

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139753

- 139753 -

BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN ETKİN
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ ve SEÇİLEN
BÖLGEYE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Makina Mühendisi Serkan DURMAZ

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Ertuğrul KÜÇÜKKARAMIKLI (YTÜ)

Prof. Dr. Bahri Şahin

Prof. Dr. İsmail Teke

Fatih Kemal Çamurlu
[Signature]
[Signature]

İSTANBUL, 2003

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. BÖLGESEL ISITMA.....	3
2.1 Genel.....	3
2.2 Bölgesel Isıtmanın Avantajları.....	4
2.3 Bölgesel Isıtma Tekniği Prensipleri.....	5
2.4 Isı Üretim Merkezinin Yeri.....	6
2.5 Isıtıcı Akışkanın Seçimi.....	6
2.5.1 Buharlı Dağıtım.....	7
2.5.1.1 Avantajları.....	7
2.5.1.2 Dezavantajları.....	7
2.5.2 Kızgın Sulu ve Sıcak Sulu Dağıtım.....	8
2.5.2.1 Avantajları.....	8
2.5.2.2 Dezavantajları.....	8
3. ISITMA SİSTEMİ ŞEBEKELERİ.....	10
3.1 Şebeke Şekilleri.....	10
3.2 Isı Dağıtım Devreleri.....	10
3.2.1 Tek Borulu Sistem.....	12
3.2.2 Çift Borulu Sistem.....	12
3.2.3 Üç Borulu Sistem.....	12
3.2.4 Dört Borulu Sistem.....	12
3.3 Boru Donanımı ve Elemanları.....	16
3.4 Boruların Döşenmesi.....	18
4. BÖLGESEL ISITMADA TÜKETİCİ BAĞLANTILARI.....	22
4.1 Tüketilen Isı Miktarının Ölçümü	22
5. ISI ÜRETİMİ.....	24

5.1	Bileşik Isı-Güç Üretimi ve Bölgesel Isıtma.....	24
5.2	Jeotermal Bölgesel Isıtma.....	26
5.2.1	Tasarım Kriterleri.....	28
5.2.1.1	Sınırlayıcı Faktörler.....	28
5.2.1.2	Tasarım Parametreleri.....	29
5.3	Atık Yakma ve Bölgesel Isıtma.....	30
5.4	Nükleer Güç ile Bölgesel Isıtma.....	32
6.	ENERJİ MALİYETİ.....	33
6.1	Enerji Üretim Maliyeti Hesabı.....	33
6.1.1	Yıllık Sermaye Masrafı.....	33
6.1.2	İşletme ve Bakım Masrafı.....	33
6.1.3	Yakıt Masrafı.....	34
6.1.4	Toplam Masraf ve Bir Değere Getirilmiş Masraflar Yöntemi ile Birim Enerji Üretim Maliyeti Hesabı.....	34
6.2	Bölgesel Isıtma Şebekesinde Isı Enerjisi Taşıma Maliyeti.....	35
6.2.1	Boru Şebekesi Sermaye Masrafları.....	35
6.2.2	Isı Kayıpları Masrafı.....	36
6.2.3	Isıtıcı Akışkanın Nakil Masrafları.....	37
6.2.4	Toplam Masraf ve Bir Değere Getirilmiş Masraflar Yöntemi ile Birim Isı Enerjisi Taşıma Maliyeti Hesabı.....	37
7.	SAYISAL UYGULAMA.....	39
7.1	Genel.....	39
7.2	Ayrı Isıtma Halinde Isı Enerjisi Üretim Maliyeti.....	41
7.3	Kızgın Su Kazanlı Bölgesel Isıtmada Isı Enerjisi Üretim Maliyeti.....	42
7.4	Gaz Türbinli-Atık Isı Kazanlı Bölgesel Isıtmada Isı Enerjisi Üretim Maliyeti.....	44
7.5	Birim Isı Enerjisi Taşıma Maliyeti.....	51
8.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	68
	KAYNAKLAR.....	75
	EKLER	76
Ek 1	Bölgesel Isıtma Yerleşim Modeli.....	77
Ek 2	Model Binanın Özellikleri.....	78
Ek 3	Kalorifer Kazanı Yatırım Değeri Eğri Denkleminin Eldesi.....	79
Ek 4	Kızgın Su Kazanı Yatırım Değeri Eğri Denkleminin Eldesi.....	80
Ek 5	Atık Isı Kazanı Yatırım Değerinin Eldesi.....	81
Ek 6	Atık Isı Kazanı İşletme ve Bakım Maliyeti Eğri Denkleminin Eldesi.....	82
Ek 7	Kanal İçinde Aynı Çapta İki Boru Olması Halinde Metre Başına Tesis Masrafı..	83
Ek 8	Yerleşim Modellerinde Kullanılan Boruların Çap Değerleri.....	84
	ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGE LİSTESİ

η	Isı makinası termik verimi, (%)
η_t	Santral termik verimi, (%)
η_p	Pompa verimi, (%)
η_{WB}	Atık ısı kazanı verimi, (%)
π	Pi sayısı
λ_{UR}	Ön yalıtımlı borudaki PUR köpük için ısı iletim katsayısı, (W/m°C)
λ_j	Toprak için ısı iletim katsayısı, (W/m°C)
α	Ölçülendirme üssü
φ	Ön yalıtımlı bölgesel ısıtma borularındaki ısı kaybı miktarı, (W/m)
φ_t	Toplam ısı kaybı miktarı, (W/m)
φ_g	Gidiş borusu ısı kaybı miktarı, (W/m)
φ_d	Dönüş borusu ısı kaybı miktarı, (W/m)
γ_m	Gidiş-dönüş ısıtma suyu ortalama özgül ağırlığı, (kg/m ³)
ΔP	Bölgesel ısıtma şebekesinde akışkan naklindeki toplam basınç kaybı, (mmss)
ρ	Yoğunluk, (kg/m ³)
A	Alan, (m ²)
C_1	Boru şebekesi sermaye masrafı, (\$/yıl)
c_1	Birim boru şebekesi sermaye maliyeti, (\$/m yıl)
C_2	Boru şebekesi ısı kaybı masrafı, (\$/ yıl)
c_2	Birim boru şebekesi ısı kaybı maliyeti, (\$/m yıl)
C_3	Isıtıcı akışkan nakil masrafı, (\$/yıl)
C_F	Yıllık yakıt masrafı, (\$/yıl)
c_F	Birim enerji başına yakıt maliyeti, (\$/kWh)
C_K	Sabit yıllık sermaye masrafı, (\$/yıl)
C_M	Yıllık işletme ve bakım masrafı, (\$/yıl)
c_M	Birim enerji başına işletme ve bakım maliyeti, (\$/kWh)
c_p	Sabit basınçtaki özgül ısı, (kJ/ kg K)
c_{so}	Birim güç başına yatırım değeri, (\$/kW)
C_T	Isı enerjisi taşıma toplam masrafı, (\$/yıl)
D	Ön yalıtımlı borudaki ceket boru dış çap, (mm)
d	Ön yalıtımlı borudaki çelik boru dış çap, (mm)
D_i	Ön yalıtımlı borudaki ceket boru iç çap, (mm)
DH	Toplam ısıtma derece-saat değeri
E	Üretilen enerji miktarı, (kWh/yıl)
E_q	Nakledilen ısı enerjisi miktarı, (kWh/yıl)
F	Yakıt fiyatı, (\$/m ³)
f	Amortisman faktörü
g_p	Birim ısı enerjisi üretim maliyeti, (\$/kWh)
g_i	Birim ısı enerjisi taşıma maliyeti, (\$/kWh)
m	Bölgesel ısıtma boru şebekesindeki ısıtıcı akışkan kütleli debisi, (kg/m ³)
H	Ön yalıtımlı boru merkez çizgisine olan kaplama derinliği, (mm)
H_u	Kullanılan yakıtın alt ısıl değeri, (kJ/m ³)
i	Faiz oranı
l	Saatteki hava değişim sayısı, (1/h)
I_o	Karşılaştırmada kullanılan sistemin yatırım değeri, (\$)
I_k	Toplam yatırımın üretime başlama tarihindeki değeri, (\$)
l	Ön yalıtımlı bölgesel ısıtma boru uzunluğu, (m)
I_K	Karşılaştırmadaki sistemin belirlenecek olan farklı kapasitedeki yatırım değeri, (\$)
L_o	Toplam ısı kayıp katsayısı, (W/K)

m_r	Ön yalıtımlı borudaki çelik boru ısı direnci, ($m^{\circ}C/W$)
m_j	Toprak ısı direnci. ($m^{\circ}C/W$)
n	Santral amortisman ömrü, (yıl)
N	Yatırım değeri belirlenecek sistemin gücü, (kW)
NC	Nominal çap, (mm)
N_o	Yatırım değeri bilinen sistemin gücü, (kW)
q	Özgül ısı sarfiyatı, (kJ/kWh)
Q	Isı makinasının çevreye attığı ısı enerjisi, (j)
Q_o	Isı enerjisi gereksinimi, (j)
r	İskonto oranı, (%)
R	Bölgesel ısıtma boru şebekesindeki basınç düşümü, (mmss/m)
S_{el}	Elektrik enerjisi fiyatı, (\$/kWh)
S_q	Isı enerjisi fiyatı, (\$/kwh)
t_j	Topraktaki hava sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
t_r	Su sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
U	Isı taşınım katsayısı, (W/m^2K)
V	Model binanın toplam hacmi, (m^3)
W	Isı makinasında üretilen iş, (j)
x	Isı enerjisi üretim sisteminin kapasitesi, (kW)
y	Isı enerjisi üretim sisteminin yatırım değeri, (\$)
$Y_{O\&M}$	Birim enerji başına işletme ve bakım maliyeti değerleri, (cents/kWh)
Y	Isı makinasına sağlanan yakıt enerjisi, (j)
Z	İşletme saati, (h)

KISALTMA LİSTESİ

EIO	Elektrik Isı Oranı
EYO	Enerjiden Yararlanma Oranı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NB	Nominal Basınç
PUR	Poliüretan
PEH	Polietilen
DOSİDER	Doğal Gaz Cihazları Sanayicileri ve İşadamları Derneği
HDS	Hava Değişim Sayısı
O&M	İşletme ve Bakım Maliyeti
P.V.C.	Poly Vinyl Chloride



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1.a	Göz şebeke.....11
Şekil 3.1.b	Dal şebeke.....11
Şekil 3.1.c	Halka şebeke.....11
Şekil 3.2	Tek borulu açık sistem.....11
Şekil 3.3.a	Çift borulu açık sistem.....13
Şekil 3.3.b	Çift borulu kapalı sistem.....13
Şekil 3.4.a	Üç borulu açık sistem.....14
Şekil 3.4.b	Üç borulu kapalı sistem.....14
Şekil 3.5.a	Dört borulu açık sistem.....15
Şekil 3.5.b	Dört borulu kapalı sistem.....15
Şekil 3.6	Bölgesel ısıtmada kullanılan kanal şekilleri.....20
Şekil 5.1	Karşı basınçlı buhar türbini çevrimi.....25
Şekil 5.2	Ara buhar almalı-yoğuşturuculu buhar türbini çevrimi.....25
Şekil 5.3	Gaz türbin-atık ısı kazanı sistemi.....27
Şekil 5.4	Diesel motorlu-atık ısı kazanlı sistem.....27
Şekil 7.1.a	Gaz türbinli atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma sistemi.....40
Şekil 7.1.b	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemi.....40
Şekil 7.2.a	Adana ili için kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma.....43
Şekil 7.2.b	İstanbul ili için kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma.....43
Şekil 7.2.c	Ankara ili için kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma.....43
Şekil 7.3.a	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 2000 konut).....45
Şekil 7.3.b	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 4000 konut).....45
Şekil 7.3.c	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 6000 konut).....46
Şekil 7.3.d	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 8000 konut).....46
Şekil 7.3.e	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 2000 konut).....47
Şekil 7.3.f	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 4000 konut).....47
Şekil 7.3.g	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 6000 konut).....48
Şekil 7.3.h	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 8000 konut).....48
Şekil 7.3.ı	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 2000 konut).....49
Şekil 7.3.i	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 4000 konut).....49
Şekil 7.3.j	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 6000 konut).....50
Şekil 7.3.k	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 8000 konut).....50
Şekil 7.4.a	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 2000 konut).....52
Şekil 7.4.b	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 4000 konut).....52
Şekil 7.4.c	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 6000 konut).....53
Şekil 7.4.d	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 8000 konut).....53
Şekil 7.4.e	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 2000 konut).....54
Şekil 7.4.f	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 4000 konut).....54
Şekil 7.4.g	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 6000 konut).....55
Şekil 7.4.h	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 8000 konut).....55
Şekil 7.4.ı	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 2000 konut).....56
Şekil 7.4.i	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 4000 konut).....56
Şekil 7.4.j	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 6000 konut).....57
Şekil 7.4.k	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 8000 konut).....57
Şekil 8.1	Kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma.....68
Şekil 8.2.a	Adana ili için kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma.....70
Şekil 8.2.b	İstanbul ili için kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma.....70
Şekil 8.2.c	Ankara ili için kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma.....70
Şekil 8.3.a	Adana ili için atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma.....71

Şekil 8.3.b	İstanbul ili için atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma.....	72
Şekil 8.3.c	Ankara ili için atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma.....	72
Şekil 8.4.a	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma için ısı enerjisi taşıma maliyetleri.....	73
Şekil 8.4.b	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma için ısı enerjisi taşıma maliyetleri.....	73



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 7.1	Adana, İstanbul ve Ankara için ısıtma mevsimi süreleri ve derece-saat değerleri.....	39
Çizelge 7.2	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma sistemlerinde birim ısı enerjisi fiyatları.....	51
Çizelge 7.3	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemlerinde birim ısı enerjisi fiyatları.....	58
Çizelge 7.4	Atık ısı kazanlı ve kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada ısı enerjisi taşıma toplam masrafı.....	59
Çizelge 7.5	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada birim ısı enerjisi taşıma maliyetleri.....	58
Çizelge 7.6	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada birim ısı enerjisi taşıma maliyetleri.....	67
Çizelge 8.1	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada kızgın su kazanı yatırım değerleri.....	69
Çizelge 8.2	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada yıllık işletme ve bakım masrafları.....	69
Çizelge 8.3	Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada yıllık yakıt masrafları.....	69
Çizelge 8.4	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada atık ısı kazanı yatırım değerleri.....	71
Çizelge 8.5	Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada yıllık işletme ve bakım masrafları.....	71



ÖNSÖZ

Tez çalışmamdaki yardımları ve destekleri için değerli arkadaşlarım Mak.Müh. Devrim Kantar ve Levent Memiş' e, Köy Hizmetleri 8. Bölge Md.' den meslektaşım Ümit Durmuş' a, Termo Ist' dan Sn. Nermin Özyetişen' e, Dizayn Grup a, sevgili ablalarım Serpil ve Suna Durmaz' a, sevgi ve hoşgörüsü için sevgili Elif Esen' e, yardımları için Araş. Gör. Hasan Hüseyin Erdem' e ve sayın Hocam Prof. Ertuğrul Küçükaramıklı' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgileri ve emekleri için Anne ve Baba' ma Minnet ve Saygılarımla...



ÖZET

Bölgesel bir ısıtma sistemine ısı temini kazanlar, ısı pompaları, bileşik ısı ve güç santralleri, nükleer santraller, jeotermal enerji ve atık yakmayı içeren bir çok farklı teknoloji ile sağlanabilmektedir. Bu farklılığın nedeni hem ekonomik hem de doğadaki uygulamalardır. Bu çalışmanın amacı seçilen bir bölgenin ısı gereksinimlerini karşılamak için kullanılan farklı bölgesel ısıtma sistemlerinin uygulanabilirliğini araştırmaktır. Seçilen bölge olarak belirlenen bir yerleşim modeli kullanılmıştır. Farklı ısıtma derece-saat değerlerine sahip değişik illerde bulunan yerleşim modellerinin toplam ısı gereksinimleri meteorolojik kayıtlara dayanan ısıtma derece-saat yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada, bölgesel ısıtma amaçları için atık ısı kazanlı gaz türbinli bileşik ısı ve güç santralleri ve kızgın su kazanları kullanılmıştır. Ayrı ısıtma için sıcak su kazanları kullanılmıştır. Bu sistemlerin sermaye masrafları, işletme ve bakım masrafları ile yakıt masrafları hesaplanmıştır. Birim ısı enerjisinin üretim ve taşıma maliyetini belirlemek için Bir Değere Getirilmiş Masraf yöntemi kullanılmıştır. Bölgesel ve ayrı ısıtma sistemlerinin ekonomik analizleri sunulmuş ve seçilen bölgede bölgesel ısıtma sistemlerinin uygulanabilirliğinin belirlenmesi için birim ısı enerjisi üretim ve taşıma maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Isıtma derece-saat, bölgesel ısıtma, Bir Değere Getirilmiş Masraf yöntemi, birim ısı enerjisi üretim ve taşıma maliyeti, ayrı ısıtma

ABSTRACT

Heat supply to a district heating system can be provided by a number of different technologies, including boilers, heat pumps, combined heat and power plants, nuclear plants, geothermal energy and waste incineration. The reasons for this are both economic and practical in nature. The purpose of this study is to investigate the possibility of using different district heating systems to cover the thermal needs of the selected region. As a selected region, a proposed town model was used. The total thermal needs of the proposed town model in different cities which have different heating degree-hours values were calculated by using heating degree-hours method based on meteorological records. In this study, combined heat and power plants with gas turbines linked to a waste heat boiler and superheated water boilers were used for district heating purposes. Hot water boilers were used for separate heating. The capital costs, the O&M costs and the fuel costs of these systems were calculated. The Levelised Cost Method was used to determine the production and the transportation costs of unit heating energy. The economic analyses of district heating systems and separate heating systems were presented and subsequently the production and the transportation costs of unit heating energy compared to determine the possibility of district heating systems for a selected region.

Keywords: Heating degree-hours, district heating, the Levelised Cost Method, production and transportation cost of unit heating energy, separate heating

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya gündemindeki en önemli konu enerjidir. Bir taraftan yeni enerji kaynakları araştırmaları devam ederken diğer taraftan mevcut kaynakların maksimum verimle kullanılmasına önem verilmektedir. Bu konuda en yoğun çalışmaların yapıldığı alanlardan biri de konut ısıtmasıdır. Sadece lkemizde değil dünyanın birçok ülkesinde enerjinin en çok tüketildiği alanlardan biri ve birçok ülkede belki de birincisi konut ısıtmasıdır. Ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık % 40' ı konut ısıtmasında gerçekleşmekte, fakat konutlarda ısıtmada kullanılan yakıtların tür ve miktar olarak soba, kalorifer kazanları ve bölgesel ısıtma sistemleri arasındaki dağılımı ile ilgili istatistiksel bilgiler bulunmamaktadır. Ekonomik koşullar, yaşam biçimi vb. nedenlerle kalorifer kazanları ile ısıtma genelde büyük şehirlerde uygulanmakla beraber, kırsal kesim ve kk şehirlerde ısıtma soba ile yapılmaktadır.

Enerji yatırımlarının çevresel ve toplumsal maliyetlerinin giderek artması, enerjinin verimli kullanılmasını ve doğru enerji yatırımlarının planlamasını gerektirmektedir. Artan ve hassaslaşan konfor sistemleri, enerji tüketimini arttırarak enerji giderlerinin artmasına, fosil kaynaklı enerji kullanımının bir sonucu olarakta atmosferik kirlenmeye ve ekolojik dengelerin bozulmasına neden olmaktadır. Konut sektöründe ısıtmadan kaynaklanan hava kirliliği tüm ülkelerde üzerinde önemle durulan bir konudur. Hava kirliliğinin önlenmesinde kullanılan bölgesel ısıtma sistemleri ancak ekonomik olarak verimli yapılabildiği takdirde uygulanmaktadır. Bölgesel ısıtmada esas olarak yüksek verim oranlarında ucuz yakıt yakarak elde edilen yakıt maliyetlerindeki tasarrufların ısı enerjisini dağıtım şebekesinin neden olduğu yüksek sermaye masraflarına üstün gelmesi istenmektedir.

Yerleşim yerlerinin bölgesel olarak bir veya birkaç merkezden ısıtılması, konunun teknik yönünün dışında hukuki, ticari ve idari yönlerden de sıkı şekilde etüt edilmesini gerekli kılmaktadır. (Gürdal, 1995)

Bu alışma, giriş bölümünden sonra yedi blmden oluşmaktadır.

İkinci blmde bölgesel ısıtmanın genel özellikleri, avantajları, ısıtma tekniği prensipleri, ısı üretim merkezi ve ısı akışkanın seçimi konu edilmiştir.

Isıtma sistemi şebekeleri başlığı altındaki nc bölüm şebeke şekilleri, ısı dağıtım devreleri, boru donanımı ve elemanları ile boruların döşenmesi konularından oluşmaktadır.

Dördüncü blmde tüketiciler bağlantıları ve tüketilen ısı miktarının llmesi, beşinci blmde bölgesel ısıtmada kullanılan ısı üretim şekilleri açıklanmıştır.

Enerji maliyeti başlıklı altıncı bölümde üretilen enerjinin birim maliyetinin ve üretilen ısı enerjisinin ısıtılacak bölgeye taşınma maliyetinin belirlenme yolları belirtilmiştir.

Sayısal uygulamanın yer aldığı yedinci bölümden sonra sekizinci bölümde çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler açıklanmıştır.



2. BÖLGESEL ISITMA

2.1 Genel

Bir veya birkaç ısı üretim merkezi ile bir yerleşim bölgesindeki endüstri tesisleri, toplu konut uygulamaları gibi çok sayıda yapının aynı anda ısıtılması Bölgesel Isıtma olarak tanımlanabilir. Bilimsel ve ekonomik koşullara sıkı şekilde bağlı kalınarak uygulanan bölgesel ısıtma sistemleri yerleşim bölgelerinde kullanılabilen en iyi ısıtma sistemi olarak tespit edilmiştir. Günümüzde birçok ülkede geniş ölçüde uygulanmakta olan bölgesel ısıtma, su şebekesi ve elektrik şebekesi gibi bir altyapı hizmetidir.

Merkezi ısıtma tesisleri ile bölgesel ısıtma sistemleri arasında kesin bir ayırım yapmak zor olmaktadır. Ayırımı göz önünde tutulan özellik yapılar da münferit ara istasyonların bulunup bulunmaması konusudur. Bu durumda boru şebekesi ısı üretim merkezinden ara istasyonlara kadar ulaşan bölgesel ısıtma boruları ve ara istasyonları ısıtıcılara bağlayan yapı içi borular olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde iki devre bulunmaktadır. Isı üretim merkezinde üretilen ısıyı yapı içi tesisata taşıyan primer devre ve yapı içi tesisatta ısı dağıtımını yapan sekonder devredir. Bu iki devre, ısıtılacak olan yapı altında eşanjör dairesi adı verilen noktada birleşir ve primer devre akışkanı ile sekonder devre akışkanı ısıtılır. Dolaysız sistemde ise primer devre akışkanı doğrudan sekonder devrede dolaştırılır. Isı enerjisi ısı tüketim yerlerine bir boru şebekesi ile ulaştırılmakta ve ısı taşıyan akışkan olarak buhar, kızgın su veya sıcak su seçilebilmektedir.

Çok geniş olmayan bölgesel ısıtma sistemleri genel bir kural olarak, sadece büyük şehirlerdeki yerleşim bölgelerinin, idari bölgelerin ve iş merkezlerinin ısıtma ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılır. Genel bir ısı dağıtım işletmesinin en büyük tüketicileri kamu yapıları, büyük ticari ve idari yapılar ve yoğun bir bina kalabalığına sahip bölgelerdeki çok katlı konut yapıları olmaktadır.

Bölgesel ısıtma sistemlerinin yaygın bir şekilde kullanılmasının önemli bir nedeni, ısıtma şebekesi kurulduktan sonra bu şebekeye bağlanan yapı içi tesislerinin kısa bir süre içinde ısı enerjisine kavuşma imkanını elde etmesidir. Başka bir önemli neden de, bölgesel ısıtma sistemleri bazı enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için tek çare durumundadır. Örnek olarak, jeotermal enerji, evsel atıkların yakılması yolu ile elde edilen ısı enerjisi ve bazı endüstriyel prosesler sırasında dışarı atılması gereken ısı enerjisi belirtilebilir.

Bölgesel ısıtmadan en iyi şekilde yararlanabilmek için yeni yerleşim bölgeleri projelerinin

başlangıç aşamasında iyi bir etüt çalışması yapılması gereklidir. Bölgesel ısıtma sonradan uygulandığı takdirde, besleme şebekesi daha uzun olmakta, maliyeti yüksek dizayn zorlukları ile karşılaşmakta ve bölgesel ısıtma ısı üretim merkezi için yerleşim sorunu oluşmaktadır. Bu sorunlar, bölgenin planlaması yapılırken bölgesel ısıtma sisteminde planlamasının yapılması ile önlenebilmektedir.

Bölgesel ısıtmanın tarihine ve gelişimine kısaca baktığımızda, Almanya' daki ilk bölgesel ısıtma santrallerinin 1875 yılında kurulduğu, bölgesel ısıtma alanındaki gelişmenin hızlı olduğu ve 1936 yılı itibariyle 28 farklı bölgesel ısıtma projesinin bulunmakta olduğu görülmektedir. Bölgesel ısıtmanın gelişimine büyük katkılarda bulunmuş ve şehirlerinin hemen hemen tamamı kurulu bölgesel ısıtma ağına sahip olan Danimarka' da inşa edilen yeni binaların yaklaşık tamamı bölgesel ısıtma ağına bağlanmaktadır. İlk Amerikan bölgesel ısıtma sistemi 1877' de işletmeye konulmuştur ve hemen hemen tamamen buharla ısıtma şeklinde uygulanmaktadır. Isı taşıyan akışkan olarak buharın kullanım nedeni çok sıcak yaz ayları boyunca bölgesel ısıtma sisteminin bölgesel soğutma amaçlı kullanılmasıdır. Rusya' da bölgesel ısıtma sistemlerinin oldukça başarılı olmasının nedeni tam merkezi planlamanın kullanılması ve enerji şirketleri ile şehir planlamacıların arasında uygun bir koordinasyon gerçekleştirilmesidir. Bu ülkelerden başka Avrupa' da birçok gelişmiş ülke büyük bölgesel ısıtma şebekelerine sahiptir.

2.2 Bölgesel Isıtmanın Avantajları

Hava kirliliği sanayileşmiş ülkelerin birçoğunda bulunan bir sorun olmakla birlikte bölgesel ısıtma ile ısıtmadan kaynaklanan hava kirliliği hemen hemen tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Duman çıkarıp havayı kirleten çok sayıda münferit ocak ortadan kaldırılmış olacağından, özellikle kalabalık şehirlerde hava daha temiz hale gelmektedir. Kömür yakıt kullanmak yerine bölgesel ısıtma ile ısıtılan her 30 ev için atmosferik kirliliğin yılda bir ton kurum azaldığı ölçülmüştür. (Diamant ve McGarry, 1968)

Düşük nitelikli kömür ve petrolden daha ucuz yakıtlarda bölgesel ısıtma santrallerinde kullanılabilir. Birçok ülkede evsel atıklar özel fırınlarda yakılmakta ve elde edilen ısı enerjisi bölgesel ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Genellikle belirli bir yerleşim bölgesinin ısıtma yükünün % 15- 20' si bölge içinde yer alan konutlardan çıkan atıkların yakılmasıyla elde edilen ısı enerjisi ile karşılanabilir. Atıkların yakılması ile elde edilen faydalı ısının yanında yan ürün olarak dolgu malzemesi kullanımına uygun kompakt kül oluşmaktadır.

Bölgesel ısıtmada kullanılan diğer bir ısı kaynağı da endüstri işletmelerinden özellikle çelik

sanayinden elde edilen büyük miktardaki atık ısıdır. Yapım maliyeti yüksek olan soğutma kulelerinden yapılan tasarruf bölgesel ısıtma sisteminin finansmanında kullanılmaktadır.

Atık pis su gazları da faydalı bir atık ısı kaynağı olup bu ısıdan bölgesel ısıtma amaçlı istifade eden bir santral bulunmaktadır.

Bölgesel ısıtma kullanıldığı zaman, tüketiciye sağlanan ısı yalnızca buhar, kızgın ya da sıcak su şeklinde olması ile yangın tehlikesi, yakma tertibatının tüketici kontrolunda olduğu binalara göre büyük ölçüde azaltılmıştır.

Şehirçi trafiği, kömür ve yanma artıklarını taşımak yükünden kurtulmakta, kir ve gürültü ortadan kalkmaktadır.

Tüketicilerin yararına olan bu avantajlardan başka, bölgesel ısıtmanın yapılardaki bodrum boyutlarının küçültülmesi, yakıt depolanması ile tesisatın gözlem ve bakımı yükümlülüklerinin ortadan kaldırılması, servisin daima hazır bulunması ve ısı talebinde meydana gelen güçlü değişimlerin bile kolaylıkla karşılanabilmesi gibi avantajları da vardır.

2.3 Bölgesel Isıtma Tekniği Prensipleri

Şehirlerdeki yerleşim bölgeleri ile idari ve ticari kesimlerde bölgesel ısı dağıtım tesislerinin öngörülmesi, bu bölgelerde, belirli bir zaman aralığı içinde talep edilen ısı miktarının yüksek olmasını gerektirmektedir. Güç kapasitesi büyük az sayıda tüketici olabileceği gibi, güç kapasitesi düşük çok sayıda tüketicide bulunabilmesi sonucunda bölgesel ısıtma şebekesinden çekilen ısı miktarını büyük ölçüde konut ısıtma tesisleri belirlemektedir.

Isı ihtiyacı yoğunluğu, bölgesel bir ısıtma sisteminin değerini vermektedir. Bu ifade, bir bölgede ısıtma şebekesine bağlanması mümkün bütün yapıların ve tüketim merkezlerinin maksimum ısı ihtiyaç miktarları toplamının, ısıtma şebekesi tarafından beslenen alana oranı olarak belirtilir ve bölgedeki yapı düzeni düzenli ve dağıtım şebekesi çok dallı ve yaygın olduğu takdirde bölgesel ısıtma sisteminin faydalı olacağını belirleyen bir özelliktir. Isı ihtiyacı yoğunluğu kW/km^2 veya kW/m^2 birimleri ile belirtilir.

Isıtma şebekesine bağlanacak büyük güç kapasiteli tüketici sayısı az ise, dal şebeke önemini kaybetmekte, yerine düz hatlarla ısı dağıtımını yapan bir besleme düzeni kullanılmaktadır. KW/km^2 (kW/m^2) olarak alana bağlı ifade edilen ısı ihtiyacı yoğunluğu, düz hatlarla ısı dağıtımını yapan besleme düzeninde Lineer Isı Yoğunluğu olarak ifade edilen ve kW/m birimi ile belirtilen karakteristikle yer değiştirir. Lineer ısı yoğunluğu ısı dağıtım şebekesinin her bir metre uzunluğuna karşılık gelen ısı ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır.

2.4 Isı Üretim Merkezinin Yeri

Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı santrali, ısı dağıtım şebekesine bağlı bölgelerin ısı tüketim ağırlık merkezine kurulursa, ısı dağıtım şebekesinin maloluş bedeli ve ısı kayıpları düşük bir oranda gerçekleşmektedir. Bu durumda, bölgesel ısıtma şebekesindeki en uzaktaki tüketiciye ulaşmak için gereken mesafe mümkün olduğu kadar kısa, boru çapları ve yük kayıpları da bu kısalma nedeniyle düşük bir seviyededir.

Buhar, kızgın su veya sıcak su şeklinde tüketime gönderilen büyük miktarlardaki ısının hangi mesafeye naklinin daha avantajlı olacağını belirleyen bir kural bulunmamakla birlikte, çok sayıda faktör bu seçimi ilgilendirmektedir.

Bölgesel ısıtma ısı üretim merkezinin yeri belirlenirken, ısıtma şebekesinin maliyetinin optimum olmasına, baca gazlarının bölgeyi kirletmemesi için bölgeye hakim olan rüzgarın yönüne ve yakıt ikmali ile kül naklinin kolay şekilde gerçekleşmesine önem verilmektedir.

2.5 Isıtıcı Akışkanın Seçimi

Bir bölgesel ısıtma sisteminin etüdü sırasında karşılaşılan önemli problemlerden birisi de ısıtıcı akışkanın seçimidir. Bu noktada, ısı üretim merkezini tüketim bölgesine bağlayan şebeke ile bölge içindeki dağıtım şebekesi arasında bir ayırım yapılmaktadır.

Bölgesel ısıtma tesislerinde ısıtıcı akışkan olarak, tesisin büyüklüğüne ve enerji ihtiyacının türüne bağlı olarak, sıcak su, kızgın su veya buhar kullanılmaktadır.

0.5 atü' den daha yüksek basınçlı buhar üreticileri Yüksek Basınçlı olarak tanımlanmaktadır ve bölgesel ısıtmada söz konusu olan santraller yüksek basınçlı santrallerdir.

Kızgın sulu sistemler, gidiş sıcaklığı maksimum 130 °C olan ve maksimum gidiş sıcaklığı 130 °C' nin üzerinde olan veya 130 °C' nin altında olup grup 1'deki şartlara uymayan kızgın su tesisleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Grup 1: Gidiş sıcaklığı maksimum 130 °C olan tesisler

1.a Maksimum gidiş sıcaklığı, basıncı sınırlayarak emniyete alınır. Emniyet ventili maksimum 1.5 atü' ye ayarlanır.

1.b Maksimum gidiş sıcaklığı termostatik olarak emniyete alınır. İşletme basıncı 1.5 atü' den 6.5 atü' ye kadar olabilir.

Grup 2: Maksimum gidiş sıcaklığı 130 °C' nin üzerinde olan veya altında olup grup 1' e

uymayan kızgın su tesisleri.

Sıcak sulu tesisler, gidiş sıcaklığı 110 °C' ye kadar olan ısıtma sistemleridir ve küçük tesisler için işletme emniyeti ve bakım kolaylığı nedenleri ile tercih edilmektedir.

Isı üretim merkezi ile ısı ihtiyacı olan bölge arasındaki uzaklığın çok fazla olmaması durumunda, ara istasyonlardan önce ve sonra aynı ısıtıcı akışkan dolaştırılarak ısının dönüştürülmesi işlemi uygulanmamaktadır. Bu durumda düşük bir basınç değerine sahip buhar ile 130 °C' ye ulaşan sıcaklığa sahip sıcak su arasında bir tercih yapılması gerekmektedir.

Buharlı, kızgın veya sıcak sulu ısıtma düzenine ait avantajlar ve dezavantajlar aşağıda ifade edilmiştir.

2.5.1 Buharlı Dağıtım

2.5.1.1 Avantajları

- Yapı içi tesisatlarının ve düşük sıcaklık derecelerine ihtiyaç duyan endüstriyel tüketicilerin ana şebekeye bağlanması kolaydır.
- Isı tüketimini ölçmek basittir.
- Şebekedeki basıncın düşük olması nedeniyle boru şebekesi ve boru şebekesi yardımcı elemanları aşırı yorulmaya maruz kalmazlar.
- Isı dağıtım ana şebekesine yapılan bağlantıların ve onarım işlemlerinin gerçekleşmesi basittir.
- Gerekli ısı ihtiyacının birkaç ısı üretim merkezi ile dağıtılması mümkündür.

2.5.1.2 Dezavantajları

- Boru çap değerleri arttığı için, boru ve boru yardımcı elemanlarının maliyeti artar.
- Şebekenin engebeli araziye döşenmesi güçtür.
- Kondens sularının tahliyesi ve basılması ile yükümlü düzenekler öngörülmesi ve kondens borularında korozyon oluşma tehlikesine önem verilmelidir.
- Önemli miktarlarda ısı kayıpları meydana gelmektedir.

2.5.2 Kızgın Sulu veya Sıcak Sulu Dağıtım

2.5.2.1 Avantajları

- Merkezi otomatik ısı kontrolü ile, gidiş sıcaklığı dış hava sıcaklığına bağlanarak borulardan meydana gelebilecek ısı kayıplarını azaltmak mümkün olmaktadır.
- Isıtma suyu sıcaklığı düştükçe ısı kayıpları azalır.
- Yoğuşma suyu temizdir.
- Yapı içi tesisatının sıcak sulu olması halinde ara istasyon son derece basittir.
- Arazinin engebeli olmasına göre, şebekenin uygun şekilde kolaylıkla döşenmesi mümkündür.
- Çıkış sıcaklığının ayarlanması ile ısı debisi de bir merkezden ayarlanabilir.

2.5.2.2 Dezavantajları

- Tüketilen ısının doğrulukla ölçümü zor ve maliyeti yüksektir.
- Büyük sıcaklık farkları sağlanamadığında şebeke maliyeti artar.
- Onarım ve ısı dağıtım şebekesinin genişletilmesi zordur.
- Ana dağıtım şebekesine sadece sıcak sulu tesisler bağlanabilir.

Bu açıklamalardan başka, buharlı bölgesel ısıtma şebekelerinde, kaliteli boru ve ciddi boru işçiliği gerekmektedir. Kondens borularındaki korozyon riskini azaltmak için özel alaşımlı boruların kullanılması uygun olmaktadır. Buhar ve kondens borularının toplam kesiti dikkate alındığında küçük çaplı borular kullanılmaktadır, bununla birlikte boru şebekesinin döşenmesi zor ve maliyeti yüksektir. Kondensin alınması için sürekli bir eğim verilen buhar boruları uzun mesafelerde testere dişi biçiminde montajlanır. Korozif bir akışkan olan kondens suyu için düşük basınçlarda da yüksek kaliteli çelik boruların kullanılması gerekmektedir. Buharlı bir bölgesel ısıtma şebekesinde boru hattı boyunca kuvvetli yük kayıpları meydana geldiğinden ve nakil için gerekli güç akışkanlardan karşılandığından şebeke başlangıcında uygun bir buhar basıncı gerekmektedir. Günümüzde buharlı bölgesel ısıtma sistemleri, buhara ancak endüstriyel ihtiyaç olduğu takdirde tesis edilmektedir.

Sıcak sulu bölgesel ısıtma ile buharlı bölgesel ısıtma sisteminin faydalı taraflarını birleştiren

sistem kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemidir. Kızgın sulu bölgesel ısıtma şebekesinde boru montajı buhar şebekesinden daha kolay olmakla birlikte boru çapları arttığı için işçilik maliyeti de yüksek olur. Yüksek basınçlarda dikişsiz ve yüksek kaliteli çelik borular kullanılmaktadır. Boru çapları buharlı şebekelere göre daha büyük olup belirli yerlerde hava tahliyesi yapılarak eğim önemsiz hale getirilir. Yüksek basınç ve sıcaklık nedeni ile pahalı dolaşım pompaları kullanılır. Dolaşım pompaları yatakları su ile soğutulan, salmastra malzemesi sıcak suya dayanıklı ve özel olarak kızgın su için imal edilmiş olmalıdır.

Kızgın sulu ısıtma tesislerinde su sıcaklığı üst sınırı 180 °C değerindedir ve su gidiş-dönüş sıcaklıkları arasındaki fark 20 °C' den daha büyüktür. Genellikle kullanılan sıcaklık farkları 30-80 °C arasında değişir. Su sıcaklarının yükselmesi boru boyutlarını ve eşanjör boyutlarını azaltırken, basıncın artmasına bağlı olarak daha dayanıklı ve kaliteli boru ve cihaza ihtiyaç duyulmaktadır. Sıcaklık farklarının artması boru çaplarını azaltırken ısıtıcı yüzeylerini büyütür. Kızgın sulu sistemlerde boru şebekesi ve kazan hacmi bir ısı akümülatörü görevi görmekte ve böylece değişen ısı ihtiyaçlarında brülörlere ani yükler gelmemektedir. Kızgın sulu ısıtma, merkezi ve yerel otomatik ısı kontrolü yapılmasına imkanı da vermektedir.

Kızgın sulu bölgesel ısıtma şebekesinin her noktasındaki basınç değeri, her an bu noktadaki sıcaklık derecesine karşılık olarak tablolardan okunan doyma basıncından daha yüksek bir seviyede alınmıyorsa, ancak bu durumda buhar teşekkülü olayı önlenmekte, bu da sistemin basınçlı bir üreteç veya depoya bağlanması ile gerçekleşmektedir.

Sıcak sulu bölgesel ısıtma şebekelerinde et kalınlığı ince borular kullanılabilir ve montaj işçiliği buharlı sistemlerden daha kolay gerçekleşir. Boru malzeme ve işçilik maliyeti en düşük sistem olan sıcak sulu bölgesel ısıtmada üst noktalarda hava tahliyesi yapılmak suretiyle eğim önemini kaybeder. Sıcaklıkların düşük olması genişmeyi minimuma indirir ve şebekelerin döşenmesi çok kolay gerçekleşmektedir. Kullanılan dolaşım pompaları basit ve verimlidir.

Sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemlerinde kazan dairesinde üretilen sıcak su doğrudan doğruya ana şebekeye bağlı tesislere gönderilmekte ve böylece ana boru hatları ile yapı içi şebekelerde aynı statik basınç değerinin gerçekleşmesi sağlanmaktadır. 95 °C' lik gidiş suyu sıcaklığı aşılmadığı takdirde tesis tamamen atmosfere açık bir sistem olarak gerçekleştirilebildiği halde sıcaklık değerleri yükseldikçe sistem atmosfere tamamen kapalı olmaktadır.

3. ISITMA SİSTEMİ ŞEBEKELERİ

3.1 Şebeke Şekilleri

Bölgesel ısıtma şebekesinin oluşturulması, ısı tüketiminde bulunan tüketici yerlerinin konumuna, ulaşım yollarının düzenine ve şebeke aracılığı ile beslenen bölgenin ısı ihtiyaç yoğunluğuna bağlıdır.

Şekil 3.1' de bölgesel ısıtmada kullanılan çeşitli şebekeler verilmektedir.

Şekil 3.1.a' da görülen göz şebekeler, nüfus ve ısı ihtiyacı yoğunluğu fazla olan bölgelerde uygulanmakla beraber yapı içi sistemlerin ana şebekeye kısa borularla bağlanmasına olanak vermektedir. Her tüketiciye en az iki hat ile ulaşma olanağı vermesiyle beslenme bakımından emniyetlidir.

Düşük ısı yoğunluğuna sahip bölgelerin beslenmesinde şekil 3.1.b ve şekil 3.1.c' de görülen şebekeler kullanılmaktadır. Lineer bir besleme yapan dal şebekede, ısı kullanımını fazla olan tüketiciler veya tüketici gruplarının ağırlık merkezleri eksen güzergahının belirlenmesinde etkilidir. Isı üretim merkezi ve en son tüketici arasındaki uzaklığın büyük oluşu basınç kayıplarını artırır ve kalın boruların kullanılmasını zorunlu kılar. Halka şebeke ile bir ısı tüketim yeri birkaç hat ile beslenebilmektedir.

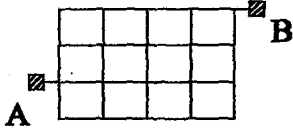
3.2 Isı Dağıtım Devreleri

Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısıtma ihtiyaçları ana gaye olmakla beraber kullanma sıcak suyu ihtiyaçları da karşılanabilmektedir. Bu sebeple ısı üretim merkezinden ısı tüketimi olan yerlere ısı dağıtımını boru sistemleri,

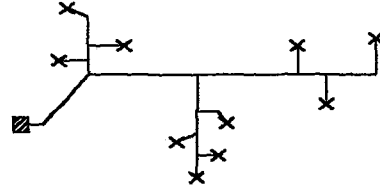
- Tek borulu sistem
- Çift borulu sistem (açık veya kapalı)
- Üç borulu sistem (açık veya kapalı)
- Dört borulu sistem (açık veya kapalı)

şeklinde belirtilmektedir.

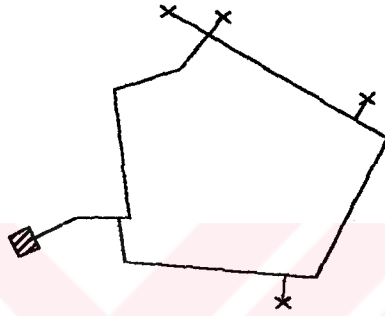
Açık sistemde kullanma sıcak suyu ihtiyacı ısı üretim merkezinden sağlanırken, kapalı sistemde yüzeyli bir ısı değiştiricisi ile karşılanır.



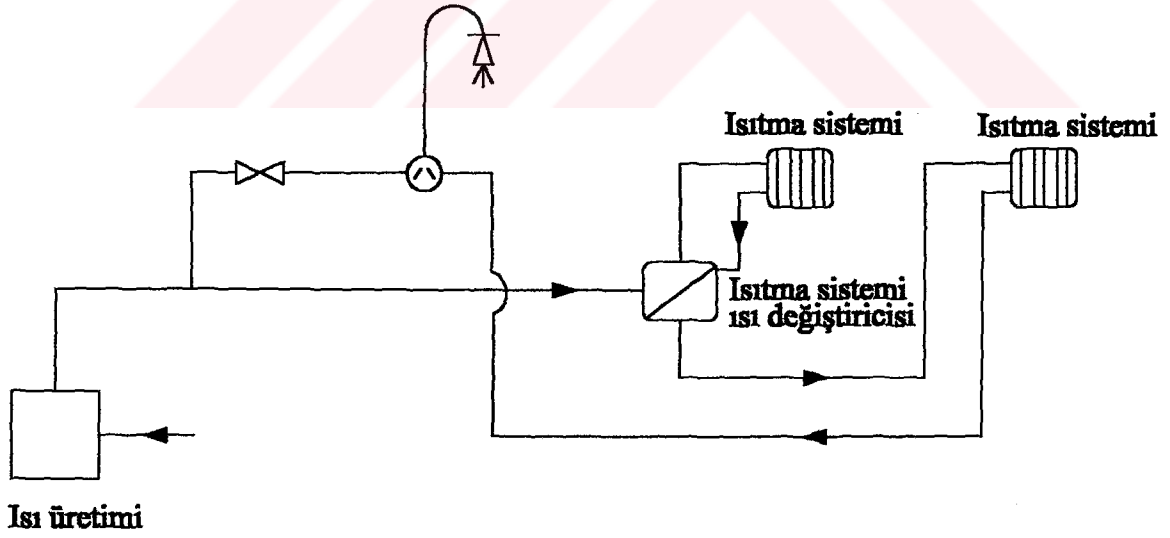
Şekil 3.1.a Göz şebeke



Şekil 3.1.b Dal şebeke



Şekil 3.1.c Halka şebeke



Şekil 3.2 Tek borulu açık sistem

3.2.1 Tek Borulu Sistem

Tek borulu sistem buharın ısı akışkanı olduğu ve kondens dönüşünün istenmediği durumlarda veya uzun mesafelere pompalanması gereken yüksek basınçlı kızgın suyu kullanan şebekelerde kullanılır. Tek borulu sistem pahalı bir işletme sistemidir. Normal bir ısıtma sisteminde hem ekonomik nedenlerle hem de kazan ömrü açısından işletme sorunları nedeniyle önerilmemektedir. Şekil 3.2' de tek borulu açık sisteme uygun örnek verilmiştir.

3.2.2 Çift Borulu Sistem

Uygulamada en çok kullanılan bölgesel ısıtma devresidir. Sıcak su ısı üretim merkezinden ısı tüketim bölgelerindeki alt istasyonlara geçer ve tüketim yerinde ısınıyı bırakarak bir dönüş hattı ile ısı üretim merkezine geri dönmektedir. Çift borulu sistemleri, düz geri dönüşlü ve ters geri dönüşlü (eşit direnç sistemi) olarak düzenlemek mümkündür.

Düz geri dönüşlü sistemin tasarımı ve yapımı kolaydır. Ayar ve reglaj problemi bulunmaktadır. İlk ulaşılan blokta gidişle dönüş hattı arasındaki basınç farkı çok fazla olmakta, bu fark en son blokta çok azalmakta, önlem alınmadığı takdirde ilk blokta çok su dolaşır ve bu blok yeterince ısınırken, son blokta az su dolaşır ve bu blok yeterince ısınmaz.

Ters geri dönüşlü sistemde basınç farkı dağılımı düzgündür ve reglaj gereksinimi minimumdadır.

Şekil 3.3' de çift borulu açık ve kapalı sistemlere örnek verilmiştir.

3.2.3 Üç Borulu Sistem

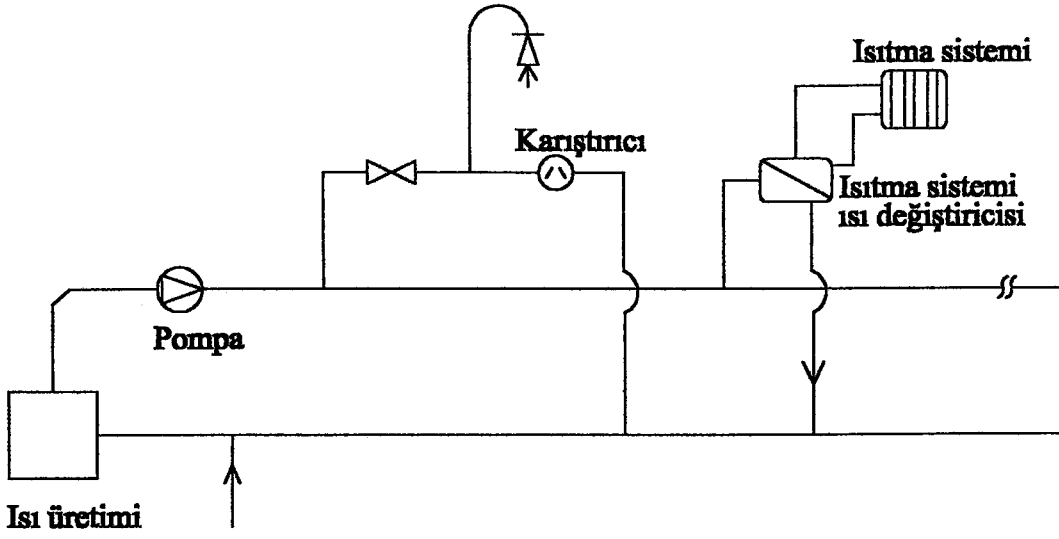
Üç borulu açık sistemde iki gidiş ve bir ısıtma devresi dönüş hattı, kapalı sistemde ise iki gidiş ve bir ortak dönüş hattı bulunmaktadır. İki borulu sisteme göre maliyeti yüksek olmakla birlikte ana ısıtma hattı kapalı iken ufak çaplı boru hala kullanılır ve böylece ısıtma hattındaki ısı kayıpları, ana ısıtma hattının kapalı olduğu yaz mevsiminde büyük ölçüde azaltılmaktadır.

Şekil 3.4' de üç borulu açık ve kapalı sisteme örnek gösterilmiştir.

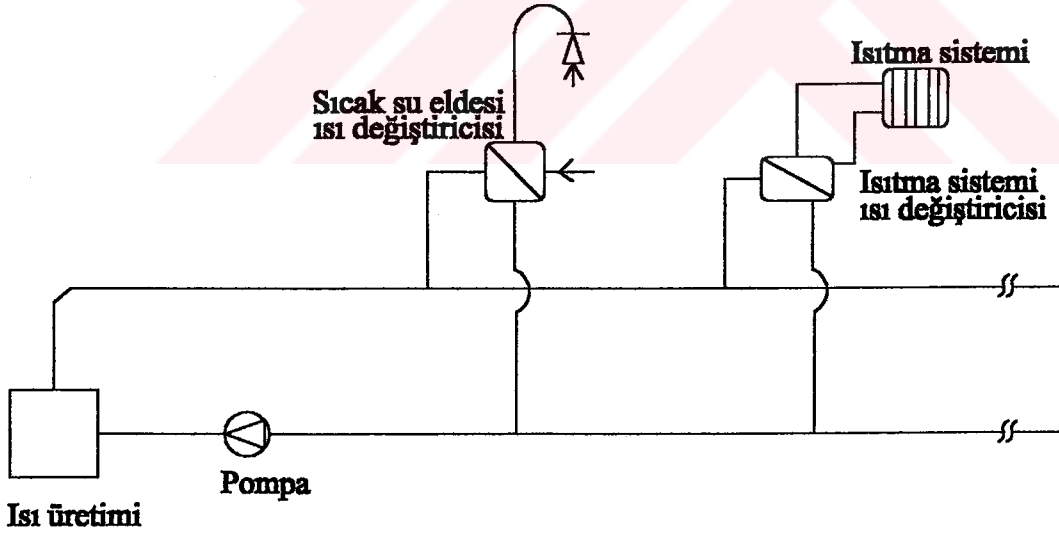
3.2.4 Dört Borulu Sistem

Dört borulu sistemde kullanma sıcak suyu ve ısıtma sıcak suyu için ayrı boru çiftleri kullanılır. Sıcak kullanım suyunu taşıyan boru hatlarının, ısıtma suyunu taşıyan boru hatlarından çok daha fazla korozyona dayanıklı olması gerekmektedir.

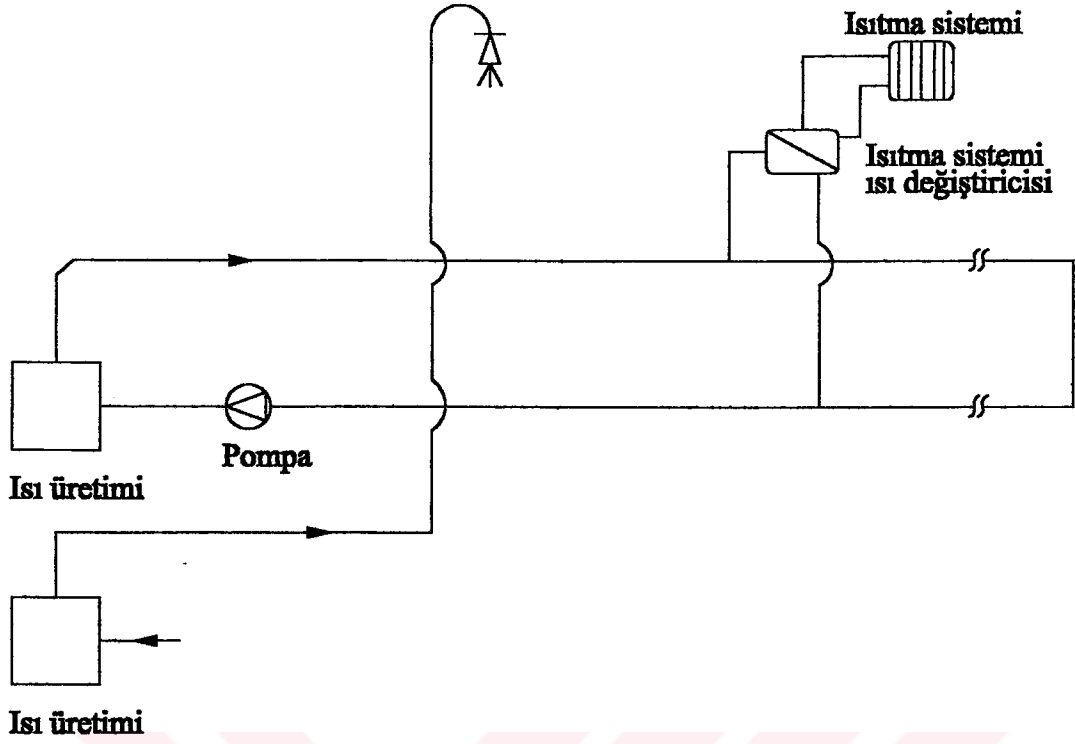
Şekil 3.5' te dört borulu açık ve kapalı sisteme ait örnekler verilmiştir.



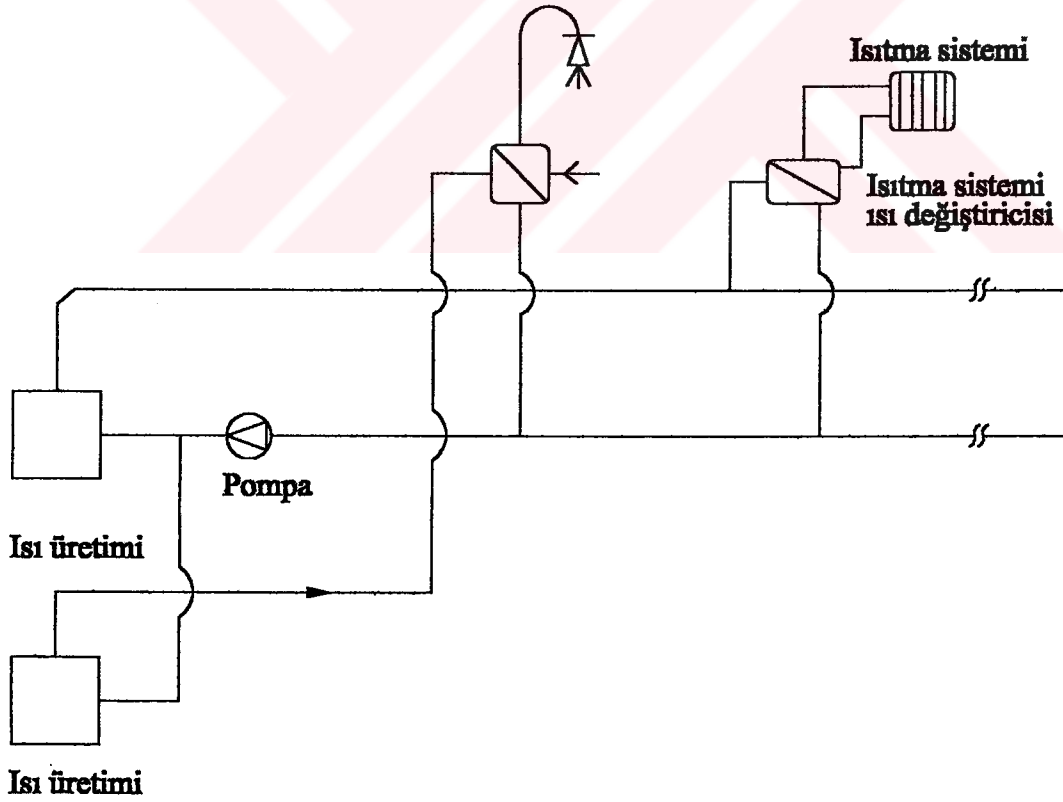
Şekil 3.3.a Çift borulu açık sistem



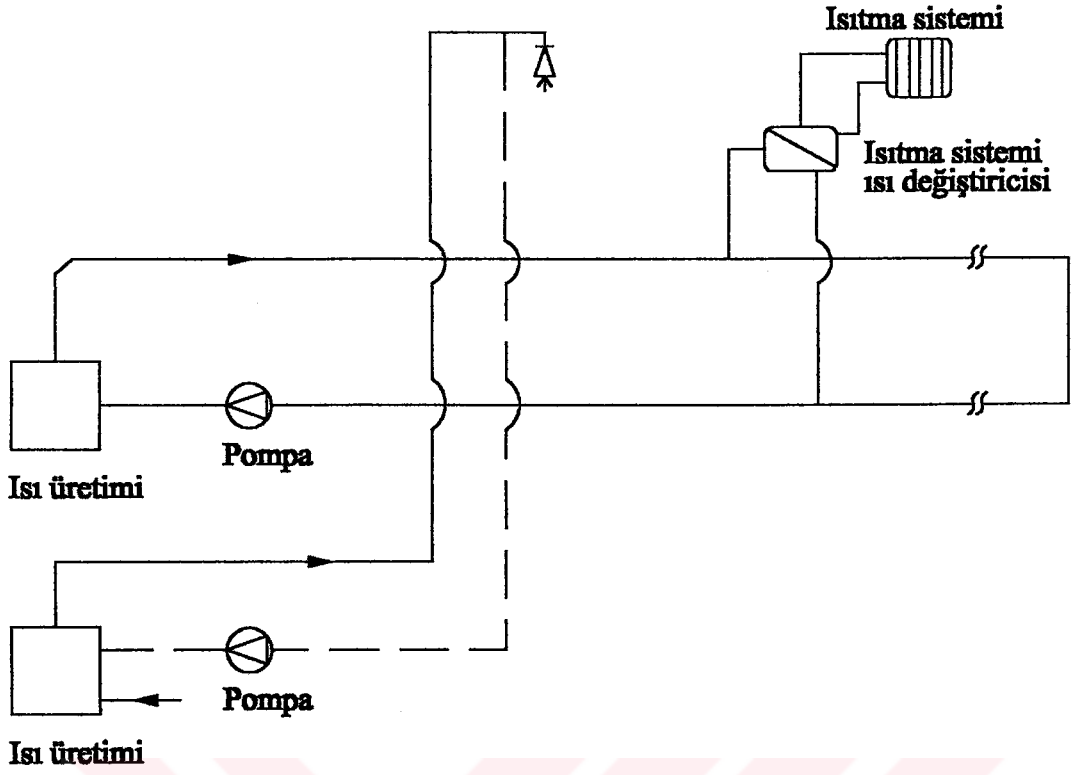
Şekil 3.3.b Çift borulu kapalı sistem



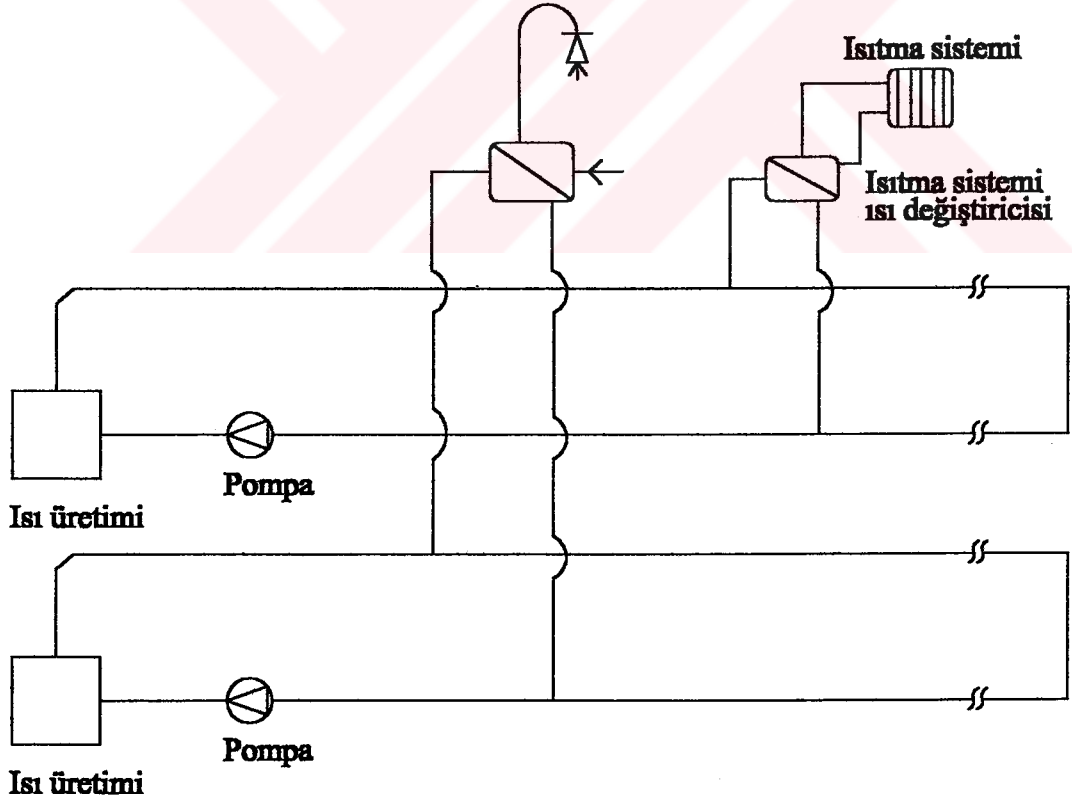
Şekil 3.4.a Üç borulu açık sistem



Şekil 3.4.b Üç borulu kapalı sistem



Şekil 3.5.a Dört borulu açık sistem



Şekil 3.5.b Dört borulu kapalı sistem

3.3 Boru Donanımı ve Elemanları

Bölgesel ısıtma sistemi şebekelerinde normal çap ve sıcaklık sınırlarında boruların yapım ve döşenmesinde önemli güçlüklerle karşılaşmadığı halde çap değerleri arttığında boru ve boru yardımcı elemanlarının sebep olduğu problemler önem kazanmaktadır. Düşük basınç ve sıcaklık değerlerinde NB 10 değeri kullanılırken, yüksek basınç ve sıcaklık değerlerinde boru şebekeleri NB 16 veya NB 25 değerlerinde gerçekleşir. Boru şebeke yapımında, 3/8 inç ile 2 inç arasında dikişsiz, vidalı borular, 40 ile 400 mm nominal çap değerleri arasında dökme çelik, dikişsiz borular, 300 mm' den büyük uygulamalarda dikişli, çelik gaz boruları özelliklerine sahip borular kullanılmaktadır. Merkezi ısıtma sistemlerinin tersi olarak ufak çap değerlerinde sadece dikişsiz borular kullanılır. Uygulamada büyük çap değerleri için dikişli borular kullanıldığında akışkan sıcaklığının 250 °C' yi aştığı durumlarda atölyelerde yapılan çeşitli testlerin sonucuna göre boruların uygunluğu belirlenir. Boru hatları yağmur suyuna karşı çok iyi korunduğu halde, çok azı su içinde kalmaya dayanabilmektedir. Boru hatları su içinden geçirileceği zaman özel ve oldukça pahalı yöntemler kullanılmaktadır.

Bölgesel ısıtma boru hatlarının dizaynı ve yalıtımı fabrikalardaki sıcak su boru hatlarından oldukça farklıdır. Yalıtım malzemesi olarak kullanılan magnezyum kuvvetli bir nemçekendir ve son derece kullanışsız bulunmaktadır. Boru hatlarında yaz aylarında olduğu gibi sıcaklık düşüşü olduğunda magnezyum kılcal hareketle çelik boruların yüzeyine geçen suyu emmekte ve bu şartlar altında ani korozyon hemen hemen kaçınılmaz olmaktadır. Magnezyum yalıtımın bitümlü malzeme ile sarılarak su geçirmez yapılması da bir yarar sağlamamaktadır. Bu kaplama üzerindeki herhangi bir yerdeki en küçük bir çatlak bile suyun içeri girmesine neden olmakta ve bitümlü kaplama suyun tekrar buharlaşmasını durdurarak kuvvetli yerel korozif harekete neden olmaktadır.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı dağıtım şebekesinde ön yalıtımlı borularda kullanılmaktadır. Ön yalıtımlı borularda yalıtım malzemesi olarak poliüretan bileşenlerin karışımından oluşan sert bir plastik köpük kullanılmaktadır. Ön yalıtımlı borularda kullanılan poliüretan köpük ortalama hücre büyüklüğü 0.5 mm' den küçük, toplam özgül ağırlığı 90 kg/m³' ten büyük, ısı iletim katsayısı 0.028 W/m°C' den düşük olan genel özelliklere sahiptir.

Ön yalıtımlı borularda boru ceket malzemesi olarak polietilen borular kullanılmaktadır. PEH boruların yapımında yalnızca standartlara uygun ham maddeler kullanılmaktadır. 945 kg/m³' ten büyük özgül ağırlık, 0.43 W/m°C ısı iletim katsayısı ve 0.3–0.8 g/10 min viskozite değerine sahip olan PEH ceket borular 130 °C' de sürekli kullanım halinde yaklaşık 50 yıllık kullanım ömrüne sahiptir.

Ön yalıtımlı borularda kullanılan PUR köpük, ceket boru ile çelik boru arasında kuvvetli bir bağ oluşturmaktadır. Bu şekilde sıcaklık etkisiyle oluşan genleşme kuvvetleri çelik borudan ceket boruya iletilmektedir.

Bölgesel ısıtma boru şebekesinde sızdırmazlık kontrolü, boru parçaları yerlerine monte edildikten hemen sonra yalıtım işlemi gerçekleşmeden su veya buharla işletme basıncının yaklaşık 1.25 katı bir basınç değerinde ya da en az nominal basınç seviyesinde gerçekleşir. Sızdırmazlık kontrolünde boruları taşıyan mesnetlerin aşırı yüke dayanımına dikkat edilirken, boru yardımcı elemanlarının bu kontrol dışında tutulması gerekmektedir.

Bölgesel ısıtma boru şebekelerinde, flanşlı bağlantılar kapama vanaları, genleşme organları ve çeşitli yardımcı elemanlarda kullanılabilen ve bu bağlantılara her zaman müdahale etme imkanı bulunmalıdır. Şebekede sızdırmazlık contaları olarak klingerit veya eşdeğer malzeme kullanmak ve contaları monte etmeden önce grafit veya manganer macun ile desteklemek gerekmektedir.

Sıcak su, kızgın su veya buhar boru şebekesinde, ısıtıcı akışkan sıcaklığındaki farklardan dolayı uzunlukta değişimler meydana geldiğinden boruların boyuna yönde hareket etmesine imkan verilmelidir. Boru şebekesindeki ısıl genleşme, şebekenin uygun şekilde düzenlenmesi kısaca tabii kompensasyon yolu ile karşılanmaya çalışılmalı, bunun içinde boru hattı üzerindeki iki noktayı en kısa yoldan birleştirmek yerine çeşitli yön değişimleri uygulanmalıdır. Şebekedeki genleşme en çok boru hatlarının yön değiştirdiği yerlerde emilmektedir. Genleşmeler önceden imal edilen veya düz borular ile boru hattında yapılan U-şekilli veya omega biçimli kaynaklı kompensatörlerle karşılanabilmektedir. En basit kompensatör biçimi olarak dirsekler kullanılır. U-şekilli kompensatörler uzun, düz boru hatlarında kullanılan en genel kompensatör biçimidir. Bu genleşme üniteleri, drenaj yerleri, kontrol odaları ve bağlantı yerleri olarakta kullanılabilen özel beton odaların içine yerleştirilmektedir. Bölgesel ısıtma şebekelerinde kullanılan diğer kompensatörler, büyük çaplı boru hatlarında yararlanılan körüklü kompensatörler ile Z- biçimli döner kompensatörlerdir. Kompansatörlerin etkili bir şekilde çalışabilmesi için, montajın tam eksen doğrultusunda yapılması, yüzeylerin düzgün ve parlak olması ve sızdırmazlığı sağlayan kısımların uygun seçimi gerekmektedir.

Boru şebekelerinde kapama organları olarak, 80 dolaylarındaki çap değerleri için subaplar, daha büyük çap değerleri için vanalar kullanılmaktadır. Subapların kullanılma sebebi daha iyi sızdırmazlık sağlamasıdır. Kapama organlarına her zaman müdahale etme imkanı bulunmalıdır. 250 °C' den yüksek sıcaklıklara ve su darbelerine maruz kısımlarda gövde

yapısı çelik olan kapama organları kullanılır.

Buhar ve su borularında elle kumanda edilen hava pürjörlerinden başka buhar boruları, hava giriş ve tahliye organları için otomatik pürjörlerden yeterli miktarda kullanılmaktadır.

3.4 Boruların Döşenmesi

Bölgesel ısıtma boru şebekeleri, açıktan geçirilmekte ise sütun ya da borulardan oluşan iskeleler taşıyıcı elemanlar olarak kullanılırken, kanal içinden geçirilen borular genellikle radye üzerine oturtulur. Mesnetler üzerine yerleştirilen borular, eksen doğrultusu boyunca serbest bir şekilde genleşebilmeli ve boru mesnetleri, yalıtım malzemesinin etkenliğini azaltmamalıdır. Boru ile mesnetler arasındaki temas yüzeyleri minimuma indirilerek, uygun bir destekleme sağlanmaktadır. Tercihen uzun borular kullanılmakta, böylece kaynak işlemleri sayısının asgariye indirilmesi imkanı sağlanmaktadır. Kaynak işlemlerinin kalitesi, tesisin işletme emmiyetinde en önemli rolü oynamakta olduğundan özel önem verilmelidir.

Boru hatlarının döşeneceği zeminin altındaki koşullar son derece önemlidir ve boru hatlarının yer su seviyesinden tamamen yukarıda yapılması gerekmektedir. Genelde, ısıtma ağının göze çarpacak bir parçası su seviyesi altında olmak zorunda ise boru hattı inşa maliyetinin çok yükselmesi boru hattının ekonomik olmadığını belirtmektedir. Yumuşak zemin şartları ile karşılaşıldığında en iyi çözüm ayrıık borular kullanmaktır.

Boru şebekeleri yapı içlerinden veya açık arazilerden geçirelemediği zaman, bu şebekeye ait boruları yer altına gömmek zorunlu hale gelmektedir.

Kuruluş maliyeti dikkate alındığında, boru şebekesinin kaldırım altına döşenmesi daha pahalıya mal olduğundan, sert ve üzeri döşeli olmayan zemin içine döşenmesi tercih edilmektedir.

Isıtma kanallarının, üzerinde fazla sirkülasyon yapılan sokaklarda açılması yüksek bir maliyet gerektirmektedir. Ayrıca ısıtma kanalları, yanından paralel şekilde geçtiği alçak gerilimli elektrik kablolarından 0.75 m uzakta olmalıdır. Isıtma borularının yanından soğuk su boruları da geçirildiği takdirde kanal içinde su akıntısı olabilir ve bu durumlarda boru ısı yalıtım işlemlerinin daha mükemmel şekilde gerçekleşmesine önem verilmelidir.

Şekil 3.6' da bölgesel ısıtma boru şebekelerinde uygulanan çeşitli kanal şekilleri verilmiştir.

Şekil 3.6.a' da sepet kulpu kesitli kanal şekli belirtilmiştir.

Şekil 3.6.b' de belirtilmiş olan yarım daire kesitli kanal buhar boruları için daha uygun

olmaktadır.

Şekil 3.6.c' de görülen dikdörtgen kesitli kanal, gidiş ve dönüş çapları aynı olan sıcak su boruları için kullanılmaktadır.

Şekil 3.6.d, 3.6.e, 3.6.f, 3.6.g' de çift borulu sıcak su ana boru hatları için kullanılan değişik beton kanal çeşitleri verilmiştir. Bu kanallarda İskandinav ülkelerinde yaygın olarak kullanılan gaz beton içinde yalıtılmış boru hatları bulunmaktadır. Bu yöntem su baskınları dışında ucuzluk ve güvenilir olma özelliğine sahiptir. Boruların doğrudan gaz beton içine döşenmediği, ilk önce oluklu mukavva içine sarıldığı durumlar olduğu halde, gaz beton yumuşak çelik yüzey üzerinde kendiliğinden koruyucu bir etkiye sahiptir.

Kanal zemini ile kapak arasındaki birleşme çizgisi dip kısma yakın olduğu derecede boruların montajı ve yalıtım işlemleri o derecede kolaylaşmakta, fakat bu seferde yan duvarları yüksek olan kanallara oranla, zeminin daha geniş kazılması ve daha ağır kapakların kullanılması gerekmektedir.

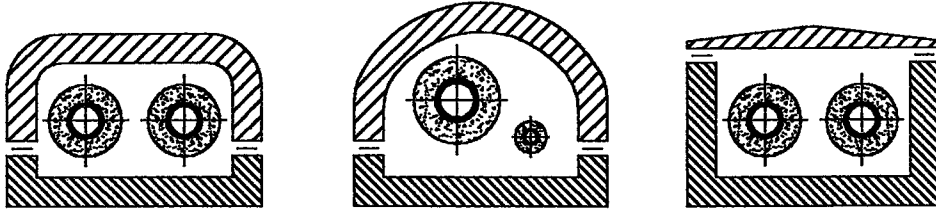
Kanal kesitleri mahalli şartlara göre ve kanal içine yerleştirilecek boruların sayı ve büyüklüğü dikkate alınarak tespit edilmektedir. Kapakların ağır olması nedeni ile bu elemanların uzunlukları 0.7 ile 1.3 m. arasında sınırlandırılmıştır.

Kanal içine döşenen bölgesel ısıtma boru şebekelerinde, genişleme kompensatörleri, vana kumandalı bransman ayrılmaları, sabit noktalar, su tahliye organları gibi kontrol edilmesi gereken yardımcı elemanların bulunduğu kısımlara giriş kuyuları ve ayrıca şebekede arıza olması durumunda aydınlatma için 50-80 m aralıklarla kontrol kuyuları yerleştirilmektedir.

Kanalsız boru döşenmesi yer ekonomisi sağlarsa da, özenli bir yapım işlemi gerektirmekte ve bransman ayrılmaları ancak sabit noktalara yakın yerlerde gerçekleştirilmektedir. Boru şebekesinin kanal içine döşenmesi durumuna oranla sağlanan tasarruf, sadece bazı özel hallerde, örnek olarak yoğunlaşma sularının kazan dairesine dönüşünün istenmediği buharlı şebekelerde kendini belli etmiştir.

Isıtma ana boru hatlarının en çok bilinen yapım metodu gaz beton içinde yalıtılmış beton kanallardır. Gaz beton çelik yüzey üzerinde koruyucu bir etkiye sahiptir.

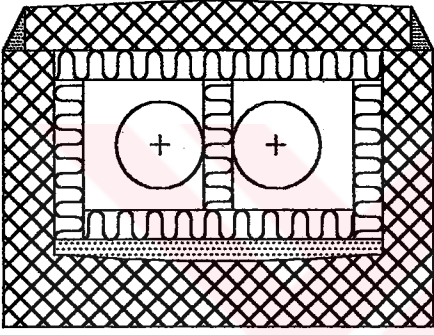
Madeni yün yalıtımlı boru hatlarını beton kanallar içine yerleştirmek çok rağbet edilen bir metod olup beton kanal önceden inşa edildiğinden kanal alt seviyesindeki drenaj yerleri boru hattı yer su seviyesinden aşağıda ise pompa ile donatılırlar. Boru şebekelerinin her biri ayrı ayrı madeni yün ile sarılabildiği gibi, alternatif olarak gidiş hattından dönüş hattına ısı geçişini



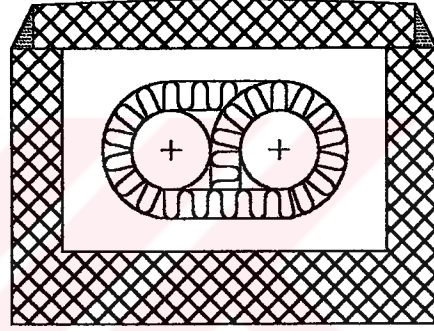
a

b

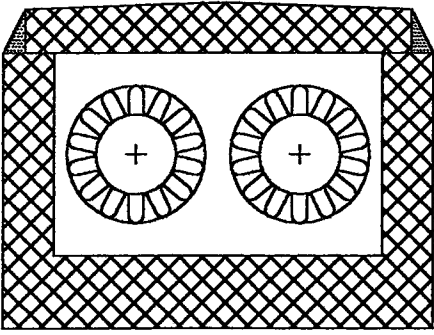
c



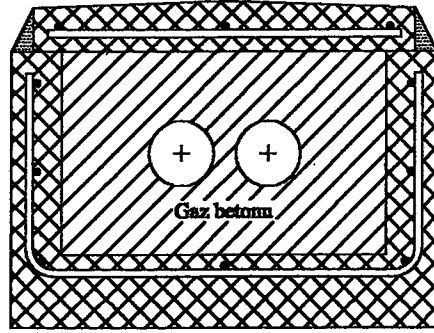
d



e



f



g

Şekil 3.6 Bölgesel ısıtmada kullanılan kanal şekilleri

önlemek için hatlar arasında kalın bir ıstampa kullanılarak iki hat beraber madeni yün ile yalıtılabilir. Çelik ile temasta olan madeni yün gaz beton kadar iyi antikoroziyon özelliği göstermediğinden, çelik borulara yalıtılmadan önce krom banyoya daldırılarak ve bitümlü keçe ile kaplanarak yüzey koruması yapmak gerekmektedir.

Yeraltı su seviyesinin garanti edilemediği zeminlere boru hatlarını döşemek gerektiğinde zırlı boru hatları önemli bir avantaj teşkil etmektedir.

Bölgesel ısıtma boru şebekelerinin yalıtımında ayrıca manolith, hydrobit, cocon, gilsulate ve protexulate malzemeleri de kullanılmaktadır.

Manolith, Alman Mannesmann firmasının ürettiği bozca bir tozun ticari adı olmakla beraber, uzun yıllar su altında kalsa da suyu tamamen uzaklaştırıcı özelliğe sahip, kömürün damıtılması ile elde edilen bir yan üründür.

Hydrobit, petrolün damıtılması ile yan ürün olarak elde edilir. Cocon boru hattı yalıtımı önceden cam yünü veya mineral yün ile yalıtılmış boru hattı üzerine bir çeşit P.V.C. malzemesi püskürtülmesinden oluşmakta ve görevi yalıtımı tamamen su geçirmez yapmak ve böylece beton kanala olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktır.

Gilsulate ve protexulate, manolith ile bir dereceye kadar aynı özelliklere sahip olmakla beraber, farklı olarak toz tutmama özelliğine sahiptir. İsveç' te boru hattı yalıtımında gilsulate kullanıldığında boru hatlarındaki su geçirmezlik seviyesinin korunması için borulardan yılda en az bir kere kızgın su geçirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu koşullarda gilsulate boruya çok yakın bir noktada erimekte ve boru yüzeyini korozyondan korumak için su geçirmez bir tabaka oluşturmaktadır.

Yalıtım malzemesi olarak aerocrete kullanıldığında, borular ilk olarak polietilen folya ile sarılarak ve bir tabaka mineral yün uygulanarak nem penetrasyonuna karşı korunurlar. Borular daha sonra macun hale getirmek için polyester köpük ile beraber ince, tanecikli bir mineral ile karıştırılarak meydana getirilen bir malzeme olan aerocrete ile tamamen doldurulan ince bir tabaka ile desteklenmektedir.

4. BÖLGESEL ISITMADA TÜKETİCİ BAĞLANTILARI

Isı enerjisinin tüketicilere dağıtımında iki ayrı uygulama yöntemi benimsenmiştir. Besleme sıcaklıklarının çok yüksek olduğu durumlarda, gerek özel alt istasyonlarda gerekse bölgesel ısı temin edilen binaların bodrum katlarındaki ısı eşanjörleri kullanılır. Bu tip dolaylı ısıtma, besleme ve dönüş ana hatları için daha dar borular kullanılmasını mümkün kılmakla beraber konut devreleri ayrı sirkülasyon pompaları ile donatıldığından besleme hattını çok yüksek basınç değerlerinden korumaktadır. Doğrudan ısıtmada, düşük sıcaklıkta besleme suyu kullanılmaktadır. Bu uygulama ısı kaynağı termoelektrik bir santral olduğunda, elektrik üretimi veriminin yüksek olmasını sağlamaktadır. Ayrıca doğrudan ısıtma ile şebekeler daha ucuz ve basit olarak tesis edilebilmektedir. Buharla ısıtma, buharın bir buhar-hava ısı değiştirgecinden geçen havayı ısıttığı sıcak hava ısıtıcıları dışında dolaylı ısıtma biçimindedir. Buhar ısı değiştirgecinde dolaşım suyunu ısıtır ve yoğuşan buhar ya sisteme geri gönderilir ya da soğutulduktan sonra dışarı atılır.

Tüketici bağlantılarında kullanılan sıcak su sistemleri, buharlı sistemlere göre farklı kontrol edilmektedirler. Bu farklılıklar besleme suyunun kullanım amacına uygun olup olmadığı, besleme ve dönüş hattı basınçlarının ısı temin edilecek tüketici tipine uygunluğu ve istenen basınç değerlerinin düzenli sağlanabilmesi gibi faktörlerle ilgilidir. Genellikle basınçta ani bir düşüş olması halinde boru hattındaki suyun buharlaşmasını önlemek üzere sıcak su sıcaklığı 100 °C' nin altında temin edilir ve çok yüksek binalar dışında besleme suyu yardımcı pompalara gerek kalmadan her tüketiciye temini için santralde basınçlandırılmaktadır. Dönüş hattındaki basınç ısı üretim merkezi tarafından atmosfer basıncının biraz üzerinde tutulur. Ayrıca tüketici ve ana veya ara istasyon arasındaki mesafe ne kadar uzaksa , gidiş ve dönüş ana hattı arasındaki basınç değeri o kadar küçülmektedir.

Bölgesel ısıtma ana hattındaki su, boru hattındaki korozyonu azaltmak için sodyum fosfat ile işlemden geçirildiğinden kullanım amacı için uygun olmamakta, bu yüzden besleme suyunun bir bölümü şehir şebekesindeki suyu kullanım sıcaklığına ısıtma için kullanılabilir. Bunun için gereken debi değeri genellikle bir termostatik vana ile sağlanmaktadır.

4.1 Tüketilen Isı Miktarının Ölçümü

Tüketim yerlerine ısı verilmesi, tüketilen ısı enerjisinin miktarının ölçümünü gerektirmektedir. Buhar şeklinde ısı verilmesinde, büyük debi değerlerinin diyafram ve kayıt sayaçları ile ölçümü mümkün olmakla beraber yapılan ölçümün doğruluk derecesi sınırlı bir debi aralığı ve sabit bir buhar debisi için geçerli olmaktadır. Büyük debi değişimlerinin

olduğu durumlarda, farklı debi aralıkları için öngörülen paralel şekilde monte edilmiş iki adet sayaç kullanılabilir. Buhar debisinin ölçülmesi, tüketim yerinde yapılan maksimum tüketim miktarının değerini kolaylıkla belirlemektedir. Buhar kaybının olmadığı, buharla yoğuşma suyunun kapalı bir çevrim oluşturduğu sistemlerde , yoğuşma suyunun ölçümü ile ısı tüketiminin miktarı ölçülebilmektedir. Çok düşük seviyedeki yoğuşma suyu miktarlarının bile büyük bir yaklaşıkla belirlenmesi yaygın şekilde kullanılan hacimsel sayaçlarla sağlanabilmektedir.

Sıcak su biçiminde tüketilen ısyı ölçmek çok daha zordur ve büyük tüketiciler için mekanik ısı akış sayaçları kullanılmaktadır. Gidiş ve dönüş sıcaklıkları arasındaki fark, zayıf yük değerlerinde 2 ile 3 °C, sabah ısıtması sırasında ise 30 ile 60 °C arasında değişim gösterdiğinden ısı ölçümündeki hassasiyet yeterli olmamaktadır. Bu da, sıcak su şebekelerine monte edilen ısı sayaçlarının maliyetini arttırmaktadır.

Maliyeti yüksek olan sayaçların kullanımı fazla miktarda tüketimde bulunan yerlerde ekonomik olabilmektedir ve bundan dolayı bölgesel ısıtmada sıcak su ile verilen ısyının miktarı genelde götürü şekilde faturaya bağlanmaktadır.

Diğer bir yöntem ise bütün radyatörlerde ve ayrıca sıcak su deposunda maliyeti ucuz evaporatif sayaçların tesis edilmesidir.

Bir başka ısı sayacı termoelektrik ısı sayacıdır. Evaporatif sayaçtan daha kesin sonuçlar vermekte ve tek bir yerden hızlı ve kolay okuma imkanı sağlamaktadır. Maliyetinin yüksek olması ve tesis etme zorluğu başlıca dezavantajdır.

Sıcak sulu şebekeleri besleyen bazı bölgesel ısıtma santralleri, verilen sıcak su miktarını ölçmekle yetinmekte, böylece tüketici sıcak su debisini kısma ve dönüş suyunu ana şebekeye düşük bir sıcaklıkta iade etmeye teşvik edilmektedir. (Diamant ve McGarry, 1968)

5. ISI ÜRETİMİ

5.1 Bileşik Isı-Güç Üretimi ve Bölgesel Isıtma

Tek bir sistemden eş zamanlı olarak elektrik ile kullanılabilir ısı üretilmesi anlamına gelen bileşik ısı-güç sistemi ile konvansiyonel enerji üretim sistemlerinde ziyan olan % 55-65 oranındaki atık ısıdan yararlanılmakta ve gazla çalışan sistemlerde % 80-90 oranında verimler elde edilebilmektedir. Kısaca primer enerjinin atılan kısmı minimuma getirilmekte ve sistem kendini kısa zamanda geri ödemektedir.

Bileşik ısı-güç üretimi ile ilgili üç temel tanım vardır. Bunlardan birincisi termik verim (η); bir ısı makinasında üretilen işin (W), sağlanan yakıt enerjisine (Y) oranı olarak tanımlanmaktadır.

Enerjiden Yararlanma Oranı (EYO), yararlanılan toplam enerjinin, sağlanan enerjiye oranı olarak ifade edilmekte, ısı makinasının çevreye attığı (Q) ısı enerjisi kullanımı amaçlanan ısı enerjisidir.

Üretilen işin (W), kullanılan ısıya oranı olarak ifade edilen Elektrik Isı Oranı diğer bir tanımdır ve

$$EIO = \frac{W}{Q} \quad (5.1)$$

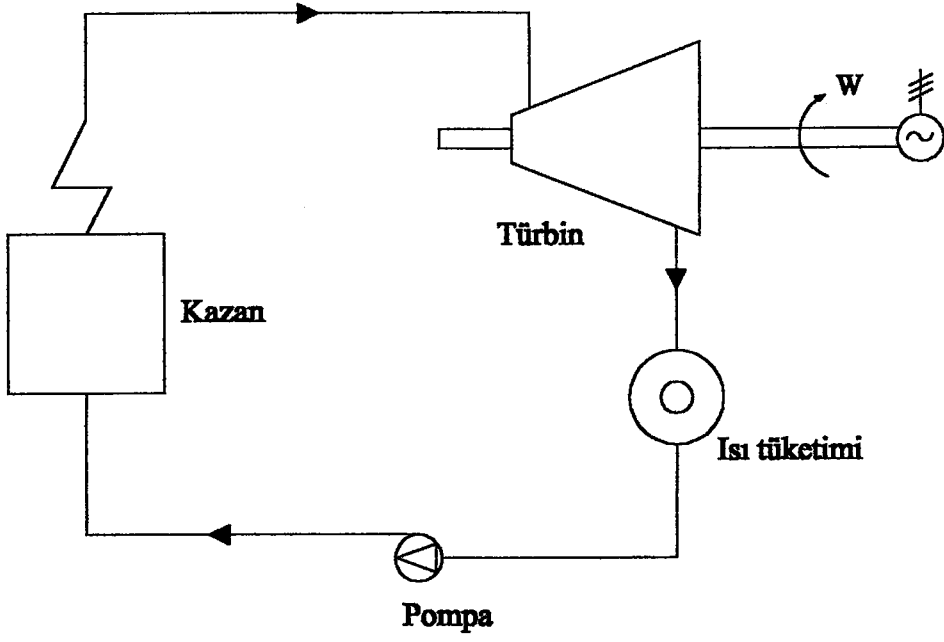
olarak ifade edilir.

Bölgesel ısıtmada kullanılan bileşik ısı-güç sistemleri kazan-buhar türbini, gaz türbinli atık ısı kazanlı, Diesel veya gaz motorlu sistemlerdir.

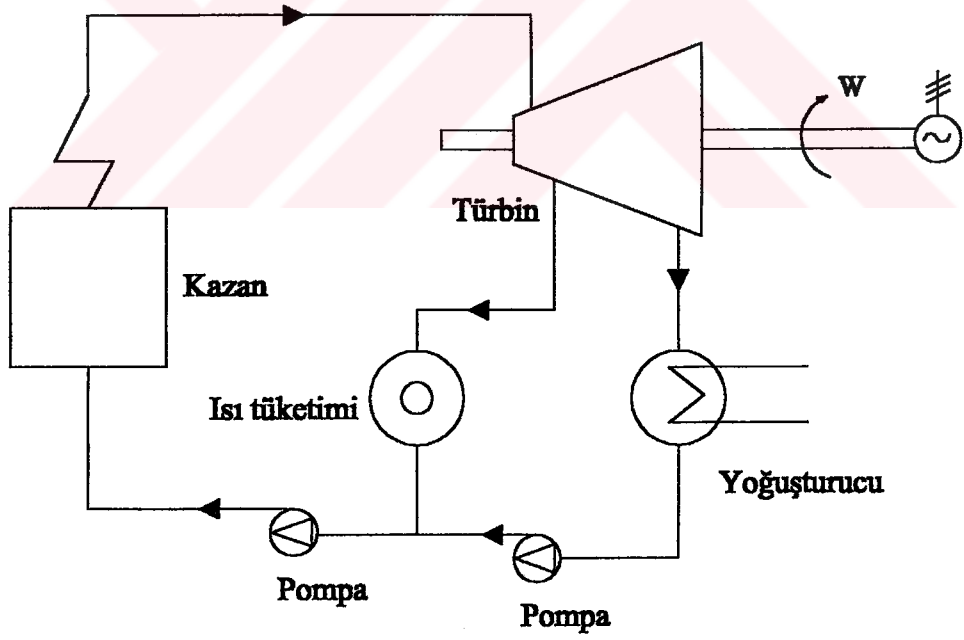
Kazan-buhar türbininde karşı basınçlı ve ara buhar almalı-yoğuşturuculu olmak üzere iki uygulama şekli bulunmaktadır. Bu çevrimlerde her türlü yakıt kullanılabilir. Şekil 5.1 ve şekil 5.2' de karşı basınçlı ve ara buhar almalı-yoğuşturuculu çevrimler gösterilmiştir.

Karşı basınçlı çevrimde yoğuşturucu, ısıtma şebekesine verilen ısının kaynağı olmakta ve türbin çıkışında buhar ısıtma sıcaklığına karşı gelen doyma basıncında yoğuşturulmaktadır. Çevrim verimi % 20 civarlarında olup, elektrik ısı oranı 0.15-0.2 arasında değişmekte ve verilen bir çevrim için sabit olmaktadır. Türbinden geçen buhar debisi ayarlanarak üretilen elektrik ve ısı miktarı değiştirilebilmektedir.

Ara buhar almalı-yoğuşturuculu çevrimde, ısıtma için gerekli enerji yoğuşturucu basıncından



Şekil 5.1 Karşı basınçlı buhar türbini sistemi



Şekil 5.2 Ara buhar almali-yoğuşturuculu buhar türbini sistemi

yüksek bir basınçta türbinden çekilen buharla sağlanmakta, yoğuşturucu basıncı atmosfer basıncının çok altında olmaktadır. Çevrim verimi % 20-30 arasında olup elektrik ısı oranı türbinden çekilen buhar miktarı değiştirilerek ayarlanmaktadır. Böylece değişen ısı ve elektrik yükleri daha kolay karşılanabilmektedir. (TMMOB, 1998/210)

Bileşik ısı-güç üretimi ile bölgesel ısıtmada kullanılabilen bir başka seçenek gaz türbin-atık ısı kazanı sistemidir. Gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki ekzost gazları bir atık ısı kazanı aracılığı ile buhar, kızgın veya sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Termik verim % 25-30 arasında olup elektrik ısı oranı 0.5 düzeyindedir. Isı gereksiniminin az olduğu zamanlarda, türbin çıkışına konan bir by-pass devresi ile atık gazlar doğrudan atmosfere verilebilmektedir. Şekil 5.3' te gaz türbin-atık ısı kazanı sistemine bir örnek verilmiştir.

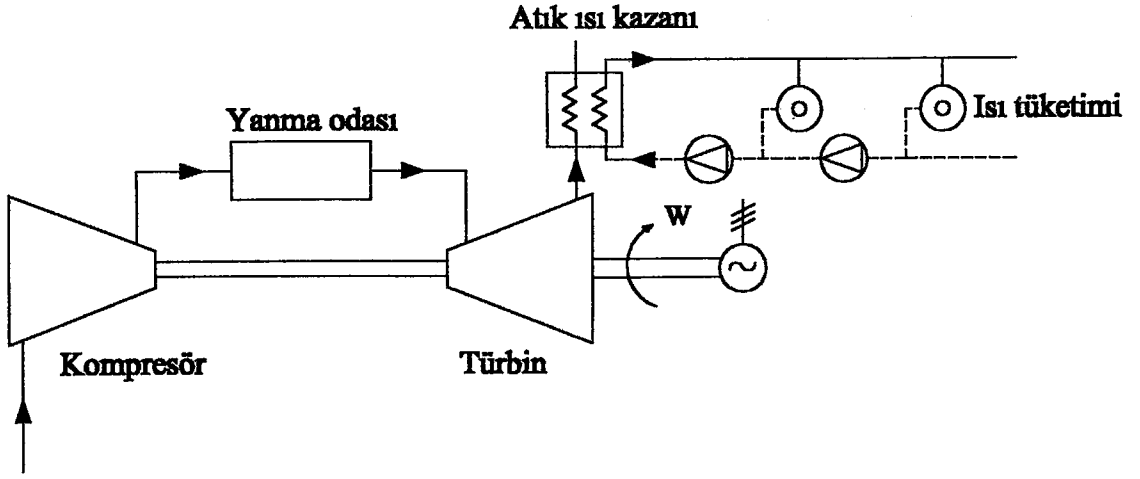
Bileşik ısı-güç üretiminde uygulanan diğer bir sistem, Diesel veya gaz motoru ile atık ısı kazanının kullanılmasıdır. Atık ısı kazanından geçirilen ekzost gazlarından buhar veya sıcak su eldesi için yararlanılırken, motor soğutma suyundan sıcak su elde etmek için yararlanılmaktadır. Termik verim % 40-50 aralığında olup elektrik ısı oranı yaklaşık 1' dir. Diesel veya gaz motorlarında motorin, doğal gaz, LPG yakıt olarak kullanılabilir. Şekil 5.4' te Diesel motorlu - atık ısı kazanlı bir sisteme örnek verilmiştir.

Bölgesel ısıtmanın uygulanacağı yerin ısı ve elektrik gereksinimi ile bileşik ısı-güç santralının elektrik ısı oranının uyumu tam olarak sağlanamamakta, üretilen elektrik fazla olduğunda şebekeye satılmakta, açık olduğu zaman şebekeden elektrik alınabilmektedir. Isı enerjisi açığı yardımcı kazanlarla veya ısı depolayan akümülatörlerle karşılanabilmektedir.

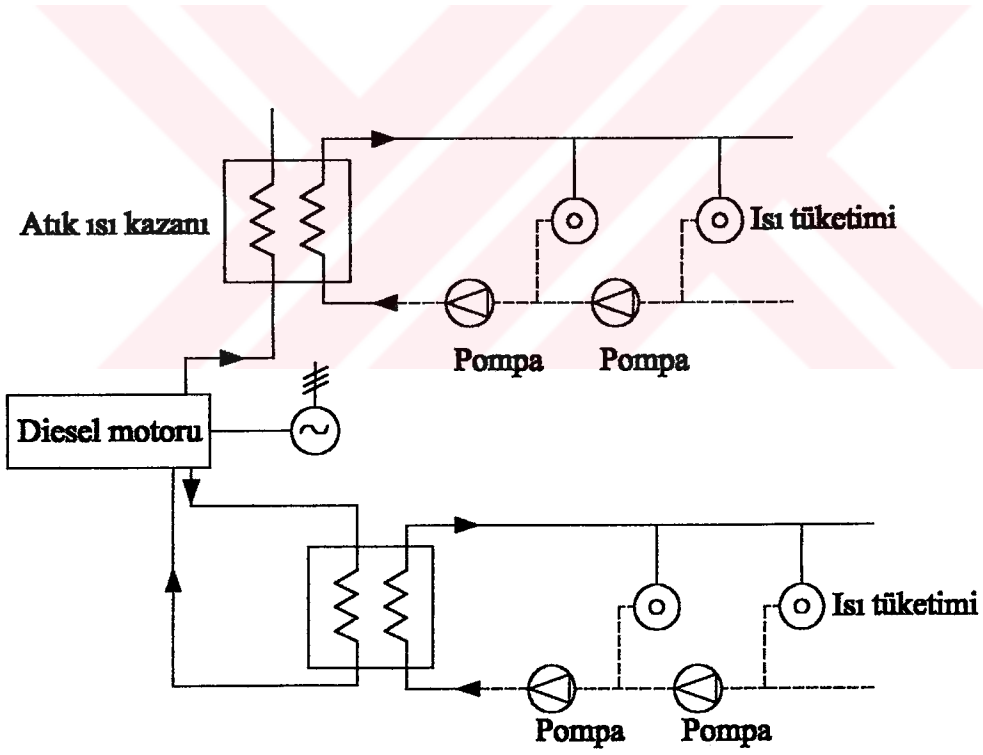
5.2 Jeotermal Bölgesel Isıtma

Yer kabuğu altındaki magma tarafından ısınmış kayalar arasında sıcak su veya buhardan oluşan hidrotermal sistemlerin sıcaklıkları değişken olup en çok kullanılan jeotermal enerji kaynağıdır.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde jeotermal enerjinin kullanımında birçok avantaj bulunmaktadır. Üretimi ve işletimi, sistemin kurulduğu yerde olma zorunluluğundan dolayı yerli enerji adını alan jeotermal enerji ile ithal edilen konvansiyonel enerjilere olan bağımlılık azaltılmaktadır. Kullanımından dolayı çevreye hiçbir atık bırakmaması nedeni ile konvansiyonel yakıtların yanması sonucu çıkan emisyonların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin kurulma aşamasında ilk yatırım maliyetinin daha kolay karşılanabilmesi için, sistem birkaç modüle ayrılıp, tek bir merkezde aynı enerji kaynağını kullanarak



Şekil 5.3 Gaz türbin-atık ısı kazanı sistemi



Şekil 5.4 Diesel motorlu-atık ısı kazanlı sistem

birbirinden bağımsız halde işletilebilen modüllerin zamana bağlı olarak kademe kademe devreye girmesi ile sağlanmaktadır. Enerji kaynağının ortak tek merkezde meydana getirilmesi otomatik kontrolü, işletmeyi ve bakımı çok ekonomik hale getirmektedir.

Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde enerji sıcak akışkan olarak hazır üretilmesi nedeniyle hammadde maliyeti yoktur. Sistemdeki işletme giderleri içindeki en büyük pay enerjinin taşınması için tüketilen elektrik enerjisidir. Tam otomatik kontrol ile desteklenen değişken debili sistem olması ile tüketilen ısı enerjisi oranınca elektrik enerjisi tüketilerek işletme giderlerinin minimum hale getirilmesi sağlanmaktadır.

5.2.1 Tasarım Kriterleri

Ekonomik ve uygulanabilir bir jeotermal enerjili ısıtma sisteminde enerji kaynağının genel özellikleri dışında etkili olan kriterler sınırlayıcı faktörler ve tasarım parametreleri olarak iki ana başlıkta gruplandırılabilir.

5.2.1.1 Sınırlayıcı Faktörler

a. Jeotermal akışkanın kompozisyonu

Isı akışkanı sıcak su, buhar veya su-buhar karışımı halinde ve içinde çözümlenmiş katı ve gazlarla tuzlu sudan eriyiğe kadar değişik yoğunluklarda bulunur. Jeotermal akışkanlar V_a ve V_b sınıfı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

1) V_a Sınıfı akışkanlar;

- korozyon madde oranı < 5000 mg/kg
- alkali madde (CaCO_3) $207 < a < 1329$ mg/kg
- pH seviyesi $6.7 < \text{pH} < 7.6$

2) V_b sınıfı akışkanlar;

- korozyon madde oranı < 5000 mg/kg
- alkali madde (CaCO_3) < 210 mg/kg
- pH seviyesi $7.8 < \text{pH} < 9.85$

b. Kuyu başı debisi

Jeotermal bir kaynaktan alınabilecek enerji akışkanın debisi ile doğru orantılı olup ekonomik

bir tasarımda 25-50 lt/s aralığında bir kuyu başı akışkan debisi uygun görülmektedir.

c. Kaynak sıcaklığı

Jeotermal enerjili bir bölgesel ısıtma sisteminde istenilen kaynak sıcaklığı 90-150 °C aralığındadır.

d. Jeotermal kaynak derinliği

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinin toplam maliyetinin büyük bir kısmını kuyu maliyeti oluşturmaktadır. Ekonomik uygulamalar için istenilen kuyu derinliği 300-600 m arasındadır.

e. Kuyularla ısı tüketim merkezi arası uzaklık

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde, kuyularla ısı tüketim alanı arasındaki mesafenin kısılması dağıtım şebekesinin maliyeti açısından sistemin uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Uygulamada kuyularla ısı tüketim merkezleri arasındaki mesafe 1500 m' nin altında bulunmaktadır. (TMMOB, 2001/270)

5.2.1.2 Tasarım Parametreleri

Kuyular, kuyu içi ve başı üretim üniteleri jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin en kritik bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu üniteler pompalar, vanalar, borular ve ısı değiştirgeçlerinden ibarettir. Kuyudan çekilecek maksimum ve minimum debilerde akışkanın kuyu içindeki statik su seviyesi tespit edilmesi gereken önemli bir parametredir. Ayrıca içerdikleri karbonat iyonları nedeniyle yüksek kabuklaşma riski olan jeotermal akışkanların kuyu içi pompasına giriş hızının 0.03 m/s' nin altına düşürülmemesine dikkat edilmelidir. Jeotermal enerjili bölgesel ısıtma sistemlerinde kuyularda dikey milli ve dalgıç pompalar , kuyu başı ve kuyu içinde plakalı, boru-kovan ve U tipi olmak üzere üç değişik ısı değiştirgeci kullanılabilir. Plakalı ısı değiştirgeçleri temizleme ve kapasite arttırım kolaylıklarının yanında jeotermal akışkanla sekonder devredeki akışkan arasındaki sıcaklık farkının 2 °C' ye kadar düşürebilmesi ile düşük sıcaklık ve yüksek kapasiteli jeotermal ısıtma sistemleri için en uygun çözüm olmaktadır.

Yüksek riskli içeriği nedeniyle jeotermal akışkanla doğrudan temasta olan boruların seçimi önemli olmakta, cam yünü takviyeli polibutilen borular, polietilen borular ve kısmen bazı uygulamalarda çelik borular kullanılmaktadır.

Jeotermal bölgesel ısıtma uygulamalarında sistem kapasitesinin bölge ısı yüküne oranı olarak ifade edilen Yük Faktörü ekonomik bir uygulamada 0.6 civarında seçilmekte ve böylece

jeotermal sistemin yıllık ısı yükü talebinin % 85-90' ının karşılanması sağlanmakta, ek enerji talebinin karşılanması içinde bir enerji deposu veya konvensiyonel bir ısı kaynağı sisteme ilave edilmektedir.

Kimyasal içerikleri dolayısı ile yüksek korozyon ve kabuklaşma riski olan jeotermal akışkanlarla temasın olduğu durumlarda uygun malzeme seçimi önemli bir kriterdir. Eriyik O₂ miktarı 30 mg/kg'dan, alkali oranı 210 ppm'den yüksek jeotermal akışkanlarda karbon çelikleri, hidrojen sülfür içeren akışkanlarda bakır ve bakır alaşımları kullanılmamalıdır.

5.3 Atık Yakma ve Bölgesel Isıtma

Günümüzde yerleşim alanlarından elde edilen evsel ve endüstriyel atıklar yaşam standartlarının yükselmesi sonucu hemen hepsi yanabilir nitelikte büyük miktarlarda çeşitli malzemeler içermektedir. Bu sebepten, birçok ülkede atıkların ısıl içeriğini kullanmak için çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

Atıkların yakılması ile elde edilen ısının büyük bir kısmının bölgesel ısıtma amaçlı kullanıldığı başarılı atık yakma fırınları bulunmaktadır. Yıllık 9000 tonun altındaki atıkların değerlendirildiği küçük yakma fırınlarında atık yakmanın toplam maliyeti, atığın ısı miktarının değerini aştığından ekonomik bulunmamaktadır. Bir miktar atığı normal petrolle karıştırarak, konvensiyonel kazanları atık yakmada kullanabilmek için denemeler yapılmaktadır.

Atık yakmanın zorlukları şu şekilde sıralanabilir:

- Malzeme çok nemlidir, yaklaşık % 40 oranında su içermektedir.
- Boyut, nem miktarı ve ısıl değer olarak çok değişkendir.
- Malzeme yalnızca 290-305 kg/m³ ortalama yoğunluğa sahiptir ve yoğunluk bileşime bağlı olarak değişmektedir.

Bu nedenlerle, atığın yanmadan önce uygun bir şekilde kurutulduğu ve her parçanın tam yanmaya uğrayabilmesi için döndürüldüğü atık yakmak için özel dizayn edilmiş kazanlar gerekmektedir.

Atık yakmada kullanılan kazanlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Sabit Izgaralı

- Karıştırma Hareketsiz Zincir Izgaralı
- Karıştırma Hareketli Zincir Izgaralı Stokerli
- Hareketli Izgaralar
- Izgarasız Sistemler
- Alev Odalı ve Akışkan Yanma Sistemleri

Atık yakma santrallerindeki ocak sıcaklığının kömür veya sıvı yakıtlı santrallerden (1000 °C) bir hayli düşük olmasından dolayı, atık yakma santralının verimi oldukça düşüktür ve ayrıca birim ısı gücü çıkışı başına santral boyutları diğer ısı santrallerinden büyük olmaktadır.

Ekzost gazları 175-200 °C değerindedir ve tam yanmayı sağlayabilmek için fazla havanın normalden fazla gönderilmesi gerekmektedir. Ekzost gazlarındaki CO₂ oranı % 8-12 civarındadır. Bu da duyulur ısı kayıplarının yüksek olduğunu göstermektedir. Ocağa beslenen atığın ağırlıkça % 25-30' u ve hacimce yaklaşık % 15' i kadar cürüf büyük bir miktar duyulur ısıyı alıp götürmektedir. Böylece, atık yakma santrallerinin verimleri ve birim boyut başına ısı çıkışları oldukça düşüktür. Meydana gelen ısı kayıpları şu şekilde sıralanabilir:

- Ekzost gazlarındaki ısı kayıpları: % 12-15
- Cürüftaki ısı kaybı: % 10-18
- Işınım ile ısı kaybı: % 5
- Diğer ısı kayıpları: % 5

Böylece termik verim yaklaşık % 60' tır.

Atıkların ısı değeri çok değişken olduğundan, yakma santrallerinde bir miktar yardımcı yakıtın kullanılması gerekli görülmekte ve bu yakıtta genelde artık yağlar olmaktadır.

Bölgesel ısıtma amaçlı atık yakma fırınları baz yükler için kullanılmakta, pik yük değerleri için sıvı veya katı yakıtlı ocaklardan yararlanılmaktadır.

Atık yakma santrallerinin düşük verimleri, inşa edilme, bakım ve işletme maliyetleri yüksek olduğundan genelde atıklardan kurtulmanın en ucuz yolunun büyük bölgesel ısıtma tesislerinde bu atıkları yakmak olduğu fikrinde birleşmiştir.

Atık yakmalı bölgesel ısıtmaya örnek olarak şehirdeki toplam atığın yaklaşık % 50' sini

kullanan Vienna (Avusturya) ve saatte yaklaşık 4 ton kapasiteli Rosenheim (Almanya) bölgesel ısıtma sistemleri verilebilir. (Diamant ve McGarry, 1968)

5.4 Nükleer Güç ile Bölgesel Isıtma

Zararlı gazların yayılmaması, yakıtın ucuz olması gibi birçok avantaja sahip görünen nükleer güç ile bölgesel ısıtma birkaç önemli dezavantajda sahiptir. Konvansiyonel tesisler kadar esnek olmayan nükleer güç santralleri için yükte mümkün olduğu kadar az değişim istenmektedir. Bölgesel ısıtmayı değişken buhar çıkış sıcaklıklı türbinleri kullanarak elektrik üretimine bağlamak en uygun yol olmakta, pik yükleri karşılamak içinde ilave konvansiyonel ısıtma kapasitesi gerekmektedir.

Reaktörü ısı temin edilen yerleşim bölgesine yakın yerleştirmek zorunludur, aksi takdirde ana borudaki ısı kayıpları farkedilir derecede artmakta ve aynı şekilde sermaye maliyeti de yükselmektedir. Reaktörün yerleşim bölgesine yakın olması, reaktörün yeraltına radyasyon güvenlik zarfının içine yerleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Dolaşım suyunun radyoaktif madde ile kirlenmesini önlemek konusuna büyük önem verilmektedir.

Nükleer reaktörlerde soğutucu olarak kullanılan karbondioksitin çok düşük özgül ısıya sahip olması ısı eşanjörlerinin ve diğer yardımcı boruların çok büyük olmasını gerektirmektedir. İleri gaz soğutmalı reaktörler daha küçük olmakla beraber yinede yeraltına tesis edilmesi için çok büyüktür ve bu tipteki nükleer güç istasyonlarının kontrolü farklı soğutma sistemli diğer santrallerden çok daha karmaşıktır. Bu nedenlerle bölgesel ısıtma amaçlı kullanılan reaktörler sıvı soğutmalı olmak zorundadır. Stokholm' deki Agesta reaktörü bölgesel ısıtma amaçlıdır ve katı moderatör kullanılmamaktadır. Moderatör olarak kullanılan ağır su aynı zamanda reaktör içinde üretilen ısıyı transfer etmek içinde soğutucu olarak kullanılmaktadır.

Yüksek sermaye faizleri ve konvansiyonel bir sistemden bir hayli fazla konutu beslemek zorunda oluşu nükleer güç ile bölgesel ısıtmanın diğer sistemlerle rekabetini önlemektedir. Nükleer güç ile bölgesel ısıtmada sistemdeki tüketici sayısının en az 30000 konut olmadıkça ekonomik olamayacağı belirtilmektedir. (Diamant ve McGarry, 1968)

6. ENERJİ MALİYETİ

6.1 Enerji Üretim Maliyeti Hesabı

Üretilen enerjinin maliyetinin hesabında, üretimin gerçekleşmesi için yapılan masrafların hesaplanması gerekmektedir. Bu masraflar sırasıyla; içinde santral yeri masrafları, inşaat masrafları, faiz ve eskalasyon yükleri de bulunan ve amortisman için ayrılması gereken yıllık sermaye masrafı, işletme başladıktan sonraki yakıt masrafları ile işletme ve bakım masrafları olmaktadır. Birim enerji üretim maliyeti, üretimin gerçekleşmesi için yapılan bu masrafların toplamının, aynı süre içinde üretilen enerji miktarına bölünerek hesaplanmaktadır.

6.1.1 Yıllık Sermaye Masrafı

Yıllık sermaye masraflarının hesaplanmasında, sabit yıllık sermaye masrafı ve lineer azalan yıllık sermaye masrafı olmak üzere iki yöntem uygulanmakla beraber, bu çalışmada sabit yıllık sermaye masrafı yöntemi kullanılmıştır. Sabit yıllık sermaye masrafı, f amortisman faktörü ve I_k santral için yapılan toplam yatırımın üretim başlangıç tarihindeki değeri olmak üzere,

$$C_K = I_k * f = I_k * \left[\frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (\$/yıl) \quad (6.1)$$

ifadesi ile belirlenmektedir ve her yıl eşit olarak geri ödenmesi için ayrılması gereken miktarı vermektedir. (Şahin ve Aybers, 1995)

6.1.2 İşletme ve Bakım Masrafı

Santralin işletilmesi sırasında gerçekleşen işçilik, malzeme tedarik ve depolama, bakım, onarım, sigorta vb. masrafları kapsayan işletme ve bakım masrafları iki kısımda incelenmektedir. Birincisi, santralin kullanma süresine bağlı olarak ifade edilen ve üretilen enerji miktarı ile orantılı yıllık değişken masraflardır. İkincisi, kullanma süresine bağlı olmayan yıllık sabit masraflardır. Bu çalışmada, ısı enerji üretiminde kullanılan sistemler için belirlenmiş sabit ve değişken masrafları içeren birim enerji başına işletme ve bakım maliyet değerleri ile üretilen enerji miktarı kullanılarak, yıllık işletme ve bakım masrafı toplam değeri,

$$C_M = c_M * E \quad (\$/yıl) \quad (6.2)$$

olarak belirlenmektedir. Ayrıca, işletme ve bakım masrafı toplam değeri, sabit ve değişken işletme ve bakım masraflarının ayrı ayrı hesaplanması ve toplanması ile de belirlenmektedir.

Sabit masraflar birim güç başına işletme ve bakım maliyetini (\$/kW yıl) santral gücü (kW) ile, değişken masraflar birim enerji başına işletme ve bakım maliyetini (\$/kWh) üretilen enerji miktarı (kWh/yıl) ile çarparak hesaplanmaktadır. (Şahin ve Aybers, 1995)

6.1.3 Yakıt Masrafı

Santralin termik verimi η_t ise, özgül ısı sarfiyatı,

$$q = \frac{3600}{\eta_t} \quad (\text{kJ/kwh}) \quad (6.3)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.

Doğalgaz, kömür ve fuel oil gibi fosil yakıtlarla çalışan santrallerde üretilen birim enerji başına yakıt maliyeti; F (\$/m³) yakıt fiyatı, q özgül ısı sarfiyatı ve H_u (kJ/m³) kullanılan yakıtın alt ısıl değeri olmak üzere,

$$c_f = \frac{F * q}{H_u} \quad (\$/\text{kWh}) \quad (6.4)$$

ile hesaplanmaktadır.

Yıllık yakıt masrafı,

$$C_f = c_f * E \quad (\$/\text{yıl}) \quad (6.5)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. (Şahin ve Aybers, 1995)

6.1.4 Toplam Masraf ve Bir Değere Getirilmiş Masraflar Yöntemi ile Birim Enerji Üretim Maliyeti Hesabı

Santralde üretilen enerjinin maliyeti, referans bir tarihte hesaplanan sermaye masrafları, işletme ve bakım masrafları ile yakıt masrafları toplamının, belirlenen referans tarihte üretilen enerji miktarına bölünmesi ile belirlenebilmektedir. Enerji maliyetinin daha doğru hesaplanmasında, Bir Değere Getirilmiş Masraflar Metodu olarak ifade edilen ve santralin kurulma ve işletilme süresi boyunca yapılan bütün masrafların referans bir tarihe getirilmiş toplamlarının, santralin işletilme süresince üretilmiş ve aynı referans tarihe getirilmiş toplam enerji miktarına bölünmesi ile birim enerji üretim maliyetini belirleyen yöntem kullanılmaktadır. Böylece, bir değere getirilmiş enerji üretim maliyeti,

$$g_p = \frac{\sum_{t=0}^n [C_K(t) + C_F(t) + C_M(t)] * (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n E(t) * (1+r)^{-t}} \quad (\$/kWh) \quad (6.6)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. (Şahin ve Aybers, 1995)

Santralin işletilme süresince üretilen enerji miktarı sabit ise bu denklem,

$$g_p = \frac{\sum_{t=0}^n [C_K(t) + C_F(t) + C_M(t)] * (1+r)^{-t}}{E * \sum_{t=0}^n (1+r)^{-t}} \quad (\$/kWh) \quad (6.7)$$

olarak ifade edilir. (Şahin ve Aybers, 1995)

Bu çalışmada, birim enerji üretim maliyetinin hesaplanmasında üretilen enerji miktarının sabit olduğu kabul edilmiş ve (6.7) denklemi kullanılmıştır.

6.2 Bölgesel Isıtma Şebekesinde Isı Enerjisi Taşıma Maliyeti

Bölgesel bir ısıtma sisteminin gerçekleşmesi için mümkün çok sayıda çözüm yolu arasında, ısıyı kullanıldığı bölgeye en düşük maliyet ile ulaştıracak olan yolun seçilmesi gerekmektedir. Isıtma boruları şebekesi için yapılan toplam masraf miktarı, sermaye masraflarının, ısı kayıp masraflarının ve ısıtıcı akışkanının nakli için gereken masrafların kısmi miktarlarının toplanmasından oluşmaktadır.

6.2.1 Boru Şebekesi Sermaye Masrafları

Bölgesel ısıtma boru şebekesi için yapılan masraflar, yardımcı elemanlarla montaj dahil boru masrafı, yalıtım işlemi masrafı, açıktan geçen borular için mesnetler veya yer altından geçirilen borular için kanallar olmak üzere altyapı için gereken masrafların toplamından oluşmaktadır. Bu kısmi masraflar boru çapı ile orantılı olup, çap büyüdükçe masraflar artmaktadır. Sermaye masraflarının içine, tesisin bakım ve gözlemi için yapılması gereken harcamalarında eklenmesi uygun olmaktadır ve bu harcamalar, maloluş bedelinin % 1 ile % 2' si oranında kabul edilmektedir.

Bu çalışmada seçilen bölge için ön yalıtımlı bölgesel ısıtma boruları kullanılmıştır.

Taşınacak debi değerlerinden ve ön yalıtımlı bölgesel ısıtma borularında istenen basınç düşümü [10.197-20.394 mmss/m (\pm % 10-20)] değerlerinden yola çıkılarak, bu debi

değerlerini taşıyabilecek boru çapları belirlenir. Belirlenen çaplarda kullanılacak boruların maliyetinde önce amortisman faktörünün metre başına tesis masraflarının çarpımı ile metre başına yıllık boru tesis masrafı belirlenir. Belirlenen yıllık metre başına boru tesis masrafı ile de boru uzunlukları çarpılarak yıllık boru şebekesi sermaye masrafı hesaplanmaktadır.

6.2.2 Isı Kayıpları Masrafı

Bölgesel ısıtma sisteminin değişken masrafları üzerinde önemli derecede etkisi bulunan ısı kayıpları boru çapı büyüdükçe artmaktadır. Bölgesel ısıtma boru şebekesindeki ısı kayıpları ısıtıcı akışkanın sıcaklığına, dış sıcaklığa, boruların yer altı veya yerüstü olarak döşenmesi seçimine, yalıtım malzemesinin kalınlığına, boruların gömülü olması durumunda boruları çevreleyen toprağın çevre uzunluğu ve derinliği ile ilgilidir. Bu çalışmada toprağa gömülü ön yalıtımlı bölgesel ısıtma borularının kullanıldığı kabul edilerek aşağıda belirtilen denklemlerle ısı kayıpları hesaplanmaktadır. (SET Ltd. Pipe Factory, 2002)

$$\phi = \frac{(t_r - t_j)}{m_r + m_j} \quad (\text{W/m}) \quad (6.8)$$

$$m_r = \frac{1}{2 * \pi * \lambda_w} * \ln\left(\frac{D_i}{d}\right) \quad (\text{m}^\circ\text{C/W}) \quad (6.9)$$

$$m_j = \frac{1}{2 * \pi * \lambda_j} * \ln\left(\frac{4 * h}{D}\right) \quad (\text{m}^\circ\text{C/W}) \quad (6.10)$$

Bölgesel ısıtma boru şebekesinin dizaynında ısı kayıplarının toprağın durumuna ve yalıtıma bağlı olarak değiştiğine dikkat etmek gerekmektedir. Toprak ve yalıtımdaki artan nem miktarı yalıtım verimini düşürmekte ve ısı kayıp miktarının artmasına neden olmaktadır.

Bölgesel ısıtma boru şebekesinin bütün uzunluğu boyunca bir saatte kaybolan ısı miktarı hesaplandıktan sonra, bu miktar tesisin işletme halinde olduğu saat sayısı ve birim ısı enerjisi fiyatı ile çarpılarak ısı kayıplarının neden olduğu yıllık masraf miktarı belirlenmektedir.

Gidiş ve dönüş boruları aynı çapta olduğundan, bir metre uzunluğundaki boru parkurunda kaybolan ısı miktarı,

$$\phi_i = \phi_g + \phi_d \quad (\text{W/m}) \quad (6.11)$$

ile belirlenmektedir.

Mesnetler, kapama organları ve başka yardımcı elemanlar içinde % 35 oranında bir ilave ısı

kaybı miktarı dikkate alınarak, bir metrelik boru parkuru başına senelik ısı kayıp masrafları,

$$c_2 = 1,35 * \varphi_1 * Z * S_q * 10^{-3} \quad (\$/m \text{ yıl}) \quad (6.12)$$

ifadesi ile hesaplanır. Toplam boru şebekesi ısı kayıp masrafı boruların uzunlukları ile birim ısı kayıp masraflarının çarpılması,

$$C_2 = c_2 * l \quad (\$/yıl) \quad (6.13)$$

ile elde edilmektedir.

6.2.3 Isıtıcı Akışkanın Nakil Masrafları

Isıtıcı akışkanın nakil masrafları boru çapları küçüldüğü oranda artmaktadır. Bir sıcak su şebekesinde yük kaybı ve dolayısıyla dolaşım pompalarından istenilen güç, belirli bir debi değeri için, yaklaşık olarak boru çapının beşinci kuvvetinin tersiyle orantılı olarak artmaktadır. Debiyi düşük bir değerde tutmak için akışkanın gidiş ve dönüş sıcaklıkları arasındaki farkı yüksek seçmek gerekmektedir.

Isıtıcı akışkan olarak buhar kullanılan bir bölgesel ısıtma şebekesinde boru hattı boyunca kuvvetli yük kayıpları meydana geldiğinden, şebeke başlangıcında uygun bir buhar basıncı gerekmektedir ve nakil için gerekli güç akışkan tarafından karşılanmaktadır.

Bu çalışmada kızgın sulu bir bölgesel ısıtma şebekesinde ısıtıcı akışkanın naklinde ΔP toplam basınç kaybı ve m maksimum debi değeri için ısıtıcı akışkan nakil masrafı,

$$C_3 = \frac{Z * S_{cl} * m}{102 * \eta_p * \gamma_m} * \Delta p \quad (\$/yıl) \quad (6.14)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. (Yazıcı, 1966)

6.2.4 Toplam Masraf ve Bir Değere Getirilmiş Masraflar Yöntemi ile Birim Isı Enerjisi Taşıma Maliyeti Hesabı

Toplam masraf, boru şebekesi sermaye masrafları, ısı kayıpları masrafları, ısıtıcı akışkanın nakil masraflarının toplanması ile belirlenmektedir ve

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad (\$/yıl) \quad (6.15)$$

ifadesi aracılığı ile tayin edilmektedir.

Elde edilen bu ifade, bir değere getirilmiş masraflar yönteminde kullanılarak birim ısı enerjisi

taşıma maliyeti ,

$$g_t = \frac{\sum_{t=0}^n [C_T(t)] * (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n E_q(t) * (1+r)^{-t}} \quad (\$/kWh) \quad (6.16)$$

ile tayin edilir.

Santralin işletilme süresince nakledilen ısı enerjisi miktarı sabit ise bu ifade,

$$g_t = \frac{\sum_{t=0}^n [C_T(t)] * (1+r)^{-t}}{E_q * \sum_{t=0}^n (1+r)^{-t}} \quad (\$/kWh) \quad (6.17)$$

olarak belirlenir. Bu çalışmada, nakledilen ısı enerjisinin miktarının sabit olduğu kabul edilmiş ve (6.17) denklemini hesaplamalarda kullanılmıştır.

7. SAYISAL UYGULAMA

7.1 Genel

Bu çalışmada bölgesel ısıtma sistemlerinin uygulanabilirliğinin araştırılmasında üç farklı derece-gün bölgesinde olan Adana, İstanbul, Ankara illerinde seçilen model bir bina ile Ek 1’ de belirtilen 2000, 4000, 6000, 8000 konutluk yerleşim birimlerine şekil 7.1.a ve şekil 7.1.b’ de gösterilen gaz türbinli-atık ısı kazanlı ve kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemleri uygulanmıştır. Ayrıca üç ilde 20 dairelik bir bina için kalorifer kazanları ile ayrı ısıtma sistemleri uygulanmıştır. Bölgesel ısıtma ve ayrı ısıtma sistemlerinin ısı enerjisi üretim maliyetleri hesaplanarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

Seçilen model binanın özellikleri Ek 2’ de verilmiştir. Bu model binanın ısıtılması için gerekli ısı enerjisi her üç il için ayrı ayrı ısıtma derece-saat değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Uygulamada Adana, İstanbul ve Ankara illeri için ısıtma mevsimi süreleri ve ısıtma derece-saat değerleri çizelge 7.1’ de verilmiştir. (Durmaz ve Kadioğlu, 2003)

Çizelge 7.1 Adana, İstanbul ve Ankara için ısıtma mevsimi süreleri ve derece-saat değerleri

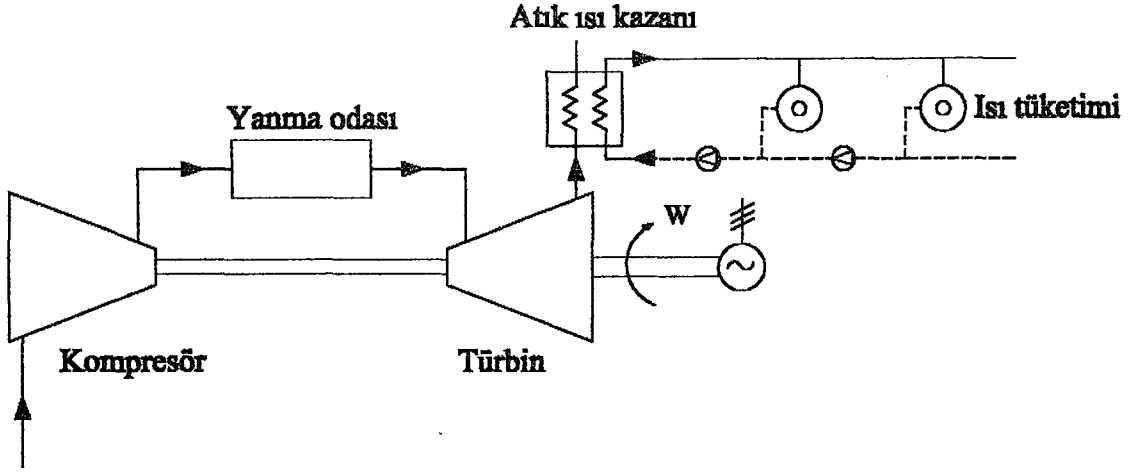
	Isıtma mevsimi süresi	Isıtma derece-saat değeri, DH
Adana	133 gün	26127.9
İstanbul	193 gün	51607.7
Ankara	226 gün	69523.6

Isıtma derece-saat değerleri, dış hava sıcaklığının baz sıcaklık değerinin altına inmesi durumunda, iç ortam hava sıcaklığı ile saatlik ortalama dış hava sıcaklığı arasındaki farkların belirli bir periyot için kümülatif toplamıdır. Isıtma derece-saat değerlerinin belirlenmesinde baz sıcaklık değeri 15 °C, bina içi sıcaklık değeri 20 °C alınmıştır. Baz sıcaklık değeri, binaların ısıtılmasında ısıtma mevsimi başlangıç ve bitiş tarihini belirleyen konfor gereksinimlerine bağlı sıcaklık değeridir. (Durmaz ve Kadioğlu, 2003)

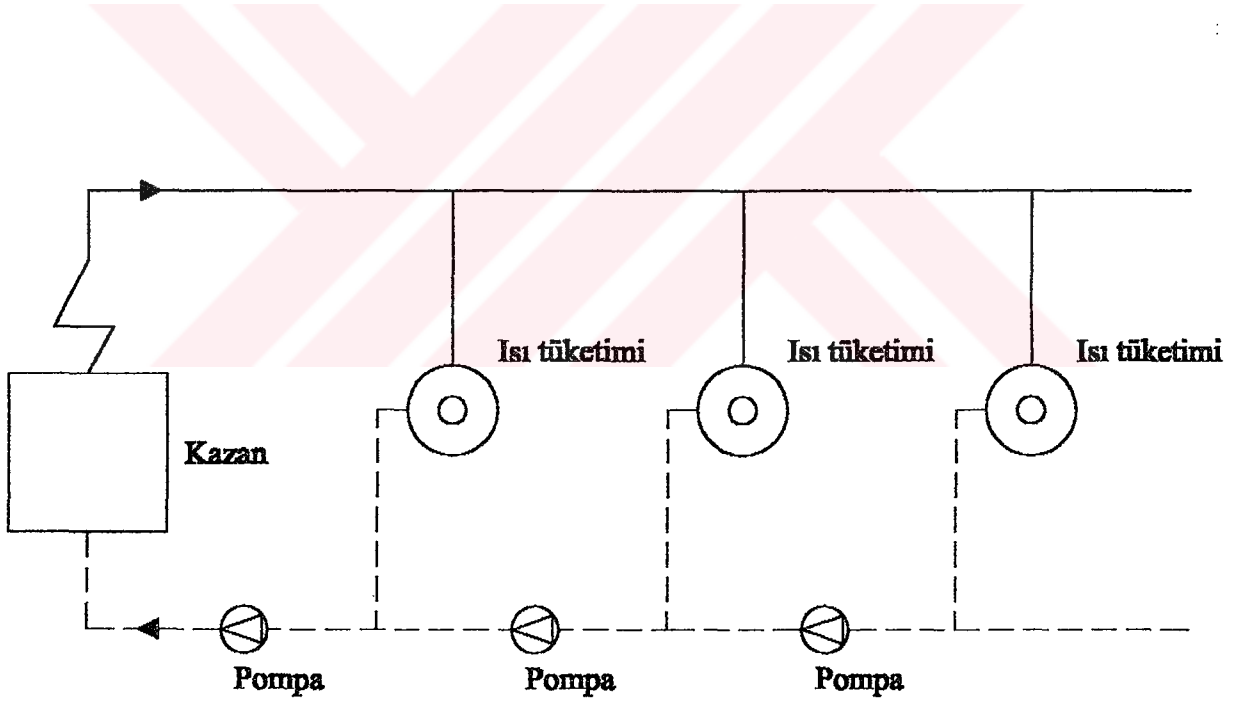
Seçilen model binanın toplam ısı kayıp katsayısı,

$$L_o = \sum U * A + I * (\rho * c_p)_{hava} * V / 3.6 \quad (W/K) \quad (7.1)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. (Durmaz vd., 2000)



Şekil 7.1.a Gaz türbinli atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma sistemi



Şekil 7.1.b Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemi

Havanın hacimsel ısı kapasitesi $(\rho \cdot c_p)_{\text{hava}} = 1.2 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$ olarak alındığından (7.1) denklemi,

$$L_o = \sum U \cdot A + I \cdot V/3 \quad (\text{W/K}) \quad (7.2)$$

olarak elde edilir. (Durmaz vd., 2000)

Isıtma mevsimi süresince seçilen model binanın ısı enerjisi gereksinimi,

$$Q_o = 3600 \cdot L_o \cdot DH \quad (\text{j}) \quad (7.3)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. (Durmaz vd., 2000)

Uygulamada Adana, İstanbul, Ankara illerindeki model bina için ventilasyon ve infiltrasyon ile olan ısı kayıpları için hava değişim sayısı 2 alınarak, Ek 2' deki bina özellikleri ve (7.2) denklemi kullanılarak toplam ısı kayıp katsayısı 8229.7 W/K olarak belirlenmiştir. Toplam ısı kayıp katsayısı ve uygulamadaki illerin ısıtma derece-saat değerleri (7.3) denkleminde kullanılarak bu illerin ısıtma mevsimi süresince ısı enerjisi gereksinimleri sırasıyla 774 GJ, 1529 GJ ve 2060 GJ olarak hesaplanmıştır. Adana, İstanbul ve Ankara illeri için ısıtma mevsimi süresince ısı üretim merkezlerinin işletme saati sırasıyla 3192, 4632 ve 5424 olarak belirlenmiştir. Isı enerjisi gereksinim ve işletme saati değerleri kullanılarak ve çeşitli kayıplar eklenerek Adana, İstanbul, Ankara illeri için konut başına ısı güçleri sırasıyla 3.74 kW, 5 kW, 5.86 kW olarak hesaplanmıştır. Yapıların kullanış ve ısıtma şekilleri aynı olduğu için eş zamanlılık katsayısı 1' e eşit olup böylece konut başına ısı güçleri kullanılarak 2000, 4000, 6000, 8000 konutluk yerleşim birimlerinin ihtiyacı olan ısı güçleri belirlenmiştir. Bu çalışmada yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır. Yakıt fiyatları DOSİDER' den alınan 06.11.2002 tarihli fiyat listesinden belirlenmiştir. Doğalgazın alt ısı değeri 34541.1 kJ/m³ olarak alınmıştır. Doğalgazın gaz türbin-atık ısı kazanlı sistemde fiyatı 0.163 \$/m³ ve 0.018 \$/kWh, kızgın su kazanlı ve kalorifer kazanlı sistemlerde fiyatı 0.234 \$/m³ ve 0.027 \$/kWh olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada iskonto oranı değeri % 5 olarak alınmıştır.

7.2 Ayrı Isıtma Halinde Isı Enerjisi Üretim Maliyeti

Bu bölümde Adana, İstanbul, Ankara illerinde 20 dairelik bir apartmanın ısıtılması durumunda birim ısı enerjisi üretim maliyeti hesaplanmıştır. Maliyet hesabında öncelikle bu üç ildeki 20 dairelik model apartmanın ısıtılması için gerekli ısı gücü belirlenmiştir. Sabit yıllık sermaye masrafının hesabında, Termo Isı'dan alınan ve Ek 3' de belirtilen kalorifer kazanı kapasiteleri (kW) ve kalorifer kazanı yatırım değerleri (\$) kullanılarak,

$$y = 37.538 * x^{0.6224} \quad (\$) \quad (7.4)$$

ifadesi bulunmuştur. Bu ifade ile yerleşim modellerinin ısıtılması için gerekli ısı kapasitelerindeki kalorifer kazanlarının yatırım değerleri hesaplanmıştır. Kazan ömrü 25 yıl alınarak 0.01' den 0.10' a kadar faiz oranlarındaki amortisman faktörleri belirlenerek (6.1) denklemi ile sabit yıllık sermaye masrafları belirlenmiştir.

Kapasitesi 200 kW' ın altında olan kalorifer kazanlarının birim enerji başına işletme ve bakım maliyeti olarak 0.00977 \$/kWh değeri hesaplamalarda kullanılmıştır. Yıllık işletme ve bakım masrafı toplam değeri (6.2) denklemi ile elde edilmekte olup, üretilen yıllık ısı enerjisi miktarı ısı gücünün işletme saati ile çarpılması ile hesaplanmaktadır.

Yakıt masrafı hesabında, kazan verimi üretici firma tarafından 0.92 olarak verilmiş olup, bu verim değerinin kullanılması ile özgül ısı sarfiyatı belirlenmiştir. (6.4) denklemi ile birim enerji başına yakıt maliyeti hesaplandıktan sonra, bu değer üç ildeki yerleşim modelinde kullanılan ısı enerjisi miktarı ile çarpılarak yıllık yakıt masrafı belirlenmiştir.

Sermaye masrafı, işletme ve bakım masrafı, yakıt masrafı hesaplandıktan sonra (6.7) denklemi ile Adana, İstanbul, Ankara illerinde kalorifer kazanı ile ayrı ısıtmada birim ısı enerjisi üretim maliyetleri hesaplanmış ve şekil 7.2' de gösterilmiştir.

7.3 Kızgın Su Kazanlı Bölgesel Isıtmada Isı Enerjisi Üretim Maliyeti

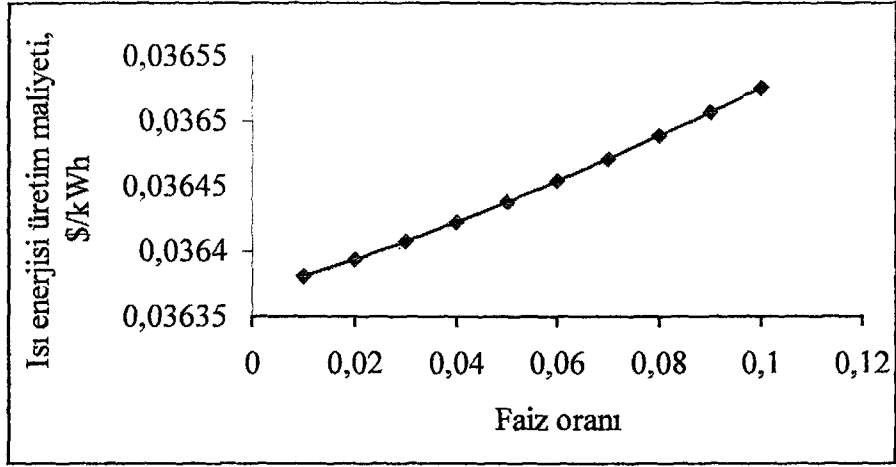
Bu bölümde Adana, İstanbul, Ankara illerinde 2000, 4000, 6000, 8000 konutluk yerleşim modellerinde ısı enerjisi üretimi kızgın su kazanları ile sağlanmıştır.

Sabit yıllık sermaye masrafının belirlenmesinde (6.1) denklemi kullanılmış olup, bölgesel ısıtma amaçlı kızgın su kazanlarının yatırım değerleri, Emel Kazan ve Makina firmasından alınan ve Ek 4' de verilen çeşitli kapasitelerdeki kızgın su kazanlarının yatırım değerlerinin kullanılması ile elde edilen,

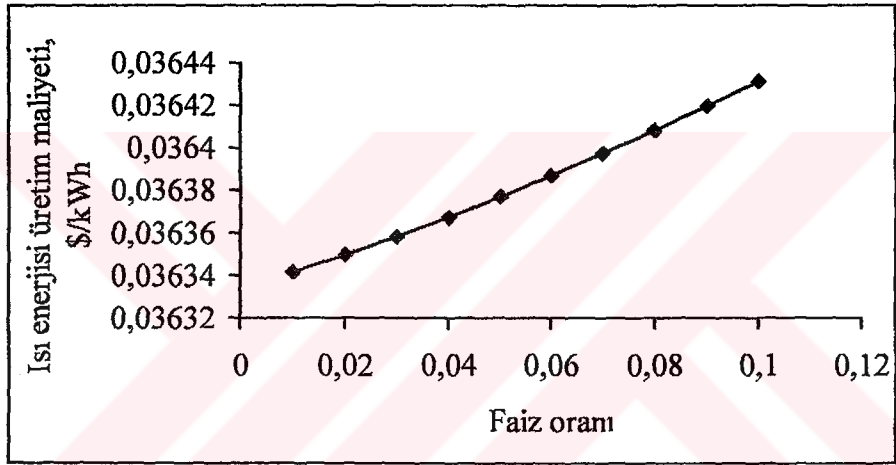
$$y = 87.944 * x^{0.6869} \quad (\$) \quad (7.5)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır. Amortisman faktörlerinin hesaplanmasında kızgın su kazanı ömrü 20 yıl, faiz oranları 0.01'den 0.10' a kadar alınmıştır.

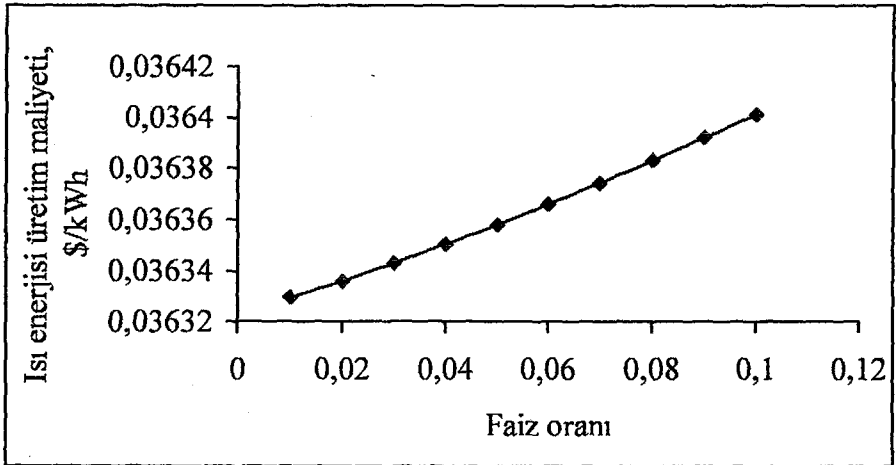
İşletme ve bakım masraflarının belirlenmesinde, yıllık sabit masraflar için 6,853 \$/kW, yıllık değişken masraflar için 0,00214 \$/kWh değeri hesaplanmış ve uygulamada kullanılmıştır. Birim güç başına işletme ve bakım maliyeti ile santral gücünün çarpılması ile sabit masraflar,



Şekil 7.2. a Adana ili için kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma



Şekil 7.2. b İstanbul ili için kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma



Şekil 7.2. c Ankara ili için kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma

birim enerji başına işletme ve bakım maliyeti ile üretilen enerji miktarının çarpılması ile değişken masraflar hesaplanmış ve toplamları ile de yıllık işletme ve bakım masraflarının toplam değeri elde edilmiştir.

Yakıt masraflarının hesabında, kızgın su kazanı verimi üretici firma tarafından 0.90 olarak verilmiş olup, bu değer ile özgül ısı sarfiyatı ve (6.4) denklemi ile de birim enerji başına yakıt maliyeti hesaplanmıştır. Isıtmada kullanılan yıllık enerji miktarı ile birim enerji başına yakıt maliyeti çarpılarak yıllık yakıt masrafı belirlenmiştir.

Sermaye masrafı, işletme ve bakım masrafı, yakıt masrafı hesaplandıktan sonra (6.7) denklemi ile Adana, İstanbul, Ankara illerindeki yerleşim modelleri için birim ısı enerjisi üretim maliyetleri belirlenmiş ve şekil 7.3' te gösterilmiştir.

7.4 Gaz Türbinli-Atık Isı Kazanlı Bölgesel Isıtmada Isı Enerjisi Üretim Maliyeti

Gaz türbinli-atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma Adana, İstanbul, Ankara illeri için 2000, 4000, 6000, 8000 konutluk yerleşim modellerine uygulanmıştır. Sistem ömrü 17 yıl alınmıştır.

Birim ısı enerjisi üretim maliyetinin hesaplanmasında atık ısı kazanı sermaye masrafı ile işletme ve bakım masrafı kullanılmıştır. Bölgesel ısıtmada kullanılan ısı enerjisi gaz türbininden çıkan ekzost gazlarının ısısından elde edilmekte olup, sistemde bölgesel ısıtma amaçlı yakıt kullanılmamakta ve böylece birim enerji üretim maliyeti hesabında yakıt masraflarının etkisi bulunmamaktadır. Atık ısı kazanı verimi % 70 alınmıştır.

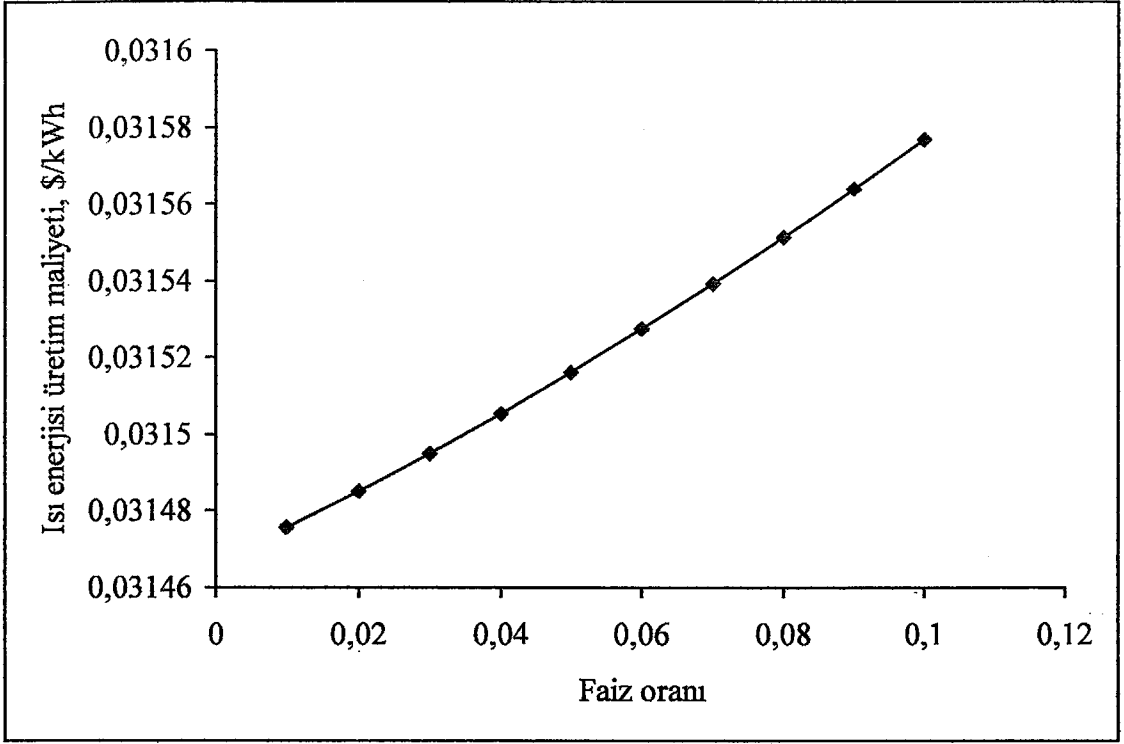
Yerleşim modellerinde kullanılan kapasitelerdeki atık ısı kazanlarının yatırım değerleri Ek 5' te verilen ifade kullanılarak belirlenmiştir. (6.1) denklemi ile de sabit yıllık sermaye masrafları hesaplanmıştır.

Kullanılan atık ısı kazanlarının sabit ve değişken masraflarını içeren birim enerji başına işletme ve bakım masraflarının hesaplanmasında Ek 6' da verilen değerler kullanılarak elde edilen,

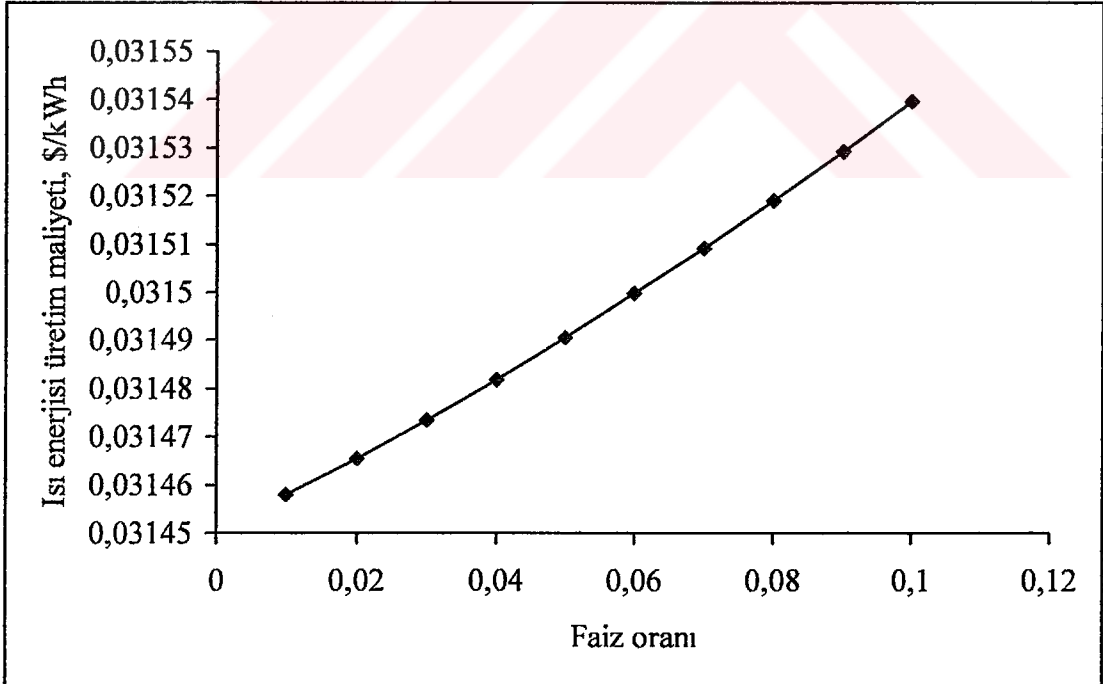
$$Y_{O\&M} = 2.0527 * x^{-0.2057} \text{ (cents/kWh)} \quad (7.6)$$

denklemi kullanılmıştır. Yıllık işletme ve bakım masrafı toplam değeri (6.2) denklemi ile elde edilmekte olup, üretilen yıllık ısı enerjisi miktarı, ısı gücünün işletme saati ile çarpılması ile belirlenmektedir.

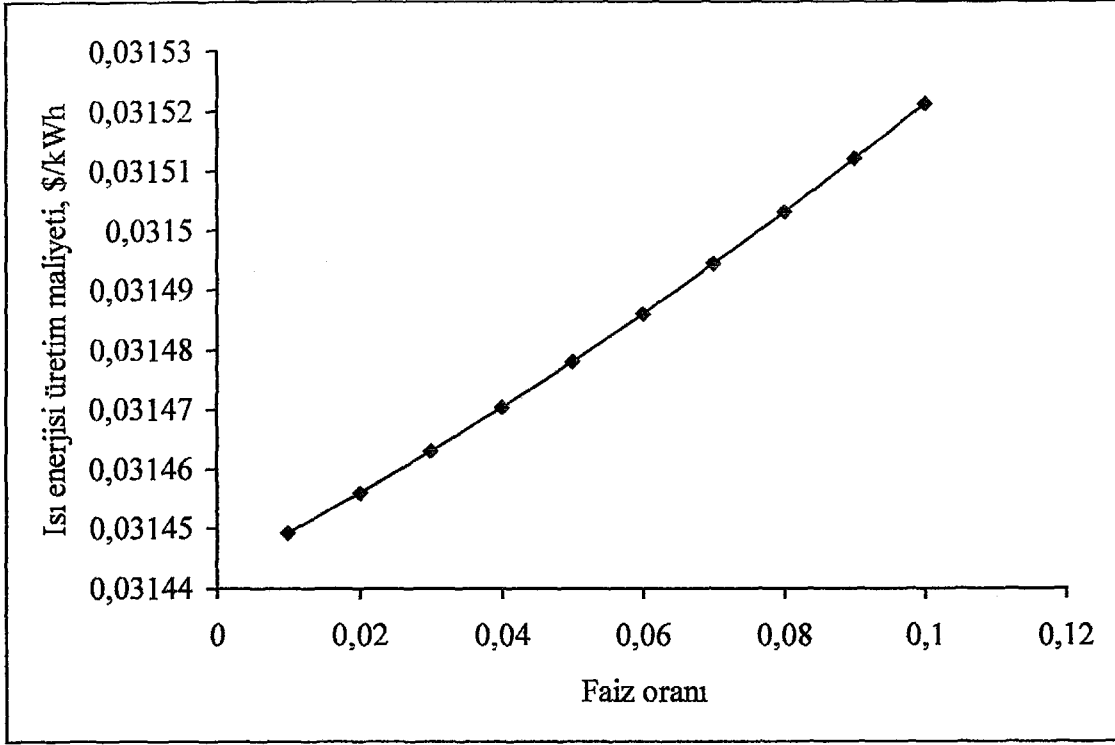
Elde edilen bu hesaplamaların sonucunda (6.7) denklemi kullanılarak birim ısı enerjisi üretim



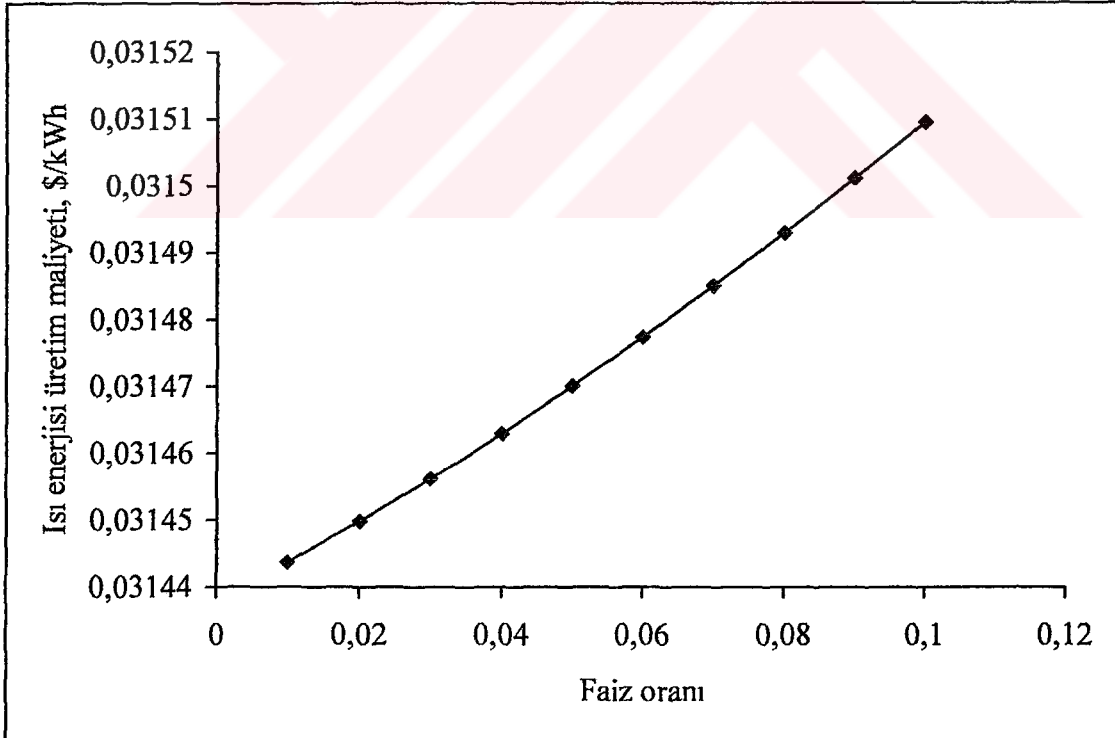
Şekil 7.3.a Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 2000 konut)



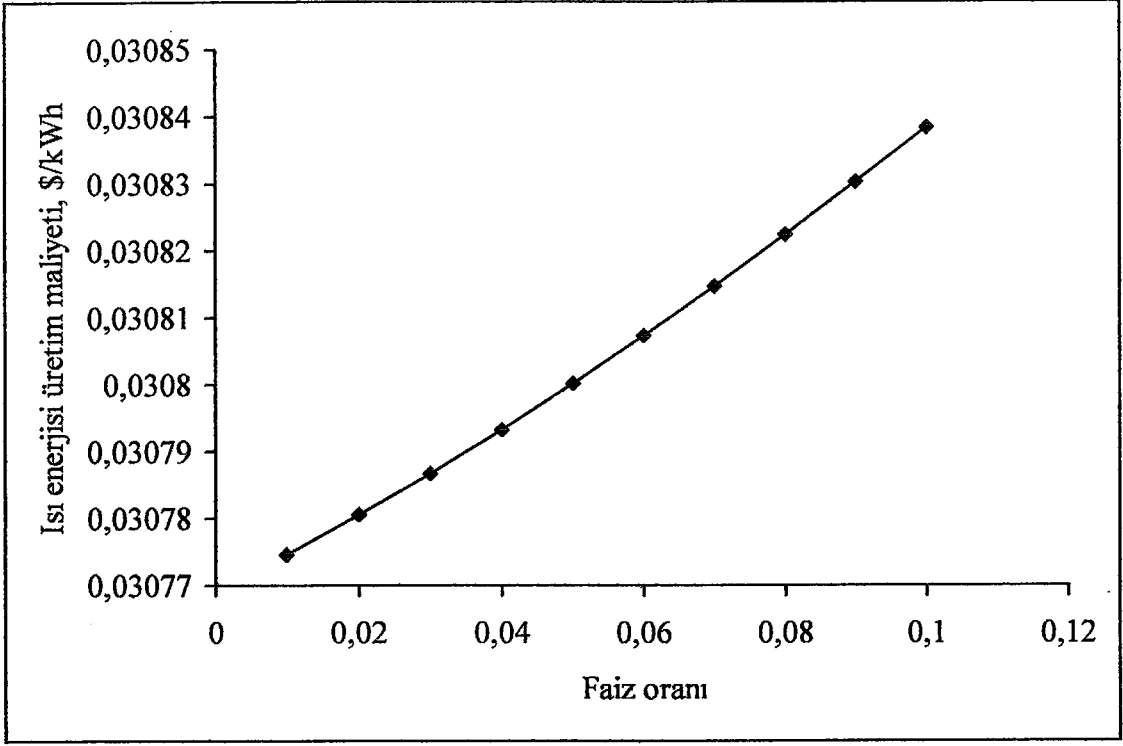
Şekil 7.3.b Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 4000 konut)



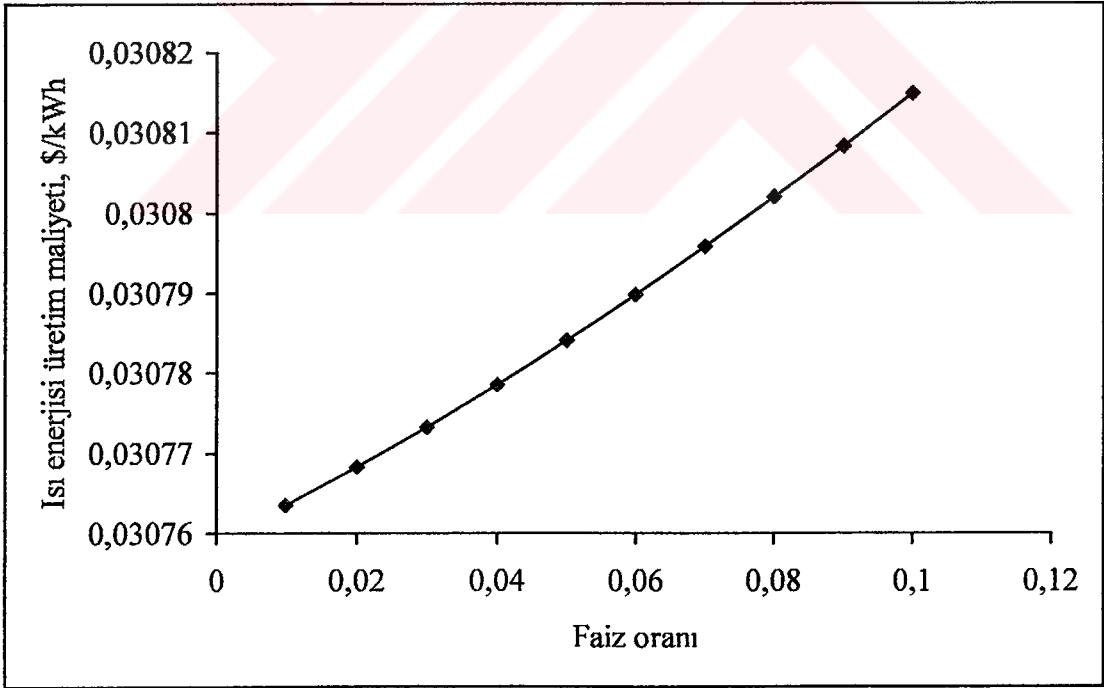
Şekil 7.3.c Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 6000 konut)



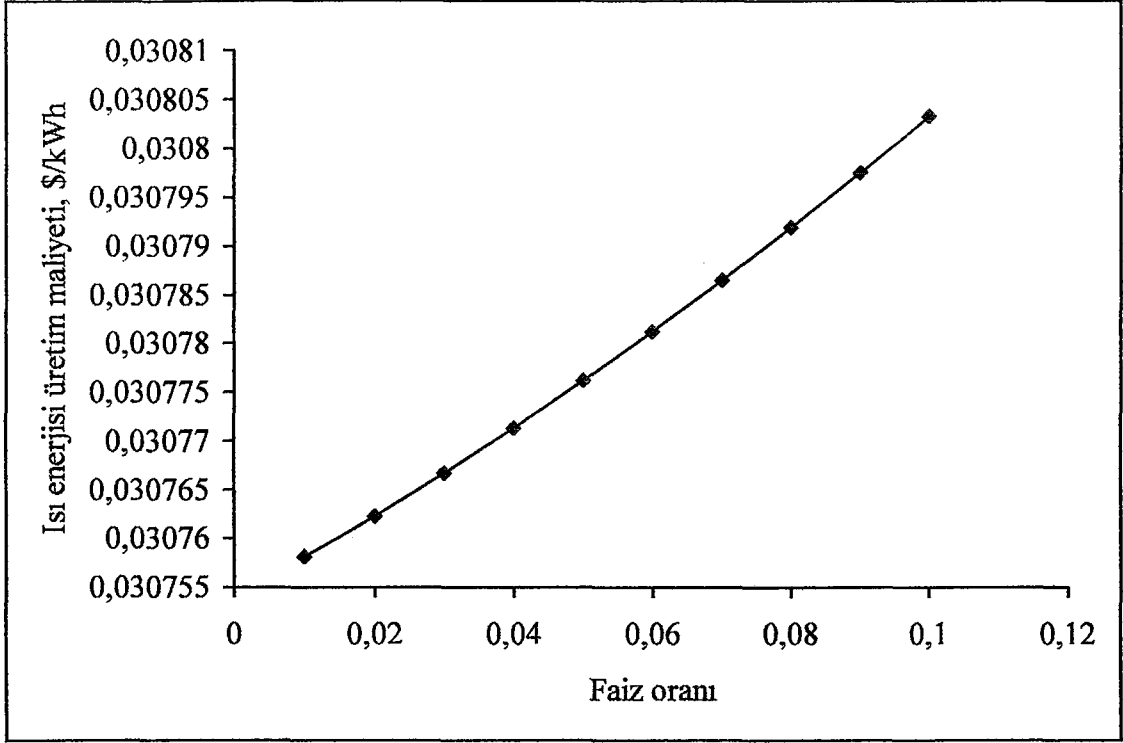
Şekil 7.3.d Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 8000 konut)



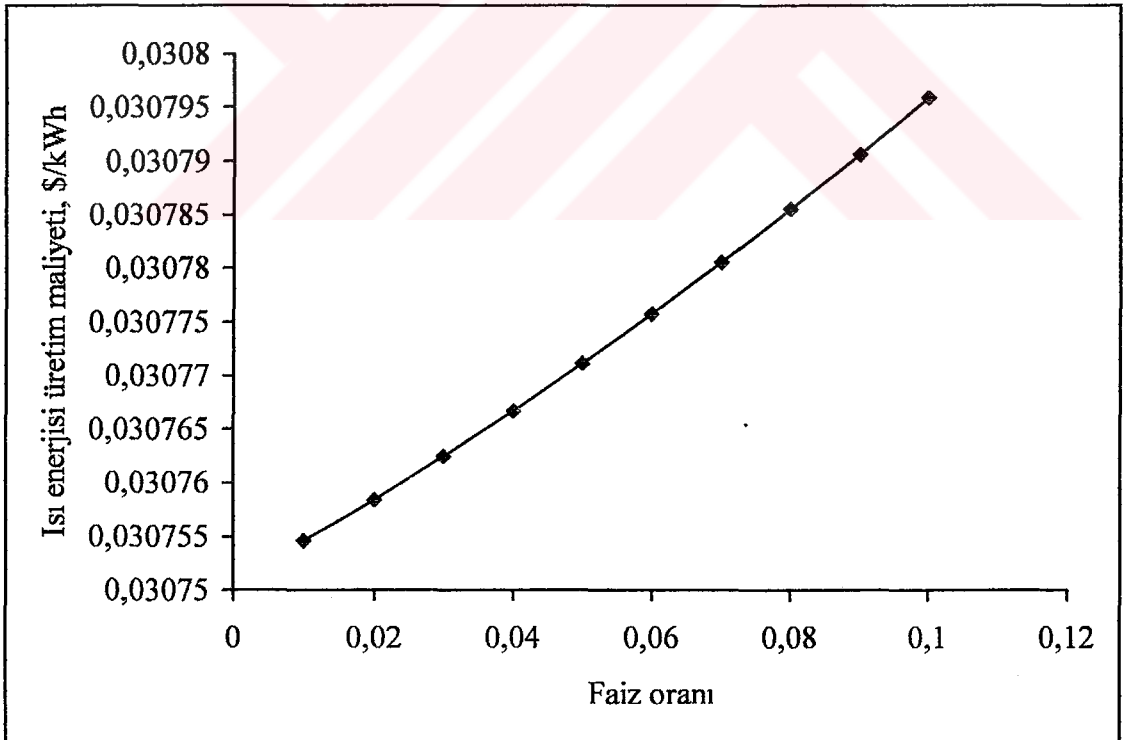
Şekil 7.3.e Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 2000 konut)



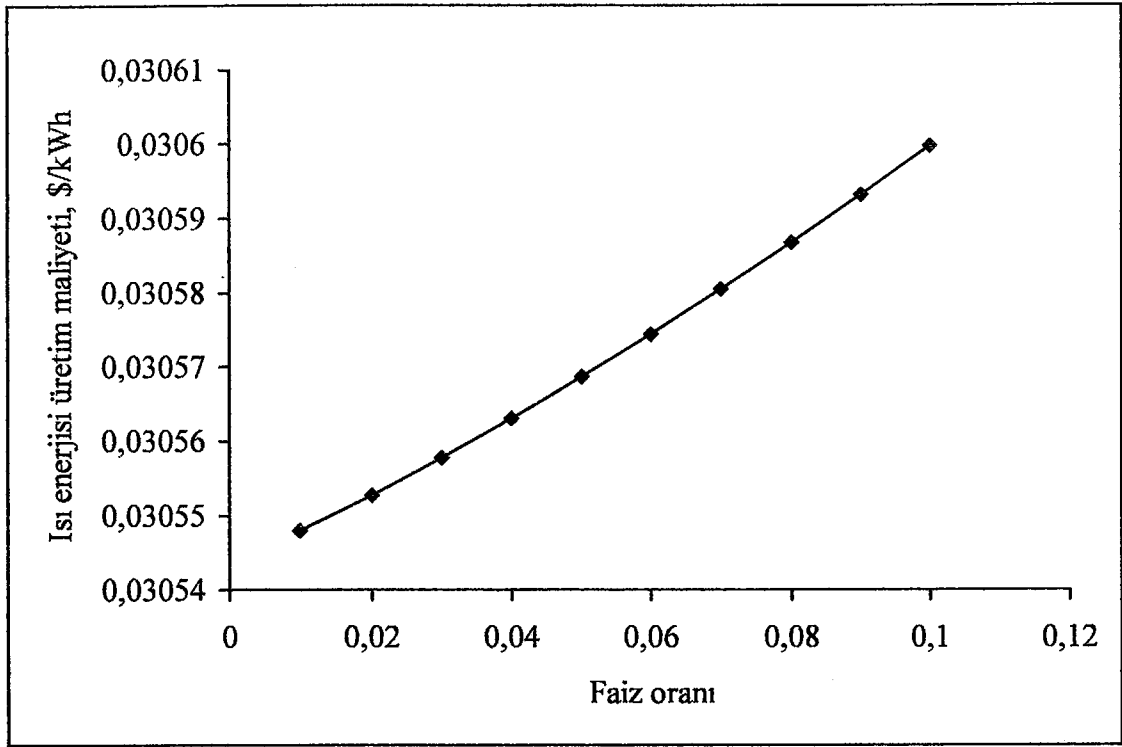
Şekil 7.3.f Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 4000 konut)



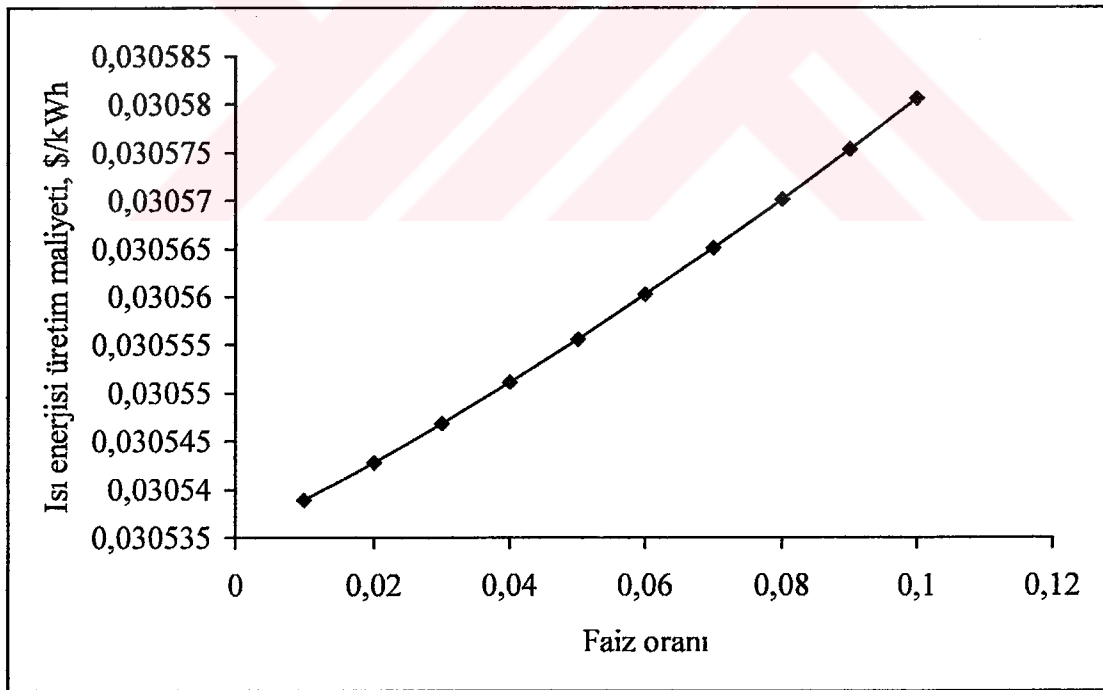
Şekil 7.3.g Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 6000 konut)



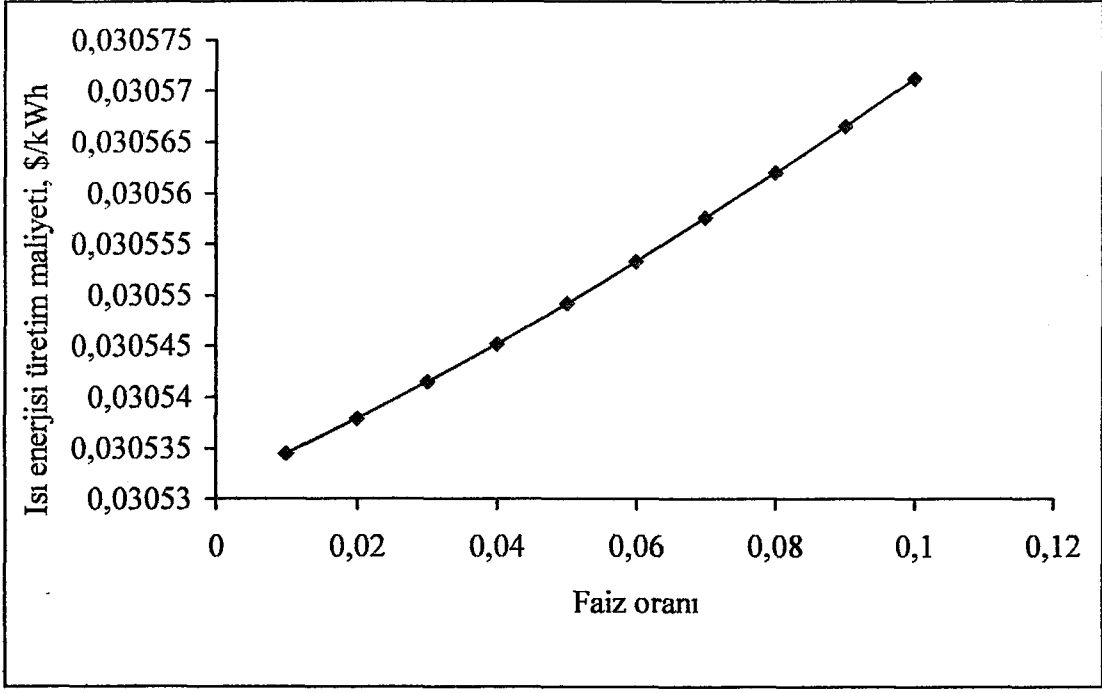
Şekil 7.3.h Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 8000 konut)



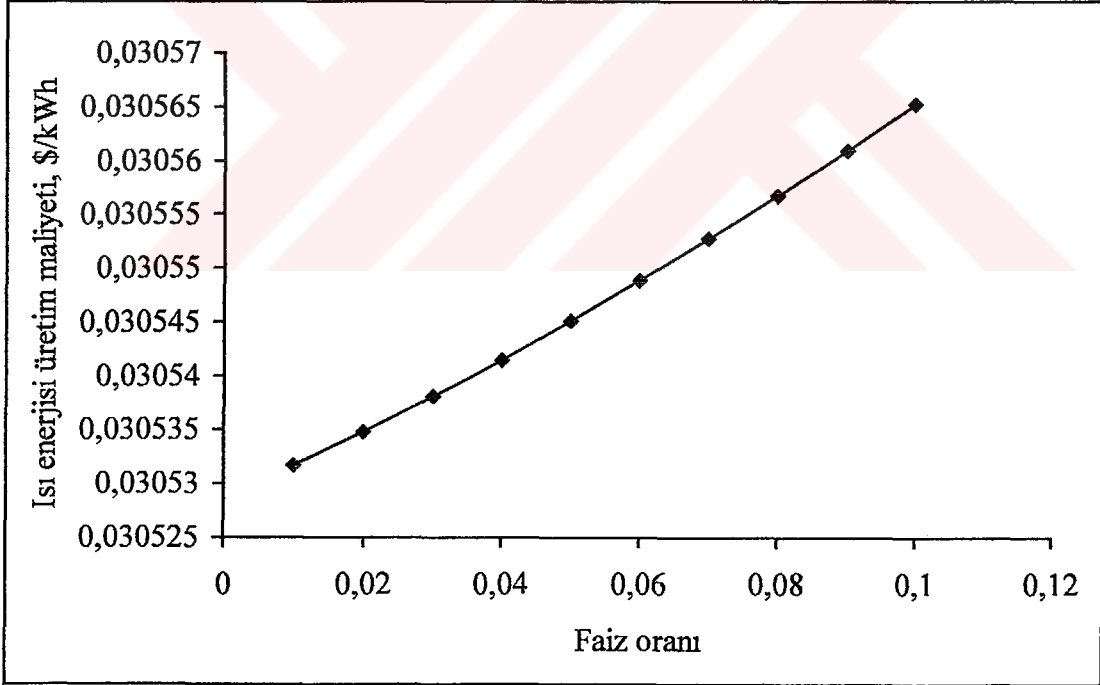
Şekil 7.3.1 Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 2000 konut)



Şekil 7.3.i Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 4000 konut)



Şekil 7.3.j Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 6000 konut)



Şekil 7.3.k Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 8000 konut)

maliyetleri belirlenmiştir. Sonuçlar şekil 7.4' te gösterilmiştir.

7.5 Birim Isı Enerjisi Taşıma Maliyeti

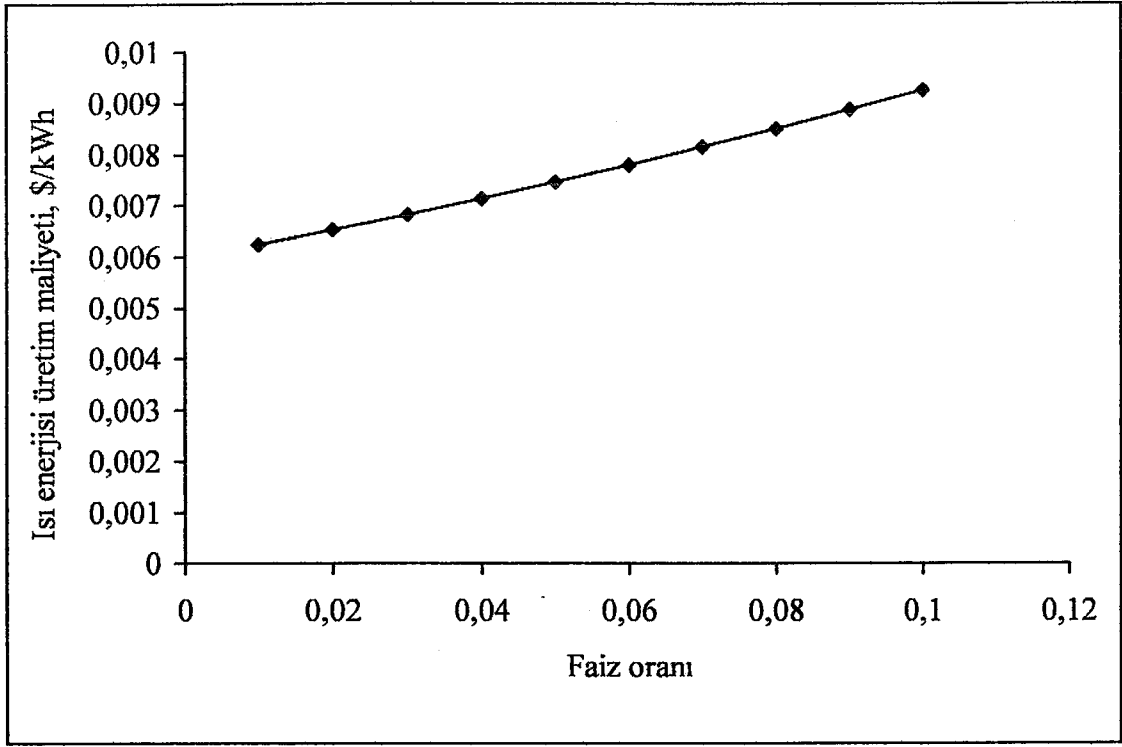
Bu bölümde seçilen yerleşim modellerindeki 2000, 4000, 6000, 8000 konutun ısıtılması için gerekli ısı enerjisinin taşınması maliyeti hesaplanmıştır.

Yıllık boru şebekesi sermaye masrafının hesabında Dizayn Grup' tan alınmış olan ön yalıtımlı bölgesel ısıtma borularının fiyatları kullanılmıştır. Ek 7' de kanal içinde aynı çapta iki boru olması halinde metre başına yıllık tesis masrafı verilmiştir. Yıllık metre başına tesis masrafının hesabında, boru şebekesi kullanım ömrü 25 yıl, geçerli faiz oranı 0.12 olarak alınmış ve amortisman faktörü belirlenmiştir. Yerleşim modellerindeki yıllık boru şebekesi masrafları, taşınacak debi değerlerinin belirlenmesinden sonra, bu değerler ile belirlenen basınç düşümü değerlerine göre kabul edilen çaplardaki boruların metre başına yıllık tesis masraflarının yerleşim modellerinde kullanılan uzunlukları ile çarpılmasıyla belirlenmiştir.

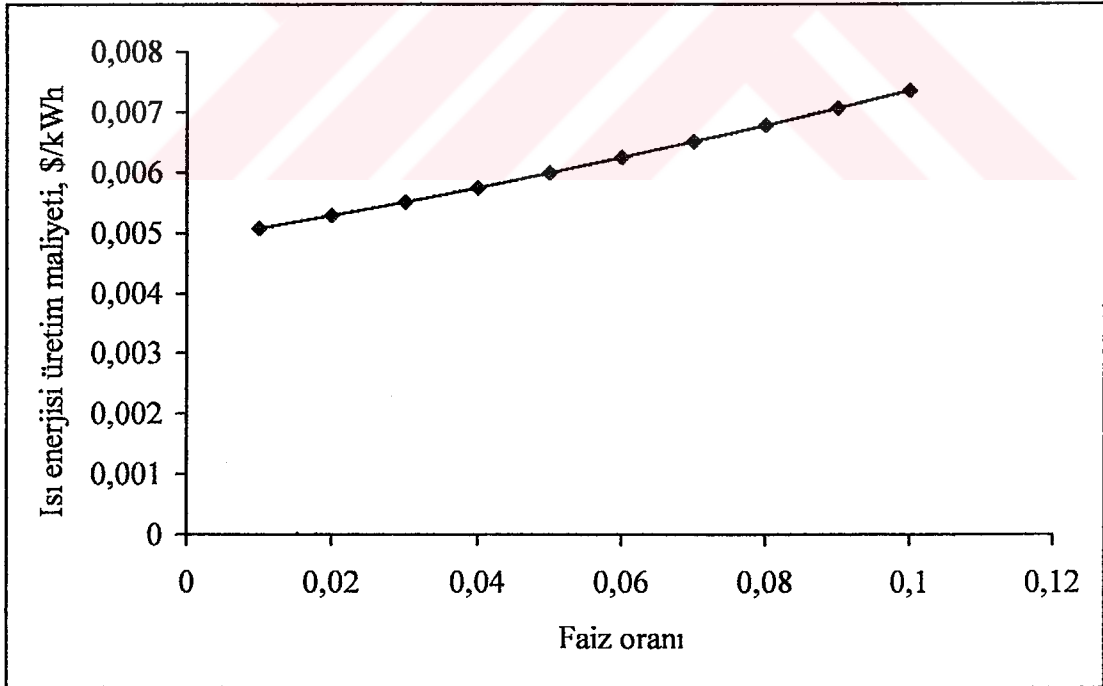
Isı kayıp masraflarının hesabında (6.8), (6.9), (6.10), (6.11), (6.12), (6.13) denklemleri kullanılmış olup, bu denklemlerde su gidiş sıcaklığı 140 °C, su dönüş sıcaklığı 60 °C, PUR köpük için ısı iletim katsayısı 0.028 W/m°C, h= H+100 (mm), toprak için ısı iletim katsayısı 2 W/m°C, ceket boru dış çap, ceket boru iç çap, çelik boru dış çap değerleri için ön yalıtımlı bölgesel ısıtma borularının Ek 8'de verilen değerleri kullanılmıştır. Bölgesel ısıtma borularının toprağa 500 mm gömülü olduğu (H=500) ve toprağın kuru olduğu kabul edilmiştir. Topraktaki hava sıcaklığı değerleri Adana için 0 °C, İstanbul için -3 °C ve Ankara için -12 °C alınmıştır. Atık ısı kazanlı ve kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemleri için birim ısı enerjisi fiyatları olarak sırasıyla çizelge 7.2 ve çizelge 7.3' te belirlenen değerler kullanılmıştır.

Çizelge 7.2 Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma sistemlerinde birim ısı enerjisi fiyatları (\$/kWh)

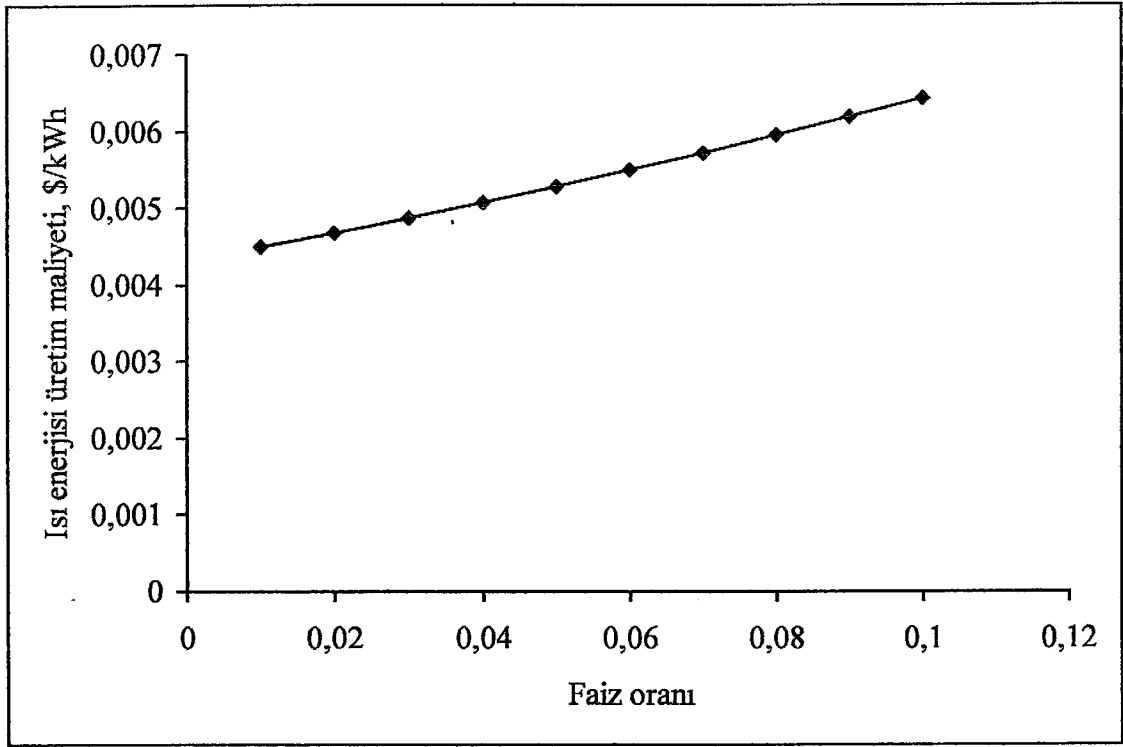
	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	0.00768	0.00615	0.00542	0.00495
İstanbul	0.00571	0.00464	0.00412	0.00379
Ankara	0.00505	0.00413	0.00368	0.00340



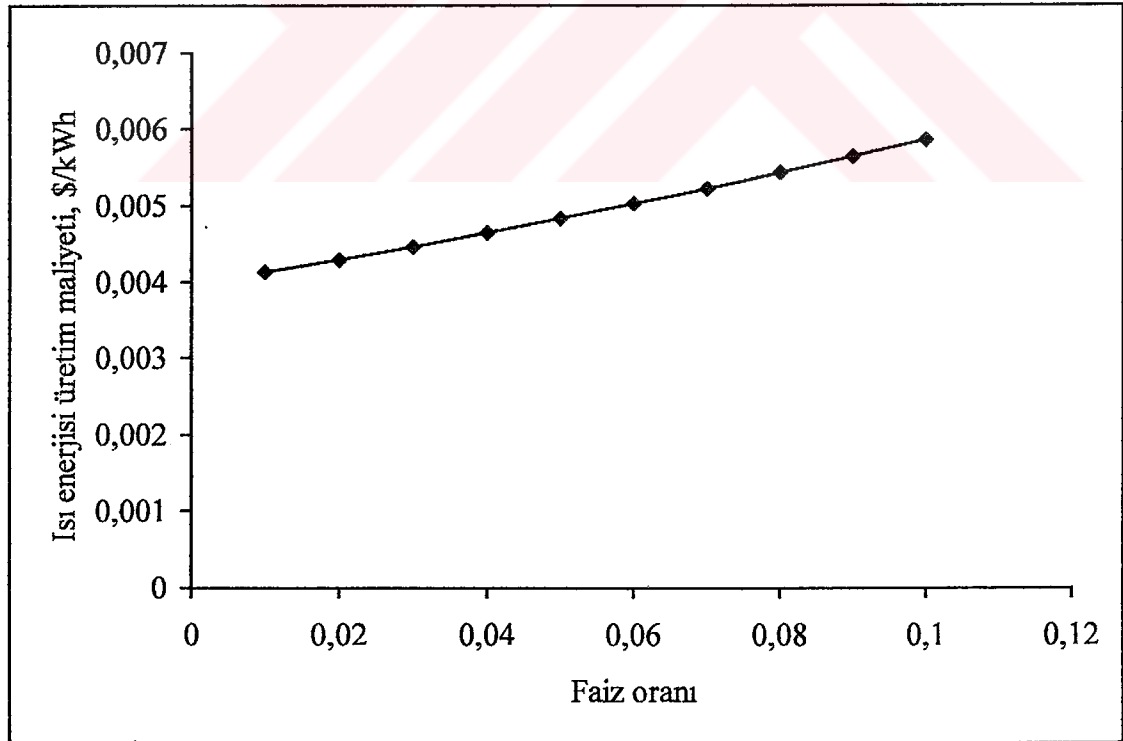
Şekil 7.4.a Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 2000 konut)



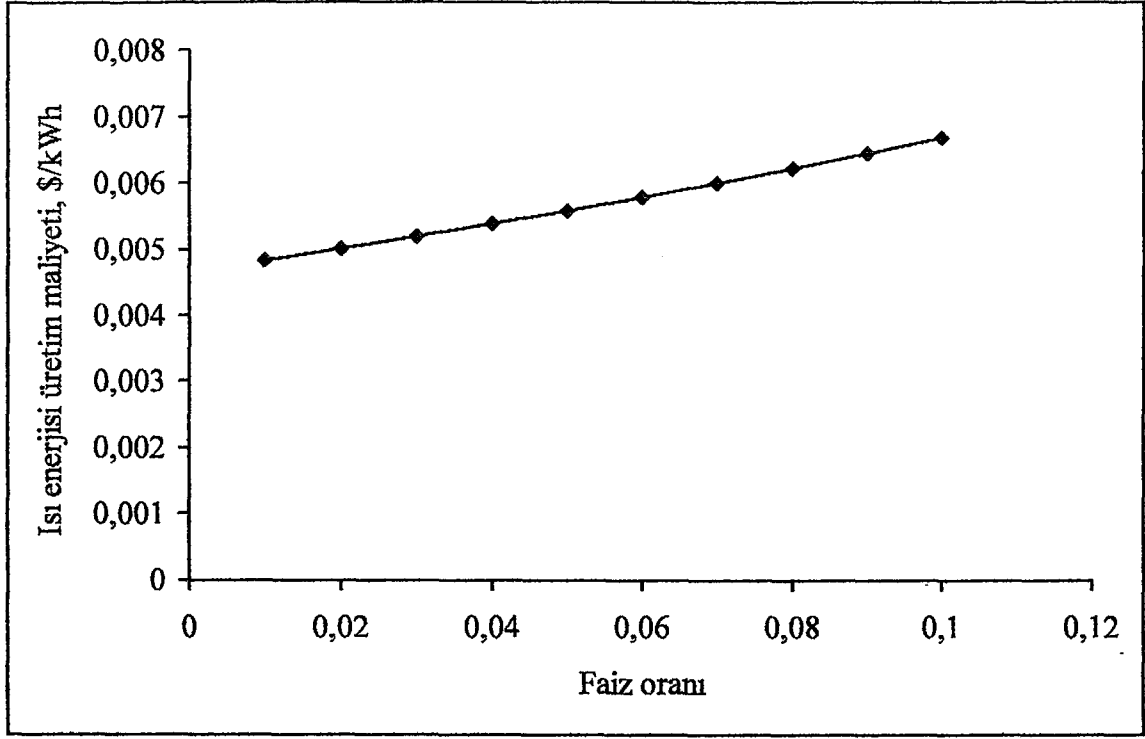
Şekil 7.4.b Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 4000 konut)



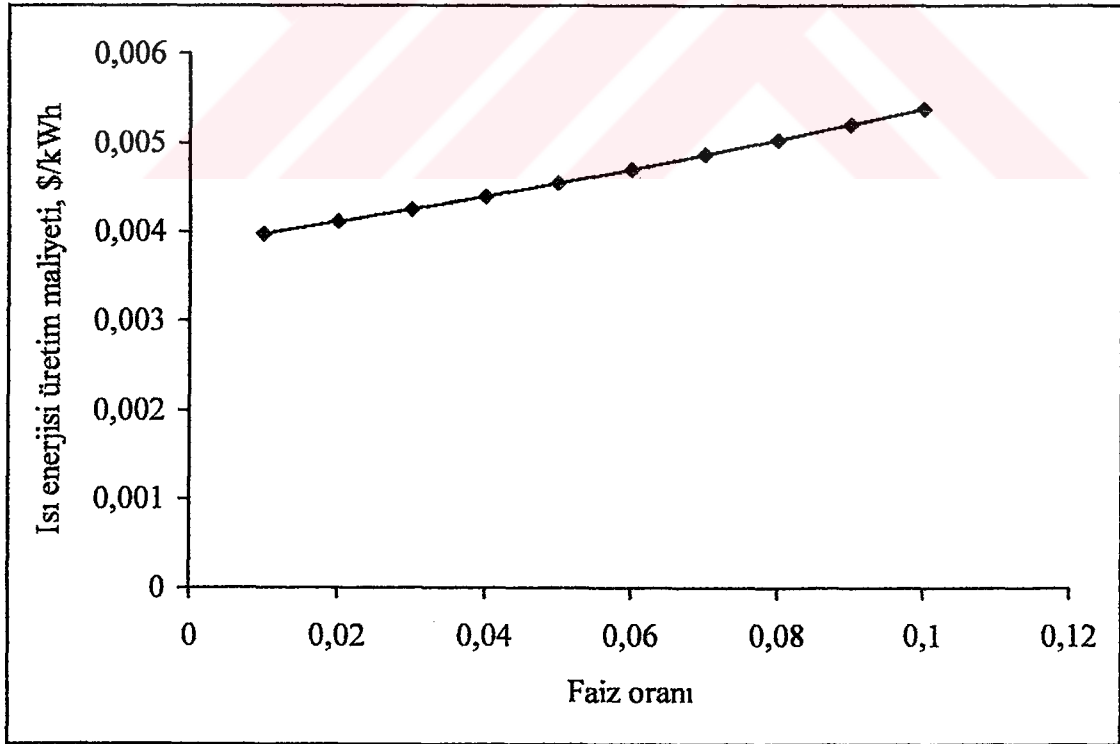
Şekil 7.4.c Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 6000 konut)



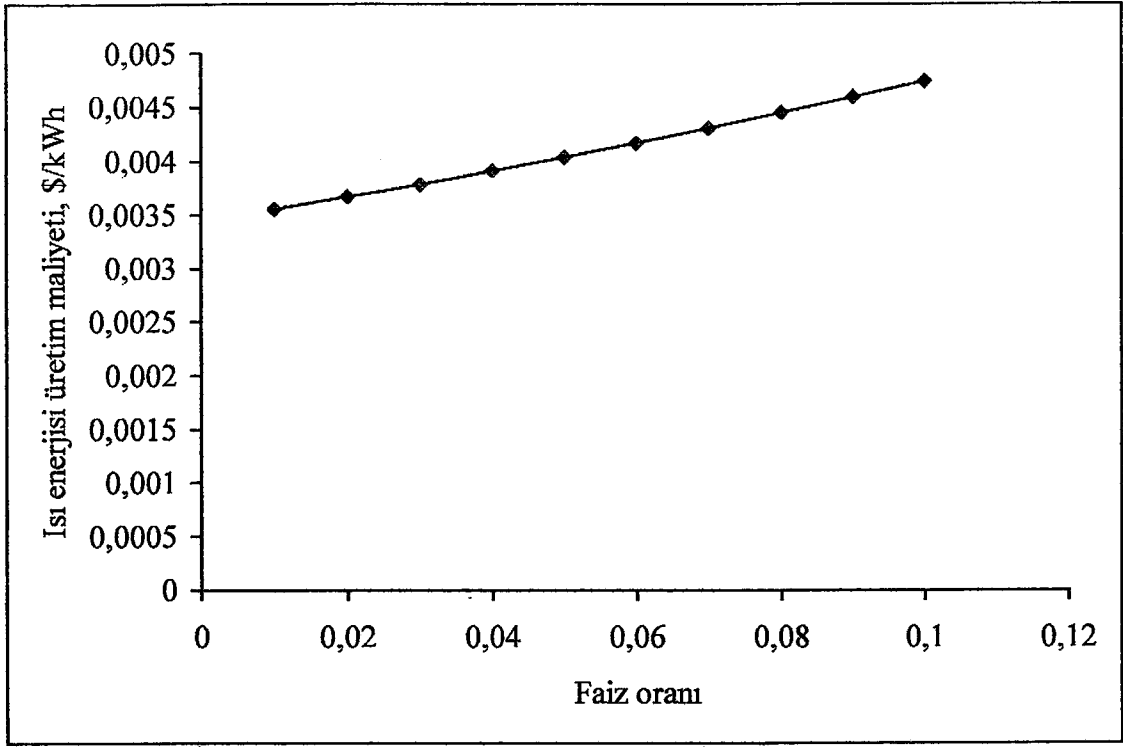
Şekil 7.4.d Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Adana ili için, 8000 konut)



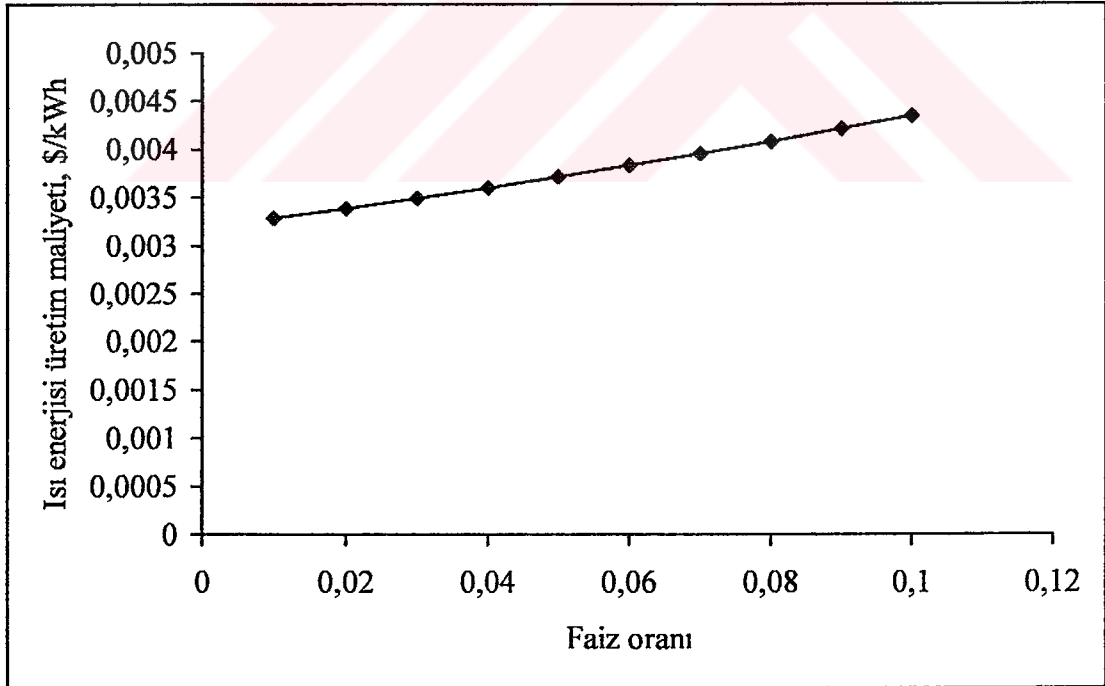
Şekil 7.4.e Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 2000 konut)



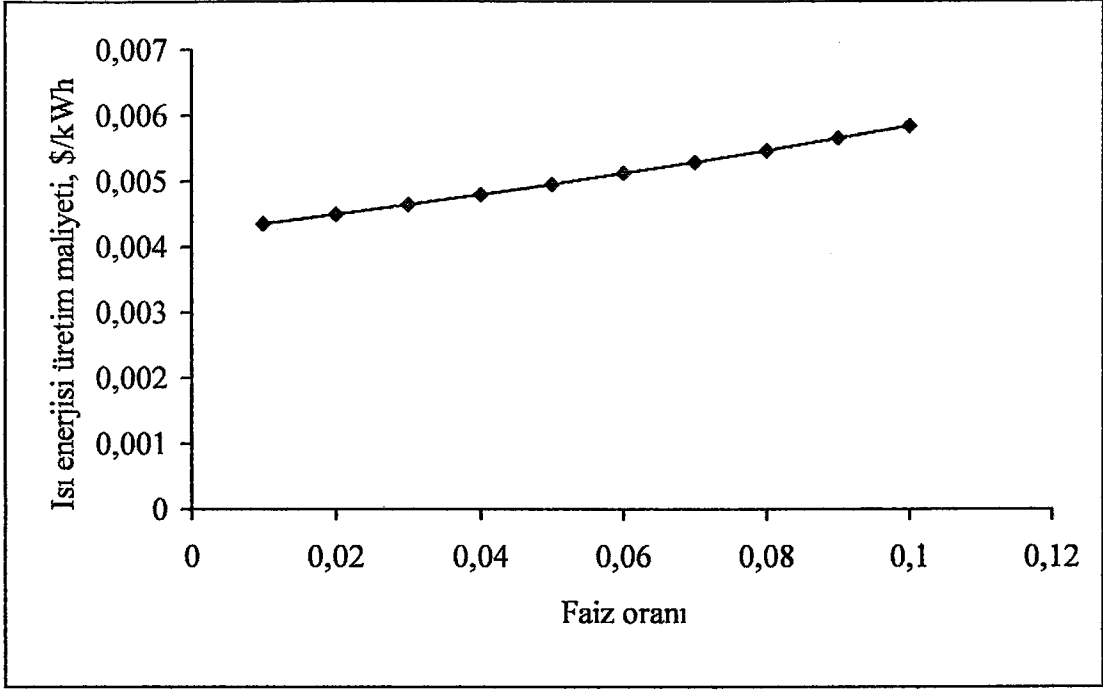
Şekil 7.4.f Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 4000 konut)



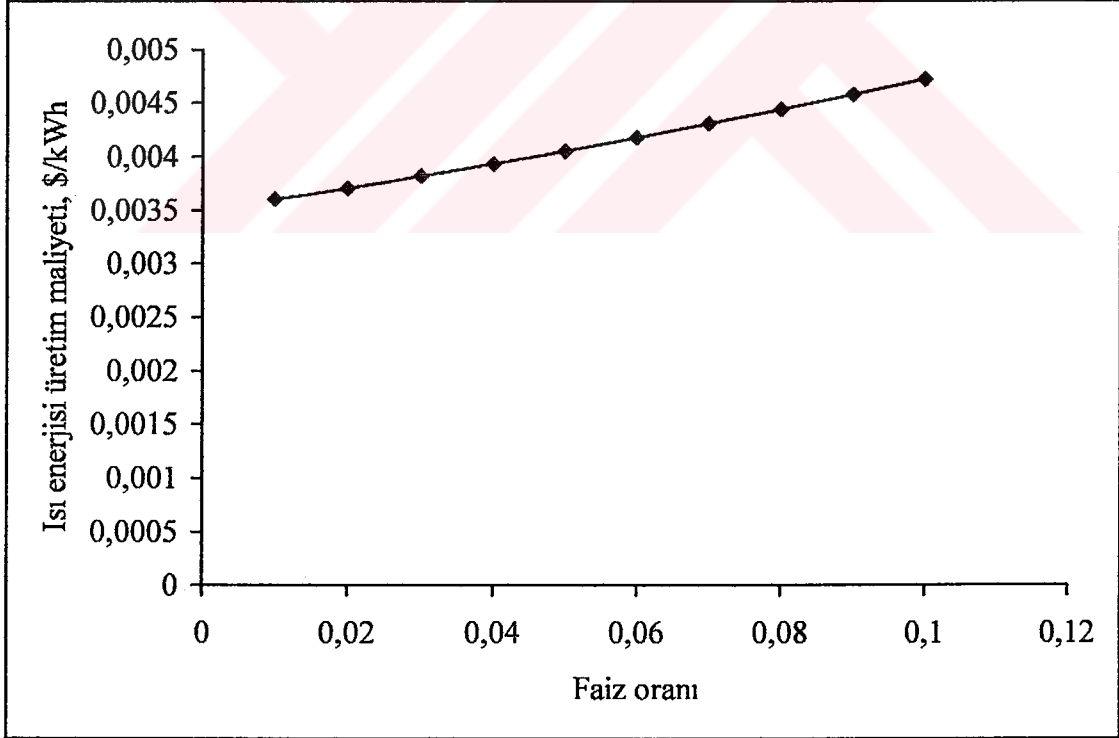
Şekil 7.4.g Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 6000 konut)



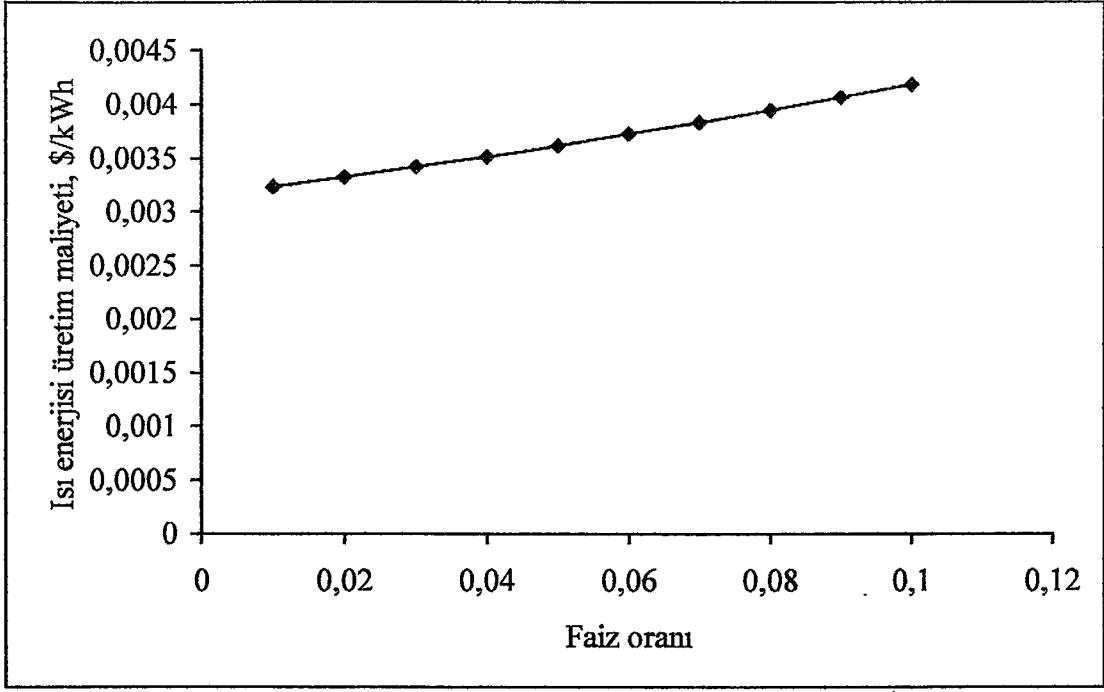
Şekil 7.4.h Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (İstanbul ili için, 8000 konut)



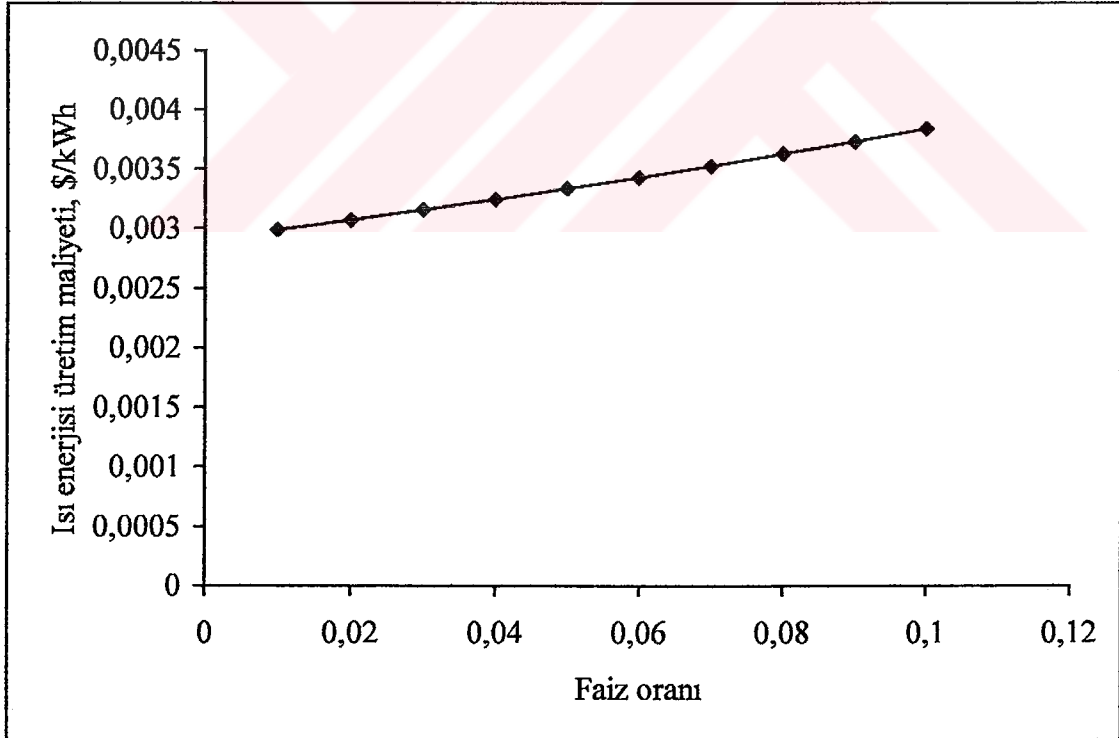
Şekil 7.4.1 Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 2000 konut)



Şekil 7.4.i Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 4000 konut)



Şekil 7.4.j Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 6000 konut)



Şekil 7.4.k Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma (Ankara ili için, 8000 konut)

Çizelge 7.3 Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemlerinde birim ısı enerjisi fiyatları (\$/kWh)

	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	0,03152	0,03149	0,03148	0,03147
İstanbul	0,03080	0,03079	0,03078	0,03077
Ankara	0,03057	0,03056	0,03055	0,03054

Isıtıcı akışkan nakil masrafının hesaplanmasında (6.14) denklemi kullanılmıştır. Birim elektrik enerjisi fiyatı 0.136 \$/kWh, pompa verimi 0.60 ve ortalama özgül ağırlık değeri 951 kg/m³ olarak alınmıştır. Debi ve boru çapına göre bölgesel ısıtmada kabul edilen basınç kaybı değerleri pompalı sıcak sulu ısıtma sistemleri için geçerli olan tablolardan alınmış ve toplam basınç kaybının belirlenmesinde özel dirençlerin oranının 0.10 olduğu kabul edilmiştir. Debi değerleri olarak, ısıtma şebekesindeki maksimum debi değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 7.4' te Adana, İstanbul ve Ankara illerindeki 2000, 4000, 6000, 8000 konutluk bölgesel ısıtma sistemlerinde, ısıtıcı akışkan taşıma maliyetinin hesabında gerekli olan boru çap, boru uzunluk, basınç düşümü, basınç kaybı, birim metre başına boru şebekesi tesis masrafı, birim metre başına ısı kayıp masrafı değerleri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan boru şebekesi yıllık sermaye masrafları, ısı kayıp masrafları ve ısıtıcı akışkan nakil masrafları ile bu masrafların toplam değeri verilmiştir.

Boru şebekesi yıllık sermaye masrafı, ısı kayıp masrafı ve nakil masrafının belirlenmesinden sonra (6.17) denklemi kullanılarak atık ısı kazanlı ve kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemleri için birim ısı enerjisi taşıma maliyetleri hesaplanmış ve sırasıyla çizelge 7.5 ve çizelge 7.6' da verilmiştir.

Çizelge 7.5 Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada birim ısı enerjisi taşıma maliyetleri (\$/kWh)

	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	0,00117	0,00083	0,00069	0,00061
İstanbul	0,00079	0,00055	0,00048	0,00047
Ankara	0,00071	0,00054	0,00047	0,00047

Çizelge 7.4.a Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 2000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/m yıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	125	800	22.74	40022	14.4	11520	73.53	1947	22.33	11511.5
2	125	300	13.08	8632.8	14.4	4320	73.53	730		
3	100	300	18	11880	11.6	3480	62.69	622		
4	80	300	13	8580	8.1	2430	59.88	595		
5	80	100	13		8.1	810	59.88	198		
6	80	100	13		8.1	810	59.88	198		
7	80	100	13		8.1	810	59.88	198		
				69115		24180		4488		11511.5
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 40179.74$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.b Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 4000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/m yıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	200	800	7.234	12731	23.2	18560	98.04	2078.5	44.67	17568.14
2	150	300	19.86	13107	17.03	5109	88.89	706.71		
3	125	300	22.74	15008	14.4	4320	73.52	584.51		
4	100	300	18	11880	11.6	3480	62.69	498.41		
5	100	100	18		11.6	1160	62.69	166.13		
6	100	100	18		11.6	1160	62.69	166.16		
7	100	100	18		11.6	1160	62.69	166.13		
				52727		34949		4366.6		17568.14
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 56883.78$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.c Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 6000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/m yıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	200	800	16.028	28209	23.2	18560	98.04	1831.8	67	27967
2	200	300	9.0918	6000.5	23.2	6960	98.04	686.94		
3	150	300	19.87	13114.	17.03	5109	88.69	622.83		
4	125	300	13.09	8639.4	14.4	4320	73.52	515.13		
5	125	100	13.09		14.4	1440	73.52	171.71		
6	125	100	13.09		14.4	1440	73.52	171.71		
7	125	100	13.09		14.4	1440	73.52	171.71		
				55963		39269		4171.9		27967
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 71408.11$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.d Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 8000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/m yıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	9.2	16192	38.67	30936	94.2	1607.5	89.34	24978.9
2	200	300	16.028	10578	23.2	6960	98.04	627.37		
3	200	300	7.234	4774.4	23.2	5109	98.04	627.37		
4	150	300	9	5940	17.03	1703	88.89	568.82		
5	150	100	9		17.03	1703	88.89	189.60		
6	150	100	9		17.03	1703	88.89	189.60		
7	150	100	9		17.03	1703	88.89	189.60		
				37485		55074		3999.8		24978.9
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 84052.71$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.e Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 2000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/m yıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	150	800	15.83	27860.8	17.03	13624	91.56	2615	29.86	17880.3
2	125	300	22.83	15067.8	14.4	4320	75.73	811		
3	125	300	10.5	6930	14.4	4320	64.58	811		
4	100	300	8.28	5464.8	11.6	3480	64.58	692		
5	100	100	8.28		11.6	1160	64.58	231		
6	100	100	8.28		11.6	1160	64.58	231		
7	100	100	8.28		11.6	1160	64.58	231		
				55323.4		29224		5621		17880.3
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 52725.57$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.f Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 4000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/m yıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	200	800	12,75	22440	23,2	18560	100,98	2343,9	59.72	28839
2	200	300	7,27	4798,2	23,2	6960	100,98	878,97		
3	150	300	15,83	10447,8	17,03	5109	91,56	796,9		
4	125	300	10,5	6930	14,4	4320	75,74	659,27		
5	125	100	10,5		14,4	1440	75,74	219,75		
6	125	100	10,5		14,4	1440	75,74	219,75		
7	125	100	10,5		14,4	1440	75,74	219,75		
				44616		39269		5338,4		28839
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 73446.82$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.g Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 6000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	9,25	16280	38,67	30936	97,03	1999,84	89,58	36537
2	200	300	16,109	10631,9	23,2	6960	100,98	780,47		
3	200	300	7,27	4798,2	23,2	6960	100,98	780,47		
4	150	300	9,05	5973	17,03	5109	91,56	707,663		
5	150	100	9,05		17,03	1703	91,56	235,888		
6	150	100	9,05		17,03	1703	91,56	235,888		
7	150	100	9,05		17,03	1703	91,56	235,888		
				37683		55074		4976,11		36537
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 96587.17$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.h Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 8000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	16,08	28300,8	38,67	30936	97,03	1839,66	119,44	58199
2	250	300	9,25	6105	38,67	11601	97,03	689,872		
3	200	300	12,75	8415	23,2	6960	100,98	717,957		
4	200	300	3,33	2197,8	23,2	6960	100,98	717,957		
5	200	100	3,33		23,2	2320	100,98	239,319		
6	200	100	3,33		23,2	2320	100,98	239,319		
7	200	100	3,33		23,2	2320	100,98	239,319		
				45018,6		63417		4683,4		58199
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 126299.6$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.ı Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 2000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	150	800	21,66	38121,6	17,03	13624	99,56	2945,23	35	27947,72
2	150	300	12,297	8116,02	17,03	5109	99,56	1104,46		
3	125	300	14,21	9378,6	14,4	4320	82,35	913,544		
4	100	300	11,19	7385,4	11,6	3480	70,22	778,981		
5	100	100	11,19		11,6	1160	70,22	259,66		
6	100	100	11,19		11,6	1160	70,22	259,66		
7	100	100	11,19		11,6	1160	70,22	259,66		
				63001,62		30013		6521,2		27947,72
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 64481.92$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.i Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 4000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	200	800	17,425	30668	23,2	18560	109,81	2656,66	69.99	54000.93
2	200	300	9,8981	6532,75	23,2	6960	109,81	996,246		
3	150	300	21,66	14295,6	17,03	5109	99,56	903,253		
4	125	300	14,21	9378,6	14,4	4320	82,35	747,117		
5	125	100	14,21		14,4	1440	82,35	249,039		
6	125	100	14,21		14,4	1440	82,35	249,039		
7	125	100	14,21		14,4	1440	82,35	249,039		
				60874,95		39269		6050,39		54000.93
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 99320.32$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.j Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 6000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	12,43	21876,8	38,67	30936	105,51	2274,49	104.99	67849
2	200	300	21,92	14467,2	23,2	6960	109,81	887,696		
3	200	300	9,8981	6532,75	23,2	6960	109,81	887,696		
4	150	300	12,29	8111,4	17,03	5109	99,56	804,836		
5	150	100	12,29		17,03	1703	99,56	268,279		
6	150	100	12,29		17,03	1703	99,56	268,279		
7	150	100	12,29		17,03	1703	99,56	268,279		
				50988.15		55074		5659,56		67849
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 128582.6$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.k Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 8000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	21,695	38183,2	38,67	30936	105,51	2101,44	139.99	108037.2
2	250	300	12,43	8203,8	38,67	11601	105,51	788,038		
3	200	300	17,425	11500,5	23,2	6960	109,81	820,154		
4	150	300	4,55	3003	17,03	5109	99,56	743,599		
5	150	100	4,55		17,03	1703	99,56	247,866		
6	150	100	4,55		17,03	1703	99,56	247,866		
7	150	100	4,55		17,03	1703	99,56	247,866		
				60890.5		59715		5196,82		108037.2
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 172949$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.1 Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 2000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	125	800	22,74	40022	14,4	11520	73,53	7989,83	22,33	11511,506
2	125	300	13,08	8633	14,4	4320	73,53	2996,19		
3	100	300	18	11880	11,6	3480	62,69	2554,48		
4	80	300	13	8580	8,1	2430	59,88	2439,98		
5	80	100	13		8,1	810	59,88	813,326		
6	80	100	13		8,1	810	59,88	813,326		
7	80	100	13		8,1	810	59,88	813,326		
				69115		24180		18420,4		11511,506
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 54111.95$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.m Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 4000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	200	800	7,234	12731,8	23,2	18560	98,04	10643	44,67	17568,1
2	150	300	19,86	13107,6	17,03	5109	88,89	3618,62		
3	125	300	22,74	15008,4	14,4	4320	73,52	2992,93		
4	100	300	18	11880	11,6	3480	62,69	2552,05		
5	100	100	18		11,6	1160	62,69	850,683		
6	100	100	18		11,6	1160	62,69	850,683		
7	100	100	18		11,6	1160	62,69	850,683		
				52727,8		34949		22358,6		17568,1
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 74875.8$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.n Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 6000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	200	800	16,028	28209,3	23,2	18560	98,04	10639,6	67	27967,2
2	200	300	9,0918	6000,59	23,2	6960	98,04	3989,84		
3	150	300	19,87	13114,2	17,03	5109	88,89	3617,47		
4	125	300	13,09	8639,4	14,4	4320	73,52	2991,98		
5	125	100	13,09		14,4	1440	73,52	997,325		
6	125	100	13,09		14,4	1440	73,52	997,325		
7	125	100	13,09		14,4	1440	73,52	997,325		
				55963,5		39269		24230,9		27967,2
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 91467.1$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.o Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Adana ili 8000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c_1 \$/myıl	C_1 \$/yıl	c_2 \$/myıl	C_2 \$/yıl	m kg/sn	C_3 \$/yıl
1	250	800	9,2	16192	38,67	30936	94,2	10219,6	89,34	24978,8
2	200	300	16,028	10578,5	23,2	6960	98,04	3988,58		
3	200	300	7,234	4774,44	23,2	6960	98,04	3988,58		
4	150	300	9	5940	17,03	5109	88,89	3616,33		
5	150	100	9		17,03	1703	88,89	1205,44		
6	150	100	9		17,03	1703	88,89	1205,44		
7	150	100	9		17,03	1703	88,89	1205,44		
				37484,9		55074		25429,4		24978,8
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 105482$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.p Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 2000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c_1 \$/myıl	C_1 \$/yıl	c_2 \$/myıl	C_2 \$/yıl	m kg/sn	C_3 \$/yıl
1	150	800	15,83	27860,8	17,03	13624	91,56	14107,5	29,86	17880,2
2	125	300	22,83	15067,8	14,4	4320	75,73	4375,65		
3	125	300	10,5	6930	14,4	4320	75,73	4375,65		
4	100	300	8,28	5464,8	11,6	3480	64,58	3731,4		
5	100	100	8,28		11,6	1160	64,58	1243,8		
6	100	100	8,28		11,6	1160	64,58	1243,8		
7	100	100	8,28		11,6	1160	64,58	1243,8		
				55323,4		29224		30321,6		17880,2
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 77425.84$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.r Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 4000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c_1 \$/myıl	C_1 \$/yıl	c_2 \$/myıl	C_2 \$/yıl	m kg/sn	C_3 \$/yıl
1	200	800	12,75	22440	23,2	18560	100,98	15553,8	59,72	28839,4
2	200	300	7,27	4798,2	23,2	6960	100,98	5832,69		
3	150	300	15,83	10447,8	17,03	5109	91,56	5288,58		
4	125	300	10,5	6930	14,4	4320	75,74	4374,8		
5	125	100	10,5		14,4	1440	75,74	1458,27		
6	125	100	10,5		14,4	1440	75,74	1458,27		
7	125	100	10,5		14,4	1440	75,74	1458,27		
				44616		39269		35424,7		28839,4
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 103533$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.s Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 6000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	9,25	16280	38,67	30936	97,03	14940,6	89,58	36537,1
2	200	300	16,109	10631,9	23,2	6960	100,98	5830,79		
3	200	300	7,27	4798,2	23,2	6960	100,98	5830,79		
4	150	300	9,05	5973	17,03	5109	91,56	5286,86		
5	150	100	9,05		17,03	1703	91,56	1762,29		
6	150	100	9,05		17,03	1703	91,56	1762,29		
7	150	100	9,05		17,03	1703	91,56	1762,29		
				37683,1		55074		37175,9		36537,1
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 128787$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.t Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada İstanbul ili 8000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	16,08	28300,8	38,67	30936	97,03	14935,7	119,44	68864,7
2	250	300	9,25	6105	38,67	11601	97,03	5600,89		
3	200	300	12,75	8415	23,2	6960	100,98	5828,9		
4	150	300	15,83	10447,8	17,03	5109	91,56	5285,14		
5	150	100	15,83		17,03	1703	91,56	1761,71		
6	150	100	15,83		17,03	1703	91,56	1761,71		
7	150	100	15,83		17,03	1703	91,56	1761,71		
				53268,6		59715		36935,8		68864,7
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 165515$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.u Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 2000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	150	800	21,66	38121,6	17,03	13624	99,56	17828,9	35	27947,7
2	150	300	12,297	8116,02	17,03	5109	99,56	6685,83		
3	125	300	14,21	9378,6	14,4	4320	82,35	5530,11		
4	100	300	11,19	7385,4	11,6	3480	70,22	4715,53		
5	100	100	11,19		11,6	1160	70,22	1571,84		
6	100	100	11,19		11,6	1160	70,22	1571,84		
7	100	100	11,19		11,6	1160	70,22	1571,84		
				63001,6		30013		39475,9		27947,7
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 97436.6$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.v Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 4000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/myıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	200	800	17,425	30668	23,2	18560	109,81	19658	69,99	54000,9
2	200	300	9,8981	6532,75	23,2	6960	109,81	7371,74		
3	150	300	21,66	14295,6	17,03	5109	99,56	6683,64		
4	125	300	14,21	9378,6	14,4	4320	82,35	5528,3		
5	125	100	14,21		14,4	1440	82,35	1842,77		
6	125	100	14,21		14,4	1440	82,35	1842,77		
7	125	100	14,21		14,4	1440	82,35	1842,77		
				60874,9		39269		44769,9		54000,9
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 138040$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.y Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 6000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/m yıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	12,43	21876,8	38,67	30936	105,51	18882	104,99	67849,1
2	200	300	21,92	14467,2	23,2	6960	109,81	7369,33		
3	200	300	9,8981	6532,75	23,2	6960	109,81	7369,33		
4	150	300	12,29	8111,4	17,03	5109	99,56	6681,45		
5	150	100	12,29		17,03	1703	99,56	2227,15		
6	150	100	12,29		17,03	1703	99,56	2227,15		
7	150	100	12,29		17,03	1703	99,56	2227,15		
				50988,1		55074		46983,6		67849,1
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 169907$ \$/yıl										

Çizelge 7.4.z Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada Ankara ili 8000 konut için ısı enerjisi taşıma toplam masrafı

Boru no	NÇ mm	l m	R mmss/m	ΔP mmss	c ₁ \$/myıl	C ₁ \$/yıl	c ₂ \$/m yıl	C ₂ \$/yıl	m kg/sn	C ₃ \$/yıl
1	250	800	21,695	38183,2	38,67	30936	105,51	18875,8	140	108037
2	250	300	12,43	8203,8	38,67	11601	105,51	7078,44		
3	200	300	17,425	11500,5	23,2	6960	109,81	7366,91		
4	150	300	4,55	3003	17,03	5109	99,56	6679,26		
5	150	100	4,55		17,03	1703	99,56	2226,42		
6	150	100	4,55		17,03	1703	99,56	2226,42		
7	150	100	4,55		17,03	1703	99,56	2226,42		
				60890,5		59715		46679,7		108037
$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 214432$ \$/yıl										

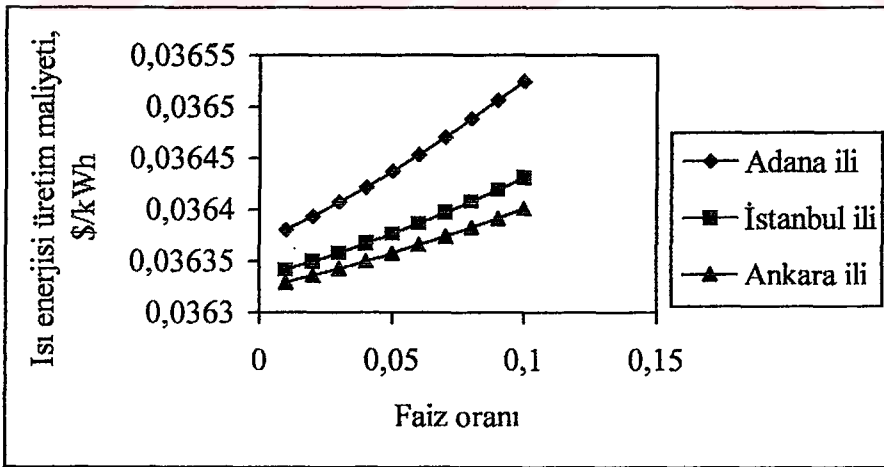
Çizelge 7.6 Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada birim ısı enerjisi taşıma maliyetleri (\$/kWh)

	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	0,00204	0,00141	0,00114	0,00099
İstanbul	0,00150	0,00100	0,00083	0,00080
Ankara	0,00138	0,00097	0,00080	0,00075

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu bölümde yerleşim birimlerinde uygulanan gaz türbinli-atık ısı kazanlı, kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemleri ve ayrı ısıtma sistemleri için hesaplanan ısı enerjisi üretim maliyetleri, yerleşim birimlerine ısı enerjisini taşıma maliyetleri karşılaştırılmış ve bölgesel ısıtmanın uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Kalorifer kazanları ile ayrı ısıtmada Adana, İstanbul ve Ankara illeri için kalorifer kazanı yatırım değerleri sırasıyla 579.84 \$, 694.69 \$, 766.88 \$, yıllık işletme ve bakım masrafı değerleri sırasıyla 2535.41 \$, 4918.73 \$, 6751.24 \$, yıllık yakıt masrafı değerleri sırasıyla 6879.38 \$, 13346.08 \$, 18318.28 \$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık toplam masraf içinde en büyük payı yakıt masrafı almakta, ikinci olarak yıllık işletme ve bakım masrafı gelmektedir. Sabit yıllık sermaye masrafı kalorifer kazanı yatırım değerlerinin düşük olmasından dolayı toplam masraf içinde çok düşük bir paya sahiptir. Şekil 8.1' de yatırım değerleri ve amortisman faktörleri kullanılarak (6.1) denkleminde elde edilen sabit yıllık sermaye masrafları, yıllık işletme ve bakım masrafları, ve yıllık yakıt masrafları kullanılarak (6.7) denkleminde elde edilen ısı enerjisi üretim maliyetlerinin faiz oranları ile değişimi belirtilmiş, hesaplanan ısı enerjisi üretim maliyetleri üç ilde yaklaşık aynı değerlerde belirlenmiş ve faiz oranlarının artması ile yükselmiştir. Ayrıca yıllık işletme saatlerinin artması ısı enerjisi üretim maliyetlerini düşürmüştür.



Şekil 8.1 Kalorifer kazanı ile ayrı ısıtma

Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmadaki yatırım değerleri, yıllık işletme ve bakım masrafları ve yıllık yakıt masrafları çizelge 8.1, çizelge 8.2 ve çizelge 8.3' te verilmiştir. Yatırım

değerlerinin atık ısı kazanlı sistemlere göre daha düşük olması toplam masraf miktarı içinde sabit yıllık sermaye masrafının payını ve faiz oranlarının etkisini azaltmaktadır.

Çizelge 8.1 Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada kızgın su kazanı yatırım değerleri, (\$)

	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	43312.78	69725.81	92119.30	112246.1
İstanbul	52873.01	85116.07	112542.3	137021.6
Ankara	58962.83	94919.58	125406.6	152805.5

Çizelge 8.2 Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada yıllık işletme ve bakım masrafları, (\$/yıl)

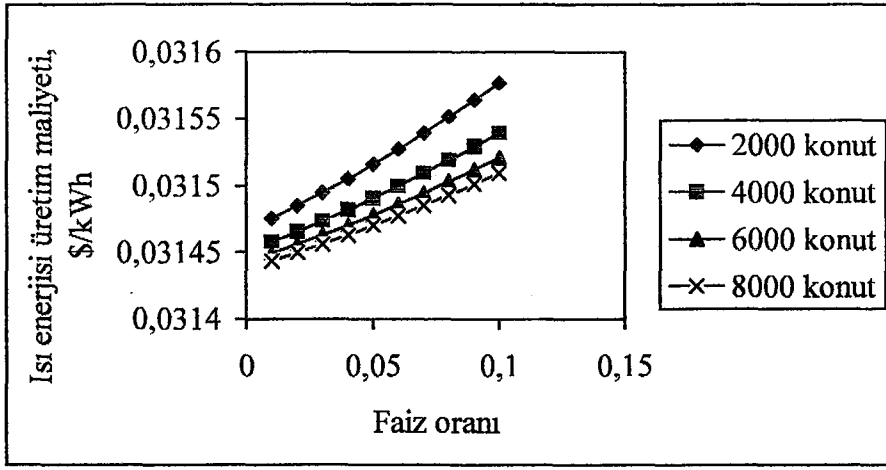
	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	113726.73	227453.45	341180.18	454906.91
İstanbul	186281.21	372562.52	558843.70	745125.12
Ankara	240390.81	480781.62	721190.88	961581.69

Çizelge 8.3 Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtmada yıllık yakıt masrafları, (\$/yıl)

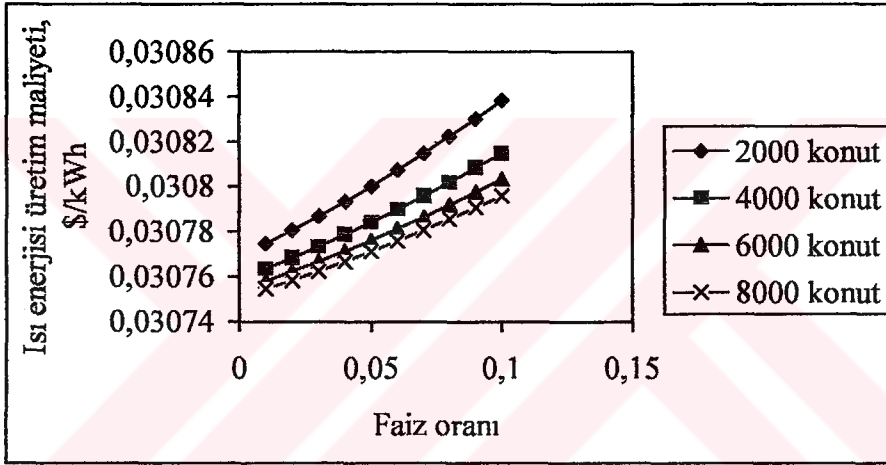
	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	718881.168	1437762.34	2156643.5	2875524.67
İstanbul	1394641.70	2789283.40	4183925.0	5578566.70
Ankara	1913984.05	3827968.10	5742099.12	7656083.17

Yatırım değerlerinden elde edilen sabit yıllık sermaye masrafları, yıllık işletme ve bakım masrafları, yakıt masrafları kullanılarak elde edilen ısı enerjisi üretim maliyetlerinin faiz oranları ile değişimi şekil 8.2' de verilmiştir.

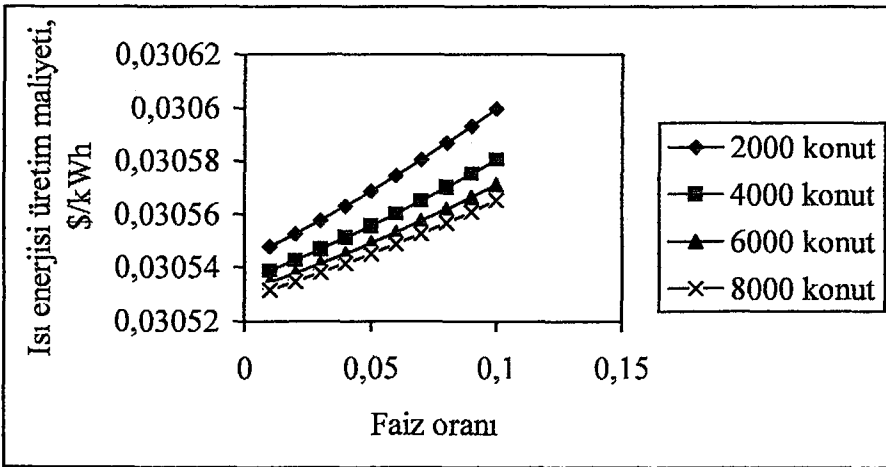
Grafiklerden yıllık işletme saati ve konut sayısı yani kızgın su kazanı kapasite değerlerinin artışı ile ısı enerjisi üretim maliyetinin azaldığı saptanmıştır. Faiz oranlarının artışı ısı enerjisi üretim maliyetlerini arttırmaktadır.



Şekil 8.2.a Adana ili için kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma



Şekil 8.2.b İstanbul ili için kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma



Şekil 8.2.c Ankara ili için kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma

Gaz türbinli-atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmadaki yatırım değerleri, yıllık işletme ve bakım masrafları çizelge 8.4 ve 8.5' te verilmiştir.

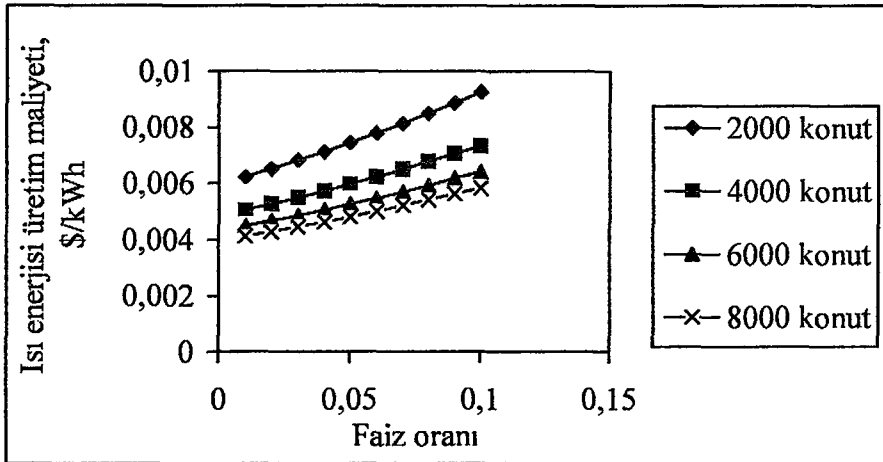
Çizelge 8.4 Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada atık ısı kazanı yatırım değerleri, (\$)

	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	1699008.26	2575214.97	3284492.27	3903296.00
İstanbul	2022341.70	3065296.80	3909554.60	4646121.10
Ankara	2224390.80	3371546.10	4300152.40	5110308.20

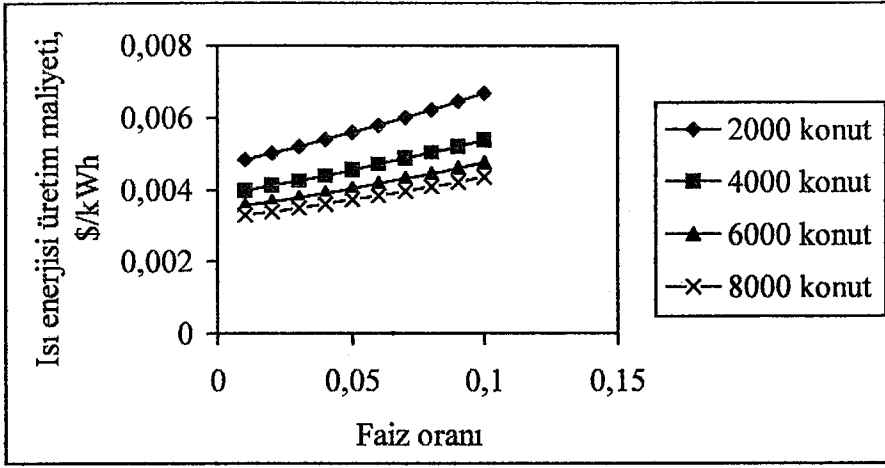
Çizelge 8.5 Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada yıllık işletme ve bakım masrafları, (\$/yıl)

	2000 konut	4000 konut	6000 konut	8000 konut
Adana	103864.475	180125.482	248567.557	312380.044
İstanbul	189815.930	329185.570	454265.830	570885.370
Ankara	252134.920	437261.380	603407.080	758314.300

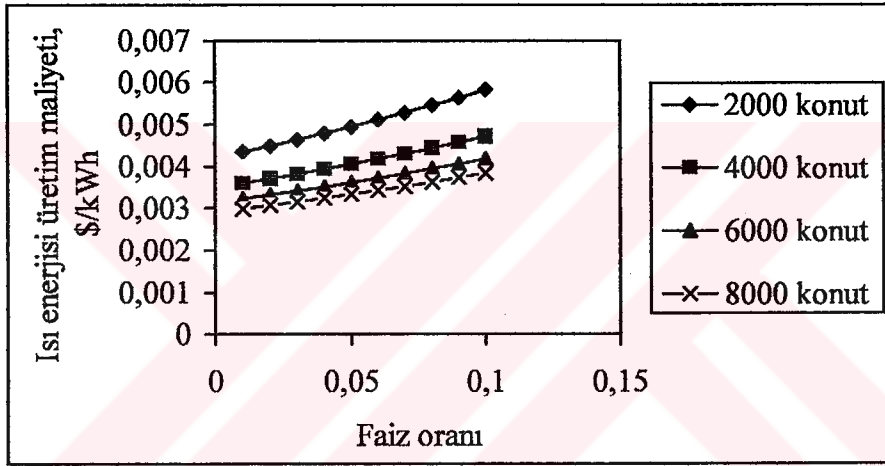
Isı enerjisi üretim maliyetlerinin faiz oranları ile değişimi şekil 8.3' te verilmiştir.



Şekil 8.3.a Adana ili için atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma



Şekil 8.3.b İstanbul ili için atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma



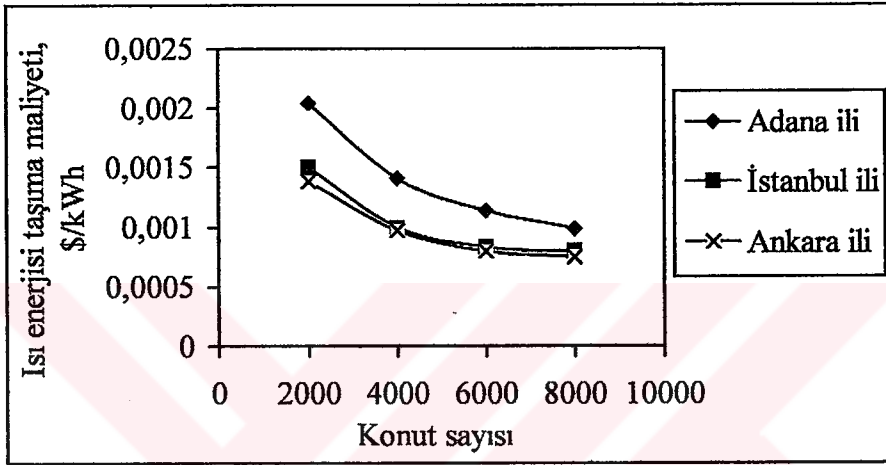
Şekil 8.3.c Ankara ili için atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma

Grafiklerden faiz oranlarının artmasının ısı enerjisi üretim maliyetlerini arttırdığı, yıllık işletme saati ve atık ısı kazanı kapasite değerlerinin ısı enerjisi üretim maliyetlerini düşürdüğü saptanmıştır.

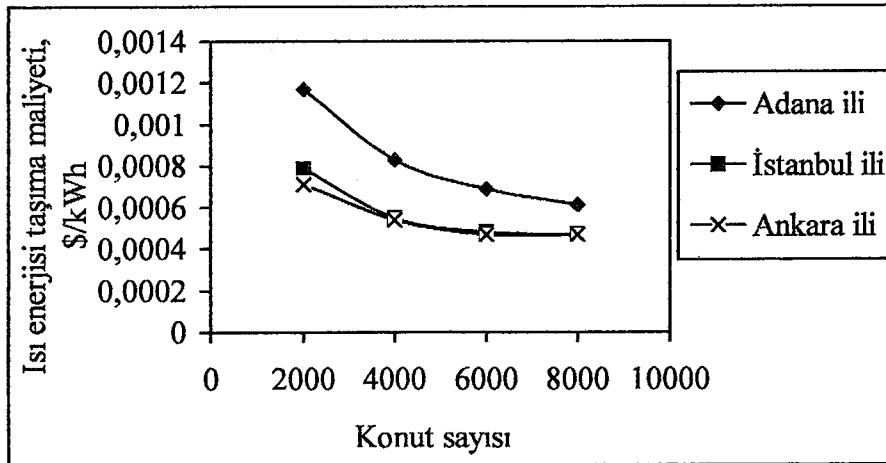
Bölgesel ısıtmada gaz türbinli-atık ısı kazanlı sistemlerin uygulanabilirliğini yatırım değerlerinin yüksekliğinin ve faiz oranlarının etkilediği belirlenmiş ve ekonomik olarak uygulanabilirlik için iklim koşullarına ve maliyet sonuçlarına göre uygun bölgesel ısıtma sistemlerinin kurulabileceği saptanmıştır.

Isı enerjisi taşıma maliyetlerinde en büyük pay boru şebekesi için ayrılan yıllık sermaye masraflarındır. Isı kayıp ve nakil masraflarının toplam masraf içindeki payı yaklaşık aynı değerlerde belirlenmiştir. Taşınan ısı enerjisi miktarı arttıkça boru çapları artmakta,

dolayısıyla boru şebekesi için yapılan sermaye masrafları artış göstermektedir. Çap artışlarında ısı kayıplarının toplam masraf içindeki payının azalma, nakil masraflarının payının artma eğiliminde olduğu saptanmıştır. Dağıtım şebekesi genişliği sabit tutulduğunda taşınan ısı enerjisi miktarı arttıkça birim ısı enerjisi taşıma maliyetlerinde azalma belirlenmiştir. Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma ile kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma için hesaplanan ısı enerjisi taşıma maliyetlerinin illere ve konut sayısına göre değişimi şekil 8.4' te verilmiştir.



Şekil 8.4.a Kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma için ısı enerjisi taşıma maliyetleri



Şekil 8.4.b Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma için ısı enerjisi taşıma maliyetleri

Atık ısı kazanlı bölgesel ısıtmada, ısı enerjisi fiyatı daha düşük elde edildiğinden, ısı kayıp masrafları daha düşük olmakta ve böylece ısı enerjisi taşıma maliyetleri azalmaktadır.

Atık ısı kazanlı ve kızgın su kazanlı bölgesel ısıtma sistemleri bu çalışmada elde edilen ısı enerjisi üretim ve taşıma maliyetleri açısından karşılaştırıldığında, en düşük maliyet değerlerinin atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma ile elde edildiği belirlenmiştir. Yüksek sermaye masraflarına rağmen yakıt masrafının bulunmaması atık ısı kazanlı bölgesel ısıtma ile en düşük maliyet değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır.

Bu değerlendirmeler sonucunda bölgesel bir ısıtma sisteminde birim ısı enerjisi üretim maliyetinden sonra en önemli faktörün dağıtım şebekesi için yapılan sermaye masrafları olduğu belirlenmiştir. Bölgesel ısıtma şebekesine bağlı tesislerin verimlerini arttırmak ve ısı enerjisi tüketimini fazlaştırmak suretiyle ısı enerjisi taşıma maliyetlerini düşürmek mümkün olmaktadır.

Değerlendirmeler sonucunda bölgesel bir ısıtma sisteminin ekonomik bir şekilde çalışması için,

- Isı enerjisi üretim maliyetlerinin düşük,
- Dağıtım şebekesindeki ısı enerjisi kayıplarının az,
- Dağıtım şebekesinin maliyetinin düşük,
- Bölgesel ısıtmadan yararlanma süresinin yüksek olması gerektiği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

Diamant, R.M.E., McGarry, J., (1968), Space and District Heating, London: Iliffe

Gürdal, E., (1995), “Merkezi Şehir ve Bölge Isıtma Sistemleri”, Tesisat Mühendisliği, Eylül-Ekim 1995:19-30

Durmayaz, A., Kadioğlu, M., (2003), “Heating Energy Requirements and Fuel Consumptions in the Biggest City Centers of Turkey”, Energy Conversion & Management, 44:1177-1192

Durmayaz, A., Kadioğlu, M., Şen,Z., (2000), “An Application of the Degree-Hours Method to Estimate the Residential Heating Energy Requirement and Fuel Consumption in İstanbul”, Energy-Int. Journal, 25(12):1245-1256

Luz-Silveria, J.,Beyene, A., Leal, E.M., Santana, J.A. ve Okada, D., (2002), “Thermoeconomic Analysis of a Cogeneration System of a University Campus”, Applied Thermal Engineering, 22:1471-1483

Şahin, B. ve Aybers, N., (1995), Enerji Maliyeti, Y.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (2001/270), Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı, İzmir.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (1998/210), Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon, İstanbul.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (2001/247), Binalarda Isı Yalıtımı Proje Hazırlama Esasları, Ankara.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (1997/84), Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları, İstanbul.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (2001/282), Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı ve Buharlı Isıtma Sistemleri, Ankara

Bejan, A., Tsatsoronis, G., Moran, M., (1996), Thermal Design and Optimization, Newyork: John Wiley

Yazıcı, H.F., (1966), Su Makinaları Problemleri, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul

Smith, M.A., Few, P.C. ve Twidell, J.W., (1995), “Technical and Operational Performance of a Small-Scale Combined Heat-and-Power (CHP) Plant”, Energy, 20:1205-1214

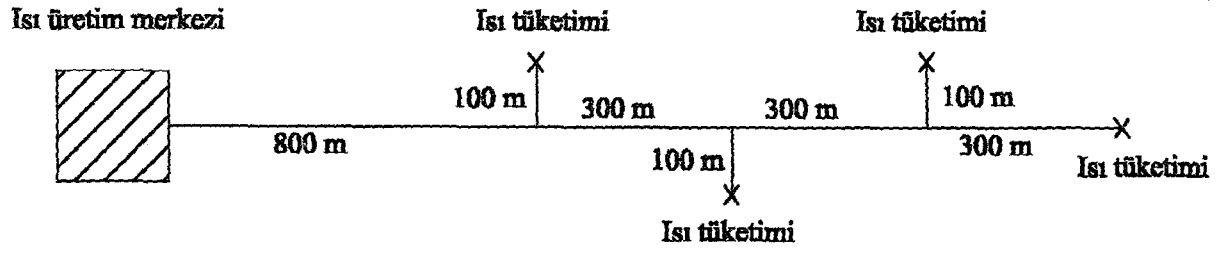
SET Ltd. Pipe Factory, (2002), Pre-insulated Steel Pipes for District Heating Networks, Iceland

EKLER

- Ek 1 Bölgesel Isıtma Yerleşim Modeli
- Ek 2 Model Binanın Özellikleri
- Ek 3 Kalorifer Kazanı Yatırım Değeri Eğri Denkleminin Eldesi
- Ek 4 Kızgın Su Kazanı Yatırım Değeri Eğri Denkleminin Eldesi
- Ek 5 Atık Isı Kazanı Yatırım Değerinin Eldesi
- Ek 6 Atık Isı Kazanı İşletme ve Bakım Maliyeti Eğri Denkleminin Eldesi
- Ek 7 Kanal İçinde Aynı Çapta İki Boru Olması Halinde Metre Başma Tesis Masrafı
- Ek 8 Yerleşim Modellerinde Kullanılan Boruların Çap Değerleri



EK 1 Bölgesel ısıtma yerleşim modeli



EK 2 Model binanın özellikleri

Eni = 20.8 m

Boyu = 24.6 m

Yükseklği = 15.0 m

İç sıcaklık = 20 °C

Toplam hacim = 7675.2 m³

Döşeme alanı = 511.68 m²

Tavan alanı = 511.68 m²

Kapı ve pencere alanı = 681 m²

Dış duvar alanı = 681 m²

Çift cam ısı geçirgenlik katsayısı = 3.46 W/m²K

Tavan ısı geçirgenlik katsayısı = 0.612 W/m²K

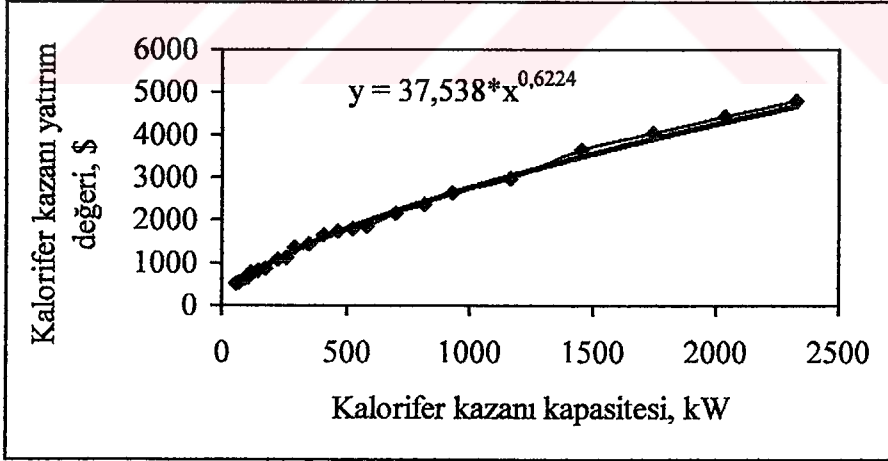
Dış duvar ısı geçirgenlik katsayısı = 0.561 W/m²K

Döşeme ısı geçirgenlik katsayısı = 0.12 W/m²K



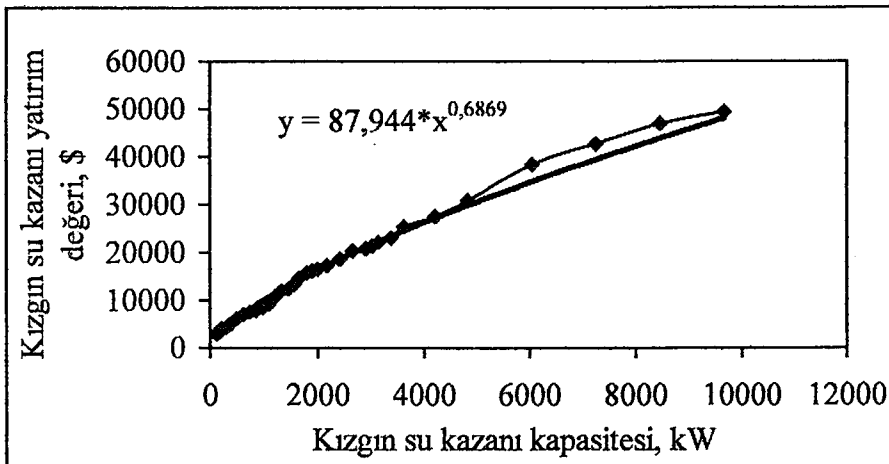
EK 3 Kalorifer kazanı yatırım değeri eğri denkleminin eldesi

Kazan kapasitesi (kW)	Kazan yatırım değeri (\$)
58	518.5682
70	538.5192
93	631.5895
105	644.8861
116	764.5557
145	811.0939
175	857.6321
223	1063.73
256	1110.268
291	1356.255
349	1436.035
407	1648.781
465	1735.209
524	1795.044
581	1854.879
698	2154.053
814	2366.799
930	2632.731
1163	2965.147
1454	3649.923
1744	4042.775
2035	4442.777
2326	4786.784



EK 4 Kızgın su kazanı yatırım değeri eğri denkleminin eldesi

Kazan kapasitesi (kW)	Kazan yatırım değeri (\$)
120.75	2821.7391
193.2	3474.7702
207	4055.2422
289.8	4240.6708
345	4756.6460
483	6086.8944
603.75	6876.9814
724.5	7409.0807
845.25	7836.3727
966	8416.8447
1069.8	8989.2547
1207.5	10803.230
1311	11899.677
1449	12335.031
1552.5	13229.925
1656	14535.988
1794	15688.870
1897.5	16035.540
2001	16527.329
2173.5	17188.422
2415	18542.857
2656.5	20235.901
2898	20719.627
3018.75	21154.981
3139.5	22041.814
3381	22912.522
3622.5	25290.845
4209	27499.863
4830	30853.342
6037.5	38335.342
7245	42745.317
8452.5	46929.553
9660	49364.311



EK 5 Atık ısı kazanı yatırım değerinin eldesi

$$I_K = I_O * \left(\frac{N}{N_0} \right)^\alpha$$

$$I_O = c_{so} * N_0$$

$$N_0 = 100 \text{ MW}$$

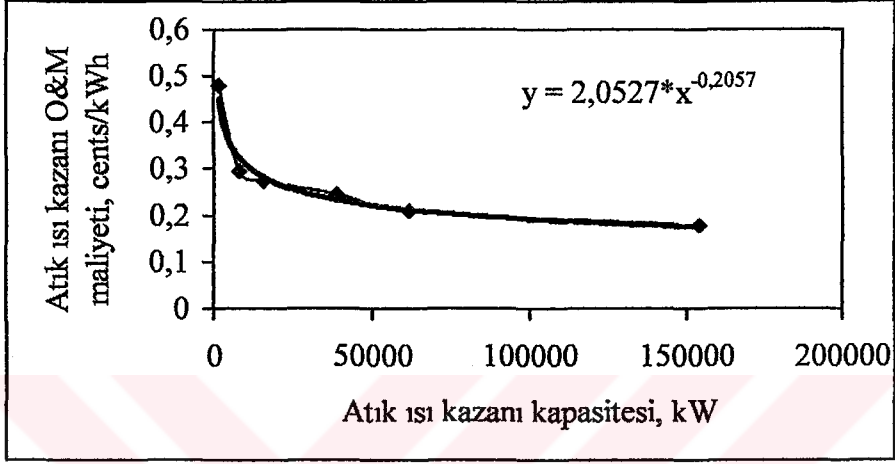
$$c_{so} = 65 \text{ \$/kW}$$

$$\alpha = 0.60$$



EK 6 Atık ısı kazanı işletme ve bakım maliyeti eğri denkleminin eldesi

Kazan kapasitesi (kW)	Kazan O&M maliyeti (cents/kWh)
1613	0.480
7692	0.295
15385	0.275
38462	0.245
61538	0.210
153846	0.180



EK 7 Kanal içinde aynı çapta iki boru olması halinde metre başına tesis masrafı

Nominal çap (mm)	Tesis masrafı (\$/m)	Yıllık tesis masrafı (\$/m yıl)
20	22.99	2.7588
25	25.73	3.0876
32	34.49	4.1400
40	35.52	4.3000
50	44.26	5.3000
65	54.56	6.5400
80	67.58	8.1000
100	96.70	11.6000
125	119.94	14.4000
150	141.34	17.0300
200	193.12	23.2000
250	322.20	38.6700
300	409.09	49.0900

EK 8 Yerleşim modellerinde kullanılan boruların çap değerleri

Çelik boru		Ceket boru	
Anma çapı (mm)	Dış çap (mm)	Dış çap (mm)	İç çap (mm)
80	88.9	160	154
100	114.3	200	193.6
125	139.7	225	218
150	168.1	250	242.2
200	219.1	315	305.2
250	273	400	387.4



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.05.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1986 – 1993	Özel Şener Lisesi
Lisans	1994 – 1999	Trakya Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000 – 2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Enerji Makinaları Programı
Çalıştığı Kurum	2002 –	Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü, Diyarbakır

