ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALI ARA BUHARI İLE BÖLGESEL ISITMANIN İNCELENMESİ

Halil İbrahim TOPAL

Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır

ZONGULDAK
Mayıs 2013

KABUL:

Halil İbrahim TOPAL tarafından hazırlanan "ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALI ARA BUHARI İLE BÖLGESEL ISITMANIN İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 24/05/2013

Başkan: Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ (BEÜ) .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa EYRİBOYUN (BEÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KÜ) .....

Üye : Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KÜ) .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan TOPUZ (BEÜ) .....

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2013

Prof. Dr. Özden ÖZEL GÜVEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."

Halil İbrahim TOPAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALI ARA BUHARI İLE BÖLGESEL ISITMANIN İNCELENMESİ

Halil İbrahim TOPAL

Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ
İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa EYRİBOYUN
Mayıs 2013, 97 sayfa

Elektrik üretimi için tasarlanmış geleneksel kömür yanmalı güç üretim santrallerinde yakıt enerjisinin yaklaşık 1/3'ü faydalı enerjiye dönüştürülebilirken diğer kısmı baca gazı ve yoğuşturucuda çevreye atılmaktadır. Termodinamik çevrim gereği atılmak zorunda olunan bu enerjiyi, santrali birleşik ısı güç üretim sistemine dönüştürerek azaltmak mümkündür. Aynı anda ısı ve elektriğin üretildiği sistem olan birleşik ısı güç santrali ısısı ile bölgesel ısıtma yapmak mümkündür.

Bu çalışmada Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nde yoğuşturucuda soğutma suyuna verilen ısı miktarını azaltmak amacıyla Zonguldak il merkezinde bölgesel ısıtma yapmanın yolları araştırılmıştır. Bölgesel ısıtma için gerekli olan ısı, buhar türbininden ara buhar alarak sağlanmıştır. Santral verimini maksimum düzeyde tutacak buhar alma yerini belirlemek için dört farklı model geliştirilmiş ve en iyi buhar alma yeri tespit edilmiştir. Bölgenin toplam ısıtma yükünü belirlemek için yalıtımlı ve yalıtımsız olması durumuna göre iki farklı tipte referans

bina seçilerek ısı kaybı hesabı yapılmış, binanın sıcak tüketim suyu enerji ihtiyacı da eklenerek bölgenin toplam ısıtma yükü ortaya konmuştur. Santral ile bölge arasında sıcak akışkanı taşıyacak olan boruların çapı bölgenin değişen toplam ısı yüküne bağlı olarak ekonomik boru çapı hesabı yöntemiyle hesaplanmış ve boru hattında meydana gelen ısı kaybı tayin edilmiştir. Bölgesel ısıtma yöntemiyle ısınma ile, doğalgaz ile ısınmanın kıyaslanması için birim ısı enerjisi maliyeti belirlenmiştir. Birim ısı enerjisi maliyeti; santralde buhar çekilmesi durumunda meydana gelecek elektrik enerjisindeki azalmayı, ilk yatırım maliyetini, pompa için gerekli olan elektrik enerjisi ihtiyacını ve bakım onarım masraflarını gözeterek hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Zonguldak'ta Çatalağzı Termik Elektrik Santralinden ara buhar alarak bölgesel ısıtma yapmanın hem enerjitik hem de ekonomik açıdan faydalı bir ısıtma sistemi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bölgesel ısıtma, Kojenerasyon, Enerji verimliliği

Bilim Kodu: 625.04.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF DISTRICT HEATING BY STEAM EXTRACTION FROM ÇATALAĞZI THERMAL ELECTRICITY POWER PLANT

Halil İbrahim TOPAL

Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechnical Engineering

Thesis Advisor: Prof. Mehmet KOPAÇ
Co-Advisor: Asst. Prof. Mustafa EYRİBOYUN
May 2013, 97 pages

In a conventional coal-fired power plant, which is only designed for electricity generation, while nearly 1/3 of fuel energy can be converted to useful energy, the other part of the energy is wasted as stack gases and cooling water of condensers. This waste energy could be recovered by modifying the plant as cogeneration system. It is possible to employ district heating by cogeneration system which generates both electricity and useful heat at the same time.

In this study, the possibility of employing district heating in Zonguldak has been researched in order to reduce waste energy amount that is transferred to the cooling water of condensers in Çatalağzı Thermal Electricity Power Plant. The heat demand of district heating system has been met by steam extraction from turbine. To simply the steam extraction point, four different cycle model have been developed and the most appropriate steam extraction point has been identified. To specify heat demand of the location, two types of building have been modelled as isolated and unisolated and the total heat demand of the location has been determined.

ABSTRACT (continued)

The most economical pre-isolated pipe diameter which is used for transporting the hot fluid between the location and the plant and the heat losses at these pipes have been calculated. The unit cost of heat energy has been determined in order to compare district heating and heating with natural gas. In order to specify the unit cost of heat energy; the decrease of the electricity generation as the steam extraction takes place, the first investment cost, the need of electricity for pumps, maintaning and repairing costs have been considered. Results have indicated that employing district heating system by the way of steam extraction from Çatalağzı Thermal Electricity Power Plant is a useful heating system from the view of energy efficiency and economy.

Keywords: District heating, Cogeneration, Energy efficiency

Science Code: 625.04.01

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın Danışmanı olan Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ'a çalışmamın her anında bana verdiği katkı ve gösterdiği sabırdan ötürü teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmamın İkinci Danışmanı Yrd. Doç. Dr. Mustafa EYRİBOYUN'a çalışmama verdiği destekten ötürü teşekkür ederim.

Tez konusunun belirlenmesinde bana yardımcı olan Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Öğretim Üyesi olarak görev yapan Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM ve tez çalışmamda bana yardımcı olan Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi Şaban PUSAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bana sabırla destek olan ev arkadaşım Arş. Gör. Hamza ERDOĞAN ile oda arkadaşım Arş. Gör. Erdal TEKİN'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam ve bütün hayatım boyunca bana maddi ve manevi anlamda hiçbir desteği esirgemeyen biricik aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tez çalışmam süresince benden desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen Sevda ÖZCAN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL ii
ÖZET iii
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xvii

BÖLÜM 1 GİRİŞ 1

BÖLÜM 2 KOJENERASYON VE BÖLGESEL ISITMA 9

2.1 KOJENERASYON 9
2.1.1 Karşı Basınç Türbinli Kojenersayon Uygulaması 12
2.1.2 Ara Buhar Almalı Türbinler İle Kojenerasyon Uygulaması 13
2.1.3 Gaz Türbinli Kojenerasyon Uygulaması 14
2.1.4 Diesel Motorlu Kojenerasyon Uygulaması 15
2.2 BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ 15
2.2.1 Bölgesel Isıtma Sisteminin Faydaları 18
2.2.2 Dünyada Bölgesel Isıtma Uygulamaları 19
2.2.3 Türkiye'de Bölgesel Isıtma Uygulamaları 22

BÖLÜM 3 ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ VE KOJENERASYON SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLEREK BÖLGESEL ISITMA YAPILMASI 23

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.1 ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİ 23
3.1.1 Çatalağzı Termik Elektrik Santrali Çalışma Yöntemi 25
3.1.2 Çatalağzı Termik Elektrik Santrali Termodinamik Analizi 26
3.1.2.1 Baca Gazı Enerji Kaybı Hesabı 31
3.2 ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİNİN KOJENERASYON SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLEREK BÖLGESEL ISITMA YAPILMASI 35
3.2.1 Baca Gazlarından Kaynaklı Atık Isı İle Bölgesel Isıtma Yapılması 35
3.2.2 Yoğuşturucudan Deniz Suyuna Geçen Isı ile Bölgesel Isıtma Yapılması 35
3.2.3 Isı Değiştiricileri İle Bölgesel Isıtma Yapılması 35
3.2.4 Santralden Ara Buhar Çekilerek Bölgesel Isıtma Yapılması 36
3.2.5 Kojenerasyon Sistemin Analiz Sonuçları 40
3.2.5.1 Ara Buhar Oranının 0-0,25-0,5 Olmasına Göre Sonuçlar 40
3.2.6 Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi 43
3.2.6.1 Modellerin Türbinde Üretilen Güce Etkisi 43
3.2.6.2 Modellerin Bölgesel Isıtma İçin Santralde Üretilen Isı Miktarı ve Soğutma Suyuna Transfer Olan Isı Enerjisi Üzerindeki Etkileri 44
3.2.6.3 Modellerin Genel Verim ve Enerjiden Yararlanma Oranına Etkisi 45
3.2.7 Modellerin Performans Katsayısına Etkisi 47

BÖLÜM 4 ZONGULDAK BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ 49

4.1 BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ KISIMLARI 49
4.1.1 Üretim Kısmı 49
4.1.2 İletim-Dağıtım Kısmı 50
4.1.3 Tüketim Kısmı 51
4.2 ZONGULDAK İL MERKEZİ BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ 51
4.2.1 Bina ve Konut Sayısının Belirlenmesi 52
4.2.2 Zonguldak'ta Referans Bir Binanın Isıtma Enerjisi İhtiyacının Belirlenmesi 53
4.2.2.1 Tek Hacimli Bina İçin Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesabı 53
4.2.2.2 Referans Bina Bilgileri ve Isı Enerjisi İhtiyacı 58

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

4.2.3 Konutların Pik Isıtma Yükünün Belirlenmesi 62
4.2.4 Zonguldak İçin Pik Sıcak Kullanım Suyu Yükünün Belirlenmesi 63
4.2.4.1 Bir Konutun Yıllık Isıtma Sıcak Kullanım Suyu Enerji İhtiyacı 65
4.2.5 Zonguldak İl Merkezi İçin Toplam Isı Enerjisi İhtiyacı ve Pik Yükler 66
4.2.6 Toplam Boru Hattı Uzunluğu 67
4.2.7 Akışkan Debisi Hesabı 68
4.2.8 Ekonomik Boru Çapı ve Pompa Gücü Hesabı 69
4.2.9 Ön İzolasyonlu Borularda Meydana Gelen Isı Enerjisi Kaybı 75
4.3 EKONOMİK HESAPLAR 78
4.3.1 İlk Yatırım Masrafları 78
4.3.2 Pompa İşletme Maliyeti 79
4.3.3 Bakım – Onarım – İşletme Masrafları 80
4.3.4 Elektrik Enerjisi Kaybı Maliyeti 80
4.3.5 Santralden Çekilecek Isı Miktarına Bağlı Olarak Isıtılabilecek Konut Sayısı ve Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Belirlenmesi 81
4.3.6 Toplam İlk Yatırım Masrafları Analizi 82
4.3.7 Pompa İşletme Maliyeti Analizi 83
4.3.8 Bakım Onarım İşletme Maliyeti Analizi 84
4.3.9 Elektrik Enerjisi Kaybı Maliyeti Analizi 85
4.4 BİRİM ISI ENERJİSİ ÜRETİM MALİYETİNİN BELİRLENMESİ 86
4.5 ANALİZ SONUÇLARININ DOĞALGAZ İLE MUKAYESESİ VE İRDELENMESİ 88
4.6 ZONGULDAK'TA ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİ ARA BUHARI İLE BÖLGESEL ISITMANIN UYGULANMASI 89

BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 91

KAYNAKLAR 93

ÖZGEÇMİŞ 97

ŞEKİLLER DİZİNİ

No		Sayfa
1.1	Kömür yanmalı termik santral çalışma prensibi	2
1.2	Türkiye güç üretiminin değişik yakıt türlerine göre dağılımı	2
1.3	Kojenerasyon sistemle bölge ısıtması	3
2.1	Ayrık ve kojenerasyon sisteminin enerji dengeleri	10
2.2	Kojenerasyon ve geleneksel sistemlerle enerji üretimlerinin sankey diyagramı ile karşılaştırılması	11
2.3	Bir ısı makinesi	12
2.4	Karşı basınçlı türbin çevrimi ile ısı enerjisi alma yöntemi	13
2.5	Ara buhar çekilmesi ile ısı enerjisi alma	14
2.6	Gaz türbinli birleşik ısı güç üretimi	14
2.7	Diesel motorlu birleşik ısı güç üretimi	15
2.8	Tipik bir bölgesel ısıtma sistemi	16
2.9	Bölgesel ısıtma sisteminin genel yapısı	17
3.1	Çatalağzı Termik Elektrik Santrali	24
3.2	Türkiye'de kurulu gücün yıllara göre değişimi	24
3.3	Çatalağzı Termik Elektrik Santraline ait kütle akış şeması	28
3.4	ÇATES enerji bilançosunun oransal gösterimi	34
3.5	ÇATES için 4 farklı Model olacak şekilde kütle akış şeması	37
3.6	Model A için yapılan analiz sonuçları	41
3.7	Model B için yapılan analiz sonuçları	41
3.8	Model C için yapılan analiz sonuçları	42
3.9	Model D için yapılan analiz sonuçları	42
3.10	Santral türbin gücünün BIS ara buhar oranına bağlı değişimi	43
3.11	Farklı modellerde BIS için santralde üretilen ısının ara buhar oranına bağlı değişimi	44
3.12	Yoğuşturucuda atılan ısının BIS ara buhar oranına bağlı değişimi	45
3.13	Modellerin genel verim üzerine etkisi	46
3.14	Modellerin Enerjiden Yararlanma Oranına etkisi	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

3.15 Dört farklı modele göre sistemin performans katsayının ara buhar oranı ile değişimi ... 47
3.16 Performans katsayısının santralden çekilen ara buhar basıncına göre değişimi ... 48
4.1 Bölge ısıtmanın temel kısımları ... 49
4.2 Bölgesel ısıtma sistemi akış şeması ... 51
4.3 Referans binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olma durumuna göre aylık ısı enerjisi talebi değişimi ... 62
4.4 ÇATES ile Zonguldak il merkezi arası kuşbakışı mesafe ... 67
4.5 Ön izolasyonlu boru ... 69
4.6 Senelik toplam sabit masrafların anma çapına bağlı olarak logaritmik değişimi ... 73
4.7 Senelik toplam sabit masrafların anma çapına bağlı olarak logaritmik değişimi (büyütülmüş) ... 73
4.8 Pompa gücü ihtiyacının pik ısı yüküne göre değişimi ... 75
4.9 Boru iç çapının pik ısı yüküne göre değişimi ... 75
4.10 Servis ve kılıf borusunun iç ve dış çapı ... 76
4.11 Ön izolasyonlu boruda meydana gelen ısı kaybının anma çapına bağlı değişimi ... 77
4.12 Bölgenin pik ısıtma yüküne karşılık ısıtılabilecek konut sayısı ... 81
4.13 Yalıtımlı konut sayısına göre ilk yatırım masrafları ... 82
4.14 Yalıtımsız konut sayısına göre ilk yatırım masrafları ... 83
4.15 Yalıtımlı konut sayısına göre bir yıllık pompa işletme maliyeti ... 83
4.16 Yalıtımsız konut sayısına göre bir yıllık pompa işletme maliyeti ... 84
4.17 Yalıtımlı konut sayısına göre bir yıllık bakım onarım işletme maliyeti ... 84
4.18 Yalıtımsız konut sayısına göre bir yıllık bakım onarım işletme maliyeti ... 85
4.19 Yalıtımlı konut sayısına göre bir yıllık elektrik enerjisi kaybı maliyeti ... 85
4.20 Yalıtımsız konut sayısına göre bir yıllık elektrik enerjisi kaybı maliyeti ... 86
4.21 Yalıtımlı konut sayısına göre birim ısı enerjisi maliyeti ... 87
4.22 Yalıtımsız konut sayısına göre birim ısı enerjisi maliyeti ... 87
4.23 Bölge ısıtma sistemi için birim enerji maliyeti ile doğalgaz birim enerji maliyeti değişimleri ... 88

ÇİZELGELER DİZİNİ

No		Sayfa
2.1	Berlin'de termik santrallar tarafıdan üretilen ısı ve elektrik değerleri	20
2.2	Kopenhag'da bölgesel ısıtma yapan santraller	20
2.3	Kozani bölgesi bölgesel ısıtmaya ait veriler	21
3.1	Çatalağzı Termik Elektrik Santrali teknik verileri	25
3.2	ÇATES kütle akış şemasındaki tüm noktalara ait termodinamik özelikler	29
3.3	ÇATES'de bulunun tüm elemanlara ait enerji denge denklemleri	30
3.4	ÇATES baca gazı ürünleri ve mol oranları	32
3.5	ÇATES baca gazlarına ait $\overline{c}_p$ değerleri	32
3.6	Baca gazları için entalpi değerleri	32
3.7	ÇATES'in enerji bilançosu	34
3.8	Modellemeler sonunda meydana gelen yeni hatların entalpi değerleri	38
3.9	Modellere ait enerji denklemleri	40
4.1	Zonguldak belediyesi sınırları içindeki mahallelere ait bilgiler	52
4.2	Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü	56
4.3	Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü	57
4.4	Referans bina bilgileri	58
4.5	Isı yalıtımlı referans bina için ısı kaybı hesabı	60
4.6	Isı yalıtımsız referans bina için ısı kaybı hesabı	61
4.7	Zonguldak il merkezine ait en düşük ve ortalama sıcaklıklar	62
4.8	Konutlarda muhtemel su tüketim yerleri	63
4.9	Konut ve şehir için eş zaman kullanım faktörü	64
4.10	Ay bazında konutlardaki sıcak kullanım suyu pik ısı yükü	64
4.11	Aylara bağlı olarak sıcak kullanım suyu ısıtma enerjisi ihtiyacı	66
4.12	Bir binanın enerji bilançosu	66
4.13	Isı enerjisinin hacimsel debiye göre değişimi	68
4.14	Malzeme cinslerine göre pürüzlülük katsayıları	71

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

4.15 Ön izolasyonlu boru özellikleri 72

4.16 Ekonomik boru çapına bağlı sonuçlar 74

4.17 Malzeme cinslerine göre ısıl iletkenlik katsayıları 77

4.18 Boru anma çapına bağlı mali veriler. 79

4.19 Bölgenin bir yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı 82

4.20 Santralden çekilen ısı miktarlarına bağlı olarak yalıtımlı ve yalıtımsız konutlar için ısı üretim maliyetleri ve bir konutun yıllık ödeyeceği ısı enerjisi maliyeti 88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_D : Dış duvarın alanı

A_d : Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı

A_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı

A_i : i yönündeki toplam pencere alanı

A_k : Dış kapının alanı

A_n : Bina kullanım alanı

A_P : Pencerenin alanı

A_T : Tavan alanı

A_t : Zemine oturan taban/döşeme alanı

$BİNA_{PİK}$: Binanın pik ısı yükü

D : Boru iç çapı

$EKF_{BİNA}$: Bina eş kullanım faktörü

$EKF_{şehir}$: Şehir eş kullanım faktörü

EYO : Enerjiden yararlanma oranı

f : Bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar oranı

$g_{i,ay}$: i yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü

h_i : i noktasındaki entalpi

$\bar{h}$: Baca gazı maddelerinin birim kütle başına molar entalpisi

h_f : Basınç düşümü

$\bar{h}_{kar}$: Baca gazı karışımı birim kütle entalpisi

H : Binanın özgül ısı kaybı

H_T : İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

$H_{u,kömür}$: Kömürün alt ısıl değeri

H_V : Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

$I_{i,ay}$: i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti

L : Boru uzunluğu

L_{iletim} : İletim hattı uzunluğu

$\dot{m}_{BIS}$: Bölgesel ısıtma için çekilen toplam buhar debisi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$\dot{m}_i$	:	i'deki kütlesel debi
$\dot{m}_{yakıt}$	:	Kömürün kütlesel debisi
N	:	Bina sayısı
n_h	:	Hava değişim oranı
$\dot{N}$	:	Baca gazı molar debisi
N_m	:	Pompa gücü
$p_{bakım_onarım}$	:	Bakım onarım işletme masrafları
$P_{bakım_onarım}$	:	Bakım onarım ve işletme masrafları toplam maliyeti
P_{bir}	:	Birleştirme seti, dirsek, branşman ayırıcı, kompansatör vb. toplam maliyeti
p_{boru}	:	İletim hattındaki birim boru maliyeti
P_{boru}	:	Toplam boru maliyeti
$p_{elektrik}$	:	Elektrik birim fiyatı
P_i	:	i noktasındaki basınç
$P_{işçilik}$	:	İletim hattı toplam işçilik maliyeti
PİYT	:	Toplam ilk yatırım maliyeti
$P_{kazı}$	:	Toplam kazı maliyeti
$P_{pompa_işletme}$	:	Pompa işletme maliyeti
$\dot{Q}_{baca}$	:	Baca gazları toplam enerjisi
$Q_{bölge_toplam}$	:	Bölgenin yıllık ısı enerjisi ihtiyacı
Q_{ay}	:	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı
$\dot{Q}_{BIS}$	:	Bölgesel ısıtma için toplam pik ısıtma enerjisi
$\dot{Q}_{kayıp,ABI,i}$	:	i. Alçak basınç ısı değiştiricisinde meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{kayıp,deg}$	:	Degazörde meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{kayıp,ej}$	:	Ejektörde meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{kayıp,kazan}$	:	Kazanda meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{kayıp,kond}$	:	Kondanserde meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{kayıp,tür}$	:	Türbinde meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{kayıp,YBI,i}$	:	i. Yüksek basınç ısı değiştiricisinde meydana gelen ısı kaybı
$\dot{Q}_{konut,ay}$	:	Konutun aylık sıcak su için pik yük ısı enerjisi ihtiyacı
$Q_{sıcak,su}$	:	Bir konut için sıcak su enerjisi ihtiyacı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$\dot{Q}_{soğ,suyu}$	:	Soğutma suyuna verilen enerji
$\dot{Q}_{şehir}$	:	Bölgenin toplam sıcak su ısıtma ihtiyacı
$\dot{Q}_{yakıt}$	:	Yakıt enerjisi
$Q_{yıl}$	:	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı
Re	:	Reynolds sayısı
$r_{i,ay}$	:	i yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
R_{PE}	:	Kılıf borunun ısıl iletkenlik direnci
R_{PUR}	:	İzolasyon malzemesinin ısıl iletkenlik direnci
R_S	:	Servis borunun ısıl iletkenlik direnci
R_s	:	Toprağın ısıl iletkenlik direnci
R_u	:	Evrensel gaz sabiti
$SKS_{PİK}$	:	Binanın pik sıcak kullanım suyu ısı yükü
t	:	Zaman
T_i	:	i noktasındaki sıcaklık
t_{pompa}	:	Pompanın yıllık çalışma süresi
U	:	Ön izolasyonlu paket borunun ısıl iletkenlik katsayısı
U_d	:	Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_D	:	Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_{ds}	:	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı
U_k	:	Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı
U_P	:	Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı
U_T	:	Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_t	:	Zemine oturan tabanın/döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı
V	:	Borudaki ortalama akışkan hızı
$\dot{V}$	:	Baca gazı hacimsel debisi
$V_{brüt}$	:	Binanın ısıtılan brüt hacmi
V_h	:	Havalandırılan hacim
V^l	:	Hacimce hava değişim debisi
$\dot{W}_{net}$	:	Santraldeki toplam net güç

$\dot{W}_{tür}$	:	Türbin gücü
$\dot{W}_{ABT}$	:	Alçak basınç türbin gücü
$\dot{W}_{net}$	:	Net güç
$\dot{W}_{OBT}$	:	Orta basınç türbin gücü
$\dot{W}_{p,i}$	:	Pompa gücü
$\dot{W}_{tür}$	:	Toplam türbin gücü
$\dot{W}_{YBT}$	:	Yüksek basınç türbin gücü
y_i	:	Baca gazını oluşturan maddelerin mol oranları
ε	:	Boru pürüzlülük katsayısı
$\eta_{mek,p,i}$	:	Pompa mekanik verimi
$\eta_{mek,tür}$	:	Türbin mekanik verimi
$\theta_{e,ay}$	:	Aylık ortalama dış hava sıcaklığı
θ_i	:	Aylık ortalama iç sıcaklık
$\theta_{i,ay}$	:	Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı
λ	:	Sürtünme katsayısı
φ	:	Ön izolasyonlu paket borunun 1 metresinde meydana gelen ısı kaybı
$\phi_{i,ay}$	:	Aylık iç kazançlar
$\phi_{s,ay}$	:	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı

KISALTMALAR

BIS	:	Bölgesel Isıtma Sistemi
ÇATES	:	Çatalağzı Termik Elektrik Santrali
TEİAŞ	:	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

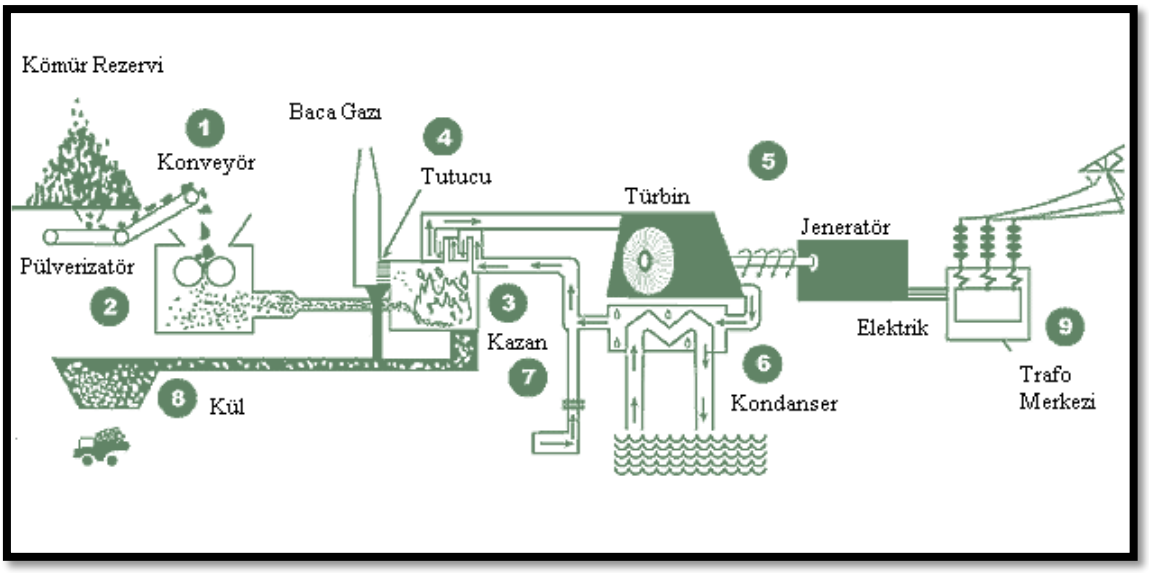
Her ülke fosil yakıt miktarının azalması ve fiyatlarının artmasına bağlı olarak kendi enerji politikasını geliştirmelidir. Diğer taraftan fosil yakıtların ekosisteme ve insan sağlığına verdiği zarar yüzünden bilim insanları daha uygun çözümler bulmalı ve devletler de enerji politikalarını daha temiz enerji kullanımını teşvik edici şekilde sürdürmelidir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin hala istenen seviyede olmaması nedeniyle fosil yakıt kaynaklı enerji üretiminde verimleri yüksek sistemler dizayn edilmelidir. Gelecek kuşakların enerji ihtiyaçlarının karşılanabilirliğini tehlikeye atmamak için enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Termik Santraller, fosil yakıtlardan elde edilen ısı enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine çevirmektedir. Bu dönüşüm sırasında yakıttan elde edilen ısı enerjisinin büyük bir çoğunluğu, termodinamik çevrim gereği yoğuşturucu ve bacadan çevreye atılmaktadır.

Termik santral türlerinden biri olan kömür yanmalı güç santralleri dünyada en yaygın kullanılan santral türleridir. Kömür yanmalı termik santrale ait çalışma prensibi Şekil 1.1'de verilmiştir. Kömür yanmalı güç santralleri dünya güç üretiminin %40'ını karşılamaktadır ve bu durumun 2030 yılına kadar %44'lere çıkması beklenmektedir (IEA 2006). Türkiye'de ise bu değer %23'tür. Türkiye'de 19 Kasım 2012 itibari ile toplam kurulu güç 56131,7 MW_e elektriktir. Türkiye'deki kurulu gücün hangi tür kaynaklardan oluştuğu Şekil 1.2'de verilmiştir (TEİAŞ 2012).

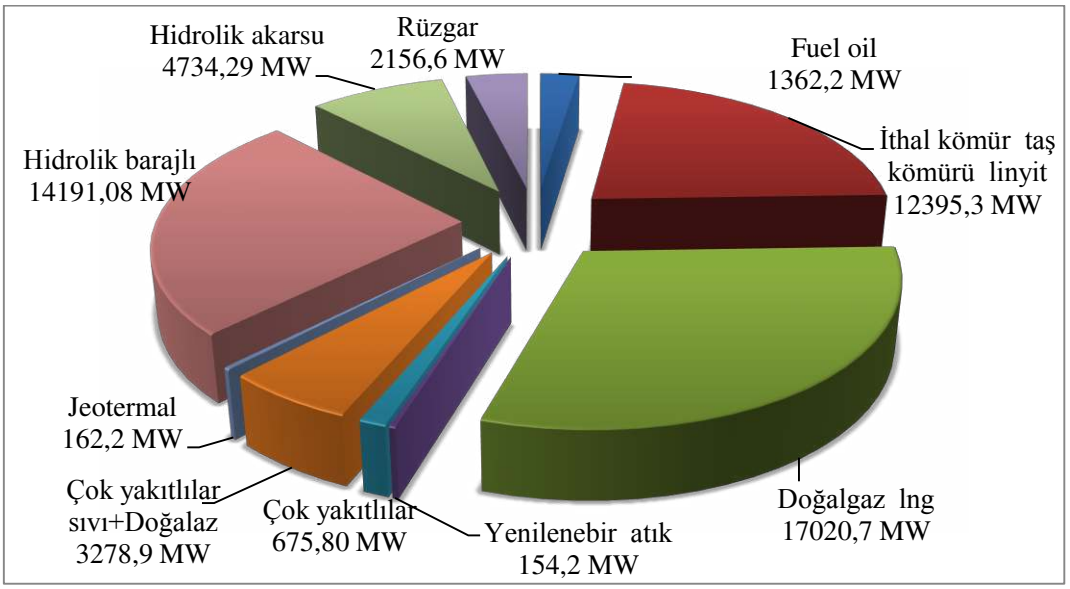
Kömür yanmalı güç üretim santrallerinde büyük miktarda ısı enerjisi yoğuşturucudan çevreye serbest bırakılmaktadır. Yoğuşturucudan atılmak zorunda kalınan ısı enerjisi faydalı enerjiye dönüştürülerek ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinde kullanılabilir. Bu ısı enerjisini faydalı hale getirmek sadece çevre kirliliğini azaltmayacak aynı zamanda fosil yakıtların daha verimli

kullanılmasına neden olacaktır. Bu faktörler dikkate alındığında mevcut termik santralleri kojenerasyon/trijenerasyon sistemlere dönüştürmek enerji verimliliğini önemli derecede artıracaktır.

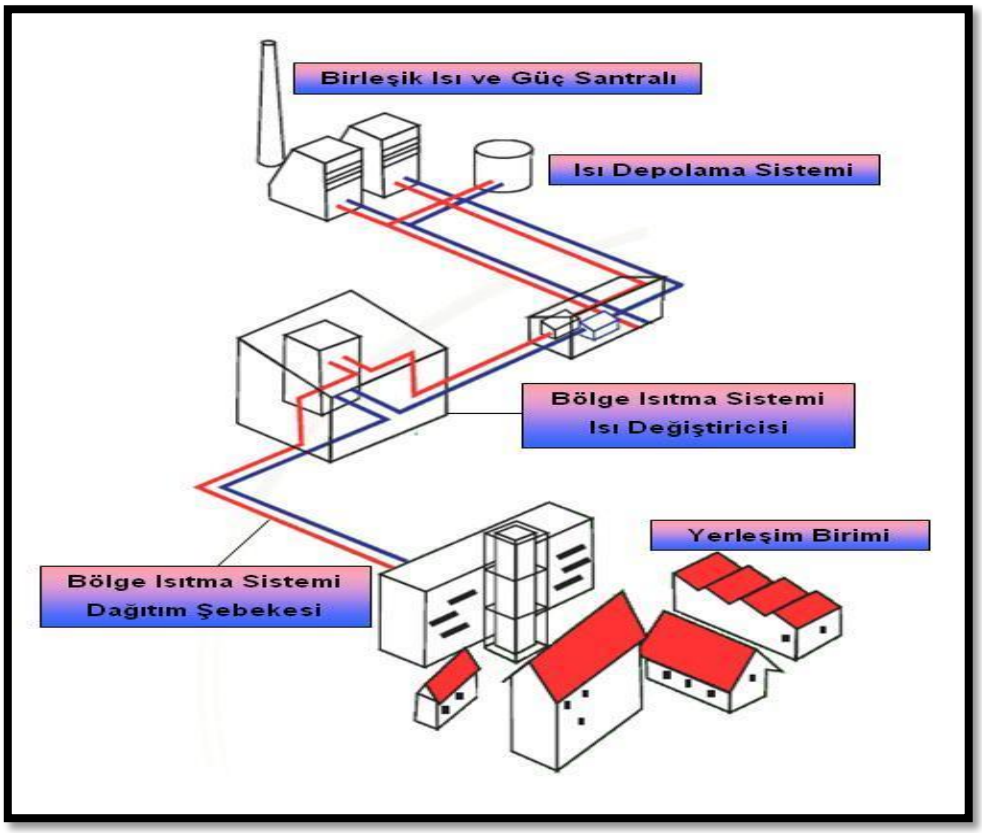


Şekil 1.1 Kömür yanmalı termik santral çalışma prensibi.

Kojenerasyon tesislerinde üretilen elektrik enerjisi direkt ulusal şebekeye verilebildiği gibi kurulu bulunduğu sanayi tesisinin elektrik ihtiyacını da karşılayabilir. Isı enerjisi ise buhar veya yüksek sıcaklıkta su formunda sanayi tesisinin ısı ihtiyacını karşılayacağı gibi, bir şebekeyle şehrin ısıtmasını da sağlayabilir.



Şekil 1.2 Türkiye güç üretiminin değişik yakıt türlerine göre dağılımı (TEİAŞ 2012).



Şekil 1.3 Kojenerasyon sistemle bölge ısıtması (TSAD 2010).

Avrupa'daki birçok yerleşim birimi yakınlarına kurulan termik güç santralleri incelendiğinde, bu santrallerin hem elektrik enerjisini hem de ısı enerjisini birlikte üreten kojenerasyon ya da diğer ismiyle birleşik ısı ve güç santralları oldukları görülmektedir (Güngör vd. 2007). Bu santrallerde, elektrik üretiminde kullanılamayan ısı enerjisinin bir kısmı çevreye atılmak yerine, bölge ısıtma/soğutma sistemleri, seracılık gibi alanlarda değerlendirilerek santraller çevreye ve ekonomiye daha yararlı hale gelmekte, bunun yanında santralde kullanılan yakıt enerjisinden daha yüksek oranda yararlanılmaktadır. Şekil 1.3'te birleşik ısı güç üretimi ile bölge ısıtması gösterilmiştir.

Narter (1973), Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'nun yaptırmış olduğu "Ankara'nın bir merkezden ısıtılmasının teknik ve ekonomik etüdü" isimli projede Ankara'nın bir merkezden ısıtılmasının teknik ve ekonomik etüdünü yapmıştır. Hava kirliliğinin %70-75 azalacağı, her sene 50000–80000 ton iyi cins kömür tasarruf edileceği, ayrıca senede 200000-250000 ton iyi cins kömür ve linyit ile fuel oil yerine düşük kaliteli kömür kullanılacağını ifade

etmiştir. Bunlara ilave olarak 200 milyon kWh'ten daha fazla elektrik enerjisinin yan ürün olarak üretileceğini göstermiştir.

Ağış (1998), "21. Yüzyılda Kojenerasyonun Yeri" isimli bildirisinde "Avrupa'da Kojenerasyon sistemleri daha çok kışları uzun ve soğuk geçen Kuzey Avrupa (Finlandiya, Danimarka ve Hollanda gibi) ülkelerde, şehirlerin bir merkezden ısıtılmasıyla başlamıştır. Kojenerasyon teknolojisi, bu suretle bir yandan, konutların ihtiyacı olan ısıyı üretirken diğer yandan da yine konutların ve sanayi tesislerinin elektrik ihtiyacını da sağlamıştır. Yani Avrupa'da ısı üretim amaçlı kojenerasyon projeleri daha önce başlamış ve daha çok yaygınlaşmıştır. Finlandiya, Hollanda ve Danimarka gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde konutların %60'ı merkezi ısıtma sistemiyle ısıtılmakta ve bu sistemlerinde en az yarısında kojenerasyon sisteminin uygulanmakta olduğunu görüyoruz. Bu gibi ülkelerde kojenerasyonla üretilen elektrik enerjisinin toplamının elektrik tüketimindeki payının % 40'lara ulaştığını görmekteyiz. Ülkemizde bu rakamın, 1997 itibariyle %8 olduğunu görüyoruz ve 2000 yılında % 12, 2005 yılında %17 ve 2020 yılında %30'a ulaşacağını hesaplıyoruz. Bu hesapta 2020 yılında Türkiye'nin kurulu elektrik üretim gücünün 104500 MW olacağı ve bunun 35500 MW'ının kojenerasyona dayalı tesislerden oluşacağı varsayılmıştır." ifadelerine yer vermektedir.

Derbentli (1998), "Bölge ısıtması ve kojenerasyonun ekonomik olurluğu" isimli bildirisinde bölge ısıtması ve kojenerasyonun, ülkemizin enerji kullanımı içindeki yeri ve önemini kısaca açıklamış, bölge ısıtması ve birleşik ısı güç üretimini tanıtmış, ekonomik olurluğun hesabı, elektrik ve ısının fiyatlandırması için yöntemlere yer vermiştir.

Elele ve Çanakçı (2001), "Bölgesel ısıtma sistemleri ısı merkezleri tasarımı" isimli makalelerinde bölgesel ısıtma sistemleri ısı merkezinde bulunan kazan, eşanjör, pompa gibi ekipmanlarının tasarım ve işletme kriterleri üzerinde durmuşlardır.

Foncesa and Schneider (2004), Danimarka Kopenhag'da bulunan ve bölge ısıtması yapan AVV1 termik santrali için beş farklı duruma göre simülasyon yapmıştır. Santralin tüm elemanlarının enerji denge eşitlikleri yazılarak termodinamik analizi yapılmıştır. Santral sadece elektrik üretimi ile hem elektrik üretimi hem de ısıtma durumuna göre iki farklı biçimde simule edilmiştir. Sadece elektrik üretme durumunda %40'dan %100'e varan yüklere göre simülasyon gerçekleştirilmiştir. Hem elektrik hem de ısı üretme durumunda santralin %100 yükte çalıştığı varsayılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Kopac and Hilalci (2006) yapmış oldukları çalışmada, Zonguldak Çatalağzı Termik Elektrik Santrali için enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Santralde kullanılan yakıtın türü tanecik büyüklüğü 0,5 mm olan düşük ısıl değere sahip kömürdür. Her bir bileşenin ısı kaybını enerji analizi ile belirlemişler, tersinmezlik oranlarını (veya ekserji yıkım oranı) tüm santralde farklı çevre sıcaklıları için uygulayıp ekserji analizini yapmışlardır. Çevre sıcaklığını 5-35℃ arasında seçmişlerdir. Kazan, türbin, pompa, ısı değiştiriciler ve kondenser için farklı çevre sıcaklıklarında ekserji verimlerini ortaya koymuşlardır.

Seo et al. (2008) yapmış oldukları çalışmada, Kore'deki apartmanlar için bir kojenerasyon sisteminin ekonomik optimizasyonunu araştırmışlardır. Bu çalışmada, büyük bir yerleşim bölgesindeki seçmiş oldukları 8 adet apartman bloklarına kojenerasyon sisteminin adapte edilmesi durumunda ne kadar bir enerji tasarrufu gerçekleşeceğini hesap etmişlerdir.

Eyriboyun (2011), "Zonguldak'ta termik elektrik santrallerinin atık ısısından yararlanma ile bölgesel ısıtma ve bunun sera gazı salınımı üzerine etkisi" isimli bildirisinde termik santral atık ısısı ile bölgesel ısıtma yapılması halinde Zonguldak'ta hava kirliliğinin ve sera gazı salınımının azalacağını göstermiştir.

Sadece elektrik üretimi yapmakta olan termik santrallarımızın attıkları ısılar, çevrelerindeki yerleşim yerlerinin ısı ihtiyaçlarını karşılamakta kullanılabilir. Birçok konuta ısı dağıtımı yapacak bölge ısıtma sistemlerinin ülkemizin sürdürülebilir kalkınma yarışında önemli potansiyeli bulunmaktadır. Bu amaçla 2006 yılından beri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü ve Yıldız Teknik Üniversitesi ortaklığıyla "Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması (TSAD)" projesi yürütülmüştür. TÜBİTAK 1007 fonları ile desteklenen projede, termik santral atık ısılarını ekonomik olarak faydaya dönüştürecek yöntemlerin araştırılması, geliştirilmesi ve bina ısıtmasında uygulanması için atık ısının geri kazanılabilir bir enerji kaynağı olduğu bilincinin yerleştirilmesi ve ısı enerjisini verimli kullanma yöntemlerinin ülke çapına yayılması hedeflenmiştir (TSAD 2006-2010).

Albayrak (2007) yapmış olduğu tez çalışmasında, kojenerasyonun başka bir deyişle, birleşik ısı ve güç sistemlerinin termodinamik analizini yapmış, birleşik ısı güç santrallerinde sistem seçimini etkileyen faktörleri ve kojenerasyon teknolojilerinin nasıl verimli kullanılacağını

kojenerasyonun bölgesel ısıtmada kullanılabilirliğini ve ekonomik olurluğunu araştırmıştır. Esenyurt kojenerasyon termik santralinin gerçek işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizleri ünite ünite uygulanarak her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki toplam ekserjileri (termomekaniksel ekserji + kimyasal ekserji) ve kayıp ekserjileri belirleyip, yıllık elektrik–ısı üretimi ve klasik bölgesel ısıtma santrali ile yakıt maliyetini karşılaştırmıştır.

Güngör vd. (2007) yaptıkları çalışmada, termik santrallerin atık ısılarının değerlendirilmesinde dünyadaki mevcut sistemleri ve bunların faydalarını araştırmışlardır. Bu amaçla, dünyadaki termik santrallerin genel değerlendirilmesi yapılmış, termik santrallerin toplam üretimdeki payı, kurulu güç kapasiteleri, kullandıkları yakıtlar ve santrallerin yaşları verilmiştir. Daha sonra, bölgesel ısıtma sistemlerine ısı sağlayan birkaç örnek termik santrali hakkında detaylı bilgiler verilmiş ve termik santrallerin atık ısılarını değerlendirecek şekilde kurulan bölge ısıtma sistemlerinin faydaları irdelenmiştir. Son olarak bölge ısıtma sistemleriyle ilgili ileriye dönük senaryolar incelenmiştir. Bu çalışmada, termik santrallerde atık ısının kullanımıyla santrallerin toplam veriminin arttığını ve bunun neticesinde verimin yükselmesiyle birlikte santral elektrik üretim maliyetlerinin düştüğünü, bu durumun santrallerin rekabet gücünü arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Karaali ve Öztürk (2007), "Güç Üreten Bir Tesisin Kojenerasyon Sistemine Dönüştürülmesi" adlı makalelerinde, Türkiye'de yaygın olarak bulunan büyük ölçekli konvansiyonel yöntemlerle güç üreten tesislerin, birleşik ısı-güç sistemlerine dönüştürülmesi ile enerjiden daha fazla oranda faydalanma olanağının mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, mevcut konvansiyonel yöntemle güç üreten tesisin, bölgesel ısıtma için bir kojenerasyon sistemine dönüştürülmesi durumu tasarlanmış ve bu alternatif durumun termodinamik ve ekonomik olabilirliği incelenmiş, elde edilen sonuçlar hem enerji tasarrufu ve çevre etkisi yönünden hem de ekonomik olabilirliği açısından mevcut sistemle karşılaştırılmıştır.

"Bir termik santralde kojenerasyon tesisinin ekserji analizi" isimli araştırmasında Özkaymak (2007), Bursa'da kurulu BOSEN enerji santrali üzerinde kojenerasyon tesisinden alınan işletme verilerini kullanarak enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Santralde her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki enerji ve ekserji değerlerini hesaplamıştır. Bu değerlere bağlı olarak kayıp enerji ve ekserji değerlerini belirlemiştir. Ekserji kayıplarının akış ve ısı transferinden olduğu düşünülmüştür. Her bir ünitenin enerji ve ekserji kayıpları birbirileriyle karşılaştırmıştır. Tesisteki toplam enerji kaybı 3974.34 kW ve toplam ekserji kaybı 18758.03 kW'dır. Tesis

üzerinde yapılan enerji ve ekserji analizi sonucunda en büyük enerji kaybı buhar türbininde (2781.4 kW), ekserji kaybı ise yine buhar türbininde (9034.87 kW) olarak tespit etmiştir. Bu sonuçlara göre, verimliliğin arttırılması için iyileştirme çalışmalarının türbinde yapılması gerekmektedir.

Aljundi (2009), Ürdün'deki bir buharlı güç santralinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Yaptığı çalışmadaki ana hedef en fazla enerji ve ekserji kayıplarının olduğu yerleri tanımlamak ve miktarlarını belirlemektir. Buna ek olarak değişen referans çevre durumunun bu analizdeki etkisi de sunulmuştur. Santralin performansı bileşen odaklı bir modelleme ile öngörülmüş ve ele alınan santral için ayrıntılı bir enerjinin dağılımı ve enerji kayıpları sunulmuştur.

Erdem et al. (2009), "Sadece elektrik üretimi için dizayn edilmiş kömür yanmalı konvansiyonel termik santrallerde yakıt enerjisinin 2/3'ü baca gazları ve kondanserler ile atılmaktadır. Bu atık enerji bir yerleşim yerinin bölgesel ısıtma/soğutma talebini karşılamak amacıyla santrale trijenerasyon sistemi kurularak geri kazanılabilir." ifadelerine yer verirken yapmış oldukları çalışmada sadece elektrik üretimi için dizayn edilmiş olan kömür yanmalı termik santraldeki atık ısı ve diğer ısı kaynaklarını (ısı değiştiriciler) analiz etmişlerdir. Enerji ve ekserji analizleri yapılarak bölgesel ısıtma/soğutma için sistem verimini en iyi yapacak ara buhar çekim noktasını tayin etmişlerdir. Analiz sonuçları santralde en uygun buhar çekim noktasının düşük basınç türbin girişinin olduğunu göstermiştir.

Pusat (2010), "Bir bölgenin ısıtma amaçlı enerji talebinin belirlenmesi ve bölge ısıtma sistemi için uygunluğunun analizi" isimli tez çalışmasında farklı iki bölgede ısı ihtiyaçlarını belirlemiş bu bölgelerin bölgesel ısıtma yöntemiyle ısıtılmasının enerji maliyetlerini hesaplamıştır.

Çoban (2011) tez çalışmasında, Yatağan ilçesi ısı yükünün 50 MW_t olduğunu, santralın orta basınç - alçak basınç hattından 150 MW_t'a kadar ısı alınabileceğini, bölge ısıtma sisteminin kurulması ile 40000 ton CO_2 ve 1000 ton SO_2 emisyonunun azalacağını, bölge ısıtmanın doğalgaza göre %35-40, kömüre göre % 25 daha ucuz olduğunu hesaplamıştır.

Bu tez çalışmasında kaynak enerjisinin daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla Zonguldak İli Çatalağzı Beldesi'nde bulunan Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nin (ÇATES) yoğuşturucusunda soğutma suyuna verilen ısı miktarının azaltılması, santralde üretilen ısı ile konutların ısıtılması ve konutların sıcak su ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Bu amaçla

Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nin bir kojenerasyon tesisine dönüştürülebilmesi için santralde değişik modeller düşünülüp enerji ve maliyet analizleri yapılarak ısıl verim üzerindeki etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

KOJENERASYON VE BÖLGESEL ISITMA

Bu bölümde kojenerasyon sistemler ve bölgesel ısıtma hakkında temel bilgiler incelenmiş ve Dünya ve Türkiye'de bölgesel ısıtma yapılan bazı merkezlere örnek verilmiştir.

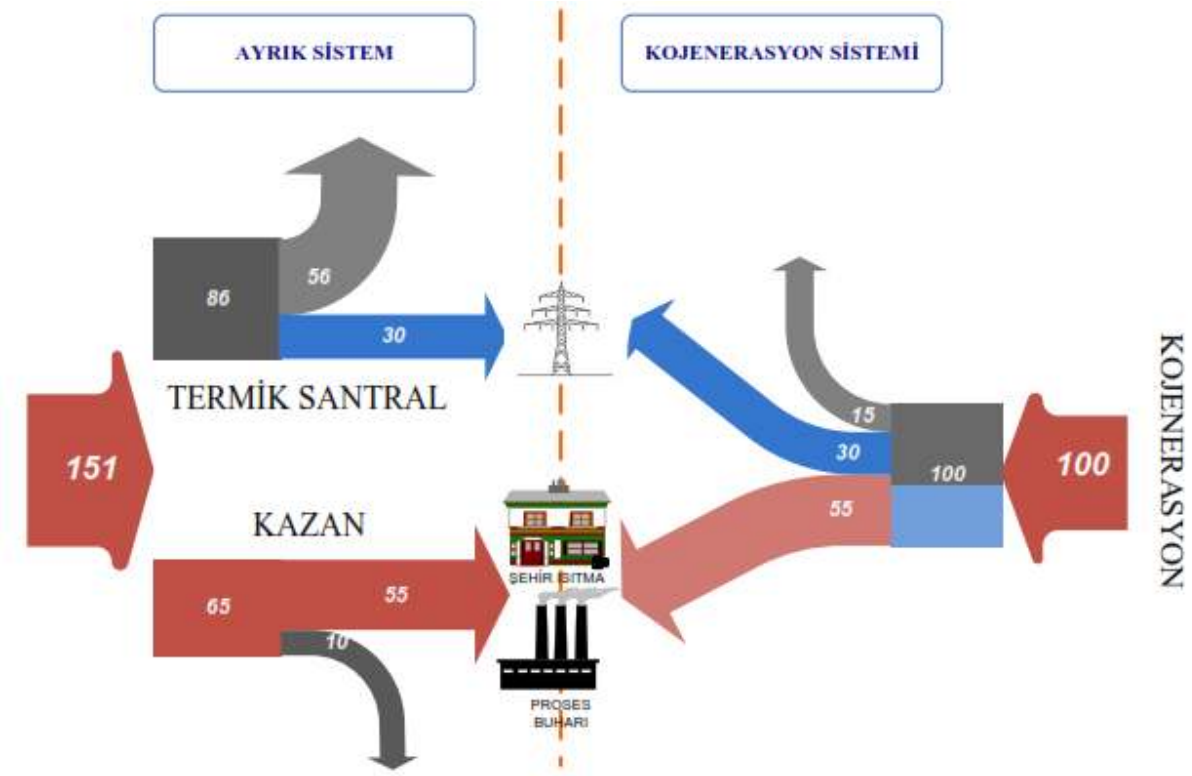
2.1 KOJENERASYON

Kojenerasyonun sözlük anlamı birleşik ısı ve güç üretimidir. Literatürde ingilizcesi Combined Heat and Power (CHP) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek verimli kojenerasyon, elektriğin elektrik santrallerinde, ısının da kazanlarda ayrı ayrı üretildiği klasik sistemlere nazaran toplamda en az %10 yakıt tasarrufu sağlayan teknolojidir.

Kojenerasyon; enerjinin birden fazla yararlı biçiminin (elektrik gücü ve proses ısısı gibi) aynı enerji kaynağından üretilmesidir. Birleşik ısı güç üretimi olarak da bilinen kojenerasyonda güç çevrimi olarak; buhar türbini (Rankine çevrimi), gaz türbini (Braython çevrimi) veya birleşik gaz buhar çevrimi kullanılabilir. Kojenerasyon yöntemi ile elektrik üretilirken açığa çıkan çürük buharın yoğuşma ısısı bölgesel ısıtma, bölgesel soğutma, seracılık gibi alanlarda değerlendirilir, enerji etkin bir şekilde kullanılarak enerji verimliliği arttırılır.

Klasik güç santrallerinde fosil esaslı yakıt enerjisinin yaklaşık üçte biri elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte ve üçte ikisi ise çevreye atılmaktadır. Buna karşılık bir kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık ısı, eşanjörler yardımı ile çeşitli ısı ihtiyaçları için (sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma vb.) değerlendirilebilmektedir. Gazla çalışan kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısının eş zamanlı olarak üretilmesi ile %80-90 oranında verim elde edilebilmektedir. Böylece primer enerjinin atık kısmı minimum düzeyde tutulmaktadır. Bu yüksek verimi sayesinde kojenerasyon sistemi, ilk yatırım tesis giderini 1.5-6 sene gibi kısa bir sürede geri ödemektedir (Işık ve İnallı 2005).

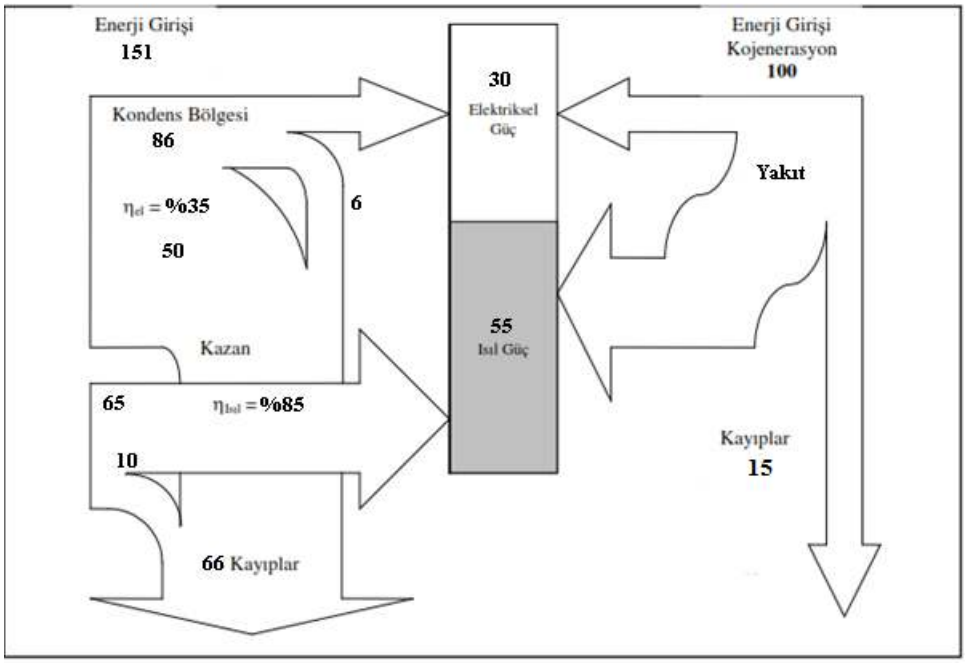
Mühendislik sistemlerinin birçoğunda enerji gereksinimi ısı biçimindedir. Kimya, kağıt, petrol, çelik, gıda ve tekstil endüstrileri gibi endüstrilerde ısıl işlemlerin önemi büyüktür. Isıl işlemler için gerekli ısıya proses ısısı adı da verilir. Proses ısısı genellikle 5-7 atm basınçları arasında ve 150-200 °C sıcaklıkları arasındaki kızgın su buharıyla sağlanır. Buharı oluşturmak için gerekli ısı ise kömür, sıvı yakıtlar, doğal gaz ve benzeri yakıtları bir kazanda yakarak elde edilir (Erdem 2010).



Şekil 2.1 Ayrık ve kojenerasyon sisteminin enerji dengeleri (Erdem 2010).

Elektrik üretimi dışında termik santrallerdeki atılan enerjilerden yararlanılarak endüstrinin ihtiyaç duyduğu proses ısısı sağlanabileceği gibi bölgesel ısıtma/soğutma için de enerji sağlanabilir. Termik santrallerde elektriğin yanı sıra proses buharı veya sıcak su üretilen santrallere birleşik ısı-güç santrali yada kojenerasyon sistemleri denilmektedir (Erdem 2010). Bu yöntem ile santralden atılan enerji miktarı azaltılabilmekte ve yakıtın enerjisinin verimi artırılabilmektedir. Şekil 2.1'de elektriğin ve ısı enerjisinin ayrı ayrı üretildiği ayrık sistem ile kojenerasyon sisteminin örnek karşılaştırılması verilmiştir. Bu örnekte kojenerasyon sistemine giren 100 birim yakıt enerjinin 30 birimi elektriğe ve 55 birimi ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Aynı elektrik ihtiyacını karşılamak için %35 termik verime sahip santralde 86 birim yakıt enerjisine ihtiyaç var iken aynı ısı enerjisini karşılamak için %85 verime sahip

bir kazanda 65 birim yakıt enerjisi yeterlidir. Ayrık sistemde kojenerasyon sisteminin 100 birim enerji ile sağladığı faydalı enerjileri üretebilmek için 151 birim yakıt enerjisine ihtiyacı vardır. Bu örnekte kojenerasyon sistemi kullanılarak %34'lük yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Şekil 2.2 'de de aynı örnek Sankey diyagramında gösterilmiştir.

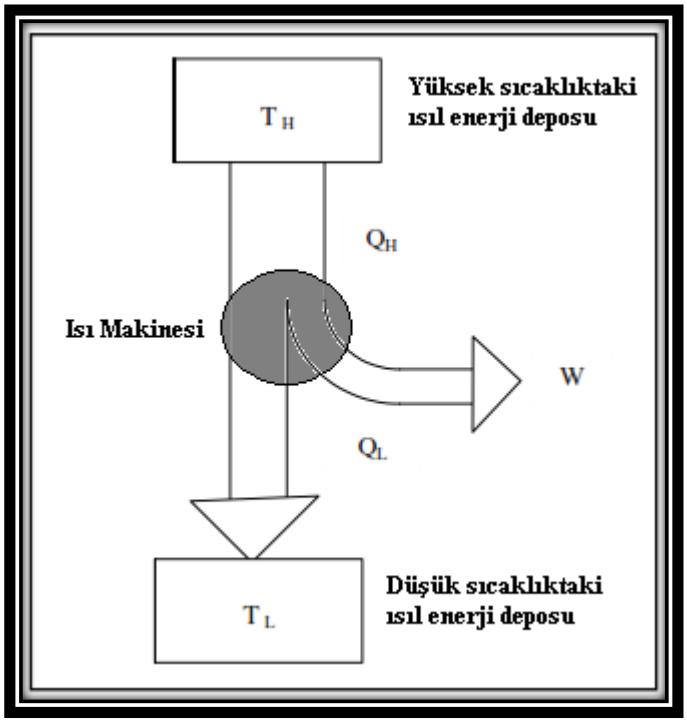


Şekil 2.2 Kojenerasyon ve geleneksel sistemlerle enerji üretimlerinin Sankey diyagramı ile karşılaştırılması (Işık ve İnallı 2005).

Şekil 2.3'te görüleceği üzere bir ısı makinesinden elde edilen iş W, yüksek sıcaklıktaki ısıl enerji deposundan sağlanan Q_H, düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna verilen Q_L'dir. T_H ve T_L sırasıyla ısıl depolarının sıcaklıklarıdır. Bu durumda ısı makinesinin ısıl verimi denklem 3.1 ile belirlenir.

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \tag{3.1}$$

Birleşik ısı güç santrallerinde ise amaç düşük sıcaklıktaki ısıl depoya verilen Q_L ısısını faydalı enerjiye dönüştürmektir. Isı makinesinin ürettiği işe faydalı enerji olan Q_L ısısının dahil edilmesiyle yeni bir tanım yapmak gerekir ve bu da sistemin Enerjiden Yararlanma Oranıdır.



Şekil 2.3 Bir ısı makinesi (Işık ve İnallı 2005).

$$EYO = \frac{W + Q_L}{Q_H} \tag{3.2}$$

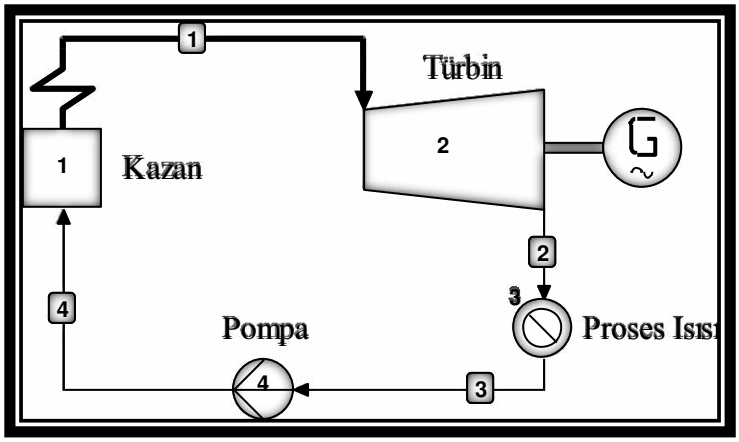
Enerjiden yararlanma oranı kaynaklarda EYO veya ε_y olarak gösterilebilir. Bu çalışmada enerjiden yararlanma oranı EYO ile gösterilecektir. EYO, termodinamiğin I. yasasına göre 1 olsa da uygulamalarda atık ısı tamamen kullanılamadığından bu mümkün olmamaktadır Aşağıda değişik tipte kojenersayon uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.1 Karşı Basınç Türbinli Kojenersayon Uygulaması

Karşı basınçlı türbinler kojenersayon uygulamalarında buhar türbini çıkışında kondanser yoktur (Şekil 2.4). Türbin çıkışındaki basınç, atmosfer basıncından büyüktür. Türbinden çıkan çürük buharın ısı enerjisi, bir ısı değiştiricisinde ikinci akışkana aktarılabileceği gibi doğrudan proseste de kullanılabilir. Buhar türbini çıkış basıncı artırılarak çıkan çürük buharın sıcaklığı ve enerji seviyesi talebe göre ayarlanabilir.

Bu tip uygulamalar genellikle ısı enerjisi ihtiyacının çok büyük olduğu durumlarda kullanılır. Böylece kondenserde atılacak büyük miktarlardaki enerji atılmamış ve kullanılmış olur. Karşı

basınçlı buhar türbinleri uygulama açısından kullanışlı değildir, çünkü değişen güç ve proses ısı yüklerine cevap veremez (Çengel ve Boles 2006).

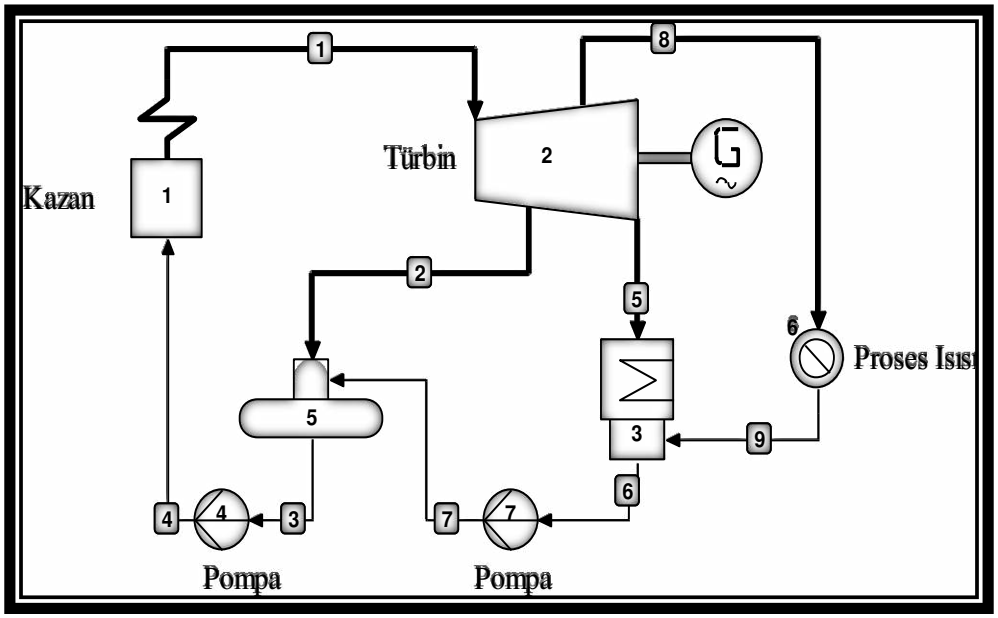


Şekil 2.4 Karşı basınçlı türbin çevrimi ile ısı enerjisi alma yöntemi.

2.1.2 Ara Buhar Almalı Türbinler İle Kojenerasyon Uygulaması

Ara buhar almalı türbinlerde buhar türbinde genişlerken türbinin bir veya birkaç basamağından ara buhar alınır. Bu buhar doğrudan proses ısısı olarak kullanılır veya farklı bir iş akışkanına ısısını vererek faydalı enerjiye dönüştürülür. Talep edilen ısı miktarına bağlı olarak ara buhar alma sayısı artırılabilir. Faydalı enerjiye dönüşen buhar yoğuştuktan sonra uygun bir noktadan sisteme geri beslenir. Ara basamaklardan çekilmeyen buhar türbinde genişleyerek elektrik enerjisi üretir. Böylece hem ısı enerjisi hem de elektrik enerjisi elde edilmiş olur. Bu sistemin en avantajlı tarafı elektrik üretimindeki düşüş miktarının minimum düzeyde tutulup istenen proses ısısına cevap verebilmesidir. Uygulama açısından daha kullanışlı ama karşı basınçlı türbinlere göre daha karmaşık bir kojenerasyon santrali Şekil 2.5'te verilmiştir.

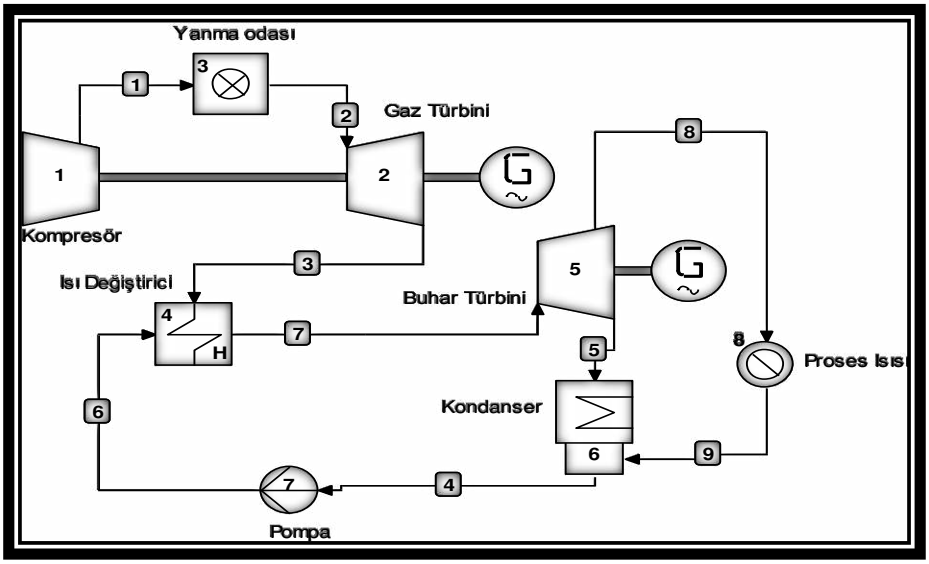
Dünyada, bölge ısıtma yapan birçok termik santralde bu yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde aynı santral ile bölgenin hem elektrik hem de ısı enerjisi talebi karşılanabilmektedir. Ayrıca ara buharın ısı enerjisi kullanıldığından kondenserde atılan enerji miktarları azaltılabilmektedir. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken husus ise ara buharın sıcaklığının bölge ısıtma sistemine en uygun noktalardan alınmasıdır. Bölge ısıtma yapabilecek şekilde dizayn edilen bu santrallerde buhar alma noktası kolaylıkla ayarlanarak santralin performansının yüksek olması sağlanabilir.



Şekil 2.5 Ara buhar çekilmesi ile ısı enerjisi alma.

2.1.3 Gaz Türbinli Kojenerasyon Uygulaması

Gaz türbinli kojenerasyon uygulamasında gaz türbininden nispeten yüksek sıcaklıkta çıkan egzoz gazları bir ısı değiştiriciden geçirilir. Bu ısı değiştiricisi atık ısı kazanı olarak da adlandırılır. Bu gazlar atık ısı kazanında ısısının bir kısmını sıcak su veya buhar üretmek amacıyla iş akışkanına aktarır (Şekil 2.6). Yakıt olarak bu uygulamalarda doğal gaz, sıkıştırılmış petrol gazı veya nafta kullanılabilir.

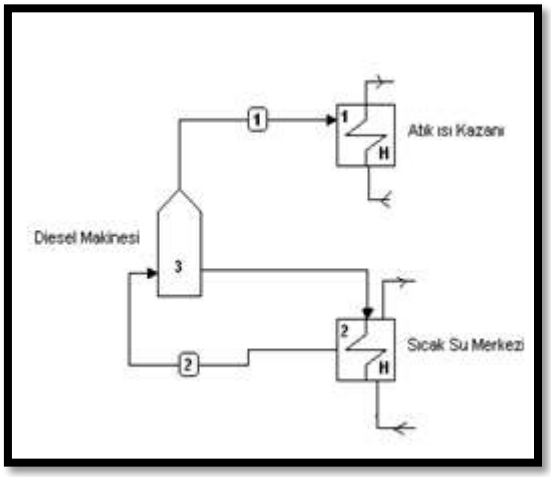


Şekil 2.6 Gaz türbinli bileşik ısı güç üretimi.

Sadece elektrik üretimi amacıyla kurulmuş kombine çevrim santralleri olabileceği gibi hem elektrik hem de proses ısısı üretmek amacıyla kurulmuş santraller mevcuttur. Örneğin Türkiye'de Ambarlı doğal gaz kombine çevrim santrali sadece elektrik üretim amacıyla kurulmuş bir santral olup verimi %51'dir. Doğa Enerjinin İstanbul'un Esenyurt ilçesinde kurmuş olduğu Esenyurt Termik Santrali ise hem elektrik üretmek hem de ısıtma amacıyla kurulmuş bir santral olup elektrik verimi %47, enerjiden yararlanma oranı %65'tir (Doğa Holding 2012).

2.1.4 Diesel Motorlu Kojenerasyon Uygulaması

Kojenerasyon yöntemle güç üretiminin bir diğer uygulaması diesel veya gaz motorlu makinelerde atık ısı kazanı kullanılmasıdır. Bu uygulamada motordan yanma ürünü olarak çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları bir atık ısı kazanından geçirilir ve sıcak su veya isteğe göre buhar elde edilir. Ayrıca motorun soğutma suyu faydalı enerji olarak kullanılabilir.



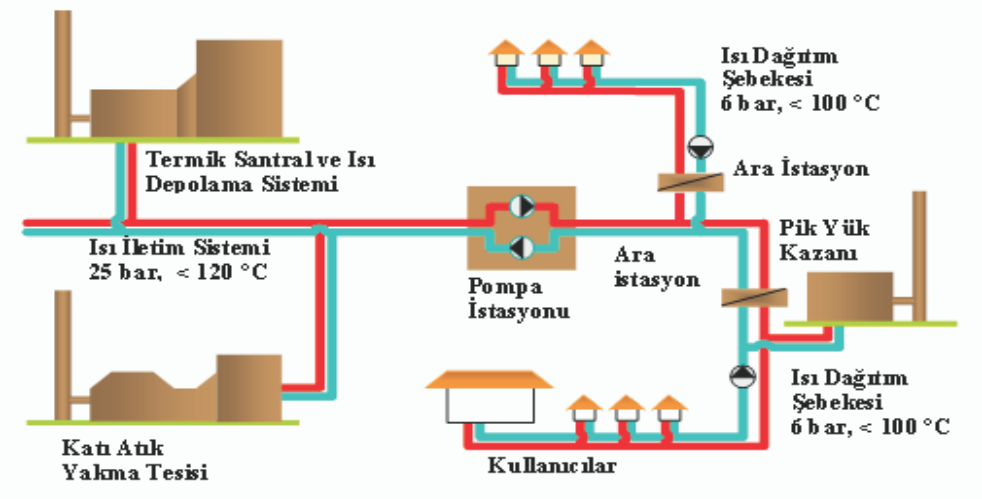
Şekil 2.7 Diesel motorlu birleşik ısı güç üretimi (Derbentli 1998).

Bu uygulamalarda ısıl verim %40-50 dolaylarındadır (Derbentli 1998). Bu uygulamalarda ısı gereksiniminin olmadığı veya çok az olduğu durumlarda yanma ürünleri direkt atmosfere atılabilir. Yakıt olarak motorin, doğal gaz, LPG veya nafta kullanılır.

2.2 BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ

Bölgesel Isıtma Sistemi (BIS), binlerce konuttan oluşan bir veya birçok yerleşim biriminin aynı merkezden ısıtılmasıdır. Bölge ısıtma sistemleri, merkezi bir santralde üretilen buhar ya da sıcak

suyun yer altından geçen borular ile bir bölgeye ulaştırılarak o bölgedeki binaların ısıtma ve sıcak su ihtiyaçlarının karşılandığı sistemlerdir. Isıtılan yerleşim birimi birkaç mahalle, ilçe veya bir şehrin tamamı olabilir. Isı, sıcak su veya buhar üreten kazanlardan veya ısı ve elektriğin beraber üretildiği santrallerden (kojenerasyon) sağlanır.



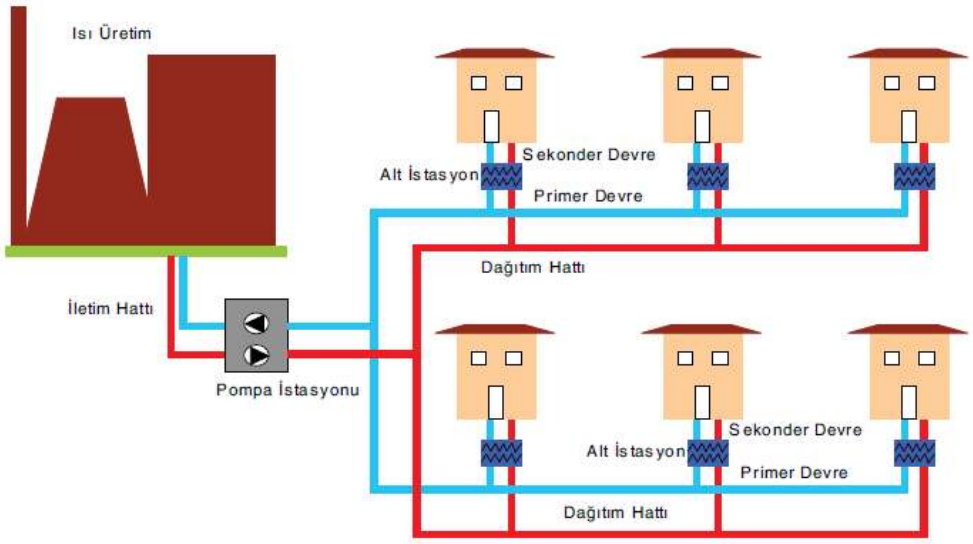
Şekil 2.8 Tipik bir bölgesel ısıtma sistemi (Güngör vd. 2007).

Merkezi santralde üretilen sıcak su veya buhar ısıtılacak bölgedeki binalara bir boru şebekesi aracılığıyla taşınır. Böylece binalarda yakıt yakılmasına gerek kalmaz. Tipik bir bölge ısıtma sistemi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

Sadece elektrik üretimi yapan santrallerde üretilen elektrik o bölgenin elektrik ihtiyacını karşılar. Bazı santrallerde ise ısı ve elektrik birlikte üretilir. Yani ısı ve elektrik aynı tesiste üretilerek o bölgenin tüm enerji ihtiyacını (ısıtma, soğutma, elektrik vs.) karşılar. Isı ve elektriğin aynı anda üretildiği termik santralin çevresindeki yerleşim yerlerinin ısıtma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması bölgesel ısıtma olarak adlandırılır.

Bölgesel ısıtma sistemi; ısı üretim merkezi, dağıtım şebekesi ve kullanıcı bağlantılarından oluşur. Isı üretim merkezi, kazanlardan oluşan bir ısı santrali olabileceği gibi, bir birleşik ısı-güç santralı da olabilir. Santralde, ısının dağıtımı için aracı akışkan işlevini gören sıcak su veya buhar üretilir. Günümüzde aracı akışkan olarak sıcak su kullanımı çok daha yaygındır (Erdem 2010). Santralde ayrıca aracı akışkanın şebekede dolaşımını sağlayan pompalar bulunur.

Santralde üretilen sıcak su veya buhar bir boru şebekesinde dolaşarak, ısıl enerjinin dağıtımını sağlar. Suyun santralden çıkış sıcaklığı 90 ile 120 °C arasında olabilir. Boru şebekesi kanalların içine yerleştirilebileceği gibi, yer üstünde veya toprağa gömülü de olabilir. Günümüzde ön izolasyonlu paket borular jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu borularda meydana gelen sıcaklık düşümü 5 km de 1º C olarak kabul edilmektedir. Dağıtım sisteminde ayrıca genleşme elemanları (kompansatörler), vanalar, yardımcı pompalar yer alır. Kullanıcı bağlantıları, şebeke ile konut arasında ısıl enerji aktarımını sağlayan eşanjör ve konut içindeki bina alt istasyonlarından oluşur (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Bölgesel ısıtma sisteminin genel yapısı (Güngör vd. 2007).

Isı merkezinde elde edilen ısı boru şebekesi ile primer devre akışkanı tarafından ısıtılacak binalara taşınır. Primer devrede sıcak su, kızgın su veya buhar, sekonder devrede ise sıcak su dolaşır. Primer ve sekonder devreler blok altında eşanjör dairesi adı verilen noktada kesişir. Burada da iki farklı çözüm vardır. Dolaylı sistemde arada bir ısı değiştirici (eşanjör) bulunur. Bu eşanjörde primer devre akışkanı ile sekonder devre akışkanı ısıtılır. Dolaysız sistemde ise bir pompa yardımı ile primer devre akışkanı doğrudan sekonder devrede dolaştırılır (Arısoy 1998).

Bölgesel ısıtma sisteminde ilk adım ısının uzağa nasıl taşınabileceği fikriyle ortaya çıkmıştır. Bu da ilk defa New York eyaletinde Lockport şehrinde su mühendisi olan Birdsall Holly tarafından sağlanmıştır. Dökme demir borularla 900 m uzaklıktaki mesafeye buhar nakledilmiş ve bu tesis 1900 senelerine kadar çalışmıştır. Bölgesel ısıtma öncelikle Kuzey Amerika Birleşik

Devletinde daha sonra Almanya ve Orta Avrupa ülkelerinde büyük gelişmeler göstermiştir. İkinci Dünya Savaşından sonra ise Polonya, Yugoslavya gibi ülkelerde yayılmış olan bölgesel ısıtma ile 25.000 nüfuslu şehirler ısıtılmıştır (Narlı 1973).

Avrupa'da Kojenerasyon sistemleri daha çok kışları uzun ve soğuk geçen Kuzey Avrupa (Finlandiya, Danimarka ve Hollanda gibi) ülkelerde, şehirlerin bir merkezden ısıtılmasıyla başlamıştır. Kojenerasyon teknolojisi, bu suretle bir yandan, konutların ihtiyacı olan ısıyı üretirken diğer yandan da yine konutların ve sanayi tesislerinin elektrik ihtiyacını sağlamıştır. Yani Avrupa'da ısı üretim amaçlı kojenerasyon projeleri daha önce başlamış ve daha çok yaygınlaşmıştır. Finlandiya, Hollanda ve Danimarka gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde konutların % 60'ı merkezi ısıtma sistemiyle ısıtılmakta ve bu sistemlerinde en az yarısında kojenerasyon sistemin uygulanmakta olduğu görülmektedir (Güngör vd. 2007).

Bölgesel ısıtmanın, her apartmanın veya konutun ayrı ayrı ısıtılmasına oranla bazı avantajları vardır. Bunların arasında atıkların denetlenerek çevre kirliliğinin önlenmesi, yakıtın ekonomik yakılması, yakıt seçeneklerinin fazlalığı öncelikle belirtilmelidir. Bölge ısıtmanın en büyük dezavantajı ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Ancak planlı ve düzenli yerleşim bölgeleri ile maliyeti azaltmak olanaklıdır. Bölgesel ısıtma sistemlerinin en büyük yararı, konutların ısıtılmasından dolayı çevreye verdiği zararın az ve denetlenebilir olmasıdır. Ayrıca tüketiciye ekonomik faydası çok yüksek olup maliyetler diğer ısıtma sistemlerine göre oldukça düşüktür. Bu sistemlerin ısıl verimliliği de yüksektir (Elele ve Çanakçı 2001).

2.2.1 Bölgesel Isıtma Sisteminin Faydaları

Bir bölgenin ısıtma ihtiyacı karşılanırken; düşük ısınma maliyetleri, kaynak güvenirliğinin sağlanması, hava kalitesinin iyileştirilmesi, ithal enerji kaynaklarının azaltılması ve bölgesel iş sahalarının artırılması göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hususlar dikkate alındığında bölge ısıtma sistemleri önemli avantajlara sahip olduklarından tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtma sisteminin faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kullanıcıya konforlu, güvenli ve kesintisiz ısınma ve sıcak su sağlar.
- Merkezi sistemlerde olduğu gibi, kazan dairesinde yakacak depolanması ve kazanda yakıt yakılması gibi unsurlar içermez.
- Konutlarda sadece sıcak su dolaştığından diğer ısıtma yöntemlerine göre çok daha güvenilir ve işletimi kolay bir sistemdir.

- Bölgesel ısıtma sisteminde, bina ve/veya daire girişlerinde bulunan ısı sayaçları sayesinde ısı enerjisi tüketimleri hesaplanarak her bağımsız birimin tükettiği kadar ödemesi de mümkün olmaktadır.
- "Bölge ısıtma teknolojisi, alternatif sistemlere göre çok daha az emisyon yayan, çevreye duyarlı sistemlerdir. Çünkü bireysel konut ısıtmasında; her binanın kendi ısıtma sisteminde yakıtın yakılarak, yanma sonu gazlar binaların kendi bacalarından filtre edilmeden atmosfere bırakılmaktadır. Halbuki bölge ısıtma sistemine bağlı bir yerleşim biriminde; merkezi bir güç santralında fosil yakıt (kömür, doğalgaz, petrol ürünü vb.) kazanda verimli bir şekilde yakılarak öncelikle bölgenin ihtiyacı olan elektrik enerjisi üretilir, bunun yanında üretilen ısı enerjisi de bağlı bulunan konutlara iletilir. Böylece; zaten elektrik üretimi için santralde yakılan yakıtla, bölgenin ısıtma için ihtiyaç duyduğu enerji de karşılanmış olur. Sonuç olarak, konutlarda yakıt yakılmasına gerek kalmaz. Yerleşim birimindeki tüm konutlarda ısınma için yakıt yakılarak on binlerce bacadan çıkan yanma gazı yerine, tek bir bacadan ve filtre edilerek hem elektrik hem de ısı üretilerek atılan gaz çevre havasını korumada oldukça etkin bir rol oynayacaktır. Ayrıca konutlardaki verimsiz bireysel yakma sistemleri (soba vb.) yerine santralde yanmanın kontrol altında olması nedeni ile yakıtların yakılmasında önemli bir avantaj elde edilmiş olur."(Güngör 2007).
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltacaktır.
- Seracılık gibi alanlarda ısıtma yaparak tarımsal faaliyetlere katkı sağlar.
- Kömür ile konut ısıtmada lokal hava kirliliği oluşmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemi, yerleşim yerlerinde solunan havanın kalitesini artırmaktadır.
- Santral bacalarının oldukça yüksek olması, bacalardan çıkan gazların yerleşim birimine çökmeden havayla karışmasını sağlayarak lokal hava kirliliğini önler.

2.2.2 Dünyada Bölgesel Isıtma Uygulamaları

Avrupa Birliği'nde termik santrallerden atık ısı kullanımı, temiz ve verimli enerji üretimi gibi talepleri karşılayacak tek teknoloji olarak düşünülmektedir. Bu yüzden son yıllarda termik santraller tarafından bölgesel ısıtma sistemi için ısı üretim kapasiteleri artırılmıştır.

Almanya, Danimarka ve Finlandiya termik santrallerin atık ısılarını azaltmak amacıyla bölgesel ısıtma sistemlerini kullanan ülkelerin başında gelmektedir (Güngör 2007).

Almanya'nın en büyük üçüncü elektrik üretim firması olan Bewag bölgesel ısıtma konusunda lider konumdadır. Bu firmaya ait termik santrallerde elektrik ve ısının aynı anda üretilmesi ekonomik ve çevresel şartların iyileşmesine sebep olmuştur. Atık enerjinin %62 olduğu termik santrallerde elektrik üretimi %7 azaltılarak santrallerden bölgesel ısıtma için yüksek oranda ısı temin edilmektedir. Bölgesel ısıtma sisteminin kullanılmasıyla, ısıtma sistemlerinin bir yılda yayacakları karbondioksit miktarından iki milyon ton daha az salınım yapılmıştır. Çizelge 2.1'de Berlin'de termik santraller tarafından üretilen ısı ve elektrik değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Berlin'de termik santrallar tarafından üretilen ısı ve elektrik değerleri (Güngör vd. 2007).

	Yıl	2002	2003
Yıllık elektrik geliri	Milyon €	1119	1080
Yıllık ısı geliri	Milyon €	401	440
Yıllık elektrik satışı	GWh	11533	11036
Yıllık ısı satışı	GWh	8470	9516
Isıtılan alan	Milyon m^2	55.09	54.60
Dağıtım istasyonlarının sayısı		13979	14068
Şebeke uzunluğu	km	1256	1295

Çizelge 2.2 Kopenhag'da bölgesel ısıtma yapan santraller (Copenhagen Energy 2009).

Kojenerasyon Santrali		Yakıt	Kapasite (Isı) MJ/s	Kapasite (Elektrik) MW
Amagerværket (AMV)	1.Ünite	Biyoyakıt, kömür, fuel oil	250	80
	2.Ünite	Biyoyakıt, fuel oil	166	95
	3.Ünite	Kömür, fuel oil	331	263
Avedøreværket	1.Ünite	Kömür, fuel oil	330	250
	2.Ünite	Gaz, biyoyakıt, fuel oil	570	570
H.C. Ørsted Værket		Gaz	815	185
Svanemølleværket		Gaz, fuel oil	355	81

Danimarka'da elektrik enerjisinin çoğu termik santrallerden sağlandığı gibi, büyük şehirlerin ısıtılması da bu santraller tarafından sağlanmaktadır. Termik santraller yerel bölgelerde elektriğin %60'ını ve ısının %75'ini bölgesel ısıtma sistemleri için sağlamaktadır. Danimarka'da santraller bölgenin ısı ihtiyacı dikkate alınarak kurulmaktadır. Çizelge 2.2'de Kopenhag'da bölgesel ısıtma yapılan santrallere ait bilgiler verilmiştir.

Bölgesel ısıtma tarihinde bir başarı: Kozani adlı yayınında Peter Sonne; Yunanistan'da Agios Dimitros santrali kendisinden 17 km uzaklıktaki Kozani yerleşim birimine bölge ısıtması yapıldığını, 1985 yılında kurulan santralin toplam kurulu gücü 1500 MW_e olduğunu ve beş üniteden oluştuğunu ifade etmektedir. Santralin Kozani bölgesine ısı üretim kapasitesi 67 MW_t'dır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Kozani bölgesi bölgesel ısıtmaya ait veriler (Sonne 2006).

Kozani nüfusu	-	70000
Isıtılan konut sayısı	Bina/daire	4000/19000
Santralden sağlanan ısı	TJ/yıl	960
İlave pik yük kazanlarında üretilen ısı	TJ/yıl	100
Tüketiciye fatura edilen ısı	TJ/yıl	850
Isı birim satış fiyatı (tüketici)	€/MWh	40
Elektrik birim satış fiyatı (tüketici)	€/MWh	85
Yıllık elektrik için ödenen miktar	€/yıl	533
Termik santral ısı kapasitesi	MW_t	67
Pik kazan kapasitesi	MW_t	75
Maksimum kapasite talebi	MW_t	145
İletim şebekesi sıcaklıkları	℃	120/70
Dağıtım şebekesi sıcaklıkları	℃	115/70

Yıllık üretilen elektriğin %18'i, bölgesel ısıtma sisteminin %75'i termik santrallerden sağlanan ülkelerden biri de Finlandiya'dır. Yaklaşık 2,3 milyon binanın bulunduğu ülkede binaların yarısı bölgesel ısıtma sistemiyle ısıtılmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemi için kurulan şebekelerin toplam uzunluğu 9100 km, bölge ısıtma sistemi için üretilen ısı miktarı ise yaklaşık 32000 GWh'tir (Güngör vd. 2007).

Finlandiya'da başlıca bölgesel ısıtma yapan santrallerden bazıları; Hanasaari-B ve Vuosaari-B santralleridir. Hanasaari-B santrali 1977 yılında kurulmuş olup, iki üniteye sahiptir. Her bir ünitenin kurulu gücü 114 MW_e'tır. Santralin elektrik üretim kapasitesi 220 MW_e, ısı üretim kapasitesi ise 445 MW_t'tır. Bölge ısıtma için kurulan şebekenin toplam uzunluğu 1000 km'dir ve şebeke suyunun iletim sıcaklığı 120℃ olup, dönüş sıcaklığı 70℃'dir. 1997 yılında kurulan Vusaari-B santrali kombine çevrimli santral olup, elektrik üretim kapasitesi 463 MW_e, ısı üretim kapasitesi ise 416 MW_t'dır. Santralde atık ısı kazanım kazanlarından ve orta basınç türbini çıkışından alınan buharla bölgesel ısıtma yapılmaktadır (Güngör vd. 2007).

2.2.3 Türkiye'de Bölgesel Isıtma Uygulamaları

Türkiye'de bölgesel ısıtma uygulamaları genellikle jeotermal enerji ile yapılır ve bu uygulamalar oldukça azdır. Türkiye'de kojenerasyon yöntemle bölgesel ısıtma yapan ilk ve tek santral Doğa Enerji ve Amerikan Edison Mission enerji ortaklığında 1993 yılında kurulan Esenyurt Doğal Gaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrali'dir. Kooperatifler birliği ile yapılan anlaşma ile 9000 konut santralden sağlanan ısı ile ısıtılmaktadır. Tesisin ısı kapasitesi 180 MW_t'dır. Ancak anlaşmada istenen maksimum ısı talebi 95 MW_t'dır. Bölgenin şu anki maksimum ısı talebi ise 65 MW_t ısıdır. (Basit bir hesapla bir konutun pik yük ihtiyacının 7.22 kW_t olduğunu görülmektedir.) Firma ısı satış fiyatını aşağıdaki eşitlikle belirlenmektedir.

Tarife Bedeli = (0,6 x Gaz Bedeli) / Gaz AID
Gaz Bedeli: TL / m^3
Gaz Alt Isıl Değeri: 8250 Kcal / m^3 = 34485 kJ / m^3

Gaz bedelinin 0,900951 TL / m^3 olduğu varsayımı ile (29.11.2012 tarihli Başkent Doğalgaz Dağıtım A.Ş. fiyatı) tarife bedeli 0.015675 Kuruş / kJ olarak bulunur. 1 kJ = $0{,}278 \times 10^{-3}$ kWh olduğundan 0.05638 TL / kWh olarak bulunur. Bu değerin 0,08467585 TL / kWh değer ile kıyaslandığında (29.11.2012 tarihli Başkent Doğalgaz Dağıtım A.Ş. fiyatı) % 44 daha ucuz olduğu görülmektedir.

Balçova Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi; bölgede sekiz jeotermal kuyudan, üretim sıcaklığı 83°C–135°C aralığında jeotermal akışkan elde edilmektedir. Üretilen akışkan içindeki yoğuşmayan gaz oranı oldukça düşüktür. Bölgesel ısıtma sisteminde dolaşan suyun gidiş sıcaklığı, plaka tipi ısı değiştiricilerinde, jeotermal su yardımıyla 80°C–90°C aralığına ısıtılmaktadır. Dönüş sıcaklığı ise 42°C – 60°C'dır. Böylece 6631 konut ile birlikte 2 otel ve 2 üniversiteye ait muhtelif yapıların ısıtılması sağlanmaktadır (Çoban 2011).

Türkiye'de santrallerden atılan ısı miktarını azaltmak amacıyla 2006-2010 yılları arasında "Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulama Projesi" isimli proje gerçekleştirilmiştir. Proje çıktılarına bağlı olarak pilot bölge seçilen Soma'da bölgesel ısıtma sistemi için çalışmalar başlatılmıştır. Bölgenin ısı enerjisi ihtiyacı Soma Termik Santralinin ara buharı ile sağlanacaktır (TSAD 2006-2010).

BÖLÜM 3

ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ VE KOJENERASYON SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLEREK BÖLGESEL ISITMA YAPILMASI

Bu bölümde Çatalağzı Termik Elektrik Santrali hakkında bilgi verilecek, önce sadece elektrik üretimine bağlı olacak şekilde termodinamik analizi yapılacak daha sonra da santralde kojenerasyon dönüşümü yapılarak santralin yeni hali termodinamik olarak incelenecektir.

3.1 ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİ

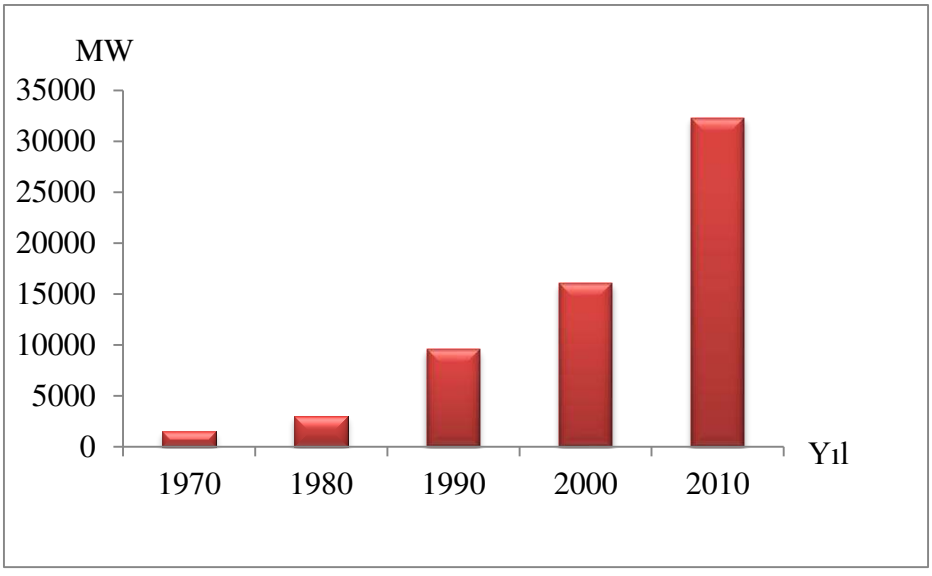
Zonguldak ilinin merkez ilçesine bağlı ve il merkezinin 17 km doğusunda bulunan Çatalağzı beldesine 1938 yılında Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nin (ÇATES) kurulmasına karar verilmiştir. Yapıldığı dönemde Türkiye'nin en büyük ikinci termik santrali olan ÇATES, 27 Kasım 1948 tarihinde 3 grup ve toplam 64.500 kW_eh kapasiteyle işletmeye açılmıştır. 1950 yılından itibaren artan enerji ihtiyacını karşılamak nedeniyle santrale 3 grup daha ilave edilmiş ve yıllık enerji üretimi 600 milyon kW_eh'i bulmuştur.

ÇATES-A, 1991 yılında ekonomik ömrünü tamamladığı gerekçesiyle servis dışı bırakılmıştır. ÇATES- B ise 1. Ünitesi 1989 yılında ve 2. Ünitesi 1991 yılında kurulmuş olup her ikisi de 150 MW_e gücündeki 2 adet üniteyle toplam 300 MW_e elektrik enerjisi üretmektedir. Santralin ana yakıtı taş kömürü filitrasyon ürünü, yardımcı yakıt fuel-oil ve motorindir.

ÇATES'e kömür Türkiye Taş Kömürü Genel Müdürlüğü'nün Zonguldak ve Çatalağzı Filitrasyon tesislerinden temin edilmektedir. Kömür Çatalağzı lavuarından bant yoluyla, Zonguldak lavuarından ise TCDD vagonları ile santrala ulaştırılmaktadır. Santralin günlük ortalama kömür ihtiyacı iki ünite için toplam 5000-5500 ton/gün olup, yıllık ihtiyaç yaklaşık 1.700.000 ton/yıldır (2,1 milyar kW_eh üretim için). Santralin kömür stok sahası kapasitesi

170.000 tondur. TTK Genel Müdürlüğü son yıllarda 1,5-2 Milyon ton arasında seyreden yıkanmış kömürün yaklaşık olarak %66'sını ÇATES'e pazarlamaktadır (ÇATES 2012).

Şekil 3.1 Çatalağzı Termik Elektrik Santrali (ÇATES).



Şekil 3.2 Türkiye'de kurulu gücün yıllara göre değişimi (TEİAŞ 2012).

ÇATES sahip olduğu 300 MW_e kurulu güç ile Türkiye'deki kurulu gücün yaklaşık %1'ine sahiptir. 1970 - 2010 yılları itibariyle Türkiye'de mevcut kurulu gücün değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir.

3.1.1 Çatalağzı Termik Elektrik Santrali Çalışma Yöntemi

ÇATES sadece elektrik üretimine yönelik kurulmuş kömür yanmalı bir güç santralidir. Rankine Çevrimine göre çalışan santralde kazan, buhar türbini, yoğuşturucu, pompalar ve çeşitli ısı değiştiricileri mevcuttur. Kazandan 535 ℃ sıcaklıkta ve 13337 kPa basınçta çıkan kızgın buhar yüksek basınç türbinine gönderilir. Yüksek basınç türbininde kızgın buhar genişleyerek iş yapar ve sıcaklığı 367,4 ℃, basıncı ise 3952 kPa'a düşer. Yüksek basınç türbininden çıkan buhar tekrar kazana gönderilir ve sıcaklığı 535 ℃'e çıkartılır. Yeniden kızdırılmış olan buhar orta basınç ve alçak basınç türbinine gönderilir ve bu türbinlerde genişlerken elektrik jeneratörüne bağlı olan türbin milini döndürerek iş üretir.

Çizelge 3.1 ÇATES teknik verileri (Kopac and Hilalci 2007).

Özellik	**Değer**
Toplam güç	300 MW
Toplam ünite sayısı	2
Ünite gücü	150 MW
Besleme suyu debisi	480000 kg/h
Besleme suyu basıncı	15 MPa
Besleme suyu kazan giriş sıcaklığı	220 ℃
Kızgın buhar sıcaklığı	535℃
Yeniden kızdırma basıncı	3,664 MPa
Yeniden kızdırma bölgesinde kazana giriş sıcaklığı	359℃
Yeniden kızdırılmış buhar sıcaklığı	535℃
Yeniden kızdırma debisi	438000 kg/h
Kondanser basıncı	6 kPa
Soğutma suyu sıcaklığı	35,5 ℃
Yakıt tipi	Kömür
Yakıt debisi	2700 ton/gün
Kömür alt ısıl değeri	13794 kj/kg
Yanma ürünleri debisi	600000 m^3/h
Yanma bölgesine giren hava debisi	400000 m^3/h
Yanma ürünleri baca çıkış sıcaklığı	150 ℃
Türbin izantropik verimi	0,95
Pompa mekanik verimi	0,98
Elektrik motor verimi	0,95

Düşük basınç türbininden 35,75 ℃ sıcaklığında ve 5,86 kPa basınçta ıslak buhar halinde çıkan su yoğuşturucuya gönderilir. Yoğuşturucuda yoğuşan su bir pompa vasıtasıyla açık besleme suyu ön ısıtıcısı basıncına sıkıştırılır. Pompadan çıkan su sırasıyla üç adet alçak basınç ön

ısıtıcısından geçer ve açık besleme suyu ısıtıcısına gelir. Açık besleme suyu ısıtıcısından çıkan su başka bir pompayla kazan basıncı olan 14,934 MPa (yaklaşık 15 MPa) basıncına kadar sıkıştırılır. İki adet yüksek basınç ön ısıtıcısından geçerek kazana gelen sıkıştırılmış sıvı su kazanda bulunan boru demetlerinin içinde dolaşırken kömürün yanması sonucu ortaya çıkan yanma ürünleri gazları ısısının büyük bir kısmını üzerine alır ve kızgın buhar haline gelir. Kazandan çıkan kızgın buhar tekrar yüksek basınç buhar türbinine gönderilir. Bu işlemler sürekli olarak tekrar eder. Çizelge 3.1'de Çatalağzı Termik Santrali'ne ait teknik veriler verilmiştir.

3.1.2 Çatalağzı Termik Elektrik Santrali Termodinamik Analizi

ÇATES Rankine Çevrimine göre çalışan bir termik santraldir. Santralde bulunan elemanların tümü (türbin, kazan, pompa, yoğuşturucu ve besleme suyu ısıtıcıları) sürekli akışlı makinelerdir. Dolayısıyla çevrim elemanları sürekli akışlı açık bir sistem gibi incelenebilir. Santralde iş akışkanı olarak kullanılan suyun kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim genellikle iş ve ısı geçişine göre oldukça küçüktür ve bu nedenle de göz ardı edilebilir.

Sürekli akışlı açık sistemlerde kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez. Bu nedenle kontrol hacmine giren kütlenin, kontrol hacminden çıkan toplam kütleye eşit olması gerekir. Çoklu girişi ve çıkışı olan sürekli akışlı sistem için kütlenin korunumu ilkesi denklem 3.1 ile ifade edilir.

$$\sum_{g} \dot{m} - \sum_{ç} \dot{m} = \frac{dm}{dt} \tag{3.1}$$

Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacmindeki toplam enerji sabittir. Böylece kontrol hacmindeki enerji değişimi sıfır olur. Bu nedenle kontrol hacmine giren enerji miktarı (ısı, iş veya kütle biçiminde) kontrol hacminden çıkan enerji miktarına eşit olmalıdır. Hal değişimi gerçekleştiren herhangi bir sistem için zamana bağlı genel enerji denklemi 3.2'deki gibidir.

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = \frac{dE_{sistem}}{dt} \tag{3.2}$$

Sürekli akışlı açık sistemlerde $dE_{sistem} / dt = 0$ olduğundan,

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç \tag{3.3}$$

olur.

Sürekli akışlı açık sistemlerde akışkanın birim kütlesinin enerjisi iç enerjisi, akış enerjisi, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olduğundan enerjinin korunumu denklemi 3.4 eşitliğindeki gibi olur.

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) = \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \sum_ç \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) \tag{3.4}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_ç \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) - \sum_g \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right) \tag{3.5}$$

Bir girişli bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistemler için denklem;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\left(h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g\left(z_2 - z_1\right)\right) \tag{3.6}$$

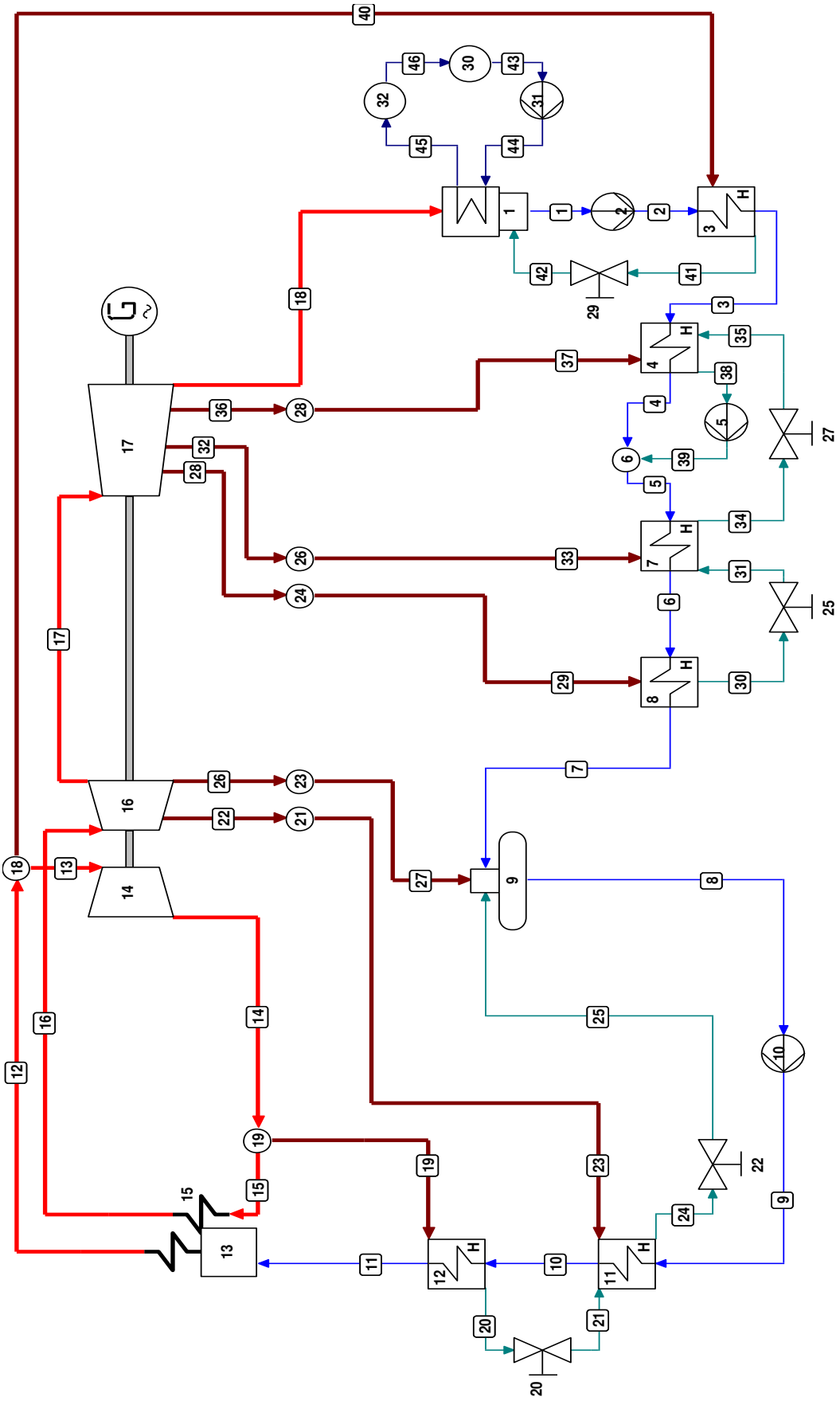
halini alır. Kinetik enerji ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilirse;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\left(h_2 - h_1\right) \tag{3.7}$$

olur.

ÇATES'e ait kütle akış şeması Şekil 3.3'te verilmiştir. Kütle akış şeması Hollanda'da bulunan "Delft University of Technology" üniversitesinden sağlanan Cycle–Tempo programı ile yapılmıştır. Kütle akış şemasında her bir eleman ile her bir elemana ait kütle giriş ve çıkışları numaralandırılmıştır. ÇATES kütle akış şemasındaki tüm noktalara ait termodinamik özelikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Akış şemasındaki numaralandırılan makinelerin neyi ifade ettiği ve her bir makineye ait enerji denklemleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Denklemler Yıldız Teknik Üniversitesi'nde halen görev yapmakta olan Arş. Gör. Şaban Pusat tarafından sağlanan Engineering Equation Solver programında yazılmıştır. Program özellikle termodinamik analiz yapmak için geliştirilmiş bir programdır. İçerisinde bulunan bir çok akışkana ait termodinamik özelikler sayesinde kolay bir şekilde termodinamik analiz ve optimizasyon yapma fırsatı sunar. Diğer bir kullanışlı özelliği ise bilinmeyen kadar denklemin yazılması suretiyle istenen çözümleri yapabiliyor olmasıdır.

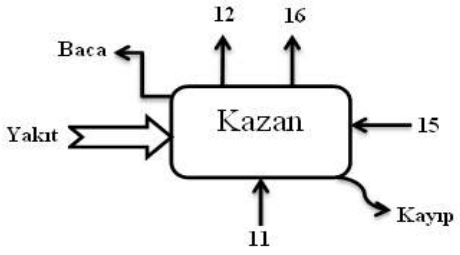
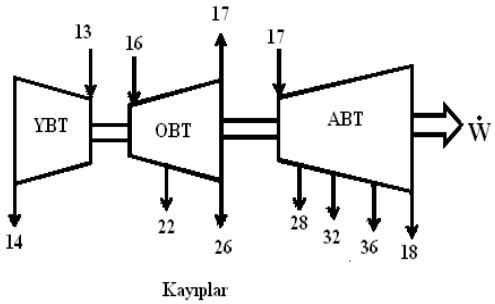
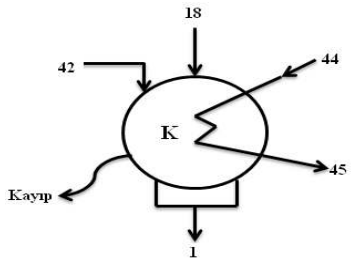
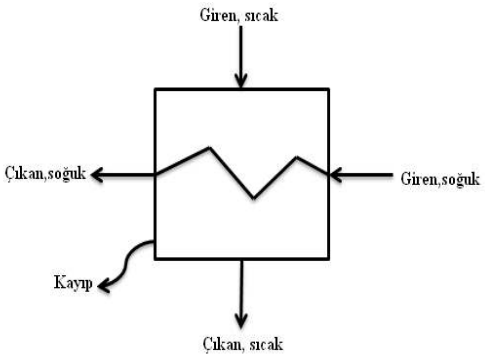


Şekil 3.3 Çatalağzı Termik Elektrik Santraline ait kütle akış şeması.

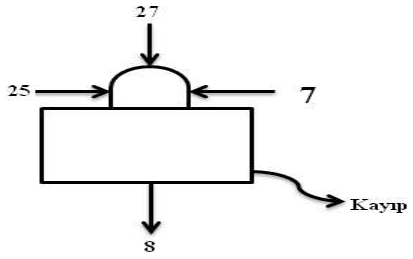
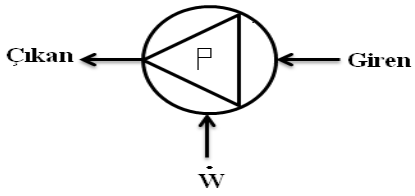
Çizelge 3.2 ÇATES kütle akış şemasındaki tüm noktalara ait termodinamik özelikler.

No	Madde	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Entalpi (kj/kg)	Debi (kg/h)	Enerji Akışı (kW)
1	Sıvı	35,5	5,866	148,7	332520	13734,92
2	Sıvı	36,4	674,6	153,1	332520	14141,34
3	Sıvı	38	674,6	159,8	332520	14760,19
4	Sıvı	72,9	674,6	305,7	332520	28236,49
5	Sıvı	73,4	674,6	307,8	394580	33736,59
6	Sıvı	106,5	674,6	447	394580	48993,68
7	Sıvı	133,2	674,6	560,3	394580	61411,99
8	Sıvı	163,4	674,6	690,3	487150	93411,01
9	Sıvı	166,9	14934	713,6	487150	96563,96
10	Sıvı	203,6	14934	873,9	487150	118255,66
11	Sıvı	248,6	14934	1079	487150	146009,68
12	Buhar	535	13337	3428	487150	463875,06
13	Buhar	535	13337	3428	485860	462646,69
14	Buhar	367,4	3952	3137	485860	423373,01
15	Buhar	365,4	3952	3132	441690	384270,30
16	Buhar	535	3638	3530	441690	433101,58
17	Buhar	306,1	710	3072	393290	335607,47
18	Sıvı - buhar	35,75	5,866	2361	331230	217231,68
19	Buhar	369,4	3903	3143	44170	38562,86
20	Sıvı	204,6	3903	873,9	44170	10722,27
21	Sıvı	201,6	1608	873,9	44170	10722,27
22	Buhar	423,2	1657	3304	27520	25257,24
23	Buhar	421,5	1608	3301	27520	25234,31
24	Sıvı	168	1608	710,8	71690	14154,79
25	Sıvı	163,5	674,6	710,8	71690	14154,79
26	Buhar	308,1	710	3076	20880	17840,80
27	Buhar	309,1	674,6	3079	20880	17858,20
28	Buhar	233,2	342,2	2932	18680	15213,82
29	Buhar	231,2	324,6	2929	18680	15198,26
30	Sıvı	111,5	324,6	467,9	20880	2713,82
31	Sıvı	109,5	141,2	467,9	20880	2713,82
32	Buhar	150	145,1	2773	22010	16953,81
33	Buhar	148	141,2	2770	22010	16935,47
34	Sıvı	78,4	141,2	328,4	40690	3711,83
35	Sıvı	78,4	141,2	328,4	40690	3711,83
36	Buhar	79,6	41,2	2643	21370	15689,14
37	Buhar	78,6	40	2642	21370	15683,21
38	Sıvı	75,8	40	317,4	62060	5471,62
39	Sıvı	76,8	674,7	322,1	62060	5552,65
40	Buhar	535	13337	3428	1290	1228,37
41	Sıvı	99,9	13337	428,7	1290	153,62
42	Sıvı	35,75	5,866	428,7	1290	153,62
44	Sıvı	24	315	100,9	9100000	255052,78
45	Sıvı	43,2	315	181,2	9100000	458033,33

Çizelge 3.3 ÇATES'de bulunun tüm elemanlara ait enerji denge denklemleri.

Santral Elemanı	No	Kütle Giriş ve Çıkışları	Enerji Denge Denklemleri	
Kazan	13		$\dot{Q}_{yakıt} - \dot{Q}_{baca} - \dot{Q}_{kayıp,kazan} = \dot{m}_{12}h_{12} + \dot{m}_{16}h_{16} - (\dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{15}h_{15})$	
Türbin	14, 16, 17		$\dot{W}_{YBT} = \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{14}h_{14}$ $\dot{W}_{OBT} = \dot{m}_{16}h_{16} - \dot{m}_{22}h_{22} - \dot{m}_{26}h_{26} - \dot{m}_{17}h_{17}$ $\dot{W}_{ABT} = \dot{m}_{17}h_{17} - \dot{m}_{28}h_{28} - \dot{m}_{32}h_{32} - \dot{m}_{36}h_{36} - \dot{m}_{18}h_{18}$ $\dot{W}_{tür} = (\dot{W}_{YBT} + \dot{W}_{OBT} + \dot{W}_{ABT}).\ \eta_{mek,tür} - \dot{Q}_{kayıp,tür}$	
Kondanser	1		$\dot{m}_{18}h_{18} + \dot{m}_{42}h_{42} + \dot{m}_{44}h_{44} = \dot{m}_{1}h_{1} + \dot{m}_{45}h_{45} + \dot{Q}_{kayıp,kond}$ $\dot{Q}_{soğ,suyu} = \dot{m}_{45}h_{45} - \dot{m}_{44}h_{44}$	
Alçak ve yüksek basınç ısı değiştirici-leri	3, 4, 7, 8, 11, 12		Ejektör	$\dot{m}_2h_2 + \dot{m}_{40}h_{40} = \dot{m}_3h_3 + \dot{m}_{41}h_{41} + \dot{Q}_{kayıp,ej}$
			ABI,I	$\dot{m}_3h_3 + \dot{m}_{35}h_{35} = \dot{m}_4h_4 + \dot{m}_{38}h_{38} + \dot{Q}_{kayıp,ABI,I}$
			ABI,II	$\dot{m}_5h_5 + \dot{m}_{31}h_{31} = \dot{m}_6h_6 + \dot{m}_{34}h_{34} + \dot{Q}_{kayıp,ABI,II}$
			ABI,III	$\dot{m}_6h_6 + \dot{m}_{29}h_{29} = \dot{m}_7h_7 + \dot{m}_{30}h_{30} + \dot{Q}_{kayıp,ABI,III}$
			YBI,I	$\dot{m}_9h_9 + \dot{m}_{21}h_{21} = \dot{m}_{10}h_{10} + \dot{m}_{24}h_{24} + \dot{Q}_{kayıp,YBI,I}$
			YBI,II	$\dot{m}_{10}h_{10} + \dot{m}_{19}h_{19} = \dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{20}h_{20} + \dot{Q}_{kayıp,YBI,II}$

Çizelge 3.3 (devam ediyor).

Açık besleme suyu ısıtıcısı	9		$\dot{m}_7h_7 + \dot{m}_{25}h_{25} + \dot{m}_{27}h_{27} = \dot{m}_8h_8 + \dot{Q}_{kayıp,abs}$	
Pompalar	2, 5, 10		Pompa, 1	$\dot{W}_{p,1} = (\dot{m}_2h_2 - \dot{m}_1h_1) / \eta_{mek,p,1}$
			Pompa, 2	$\dot{W}_{p,2} = (\dot{m}_{39}h_{39} - \dot{m}_{38}h_{38}) / \eta_{mek,p,2}$
			Pompa, 3	$\dot{W}_{p,3} = (\dot{m}_9h_9 - \dot{m}_8h_8) / \eta_{mek,p,3}$

ÇATES için geliştirilen denklem takımları ile termodinamik çözüm bu program sayesinde gerçekleştirilmiştir.

3.1.2.1 Baca Gazı Enerji Kaybı Hesabı

Kazanda yanma sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmı iş akışkanına aktarılır ve yanma ürünleri atmosfere bir baca vasıtasıyla atılır. Bu esnada yakıt enerjisinin bir kısmı çevreye atılmış olur. Yanma ürünleri mükemmel gaz olarak değerlendirilebilecek bir gaz karışımından oluşur. Bu gaz karışımının özelliklerinin belirleyebilmek için karışımdaki her bir maddenin miktarını ve ayrı ayrı özelliklerini bilmek gerekir. ÇATES için baca gazı ürünleri ve mol oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

İdeal gazlarda entalpi sadece sıcaklığın fonksiyonu olması nedeniyle sabit basınçtaki özgül ısılar yalnızca sıcaklığın fonksiyonudur. Denklem 3.8 ideal gazların özgül ısılarının sıcaklıkla değişimini molar olarak veren üçüncü dereceden bir polinomdur (Çengel ve Boles 2008).

$$\overline{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \tag{3.8}$$

Çizelge 3.4 ÇATES baca gazı ürünleri ve mol oranları.

Ürün	Mol Oranı
CO_2	0,17
H_2O	0,2318
N_2	0,538
O_2	0,06
SO_2	0,0002
Toplam	1,00

Burada a, b, c ve d katsayıları her bir gaz için farklı değer almaktadır. Santral bacasından atılan gazların her birine ait a, b, c ve d değerleri ile bu katsayılara bağlı $\bar{c}_p$ değeri Çizelge 3.5'te verilmiştir. $\bar{c}_p$ değeri çevre sıcaklığı 25 °C ve baca gazı çıkış sıcaklığı 150 °C için verilmiştir. (Çevre sıcaklığı mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Burada ortalama bir sıcaklık kullanılarak analiz yapılmıştır.)

Çizelge 3.5 ÇATES baca gazlarına ait $\bar{c}_p$ değerleri.

Ürün	a	b	c	d	$\bar{c}_{p,i}$ (kJ/kmol, °C)	
					T=25 °C	T=150 °C
CO_2	22,26	$-3{,}501 \times 10^{-2}$	$5{,}981 \times 10^{-5}$	$7{,}469 \times 10^{-9}$	37,172	41,860
H_2O	33,24	$1{,}055 \times 10^{-2}$	$0{,}1923 \times 10^{-5}$	$-3{,}595 \times 10^{-9}$	34,654	35,669
N_2	28,90	$0{,}8081 \times 10^{-2}$	$-0{,}157 \times 10^{-5}$	$-2{,}873 \times 10^{-9}$	29,073	29,464
O_2	25,48	$-0{,}7155 \times 10^{-2}$	$1{,}52 \times 10^{-5}$	$1{,}312 \times 10^{-9}$	29,408	30,728
SO_2	25,78	$-3{,}812 \times 10^{-2}$	$5{,}797 \times 10^{-5}$	$8{,}612 \times 10^{-9}$	39,897	44,132

Çizelge 3.6 Baca gazları için entalpi değerleri.

Ürün	y_i	$\bar{h}$ (kJ/kmol)		$y_i\bar{h}$ (kJ/kmol)	
		T=25 °C	T=150 °C	T=25 °C	T=150 °C
CO_2	0,17	11077,26	17707,05	1883,13	3010,19
H_2O	0,2318	10327,13	15088,00	2393,82	3497,39
N_2	0,538	8663,97	12463,43	4661,21	6705,32
O_2	0,06	8763,86	12998,23	525,83	779,89
SO_2	0,0002	11889,53	18667,99	2,37	3,73
Toplam	1,00	-	-	9466,38	13996,54

Her bir gazın birim mol başına sahip olduğu entalpi $\bar{h}_i = \bar{c}_{p,i} T$ bağıntısı ile hesaplanabilir. Karışım içindeki her bir gazın entalpisi; birim mol başına ve karışımda sahip olduğu molar

orana bağlı olarak Çizelge 3.6'da verilmiştir. Gaz karışımının birim mol başına sahip olduğu toplam entalpi $\bar{h}_{kar} = \sum y_i \bar{h}$ bağıntısıyla hesaplanır.

Baca gaz karışımının molar debisi $P\dot{V} = \dot{N}R_u T$ bağıntısı ile hesaplanabilir. P değeri 101,325 kPa, $\dot{V}$ değeri 166,67 m^3/s, R_u değeri 8,31447 kJ/kmol.K ve T değeri 298 K alınırsa baca gazı karışımının molar debisi $\dot{N}$; 6,815 kmol/s olur. Bacadan atmosfere atılan gazlardan kaynaklı enerji miktarı;

$$\dot{Q}_{baca} = \dot{N}\left(\bar{h}_{kar@423K} - \bar{h}_{kar@298K}\right) = 6{,}815(\text{kmol/s}).(\ 13996{,}547 - 9466{,}389)(\text{kj/kmol})$$

$\dot{Q}_{baca}$ = 30873,02 kW olur.

Termik santralin net güç çıkışı türbin gücü ile santralde bulunan tüm pompa güçleri toplamının farkıdır.

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{tür} - \sum_{i=1}^{n} \dot{W}_{p,i} \tag{3.9}$$

Burada n toplam pompa sayısını ifade eder.

Santralin termal verimi ise;

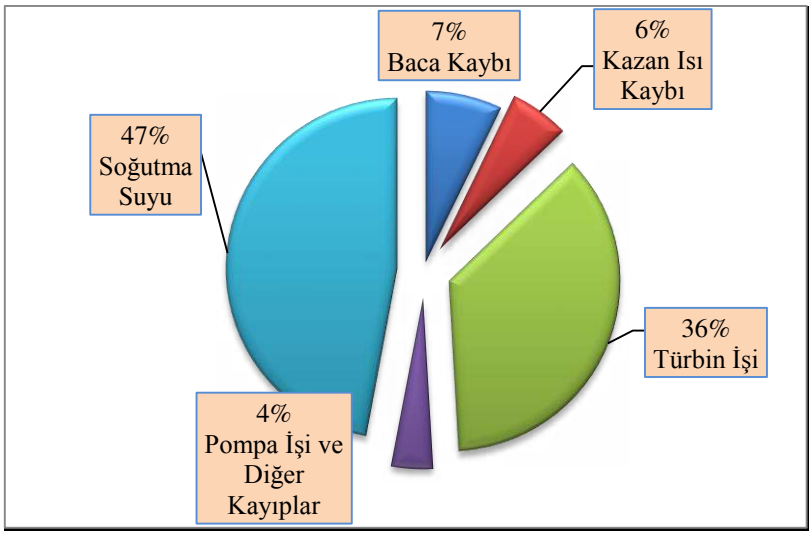
$$\eta_{ter} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}} \tag{3.10}$$

şeklindedir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda her bir elemana ait sonuçlar Çizelge 3.7'de verilmiştir. Santralin termik verimi 0.3547 olarak bulunmuştur. Bu değer yanma sonucu ortaya çıkan 100 birim ısı enerjisinin 35 biriminin elektrik enerjisine dönüştüğünü diğer 65 biriminin ise pompa işi ve çevreye atılan atık enerji olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 3.7 ÇATES'in enerji bilançosu (kW_t cinsinden).

$\dot{Q}_{yakıt}$	431063	431063
$\dot{Q}_{baca}$	30873	30873
$\dot{Q}_{kayıp,kazan}$	24386	24386
$\dot{W}_{YBT}$	37650	156330
$\dot{W}_{OBT}$	51410	
$\dot{W}_{ABT}$	67270	
$\dot{Q}_{kayıp,tür}$	3316	3316
$\dot{Q}_{soğ,suy}$	202979	202979
$\dot{Q}_{kayıp,ej}$	454	5057
$\dot{Q}_{kayıp,ABI,I}$	433	
$\dot{Q}_{kayıp,ABI,II}$	638	
$\dot{Q}_{kayıp,ABI,III}$	40	
$\dot{Q}_{kayıp,deg}$	14	
$\dot{Q}_{kayıp,YBI,I}$	91	
$\dot{Q}_{kayıp,YBI,II}$	67	
$\dot{W}_{p,1}$	427	3831
$\dot{W}_{p,2}$	85	
$\dot{W}_{p,3}$	3318	
(Pompa ve boru kayıpları) $\dot{W}_{kayıp.diğer}$	4289	4289



Şekil 3.4 ÇATES enerji bilançosunun oransal gösterimi.

Santralin tamamı göz önüne alındığında kazanda sağlanan ısı enerjisinin yaklaşık olarak %36'sı türbin işi, %7'si baca gazı, %47'si soğutma suyu, 4%'ü pompa işi, ısı değiştiricisi kayıpları ve borularda meydana gelen kayıplar olarak gerçekleşmektedir (Şekil 3.4).

3.2 ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİNİN KOJENERASYON SANTRALE DÖNÜŞTÜRÜLEREK BÖLGESEL ISITMA YAPILMASI

Bölüm 3.1.1'de ÇATES'in termodinamik analizi Enginnering Equation Solver programı ile yapıldı. Bu bölümde ise ÇATES'in baca gazı, yoğuşturucuda atılan ısı, ısı değiştiricileri ve ara buharı ile bölgesel ısıtma yapılabilirliği tartışılacaktır.

3.2.1 Baca Gazlarından Kaynaklı Atık Isı İle Bölgesel Isıtma Yapılması

Santral bacasından çevreye 150℃ sıcaklığında 30-35 MW_t'lık ısı enerjisine sahip yanma ürünleri gazları atılmaktadır. Bu enerji ilk bakışta faydalı enerjiye dönüştürmek için cazip görülmektedir. Fakat; kazanda yanma sonucu oluşan SO_2 belli bir limit sıcaklıkta bacaya zarar veren korozif H_2SO_4 oluşmasına sebep olur. Bundan dolayı baca gazı sıcaklığı H_2SO_4 yoğuşum sıcaklığının altına düşmemelidir. Ayrıca baca gazından kaynaklı enerjinin kullanılmasıyla gazların sıcaklığı düşecek bu da baca çekişini olumsuz yönde etkileyecektir.

3.2.2 Yoğuşturucudan Deniz Suyuna Geçen Isı ile Bölgesel Isıtma Yapılması

ÇATES yoğuşturucusunda alçak basınç türbininden ıslak buhar olarak çıkan iş akışkanını yoğuşturmak amacıyla soğutma suyuna yaklaşık 203 MW_t'lık ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu ısı pik yükü 8 kW_t olan konutlardan 25000 konutu ısıtabilecek potansiyel ısı demektir. Fakat buradaki en büyük problem kondanserdeki iş akışkanının yoğuşma sıcaklığının 35℃ olmasıdır. Bu sıcaklık 90℃-70℃ sıcak sulu ısıtma yöntemi ile çalışan sistemler için uygun bir sıcaklık değildir.

Bu sıcaklıktaki atık ısıdan faydalanmak için ısı pompası veya yerden/duvardan ısıtma ile bölgesel ısıtma yapılabilir. Ayrıca seracılık ve akua balıkçılık için kondanser sıcaklığı uygun kaynak sıcaklığıdır.

3.2.3 Isı Değiştiricileri ile Bölgesel Isıtma Yapılması

Açık besleme suyu ön ısıtıcısının sıcaklığının çok düşmesi, görevini yapamaması anlamına geldiğinden istenmeyen bir durumdur Açık besleme suyu ön ısıtıcısının sıcaklığını alçak basınç

ön ısıtıcıları belirler. Ön ısıtıcılar için çekilen ara buharların bölgesel ısıtma için kullanılması açık besleme suyu ön ısıtıcısının limit alt sıcaklığının altına düşürmemelidir. Çekilen ara buharlar ile kazan besleme suyu ısıtıldığından, ara buharın bölgesel ısıtma için kullanılması kazan besleme suyunun kazana giriş sıcaklığını düşürür. Bu da çevrimin daha verimsiz çalışmasına sebep olur.

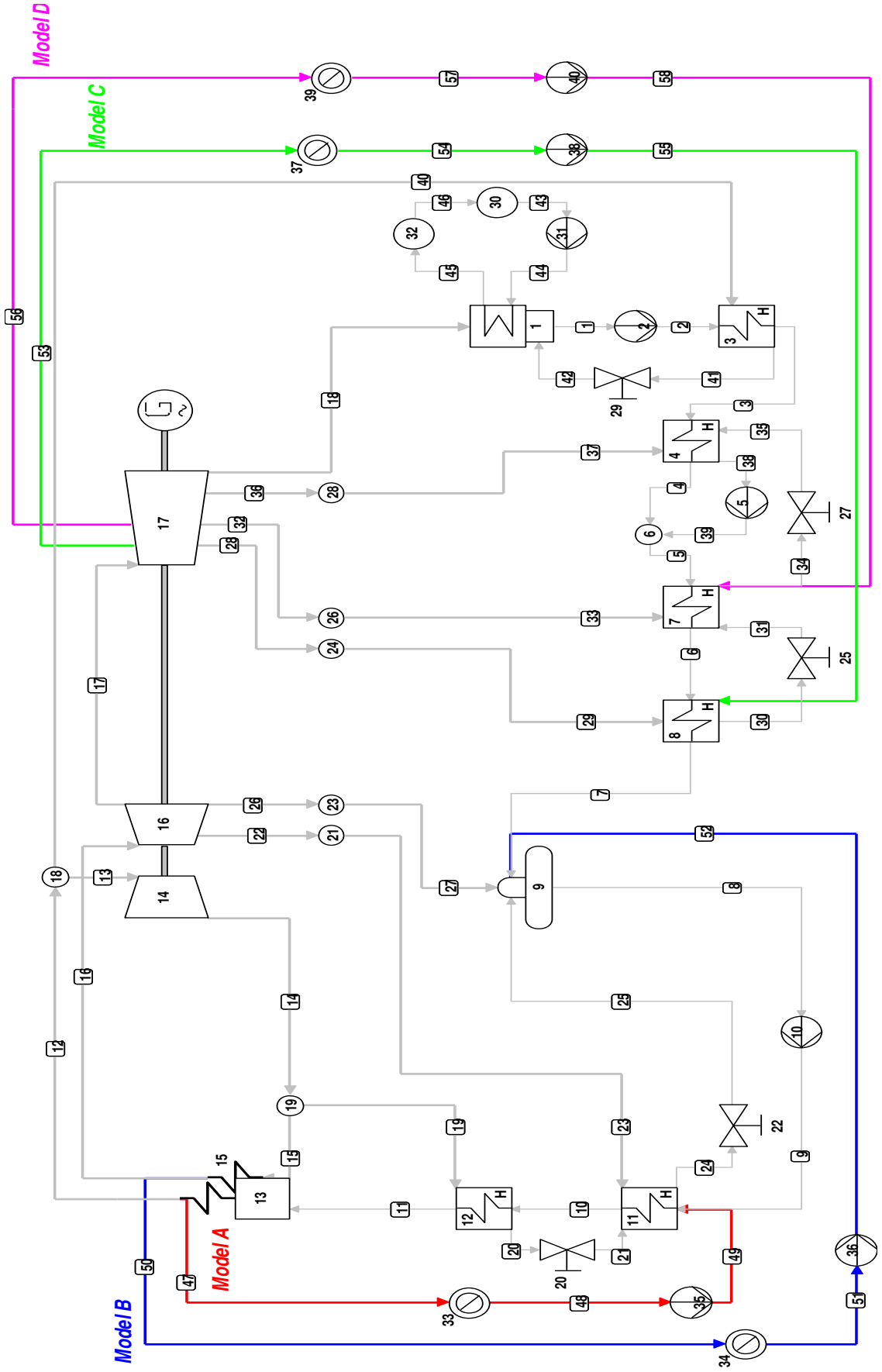
3.2.4 Santralden Ara Buhar Çekilerek Bölgesel Isıtma Yapılması

Yukarıda kısa başlıklar halinde santralde bölgesel ısıtma dönüşümü için ısı çekilebilecek kaynaklar üzerinde tartışılmıştır. Fakat bu kaynaklardan ısı çekmek; hem bölgesel ısıtma işleminde istenen performansı elde ettirmeyecek, hem de santralin çalışma performansını düşürüp verimini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu durumda santralden bölgesel ısıtma işleminde faydalanmak için türbinin herhangi bir veya birkaç noktasından ara buhar alıp bölgesel ısıtma sisteminde dolaşan akışkanı ısıtmak en uygun seçim olacaktır. Bu işlemi yaparken santralin elektrik üretiminde minimum kayıp meydana getirecek aynı zamanda soğutma suyuna verilen ısı miktarını da en az düzeyde tutacak termodinamik dönüşüm yapmak en uygun çözüm olacaktır.

Bu bölümde Çatalağzı Termik Elektrik Santralini kojenerasyon santrale dönüştürüp elde edilen ısı ile bölgesel ısıtma yapmak amacıyla santrale dört farklı model entegre edilmiş (Model A, Model B, Model C ve Model D) ve santral termodinamik yönden incelenmiştir.

Model A'da direkt kazan çıkışından alınan kızgın buhar bir ısı değiştiricisinden geçirilip birinci yüksek basınç ön ısıtıcısından tekrar çevrime verilmektedir (Şekil 3.5, Model A). Isı değiştiricisi çıkışında basıncın P_{48} = 10 MPa, sıcaklığın T_{48} = 166,7 ℃ olduğu kabul edilmiştir.

Model B'de yüksek basınç türbininden çıkmış ve tekrar kızdırılmış olan kızgın buhar, bölgesel ısıtma işlemi için bir ısı değiştiricisinden geçirilip açık besleme suyu ön ısıtıcısından tekrar çevrime beslenmektedir (Şekil 3.5, Model B). Model B'de ısı değiştiricisi çıkışında basıncın P_{51} = 3500 kPa, sıcaklığın T_{51} = 133,2 ℃ olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.5 ÇATES için 4 farklı Model olacak şekilde kütle akış şeması.

Model C; alçak basınç türbininin birinci ara buhar alma noktasından bölgesel ısıtma için çekilen ara buharı temsil etmektedir. Ara buhar bölgesel ısıtma için değerlendirildikten sonra üçüncü alçak basınç ön ısıtıcısından tekrar sisteme verilmektedir (Şekil 3.5, Model C). Model C'de ısı değiştiricisi çıkışında basıncın P_{54} = 300 kPa, sıcaklığın T_{51} = 106 ℃ olduğu kabul edilmiştir.

Model D; alçak basınç buhar türbininin ikinci ara buhar alma noktasından çekilen buharı ifade etmektedir. Bu buhar da enerjisini bölgesel ısıtma için ısı değiştiricisinde ısısını aktardıktan sonra ikinci alçak basınç ön ısıtıcısından çevrime verilmektedir (Şekil 4.5, Model D). Model D'de ısı değiştiricisi çıkışında basıncın P_{55} = 130 kPa, sıcaklığın T_{51} = 73,4 ℃ olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 3.8 Modellemeler sonunda meydana gelen yeni hatların entalpi değerleri (kj/kg).

MODEL A		MODEL B		MODEL C		MODEL D	
h_{47}	3428,0	h_{50}	3530,0	h_{53}	2932,0	h_{56}	2773,0
h_{48}	709,9	h_{51}	560,1	h_{54}	444,6	h_{57}	307,4
h_{49}	713,6	h_{52}	560,3	h_{55}	447,0	h_{58}	307,8

Alçak basınç buhar türbininin üçüncü ve dördüncü ara buhar alma noktalarından bölgesel ısıtma için buhar çekmek doğru olmaz. Çünkü bu noktaların sıcaklıkları sırasıyla 79,6℃ ve 35,75℃'dir. Bu sıcaklıklar da 90 - 70℃ sıcak sulu ısıtma sistemleri için uygun değildir.

Santral üzerinde değişik noktalardan buhar alınarak meydana gelen yeni noktaların entalpileri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar $\dot{m}_{BIS}$ olarak ifade edilmektedir. Modellemelerde bölgesel ısıtma için çekilen ara buharın kazana giren sıkıştırılmış sıvı suya ($\dot{m}_{11}$) oranı f olarak tanımlanmaktadır ve 3.11 numaralı denklemle ifade edilmektedir.

$$f = \frac{\dot{m}_{BIS}}{\dot{m}_{11}} \tag{3.11}$$

Bölgesel ısıtma için çekilen ara buhardan elde edilen ısı; ara buharın sahip olduğu entalpi ile ısı değiştiricisi çıkışında suyun sahip olduğu entalpinin farkına eşittir.

$$\dot{Q}_{BIS} = \dot{m}_{BIS}\left(h_{ara,buhar} - h_{çıkış,ıd}\right) \tag{3.12}$$

Bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar, ısı değiştiricisinden geçtikten sonra sıvı hale geçer. Sıvı haldeki su pompa ile sıkıştırılarak uygun bir noktadan ön ısıtıcılara verilir. Bu işlem için pompada harcanan güç ifadesi şu şekildedir.

$$\dot{W}_{p,BIS} = \frac{\dot{m}_{BIS}\left(h_{p,çıkış} - h_{p,giriş}\right)}{\eta_{mek,p,BIS}} \tag{3.13}$$

Burada $\dot{W}_{p,BIS}$ ısı değiştiricisinden sıvı halde gelen suyu sıkıştırmak için pompada harcanan gücü, $h_{p,giriş}$ ve $h_{p,çıkış}$ entalpileri sırasıyla pompa giriş ve çıkışında suyun sahip olduğu entalpileri, $\eta_{mek,p,bıs}$ pompanın mekanik verimini ifade etmektedir.

Ara buhar çekildikten sonra net güç daha önce tanımlanan net güçten ekstra yeni modellerde kullanılan pompaların tükettiği güç çıkartılarak bulunmaktadır

$$\dot{W}_{NET} = \dot{W}_{JEN} - \sum_{i=1}^{n} \dot{W}_{p,i} - \dot{W}_{p,BIS} \tag{3.14}$$

Enerjiden yararlanma oranı (EYO) modellerden hangisinin santrale entegre edilmesine karar verme açısından en önemli faktördür. Enerjiden yararlanma oranı santralde üretilen elektrik miktarı ile bölgesel ısıtmada faydalanılan ısı enerjisinin toplamının; yakıt enerjisine oranı olarak tanımlanır.

$$EYO = \frac{\dot{Q}_{BIS,model} + \dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}} \tag{3.15}$$

Çizelge 3.9'da verilen her bir modele ait denklemler Enginering Equation Solver Programı vasıtasıyla ÇATES için çözülmüştür. Bu işlemi yaparken santrale ait tüm ısı değiştiriciler ve bölgesel ısıtma yapmak için eklenen yeni ısı değiştiricisi için enerji denklemleri yazılmıştır. Her bir buhar alma noktası bir değişkenle tanımlanmıştır. Isı değiştiricisi sayısı kadar tanımlanan değişken olduğundan tüm buhar alma noktalarından çekilecek kütle oranları ortaya çıkmıştır. Bu değişkenlere bağlı olarak da santralde meydana gelen tüm değişiklikler ortaya konmuştur.

Çizelge 3.9 Modellere ait enerji denklemleri.

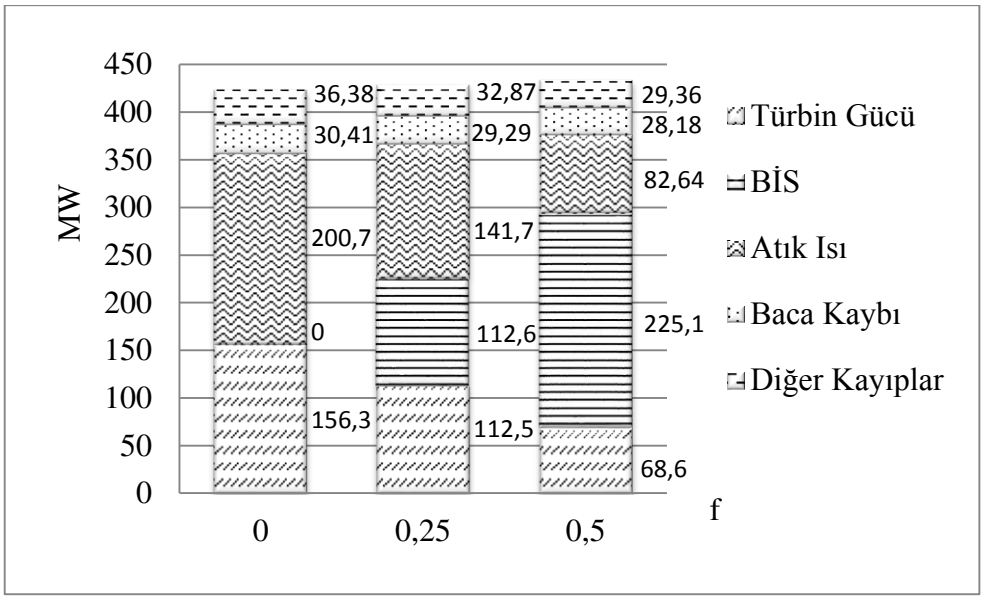
	MODEL A	MODEL B	MODEL C	MODEL D
$\dot{m}_{BIS}$ (kg)	$f.\dot{m}_{47}$	$f.\dot{m}_{50}$	$f.\dot{m}_{53}$	$f.\dot{m}_{56}$
$\dot{Q}_{BIS}$ (kW_t)	$\dot{m}_{BIS}\left(h_{49}-h_{48}\right)$	$\dot{m}_{BIS}\left(h_{51}-h_{50}\right)$	$\dot{m}_{BIS}\left(h_{55}-h_{54}\right)$	$\dot{m}_{BIS}\left(h_{58}-h_{57}\right)$
$\dot{W}_{p,BIS}$ (kW_e)	$\frac{\dot{m}_{BIS}\left(h_{49}-h_{48}\right)}{\eta_{mek,p,BIS}}$	$\frac{\dot{m}_{BIS}\left(h_{51}-h_{50}\right)}{\eta_{mek,p,BIS}}$	$\frac{\dot{m}_{BIS}\left(h_{55}-h_{54}\right)}{\eta_{mek,p,BIS}}$	$\frac{\dot{m}_{BIS}\left(h_{58}-h_{57}\right)}{\eta_{mek,p,BIS}}$
EYO	$\frac{\dot{Q}_{BIS,model,A}+\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}}$	$\frac{\dot{Q}_{BIS,model,B}+\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}}$	$\frac{\dot{Q}_{BIS,model,C}+\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}}$	$\frac{\dot{Q}_{BIS,model,D}+\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}}$

3.2.5 Kojenerasyon Sistemin Analiz Sonuçları

Bu bölümde dört farklı model için yapılan analiz sonuçları verilecektir. Önce f olarak tanımlanan bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar oranının 0, 0,25 ve 0,5 olmasına göre bar grafikleri verilecek, ardından f değerinin 0 ve 0,5 aralığında 0,05 miktarında artırılarak yapılan analiz dört farklı modelin tek bir grafikte yansıtılmasına bağlı olarak verilecektir.

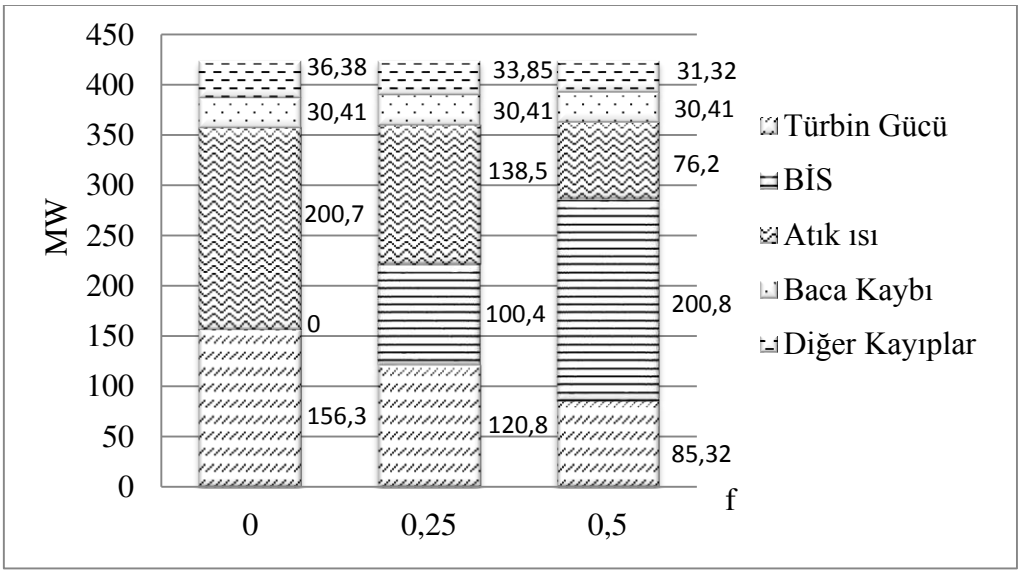
3.2.5.1 Ara Buhar Oranının 0-0,25-0,5 Olmasına Göre Sonuçlar

Şekil 3.6'da Model A için bölgesel ısıtmadan faydalanmak amacıyla çekilen ara buharın çevrimde meydana getirdiği sonuçlar f değerinin 0, 0,25 ve 0,5 olması durumunda göre verilmiştir. Sadece elektrik üretiminin meydana geldiği f değerinin 0 olma durumunda türbinde 156,3 MW güç üretilebiliyorken bu değer 0,25 olduğunda 112,5 MW, 0,5 olduğunda 68,6 MW olmaktadır. Buna karşılık bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısı f değeri 0,25 olduğunda 112,6 MW_t, 0,5 olduğunda 225,1 MW_t olmaktadır. f değerinin 0 olduğu durumda 200,7 MW_t olan atık ısı değeri f değerinin 0,25 olmasında 141,7 MW_t 0,5 olmasında ise 82,64 MW_t olmaktadır.

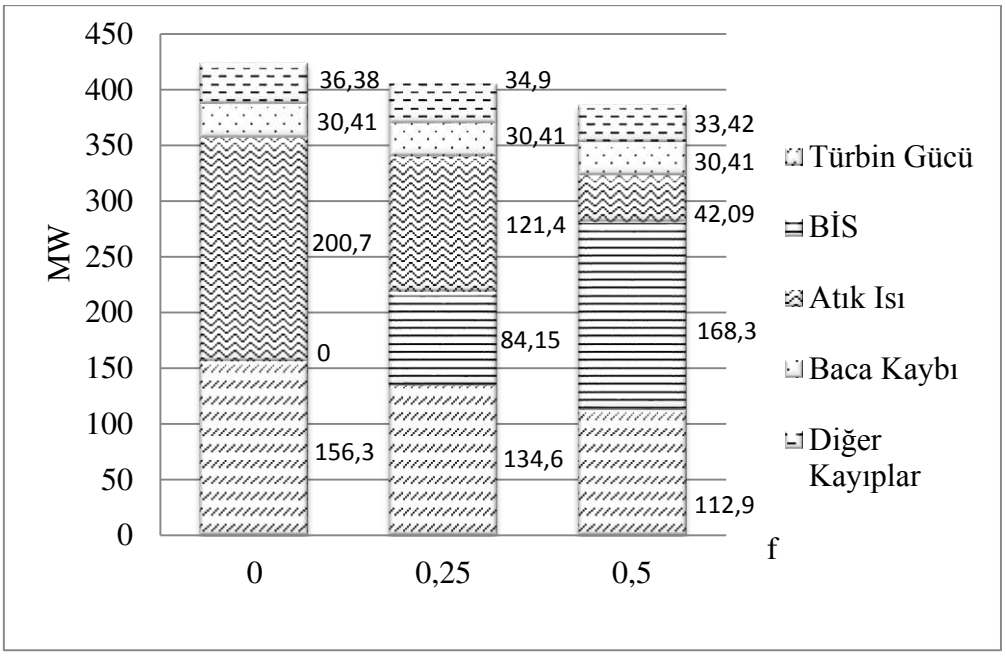


Şekil 3.6 Model A için yapılan analiz sonuçları.

Şekil 3.7'de Model B için verilen değerler incelendiğinde ise f değerinin 0,25 ve 0,5 olması durumuna göre türbin gücünde meydana gelen azalma sırasıyla 55,9 MW ve 70,98 MW olmaktadır. Bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısı 100,4 MW_t ve 200,8 MW_t olmaktadır. Kondanserden deniz suyuna atılan ısı enerjisi de 200,7 MW_t'tan sırasıyla 138,5 ve 76,2 MW_t'a düşmektedir.

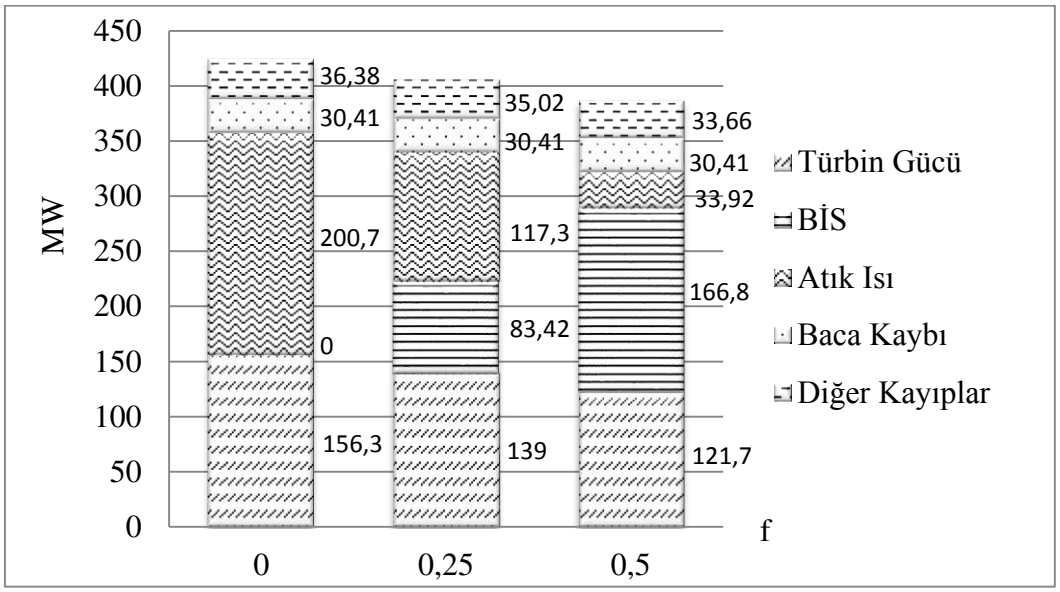


Şekil 3.7 Model B için yapılan analiz sonuçları.



Şekil 3.8 Model C için yapılan analiz sonuçları.

Şekil 3.8'de verilen Model C için f değeri 0,25 olduğunda bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısı 84,15 MW_t, 0,5 olduğunda ise 168,3 MW_t olmaktadır. Aynı şekilde türbin gücü önce 134,6 MW'a, sonra da 112,9 MW'a düşmektedir. Soğutma suyuna verilen ısı enerjisi ise 121,4 MW_t ardından 42,09 MW_t'a düşmektedir.



Şekil 3.9 Model D için yapılan analiz sonuçları.

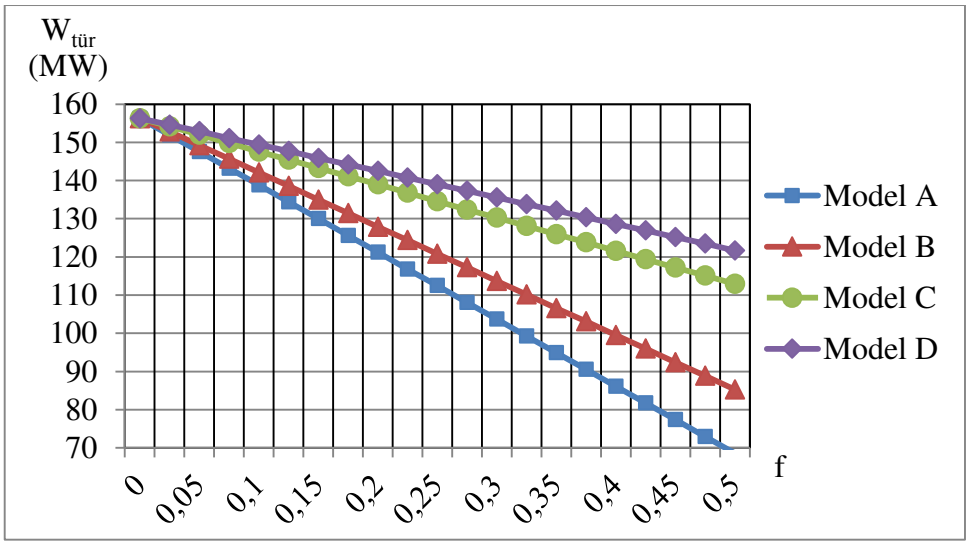
Şekil 3.9'da verilen Model D sonuçlarına bakıldığında ise; atık ısı miktarının diğer modellere göre en az olduğu dikkat çekmektedir. Buna karşılık türbinin ürettiği güçte en az değişim yine bu modelde meydana gelmektedir. Örneğin Model A'da f değeri 0,25 olduğunda türbinde üretilen güç 112,5 MW iken Model D'de bu değer 138 MW olmaktadır. Ya da Model B'de f değeri 0,5 olduğunda atık ısı 76,2 MW_t iken Model D'de 33,92 MW_t'lık bir kayıp olmaktadır.

Hangi modelin termodinamik açıdan daha verimli olduğunu kıyas edebilmek için bu dört modelin aynı ara buhar çekme oranına karşılık gelen türbin gücündeki değişim, soğutma suyuna geçen ısıdaki değişim, bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısıdaki değişim, genel verim ve enerjiden yararlanma oranı üzerinde etkilerini incelemek gerekmektedir.

3.2.6 Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

3.2.6.1 Modellerin Türbinde Üretilen Güce Etkisi

Bölgesel ısıtma için türbinlerden çekilen ara buhar, türbin hattından daha düşük kütlesel debide buharın geçmesi demektir. Türbin gücü de kütlesel debiyle doğru orantılı olduğu için türbin kanatlarına daha az buharın çarpmasıyla elektrik üretiminde bir azalma meydana gelecektir. Türbin gücünü etkileyen bir diğer faktör de kızgın buharın sahip olduğu entalpidir. Modellemeler sonucunda bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar miktarının türbin gücünde meydana getirdiği değişim Şekil 3.10'da verilmiştir.

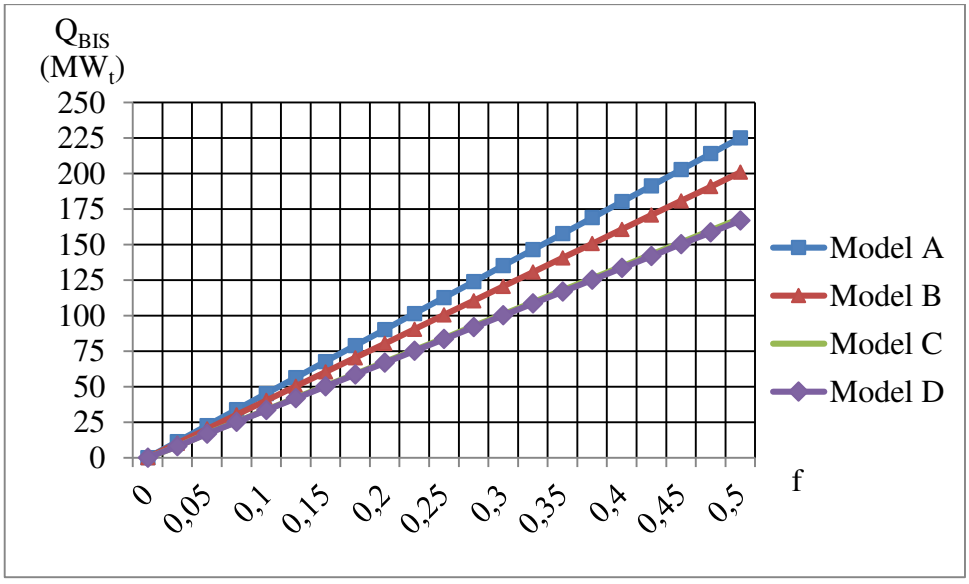


Şekil 3.10 Santral türbin gücünün BIS ara buhar oranına bağlı değişimi.

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi bölgesel ısıtma için çekilen ara buharın artmasıyla türbinde üretilen güçte azalma meydana gelmektedir. Model A, çekilen ara buharın aynı olduğu oranda türbin gücünde en fazla azalmanın meydana gelen bir tasarımdır. Grafikten çıkarılabilecek en önemli sonuç ara buhar oranının sabit kalmasına rağmen buharın türbinden çıkışına yaklaşıldıkça farklı modellerde türbinde üretilen güçte daha az değişimin meydana geliyor olmasıdır. Bu sonuç da bize bölgesel ısıtma için ara buharın, türbin çıkışına mümkün olduğunca en yakın noktadan çekilmesi gerektiğini göstermektedir.

3.2.6.2 Modellerin Bölgesel Isıtma İçin Santralde Üretilen Isı Miktarı ve Soğutma Suyuna Transfer Olan Isı Enerjisi Üzerindeki Etkileri

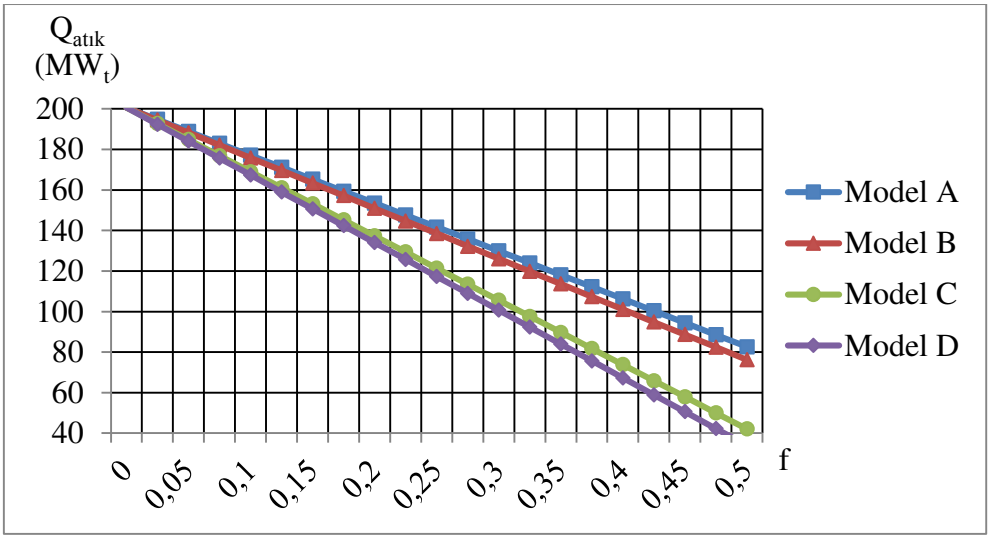
Bu çalışmada temel amaç bölgesel ısıtma için türbinden ara buhar alarak ısı enerjisi kazanıp, yoğuşturucu vasıtasıyla soğutma suyuna verilen atık ısıyı azaltmaktır. Sadece elektrik üretimine göre dizayn edilmiş ÇATES'de soğutma suyuna verilen ısı enerjisinin yaklaşık 203 MW_t olduğu ifade edilmişti. Bu bölümde bölgesel ısıtma için çekilen ara buharın artmasına bağlı olarak santralde üretilecek ısı miktarı ile atık ısı miktarı dört farklı model için aynı grafik üzerinde yorumlanacaktır.



Şekil 3.11 Farklı modellerde BIS için santralde üretilen ısının ara buhar oranına bağlı değişimi.

Çekilen ara buhardan bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısı enerjisi miktarı dört farklı model için Şekil 3.11'de verilmiştir. Ara buhar oranının artmasına bağlı olarak bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısı miktarı da artmaktadır. Model A'nın, diğer modellerden daha fazla ısı

enerjisi sağladığı grafiklerden anlaşılmaktadır ama sadece bu grafiğe bakarak optimizasyon yapmak bizi doğru sonuca götürmez. Bu yüzden bu dört farklı model için atık ısılarda meydana gelen değişimi incelemek gerekmektedir.

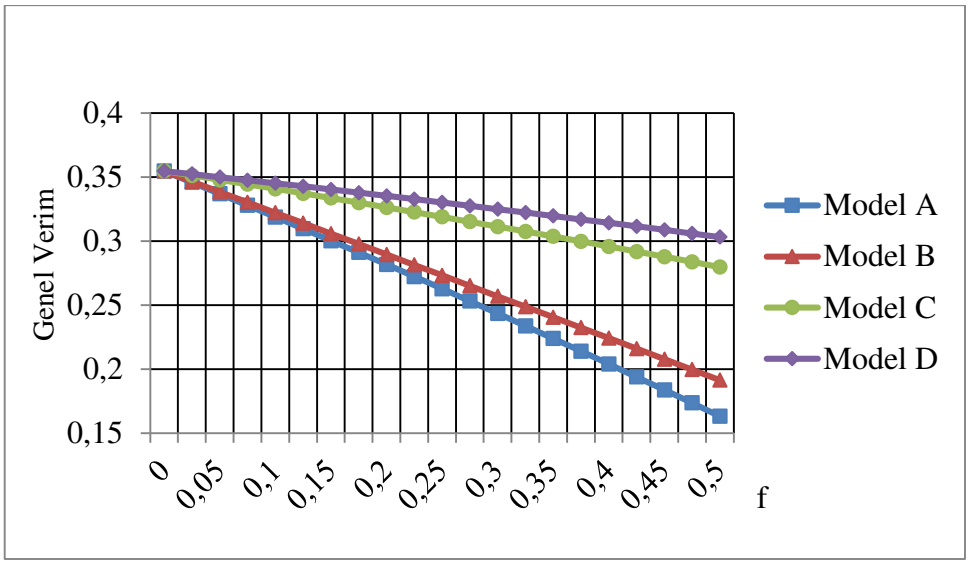


Şekil 3.12 Yoğuşturucuda atılan ısının BIS ara buhar oranına bağlı değişimi.

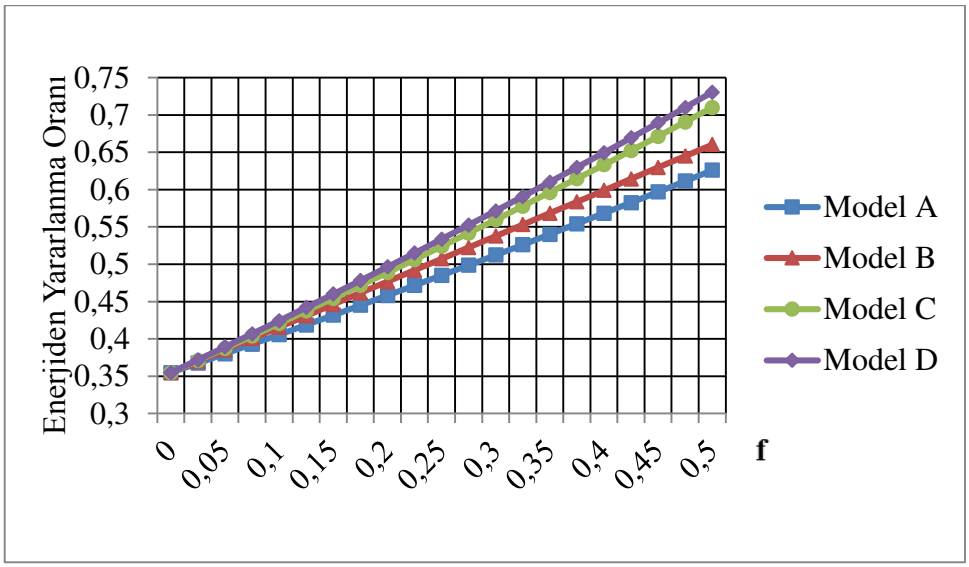
Şekil 3.12, atık ısı miktarının bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar oranına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Genel itibariyle f değeri arttıkça santralden atılan ısı miktarı azalmaktadır. Örneğin f değeri 0,3 olduğunda Model A'da 110 MW_t ısı atılıyorken; Model D'de 40 MW_t'lık ısı enerjisi soğutma suyuna verilmektedir. Model B ve Model C'de ise atık ısı miktarı bu iki değer arasında bir değer almaktadır. Bu durumda Model D; santralden en az miktarda ısının atıldığı tasarımdır.

3.2.6.3 Modellerin Genel Verim ve Enerjiden Yararlanma Oranına Etkisi

Modellemelerin genel verim ve enerjiden yararlanma oranı incelendiğinde Model A'da en fazla genel verim kaybının olduğu, Enerjiden Yararlanma Oranının en yüksek Model D'de olduğu görülmektedir. Teorikte bu beklenen bir sonuçtur ama bunun ne boyutta olduğunu göstermek ve türbinin değişik noktalarından çekilen buharın sonuca nasıl etki ettiğini görmek açısından son derece önemli bir olgudur.



Şekil 3.13 Modellerin genel verim üzerine etkisi.



Şekil 3.14 Modellerin Enerjiden Yararlanma Oranına (EYO) etkisi.

Santralden hiçbir ara buhar çekmeden, sadece elektrik üretimi yapıyorken verimin %35 civarında olduğu daha önce de belirtilmişti. Santralden bölgesel ısıtma için kullanılacak faydalı enerji santralin toplam faydasını artırmaktadır. Şekil 3.14'ten anlaşıldığı üzere bölge ısıtması için çekilen ara buhar miktarının artmasıyla enerjiden yararlanma oranı artmaktadır. BIS ara buhar oranı f 0,5 değerine ulaştığında enerjiden yararlanma %75'lere yaklaşmaktadır. Hatta bir adım daha ileriye götürmek gerekirse Model D'de uygulandığı gibi ara buhar oranı 1 yapılırsa yani santralin 32 numaralı noktasından itibaren tüm buhar çekilirse atık ısı ifadesi ortadan kalkacaktır. Ancak şu da bilinmelidir ki elektrik enerjisi ısı enerjine göre daha kaliteli bir

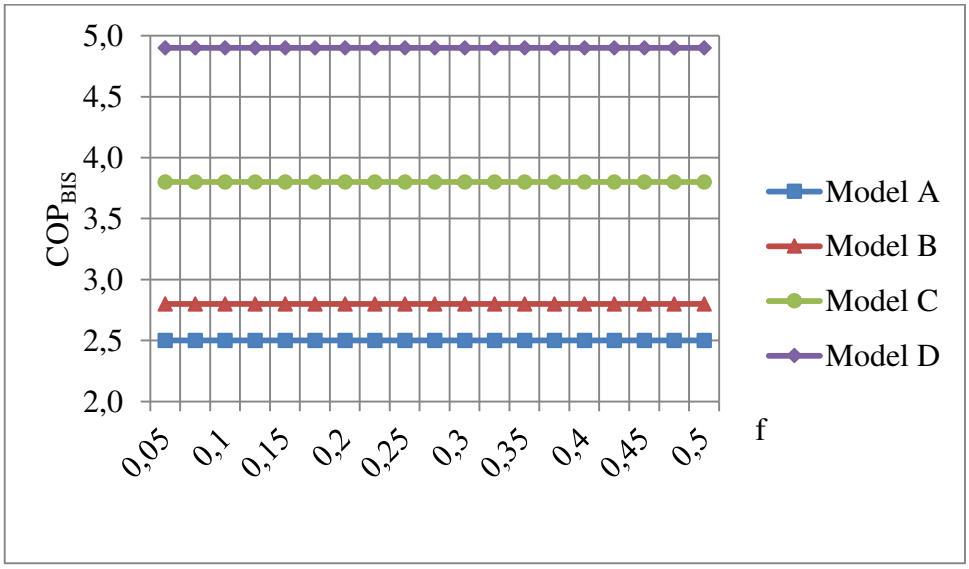
enerjidir. Bu yüzden santralde dönüşüm yapılırken elektrik üretiminde minimum kayıp meydana getirecek ve ısı talebini karşılayabilecek miktarda ara buharın çekilmesi hem enerjinin ekonomik kullanılması hem de parasal anlamda uygun bir çözüm olacaktır.

3.2.7 Modellerin Performans Katsayısına Etkisi

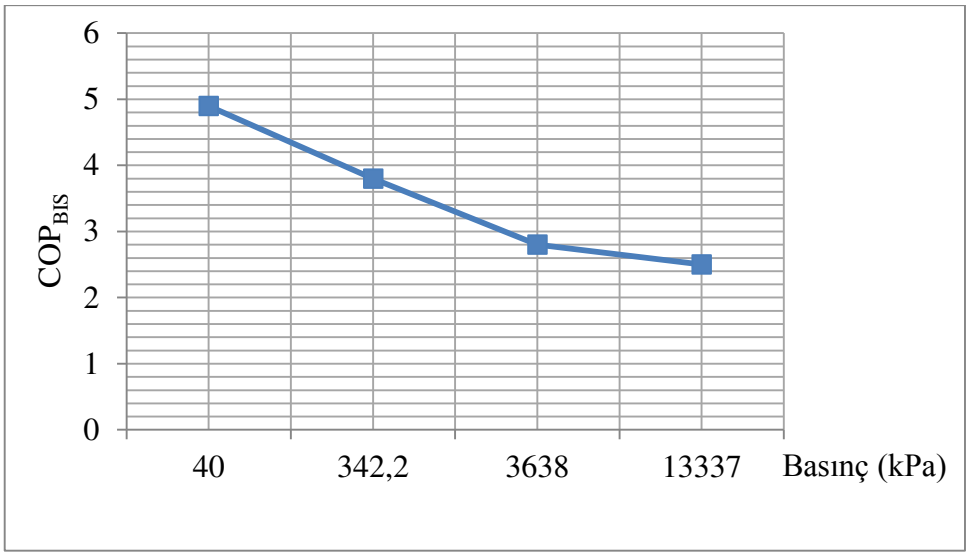
Ara buhar ile yapılacak bölgesel ısıtma sisteminin performanslarını mekanik ısıtma/soğutma sistemleri ile karşılaştırmak için bu sistemlerin performanslarını gösteren bir performans katsayısı belirlemek gerekir (denklem 3.16).

$$COP_{BIS} = \frac{\dot{Q}_{BIS}}{\Delta N} \tag{3.16}$$

Burada, ΔN çekilen buhar ile termik santralde meydana gelen güç azalmasını göstermektedir. Mekanik ısıtma/soğutma sistemlerinin performans katsayıları, birim elektrik enerjisi ile elde edilen ısı enerjisini göstermektedir. Buna göre oluşturulan denklem santrale ilave edilen bölge ısıtma sistemiyle oluşturulan kojenerasyon sisteminde birim elektrik güç kaybı için elde edilen ısı enerjisini ifade etmektedir.



Şekil 3.15 Dört farklı modele göre sistemin performans katsayının ara buhar oranı ile değişimi.



Şekil 3.16 Performans katsayısının santralden çekilen ara buhar basıncına göre değişimi.

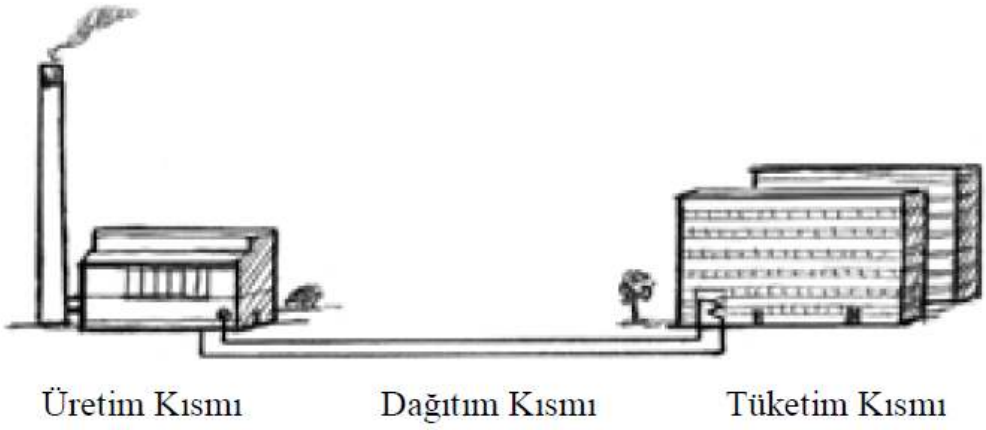
Şekil 3.15'te geliştirilen dört farklı kojenerasyon sistemin, çekilen ara buhar oranına bağlı performans katsayısı değişimi verilmiştir. Bu kriterin değeri bölgesel ısıtma sisteminde Model A için 2,5; Model B için 2,8; Model C için 3,8 ve Model D için 4,9 olmuştur. Değer ara buhar oranın artmasıyla değişmemektedir. Bunun nedeni ara buhar miktarının artmasıyla; bölge ısıtma enerjisindeki artma oranıyla buna karşılık gelen santraldeki elektrik güç azalma oranının sabit olmasındandır. Bu performans katsayı değeri klasik klima sistemlerinde 2,6-3,2 arasında değişmektedir. Dolayısıyla oluşturulan sistemin klasik klima sistemlerinden daha etkin ısıtma gerçekleştirdiği anlaşılmaktadır. Bu değer bile tek başına santralda yapılan dönüşümün ısıtma için harcanan enerji miktarının önemli miktarda azaltılabileceğini göstermektedir. Şekil 3.16'da ise performans katsayısının basınca bağlı değişimi gösterilmektedir.

BÖLÜM 4

ZONGULDAK BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

4.1 BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ KISIMLARI

Bölgesel ısıtma sistemi temel olarak üretim, iletim-dağıtım ve tüketim olmak üzere üç ana kısımdan oluşur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Bölge ısıtmanın temel kısımları (Danfoss 2008).

4.1.1 Üretim Kısmı

Üretim kısmı bölgenin ısı enerjisinin sağlandığı merkezi ifade eder. Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı üretim merkezlerinde kullanılan yakıt üç ana grupta toplanabilir (Çokoksen 2010).

- Katı yakıtlı.
  - Kömür
  - Odun
  - Çöp
  - Talaş

- Sıvı Yakıtlı.
  - Motorin
  - Fuel-oil

- Gaz yakıtlı.
  - Doğal gaz
  - LPG
  - Biyogaz

Isı enerjisinin temin edildiği tesis bölge ısıtma amaçlı kurulmuş bir santral olabileceği gibi farklı amaçla kurulan bir tesis de olabilir. Bölgesel ısıtma sisteminde, asıl amacı elektrik üretmek olan bir santralden çekilen ısı enerjisi kullanılabileceği gibi, herhangi bir endüstriyel tesisten çekilen ısı enerjisi de kullanılabilir (TSAD 2010). Bunların dışında jeotermal enerji de bölgesel ısıtma sistemlerinde kullanılabilir.

Sistemde dolaşan akışkanın sıcaklığı 100 ℃'nin altında olabileceği gibi 170 ℃'lere kadar çıkabilmektedir. Günümüzde artık buharlı sistemler neredeyse kullanılmamaktadır. Tasarım ve işletme şartlarında ısı enerjisi talep miktarına bağlı olarak sıcaklık değerleri minimum maliyet için optimize edilmelidir (Danfoss 2008).

4.1.2 İletim-Dağıtım Kısmı

İletim-dağıtım kısmı boru hatlarından (önizolasyonlu borular) ve dolaşım pompalarından oluşur. Kullanılan önizolasyonlu borular sayesinde santral ile ısıtılan bölge arasında kilometrelerce mesafe olmasına rağmen ısı enerjisi kayıpları uygun seviyelerde kalabilmektedir. Borular çoğunlukla çelikten olmakla birlikte düşük yüklü dağıtım hatlarında faklı boru tipleri (plastik, bakır) kullanılabilir.

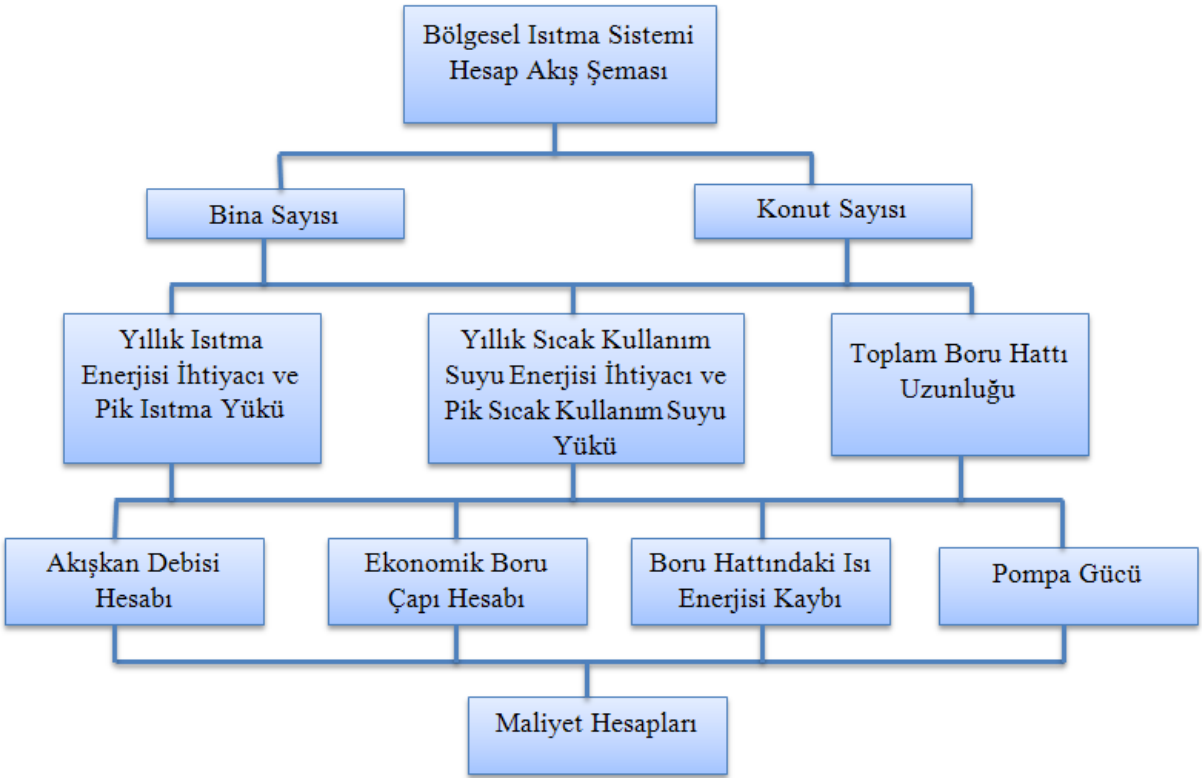
Ön izolasyonlu borular günümüzde paket olarak fabrikalarda üretilmektedir. Yalıtım malzemesi olarak genellikle poliüretan kullanılır. En dışta da yine poliüretan malzemeden üretilen su geçirmez bir kılıf bulunur.

4.1.3 Tüketim Kısmı

Tüketim kısmı iletim-dağıtım hatlarının binalarla buluştuğu nokta ile başlar ve ısı enerjisinin konutlara aktarıldığı ısıtma tesisatı ile biter. Isı enerjisi aktarımı genellikle boru hattının her binada yer alan ısı değiştiricisine bağlanması ile sağlanır. Bunların dışında dolaşım pompaları, otomasyon cihazları, sayaçlar vb. binalarda bulunan diğer cihazlardır.

4.2 ZONGULDAK İL MERKEZİ BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Bölgesel ısıtma sistemini bir mahalle uygulayabilmek için detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Boru hatlarının yerleşimi, çapları, bölgenin ısıtma ihtiyacı vb. gibi temel parametreler için birçok analiz ve simülasyonun yapılması gerekmektedir. Örneğin ısıtma ihtiyacının belirlenmesi ile pik yük miktarının ortaya konması için bütün binaların teker teker ısı kaybı hesabı yapılmalı ve toplam miktar ortaya konmalıdır. Lakin bunu yapmak hem teorikte hem pratikte oldukça zordur.



Şekil 4.2 Bölgesel ısıtma sistemi akış şeması.

Zonguldak İl Merkezi'nde gerçekleştirilmesi planlanan bölgesel ısıtma sistemi Şekil 4.2'de verilen akış şeması doğrultusunda il merkezindeki toplam konut sayısı, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve pik yük, santral ile merkez arasındaki toplam boru hattı uzunluğu, akışkan debisi, boru çaplarının ekonomik olarak hesabı, botu hattında meydana gelen ısı enerjisi kaybı hesabı, santral ile bölge arasında sıcak suyu iletecek pompa gücü hesabı ve maliyet hesapları dikkate alınarak modellenecektir.

4.2.1 Bina ve Konut Sayısının Belirlenmesi

Çizelge 4.1'de Zonguldak Belediyesi'nde bulunan mahallere ait nüfus, yüzölçümü (m^2) ve konut sayıları ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda Zonguldak Belediyesi sınırları içinde yaklaşık 24 km^2'lik bir alanda 39494 konutta toplam 107354 kişi ikamet etmektedir.

Çizelge 4.1 Zonguldak belediyesi sınırları içindeki mahallelere ait bilgiler (Eyriboyun 2011).

Mahalle Adı	Nüfusu	Yüzölçümü (m^2)	Konut Sayısı	Kişi/km^2	Kişi/Konut
Meşrutiyet	7485	422431	3132	17719	2,39
Bahçelievler	15549	982861	5020	15820	3,10
Mithatpaşa	9486	1191648	3317	7960	2,86
Tepebaşı	11681	1560095	4251	7487	2,75
Baştarla	3549	492462	1388	7207	2,56
Yeşil	3690	571686	1643	6455	2,25
Terakki	10819	1721465	4356	6285	2,48
Karaelmas	10108	1838852	3693	5497	2,74
İncivez	3373	847353	885	3981	3,81
On temmuz	4471	1137097	1772	3932	2,52
Çaydamar	4469	1346978	1716	3318	2,60
Yayla	1895	607468	573	3120	3,31
Çınartepe	3650	1171796	1037	3115	3,52
Birlik	4446	1446146	1860	3074	2,39
Yeni	2841	926712	1071	3066	2,65
İnağzı	3201	1066926	1227	3000	2,61
Bağlık	1459	818589	519	1782	2,81
Asma	2791	2582400	1163	1081	2,40
Dilaver	2391	3126476	871	765	2,75
Toplam	107354	23859440	39,494	Ort: 4,499	Ort: 272

"Bölge içindeki nüfusun yaklaşık yarısı 5-10 arasında katı bulunan kaloriferli binalarda ikamet etmektedir. Diğerleri, tek katlı veya iki katlı, müstakil evler şeklindedir. Son yıllarda bu tür

konutlarda da kat kaloriferi uygulaması yaygınlaşmıştır. İstisnasız bütün konutlarda, ısınma amaçlı yakıt olarak bölgede üretilen kömür kullanılmaktadır." (Eyriboyun 2011). Bir bölgenin toplam pik ısıtma yükünü ve yıllık ısıtma enerjisini belirlemek için her bir konutun ayrı ayrı ısı kayıpları belirlenmelidir. Ancak pratikte bunu gerçekleştirmek oldukça güçtür. Bunun için bu tez çalışmasında 5 katlı ve her katında 2 daire bulunan, 100 m^2'lik oturma alanına sahip bir binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olması durumuna göre ısı kaybı hesapları yapılacaktır.

4.2.2 Zonguldak'ta Referans Bir Binanın Isıtma Enerjisi İhtiyacının Belirlenmesi

Zonguldak il merkezinde uygulanması düşünülen bölgesel ısıtma sistemi için toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı; referans bir bina üzerinde ısı kaybı hesapları yapılarak ortaya konmuştur. Toplam ısı kaybı TSE 825 standardına göre belirlenmiştir.

TSE 825 standardı binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenmesine dairdir. Bu standardın amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir.

4.2.2.1 Tek Hacimli Bina İçin Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesabı

Binalarda tek bina bölümü için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \tag{4.1}$$

$$Q_{ay} = \left[H\left(\theta_i - \theta_e\right) - \eta_{ay}\left(\phi_{i,ay} - \phi_{s,ay}\right) \right] t \tag{4.2}$$

Burada;

$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, (Joule)

Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı, (Joule)

H : Binanın özgül ısı kaybı, (W/K)

θ_i : Aylık ortalama iç sıcaklık, (°C)

θ_e : Aylık ortalama dış sıcaklık, (°C)

η_{ay} : Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü, (Birimsiz)

$\phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar (sabit alınabilir), (W)

$\phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, (W)

t : Zaman. (s)

4.2.2.1.1 Binanın Özgül Isı Kaybının Hesabı

Binanın özgül ısı kaybı (H), iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (H_T) ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının (H_V) toplanması ile bulunur.

$$H = H_T + H_V \tag{4.3}$$

4.2.2.1.2 İletim Ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı;

$$H_T = \sum AU + IU_I \tag{4.4}$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_k A_k + 0.8U_T A_T + U_d A_d + 0.5U_{ds} A_{ds} \tag{4.5}$$

Burada;

U_D : Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)

U_P : Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)

U_k : Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)

U_T : Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)

U_t : Zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)

U_d : Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)

U_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)

A_D : Dış duvarın alanı, (m^2)

A_P : Pencerenin alanı, (m^2)

A_k : Dış kapının alanı, (m^2)

A_T : Tavan alanı, (m^2)

A_t : Zemine oturan taban/döşeme alanı, (m^2)

A_d : Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı, (m^2)

A_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı, (m^2)

$U_ı$: Isı köprüsü doğrusal ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/mK)

I : Isı köprüsü uzunluğu. (m)

4.2.2.1.3 Doğal Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı;

$$H_V = \rho c V^1 = \rho c n_h V_h = 0.33 n_h V_h \qquad (4.6)$$

Burada;

ρ : Havanın birim hacim kütlesi, (kg/m^3)

c : Havanın özgül ısısı, (J/kgK)

V^1 : Hacimce hava değişim debisi, (m^3/h)

n_h : Hava değişim oranı, (h^{-1})

V_h : Havalandırılan hacim, ($V_h = 0,8 \times V_{brüt}$). ($m^3$)

4.2.2.1.4 Aylık Ortalama İç Kazançlar

İç kazançlar aşağıda verilenleri kapsar:

- İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları,
- Sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Binalarda kullanılan muhtelif elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları.

Ortalama değerler ile çalışılması halinde, aydınlatma dışındaki ortalama değerler yıl boyunca hemen hemen sabittir. Burada aydınlatmadan kaynaklanan kazançlar da sabit alınmıştır. Her bir kaynak için alınacak değerler aşağıda verilmiştir.

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda : $\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$ (W)

Yüksek iç enerji kazançlı binalarda : $\phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n$ (W)

A_n : Bina kullanım alanı ($A_n = 0{,}32 \times V_{brüt}$) ($m^2$)

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi. (m^3)

4.2.2.1.5 Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları

Bu madde pencerelerden sağlanan doğrudan güneş ışınımının hesaplanmasını tarif etmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak kazançlar ihmal edilmiştir.

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} g_{i,ay} I_{i,ay} A_i \qquad (4.7)$$

Burada;

$r_{i,ay}$: i yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü,

$g_{i,ay}$: i yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü,

$I_{i,ay}$: i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti, (W/m^2)

A_i : i yönündeki toplam pencere alanı. (m^2)

$r_{i,ay}$ değeri Çizelge 4.2'ten alınır.

Çizelge 4.2 Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü.

	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0,8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0,6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0,5

4.2.2.1.6 Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü

$$g_{i,ay} = F_w g_{\perp} \tag{4.8}$$

Burada;

F_w : Camlar için düzeltme faktörüdür. $F_w = 0,8$ alınır.

$g_{\perp}$: Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Değeri Çizelge 4.3'ten alınır.

Çizelge 4.3 Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü.

	$g_{\perp}$
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
Isıl geçirgenlik katsayısı 2 W/m^2K'den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için	0,50

4.2.2.1.7 Kazanç Kullanım Faktörü

Isı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır.

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$\eta_{f,ay} = 1 - e^{(-1/KKO\ ay)} \tag{4.9}$$

Burada; KKO_{ay} Kazanç / kayıp oranı olup, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$KKO_{ay} = \left(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}\right) / H\left(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}\right) \tag{4.10}$$

$\theta_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı,

$\theta_{e,ay}$: Aylık ortalama dış hava sıcaklığı,

$\phi_{i,ay}$: Aylık iç kazançlar,

$\phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı.

KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğunda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir.

4.2.2.2 Referans Bina Bilgileri ve Isı Enerjisi İhtiyacı

2.'nci derece gün bölgesinde bulunan (Zonguldak için) dıştan dışa 10 metre eninde, 22 metre boyunda ve 15 metre yüksekliğindeki bir konuta ait temel veriler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.4 Referans bina bilgileri.

Pencere ve Kapı Alanları (1 daireye ait)	
Oda pencereleri (5 adet)	100x130 (cm^2)
Salon penceresi	200x130 (cm^2)
Tuvalet ve banyo pencereleri	60x60 (cm^2)
Balkon kapıları	80x220 (cm^2)

Toplam pencere ve kapı alanı; $A_p = 112,2\ m^2$, dış duvar alanı; $A_D = A_{D,BRÜT} - A_p = 826,6\ m^2$, tavan alanı; $A_T = 220\ m^2$ döşeme alanı; $A_t = 220\ m^2$, dış kapı alanı; $A_k = 3\ m^2$, toplam alan; $A_{top} = 1400\ m^2$, $V_{brüt} = 22x10x15 = 3300\ m^3$, bina kullanım alanı; $A_n = 0,32xV_{brüt} = 1056\ m^2$, dış duvar ısıl geçirgenlik katsayısı; $U_D = 0,471\ W/m^2K$, döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı; $U_t = 0,612\ W/m^2K$, tavanın ısıl geçirgenik katsayısı; $U_T = 0,305\ W/m^2K$, pencere ve kapılar için ısıl geçirgenlik katsayısı; $U_p = 2,4\ W/m^2K$, dış kapı için ısıl geçirgenlik katsayısı; $U_k = 4\ W/m^2K$.

Binadan iletim ve taşınım yoluyla olan ısı kaybı, H_T =835,28 W/K olarak bulunur.

Yukarıdaki iletimle olan ısı kaybı hesabı yapılırken örnek olarak seçilen binada yönetmelik gereği bütün betonarme bölümler ısı köprüsü meydana getirmeyecek şekilde yalıtıldığından IU_I katkısı ihmal edilmiştir.

Doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, H_v= 696,96 W/K. Bu durumda binanın özgül ısı kaybı, $H = H_T + H_v = 1532,24$ W/K olur.

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda ısı kazançları $\phi_{i,ay} = 5 \times A_n$ alınabilir. Bu durumda referans bina için iç kazançlar; $\phi_{i,ay} = 5 \times 1056 = 5280$ W'tır.

Güneş enerjisi kazançlarının hesaplanması sırasında kullanılacak olan gölgelenme faktörü için 10 kata kadar yükseklikteki binalarda ve $r_{i,ay} = 0,6$ değeri seçilir.

$g_{i.ay}$ değeri pencere sisteminde çok katlı cam kullanılmış olduğu için $g_{\perp}$ değeri olarak 0,75 alınır ve 4.8 numaralı eşitlikten $g_{i.ay} = 0,8x0,75 = 0,6$ olarak bulunur.

A_i değerleri yani her yön için toplam pencere alanları hesaplanır. Örnek olarak seçilen binada aşağıda verilen pencere alanları hesaplanmıştır.

$A_{güney} = 43,6$ m^2 $A_{kuzey} = 43,6$ m^2 $A_{doğu} = 12,5$ m^2 $A_{batı} = 12,5$ m^2.

Ocak ayı için örnek olmak üzere aylık güneş ışınımı şiddeti değerleri aşağıdaki gibidir.

$I_{güney.ocak} = 72$ W/m^2 $I_{kuzey.ocak} = 26$ W/m^2 $I_{doğu.batı.ocak} = 43$ W/m^2.

Ocak ayı için güneş enerjisi kazancı, $\emptyset_{s.ocak} = 1940,65$ W.

Kazanç kullanım faktörünün hesaplanması için önce KKO_{ocak} değeri 4.10 nolu eşitliğe göre hesaplanır. Burada gerekli olan H, $\phi_{i,ay}$ ve $\phi_{s,ay}$ değerleri yukarıda hesaplandı. $\theta_{i.ay}$ ve $\theta_{e.ay}$ değerleri ocak ayı için sırasıyla, $\theta_{i.ocak} = 19$°C, $\theta_{e.ocak} = 2,9$°C.

$KKO_{ocak} = 0,274$.

Kazanç kullanım faktörü η_{ocak} 4.9 numaralı eşitlikten; $\eta_{ocak} = 1-e^{1/0.274} = 0,973$ bulunur.
Bu durumda ocak ayı için ısı kazançları;

$\eta_{ocak} (\emptyset_{i.ocak} + \emptyset_{s.ocak}) = 0,973x(5280+1940) = 7025,06$ W olarak hesaplanır.

Çizelge 4.5 Isı yalıtımlı referans bina için ısı kaybı hesabı.

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H= H_T + H_V$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (°C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = (\phi_i + \phi_s)$ (W)		η_{ay} (-)	Q_{ay} (kJ)
Ocak	1532,24	16,10	24669,06	5280	1940,69	7220,69	0,29	0,97	45847058
Şubat		14,60	22370,70		2432,74	7712,74	0,34	0,944515	39102681
Mart		11,70	17927,21		2902,46	8182,46	0,46	0,887437	27645713
Nisan		6,20	9499,89		3290,98	8570,98	0,90	0,668788	9765935
Mayıs		1,00	1532,24		3751,06	9031,06	5,89	0	3971566
Haziran		θ_e, Yüksek	0		3935,81	9215,81	0,00	0	0
Temmuz		θ_e, Yüksek	0		3835,58	9115,58	0,00	0	0
Ağustos		θ_e, Yüksek	0		3597,70	8877,70	0,00	0	0
Eylül		θ_e, Yüksek	0		3049,78	8329,78	0,00	0	0
Ekim		4,90	7507,98		2467,15	7747,15	1,03	0,619462	7021488
Kasım		10,50	16088,52		1859,18	7139,18	0,44	0,89425	25153562
Aralık		15,20	23290,05		1696,18	6976,18	0,30	0,964147	42933861
								TOPLAM	201441864

$$Q_{ay} = \left[H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay} (\phi_{i,ay} - \phi_{s,ay}) \right] t \quad (1k\,J = 0{,}278 \times 10^{-3}\ kWh)$$

Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0{,}278 \times 10^{-3} \times 201441864\ (kJ) = 56000\ kWh$

Konutlar için iç ısı kazancı $\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n\ (W)$

Güneş enerjisi kazancı $\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay}\ g_{i,ay}\ I_{i,ay}\ A_i$

Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$

Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO\ ay)}$

Prototip binada kullanım alanı A_n başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

$Q = Q_{yıl} / A_n = 53{,}03\ kWh / m^2$ $A_n = 0{,}32 \times V_{brüt} = 1056\ m^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0{,}42$ oranı 2 bölge için $Q^l_{2DG} = 70 \times A/V + 24{,}4$ eşitliğinde yerine konduğunda prototip bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^l = 53{,}8\ kWh/m^2$ olarak bulunur

Uygulamada $Q^l < Q$ $(53{,}03 < 53{,}8)$ olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değerin altındadır Bu yüzden proje verilen hesap metoduna uygundur

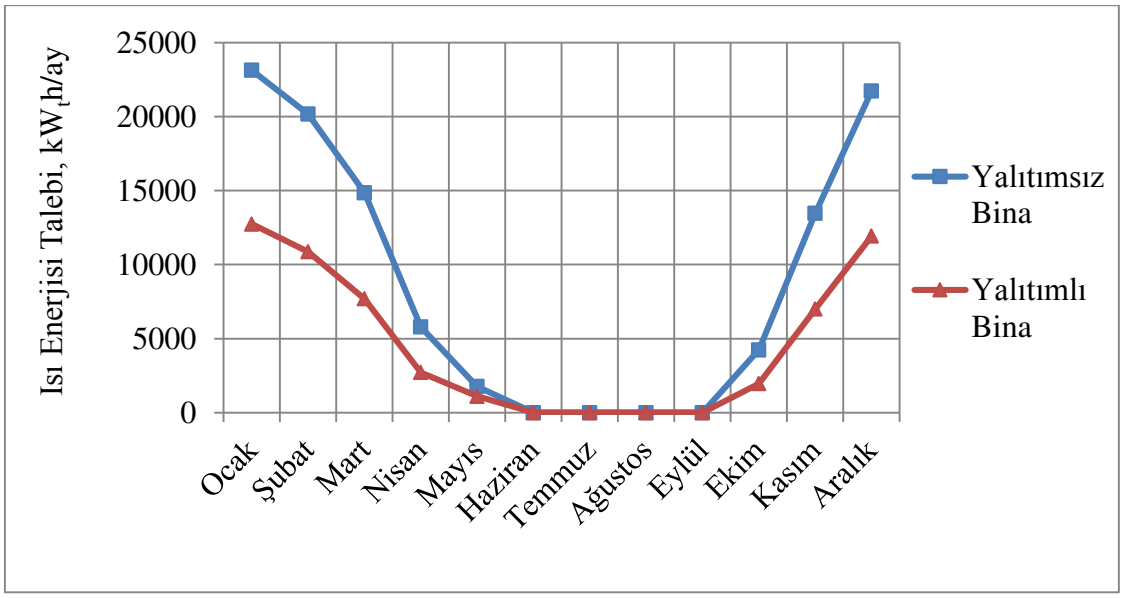
Çizelge 4.6 Isı yalıtımsız referans bina için ısı kaybı hesabı.

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H= H_T + H_V$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (°C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = (\phi_i + \phi_s)$ (w)		η_{ay} (-)	Q_{ay} (kJ)
Ocak	2440,68	16,10	39294,95	5280	1940,69	7220,69	0,18	1,00	83218895
Şubat		14,60	35633,93		2432,74	7712,74	0,22	0,990009	72571469
Mart		11,70	28555,96		290246	8182,46	0,29	0,969169	53461976
Nisan		6,20	15132,22		3290,98	8570,98	0,57	0,827978	20828376
Mayıs		1,00	2440,68		3751,06	9031,06	3,70	0	6326243
Haziran		θ_e, Yüksek	0,00		3935,81	9215,81	0,00	0	0
Temmuz		θ_e, Yüksek	0,00		3835,58	9115,58	0,00	0	0
Ağustos		θ_e, Yüksek	0,00		3597,70	8877,70	0,00	0	0
Eylül		θ_e, Yüksek	0,00		3049,78	8329,78	0,00	0	0
Ekim		4,90	11959,33		2467,15	7747,15	0,65	0,785404	15227198
Kasım		10,50	25627,14		1859,18	7139,18	0,28	0,972088	48437290
Aralık		15,20	37098,34		1696,18	6976,18	0,19	0,995017	78166751
								TOPLAM	378238197
Toplam ısı kaybı			$Q_{yıl} = 0,278x10^{-3}x201441864$ (kJ) = 105150 kWh						

Tüm bu değerler 4.2 eşitliğinde yerine yazıldığında;

$Q_{ocak} = (1532,24x(19-2,9)-7025,06)x86400x30x10^{-3} = 45847058$ kJ olarak bulunur.

Tüm aylar için yukarıda verilen işlemler tekrarlanır ve referans binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.3'te grafik üzerinde, Çizelge 4.5'te yalıtımlı bina için Çizelge 4.6'da yalıtımsız bina için ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.3 Referans binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olma durumuna göre aylık ısı enerjisi talebi değişimi.

4.2.3 Konutların Pik Isıtma Yükünün Belirlenmesi

Bölge ısıtma sistemlerinin tasarımında, analizinde ve işletilmesinde sistemin maksimum kapasitesine ve anlık işletme değerlerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle aylık olarak yapılan analizlerin dışında saatlik ısı enerjisi talep analizlerinin de yapılması gerekir.

Çizelge 4.7 Zonguldak il merkezine ait en düşük ve ortalama sıcaklıklar (MGM 2012).

Aylar	En Düşük Sıcaklık °C	En Düşük Ortalama Sıcaklık °C
Ocak	-6	3,6
Şubat	-7,2	3,4
Mart	-6,4	4,7
Nisan	-2,1	8,3
Mayıs	3,2	12,1
Haziran	8,8	16
Temmuz	11,2	18,3
Ağustos	11,1	18,4
Eylül	5,9	15,5
Ekim	1,8	12,3
Kasım	-0,8	8,5
Aralık	-3,5	5,5

Saatlik ısı enerjisi analizleri aylık ortalama değer üzerinden yapılan hesaplamalara göre daha doğru sonuçlar verdiğinden bölge ısıtma modeli hesaplamalarında bölgenin pik yükünün hesaplanmasında da kullanılır. Zonguldak il merkezi için Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan bilgiler doğrultusunda 1970-2011 yılları arasında en düşük sıcaklık 9 Şubat 1976 tarihinde -7,2 ℃ olarak gerçekleşmiştir. Bu değer referans binanın pik ısıtma yükünü belirlemek amacıyla kullanılabilir. 1970-2011 yılları arasında aylara bağlı olarak en düşük ve ortalama en düşük sıcaklık değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

4.2.4 Zonguldak İçin Pik Sıcak Kullanım Suyu Yükünün Belirlenmesi

Zonguldak bölgesel ısıtma sisteminin sıcak kullanım suyu güç talebi hesaplamalarında öncelikle bir konutun sıcak kullanım suyu ısı yükü hesaplanmalıdır.

İlk önce konutlardaki sıcak su tüketim miktarı belirlenecektir. Konutlardaki muhtemel su tüketim yerleri ve bunların değerleri TS 1258 standardından faydalanılarak belirlenmiştir ve Çizelge 4.8'de verilmiştir. Evsel kullanımda günlük sıcak su kullanım sıcaklığı 45°C, hastane ve endüstri gibi özel alanlarda 60°C kullanım suyu sıcaklığına göre tasarımlar yapılmaktadır (Çoban 2011).

Çizelge 4.8 Konutlarda muhtemel su tüketim yerleri (Çoban 2011).

Sıcak su kullanım yeri	Debi (lt/saat)	Debi (lt/s)	Kullanım sıcaklığı (℃)
Lavabo	210	0,058	45
Banyo	600	0,166	45
Çamaşır makinesi	600	0,166	45
Evye	360	0,1	45
Toplam (eş zaman faktörü ile çarpılmış)	946,8	0,263	

$$Q_{sıcak,su} = V\rho c\Delta T \tag{4.11}$$

Burada;

$Q_{sıcak,su}$:Bir konut için sıcak su enerjisi ihtiyacı, (kW_t)

V :Sıcak su tüketim miktarı, (lt/s)

ρ :Şebeke suyu özkütlesi, (m^3/kg)

c :Şebeke suyu özgül ısısı, (kJ/kgK)

$\Delta T = \left(T_{sıcak,su} - T_{şebeke} \right)$:İstenen sıcak su ile şebeke suyunun sıcaklık farkı (℃, K) ifade eder**.**

Konutun toplam sıcak kullanım suyu debisi ise konuttaki sıcak su tüketen cihazların aynı anda tam kapasite kullanılmayacağı varsayımıyla, debisi yüksek olan banyo tüketimine, çamaşır makinesi, lavabo ve evye tüketiminin toplanıp 0,3 (konut içi eş kullanım faktörü) ile çarpılarak dahil edilmesiyle hesaplanmıştır. Çizelge 4.9'da konut ve şehir için eş zaman kullanım faktörleri verilmektedir.

Çizelge 4.9 Konut ve şehir için eş zaman kullanım faktörü.

	Konut
Eş zaman faktörü (bina)	0,30
Eş zaman faktörü (şehir)	0,25

Çizelge 4.10 Ay bazında konutlardaki sıcak kullanım suyu pik ısı yükü.

Aylar	Şebeke Suyu Sıcaklığı (℃)	İstenilen Sıcaklık (℃)	Debi (lt/s)	Konut İçin Pik Yük (kW)
Ocak	11,5	45	0,263	36,88
Şubat	11			37,43
Mart	12			36,33
Nisan	14			34,13
Mayıs	18			29,72
Haziran	22			25,32
Temmuz	25			22,02
Ağustos	26			20,92
Eylül	24,5			22,57
Ekim	22			25,32
Kasım	17,5			30,28
Aralık	13			35,23

Buna göre tipik bir konuttaki sıcak su ihtiyacı; $\dot{m}$ = 0,263 lt/s olarak hesaplanmıştır. Bulunan konut sıcak kullanım suyu debi miktarı denklem 4.11'de yerine konulursa konut sıcak kullanım suyu ısı talebi belirlenmiş olur. Tüm aylar bazında konuttaki sıcak su ısı yükü hesaplanmış olup

sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmektedir. Denklemdeki şebeke suyu yoğunluk değeri ortalama 1000 kg/m^3 olarak, şebeke suyu özgül ısı değeri ise 4,186 kJ/kgK olarak alınmıştır.

Konutta olabilecek en yüksek ısı yükü değeri (37,43 kW_t) bina veya tüm şehir baz alındığı zaman; tüm konutlar aynı anda sıcak su ihtiyacında bulunmayacaktır. Bina ve şehir için eş kullanım faktörleri kullanılarak tüm şehrin pik sıcak su ısıtma yükü bulunur.

$$\dot{Q}_{şehir} = \dot{Q}_{konut,ay} EKF_{bina} EKF_{şehir} N \tag{4.12}$$

Burada;

$\dot{Q}_{konut,ay}$: Konutun aylık sıcak su için pik yük ısı enerjisi ihtiyacı,

EKF_{bina} : Bina eş kullanım faktörü, (0,3)

$EKF_{şehir}$: Şehir eş kullanım faktörü, (0,25)

N : Bina sayısı.

Bu durumda şubat ayı için bölgesel ısıtma yapılacak olan tüm alanda sıcak su için gerekli olan pik ısı yükü;

$\dot{Q}_{şehir}$ = 37,43x0,3x0,25xN = 2,807N kW_t olur.

4.2.4.1 Bir Konutun Yıllık Isıtma Sıcak Kullanım Suyu Enerji İhtiyacı

Ülkemizde genel olarak kişi başına düşen günlük sıcak kullanım suyu tüketim miktarı 50 litre/kişi/gün'dür. Bir konutta ortalama 3 kişinin yaşadığı düşünülürse 1 günde toplam 150 lt sıcak suyun kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Şebeke suyu sıcaklığının aylara göre değişmesine bağlı olarak gerekli sıcak kullanım suyu ısı enerjisi ihtiyacı da değişecektir. Örneğin ocak ayı için sıcak su ısı enerjisi ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanır. Bir bina için tüm aylara ait sıcak kullanım suyu ısı enerjisi ihtiyacı Çizelge 4.11'de verilmiştir.

$$Q_{ocak} = 150\left(\frac{lt}{gün}\right) 4.186\left(\frac{kj}{kg^oC}\right)(45-11.5)(^oC)30(gün)1\frac{kg}{lt}$$

1kJ=0,278x10^{-3} kWh olduğundan Q_{ocak} =175,428 kW_th olur.

Çizelge 4.11 Aylara bağlı olarak sıcak kullanım suyu ısıtma enerjisi ihtiyacı.

Aylar	Sıcak Kullanım Suyu Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kW_th)
Ocak	175,429
Şubat	178,047
Mart	172,810
Nisan	162,330
Mayıs	141,390
Haziran	120,443
Temmuz	104,733
Ağustos	994,970
Eylül	107,352
Ekim	120,443
Kasım	144,008
Aralık	167,570
TOPLAM	**1694,060**

4.2.5 Zonguldak İl Merkezi İçin Toplam Isı Enerjisi İhtiyacı ve Pik Yükler

Zonguldak il merkezinde bulunan 5 katlı ve her katında 2 daire bulunan bir bina için yalıtımlı ve yalıtımsız olma durumuna göre bölüm 4.2.2'de yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, bölüm 4.2.3'te aynı binanın pik ısıtma yükü ihtiyacı bölüm 4.2.4'te ise sıcak kullanım suyu ısıtma enerjisi ihtiyacı ve pik yükleri belirlenmiştir. Çizelge 4.12'de ise bu binaya ait yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve pik ısıtma yükü ihtiyacı özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.12 Zonguldak il merkezinde bulunan 5 katlı ve her katında 2 daire bulunan bir binanın enerji bilançosu.

	Isı Enerjisi İhtiyacı (kW_th/yıl)	Pik Yük (kW_t)
Yalıtımlı Bina	56000,84	32,47
Yalıtımsız Bina	105150,20	60,25
Sıcak Su Enerji İhtiyacı	16940,60	2,87
Yalıtımlı Bina Toplam	72941,44	35,34
Yalıtımsız Bina Toplam	122090,80	63,12

4.2.6 Toplam Boru Hattı Uzunluğu

ÇATES ile bölgesel ısıtmanın yapılacağı Zonguldak il merkezi arasındaki kuş bakışı mesafe Google Haritası mesafe ölçme aracı yardımıyla 11,411 km bulunmuştur. Ancak arazinin çok engebeli olması nedeniyle bu mesafe daha uzun olacaktır. Bu nedenle tasarımda ısı merkezi ile bölge arasındaki mesafe 15 km alınacaktır. Şekil 4.4'te Santral ile Zonguldak il merkezi arası kuşbakışı mesafe gösterilmiştir.

Şekil 4.4 ÇATES ile Zonguldak il merkezi arası kuşbakışı mesafe.

Boru hatları sadece ısı üretim merkezinden bölgeye getirildiği kısmı değil, bölgedeki istasyondan başlayıp binanın içindeki ısı değiştiricisine kadar iletilen boruları da kapsar. Bu boruların boyu ve çapı mahalledeki binaların yoğunluğuna bağlıdır. Çünkü binaların yoğunluğuna bağlı olarak toplam ısı ihtiyacı değişecektir. Bu çalışmada sadece ısı merkezi ile bölgedeki dağıtım merkezi arasında bulunan ana boru hattı incelenecektir.

4.2.7 Akışkan Debisi Hesabı

Bölgesel ısıtma sisteminde ihtiyaç duyulan su debisi, ısıtma sistemini oluşturan boru sisteminin boyutlandırılmasında (boru çaplarının belirlenmesinde) bilinmesi gereken ilk parametredir. Borudaki akışkan hızı, basınç düşümü gibi diğer parametreler de tespit edildiğinde boru çapları belirlenebilir.

Su debisi, ısıtma sistemindeki ısı ihtiyacı ve gidiş- dönüş su sıcaklıkları belirlendiğinde;

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_{BIS}}{\rho\left(h_{gidiş} - h_{dönüş}\right)} \tag{4.13}$$

şeklinde hesaplanır.

Burada;

$\dot{V}$: Su debisi, (m^3/s)

$\dot{Q}_{BIS}$: Isı enerjisi ihtiyacı, (kW)

ρ : Suyun özkütlesi, (kg/m^3)

$h_{gidiş}$: Bölgeye gidiş yönünde suyun entalpisi, (kJ/kg)

$h_{dönüş}$: Bölgeden dönüş yönünde suyun entalpisi. (kJ/kg)

Çizelge 4.13 Isı enerjisinin hacimsel debiye göre değişimi.

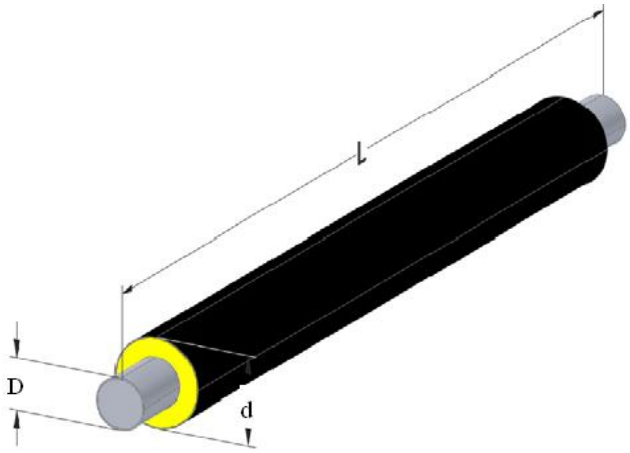
$\dot{Q}_{BIS}$ (MW_t)	$\dot{V}$ (m^3/s)
20	0,100603
50	0,251508
100	0,503017
150	0,754525
200	1,006033
260	1,307843

ρ değeri 120 ℃'deki suyun yoğunluğudur ve değeri 943,4 kg/m^3'tür. Gidiş ve dönüş yönündeki su sıcaklıkları sırasıyla 120 ℃ ve 70 ℃'dir, entalpileri ise 503,71 kJ/kg ve 292,78 kJ/kg'dır. Çizelge 4.13'te bölgenin değişen toplam pik yüküne bağlı olarak su debi miktarları verilmiştir. Bunun nedeni; bölgede kaç adet binanın bölgesel ısıtma yöntemiyle ısıtılacağına ve bunun sonucunda ortaya çıkacak toplam pik yüke esneklik katmak açısından debilerin değişen pik yüke göre verilmiş olmasıdır.

4.2.8 Ekonomik Boru Çapı ve Pompa Gücü Hesabı

ÇATES'ten çekilecek ara buharın şehir merkezine ulaştırılması için ön izolasyonlu borular kullanılacaktır. Bu borular jeotermal enerji ile bölgesel ısıtma yapan yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprak altına gömülebilmeleri sebebiyle bu borular çok az sayıda kompansatöre gereksinim duyarlar.

TS EN 253 standardı yer altı sıcak su şebekelerinde doğrudan yer altına gömülü, önceden sert poliüretan köpük ile ısı yalıtımı yapılmış, polietilen dış mahfazalı, anma çapları DN 15 ile DN 1200 arasında olan bir çelik servis borusu içeren düz boru sistemlerinin özelliklerini ve deney metotlarını kapsar. Bu standarda dayalı olarak imal edilen ön izolasyonlu borular toprağa direkt olarak gömülebilen aynı zamanda galeri içinde dış hatlarda, kısaca sıcak - soğuk akışkanın transfer edildiği bütün hatlarda tasarlanarak çok rahatlıkla kullanılabilmektedir (Şekil 4.5). Isıtma sisteminde ihtiyaç duyulan su debisi hesaplandıktan sonra, sistemi oluşturan boru çaplarının belirlenmesi aşağıdaki adımlar izlenerek hesaplanır. Buna göre; boru çapı hesabı yapılırken akışkan direncinin oluşturduğu basınç düşümü göz önüne alınır.



Şekil 4.5 Ön izolasyonlu boru (İZOBOR 2012).

Basınç düşümü denklem 4.14'ten yararlanılarak bulunur.

$$h_f = \lambda \frac{L\rho V^2}{2D} \tag{4.14}$$

Burada;

h_f :Basınç düşümü, (Pa)
λ :Sürtünme katsayısı, (-)
L :Boru uzunluğu, (m)
D :Boru iç çapı, (m)
V :Borudaki ortalama akışkan hızı, (m/s)
ρ : Yoğunluk. (kg/m^3)

ifade eder.

$$V = \frac{4\dot{V}}{\pi D^2} \tag{4.15}$$

Borudaki ortalama akışkan hızı V, 4.15 numaralı denklem ile bulunur.

Boru çapının hesaplanması ve basınç düşümünün hesaplanması, bağıl pürüzlülük (ε/D), Reynolds Sayısı (Re), akışkanın dinamik viskozitesi (μ) gibi diğer gerekli parametrelerin elde edilmesiyle mümkün olmaktadır.

Reynolds sayısı, zorlanmış akışta hareketi sağlayan atalet kuvvetlerinin, hareketi durdurmaya çalışan viskoz kuvvetlere oranıdır ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \tag{4.16}$$

Burada;

Re: Reynolds Sayısı, (-)

ρ : Akışkanın Yoğunluğu, (kg/m^3)

V : Akışkanın ortalama hızı, (m/s)

D : Boru iç çapı, (m)

μ : Suyun dinamik viskozitesi. ($N.s/m^2$)

olarak ifade edilir.

Büyük Reynolds sayılarında sürtünme katsayısı λ, Reynolds sayısı ve bağıl pürüzlülüğe (ε/D) bağlıdır. Sürtünme katsayısı λ, Moody diyagramından bulunabileceği gibi 1983 yılında S.E. Haaland tarafından geliştirilen,

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cong -1.8\log\left[\frac{6.9}{\mathrm{Re}}+\left(\frac{\varepsilon/\mathrm{D}}{3.7}\right)^{1.11}\right] \qquad (4.17)$$

bağıntısı ile de bulunabilir. Çizelge 4.14'te malzeme cinslerine göre boru pürüzlülük katsayıları verilmiştir. Bu çalışmada λ değeri bulunurken siyah çeliğin pürüzlülük katsayısı olan $0{,}045x10^{-3}$ değeri kullanılmıştır.

Çizelge 4.14 Malzeme cinslerine göre pürüzlülük yüksekliği.

Borunun Cinsi	Pürüzlülük Yüksekliği ,$\varepsilon x10^{-3}$ (mm)
Bakır	0,001 – 0,002
PVC ve plastik borular	0,0015 – 0,007
Paslanmaz çelik	0,015
Siyah çelik	0,045 – 0,09
Galvanizli çelik	0,15

Basınç düşümünün belirlenmesi ile Çizelge 4.15'te verilen boruların iç çapı dikkate alınarak her bir çap denenerek pompa gücü N_m elde edilir.

$$N_m = N_e x EF \qquad (4.18)$$

N_m değeri ise N_e değerinin emniyet faktörü ile çarpılmasıyla elde edilir. Emniyet faktörü büyük güce sahip (37 kW'dan büyük) pompalarda 1,1 alınır.

$$N_e = \frac{\gamma \dot{V} h_f}{\eta_g} \tag{4.19}$$

Burada $\gamma = \rho g$'yi ifade etmektedir ve birimi N/m^3'tür. η_g değeri ise pompanın genel verimini ifade etmektedir ve değeri 0,7 alınmıştır. Pompanın bir yılda harcadığı elektrik enerjisi bulmak için pompanın 180 gün boyunca ve günde 12 saat çalıştığı varsayılarak hesaplanmıştır. Senelik elektrik maliyeti (SEM) ise pompanın bir yılda harcadığı elektrik enerjisinin (T) elektrik fiyatı (EÜ) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Elektrik fiyatı ise 0,20 TL/kWh alınmıştır (Bu değer 27.11.2012 tarihinde ÇATES Makine Başmühendisi Hakan KIZIL tarafından sağlanmıştır).

Çizelge 4.15 Önizolasyonlu boru özellikleri (İZOBOR 2012).

ÇELİK SERVİS BORUSU				KILIF BORUSU			İZOLASYON	BİRİM BORU FİYATI (TL/m)
Çelik Boru Anma Çapı	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	İç Çap (mm)	Kalınlık (mm)	
DN150	168,3	4	160,3	250	3,9	242,2	37	71,14
DN200	219,1	4,5	210,1	315	4,9	305,2	43,1	97,98
DN250	273	5	263	400	6,3	387,4	57,2	146,18
DN300	323,9	5,6	312,7	450	7	436	56,1	181,31
DN350	355,6	5,6	344,4	500	7,8	484,4	64,4	226,45
DN400	406,4	6,3	393,8	560	8,8	542,4	68	259,31
DN450	457,0	6,3	444,4	630	9,8	610,4	76,7	257,37
DN500	508,0	6,3	495,4	710	11,1	687,8	89,9	383,77
DN600	610,0	7,1	595,8	800	12,5	775	82,5	471,48
DN700	711,0	8,0	695,0	900	12,9	874,2	81,6	606,45
DN800	813,0	8,8	795,4	1000	13,3	973,4	80,2	739,33

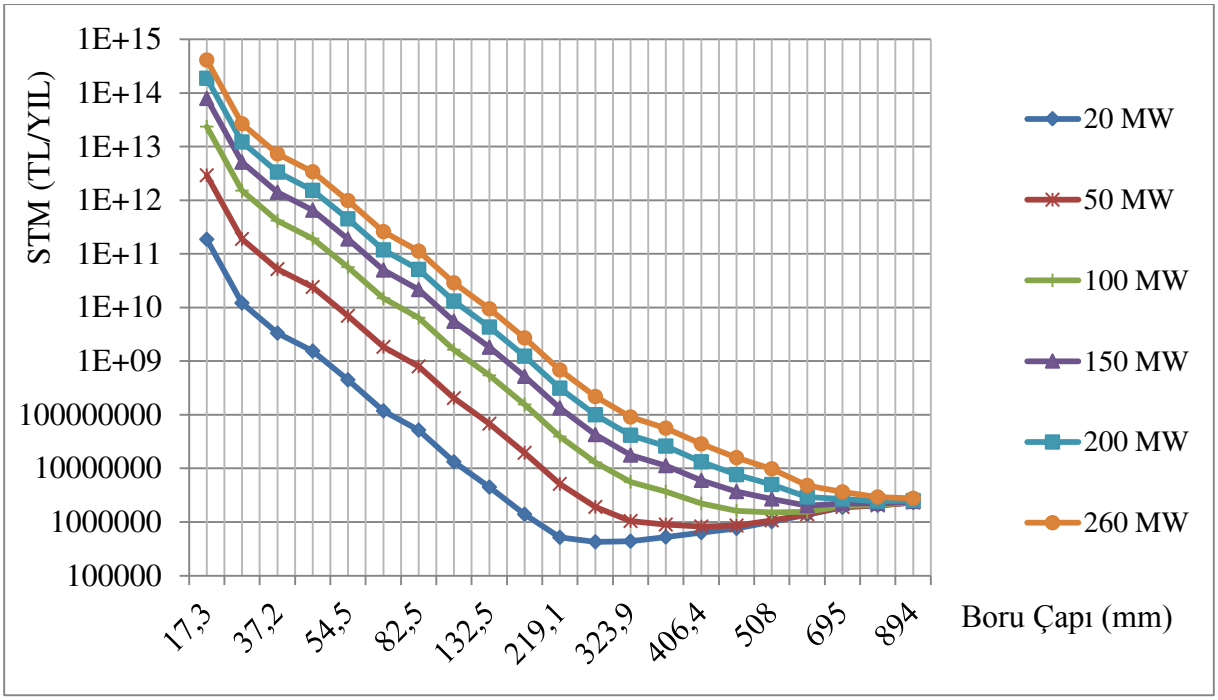
$$SEM = N_m x T x EÜ \tag{4.20}$$

Senelik sabit masraflar (SSM) ise birim boru fiyatının (BBF) bileşik faiz katsayısı (K) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.

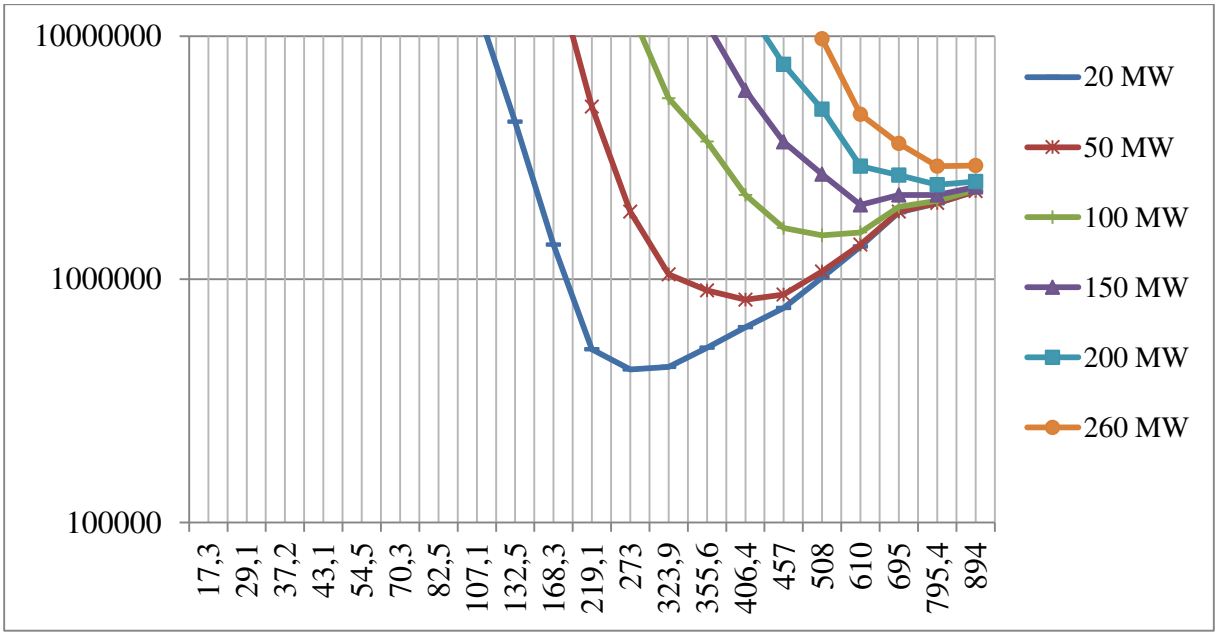
$$SSM = BBF x K \tag{4.21}$$

$$K = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{4.22}$$

Bileşik faiz katsayısı belirlenirken boru kullanım ömrü n 40 yıl, faiz oranı i ise %5 olacak şekilde hesaplanmıştır. Senelik toplam sabit masraf (STSM) senelik sabit masrafın tüm boru hattı (L) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.6 Senelik toplam sabit masrafların anma çapına bağlı olarak logaritmik değişimi.



Şekil 4.7 Senelik toplam sabit masrafların anma çapına bağlı olarak logaritmik değişimi (büyütülmüş).

STSM=SSMxL (4.23)

Senelik toplam masraf (STM) ise senelik toplam sabit masraflar ile senelik elektirk masrafının toplanmasıyla elde edilmiştir.

STM=STSM+SEM (4.24)

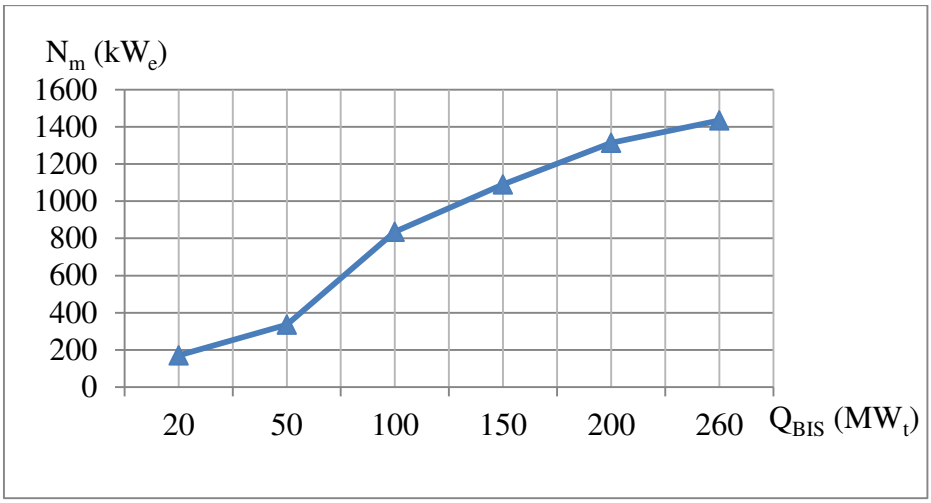
Şekil 4.7 ve 4.8'de senelik toplam sabit masrafların anma çapına bağlı olarak logaritmik değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çap arttıkça senelik toplam masraflar belli bir noktada minimum olmakta daha sonra tekrar artmaktadır. Bölge ısıtma için kullanılacak boru seçiminde maliyetin minimum olduğu yerdeki boru çapını kullanmak en uygun çözüm olacaktır. Tüm bu işlemler Çizelge 4.15'te verilen ön izolasyonlu boru özellikleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Ekonomik boru çapına bağlı sonuçlar.

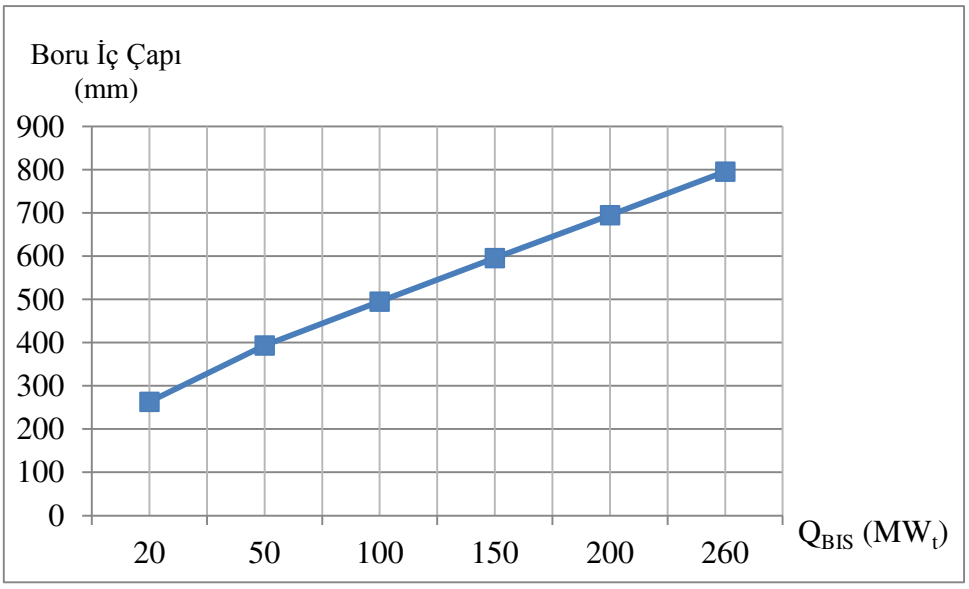
$\dot{Q}$ (MW_t)	Anma Çapı	$\dot{V}$ (m^3/s)	Re (-)	λ (-)	h_f (mSS)	N_m (kW_e)
20	DN250	0,100603	1907949	0,014068	116,37	170,267
50	DN400	0,251508	3204177	0,012953	91,60	335,069
100	DN500	0,503017	5126693	0,012329	114,28	836,058
150	DN600	0,754525	6404160	0,011900	99,41	1090,953
200	DN700	1,006033	7494554	0,011609	89,80	1313,912
260	DN800	1,307843	8513113	0,011327	75,42	1434,561

Elde edilen sonuçlar bölge ısıtma için kullanılacak iş akışkanının bölgeye gidiş yönündeki bölümüne aittir. Bölgeden tekrar santrale iş akışkanını iletmek için benzer bir pompa istasyonu ısıtma yapılacak bölgeye kurulmalıdır.

Şekil 4.8'de bölgenin ısı ihtiyacı talebine göre sirkülasyon pompasına ait elektrik motorunun gücü verilmektedir. Şekil 4.9'da ise bölgenin ısı ihtiyacı talebine göre ön izolasyonlu boru iç çapının değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Pompa gücü ihtiyacının pik ısı yüküne göre değişimi.



Şekil 4.9 Boru iç çapının pik ısı yüküne göre değişimi.

4.2.9 Ön İzolasyonlu Borularda Meydana Gelen Isı Enerjisi Kaybı

Isı enerjisi kaybı ön izolasyonlu borulardaki akışkan sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasındaki farktan dolayı gerçekleşir. Ön izolasyonlu paket boruların direk olarak toprağa gömülmesi halinde borunun bir metresinde meydana gelen ısı kaybı, φ, denklem 4.25 ile hesaplanır.

$$\varphi = U\left(T_f - T_g\right) \tag{4.25}$$

Burada;

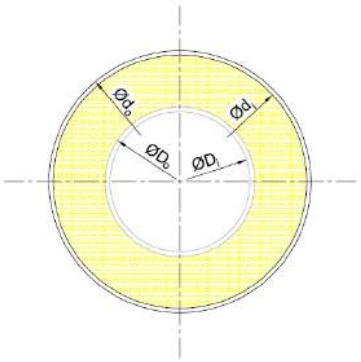
φ :	Ön izolasyonlu paket borunun 1 metresinde meydana gelen ısı kaybı,	(W/m)
U :	Ön izolasyonlu paket borunun ısıl iletkenlik katsayısı,	(W/m°C)
T_f :	Akışkan sıcaklığı,	(°C)
T_g :	Toprak sıcaklığıdır (boruların gömüldüğü derinlikte).	(°C)

Isıl iletkenlik katsayısı U, denklem 4.26 ile hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_S + R_{PUR} + R_{PE} + R_g} \tag{4.26}$$

Burada;

U	: Ön izolasyonlu paket borunun ısıl iletkenlik katsayısı,	(W/m°C)
R_S	: Servis borunun ısıl iletkenlik direnci,	(m°C /W)
R_{PUR}	: İzolasyon malzemesinin ısıl iletkenlik direnci,	(m°C /W)
R_{PE}	: Kılıf borunun ısıl iletkenlik direnci,	(m°C /W)
R_g	: Toprağın ısıl iletkenlik direncidir.	(m°C /W)



Şekil 4.10 Servis ve kılıf borusunun iç ve dış çapı.

$$R_S = \frac{1}{2\pi k_s} \ln \frac{D_o}{D_i} \tag{4.27}$$

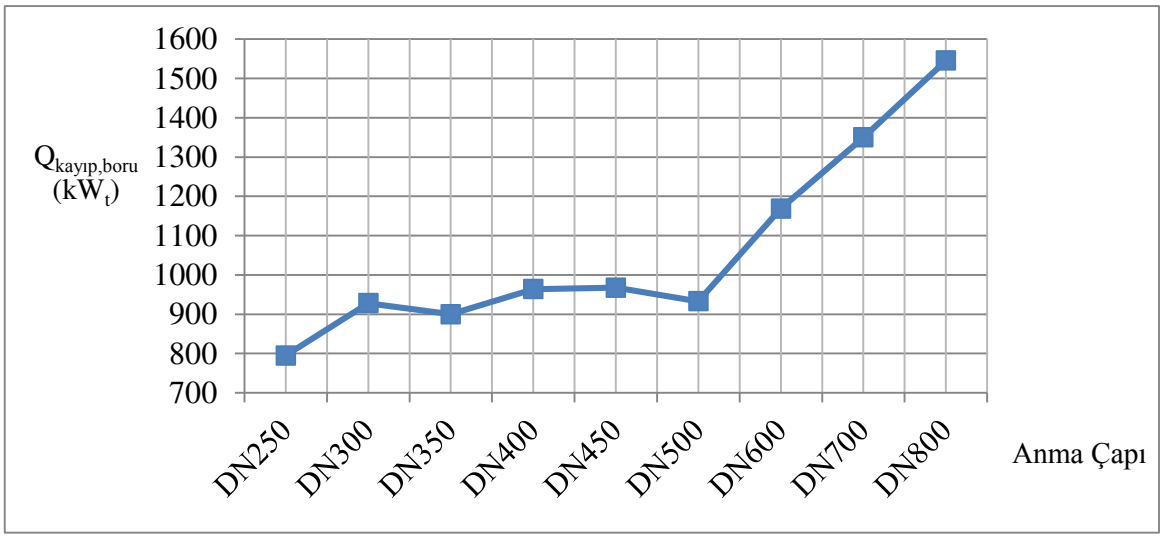
$$R_{PUR} = \frac{1}{2\pi k_{PUR}} \ln \frac{d_i}{D_o} \tag{4.28}$$

$$R_{PE} = \frac{1}{2\pi k_{PE}} \ln \frac{d_o}{d_i} \tag{4.29}$$

$$R_g = \frac{1}{2\pi k_g} \ln \frac{4Z}{d_o} \tag{4.30}$$

Çizelge 4.17 Malzeme cinslerine göre ısıl iletkenlik katsayıları.

Servis borunun Cinsi	Isıl İletkenlik Katsayısı k_S (W/m°C)
Siyah Çelik	76
Paslanmaz Çelik	16
PP-R	0,15
Bakır	400
CTP	0,31
Polietilen(HD)	0,43



Şekil 4.11 Ön izolasyonlu boruda meydana gelen ısı kaybının anma çapına bağlı değişimi.

k_s : Servis borunun ısıl iletkenlik katsayısı (Çizelge 4.17'den seçilir.)

k_{PUR} : İzolasyon malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı. Standarta göre poliüretan izolasyon malzemesinin azami değeri 0,033 W/m°C'dir. Bu çalışmada poliüretan izolasyon malzemesinin değeri k_{PUR}= 0,028 W/m°C'dir.

k_{PE} : Kılıf borunun ısıl iletkenlik katsayısı (Polietilen boru için k_{PE}= 0,43 W/m°C).

k_g : Toprağın ısıl iletkenlik katsayısı Toprak özelliklerinin tam olarak tespit edilemediği durumlarda k_g = 2,0 W/m°C olarak alınabilir.

Z : Toprak dolgu yüksekliği, Servis borunun merkezinden toprak üst seviyesine ölçülen dolgu yüksekliğine (Z) toprağın yüzey direnci (100mm) eklenerek bulunur. $Z = Z_c$+ 0,1m

Şekil 4.11'de boru çapına bağlı olarak 15 km'lik hat boyunca meydana gelecek ısı kaybı miktarı verilmiştir. Bu hesaplarda ön izolasyonlu boru için siyah çeliğin ısıl iletkenlik katsayısı k_s**,** 76 W/m°C, boruların gömülü olduğu toprak sıcaklığı 5 °C alınmıştır.

4.3 EKONOMİK HESAPLAR

Bölüm 4.2'de bölgenin değişen pik ısıtma yükü ihtiyacına göre (20, 50, 100, 150, 200, 260 MW_t) boru çapı, pompa gücü, borularda meydana gelen ısı kaybı enerjisi hesaplanmıştı. Bu bölümde ise bölgesel ısıtma için ekonomik hesaplar yapılmıştır. Ekonomik hesaplar yapılırken santralden çekilen kızgın buharın şehir merkezine ulaşıncaya kadar olan kısmı dikkate alınmıştır. Şehir merkezinden binalara olan dağıtım kısmı ise oldukça detaylı bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu kısım bu çalışmada dikkate alınmayacaktır.

4.3.1 İlk Yatırım Masrafları

İlk yatırım masrafları boru maliyetleri, kazı maliyetleri ve işçilik maliyetlerini ve birleştirme seti elemanlarını kapsar. Burada kullanılacak değerler İzobor Boru İmalat Jeotermal Firmasında Proje yöneticisi Makine Mühendisi Mücahit Genç tarafından sağlanmıştır (Çizelge 4.18). Bu maliyetler aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir.

$$P_{boru} = p_{boru} x L_{iletim} \quad (4.31)$$

$$P_{kazı} = 0,15 x P_{boru} \quad (4.32)$$

$$P_{işçilik} = 0,25 x P_{boru} \quad (4.33)$$

$$P_{bir} = 0,25 x P_{boru} \quad (4.34)$$

$$PİYT = P_{boru} + P_{kazı} + P_{bir} \quad (4.35)$$

Çizelge 4.18 Boru anma çapına bağlı mali veriler.

Anma Çapı	Boru Birim Fiyatı p_{boru} (TL/m)	Boru İşçilik Maliyeti $P_{işçilik}=0,25xp_{boru}$ (TL/m)	Birim Kazı Maliyeti $p_{kazı}= 0x15p_{boru}$ (TL/m)	Birleştirme Malzemeleri Maliyeti $p_{bir}= 0x15p_{boru}$ (TL/m)
250	146,18	32,89	21,92	21,92
400	259,31	58,34	38,89	38,89
500	383,77	86,34	57,56	57,56
600	471,48	106,08	70,72	70,72
700	606,45	136,45	90,96	90,96
800	739,33	166,34	110,89	110,89

Burada;

P_{boru} : Toplam boru maliyeti, (TL)

p_{boru} : İletim hattındaki birim boru maliyeti, (TL/m)

L_{iletim} : İletim hattı uzunluğu, (m)

$P_{kazı}$: Toplam kazı maliyeti, (TL)

$P_{işçilik}$: İletim hattı toplam işçilik maliyeti, (TL)

P_{bir} : Birleştirme seti, dirsek, branşman ayırıcı, kompansatör vb.toplam maliyeti, (TL)

PİYT : Toplam ilk yatırım maliyetidir. (TL)

4.3.2 Pompa İşletme Maliyeti

Pompa işletme maliyeti pompaların çalışması esnasında harcadıkları elektrik enerjisinin maliyetini kapsar. Pompa işletme maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{pompa_işletme}=N_m x p_{elektrik} x t_{pompa} \quad (4.36)$$

Burada;

$P_{pompa_işletme}$: Pompa işletme maliyeti, (TL/yıl)

N_m : Pompa gücü, (kW)

$p_{elektrik}$: Elektrik birim fiyatı, (TL/kW_eh)

t_{pompa} : Pompanın yıllık çalışma süresidir. (saat/yıl)

4.3.3 Bakım – Onarım – İşletme Masrafları

Bakım onarım ve işletme masrafları içinde bölge ısıtma sisteminin bakım onarım kısmı ve personel giderleri vardır.

$$P_{bakım_onarım}=Q_{bölge_toplam}xp_{bakım_onarım} \quad (4.37)$$

Burada;

$P_{bakım_onarım}$: Bakım onarım ve işletme masrafları, (TL/yıl)
$Q_{bölge_toplam}$: Bölgenin yıllık ısı enerjisi ihtiyacı, (MW_th/yıl)
$p_{bakım_onarım}$: Bakım onarım işletme masraflarıdır. (TL/MW_th)

4.3.4 Elektrik Enerjisi Kaybı Maliyeti

Bölgesel ısıtma santralden ara buhar alınarak yapılacağı için elektrik enerjisi üretiminde azalma meydana gelir ve bu santralde gelir kaybına neden olur. Bu gelir kaybının ısı satışı ile karşılanması gerekir. Elektrik enerjisi kaybı maliyeti eşitlik 4.37 ile hesaplanır.

$$P_{elektrik_kaybı} = \frac{Q_{bölge_toplam}}{COP_{Model_D}} p_{elektrik} \quad (4.38)$$

Burada;

$P_{elektrik_kaybı}$: Elektrik enerjisi kaybı maliyeti, (TL/yıl)
$Q_{bölge_toplam}$: Bölgenin yıllık ısı enerjisi ihtiyacı, (MW_th/yıl)
$p_{elektrik}$: Elektrik birim fiyatı, (TL/kW_eh)
COP_{Model_D} : Model D'nin performans katsayısı.

4.3.5 Santralden Çekilecek Isı Miktarına Bağlı Olarak Isıtılabilecek Konut Sayısı ve Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Belirlenmesi

Santralden çekilecek ısı miktarı ile ne kadar konutun ısıtılabileceğini belirlemek için borularda meydana gelen ısı kaybını çıkarıp bir binanın pik yüküne bölmek gerekir.

$$N_{BİNA} = \frac{\dot{Q}_{BIS} - \dot{Q}_{Kayıp,boru}}{BİNA_{PİK} + SKS_{PİK}} \tag{4.39}$$

Burada;

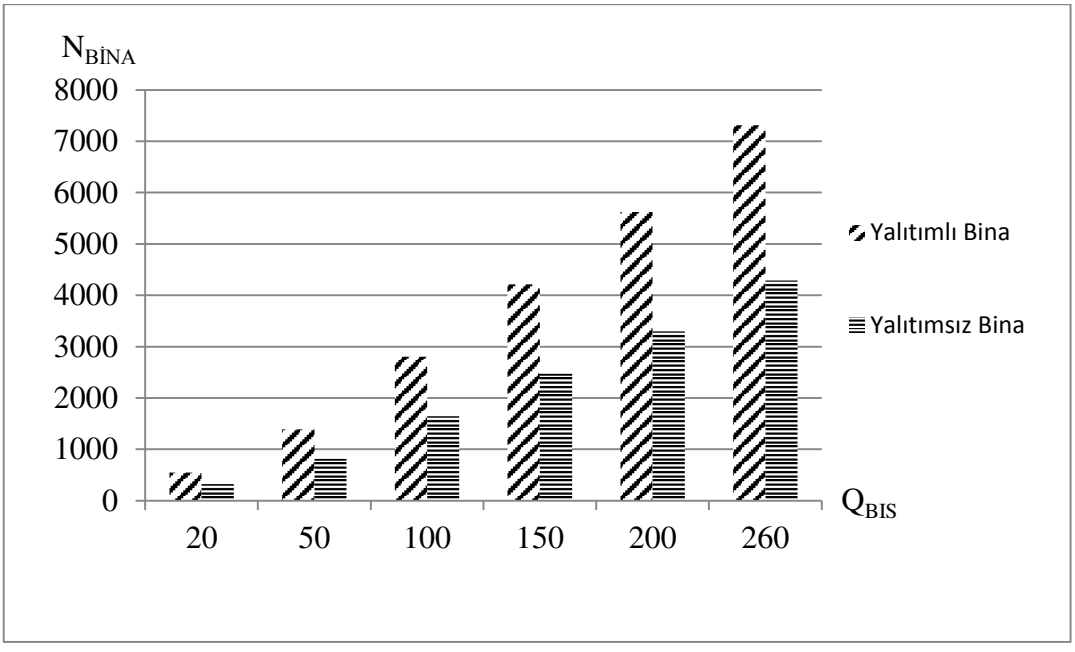
$N_{BİNA}$: Bina sayısı,

$\dot{Q}_{BIS}$: Bölgenin pik ısı yükü,

$\dot{Q}_{Kayıp,boru}$: Borularda meydana gelen ısı kaybı,

$BİNA_{PİK}$: Binanın pik ısı yükü,

$SKS_{PİK}$: Binanın pik sıcak kullanım suyu ısı yükü.



Şekil 4.12 Bölgenin pik ısıtma yüküne karşılık ısıtılabilecek konut sayısı.

Şekil 4.12'de santralden çekilecek pik ısı yüküne bağlı olarak ısıtılabilecek konut sayısı belirlenmiştir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı için ise bina sayısı ile binanın bir yıllık ısıtma

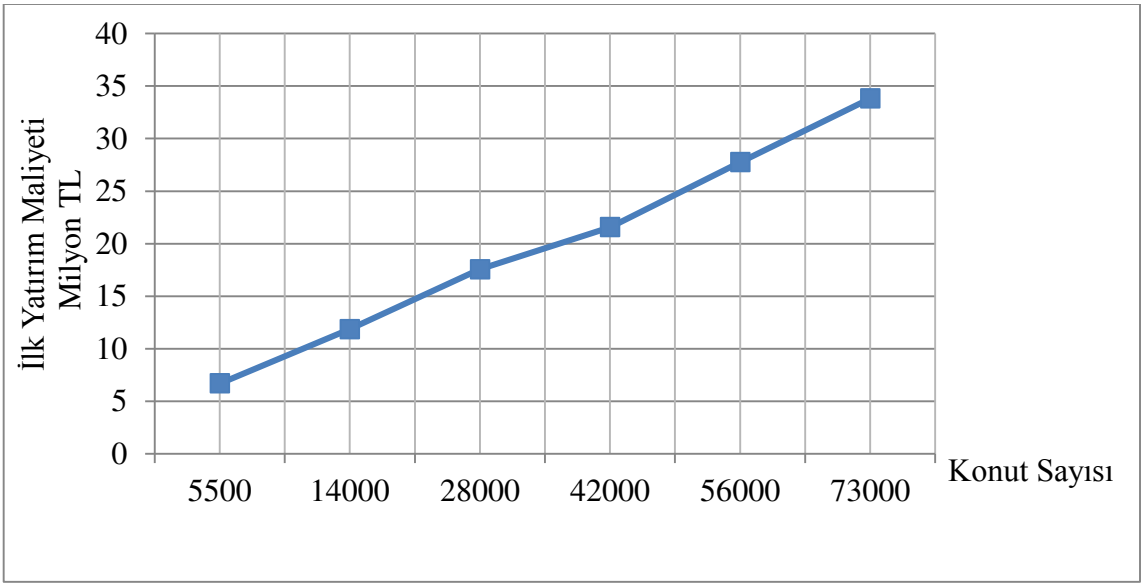
enerjisi ihtiyacı çarpılır. Çizelge 4.19'da santralden çekilecek pik ısı yükü miktarına bağlı ısıtılabilecek konut sayısı ve bölgenin yıllık toplam ısı enerjisi ihtiyacı verilmiştir.

Çizelge 4.19 Bölgenin bir yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı.

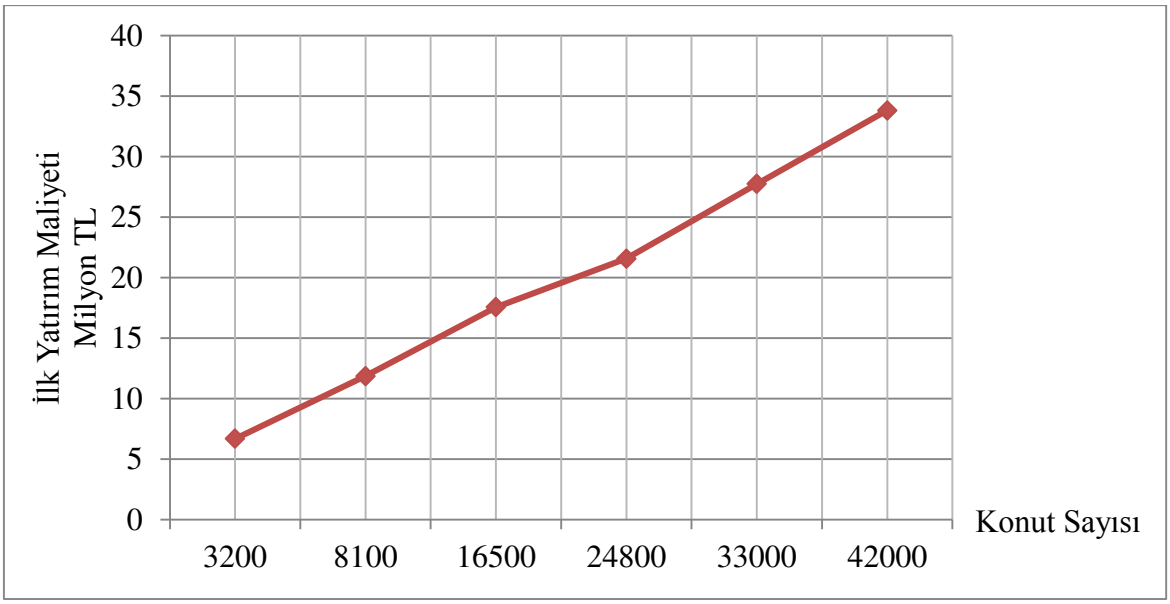
Pik Yük $\dot{Q}_{BIS}$ (MW_t)	Isıtılacak Konut Sayısı		Toplam Isı Enerjisi İhtiyacı
	Yalıtımlı Bina	Yalıtımsız Bina	Yalıtımlı ve Yalıtımsız Bina (MW_th/yıl)
20	5500	3200	39701.11
50	14000	8100	101210.33
100	28000	16500	204475.45
150	42000	24800	307187.90
200	56000	33000	410013.86
260	73000	42000	533448.77

4.3.6 Toplam İlk Yatırım Masrafları Analizi

Toplam ilk yatırım masrafları analizi binaların yalıtımlı ve yalıtımsız olma durumuna göre bu bölümde verilmiştir. Santralden çekilecek pik yük sabit olmasına rağmen konutların sayısı yalıtımlı ve yalıtımsız olma durumuna göre değiştiğinden iki farklı grafik türü oluşturulmuştur (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).



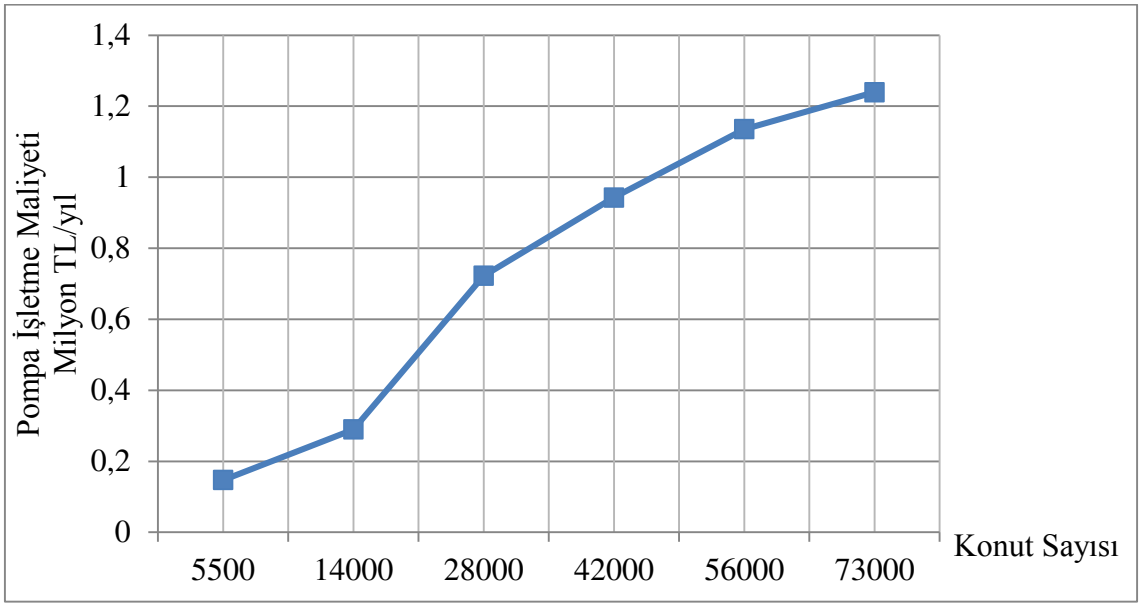
Şekil 4.13 Yalıtımlı konut sayısına göre ilk yatırım masrafları.



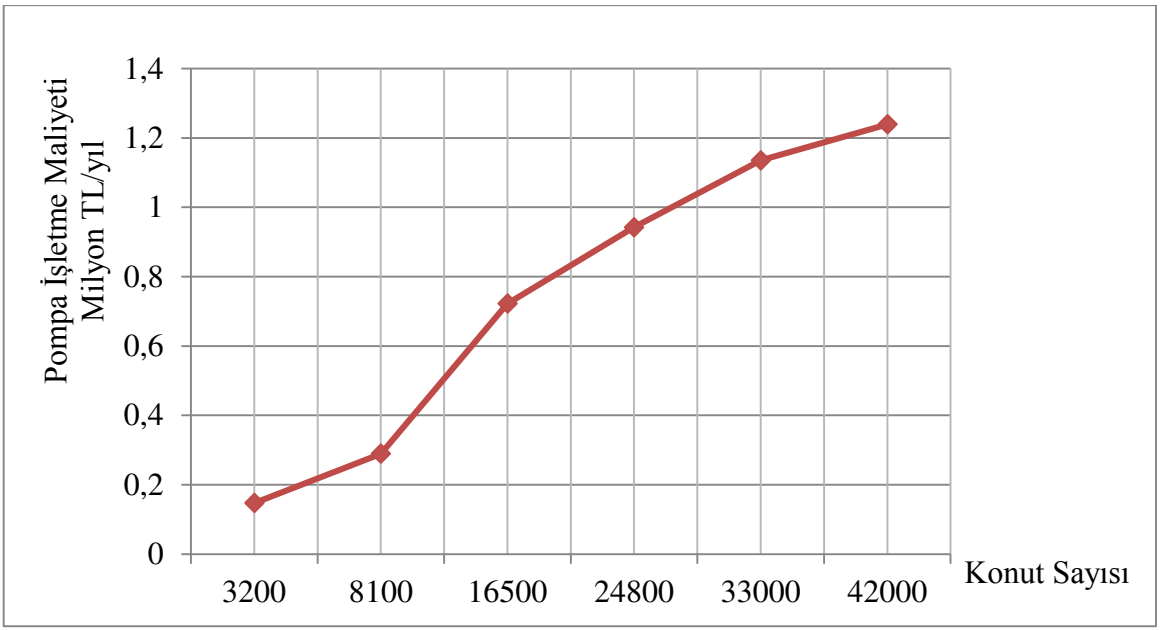
Şekil 4.14 Yalıtımsız konut sayısına göre ilk yatırım masrafları.

4.3.7 Pompa İşletme Maliyeti Analizi

Burada pompanın bir yıl boyunca (toplam 2160 saat çalıştığı varsayılarak) tüketeceği elektrik enerjisi masrafları analizi verilmiştir. Elektrik enerjisi birim fiyatı 0,20 TL/kW$_e$h alınmıştır (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).



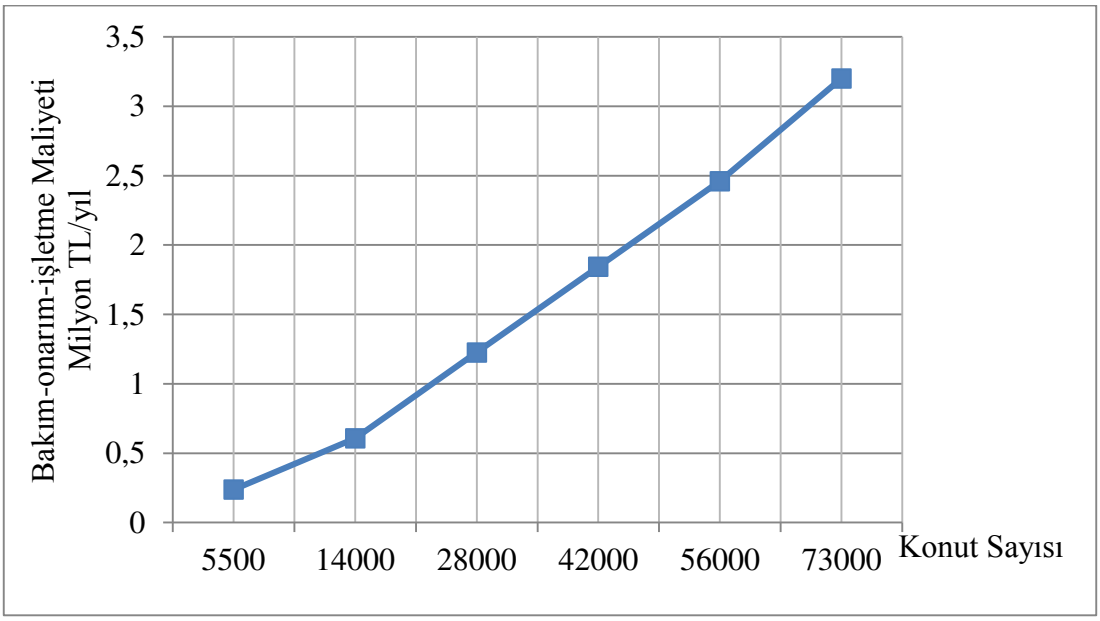
Şekil 4.15 Yalıtımlı konut sayısına göre bir yıllık pompa işletme maliyeti.



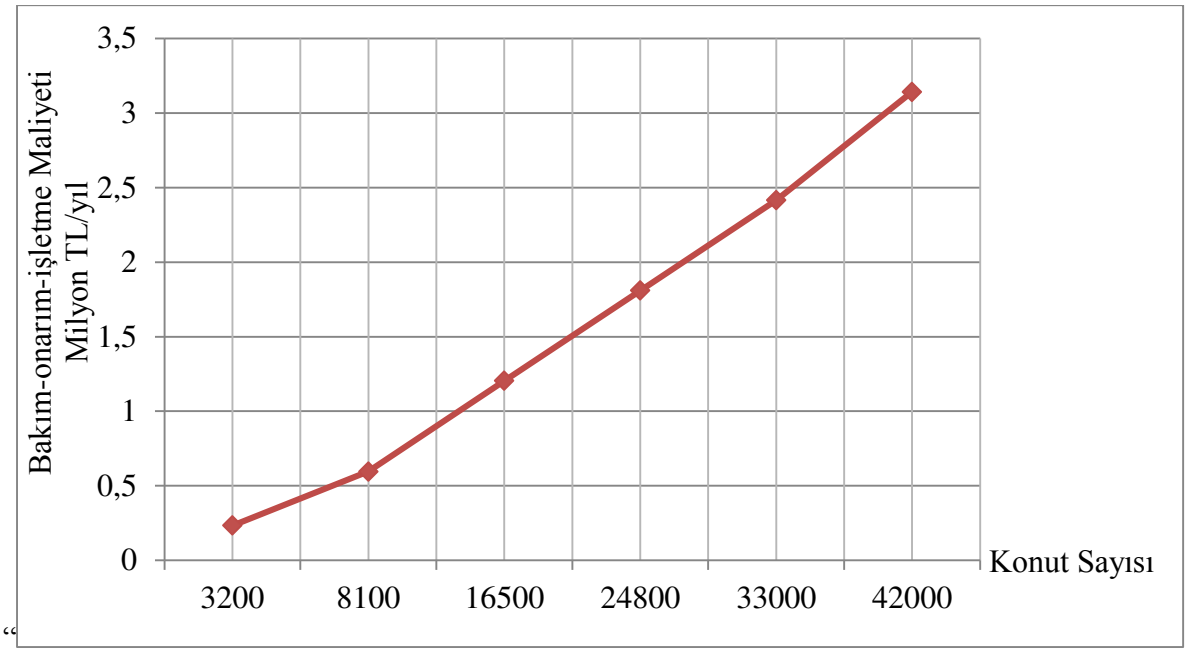
Şekil 4.16 Yalıtımsız konut sayısına göre bir yıllık pompa işletme maliyeti.

4.3.8 Bakım Onarım İşletme Maliyeti Analizi

Bakım onarım işletme masraflarının bir yıllık maliyeti bu bölümde verilmiştir. Bakım onarım işletme maliyeti ÇOKOKSEN'in (2010) yılında yapmış olduğu çalışmada 6 TL/MW_th alınmıştır (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).



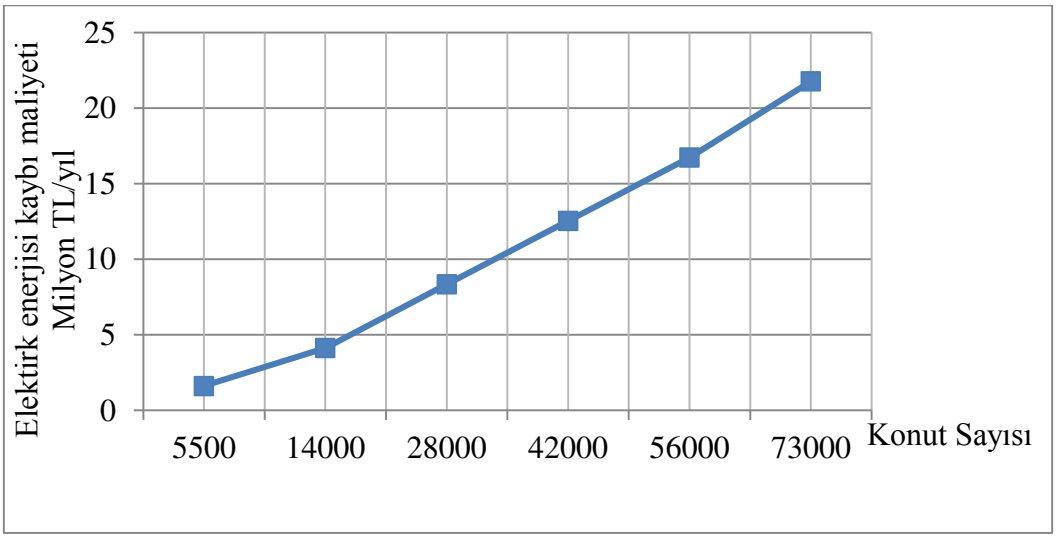
Şekil 4.17 Yalıtımlı konut sayısına göre bir yıllık bakım onarım işletme maliyeti.



Şekil 4.18 Yalıtımsız konut sayısına göre bir yıllık bakım onarım işletme maliyeti.

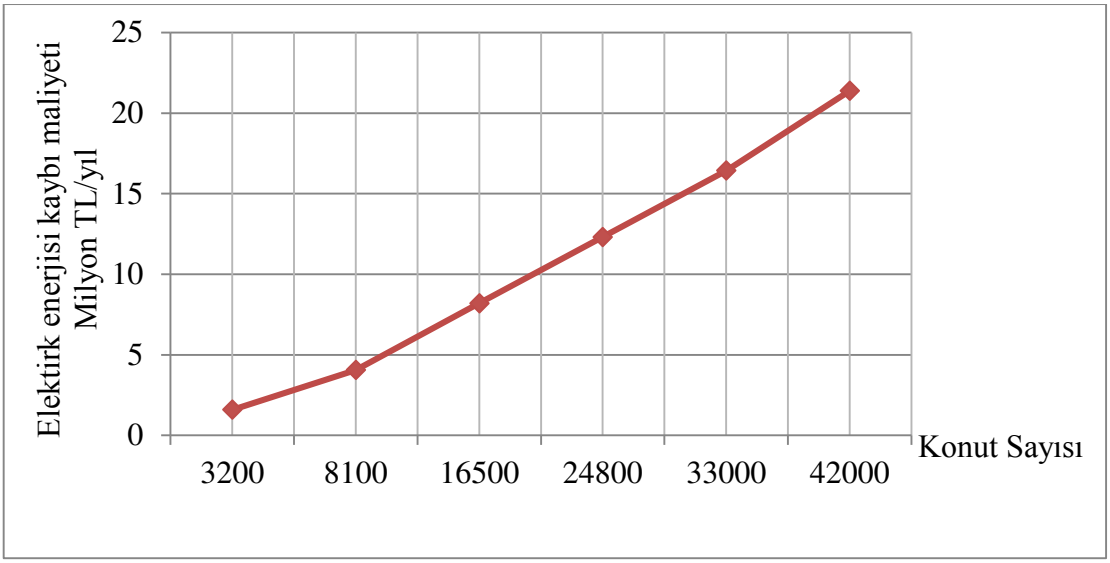
4.3.9 Elektrik Enerjisi Kaybı Maliyeti Analizi

Çatalağzı termik santralinden bölge ısıtması yapmak için buharın çekilmesi sonucunda santral elektrik üretiminde bir azalma meydana gelecektir. Bu da santral gelirini düşürecektir. Bu kayıp Bölüm 3.2'de anlatılan COP değeri ile orantılıdır.



Şekil 4.19 Yalıtımlı konut sayısına göre bir yıllık elektrik enerjisi kaybı maliyeti.

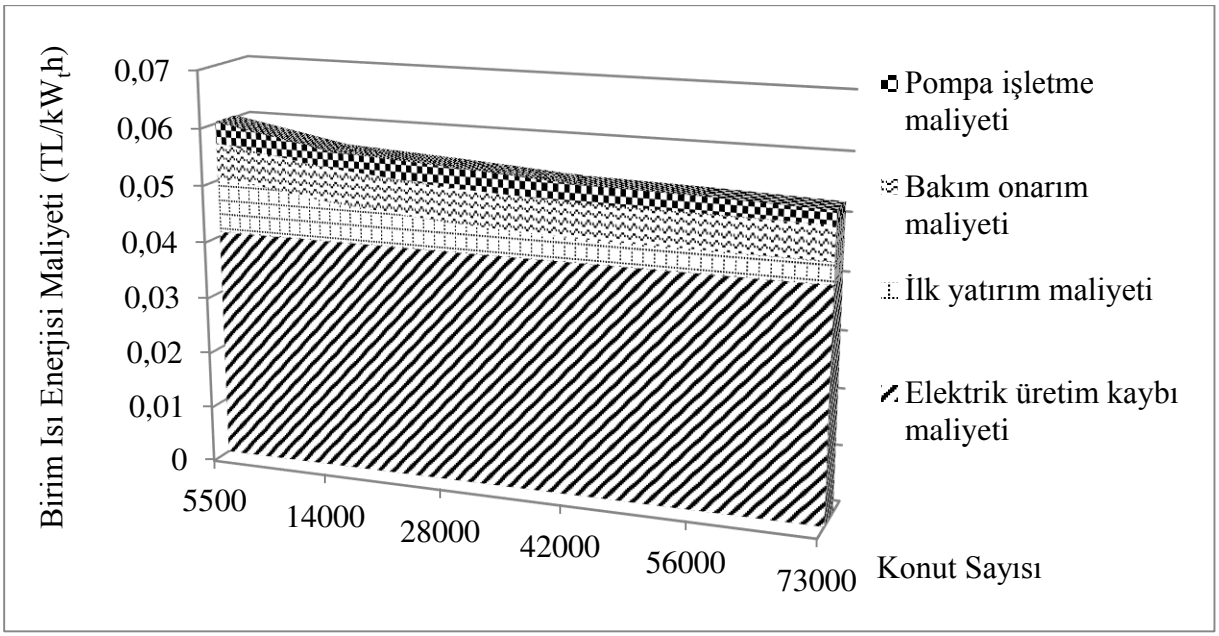
Yani bölge ısıtmasında ihtiyaç duyulan ısı miktarının Bölüm 3.2'de geliştirilen Model D doğrultusunda 4,9 oranında azalması beklenecektir**.** Bunun sonucunda ortaya çıkan elektrik enerjisi kayıp masrafları Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'te verilmiştir.



Şekil 4.20 Yalıtımsız konut sayısına göre bir yıllık elektrik enerjisi kaybı maliyeti.

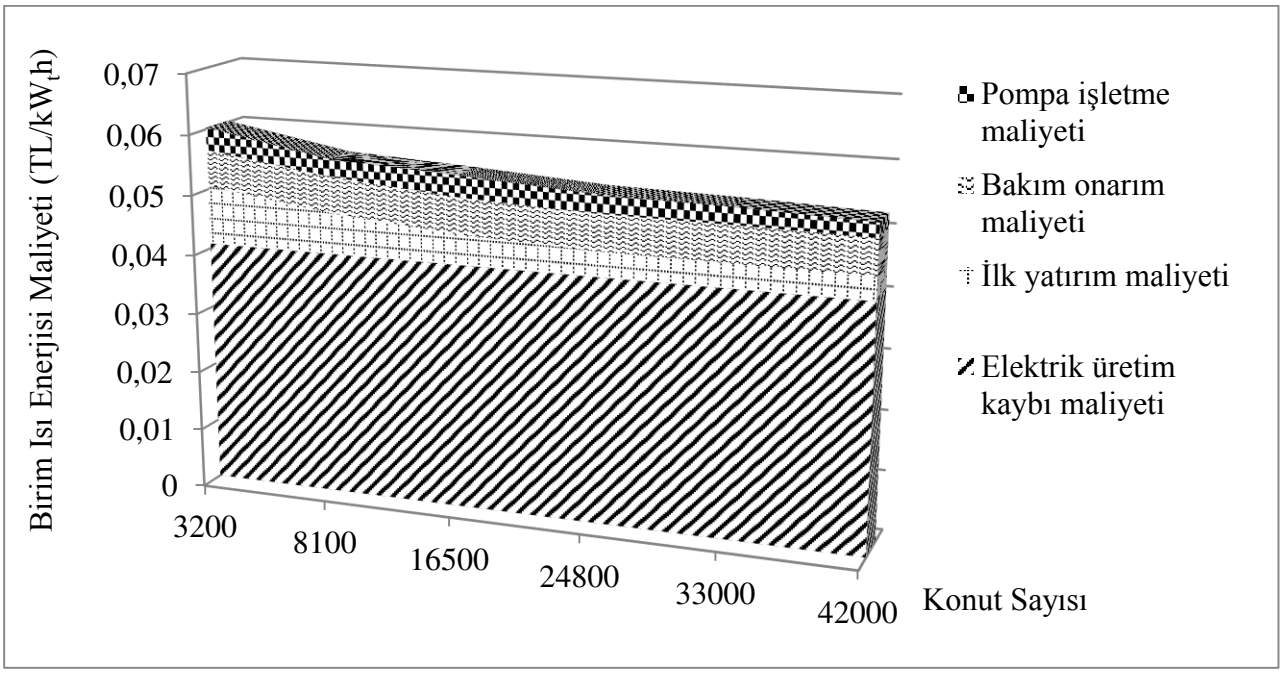
4.4 BİRİM ISI ENERJİSİ ÜRETİM MALİYETİNİN BELİRLENMESİ

Maliyet hesaplarında ilk yatırım masrafları, pompa işletme masrafları, bakım-onarım-işletme masrafları ve elektrik enerjisi kaybı masrafları anlatıldı. İlk yatırım masrafları hariç diğer masraflar TL/yıl cinsinden ifade edildi. İlk yatırım masraflarını belirlerken boru hattının toplam ömrünün bir yıla düşen amortisman bedelini dikkate almak gerekir. Amortisman katsayısı $K = i.((1+i)^n)/((1+i)^n-1)$ şeklinde hesaplanır. Burada K amosrtisman katsayısı, i faiz oranı, n ise sistemin ömrünü ifade etmektedir. Amortisman katsayısı Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilen toplam ilk yatırım maliyeti ile çarpılarak bir yıllık amortisman bedeli ortaya çıkar. Bu çalışmada i değeri %5, n değeri 40 alınmıştır.



Şekil 4.21 Yalıtımlı konut sayısına göre birim ısı enerjisi maliyeti.

Birim ısı enerjisi maliyeti bölge ısıtması yapılacak yerde ısı satış fiyatının minimum değerini gösterir. Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de Zonguldak merkezde yapılması planlanan bölge ısıtması için birim ısı enerjisi maliyeti değişimi verilmiştir. Grafiklerde ısı enerjisi maliyetine etki eden parametreler değişen konut sayısına göre verilmiştir.



Şekil 4.22 Yalıtımsız konut sayısına göre birim ısı enerjisi maliyeti.

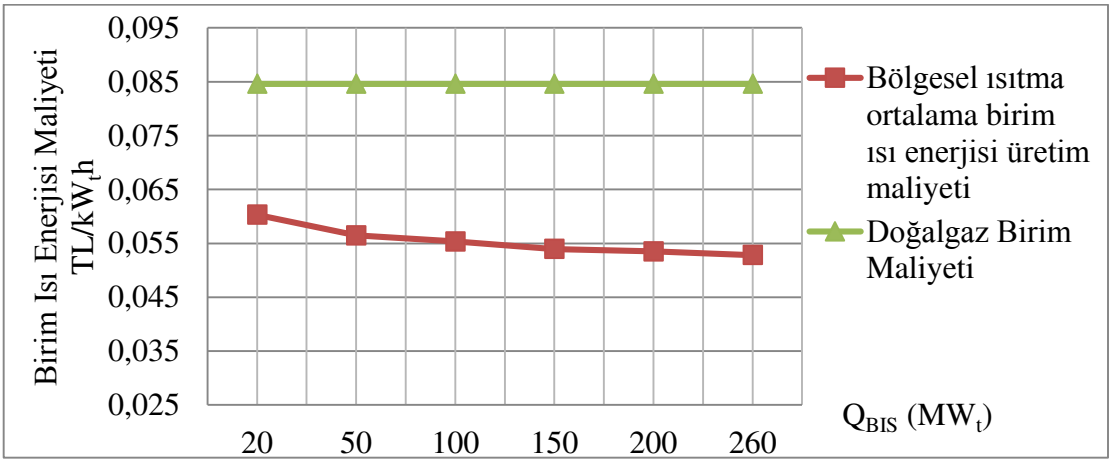
4.5 ANALİZ SONUÇLARININ DOĞALGAZ İLE MUKAYESESİ VE İRDELENMESİ

Maliyet hesapları incelendiğinde santralden çekilecek ısı miktarının artmasına bağlı olarak birim ısı enerjisi maliyeti azalmaktadır. Çizelge 4.20'de santralden çekilen ısı miktarlarına bağlı olarak yalıtımlı ve yalıtımsız konutlar için ısı üretim maliyetleri ve bir konutun yıllık ödeyeceği ısı enerjisi maliyeti verilmiştir.

Çizelge 4.20 Santralden çekilen ısı miktarlarına bağlı olarak yalıtımlı ve yalıtımsız konutlar için ısı üretim maliyetleri ve bir konutun yıllık ödeyeceği ısı enerjisi maliyeti.

$\dot{Q}_{BIS}$ (MW_t)	Birim Isı Enerjisi Maliyeti (TL/kW_th)	Konut Başına Yıllık Maliyet (TL/konut.yıl)		Doğalgaz İle Isıtma	
	Yalıtımlı ve Yalıtımsız Konut	Yalıtımlı Konut	Yalıtımsız Konut	Yalıtımlı Konut	Yalıtımsız Konut
20	0,06029	439,779	739,162	627,296	1049,981
50	0,05648	411,938	691,698	627,296	1049,981
100	0,05533	403,580	677,447	627,296	1049,981
150	0,05396	393,573	660,388	627,296	1049,981
200	0,05351	390,309	654,822	627,296	1049,981
260	0,05282	385,258	646,211	627,296	1049,981

Çizelgede dikkat çeken en önemli unsur yalıtımlı konutun yalıtımsız konuta göre yıllık ısıtma enerjisi maliyetinin tüm pik yük ihtiyaçlarında hemen hemen %45 oranında daha ucuz olmasıdır. Bu durum binalarda yalıtım durumunun enerji ekonomisine ne denli bir katkısının olduğunun da en önemli bir göstergesidir.



Şekil 4.23 Bölge ısıtma sistemi için birim enerji maliyeti ile doğalgaz birim enerji maliyeti değişimleri.

Şekil 4.23'de bölge ısıtma sistemi için birim enerji maliyeti ile doğalgaz birim enerji maliyeti değişimleri verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere bölge ısıtma sistemi ile yapılacak ısıtma her halükarda doğalgaz ile yapılacak ısıtmaya göre daha avantajlıdır.

4.6 ZONGULDAK'TA ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİ ARA BUHARI İLE BÖLGESEL ISITMANIN UYGULANMASI

Zonguldak il merkezindeki konut sayısının yaklaşık 40.000 olduğu bölüm 4.2.1'de ifade edilmişti. Ayrıca Zonguldak il merkezinde bulunan 100 m^2'lik referans bir bina için ısı kaybı hesapları, pik ısıtma yükü hesabı ve sıcak kullanım suyu ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenmişti. Referans bina için yalıtımlı bina (toplam 10 konut) olduğunda pik ısıtma yükü 35,34 kW_t, yalıtımsız bina olduğunda 63,12 kW_t; yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının ise sırasıyla 72941,44 kW_th/yıl ve 122090,80 kW_th/yıl olduğu hesaplanmıştı. . Zonguldak'ta pik ısıtma yükünün belirlenmesi için her bir binanın ısı kaybı hesapları yapılmalıdır. Ancak pratikte bunu gerçekleştirmek oldukça zordur. Bu yüzden yaklaşık hesaplar yaparak bölgenin pik yük ihtiyacını belirlemek gerekir. Bölgedeki tüm konutların yalıtımlı olduğu düşünülürse pik ısıtma yükü 141,36 MW_t, tüm konutların yalıtımsız olduğu düşünülürse 252,48 MW_t olur. (TSAD projesi kapsamında Zonguldak için 41,119 konutta toplam pik ısıtma yükü 286,6 MW_t bulunmuştur.) Bu ısıtma yüklerine ayrıca ön izolasyonlu borularda meydana gelen kayıplar da dahil edilmelidir. 141,36 MW_t'lık pik ısıtma yükünü karşılamak için DN 600, 252,48 MW_t'lık pik ısıtma yükünü karşılamak için ise DN 800 ön izolasyonlu boruları kullanmak gerekir. DN 600 ön izolasyonlu boruda pik ısı kaybı yaklaşık 1,2 MW_t, DN 800 ön izolasyonlu boruda ise pik ısı kaybı yaklaşık 1,55 MW_t'tır. (Ön izolasyonlu borularda ısı kaybı hesapları yapılırken şehrin merkezinde ısıyı ileten boruların ısı kaybı hesapları yapılmamıştı. Bu yüzden santralden çekilmesi gerek buhar miktarını belirlemede şehrin merkezinde ısı dağıtım yapan borulardaki kayıp dikkate alınmayacaktır.) Bu durumda santralden bölgesel ısıtma yapmak için tüm konutların yalıtımlı olması varsayımıyla 142,56 MW_t, tüm konutların yalıtımsız olması varsayımıyla 254,03 MW_t'lık ısı temin edebilecek buhar çekilmelidir. Bölüm 3'te anlatılan ÇATES'in kojenerasyon bir sisteme dönüştürülmesi durumunda Model D'nin seçilebilecek en iyi yer olduğu vurgulanmıştı. 254,03 MW_t'lık ısı enerjisini karşılamak için santralin her bir ünitesinden 0,4 oranında buhar çekmek yeterli olacaktır. Atık ısıyı azaltmanın temel amaç olduğu bu çalışmada ara buhar ile bölgesel ısıtma yapılması durumunda 260 MW_t ısı atık ısıdan faydalı enerjiye dönüşecektir. Dolayısıyla günlük 1555,2 ton kömüre eş ısı deniz suyuna verilmemiş olacaktır. Ekonomik açıdan bölgesel ısıtma sisteminin önemini anlamak için Bölüm

4.2.12'de birim ısı enerjisi maliyeti TL/kW_th cinsinden hesaplanmıştı. Burada temel amaç bölgesel ısıtma maliyetinin doğalgazla ısıtma maliyeti ile kıyaslanmasıydı. Santralden çekilecek buhar miktarına göre birim ısı enerjisi maliyetinin azaldığı görülmüştür. Bu değerin 0,052 TL/kW_th ile 0,06 TL/kW_th arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ancak bölgesel ısıtma ile ısıtmanın yapılması durumunda şehir merkezi boru şebekesi yatırım maliyeti dikkate alınmamıştı. TSAD projesi kapsamında yapılan çalışmalarda ısı iletim hattının maliyetinin toplam ilk yatırım maliyeti içinde yaklaşık %24'lük bir kısmı kapsadığı bilinmektedir (MMO Zonguldak, 2009). Bu bilgi doğrultusunda birim ısı enerjisi üretim maliyetine şehir içi yatırım maliyetleri, santral içi dönüşüm maliyetleri ve pompa maliyetleri de ilave edilirse sonucun 0,07 TL/kW_th ile 0,056 TL/kW_th arasında değiştiği gözlemlenmektedir (santralden çekilen ara buhar oranına göre). Doğalgaz fiyatının 0,086 TL/kW_th olduğu bilindiğine göre BIS ile ısıtma yapmanın mali açıdan doğalgaz ile ısıtma yapmaya göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sadece elektrik üretimine dayalı dizayn edilmiş buharlı güç santrallerinde termodinamik çevrim yakıt enerjisinin yaklaşık yarısı çevreye atılmak zorundadır. Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı ve giderek azalan fosil yakıt miktarları dikkate alındığında enerjinin daha verimli ve daha etkin bir biçimde kullanılması vazgeçilemez bir unsurdur. Bu yüzden santrallerden çevreye atılan atık ısının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması için mevcut sistemlerde birtakım revizyonlar yapmak iyi bir çözüm olacaktır.

Kojenersayon sistemler hem elektriğin hem de ısının tek merkezde üretildiği sistemlerdir. Bu sistemlerin verimi klasik güç üretim santrallerine göre çok daha yüksektir. Kojenerasyon sistemlerde üretilen ısı; elektrik üretimi, proses ısısı veya ısıtma gibi değişik yerlerde kullanılabilir. Sistemden sağlanan ısı eğer çok fazla ise santral çevresinde bölge ısıtması yapılabilir.

Bu tez çalışmasında Çatalağzı Termik Santrali'nin bir kojenerasyon tesise dönüştürülüp Zonguldak il merkezinde bölgesel ısıtma yöntemiyle konutların ısıtılması amaçlanmıştır. Birinci olarak Çatalağzı Termik Elektrik Santrali, dört farklı model geliştirilerek kojenerasyon bir sisteme dönüştürülmüş ve termodinamik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, türbinden çekilecek olan buharın türbin çıkışına yakın bir yerde olmasının santral verimini daha artırdığı görülmüştür. Türbinden çekilen buharın artmasına bağlı olarak da soğutma suyuna verilen ısı enerjisi miktarının giderek azaldığı tespit edilmiştir.

İkinci olarak Zonguldak il merkezinde referans bir konut seçilerek ısı kaybı hesabı yapılmış ve evlerde kullanılacak sıcak su için ısı enerjisi ihtiyacı belirlenmiştir. Toplam konut sayısına bağlı olarak bölgenin pik ısıtma yükü ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı konutların tamamının yalıtımlı ve tamamının yalıtımsız olması durumuna göre ortaya konmuştur. Böyle bir projenin uygulanması durumunda karar verici mercilere ışık tutabilmesi açısından bölgenin pik ısıtma

ihtiyacı 20 MW_t ile 260 MW_t arasında olacak şekilde bölge modellenmiştir. Isıtma yükü ihtiyacına göre ekonomik boru çapları hesaplanmış, sıcak akışkanı ısı merkezinden şehre pompalayacak pompa güçleri belirlenmiştir. Ayrıca ön izolasyonlu boru hatlarında meydana gelecek ısı kayıpları hesaplanmıştır.

Son olarak ısı üretim maliyeti TL/kW_th cinsinden hesaplanmıştır. Bunun için ilk yatırım maliyeti (boru, kazı ve birleştirici malzemeler), bakım maliyeti, santralden buhar çekilmesi durumunda santralde üretilemeyecek olan kayıp elektrik enerjisi maliyeti ve pompa işletme maliyeti dikkate alınmıştır. Sonuçlar yalıtımlı ve yalıtımsız konutlar için ayrı ayrı incelenmiş ve bir konutun yıllık ısıtma enerjisi için ödeyeceği miktar TL/konut/yıl olarak hesaplanmış, sonuçlar doğalgaz ile mukayese edilmiştir. Ayrıca bölgede ısıtılacak olan konut sayısının artmasına bağlı olarak ısı üretim maliyetinin azaldığı belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda kömür yanmalı santrallerde çevreye atılmak zorunda kalınan atık ısının bölgesel ısıtma yöntemiyle azaltılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca bölgesel ısıtma yöntemi ile konutlarda ısıtma yapmanın doğalgaz ile ısıtma yapmaya göre daha avantajlı olduğu sunulmuştur.

Bölgesel ısıtma konusunda yeteri kadar bilgiye sahip olunamayan ülkemizde bu ve benzeri çalışmaların yapılması oldukça fazla önem arz etmektedir. Ayrıca bu çalışma bölgesel ısıtma sistemlerinin ülke ekonomisi açısından önemli yatırımlar olduğunu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Ağış Ö (1998) 21. Yüzyılda Kojenerasyonun Yeri. *Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı,* İstanbul, s: 19-23.

Albayrak S (2007) Kojenerasyonun Bölgesel Isıtma Sisteminde Kullanılabilirliği ve Klasik Bölgesel Isıtma İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara, 123 s.

BaşkentGaz (2012) Doğalgaz Fiyatları, http://www.baskentdogalgaz.com.tr/, 29 Kasım 2012.

Can Ö F, Çelik N and Dağtekin İ (2009) Energetic–Exergetic-Economic Analyses Of A Cogeneration Thermic Power Plant İn Turkey. *Int Commun Heat Mass,* 36:1044–1049.

Copenhagen Energy (2012) District Heating in Copanhagen, An Energy Efficient Low Carbon, and Cost Effective Energy System. http://www.dbdh.dk, 15 Ekim 2012.

ÇATES (2012) Çatalağzı Termik Elektrik Santrali tarihçesi, http://www.catestermik.com, 5 Mayıs 2012.

Çengel Y A ve Boles M A (2008) *Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla.* Çağlayan Ofset Matbaacılık, İzmir, 946 s.

Çengel Y A ve Cimbala J M (2007) *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları,* Çağlayan A.Ş., İzmir, 938 s.

Çoban A (2011) Yatağan Termik Santralinde Bölgesel Isıtmada Santral İçi Dönüşüm Sistemlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Anabilim Dalı, Muğla, 227 s.

Çokoksen (2010) Bölge Isıtma Sistemlerinin Ekonomik Alanının Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı, İstanbul 64s.

Danfoss (2008) *The Heating Book - 8 Steps Control of Heating Systems* http://heating.danfoss.com, 22 Ağustos 2012.

Derbentli T (1998) Bölge Isıtması Ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluğu. *Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı,* İstanbul, s:60-69.

Doğa Holding (2012) Esenyurt Termik Santrali Özellikleri, www.dogaholding.com, 15 Temmuz 2012.

EES (2012) Engineering Equation Solver, http://www.fchart.com/ees/, 15 Şubat 2012.

Elele S ve Çanakçı C (2001) Bölgesel Isıtma Sistemleri Isı Merkezleri Tasarımı. *V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir, s:131-140.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Erdem H H (2010) R6.1 Termik santral atılan enerji el kitabı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, 34 s.

Erdem H H, Akkaya A V, Çetin B, Dağdaş A, Sevilgen S K, Şahin B, Teke İ, Güngör C and Ataş A (2009) Comparative Energetic And Exergetic Performance Analyses for Coal-Fired Thermal Power Plants in Turkey. *Int J Therm Sci,* 48:2179–2186.

Erdem H H, Dağdaş A, Sevilgen S K, Çetin B, Akkaya A V, Şahin B, Teke İ, Güngör C and Ataş A (2010) Thermodynamic Analysis of An Existing Coal-Fired Power Plant For District Heating/Cooling Application. *Appl Therm Eng,* 30: 181-187.

Eyriboyun M (2011) Zonguldak'ta Termik Elektrik Santrallarının Atık Isısından Yararlanma İle Bölgesel Isıtma Ve Bunun Sera Gazı Salınımı Üzerine Etkisi. *Tes Müh Der,* 123: 21-31.

Foncesa Jr J G S, Schneider P S (2006) Simulation Of A Thermal Power Plant With District Heating: Comparative Results Of 5 Different Codes. *Energy,* 31:1955–1968.

Güngör C, Kaya D ve Üresin E (2007) Termik Santrallerin Atık Isılarının Değerlendirilmesi. *Müh Mak Der*, 575:19-26.

IEA (2006) *World Energy Outlook.* International Energy Agency, France, 605 s.

Incorpera F P ve DeWitt D P (2000) *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri.* Literatür Yayıncılık, Dağıtım, Pazalama, San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 960 s.

Işık E ve İnallı M (2005) Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler. *Müh Mak Der*, 550: 22-29.

İzobor (2013) Ön İzolasyonlu Boru Özellikleri, http://www.izobor.com/tr/index2.html, 5 Mart 2013.

Karaali R ve Öztürk İ T (2007) Güç Üreten Bir Tesisin Kojenerasyon Sistemine Dönüştürülmesi. *Müh Mak Der*, 575:9-13.

Karakoç T H (2006) TSE 825'e Göre Isı Yalıtım Hesabının Yapılması. *KTH Kalorifer Tesisatı Hesabı*, Demirdöküm Teknik Yayınları, Teknik Yayın No:9, TriChrome Baskı, s: 237-247.

Kopac M and Hilalci A (2007) Effect Of Ambient Temperature On The Efficiency Of The Regenerative And Reheat Çatalağzı Power Plant İn Turkey. *Appl Therm Eng,* 27: 1377-1385.

MGM (2012) Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Zonguldak İl Merkezi En Düşük Ve En Yüksek Hava Sıcaklıkları, http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?m=ZONGULDAK, 2 Aralık 2012.

Narter F (1973) Ankara Şehrinin Bir Merkezden Isıtılmasının Teknik ve Ekonomik Etüdü, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, Proje No: MAG.ÖE.5. İstanbul, 89 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Narter F ve Öztürk İ T (1996) *Merkezi Isıtma (Şehir, Bölge ve Site Sıstması).* Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları:1 Teknik Yayıncılık Tanıtım A.Ş., İstanbul, 171 s.

Özkaymak M (2007) Bir Termik Santralde Kojenerasyon Tesisinin Ekserji Analizi. *Eng Scie Tech Int J,* Karabük, 1:61-65.

Pusat Ş (2010) Bir Bölgenin Isıtma Amaçlı Enerji Talebinin Belirlenmesi Ve Bölge Isıtma Sistemi İçin Uygunluğunun Analizi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı, İstanbul, 173 s.

Rezaie B and Rosen M A (2011) District Heating And Cooling: Review Of Technology And Potential Enhancements. *Appl Energ*, 93:2-10.

Sonne P (2006) Kozani – A Succes Story in the Distrcit Heating World. *DBDH J,* 3:1-2.

TEİAŞ (2012) Türkiye Elektrik Enerjisi Kuruluş ve Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Güç. http://www.teias.gov.tr/YukTevziRaporlari.aspx, 18 Ekim 2012.

TSAD (2006-2010) Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması. http://www.tsad.org.tr/default.aspx, 25 Şubat 2012.

TSE (2008) TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü.* Mayıs 2008, Ankara, 80 s.

ÖZGEÇMİŞ

Halil İbrahim TOPAL 1987'de Çatalzeytin'de doğdu; ilköğrenimini Karlı TOBB İlköğretim Okulunda tamamladı; Üsküdar Halide Edip Adıvar Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2005 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2009 yılında mezun olduktan sonra 1 yıl kadar özel sektörde makine mühendisi olarak çalıştı ve 2011 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak işe başladı; halen 2011 yılında girdiği BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bülent Ecevit Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü Kat:1 No:101
İncivez Merkez/ZONGULDAK

Tel : (546) 884 30 57
E-posta : h.ibrahimtopal@gmail.com