını göstermektedir. Büyük olması durumunda ise hesaplanan w değeri kullanılmaktadır.

Fakat hesaplanan w değeri sıfırdan küçük olursa ABS sistemi herhangi bir koşula bakılmaksızın kullanılmamaktadır. Bu durumda karar verilen w değeri sıfır olacaktır. Değerin bu şekilde çıkması hem ısı yüklerin hem de soğutma yükleri olan uygulamada üretilen ısıнын ABS'ye girdi olmasının akılcı olmadığı, ısı yükünün öncelikle ısı taleplerinin karşılamada kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Belirlenen w değerine göre ısı pompası kullanım oranı $(1-w)$ hesaplanarak bu mevsimde kullanılacak ısı pompası kapasitesi belirlenmektedir. Kullanılacak kapasiteler soğutma yükü kullanım oranlarının ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Her iki sistem için de kış ve yaz işletmeleri için kapasite seçimleri kullanılan kapasiteler karşılaştırılarak belirlenmektedir.

Kış işletmesi için hesaplanan w değeri sıfırdan küçük çıkmıştır. Bu durumda absorpsiyonlu soğutucu soğutma yüklerinin karşılanmasında kullanılmayacaktır ve soğutma yükünün tamamı ısı pompası ile karşılanacaktır. Senaryo 3 için yaz/kış işletmeleri soğutma yükleri ve ısı pompası COP değeri denklem (3.6)'da yerine konularak ısı pompası kapasite ve elektrik yükü değerleri hesaplanmaktadır. Çizelge 4.35'te ısı pompası için yapılan hesaplamaların sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3.35 Senaryo 3 ısı pompası veri ve sonuçları

SİSTEM	Senaryo 3	
	KIŞ	YAZ
Hesaplanan Kullanım Oranı (k)	1,0	0,95
Karar Verilen Kullanım Oranı(k)	1,0	1,0
COP	3	3
Kapasitesi	90	180
Çekilen Elektrik (kWh)	30	60

Birlikte ısı ve güç sistemi

BIG sistemi kapasite kararı mevsimlik yüklerin karşılaştırılmasıyla verilmektedir. BIG sistemi için alınacak ısı talebine soğutmanın ısı yükü, elektrik talebine ısı pompası elektrik talebi eklenmektedir.

Her iki mevsim için belirlenen pik elektrik yükü talepleri karşılaştırılarak büyük olan yüke göre BIG güç kapasitesi belirlenecektir. Bu karşılaştırma için aşağıdaki koşul yazılmıştır:

$$= E\check{G}ER \text{ (kış elektrik talebi} > \text{ yaz elektrik talebi; kış elektrik talebi; yaz elektrik talebi)}$$

Bu koşul sonucu alınacak değer, kullanıcı verisi olarak alınacak BIG sistemi pik yük karşılama oranı ile çarpılarak pik yükün ne kadarının

BIG sistemi tarafından karşılanmak istendiği hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, BIG sistemi kapasitesi pik elektrik yüküne göre değil hesaplanan talep yükünün yeni değeri dikkate alınarak seçilmektedir. Senaryoda kış işletmesi elektrik yükü 85 kWh (bina ve ısı pompası), yaz işletmesi elektrik yükü 115 kWh (bina ve ısı pompası)'tir. Yaz yükünün fazla olmasından dolayı BIG sistemi kapasitesi yaz yükünün %70'ni karşılayacak şekilde belirlenmiştir.

Pik yük karşılama oranına göre hesaplanmış yeni yük değerine göre BIG sistemi anma kapasitesi (K_{CHP}) belirlenmektedir. Elektrik yükünün 80,5 kWh'in BIG sistemi ile karşılanması beklenmektedir. Bu duruma göre BIG sistemi anma kapasitesi senaryoda 100 kWh olarak belirlenmiştir.

Belirlenen BIG sistemi güç kapasitesi (E_{CHP}), denklem (2.8)'de kullanılarak ısı/güç oranına göre BIG sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}) hesaplanmaktadır. Senaryoda bu oran $C=1$ olmasından dolayı maksimum ısı kapasitesi 100 kWh'tir. Yaz ve kış mevsimleri bina ısı yükleri (ısı, buhar, sıcak su...), BIG sistemi maksimum ısı kapasitesiyle karşılaştırılarak, model içerisinde yedek kazan ihtiyacı olup olmadığı varsa da ihtiyaç kapasitesi belirlenmektedir. Bu değer için aşağıdaki koşul kullanılmaktadır.

$$=EĞER (H_{CHP} > Q_H; 0; Q_H - H_{CHP})$$

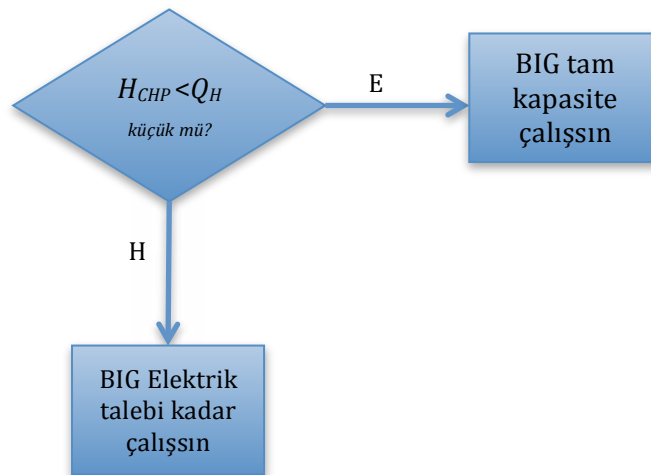
BIG sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}), mevsimlik ısı talebinden büyük ise kazan ihtiyacı yoktur, küçük olması durumunda ise mevsimlik ısı talebi ile maksimum ısı kapasitesi farkı alınmaktadır. Senaryoda kış ısı yükünün (120 kWh) maksimum ısı kapasitesinden (100 kWh) büyük olmasından dolayı 20 kW'lık bir yedek ısı kazanı kapasitesi gerekmektedir.

Seçilmiş olan BIG sistemi güç kapasitesi, mevsimlik elektrik yükü talepleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma için aşağıdaki koşul kullanılmaktadır.

$$=EĞER (E_{CHP} > Q_E; 0; Q_E - E_{CHP})$$

Karşılaştırma sonucu talep yükün üretimden fazla olması durumunda şebekeden çekilecek elektrik miktarı ($Q_{şebeke}$) hesaplanmaktadır. Bu değer kış için sıfır iken yaz işletmesinde 15 kWh'tir. Hesaplanan bu değer daha sonra mevsimlik enerji/yakıt maliyetleri hesaplamalarında kullanılmaktadır.

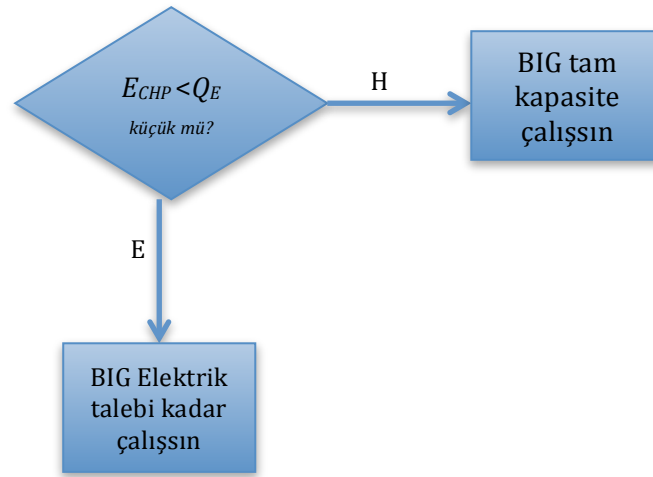
BIG sistemi saatlik yakıt tüketimi, mevsimlik olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Kış mevsimi yakıt tüketimi hesaplamaları için öncelikle ısı yükü talebi (Q_H) ve birlikte ısı güç sistemi maksimum ısı kapasitesi (H_{CHP}) karşılaştırılmaktadır. Kış aylarında elektrik yerine ısı yüklerin fazla olmasından dolayı ısı yükler arası karşılaştırma yapılarak BIG sisteminin mevsimlik çalışma prensibi belirlenmektedir.



Şekil 3.24 BIG sistemi kış mevsimi çalışma prensibi akış şeması

Yukarıdaki akışa göre kararı verilen BIG sistemi çalışma prensibine göre kapasite değeri denklem (2.9) veya denklem (2.10)' da kullanılarak BIG sistemi saatlik yakıt tüketimi (YT_{CHP}) hesaplanmaktadır.

Yaz mevsimi yakıt tüketimi için ise elektrik kapasitesi ve talebi arasındaki karar koşulu izlenerek karar verilmektedir.



Şekil 3.25 BIG sistemi yaz mevsimi çalışma prensibi akış şeması

Yukarıdaki akışa göre kararı verilen yaz mevsimi BIG sistemi çalışma kapasitesi denklem (2.9) veya denklem (2.10)'da kullanılarak BIG sistemi saatlik yakıt tüketimi (YT_{CHP}) hesaplanmaktadır. Yakıt hesaplamaları yapılırken BIG sisteminin seçiminde elektrik yüklerinin takip edilmesinden dolayı BIG sistemi elektrik verim değerleri denklemlerde kullanılmaktadır. BIG sistemi için alınan sonuçlar Çizelge 3.36'da verilmektedir.

Çizelge 3.36 Senaryo 3 BIG sistemi veri ve sonuçları

BIG Sistemi	Senaryo 3	
	KIŞ	YAZ
c	0,7	0,7
C	1	1
Isı Verimi	0,5	0,5
Elektrik Verimi	0,4	0,4
Elektrik Talebi (pik yük)(kWh)	85	115
Isı Talebi (kWh)	120	63
BIG seçim için pik yük	80,5	
BIG elektrik Kapasitesi (kWh)	100	
En Fazla Isı Kapasitesi (kWh)	100	
Yakıt Tüketimi (m ³)	28,6	28,6
Yedek Kazan İhtiyacı (kW)	20	0
Şebeke elektrik ihtiyacı	0	15

Yedek Kazan

Birlikte ısı ve güç sistemi kapasite seçimine göre mevsimlik olarak hesaplanan yedek kazan ihtiyacı kapasitesi kazan verimi (η_k) ile birlikte denklem (2.2) kullanılarak, kazan yakıt kullanımı belirlenmektedir. Her iki mevsim için de hesaplanan bu değere göre karşılaştırma yapılarak büyük olan yükü karşılayacak şekilde kazan anma kapasitesi belirlenmektedir. Belirlenen kazan kapasiteleri çizelge 3.37’de verilmektedir.

Çizelge 3.37 Senaryo 3 kazan veri ve sonuçları

SİSTEM	Senaryo 3	
	KIŞ	YAZ
Kazan Verimi	0,9	0,9
Kazan Kullanım Kapasitesi	20	0
İhtiyaç Olan Kazan Kapasitesi (kW)	20	

Yakıt/Enerji Maliyetleri

Senaryo 3'te yakıt girdisi kullanılacak enerji dönüştürüm sistemleri; birlikte ısı ve güç sistemi ve yedek kazandır. Kazan için mevsimlik yük miktarı (Q_{MKY}) denklem (2.19) ile hesaplanarak, mevsimlik yakıt tüketimi hesabında kullanılmaktadır. Bu sistemlerin mevsimlik yakıt tüketimleri denklem (2.20) ve denklem (2.21) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Anlık yakıt tüketimleri, 24 saat ve ısıtma/soğutma gün sayısı ile çarpılarak sistemlerin mevsimlik yükleri hesaplanmaktadır. Yıllık yakıt tüketimleri hesaplanırken kullanıcı verisi olarak alınacak işletme ve kapasite faktörleri ile mevsimlik yükler düzeltilerek günlük meteorolojik değişkenlik ve mevsimlik çalışıldığı için aylık değişkenlikler minimuma indirilmektedir. Enerji dönüştürüm sistemleri yıllık yakıt maliyeti (M) denklem (2.22) ile hesaplanmaktadır. Yakıt için doğalgaz birim maliyetleri b (m^3/TL) kullanıcı verisi olarak alınmaktadır.

Şebekeden çekilecek toplam yük ($Q_{\text{şebeke}}$), BIG sistemi kapasitesi toplam elektrik talebinden küçükse aradaki fark kadar olmaktadır. Şebeke elektrik maliyeti $M_{\text{şebeke}}$, hesaplanan fark ve kullanıcı verisi olan şebeke birim elektrik fiyatı kullanılarak denklem (2.23) ile hesaplanmaktadır. Denklemden mevsimlik kullanım gün sayısı ile kış ve yaz mevsimleri için toplam mevsimlik maliyetlerin hesaplaması yapılmaktadır. Yine elektrik için işletme ve kapasite faktörleri ile mevsimlik düzeltmeler yapılarak şebeke ihtiyacının maliyeti hesaplanmaktadır. Hesaplama sonuçları yaz/kış işletmeleri için Çizelge 3.38 ve çizelge 3.39 'da verilmektedir.

Çizelge 3.38 Senaryo 3 kışlık yakıt/enerji maliyetleri

Kışlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan ısı çıktısı (kWh)	28800
Mevsimlik yakıt tüketimi(m ³)	3200
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	2880
Mevsimlik yakıt tüketimi (m ³)	86400
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	77760
Mevsimlik elektrik tüketimi	0
Mevsimlik elektrik maliyeti	0
Mevsimlik toplam maliyet (TL)	80640

Çizelge 3.39 Senaryo 3 yazlık yakıt/enerji maliyetleri

Yazlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi(m ³)	0
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	0
Mevsimlik yakıt tüketimi (m ³)	71280
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	64152
Mevsimlik elektrik tüketimi (şebeke)	37422
Mevsimlik elektrik maliyeti	18711
Mevsimlik toplam maliyet	82863

Kış işletmesinde elektrik talebinin tamamı BIG sistemi ile karşılanmakta olup şebeke elektrik ihtiyacı yoktur. Yaz işletmesinde ısı yüklerinin tamamı BIG sistemi ile karşılanabildiği için yedek kazan ihtiyacı bulunmamaktadır. Dolayısıyla yakıt tüketimi ve maliyeti yoktur.

Yatırım Maliyeti

Senaryoda, birlikte ısı ve güç, ısı pompası, yedek kazan sistemlerinin kullanılmasından dolayı ilk yatırım maliyetleri bu sistemlerin maliyetleri toplamı olarak alınmaktadır. Seçilen enerji dönüştürüm sistemleri kapasiteleri (SK) ve birim maliyetleri (BM) denklem (2.24)'te kullanılarak sistemlerin ilk yatırım maliyetleri (YM) hesaplanmaktadır.

Absorbsiyonlu soğutucu ve chiller (soğutma grubu) yaz ve kış işletmelerinde ihtiyaç duyulmadığından yatırım maliyeti bulunmamaktadır.

BIG sistem kapasitesi 100 kW olarak belirlenmiştir. Birim maliyet değeri 1200 TL/kW_e olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 120000 TL olarak hesaplanmıştır.

Isı pompası için seçilen kapasite 180 kW'tır. Birim maliyet değeri 750 TL/kW_h olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 135000 TL olarak hesaplanmıştır.

Yedek kazan için 20 kW'lık bir kapasite belirlenmiştir. Birim maliyeti 100 TL/kW_h olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 20000 TL olarak hesaplanmıştır.

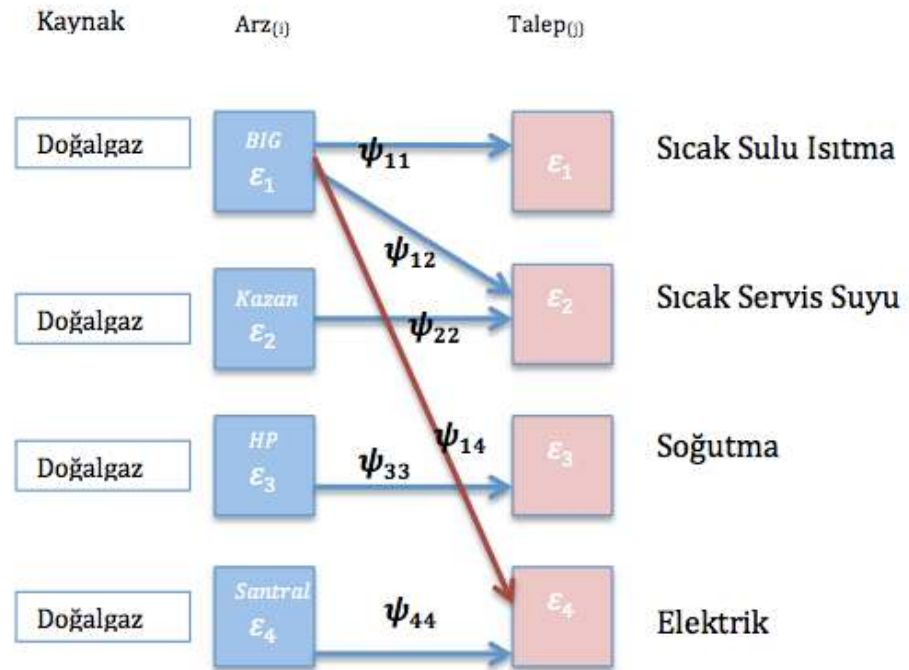
Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için toplam maliyet kalemleri; yakıt /enerji maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve bakım/onarım maliyetleri olacaktır. Bakım ve onarım maliyeti için denklem (2.25) kullanılarak hesaplanan değer toplam maliyete eklenmektedir. Senelik enerji/yakıt maliyeti mevsimlik maliyetlerin toplamından oluşmaktadır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.40'da verilmektedir.

Çizelge 3.40 Senaryo 3 senelik maliyetler

Maliyet Kalemleri	Tutar (TL)
Yıllık Toplam Enerji/Yakıt Maliyeti	163503
Sistem İlk Yatırım Maliyeti	257000
Bakım/Onarım	25700
TOPLAM MALİYET (TL)	446203

3.1.4.2. Ortalama akılcı ekserji verimi hesaplamaları

Modelde elektrik talebi öncelikli olarak BIG sisteminden eksik kalan yüklerde ise şebekeden, ısıtma talebi de öncelikli olarak BIG sisteminden ve eksik kalan yüklerde ise kış işletmesinde kazan ile, soğutma talebi yaz ve kış işletmelerinde ısı pompası ile karşılanmaktadır.



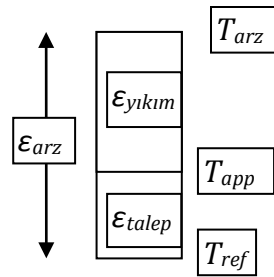
Şekil 3.26 Senaryo 3 ekserji arz ve talepleri

ψ_{11} ve ψ_{12} değerleri BIG tarafından ısı arz ve talep arasındaki kısmi akılcı ekserji verimlerini, ψ_{22} kazan ile sağlanan ısı arz ve talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{33} soğutma arz ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{14} ve ψ_{44} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.

Kış işletmesi ortalama akılcı ekserji verimi;

Isıtma talebi yüksek (konfor ısıtması) ve düşük ekserji (Sıcak su) talepleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kış işletmesinde, BIG sistemi kapasitesi öncelikli olarak yüksek ekserji talebini daha sonra kalan kapasite ile düşük ekserji talebi karşılamaktadır. Q_{BIG} (100 kWh) öncelikli olarak 40 kWh yüksek ekserji ısı talebini daha sonra da 60 kWh düşük ekserji talebini karşılamaktadır. Kalan 20 kWh düşük ekserji ısı talebi kazan tarafından karşılanmaktadır.

Bu durum için aşağıdaki ekserji akış çubuğu çizilerek ve ekserji hesaplamaları denklem (2.29) ve denklem (2.31) kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.27 Senaryo 3 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu

Uygulamada çözümleme sınırı sıcak su talep noktalarına (90°C ve 40°C) kadar alınmıştır. Yüksek ekserjide konfor ısı talebi (90 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$, $T_{talep1}= 363\text{ K}$

$$\varepsilon_{j=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep1}}\right) = \varepsilon_{talep} = \left(1 - \frac{283}{363}\right) = 0,22 \quad \{\text{ısıtma}\}$$

Düşük ekserjide sıcak su ısı talebi (40 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283 \text{ K}$,
 $T_{talep2}= 313 \text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=2} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right) = \left(1 - \frac{283}{313}\right) = 0,1$$

Doğal gazı dayalı ekserji arzı T_{arz} (doğal gazın açık ortamda yanma sıcaklığı yaklaşık 2100 K) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{i=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) = \left(1 - \frac{283}{2100}\right) = 0,86 \quad \{\text{doğal gaz}\}$$

Isıtma için kısmi akılcı ekserji verim değerleri denklem (2.34) kullanılarak hesaplanmaktadır. Düşük ekserji talebi için hesaplanan kısmi akılcı ekserji verim değeri kazan ve BIG ile ortak karşılandığı

$$\psi_{11} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,22}{0,86} = 0,26 \quad \{\text{BIG ile yüksek ekserji ısıtma}\}$$

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{\text{BIG ile düşük ekserji ısıtma}\}$$

$$\psi_{22} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{\text{kazan ile düşük ekserji ısıtma}\}$$

Soğutma sistemi için de denklem (2.30)'de değerler yerine konularak ekserji talebi hesaplamaları yapılmaktadır. Bu uygulamada, elektrik enerjisi kullanarak soğutma yapan ısı pompası sisteminde ekserji önce yıkılmaktadır. Bu durumda ekserji akış çubuğu Şekil (3.27)'deki gibi olmaktadır. Senaryoda soğutma için T_{talep} değeri 280 K 'dir.

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{283}{280} \right) \right]$$

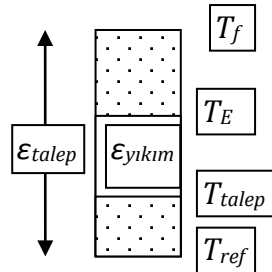
$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{280}{283} \right) \right] = 0,066 - 0,011 = 0,055$$

Denklemden T_{talep} değerinin T_{ref} değerinden küçük olduğu durumlarda kesir ters çevrilerek işleme devam edilmektedir.

Bu uygulamada elektrik üretimi için doğal gazın kullanıldığı bir birlikte ısı ve güç sistemi göz ardı edilerek doğal gazdan elde edilen elektrik (çevrim santralinden bağımsız) ile konfor soğutması incelenmiş ve doğal gazın birim ekserji değeri 0,86 kullanılmıştır. Soğutma için kısmi akılcı ekserji verim değeri Denklem (2.34) ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

BIG sisteminde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri için ekserji akış çubuğu aşağıdaki şekilde gibidir. Denklem (2.38) 'da değerler yerine konularak ψ_{14} değeri hesaplanmaktadır.



Şekil 3.28 Senaryo 3 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkımı}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{talep}}{T_E}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$T_f = 2100$ K (Doğal Gaz), $T_E = 450$ K, $T_{ref} = 283$ K,

$T_{talep} = 90^\circ\text{C}$ (363 K) olarak alınmıştır ve ψ_{14} değeri 0,78 olarak hesaplanmıştır.

Tüm sistem bir bütün olarak düşünülürse ortalama akılcı ekserji yönetimi verimi değerini hesaplamak için tüm kısmi akılcı ekserji verim değerleri, ilgili birinci kanun verimleri ve enerji talepleri denklem (2.37)'de yerine konulmaktadır.

Uygulamada, ısıtma için kullanılan kazan verimi (η_k) 0,9 , soğutma sisteminde chiller COP değeri 3 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda BIG sistemi yararlı ısı kısmi verimi ($CHPH\eta$) 0,5 , BIG sistemi güç üretimi kısmi verimi ($CHPE\eta$) 0,4 'tür.

Enerji talepleri, BIG için yüksek ekserji enerji talebi (Q_1) 40 kWh, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_2) 60 kWh, kazan için düşük ekserji enerji talebi (Q_3) 20 kWh, soğutma talebi (Q_4) 90 kWh, elektrik talebi (Q_5) 85 kWh 'dır.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{11} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{12} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{12}} + \psi_{22} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{22}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{33}} + \psi_{14} \times \frac{Q_{j=5}}{\eta_{14}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = \frac{0,26 \times \frac{40}{0,5} + 0,12 \times \frac{60}{0,5} + 0,12 \times \frac{20}{0,9} + 0,064 \times \left(\frac{90}{3}\right) + 0,78 \times \frac{85}{0,4}}{\frac{40}{0,5} + \frac{60}{0,5} + \frac{20}{0,9} + \left(\frac{90}{3}\right) + \frac{85}{0,4}}$$

$$\overline{\psi_{R1}} = 205,54/464.72=0,44$$

Yaz işletmesi ortalama akılcı ekserji hesaplaması;

Yaz işletmesinde ısı yükler BIG ile karşılanmaktadır. Bu durumda ψ_{22} değeri yaz işletmesinde kullanılmamaktadır. Yüksek ekserji talebi bulunmayan yaz işletmesinde, ψ_{12} düşük ekserji ısı arz ve talepler arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{33} ısı pompası ile soğutma arz (BIG'den sağlanan elektrik) ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{14} ve ψ_{44} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.

Yaz işletmesinde toplam elektrik talebi 115 kWh'tır. Bu yükün 100 kWh'ı BIG ile karşılanmaktadır. Geri kalan talep yük şebekeden çekilerek karşılanmaktadır.

BIG ile karşılanan düşük ekserji talebi için kısmi akılcı ekserji verimi;

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,86} = 0,12 \quad \{BIG \text{ ile düşük ekserji ısıtma} \}$$

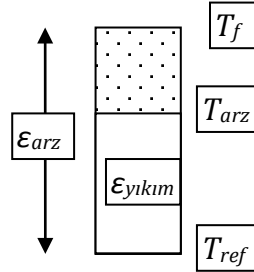
BIG ile karşılanan elektrik talebi için kısmi akılcı ekserji verimi (ψ_{14}) 0,78 olarak hesaplanmıştır.

Soğutma için kısmi akılcı ekserji verimi;

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,86} = 0,064$$

Uygulamada elektrik üretimi için, ekserji yıkımı uygulamadan sonra düşük ekserjilerde olduğu dikkate alınarak ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.36) 'da değerler yerine konularak hesaplamalar yapılırsa termik santralde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri 0,39 olarak hesaplanmaktadır. Türkiye geneli elektrik gücü

eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 3.29 Senaryo 3 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım1}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$$\psi_{44} = 1 - \frac{1 - \frac{283}{600}}{0,86} = 0,39$$

Enerji talepleri, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_1) 63 kWh, soğutma talebi (Q_2) 180 kWh, BIG ile karşılanan elektrik talebi 100kWh (Q_3), şebekeden çekilen elektrik talebi (Q_4), 15 kWh 'dir.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{12} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{12}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{33}} + \psi_{14} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{14}} + \psi_{44} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{44}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = \frac{0,12 \times \frac{63}{0,5} + 0,064 \times \frac{180}{3} + 0,78 \times \left(\frac{100}{0,4}\right) + 0,39 \times \frac{15}{0,27}}{\frac{63}{0,5} + \frac{180}{3} + \frac{100}{0,4} + \frac{15}{0,27}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = 235,63/491,56=0,48$$

3.1.4.3. CO₂ salım hesaplamaları

Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için tüm sistemin sebep olduğu toplam karbon salım değeri denklem (2.26) ile hesaplanmaktadır. Senaryo 3'te modellenen sistemde diğer senaryolardan farklı olarak soğutma yükünün ısı pompası veya ABS karşılanması araştırılarak yazılan koşullara göre yaz/kış tüm soğutma yüklerinin ısı pompası ile karşılanmasına karar verilmiştir. Uygulamada yaz ve kış işletmelerinde ısı ve elektrik talepleri öncelikle BIG sistemi karşılanmaktadır. Kış işletmesinde eksik kalan ısı yüklerinde yedek kazan kullanılmaktadır. Yaz işletmesinde eksik kalan elektrik talebi şebekeden çekilmektedir.

Senaryoda, BIG sistemi ve ısı pompasının talepleri karşılamada kullanılmasının, bununla birlikte uygulamada faydalanan ısı depolamanın talep yüklerde sağladığı azaltımın akılcılığının yıllık toplam karbon salım miktarına etkisi incelenmektedir. Senaryoda yakıtların birim karbon salım değerleri temel senaryodaki gibi alınmıştır.

Kış işletmesi için ortalama akılcı ekserji verim değeri $\overline{\psi_{R1}} = 0,44$, yıllık toplam ısı talebi $Q_H=172800$ kWh ve yıllık toplam elektrik talebi $Q_E=257040$ kWh, yaz işletmesi için $\overline{\psi_{R2}} = 0,48$, $Q_H= 74844$ kWh, $Q_E= 286902$ kWh 'tir. Kış işletmesinde elektrik talebinin tamamı BIG ile karşılanırken, yaz işletmesinde ise toplam talebin 37422 kWh'ti şebekeden karşılanmaktadır.

Kış işletmesinde ısı yükler kazan ve BIG sistemi ile karşılanmaktadır. Bu durumda ısı yükünün karbon salımı için iki sistemin karşıladıkları ısı yükleri oranında kendi verim değerleri de kullanılarak ortalama bir verim değeri hesaplanmıştır. Isı yükü karbon salımında alınacak ortalama verim değeri 0,57 olarak alınmıştır. Elektrik yükünün tamamı BIG ile karşılandığı için karbon salımı ayrıca hesaplamalara eklenmemiştir.

Yaz işletmesinde ısı yükü haricinde elektrik yükü karbon salımı sadece şebekeden çekilen elektrik yükü için oluşmaktadır.

Kış işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,57} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,44) \right] \times 172800 + 0$$

$$\sum CO_2 = 162,4 \text{ ton } CO_2$$

Yaz işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

$$\sum CO_2 = \left[\left(\frac{0,2}{0,5} \right) + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,48) \right] \times 74844 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) \times 37422 + 0$$

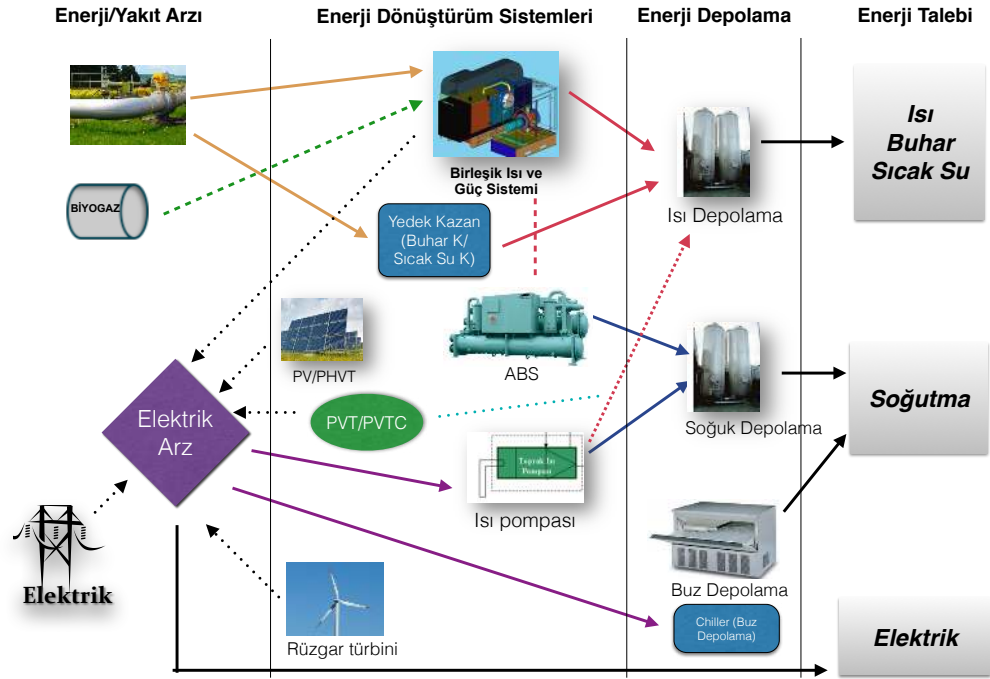
$$\sum CO_2 = 114,8 \text{ ton } CO_2$$

3.1.5. Senaryo 4

Senaryo 4' te daha önce senaryo 3'te modellemesi yapılan sistemlere ek olarak yenilenebilir enerji dönüştürüm sistemleri eklenmiştir. Yenilebilir enerji sistemlerinin senaryoya katkısı sadece düşürdükleri talep yükleridir. Bunun dışında tüm senaryo yeni yüklerle aynı kısıtlar altında tekrar çalıştırılmıştır.

Senaryoda örnek bir çiftlik olarak AÇKAR A.Ş incelenerek modelleme bu çiftlik arz ve talep dengeleri dikkate alınarak yapılmıştır. Modelde bir çiftlik tasarlanmasından dolayı sistemde yakıt olarak öncelikle biyogaz kullanılmakta olup yeterli olmadığı durumlarda ise doğalgaz desteği verilmektedir. Bu şekilde senaryo 3 üzerine eklenen geliştirmeler ile bir çiftlik için melez enerji sistemlerinin ve bu sistemler içinde yenilenebilir kaynak ve yenilenebilir enerji dönüştürüm sistemlerinin modellenmesinin katkıları araştırılmaktadır.

Yenilenebilir ve Konvansiyonel Sistemler Tümüleşik Tasarımı (Senaryo 4)



Şekil 3.30 Senaryo 4 enerji arz ve talepleri

Kullanılan Enerji Dönüştürüm Sistemleri;

- Isıl depolama sistemleri
- Isıtma ve elektrik talepleri için Birlikte ısı ve güç sistemi
- İhtiyaç duyulması halinde ısıtma için Yedek kazan
- Soğutma taleplerinin karşılanması için ABS
- Isıtma ve soğutma talepleri için ısı pompası
- Yenilenebilir enerji sistemleri (düzlemsel toplaç, PVT, rüzgâr türbini)
- Biyogaz enerji sistemi

Çizelge 3.41’de senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri, kapasite ve maliyet değerleri verilmektedir. Enerji dönüştürüm sistem kapasiteleri ısı ve elektrik talep yüklerine göre hesaplanıp tabloya eklenmiştir.

Çizelge 3.41 Senaryo 4 enerji dönüştürüm sistemleri

Enerji Dönüştürüm Sistemleri				
Sistem Türü	Mevcut mu?	Kapasite	Birim	Maliyet
BIG	E	60		72000
BIG ELEKTRİK*	E			
BIG ISI	E			
Yedek Kazan	E	25	kW	2500
Çiller	H			0
Buz	H			0
Soğutma	H			0
Isı Pompası	E	180	kW	135000
Isı Pompası Isıtma	E			
Isı Pompası Soğutma	E			
Absorbsiyonlu Soğutucu	E	0	kW	0
Adsorbsiyonlu Soğutucu	H			0
Rüzgâr Türbini	E	25	kW	31800
Düzlemsel Toplaç	E	20	kW	5300
PVT	E			25440
Elektrik		10	kW	
Sıcak su		15	kW	
PVTC	H			0
PHVT	H			0
Depo	E			0
Buz deposu (+çiller)	E			0
Soğuk su deposu	E			0
Sıcak su deposu	E			0
Biyogaz Reaktörü	E			0

Senaryoda ısı depoları ve biyogaz reaktörü maliyetleri ve çalışma prensipleri dikkate alınmadan sadece yükler ve yakıt girdisi olarak katkıları araştırılmaktadır. Maliyet hesaplamalarına herhangi bir etkileri bulunmamaktadır.

3.1.5.1. Enerji dönüşüm sistem kapasite ve maliyet hesaplamaları

Sistem tasarımında Birlikte Isı ve Güç Sistemi, Yedek Isı Kazanı (Buhar K./Sıcak Su Kazanı), ısı pompası, absorpsiyonlu soğutucu, düzlemsel toplaç, rüzgâr türbini, PVT, biyogaz reaktörü enerji dönüşüm sistemleri ve ısı depolama kullanılarak talep edilen yükleri karşılamak üzere akılcı kapasite seçimleri yapmak, enerji tüketimlerini doğru dağıtmak ve yakıt maliyetlerini düşürmek amaçlanmaktadır.

Senaryoda kullanılan ısı yükler çizelge 3.1’de kullanıcı verisi olarak alınan ve tüm senaryolarda sabit olan yüklerdir. Fakat senaryoda ısı depolama ve yenilebilir enerji sistemleri kullanılmasından dolayı tablodaki ısı yüklerde belirtilen pik yük törpüleme faktörleri oranında ve yenilebilir enerji sistemleri kapasiteleri kadar düzeltme yapılmıştır. Talep yüklerdeki düzeltme sonrası yeni değerler yaz ve kış işletmeleri için aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

Kış işletmesi;

Senaryoda düzlemsel toplaç ve PVT kullanılmasından dolayı düşük ekserji ısı talebinde azalma olmuştur. Kullanılan 20 kW’lık düzlemsel toplaç ve 15 kW_h’lık PVT toplam düşük ekserji ısı talebini 35 kW kadar azaltmıştır.

Çizelge 3.42 Senaryo 4 kış işletmesi ısı talepleri

BİNA ISI TALEPLERİ (KİŞ)			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
ISI TALEBİ			
Yüksek Ekserji	40	kWh	363 K
Düşük Ekserji	45	kWh	313 K
SOĞUTMA TALEBİ	90	kWh	290K

Senaryoda kullanılan 25 kW'lık rüzgâr türbini ve 10 kW_e'lik PVT 85 kWh olan toplam elektrik yükünde 35 kWh azalma sağlamıştır.

Çizelge 3.43 Senaryo 4 kış işletmesi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
Bina Elektrik + Absorbsiyon pompa	20	kWh	5600 K
Isı Pompası Elektrik Talebi	30	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	50	kWh	

Yaz İşletmesi;

Senaryoda 20 kW'lık düzlemsel toplaç ve 15 kW_h 'lık PVT toplam düşük ekserji ısı talebini 35 kWh kadar azaltmıştır.

Çizelge 3.44 Senaryo 4 yaz işletmesi ısı talepleri

BİNA ISI TALEPLERİ (YAZ)			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
ISI TALEBİ			
Yüksek Ekserji	0	kWh	363 K
Düşük Ekserji	28	kWh	313 K
SOĞUTMA TALEBİ	180	kWh	290K

Senaryoda kullanılan 25 kW'lık rüzgâr türbini ve 10 kW_e'lik PVT 115 kWh olan toplam elektrik yükünde 35 kWh azalma sağlamıştır.

Çizelge 3.45 Senaryo 4 yaz işletmesi elektrik talepleri

ELEKTRİK TALEPLERİ			
Talep Türü	Miktar	Birim	E. Sıcaklık(T)
Bina Elektrik + Absorbsiyon pompa	20	kWh	5600 K
Isı Pompası Elektrik Talebi	60	kWh	
Toplam Elektrik Talebi	80	kWh	

Senaryo 4'te yukarıdaki tablolarda belirtilen yükler dikkate alınarak Senaryo 3 modeli çalıştırılmıştır. Bu yükler dikkate alınarak enerji dönüştürüm sistemlerinde hesaplanan değerler her sistem için kendi başlığı altında tablolarda verilmektedir.

Isı Pompası

Çizelge 3.46'da ısı pompası için yapılan hesaplamaların sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3.46 Senaryo 4 ısı pompası veri ve sonuçları

SİSTEM	Senaryo 4	
	KIŞ	YAZ
Hesaplanan Kullanım Oranı (k)	1,0	0,95
Karar Verilen Kullanım Oranı(k)	1,0	1,0
COP	3	3
Kapasitesi	90	180
Çekilen Elektrik (kWh)	30	60

Birlikte ısı ve güç sistemi

BIG sistemi için alınan sonuçlar çizelge 3.47'de verilmektedir.

Çizelge 3.47 Senaryo 4 BIG sistemi veri ve sonuçları

BIG Sistemi	Senaryo 4	
	KIŞ	YAZ
c	0,7	0,7
C	1	1
Isı Verimi	0,5	0,5
Elektrik Verimi	0,4	0,4
Elektrik Talebi (pik yük)(kWh)	50	80
Isı Talebi (kWh)	85	28
BIG seçim için pik yük	56	
BIG elektrik Kapasitesi (kWh)	60	
En Fazla Isı Kapasitesi (kWh)	60	
Yakıt Tüketimi (m ³)	17,1	17,1
Yedek Kazan İhtiyacı (kW)	25	0
Şebeke elektrik ihtiyacı	0	20

Yedek kazan

Belirlenen kazan kapasiteleri Çizelge 3.48’de verilmektedir.

Çizelge 3.48 Senaryo 4 kazan veri ve sonuçları

SİSTEM	Senaryo 4	
	KIŞ	YAZ
Kazan Verimi	0,9	0,9
Kazan Kullanım Kapasitesi	25	0
İhtiyaç Olan Kazan Kapasitesi (kW)	25	

Yakıt/Enerji Maliyetleri

Senaryo 4’te yakıt girdisi kullanılacak enerji dönüştürüm sistemleri; birlikte ısı ve güç sistemi ve yedek kazandır. Kazan için mevsimlik yük miktarı (Q_{MKY}) hesaplanarak, mevsimlik yakıt tüketimi hesabında

kullanılmaktadır. Bu sistemlerin mevsimlik yakıt tüketimleri denklem (2.20) ve denklem (2.21) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Enerji dönüşüm sistemleri yıllık yakıt maliyeti (M) denklem (2.22) ile hesaplanmaktadır. Senaryoda yakıt girdisi çiftlik modeli olmasından dolayı öncelikli olarak biyogazdır. Çiftlikte üretilen biyogazın doğalgaz eşdeğer miktarı hesaplanarak doğalgaz tüketimi için hesaplanan değer ile karşılaştırılarak yakıt tüketimine karar verilmektedir.

Modelde AÇKAR çiftliğinin örnek verileri kullanılarak kış ve yaz işletmeleri için toplam biyogaz üretimleri hesaplanmıştır. Çiftlikte 500 büyükbaş hayvan olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Teori bölümünde detaylandırılan veriler kullanılırsa; Bir büyükbaş hayvan için ortalama yaş gübre miktarı 20 kg/gün alınmıştır.

500 hayvan için bu değer günlük 10 ton yaş gübre yapmaktadır. Biyogaz üretimi için katı gübre miktarı kullanılmasından dolayı yaş gübrenin ortalama %15'inin katı gübre olduğu kabulü ile 1,5 ton/gün kuru gübre sağlanmaktadır.

Kış mevsimi için ısıtma gün sayısı (200 gün) yaz işletmesi için de soğutma gün sayısı (165 gün) kullanıcı verileri ile günlük kuru gübre miktarı çarpılarak mevsimlik toplam kuru gübre miktarları hesaplanmıştır. 300 ton/mevsim kış işletmesi için, 247,5 ton/mevsim yaz işletmesi için toplam kuru gübre miktarıdır. 1 ton gübreden ortalama 200 m³ metan elde edilmektedir [14].

Mevsimlik metan üretimleri kış işletmesinde 60000 m³/mevsim, yaz işletmesi için 33000 m³/mevsim'dir. 1m³ metan için eşdeğer doğalgaz miktarı 0,94 m³'tür [14]. Bu durumda mevsimlik toplam eşdeğer doğalgaz miktarı hesaplanan toplam metan miktarlarının 0,94 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. 56400 m³/mevsim kış işletmesinde, 31020 m³/mevsim yaz işletmesinde hesaplanan toplam yakıt

tüketimlerinden düşölerek ihtiyaç olan doğalgaz yakıt miktarları hesaplanarak maliyet giderlerine eklenmektedir.

Şebekeden çekilecek toplam yük ($Q_{\text{şebeke}}$), BIG sistemi kapasitesi toplam elektrik talebinden küçükse aradaki fark kadar olmaktadır. Şebeke elektrik maliyeti $M_{\text{şebeke}}$, hesaplanan fark ve kullanıcı verisi olan şebeke birim elektrik fiyatı kullanılarak denklem (2.23) ile hesaplanmaktadır. Hesaplama sonuçları yaz/kış işletmeleri için Çizelge 3.49 ve Çizelge 3.50’de verilmektedir.

Çizelge 3.49 Senaryo 4 kış mevsimi yakıt/enerji maliyetleri

Kışlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan ısı çıktısı (kWh)	36000
Mevsimlik yakıt tüketimi(m^3)	4000
BIG Mevsimlik yakıt tüketimi (m^3)	51840
Biyogazdan karşılanabilen yakıt tüketimi (m^3)	56400
Eksik kalan yakıt miktarı (m^3)	0
Mevsimlik elektrik tüketimi	0
Mevsimlik elektrik maliyeti	0
Mevsimlik toplam maliyet	0

Kış işletmesinde kazan ve BIG sistemi yakıt ihtiyacı öncelikli olarak biyogaz ile karşılanmaktadır. Senaryoda doğalgaz eşdeğeri olarak biyogazdan sağlanan yakıt miktarı doğalgaz tüketim ihtiyacında büyük olduğu için eksik kalan yakıt ihtiyacı yoktur ve yakıt/enerji maliyeti sıfırdır. Elektrik talebinin tamamı BIG ile karşılanabildiği için şebekeden elektrik çekilmemektedir ve şebeke elektrik maliyeti sıfırdır.

Çizelge 3.50 Senaryo 4 yaz mevsimi yakıt/enerji maliyetleri

Yazlık Yakıt/Enerji Maliyeti	
Mevsimlik kazan yükü (kWh)	0
Mevsimlik kazan yakıt tüketimi (m ³)	0
Mevsimlik BIG yakıt tüketimi (m ³)	42768
Biyogazdan karşılanabilen yakıt tüketimi (m ³)	31020
Eksik kalan yakıt miktarı (m ³)	11748
Mevsimlik yakıt maliyeti (TL)	10573,2
Mevsimlik elektrik tüketimi (şebeke) (kWh)	49896
Mevsimlik elektrik maliyeti (TL)	24948
Mevsimlik toplam maliyet	35521,2

Yatırım Maliyeti

Senaryoda, birlikte ısı ve güç, ısı pompası, yedek kazan, PVT, rüzgâr türbini, düzlemsel toplaç sistemlerinin kullanılmasından dolayı ilk yatırım maliyetleri bu sistemlerin maliyetleri toplamı olarak alınmaktadır. Seçilen enerji dönüştürüm sistemleri kapasiteleri (*SK*) ve birim maliyetleri (*BM*) denklem (2.24)'de kullanılarak sistemlerin ilk yatırım maliyetleri (*YM*) hesaplanmaktadır.

BIG sistem kapasitesi 60 kW olarak belirlenmiştir. Birim maliyet değeri 1200 TL/kW_e olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 72000 TL olarak hesaplanmıştır.

Isı pompası için seçilen kapasite 180 kW'tır. Birim maliyet değeri 750 TL/kW_h olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 135000 TL olarak hesaplanmıştır.

Yedek kazan için 25 kW'lık bir kapasite belirlenmiştir. Birim maliyeti 100 TL/kW_h olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 2500 TL olarak hesaplanmıştır.

Rüzgâr türbini için 25 kW'lık bir kapasite belirlenmiştir. Birim maliyeti 600 \$/kW olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 31800 TL olarak hesaplanmıştır.

Düzlemsel toplaç için 20 kW'lık bir kapasite belirlenmiştir. Birim maliyeti 125 \$/kW olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 5300 TL olarak hesaplanmıştır.

PVT için 10 kW_e'lik bir kapasite belirlenmiştir. Birim maliyeti 1200 \$/kW olarak alınmıştır. İlk yatırım maliyeti 25440 TL olarak hesaplanmıştır.

Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için toplam maliyet kalemleri; yakıt /enerji maliyetleri, ilk yatırım maliyetleri ve bakım/onarım maliyetleridir. Hesaplanan değerler çizelge 3.51'de verilmektedir.

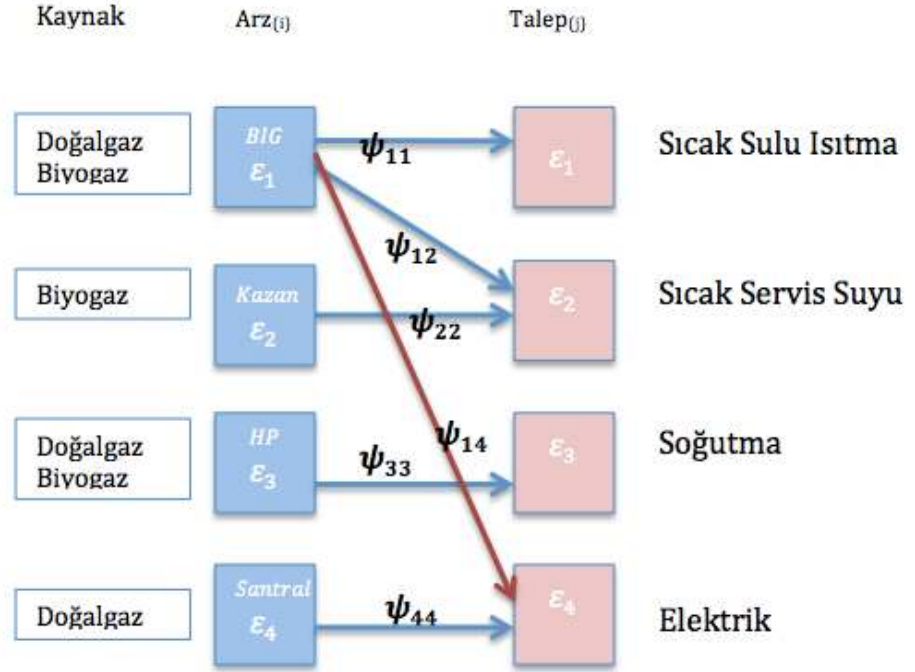
Çizelge 3.51 Senaryo 4 senelik maliyetler

Maliyet Kalemleri	Tutar (TL)
Yıllık Toplam Enerji/Yakıt Maliyeti	35521,2
Sistem İlk Yatırım Maliyeti	272040
Bakım/Onarım	27204
TOPLAM MALİYET (TL)	334765,2

3.1.5.2. Ortalama akılcı ekserji verimi analizleri

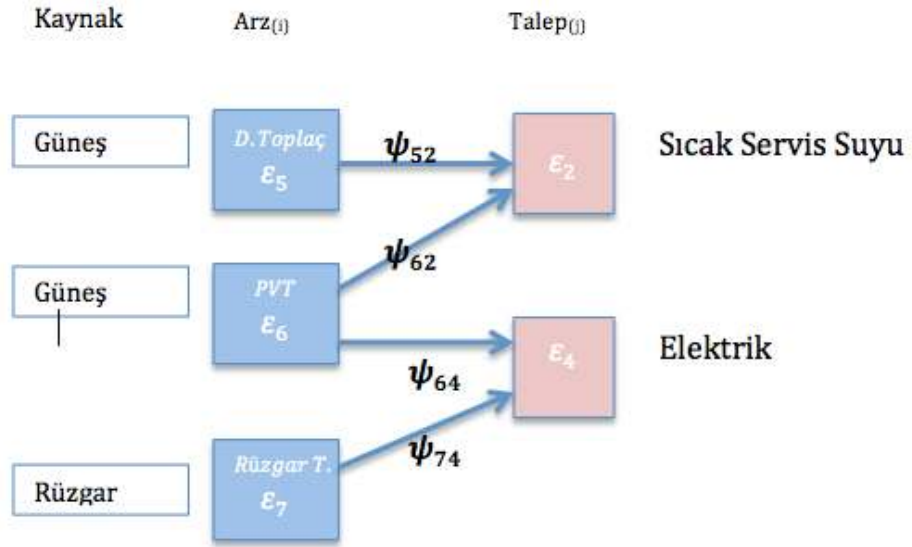
Modelde elektrik talebi öncelikli olarak BIG, rüzgâr türbini ve PVT ile karşılanmakta eksik kalan yükler için şebekeden destek alınmaktadır. Isıtma talebi de öncelikli olarak BIG, düzlemsel toplaç ve PVT'den karşılanırken eksik kalan yüklerde ise yedek kazan'dan destek alınmaktadır. Soğutma talebi yaz ve kış işletmelerinde ısı pompası ile karşılanmaktadır.

Konvansiyonel sistemler ile sağlanan enerji arz ve talepleri arasındaki kısmi akılcı ekserji verim gösterimi;



Şekil 3.31 Senaryo 4 ekserji arz ve talepleri

Yenilebilir enerji dönüştürüm sistemleri sağlanan enerji arz ve talepleri arasındaki kısmi akılcı ekserji verim gösterimi;



Şekil 3.32 Senaryo 4 yenilebilir kaynaklar ekserji arz ve talepleri

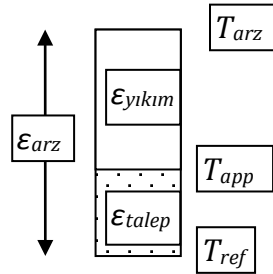
ψ_{11} ve ψ_{12} değerleri BIG tarafından ısı arz ve talep arasındaki kısmi akılcı ekserji verimlerini, ψ_{22} kazan ile sağlanan ısı arz ve talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{33} soğutma arz ve konfor soğutması talebi arasındaki kısmi akılcı ekserji verimini, ψ_{14} ve ψ_{44} elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir. ψ_{52} ve ψ_{62} değerleri düzlemsel toplaç ve PVT tarafından sağlanan düşük ekserji ısı arz ve talep arasındaki kısmi akılcı ekserji verimlerini, ψ_{64} ve ψ_{74} değerleri PVT ve rüzgâr türbini ile sağlanan elektrik enerjisi arz ve talebi (aydınlatma vb. not: ısıtma gibi uygulamalar hariç) arasındaki akılcı ekserji verimini göstermektedir.

Kış işletmesi ortalama akılcı ekserji verimi;

Isıtma talebi yüksek (konfor ısıtması) ve düşük ekserji (Sıcak su) talepleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kış işletmesinde, BIG sistemi kapasitesi öncelikli olarak yüksek ekserji talebini daha sonra kalan kapasite ile düşük ekserji talebi karşılamaktadır. Düşük ekserji ısı talebinin karşılanmasında ise düzlemsel toplaç, PVT, BIG ve yedek kazan kullanılmaktadır. Q_{BIG} (60 kWh) öncelikli olarak 40 kWh

yüksek ekserji ısı talebini daha sonra da 20 kWh düşük ekserji talebini karşılanmasında kullanılmaktadır. Yedek kazan 20 kWh, PVT 15 kWh, düzlemsel toplaç 20 kWh düşük ekserji ısı talebini karşılamaktadır.

Yedek kazan ve BIG ile sağlanan ısı taleplerde biyogaz kullanılarak ısıtma yapılmasından dolayı uygulamada ekserji önce yıkılmaktadır. Bu durum için aşağıdaki ekserji akış çubuğu çizilerek ve ekserji hesaplamaları denklem (2.29) ve denklem (2.31) kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.33 Senaryo 4 ısıtma sistemi ekserji akış çubuğu

Uygulamada çözümleme sınırı sıcak su talep noktalarına (90°C ve 40°C) kadar alınmıştır. Yüksek ekserjide konfor ısı talebi (90 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$, $T_{talep1}= 363\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep1}}\right) = \varepsilon_{talep} = \left(1 - \frac{283}{363}\right) = 0,22 \quad \{\text{Isıtma}\}$$

Düşük ekserjide sıcak su ısı talebi (40 °C) ekserji değeri $T_{ref}=283\text{ K}$, $T_{talep2}= 313\text{ K}$;

$$\varepsilon_{j=2} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right) = \left(1 - \frac{283}{313}\right) = 0,1$$

Biyogaza dayalı ekserji arzı T_{arz} (biyogazın açık ortamda yanma sıcaklığı yaklaşık 1600 K) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{i=1} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) = \left(1 - \frac{283}{1600}\right) = 0,82 \quad \{biyogaz\}$$

Isıtma için kısmi akılcı ekserji verim değerleri denklem (2.34) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\psi_{11} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,22}{0,82} = 0,27 \quad \{BIG \text{ ile yüksek ekserji ısıtma} \}$$

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,82} = 0,12 \quad \{BIG \text{ ile düşük ekserji ısıtma} \}$$

$$\psi_{22} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,82} = 0,12 \quad \{kazan \text{ ile düşük ekserji ısıtma} \}$$

Düzlemsel toplaç için T_f güneş enerjisinin eşdeğer sıcaklığıdır ve toplaç yüzeyindeki ışınlam şiddeti I ya bağlıdır (W/m^2):

$$\frac{I}{1366} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)}{1 - \frac{T_{ref}}{5778K}}$$

Eşitlikteki 5778 K değeri ufak değişiklikler gösterebilmektedir. Kış için Ankara güneş ışınlam değeri $I = 450 \text{ W/m}^2$, $T_{ref} = 283 \text{ K}$ değerleri eşitlikte yerine konulursa T_f değeri 412,11 K bulunur. Denklem (3.34)'de $T_{talep2} = 313 \text{ K}$ ve diğer değerler yerine konulursa;

$$\psi_{52} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right)}$$

$$\psi_{52} = \frac{\left(1 - \frac{283}{313}\right)}{\left(1 - \frac{283}{412,11}\right)} = 0,31$$

Soğutma sistemi için de denklem (2.30)'da değerler yerine konularak ekserji talebi hesaplamaları yapılmaktadır. Bu uygulamada, elektrik enerjisi kullanarak soğutma yapan ısı pompası sisteminde ekserji önce yıkılmaktadır. Bu durumda ekserji akış çubuğu şekil()'deki gibi olmaktadır. Senaryoda soğutma için T_{talep} değeri 280 K 'dir.

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303}\right) - \left(1 - \frac{283}{280}\right) \right]$$

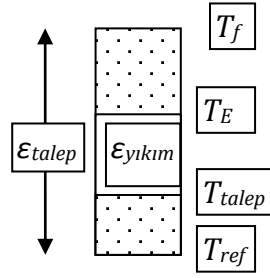
$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303}\right) - \left(1 - \frac{280}{283}\right) \right] = 0,066 - 0,011 = 0,055$$

Denklemden T_{talep} değerinin T_{ref} değerinden küçük olduğu durumlarda kesir ters çevrilerek işleme devam edilmektedir.

Bu uygulamada elektrik üretimi için biyogazın kullanıldığı sistemler göz ardı edilerek biyogazdan elde edilen elektrik (çevrim santralinden bağımsız) ile konfor soğutması incelenmiş ve doğal gazın birim ekserji değeri 0,82 kullanılmıştır. Soğutma için kısmi akılcı ekserji verim değeri denklem (2.34) ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,82} = 0,067$$

BIG sisteminde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri için ekserji akış çubuğu aşağıdaki şekilde gibidir. Denklem (2.36) 'de değerler yerine konularak ψ_{14} değeri hesaplanmaktadır.



Şekil 3.34 Senaryo 4 BIG elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkım}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{talep}}{T_E}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$T_f = 1600$ K (Biyogaz), $T_E = 450$ K, $T_{ref} = 283$ K, $T_{talep} = 90^\circ\text{C}$ (363 K) olarak alınmıştır ve ψ_{14} değeri 0,76 olarak hesaplanmıştır.

PVT ile ısı talebi karşılanmasında kullanılacak kısmi akılcı ekserji verimi de BIG sistemi gibi düşünülebilir. Uygulamada ekserji sonra yıkılır. $T_f = 412,11$ (Dülemsel toplaçdaki hesaplamalar kullanılarak), $T_E = 80^\circ\text{C}$ (353K), $T_{ref} = 283$ K, $T_{talep} = 40^\circ\text{C}$ (313 K) olarak alınmıştır ve ψ_{62} değeri yukarıdaki denklem kullanılarak 0,64 olarak hesaplanmıştır.

Tüm sistem bir bütün olarak düşünülürse ortalama akılcı ekserji yönetimi verimi değerini hesaplamak için tüm kısmi akılcı ekserji verim değerleri, ilgili birinci kanun verimleri ve enerji talepleri denklem (2.37)'de yerine konulmaktadır.

Uygulamada, ısıtma için kullanılan kazan verimi (η_k) 0,9 , soğutma sisteminde chiller COP değeri 3, rüzgâr türbini verimi (η_r) 0,45, dülemsel toplaç ısı verimi (η_{DT}) 0,6 , PVT ısı kısmi verimi (η_{PVT_h}) 0,6 , PVT elektrik kısmi verimi (η_{PVT_e}) 0,20 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda BIG sistemi yararlı ısı kısmi verimi ($CHPH\eta$) 0,5 , BIG sistemi güç üretimi kısmi verimi ($CHPE\eta$) 0,4 'tür.

Enerji talepleri, BIG için yüksek ekserji enerji talebi (Q_1) 40 kWh, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_2) 60 kWh, kazan için düşük ekserji enerji talebi (Q_3) 20 kWh, soğutma talebi (Q_4) 90 kWh, elektrik talebi (Q_5) 85 kWh 'dır.

$$\begin{aligned}\overline{\psi}_R &= \frac{\psi_{11} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{12} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{12}} + \psi_{22} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{22}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{33}} + \psi_{14} \times \frac{Q_{j=5}}{\eta_{14}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}} \\ &+ \frac{\psi_{52} \times \frac{Q_{j=6}}{\eta_{52}} + \psi_{62} \times \frac{Q_{j=7}}{\eta_{62}} + \psi_{64} \times \frac{Q_{j=8}}{\eta_{64}} + \psi_{74} \times \frac{Q_{j=9}}{\eta_{74}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}} \\ \overline{\psi}_{R1} &= \frac{0,27 \times \frac{40}{0,5} + 0,12 \times \frac{20}{0,5} + 0,12 \times \frac{25}{0,9} + 0,067 \times \left(\frac{90}{3}\right)}{\frac{40}{0,5} + \frac{20}{0,5} + \frac{25}{0,9} + \left(\frac{90}{3}\right) + \frac{50}{0,4} + \frac{20}{0,6} + \frac{15}{0,6} + \frac{10}{0,2} + \frac{25}{0,45}} \\ &+ \frac{0,78 \times \frac{50}{0,4} + 0,31 \times \frac{20}{0,6} + 0,64 \times \frac{15}{0,6} + 1 \times \frac{10}{0,20} + 1 \times \frac{25}{0,45}}{\frac{40}{0,5} + \frac{20}{0,5} + \frac{25}{0,9} + \left(\frac{90}{3}\right) + \frac{50}{0,4} + \frac{20}{0,6} + \frac{15}{0,6} + \frac{10}{0,2} + \frac{25}{0,45}} \\ \overline{\psi}_{R1} &= 245,29/466,67=0,55\end{aligned}$$

Yaz işletmesi ortalama akılcı ekserji hesaplaması;

Yüksek ekserji talebi bulunmayan yaz işletmesinde ısı yükler BIG, düzlemsel toplaç ve PVT ile karşılanmaktadır. Bu durumda ψ_{22} değeri yaz işletmesinde kullanılmamaktadır. Yaz işletmesinde toplam elektrik talebi 115 kWh'tır. Bu yükün 10 kWh'ı PVT, 25 kWh'i rüzgâr türbini, 60 kWh'i BIG ile ve kalan 20 kWh'i şebekeden çekilerek karşılanmaktadır.

BIG ile karşılanan düşük ekserji ısı talebinin için kısmi akılcı ekserji verimi;

$$\psi_{12} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,1}{0,82} = 0,12 \quad \{BIG \text{ ile düşük ekserji ısıtma} \}$$

Düzlemsel toplaç için T_f güneş enerjisinin eşdeğer sıcaklığıdır ve toplaç yüzeyindeki ışıınım şiddeti I ya bağlıdır (W/m^2):

$$\frac{I}{1366} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)}{1 - \frac{T_{ref}}{5778K}}$$

Eşitlikteki 5778 K değeri ufak değişiklikler gösterebilmektedir. Yaz için Ankara güneş ışıınım değeri $I = 860 W/m^2$, $T_{ref} = 283 K$ değerleri eşitlikte yerine konulursa T_f değeri 705,23 K bulunur. Denklem (3.34)'de $T_{talep2} = 313 K$ ve diğer değerler yerine konulursa;

$$\psi_{52} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep2}}\right)}$$

$$\psi_{52} = \frac{\left(1 - \frac{283}{313}\right)}{\left(1 - \frac{283}{705,23}\right)} = 0,16$$

Soğutma sistemi için de denklem (2.30)'da değerler yerine konularak ekserji talebi hesaplamaları yapılmaktadır. Bu uygulamada, elektrik enerjisi kullanarak soğutma yapan ısı pompası sisteminde ekserji önce yıkılmaktadır. Bu durumda ekserji akış çubuğu şekil()'deki gibi olmaktadır. Senaryoda soğutma için T_{talep} değeri 280 K 'dir.

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{283}{280} \right) \right]$$

$$\varepsilon_{talepj=3} = \left[\left(1 - \frac{283}{303} \right) - \left(1 - \frac{280}{283} \right) \right] = 0,066 - 0,011 = 0,055$$

Denklemden T_{talep} değerin T_{ref} değerinden küçük olduğu durumlarda kesir ters çevrilerek işleme devam edilmektedir.

Bu uygulamada elektrik üretimi için biyogazın kullanıldığı sistemler göz ardı edilerek biyogazdan elde edilen elektrik (çevrim santralinden bağımsız) ile konfor soğutması incelenmiş ve doğal gazın birim ekserji değeri 0,82 kullanılmıştır. Soğutma için kısmi akılcı ekserji verim değeri denklem (2.34) ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{33} = \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} = \frac{0,055}{0,82} = 0,067$$

BIG sisteminde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri için ekserji akış çubuğu aşağıdaki şekilde gibidir. Denklem (2.36) 'de değerler yerine konularak ψ_{14} değeri hesaplanmaktadır.

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{yıkımı}}{\varepsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{talep}}{T_E}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$T_f = 1600$ K (Biyogaz), $T_E = 450$ K, $T_{ref} = 283$ K,

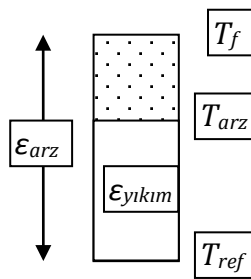
$T_{talep} = 90^\circ\text{C}$ (363 K) olarak alınmıştır ve ψ_{14} değeri 0,76 olarak hesaplanmıştır.

Senaryoda yapılan hesaplamalarda yakıt olarak biyogazın yetmediği durumlarda doğalgaz desteği alınmaktadır. Uygulamada yakıt tüketiminin %70'i biyogaz ile karşılanırken %30 doğalgaz kullanılmıştır. Bu durumda doğal gaza dayalı ekserji arzı T_{arz} (doğal

gazın açık ortamda yanma sıcaklığı yaklaşık 2100 K) kullanılarak yapılan kısmi akılcı ekserji hesabında ψ_{14} değeri 0,78 olarak bulunmuştur. Modelde aradaki farkın çok olmadığı dikkate alınarak hesaplamalarda biyogaz için bulunan 0,76 değeri kısmi akılcı ekserji değeri olarak kabul edip devam edilmiştir.

PVT ile ısı talebi karşılanmasında kullanılacak kısmi akılcı ekserji verimi de BIG sistemi gibi düşünülebilir. Uygulamada ekserji sonra yıkılır. $T_f = 705,23$ K (Düzlemsel toplaçdaki hesaplamalar kullanılarak), $T_E = 80^\circ\text{C}$ (353K), $T_{ref} = 283$ K, $T_{talep} = 40^\circ\text{C}$ (313 K) olarak alınmıştır ve ψ_{62} değeri yukarıdaki denklem kullanılarak 0,81 olarak hesaplanmıştır.

Uygulamada elektrik üretimi için, ekserji yıkımı uygulamadan sonra düşük ekserjilerde olduğu dikkate alınarak ekserji akış çubuğu çizilir ve denklem (2.36) 'da değerler yerine konularak hesaplamalar yapılırsa termik santralde elektrik üretiminin akılcı ekserji verim değeri 0,39 olarak hesaplanmaktadır. Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri 0,27 olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 3.35 Senaryo 4 elektrik üretimi ekserji akış çubuğu

$$\psi_R = 1 - \frac{\epsilon_{yıkım1}}{\epsilon_{arz}} = 1 - \frac{1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}}{1 - \frac{T_{ref}}{T_f}}$$

$$\psi_{44} = 1 - \frac{1 - \frac{283}{600}}{0,86} = 0,39$$

Tüm sistem bir bütün olarak düşünülürse ortalama akılcı ekserji yönetimi verimi değerini hesaplamak için tüm kısmi akılcı ekserji verim değerleri, ilgili birinci kanun verimleri ve enerji talepleri denklem (2.37)'de yerine konulmaktadır.

Uygulamada, ısıtma için kullanılan kazan verimi (η_k) 0,9 , soğutma sisteminde chiller *COP* değeri 3, rüzgâr türbini verimi (η_r) 0,45, düzlemsel toplaç ısı verimi (η_{DT}) 0,6 , PVT ısı kısmi verimi (η_{PVTh}) 0,6, PVT elektrik kısmi verimi (η_{PVTe}) 0,2 olarak alınmıştır. Hesaplamalarda BIG sistemi yararlı ısı kısmi verimi ($CHPH\eta$) 0,5 , BIG sistemi güç üretimi kısmi verimi ($CHPE\eta$) 0,4 'tür.

Enerji talepleri, BIG için düşük ekserji enerji talebi (Q_1) 28 kWh, düzlemsel toplaç düşük ekserji enerji talebi (Q_2) 20 kWh, soğutma talebi (Q_3) 90 kWh, elektrik talebi (Q_4) 60 kWh, şebekeden çekilen elektrik talebi (Q_5) 20kWh, PVT ısı enerji arzı 15 kWh (Q_6) ve güç arzı 10 kWh (Q_7), rüzgâr türbini güç arzı 25 kWh (Q_8) 'tır.

$$\overline{\psi_R} = \frac{\psi_{11} \times \frac{Q_{j=1}}{\eta_{11}} + \psi_{52} \times \frac{Q_{j=2}}{\eta_{52}} + \psi_{33} \times \frac{Q_{j=3}}{\eta_{33}} + \psi_{14} \times \frac{Q_{j=4}}{\eta_{14}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$+ \frac{\psi_{44} \times \frac{Q_{j=5}}{\eta_{44}} + \psi_{62} \times \frac{Q_{j=6}}{\eta_{62}} + \psi_{64} \times \frac{Q_{j=7}}{\eta_{64}} + \psi_{74} \times \frac{Q_{j=8}}{\eta_{74}}}{\sum_{j=1}^5 \frac{Q_j}{\eta_{ij}}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = \frac{0,12 \times \frac{28}{0,5} + 0,16 \times \frac{20}{0,6} + 0,067 \times \left(\frac{90}{3}\right) + 0,78 \times \frac{60}{0,4}}{\frac{28}{0,5} + \frac{20}{0,6} + \left(\frac{90}{3}\right) + \frac{60}{0,4} + \frac{20}{0,27} + \frac{15}{0,6} + \frac{10}{0,2} + \frac{25}{0,45}}$$

$$+ \frac{0,39 \times \frac{20}{0,27} + 0,81 \times \frac{15}{0,6} + 1 \times \frac{10}{0,2} + 1 \times \frac{25}{0,45}}{\frac{28}{0,5} + \frac{20}{0,6} + \left(\frac{90}{3}\right) + \frac{60}{0,4} + \frac{20}{0,27} + \frac{15}{0,6} + \frac{10}{0,2} + \frac{25}{0,45}}$$

$$\overline{\psi_{R2}} = 285,76/473,96=0,60$$

3.1.5.3. CO₂ salım hesaplamaları

Senaryoda modellenen enerji dönüştürüm sistemleri için tüm sistemin sebep olduğu toplam karbon salım değeri denklem (2.26) ile hesaplanmaktadır. Senaryo 4'te modellenen sistemde diğer senaryolardan farklı olarak enerji dönüştürüm sistemlerine yakıt girdisi olarak biyogaz kullanılması ve enerji dönüştürüm sistemlerinin yenilebilir enerji sistemleriyle desteklenmesidir.

Senaryo 3'teki gibi soğutma yükünün ısı pompası veya ABS karşılanması araştırılarak yazılan koşullara göre yaz/kış tüm soğutma yüklerinin ısı pompası ile karşılanmasına karar verilmiştir. Uygulamada yaz ve kış işletmelerinde ısı ve elektrik talepleri öncelikle BIG sistemi karşılanmaktadır. Kış işletmesinde eksik kalan ısı yüklerinde yedek kazan kullanılmaktadır. Yaz işletmesinde eksik kalan elektrik talebi şebekeden çekilmektedir.

Senaryoda, BIG sistemi, kazan ve ısı pompasının talepleri karşılamada kullanılmasının, bununla birlikte uygulamada faydalanılan ısı depolamanın talep yüklerde sağladığı azaltımın, yenilebilir enerji sistemleri ile desteklenen konvansiyonel sistemlerin akılcılığının ve kullanılan yakıt türünün karbon salımlarındaki yıllık toplam karbon salım miktarına etkisi incelenmektedir.

Senaryoda c_i tüketilen yakıtın ısısal değerine bağlı karbon çıktısı 0,3 kg CO₂ / kWh (biyogaza bağlı birim karbon çıktısını), η_i ısı verimi

(biyogazı yakıt olarak kullanan BIG için 0,45), η_j elektrik verimi (biyogazı yakıt olarak kullanan BIG için 0,35), $c_j = 0,3$ (Türkiye geneli santrallerde tüketilen yakıtlar için ortalama birim karbon çıktısı), $\eta_i = 0,9$ (kazan verimi), $\eta_j \eta_T = 0,27$ (Türkiye geneli elektrik gücü eldesi, dağıtımı ve koşullandırma (Transformatör) verim değeri) olarak alınmıştır.

Kış işletmesi için ortalama akılcı ekserji verim değeri $\overline{\psi_{R1}} = 0,55$, yıllık toplam ısı talebi $Q_H = 122400$ kWh ve yıllık toplam elektrik talebi $Q_E = 124740$ kWh, yaz işletmesi için $\overline{\psi_{R2}} = 0,60$, $Q_H = 33264$ kWh, $Q_E = 199584$ kWh 'tir. Kış işletmesinde elektrik talebinin tamamı BIG ve yenilebilir enerji sistemleri ile karşılanırken, yaz işletmesinde ise toplam talebin 49896 kWh'i şebekeden karşılanmaktadır.

Uygulamada konvansiyonel sistemlerde yakıt türü olarak biyogaz kullanılmaktadır. Biyogazın normalde yakıtın ısı değerine bağlı karbon çıktısı miktarı doğalgaza göre hem daha fazladır hem de biyogazı yakıt olarak kullanan BIG sistemi ısı ve elektrik verimleri doğalgaz ile çalışan sisteme göre daha düşüktür.

Burada uygulamanın hangi çerçeveden incelendiği büyük önem taşımaktadır. Bir çiftlik uygulamasında çalışan enerji dönüştürüm sistemleri karbon çıktılarına ek olarak değerlendirilmeyen gübrenin sebep olduğu karbon salımları bulunmaktadır. Örneğin 3 birim sistemlerden, 4 birim kullanılmayan çevreye bırakılan gübreden gelen karbon salımı varken bu gübrenin sistemlerde yakıt olarak değerlendirilmesiyle -1 birim karbon salımı olacaktır. Uygulamada bu detayda birimlerde inceleme yapma riskini ortadan kaldırmak amacıyla karbon hesaplamalarına biyogazın yakıt olarak kullanılmasının karbon salımı sıfır kabulü yapılarak devam edilmektedir.

Aynı şekilde modelde ekserji analizleri kullanılan enerji dönüştürüm sistemlerinin tekil akılcılıkları geniş çerçevede kullanılan yakıt ve sağlanan enerji sorgulanarak yapılmıştır. Bu durumda ısı yükleri için kullanılan yenilebilir enerji kaynaklarının yakıt girdileri olmadığı için denklemdaki birinci ve ikinci terim sıfır olacaktır.

Kış işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

Kış işletmesinde ısı yüklerinin biyogaz yakıtı kullanan BIG sistemi ve yenilebilir enerji sistemleri karşılanmasından dolayı ısı talep için karbon salım değeri birinci terim sıfır olmaktadır. BIG ile sağlanan tüm elektrik talebi için karbon salımı sıfırdır.

$$\sum CO_2 = \left[0 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,55) \right] \times 122400 + 0$$

$$\sum CO_2 = 61,2 \text{ ton } CO_2$$

Yaz işletmesi için yıllık toplam karbon salımı;

Karbon salımı şebekeden çekilen elektrik talebinden ve sistemin akılcılığından kaynaklanan santral bacasından gelmektedir.

$$\sum CO_2 = \left[0 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) (1 - 0,60) \right] \times 33264 + \left(\frac{0,3}{0,27} \right) \times 49896 + 0$$

$$\sum CO_2 = 70,22 \text{ ton } CO_2$$

4. SAYISAL SONUÇLARA GÖRE ANALİZLER

4.1. Geri Ödeme Süresi Analizleri

Yapılan modellemeler sonucu senaryolar için parametrik olarak alınan kullanıcı verileri olarak alınan kapasite ve maliyet değerleri ile ilk yatırım maliyetleri, bakım/onarım maliyetleri ve mevsimlik yakıt/enerji tüketimleri hesaplanarak toplam senelik maliyetler bulunmuştur.

Her senaryo için hesaplanan değerler temel senaryodaki maliyetlere göre değerlendirilerek basit geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken senaryoların temel senaryodaki maliyetler ile (yatırım maliyetleri, yakıt/enerji tüketimi ve bakım/onarım maliyetleri) farkları alınarak denklem 4.1 ile basit geri ödeme süreleri hesaplanmaktadır.

$$GÖS = \frac{\Delta YM}{(\Delta M_{Y/E} - \Delta M_{B/O})} \quad (4-1)$$

Denklemden ΔYM temel senaryo ile $GÖS$ 'i hesaplanan senaryo için yatırım maliyetleri farkını, $\Delta M_{Y/E}$ yakıt/enerji maliyetleri arasındaki farkı (senaryolar arası yapılan yakıt/enerji tasarrufu), $\Delta M_{B/O}$ bakım/onarım maliyetleri arasındaki farkı (geliştirilen modellerde maliyet olarak farkı arttırmaktadır.) göstermektedir.

Çizelge 4.1 Senaryolara göre yıllık maliyetler

	Yıllık Maliyetler (TL)		
	Yakıt ve Enerji Maliyeti	İlk yatırım maliyeti	Bakım Onarım Maliyeti
Temel Senaryo	381771	90000	9000
Senaryo 1	243498,6	233000	23300
Senaryo 2	165612,6	232500	23250
Senaryo 3	163503	257000	25700
Senaryo 4	35521,2	272040	27204

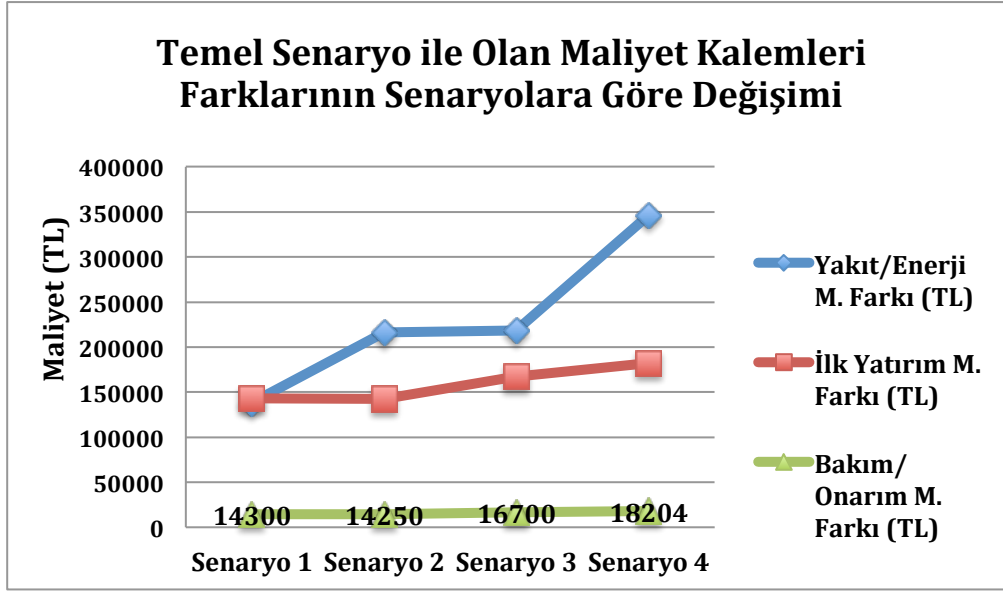
Çizelge 4.1’de her senaryo için hesaplanan senelik maliyet kalemleri verilmektedir.

Çizelge 4.2 Temel senaryo ile olan maliyet kalemleri farkları ve geri ödeme süreleri

	Yakıt ve Enerji M. Farkı	İlk Yatırım M. Farkı	Bakım/Onarım M. Farkı	GÖS
Senaryo 1	138272,4	143000	14300	1,15
Senaryo 2	216158,4	142500	14250	0,71
Senaryo 3	218268	167000	16700	0,83
Senaryo 4	346249,8	182040	18204	0,55

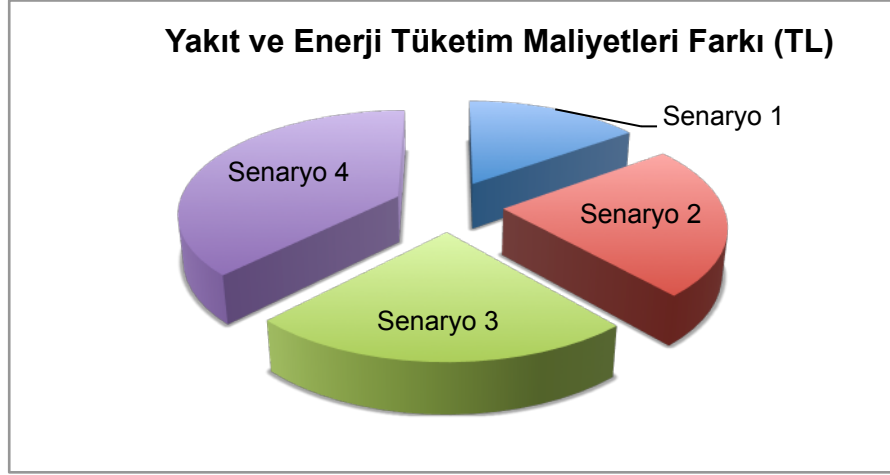
Çizelge 4.2’de Senaryolardaki maliyet kaleminin temel senaryo maliyet kalemleri ile olan farkları ve bu farklara göre denklem 4.1 de hesaplanan basit geri ödeme süreleri verilmektedir.

Çizelge 4.2’deki maliyet kalemleri farkları incelendiğinde, yakıt/enerji tüketim maliyeti arasındaki fark yani yakıt/enerji tüketimlerinde temel senaryoya göre sağlanan fayda arttıkça geri ödeme sürelerinin azaldığı gözlemlenmektedir. İlk yatırım maliyeti farkları ve bakım/onarım maliyeti farkları da incelendiğinde senaryolara her eklenen enerji dönüştürüm sistemi ile maliyetler artsa da sağlanan faydadaki artışa oranla daha küçük artışların olması gelir/gider oranı üzerindeki etkileri azaltmaktadır.



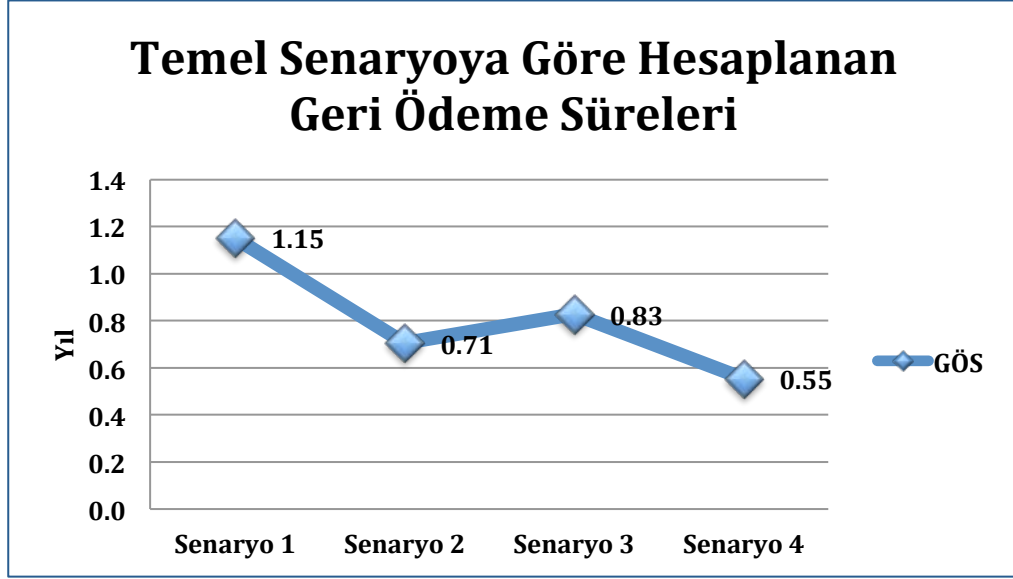
Şekil 4.1 Maliyet kalemleri arasındaki fark artışlarının grafiksel gösterimi

Şekil 4.1’de artışların grafiksel gösterimi incelendiğinde aradaki farklar daha net bir şekilde gözlemlenmektedir. Buradaki yakıt/enerji tasarrufundaki artış oranları yatırım kalemlerine göre oldukça büyüktür. Bu da bize modellemelere eklenen enerji dönüştürüm sistemlerinin yatırım maliyetlerini arttırmasına rağmen, enerji ve ekserji arz/taleplerinde daha akılcı bir şekilde sağlanan yük dağıtımlarının yakıt/enerji maliyetlerinde sağladığı tasarruf artışının yatırım maliyetlerine göre daha büyük oranlarda olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.2 Yakıt ve Enerji maliyetlerinde sağlanan faydaların gösterimi

Şekil 4.2 incelendiğinde farklı ve daha akılcı değişik teknolojilerin kullanıldığı senaryolarda geri dönüşüm süresi hesaplamalarında en büyük etkiye sahip yakıt/enerji tüketim tasarrufları daha detaylı görülmektedir. En büyük fayda da çiftlik modelinde gözlemlenmektedir. AÇKAR çiftlik modelinde kullanılan enerji dönüştürüm sistemleri ve bu sistemlerde modellenen arz/talep enerji ve ekserji dengeleri yakıt/enerji tasarrufunda en büyük faydayı sağlamıştır. Bu fayda da geri ödeme süresinde oldukça büyük bir azaltıma sebep olmuştur.



Şekil 4.3 Senaryolara göre geri ödeme süreleri

Şekil 4.2 ve 4.3 birlikte incelendiğinde yakıt/enerji maliyetlerindeki tasarruf açısından en büyük paya sahip senaryo 4'ün (AÇKAR çiftlik modeli) en küçük geri ödeme süresine sahip olduğu görülmektedir. Senaryolarda modellenen enerji dönüştürüm sistemleriyle birlikte akılcı enerji ve ekserji arz/taleplerinin yönetiminde sağlanan fayda enerji/yakıt tüketimlerinde de çok büyük getirilere olanak sağlamaktadır. Burada tek başına senaryolara yenilebilir veya yüksek teknoloji enerji dönüştürüm sistemleri eklemenin değil aynı zamanda arz ve talepler arasındaki ekserji bazlı akılcı yönetim veriminin iyi düzeylerde sağlanmasıyla yakıt ve enerji tüketimlerinde de o derece fayda sağlandığı vurgulanmaktadır.

4.2. Amaç Fonksiyonu ve Analizler

Senaryolar için hesaplanan karbon salım değerleri, basit geri ödeme süreleri ve akılcı ekserji verim değerleri kullanılarak yazılan amaç fonksiyonu ile modellerin çeşitli yönlerden karşılaştırılması yapılmıştır. Amaç fonksiyonunda senaryolarda hesaplanan tüm bu değerler temel senaryonun değerleri ile oranlanarak birbiri ile işlem yapılabilir hale getirilmiştir. Bu şekilde modellerin akılcılıkları, geri ödeme süreleri aynı paydada toplanır hale gelmiştir. Aynı paydada toplanabilen bu değerleri en

küçükleyen senaryo modellemeler arasında bize en akılcı arz/talep enerji ve ekserji dengesini yöneten senaryoyu vermektedir.

$$\min \quad a \frac{\sum CO_{2i}}{\sum CO_{2T}} + b \frac{G\ddot{O}S_i}{G\ddot{O}S_T} + c \frac{\bar{\Psi}_T}{\bar{\Psi}_i} \quad (4-2)$$

Denklem 4.2 ile ilk terimde her hangi bir (*i*) senaryosunun temel senaryo ile karbon salımları oranı, ikinci terimde geri ödeme süreleri oranı ve üçüncü terimde ortalama akılcı ekserji verimi değerleri birbiriyle oranlanarak aynı payda getirilen değerler toplanmaktadır. Amaç fonksiyonunda ki değişkenlere ağırlıklar verilerek oranların amaç fonksiyonundaki etkileri değiştirilmektedir. Kullanıcıya göre önemi değişen kriterlerin ağırlık değerleri amaç fonksiyonunda değiştirilerek senaryoları farklı yönlerden esnek bir şekilde inceleme fırsatı oluşmaktadır.

Çalışmada değişen ağırlık değerlerine göre farklı amaç fonksiyonları incelenerek, amaç fonksiyonu değerini en küçükleyecek model aranmaktadır.

Çizelge 4.3 Senaryolara ait hesaplanan değerler

	SENARYOLAR				
	Temel Senaryo	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
Ort. Akılcı Ekserji Verimi					
YAZ	0,26	0,47	0,48	0,48	0,6
KIŞ	0,27	0,41	0,47	0,44	0,55
Karbon Salımları (ton)					
YAZ	571,03	206,98	125,85	114,8	70,22
KIŞ	520	220,15	142,4	162,4	61,2
Geri Ödeme Süresi	-	1,15	0,71	0,83	0,55

Çizelge 4.3'te senaryolara ait ortalama akılcı ekserji verimleri, karbon salımı ve geri ödeme süresi değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.4 Amaç fonksiyonunda kullanılan değişken değerleri

	Ort. Akılcı Ekserji Verimi	Karbon Salımı	GÖS
Temel Senaryo	0,27	520	-
Senaryo 1	0,41	220,15	1,15
Senaryo 2	0,47	142,4	0,71
Senaryo 3	0,44	162,4	0,83
Senaryo 4	0,55	61,2	0,55

Çizelge 4.4'te senaryolara ait amaç fonksiyonunda kullanılan ortalama akılcı ekserji verimleri, karbon salımı ve geri ödeme süresi değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.5 Amaç fonksiyonu ağırlık değerleri

a (CO ₂)	b (GÖS)	c (Ekserji verimi)
0,33	0,33	0,33
0,50	0,20	0,30
0,10	0,60	0,30

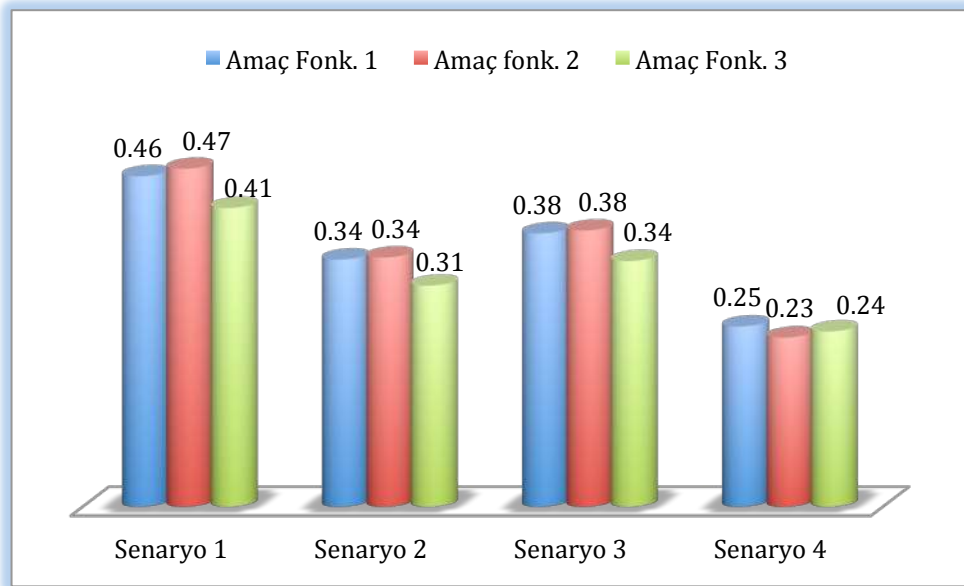
Çizelge 4.5'te amaç fonksiyonunda kullanılan farklı ağırlık değerleri verilmektedir. Bu değerlere göre amaç fonksiyonunu en küçükleyen senaryolar aranmaktadır. Birinci amaç fonksiyonunda tüm oranların ağırlık değerleri aynı alınarak amaç fonksiyonunu en küçükleyecek hesaplamalar yapılmıştır. İkinci amaç fonksiyonunda karbon salımının değeri artırılarak bu oranın en etkili olduğu senaryo bulunmaktadır. Üçüncü amaç fonksiyonunda da akılcılığı gösteren karbon salım oranları ve ortalama akılcı ekserji verim değeri oranlarının ağırlıkları düşürülerek geri ödeme süresinin öneminin artırıldığı amaç fonksiyonunu en küçükleyecek senaryo aranmaktadır.

Çizelge 4.4 ve 4.5'te verilen değerlerin denklem 4.2 'de kullanılmasıyla hesaplanan amaç fonksiyonlarının senaryolara göre değerleri Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6 Senaryolara göre amaç fonksiyonu değerleri

	Amaç Fonk. 1	Amaç Fonk. 2	Amaç Fonk. 3
Senaryo 1	0,46	0,47	0,41
Senaryo 2	0,34	0,34	0,31
Senaryo 3	0,38	0,38	0,34
Senaryo 4	0,25	0,23	0,24

Yukarıdaki çizelgedeki değerlere göre amaç fonksiyonlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.4'te incelenmektedir.



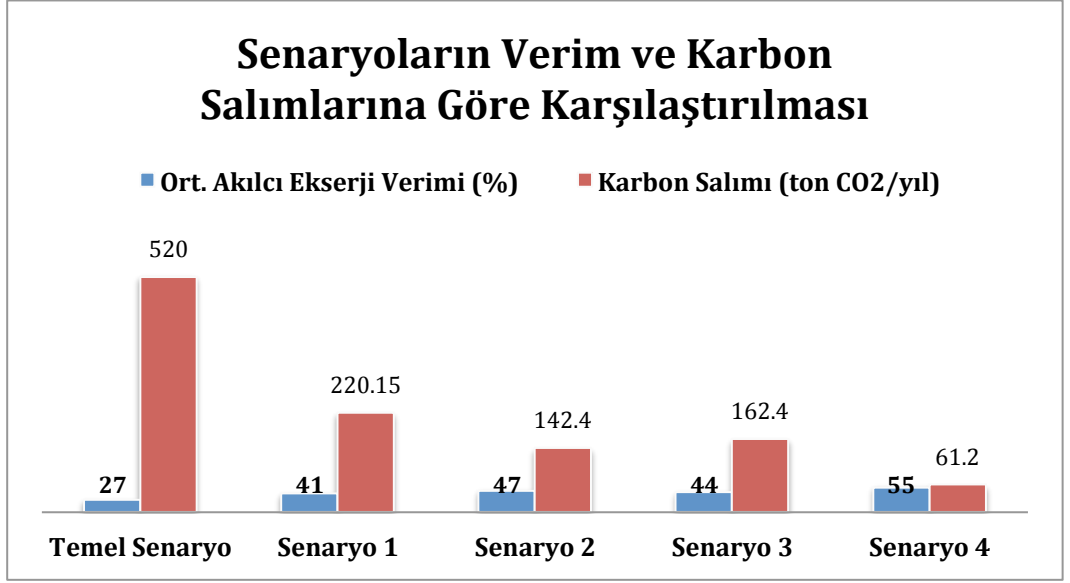
Şekil 4.4 Amaç fonksiyonları grafiksel gösterimi

Grafik incelendiğinde her senaryonun amaç fonksiyonları değerleri ayrı ayrı gözlemlenmektedir. Burada tüm amaç fonksiyonları için en küçük değere senaryo 4 yani çiftlik modeli sahiptir. Bu da amaç fonksiyonlarında incelenen karbondioksit salımı, ortalama akılcı ekserji verimi ve geri ödeme süresi bakımından en akılcı modellenen senaryonun dördüncü senaryo olduğunu göstermektedir. Amaç fonksiyonunda kullanılan değişkenlerin oranları incelendiğinde temel senaryo ile arasındaki fark en büyük olan

senaryo 4'tür. Şekil 4.4'te de daha rahat görüleceği üzere tüm değişken değerleri bu senaryo için en büyük farklara sahiptir.

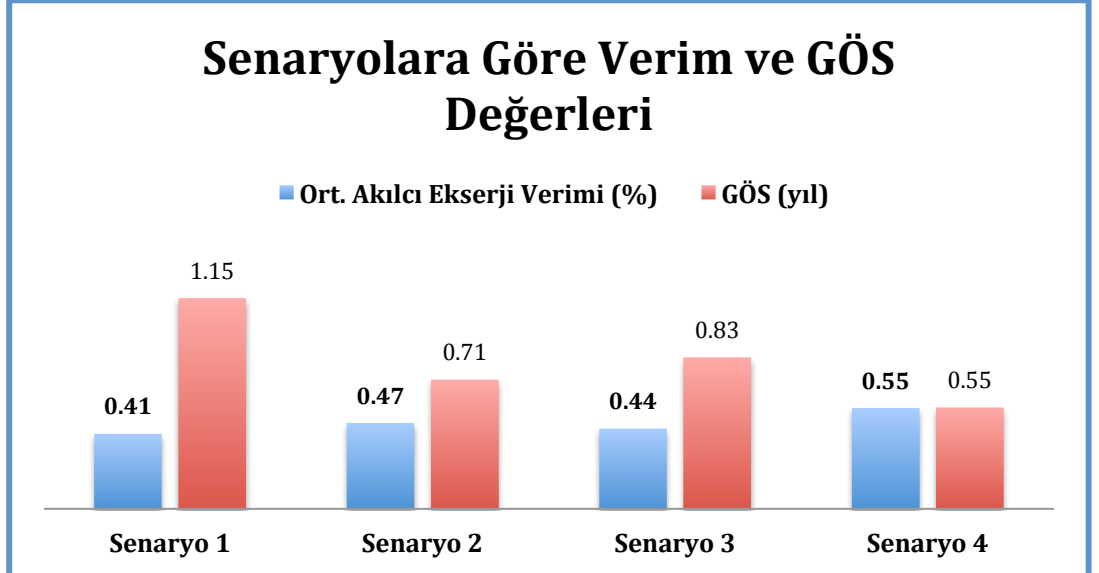
Çiftlik modelinde konvansiyonel sistemlerle birlikte kullanılan yenilebilir enerji sistemlerinin ve aynı zamanda tüm enerji sistemleri arasında belirlenen algoritma doğrultusunda enerji/ekserji arz ve talepleri yük dağılım dengesi en akılcı olarak modellenmiştir. Temel senaryoya göre karbon salımlarında oldukça büyük farklar gözlemlenmekte ve geri ödeme süresi, kabul edilen maliyetler dahilinde de en düşük düzeye sahiptir. Burada geri ödeme süresinde en büyük etki yatırım maliyetlerinden değil doğru yük dağılımı ve yenilebilir enerji kaynakları ile sağlanan yakıt tasarrufundan sağlanmaktadır.

En büyük amaç fonksiyonu değerlerine alışılmış model olan temel senaryo sahiptir. Bu da bize akılcı ekserji ve enerji arz/talep dengelerinin yönetilmediği, kaynakların akılcı kullanılmadığı, talep edilen yükleri karşılayan enerji dönüştürüm sistemlerinin doğru modellenmediği sistemlerde karbon salımlarının ve geri ödeme sürelerinin arttığı, ortalama akılcı ekserji verim değerinin oldukça düştüğünü göstermektedir. Ortalama akılcı ekserji değerinin çok düşük olduğu konvansiyonel sistemlerle kullanılan kaynak ne kadar kaliteli olursa olsun talep edilen ekserjinin incelenmediği, doğru talep noktalarına aktarılmadığı durumlarda boşa harcanan bir kaynak olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda akılcı modellemenin yapılmadığı sistemlerde talep edilen yükü karşılamak için arz tarafından fazladan kullanılan kaynağın karbon değeri düşük olmasına rağmen fazladan tüketilmesi de karbon salımlarını oldukça arttırmaktadır.



Şekil 4.5 Senaryolara göre ortalama akılcı ekserji verim ve karbon salımları

Şekil 4.5 incelendiğinde, senaryoların ortalama akılcı verimleri arttıkça karbon salımlarının azaldığı gözlemlenmektedir. Bu da bize arz ve talep enerji/ekserji dengeleri yönetiminin akılcı yönetiminin arttığı senaryolarda karbon salımlarının da oldukça azalabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.6 Senaryolara göre ortalama akılcı ekserji verimleri ve GÖS değerleri

Şekil 4.6 incelendiğinde artan ortalama akılcı ekserji verim değerlerine göre senaryoların basit geri ödeme sürelerindeki azalış gözlemlenmektedir. Bu her zaman geçerli olmamakla birlikte bu çalışmada kabul edilen maliyet değerlerine göre ve senaryolar için yazılan algoritmalara göre elde edilen bir sonuçtur. Çalışmada çiftlik modelinin ortalama akılcı ekserji verimi en büyük değere sahip senaryodur. Bu senaryoda modellenen yenilebilir ve akılcı enerji dönüştürüm sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin gider maliyetlerini yükseltmesine rağmen yazılan algoritma ile enerji/yakıt tasarruflarını diğer senaryolara göre oldukça yükselttiği daha önceki bölümlerde gözlenmişti. Bu da sistemlerin modellenmesinde akılcılığın artırılması ile alınan maliyet değerlerine göre akılcılığın basit geri ödeme sürelerini azaltabileceği durumların olabileceğini göstermektedir.

5. BULGULAR VE ÖNERİLER

5.1. BULGULAR

Tez kapsamında, artan enerji taleplerinin karşılanmasında kullanılan birincil enerji kaynaklarının tükenir nitelikte olması ve enerji dönüştürümü sonucunda oluşturdukları atık ve salımların çevreye zararlı olması sorunlarına çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının, diğer enerji kaynakları ile birlikte melez olarak (harmanlanarak) kullanılması akılcı ekserji yönetimi tabanında geliştirilen bir çözümleme yöntemi çerçevesinde önerilmektedir. Çalışmada tasarlanan melez sürdürülebilir enerji sistemlerinde çevre, ekonomi, enerji ve toplum refahı dörtleminin tek çerçeve altında incelenmesi ile karbon dioksit salımları, enerji tüketimleri, enerji verimliliği, yakıt tasarrufu gibi unsurlar üzerine etkiler sorgulanmıştır. Bu kapsamda, Excel programında ekserji tabanlı hazırlanan algoritma ile senaryolar modellenip, çeşitli amaç fonksiyonları ile etkileşimli araştırmalar yapılmıştır.

Melez sistemlerde arz tarafındaki ekserji girdilerinin en yüksek ortalama ekserji verimi sağlanarak talep tarafındaki ekserji ihtiyaçlarını ekserji arz ve talep dengeleri göz önünde tutularak karşılayacak şekilde dağıtılması birincil öncelik olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda geliştirilen algoritma ile alışılmış enerji sistemlerini içeren temel senaryo ile analizler yapılmaya başlanarak melez enerji sistemleri ve bu sistemlerde kullanılan kaynaklar çeşitlendirilerek dört farklı senaryo kurgulanmıştır. Bu çalışma kapsamında aşağıda detayları verilen bulgular elde edilmiştir.

- Çizelge 4.1 incelendiğinde en yüksek ilk yatırım maliyetinin ve en düşük yakıt ve enerji maliyetinin Senaryo 4'te olduğu görülmektedir. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ile birlikte değerlendirildiğinde, yakıt/enerji tüketimlerinde temel senaryoya göre sağlanan fayda arttıkça geri ödeme sürelerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu da bize modellemelere eklenen enerji dönüştürüm sistemlerinin yatırım maliyetlerini arttırmasına rağmen, enerji ve ekserji arz/taleplerinde daha akılcı bir şekilde

sağlanan yük dağıtımlarının yakıt/enerji maliyetlerinde sağladığı tasarruf artışının yatırım maliyetlerine göre daha büyük oranlarda olduğunu göstermektedir.

- Şekil 4.2 ve 4.3 birlikte incelendiğinde yakıt/enerji maliyetlerindeki tasarruf (346249,8 TL/ kış mevsimi) açısından en büyük paya sahip senaryo 4'ün (AÇKAR çiftlik modeli) en küçük geri ödeme süresine sahip olduğu görülmektedir.
- Çizelge 4.3'te senaryolara ait ortalama akılcı ekserji verimleri, karbon salımı ve geri ödeme süresi değerleri incelendiğinde ortalama akılcı ekserji verim değerinin arttığı senaryolarda karbondioksit salım ve GÖS'lerinin büyük oranlarda azalımı gözlenmiştir. Senaryo 4'te ekserji verimi yaklaşık iki kat arttığında karbondioksit salımı yaklaşık sekiz/dokuz kat azalmaktadır. Akılcılığın birlikte gözlemlendiği bu iki ölçüt bize var olan kaynakların ve enerji dönüştürüm sistemlerinin ekserji tabanında modellenmesi ile sağlanan faydaların giderek arttığını göstermektedir.
- Excel programında hazırlanan algoritma ile amaç fonksiyonunda ortalama akılcı ekserji verimi, toplam karbon salımı ve basit geri ödeme sürelerine farklı ağırlıklar verilerek amaç fonksiyonu çeşitlendirilmiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 birlikte incelendiğinde, verilen ağırlık değerlerine göre senaryoların üç farklı amaç fonksiyonundaki sonuç değerleri hesaplanmıştır.
- Belirlenen algoritma doğrultusunda enerji/ekserji arz ve talepleri yük dağılım dengesi tüm amaç fonksiyonlarında en küçükleyen değerler en akılcı olarak Senaryo 4'te sağlanmıştır. En büyük amaç fonksiyonu değerleri ise tamamen konvansiyonel sistemlerin bulunduğu modele sahip temel senaryoda gözlemlenmiştir.
- Amaç fonksiyonu sonuçları incelendiğinde, Senaryo 2 ise Senaryo 3'ten daha küçük değerlere sahiptir. Bu sonuca göre de soğutmanın Chiller yerine ABS sistemi ile yapıldığı Senaryo 3'te kullanılan sistemlerin

akılcılıklarının tek başlarına değerlendirildiği değil melez sistem içerisindeki katkılarının araştırılmasıyla yapılan sistem modellerinin önemi gözlemlenmiştir.

- Çalışmada dikkat çeken bir başka konu da sistemlerin hangi sınır çizgileri dahilinde incelendiğidir. Melez enerji sistemleri tasarımlarında ekserji analizleri yapılırken akılcı ekserji verimliliği çözümlemesi sırasında seçilecek çözümleme sınırlarının çok önemli olduğu ve incelenen sınıra göre farklı sonuçlar elde edilebileceği (Şekil 2.18) gözlemlenmiştir. Kaynaktan başlanarak talep noktasına kadar değişik çerçevelere göre farklı sonuçlar alınabilmektedir. Çalışmada karbon salımları için arz edilen kaynak ile sağlanacak talep arası sorgulanmıştır.
- Birlikte ısı ve güç sistemlerinde, elektrik üretiminde geri kazanılan atık ısı doğrudan yararlı işlerde (buhar, kızgın su, sıcak su gibi) aynı yerde kullanılması ile %40 kadar birincil enerji tasarruf edilebilmektedir. Çizelge 4.2 incelendiğinde de temel senaryo ile olan yakıt ve enerji maliyetlerinin giderek azaldığı gözlemlenmiştir.
- Tüm senaryolarda çizilen ekserji akış çubukları ekserji yıkımları olup olmadığını detaylı olarak göstermektedir. Senaryo 4 'te biyogaz ve yenilebilir kaynaklar ile sağlanan enerji taleplerinde bile karbondioksit salımlarının olduğu Çizelge 4.3'te yaz ve kış işletmeleri için mevsimlik 70,22 ve 61,2 olarak görülmektedir. Bu sonuç, kullanılan kaynakların ne kadar kaliteli olduğundan çok doğru talep noktalarına doğru arzların aktarılmadığı durumlarda boşa harcanan bir kaynak olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte doğru amaç için kullanılmayan kaynakların sistemlerde direkt karbon sorumluluklarından başka dolaylı karbon salımlarını da arttırdığını göstermektedir.

Yapılan bu araştırma ile farklı enerji kaynakları kullanan melez enerji sistemleri, enerji verimliliği, sürdürülebilir enerji sistemleri, yakıt tasarrufları, yenilebilir enerjiler, enerji ekonomisi ve CO₂ salımları üzerine çalışan tüm akademik çalışmalara destek ve kaynak olması da amaçlanmıştır.

5.2.ÖNERİLER

Bu çalışmanın devamı olarak:

- Tez kapsamında, belirli bir zaman dilimi için bir kesit alınarak kabul edilen değerlere göre analizler yapılmıştır. İlerleyen çalışmalarda, işletme faktörü ve kapasite faktörü gibi mevsimlik ve kullanıcı değişkenliklerinin sabit alındığı çalışmada saatlik verilere bakılarak yapılan analizlerle elde edilen değerler algoritmada kullanılarak sonuçlar daha gerçekçi noktalara çekilmesi,
- Kullanıcı ara yüzleri ile kullanıcı talep verileri ve sistem modelinde kullanılacak enerji dönüştürüm sistemleri bilgileri daha esnek bir yapıyla alınarak geliştirilen algoritma ile modellenmesinin sağlanabilmesi,
- Çalışmada ısı depolama ile belirli bir oranda talep yüklerde iyileştirme sağlandığı kabul edilerek analizler yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda ise ısı depolamanın irdelenerek kapsamlı bir şekilde talep yüklerine olası etkileri araştırılması,
- Sabit alınan enerji/yakıt maliyetleri üzerinde fiyat projeksiyonları yapılarak gelecek fiyatlar için kabuller yerine olabilecek değerler analizlerde kullanılması,
- Çiftlik modeli için biyogaz ile sağlanan faydanın belirli riskleri dışarıda bırakmak için sıfır CO₂ salımı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Yapılacak analizler detaylandırılarak CO₂ salımları üzerine gerçek etkilerin araştırılması gelecek çalışmalar olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

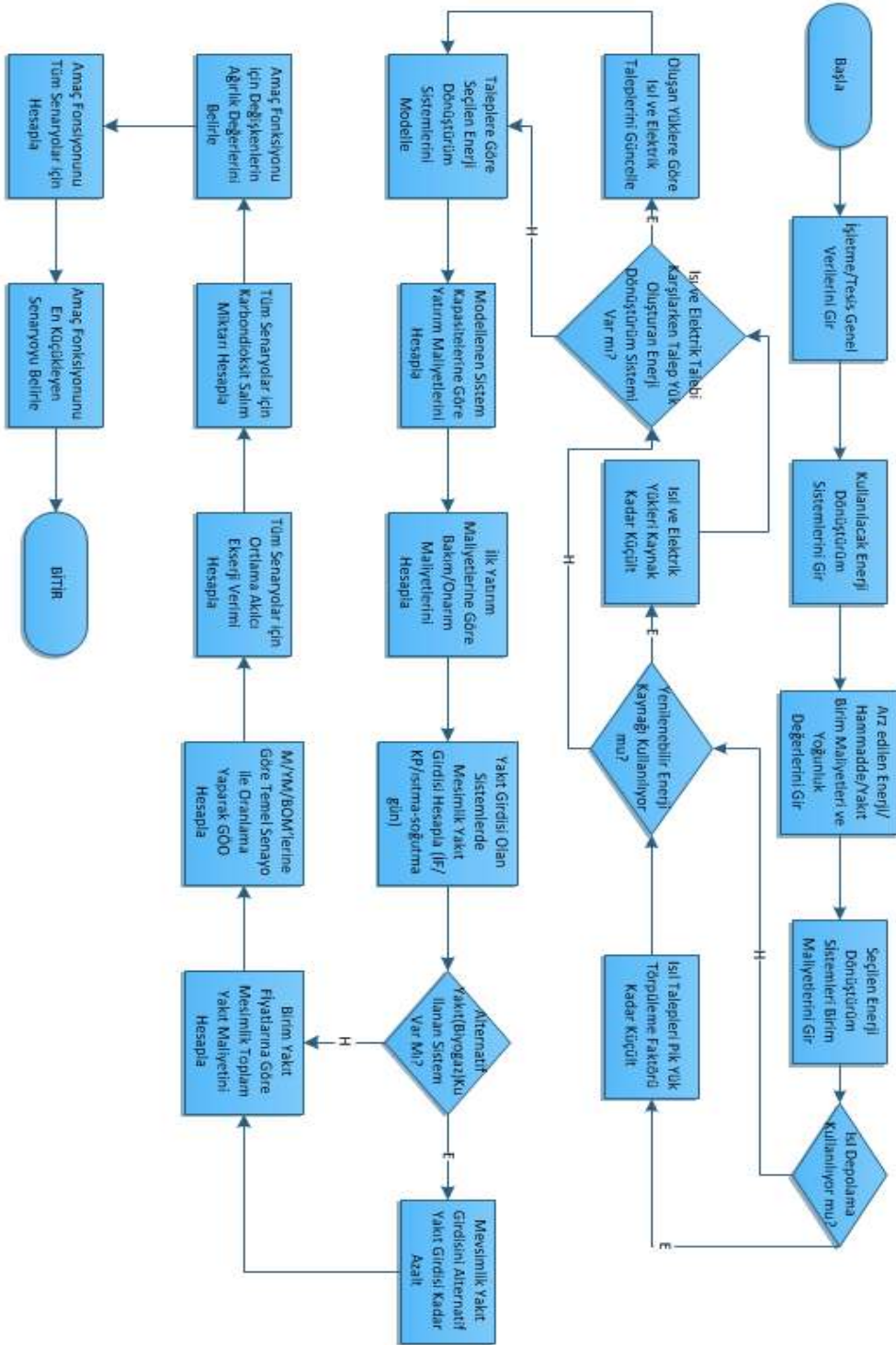
- [1] Kilkis, S. 2009. Rational Exergy Management Model for Sustainable Buildings to Reduce CO₂ Emissions. Proceedings of the 40th Congress on HVAC&R, Belgrade, 391-412, 2009.
- [2] Kılış, B. ve Kılış, Ş. 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Birlikte Üretim Kavramı İçerisinde Akılcı Kullanımı, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kongre Kitabı, 4-6 Ekim, Girne, KKTC, 2013.
- [3] Kılış, B., Üçlü Güneş Enerjili Net-sıfır Ekserji Evi, Ulusal İklimlendirme Kongresi İklim 2011, 18-20 Kasım, 2011, Kongre Açılış Sunusu, Bildiriler Kitabı, s: 3-10, Antalya, 2011.
- [4] Kandilli, C., Külahlı, G. ve Savcı, G, Fotovoltaik Termal (PVT) Sistem 2D Termodinamik Modellenmesi ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan, İzmir, 2013.
- [5] Çakmanus, İ., Künar, A., Kılış, B., Toprak ve G. Gülbeden, A. CLIMA 2010 Conference Proceedings on CD, ISBN: 978-975-6907-14-6, 9-14 May, Antalya, 2010.
- [6] Mohammadkhani, F., Khalilarya, Sh., Mirzaee, I., Energetic and Exergetic Analysis of Internal Combustion Engine Cogeneration System, The Journal of Energy: Engineering & Management, Vol. 2, No. 4, Winter 1391, P. 24-31, 7 April, 2012.
- [7] Bingöl, E., Kılış, B., Eralp, C., Exergy based performance analysis of high efficiency poly-generation systems for sustainable building applications, Elsevier, Energy and Buildings 43, 3074–3081, 2011.
- [8] Kılış, B. An Exergy-Based Computer Algorithm for Sizing CHP Systems in Health Facilities, ASHRAE 2014 Winter Meeting Transactions, Paper No: 12170, New York, January 18-22, 2014.
- [9] Yavuz T., Kılış B., Erol Ö., Sürdürülebilirlik Stratejileri ve Performans Metriklerinde Enerji Niteliğinin Türkiye Açısından Önemi, Türkiye 11. Enerji Kongresi, 21-23 Ekim, İzmir, Bildiriler CD si, 2009.
- [10] Nacar Koçer N., Öner C., Sugözü İ., Türkiye’de hayvancılık potansiyeli ve biyogaz üretimi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2006.
- [11] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kojenerasyon>
- [12] <http://fbe.balikesir.edu.tr/dergi/20101/BAUFBE2010-1-11.pdf>
- [13] Dinçer, İ. ve Erdallı, Y., “Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Rolü ve Etkinliği”, Termodinamik, 5, s.31-37, 1993.

- [14] Dagnall, S., Hill, J., Pegg, D., Resource Mapping and Analysis of Farm Livestock Manures – Assessing the Opportunities for Biomass-to-Energy Schemes, Bioresource Technology 71, 225-234, 2000.
- [15] <http://www.mt-energie.com/tr/biyogaz-tesisleri.html>
- [16] Kozak, M., Kozak, Ş., Enerji Depolama Yöntemleri, SDU International Technologic Science, Vol. 4, No 2, November , pp. 17-29 , 2012.
- [17] Kilkis, S. A Rational Exergy Management Model for Curbing Building CO₂ Emissions. ASHRAE Transactions, Vol. 113, Part 2, 113-123, 2007.

EKLER

Ek 1. Geliştirilen Algoritma Temel Akış Şeması.....	183
Ek 2. Literatür Araştırmasına Ek Olarak İncelenen Çalışmalar.....	184

Ek 1. Geliştirilen Algoritma Temel Akış Şeması



* 'Taleplere göre Seçilen Enerji Dönüştürüm Sistemlerini Modelle' süreci Şekil 3.7, 3.8, 3.14, 3.15, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24 ve 3.25 ile birlikte incelenmelidir.

Ek 2. Literatür Araştırmasına Ek Olarak İncelenen Çalışmalar

Yenilenebilir Melez Enerji Sistemlerini İnceleyen Çalışmalar			
Yayın Adı	Yazarlar	Yayın Yeri	Anahtar Kelimeler
An approach to hybrid power systems integration considering different renewable energy technologies	Nicolas Lopez, Jose F. Espiritu	Procedia Computer Science Volume 6, 2011, Pages 463–468	- Renewable energy integration - Multi-objective optimization - Energy software/mathematical forecast - Hybrid power (wind/solar) - Energy storage systems
Hybrid renewable power systems for mobile telephony base stations in developing countries	Kanzumba Kusakana, Herman Jacobus Vermaak	Renewable Energy Volume 51, March 2013, Pages 419–425	- Hybrid Photovoltaic–Wind renewable systems - Cost effective - Off-grid supply option - Technical performance, economics and environmental impacts - Simulations using HOMER - The Initial Capital, the Total Net Present Cost, the Cost of Energy. - Fuel consumption and CO₂ emissions
Simulation of hybrid renewable microgeneration systems for variable electricity prices	C. Brandonia, M. Renzib, F. Caresanac, F. Polonarc	Applied Thermal Engineering Available online 1 November 2013	- Micro-CCHP - Solar systems;PV and High Concentrator Photovoltaic (HCPV) - Electricity prices - Minimize the primary energy usage, the carbon dioxide emissions and the operational costs - Multi-objective linear optimization - Hybrid renewable systems
Off-grid electricity generation with renewable energy	Ohit Sena, Subhes C. Bhattacharyya,	Renewable Energy Volume 62, February 2014, Pages 388–	- Hybrid off-grid systems - Identifies the

technologies in India: An application of HOMER		398	optimal system using HOMER software. • Small-scale hydropower, • Solar photovoltaic systems • Wind turbines • Bio-diesel generators • The paper estimates the residential, institutional, commercial, agricultural and small-scale industrial
Modeling and optimization of a hybrid system for the energy supply of a “Green” building	Hanane Dagdouguia, Riccardo Minciardia, Ahmed Ouammic, Michela Robbaa, Roberto Sacilea	Energy Conversion and Management Volume 64, December 2012, Pages 351–363 IREC 2011, The International Renewable Energy Congress	• Dynamic decision model • The presence/absence of the energy storage system • Green Building • RES • Model Predictive Control (MPC)
Energy and exergy analyses of a biomass trigeneration system using an organic Rankine cycle	Fahad A. Al-Sulaiman Ibrahim Dincer, Feridun Hamdullahpur	Energy Volume 45, Issue 1, September 2012, Pages 975–985 The 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy, ECOS 2011	• Hybrid renewable energy system • Energy management • Decision support systems • Simulation optimization
An application of a combined wind and solar energy system in Izmir	Aydogan Ozdamar, Necdet Ozbalta, Alp Akin, E. Didem Yildirim	Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 9, Issue 6, December 2005, Pages 624–637	Combined system • Energy • Renewable energy • Solar energy • Wind energy