

**T.C.  
MUĞLA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ ANABİLİM DALI**

**YATAĞAN İLÇESİNDE BÖLGESEL ISITMA İÇİN GEREKLİ İLETİM ve  
DAĞITIM HATLARI FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SAVAŞ ÖZKAN**

**OCAK 2011  
MUĞLA**

**T.C.**  
**MUĞLA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ ANABİLİM DALI**

**YATAĞAN İLÇESİNDE BÖLGESEL ISITMA İÇİN GEREKLİ İLETİM ve**  
**DAĞITIM HATLARI FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Savaş ÖZKAN**

**MUĞLA 2011**

**T. C.**  
**MUĞLA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Doç. Dr. Tayfun BÜKE danışmanlığında Savaş ÖZKAN tarafından hazırlanan Yatağan İlçesinde Bölgesel Isıtma İçin Gerekli İletim ve Dağıtım Hatları Fizibilite Çalışması başlıklı tez, 04/02/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA.....İmza :

Üye : Doç. Dr. Tayfun BÜKE.....İmza :

Üye : Yard. Doç. Dr. Asude ELTEZ.....İmza :

## ÖNSÖZ

Muğla'nın Yatağan ilçesinde faaliyet gösteren Yatağan Termik Santrali, 3 x 210 MW gücündedir. Santralde ana yakıt alt ısı değeri 2100 kcal/kg olan linyit kömürü kullanılmaktadır. Bu çalışmada enerjinin verimli kullanılabilmesi için, Yatağan Termik Santralinin atık ısı potansiyelinden yararlanarak, santrale yaklaşık 5 km uzaklıktaki, 7640 konutlu Yatağan ilçesinin ısıtma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. Bu çalışma, Türkiye'deki termik santrallerin atık ısı potansiyelinden yararlanılması çalışmalarına destek olacaktır.

Tezin oluşumunda değerli zamanını ayırarak, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve çalışmalarımın sonuçlandırılmasına yardımcı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Tayfun BÜKE'ye, çalışmalarım sırasında her türlü desteği ve imkanı sağlayan Sayın YEAŞ Genel Müdürü Nuri ŞERİFOĞLU'ya ve her zaman yanımda olup desteğini esirgemeyen değerli nişanlım Sayın Nilüfer ŞİMŞEK'e çok teşekkür ederim.

Savaş ÖZKAN

MUĞLA 2011

## İÇİNDEKİLER

|                                                                    | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ .....                                                        | II              |
| İÇİNDEKİLER .....                                                  | III             |
| ÖZET .....                                                         | VI              |
| ABSTRACT .....                                                     | VII             |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                              | VIII            |
| TABLolar DİZİNİ .....                                              | X               |
| SEMBOLLER DİZİNİ .....                                             | XI              |
| KISALTMALAR DİZİNİ .....                                           | XIV             |
| 1. GİRİŞ .....                                                     | 1               |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ .....                                           | 5               |
| 2.1. Yatağan Termik Santrali Tanıtımı .....                        | 9               |
| 2.1.1. Yanma Çevrimi .....                                         | 12              |
| 2.1.1.1. Kömür .....                                               | 12              |
| 2.1.1.2. Kömür taşıma ve hazırlama sistemi .....                   | 12              |
| 2.1.1.3. Kömür bunkerleri .....                                    | 14              |
| 2.1.1.4. Değirmenler .....                                         | 14              |
| 2.1.1.5. Toz kömür yakıcılar .....                                 | 15              |
| 2.1.1.6. Akaryakıt (fuel-oil) tesisatı .....                       | 15              |
| 2.1.2. Su .....                                                    | 16              |
| 2.1.2.1. Su hazırlama üniteleri .....                              | 17              |
| 2.1.2.2. Demineralize su üretimi sistemi .....                     | 18              |
| 2.1.2.3. Su buhar çevrimine yapılan kimyasal madde dozajları ..... | 19              |
| 2.1.3. Buhar Çevrimi .....                                         | 19              |
| 2.1.3.1. Kazan ve yardımcıları .....                               | 20              |
| 2.1.3.2. Türbin ve yardımcı tesisatı .....                         | 25              |
| 2.1.4. Elektrik Üretimi ve Dağıtımı .....                          | 28              |
| 2.1.4.1. Generatör ve yardımcı tesisatı .....                      | 28              |
| 2.1.4.2. Şalt sahası .....                                         | 28              |
| 2.1.5. Atıklar .....                                               | 29              |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.5.1. Katı atıklar .....                                                       | 29 |
| 2.1.5.2. Sıvı atıklar .....                                                       | 29 |
| 2.1.5.3. Baca gazı arıtma sistemi .....                                           | 30 |
| 2.2. Bölgesel Isıtma .....                                                        | 31 |
| 2.2.1. Giriş .....                                                                | 31 |
| 2.2.2. Bölgesel Isıtmanın Tanımı .....                                            | 32 |
| 2.2.3. Kojenarasyonun Tanımı .....                                                | 34 |
| 2.2.4. Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtmanın Tarihsel Gelişimi .....                 | 36 |
| 2.2.5. Bölgesel Isıtma Yapan Santral Türleri .....                                | 38 |
| 2.2.5.1. Klasik ısı santralleri .....                                             | 38 |
| 2.2.5.2. Bileşik ısı - elektrik santralleri .....                                 | 38 |
| 2.2.5.3. Jeotermal enerjiyle bölgesel ısıtma .....                                | 38 |
| 2.2.5.4. Katı atık yakma santralleri .....                                        | 39 |
| 2.2.5.5. Nükleer enerji santralleri .....                                         | 40 |
| 2.2.6. Dünya’da ve Türkiye’de Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon<br>Örnekleri .....  | 41 |
| 2.2.6.1. Dünya’da bölgesel ısıtma sistemleri .....                                | 41 |
| 2.2.6.2. Türkiye’de bölgesel ısıtma sistemleri .....                              | 45 |
| 2.3. Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluğu .....                    | 46 |
| 2.3.1. Giriş .....                                                                | 46 |
| 2.3.2. Kojenerasyonun Bölge Isıtmada Kullanılabilirliği .....                     | 47 |
| 2.3.3. Bileşik Isı-Güç Üretimi ile Bölge Isıtmasının Ekonomik<br>Olurluluğu ..... | 50 |
| 2.3.4. Kojenerasyon ile Klasik Güç Santralinin Karşılaştırılma .....              | 52 |
| 2.4. Termik Santralin Tanımı ve Atık Isı Alma Yöntemler .....                     | 58 |
| 2.4.1. Giriş .....                                                                | 58 |
| 2.4.2. Termik Elektrik Santral Tanımı .....                                       | 59 |
| 2.4.3. Atık Isı .....                                                             | 60 |
| 2.4.4. Santrallerden Atık Isı Alma Yöntemleri .....                               | 60 |
| 2.4.4.1. Üst çevrim ısı alma yöntemleri .....                                     | 61 |
| 2.4.4.2. Alt çevrim ısı alma yöntemi .....                                        | 62 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM .....                                                       | 63 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Binaların Isıtma Yüğü İhtiyacı .....                                                                                             | 63  |
| 3.1.1. Binanın Özgöl Isı Kaybı Hesabı .....                                                                                           | 65  |
| 3.1.2. Aylık Ortalama İç Kazançlar .....                                                                                              | 67  |
| 3.1.3 Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları .....                                                                                  | 68  |
| 3.1.4. Kazanç Kullanım Faktörü .....                                                                                                  | 69  |
| 3.2. Sıcak Su Kullanım Suyu Isı Yüğü'nün Hesaplanması .....                                                                           | 71  |
| 3.3. Kullanılacak Boru Çapının Hesabı .....                                                                                           | 74  |
| 3.4. Borulardaki Isı Kaybı Hesabı .....                                                                                               | 75  |
| 3.5. Santralin Üretmesi Gereken Toplam Pik Yüğü'nün Hesaplanması .....                                                                | 78  |
| 3.6. Farklı Prototip Bina Seçimi Durumunda Pik Yüğü Değışimi .....                                                                    | 79  |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....                                                                                                          | 86  |
| 4.1. Yatağan Termik Santrali Atık Isı Alma Yöntemi .....                                                                              | 86  |
| 4.2. Yatağan İlçesini Bölgesel Isıtma Sistemi ile Isıtmak İçin Gerekli İletim,<br>Dağıtım Hatları ve Kullanılan Temel Elemanlar ..... | 88  |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                                                            | 94  |
| KAYNAKLAR .....                                                                                                                       | 95  |
| EKLER .....                                                                                                                           | 100 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                                        | 103 |

# **YATAĞAN İLÇESİNDE BÖLGESEL ISITMA İÇİN GEREKLİ İLETİM ve DAĞITIM HATLARI FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Savaş ÖZKAN**

**MUĞLA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2011**

## **ÖZET**

Bu tez çalışmasında; Yatağan Termik Santralinin atık ısı potansiyelinden yararlanarak, santrale yaklaşık 5 km uzaklıktaki, 7640 konutlu Yatağan ilçesinin ısıtma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. Bunun için konutların ısıtma ve sıcak su ihtiyaçları hesaplanmıştır. Bulunan yüke göre boru çapı hesaplanmış ve borulardaki ısı kayıpları bulunmuştur. Konutların ısıtma ve sıcak kullanım suyu yükü ve borulardaki kayıplar belirlenince, santralin üretmesi gereken toplam yük ortaya çıkmıştır.

Pik yük belirlendikten sonra santralin bu yükü karşılayıp karşılamadığı ve santralden atık ısı alma yöntemleri araştırılmıştır. Daha sonra Yatağan ilçesini bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtmak için gerekli iletim, dağıtım hatları ve kullanılan temel elemanlar belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Bölgesel Isıtma, Yatağan Termik Santrali, Atık Isı

**Sayfa adedi** : 103

**Tez yöneticisi** : Doç. Dr. Tayfun BÜKE

**FEASIBILITY STUDIES FOR TRANSMISSION and DISRIBUTION LINES  
on DISTRICT HEATING at YATAĞAN TOWN**

**(M. Sc. Thesis)**

**Savaş ÖZKAN**

**MUĞLA ÜNİVERSİTY  
INSTITUTE of SCIENCE and TECHNOLOGY**

**2011**

**ABSTRACT**

In this study; it is aimed to provide heating and hot service water to Yatağan district with 7640 dwelling, 5 km away from Yatağan Power Plant from waste heat potential. To achieve this, dwellings' heating and hot water requirements are calculated. According to this load, pipe diameter and heat losses are computed. Hereunder these computations, total load must be produced by power plant is determined.

After peak load is decided, whether Yatağan Power Plant can provide this load or not and waste heat receiving methods are researched. Then necessary transmission and distribution lines and main equipments are determined for heating Yatağan town by district heating.

**Key Words :** District Heating, Yatağan Power Plant, Waste Heat

**Page number** : 103

**Adviser** : Doç. Dr. Tayfun BÜKE

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Şekil No</u>                                                                                                                         | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 Sadece elektrik üreten santral ile elektrik ve ısı üreten santralin toplam enerji oranları bakımından karşılaştırılması ..... | 3               |
| Şekil 2.1 Yatağan Termik Santrali kuruluşundan itibaren yıllara göre enerji üretimi .....                                               | 11              |
| Şekil 2.2 Yatağan Termik Santrali 2009 yılı aylara göre enerji üretimi .....                                                            | 11              |
| Şekil 2.3 Yatağan Termik Santrali su buhar çevrimi .....                                                                                | 20              |
| Şekil 2.4 Yatağan Termik Santrali kazan resmi .....                                                                                     | 21              |
| Şekil 2.5 Yatağan Termik Santrali türbin resmi .....                                                                                    | 25              |
| Şekil 2.6 Yatağan Termik Santrali baca gazı defülirizasyon akış şeması .....                                                            | 30              |
| Şekil 2.7 (a) Yerel ısınma yapıldığında duman hemen yere çöker. (b) Bölge ısıtma sistemi uygulandığında duman geniş alana yayılır ..... | 33              |
| Şekil 2.8 Tipik bir bölgesel ısıtma sistemi .....                                                                                       | 33              |
| Şekil 2.9 Kojenerasyonun şematik görünüşü .....                                                                                         | 35              |
| Şekil 2.10 Danimarka’da, 2003’de bölgesel ısıtma yapmak üzere kurulan bir çöp yakma santrali .....                                      | 37              |
| Şekil 2.11 Finlandiya’da BIS kullanım oranı .....                                                                                       | 41              |
| Şekil 2.12 400 Adet bölge enerji sistemi .....                                                                                          | 42              |
| Şekil 2.13 Odense bölge ısıtma sistemi ve boru şebekesi .....                                                                           | 42              |
| Şekil 2.14 Horning Fjernvarme bölge ısıtma sistemi boru şebekesi .....                                                                  | 43              |
| Şekil 2.15 Kozani bölge ısıtma sistemi ve boru şebekesi .....                                                                           | 43              |
| Şekil 2.16 AB ülkelerinde bölge ısıtma sistemleri (BIS) ısı üretimi ve ülke içindeki pazar payları .....                                | 44              |
| Şekil 2.17 Karşı basınçlı buhar türbini çevrimi .....                                                                                   | 48              |
| Şekil 2.18 Ara buhar almalı yoğuşturuculu buhar türbini çevrimi .....                                                                   | 48              |
| Şekil 2.19 Gaz türbinli bileşik ısı-güç sistemi .....                                                                                   | 49              |
| Şekil 2.20 Diesel motorlu bileşik ısı-güç sistemi .....                                                                                 | 50              |
| Şekil 2.21 Yük-süre eğrisi .....                                                                                                        | 51              |
| Şekil 2.22 Kojenerasyon ve konvensiyonel elektrik üretimi .....                                                                         | 52              |

Şekil NoSayfa No

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.23 Kojenerasyon sistemi ve klasik sistemlerde elektrik ve ısı enerjisi üretiminin karşılaştırılması ..... | 53 |
| Şekil 2.24 Kojenerasyon ve diğer üretim sistemleri arasındaki ısı bilanço .....                                   | 54 |
| Şekil 2.25 Tipik yıllık yük eğrisi .....                                                                          | 56 |
| Şekil 2.26 Bir termik elektrik santralinin bileşenleri .....                                                      | 60 |
| Şekil 2.27 Termik elektrik santralinde enerji dağılımı .....                                                      | 60 |
| Şekil 3.1 Prototip bina .....                                                                                     | 64 |
| Şekil 3.2 Şebeke suyunun aylık ortalama sıcaklıkları .....                                                        | 73 |
| Şekil 3.3 Prototip bina (2 katlı 4 dairesel) .....                                                                | 79 |
| Şekil 4.1 Yatağan Termik Santrali atık ısının alınacağı deve boynu .....                                          | 86 |
| Şekil 4.2 Yatağan Termik Santrali bölgesel ısıtma için santrale eklenecek ısı değiştirici yerleri .....           | 87 |
| Şekil 4.3 Bölge ısıtma sistemi elemanları .....                                                                   | 88 |
| Şekil 4.4 İletim ve dağıtım hatlarında kullanılan temel elemanlar .....                                           | 89 |
| Şekil 4.5 Plakalı ısı değiştiricisi .....                                                                         | 89 |
| Şekil 4.6 Pompa istasyonu .....                                                                                   | 90 |
| Şekil 4.7 İletim ve dağıtım hatları ve bransman ayırıcıları .....                                                 | 91 |
| Şekil 4.8 Ön izolasyonlu boru kesiti .....                                                                        | 91 |
| Şekil 4.9 Dağıtım hattından direkt bağlı sistemlerdeki basınç yetersizliği .....                                  | 92 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

| <u>Tablo No</u>                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Tablo 2.1 Yatağan Termik Santrali genel bilgi .....                            | 10              |
| Tablo 2.2 Finlandiya bölgesel ısıtma verileri tablosu .....                    | 41              |
| Tablo 2.3 Danimarka bölgesel ısıtma verileri tablosu .....                     | 41              |
| Tablo 2.4 Horning Fjernvarme bölge ısıtma sistemi durum tablosu .....          | 43              |
| Tablo 2.5 Değişik ülkelerde bölgesel ısıtma santralleri ve güçleri .....       | 44              |
| Tablo 3.1 Prototip bina ölçüleri .....                                         | 64              |
| Tablo 3.2 Prototip binanın özgül ısı kaybı çizelgesi .....                     | 67              |
| Tablo 3.3 Yıllık ısıtma yükü ihtiyacı .....                                    | 71              |
| Tablo 3.4 Çeşitli su kullanım yerlerindeki su tüketimleri .....                | 72              |
| Tablo 3.5 Aylık sıcak kullanım suyu yükü .....                                 | 74              |
| Tablo 3.6 Santralin üretmesi gereken aylık toplam pik yük değerleri .....      | 79              |
| Tablo 3.7 Prototip bina ölçüleri (2 katlı 4 daireli) .....                     | 80              |
| Tablo 3.8 Prototip binanın (2 katlı 4 daireli) özgül ısı kaybı çizelgesi ..... | 81              |
| Tablo 3.9 3640 konutun yıllık ısıtma yükü ihtiyacı .....                       | 82              |
| Tablo 3.10 4000 konutun yıllık ısıtma yükü ihtiyacı .....                      | 83              |
| Tablo 3.11 7640 konutun toplam yıllık ısıtma yükü ihtiyacı .....               | 84              |
| Tablo 3.12 Aylık toplam pik yük değerleri ve karşılaştırılması .....           | 85              |

## SEMBOLLER DİZİNİ

|                      |                                                                                             |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\rho_{\text{hava}}$ | Havanın birim hacim kütlesi, ( $\text{kg/m}^3$ )                                            |
| $\rho_{\text{su}}$   | Suyun özkütlesi, ( $\text{kg/m}^3$ )                                                        |
| $\lambda_h$          | Isıl iletkenlik hesap değeri, ( $\text{W/m.K}$ )                                            |
| $\lambda_g$          | Toprağın ısı iletkenlik katsayısı, ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )                           |
| $\lambda_{PE}$       | Kılıfın borunun ısı iletkenlik katsayısı, ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )                    |
| $\lambda_{PUR}$      | İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı, ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )             |
| $\lambda_s$          | Borunun ısı iletkenlik katsayısı, ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )                            |
| $T_{d,ay}$           | Aylık ortalama dış hava sıcaklığı, ( $^\circ\text{C}$ )                                     |
| $T_{i,ay}$           | Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı, ( $^\circ\text{C}$ )                                     |
| $\Phi_{i,ay}$        | Aylık ortalama iç ısı kazancı, (W)                                                          |
| $\Phi_{s,ay}$        | Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, (W)                                                  |
| $\phi$               | Ön izolasyonlu paket borunun 1 metresinde meydana gelen ısı kaybı, ( $\text{W/m}$ )         |
| $\eta$               | Kazanç kullanım faktörü                                                                     |
| $a$                  | Amortisman faktörü                                                                          |
| $A$                  | Isı kaybedilen yüzey, ( $\text{m}^2$ )                                                      |
| $A_{bet}$            | Betonarmenin alanı, ( $\text{m}^2$ )                                                        |
| $A_d$                | Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı, ( $\text{m}^2$ )                           |
| $A_{ds}$             | Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı, ( $\text{m}^2$ ) |
| $A_D$                | Dış duvarın alanı, ( $\text{m}^2$ )                                                         |
| $A_i$                | i yönündeki toplam pencere alanı, ( $\text{m}^2$ )                                          |
| $A_k$                | Dış kapının alanı, ( $\text{m}^2$ )                                                         |
| $A_n$                | Bina kullanım alanı, ( $\text{m}^2$ )                                                       |
| $A_p$                | Pencerenin alanı, ( $\text{m}^2$ )                                                          |
| $A_t$                | Zemine oturan taban/döşeme alanı, ( $\text{m}^2$ )                                          |
| $A_T$                | Tavan alanı, ( $\text{m}^2$ )                                                               |
| $c$                  | Havanın özgül ısısı, ( $\text{J/kgK}$ )                                                     |

|               |                                                                                              |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| C             | Bileşik ısı-güç santralının yatırım bedeli ( para birimi )                                   |
| $C_p$         | Suyun özgül ısısı. (kJ/kg. °C)                                                               |
| D             | Boru içi çapı, (m)                                                                           |
| $d_i$         | Kılıf borunun iç çapı, (mm)                                                                  |
| $D_i$         | Borunun iç çapı, (mm)                                                                        |
| $d_o$         | Kılıf borunun dış çapı, (mm)                                                                 |
| $D_o$         | Borunun dış çapı, (mm)                                                                       |
| E             | Santralin elektrik üretim gücü ( kW )                                                        |
| fe            | Elektriğin Fiyatı, (Para Birimi, kJ)                                                         |
| fg            | Isının Fiyatı, ( Para Birimi, kJ)                                                            |
| fy            | Yakıt Fiyatı, (Para Birimi, kJ)                                                              |
| $F_w$         | Camlar için düzeltme faktörü                                                                 |
| $g_{i,ay}$    | i yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü                                |
| $g_{\perp}$   | Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü |
| H             | Binanın özgül ısı kaybı, (W/K)                                                               |
| $H_T$         | İletim ve taşınım oluyla gerçekleşen ısı kaybı, (W/K)                                        |
| $H_V$         | Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, (W/K)                                            |
| $I_{i,ay}$    | i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınlamı şiddeti, (W/m <sup>2</sup> )     |
| $KKO_{ay}$    | Kazanç / kayıp oranı                                                                         |
| $\dot{m}$     | Su debisi, (m <sup>3</sup> /s)                                                               |
| $n_h$         | Hava değişim oranı, (h <sup>-1</sup> )                                                       |
| Q             | Isı ihtiyacı, (kW)                                                                           |
| $Q_{ay}$      | Aylık ısıtma yükü ihtiyacı, (W <sub>t</sub> )                                                |
| $Q_{ay,e}$    | Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı, (kJ)                                                         |
| $Q_{sıcaksu}$ | Tüm konutların sıcak kullanım suyu yükü, (kW)                                                |
| $Q_{yıl}$     | Yıllık ısıtma yükü ihtiyacı, (W <sub>t</sub> )                                               |
| R             | Isıl geçirgenlik direnci, (m <sup>2</sup> .K/W)                                              |
| $R_g$         | Toprağın ısıl iletkenlik direnci, (m°C/W)                                                    |
| $r_{i,ay}$    | i yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü                                 |
| rj            | Bileşik ısı-güç santralının ısı verimi                                                       |

|              |                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_{PE}$     | Kılıf borunun ısı iletkenlik direnci, ( $m^{\circ}C/W$ )                                                                |
| $R_{PUR}$    | İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik direnci, ( $m^{\circ}C/W$ )                                                       |
| $R_s$        | Servis borunun ısı iletkenlik direnci, ( $m^{\circ}C/W$ )                                                               |
| $s$          | Santralin yıllık çalışma süresi ( saniye )                                                                              |
| $U$          | Ön izolasyonlu paket borunun ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^{\circ}C$ ),                                              |
| $U$          | Yapı bileşeninin ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )                                                                 |
| $U_{bet}$    | Betonarmenin ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )                                                                     |
| $U_d$        | Dış hava ile temas eden tabanın ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )                                                  |
| $U_{ds}$     | Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )              |
| $U_D$        | Dış duvarın ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )                                                                      |
| $U_k$        | Dış kapının ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )                                                                      |
| $U_p$        | Pencerenin ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )                                                                       |
| $U_t$        | Zemine oturan tabanın/döşemenin ısı iletkenlik katsayısı ( $W/m^2K$ )                                                   |
| $U_T$        | Tavanın ısı iletkenlik katsayısı, ( $W/m^2K$ )                                                                          |
| $T_f$        | Akışkan sıcaklığı, ( $^{\circ}C$ )                                                                                      |
| $T_g$        | Boruların gömüldüğü derinlikteki toprak sıcaklığı, ( $^{\circ}C$ )                                                      |
| $T_{konfor}$ | Kullanım suyu sıcaklığı, ( $^{\circ}C$ )                                                                                |
| $T_{şebeke}$ | Şebeke suyu sıcaklığı, ( $^{\circ}C$ )                                                                                  |
| $V$          | Borudaki ortalama akışkan hızı, ( $m/s$ )                                                                               |
| $V^I$        | Hacimce hava değişim debisi, ( $m^3/h$ )                                                                                |
| $V_{brüt}$   | Binanın brüt hacmi, ( $m^3$ )                                                                                           |
| $V_{konut}$  | Bir konutun sıcak su ihtiyacı, ( $m^3/s$ )                                                                              |
| $V_h$        | Havalandırılan hacim, ( $m^3$ )                                                                                         |
| $\Delta T$   | Kullanım suyu sıcaklığı ile aylık ortalama şebeke suyu sıcaklık farkı<br>( $T_{konfor} - T_{şebeke}$ ), ( $^{\circ}C$ ) |
| $\Delta T$   | Gidiş-dönüş borusu arasındaki sıcaklık farkı, ( $^{\circ}C$ )                                                           |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|            |                                                                                                                                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABD        | Amerika Birleşik Devletleri                                                                                                                                         |
| ABT        | Alçak Basınç Türbini                                                                                                                                                |
| BİS        | Bölgesel Isıtma Sistemleri                                                                                                                                          |
| CHP        | Combine Heat and Power                                                                                                                                              |
| EİO        | Elektrik Isı Oranı                                                                                                                                                  |
| EİEİ       | Elektrik İşleri Etüd İdaresi                                                                                                                                        |
| ETKB       | Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı                                                                                                                                 |
| EÜAŞ       | Elektrik Üretim Anonim Şirketi                                                                                                                                      |
| GELİ       | Güney Ege Linyit İşletmesi Müessese Müdürlüğü                                                                                                                       |
| Milyon Tep | Milyon Ton Petrol Eşdeğeri                                                                                                                                          |
| KE         | Konut Eşdeğeri                                                                                                                                                      |
| LPG        | Liquefied Petroleum Gas                                                                                                                                             |
| OBT        | Orta Basınç Türbini                                                                                                                                                 |
| OECD       | Organisation For Economic Co-operation and Development                                                                                                              |
| SEAŞ       | Soma Elektrik Üretim Ve Ticaret Anonim Şirketi                                                                                                                      |
| TEDAŞ      | Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi                                                                                                                             |
| TES        | Termik Elektrik Santrali                                                                                                                                            |
| T.K.İ.     | Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu                                                                                                                                    |
| TSAD       | Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarının Faydaya Dönüştürülme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması |
| TÜBİTAK    | Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu                                                                                                                         |
| YBT        | Yüksek Basınç Türbini                                                                                                                                               |
| YEAŞ       | Yeniköy Elektrik Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi                                                                                                                   |
| YTÜ        | Yıldız Teknik Üniversitesi                                                                                                                                          |

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın ilk zamanlarından başlayıp günümüze kadar devam eden ve yaşamın en temel ihtiyaçlarından biri olan enerji gereksinimi; sanayi ve teknolojiadaki hızlı ilerleme, hızlı nüfus artışının yanında yaşam standartlarının yükselmesi ve ekonomik sebeplerden dolayı çağımızın en önemli konusu haline gelmiştir. Ancak, artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, dünya enerji talebindeki artış, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin artan talebi karşılayabilecek ticari gelişimden henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji arz güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır (Anonim a, 2009). Birincil enerji kaynaklarının tükenmesi ve çevreye verilen zararlardan dolayı enerjinin üretim ve kullanım sırasındaki kayıpların azaltılarak enerji verimliliğini arttırmak zorunluluk halini almıştır. Üretilen enerjinin tamamından faydalanmak mümkün değildir. Fakat toplam enerjinin ne kadar fazlası faydaya dönüştürülürse, enerji de o kadar verimli kullanılmış olur.

Dünya genelinde bir değerlendirme yapıldığında, petrol rezervlerinin 41, doğal gaz rezervlerinin 60, kömür rezervlerinin de 122 yıllık ömre sahip olduğu hesaplanmaktadır. Yapılan projeksiyon çalışmaları, mevcut enerji politikalarının devamı halinde, 2030 yılında dünya enerji talebinin, ortalama yıllık % 1.5'lik artışlarla, 2007 yılına göre % 40 daha fazla olacağına işaret etmektedir (Anonim a, 2009).

Enerjiye karşı olan talebin karşılanması için geçen yüzyıldan bu yana dünyamızda üretim 100 kat, çevre kirliliği ise 50 kat artmıştır. Bu artışların ortalama % 55' i son yirmi yıl içinde olmuştur. Yine geçen yüzyıldan bu yana fosil yakıt kullanımı ve hava kirliliği 30 kat artmıştır. Bu arada, bitki ve hayvan türlerinin % 20'si yok olmuştur. Orman yüzölçümü % 25 azalmış, 480 milyon hektar toprak erozyona uğramıştır. Ozon tabakasında % 3 - % 6 arası incelme olmuştur. Nükleer reaktörler yılda 85 milyon m<sup>3</sup> radyoaktif atık üretmekte, yalnızca OECD ülkelerinde, yılda 20 milyon ton oksijen tüketici madde deniz, göl ve nehirlerle evsel ve endüstriyel atık olarak atılmaktadır. Bu olumsuzluklar enerjiyi, özellikle ısıyı yanlış

kullanmamızdan ve en önemlisi yanlış yöntemlerle üretmemizden kaynaklanmaktadır (Arısoy, 1998).

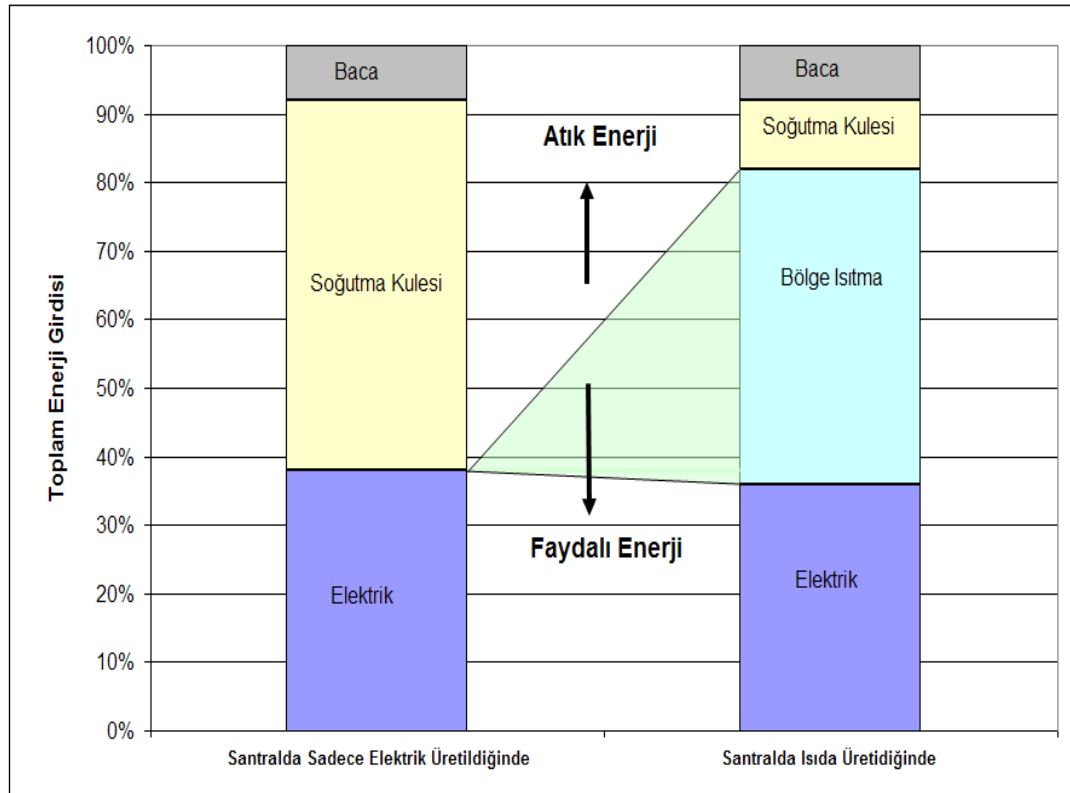
Türkiye'nin enerji politikasının temel hedefi, enerji ve doğal kaynakları; verimli, etkin, güvenli ve çevreye duyarlı şekilde değerlendirerek, ülkenin dışa bağımlılığını azaltmak ve ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamaktır. 2008 yılında 106 milyon ton petrol eşdeğerini (milyon tep) yıllık enerji arzının, 2010 yılında 126 milyon tep, 2020 yılında ise 222 milyon tep düzeyine ulaşacağı beklenmektedir. Bu değerler enerji arzının yılda yaklaşık % 6 düzeyinde artış göstereceğine işaret etmektedir. Türkiye'deki enerji arzında % 32 ile doğal gaz en büyük payı alırken, bunu % 29.9 ile petrol, % 29.5 ile kömür izlemiş, geri kalan % 8.6'lık bölüm ise hidrolik dahil olmak üzere yenilenebilir kaynaklardan karşılanmıştır (Anonim a, 2009).

Söz konusu enerji tüketiminin % 41'i konut ısınmasında, %35'i sanayide, % 20'si ise ulaşımda kullanılmaktadır. Dolayısıyla hem sanayide, hem de konut ısıtmasında gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması ile yapılacak olan enerji tasarrufu çevre kirliliğini ve dışa bağımlılığımızı azaltırken, kaynaklarımızın hızlı tükenmesini de önleyecektir. Proses atık ısının kullanılması ile % 85-90 düzeyinde enerji kullanımında toplam verime ulaşmakta ve önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlanmaktadır (Arısoy, 1998; Işık ve İnallı, 1999).

İnsanın en temel gereksinmelerinden olan ısınma ve barınma için gerekli olan ısı enerjisini sağlama ve ürün tasarımında kullanılacak elektrik ve ısı enerjisiyi üretme konularında kullandığı yöntemle Bölgesel Isıtma Sistemleri ve Kojenerasyon Teknolojisi bu açıdan günümüz teknolojileri arasında ön sıralarda yer almakta ve bir gereklilik olarak görülmektedir.

Termik santrallerde toplam enerjinin büyük bir kısmı soğutma kulesinden ve bacadan çevreye atılmaktadır. Enerji verimliliğini arttırmak için bu atık enerjiden fayda sağlanmalıdır. Elektrik üreten santrallerde yapılacak analizler sonucunda belirlenecek değişikliklerle, santrallerin ısıyı da üretmesi mümkündür. Dünyadaki ısı enerjisini kullanan güç santralleri incelendiğinde tasarımlar genellikle hem elektrik enerjisini hem de ısı enerjisini birlikte üreten yani birleşik ısı ve güç tesisleri (kojenerasyon) olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece, sadece elektrik üretimi

durumunda yakıttan faydalanma oranı % 40 civarında iken; santral ısıyı da sağladığı zaman bölgenin talebine göre yakıttan faydalanma oranı % 80 mertebelerine ulaşabilmektedir (Şekil 1.1). Bu sayede, elektrik üretiminde kullanılamayan ve atmosfere atılan ısı enerjisi yani atık ısı, kullanılabilir ürünlere çevrilerek santralin toplam verimi ve dolayısıyla kullanılan yakıttan yararlanma oranı artmaktadır (Anonim c, 2007).



Şekil 1.1 Sadece elektrik üreten santral ile elektrik ve ısı üreten santralin toplam enerji oranları bakımından karşılaştırılması

Dünyada altmış yıldan beri, Türkiye’imizde on beş yıldır uygulanmakta olan kojenerasyon sistemleri, sağladıkları yüksek verim ve kolay işletme ile bir yatırım modeli olma ayrıcalığını 21 yüzyılda da korumaktadır. Avrupa’da kojenerasyon sistemleri daha çok, kışları uzun ve soğuk geçen, Kuzey Avrupa ülkelerinde şehirlerin bir merkezde ısıtılmasıyla başlamıştır. 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 olduğunu görüyoruz. Bu gibi ülkelerde kojenerasyon ile üretilen elektrik enerjisinin toplam elektrik tüketimindeki payının % 40'lara ulaştığını görmekteyiz.

İkinci Dünya savaşının yıkımı ardından Avrupa'da başlayan yeniden yapılanma süreciyle birlikte bölgesel ısıtma sistemlerine büyük önem verilmiştir. Bu konudaki en önemli örnek; Polonya'da daha önceden yapımına başlanan sistemlerin devreye girmesiyle toplam kapasitenin 1958 yılında iki katına çıkarılmasıdır. Bugün yukarda sözü edilen ülkelerde bölgesel ısıtma; elektrik, gaz, su gibi yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Kullanılan sistemler genellikle sıcak su üreten büyük programlar şeklindedir. Almanya ve İsveç'te ısı teminin büyük bir bölümü bölgesel ısıtma ile gerçekleştirilmekte ve birçok belediye sınırları içerisindeki ısı ihtiyacını karşılamak amacı ile iyi işleyen bir bölgesel ısıtma şebekeleri bulunmaktadır. Avrupa da evi santrale yakın olan kişilerin kesinlikle bölgesel ısıtma sistemiyle ısı ihtiyaçlarını karşıladıkları görülmektedir (Pelit, 1996).

Ülkemizde üniversite kampüsleri ve resmi lojmanların tek merkezden ısıtılması dışında, diğer ülkelerde uygulandığı anlamda bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak son yıllarda toplu konut yapımının desteklenmesiyle, bölge ısıtmasına çekirdek oluşturabilecek toplu ısıtma çalışmaları yapılmaktadır. Esenkent (İstanbul) ve Balçova'da (İzmir) yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Son dönemlerde ise Yatağan Termik Santrali ve Soma Termik Santralinde Bölgesel ısıtma çalışmaları sürdürülmektedir (Anonim d, 2009).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Umran Serpen, “Jeotermal Enerjili Bölge Isıtma Sistemlerinin Fizibilitesi” adlı çalışmasında; bölge ısıtma sistemlerinin fizibilitesinin gerçekleştirilmesini sağlayan kaynak, üretim sistemi ve finans-idare ile ilgili üç ana ögenin önemi üzerinde durulduktan sonra, bunlar arasındaki ilişki anlatılmaktadır. Özellikle Türkiye’de bu tür sistemlerin fizibilitesinde, ilk ögenin tamamen ihmal edildiği vurgulanarak, bunun olumsuz sonuçları anlatılmakta ve yaratacağı tehlikelere işaret edilmektedir. Bu eksikliği tamamlayabilmek için, jeotermal projelerin ön fizibilite ve fizibilite aşamaları tanıtılmaktadır.

Finansal ve idari konularla ilgili olarak sermaye maliyetleri, nakit akışları, beklenen faiz oranları ve risk değerlendirmesi, yatırım vergi kredileri, sabit harcamalar için vergi düşümü, kaynak tükenme teşviki, devlet hakkı, yük faktörü ve ünitenin ömrü, işletme ve bakım masrafları ile çevre ve kurumsal yönetmelikler ele alınmakta ve sonuçlar verilmektedir (Serpen, 2001).

Sirer Albayrak, “Kojenerasyonun Bölgesel Isıtma Sisteminde Kullanılabilirliği ve Klasik Bölgesel Isıtma ile Karşılaştırılması” konulu tez çalışmasında; kojenerasyonun başka bir deyişle, bileşik ısı ve güç sistemlerinin termodinamik analizi yapılmış, bileşik ısı güç santrallerinde sistem seçimini etkileyen faktörler ve kojenerasyon teknolojilerinin nasıl verimli kullanılacağı kojenerasyonun bölgesel ısıtmada kullanılabilirliği ve ekonomik olurluğu araştırılmıştır.

Esenyurt kojenerasyon termik santralının gerçek işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizleri ünite ünite uygulanarak her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki toplam ekserjileri (termomekaniksel ekserji + kimyasal ekserji) ve kayıp ekserjiler belirlenmiş, yıllık elektrik– ısı üretimi ve klasik bölgesel ısıtma santrali ile yakıt maliyeti karşılaştırılması yapılmıştır (Albayrak, 2007).

Costa ve Balestieri, “Kimya Sanayinde Kojenerasyon Sistemleri” ile ilgili ortak bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarıyla doğalgazın Brezilya enerji bünyesine girmesiyle birlikte, kağıt fabrikaları ve kimyasal tesisler bu yakıtı uygun kojenerasyon şemaları yapmaya başladılar. Kimyasal firmaların enerji ihtiyaçlarının analizleri, bileşik devrelerin ya da var olan dizel motorlu sıkıştırma-soğutma

ünitelerinin ya da buhar / gaz devirli kojenerasyon sistemlerinin emmeli – soğutmalı üniteleriyle beraber kullanılabileceğinin mümkün olduğunu gösterdi.

Ekonomik çekicilik anlamında, analiz, içsel geri dönüşüm metodu esas alınarak yapıldı. Sonuçlar şunu gösterdi ki, kombine çevrim motorlarla bileşik devrelerin, sıkıştırılmalı soğutucularla bileşimi, emmeli soğutucularla gaz dönüşümlerinin bileşimi gibi, 3 yıllık mevcut geri dönüşüm periyodu ile, kojenerasyona yatırım, bu fabrikanın yatırımı olabilir (Costa ve Balestieri, 2001).

Lemar, “Temiz Bir Enerji Geleceği İçin Senaryolar” adlı bir çalışma yapmış ve bu çalışmasının içinde “Amerika Sanayisinde Kombine Isıtma ve Enerji Sistemlerinin Teşviki İçin Uygulanan Politikaların Potansiyeli” makalesini yayımlamıştır. Bu çalışmasında hala gelişmekte olan kombine ısıtma ve enerji sistemlerinin, değişik politika ve programlarının enerji kullanımını ve çevreyi nasıl etkilediğini araştırmıştır. Yaptığı incelemeler kombine ısıtma ve enerji sistemlerinin karbon emisyonunu azalttığını, enerji verimliliğini arttırdığını, Amerika endüstrisindeki kullanılabilecek yakıt çeşitliliğini arttırdığını, Amerika için çok bir masraf gerektirmediğini ve bu yüzden Amerika endüstrisinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın en büyük avantajı ekonomik açıdan daha uygun olan kombine ısıtma ve enerji sistemlerinin uygulanması konusundaki sahip olunan olumsuz düşüncelerin kaldırılmasıyla 2010’a kadar yaklaşık 26 milyon m<sup>3</sup> ton karbon emisyonunun azaltılmasıdır (Lemar, 2001).

Tang ve Mohanty, “Kojenerasyonla Endüstriyel Enerji Veriminin Geliştirilmesi-Tayland Tekstil Endüstrisi Üzerine Durum Çalışması” adlı bir makale yayımlamışlardır. Tayland hükümeti, doğal gazlı kojenerasyon sistemini araştırdığı enerji politikaları içinde bu işlem tesislerinin ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak için umut vadeden bir alternatif olarak görmüştür. Bu çalışma, yanma sonrası ısı sistemli gaz türbinli kojenerasyon kullanımına en uygun çözüm olarak görülen bir tekstil fabrikasındaki durum detaylarını göstermektedir.

Bu sistem sadece en yüksek termal randımanı vermekle kalmaz aynı zamanda faaliyetteki esnekliği de sağlayabilmektedir. En uygun kojenerasyon şeklinin finansal analizi bize şu anki net değeri sağlamakta aynı zamanda amortisman periyodu ile 310 000 000 milyon baht iç geri dönüşüm oranı, bu da yaklaşık 5.3 yılda % 26.6

oranındadır. Termal karşılama seçeneği pek çekici bulunmamıştır. Çünkü devlet elektrik şebekesine satış fiyatı ilave yatırımlar için gereken miktarı absorbe edecek kadar yüksek değildir (Tang ve Mohanty, 1996).

Luz-Silveria ve arkadaşları, bir üniversite kampüsünün kojenerasyon sisteminin termoekonomik analizini yapmışlar. Bu çalışmada termodinamiğin I. ve II. yasalarına dayanan ve bir kojenerasyon sisteminin ekipmanlarının yerine konulabilmesi için analiz etmek için uygulanan bir termo-ekonomik analiz metodu sunulmuştur. Kojenerasyon sistemi atık kazanına bağlantılı bir gaz türbininden oluşmaktadır. Kampüsün elektrik ihtiyacı 9 MW fakat kojenerasyon sistemi üniversitenin elektrik ihtiyacının yaklaşık 3'te 1'ni üretmektedir (Luz-Silveira vd., 2002).

Makine ve Mühendisler Odası “Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon” konusunda 1998 yılında İstanbul’da konusunda uzman kişilerin katılımıyla bir konferans düzenlemiştir, Bu bildiride bölge ısıtması ve kojenerasyonun, ülkemizin enerji kullanımı içindeki yeri ve önemi kısaca açıklanmış, bölge ısıtması ve bileşik ısı güç üretimi (kojenerasyon) tanıtılmış, ekonomik olurluluğun hesabı, elektrik ve ısının fiyatlandırması için yöntemler verilmiştir (Arısoy, 1998; Derbentli, 1998; Koçak ve Aksa, 1998).

Cihan Çanakçı, “Bölgesel Isıtma Sistemleri Isı Merkezleri Tasarımı” konusunda bir makale yayımlamıştır. Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısının üretildiği veya aktarıldığı ısı merkezlerinin tasarımının sistemin sağlıklı bir şekilde işletilmesinde önemli bir parametre olduğu ve seçilen sisteme bağlı olarak tüm bileşenlerin özellikleri, boyutları, yerleşimi, bakım ve işletme kolaylığı sağlayacak şekilde tasarlanması gerektiği anlatılmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemleri ısı merkezinde bulunan kazan, eşanjör, pompa gibi ekipmanlarının tasarım ve işletme kriterleri üzerinde durulmuştur (Elele ve Çanakçı, 2001).

Ahmet Sönmez, “Kojenerasyon Teknolojisi ve Bir Kombine Çevirim Santralinde Çalışma Şartlarının Belirlenmesine” konusunda bir tez çalışması yapmıştır. Kojenerasyon hakkında tanımlamalar ve bazı bilgi ve karşılaştırmalarla başlayan ilk bölümde; bileşik ısı güç tanımı, faydalı olduğu sektörler ve ısı geri kazanım şekilleri, gaz motorları ile gaz türbinleri arasındaki temel farklar, kullanılan yakıt seçeneklerinin kıyaslanmasına yer verilmiştir. İkinci bölümde kombine çevirim

santrallerinin tanıtımı, çevirim elemanlarının termodinamik ve çevirimin ekonomik analizleri yapılmıştır. Üçüncü bölümde kayıp ekserji ve kimyasal ekserji gibi kavramlar tanımlanmıştır. Bu bilgiler ışığında bir örnek çalışma ile yapılan bilgisayar programı sayesinde çalışma şartları tespit edilmiş, ikinci kanun ve tersinmezlikler bir tablo halinde sunulmuştur (Sönmez, 1998).

Ramazan Gün, “Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi ve Bir Uygulama “ adı ile bir tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada kojenerasyon sistemleri detaylı bir şekilde incelenmiş olup, Ankara’da A tipi özel bir hastanenin yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak bir kojenerasyon santralinde üretilen ısı ve elektriğin maliyet analizi yapılarak ekonomik kazanç hesaplanmıştır. Bu işletme ısıyı, ısı merkezlerinden birincil enerji kaynağı doğalgazdan, elektriği ise TEDAŞ’tan karşılamaktadır. Bu durumda her iki ikincil enerjiyle yapılan harcama ile kojenerasyon sistemi kurulmasında ısı ve elektrik enerjisinin birlikte üretimine yapılan harcamanın karşılaştırılması yapılarak yıllık olarak elde edilen net tasarruf tespit edilmiştir (Gün, 2009).

İlhan Arpacı, “Doğal Gazlı Kojenerasyon Sistemlerinde Exergy Analizi” konusunda bir tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada enerji denge denkleminin uygulandığı termal sistemin ana parçaları formüle edilmiştir. Bu formülasyon ekserji içeren ayrı görünüşlerini termal sistemin parçaları içerisinde ekserji akışı, entropi üretim akışı, kullanılabilir iş gibi ekserji oranı terimlerine ayırmıştır. Bu denkleme dayanan ekserji analiz termal sistemin termal verimini tahmin etmeye, egzoz gazlarının sıcaklığı gibi termal sistemin her parçası içindeki çözümüne izin verir (Arpacı, 2002).

Melek Bavbek, “Bölgesel Isıtma Bileşik Isı-Güç Santrali Tasarımı İle İlgili Bilgisayar Programı Geliştirme” adlı bir tez çalışması yapmıştır. Yapılan çalışmada, bölgesel ısıtma ve elektrik üretimi amacına yönelik bir Bileşik Isı Güç Santrali’nde optimum işletme koşullarının sağlanabilmesi için temel tasarım parametreleri hesaplanmış, sistem yapısının oluşturulmasına yönelik temel yaklaşımlar belirlenmiş ve ilgili bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu programlar örnek bölgesel ısıtma ısı-güç santrali tasarımında uygulanmıştır (Bavbek, 1990).

Ebru Kolay, “Kojenerasyon Sistemlerinde Atık Isı Kullanımı ve Bir Uygulama Örneği” konulu bir tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada bir

kojenerasyon termik santraline bölgesel ısıtma sisteminin nasıl uygulandığı, elektrik enerjisi üretimi, sistem parçaları ve görevleri, dizayn ve işletme felsefeleri açıklanarak, tesisin kurulması ve çalıştırılması için gerekli mühendislik ve amortisman süresi hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışma ile ülkemizde bundan sonra uygulanacak olan yeni projelere referans olma amacı güdülmektedir (Kolay, 2004).

Guarinello ve arkadaşları, “Bir Gaz Türbinli Kojenerasyon Sisteminin Termoekonomik Değerlendirmesi” adlı makalede Brezilya da yerleşik olan bir endüstri bölgesinin ısı ve elektrik ihtiyaçlarını karşılama gayesindeki projelendirilmiş bir buharlı gaz türbini kojenerasyon sistemine termoekonomik kavramları uygulamaktır. Güç santrali; termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarına dayalı olarak değerlendirilir. Exergetic maliyet teorisini kullanan bir termoekonomik analiz, elektrik ve buhar üretim maliyetlerini sırayla belirlemek için geliştirilmiştir. Elektrik güç üretiminin düzeyiyle ilişkili iki hipotetik çalışma durumu göz önüne alınmıştır (Guarinello vd., 2000).

## 2.1. Yatağan Termik Santrali Tanıtımı

Yatağan Termik Santrali, sanayide başka amaçla kullanılamayan Muğla-Yatağan linyit havzasındaki düşük kalorili kömürün değerlendirilmesi ve ulusal enerji sistemimizin ihtiyacının karşılanması maksadıyla 1975 yılında yatırım programına alınmıştır. Santral bu amaçla Yatağan ilçesine 3 kilometre uzaklıktaki 1163000 m<sup>2</sup>’ lik bir alan üzerine kurulmuştur. 3x210=630 MW kurulu güce sahiptir.

Santralin yer seçiminde aşağıda belirtilen ölçütler dikkate alınmıştır:

- Kömür yatakları ile kül ve cüruf atma sahasına yakınlığı
- Santralin ihtiyacı olan suyun bulunabilirliği ve yakınlığı,
- Elektrik tüketim merkezlerine yakınlığı,
- Depreme mukavemet bakımından fay hattında bulunmaması,
- Karayolu ulaşım kolaylığı,
- Rüzgar yönü

Yatağan yöresindeki kömür rezervleri aşağıdaki gibidir.

Turgut sektöründe : 115000000 ton

Eskihisar sektöründe : 128566000 ton

Bayır sektöründe : 109062000 ton  
 Tınaz sektöründe : 43071000 ton  
 Bağyaka sektöründe : 19556000 ton  
 TOPLAM : 415255000 ton

Santrale ait maliyetler ve devreye alınış tarihleri aşağıda verilmiş olup, santrale ait genel bilgiler Tablo 2.1’de, yıllık ve aylık enerji üretimleri sırasıyla Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilmiştir.

**Proje Maliyeti:**

1. ve 2. Ünite : 192854703.- USD  
 3. Ünite : 152192188.- USD  
 Toplam : 345046891.- USD

**Başlama tarihi:**

Proje : 20.04.1977  
 İnşaat : 01.06.1977  
 Montaj : 01.08.1978

**Ünitelerin devreye giriş tarihleri:**

1. Ünite : 20.10.1982  
 2. Ünite : 15.06.1983  
 3. Ünite : 18.12.1984

**Ünitelerin geçici kabulleri:**

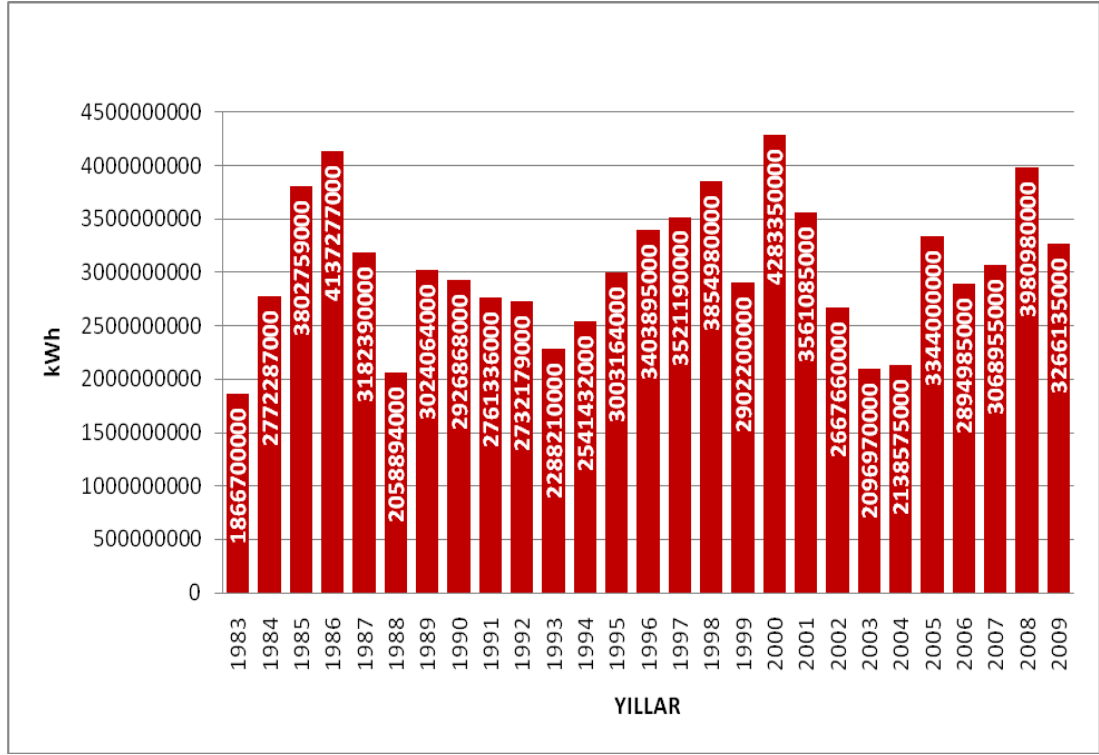
1. Ünite : 22.02.1983  
 2. Ünite : 19.10.1983  
 3. Ünite : 11.06.1985

**Ünitelerin kesin kabulleri:**

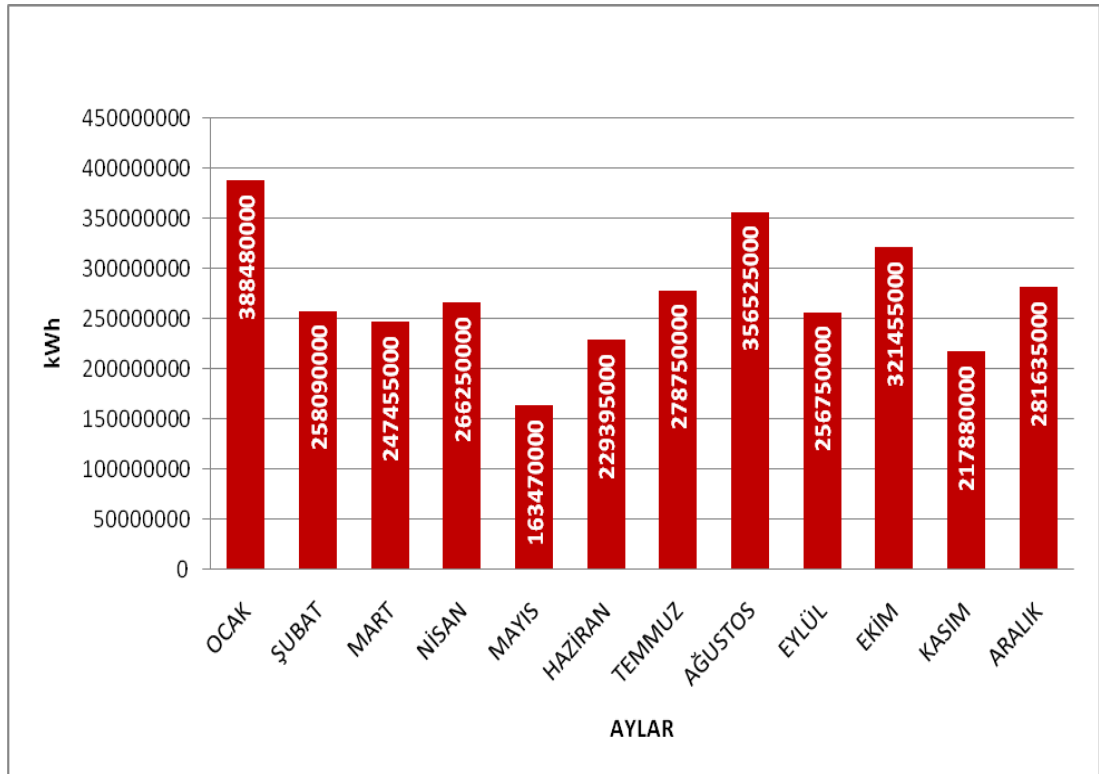
1. Ünite : 21.04.1984  
 2. Ünite : 09.11.1984  
 3. Ünite : 25.04.1986

**Tablo 2.1 Yatağan Termik Santrali genel bilgi**

|                                          |                |                                         |                |
|------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------|
| <b>Yeri</b>                              | Yatağan/Muğla  | <b>Ünite sayısı</b>                     | 3              |
| <b>Ana yakıt</b>                         | Linyit kömürü  | <b>Kurulu güç</b>                       | 630 MW         |
| <b>Yıllık üretim kapasitesi (Teorik)</b> | 5518000000 kWh | <b>Nominal yıllık üretim kapasitesi</b> | 4095000000 kWh |
| <b>Yıllık ana yakıt ihtiyacı</b>         | 6570000 Ton    | <b>Yardımcı yakıt</b>                   | Fuel-Oil       |



Şekil 2.1 Yatağan Termik Santrali kuruluşundan itibaren yıllara göre enerji üretimi



Şekil 2.2 Yatağan Termik Santrali 2009 yılı aylara göre enerji üretimi

### 2.1.1. Yanma Çevrimi

#### 2.1.1.1. Kömür

Üç ünite birden tam kapasite çalıştığında Yatağan Termik Santrali'nin bir günlük kömür ihtiyacı ortalama 18000 tondur.

Kazan dizaynında esas alınan kömür teknik değerleri aşağıdaki gibidir:

Kuru kömürde kül miktarı : % 28 ÷ 35

Nem miktarı : % 32 ÷ 40

Alt Isıl Değeri : 2100 ± % 10 kCal/kg.

Bu kömürü sağlamak üzere Yatağan bölgesinde TKİ Güney Ege Linyitleri İşletmesinin üç ocağı bulunmaktadır: Eskihisar, Tınaz ve Bağyaka. Eskihisar Ocağı santrale en yakın olandır. Santralin kuruluşundan beri kömür alınan Eskihisar Ocağı'nın kömür kalitesi de diğer ocaklara kıyasla daha yüksektir. GELİ ile yapılan sözleşmeye göre bu ocaktan alınan kömürün alt ısı değeri 2000 ± 100 kCal/kg'dır. Ocaktan çıkarılan kömür GELİ araçları ile taşınarak primer kırıcıda kırıldıktan sonra 0-200 mm. boyutlarında YEAS'a teslim edilmektedir.

Tınaz ve Bağyaka ocaklarından çıkarılan kömürün alt ısı değeri daha düşüktür. GELİ ile yapılan sözleşmeye göre kömür kalorisinin 1750 ± 100 kCal/kg sınırlarında olması gerekmektedir. Bağyaka Ocağı santrale 9 km. ve Tınaz Ocağı ise 12,5 km. uzaklıktadır. Bu uzaklıktan kömürü santrale taşıyabilmek için Tınaz Ocağı ile santral arasına yaklaşık 12,5 km. uzunluğunda Türkiye'nin en uzun konveyör bandı yapılmıştır. Konveyör bandının kapasitesi 700 ton/saattir. Konveyör bantları A ve B olmak üzere iki hattan oluşur. 1994 yılı haziran ayından beri % 100 yedekli olarak çalışmaktadır.

#### 2.1.1.2. Kömür taşıma ve hazırlama sistemi

T.K.İ'nin kırma eleme sisteminden 0-200 mm boyutunda gelen kömür yine T.K.İ'nin 1200 tonluk kapasiteli bunkerlerinde toplanır. Toplanan bu kömür bunkerin altında bulunan 2 adet helikopter çıkarıcıdan birisi ile 80 bandına verilir. 80a ve 80b bandına yüklenen kömürün içinde bulunabilecek metal ve demir

parçalarının arındırılması gayesiyle; detektörün impuls göndermesiyle çalışan ve manyetik tutucu olarak adlandırılan elektro -manyetik seperatör vardır. Yine bu bandın devamında ikinci bir emniyet olarak torbalı tutucu vardır. 80a ve 80b bantlarıyla taşınan kömür A4 kırıcı binasına sevk edilir.

0-200 mm boyutlarında YEAŞ bunkerlerine verilen kömür, A4 binasında ki kırıcılarda 0-40 mm'ye düşürülür. Kömür kırma tesisinde iki adet eleme-kırma tesisi bulunmaktadır. Kırıcı çekiçli, elekler merdaneli tiptir. Kırıcı binasından kömür 32a ve 32b bantlarına verilir.

32a ve 32b çift yönlü bantlarından 33a ve 33b bantlarına taşınır. 33a ve 33b bantlarına taşınan kömür 37a ve 37b bantlarına verilir. Kömürün 37 bantlarına verilmesi esnasında numune alıcı ile kömür numunesi alınır. Alınan bu kömür numunesi laboratuvarında değerlendirilir. 37 bantları üzerinde ayrıca T.K.İ' den alınan kömürün miktarını belirlemek maksadıyla elektronik kantar makineleri monte edilmiştir.

37 bantlarıyla A4 kırma -eleme ünitesinden alınan kömür depolama sahasına kadar 8-10-12 bantlarıyla taşınır. Kömür depolama sahasındaki park bantları ve makinelerine 8-10-12 bantlarından herhangi biriyle iletilir. Daha sonra kömür 14 bantlarına iletilir.

14 park bantları kömür park sahası boyunca uzanan ve bu sahada stoklama santrale gönderme işleminin yapıldığı bantlardır. 14b bandı 8a ve 8b bantlarından ; 14c bandı 10a ve 10 b bantlarından, 14d bandı da 12a ve 12b bantlarından yüklenirler. Ayrıca her bant üzerinde birer adet park makinesi mevcuttur. 14 b bandı üzerinde 16b park makinesi, 14c üzerinde 16c park makinesi ve 14d üzerinde 16d park makinesi vardır.

Kömür park sahasının kapasitesi 470.000 ton ve üç ünitenin günlük kömür ihtiyacı 18000 ton olduğuna göre park sahasına stoklanan kömür miktarı, santralin yaklaşık olarak bir aylık ihtiyacını karşılar durumdadır.

14b,14c,14d park sahası konveyörlerinden gelen kömür 19a ve 19b bandına yüklenir. Bu bantlar aldıkları kömürü A2 konveyör galerisine taşırlar. Yine bu bant üzerinde (A2 konveyör galerisi içinde) kömürün son olarak metalik vb. parçalardan arındırılması için manyetik tutucu mevcuttur. 19 bantlarından kömür bunkerlerine kadar yapılan kömür taşıma işlemi 23, 30 ve 27 bantlarıyla yapılmaktadır.

Bunkerlere kömür taşınması; bantların ters kilitlemeli bir sistemde çalışması sonucu sağlanır. Yani bantların biri çalışmaması halinde kendinden önceki kömürün taşındığı hat üzerindeki tüm teçhizat stop eder. Bu yüzden bunkerlere kömür taşıyan bantlar sondan başa doğru yani 27 bandından 80 bandına kadar zincirleme olarak devreye girerek yükleme yapılır.

#### **2.1.1.3. Kömür bunkerleri**

Santralde bir grup için 6 adet iri kömür bunkerleri tahsis edilmiştir. Her bir değirmenin ihtiyacı olan kömür kendisine ait olan bunkerden karşılanır. 27a ve 27b bantları ile gelen kömür bu bunkerlere dökülür. Bir bunker kapasitesi 61,6 m<sup>3</sup>’ dür. Bunker çeperlerine kömürün yapışmasını önlemek için programlı olarak çalışan hidrolik sürgüler vardır.

#### **2.1.1.4. Değirmenler**

0-40 mm iriliğinde ki kömür, bunker altından devir kontrollü çıkarıcılarla alınarak kazan çıkışından alınan 800°C sıcaklıktaki gazla karıştırılarak, öğütülüp kazana püskürtülmek üzere santralin zemin kotundaki her biri 60 t/h kapasiteli değirmenlere dökülmektedir. Her üniteye 6 adet değirmen bulunmakta olup, 1 adet değirmen yedek olarak tasarlanmıştır.

Değirmen rotorunun kanatları aynı zamanda kömürü ezmek için vuran parçalardır. Bundan dolayı bu kanatlar kalın plakalardan yapılmıştır. Kömür dönen rotor üzerine düşer, vurucu plakalarla kırılır ve daha küçük parçalara ayrılacağı kılıf kaplamaları üzerine fırlatılır. Böylece hazırlanmış kömür tozu cebri hava-baca gazı karışımı tarafına yükseltilir, değirmen çıkışındaki eleğe gönderilir. Hava-baca gazı karışım akıntısı eleğin klavuzlarında yön değiştirir ve büyük (ağır) parçalar değirmene geri gönderilirler. Öğütülmüş kömürün küçük parçaları toz kömür yakıcılarına gönderilir. Kömür öğütme kalitesi kontrollü elektteki klavuzun konumunu değiştirmekle yapılır. Kazara değirmene gelmiş son metal parçalar değirmen kılıfının alt kısmındaki özel bölmede ayrılırlar ve bakım personeli

tarafından periyodik olarak buradan alınırlar. Değirmenler sırayla yedeğe alınarak, aşınmış olan plakaları değiştirilir.

#### Değirmenin Değerleri

|                                           |             |
|-------------------------------------------|-------------|
| Tipi                                      | : S45.50    |
| Değirmen sonrasında toz karışım sıcaklığı | :160-180 °C |
| Rotor hızı                                | :490 d/dak  |
| Tahrik motoru gücü                        | :1200 kW    |
| Hızı                                      | :490 d/dak  |
| Gerilimi                                  | :6000 V     |

#### 2.1.1.5. Toz kömür yakıcılar

Değirmende öğütülen kömür tozu, kazan yanma odasının duvarı üzerine dizilmiş yakıcılarla yakılır. Yakıcıların çıkış nozul eksenini yanma odasında yere paralel olarak düşünülen düzlemdeki daireye teğettir. Her yakıcı birbirinden biraz uzakta üç bölümden meydana gelmiştir. Bölümler kazan destek yapısı üzerine bağlanmışlar ve yanma odası duvarları ile beraber kayabilir şekildedir.

#### 2.1.1.6. Akaryakıt (fuel-oil) tesisatı

Santral yağ tesisleri iki ana kısımdan oluşur.

- Fuel-oil tesisatı (dış tesisat)
- Ana B1 binasındaki ateşleme yağı tesisleri (iç tesisat)
- ❖ **Dış tesisat :** Yağ dış tesisleri şu bölümlerden oluşur.
  - Depolama tankları grubu : 2\*2000 m<sup>3</sup> (A6)
  - Tankerler için boşaltma bloğu
  - Yağ boşaltımı için pompa istasyonu (A5)
  - Yağ ve boru hatları (A5-A6)
  - Cüruf kanalı bölümünde bulunan yağ ve buhar boru hattı (A7-F5)
  - Yağ pompa istasyonu (A7)
  - Günlük yakıt tankı

Yağ tesislerinin yukarıda sıralanan bölümleri fuel-oil'in yakılmaya hazır duruma gelmesi içindir. Bu sistem yağ ile yüklü altı adet tankerin aynı anda boşaltmasını, yağın günlük yakıt tankına ve yardımcı kazan dairesi F5 ile pompa istasyonuna ve kazan dairesine basılmasını sağlar. Böylece yüksek basınçlı yağ temin edilmiş olur.

❖ **İç tesisat:** Ateşleme sistemi aşağıdaki birimlerden oluşur :

- İstasyon besleme boruları
- Yağ hazırlama istasyonu (II. Kademe pompalama yeri )
- Kazan arası yağ boruları
- 1.Kazanın yağ sistemi
- 2.Kazanın yağ sistemi

Yağ sisteminin iki kademe pompalama istasyonu vardır. Pompalama sistemi yakıcılar devre dışı iken hortumlardan yakıcıları (basınç sızdırmalı ve sirkülasyon sistemli tip) besler. Bir kazanda kazan ısı yükünün % 30'unu kapsayan 2500 kg/h nominal kapasiteli altı adet yakıcı vardır. Bu sistem kazan ateşlemeyi, yanmanın devam etmesini ve 1-2 aralığında yakıcı kapasitesinin otomatik kontrolüne bağlı olarak değişken yükte çalışmayı sağlar. Ana yağ fuel-oil'dir ve ateşleme maddesi olarak kullanılan propan-bütan gazı tüplerden alınır.

### 2.1.2. Su

Santrallerde türbinden çıkarak kondenseye gelen buhar burada soğutularak yoğunlaştırılır. Bu işlemin yapılabilmesi için çok miktarda soğutma suyuna ihtiyaç vardır. İdeal şartlarda bu soğutma suyu kondenserden geçtikten sonra dışarı atılmalı, yerine devamlı olarak taze su alınmalıdır. Bu açıklamadan da anlaşıldığı gibi, santral mümkünse büyük bir nehir, deniz ya da göl kenarında kurulmalıdır. Bu durum mümkün olmadığı zaman, santrallerde soğutma kuleleri kurulur. Kondenserden çıkan su bu kulelerde soğutulur ve tekrar soğutma suyu olarak kondensere gönderilir. Buharlaşarak kaybolan su devreye eklenir.

Santral için saf suyun elde edilmesi çeşitli basamaklarda olur. Su hazırlama sisteminin, santralin basınç ve sıcaklığına uygun olarak seçilmesi ve güvenle

çalışması iyi bir santral işletmeciliği için ilk koşuldur. Üretilen su ne kadar iyi kalitede olursa, doğabilecek problemlerin de o kadar çok önüne geçilmiş olur.

#### 2.1.2.1. Su hazırlama üniteleri

Santralde soğutma sularının kullanıldığı hatlarda kireçtaşı oluşumunu önlemek için ham suya yumuşatma işlemi uygulanır. Hatlarda oluşan kireçtaşı zamanla birikerek hatlarda çap daralmasına neden olur ve hatlardan geçen debiyi azaltır. Bunun sonucu olarak yeterli soğutma verimi alınamaz. Oluşan kireçtaşı tabakasının altında kalan boşluklarda zamanla korozyon oluşur, bu da hatların eskimesine neden olur. Ham suda ön arıtmanın uygulanmasıyla sudaki  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  sertliği giderilmiş olur. Bu sayede demineralize tesisteki katyon reçinelere gelen yük azaltılmış olur. Böylece demineralize tesisin verimi artar.

Santralin ihtiyacı olan  $1600 \text{ m}^3/\text{h}$  ham su, 5 km uzaklıktaki Dipsiz su kaynağı ile 200 m uzaklıktaki 7 kuyular pompa istasyonlarından,  $6000 \text{ m}^3$  hacimli ham su havuzuna alınır. Ham su havuzunda tortular kısmen çöker ve organik maddelerin yok edilmesi için ise klor dozajı yapılır. Ham su havuzundan  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  kapasiteli 3 adet flokulatöre pompalanan suya demir-3 klorür ve kireç sütü dozajı yapılır. Su flokulatörde kimyasal maddelerle homojen olarak karıştırılır. Demir-3 klorür suda bulunan kolloid maddeleri çökebilecek büyüklükte parçalar halinde birleştirir. Kireç sütü ise, suya geçici sertlik veren kalsiyum ve magnezyum bikarbonatları çöktürür. Demir-3 klorür ve kireç sütü ile çöktürülen tortular flokulatörün altından alınarak pompalar ile kül dağına sevk edilir. Flokulatörün üst seviyesinden savaklarla alınan su  $750 \text{ m}^3/\text{h}$  kapasiteli 4 adet kum filtresinden süzülerek  $2000 \text{ m}^3$  hacimli yumuşak (dekarbonize) su havuzunda toplanır. Yumuşak su, karbonat sertliğini gidermek için kireç sütünün fazlası ilave edildiğinden pH'si 9.0-10.5 tir. Bu pH değerinde suda geçici sertlik veren maddeler dışında kalan diğer yabancı maddeler (kalsiyum, magnezyum, demir, mangan, ve benzeri metal tuzları) soğutma sisteminde taş yapıcı özelliğe sahiptir. Bu özelliğin giderilmesi için yatak soğutma suyu pompaları çıkışına ve soğutma kulelerine sülfürik asit ile birikinti ve korozyon inhibitörü dozajı yapılır. Soğutma kulelerine yapılan klorlu su dozajı ile soğutma kulelerinde organik maddelerin yok edilmesine çalışılır. Normal şartlarda sodyum hipokloritin aktivitesi

% 10-15 civarındadır. Sodyum hipokloritin aktivitesini arttırmak için suya biyosit dozajı yapılır. Soğutma kulelerinin duvarlarında oluşabilecek yosunlanma soğutma verimini azaltacağından soğutma kulelerinde yosun oluşumu istenmez.

Soğutma suyunun geçtiği yerlerde korozyona sebep olmaması için soğutma sularının pH'si 8-8.5 civarında tutulmaya çalışılır. Bunun için soğutma sularına sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) dozajı yapılır. Ayrıca korozyon oluşumun engellemek için suya korozyon inhibitörleri ilave edilir.

Sirkülasyon halindeki soğutma suyuna zamanla suya bulanıklık veren koloidal maddeler karışır. Bu koloidal maddelerin zamanla çökerek çamur oluşumuna sebep olur ya da istenmeyen bölgelerde tabakalaşarak korozyona sebep olurlar. Bu koloidal maddelerin çökmesini önlemek için suya dispersant kimyasallar verilir. Bu kimyasallar askıdaki katı maddelerin çökmesini önleyerek bulanıklık oluşturmaya sebep olurlar. Soğutma sularının bulanıklığı belirli bir seviyeye gelindiğinde drene edilerek bulanıklığının ve iletkenliğinin düşürülmesi için arıtma tesisine gönderilir. Santralin soğutma kulelerinden kaybolan toplam soğutma suyu miktarı ortalama  $1300 m^3/h$  tir.

#### **2.1.2.2. Demineralize su üretimi sistemi**

İyon değiştirici reçinelerden geçirilerek elde edilen saf suya demineralize su denir. Bu reçineler katyon ve anyon tutucu olmak üzere iki türdür. Mix-bed kolonları ise anyon ve katyon değiştirici reçinelerin bir arada bulunduğu kolondur. Bu kolonda anyon ve katyon değiştirici reçinelerin bulunduğu kolonlardan kaçan iyonlar tutulur.

Belli bir süre sonra kirlenerek suyu arıtamaz hale gelen reçineler tekrar aktif hale getirilir. Bu işleme rejenerasyon denir. Katyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonunda % 2-4 derişiminde sülfürik asit, anyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonunda ise  $35 ^\circ C$  de % 4 derişiminde sodyum hidroksit çözeltisi kullanılır.

### 2.1.2.3. Su buhar çevrimine yapılan kimyasal madde dozajları

Demineralizasyon işlemi ile elde edilen saf suyun içindeki çözünmüş halde bulunan atmosfer gazları henüz uzaklaştırılmış değildir. Bu gazlardan oksijen, yüksek basınç ve sıcaklığında etkisi ile çevrim borularının korozyonuna neden olur. Bunu önlemek için oksijen gazının sudan uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla iki yöntem uygulanmaktadır.

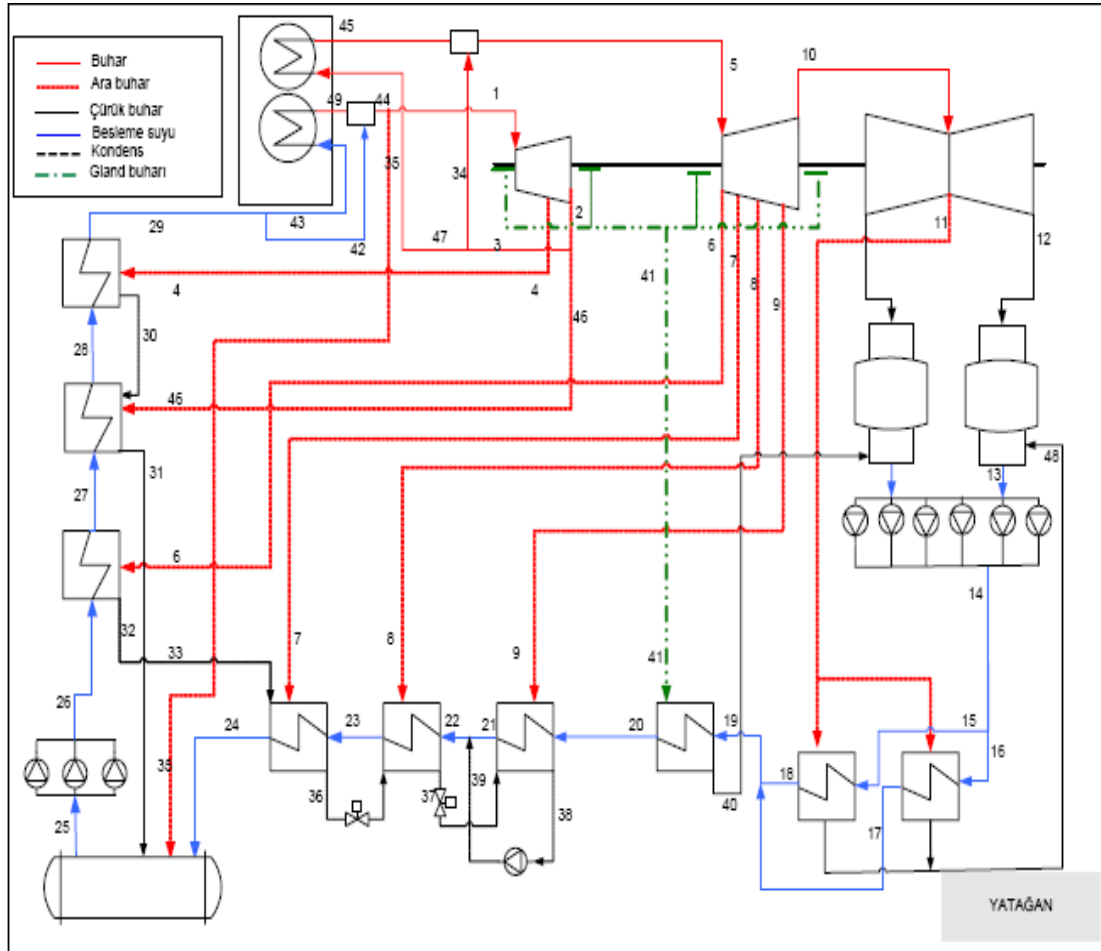
❖ **Termik yöntem :** Bu yöntem “gazların çözünürlüklerinin sıcaklıkla ters orantılı olması” ilkesine dayanmaktadır. Kazan besleme suyu tankı üzerine konan degazör bu prensiple suda çözünmüş halde bulunan gazları uzaklaştırır. Degazör ters akım esasına göre üstten su alttan buhar verilerek çalışır.

❖ **Kimyasal yöntem :** Termik olarak uzaklaştırılamayan oksijen kimyasal olarak etkisiz hale getirilir. Bu amaçla kazan besleme suyu pompaları emiş ve kondensat tahliye pompaları basış hatlarını yapılan hidrazin dozajı, sudaki oksijenle tepkime vererek su ve azota dönüşür. Azot gazının herhangi bir korozif etkisi yoktur. Hidrazin fazlası ise ayrışarak amonyak oluşturur. Meydana gelen amonyak suyun alkalitesini artırır ki bu da istenilen bir durumdur.

Kondensata dozajlanan hidrazin, vakum kaçaklarından sızan hava oksijenini gidermeye ve istenen pH'nin elde edilmesine yarar. Dom su fazına yapılan trisodyum fosfat depozit oluşturabilecek maddeleri tortu haline getirerek boru çeperlerindeki birikimi ve ayrıca, kazan ve domdaki alkaliliği sağlayarak korozyonu önler.

### 2.1.3. Buhar Çevrimi

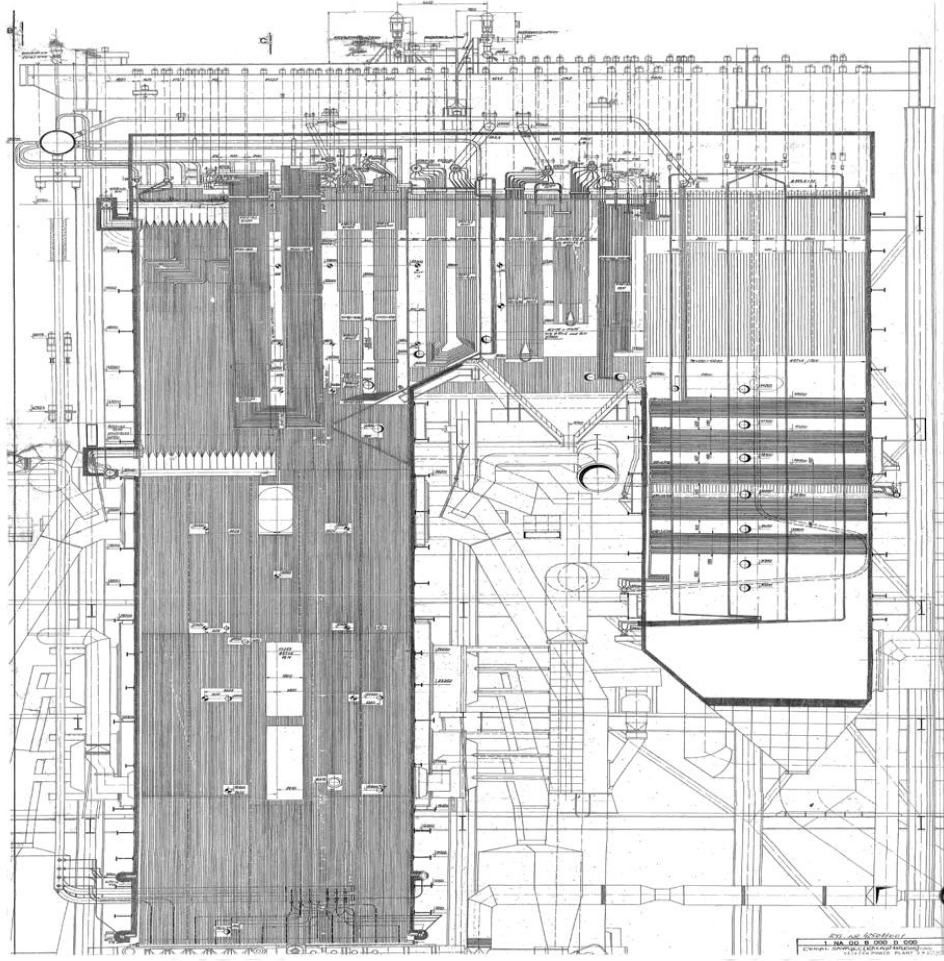
Termik santrallerde kaynaktan alınan su, santralin kazanında ısıtılarak buhara dönüştürülür. Elde edilen buhar türbine verilir. Türbinde kullanılan buhar, kondenserlerde soğutularak yoğuşturulur. Elde edilen su gerekli ilaveler yapılarak tekrar sisteme verilir. Bu şekilde devam edilen çevrime buhar çevrimi denir. Yatağan Termik Santrali'nin su-buhar çevrimi ise Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Yatağan Termik Santrali su buhar çevrimi

### 2.1.3.1. Kazan ve yardımcıları

OB.660 tipli kazan 1600 mm çapında doma sahip olup buharlaştırıcıda (ekran borular) su dolaşımı doğal sirkülasyondur. Kazan yanma odasında kahverengi kömür yakmaya uygundur. Cüruf katı durumda atılır. Kazan duvarları membran tipi kaynaklı boru duvarlardır ve bu duvarlar su veya buharla soğutulur. Bunlar sağlamlaştırıcı çerçevelerle (bandaj) takviye edilmişlerdir. Kazan basınç sistemi; ekonomizer, buharlaştırıcı, kızdırıcı, tekrar kızdırıcı, yardımcılar ve bunların bağlantı borularından oluşur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Yatağan Termik Santrali kazan resmi

Kazan, düşük nemli kömür yakmaya uygun altı adet değirmene sahiptir. Değirmenler kazan yanma odasının dış çevresine dizilmişlerdir. Kömür, değirmenlere hareketli plaka ve bant taşıyıcılar vasıtasıyla verilir. Kömür baca gazları ve hava karışımı tarafından kurutulur. Kömür tozu her bir değirmene bağlı olarak çalışan pulverize yakıcılar yoluyla yanma odasına püskürtülür.

Kazan yakıcıdan resirkülasyon akışlı ve basınçlı fuel-oil yakıcılarla ateşlenir. Elektrikli kıvılcım üniteli propan yakıcı fuel-oil'i ateşlemek için düşünülmüştür. Basınçlı kanallardan baca gazları kazan arkasında yerleştirilmiş iki adet dönerli hava ısıtıcısına götürülür. Baca gazındaki tozlar elektrofilitrelerde çökeltildikten sonra, baca gazları iki cebri çekme fanı tarafından bacaya basılır. Baca gazlarının sadece az bir kısmı, değirmenlerden sonra kömür tozunu kurutmak üzere değirmenler yoluyla yanma odasına geri gönderilir. Kazan aynı zamanda cebri çekme fanlarının basma

tarafından baca gazlarını yanma odasına geri gönderen iki adet baca gazı resirkülasyon fanına sahiptir.

Yanma odasının altında iki adet son yanma ızgarası bulunmaktadır. Son yanma ızgaralarından düşen cürufun atılması cürufu söndürmek üzere su tankı içine yerleştirilmiş plakalı taşıyıcı konveyör tarafından gerçekleştirilir.

Kömürün yanması için gerekli hava iki aksiyal taze hava fanı tarafından sağlanır. Taze hava fanı binasından veya dışarıdan alınır. Hava dönerli hava ısıtıcılarına girmeden önce ön ısı değiştiricilerde ısıtılır. Duvarların ısıl izolasyonu hafif tabaka izolasyon malzemesinden yapılmıştır. Bu tabakalar demir saç levha ile örtülmüştür. Kazanın üst kısmı açık havada çalışmaya uygun olarak yapılmıştır.

❖ **Kazanın teknik özellikleri** : Aşağıda verilen değerler yüksek basınç ısıtıcıları devredeyken kazanın maksimum sürekli buhar kapasitesinde geçerlidir.

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| Maksimum sürekli buhar kapasitesi   | 660 t/h    |
| Türbinden kazana dönen buhar debisi | 555 t/h    |
| Kazan ısıtma kapasitesi             | 460 Gcal/h |

Su ve buhar basıncı

|                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| • Eko girişinde                  | 158 kg/cm <sup>2</sup>  |
| • Domda                          | 154 kg/cm <sup>2</sup>  |
| • Taze buhar kızdırıcı çıkışında | 139 kg/cm <sup>2</sup>  |
| • Tekrar kızdırıcı girişinde     | 26,5 kg/cm <sup>2</sup> |
| • Tekrar kızdırıcı çıkışında     | 24 kg/cm <sup>2</sup>   |

Su ve buhar sıcaklığı

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| • Eko girişinde                  | 245 °C |
| • Taze buhar kızdırıcı çıkışında | 540 °C |
| • Tekrar kızdırıcı girişinde     | 315 °C |
| • Tekrar kızdırıcı çıkışında     | 540 °C |

Sıcaklık kontrol aralıkları

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| • Taze buharda               | 50-100 % |
| • Tekrar kızdırılmış buharda | 60-100 % |

Normal çalışma şartlarında buhar temizliği göstergeleri

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| • 20 C’de iletkenlik | ≤ 0,20 µS/cm |
| • Silika miktarı     | ≤ 0,02 ppm   |

- Demir miktarı  $\leq 0,02$  ppm
- Sodyum ve potasyum miktarı  $\leq 0,01$  ppm

❖ **Kazan besleme suyu pompaları** : Kazanın su ihtiyacını karşılamak için üç adet Kazan besleme suyu pompası mevcuttur. Üçüncü pompa yedek olarak tanzim edilmiştir. İki pompa, kazan beslemesinde 600 t/h'lik bir kapasite sağlamaktadır.

Pompa Verileri :

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| •Tipi                 | 15Z33*8D2            |
| •Kapasitesi           | 360 t/h              |
| •Basma yüksekliği     | 2045 m               |
| •Su sıcaklığı (emiş)  | 158 °C               |
| •Giriş (emme) basıncı | 8 kg/cm <sup>2</sup> |
| •Net emme yüksekliği  | 18,2 Mss             |
| •Hız                  | 3920 dev/dak         |
| •Pompa verimi         | % 79                 |
| •Güç                  | 2500 kW              |

❖ **Yüksek basınç ısıtıcıları** : Kazan besleme suyu pompaları, kondensatı, degazörden yüksek basınç ısıtıcılarına pompalar. Daha önce alçak basınç ısıtıcılarında ve degazörde ön ısıtma yapılan besleme suyu yüksek basınç ısıtıcılarına akar. Bu ısıtıcıların görevi, girişte 158 °C sıcaklıkta bulunan suyu 255 °C'ye kadar ısıtmaktır. Yapı olarak ısıtıcılar içindeki helezonlardan kazan besleme suyu geçer. Isıtıcılarda elde edilen vakum sayesinde türbin yüksek basınç ve orta basınç kademelerinden alınan ısıtma buharının ısıtıcılara girişi ve sirkülasyonu sağlanır. Türbin kademelerinden çekilen buharın reglajı yoktur. Isıtıcılarda ısısını vererek yoğunlaşan buhar alt kısımdaki yoğunlaşma haznesine toplanarak ikinci kondensat pompaları yardımıyla kondensere basılır. Besleme suyunun ısıtıcılarda sirkülasyonu alttan giriş ve üstten çıkış şeklinde olmaktadır. Yüksek basınç ısıtıcılarındaki yoğunlaşma suyu seviyesi işletmecilik açısından çok önemlidir. Çünkü yoğunlaşma suyu seviyesinin yükselmesi halinde türbine su yürüme ihtimali vardır. Bu nedenle elektrikli seviye kilitlemeleri konulmuştur.

❖ **Ekonomizer** : Baca gazları ile ısıtılan besleme suyu ön ısıtıcılarına ekonomizer (eko) denilmektedir. Ekonomizer, kızdırıcılardan sonra gelecek şekilde tesis edilmiş olup içinden su akan bir boru sistemidir. Yüksek basınç ısıtıcılarından

255 °C sıcaklıkta çıkan besleme suyu ekonomizer de biraz daha ısı alarak 340 °C'ye ulaşır. Ekonomizer askı ve boru demetlerinden geçtikten sonra su kazan domuna akar.

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Isı transfer yüzeyi | 13600 m <sup>2</sup> |
| Boru çapı           | 38 mm                |
| Boru et kalınlığı   | 3,6-4 mm             |
| Kollektör sayısı    | 4                    |

❖ **Dom'un yapısı :** Dom, su ile buharın ayrıştığı bölümdür. Su, ekonomizer çıkışında iki koldan doma girer. Su, kazan ekran borularına, buradan da kazana geçerek buharlaştırılır ve tekrar buhar olarak doma döner. Ekran boruları ile dom arasındaki bu sirkülasyon doğal bir sirkülasyondur. Böylece dom içindeki su fazının buhar fazına dönüşümü ve dom içerisinde buhar elde edilme işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Teknik Özellikleri :

|                |                        |
|----------------|------------------------|
| Basınç (max)   | 172 kg/cm <sup>2</sup> |
| Sıcaklık       | 342 °C                 |
| İç çapı        | 1600 mm                |
| Et kalınlığı   | 100 mm                 |
| Boyu           | 14400 mm               |
| Seperatör tipi | vidalı, siklon         |
| Emniyet valfi  | 2 adet (havalı, yaylı) |

❖ **Taze buhar kızdırıcıları :** Buhar çevriminde, başlangıç basıncı artırılıp kondense basıncı sabit tutulursa entalpi düşüş miktarı artar. Ancak, basınç arttırılırken aynı anda sıcaklık da arttırılmazsa ıslak buhar bölgesine girilmiş olur. Termik ve mekanik nedenlerle türbin çıkışındaki buhar ıslaklığı % 10'dan büyük olmamalıdır. Aksi halde su damlacıkları türbin kanatlarında erezyona sebep olur.

Buharın ıslaklık derecesi, buhar basıncı arttırılması ile gerekli limitlerin altında tutulabilirse büyük harcamalar gerektirir. Bu sebeple türbin tek bir gövde yerine yüksek, orta ve alçak basınç gövdelerinden meydana gelmiştir. Taze buhar önce yüksek basınç basamaklarından geçerek sınır eğrisi yakınlarına kadar genişir. Daha sonra türbinden çıkan buhar, ara kızdırıcıda izobarik olarak yeniden ve başlangıç sıcaklığına kadar kızdırılır. Devam eden buhar, türbinin orta ve alçak

basınç basamaklarından geçerek kondense basıncına kadar genişir. Bu yolla buharın ıslaklık derecesi istenen limitler içinde tutulmuş olup, ısı düşüş miktarı arttırılmış olur.

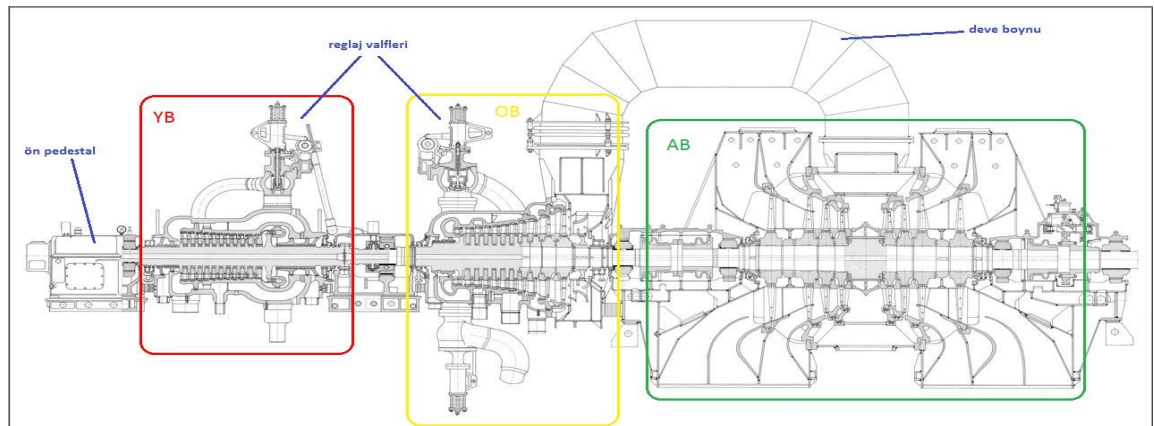
Domdan çıkan buharla birlikte suyun da kızdırıcılara sürüklenmesini önlemek için buhar çıkış hızının 3 m/sn'den fazla olmaması gerekir. Bu sebeple doymuş buhar, domun üst tarafından ve çok miktarda alınarak kollektörde toplanıp kızdırıcılara gönderilir. Domda elde edilen buhar ancak kazandaki kızdırıcılardan geçirilerek sıcaklığı yükseltildikten sonra kazanda kullanılabilir. Çünkü türbin girişinde buhar sıcaklığının 540 °C olması gerekir. Bu arada kızdırıcı kademeleri arasına yerleştirilmiş olan soğutucular buhar sıcaklığını kontrol etme imkanı sağlar.

Kızgın buhar özellikleri :

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| Miktarı   | 660 t/h                |
| Basıncı   | 139 kg/cm <sup>2</sup> |
| Sıcaklığı | 540 °C                 |

### 2.1.3.2. Türbin ve yardımcı tesisatı

Buhar türbinleri, yüksek basınç altındaki buharın sahip olduğu termal enerjiyi, mekanik enerjiye çevirmeye yarayan sistemlerdir. Bu işlem farklı tiplerdeki türbinlerle gerçekleştirilebilir. Yatağan Termik Santrali'nde, aksenal akışlı ve aksiyon tipi türbinler kullanılmaktadır. Yatağan Termik Santrali'nin türbininin resmi Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5 Yatağan Termik Santrali türbin resmi

Bu türbinler, Yüksek Basınç Türbini (YBT), Orta Basınç Türbini (OBT) ve Alçak Basınç Türbini (ABT) olmak üzere üç kademeden oluşmaktadır. Bu kademelerin rotorları birbirlerine kaplinlerle bağlanmıştır. Buhardaki enerjinin en verimli şekilde kinetik enerjiye çevrilebilmesi için, YBT rotoru üzerinde 12, OBT rotoru üzerinde 11, ABT rotoru üzerinde ise 8 sıra kanat bulunmaktadır. Buharın YB ve OB türbinlerine kontrollü girişini sağlamak amacıyla her bir türbinde dörder adet reglaj valfi mevcuttur.

❖ **Buhar akışı :** Kazandan gelen 535°C ve 130 bar basınçtaki taze buhar emniyet amacıyla kullanılan YB Ani stop valflerinden geçtikten sonra reglaj valfleri üzerinden YB türbinine girer. İlk yönlendirici (sabit) kanatlardan geçen buhar rotor üzerindeki birinci sıra hareketli kanada çarparak rotoru döndürmeye başlar. Buhar, her defasında sırasıyla sabit ve hareketli kanatlardan geçerek toplamda 12 kademe hareketli kanat üzerinden enerjisini rotora kinetik enerji olarak aktarır ve YB türbinini 313°C ve 26,5 bar basınçta terk eder. YB türbininden çıkan buhar kazanın “tekrar kızdırıcı” bölümüne gider.

Tekrar kızdırıcılardan 535°C ve 22 bar basınçta çıkan buhar OB Ani stop valflerinden geçtikten sonra reglaj valfleri üzerinden OB türbinine girer. Buhar OB türbininde de YB türbininde olduğu gibi hareketli kanatlar üzerinden akarak enerjisini rotora aktararak OB türbinini terk eder. OB türbininden çıkan buhar ise herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın deve boynu adı verilen borular vasıtasıyla AB türbinine aktarılır. Buhar, YB ve OB türbinlerinin aksine AB türbinine ortadan girerek sağa ve sola ayrılır. Her iki tarafta dörder kademe üzerinden geçen buhar AB türbininin alt tarafından kondensere dökülür. Kondensere dökülen buhar soğutma suyu ile yoğuşturulur ve kondense tahliye pompaları ile kazan besleme tankına basılır.

Buhar yukarıda anlatıldığı şekilde, türbin kademelerine sırasıyla girerek türbin rotorunu 3000 d/d hızla çevirir. Birbirlerine kaplinlerle bağlı olan türbin rotorları üçüncü bir kaplinle de generatör rotoruna bağlıdır. Bu şekilde türbinde elde edilen hareket generatöre iletilir ve generatörde elektrik üretimi gerçekleşir.

❖ **Türbinin kontrolü :** Türbinin acil durumlarda devreden çıkarılması ve uygun koşullarda işletilmesi otomatik kontrol ve emniyet sistemleri sayesinde gerçekleştirilir. Bu sistemler hidrolik sistemlerdir ve Ana Yağ Pompasının bastığı

yağ ile çalışırlar. Ana Yağ Pompası türbin önünde bulunan ön pedestal içerisinde ve hareketini türbin rotorundan almaktadır.

Türbinin acil bir durumda devreden çıkarılması, YB ve OB türbinlerine giren buharın ani olarak kesilmesini sağlayan ve hidrolik olarak kumanda edilen anistop valfleri ile sağlanır.

Türbinin devreye alınması veya yüksüz çalışması durumlarında hız ayarı ve generatör elektrik üretirken yük alma veya yük atma işlemleri türbine giren buharın debisiyle ayarlanır. Türbine giren buharın debisi ise YB ve OB türbini reglaj valfleri ile sağlanır. Reglaj valflerinin konumları hidrolik servomotorlar ile ayarlanır. YB ve OB türbinlerinin reglaj valfi servomotorları birbirinden ayrıdır.

❖ **YB – AB ısıtma ve yoğuşum sistemi** : Buharın kondenserde yoğuşması sonucu oluşan kondensat “kondense tahliye pompaları” ile kazan besleme tankına basılır. Kazan besleme tankındaki su ise kazana “kazan besleme pompaları” aracılığıyla basılır. Her iki hat üzerinde de kondensatın ısıtılmasında kullanılan ısıtıcılar bulunmaktadır. Kondenserle kazan besleme tankı arasındaki hatta bulunan ısıtıcılara “AB Isıtıcıları”, kazan besleme tankı ile kazan arasındaki hatta bulunanlara ise “YB Isıtıcıları” denir. AB ve YB ısıtma hatlarının her ikisinde de üçer adet ısıtıcı bulunmaktadır. Bu ısıtıcılar kondensatı, YB ve OB türbinlerinin ara kademelerinden alınan ara buharla ısıtırlar.

Türbin performans değerleri :

|                                               |                 |
|-----------------------------------------------|-----------------|
| ➤ Türbin tipi                                 | : 13 K 215      |
| ➤ Türbin verimi                               | : % 42          |
| ➤ Nominal güç                                 | : 210MW         |
| ➤ Maksimum                                    | : 215 MW        |
| ➤ Dönüş Hızı                                  | : 3000 devir/dk |
| ➤ Yüksek basınç türbini giriş buhar basıncı   | : 130 atm       |
| ➤ Yüksek basınç türbini giriş buhar sıcaklığı | : 535 °C        |
| ➤ Orta basınç türbini giriş buhar basıncı     | : 22,8 atm      |
| ➤ Orta basınç türbini giriş buhar sıcaklığı   | : 535 °C        |
| ➤ Alçak basınç türbini eksoz buhar basıncı    | : 0,06 atm      |
| ➤ Alçak basınç türbini eksoz buhar sic.       | : 55 °C         |
| ➤ Soğutma suyu sıcaklığı (kondenser girişi)   | : 27 °C         |

- Soğutma suyu sıcaklığı (kondenser çıkışı) : 34,1 °C

#### 2.1.4. Elektrik Üretimi ve Dağıtımı

##### 2.1.4.1. Generatör ve yardımcı tesisatı

Yatağan Termik Santrali'nde kullanılan generatör; senkron, üç faz iki kutuplu olup su ve hidrojen soğutmalı, gaz sızdırmaz dizayna sahip TKW215-2 tipindedir. Generatör rotoru alçak basınç türbini rotoruna bağlı bulunmaktadır. Generatör stator, ve rotor sargıları ile stator aktif demirinin doğrudan soğutulması esasına göre yapılmıştır. Stator sargıları distile su ile, stator aktif demiri ve rotor sargıları ise sızdırmazlığı sağlanmış olan stator içine doldurulan hidrojenle soğutulur. Isınan distile su generatör dışında bulunan soğutucularda soğutulmaktadır. Isınan hidrojen ise stator gövdesine yerleştirilmiş olan soğutucularla soğutulur.

Generatör Teknik Özellikleri

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| • Tipi            | TKW-215-2                  |
| • Görünen güç     | 247 MW                     |
| • Aktif güç       | 210 MW                     |
| • Stator gerilimi | 15750 V $\pm$ % 5, 3 fazlı |
| • Frekans         | 50 Hz                      |
| • Stator akımı    | 9056 A                     |
| • Hız             | 3000 dev/dak               |
| • Verim           | % 98.60                    |

##### 2.1.4.2. Şalt sahası

Şalt sahaları genel olarak; ayırıcılar, kesiciler, baralar, transformatörler ve yardımcı teçhizatların bir araya toplandığı, enerjiyi toplamaya ve dağıtmaya yarayan tesislerdir. Şalt sahasında üç gerilim seviyesi mevcuttur: 380 kV, 154 kV ve 31,5 kV. Generatörde üretilen 15,75 kV gerilimli enerji her ünite çıkışında bulunan 253 MVA gücündeki ana trafolar ile 380 kV'a yükseltilerek şalt sahasına verilir. 380 kV şalt sistemi ikisi ana bara ve biri by-pass olmak üzere 3 paralel baradan oluşur ve 5 ayrı hat üzerinden enterkonekte şebekeye bağlanır: İzmir Işıklar I, Işıklar II, Denizli,

Yeniköy ve Kemerköy. Ayrıca 3 Adet 150 MVA gücündeki kuplaj trafoları ile 380 kV'tan 154 kV'a düşürülen gerilim ile çift baralı 154 kV şalt sistemi oluşturulur. 154 kV üzerinden Yatağan yakınındaki şu il ve ilçelerle bağlantı vardır: Muğla, Aydın, Denizli, Marmaris, Milas, Yeniköy ve Germencik. 154 kV çıkışında yer alan 70 MVA gücünde bir trafo ile oluşturulan 31,5 kV baradan Yatağan çevresindeki ilçe ve köyler beslenmektedir.

### **2.1.5. Atıklar**

Santralimizin üretimi sonucu oluşan atıkları üç ana başlıkta toplamak mümkündür.

#### **2.1.5.1. Katı atıklar**

Santralde kömürün kazanda yakılması sonucu ortaya çıkan kül, % 99.2 verimle çalışan elektrofilitreler yardımıyla tutularak bacalardan kül çıkışı hemen hemen tümüyle önlenmektedir. Elektrofilitrede tutulan kül basınçlı hava yardımıyla kül silolarına pompalanır. Silolara gelen kül karıştırıcıya (pug mill) gönderilir. Buradaki karıştırıcıda kül, alçı taşı çamuru (Baca gazı arıtma servisinde çıkan) ve su ile karıştırılarak, yine bantlı konveyörlerle kül barajına taşınarak, sevk edilir.

#### **2.1.5.2. Sıvı atıklar**

Santralde gerekli olan yumuşak suyun üretildiği Su Ön Arıtma Sisteminde atık olarak çıkan kireçli su karışımı pompalarla doğrudan kül stok sahasına basılması ve külün sulu olarak atılmasında değerlendirilmesi sağlandırılmıştır. Bu şekilde bir çevre sorunu teşkil eden kireçli su izole edildiği gibi bir başka ihtiyacı da karşılaması mümkün olmuştur. Ancak miktar olarak kireçli su karışımı ünitelerden çıkan külün tümünün atılmasına yeterli olmadığı için, kül dağının su ihtiyacını karşılamak amacıyla santral sahası içinde bulunan çeşitli kaynaklardan çıkan veya kaçaklardan oluşan yaklaşık 400 m<sup>3</sup>/saat debideki suyun santral dışına boşuna çıkıp gitmesini önlemek için bir yer altı boru hattı çekilmiştir. Bu şekilde elde edilen su, daha önce

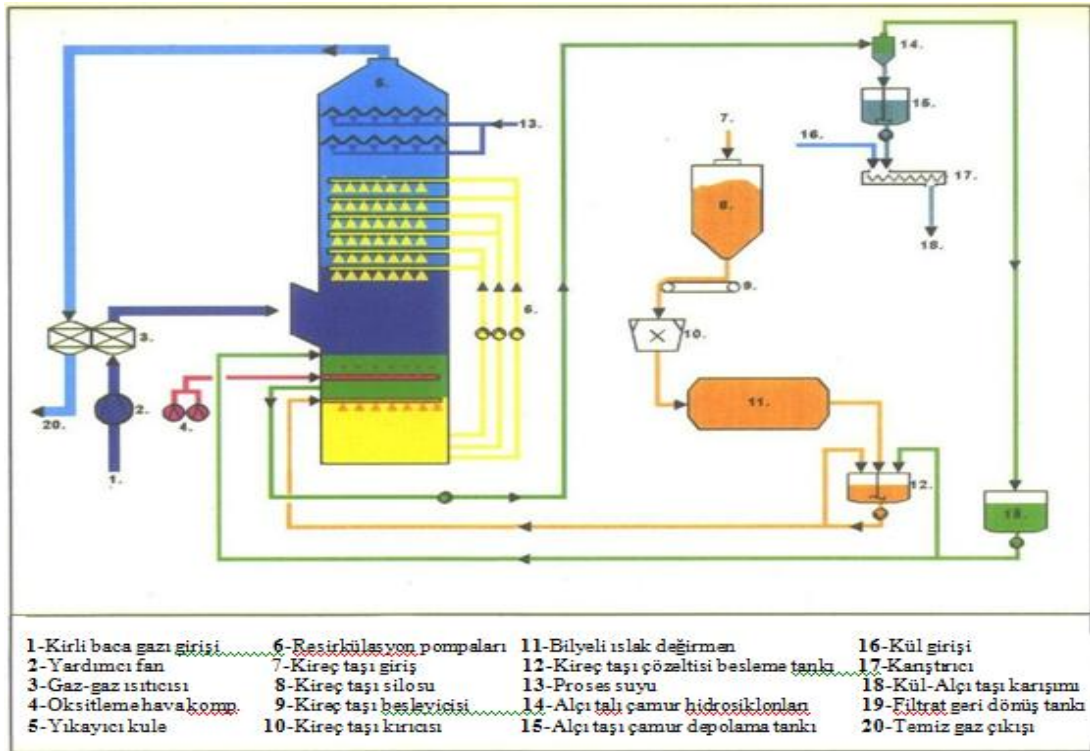
kireçli su dinlendirme havuzu olarak kullanılan büyük havuzlarda toplanarak ve dinlendirilerek başka bir havuza alınmaktadır. Bu yeni havuzdan pompa emişiyle alınan su ise hem kül stok sahasında külün sulu sistem ile atılmasında değerlendirilmektedir.

Santralden kaynaklanan bir diğer sıvı atık ise yaklaşık 691 kişinin çalıştığı işyerinin oluşturduğu evsel nitelikli atıklardır. Bu evsel nitelikli atıklar 1991 yılı ortalarından itibaren devreye alınan Biyolojik Arıtma Tesisinde arıtılmaktadır.

### 2.1.5.3. Baca gazı arıtma sistemi

3x210 MW gücündeki Yatağan Termik Santrali'nin Baca Gazı Desülfürizasyon Tesisi, 16.09.1994 tarihinde imzalanan sözleşme ile BISCHOFF-GÜRIŞ Konsorsiyomu tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.6'da Yatağan Termik Santrali baca gazı defülfirizasyon akış şeması verilmiştir.

FGD'nin görevi  $SO_2$ ,  $SO_3$ , toz ve ağır metaller gibi kirleticilerin giderilmesidir.

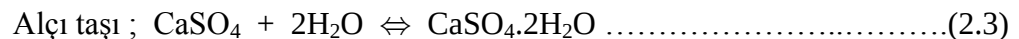
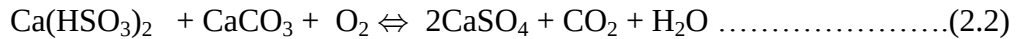
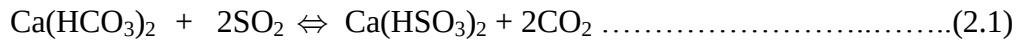


Şekil 2.6 Yatağan Termik Santrali baca gazı defülfirizasyon akış şeması

❖ **Baca gazı yıkama sistemi :** Kireç taşı, bantlar vasıtası ile kapalı stok sahasına depolanır. Tepeler halinde depolanan kireç taşı, taş serme makinesi (reclaimer) ile sahaya serilir. Sahadan alınan kireç taşı reclaimer rayları boyunca uzanan bantlar ile değirmen binasına aktarılır. Değirmen binasına alınan 60 mm boyutundaki kireç taşı öncelikle kırıcılardan geçirilerek 20 mm'ye düşürülür. Daha sonra bilyeli değirmene alınır ve su ile karıştırılarak değirmen çıkış (mill outlet) tankına alınır ve yoğunluğu ayarlanarak kireç sütü oluşturulur.

Değirmen binasında hazırlanan kireç sütü, absorbent (kireç sütü besleme) tankına alınır. Absorbent besleme hatları ile yıkayıcı kuleye (scrubber) gönderilir.

Scrubber , kireç sütü ile baca gazının yıkandığı ve gazın kükürtdioksitlerden arındırıldığı yerdir. Santralin mevcut elektrofiltrelerden geçen baca gazı , booster fan ve gaz-gaz ısıtıcısından geçerek kireç sütü ile reaksiyona girdiği scrubbera gelir. Scrubberda ; baca gazı aşağıdan yukarıya doğru hareket ederken , yukarıdan dökülen kireç sütü ile karşılaşır. Baca gazındaki SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> resirküle edilen kireç sütü ile reaksiyona girerek CaSO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> sağlanır. Scrubberın oksidasyon bölgesinde sülfidler % 99 oranında oksitlenerek sülfata çevrilir ve son ürün olarak alçı taşı (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) elde edilir.



Kükürtoksitlerden min. % 95 oranında temizlenen baca gazı scrubberı terketmeden önce scrubberın üst kısmında yer alan damla tutuculardan geçerek beraberinde sürüklediği suyu bırakır ve doymuş halde gaz-gaz ısıtıcısına gelir. Burada minimum 91°C'ye kadar ısıtılarak mevcut bacadan atmosfere atılır.

## 2.2. Bölgesel Isıtma

### 2.2.1. Giriş

Enerji hayatımızın vazgeçilmez bir unsurudur ve enerji kaynaklarımızı ne kadar verimli olarak kullanırsak sürdürülebilir gelişmeyi o kadar iyi sağlamış oluruz.

Kullanılan enerjinin bir kısmı kayıp olacağı muhakkaktır. Fakat toplam enerjinin ne kadar fazlası faydaya dönüştürülürse, enerji de o kadar verimli bir şekilde kullanılmış olur.

Termik santrallere bakıldığında, toplam enerji girdisinin büyük bir kısmı soğutma kulesinden ve bacadan çevreye atılmaktadır. Termik santrallerdeki enerji verimliliğini arttırmak için bu atık enerjinin faydaya dönüştürülmesi gerekmektedir. Böylece gelecekteki kuşakların enerji ihtiyaçlarını tehlikeye atmamış oluruz. Bu kapsamda, enerjinin türü ne olursa olsun mutlaka en verimli şekilde bu enerjiden faydalanılmalıdır. Sonuç olarak servislerde olduğu gibi ısının da merkezi bir yapıda üretilip, dağıtımının yapılabileceği fikri kendini göstermiştir

Bölge ısıtma sayesinde, binalarda merkezi ısıtma kazanlarının olmasına gerek kalmaz. Isı kazanının tek bir yerde olduğu ısıtma sistemlerinin, bireysel ısıtmacılığa göre daha verimli olmasının yanında; santrallerin atık ısılarının kullanılıyor olması, bölge enerji sistemlerini daha verimli kılmaktadır. Ayrıca, ısı üretiminin bina dışında yapılması, olası duman zehirlenmelerinin önüne geçmesinin yanında, verimli yanma sayesinde atmosfere salınan sera gazlarında önemli ölçüde azalma sağlamaktadır (Anonim b, 2007).

### **2.2.2. Bölgesel Isıtmanın Tanımı**

Bölge ısıtması, bir yerleşim biriminin bir veya birkaç merkezde kurulan santrallerle ısıtılmasıdır. Yerleşim birimi, bir site olabileceği gibi, bir mahalle veya bir kent de olabilir. Bazı uygulamalarda ısı santralleri sıcak su veya buhar üreten kazanlardan oluşur. Başka bir deyişle santralde sadece ısı üretilir. Bazı santrallerde ise ısı ve elektrik birlikte üretilir. Bu tür santrallerde buhar türbini, gaz türbini veya diesel (gaz) motoru kuruludur. İkinci uygulama bileşik ısı-güç üretimi veya kojenerasyon olarak da bilinir (Derbentli, 1998).

Bölge ısıtmasının, 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 ısıtmasının en büyük dezavantajı ise ilk yatırım maliyetinin

yüksek olmasıdır. Ancak planlı ve düzenli yerleşim bölgeleri ile maliyeti azaltmak olanaklıdır.

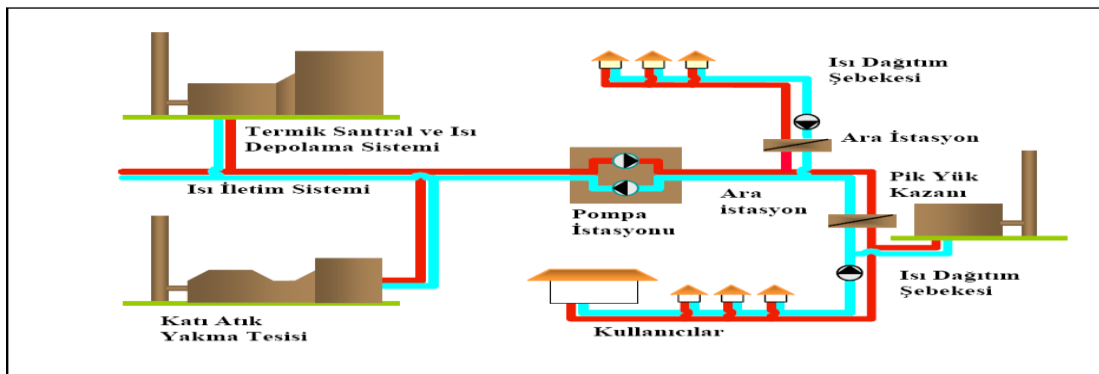
Bölgesel ısıtmanın faydaları genel olarak şöyle sıralanabilir:

- Kömür ile konut ısıtmada lokal hava kirliliği oluşmaktadır. Bölge ısıtma sistemi, yerleşim yerlerinde solunan havanın kalitesini arttırmaktadır.
- Yakıtın tek merkezde yakılması, emisyonu kontrol imkanı sağlar.
- Santral bacalarının oldukça yüksek olması, bacalardan çıkan gazların yerleşim birimine çökmeden havayla karışmasını sağlayarak lokal hava kirliliğinin önler (Şekil 2.7).
- Dünya çapında yıllık 22700 Mton olan CO<sub>2</sub> emisyonu dünya çapında bölgesel ısıtma uygulaması ile yıllık 700-900 Mton azaltılabilir.



Sekil 2.7 (a) Yerel ısınma yapıldığında duman hemen yere çöker. (b) Bölge ısıtma sistemi uygulandığında duman geniş alana yayılır (Anonim d, 2009)

Bir bölge ısıtma sistemi, ısı üretim merkezi, dağıtım şebekesi ve kullanıcı bağlantılarından oluşur. Tipik bir bölgesel ısıtma sistemi Şekil 2.8’ de verilmiştir.



Şekil 2.8 Tipik bir bölgesel ısıtma sistemi (Anonim b, 2007)

Isı üretim merkezi, kazanlardan oluşan bir ısı santrali olabileceği gibi, bir bileşik ısı-güç santrali de olabilir. Santralde, ısının dağıtımı için aracı akışkan işlevini gören sıcak su veya buhar üretilir. Günümüzde aracı akışkan olarak 40 sıcak su kullanımı çok daha yaygındır. Santralde ayrıca aracı akışkanı şebekede dolaşımını sağlayan pompalar bulunur.

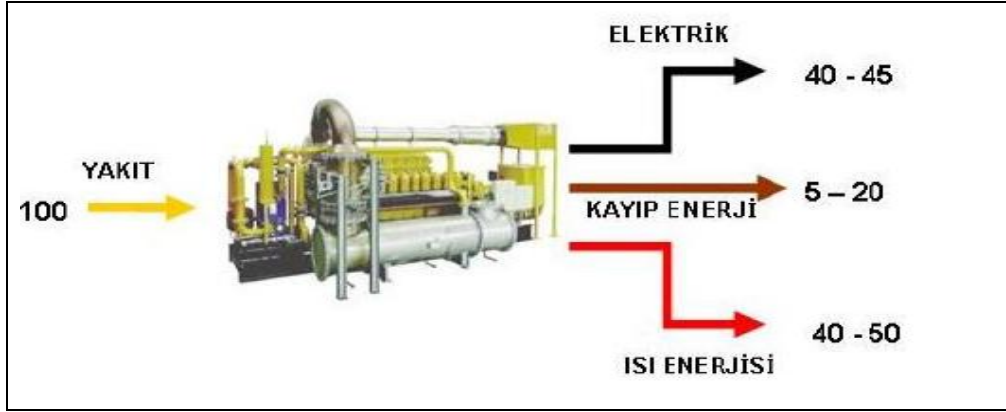
Santralde üretilen sıcak su veya buhar bir boru şebekesinde dolaşarak, ısı enerjisinin dağıtımını sağlar. Suyun santralden çıkış sıcaklığı 90 ile 120°C arasında olabilir. Şebekedeki sıcaklık düşümü ise 10 ile 30°C arasındadır. Boru şebekesi kanalların içine yerleştirilebileceği gibi, yer üstünde veya toprağa gömülü de olabilir. Günümüzde çelik bir koruyucu kılıf içinde yalıtılmış plastik veya çelik borular yaygın olarak kullanılmaktadır. Dağıtım sisteminde ayrıca genleşme elemanları, vanalar, yardımcı pompalar yer alır. Kullanıcı bağlantıları, şebeke ile konut arasında ısı enerjisi aktarımını sağlayan eşanjör ve konut içindeki ısıtma tesisatından oluşur (Derbentli, 1998).

Bölgesel ısıtma, birçok binanın merkezi bir santralden veya başka bir ısı kaynağından (jeotermal) veya atık su ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanmasıdır. Santral, kombine çevrimli bir kojenerasyon santrali veya sadece ısı üreten bir santral olabilir. Bu santralde üretilen ısı, izolasyonlu çift boru yol ya da buhar formunda binalara ulaştırılır.

### 2.2.3. Kojenerasyon Tanımı

Kojenerasyon (Bileşik elektrik ve ısı üretimi), ısı ve elektriği aynı tesiste, eş zamanlı olarak üreten teknolojinin adıdır. Bu enerji üretim teknolojisinde gaz, buhar türbini veya gaz motorunda doğal gaz, biogaz, likit gaz, nafta, fuel oil ve kömürün yanmasıyla elektrik üretilirken, egzoz ısıları havaya atılmayıp, atık ısı kazanında değerlendirilmektedir.

Atık ısının değerlendirilme oranına göre de çevrim verimliliği değişmektedir. Yüksek verimli kojenerasyon, elektriğin elektrik santrallerinde, ısının da kazanlarda ayrı ayrı üreten klasik sistemlere kıyasla toplamda en az % 10 yakıt tasarrufu sağlayan teknolojidir. Kojenerasyonun şematik görünüşü Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 Kojenerasyonun şematik görünüşü

Kojenerasyonun literatüre geçen bir başka tanımlaması da, gerekli elektrik ve ısı enerjisinin ardışık olarak üretilmesidir. Kojenerasyon sisteminde elektrik ve ısı enerjileri aynı üniteden üretildiği ve sisteme giren ısı çok büyük ölçüde sömürüldüğü için yüksek çevrim randımanına ulaşılmaktadır. Kojenerasyon elektrik enerjisi ile birlikte ısı enerjisi üretme teknolojisidir. Isı enerjisi ihtiyaca göre bazen sıcak su, bazen buhar, hatta sıcak su + buhar şeklinde olabilir (Ağabay, 1996).

Kojenerasyon, termal ve elektrik enerjileri gibi iki ve daha fazla enerji formunun, sadece tek bir enerjinin tüketilmesiyle aynı anda üretilmesini sağlayan enerji jenerasyon işlemidir. Kojenerasyon yaygın olarak enerji tasarrufu işlemi olarak tanımlanmaktadır. Çünkü, birden fazla ana enerjinin bir özel işlemle fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak için tüketildiği bir uygulama olan geleneksel jenerasyon sistemlerinin tersine termal geri dönüşümle elde edilen etkili ve verimli bir uygulamadır. İşletme fabrikanın ihtiyacı olan enerjiyi üretmenin yaygın yolu kamuya ait şebekeden elektrik enerjisi satın almak ve gereken termal enerjiyi üretmektir (Ağış, 1998).

Kojenerasyon, İngilizce “Combined Generation”ın kısaltması olan “Cogeneration” anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle bileşik jenerasyonun kısaltılmış haline kojenerasyon denilmektedir. Sözcük anlamı olarak bileşik ısı ve güç üretimi demektir. İngilizce olarak ise bu anlamın karşılığı Combined Heat and Power [CHP] olarak adlandırılmaktadır.

Konvansiyonel enerji üretim sistemleri (Termik santrallerde elektrik kazanlarda ısı üretimi) çevreyi kirletmekte ve primer enerjinin yaklaşık % 55-65’i

atık ısı olarak ziyan olduğundan hiç ekonomik olmamaktadır. Buna karşılık bir kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan ısı, eşanjörler yardımıyla çeşitli ısı ihtiyaçları için (sıcak su, buhar, soğutma vb.) değerlendirilebilmektedir. Gazla çalışan CHP sistemlerinde elektrik ve ısınn eş zamanlı üretilmesiyle %80-90 oranında verim elde edilebilmektedir. Böylece primer enerjinin atlan kısmı minimize edilmektedir. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sistemi, ilk yatırım tesis giderini 1.5-3 yıl gibi çok kısa bir sürede geri öder (Külçe ve Topuz, 1996).

#### **2.2.4. Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtmanın Tarihsel Gelişimi**

Elektrik üretimine yönelik olan ve ülkemizde de yaygınlaştırılarak kullanılmak istenilen bölgesel ısıtma, elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık ısınn değerlendirilmesi ve böylelikle enerji verimliliğini arttıran bir teknolojidir. Bu teknolojinin, ilk basit örnekleri 20. yüzyılın ilk yarısında görülmüştür. Ancak ucuz yakıt döneminde ise terk edilmiştir. 1973-1979 petrol krizlerinin ardından geliştirilerek yeniden uygulanmaya konulmuştur.

Kojenerasyon (CHP), 20. yüzyılın başlarından itibaren, güç santrallerinin yerleşim birimlerinde kurulması ve bölge ısıtması yapılmasıyla başlamıştır. Bölge ısıtması konutların ve işyerlerinin ısıtma, sıcak su ve proses ısılarının bir veya birkaç merkezden sağlanmasıdır. Bölge ısıtması, 1940' lı yıllarda yakıt fiyatlarının düşmesiyle çekiciliğini yitirmiştir. Ama 1970' li yıllarda yakıt fiyatlarının hızla yükselmesiyle bölge ısıtmasına ilgi dünya çapında yeniden uyanmıştır. Kojenerasyon ekonomik açıdan kazançlı olmuştur. Bunun sonucu olarak son yıllarda bu tür santrallerin kurulması hızlanmıştır.

Kojenerasyon, merkezi ısıtma uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde daha erken gelişme ve kullanılma olanağı bulmuştur. ABD' de binalar çok yüksek olduğundan sıcak su ile ısıtma yapılamamakta, bunun yerine alçak basınçlı buhar kullanılarak ısıtma yapılmaktadır. Bu yüzden merkezle kullanma yeri arasında yüksek basınçlı buhar tercih edilmiştir. Bu sistemin kullanılmasının bir sebebi ise yaz aylarında büyük klima tesisleri için buhara olan ihtiyaçtır. Bu nedenle bileşik ısı – güç üreten merkezlerin yıllık verimi yüksek olmaktadır. Bu yüzyılın sonuna kadar

ABD’ de elektriğin % 15’inin bileşik- kojenerasyon tesislerinden sağlanması beklenmektedir (Tan, 2003).

İlk bölgesel ısıtma sistemi 1877 yılında ABD’nin New York eyaletindeki Lockport’ta kurulmuştur (Narter ve Öztürk, 1996).

Avrupa’da ilk bölgesel ısıtma sistemleri, soğuk Kuzey Avrupa ülkelerinde uygulanmaya başlanmıştır. Kopenhag’da (Danimarka) 1890’ların sonlarına doğru çöpler at arabalarıyla toplanıp şehir çöplüğüne boşaltılırken, 1903’de ilk çöp yakma santrali kurularak buhar üretilmiş ve bu buhar da bölgesel ısıtmada kullanılmıştır.

Sekil 2.10’da resmi verilen Danimarka’daki ilk çöp yakma santrali 1 Aralık 1903’de hizmete başlanmıştır. Çöpler at arabaları ile toplanmıştır. Üretilen ısı, buhar şeklinde ısı kanalları vasıtasıyla yeni yapılan hastane, belediye binası, çocuk yurdu ve yoksullar evini ısıtmada kullanılmıştır. Günümüzde baca gazı temizleme sistemleri ile birlikte dış görünüşleri ile de bu santraller çevresine örnek olmaktadır.



Sekil 2.10 Danimarka’da, 2003’de bölgesel ısıtma yapmak üzere kurulan bir çöp yakma santrali (Anonim d, 2009)

İngiltere’de 1945 yılından itibaren gelişen bölge ısıtması özellikle son 25 yıllık dönem içinde kojenerasyon sistemlerinin gelişmesi ile oldukça hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır.

Fransa’da bölge ısıtması ile ilgili ilk büyük tesis Paris’te yapılmıştır ve buharlı olan bu sistem devamlı olarak gelişmekte olup, hem bileşik ısı-güç üreten

merkezlerden hem de yalnız buhar üreten çöp yakma merkezleri tarafından beslenmektedir.

Almanya’da ise bölge ısıtma uygulamaları 1930’lardan sonra kaynar suya ve özellikle bileşik ısı – güç üretimine geçilmiştir. Merkezde ayrıca çöp yakan büyük kapasitedeki buhar kazanları da bulunduğundan işletme rantabilitesi yüksek olmaktadır.

İskandinav ülkeleri bu tesisler açısından en önde gelmektedirler. İsveç, Finlandiya, Danimarka ve Norveç’te toplam binaların % 30-80’i bu sistemle ısıtılmakta olup ısıtma merkezleri bileşik ısı – güç üretimi şeklinde düzenlenmiştir (Narter ve Öztürk, 1996).

## **2.2.5. Bölgesel Isıtma Yapan Santral Türleri**

### **2.2.5.1. Klasik ısı santralleri**

Bu tip santraller sıcak su, kaynar su veya buhar üreten kazanlardan oluşmakta ve fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Santralden çıkan suyun sıcaklığı 110-150° C arasında değişmektedir. Ancak bazı eski sistemlerde suyun sıcaklığı 180° C kadar çıkabilmektedir. Yüksek basınçlı buhar kazanlarının maliyeti fazla olduğu için daha çok endüstriyel ısı ihtiyacının olduğu bölgelerde tercih edilmektedir.

### **2.2.5.2. Bileşik ısı - elektrik santralleri**

Gaz türbinli, buhar türbinli veya dizel motorlu türdendirler. Bileşik ısı - elektrik üretiminde sık kullanılan bir terim olan ısı - elektrik oranı santralden alınan ısıнын santralde üretilen elektriğe oranıdır. Bu oranın alt sınırını termodinamik, üst sınırını ise ekonomik faktörler belirler.

### **2.2.5.3. Jeotermal enerjiyle bölgesel ısıtma**

Jeotermal kuyulardan sağlanan suyun sıcaklığı elektrik üretimi amacıyla kullanılamayacak kadar düşüktür. Bu durum en ideal kullanım yeri olarak bölgesel

ısıtmayı ön plana çıkarmaktadır. Jeotermal enerji ile bölgesel ısıtmanın ilk ve en önemli uygulaması Reykjavik'te (İzlanda) yapılmıştır. Sistem 1930 yılında kurulmuş, daha sonra iki kez büyütülmüştür. Son kapasitesi 250 MW'tır. Su sıcaklığı ise 80 - 127° C arasında değişmektedir. Bölgesel ısıtmada kullanılabilecek düşük entalpili jeotermal kaynaklara örnek olarak, su an ön çalışması yapılmış olan Yunanistan Traianoupolis Evros bölgesi verilebilir. Bu bölgedeki jeotermal su sıcaklığı 53-92° C arasındadır. 200 m derinlikteki kuyulardan 250m<sup>3</sup>/h üzerinde su çekilmektedir. Bu çalışmaya göre jeotermal bölgesel ısıtma sistemi ile bu bölgede bulunan üç belediyenin ısı ihtiyacının tamamı karşılanabilecek durumdadır (Pelit, 1996; Karytsos vd., 2003).

#### **2.2.5.4. Katı atık yakma santralleri**

Ekonomikliği tartışılmakla birlikte bu santrallerden de bölgesel ısıtma için faydalanılmaktadır. Kentlerin büyümesi ve kalabalıklaşması ile miktarı hızla artan çöp ve benzeri katı atıkların klasik yöntemlerle ekonomik ve kolay bir şekilde stabil bir hale getirilmesi önemli bir sorun oluşturmaktadır. Çözümü otoriteler; çöpün bir santralde yakılıp, elde edilen ısıнын bölgesel ısıtmada kullanımında görmüşlerdir. Ancak bu yolla elde edilen ısıнын maliyeti diğer üretim metotlarına göre çok yüksektir. Çünkü çöpün ısıl değeri en iyi halde bile linyitin ısıl değerinden azdır ve yanmayan madde miktarı ile nem oranı oldukça yüksektir. Ayrıca katı atık yakma santrallerinde yatırım maliyeti klasik ısı santrallerinkinden çok yüksek ve yanma verimi en iyi halde bile % 60' ı geçmemektedir. Çöpün ısıl değerini yükseltmek için fosil yakıtlarla karıştırılarak yakılması da mümkündür. Atık yakmayı sadece alternatif enerji kaynağı olarak değil aynı zamanda depolama alanlarındaki bertaraf yöntemlerinin fiyatını da düşürmesi bakımından değerlendirmek gerekmektedir (Porter, 1985; Pelit, 1996).

Katı atık yakma santralinin bölgesel ısıtmada kullanılabilmesi için yıllar boyunca tam yükte çalışması, çöp miktarının 3 ton/h değerinden az olmaması ve ısı maliyetinin diğer yollarla üretilmesi halinde oluşan farkın atıktan sorumlu otorite tarafından karşılanması gerektiği görülmüştür.

Katı atıklar İsveç'te önemli bir enerji kaynağıdır. Yaklaşık olarak 5,1 TWh katı atıkların yakılmasından, 0,4 TWh ise depolama gazlarından ve organik atıkların anaerobik olarak ayrışması ile elde edilen biyogazdan elde edilmektedir. Enerjinin büyük bir bölümü bölgesel ısıtma amacı ile kullanılmaktadır. Toplamda güç tesisleri, kojenerasyon ve bölgesel ısıtma tesislerinde yakılan yakıtın % 7'si atıklardan temin edilmektedir. Son yıllarda İsveç'te hizmet sektöründe ve konutlarda su ve yer ısıtması için gerekli enerjinin % 40'ı bölgesel ısıtma tesislerinden elde edilmektedir. Biyoyakıt kullanımı İsveç'te bölgesel ısıtma sektöründe 1990 yılında yaklaşık 38 PJ iken hızlı bir gelişme göstererek 1999 yılına kadar 99 PJ' ye yükselmiştir. İsveç'te biyoenerjinin kullanımı konut sektörü gibi birkaç sektörde gelişme göstermektedir. Atmosferdeki sera etkisine neden olan gazların emisyonlarını düşürmesi nedeni ile biyoyakıt kullanımının arttığı düşünülmektedir (Roos vd., 2003).

#### **2.2.5.5. Nükleer enerji santralleri**

Şu anda ısı santrallerine tam bir alternatif olmamakla birlikte bazı bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı santrali olarak kullanılmaktadırlar. Nükleer enerji santralleri ucuz yakıt ve iyi bir kontrolle yok denecek kadar az çevre kirliliği gibi avantajlarının yanında, yüksek ilk yatırım maliyeti, santralin yerleşim yerlerinden uzağa kurulması ve kısmi yükte çalışmama gibi dezavantajlara sahiptirler. Nükleer enerji ile bölgesel ısıtma ancak bileşik ısı –elektrik üretimi ile birlikte yapılmak zorundadır. Çünkü nükleer reaksiyonun ve dolayısıyla ısı üretiminin zamanla arttırılıp azaltılması oldukça zordur. Aynı zamanda ilk yatırım maliyetinin yüksek olması enerji maliyetinin düşük tutulabilmesi için santralin tam yükte çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Bölgesel ısıtma için nükleer enerjiden faydalanan ilk uygulama Fransa'daki Agesta santralidir. Santral 1957 yılında yapılmış olup bileşik ısı - elektrik santrali olarak çalışmaktadır ve ısı gücü 55 MW tır. Bu güç kentin toplam ısı yükünün % 60'ını karşılamakladır. Santral granite oyulmuş bir hacim içinde yeraltına yapılmış, en yakın konuta 2 km uzakta yerleştirilmiştir (Sakawa vd., 2001).

## 2.2.6. Dünya’da ve Türkiye’de Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Örnekleri

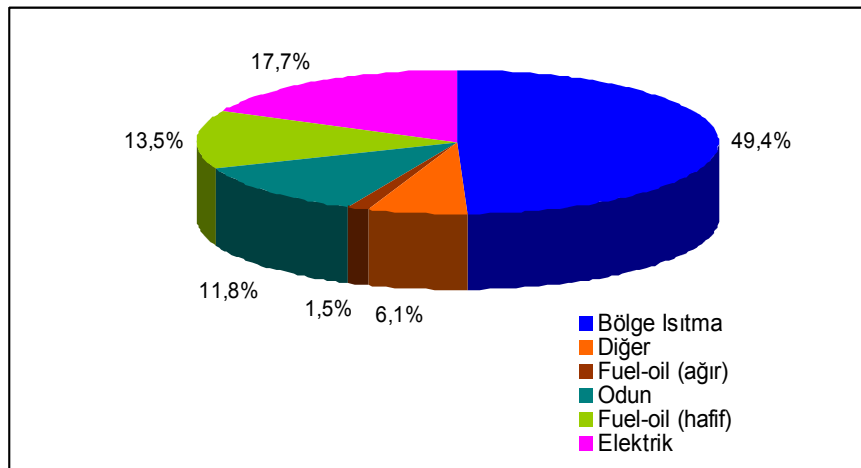
### 2.2.6.1.Dünya’da bölgesel ısıtma sistemleri

Dünya’daki bazı bölgelerdeki bölgesel ısıtma sistemleri ile ilgili örnekler ve bilgiler Tablo 2.2 – 2.4 ve Şekil 2.11 - 2.16’da verilmiştir.

#### ❖ Finlandiya:

Tablo 2.2 Finlandiya bölgesel ısıtma verileri tablosu

|                                             |               |
|---------------------------------------------|---------------|
| Finlandiya’da BIS ile ısıtılan konut sayısı | 1,1 milyon    |
| Toplam şebeke uzunluğu                      | 9100 km       |
| Toplam yıllık bölge ısıtma üretimi          | ~ 32000 (GWh) |



Şekil 2.11 Finlandiya’da BIS kullanım oranı

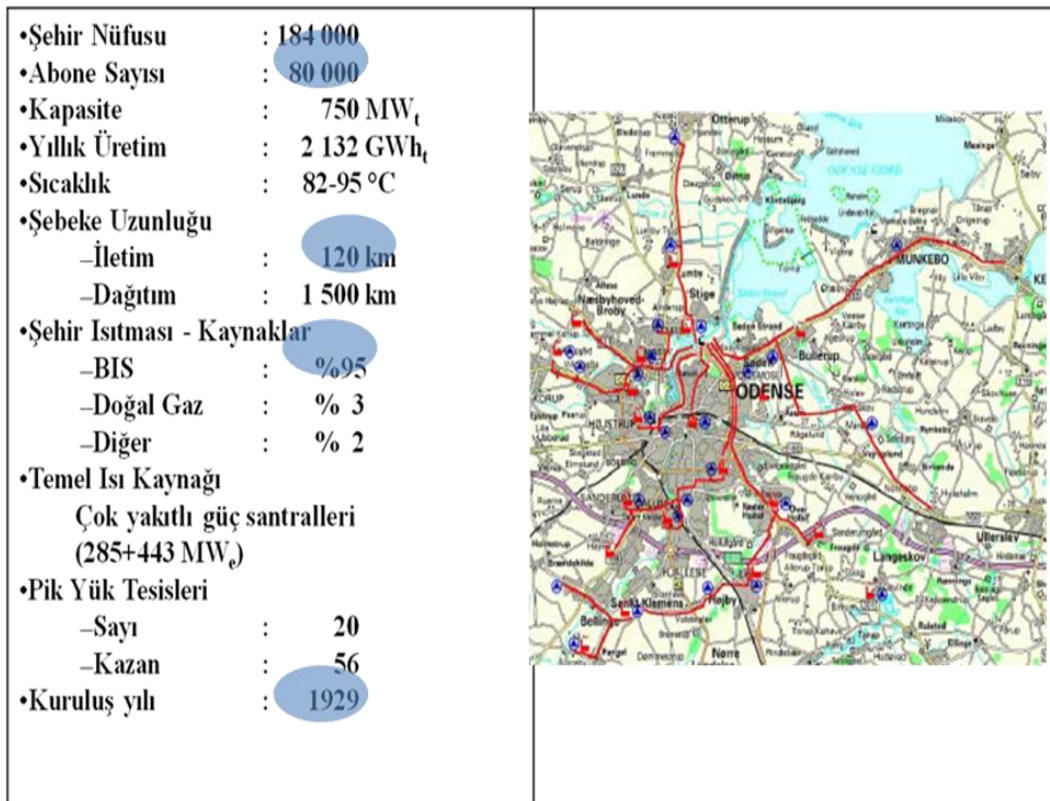
#### ❖ Danimarka:

Tablo 2.3 Danimarka bölgesel ısıtma verileri tablosu

|                                            |              |
|--------------------------------------------|--------------|
| Danimarka’da BIS ile ısıtılan konut sayısı | 1,151 milyon |
| BIS Oranı                                  | % 60         |
| Toplam yıllık bölge ısıtma üretimi         | ~32500 GWh   |



Şekil 2.12 400 adet bölge enerji sistemi



Şekil 2.13 Odense bölge ısıtma sistemi ve boru şebekesi

### ❖ Horning Fjernvarme bölge ısıtma sistemi

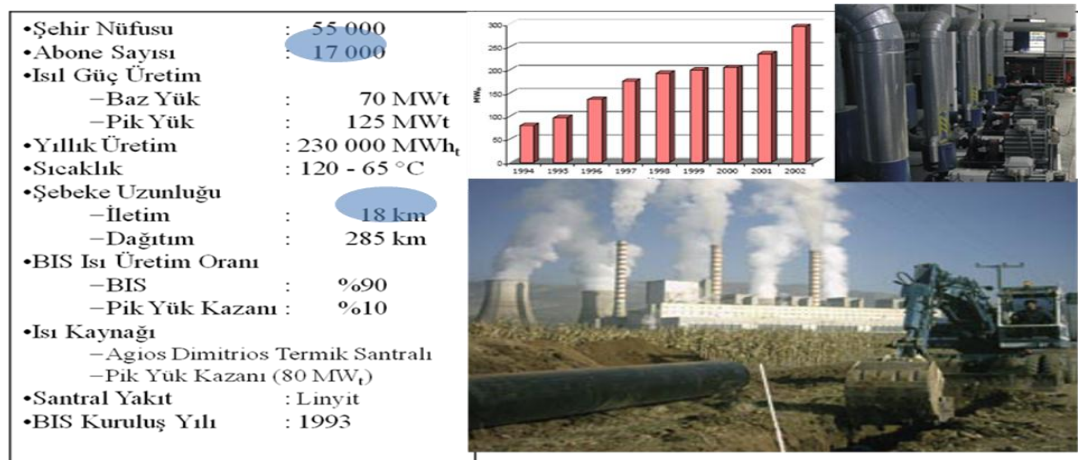
Tablo 2.4 Horning Fjernvarme bölge ısıtma sistemi durum tablosu

|                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| Kapasite        | 15 MW <sub>t</sub> |
| Yıllık Üretim   | 200 TJ             |
| Gidiş Sıcaklığı | 82-95 °C           |
| Konut Eşdeğeri  | 2 550 KE           |

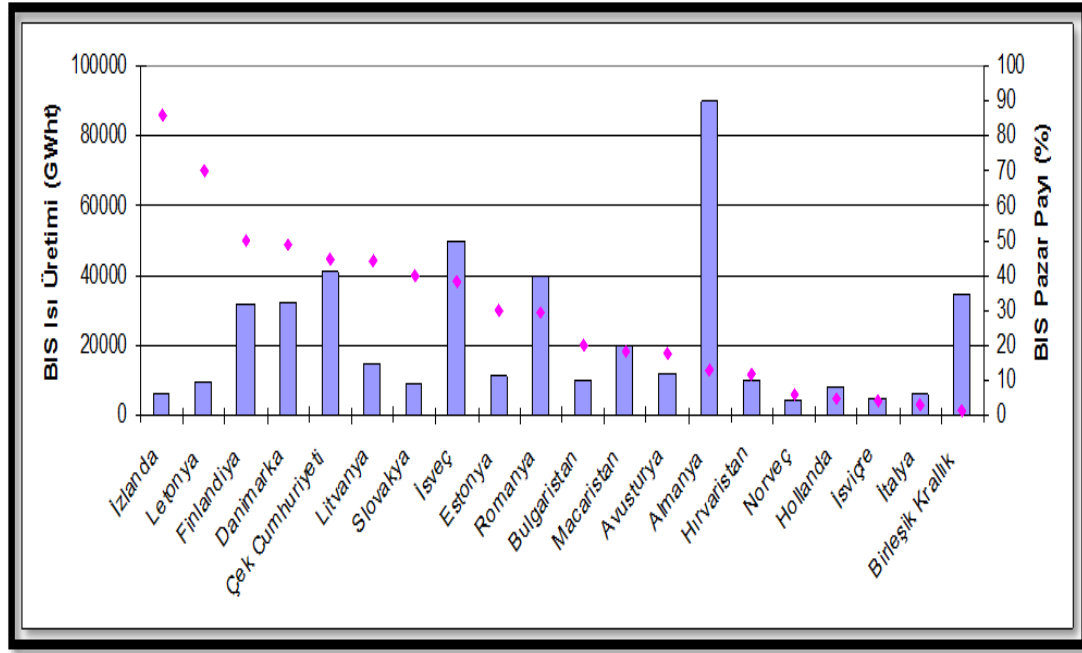


Şekil 2.14 Horning Fjernvarme bölge ısıtma sistemi boru şebekesi

### ❖ Kozani bölge ısıtma sistemi



Şekil 2.15 Kozani bölge ısıtma sistemi ve boru şebekesi



Şekil 2.16 AB ülkelerinde bölge ısıtma sistemleri (BIS) ısı üretimi ve ülke içindeki pazar payları

Bunların dışında, Tablo 2.5’de değişik ülkelerdeki durum özetlenmiştir.

Tablo 2.5 Değişik ülkelerde bölgesel ısıtma santralleri ve güçleri

| Santral Adı    | Bulunduğu Ülke | Elektrik Gücü (MW <sub>e</sub> ) | Isı Gücü (MW <sub>t</sub> ) | Isı/Elektrik Güç Oranı |
|----------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Lichtenberg    | Almanya        | 72                               | 1,125                       | 15,63                  |
| Klingenberg    | Almanya        | 185                              | 1,01                        | 5,46                   |
| Hanasaari B    | Finlandiya     | 220                              | 445                         | 2,02                   |
| Lichterfelde   | Almanya        | 450                              | 720                         | 1,60                   |
| Moabit         | Almanya        | 150                              | 240                         | 1,60                   |
| Mitte          | Almanya        | 430                              | 630                         | 1,47                   |
| Charlottenburg | Almanya        | 215                              | 300                         | 1,40                   |
| Reuter         | Almanya        | 165                              | 230                         | 1,39                   |
| Reuter West    | Almanya        | 600                              | 790                         | 1,32                   |
| Avadore 1      | Danimarka      | 250                              | 300                         | 1,20                   |
| Avadore 2      | Danimarka      | 485                              | 570                         | 1,18                   |
| Wilmersdorf    | Almanya        | 280                              | 330                         | 1,18                   |
| Fynsvaerket    | Danimarka      | 685                              | 775                         | 1,13                   |
| Sandreuth      | Almanya        | 440                              | 440                         | 1,00                   |
| Esenyurt       | Türkiye        | 180                              | 180                         | 1,00                   |
| Rudow          | Almanya        | 175                              | 140                         | 0,80                   |
| Amyntaio       | Yunanistan     | 600                              | 40                          | 0,07                   |

### 2.2.6.2. Türkiye’de bölgesel ısıtma sistemleri

❖ **Esenkent kojenerasyon sistemi** : Bölgesel ısıtma ülkemizde ilk olarak, İstanbul’da Esenyurt Belediyesi’nin Esenkent projesinde uygulandı. Yap-İşlet-Devret modeli ile 1993 yılında kurulmuş, 180 MW doğal gaz yakıtlı termik santral ve bölge ısıtma sistemidir. Esenyurt Santrali bölgenin ısı enerjisini karşılamak ve ülkenin elektrik ihtiyacına katkı yapmak üzere kurulmuştur. Santral, ürettiği elektrik enerjisini ulusal şebekeye aktarmaktadır. Tesis ayrıca atık gazlardan yararlanılarak ve buhar türbininden buhar çekisi yapılarak toplam 180 MW ısı üretebilmektedir. Üretilen ısı tesise komşu alanda yer alan yaklaşık 7400 konutluk (2000 Yılı) Esenkent’in ısıtma ve sıcak su ihtiyacını kesintisiz (365 gün/24 saat) karşılayabilmektedir. Bu sayede Esenkent Türkiye’nin ilk ve en büyük bölgesel ısıtma sistemine sahip olmuştur.

❖ **Balçova jeotermal bölge ısıtma sistemi** : Bölgede sekiz jeotermal kuyudan, üretim sıcaklığı 83 °C – 135 °C aralığında jeotermal akışkan elde edilmektedir. Üretilen akışkan içindeki yoğunlaşmayan gaz oranı oldukça düşüktür. Bölge ısıtma sisteminde dolan 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.

❖ **Yatağan-Muğla örneği** : Proje; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ) tarafından ortaklaşa yürütülmektedir. “Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarının Faydaya Dönüştürülme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması (TSAD)” isimli bu proje kapsamında, EÜAŞ’a bağlı 14 termik santralde inceleme ve analizler tamamlamıştır. Yapılan ilk analiz ve değerlendirmeler sonucunda ilk uygulamanın Yatağan Termik Santrali’nde yapılması kararlaştırılmıştır.

❖ **SOMA örneği** : 29.01.2010 tarihinde Soma Termik Santralin de EÜAŞ, SEAŞ ve Soma Belediyesi yetkilileri şehrin bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtılması çalışmaları için bir araya gelerek iyi niyet protokolü imzalandı. İyi niyet

protokolünden sonra idari ve hukuksal incelemelerin en kısa zamanda sonuçlandırıp, uygulamaya geçilmesi kararlaştırılmıştır.

### **2.3. Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluğu**

#### **2.3.1. Giriş**

Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından kendi kendine yeterli bir ülke değildir. Enerji açığı olarak tanımlanan, birincil enerji tüketimi ile üretimi arasındaki farkın 2010 yılında 100 milyon TEP (ton eşdeğeri petrol, 1 TEP = 41 800 MJ), olması beklenmektedir. Birincil enerji tüketiminin yüzde 60' a yakınına oluşturan petrol ve doğal gaz büyük ölçüde dışarıdan alınmaktadır. Enerji açığını kapatmak için yapılacak birincil enerji ithalatının bedeli, bugünkü fiyatlarla 2000 yılında 10 milyar dolar, 2010 yılında ise 20 milyar dolar bulacaktır (Şahin, 1994).

İkincil enerji türleri, elektrik enerjisi ve ısı enerjisi. Isıl enerji konutlarda ısıtma, sanayide proses ısısı olarak kullanılmaktadır. Termik santrallerin yüzde 55' i linyit, yüzde 25' i doğal gaz yakan santrallerden oluşmaktadır. Aksayan enerji yatırımları nedeniyle, önümüzdeki yıllarda elektrik açığının oluşması beklenebilir. Elektrik üretmek için 2010 yılına kadar sisteme her yıl 3 ila 6 MW kurulu güç eklemek başka bir deyişle 3 ila 6 milyar dolar yatırım yapmak gerekecektir (Derbentli, 1998).

Yukarıda verilen bilgiler Türkiye'nin enerji sorununun boyutlarını ortaya koymaktadır. Açıkça görüleceği gibi birincil ve ikincil enerji tüketiminin, etkin kullanımla, olabilecek en alt düzeyde tutulması, enerji politikasının önemli bir amacı olmalıdır. Bileşik ısı-güç üretiminin yaygınlaşması birincil enerji kaynaklarından yararlanma oranını artırmanın yanı sıra kurulu güce yapacağı katkı bakımından bu amaca hizmet edecektir. Konutların ısıtması için gerekli enerjinin bileşik ısı-güç santrallerinden sağlanması durumunda her 1 MW santral gücü için, ülke olarak yıllık tüketimimizden yaklaşık 700 ton yakıt veya 175 bin dolarlık bir artırım yapmak mümkündür.

Endüstriyel prosesler veya bölgesel ısıtma için elektrik ve ısının birlikte üretilmesi, enerji verimini artıran bir tercihtir. Hem sanayide, hem de konut

ısıtmasında gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan karşılanması ile yapılacak olan enerji tasarrufu çevre kirliliğini ve dışa bağımlılığımızı azaltırken, kaynaklarımızın hızlı tükenmesini de önleyecektir. Özellikle yeni kurulan yerleşim bölgelerinde bileşik ısı-güç üretiminin uygulanması kolay olup, özendirilmelidir.

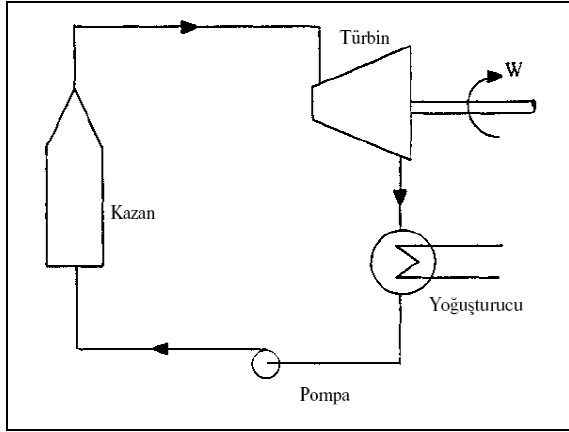
### **2.3.2. Kojenerasyonun Bölge Isıtmada Kullanılabilirliği**

Kojenerasyonun (Bileşik ısı- güç santrallerinin) bölgesel ısıtmada kullanılması durumunda büyük boyutlarda yakıttan tasarruf edilebilmekte ayrıca elektrik enerjisi de üretilmektedir. Kojenerasyon santrallerinde yakıt enerjisinin yaklaşık % 15-30'u elektriğe dönüşmekte % 40-60'ı ise ısı tüketicilerine verilmektedir (Bavbek, 1990).

Kojenerasyon santralinde üretilen ısı izolasyonlu çift boru yol yada buhar formunda binalara ulaştırılır. Isı enerjisi 130°C'ye kadar şehir şebekesiyle pompalanmakta ve bina altı ısı dönüştürücü istasyonlar (kompakt ısı ünitesi) vasıtası ile binaların ısı kullanma sıcak suyunun hazırlanmasını sağlamaktadır. Isı enerjisi 365 gün 24 saat ısınma ve kullanıma hazırlığı için kullanıma hazır olarak binaya teslim edilir.

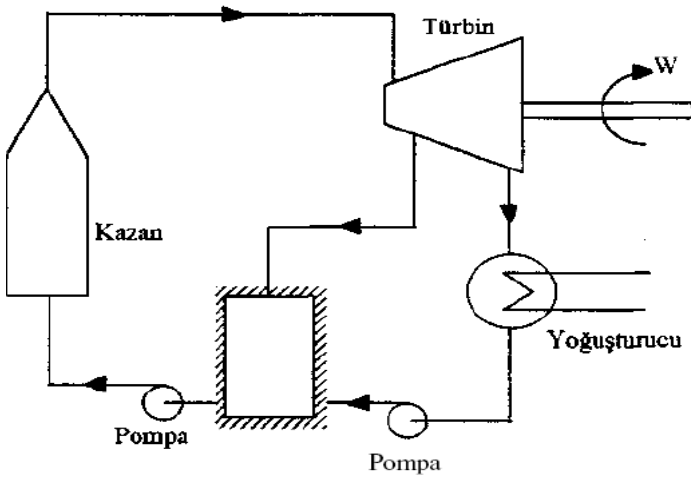
Aşağıda bileşik ısı-güç üretimi için kullanılabilecek farklı sistemler ele alınmış, teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılmıştır.

Bileşik ısı-güç üretimi için kullanılabilecek sistemlerden biri kazan-buhar türbini seçeneğidir. Buhar çevrimine dayalı bu sistemde karşı basınçlı ve ara buhar almalı yoğuşturuculu olmak üzere iki farklı düzenleme düşünülebilir. Bu düzenlemeler Şekil 2.17 ve 2.18'de gösterilmiştir. Buharlı çevrimlerde her türlü yakıt kullanılabilir (Derbentli, 1998).



Şekil 2.17 Karşı basınçlı buhar türbini çevrimi

Karşı basınçlı çevrimde, buhar türbin çıkışında, ısıtma sıcaklığına karşı gelen doyma basıncında yoğuşturulur. Böylece yoğuşturucu, ısıtma şebekesine verilen ısıнын kaynağı olur. Karşı basınçlı buhar çevriminin ısı verimi % 20 dolaylarındadır ve bu tür sistemlerin elektrik üretim güçleri 1 ile 10 MW arasında değişir. Bu sistemlerde elektrik-ısı oranı 0,15 ile 0,2 arasında olup, verilen bir çevrim için sabittir. Üretilen elektrik veya ısıнын miktarı, türbinden geçen buhar debisini azaltarak veya çoğaltarak değiştirilir.

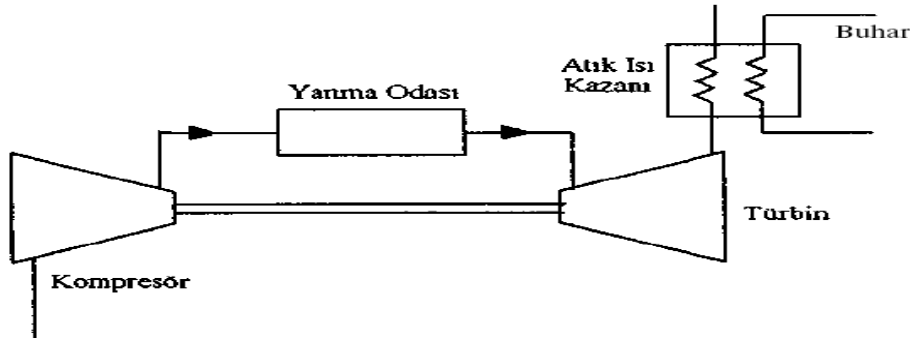


Şekil 2.18 Ara buhar almalı yoğuşturuculu buhar türbini çevrimi

Ara buhar almalı-yoğuşturuculu çevrimde, yoğuşturucu basıncı atmosfer basıncının çok altındadır. Buhar 30-40 derece arasında bir sıcaklıkta yoğunur. Isıtma

enerjisi ise daha yüksek bir basınçta türbinden ayrılan buharla sağlanır. Ara buhar almalı buhar çevriminin ısı verimi % 20-% 30 arasındadır, elektrik üretim gücü ise 10 ile 50 MW arasında değişir. Elektrik ısı oranı türbinden ayrılan buhar miktarını azaltarak veya çoğaltarak değiştirilebilir. Bu bakımdan ara buhar almalı çevrim, çalışma süresince değişen ısı ve elektrik yüklerini karşılamada daha esnektir. Elektrik-ısı oranı, türbinden ayrılan buhar miktarına bağlı olarak 0,15 ile 0,4 arasındadır.

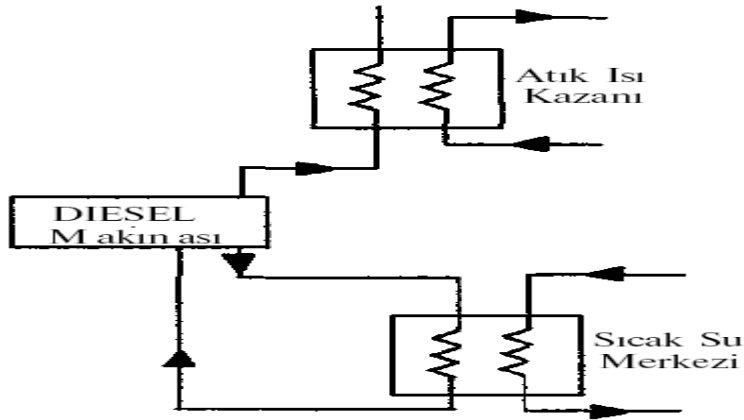
Bileşik ısı-güç üretimi için kullanılabilecek bir başka seçenek Şekil 2.19’da gösterilen gaz türbini-atık ısı kazanı düzenlemesidir. Bu düzenlemede çıkan yüksek sıcaklıktaki gazlar bir atık ısı kazanında buhar veya sıcak su üretmek için kullanılır. Elektrik üretim gücü 2 ile 50 MW, ısı verim ise % 25 ile % 30 arasındadır. Gaz türbinlerinde doğal gaz, LPG veya nafta yakıt olarak kullanılabilir. Bu tür santrallerde elektrik-ısı oranı 0,5 mertebesinde. Türbin çıkışına konacak olan bir yönlendirme (by-pass) mekanizması ile atık gazlar ısı gereksinimin az olduğu zamanlarda, kazana gönderilmeyerek doğrudan atmosfere verilebilir. Bileşik ısı-güç üretiminde kullanılan gaz türbinleri, uçak motorlarının tasarımına dayanan aero-derivativ türden veya yer santrallerinde kullanılan ağır (heavy duty) türden olabilir.



Şekil 2.19 Gaz türbinli bileşik ısı-güç sistemi

Bileşik ısı-güç üretiminde son yıllarda yaygınlaşan bir başka uygulama Şekil 2.20’de görülen diesel veya gaz motoru ile atık ısı kazanının kullanılmasıdır. Bu düzenlemede motorun egzoz gazları bir atık ısı kazanından geçirilerek buhar veya sıcak su üretmek için kullanılır. Ayrıca motorun soğutma suyundan, sıcak su üretimi için yararlanılabilir. Elektrik üretim gücü 0,5 ile 10 MW, ısı verim ise % 40 ile % 50

arasındadır. Diesel veya gaz motorlu bileşik ısı-güç üretiminde elektrik ısı oranı yaklaşık 1'dir. Burada da, atık gazlar ısı gereksiniminin az olduğu zamanlarda, bir yönlendirme mekanizmasıyla doğrudan atmosfere verilebilir. Diesel veya gaz motorlarında yakıt seçenekleri motorin, doğal gaz, LPG ve nafta'dır.



Şekil 2.20 Diesel motorlu bileşik ısı-güç sistemi

### 2.3.3. Bileşik Isı-Güç Üretimi ile Bölge Isıtmasının Ekonomik Olurluluğu

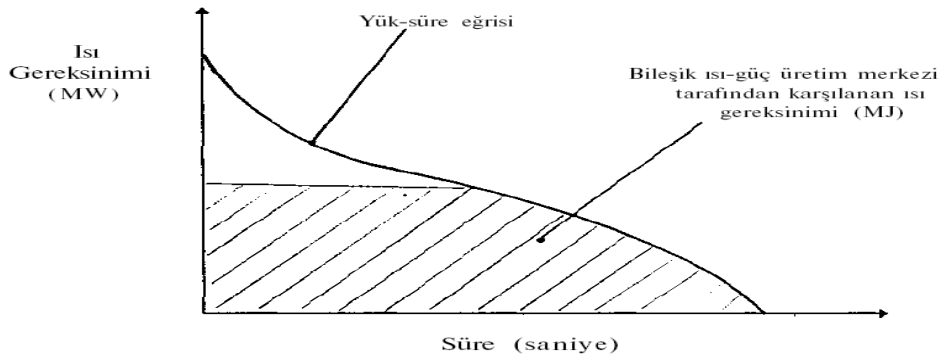
Bileşik ısı-güç üretimi kullanarak yapılan bölge ısıtmasının olurluluğuna termodinamik, ekonomik ve iklimsel parametreler birlikte göz önüne alınarak karar verilir.

Ekonomik olurluluğun birlikte belirlenebilmesi için sistemin yıllık net işletme geliri ile yatırım giderinin hesaplanmaları gerekir. Yıllık net işletme geliri, bölgenin ısı ve elektrik gereksinimlerinin ayrı ayrı karşılanması durumunda yıllık olarak ödenecek ısıtma, elektrik, personel, bakım onarım giderlerinin toplamından, bileşik ısı-güç santralının yıllık yakıt, personel, bakım onarım giderlerinin toplamını çıkartarak bulunur. Yatırım gideri ise bileşik ısı-güç santralının satın alınması ve kurulması ile ilgili olarak başlangıçta ödenen paradır. Bu değerler belirlendikten sonra geri ödeme süresi, şimdiki değer, yıllık net kazanç gibi ekonomik analiz yöntemlerinden biri ile yatırımın karlılığına karar verilebilir (Derbentli, 1996).

Uygulamanın yapılacağı bölgenin ısı ve elektrik gereksiniminin, bileşik ısı-güç santralının elektrik-ısı oranı ile uyumlu olması göz önünde bulundurulması gereken

bir husustur. Bu uyumu tam olarak sağlamak mümkün değildir. Üretilen elektrik fazla olduğu zaman şebekeye satılabilmesi, elektrik açığı olduğu zaman şebekeden alınabilmesi anlaşmalar çerçevesinde mümkün olabilir. Isı enerjisi açığı yardımcı kazanlarla, ısı enerji fazlası ise ısı depolayan akümülatörlerle belirli ölçüler içinde dengelenebilir.

Bileşik ısı-güç santralının kullanılma oranı (yük faktörü) göz önüne alınması gereken bir başka parametredir. Yük faktörü iklim koşullarına bağlıdır. Bileşik ısı-güç santralının kapasitesi belirlenirken yük- süre eğrisinden yararlanılır. Şekil 2.21’de bir yük-süre eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Yük-süre eğrisi

Bir bölge ısıtma sistemi tasarlanırken, bileşik ısı-güç santralının ısı üretim kapasitesi genellikle, ısıtma sisteminin maksimum ısı gereksiniminin %50'sini karşılayacak biçimde seçilir. Böylece bileşik ısı-güç santralının yılın büyük bir bölümünde tam yüke yakın bir kapasitede çalışması sağlanır. Isı gereksiniminin büyük olduğu kısa bir süre içinse yardımcı kazanlar devreye girer.

Şebekeye elektrik satış fiyatı, şebekeden elektrik alış fiyatı, bileşik ısı-güç santralinde yakılan yakıtın fiyatı olurluluk hesaplarında göze alınması gereken ekonomik parametrelerdir. Ayrıca bileşik ısı-güç santrali, yardımcı kazanlar, dağıtım şebekesi, konut bağlantıları için sabit yatırım değerleri, faiz oranı, bakım, onarım ve işletme giderleri de olurluluk hesapları için gereklidir.

Bazı durumlarda üretilen ısı ve elektriğin fiyatlandırması söz konusu olabilir. Fiyatlandırma ürünlerin enerji veya ekserjini göz önüne alarak yapılabilir.

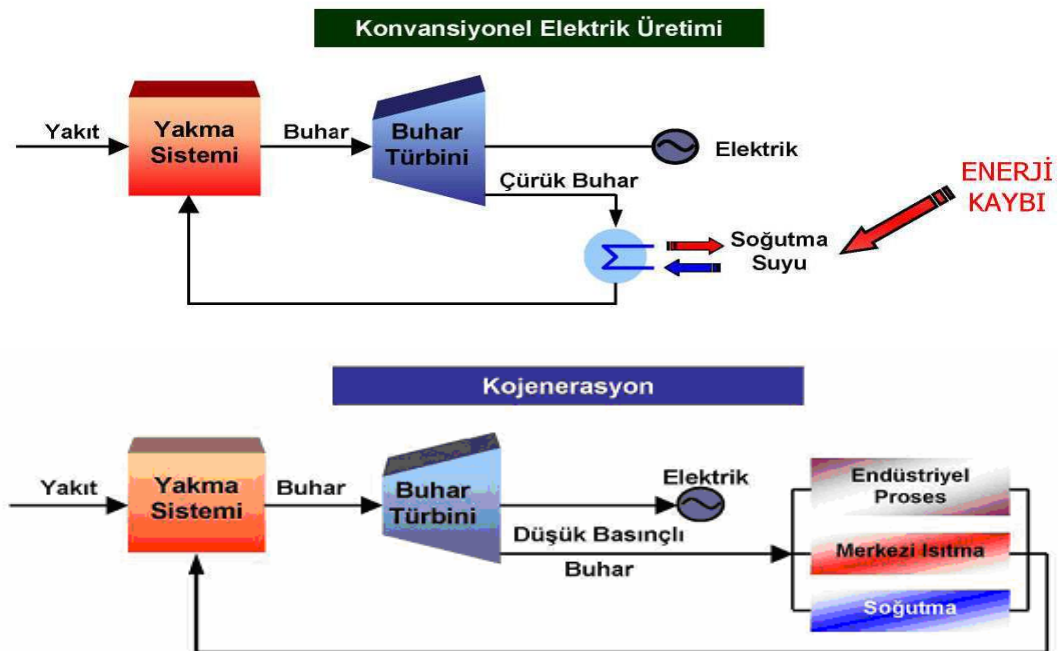
Ürünlerin enerjilerini göz önüne alarak yapılacak hesaplama için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir (Bejan vd., 1996).

$$f_e + f_q / EIO = f_y / r_j + C \cdot a / (s \cdot E) \dots \dots \dots (2.1)$$

Denklem (2.1)'de elektrik ve ısının fiyatları iki bilinmeyen olarak yer almaktadır. Bu nedenle bir bağıntıya daha gerek duyulur. Ürünler enerji bazında eşit fiyata sahip kabul edilir, başka bir deyişle  $f_e = f_q$  alınabilir. Bir başka yaklaşım da yatırım masraflarını elektriğe yıkmaktır, bu durumda  $f_q = f_y$  alınır.

#### 2.3.4. Kojenerasyon ile Klasik Güç Santralini Karşılaştırılması

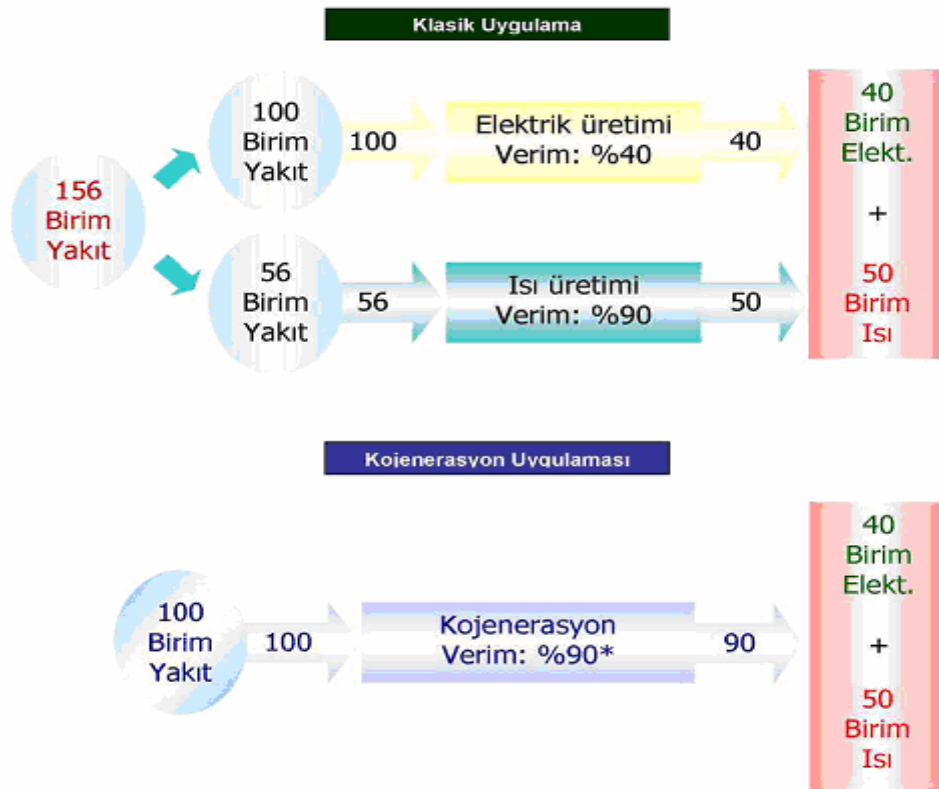
Enerji uygulamalarında kojenerasyon, yani bileşik ısı-güç üretim sistemleri buhar ve elektriğin birlikte üretildiği sistemlerdir. Bu yöntemle, elektrik üretirken kaybedilen çürük buhar yoğuşma ısısı değerlendirilerek enerji verimliliği artırılır. Kojenerasyon, oluşan çürük buharın değerlendirilmesiyle, konvansiyonel sisteme göre enerjiden daha fazla yararlanılmasına dayanır. Şekil 2.22'de kojenerasyon ve konvansiyonel elektrik üretimi verilmektedir.



Şekil 2.22 Kojenerasyon ve konvansiyonel elektrik üretimi

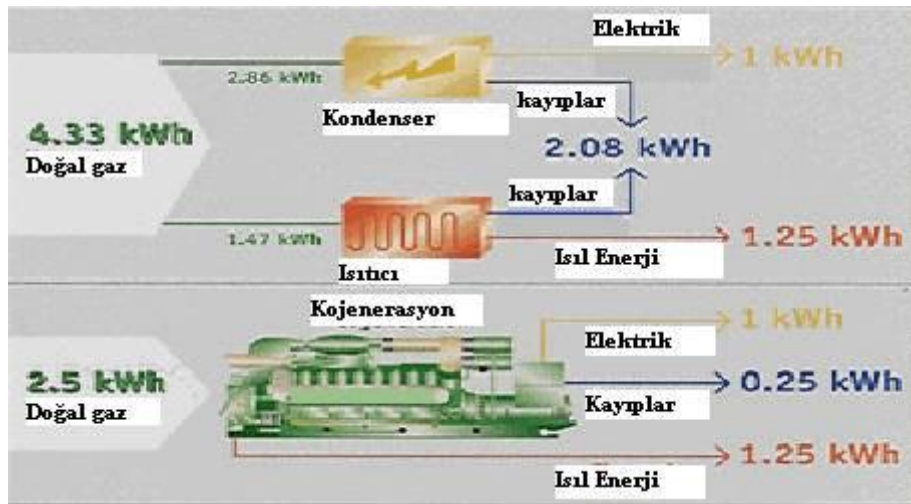
Elektrik üretimi sırasında oluşan çürük buharın çok geniş bir kullanım yelpazesi vardır. Enerjiye değişik şekillerde (elektrik/buhar) ihtiyaç duyan tüketicilerin, aynı anda tek bir tesisten ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri birçok yarar sağlamaktadır.

Konvansiyonel bir tesiste, yakıtle giren enerjinin, kullanılan kıt/teknoloji kombinasyonuna bağlı olarak, % 35-50'si elektriğe dönüştürülebilmektedir. Kojenerasyon sistemlerinde ise, 100 birimlik enerji girdisinin, 30-40 birimi elektrik enerjisi ve 50-60 birimi de ısı enerji olmak üzere, toplam 90 birime kadarı geri kazanılabilmektedir. Kojenerasyon uygulanmazsa; elektrik ayrı bir tesisten, buhar da başka bir sistemden elde edilecektir ki, bu durumda kojenerasyon örneğindeki 90 birim ikincil enerjiyi elde etmek için 156 birim yakıt gerekecektir. Kojenerasyon sistemi ve klasik sistemlerde elektrik ve ısı enerjisi üretiminin karşılaştırılması Şekil 2.23'de verilmiştir.



Şekil 2.23 Kojenerasyon sistemi ve klasik sistemlerde elektrik ve ısı enerjisi üretiminin karşılaştırılması

Kojenerasyon kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı biçimlerinde aynı sistemden beraberce üretilmesi veya tüm ısı makinelerinin çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmak olarak tarif edilir. Bu birliktelik, iki enerji biçiminde tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik sonuçlar vermektedir. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbinli yada motoru kullandığı enerjinin % 30-40 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümünde kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Her iki enerji biçiminin ayrı ayrı aynı miktarda üretilmesi için gerekli birincil enerji miktarının, bunların kojenerasyonla üretilmesi durumunda ne oranda azalacağı Şekil 2.24’de görülmektedir.



Şekil 2.24 Kojenerasyon ve diğer üretim sistemleri arasındaki ısı bilanço

Şekil 2.24’e göre kojenerasyon tekniği ile kullanılan birincil enerjiden tasarruf % 42 seviyesinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla kojenerasyon sisteminin çevreye en önemli katkılarından biride burada ortaya çıkmakta, büyük enerji tasarrufu yanında atık emisyonları da aynı oranda azalmaktadır.

Klasik güç santrallerinde fosil esaslı yakıt enerjisinin yaklaşık üçte biri elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte ve üçte ikisi ise çevreye atılmaktadır. Buna karşılık kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık ısı,

eşanjörler yardımı ile çeşitli ısı ihtiyaçları için (sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma, vb.) değerlendirilmektedir. Gazla çalışan kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısı eş zamanlı olarak üretilmesi ile % 80-90 oranında verim elde edilebilmektedir. Böylece primer enerjinin atık kısmı minimum düzeyde tutulmaktadır. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sistemi, ilk yatırım tesis giderinin 1,5-6 sene gibi kısa bir sürede geri ödemektedir (İmal, 1991; Önen, 1999).

Atık ısıdan doğrudan, yararlanılmadıkça % 35-55 aralığında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bileşik çevrimde dünyada en iyi örneklerinden biri olmasına rağmen, İstanbul Ambarlı Bileşik Çevrimi Santrali'nde ısı verim değeri % 50 civarında kalmaktadır. Oysa atık ısıdan yine ısı olarak faydalanılan kojenerasyon sisteminde toplam sistem veriminin yani % 80-90'lara kadar çıkarılması mümkündür. Karbon miktarının azaltılmasında, etkili bir enerji teknolojisi olarak değerlendirilen kojenerasyon, ilk enerji girdisinin büyük miktarlarını muhafaza etmesinden dolayı endüstriyel tesisler içinde olası bir alternatif olarak düşünülmektedir. Yaklaşık olarak % 10-30 oranında yakıt tasarrufu sağlayarak, çeşitli yakıtlardan ısı ve elektrik enerjisi üreten kojenerasyon sistemleri, kağıt ve kağıt hamuru, kimyasal madde, gıda, petrol rafineleri tekstil ve gübre endüstrileri gibi çok çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır.

Kojenerasyon; tekstil, kağıt, seramik, kimya, sunta gıda, metal işleme gibi ısı ve elektriğin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerde enerjinin maliyetini yarıya yakın düşürmekte ve bu sektörlerde rekabetin vazgeçilmez araçlarından biri olmaktadır (Tomsic ve Mansour, 1989).

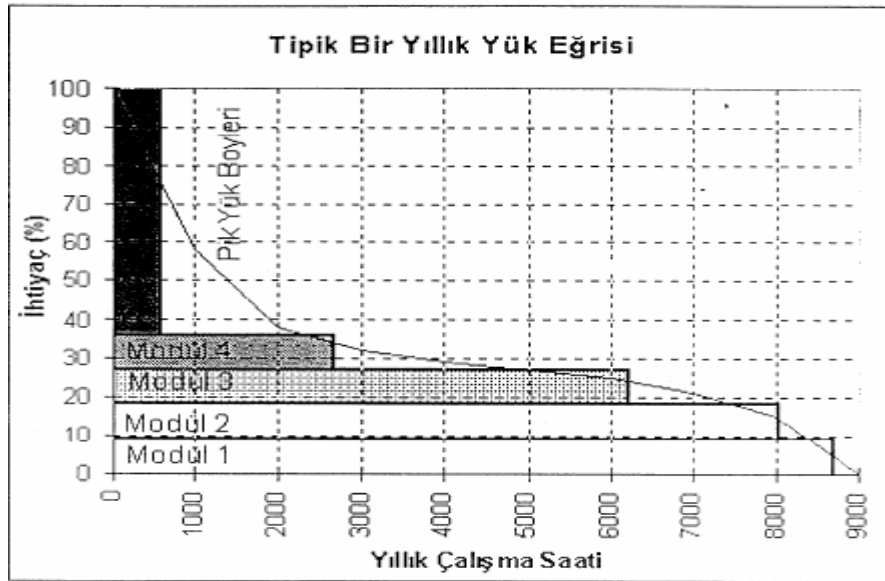
Kojenerasyon sistemleri enerji verim değerinin gerekliliği üzerinde kurulduğu kadar endüstriyel enerji alanında karbon miktarının azaltılması yönündeki politikaları desteklemek temeli üzerine de kurulmuştur. Çünkü insanın neden olduğu CO<sub>2</sub> emisyonlarının kaynağını; endüstri sektörü ve enerji üretimi sağlayan sistemler oluşturmaktadır. Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonları sera etkisinin oluşmasına neden olmaktadır, bu ise önemli bir çevresel problemdir. Kojenerasyon, üretilen CO<sub>2</sub> miktarının düşürülmesi ve enerji korunumu için en iyi ve en pratik yollardan biridir. Bu nedenle günümüzde

mevcut tesislerde yeni veya daha verimli çift amaçlı kojenerasyon sistemleri kurulmaktadır (Bonilla vd., 2003).

Kojenerasyonu asıl verimli kılan; çalışma saatinin maksimum çıkarılıp, elektrik ve atık ısısında sürekli kullanılmasını sağlamaktır. Bu yüzden elektrik ve ısı ihtiyaçları ile elektrik ısı oranı değiştikçe bu değişimi kompanse edebilecek sistemlere ihtiyaç vardır.

Bu sistemlerin başlıcaları şunlardır :

❖ **Birden fazla modül kullanmak:** Kojenerasyon sistem seçiminde Şekil 2.25’deki gibi bir yıllık yük eğrisini belirlemek çok önemlidir. Bu eğriden yola çıkarak özellikle gaz motoru kullanılacak sistemlerde birden fazla modül kullanmak daha ekonomik olabilmektedir. Bunu daha kaba ve basit anlatacak olursak; gece-gündüz, yaz-kış, hafta sonu-hafta içi elektrik ve ısı kullanımlarında büyük farklar olmasıdır. Fakat aşağıdaki Şekil 2.25’deki modüllerden 1. Modül kendini en önce amorti ederken yukarı doğru diğer modüllerin amortisman süreleri sırasıyla artmaktadır.



Şekil 2.25 Tipik yıllık yük eğrisi

❖ **Isı akümülatörleri kullanmak:** Isı üretiminin ihtiyaçtan fazla olduğu durumlarda ısı akümülatörlerini doldurup, ihtiyacın üretimden fazla olduğu

durumlarda ısıyı akümülatörlerden çekerek toplam verimin mümkün olduğunca düşmemesi sağlanır.

❖ **Şebekeyle senkronize çalışmak:** Elektrik üretiminin tüketimi karşılayamadığı durumlarda şebekeden elektrik çekerek, fazla üretim halinde de şebekeye elektrik satarak, sistemin tam yük ve maksimum verimde çalışması sağlanır. Fakat bu sistem Türkiye’de yasal zorluklar bulunması ve de şebeke elektriğinin çok düzensiz olması dolayısıyla fazla uygulanmamaktadır.

❖ **By-pass’lı kombine çevrim kullanmak:** Türbinli kojenerasyon sistemlerinde, atık ısı kazanından elde edilen buharı;

- Elektrik ihtiyacı arttığında ikinci bir buhar türbininde kullanarak, üretilen toplam elektrik miktarı artırılabilir. Bu şekilde elektrik çevrim verimi % 45 civarlarına çıkartılabilir.

- Isı enerjisi ihtiyacı arttığında by-pass yolunu açarak buharın tamamen ısıtma amaçlı kullanımı sağlanabilir.

- Isı ihtiyacının bazı pik durumlarında; türbin egzoz çıkışına ilave yakıt enjekte edilerek bir art yanma (post-combustion) ile ısı üretimi artırılabilir.

❖ Buhar türbini kullanıldığında da, türbinden ara buhar çekerek değişen elektrik ısı oranları kompanse edilir.

❖ Doğrudan by-pass bacası ve damper sistemi kullanarak, ısı gerekli olmadığı ısıyı dışarıya atmak. En verimsiz işletme şekli bu şekilde olur ki, tüm ısının atılması halinde % 80 civarında olan toplam verim (enerjiden yararlanma oranı) % 30'lara düşer.

❖ **Pik yük bayleri ve/veya chilleri kullanmak:** Şekil 2.25’deki yıllık ısı gereksinimi eğrisinden görüleceği üzere, toplamda az bir süre olsa da, bazı zamanlarda ısı gereksinimi toplam kojenerasyon ısı üretimini asmaktadır. Bu pik durumları karşılamak için ilave kojenerasyon modülü koymak verimsiz olacaktır. Çünkü kojenerasyon modülleri yılda 365 gün, günde 24 saat (bakım durmaları hariç) işletilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma şartlarında kendisini yaklaşık 2,5 yılda amorti edecektir. Oysa çalışma süresi azaldığında, bu amortisman süresi çok artacaktır. Bu tür pik durumlar için ilave bir boyler veya soğutma ihtiyacı için pistonlu bir chiller kullanmak daha ekonomik olacaktır (Koçak ve Aksa, 1998).

## 2.4. Termik Santralin Tanımı ve Atık Isı Alma Yöntemleri

### 2.4.1. Giriş

Sürdürülebilir gelişme, tanım olarak, şimdiki kuşakların ihtiyaçlarının gelecek kuşakların ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan karşılanmasına olanak veren ekonomik büyüme politikalarıdır. Bu ihtiyaçların başında da enerji gelmektedir. Enerji hayatımızın vazgeçilmez bir unsurudur ve enerji kaynaklarımızı ne kadar verimli kullanırsak sürdürülebilir gelişmeyi o kadar iyi sağlamış oluruz. Bu kapsamda, var olan enerjiden en verimli şekilde bu enerjiden faydalanılmalıdır.

Dünyadaki ısı enerjisini kullanan güç santralleri incelendiğinde tasarımlar genellikle hem elektrik enerjisini hem de ısı enerjisini birlikte üreten yani birleşik ısı ve güç tesisleri (kojenerasyon) olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sayede, elektrik üretiminde kullanılmayan ve atmosfere atılan ısı enerjisi yani atık ısı, kullanılabilir ürünlere çevrilerek santralin toplam verimi ve dolayısıyla kullanılan yakıttan yararlanma oranı artmaktadır.

Birleşik ısı güç tesislerinin kullanılma avantajlarını sıralayacak olursak;

- Ayrı tesislerde elektrik ve ısı üretimine göre, yakıttan sağlanan enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlar.
- Birleşik ısı güç tesislerinde, doğal kaynakların sürdürülebilir gelişme ve optimum değerlendirilmesi sayesinde enerji üretiminde kullanılması etkin bir yoldur.
- Farklı tesislerde elektrik ve ısı üretimi yapılması ile karşılaştırıldığında birleşik ısı güç tesisleri daha az CO<sub>2</sub> emisyonu salgılanmasını sağlar.
- Birleşik ısı güç tesislerinde doğalgaz kullanılması sayesinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının yanında SO<sub>2</sub> emisyonlarının azalmasını da sağlamaktadır.
- Isı üretimi sayesinde santrallerde kullanılan soğutma suyu ihtiyacı düşmekte ve bu sayede santrallerin termal kirlilik etkisi azalmaktadır.
- Elektrik üretimi ve ısı üretiminin beraber yapılması, elektrik üretim maliyetlerini azaltır.

Sonuç olarak; yukarıda sıralanan faydalar göz önüne alındığında, sürdürülebilir gelişmenin sağlanabilmesi için termik santraller hem elektrik hem de ısı üretir (kojenerasyon) şekilde tasarlanması gerekmektedir. Fakat bunun yanında,

sadece elektrik enerjisi üreten termik santrallerdeki atık ısı potansiyelleri belirlenerek ve gerekli olurluluk analizleri yapılarak santraller hem ısı hem de elektrik üretir hale getirilebilir. Ve sonucunda elde edilen atık ısı da ülke ekonomisinde belli başlı uygulama alanlarında (bölge ısıtma, soğutma, sıcak kullanım suyu ve seracılık uygulamalarında) değerlendirilerek sürdürülebilir gelişmeye destek sağlanabilir (Tan, 2003).

#### 2.4.2. Termik Elektrik Santral Tanımı

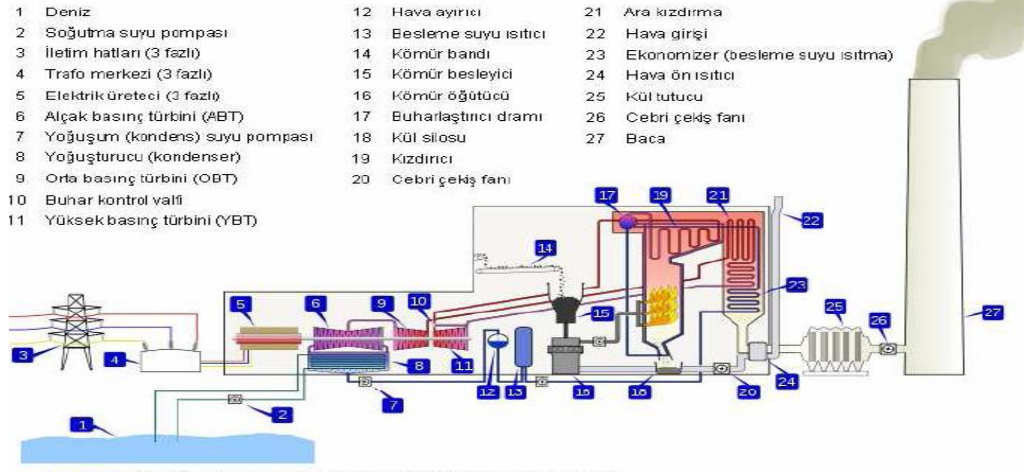
Termik elektrik santrali (TES); katı, sıvı ya da gaz yakıtların kimyasal enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmeye yarayan tesistir diye tanımlanabilir. Enerji dönüşümü; kimyasal enerji > ısı enerjisi > mekanik enerji > elektrik enerjisi şeklinde gerçekleşir. Bu dönüşüm işlemleri ve yerleri sırasıyla şu şekildedir:

- Yakıt, buhar kazanı içinde yakılarak, kimyasal enerjisi ısı enerjisine dönüşür.
- Isı ile kazan boruları içindeki su buharlaştırır.
- Yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar, buhar türbin kanatlarına (çarkına) çarptırılarak mekanik enerji elde edilir.
- Buhar türbini miline bağlı olarak çalışan elektrik üretici (jeneratör) elektrik enerjisi üretmiş olur.

Termik santrallerde buhar elde etmek için özel kimyasal işlemlerle yumuşatılmış su kullanılır. Dolayısıyla bu su oldukça değerlidir ve en son aşamada türbinden çıkan buhar yoğunlaştırılarak buharlaştırılmak üzere tekrar kazana gönderilir. Yoğusturma işlemi, en son türbinden çıkan buhardan (çürük buhar) daha soğuk başka bir su ile gerçekleştirilir. Bu işlemin gerçekleştirildiği üniteye yoğusturucu (kondenser), soğuk suya da soğutma suyu denilir. Soğutma suyu olarak deniz veya göl bulunan yerlerde bunların suyu tercih edilir. Deniz ve göl bulunmayan bölgelerde kapalı devre çalışan soğutma kuleleri kurulur ve buharı yoğunlaştırırken ısınan soğutma suyu bu kulelerde atmosferik hava ile soğutularak devri daim olarak kullanılır.

Bir termik santralde bulunan tüm üniteler Şekil 2.26' da verilmektedir. Her termik santralin yapısı, küçük değişikliklerle Şekil 2.26' daki gibidir.

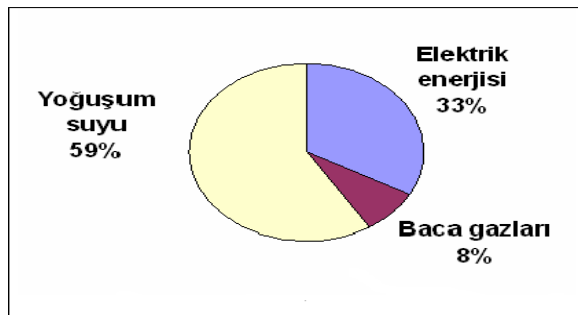
### Bir Termik Santralin Bileşenleri



Şekil 2.26 Bir termik elektrik santralinin bileşenleri (Anonim d, 2009)

### 2.4.3. Atık Isı

Atık ısı, kavram olarak, genellikle sanayi tesislerinden sıcak su veya gaz şeklinde çevreye atılan ve geri kazanma imkânı bulunan ısı için kullanılır. Termik santrallerde atık ısı en çok yoğuşturucularda ortaya çıkmaktadır. Geleneksel bir termik elektrik santralinde enerji dağılımı Şekil 2.27'deki gibidir.



Şekil 2.27 Termik elektrik santralinde enerji dağılımı (Anonim d, 2009)

### 2.4.4. Santrallerden Atık Isı Alma Yöntemleri

Termik santrallerde atık ısının kullanılması ile santralin toplam kullanılabilir enerjisinde artış meydana gelir. Santral sadece elektrik üretirken santral toplam enerjisinin büyük bir kısmını soğutma kulesi ve baca gazları vasıtasıyla dışarıya

atılmaktadır. Sonuç olarak toplam enerjinin büyük bir kısmı kullanılamaz halde atık olarak karşımıza çıkmaktadır. Santral da hem ısı hem de elektrik üretildiğinde ise santralin soğutma kulesinden atık olarak atılan ısıнын büyük bir kısmı faydalı ısı enerjisi haline dönüştürülür. Soğutma kulesinden dışarı atılan enerji miktarı azalmış, sonuç olarak ta santralin toplam verimi artmıştır (Anonim b, 2007).

Bacadan atılan atık ısı enerjisi toplam atık enerjinin küçük bir oranını teşkil etmektedir (% 8-10). Ayrıca, bacada belli bir sıcaklığın altına düşülmesi durumunda zararlı asidik gazlar yoğunlaşmakta ve bacaya zarar vermektedir. Bundan dolayı, baca atık ısını kullanmak makul bir çözüm değildir. Ana çözüm, soğutma kulesinden atılan ısı miktarını azaltmak ve faydalı hale dönüştürmektir. Bu da, santralin uygun yerlerinden ısı almak ile mümkündür.

Termik santrallerden bölge talebine göre uygun yerlerden alınan atık ısıнын nerelerde, nasıl bir yöntemle uygulandığı vurgulanacaktır. Santral atık ısılarının değerlendirileceği muhtemel alanlar bölge ısıtma, soğutma, sıcak kullanım suyu uygulamaları ve seracılık uygulamalarıdır.

Termik santrallerden atık ısı alma yöntemlerini iki ana kategoride incelenir. Bunlardan birincisi üst çevrim ısı alma yöntemleri ve ikincisi ise alt çevrim ısı alma yöntemleridir (Anonim b, 2007).

#### **2.4.4.1. Üst çevrim ısı alma yöntemleri**

Üst çevrim ısı alma yönteminde ana hedef kazandan çıkan yüksek entalpili buhar ile ilk önce elektrik üretmektir. Isı talebine göre gerekli olan ısı ise iki şekilde çevrimden alınabilir. Bunlar, türbinin arka basınçlı yapılması ile ısıнын alınması ve türbinden ara buharı ile ısıнын alınmasıdır.

❖ **Türbinin arka basınçlı yapılması ile ısı alınması :** Bu yöntemde türbin çıkışındaki kondenser yoktur ve bu sayede türbin arka basıncı artırılmıştır. Kazanda yakılan yakıttan veya gaz türbinin eksozundan elde edilen ısı enerjisi ile kazanda buhar elde edilir. Buhar türbinde genişletilerek elektrik üretilir. Temel elemanlar kazan, türbin, generatör, ısı değiştiricisi ve pompalardır. Türbinden, türbin arka basıncında çıkan buharın ısıısı ısı değiştiricisi vasıtasıyla kullanılmak üzere alınır. Bu şekilde kullanılan türbinlere arka basınçlı türbin denilir.

Bazı birleşik ısı güç çevrimlerinde ısı talebi alçak basınç türbinine girişteki buharın belli bir oranda ısı değiştiricisinde kullanılması ile karşılanır. Talebin çok daha fazla olduğu durumlarda ise ısı talebi alçak basınç türbininin vana vasıtasıyla devre dışı bırakılması ve yüksek basınç türbininin arka basınçlı olarak çalıştırılmasıyla da karşılanmaktadır.

❖ **Türbinden ara buhar alınması ile ısı alınması :** Bu yöntemde ise kazanda elde edilen buhar, türbinden geçerken türbin ara kademelerindeki çıkışlardan çekilir. Türbin ara kademelerinden buhar çekilebilmesi için türbinde ara çıkışların yer alması gerekmektedir. Ara çıkışlı türbinler bir, iki veya üç ara çıkışlı olabilir. Ara çıkıştan alınan türbin girişi basıncı ile çıkış basıncı arasındaki buhar bir ısı değiştiricisinden geçirilerek ısı alınır ve uygun bir yerden de sisteme geri beslenir. Ara çıkıştan alınmayan buhar türbinde genişleyerek elektrik üretir ve türbinden çıkarak kondenserde yoğunlaşır. Böylece hem ısı hem de elektrik elde edilmiş olur. Ayrıca hem türbinin arka basınçlı yapılması hem de ara buhar alınması durumlarının kombinasyonları da uygulamalarda görülmektedir (Anonim b, 2007).

#### 2.4.4.2. Alt çevrim ısı alma yöntemi

Bu yöntemde ana hedef ısı üretmektir. Yani, kazanda yakılan yakıt veya gaz türbini çıkışındaki eksoz gazından elde edilen ısı enerjisiyle kazanda yüksek entalpili buhar elde edilir. Bu buhar öncelikle ısı talebine göre ısı enerjisi olarak kullanılır. Isı enerjisi olarak kullanılan ve entalpisi düşen buhar türbinde genişleyerek elektrik üretir. Üst çevrim ısı alma yöntemlerine göre verimi düşüktür ve bundan dolayı çok yaygın değildir.

Sonuç olarak, santrallerin birleşik ısı güç tesisleri olarak kullanılması durumunda, bölgelerin ısı talebine göre santrallerden ısı çekilmesi;

- Türbinden ara buhar alınması,
- Alçak basınç türbinine girişteki buharın belli bir oranda ısı değiştiricisinde kullanılıp çevrime uygun bir yerden verilmesi,
- Alçak basınç türbininin devre dışı bırakılıp orta basınç türbininin türbin arka basınçlı olarak çalıştırılması,
- Veya yukarıdaki işlemlerin kombinasyonları şeklinde gerçekleşmektedir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

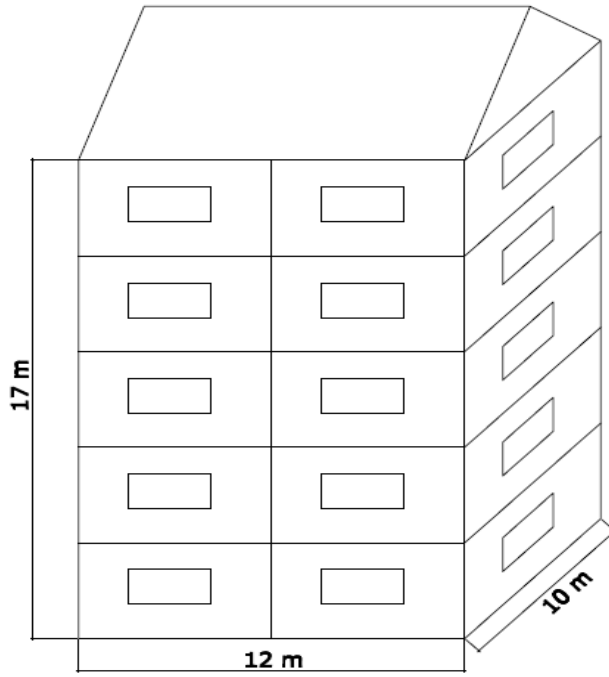
Yatağan ilçesinde 7640 konut bulunmaktadır (Yatağan Belediyesi). Bu konutların ısıtma yükünü Prototip bir bina seçerek, TSE 825 Standartı Binalarda Isı Yalıtım Kurallarına göre hesaplanmıştır. Konutların sıcak kullanım suyu hesaplamasında çeşitli yerlerdeki su tüketimlerini baz alarak, şehir ve bina eş kullanım faktörlerini de göz önünde bulundurarak hesaplanmıştır. Daha sonra iletim hattındaki su debisini ve ön izolasyonlu boru çapını belirlenmiştir. Boru çapı belirlendikten sonra ön izolasyonlu boruların bir metresinde meydana gelen kaybı bulunarak, toplam ısı kaybını bulunmuştur. Konutların tüm bu ihtiyaçları ve borulardaki kayıplar belirlendikten sonra Yatağan Termik Santrali'nin üretmesi gereken pik yük ihtiyacı ortaya çıkacaktır.

#### 3.1. Binaların Isıtma Yükü İhtiyacı

Yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanmış bir binada, ısıtma periyodunda, iç ortamda belli bir iç sıcaklığı sağlamak için gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanır. Kalan miktarın ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir. Aşağıda tanımlanan hesap metodu kullanılarak, ısıtma sisteminin iç ortama vermesi gereken ısı enerjisi miktarı belirlenir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan güneş enerjisi kazançları ve iç ısı kazançları çıkartılarak hesaplanır.

Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısı performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, tasarımcıya, önerdiği tasarımın güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme imkanı sağlayacaktır (Anonim e, 2008)

Bu çalışmada, Yatağan ilçesinde bulunan 7640 konutun ısıtma yükü ihtiyacı bulmak için, önce prototip bir bina seçimi yapılmıştır. Şekil 3.1' de görülen 5 katlı 10 daireli prototip binanın ölçüleri Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Prototip bina

Tablo 3.1 Prototip bina ölçüleri

| <b>Bina Ölçüleri</b>         | <b>Metre</b>         |
|------------------------------|----------------------|
| Kat yüksekliği               | 3,00                 |
| Binanın eni                  | 10,00                |
| Binanın boyu                 | 12,00                |
| Binanın Yüksekliği           | 17,00                |
| <b>Kapı pencere alanları</b> | <b>m<sup>2</sup></b> |
| Dış kapı alanı               | 2,00                 |
| Güney yönü pencere alanı     | 20,00                |
| Kuzey yönü pencere alanı     | 10,00                |
| Doğu yönü pencere alanı      | 10,00                |
| Batı yönü pencere alanı      | 10,00                |
| Toplam pencere alanı         | 50,00                |

Pencere alanı,  $A_p = 50 \text{ m}^2$

Betonarme alanı,  $A_{bet} = [2 \times (12 + 10) \times (0,12 \times 3)] = 15,84 \text{ m}^2$

Dış kapı alanı,  $A_k = 2 \text{ m}^2$

Dış duvar alanı,  $A_D = [2 \times 17 \times (12 + 10)] - A_p - A_{bet} - A_k = 680,16 \text{ m}^2$

Tavan alanı,  $A_T = 12 \times 10 = 120 \text{ m}^2$

Döşeme alanı,  $A_t = 12 \times 10 = 120 \text{ m}^2$

Binanın brüt hacmi,  $V_{brüt} = 12 \times 10 \times 17 = 2040 \text{ m}^3$

Bina kullanım alanı,  $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 652,80 \text{ m}^2$

### 3.1.1. Binanın Özgül Isı Kaybının Hesabı

Prototip binanın özgül ısı kaybını Denklem (3.1) 'den hesaplanır.

$$H = H_T + H_V \dots\dots\dots(3.1)$$

Denklem (3.1) 'de iletim ve taşınım oluyla gerçekleşen ısı kaybı ( $H_T$ ) ise Denklem (3.2) 'den hesaplanır.

$$H_T = \Sigma AU + IU_L \dots\dots\dots(3.2)$$

İletim ve taşınım oluyla gerçekleşen ısı kaybı bulmak için ayrı ayrı ısıl geçirgenlik değerleri hesaplanır. Bu çalışmada yapılan, prototip bina seçimimde Yatağan ilçesine uygun olarak standart yalıtım sistemi olmayan bir bina seçimi yapılmıştır. Denklem (3.2) 'deki toplam ısıl geçirgenlik ifadesi, Denklem (3.3) 'deki gibidir (Anonim e, 2008).

$$\Sigma AU = U_D \cdot A_D + U_{bet} \cdot A_{bet} + U_p \cdot A_p + U_k \cdot A_k + 0.8 \cdot U_T \cdot A_T + 0.5 \cdot U_t \cdot A_t + U_d \cdot A_d + 0.5 \cdot U_{ds} \cdot A_{ds} \dots\dots\dots(3.3)$$

Tablo 3.2'deki prototip binanın özgül ısı kaybı değerleri Denklem (3.3) 'de kullanılırsa,

$$\Sigma AU = 1,350 \times 680,16 + 3,238 \times 15,840 + 2,4 \times 50 + 4 \times 2 + 0,8 \times 3,597 \times 120 + 0,5 \times 3,592 \times 120 = 1658,503 \text{ W/K elde edilir.}$$

Denklem (3.2) 'deki bütün betonarme bölümler ısı köprüsü meydana getirmeyecek durumda olduğundan  $I \times U_I$  katkısı ihmal edilmiştir. Sonuç olarak;

$$H_T = \Sigma AU + IU_I = 1658,503 + 0 = 1658,503 \text{ W/K 'dır.}$$

Binadan havalandırma ile olan kayıplar için, mekanik havalandırma olmadığından doğal havalandırma yöntemi için verilen Denklem (3.4)'den hesaplanır (Anonim e, 2008).

$$H_V = \rho_{\text{hava}} \cdot c \cdot V^I = \rho_{\text{hava}} \cdot c \cdot n_h \cdot V_h = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \dots \dots \dots (3.4)$$

Denklem (3.4)' ten doğal havalandırma için kayıplar,

$$H_V = 0,33 \times 0,8 \times 1632 = 430,848 \text{ W/K şeklinde hesaplanır.}$$

Dolayısıyla binanın özgül ısı kaybı (H), Denklem (3.1)' e göre,

$$H = H_T + H_V = 1658,503 + 430,848 = 2089,351 \text{ W/K olarak hesaplanır.}$$

Tablo 3.2 Prototip binanın özgöl ısı kaybı çizelgesi (Anonim e, 2008)

| 1                                                                                    | 2                        | 3                                  | 4                                                     | 5                                                     | 6                                                      | 7                                              | 8                      | 9                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Isı kaybeden yüzey                                                                   | Binadaki yapı elemanları | Yapı elemanı kalınlığı<br>d<br>(m) | Isıl iletkenlik hesap değeri<br>$\lambda_h$<br>(W/mK) | Isıl iletkenlik direnci<br>R,<br>(m <sup>2</sup> K/W) | Isı geçirgenlik katsayısı<br>U<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Isı kaybedilen yüzey<br>A<br>(m <sup>2</sup> ) | Yüzey Çarpım Katsayısı | Isı kaybı<br>A x U<br>(W/K) |
| Duvar Yüzeyleri                                                                      | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Sıva                     | 0,020                              | 1,000                                                 | 0,020                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Yatay delikli tuğla      | 0,190                              | 0,360                                                 | 0,528                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Sıva                     | 0,008                              | 0,350                                                 | 0,023                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,040                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                        |                          |                                    |                                                       | 0,741                                                 | 1,350                                                  | 680,160                                        | 1,00                   | <b>918,347</b>              |
| Duvar Yüzeyleri (betonarme)                                                          | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Sıva                     | 0,020                              | 1,000                                                 | 0,020                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Betonarme                | 0,240                              | 2,500                                                 | 0,096                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Sıva                     | 0,008                              | 0,350                                                 | 0,023                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,040                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                        |                          |                                    |                                                       | 0,309                                                 | 3,238                                                  | 15,840                                         | 1,00                   | <b>51,826</b>               |
| Tavan                                                                                | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Sıva                     | 0,020                              | 1,000                                                 | 0,020                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Betonarme                | 0,120                              | 2,500                                                 | 0,048                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,080                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                        |                          |                                    |                                                       | 0,278                                                 | 3,597                                                  | 120,00                                         | 0,8                    | <b>345,324</b>              |
| Taban/ Döşeme                                                                        | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | PVC yer döşemesi         | 0,005                              | 0,23                                                  | 0,022                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Şap                      | 0,030                              | 1,400                                                 | 0,021                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Fesviye şapı             | 0,020                              | 1,400                                                 | 0,014                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | Hafif beton              | 0,100                              | 1,100                                                 | 0,091                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                      | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,000                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                        |                          |                                    |                                                       | 0,278                                                 | 3,592                                                  | 120,00                                         | 0,5                    | <b>215,546</b>              |
| Dış Kapı                                                                             |                          |                                    |                                                       |                                                       | 4                                                      | 2                                              | 1,00                   | <b>8,000</b>                |
| Pencere                                                                              |                          |                                    |                                                       |                                                       | 2,4                                                    | 50                                             | 1,00                   | <b>120,000</b>              |
| <b>Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =</b> |                          |                                    |                                                       |                                                       |                                                        |                                                |                        | <b>1658,503</b>             |

### 3.1.2. Aylık Ortalama İç Kazançlar ( $\Phi_{i,ay}$ )

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.

Bina konut olarak kullanılacağı için iç ısı kazançları  $5 \text{ W/m}^2$  olarak alınabilir (Anonim e, 2008). Bu durumda aylık ortalama bina iç kazancı ;

$$\Phi_{i,ay} = A_n \times 5 = 652,80 \times 5 = 3264 \text{ W olarak hesaplanır.}$$

### 3.1.3. Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları ( $\Phi_{s,ay}$ )

Bu madde pencerelerden sağlanan doğrudan güneş ışınımının hesaplanmasını tarif etmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak kazançlar ihmal edilmiştir. Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları Denklem (3.5)’e göre hesaplanır.

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \cdot g_{i,ay} \cdot I_{i,ay} \cdot A_i \dots \dots \dots (3.5)$$

Gölgelendirme faktörü TSE 825 standardında çizelge 5’e göre ağaçlanmadan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikte binaların bulunduğu yönlerde “ $r_{i,ay}$ ”:0,6 değeri seçilir (Anonim e, 2008).

Güneş geçirme faktörü  $g_{i,ay} = F_w \cdot g_{\perp}$  ‘dır.  $F_w$  camlar için düzeltme faktörü olup 0,8 alınır.  $g_{\perp}$  ise TSE 825 standardında çizelge 6’ ya göre renksiz yalıtım cam birimi olduğu için 0,75 alınır. Dolayısıyla  $g_{i,ay} = 0,8 \times 0,75 = 0,60$  ‘dır.

“ $I_{i,ay}$ ” değerleri ise her ay için ayrı ayrı TSE 825 standardında Ek C’den alınır. Ocak ayı için değerler şu şekildedir;

$$I_{güney,ocak} = 72 \text{ W/m}^2$$

$$I_{kuzey,ocak} = 26 \text{ W/m}^2$$

$$I_{batı/doğu,ocak} = 43 \text{ W/m}^2$$

“ $A_i$ ” değerleri her yön için toplam pencere alanları hesaplanır. Seçilen prototip bina için yönlere göre pencere alan değerleri aşağıdaki gibidir.

$$A_{güney} = 20 \text{ m}^2 \quad A_{kuzey} = 10 \text{ m}^2 \quad A_{doğu} = 10 \text{ m}^2 \quad A_{batı} = 10 \text{ m}^2$$

Her ay için ayrı hesaplanacak olan Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ( $\Phi_{s,ay}$ ), Denklem (3.5) kullanılarak Ocak ayı için hesaplanırsa,

$\Phi_{s,ocak} = 0,6 \times 0,6 \times 72 \times 20 + 0,6 \times 0,6 \times 26 \times 10 + 0,6 \times 0,6 \times 43 \times 10 + 0,6 \times 0,6 \times 43 \times 10 = 921,6 \text{ W}$  olarak bulunur.

#### 3.1.4. Kazanç Kullanım Faktörü ( $\eta$ )

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrol sistemi mükemmel değildir ve yapı elemanlarının bünyesinde bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle aylık iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağıl büyüklüğüne ve binanın ısıl kütlesine bağlıdır ve Denklem (3.6)' ya göre hesaplanır (Anonim e, 2008).

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \dots\dots\dots(3.6)$$

Denklem (3.6)' da ki Kazanç/kayıp oranı ( $KKO_{ay}$ ) ise Denklem (3.7)' den hesaplanır.

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(T_{d,ay} - T_{d,ay}) \dots\dots\dots(3.7)$$

TSE 825 standartlarına göre EK B.1'den  $T_{i,ay} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$  alınır.  $T_{d,ocak}$  ise Ek B.2' ye göre Yatağan ilçesi 2. Bölgede (TSE 825 standarttı EK D'ye göre) olduğundan  $2,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Denklem (3.1)' de hesaplanan Özgül ısı kaybı (H), Denklem (3.5)' de hesaplanan Ocak ayı ortalama güneş enerjisi kazançları ( $\Phi_{s,ocak}$ ), ve Ocak ayı ortalama iç kazançları ( $\Phi_{i,ocak}$ ) değerlerini Denklem (3.7)' de yerine koyarsak;

$$KKO_{ocak} = (3264 + 921,6) / [2089,351 \times (19 - 2,9)] = 0,1244282 \text{ elde delir.}$$

Ocak ayı için Denklem (3.7)'den hesaplanan Kazanç/kayıp oranı ( $KKO_{ocak}$ ), Denklem (3.7)' de yerine konulursa;

$\eta_{\text{ocak}} : 1 - e^{(-1/KK_{\text{Ocak}})} = 1 - e^{(-1/0,1244282)} = 0,99967664$  Kazanç kullanım faktörü ( $\eta$ ) olarak bulunur.

Bu durumda Ocak ayı için ısı kazançları;

$$\eta_{\text{ocak}} (\phi_{i,\text{ocak}} + \phi_{s,\text{ocak}}) = 0,99967664 \times (3264 + 921,6) = 4184,2465 \text{ W'dır.}$$

Prototip binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı Denklem (3.8)'den hesaplanır.

$$Q_{\text{ay,e}} = [H(T_{i,\text{ay}} - T_{d,\text{ay}}) - \eta_{\text{ay}}(\phi_{i,\text{ay}} + \phi_{s,\text{ay}})] \cdot t \dots\dots\dots(3.8)$$

Prototip binanın ocak ayı ısıtma enerji ihtiyacını hesaplamak için Denklem (3.8)'i kullanırsak;

$$Q_{\text{ocak,e}} = [2089,351 \times (19 - 2,9) - 0,99967664 \times (3264 + 921,6)] \times 86400 \times 30 \times 10^{-3} = 76345559,51 \text{ kJ' olarak bulunur.}$$

Pik yük hesaplamada gereken, prototip binanın aylık ısıtma yükü ihtiyacı ise Denklem (3.9)'dan hesaplanır.

$$Q_{\text{ay}} = [H(T_{i,\text{ay}} - T_{d,\text{ay}}) - \eta_{\text{ay}}(\phi_{i,\text{ay}} + \phi_{s,\text{ay}})] \dots\dots\dots(3.9)$$

Prototip binanın ocak ayı ısıtma yükü ihtiyacını hesaplamak için Denklem (3.9)'u kullanırsak;

$$Q_{\text{ocak}} = [2089,351 \times (19 - 2,9) - 0,99967664 \times (3264 + 921,6)] = 29454,305 \text{ W}_t' \text{ olarak bulunur.}$$

Buraya kadar yapılan hesaplamalar her ay için tekrarlanarak toplam ısı kaybı bulunur. Yıllık ısıtma ihtiyacı ise TSE 825 standardına göre  $Q_{\text{yıl}} = \Sigma Q_{\text{ay}}$  formülüne göre hesaplanır. Tüm aylar için yapılan yıllık ısıtma yükü ihtiyacı Tablo 3.3' deki gibi hesaplanmıştır.

Yatağan ilçesinde ki 7640 konutun ocak ayı ısıtma yükü ihtiyacı, prototip binada 10 daire olduğu için Tablo 3.3' deki ocak ayı ısıtma yükü ihtiyacı, 764 ile

çarpılarak bulunur. Her ay için aynı yöntem kullanarak tüm konutların yıllık ısıtma yükü ihtiyacı hesaplanır.

Tablo 3.3 Yıllık ısıtma yükü ihtiyacı

| Aylar                                                                                | Isı kaybı       |                       |                          | Isı kazançları |                        |                                                    |          |                         | Isıtma Enerjisi İhtiyacı | Isıtma yükü ihtiyacı | Yatağan ilçesindeki 7640 konut için ısıtma yükü |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|----------------|------------------------|----------------------------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                      | Özgül ısı kaybı | Sıcaklık farkı        | Isı kayıpları            | İç ısı kazancı | Güneş enerjisi kazancı | Toplam                                             | KKO      | Kazanç Kullanım Faktörü |                          |                      |                                                 |
|                                                                                      | $H = H_t + H_v$ | $\theta_i - \theta_e$ | $H(\theta_i - \theta_e)$ | $\phi_i$       | $\phi_s$               | $\phi_T = \phi_i + \phi_s$                         | $\gamma$ | $\eta_{ay}$             |                          |                      |                                                 |
|                                                                                      | (W/K)           | ( K, °C)              | (W)                      | (W)            | (W)                    | (W)                                                | (-)      | (-)                     | (kJ)                     | (W <sub>t</sub> )    | (W <sub>t</sub> )                               |
| Ocak                                                                                 | 2089            | 16,1                  | 33639                    | 3264           | 921,6                  | 4186                                               | 0,1244   | 0,9997                  | 76345559,51              | 29454                | 22503089                                        |
| Şubat                                                                                |                 | 14,6                  | 30505                    |                | 1148,4                 | 4412                                               | 0,1446   | 0,9990                  | 67642161,82              | 26097                | 19937736                                        |
| Mart                                                                                 |                 | 11,7                  | 24445                    |                | 1425,6                 | 4690                                               | 0,1918   | 0,9946                  | 51273263,52              | 19781                | 15112953                                        |
| Nisan                                                                                |                 | 6,2                   | 12954                    |                | 1483,2                 | 4747                                               | 0,3665   | 0,9347                  | 22075465,8               | 8517                 | 6506812                                         |
| Mayıs                                                                                |                 | 1                     | 2089                     |                | 1767,6                 | 5032                                               | 2,4082   | 0,3398                  | 983670,3056              | 380                  | 289940                                          |
| Haziran                                                                              |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1861,2                 | 5125                                               | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Temmuz                                                                               |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1810,8                 | 5075                                               | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Ağustos                                                                              |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1695,6                 | 4960                                               | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Eylül                                                                                |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1429,2                 | 4693                                               | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Ekim                                                                                 |                 | 4,9                   | 10238                    |                | 1159,2                 | 4423                                               | 0,4320   | 0,9012                  | 16204326,63              | 6252                 | 4776275                                         |
| Kasım                                                                                |                 | 10,5                  | 21938                    |                | 874,8                  | 4139                                               | 0,1887   | 0,9950                  | 46189524,3               | 17820                | 13614505                                        |
| Aralık                                                                               |                 | 15,2                  | 31758                    |                | 806,4                  | 4070                                               | 0,1282   | 0,9996                  | 71770924,92              | 27689                | 21154702                                        |
| $Q_{ay} = [H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})]$ |                 |                       |                          |                |                        | $Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 103896,011 \text{ W}_t$ |          |                         |                          |                      |                                                 |

### 3.2. Sıcak Kullanım Suyu Isı Yükünün Hesaplanması

Sıcak kullanım suyu ısı yüklerini hesaplanırken bir binada konut bazında standart su ihtiyaçları göz önüne alınır. Çeşitli su kullanım yerlerindeki su tüketimleri Tablo 3.4’de görülebilir (Erden, 2002).

Tablo 3.4 Çeşitli su kullanım yerlerindeki su tüketimleri

| Sıra No       | Su Kullanım Yeri | Tüketim (l/h) |
|---------------|------------------|---------------|
| 1             | Lavabo           | 8             |
| 2             | Eviye            | 40            |
| 3             | Çamaşır Makinesi | 70            |
| 4             | Bulaşık Makinesi | 40            |
| 5             | Banyo            | 100           |
| <b>TOPLAM</b> |                  | <b>258</b>    |

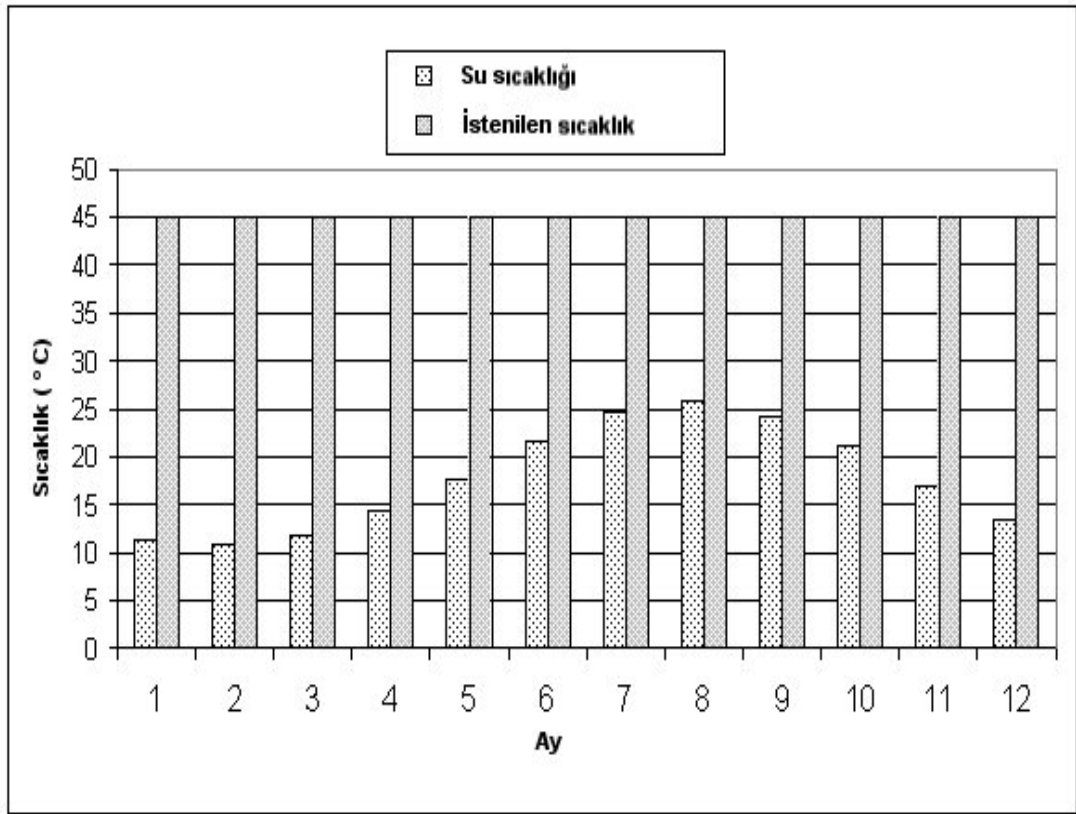
Konut içerisinde sıcak su kullanım yerlerinin hepsi aynı anda ve her zaman kullanılmaz. Ayrıca, binadaki ve şehirdeki tüm konutlar aynı anda sıcak su kullanılamaz. Dolayısıyla bina ve şehir eş kullanım faktörleri belirlenerek tüm şehrin kullanacağı sıcak su ihtiyacı belirlenir. Tablo 3.4'deki değerlere kullanım eş zaman faktörü de ilave edilir. Apartman bazında kullanım eş faktörü 0,3, şehir bazında ise 0,25 olarak alındığında bir konutun sıcak su ihtiyacı:

$$V_{\text{konut}} = 258 \times 0,3 \times 0,25 = 19,35 \text{ l/h olacaktır.}$$

Yatağan ilçesindeki tüm konutların sıcak su kullanım yükü Denklem (3.10)'dan hesaplanır.

$$Q_{\text{sıcaksu}} = V_{\text{konut}} \times \rho_{\text{su}} \times C_p \times \Delta T \times \text{Konut sayısı} \dots\dots\dots(3.10)$$

Bir ailenin sıcak su ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için  $T_{\text{konfor}} = 45^\circ\text{C}$  olması gerekmektedir. Şehir şebekelerinden temin edilen suyun sıcaklığı ise sabit kalmaz. Kış aylarında yaklaşık  $10^\circ\text{C}$ , yaz aylarında ise  $25^\circ\text{C}$ 'yi aşabilir. Bu nedenle  $T_{\text{şebeke}}$  için şebeke suyunun aylık ortalama değerleri için Şekil 3.2' deki sıcaklıklar kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Şebeke suyunun aylık ortalama sıcaklıkları (Anonim g, 2002)

Denklem (3.10)' dan Şekil 3.2' deki sıcaklık değerleri kullanılarak Ocak ayı için sıcak su kullanım yükü,

$$Q_{\text{ocaksıcaksu}} = 19,35 \frac{l}{h} \times 996,02 \frac{kg}{m^3} \times 4,179 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \times (45 - 11)^\circ C \times 7640 = 5,81 \text{ MWt}$$

olarak bulunur.

Tüm aylar için hesaplanan aylık sıcak su kullanım yükü değerleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Aylık sıcak kullanım suyu yükü

| Ay | T <sub>şebeke</sub><br>(°C) | T <sub>konfor</sub><br>(°C) | Debi<br>(l/h) | Q <sub>sıcak su</sub><br>(MW <sub>t</sub> ) |
|----|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------------------|
| 1  | 11                          | 45                          | 19,35         | <b>5,81</b>                                 |
| 2  | 10,5                        | 45                          | 19,35         | <b>5,90</b>                                 |
| 3  | 12                          | 45                          | 19,35         | <b>5,64</b>                                 |
| 4  | 14                          | 45                          | 19,35         | <b>5,30</b>                                 |
| 5  | 18                          | 45                          | 19,35         | <b>4,62</b>                                 |
| 6  | 21                          | 45                          | 19,35         | <b>4,10</b>                                 |
| 7  | 25                          | 45                          | 19,35         | <b>3,42</b>                                 |
| 8  | 26                          | 45                          | 19,35         | <b>3,25</b>                                 |
| 9  | 24,5                        | 45                          | 19,35         | <b>3,50</b>                                 |
| 10 | 21                          | 45                          | 19,35         | <b>4,10</b>                                 |
| 11 | 16,5                        | 45                          | 19,35         | <b>4,87</b>                                 |
| 12 | 14                          | 45                          | 19,35         | <b>5,30</b>                                 |

### 3.3. Kullanılacak Boru Çapının Hesabı

Bölgesel ısıtma sistemlerinde sıcak su, iletim ve dağıtım hatlarında ön izolasyonlu borular kullanılır. Ön izolasyonlu boruların kullanılmasının amacı ısı kaybını en aza indirmesi ve uzun ömürlü olmasıdır.

Boru çapının belirlenmesinde bilinmesi gerekenler, borudaki hız ve su debisidir. Su debisi, ısıtma sistemindeki ısı ihtiyacı ve gidiş dönüş su sıcaklıkları belirlendiğinde, Denklem (3.11)'e göre hesaplanır (Anonim h).

$$\dot{m} = \frac{Q}{\rho_{su} \times C_p \times \Delta T} [\text{m}^3 / \text{s}] \dots\dots\dots (3.11)$$

$$Q = (22503 \text{ kW bina ısı ihtiyacı} + 5810 \text{ kW sıcak su ihtiyacı} + \text{borulardaki ısı kaybı})$$

Borulardaki ısı kaybını, boru çapı bilinmeden hesaplanamayacağı için, 1.iterasyonda, borulardaki ısı kaybının 2000 kW'dan yüksek olmaması varsayımı ile;

1.iterasyonda

$$Q = 30000 \text{ kW olarak alınır}$$

$$\rho_{su} = 972 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,198 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{m} = ?$$

Değerleri Denklem (3.11)'de yerine koyarsak,

$$\dot{m} = \frac{30000\text{kW}}{972 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,198 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \times 60^{\circ}\text{C}} = 0,122535 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem (3.11)' den debi hesaplandıktan sonra boru çapı Denklem (3.12)'ye göre hesaplanır (Anonim h).

$$V = \frac{4 \times \dot{m}}{\pi \times D^2} \left[ \text{m}^3 / \text{s} \right] \dots\dots\dots(3.12)$$

İletim hatlarındaki boru içindeki ortalama akışkan hızı,  $V=3 \text{ m/s}$  olarak alınmıştır (Anonim f, 2006).

Denklem (3.11)' den hesaplanan debi değeri, Denklem (3.12)'de kullanılırsa,

$$3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{4 \times 0,122535 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \times D^2} \Rightarrow D = 0,2281\text{m} \times \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} = 228,1\text{mm} \text{ olarak bulunur.}$$

Buna göre iletim hatları için uygun boru çapı DN 250 olarak seçilir.

### 3.4. Borulardaki Isı Kaybı Hesabı

Ön izolasyonlu borular toprağa gömülmesi durumunda borunun bir metresinde meydana gelen ısı kaybı, Denklem (3.13)'e göre hesaplanır (Anonim i).

$$\phi = U(T_f - T_g) \text{ W/m} \dots\dots\dots 3.13$$

Isı iletkenlik katsayısı ise Denklem (3.14)'den hesaplanır (Anonim i).

$$U = \frac{1}{R_s + R_{PUR} + R_{PE} + R_g} \dots\dots\dots 3.14$$

Isıl iletkenlik dirençleri aşağıdaki gibi hesaplanır (Anonim i).

$R_s$ , Servis Borunun Isıl İletkenlik Direnci Denklem (3.15)'den;

$$R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_s} \ln \frac{D_o}{D_i} \dots\dots\dots 3.15$$

$R_{PUR}$ , İzolasyon Malzemesinin Isıl İletkenlik Direnci Denklem (3.16)' dan;

$$R_{PUR} = \frac{1}{2\pi\lambda_{PUR}} \ln \frac{d_i}{D_o} \dots\dots\dots 3.16$$

$R_{PE}$ , Kılıf Borunun Isıl İletkenlik Direnci Denklem (3.17)'den ;

$$R_{PE} = \frac{1}{2\pi\lambda_{PE}} \ln \frac{d_o}{d_i} \dots\dots\dots 3.17$$

$R_g$ , Toprağın Isıl İletkenlik Direnci Denklem (3.18)'den ;

$$R_g = \frac{1}{2\pi\lambda_g} \ln \frac{4Z}{d_o} \dots\dots\dots 3.18$$

1.İterasyona göre boru kaybı hesabı için, İzoborun katoloğuna göre DN 250 ön izolasyonlu borunun bilgileri aşağıdaki gibidir.

$D_o=273$  mm (Borunun dış çapı)

$D_i=263$  mm (Borunun iç çapı)

$d_o=400$  mm (Kılıf borunun dış çapı)

$d_i=387,4$  mm (Kılıf borunun iç çapı)

$\lambda_s=76$  W/m°C (Borunun ısıl iletkenlik katsayısı)

$\lambda_{PUR}=0.028$  W/m°C (İzalasyon malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı)

$\lambda_{PE}=0.43$  W/m°C (Kılıfın borunun ısıl iletkenlik katsayısı)

$\lambda_g=1,7$  W/m°C (Toprağın ısıl iletkenlik katsayısı)

$Z=$ Toprak dolgu yüksekliği + 100 mm = 500 + 100 = 600 mm (Anonim i).

Tüm bu değerler sırasıyla Denklem (3.15), Denklem (3.16), Denklem (3.17), ve Denklem (3.18)'de kullanılırsa ;

$$R_s = \frac{1}{2\pi \times 76(W / m.^{\circ}C)} \ln \frac{273 (mm)}{263 (mm)} = 0,000078 m.^{\circ}C / W,$$

$$R_{PUR} = \frac{1}{2\pi \times 0,028(m.^{\circ}C / W)} \ln \frac{387,4(mm)}{273(mm)} = 1,990 m.^{\circ}C / W,$$

$$R_{PE} = \frac{1}{2\pi \times 0,43(W / m.^{\circ}C)} \ln \frac{400(mm)}{387,4(mm)} = 0,0118 m.^{\circ}C / W,$$

$$R_g = \frac{1}{2\pi \times 1,7(W / m.^{\circ}C)} \ln \frac{4 \times 600(mm)}{400(mm)} = 0,167 m.^{\circ}C / W \text{ olarak bulunur.}$$

Hesaplanan değerler Denklem (3.14)'de yerine konulursa

$$U = \frac{1}{0,000078 + 1,990 + 0,0118 + 0,167} = 0,461067 W/m.^{\circ}C \text{ olarak ısı iletkenlik}$$

katsayısı hesaplanır.

Akışkanın sıcaklığı  $110^{\circ}C$  ve boruların gömüldüğü derinlikte toprak sıcaklığı  $5^{\circ}C$  olduğu kabul edilirse, boruların bir metresindeki ısı kaybı Denklem (3.13)'e göre ;

$$\phi = 0,461067 \left( \frac{W}{m.^{\circ}C} \right) (110 - 5)(^{\circ}C) = 48,41212 W/m \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem (3.13)'de boruların bir metresinde meydana gelen ısı kaybı hesaplanmıştı. Borulardaki toplam ısı kaybı ise toplam iletim boru hattının uzunluğu (gidiş-dönüş) yaklaşık olarak 12000 metre olduğu kabul edilirse ,

$$\phi = \frac{12000 \times 48,41212 \frac{W}{m}}{1000000} = 0,580945 MWt \text{ 'dır.}$$

Bu çalışmada, borulardaki toplam ısı kaybını bulduktan sonra, boru çapı hesabındaki 1. iterasyonun, doğruluğunu anlamak için 2. iterasyonda tekrar boru çapı hesaplanmıştır.

## 2. İterasyon

$Q = (22503 \text{ kW bina ısı ihtiyacı} + 5810 \text{ kW sıcak su ihtiyacı} + 580,9 \text{ kW borulardaki ısı kaybı}) = 28893,9 \text{ kW}$

$$\rho_{su} = 972 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,198 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 60^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = ?$$

Değerleri Denklem (3.11)'de yerine koyarsak,

$$\dot{m} = \frac{28893,8 \text{ kW}}{972 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,198 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.}^\circ\text{C}} \times 60^\circ\text{C}} = 0,118017 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Denklem (3.11)' den hesaplanan debi değeri, Denklem (3.12)'de kullanılırsa,

$$3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{4 \times 0,118017 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \times D^2} \Rightarrow D = 0,2238 \text{ m} \times \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 223,8 \text{ mm}$$

Buna göre uygun boru çapı yine DN 250 olarak seçilir. Yukarıda borulardaki ısı kaybı hesabı yaparken de boru çapı DN 250 olarak alındığı için tekrar ısı kaybı hesabı yapmaya gerek yoktur.

## 3.5. Santralin Üretmesi Gereken Toplam Pik Yükün Hesaplanması

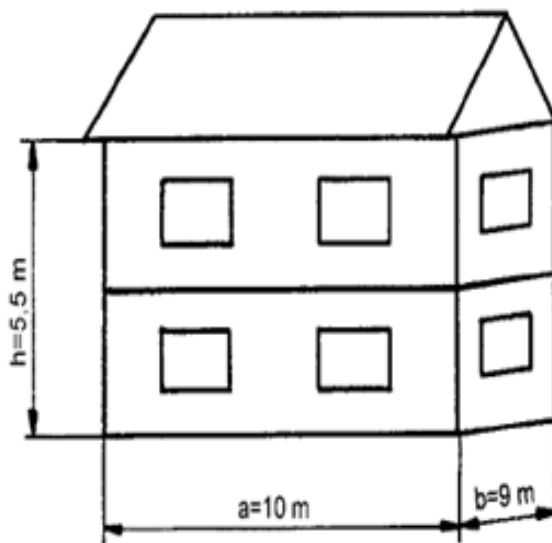
Yatağan Termik Santrali'nin üretmesi gereken toplam pik yük; binaların ısıtma yükü, sıcak su kullanım yükü ihtiyacı ve borulardaki toplam ısı kaybı toplanarak bulunur. Santralin üretmesi gereken aylık toplam pik yük değerleri Tablo 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3.6 Santralin üretmesi gereken aylık toplam pik yük değerleri

| Aylar | Bina Pik Yük İhtiyacı (MW <sub>t</sub> ) | Sıcak Su Pik Yük İhtiyacı (MW <sub>t</sub> ) | Borulardaki Isı Kaybı (MW <sub>t</sub> ) | Toplam Pik Yük İhtiyacı (MW <sub>t</sub> ) |
|-------|------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1     | 22,50                                    | 5,81                                         | 0,58                                     | 28,90                                      |
| 2     | 19,94                                    | 5,90                                         | 0,58                                     | 26,42                                      |
| 3     | 15,11                                    | 5,64                                         | 0,58                                     | 21,33                                      |
| 4     | 6,51                                     | 5,30                                         | 0,58                                     | 12,39                                      |
| 5     | 0,29                                     | 4,62                                         | 0,58                                     | 5,49                                       |
| 6     | 0,00                                     | 4,10                                         | 0,58                                     | 4,68                                       |
| 7     | 0,00                                     | 3,42                                         | 0,58                                     | 4,00                                       |
| 8     | 0,00                                     | 3,25                                         | 0,58                                     | 3,83                                       |
| 9     | 0,00                                     | 3,50                                         | 0,58                                     | 4,08                                       |
| 10    | 4,78                                     | 4,10                                         | 0,58                                     | 9,46                                       |
| 11    | 13,61                                    | 4,87                                         | 0,58                                     | 19,07                                      |
| 12    | 21,15                                    | 5,30                                         | 0,58                                     | 27,03                                      |

### 3.6. Farklı Prototip Bina Seçimi Durumda Pik Yük Değişimi

Bu hesaplamada, Yatağan ilçesinde bulunan 7640 konuttan 4000'in 5 katlı 10 daireli, 3640 adetinin ise 2 katlı 4 daireli binalardan oluştuğu düşünülerek pik yük üzerindeki etkisini görmek için hesaplanmıştır. Öncelikle 3600 konut için Şekil 3.3' de görülen 2 katlı 4 daireli prototip binanın ölçüleri Tablo 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Prototip bina (2 katlı 4 daireli)

Tablo 3.7 Prototip bina ölçüleri (2 katlı 4 daireli)

| <b>Bina Ölçüleri</b>         | <b>Metre</b>         |
|------------------------------|----------------------|
| Kat yüksekliği               | 3,00                 |
| Binanın eni                  | 9                    |
| Binanın boyu                 | 10                   |
| Binanın Yüksekliği           | 5,5                  |
| <b>Kapı pencere alanları</b> | <b>m<sup>2</sup></b> |
| Dış kapı alanı               | 2,00                 |
| Güney yönü pencere alanı     | 8,00                 |
| Kuzey yönü pencere alanı     | 4,00                 |
| Doğu yönü pencere alanı      | 4,00                 |
| Batı yönü pencere alanı      | 4,00                 |
| Toplam pencere alanı         | 20,00                |

Pencere alanı,  $A_p = 20 \text{ m}^2$

Betonarme alanı,  $A_{bet} = [2 \times (10 + 9) \times (0,12 \times 3)] = 13,68 \text{ m}^2$

Dış kapı alanı,  $A_k = 2 \text{ m}^2$

Dış duvar alanı,  $A_D = [2 \times 5,5 \times (10 + 9)] - A_p - A_{bet} - A_k = 173,32 \text{ m}^2$

Tavan alanı,  $A_T = 10 \times 9 = 90 \text{ m}^2$

Döşeme alanı,  $A_t = 10 \times 9 = 90 \text{ m}^2$

Binanın brüt hacmi,  $V_{brüt} = 10 \times 9 \times 5,5 = 495 \text{ m}^3$

Bina kullanım alanı,  $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 158,4 \text{ m}^2$

Şekil 3.3' deki Prototip bina (2 katlı 4 daireli) için bina özgül ısı kaybının hesaplaması, Tablo 3.8' de Prototip binanın özgül ısı kaybı çizelgesi olarak verilmiştir.

Tablo 3.8 Prototip binanın (2 katlı 4 daireli) özgül ısı kaybı çizelgesi

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2                        | 3                                  | 4                                                     | 5                                                     | 6                                                      | 7                                              | 8                      | 9                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Isı kaybeden yüzey                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Binadaki yapı elemanları | Yapı elemanı kalınlığı<br>d<br>(m) | Isıl iletkenlik hesap değeri<br>$\lambda h$<br>(W/mK) | Isıl iletkenlik direnci<br>R,<br>(m <sup>2</sup> K/W) | Isı geçirgenlik katsayısı<br>U<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Isı kaybedilen yüzey<br>A<br>(m <sup>2</sup> ) | Yüzey Çarpım Katsayısı | Isı kaybı<br>A x U<br>(W/K) |
| Duvar Yüzeyleri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sıva                     | 0,020                              | 1,000                                                 | 0,020                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Yatay delikli tuğla      | 0,190                              | 0,360                                                 | 0,528                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sıva                     | 0,008                              | 0,350                                                 | 0,023                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,040                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          |                                    |                                                       | 0,741                                                 | 1,350                                                  | 173,320                                        | 1,00                   | <b>234,015</b>              |
| Duvar Yüzeyleri (betonarme)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sıva                     | 0,020                              | 1,000                                                 | 0,020                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Betonarme                | 0,240                              | 2,500                                                 | 0,096                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sıva                     | 0,008                              | 0,350                                                 | 0,023                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,040                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          |                                    |                                                       | 0,309                                                 | 3,238                                                  | 13,680                                         | 1,00                   | <b>44,292</b>               |
| Tavan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Sıva                     | 0,020                              | 1,000                                                 | 0,020                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Betonarme                | 0,120                              | 2,500                                                 | 0,048                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,080                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          |                                    |                                                       | 0,278                                                 | 3,597                                                  | 90,00                                          | 0,8                    | <b>258,993</b>              |
| Taban/ Döşeme                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | R <sub>i</sub>           |                                    |                                                       | 0,130                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | PVC yer döşemesi         | 0,005                              | 0,23                                                  | 0,022                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Şap                      | 0,030                              | 1,400                                                 | 0,021                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Tesviye şapı             | 0,020                              | 1,400                                                 | 0,014                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Hafif beton              | 0,100                              | 1,100                                                 | 0,091                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | R <sub>e</sub>           |                                    |                                                       | 0,000                                                 |                                                        |                                                |                        |                             |
| <b>Toplam</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                          |                                    |                                                       | 0,278                                                 | 3,592                                                  | 90,00                                          | 0,5                    | <b>161,660</b>              |
| Dış Kapı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                          |                                    |                                                       |                                                       | 4                                                      | 2                                              | 1,00                   | <b>8,00</b>                 |
| Pencere                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                          |                                    |                                                       |                                                       | 2,4                                                    | 20                                             | 1,00                   | <b>48,00</b>                |
| <b>Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                          |                                    |                                                       |                                                       |                                                        |                                                |                        | <b>754,960</b>              |
| $\Sigma AU = 1,350 \times 173,32 + 3,238 \times 13,680 + 2,4 \times 20 + 4 \times 2 + 0,8 \times 3,597 \times 90 + 0,5 \times 3,592 \times 90 = 754,960 \text{ W/K}$ elde edilir.<br>$H_T = \Sigma AU + IU_i = 754,960 + 0 = 754,960 \text{ W/K}$ 'dır.<br>$H_V = 0,33 \times 0,8 \times 126,72 = 33,45408 \text{ W/K}$ şeklinde hesaplanır.<br><b><math>H = H_T + H_V = 754,960 + 33,45408 = 788,414 \text{ W/K}</math> olarak hesaplanır.</b> |                          |                                    |                                                       |                                                       |                                                        |                                                |                        |                             |

Yatağan ilçesinde ki 3640 konutun ocak ayı ısıtma yükü ihtiyacı, prototip binada 4 daire olduğu için Tablo 3.9' daki ocak ayı ısıtma yükü ihtiyacı, 910 ile



Yatağan ilçesinde bulunan 4000 konutun ısıtma yükü ihtiyacı bulmak için ise, daha önceden verilmiş olan Şekil 3.1’ de ki prototip bina alınmış olup ölçüleri de Tablo 3.1’de verilmiştir. Dolayısı ile binanın özgül ısı kaybı için daha önceden hesaplaması yapılan Tablo 3.2 değerler tekrar kullanılmıştır.

Yatağan ilçesinde ki 4000 konutun ocak ayı ısıtma yükü ihtiyacı, prototip binada 10 daire olduğu için Tablo 3.10’ daki ocak ayı ısıtma yükü ihtiyacı, materyal yöntem kısmında yapılan sonuçlar tekrar alınarak, 400 ile çarpılması ile bulunur. Her ay için aynı yöntem kullanarak tüm konutların yıllık ısıtma yükü ihtiyacı hesaplanır.

Tablo 3.10 4000 konutun yıllık ısıtma yükü ihtiyacı

| Aylar                                                                                | Isı kaybı       |                       |                          | Isı kazançları |                        |                                                                            |          |                         | Isıtma Enerjisi İhtiyacı | Isıtma yükü ihtiyacı | Yatağan ilçesindeki 4000 konut için ısıtma yükü |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|----------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                      | Özgül ısı kaybı | Sıcaklık farkı        | Isı kayıpları            | İç ısı kazancı | Güneş enerjisi kazancı | Toplam                                                                     | KKO      | Kazanç Kullanım Faktörü |                          |                      |                                                 |
|                                                                                      | $H = H_t + H_v$ | $\theta_i - \theta_e$ | $H(\theta_i - \theta_e)$ | $\phi_i$       | $\phi_s$               | $\phi_T = \phi_i + \phi_s$                                                 | $\gamma$ | $\eta_{ay}$             |                          |                      |                                                 |
|                                                                                      | (W/K)           | ( K, °C)              | (W)                      | (W)            | (W)                    | (W)                                                                        | (-)      | (-)                     | (kJ)                     | (W <sub>t</sub> )    | (W <sub>t</sub> )                               |
| Ocak                                                                                 | 2089            | 16,1                  | 33639                    | 3264           | 921,6                  | 4186                                                                       | 0,1244   | 0,9997                  | 76345559,51              | 29454                | 11781722                                        |
| Şubat                                                                                |                 | 14,6                  | 30505                    |                | 1148,4                 | 4412                                                                       | 0,1446   | 0,9990                  | 67642161,82              | 26097                | 10438605                                        |
| Mart                                                                                 |                 | 11,7                  | 24445                    |                | 1425,6                 | 4690                                                                       | 0,1918   | 0,9946                  | 51273263,52              | 19781                | 7912541                                         |
| Nisan                                                                                |                 | 6,2                   | 12954                    |                | 1.483,2                | 4747                                                                       | 0,3665   | 0,9347                  | 22075465,8               | 8517                 | 3406708                                         |
| Mayıs                                                                                |                 | 1                     | 2089                     |                | 1767,6                 | 5032                                                                       | 2,4082   | 0,3398                  | 983670,3056              | 380                  | 151801                                          |
| Haziran                                                                              |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1861,2                 | 5125                                                                       | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Temmuz                                                                               |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1810,8                 | 5075                                                                       | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Ağustos                                                                              |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1695,6                 | 4960                                                                       | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Eylül                                                                                |                 | $\theta_e$ yüksek     | 0                        |                | 1429,2                 | 4693                                                                       | 0,0000   | 0,0000                  | 0                        | 0                    | 0                                               |
| Ekim                                                                                 |                 | 4,9                   | 10238                    |                | 1159,2                 | 4423                                                                       | 0,4320   | 0,9012                  | 16204326,63              | 6252                 | 2500668                                         |
| Kasım                                                                                |                 | 10,5                  | 21938                    |                | 874,8                  | 4139                                                                       | 0,1887   | 0,9950                  | 46189524,3               | 17820                | 7128013                                         |
| Aralık                                                                               |                 | 15,2                  | 31758                    |                | 806,4                  | 4070                                                                       | 0,1282   | 0,9996                  | 71770924,92              | 27689                | 11075760                                        |
| $Q_{ay} = [H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})]$ |                 |                       |                          |                |                        | $Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 54395817 \text{ W}_t \text{ (4000 konut için)}$ |          |                         |                          |                      |                                                 |

Sonuç olarak Yatağan ilçesinde 5 katlı ve 2 katlı binalardan oluşan 7640 konutun toplam yıllık ısıtma yükü ihtiyacı Tablo 3.11’ de verilmiştir.

Tablo 3.11 7640 konutun toplam yıllık ısıtma yükü ihtiyacı

| Aylar | 2 Katlı 4 Daireli Toplam<br>3640 Konutun<br>Isıtma Pik Yük İhtiyacı<br>(W <sub>t</sub> ) | 5 Katlı 10 Daireli Toplam<br>4000 Konutun<br>Isıtma Pik Yük İhtiyacı<br>(W <sub>t</sub> ) | Tüm konutlar<br>(7640 adet) için<br>Isıtma Pik Yük İhtiyacı<br>(W <sub>t</sub> ) |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 10383115                                                                                 | 11781722                                                                                  | 22164837                                                                         |
| 2     | 9197149                                                                                  | 10438605                                                                                  | 19635754                                                                         |
| 3     | 6985346                                                                                  | 7912541                                                                                   | 14897887                                                                         |
| 4     | 3073358                                                                                  | 3406708                                                                                   | 6480066                                                                          |
| 5     | 140908                                                                                   | 151801                                                                                    | 292709                                                                           |
| 6     | 0                                                                                        | 0                                                                                         | 0                                                                                |
| 7     | 0                                                                                        | 0                                                                                         | 0                                                                                |
| 8     | 0                                                                                        | 0                                                                                         | 0                                                                                |
| 9     | 0                                                                                        | 0                                                                                         | 0                                                                                |
| 10    | 2315134                                                                                  | 2500668                                                                                   | 4815802                                                                          |
| 11    | 6389603                                                                                  | 7128013                                                                                   | 13517616                                                                         |
| 12    | 9793316                                                                                  | 11075760                                                                                  | 20869076                                                                         |

Yatağan ilçesinde bulunan 7640 konuttan 4000'in 5 katlı 10 daireli, 3640 adedinin ise 2 katlı 4 daireli binalardan oluştuğu düşünülerek yapılan hesaplamalar sonucu ocak ayı için toplam bina ısıtma yükü ihtiyacı 22164837 W<sub>t</sub> 'dir. Sıcak kullanım suyu ısı yükleri bina tipine göre değişmeyeceğinden, daha önceden hesaplandığı gibi ocak ayı sıcak su kullanım yükü değeri 5,81 MW<sub>t</sub> 'dir. Borulardaki ısı kaybını bulmak için önce boru çapı belirlenmelidir. Boru çapı hesaplanmak istenirse, 1. İterasyonda, boru çapı DN 250'de meydana gelen borulardaki ısı kaybı değeri 580,9 kW alınır ;

1.iterasyonda

$Q = (22165 \text{ kW bina ısı ihtiyacı} + 5810 \text{ kW sıcak su ihtiyacı} + 580,9 \text{ kW borulardaki ısı kaybı}) = 28555,9 \text{ kW}$

$$\rho_{su} = 972 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,198 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 60^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = ?$$

Değerleri Denklem (3.11)'de yerine koyarsak,

$$\dot{m} = \frac{28555,9 \text{ kW}}{972 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,198 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.}^\circ\text{C}} \times 60^\circ\text{C}} = 0,116636 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Denklem (3.11)' den hesaplanan debi değeri, Denklem (3.12)'de kullanılırsa,

$$3 \frac{m}{s} = \frac{4 \times 0,116636 \frac{m^3}{s}}{\pi \times D^2} \Rightarrow D = 0,2225m \times \frac{1000mm}{1m} = 222,5mm$$

Bu durumda uygun boru çapı yine DN 250 olarak seçilir. Yukarıda yapılan hesaplamada borulardaki ısı kaybı değerini tahmini olarak alırken de boru çapı DN 250 olarak alındığı için alınan ısı kayıp değeri ve boru çapı hesabı doğru olduğunda tekrar hesaplama yapmaya gerek yoktur.

İlk pik yük hesaplamasında Yatağan ilçesindeki tüm konutların 5 katlı 10 daireli olarak pik yük hesaplamaları sonucu ve ilçede bulunan 7640 konuttan 4000'in 5 katlı 10 daireli, 3640 adedinin ise 2 katlı 4 daireli binalardan oluştuğu düşünülerek yapılan pik yük hesaplamaları sonucu Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12 Aylık toplam pik yük değerleri ve karşılaştırılması

| Aylar     | 2 Katlı 4 Daireli ve 5 Katlı 10 Daireli Binalardan Oluşan Toplam 7640 Konutun Pik Yük İhtiyacı (MW <sub>t</sub> ) |                           |                       |                         | 5 Katlı 10 Daireli Binalardan Oluşan Toplam 7640 Konutun Pik Yük İhtiyacı (MW <sub>t</sub> ) |                           |                       |                         |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
|           | Bina Pik Yük İhtiyacı                                                                                             | Sıcak Su Pik Yük İhtiyacı | Borulardaki Isı Kaybı | Toplam Pik Yük İhtiyacı | Bina Pik Yük İhtiyacı                                                                        | Sıcak Su Pik Yük İhtiyacı | Borulardaki Isı Kaybı | Toplam Pik Yük İhtiyacı |
| <b>1</b>  | 22,16                                                                                                             | 5,81                      | 0,58                  | <b>28,56</b>            | 22,50                                                                                        | 5,81                      | 0,58                  | <b>28,90</b>            |
| <b>2</b>  | 19,64                                                                                                             | 5,90                      | 0,58                  | <b>26,11</b>            | 19,94                                                                                        | 5,90                      | 0,58                  | <b>26,42</b>            |
| <b>3</b>  | 14,90                                                                                                             | 5,64                      | 0,58                  | <b>21,12</b>            | 15,11                                                                                        | 5,64                      | 0,58                  | <b>21,33</b>            |
| <b>4</b>  | 6,48                                                                                                              | 5,30                      | 0,58                  | <b>12,36</b>            | 6,51                                                                                         | 5,30                      | 0,58                  | <b>12,39</b>            |
| <b>5</b>  | 0,29                                                                                                              | 4,62                      | 0,58                  | <b>5,49</b>             | 0,29                                                                                         | 4,62                      | 0,58                  | <b>5,49</b>             |
| <b>6</b>  | 0,00                                                                                                              | 4,10                      | 0,58                  | <b>4,68</b>             | 0,00                                                                                         | 4,10                      | 0,58                  | <b>4,68</b>             |
| <b>7</b>  | 0,00                                                                                                              | 3,42                      | 0,58                  | <b>4,00</b>             | 0,00                                                                                         | 3,42                      | 0,58                  | <b>4,00</b>             |
| <b>8</b>  | 0,00                                                                                                              | 3,25                      | 0,58                  | <b>3,83</b>             | 0,00                                                                                         | 3,25                      | 0,58                  | <b>3,83</b>             |
| <b>9</b>  | 0,00                                                                                                              | 3,50                      | 0,58                  | <b>4,08</b>             | 0,00                                                                                         | 3,50                      | 0,58                  | <b>4,08</b>             |
| <b>10</b> | 4,82                                                                                                              | 4,10                      | 0,58                  | <b>9,50</b>             | 4,78                                                                                         | 4,10                      | 0,58                  | <b>9,46</b>             |
| <b>11</b> | 13,52                                                                                                             | 4,87                      | 0,58                  | <b>18,97</b>            | 13,61                                                                                        | 4,87                      | 0,58                  | <b>19,07</b>            |
| <b>12</b> | 20,87                                                                                                             | 5,30                      | 0,58                  | <b>26,75</b>            | 21,15                                                                                        | 5,30                      | 0,58                  | <b>27,03</b>            |

Tablo 3.12 'de de görüldüğü gibi bina tipinin değişmesinin pik yük üzerinde çok önemli bir etkisi yoktur.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Yatağan Termik Santrali Atık Isı Alma Yöntemi

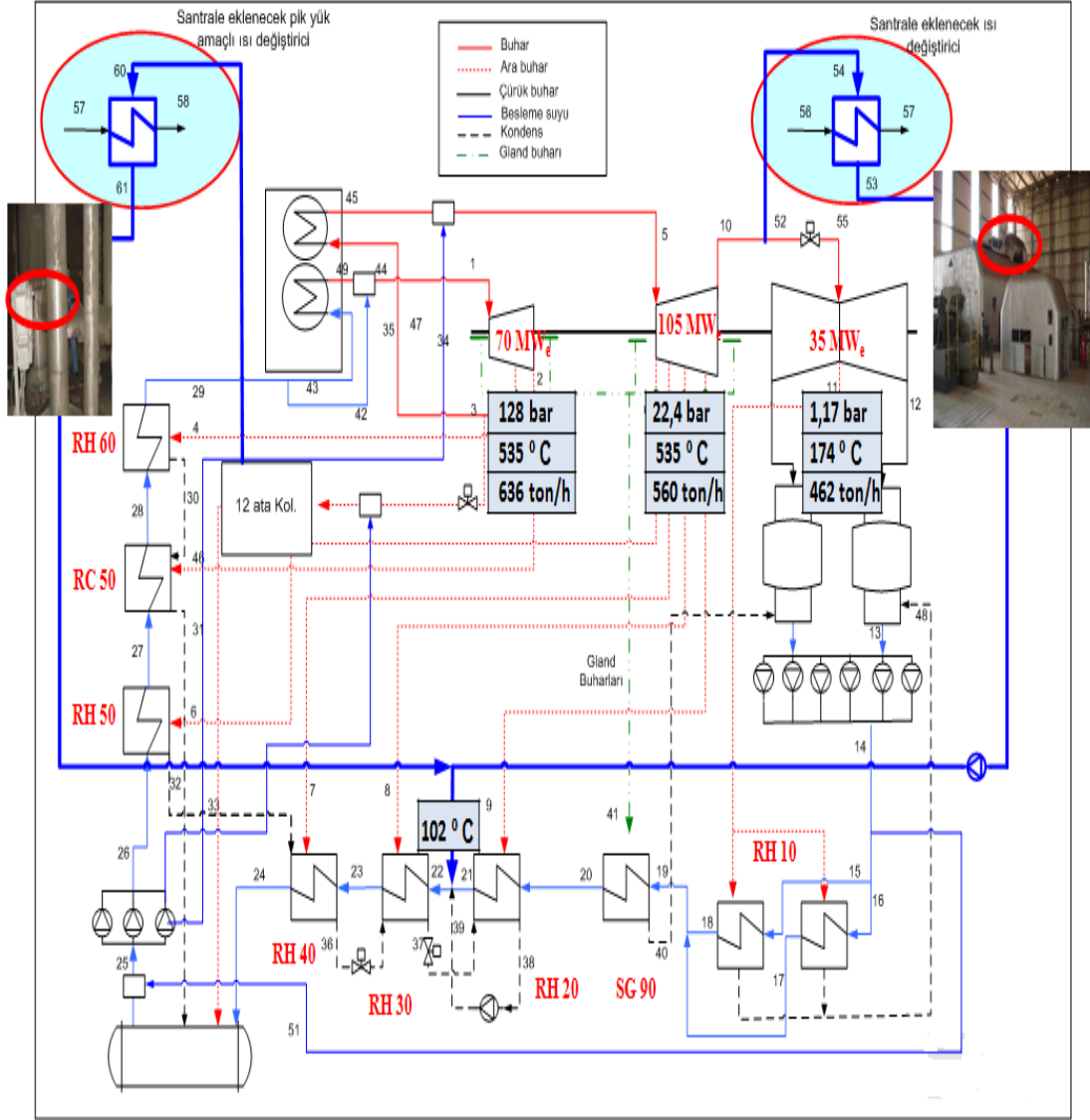
Bu çalışmada yapılan hesaplamalara göre Yatağan Termik Santrali aylık maksimum  $28,90 \text{ MW}_t$  ısıtma yükü üretmesi gerekmektedir. Santralde bulunan 13K215 tip türbini yapan firma yetkilerinin raporuna göre Orta Basınç Türbini/Alçak Basınç Türbini (OBT/ABT) buhar geçiş hattından alınacak düşük basınçtaki atık ısı buharın  $45\text{MW}_t$ 'lik ısıtma yükü sağlayacağını belirtmişlerdir. Buna göre Yatağan Termik Santrali atık ısıların en uygun şekilde değerlendirilebilmesi için santral çevriminde hangi noktalardan hangi yöntemle buhar alınacağı Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Buna göre santralin 3 ünitesinden herhangi birinde Orta Basınç Türbini/Alçak Basınç Türbini (OBT/ABT) buhar geçiş hattından alınacak düşük basınçtaki ( $1,17 \text{ bar}$  ve  $170^\circ \text{C}$ ) buhar (Şekil 4.1'de buharın alınacağı yer olan deve boynu resimlendirilmiştir), bir ısı değiştiricisine gönderilerek BIS şebeke suyu ısıtılacaktır.



Şekil 4.1 Yatağan Termik Santrali atık ısının alınacağı deve boynu

Ayrıca, zorunlu hallerde (ısı tedarik güvenliğini sağlama amaçlı) devreye girecek şekilde Yüksek Basınç Türbini (YBT) çıkış hatlarından beslenen 12 ata kolektöründen alınacak buhar ile gerekli ısı enerjisi üretilacaktır. Gerçekleştirilecek

bu dönüşümle Yatağan Termik Santrali, Yatağan ilçesinin ısı talebini karşılayacak düzeyde ısı üretim kapasitesine sahip olacaktır.



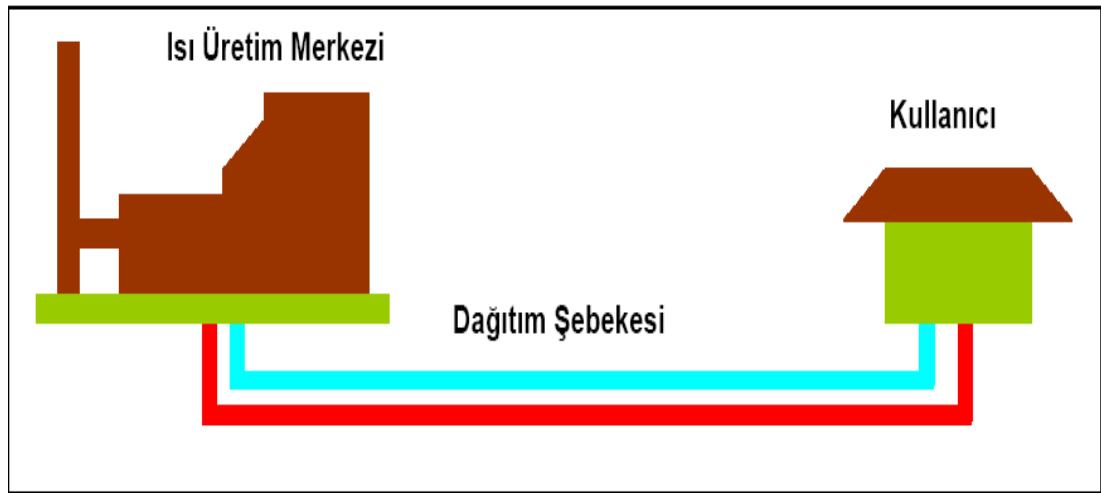
Şekil 4.2 Yatağan Termik Santrali bölgesel ısıtma için santrale eklenecek ısı değıştirici yerleri

OBT/ABT buhar geçiş hattından basınç kontrollü olarak çekilecek olan buhar compoblok tipi ısı değıştiricisine gelecek ve burada ısı alarak buhar yoğunlaşarak BIS şebeke hattında dolaşacak olan max. 110 °C de kızgın su üretileceği tahmin edilmektedir.

110 °C deki kızgın su pompalar vasıtasıyla şehir içine döşenecek olan ve ısı kayıpları çok d    k  n izolasyonlu borular vasıtasıyla (10 km de yaklaşık 1°C) evlere taşınacaktır. Kızgın su bina altlarına yerleştirilecek olan ısı deği tiricilerine gelecek, burada kalorifer suyu ve ihtiyacımız olan sıcak suyu temin ederek 50 °C de tekrar santrale dönecektir

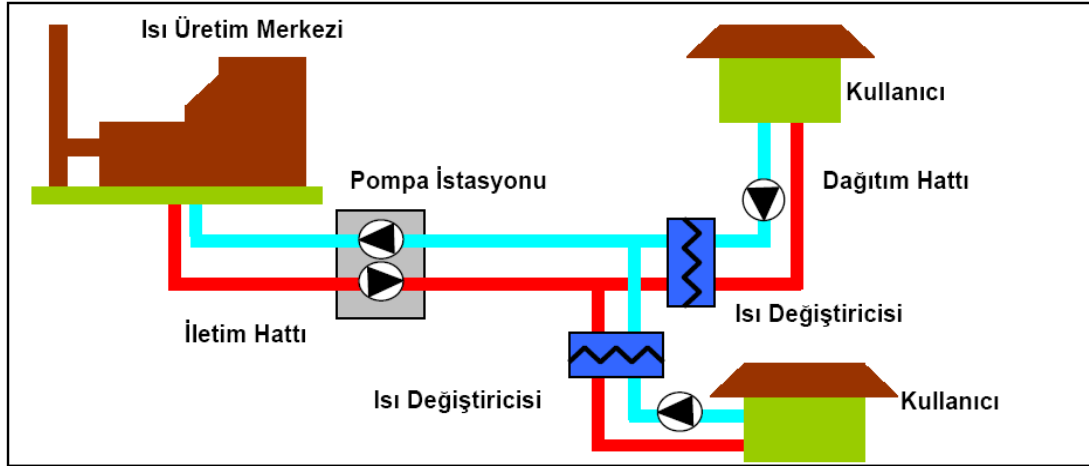
#### 4.2. Yatağan İlçesini Bölgesel Isıtma Sistemi ile Isıtmak İçin Gerekli İletim, Dağıtım Hatları ve Kullanılan Temel Elemanlar

Bir bölge ısıtma sistemi, tipik olarak ısı üretim merkezi, dağıtım şebekesi ve kullanıcı bağlantılarından oluşmaktadır. Şekil 4.3’de bölge ısıtma sistemleri elemanları verilmiştir.



Şekil 4.3 Bölge ısıtma sistemi elemanları

Termik santrallerin atık ısılarından sağlanan ısı, iletim hattı aracılığıyla merkezi ısı değiştiricileri kullanılarak dağıtım hattına aktarılır. Dağıtım hattındaki ısı; direk bağlanma veya bina alt istasyonları aracılığıyla kullanıcının şebekesine aktarılır. Şekil 4.4’de iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan temel elemanlar verilmiştir.



Şekil 4.4 İletim ve dağıtım hatlarında kullanılan temel elemanlar

Bölge ısıtmada kullanılan temel elemanlar, ısı değiştiricileri, pompalar ve ön izolasyonlu borulardır.

Bölge ısıtma sistemlerinde kullanılan ısı değiştiriciler, plakalı veya spiral plakalı ısı değiştirici olabilir. Şekil 4.5’ de plakalı ısı değiştiricilerin resmi verilmiştir. Bu tip ısı değiştiriciler, yüksek su debisine rağmen düşük akış direncine sahiptirler. Yüksek debi, ısı değiştiricisinin içinde kalıntı bırakmayacağı içinde bir avantajdır (Anonim b, 2007).



Şekil 4.5 Plakalı ısı değiştiricisi

Termik santrallerin atık ısılarından elde edilen sıcak su, dağıtım şebekesinde dolaşırken yerel kayıplar ve sürtünme kaybı nedeniyle enerjisini kaybeder. Bu yüzden, şebeke üzerinde uygun yerlerde pompa istasyonlarının kurulması gerekmektedir. Pompa istasyonlarında kullanılan pompalar santrifüj pompalardır. Pompa istasyonlarındaki pompalar şebeke içinde dolaşan sıcak suya enerji kazandırarak, şebeke içindeki suyun kullanıcılara ulaşmasını sağlar. Şekil 4.6’da bir pompa istasyonunun görüntüsü verilmiştir.



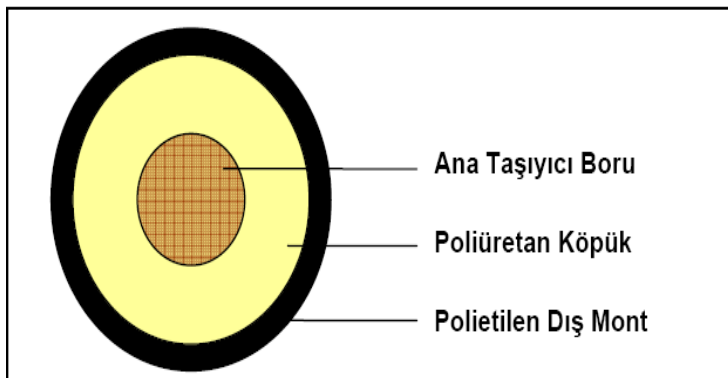
Şekil 4.6 Pompa istasyonu

Termik santrallerin atık ısılarından elde edilen sıcak su, iletim hattı ve dağıtım hattında kullanılan ön izolasyonlu borular vasıtasıyla son kullanıcıya ulaştırılmaktadır. İletim hattındaki boru DN 250 olduğunu hesaplamıştık. Dağıtım hatlarındaki borular ise iletim hattı borusunda branşman ayrıcılarla ayrılarak daha küçük çaplarda binalara taşınır (Şekil 4.7). Dağıtım hatlarındaki boru çapı, o mahalle yada sokaktaki binaların ısı yükü hesaplanarak ve dağıtım borularındaki hız 2,5 m/s alınarak, aynı işlemler tekrarlanarak belirlenir.



Şekil 4.7 İletim ve dağıtım hatları ve branşman ayırıcıları

Ön izolasyonlu borular ile üretilen ısı kullanıcıya en az ısı kaybıyla tedarik edilmektedir. Kullanılan ön izolasyonlu borular, bir ana taşıyıcı boru (kullanılma yerine göre, çelik, plastik, bakır, vs), çevresine sarılmış poliüretan köpük ve en dış kısımda sistemi komple saran polietilen dış monttan oluşmaktadır. Ayrıca, poliüretan köpük içinde dış ortamla ısı alışverişini en aza indirmek amacıyla kullanılan bir gaz (Cyclopentane) bulunmaktadır (Anonim b, 2007). Şekil 4.8’de ön izolasyonlu borunun kesiti verilmiştir.

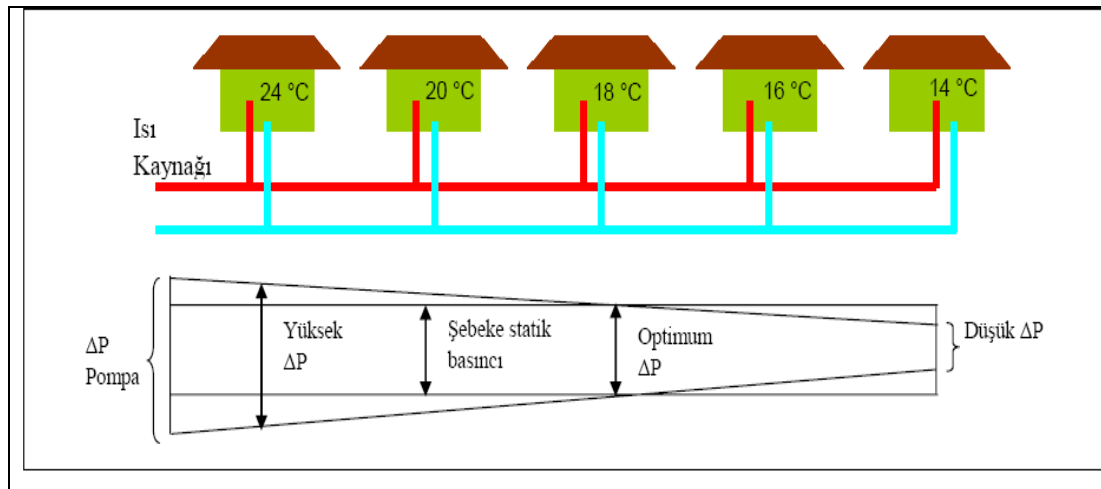


Şekil 4.8 Ön izolasyonlu boru kesiti

Termik santrallerin atık ısılarından faydalanılarak elde edilen sıcak su ön izolasyonlu borular içinde santrifüj pompalar vasıtasıyla iletim hattında dolaştırılır. Daha sonra, ısı, iletim hattından dağıtım hattına ısı değiştiricileri ile geçer ve dağıtım hattından kullanıcıya üç farklı şekilde verilebilir.

Birinci sistemde, dağıtım hattından gelen sıcak su direkt olarak bina tesisatına verilmektedir. Bu sistemde eğer ki herhangi bir kontrol elemanı kullanılmaz ise konutlar eşit ve yeterli miktarda ısı alamayabilir. Sonuç olarak da konut içi sıcaklıklarında dengesizlik oluşur.

Konut içi sıcaklıklarındaki dengesizliğin temel nedeni; basıncın kontrol edilememesidir. Özellikle uzun dağıtım hatlarında; hat sonundaki binalarda basıncın yetersizliği nedeniyle akışın az olması veya olmaması dengesizlik problemlerine neden olmaktadır. Dağıtım hattındaki pompalara uzak noktalardaki konutlar, sistemde dolaşan enerjiden yeterli şekilde yararlanamamaktadır. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi basıncın yetersiz olması nedeniyle şebeke üzerindeki son iki konut yeterli basınçta sıcak su alamamaktadır.



Şekil 4.9 Dağıtım hattından direkt bağlı sistemlerdeki basınç yetersizliği

Bu problem, bina girişlerine konulacak diferansiyel basınç kontrol vanalarıyla veya akış alamayan uzak yerlerdeki binalara monte edilecek sirkülasyon pompalarıyla giderilebilir.

Dağıtım hattından bina tesisatına ısının verilmesinde kullanılan ikinci sistem karışık dolaşım sistemidir. Bu sistemde bina tesisatında dolaşan su dönüş hattından

sistem içindeki kontrol mekanizmasının vereceği oranda bina besleme hattına bir çek valf üzerinden geri verilmektedir. Kontrol sistemi bu orana karar verirken, ısı ihtiyacı, dış ortam sıcaklığı ve besleme akış sıcaklığını referans alarak karar vermektedir.

Dağıtım hattından gelen ısının bina tesisatına aktarılmasında kullanılan üçüncü sistemde, bina alt istasyonlardır. Dağıtım hattından gelen sıcak su binalara geldiğinde; bina alt istasyonlarda bulunan bir ısı değiştiricisi vasıtasıyla bina içinde dolaşan suya ısınıp aktarır. Bu sistem sayesinde bina içinde dolaşan sıcak su dağıtım hattından bağımsız olarak çalışır. Bina içindeki tesisatta ise, yerel ve sürtünme kayıpları nedeniyle bir sirkülasyon pompası ve basınç dengesizliklerini gidermek amacıyla genleşme tankı kullanılmaktadır. Gelişmiş sistemlerde ayrıca ısı dengesizliklerini ortadan kaldırmak amacıyla sıcaklık kontrol elemanları kullanılabilir.

Termik santrallerin atık ısılarından faydalanarak, bölge ısıtmanın yapılmasının yanında konutlarda kullanılmak üzere sıcak kullanım suyu da elde edilebilir.

Karışık dolaşım sisteminde ısı değiştiricisi ile sıcak su elde edilirken depo içindeki dağıtım hattından gelen sıcak su ile ısıtılmakta ve deponun çıkışında soğuyan su tekrar dönüş hattına verilmektedir. Depo girişindeki vana vasıtasıyla da depo içindeki suyun sıcaklığı debi kontrolüyle kontrol edilmektedir. Depo içinde ısınan su ise konut içindeki kullanım yerlerine ayrı bir şebeke ile dağıtılmaktadır.

Ayrıca karışık dolaşım sisteminde sıcak su, bir ısı değiştiricisi vasıtasıyla da elde edilmektedir. Bu sistemde, dağıtım hattından gelen sıcak su gerekli olan sıcak su miktarına bağlı olarak ısı değiştiricisinden geçmekte ve konut içi kullanım suyu elde edilmektedir (Anonim b, 2007).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapılan hesaplara göre; Yatağan ilçesindeki 7640 konutun ısıtma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacını, Yatağan Termik Santrali'nin atık ısı potansiyelinden yararlanarak karşılanabileceğini görülmüştür. Ancak bölgesel ısıtma sistemlerinin de ilk yatırım maliyetinin yüksekliği (iletim ve dağıtım hatlarının döşenmesi, santral içi dönüşüm, pompa istasyonlar ve bina alt istasyonları vb. kurulum masrafları) en büyük dezavantajını oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra bölgesel ısıtma sisteminin avantajları sıralanırsa ;

➤ Ayrı tesislerde elektrik ve ısı üretimine göre, santraldeki dönüşüm ile bir girdi ile yakıttan sağlanan enerji verimliliği yanı sıra iki çıktı elde edilir.

➤ Binlerce kontrolsüz baca yerine, santralin kontrollü bacasında emisyon kontrolü imkanı sağlanır. Ayrıca santralin bacaları yüksek olduğu için çıkan gazların yere çökmeden havayla karışmasını sağlar. Bu sebeplerden dolayı hava kirliliğini azaltır.

➤ Sistemde sıcak su kullanıldığı için zehirlenme ve ölüm olayına neden olacak herhangi bir unsur bulunmamaktadır. Boru hattında gaz yerine sıcak su taşınması olası bir deprem ya da kazalarda patlama riskini ortadan kaldırmıştır. Dolayısıyla güvenilir ve tehlikesiz bir yöntemdir.

➤ Bölgesel ısıtma sistemlerinde herhangi bir yakıt yakma veya depolama olmadan tüm bölgeye 365 gün 24 saat, sürekli ve kesintisiz ısınma imkanı sağlar.

Yukarıdaki dezavantaj ve avantajlar göz önünde bulundurularak, enerjinin verimli kullanılması ve son yıllarda hava ve çevre kirliliğin ön plana çıkması ile bölgesel ısıtmanın önemi artmaktadır.

Tüm bu sebepleri göz önüne alındığında; Ülkemizde bulunan termik santrallerin kapasiteleri, bulundukları bölgedeki konutların sayısı, santrale uzaklıkları ve bölgedeki nüfus oranlarına göre ilk yatırım maliyetleri ve geri dönüş süresi hesaplanmalıdır. Doğal gaz ve kömüre göre satış fiyatı da belirlendikten sonra, bölgenin ucuz ve kalite ısınma talebi artacaktır. Tüm bunlara çevre ve enerjinin verimli kullanması da eklenirse, bölgesel ısıtma sistemini ülkemizde kullanmak kaçınılmaz hale gelmektedir.

## KAYNAKLAR

Ağabay, Ö., 1996. Dağıtım Şebekesinde Kojenerasyon Tesisleri. *II. Uluslararası Birleşik Isı ve Güç Üretimi Konferansı*, İstanbul : 74-78

Ağış, Ö., 1998. Türkiye’de Özel Enerji Sektörünün Geleceği. *Doğal Gaz Dergisi*, 57 : 114-118.

Albayrak, S., *Kojenerasyonun Bölgesel Isıtma Sisteminde Kullanılabilirliği ve Klasik Bölgesel Isıtma ile Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.

Anonim a, “2009 Yılı Elektrik Üretim Sektör Raporu”, Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), 2009. [www.enerji.gov.tr/yayinlar/raporlar/SektorRaporuEUAS2009.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar/raporlar/SektorRaporuEUAS2009.pdf)

Anonim b, “Türkiye Atık Isı Ve Bölge Isıtma Potansiyeli” Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması (TSAD) , TÜBİTAK MAM, Kocaeli, 2007.

Anonim c, “Potansiyel Belirleme Analizleri Değerlendirme Raporu” Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması (TSAD), TÜBİTAK MAM, Kocaeli, 2007.

Anonim d, “Çates Atık Isısı İle Bölgesel Isıtma İmkanları” MMO Zonguldak Sube Enerji Komisyonu Raporu, 2009 <http://www.mmo.org.tr/resimler/dosyaekler/d6bce40924ddeb1ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=18>

Anonim e, “TSE 825 Standarttı Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2008. [www.mimarlarodasi.org.tr/.../TSE%20825-BINALARDA%20ISI%20YALITIM%20KURALLARI.pdf](http://www.mimarlarodasi.org.tr/.../TSE%20825-BINALARDA%20ISI%20YALITIM%20KURALLARI.pdf)

Anonim f, “District heating networks – choosing the right pipe dimensions” News from Danish Board of District Heating (DBDH) 2006. <http://dbdh.dk/images/uploads/pdf-distribution/district-heating-networks-choosing-the-right.pdf>

Anonim g, “Domestik Güneşle Sıcak Su Isıtma Sistemleri Hakkında Soru ve Cevaplar” Avrupa Komisyonu Enerji ve Transport Genel Direktörlüğü, 2002. <http://www.efficient-energyuse.eu/files/SOLAR%20QUESTIONS%20AND%20ANSWERS%20TR.pdf>

Anonim h, “Su Debisi Ve Boru Çapı Hesabı” İzobor Boru İmalat Jeotermal İnş. Enj. San. Tic. Ltd. Şti. Firmasının Teknik Dökümanı <http://www.izobor.com/tr/dokumanlar.html>

Anonim i, “Isı Kaybı Hesabı” İzobor Boru İmalat Jeotermal İnş. Enj. San. Tic. Ltd. Şti. Firmasının Teknik Dökümanı <http://www.izobor.com/tr/dokumanlar.html>

Arısoy, A., 1998. Bölgesel Isıtma Sistem Elemanları. *MMO Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferans Bildirileri*, 24-25 Ekim 1998, İstanbul : 73-84

Arpacı, İ., *Doğal Gazlı Kojenerasyon Sistemlerinde Exergy Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.

Bavbek, M., *Bölgesel Isıtma Bileşik Isı -Güç Santrali Tasarım ile İlgili Bilgisayar Program Geliştirme*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1990.

Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., 1996. *Thermal Design and Optimization*. Wiley Interscience., New York, 524p.

Bonilla, D., Akisawa, A., Koshiagi, T., 2003. Modelling the Adoption of Industrial Cogeneration in Japon Using Manufacturing Plant Survey Data. *Energ Policy*, 31: 895 - 910

Costa, M.H.A., Balestieri, J.A.P., 2001. Comparative Study of Cogeneration Systems in a Chemical Industry. *Appl Therm Eng*, 21: 523-533

Derbentli, T., 1996. Bileşik Isı-Güç Üretimi. *Enerji: Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Yalıtım ve Doğal Gaz Dergisi*, Yıl 1, Sayı 6

Derbentli, T., 1998. Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluluğu. *MMO Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildirileri*, 24-25 Ekim 1998, İstanbul : 61-69

Elele, S., Çanakçı, C., 2001. Bölgesel Isıtma Sistemleri Isı Merkezleri Tasarımı. *Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı*, MMO Yayın No: MMO/2001/270

Erden, O., *Türkiye’de Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi İle Klasik Merkezi Isıtma Sistemi Teknolojilerinin Teknik Ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.

Guarinello, F., Gerqueira, S., Nebra, S.A., 2000. Thermoeconomic Evaluation of a Gas Turbine Cogeneration System. *Energ Convers Manage*, 41: 1191-1200.

Gün, R., *Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.

Işık, E., İnallı, M., 1999. Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 46 (550) : 47-50

İmal, M., *Endüstriyel Tesislerde Kullanılan Buharlı Birleşik Isı-Güç Sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.

Karytsos, C., Mendrinou, D., Goldbrunner, J., 2003. Low Enthalpy Geothermal Energy Utilisation Schemes for Greenhouse and District Heating at Traianoupolis Evros. *Greece Geothermic*, 32 : 69-78

Koçak, T., Aksa, O.G., 1998. Kojenerasyon nedir ? Kojenerasyon Teknikleri ve Sistem Seçimi. *MMO Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildirileri*, 24-25 Ekim 1998, İstanbul : 35-58

Kolay, E., *Kojenerasyon Sistemlerinde Atık Isı Kullanımı ve Bir Uygulama Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.

Külçe, N., Topuz, G., 1996. Kojenerasyon Sistemi Seçimi ve Türkiye Örneği. *II. Uluslararası Birleşik Isı ve Güç Üretimi Konferansı Bildiriler Kitabı*, İstanbul : 65-67

Lemar, P.L., 2001. The Potential Impact of Policies to Promote Combined Heat and Power in us Industry. *Energ Policy*, 29:1243-1254.

Luz-Silveira, J., Beyene, A., Leal, E.M., Santana, J.A., Okada, D., 2002. Thermoeconomic Analysis of a Cogeneration System of a University Campus. *Appl Therm Eng*, 22:1471-1483.

Narter, F., Öztürk, İ.T., 1996. Merkezi Isıtma. *Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları*, 1: 25-28

Önen, A., *Çorlu Emlak Konut Sitesinde Isı Kuvvet Santralinin Uygulanabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya, 1999.

Pelit, E., *İzmit Yenişehir Toplu Konut Alanının Bölgesel Isıtmasının Termodinamik ve Ekonomik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1996.

Porter, R.W., 1985. Economic Distribution Distance for Cogenerated District Heating and Cooling. *Energy*, 10(7) : 851-859

Roos, A., Bohlin, F., Hektor, B., Hillring, B., 2003. Wood Fuel Procurement Strategies of District Heating Plants. *Energy*, 28 : 127-140

Sakawa, M., Kato, K., Ushiro, S., Noaka, M., 2001. Operation Planning of District Heating and Cooling Plants Using Genetic Algorithms for Mixed Integer Programming. *Appl Soft Comput*, 1 : 139-150

Serpen, Ü., 2001. Jeotermal Enerjili Bölge Isıtma Sistemlerinin Fizibilitesi. *Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı*, MMO Yayın No: MMO/2001/270

Sönmez, A., *Kojenerasyon Teknolojisi ve Bir Kombine Çevirim Santralinde Çalışma Şartlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.

Şahin, V., 1994. Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış. *TÜSİAD-T/94*, İstanbul : 11-168

Tan, M., *Sanayide Kojenerasyon Uygulamalar*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.

Tang, O., Mohanty, B., 1996. Industrial Energy Efficiency Improvement Through Cogeneration a Case Study of The Textile Industry in Thailand. *Energy*, 21: 1169-1178.

Tomsic, M., Mansour, F., 1989. Optimal Operation of Cogeneration Plants in Industry. *Energy*, 14 (8) : 483-490

## EKLER

### Ek 1. TSE 825 Standartı Ek B

#### Ek B

B.1 Farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri [ $t_i$  (°C)]

|    | Isıtılacak binanın adı      | Sıcaklığı (°C) |
|----|-----------------------------|----------------|
| 1  | Konutlar                    | 19             |
| 2  | Yönetim binaları            |                |
| 3  | İş ve hizmet binaları       |                |
| 4  | Otel, motel ve lokantalar   | 20             |
| 5  | Öğretim binaları            |                |
| 6  | Tiyatro ve konser salonları |                |
| 7  | Kışlalar                    |                |
| 8  | Ceza ve tutuk evleri        |                |
| 9  | Müze ve galeriler           |                |
| 10 | Hava ıslanları              |                |
| 11 | Hastaneler                  | 22             |
| 12 | Yüzme havuzları             | 26             |
| 13 | İmalat ve atölye mahalleri  | 16             |

B.2 Farklı derece gün (dg) bölgeleri için ısı kaybı ve yoğuşma hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri [ $t_{e,i}$  (°C)]

|         | 1. Bölge | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge |
|---------|----------|----------|----------|----------|
| OCAK    | 8,4      | 2,9      | -0,3     | -5,4     |
| ŞUBAT   | 9,0      | 4,4      | 0,1      | -4,7     |
| MART    | 11,6     | 7,3      | 4,1      | 0,3      |
| NİSAN   | 15,8     | 12,8     | 10,1     | 7,9      |
| MAYIS   | 21,2     | 18,0     | 14,4     | 12,8     |
| HAZİRAN | 26,3     | 22,5     | 18,5     | 17,3     |
| TEMMUZ  | 28,7     | 24,9     | 21,7     | 21,4     |
| AĞUSTOS | 27,6     | 24,3     | 21,2     | 21,1     |
| EYLÜL   | 23,5     | 19,9     | 17,2     | 16,5     |
| EKİM    | 18,5     | 14,1     | 11,6     | 10,3     |
| KASIM   | 13,0     | 8,5      | 5,6      | 3,1      |
| ARALIK  | 9,3      | 3,8      | 1,3      | -2,8     |

## Ek 2. TSE 825 Standartı Ek C

## Ek C

**Bütün derece gün bölgeleri için hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama aylık güneş ışınlı şiddeti değerleri [W/m<sup>2</sup>]**

|               | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık |
|---------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|
| I güney =     | 72   | 84    | 87   | 90    | 92    | 95      | 93     | 93      | 89    | 82   | 67    | 64     |
| I kuzey =     | 26   | 37    | 52   | 66    | 79    | 83      | 81     | 73      | 57    | 40   | 27    | 22     |
| I batı/doğu = | 43   | 57    | 77   | 90    | 114   | 122     | 118    | 106     | 81    | 59   | 41    | 37     |

**Not -** Ara yönlerin aylık ortalama güneş ışınlı şiddeti değerleri olarak, hakim yönlerin değerleri, yatay camlamalarda ise Güney yönü için verilen değerler alınır.

## Ek 3. TSE 825 Standartı Ek D

**Ek D**  
**İllere göre derece gün bölgeleri**

|                                                                 |                 |                  |                  |  |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|--|
| <b>1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>                               |                 |                  |                  |  |
| ADANA                                                           | AYDIN           | MERSİN           | OSMANİYE         |  |
| ANTALYA                                                         | HATAY           | İZMİR            |                  |  |
| <b>İli 2. Bölgede olupda kendisi 1.Bölgede olan belediyeler</b> |                 |                  |                  |  |
| AYVALIK (Balıkesir)                                             | DALAMAN (Muğla) | FETHİYE (Muğla)  | MARMARİS (Muğla) |  |
| BODRUM (Muğla)                                                  | DATÇA (Muğla)   | KÖYCEĞİZ (Muğla) | MİLAS (Muğla)    |  |
| GÖKOVA (Muğla)                                                  |                 |                  |                  |  |

|                                                                 |                     |                         |            |           |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------|-----------|
| <b>2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>                               |                     |                         |            |           |
| SAKARYA                                                         | ÇANAKKALE           | KAHRAMAN MARAŞ          | RİZE       | TRABZON   |
| ADIYAMAN                                                        | DENİZLİ             | KİLİS                   | SAMSUN     | YALOVA    |
| AMASYA                                                          | DİYARBAKIR          | KOCAELİ                 | SİİRT      | ZONGULDAK |
| BALIKESİR                                                       | EDİRNE              | MANİSA                  | SİNOP      | DÜZCE     |
| BARTIN                                                          | GAZİ ANTEP          | MARDİN                  | ŞANLI URFA |           |
| BATMAN                                                          | GİRESUN             | MUĞLA                   | ŞIRNAK     |           |
| BURSA                                                           | İSTANBUL            | ORDU                    | TEKİRDAĞ   |           |
| <b>İli 3. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler</b> |                     |                         |            |           |
| HOPA (Artvin)                                                   | ARHAVİ (Artvin)     |                         |            |           |
| <b>İli 4. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler</b> |                     |                         |            |           |
| ABANA (Kastamonu)                                               | BOZKURT (Kastamonu) | ÇATALZEYTİN (Kastamonu) |            |           |
| İNEBOLU (Kastamonu)                                             | ÇİDE (Kastamonu)    | DOĞANYURT (Kastamonu)   |            |           |

|                                                                 |                       |               |          |  |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|----------|--|
| <b>3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>                               |                       |               |          |  |
| AFYON                                                           | BURDUR                | KARABÜK       | MALATYA  |  |
| AKSARAY                                                         | ÇANKIRI               | KARAMAN       | NEVŞEHİR |  |
| ANKARA                                                          | ÇORUM                 | KIRIKKALE     | NİĞDE    |  |
| ARTVİN                                                          | ELAZIĞ                | KIRKLARELİ    | TOKAT    |  |
| BİLECİK                                                         | ESKİŞEHİR             | KIRŞEHİR      | TUNCELİ  |  |
| BİNGÖL                                                          | İĞDIR                 | KONYA         | UŞAK     |  |
| BOLU                                                            | ISPARTA               | KÜTAHYA       |          |  |
| <b>İli 1. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler</b> |                       |               |          |  |
| POZANTI (Adana)                                                 | KORKUTELİ (Antalya)   |               |          |  |
| <b>İli 2. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler</b> |                       |               |          |  |
| MERZİFON (Amasya)                                               | DURSUNBEY (Balıkesir) | ULUS (Bartın) |          |  |
| <b>İli 4. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler</b> |                       |               |          |  |
| TOSYA (Kastamonu)                                               |                       |               |          |  |

|                                                                 |                          |                    |                 |  |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|--|
| <b>4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>                               |                          |                    |                 |  |
| AĞRI                                                            | ERZURUM                  | KAYSERİ            |                 |  |
| ARDAHAN                                                         | GÜMÜŞHANE                | MUŞ                |                 |  |
| BAYBURT                                                         | HAKKÂRİ                  | SİVAS              |                 |  |
| BİTLİS                                                          | KARS                     | VAN                |                 |  |
| ERZİNCAN                                                        | KASTAMONU                | YOZGAT             |                 |  |
| <b>İli 2. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler</b> |                          |                    |                 |  |
| KELES (Bursa)                                                   | ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun) | ELBİSTAN (K.Maraş) | MESUDİYE (Ordu) |  |
| ULUDAĞ (Bursa)                                                  | AFŞİN (K.Maraş)          | GÖKSUN (K.Maraş)   |                 |  |
| <b>İli 3. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler</b> |                          |                    |                 |  |
| KİĞİ (Bingöl)                                                   | PÖLÖMÖR (Tunceli)        | SOLHAN (Bingöl)    |                 |  |

Not - Ekte adı bulunmayan yerleşim birimleri, bağlı bulundukları belediyenin bölgesinde sayılır.

## ÖZGEÇMİŞ

Savaş ÖZKAN 1983 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimi Ankara’da tamamladı. Üniversite eğitime 2002 yılında Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde başladı ve 2006 yılında mezun oldu. 2006 yılında Ankara’da özel bir şirkette çalıştıktan sonra 2007 yılında 315. kısa dönem olarak vatani görevini tamamladı. Askerlik görevini tamamlamasının ardından 2007-2011 yılları arasında YEAS Yatağan Termik Santrali İşletme Müdürlüğü’nde görev yaptı. 2008 tarihinde ise Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı. 2011 yılı ocak ayında göreve başladığı Elektrik Üretim A.Ş. ‘de, halen makine mühendisi olarak görev yapmaktadır.