

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR BÖLGENİN ISITMA AMAÇLI TALEBİNİN
BELİRLENMESİ VE BÖLGE ISITMA SİSTEMİ İÇİN
UYGUNLUĞUNUN ANALİZİ**

Makine Mühendisi Şaban PUSAT

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xviii
ÖNSÖZ	xx
ÖZET	xxi
ABSTRACT	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Bölge Isıtma Sistemi	2
1.1.1 Bölge Isıtma Sistemlerinin Dünyadaki Durumu ve Uygulamaları	6
1.2 Önceki Çalışmalar	10
1.2.1 Binalarda Enerji Tüketimi	10
1.2.2 Bölge Isıtma Sistemi	13
2. KONUTLARIN ISITMA AMAÇLI ENERJİ TALEBİNİN MODELLENMESİ	16
2.1 Aylık Hesap Yöntemi	18
2.1.1 Isıtma Enerjisi Talebi Hesabı	18
2.1.1.1 Birim (Özgül) Isı Enerjisi Kaybı Hesabı	19
İletim ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Enerjisi Kaybı	19
Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Enerjisi Kaybı	20
2.1.1.2 Konut İç Enerji Kazançları	20
2.1.1.3 Konut Güneş Enerjisi Kazançları	20
2.1.1.4 Kazanç Kullanım Faktörü	21
2.1.1.5 Isıtma Enerjisi Talebi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	21
2.1.2 Kullanım Sıcak Suyu Enerjisinin Hesabı	22
2.2 İklim Verilerinin İncelenmesi	23
2.2.1 İklim Verilerinin Karşılaştırılması	25
2.3 Konutlarda Isı Enerjisi Talebi	26
2.3.1 Konutun Binadaki Konumu	28
2.3.2 Isıtma Periyodu	29
2.3.3 Isıtılan Alan	30
2.3.4 Pencere Tipi	31
2.3.5 Pencere Oranı	32
2.3.6 Yalıtım Durumu	33
2.3.7 Döşeme Alanı	34

2.3.8	İklim Bölgesi	35
2.3.9	İç Isı Enerjisi Kazancı.....	36
2.3.10	Kat Yüksekliği.....	37
2.4	Isı Enerjisi Talebinin Modellenmesi.....	37
2.4.1	Model A.....	38
2.4.2	Model B	41
2.5	Konutun Saatlik Olarak Modellenmesi	43
2.5.1	Tipik İklim Yılı.....	43
2.5.2	Isıtma Döneminin Tespiti	44
2.5.3	Saatlik Sıcak Su Enerji Tüketim Hesabı.....	45
2.5.4	Saatlik Veri Analizi	46
2.6	Referans Konut Çalışması	47
2.6.1	Yalıtımlı Konut.....	47
2.6.2	Yalıtımsız Konut.....	49
2.6.3	Ortalama Konut	50
3.	BÖLGELERİN ISI ENERJİSİ TALEBİNİN MODELLENMESİ.....	53
3.1	Bölge Tanımı ve Özellikleri	53
3.2	Bölgenin Modellenmesi.....	55
3.3	Örnek Bölge Modellemesi.....	55
3.3.1	Örnek I: Yalıtım Durumu Etkisi	56
3.3.2	Örnek II: Konut Sayısı Etkisi	56
3.3.3	Örnek III: Isıtma Sistemi Verimi Etkisi	57
4.	ENERJİ MALİYET HESABI.....	58
4.1	Bölge Isıtma Sistemi Maliyet Hesabı	60
5.	BÖLGE ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ.....	64
5.1.1	Üretim Kısmı	64
5.1.2	İletim-Dağıtım Kısmı.....	65
5.1.3	Tüketim Kısmı	66
5.2	Bölge Isıtma Sistemi İle İlgili Hesaplar.....	66
5.2.1	Teknik Hesaplar.....	67
5.2.1.1	Teknik Hesaplar İçin Yapılan Kabuller	67
5.2.1.2	Debi Hesabı	68
5.2.1.3	Akışkan Hızı Hesabı.....	69
5.2.1.4	Basınç Kaybı Hesabı.....	69
5.2.1.5	Isı Enerjisi Kaybı Hesabı	70
5.2.1.6	İşletme Basıncı Hesabı	72
5.2.1.7	Pompa Güç Hesabı	72
5.2.1.8	Boru Hattı İçin Kanal Hesabı	73
5.2.2	Ekonomik Hesaplar	74
5.2.2.1	Ekonomik Hesaplar İçin Yapılan Kabuller.....	74
5.2.2.2	İlk Yatırım Masrafları.....	76
	Birim Boru Maliyeti Hesabı	76
	İşçilik-Montaj Maliyeti Hesabı.....	77
	Kazı Maliyet Hesabı	78

Pompa Satın Alma Maliyeti Hesabı	79
5.2.2.3 Bakım-Onarım-İşletme Masrafları	80
5.2.2.4 Yakıt Masrafları.....	80
5.2.2.5 Pompa İşletme Masrafları.....	80
5.2.2.6 Isı Enerjisi Kayıp Masrafları	81
5.3 Bölge Isıtma Sistemi Modeli	82
5.3.1 Model İle İlgili Genel Bilgiler ve Kabuller	83
5.3.2 Modeldeki Parametreler.....	85
5.3.3 Modelin Uygulama Sınırları	86
5.3.4 Modeldeki Hesaplamalar	86
5.3.4.1 Konut Sayısı	87
5.3.4.2 Boru Hattı Boylarının Hesabı	87
5.3.4.3 Debi Hesabı	88
5.3.4.4 Basınç Kaybı ve Akışkan Hızı Hesabı.....	88
5.3.4.5 Boru Seçimi	88
5.3.4.6 Güç ve Enerji Hesabı	89
5.3.4.7 Basınç ve Pompa Hesabı	89
5.3.4.8 Maliyet Hesapları.....	90
İlk Yatırım Masrafları.....	90
Isı Enerjisi Kayıp Masrafı	91
Pompa İşletme Masrafı.....	91
Bakım-Onarım-İşletme Masrafı	91
Yakıt Masrafı.....	92
Toplam Maliyetler	92
5.4 Oluşturulan Modeller.....	92
5.4.1 Model A	93
5.4.2 Model B	94
5.4.3 Model C	94
5.4.3.1 Birim Alan Yaklaşımı.....	95
5.5 Modellerin Kullanımı	98
5.6 Modellerin Teknik Analizi	98
5.6.1 Boru Boyu Analizi.....	99
5.6.2 Boru Çapı Analizi	100
5.6.3 Isı Enerjisi Kayıp Analizi	101
5.6.4 Pompa Elektrik Enerjisi Tüketim Analizi.....	104
5.7 Modellerin Ekonomik Analizi	106
5.7.1 Çapa Bağlı Analiz.....	106
5.7.2 Toplam Satın Alma Maliyetleri.....	107
5.7.3 Toplam İlk Yatırım Maliyeti	108
5.7.4 Toplam İşletme Maliyeti.....	110
5.7.5 Maliyet Oranları.....	111
5.8 Sonuçların Analizi ve Karşılaştırmalar.....	112
5.8.1 Sabit Isıl Güç Yoğunluğu	113

5.8.2	Sabit Bina Yoğunluğu	115
5.8.3	Sabit Bölge Alanı.....	118
5.8.4	Yalıtım Durumu Etkisi	118
5.8.5	Birim Alanlardan Oluşan Bölgeler İçin Analiz	120
5.8.6	Model C'nin Matematiksel Eşitliklere Dönüştürülmesi	123
5.8.7	Doğalgaz İle Bölge Isıtma Sisteminin Mukayesesi	128
5.9	Bölge Isıtma Sistemi Modelinin Duyarlılık Analizi	132
6.	MODELİN UYGULAMASI.....	135
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	141
KAYNAKLAR.....		144
ÖZGEÇMİŞ.....		149

SİMGE LİSTESİ

A_D	Dış duvarın alanı
A_P	Pencerenin alanı
A_k	Dış kapının alanı
A_T	Tavan alanı
A_t	Zemine oturan taban/döşeme alanı
A_d	Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı
A_{ds}	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı
A_n	Bina kullanım alanı
A_i	“i” yönündeki toplam pencere alanı
$A_{döşeme}$	Döşeme alanı
A_1	Bir nakit akış serisinin 1. yıldaki değeri
A_{boru}	Boru kesit alanı
A_{kazi}	Kazı kesit alanı
$A_{bölge}$	Bölgenin alanı
$A_{bölge}$	Bölgenin alanı
$A_{kazi,iletim}$	İletim hattı kazı kesit alanı
$A_{kazi,ana_dağıtım}$	Ana dağıtım hattı kazı kesit alanı
$A_{kazi,bina_dağıtım}$	Bina dağıtım hattı kazı kesit alanı
$b_{kesikli}$	Deneysel katsayı
c	Havanın özgül ısısı
c_{su}	Suyun özgül ısısı
C	Bir miktar paranın n yıl önceki değeri
C_k	Sabit nakit akış serisinin yıllık değeri
$C_{yatırım}$	İlk yatırım masrafları
$CCŞ$	Temel şebeke masrafları
CCP	Temel pompa masrafları
$C_{bakım}$	İşletme-bakım-onarım masrafları
CIK	Isı enerjisi kaybı masrafları
CP	Pompalama masrafları
CB	Bakım masrafları
$C_{yakıt}$	Yakıt masrafları
$CÜRT$	Isı enerjisi üretim masrafları

$C_{BIS, toplam}$	Ömür boyu masraflar toplamının şimdiki değeri
$C_{BIS,1}$	Ömür boyu masraflar toplamının yıllara dağıtılmasından sonraki 1. yıl değeri
$C_{BIS,ŞD}$	Ömür boyu masraflar toplamının yıllara dağıtılmasından sonraki 0. yıl değeri
$C_{BIS,ISI}$	Birim ısı enerjisi maliyeti
$C_{BIS,KONUT}$	Konut başına yıllık ısı enerjisi maliyeti
C_{boru}	Birim boru maliyeti
$C_{işçilik}$	Birim işçilik maliyeti
$C_{kazı}$	Birim kazı maliyeti
C_{pompa}	Birim pompa satın alma maliyeti
$C_{pompa_işletme}$	Pompa toplam elektrik tüketim maliyeti
$C_{boru,iletim}$	İletim hattı birim boru maliyeti
$C_{boru,ana_dağıtım}$	Ana dağıtım hattı birim boru maliyeti
$C_{boru,bina_dağıtım}$	Bina dağıtım hattı birim boru maliyeti
C_{boru}	Toplam boru maliyeti
$C_{kazı,iletim}$	İletim hattı birim kazı maliyeti
$C_{kazı,ana_dağıtım}$	Ana dağıtım hattı birim kazı maliyeti
$C_{kazı,bina_dağıtım}$	Bina dağıtım hattı birim kazı maliyeti
$C_{kazı}$	Toplam kazı maliyeti
$C_{işçilik,iletim}$	İletim hattı birim işçilik maliyeti
$C_{işçilik,ana_dağıtım}$	Ana dağıtım hattı birim işçilik maliyeti
$C_{işçilik,bina_dağıtım}$	Bina dağıtım hattı birim işçilik maliyeti
$C_{işçilik}$	Toplam işçilik maliyeti
C_{pompa}	Toplam pompa satın alma maliyeti
$C_{ısı_kayıp,0}$	Toplam ısı enerjisi kayıp maliyeti şimdiki değeri
$C_{pompa_işletme,0}$	Toplam pompa işletme maliyeti şimdiki değeri
$C_{bakım_onarım,0}$	Toplam bakım-onarım maliyeti şimdiki değeri
$C_{ısı_talep,0}$	Toplam ısı enerjisi talebi maliyeti şimdiki değeri
C_{ham}	BIS ham ısı enerjisi maliyeti (santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti hariç)
$C_{ısı,santral}$	Santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti

D_{boru}	Boru apı
$E_{pompa_işleme}$	Pompa elektrik tüketimi
$E_{ısıtma}$	Konut özgül ısı enerjisi ihtiyacı
e	Eskalasyon oranı
$e_{satış}$	BİS satış eskalasyonu
$E_{talep,bölge}$	Bölge toplam ısı enerjisi talebi
$f_{alışma}$	Günlük alışma süresi oranı
f	Sürtünme katsayısı
$g_{i,ay}$	“i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü
$H_{kayıp}$	Boru birim ısı enerjisi kayıp değeri
H	Binanın özgül ısı enerjisi kaybı
H_T	İletim-taşıyım yoluyla gerçekleşen özgül ısı enerjisi kaybı
H_V	Havalandırma yoluyla gerçekleşen özgül ısı enerjisi kaybı
i	Faiz oranı
I	Isı köprüsü uzunluğu
$I_{i,ay}$	“i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıyımını şiddeti
KKO_{ay}	Kazanç / kayıp oranı
$L_{bölge}$	Bölgenin bir kenarının uzunluğu
L_{iletim}	İletim hattı uzunluğu
$L_{ana_dağıtım}$	Ana dağıtım hattı uzunluğu
$L_{bina_dağıtım}$	Bina dağıtım hattı uzunluğu
L_{f_pompa}	Pompa alışma faktörü
L_{boru}	Boru boyu
$\dot{m}_{boru}$	Akışkan kütleliel debisi
n_h	Hava değışim oranı
n	Yıl
N_{konut}	Konut sayısı
$N_{pompa_sayısı}$	Pompa istasyonu sayısı
N_{pompa}	Pompa gücü
N_{boru}	Boru sayısı
N_{bina}	Bina sayısı

$E_{pompa,gerçek}$	Pompa gerçek elektrik enerjisi tüketimi
$E_{pompa,maksimum}$	Pompa maksimum elektrik enerjisi tüketimi
N_{iletim}	İletim hattı boru sayısı
$N_{ana_dağıtım}$	Ana dağıtım hattı boru sayısı
$N_{bina_dağıtım}$	Bina dağıtım hattı boru sayısı
$P = I_k$	Bir serinin şimdiki değer toplamı
$P_{kayıp_birim}$	Birim basınç kaybı
$P_{işletme}$	Sistem işletme basıncı
$P_{kayıp_toplam}$	Sistem toplam basınç kaybı
$\dot{q}_{pik,toplam_tasarım}$	Bölge tasarım toplam pik ısı enerjisi yükü (pik ısı enerjisi kaybı dâhil)
$\dot{q}_{pik,bölge}$	Bölge toplam pik ısı enerjisi yükü (pik ısı gücü)
$\dot{q}_{pik,kayıp_tasarım}$	Bölge tasarım toplam pik ısı enerjisi kaybı
$Q_{sıcak_su}$	Sıcak su enerji ihtiyacı
$\dot{q}_{pik,kayıp}$	Pik ısı enerjisi kaybı
$\dot{q}_{pik,konut}$	Konut pik ısı enerjisi kayıp değeri
Q_{konut}	Konut yıllık ısı enerjisi talebi
$Q_{bölge,talep}$	Bölge yıllık ısı enerjisi talebi (kayıplar hariç)
$Q_{bölge,toplam}$	Bölge yıllık toplam ısı enerjisi talebi (kayıplar dâhil)
$Q_{kayıp}$	Sistem yıllık toplam ısı enerjisi kaybı
$Q_{yıl}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı
Q_{ay}	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı
$r_{i,ay}$	“i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
$r_{pik,kayıp_tasarım}$	Tasarım ısı enerjisi kayıp oranı
$R_{pürüzlülük}$	Boru bağıl pürüzlülük değeri
S_n	Bir miktar paranın n yıl sonraki değeri
t	Zaman
T_{konfor}	Odanın konfor sıcaklığı
$T_{konfor, düzeltilmiş}$	Düzeltilmiş oda sıcaklığı

U_D	Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_P	Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı
U_k	Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı
U_T	Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_t	Zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı
U_d	Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı
U_{ds}	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı
U_I	Isı köprüsü doğrusal ısıl geçirgenlik katsayısı
V'	Hacimce hava değişim debisi
V_h	Havalandırılan hacim
$V_{brüt}$	Binanın ısıtılan brüt hacmi
$V_{sıcak_su}$	Günlük sıcak su ihtiyacı
$\dot{V}_{boru}$	Akışkan hacimsel debisi
$v_{boru_hattı}$	Akışkan hızı
$\dot{V}_{iletim}$	İletim hattındaki hacimsel debi
$\dot{V}_{ana_dağıtım}$	Ana dağıtım hattındaki hacimsel debi
$\dot{V}_{bina_dağıtım}$	Bina dağıtım hattındaki hacimsel debi
θ_i	Aylık ortalama iç sıcaklık
θ_e	Aylık ortalama dış sıcaklık
η_{ay}	Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü
$\phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç ısı enerjisi kazançları
$\phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı
ρ	Hava yoğunluğu
$\theta_{i,ay}$	Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı
$\theta_{e,ay}$	Aylık ortalama dış hava sıcaklığı
$\phi_{i,ay}$	Aylık iç ısı enerjisi kazançları
$\phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı
ΔT	Şebeke suyu sıcaklığı ile sıcak suyun getirildiği sıcaklık arasındaki fark
τ	Konut zaman sabiti
γ	Isıl denge oranı

δ_i :	Uzun dönem ve söz konusu ayın CDF değerleri farkının mutlak değeri
ρ_{bina}	Bina yoğunluğu
ρ_{bina}	Bina yoğunluğu
$\rho_{güç}$	Isıl güç yoğunluğu
$\rho_{güç}$	Isıl güç yoğunluğu
ΔP	Basınç farkı

KISALTMA LİSTESİ

ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği
BEP	Binalarda Enerji Performansı
BEP-TR	Binalarda Enerji Performansı
BEP-HY	Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi
BİS	Bölge ısıtma sistemi
CDF	Cumulative distribution function
CHP	Combined Heat and Power Plants
ÇATES	Çatalağzı Termik Elektrik Santrali
DBDH	Danish Board of District Heating
DHCAN	District Heating & Cooling/CHP: Promotional Materials for candidate countries Pilot action in Hungary and Romania
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
F-S	Finkelstein-Schafer İstatistiği
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
KEP-SDM	Konutlarda Enerji Performansı Standard Değerlendirme Metodu
KKO	Kazanç / kayıp oranı
S-D	Sustainable Development
TMY	Typical Meteorological Year
TSAD	Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Sektörel nihai enerji tüketimi (EİE, 2007)	1
Şekil 1.2 Bölge ısıtma sistemi genel görünümü (S-D)	3
Şekil 1.3 Ayrık ve kojenerasyon üretim sistemleri için enerji akış grafiği (Ağış Ö., 2009)	4
Şekil 1.4 Bireysel sistemlerin (a) ve bölge ısıtma sistemlerinin (b) çevreye etkisi (DHCAN)..	5
Şekil 1.5 Kuzey Avrupa ülkelerindeki bölge ısıtma sisteminin gelişimi (Nordic Energy Perspectives, 2009)	6
Şekil 1.6 Kuzey Avrupa ülkelerinde bölge ısıtma sistemlerinde kullanılan yakıt türleri (Nordic Energy Perspectives, 2009).....	7
Şekil 1.7 Kopenhag'da (Danimarka) bölge ısıtma amacıyla kurulan ilk tesis (DBDH)	8
Şekil 1.8 Esbjerg'de (Danimarka) atık yakarak bölge ısıtma yapan modern bir tesis (DBDH).	9
Şekil 1.9 Çeşitli ülkelerde bölge ısıtma ile ısınan konut sayıları (Güngör C., 2010).....	9
Şekil 2.1 Bina içi enerji akışları (European Concrete Platform, 2007)	16
Şekil 2.2 Bina iç sıcaklığını etkileyen faktörler (Özdemir, 2003).....	17
Şekil 2.3 Derece-gün bölgeleri ve şehirler (TS 825)	24
Şekil 2.4 Ortalama dış ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	25
Şekil 2.5 Güneş ışınmı değerleri arasındaki farklar	26
Şekil 2.6 Konutun binadaki konumunun aylık ısı enerjisi talebine etkisi	28
Şekil 2.7 Isıtma periyodunun aylık ısı enerjisi talebine etkisi	29
Şekil 2.8 Isıtılan alan oranının aylık ısı enerjisi talebine etkisi	30
Şekil 2.9 Pencere tipinin aylık ısı enerjisi talebine etkisi	31
Şekil 2.10 Pencere oranının aylık ısı enerjisi talebine etkisi	32
Şekil 2.11 Bir konutta ısı enerjisi kayıplarının gerçekleştiği bölgeler ve oranları (İ-T)	33
Şekil 2.12 Yalıtım kalınlığının aylık ısı enerjisi talebine etkisi	33
Şekil 2.13 Döşeme alanının aylık ısı enerjisi talebine etkisi	34
Şekil 2.14 Özgül ısı enerjisi talebinin döşeme alanına bağlı değişimi	35
Şekil 2.15 İklim bölgesinin aylık ısı enerjisi talebine etkisi.....	35
Şekil 2.16 İç ısı enerjisi kazancının aylık ısı enerjisi talebine etkisi	36
Şekil 2.17 Kat yüksekliğinin aylık ısı enerjisi talebine etkisi	37
Şekil 2.18 Döşeme alanı ve yalıtım malzemesi kalınlığına bağlı özgül ısıtma enerjisi talebi 1 (kW _t h/m ² .yıl).....	40
Şekil 2.19 Döşeme alanı ve yalıtım malzemesi kalınlığına bağlı özgül ısıtma enerjisi talebi 2 (kW _t h/m ² .yıl).....	40
Şekil 2.20 Model B'de kullanılan parametrelerin özgül ısıtma enerjisi talebi üzerindeki	

etkileri	42
Şekil 2.21 Isıtma dönemi başlangıç ve bitişinin tespiti	44
Şekil 2.22 Günlük sıcak su kullanım dağılımı.....	46
Şekil 2.23 Düzenlenmiş yük-süre eğrisi	46
Şekil 2.24 Saatlik yükler (Yalıtımlı tip)	48
Şekil 2.25 Düzenlenmiş yük-süre eğrileri (Yalıtımlı tip).....	48
Şekil 2.26 Saatlik yükler (Yalıtımsız tip)	49
Şekil 2.27 Düzenlenmiş yük-süre eğrileri (Yalıtımsız tip).....	50
Şekil 2.28 Saatlik yükler (Ortalama tip).....	51
Şekil 2.29 Düzenlenmiş yük-süre eğrileri (Ortalama tip).....	51
Şekil 3.1 Bir bölgenin ısıtma sistemine bağlı olarak incelenmesi (Möller ve Lund, 2010)	54
Şekil 3.2 Bir yerleşim yerinin farklı bölgelere ayrılması (Serpen, 2008).....	54
Şekil 3.3 Londra için hazırlanan ısı haritası (London Heat Map, 2009)	55
Şekil 4.1 Şimdiki ve gelecekteki değerler	58
Şekil 4.2 Geometrik artan bir seri.....	59
Şekil 4.3 Sabit yıllık sermaye bedeli	60
Şekil 4.4 Bölge ısıtma sistemi maliyet parametreleri	61
Şekil 4.5 Bölge ısıtma ömür boyu masraflar toplamının şimdiki değerinin yıllık değere dönüştürülmesi.....	62
Şekil 5.1 Bölge ısıtma sistemi yapısı (DANFOSS, Chapter 1)	64
Şekil 5.2 Basınç Ayarı (DANFOSS, Chapter 2)	66
Şekil 5.3 Isı enerjisi kaybı hesabı için eğri uydurma.....	71
Şekil 5.4 Kanal kesit alanı (İZOBOR)	73
Şekil 5.5 Kesit alanı hesabı için eğri uydurma	74
Şekil 5.6 Boru çapına bağlı olarak boru maliyeti değişimi	77
Şekil 5.7 Boru çapına bağlı olarak işçilik-montaj maliyeti değişimi	78
Şekil 5.8 Boru çapına bağlı olarak kazı maliyeti değişimi	79
Şekil 5.9 Bölge ısıtma sistemi hesap akış şeması.....	83
Şekil 5.10 Bölge ısıtma modeli ana hatları.....	84
Şekil 5.11 Bölge ısıtma sistemi: Binalar, boru hatları ve santral	85
Şekil 5.12 Farklı özelliklere sahip bir bölgenin analizi	96
Şekil 5.13 Birim alan yaklaşımı	97
Şekil 5.14 Bina sayısı ve ısı yükü ilişkisi	97
Şekil 5.15 Bölge alanına bağlı boru boyu analizi (N_{bina} : sabit)	100
Şekil 5.16 Bina yoğunluğuna bağlı boru boyu analizi ($A_{bölge}$: sabit)	100

Şekil 5.17 Isıl güç yoğunluğuna bağlı iletim hattı boru çapı değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)	101
Şekil 5.19 Bölge alanına bağlı ısı enerjisi kayıp analizi (ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit)	102
Şekil 5.21 Isı enerjisi kayıplarından kaynaklanan sıcaklık değişimi ($A_{bölge}$: sabit).....	103
Şekil 5.22 Isı enerjisi kayıp oranı ($A_{bölge}$: sabit)	104
Şekil 5.23 Isıl güç yoğunluğuna ve yalıtım durumuna bağlı pompa elektrik enerjisi tüketim analizi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)	105
Şekil 5.24 Bina yoğunluğuna bağlı pompa elektrik enerjisi tüketimi analizi (yalıtlımlı konut için, $A_{bölge}$: sabit, ρ_{guc} : sabit)	105
Şekil 5.25 Bölge alanına bağlı pompa elektrik enerjisi tüketimi analizi (yalıtlımlı konut için, ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit).....	106
Şekil 5.26 Çapa bağlı olarak maliyet değişimi	107
Şekil 5.27 Isıl güç yoğunluğuna bağlı satın alma maliyeti değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)	108
Şekil 5.28 Bina yoğunluğuna bağlı satın alma maliyeti değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{guc} : sabit)...	108
Şekil 5.29 Isıl güç yoğunluğu ilk yatırım maliyetleri değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit).....	109
Şekil 5.30 Bina yoğunluğu ilk yatırım maliyetleri değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{guc} : sabit).....	109
Şekil 5.31 Bölge alanı ilk yatırım maliyetleri değişimi (ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit)	109
Şekil 5.32 Güç yoğunluğu işletme maliyetleri değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)	110
Şekil 5.33 Bina yoğunluğu işletme maliyetleri değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{guc} : sabit)	110
Şekil 5.34 Bölge alanı işletme maliyetleri değişimi (ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit).....	111
Şekil 5.35 Maliyet değerlerinin değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)	111
Şekil 5.36 Maliyet oranlarının değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit).....	112
Şekil 5.37 Bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $N_{bina}=64$)	113
Şekil 5.38 Bina yoğunluğu ve bina sayısına bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	114
Şekil 5.39 Bina yoğunluğu ve bina sayısına bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	115
Şekil 5.40 Farklı ısı güç ve bina yoğunlukları ile maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $N_{bina}=4$)	116
Şekil 5.41 Farklı ısı güç ve bina yoğunlukları ile maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $N_{bina}=256$)	116
Şekil 5.42 Bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=80 \text{ adet}/\text{km}^2$)	117
Şekil 5.43 Bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=640 \text{ adet}/\text{km}^2$)	117

Şekil 5.44 Bina yoğunlu ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $A_{bölge}=0,05 \text{ km}^2$).....	118
Şekil 5.45 Yalıtım durumu ile konut başı maliyetlerin değişimi ($A_{bölge}=1 \text{ km}^2$, $N_{bina}=144$ adet).....	120
Şekil 5.46 Bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=16$ adet/ km^2)	121
Şekil 5.47 Bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=10000$ adet/ km^2)	121
Şekil 5.48 Bölge alanı ve bina yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	122
Şekil 5.49 Bölge alanı ve bina yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	122
Şekil 5.50 Bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğu ile farklı bölge alanları için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için)	123
Şekil 5.51 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	125
Şekil 5.52 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=20 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	125
Şekil 5.53 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=40 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	126
Şekil 5.54 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=75 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	126
Şekil 5.55 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=100 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	127
Şekil 5.56 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	127
Şekil 5.57 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025 \text{ TL}/\text{kW}_t\text{h}$, $\rho_{guc}=10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	128
Şekil 5.58 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025 \text{ TL}/\text{kW}_t\text{h}$, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)	129
Şekil 5.59 Isı güç yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025 \text{ TL}/\text{kW}_t\text{h}$, $\rho_{bina}=16$ Adet/ km^2).....	129
Şekil 5.60 Isı güç yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025 \text{ TL}/\text{kW}_t\text{h}$, $\rho_{bina}=10000$ Adet/ km^2).....	130
Şekil 5.63 Faiz oranı ile maliyet değişimi ($c_{ISI,santral}$: dâhil değil)	132
Şekil 5.64 Eskalasyon oranı ile maliyet değişimi ($c_{ISI,santral}$: dâhil değil)	133

Şekil 5.65 Santral birim ısı enerjisi maliyetine bağlı değişim ($c_{ISI,santral}$: dâhil değil)	133
Şekil 5.66 Santral birim ısı enerjisi maliyetine bağlı değişim ($c_{ISI,santral}$: dâhil)	134
Şekil 5.67 İlk yatırım maliyetlerine bağlı değişim ($c_{ISI,santral}$: dâhil değil).....	134
Şekil 6.1 Esenkent bölgesi.....	135
Şekil 6.2 Seçilen bölgenin uzaktan görünüşü (Pendik)	137
Şekil 6.3 Seçilen bölgenin kapsadığı mahalleler (Pendik)	137
Şekil 6.4 Seçilen bölgenin yakından görünüşü (Pendik)	138
Şekil 6.5 Pendik için birim ısı enerjisi maliyetinin ısı güç yoğunluğuna bağlı değişimi	139
Şekil 6.6 Konut sayısının ısı güç yoğunluğuna bağlı değişimi	139
Şekil 6.7 Bina ortalama kat sayısı değişimi.....	140

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 Farklı ülkelerdeki bölge ısıtma santralleri ve güçleri (ÇATES, 2009).....	8
Çizelge 2.1 En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri (TS 825) ..	22
Çizelge 2.2 Bölgeler ve ara değer $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri (TS 825) ..	22
Çizelge 2.3 Bölgeler için aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları, °C	24
Çizelge 2.4 Aylık ortalama güneşlenme şiddeti, W/m^2 (TS 825)	25
Çizelge 2.5 İstanbul ve Urfa için ortalama sıcaklık değerleri, °C	25
Çizelge 2.6 İstanbul ve Urfa için ortalama güneş ışıını değeri, kWh/m^2	26
Çizelge 2.7 Konut için kabul edilen varsayılan değeri	27
Çizelge 2.8 Analizlerde kullanılan pencere tipleri ve U-değeri	31
Çizelge 2.9 Konut ısı enerjisi talebini etkileyen parametreler için maksimum ve minimum değişim oranları	38
Çizelge 2.10 Model A'da kullanılan değişkenler	39
Çizelge 2.11 Model A sonuç tablosu	39
Çizelge 2.12 Model B için varsayılan değeri	43
Çizelge 2.13 Saatlik sıcak su kullanımı (ASHRAE)	45
Çizelge 2.14 Konutun genel özellikleri	47
Çizelge 2.15 Yıllık ısı enerjisi talebi (Yalıtımlı tip)	47
Çizelge 2.16 Pik ısı yük (Yalıtımlı tip)	47
Çizelge 2.17 Yıllık ısı enerjisi talebi (Yalıtımsız tip)	49
Çizelge 2.18 Pik ısı yük (Yalıtımsız tip)	49
Çizelge 2.19 Yıllık ısı enerjisi talebi (Ortalama tip)	50
Çizelge 2.20 Pik ısı yük (Ortalama tip)	50
Çizelge 3.1 Yalıtım durumunun yıllık ısı enerjisi talebine etkisi	56
Çizelge 3.2 Konut sayısının yıllık ısı enerjisi talebine etkisi	56
Çizelge 3.3 Isıtma sistemi veriminin yıllık ısı enerjisi tüketimine etkisi	57
Çizelge 5.1 Teknik hesaplar için yapılan kabuller	67
Çizelge 5.2 90 °C akışkan sıcaklığı için anma çapına bağlı ısı enerjisi kaybı değeri (İZOBOR)	70
Çizelge 5.3 Kazı kesit alanı bilgileri (İZOBOR)	73
Çizelge 5.4 Ekonomik hesaplar için yapılan kabuller	75
Çizelge 5.5 Boru çapına bağlı olarak boru maliyeti değişimi	76
Çizelge 5.6 Boru çapına bağlı olarak işçilik-montaj maliyeti değişimi	77
Çizelge 5.7 Boru çapına bağlı olarak kazı maliyeti değişimi	79

Çizelge 5.8 Model A temel değişkenler	93
Çizelge 5.9 Model B temel değişkenler.....	94
Çizelge 5.10 Model C temel değişkenler.....	95
Çizelge 5.11 Teknik analiz parametreleri.....	98
Çizelge 5.12 Analizlerde kullanılan durumlar.....	99
Çizelge 5.13 Yalıtım tipleri için maliyetler	119
Çizelge 6.1 Esenkent bölgesi genel bilgiler	135
Çizelge 6.2 Pendik bölgesi genel bilgiler	136

ÖNSÖZ

Enerji, geçmişte de gelecekte de insanlık için en önemli hususlardan birisidir. Artan teknoloji ve dünya nüfusu ile beraber enerji talebi sürekli bir artış göstermiştir. Artan enerji talebine karşın kullanılan kaynakların dünyaya eşit dağılmamış olması ve miktarının sınırlı olduğunun bilinmesi enerjinin temini konusunda sıkıntılar yaratmaktadır. Bu noktadan sonra enerjinin farklı yollarla üretilmesi ve daha verimli tüketilmesi konusu gündeme gelmiştir. Enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilmesi konusunda büyük teknolojik gelişmeler ve yatırımlar görülmektedir. Bunun dışında enerjinin daha verimli olarak tüketilebilmesi amacıyla farklı sektörlerde (binalar ve sanayi gibi) verimlilik artırıcı önlemler ve yöntemler geliştirilmektedir.

Enerji tüketimi içerisinde önemli bir paya sahip olan binaların ısıtılması ve sıcak su temini için gerekli ısı enerjisinin daha verimli, konforlu ve kontrollü bir şekilde ulaştırılması hususunda Dünya çapında önemli uygulamaları görülen Bölge Isıtma Sistemlerinin uygulanabilirliğinin analiz edildiği bu çalışmanın literatür için önemli bir yere sahip olacağı düşünülmektedir. Ayrıca ülkemizde henüz önemi anlaşılamamış olan Bölge Isıtma konusunun öneminin anlaşılabilmesi, geliştirilen modelin sonuçlarının ekonomik olarak değerlendirilmesi ve yaygın olarak kullanılan doğalgaza alternatif olabileceğinin gösterilebilmesi açısından önem arz eden bir çalışma olduğu düşünülmektedir.

Tez çalışmamın Danışmanı olan Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e verdiği büyük destek ve sabrından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca bu tez çalışmasının konusunun belirlenmesinde yardımcı olan Prof. Dr. İsmail TEKE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bana destek olan Hidromekanik ve Hidrolik Makineler Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine, özellikle de oda arkadaşım Arş. Gör. Mehmet Z. BAŞAK'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam ve bütün hayatım boyunca bana desteğini esirgemeyen, bana sabırla katlanan ve hep yanımda olan anneme en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bu tez çalışmasını 2008 yılında kaybettiğim rahmetli babama ithaf ettiğimi belirtmek isterim.

Makine Mühendisi / Araştırma Görevlisi

Şaban PUSAT

Temmuz 2010

ÖZET

Artan nüfus ve teknoloji ile beraber büyüyen enerji talebinin tamamen ve güvenilir bir şekilde karşılanabilmesi açısından enerjinin verimli bir şekilde tüketilmesi ve aynı zamanda çevreye en az zarar verecek şekilde bir enerji arzının sağlanması günümüzün en önemli konularındandır. Türkiye Dünya'daki ortalamalara benzer bir şekilde, tüketilen enerjisinin önemli bir kısmını konutlarda gerçekleştirmektedir. Bu nedenle konutlarla ilgili alınacak tedbirler genel enerji görünümünü önemli ölçüde düzeltecektir. Bu husus ülkemizin önemini yeni yeni anladığı ve yasal düzenlemelerle gerçekleştirmeye çalıştığı bir konudur. Enerji verimliliği konusundaki bu gelişmelere paralel olarak özellikle konforlu, güvenli ve ekonomik bir ısıtma için Dünyada uzun yıllardan beridir kullanılmakta olan bölge ısıtma sistemlerinin ülkemiz için uygun şartlarının incelenmesi gereklidir. Bölge ısıtma sistemleri ısıtmada kaynak çeşitliliği sağlaması, konforlu ve güvenilir olması, temiz bir çevre sunması ve çoğu zaman ekonomik bir ısıtma sağlaması nedeni ile dünyada tercih edilmektedir. Bölge ısıtma sistemleri sayesinde bireysel ısıtma ile ortaya çıkan kontrol edilemeyen yanma verimleri, kalitesiz yakma sistemleri ve yakıt kullanımı, çoğu zaman ölümcül olan kazalar, kötü yakıt ve yanma kaynaklı çevreye atılan emisyonlar ve büyük miktarlardaki enerji ithalatı azaltılabilecektir. Ancak iletim, dağıtım ve bina altı sistemleri ile önemli bir yatırım ve organizasyon gerektiren bölge ısıtma sistemlerinin bölgenin iklim, nüfus ve konut özelliklerine bağlı olarak yapılacak analizler ile ekonomik sınırlarının belirlenmesi gereklidir.

Bu çalışma ile hedeflenen, literatürde eksikliği görülen bölge ısıtma sisteminin bölge ile ilgili temel parametreleri kullanarak ekonomiklik alanının belirlenebilmesini sağlamaktır. Bu amaçla öncelikle bir bölgenin en küçük birimi olan konutun, ısıtma ve sıcak su temini amacıyla tükettiği ısı enerjisinin hesabı için gerekli yöntemler sunuldu. Konutlar yapısal, fiziksel ve çevresel karakteristikler (konutun binadaki konumu, ısıtma periyodu, ısıtılan alan, pencere tipi, pencere oranı, yalıtım durumu, döşeme alanı, iklim bölgesi, iç kazançlar ve kat yüksekliği) açısından farklı özelliklere sahip olabilirler. Aynı zamanda bölgedeki binaların karakteristik özellikleri hakkında elde edilebilecek bilgiler de kısıtlı olabilir. Bu nedenlerle bölgedeki binalarla ilgili elde edilebilecek verilerin durumuna göre kullanılabilecek detaylı ve basit yöntemler verilerek kullanımı kolay ve hızlı sonuçlar verebilen modeller geliştirilmiştir. Konutlarla ilgili geliştirilen bu modellerle beraber bir konutun ısı enerjisi talebini etkileyen en önemli parametreler incelenerek, basit ya da detaylı yöntemlerle elde edilecek sonuçların ne kadar hassas olduğu analiz edildi. Konut ile ilgili birçok parametrenin hesaplamaları önemli ölçüde (% 1 ile % 176 arasında) etkileyebileceği görülmüştür. Sonuç olarak, herhangi bir bölgedeki binaların toplam ısı enerjisi talebini hesaplarken, binalarla ilgili elde edilebilen verilerin kapsamına bağlı olmadan kullanılabilecek modeller geliştirilmiştir.

Bölge ile ilgili yapılan analizlerden sonra o bölgeye kurulabilecek olası bir bölge ısıtma sisteminin ekonomiklik alanının belirlenmesi amacıyla ekonomik model geliştirildi. Bunun için öncelikle bölgeye rastgele dağılmış olan farklı ısı yüklerine sahip binaların teknik olarak incelenmesindeki zorlukları aşmak için bir yöntem geliştirildi. Bu yöntemde bölge için temel özellikleri içeren parametreler (bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğu) kullanıldı. Bu parametreler literatürdeki diğer çalışmalarda yüzeysel olarak kullanılmıştır, ancak bu çalışmada bölgenin yüzölçümü ile beraber temel değişkenlerdir. Temel parametrelere bağlı olarak da binalar simetrik bir şekilde bölgeye dağıtılarak teknik analizler gerçekleştirildi. Ek olarak geliştirilen birim alan yaklaşımı her durumda hesap yapma olanağı sağladı. Teknik analizlerden sonra ekonomik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için bölge ısıtma sisteminin diğer yakıt türlerine (doğalgaz, kömür, jeotermal vb.) alternatif olmasından dolayı karşılaştırma yöntemi birim ısı enerjisi maliyeti olarak belirlendi. Bütün yakıtlar binaların kapısına kadar belli bir satış fiyatı ile ulaştırılmaktadır. Bu nedenle bölge ısıtma sisteminin ekonomik analizi için bina içi sistemler dâhil edilmedi. Bölge ısıtma sistemi ile sıcak

akışkanın binanın kapısına kadar getirilmesi ile oluşan maliyetler hesaplandı ve en önemli alternatiflerden birisi olan doğalgazın birim satış fiyatı ile mukayese edildi.

Bölge ısıtma sisteminin maliyet parametreleri içerisinde ilk yatırım (pompa ve boru hattı), işletme-bakım (ısı enerjisi kaybı, elektrik enerjisi tüketimi, işletme ve bakım) ve ısı enerjisi (herhangi bir kaynaktan çekilen ısı enerjisi) maliyetleri vardır. Isı kaynağından çekilen ısı enerjisi maliyeti konusunda kaynağın türü ve yakıt tipi dikkate alınmadı. Sadece herhangi bir kaynaktan belli bir maliyetle ısı enerjisinin çekildiği düşünüldü. Geliştirilen ekonomik model ile bölgenin sahip olduğu temel parametrelere (bina yoğunluğu, ısı güç yoğunluğu ve yüzölçümü) bağlı olarak herhangi bir bölgeye bölge ısıtma sisteminin kurulması durumunda oluşacak ekonomik tablonun kolay bir şekilde elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Oluşturulan bölge ısıtma modeli ile Türkiye için iki uygulama örneği gerçekleştirildi. İlk örnek Türkiye’de ki ilk ve tek olan bileşik ısı-güç santrali kaynaklı Esenkent bölge ısıtma sistemi için yapıldı. Elde edilen sonuçlar Esenkent’te ki birim ısı enerjisi satış fiyatı ile karşılaştırıldı ve modelin benzer sonuçlar verdiği görüldü. Daha sonra da Pendik ilçesindeki birkaç mahalleyi içeren bir bölgeye bölge ısıtma sisteminin kurulması sonucunda oluşabilecek ekonomik durum incelendi. Bölge ile ilgili detaylı bilgiye sahip olunmadığı için temel parametrelerin farklı değerleri için analizler gerçekleştirildi. İkinci örneğin sonucuna göre bölge ısıtma sisteminin doğalgaza göre çok daha avantajlı olduğu ortaya konuldu.

Konutlar ve bölge ısıtma sistemi için geliştirilen modeller ile hem detaylı hem de basit hesaplama yapabilme imkânı oluşturulmuştur. Elde edilebilecek verilerin miktarına göre bu modeller kullanılarak bölge ısıtma sisteminin ekonomiklik analizi rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Bu çalışma ile ülkemizde önemi anlaşılamamış ve hatta çok fazla bilgi sahibi olunmayan bir konu olan bölge ısıtma sistemlerinin ekonomik açıdan ne kadar kârlı yatırımlar olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bölge ısıtma sistemi, ekonomik model, konut ısı enerjisi talebi, bölge ısı enerjisi talebi, yatırım ve işletme maliyetleri, birim ısı enerjisi maliyeti.

ABSTRACT

Today, efficient energy consumption and environmentally non-polluting energy supply to be able to meet energy demand completely and safely, with increasing population and improving technology, are one of the most important subjects. Turkey, like world's average, consumes significant portion of energy in residential sector. Therefore precautions for residential sector will improve the energy outlook significantly. This is an issue that Turkey has just noticed and prepared regulations for it. Turkey should investigate the district heating systems, which are used for years in the world, for a comfortable, safe and economic heating. District heating systems are preferred in the world because they offer source diversity and supply comfortable, safe, clean and economic heating. District heating systems remove the negative effects of individual heating systems: uncontrollable combustion efficiency, using poor quality combustion systems and fuel, high level emissions, and energy import. But economic limits of district heating systems should be investigated with analysis of distribution and building systems, which need big investment costs and organizations, by using district's climate, population and building characteristics data.

The target of this study, that is observed a lack of this kind of analysis in the literature, is determination of the economic feasibility of district heating system by using the basic parameters of the region. For this purpose, the necessary methods for energy consumption of a dwelling, which is the smallest unit of an area, for heating and hot water supply are presented firstly. In terms of the characteristics, buildings may have different structural, physical and environmental characteristics (location of the dwelling in the building, the heating period, heating area, window type, window rate, insulation level, floor area, climate zones, internal gains and floor height). At the same time, the data obtained about the characteristics of the buildings in the area also may be limited. For these reasons, related to the availability of the data obtained from the buildings in the area, the models, which can provide quick results and easy to use, have been developed by the detailed and easy to use methods given. In addition to the developed models for residential buildings, the sensitivity of the results of the detailed and easy methods is analyzed by examining the most significant parameters that affect the energy demand of a dwelling. Analysis of the many parameters showed that they have significant influences (from 1% to 176%). As a result, the total heat energy demand of all buildings in any region, not depending on the scope of the data obtained about buildings, can be determined with the developed models.

After the analysis about the region and buildings, an economic model was developed with the aim of determination of the economic feasibility of a potential district heating system that can be installed to the same region. For this, firstly a method was developed to overcome the difficulties about modeling of the region in which buildings with different thermal loads are scattered randomly. In this method, the parameters for the region including key features (building density and power density) were used. These parameters in other studies in the literature are used as superficial, but these parameters with region's total area are main variables in this study. Technical analyses were performed depending on the basic parameters by distributing the buildings symmetrically to the region. In addition, the unit area approach was developed, which enabled the model to make calculations in all situations. After technical analysis, to be able to compare the results with the other alternative fuel types (natural gas, coal, geothermal, etc...) unit energy price method was defined for economical analysis. All fuel types are delivered to the buildings with a specific sales price. Therefore in the economic analysis of district heating systems, systems inside the buildings were not included in the calculations. The unit cost was calculated for the district heating system, which was brought up to the door of the buildings, and it was compared with unit sales price of one of the most important alternative fuel, natural gas.

The initial investment (pumps and pipelines), operating and maintenance (heat energy loss, electrical energy consumption, operation and maintenance), and heat energy (the captured heat energy from any source) costs are the district heating system cost parameters. The heat energy source and fuel type were not considered in this study. With only some costs from any source of heat energy was considered. The economic model developed in this study can be used to determine the economical feasibility of a district heating system easily by using the basic parameters of the region (building density, power density and area of the region).

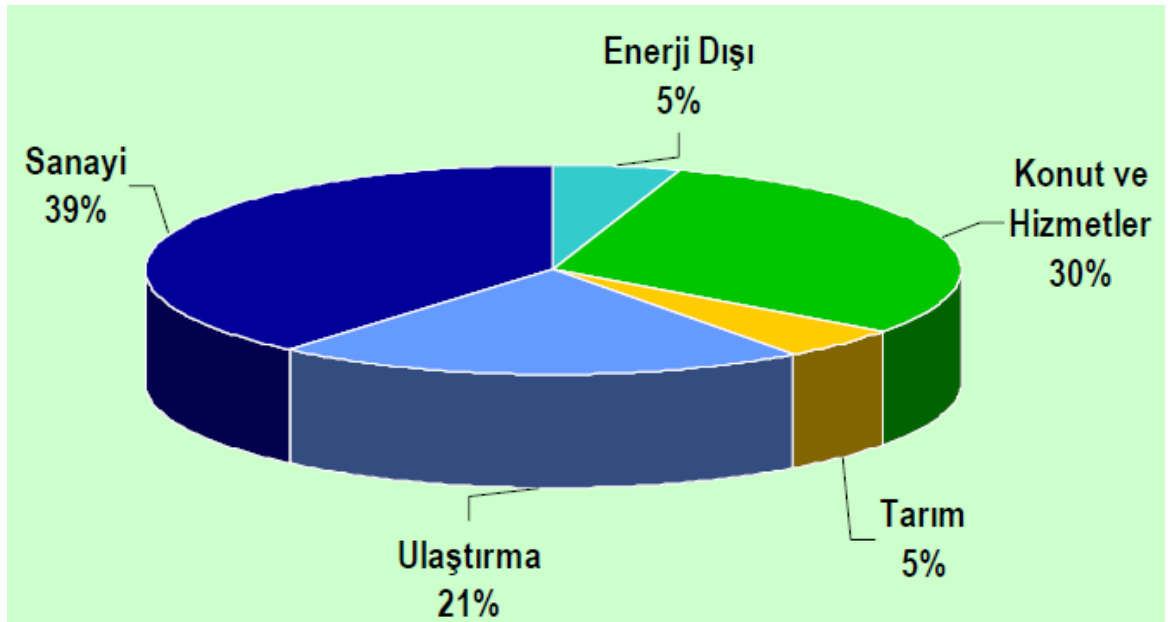
Two application examples were done with generated district heating model for Turkey. The first example was done for Esenkent district heating system which is the first and only CHP powered district heating system of Turkey. The obtained results were compared with the exact unit price of heat, and the similarity of result was seen. After that, the economic situation of a possible district heating system in Pendik that may be built has been examined. The analyses were done for different values of basic parameters because of the inadequate data about the region. The results of the second example were put forward that district heating system is more advantageous than natural gas.

The models developed for residential buildings and district heating systems created the opportunity to make both detailed and simple calculations. By using these models, not depending on the amount of data can be obtained, economic analysis of district heating systems can be carried out easily. With this study, district heating systems' economical profitability has been put forward while the importance of it has not been understood well and not much information has been known about it.

Keywords: District heating system, economic model, residential heating need, district heating need, investment and operating costs, cost of district heating.

1. GİRİŞ

Konutların enerji talepleri elektrik enerjisi ile ısıtma ve sıcak kullanım suyu için ısı enerjisinden oluşur. Konutlarda ısı enerjisi talebi tüm enerji tüketimleri içinde önemli bir yer tutmaktadır. Birincil enerji kaynağının sağlanmasından konutlardaki son kullanım noktasına kadar birçok sektör ve yatırımı içine alan oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Türkiye’de nihai enerji tüketiminin yaklaşık % 30’u konut ve hizmet sektörüne aittir (Şekil 1.1). Son yıllarda enerji verimliliğine olan ilginin artması konut sektöründe de önemli gelişmeler sağlamıştır. Özellikle konutlardaki enerji tüketimini azaltmak üzere bina yalıtımı konusunda önemli aşamalar kaydedilmiştir. Ancak tüketimin azaltılması kadar konutlarda enerji kullanımının her aşamasında alınması gereken önlemler bulunmaktadır.



Şekil 1.1 Sektörel nihai enerji tüketimi (EİE, 2007)

Özellikle konforlu, güvenli ve ekonomik bir ısınma için Dünyada uzun yıllardan beridir kullanılmakta olan bölge ısıtma sistemlerinin ülkemiz için uygun şartlarının incelenmesi gereklidir. 27539 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” ile toplam inşaat alanı 2.000 m²’nin üzerinde olan binalarda zorunlu hale getirilen merkezi ısıtma sistemlerinin, bir yerleşim yerinin büyük bir bölümünü kapsayan şekli olan bölge ısıtma sistemleri ısıtmada kaynak çeşitliliği sağlaması, konforlu ve güvenilir olması, temiz bir çevre sunması ve çoğu zaman ekonomik bir ısıtma sağlaması nedeni ile dünyada tercih edilmektedir. Bireysel ısıtma ile ortaya çıkan kontrol edilemeyen yanma verimleri, kalitesiz yakma sistemleri ve yakıt kullanımı, çoğu zaman ölümcül olan kazalar,

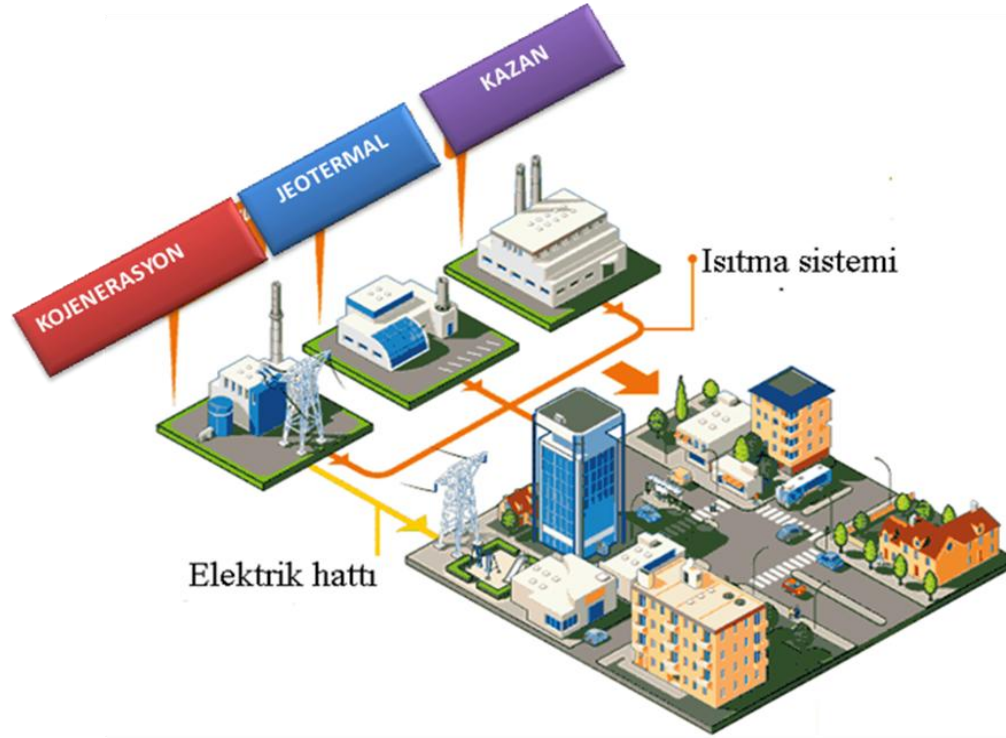
kötü yakıt ve yanma kaynaklı çevreye atılan emisyonlar ve büyük miktarlardaki enerji ithalatı, bölge ısıtma sistemleri sayesinde azaltılabilecektir. Ancak iletim, dağıtım ve bina altı sistemleri ile önemli bir yatırım ve organizasyon gerektiren bölge ısıtma sistemlerinin, bölgenin iklim, nüfus ve konut özelliklerine bağlı olarak yapılacak analizler ile ekonomik sınırlarının belirlenmesi gereklidir.

Bu çalışmada öncelikle bir bölgenin *ısı enerjisi talebinin** (ısıtma ve sıcak su temini için gerekli toplam ısı enerjisi) belirlenmesi amacı ile bir konuttaki ısı enerji talebi geliştirilen modeller ile hesaplanmıştır. Oluşturulan modellerin amacı, farklı konut özellikleri (yalıtım, döşeme alanı, pencere tipi, kat yüksekliği vb.) ve iklim parametreleri için bir konutun ısı enerjisi talebinin kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilmesini sağlamaktır. Daha sonra bu model kullanılarak bir bölgenin toplam ısı enerjisi talebinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Son olarak da bölge ısıtma sistemi ekonomik modeli geliştirilmiştir. Ekonomik model, konut sayısına bağlı olarak hesaplanan toplam ısı enerjisi talebi ile temel bölge parametreleri olan bölge alanı ve bina sayısına göre birim ısı enerjisi maliyetini belirlemektedir. Bölge ısıtma sistemlerinde birim ısı enerjisi maliyetinin hesaplanmasında kullanılmak üzere bazı parametreler (bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğu) kullanılmıştır. Bu parametreler kullanılarak farklı özelliklerdeki bölgeler için literatürdeki çalışmalarda bulunmayan analizler yapılmıştır. Analizlerde Matlab ve Excel yazılımları kullanılarak çeşitli programlar üretilmiştir.

1.1 Bölge Isıtma Sistemi

Bölge ısıtma sistemleri, merkezi bir santralde üretilen buhar ya da sıcak suyun yer altından geçen borular ile bir bölgeye ulaştırılarak, o bölgedeki binaların ısıtma ve sıcak su ihtiyaçlarının karşılandığı sistemlerdir (Şekil 1.2). Bölge ısıtma sistemleri ısı enerjisi kaynağı olarak kojenerasyon sistemlerini ve jeotermal enerjiyi kullanabileceği gibi sadece ısı amaçlı kurulan kazanları da kullanabilmektedir. Kojenerasyon sistemlerinde ayrıca bölgeye elektrik enerjisi de sağlanabilmektedir. Sıcak akışkanın ısı enerjisi kaynağından bölgeye taşınmasında kullanılan boru hatları ön yalıtımlı borulardan oluşur.

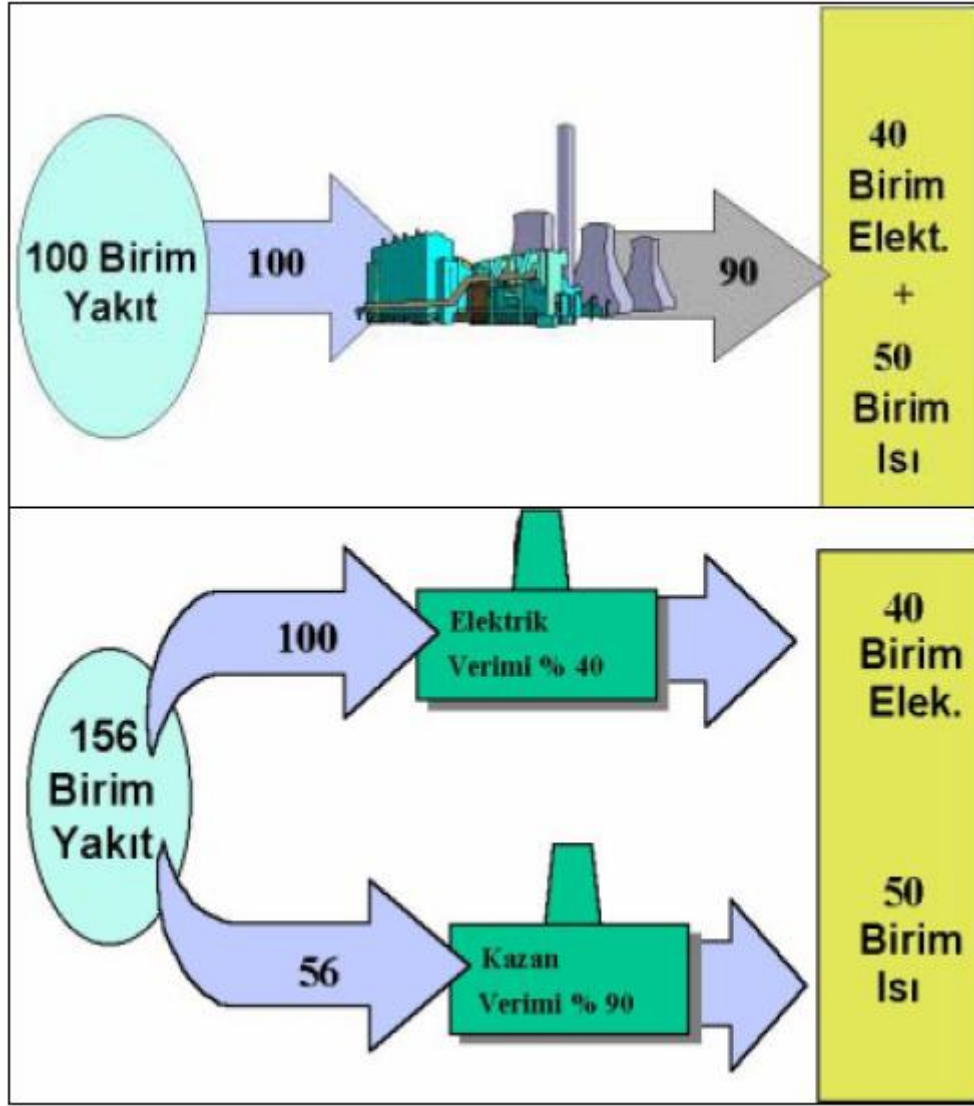
* Bu çalışmada “ısıtma enerjisi” ile ısınma amacıyla kullanılan enerji, “sıcak su temini enerjisi” ile sıcak su hazırlamak için gerekli olan enerji ve “ısı enerjisi” ile de ısıtma ile sıcak su temin enerjilerinin toplamı kastedilmektedir.



Şekil 1.2 Bölge ısıtma sistemi genel görünümü (S-D)[†]

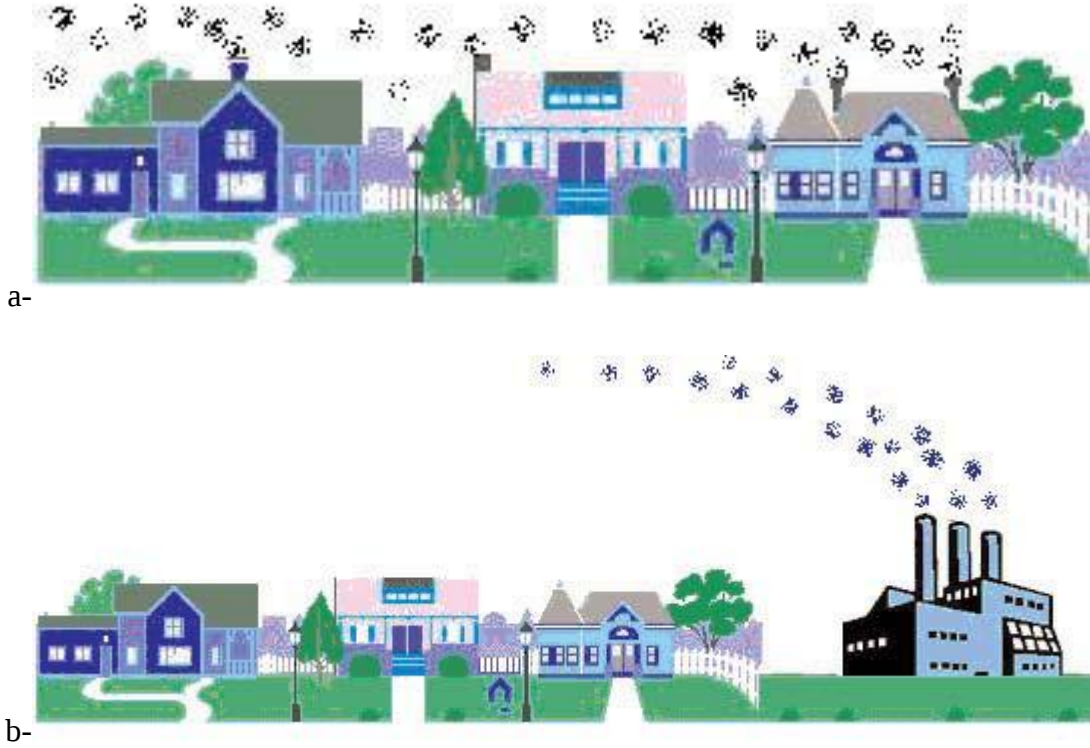
Bölge ısıtma sistemleri genel olarak hem ısı enerjisi kaynağı hem de ısı enerjisi talebinin karşılandığı bölge açısından daha verimli ve ekonomik bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin sadece elektrik üreten klasik kömür yakıtlı termik santralin termik verimi % 30 - 40 civarında iken, bu santralin elektrik ve ısı üretimini beraber yapması durumunda yararlanma oranı % 90'lara kadar ulaşabilir. Kojenerasyon sistemi olarak adlandırılan bu sistemlerde üretilen ısı enerjisi bölge ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Ayrıca kojenerasyon sistemleri sayesinde yakıt tüketimlerinde ve sera gazı salınım miktarlarında da azalma sağlanır.

[†] Türkçeleştirilmiştir.



Şekil 1.3 Ayrık ve kojenerasyon üretim sistemleri için enerji akış grafiği (Ağış Ö., 2009)

Bölge ısıtma sistemleri için de ısı enerjisi üretebilen kojenerasyon sistemiyle sağlanan fayda Şekil 1.3'te verilen enerji akış grafiklerinden incelenebilir. Isı enerjisi ve elektrik enerjisinin eşit miktarda üretildiği ayrık sistemde ve kojenerasyon sisteminde enerji girişleri birbirinden farklıdır. Şekil'de verilen ayrık sistemde aynı enerji üretimi için kojenerasyon sisteminden % 56 daha fazla yakıt girişine ihtiyaç duymaktadır. Elektrik ve ısı enerjisi beraber üretilerek yakıttan daha fazla fayda sağlanmaktadır. Bu analizi basitçe bir konut için düşünebileceğimiz gibi bir bölge için de düşünebiliriz.



Şekil 1.4 Bireysel sistemlerin (a) ve bölge ısıtma sistemlerinin (b) çevreye etkisi (DHCAN)

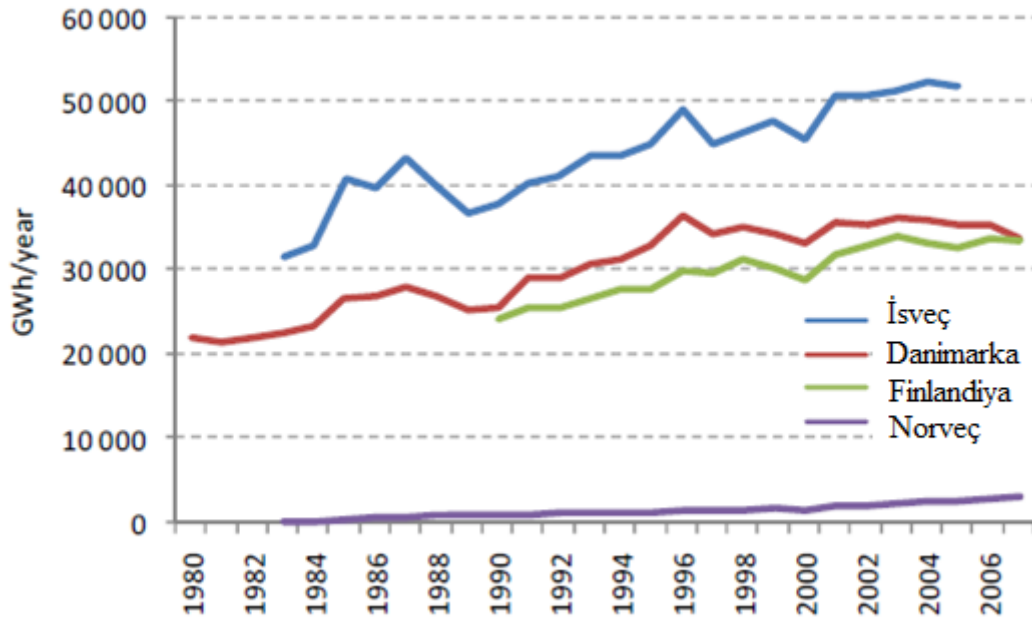
Bölge ısıtma sistemi ile bireysel sistemlerin olduğu iki bölgenin hava kirliliğine etkisi ile ilgili Şekil 1.4 incelenebilir. Bireysel ısıtma sistemlerinin olduğu bir bölgenin hava kalitesi bölge ısıtma sisteminin olduğu bölgeye göre çok daha kötü olur.

Bölge ısıtma sistemleri çok farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Ama temel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir (Çokoksen, 2010):

- Isı enerjisi kaynağına göre:
 - Jeotermal kaynaklar,
 - Merkezi kazan dairesi ısıtma santralleri,
 - Kojenerasyon sistemleri (Bileşik ısı güç santralleri),
 - Endüstriyel tesislerin atık ısıları (cam, döküm, petro-kimya tesisleri vb.),
 - Atık yakma tesisleri,
 - Güneş panelleri.
- Sistemde kullanılan akışkana göre:
 - Sıcak sulu (100 °C'ye kadar),
 - Kızgın sulu (100 °C'nin üzerinde, basınç altında),
 - Buharlı.

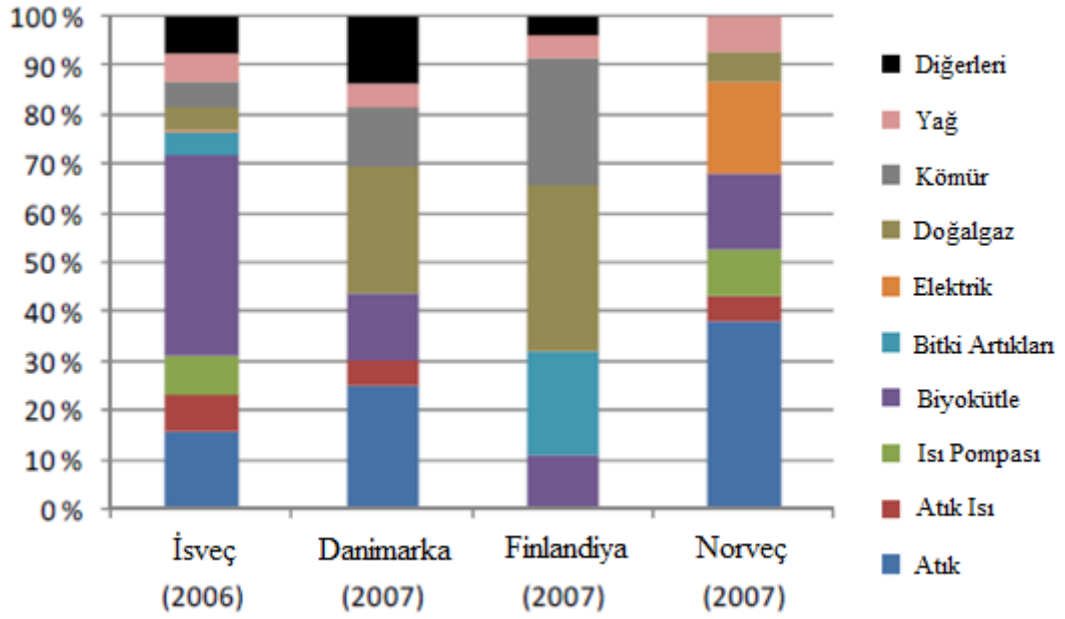
1.1.1 Bölge Isıtma Sistemlerinin Dünyadaki Durumu ve Uygulamaları

Bölge ısıtma sistemleri konutların ısıtılması amacıyla uzun yıllardır kullanılmaktadır. Avrupa ülkeleri başta olmak üzere birçok gelişmiş ülkede bölge ısıtma sistemi konutların ısıtılması alanında önemli bir paya sahiptir. Avrupa’da 5.000’den fazla bölge ısıtma sistemi mevcuttur. Bazı ülkelerdeki bölge ısıtma amaçlı kullanılan santraller Çizelge 1.1’de verilmiştir. Avrupa genelinde ısı enerjisi talebinin karşılanması açısından yaklaşık % 10’luk bir paya sahip olan bölge ısıtma sistemleri bazı ülkelerde % 50’yi aşabilmektedir. En yüksek paya sahip ülkeler Polonya ve Almanya’dır. Ayrıca İtalya ve Avusturya’da en yüksek büyüme oranına sahip ülkelerdir. Kopenhag, Helsinki ve Varşova gibi şehirlerde konut ısı enerjisi talebinin yaklaşık % 90’ı bölge ısıtma sistemi tarafından karşılanmaktadır. Avrupa için endüstriyel bölge ısıtmanın oranı da % 3,5 civarındadır (EUROHEAT). Kuzey Avrupa ülkelerindeki bölge ısıtma sisteminin gelişimi ve bu sistemlerde kullanılan yakıt türleri Şekil 1.5 ve Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.5 Kuzey Avrupa ülkelerindeki bölge ısıtma sisteminin gelişimi (Nordic Energy Perspectives, 2009)[‡]

[‡] Türkçeleştirilmiştir.



Şekil 1.6 Kuzey Avrupa ülkelerinde bölge ısıtma sistemlerinde kullanılan yakıt türleri (Nordic Energy Perspectives, 2009)[§]

Bölge ısıtma, çevre açısından da önemli bir konumdur. Yıllık 113 Mton CO₂ salınımı sadece bölge ısıtma sistemi tarafından engellenmektedir. Bu değer de Avrupa'nın toplam CO₂ salınımının % 2,6'lık kısmına eşit olmaktadır (EUROHEAT).

[§] Türkçeleştirilmiştir.

Çizelge 1.1 Farklı ülkelerdeki bölge ısıtma santralleri ve güçleri (ÇATES, 2009).

Santral Adı	Bulunduğu Ülke	Elektrik Gücü (MW _e)	Isı Gücü (MW _t)	Isı/Elektrik Güç oranı
Lichtenberg	Almanya	72	1,125	15.63
Klingenberg	Almanya	185	1,010	5.46
Hanasaari B	Finlandiya	220	445	2.02
Lichterfelde	Almanya	450	720	1.60
Moabit	Almanya	150	240	1.60
Mitte	Almanya	430	630	1.47
Charlottenburg	Almanya	215	300	1.40
Reuter	Almanya	165	230	1.39
Reuter West	Almanya	600	790	1.32
Avadore 1	Danimarka	250	300	1.20
Avadore 2	Danimarka	485	570	1.18
Wilmersdorf	Almanya	280	330	1.18
Fynsvaerket	Danimarka	685	775	1.13
Sandreuth	Almanya	440	440	1.00
Esenyurt	Türkiye	180	180	1.00
Rudow	Almanya	175	140	0.80
Amyntaio	Yunanistan	600	40	0.07

Dünya'daki ilk bölge ısıtma sistemi uygulaması Danimarka'nın Kopenhag şehrinde 1903 yılında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.7). Şehirdeki çöpler toplanıp bir çöp yakma tesisinde yakılarak ısı enerjisi üretilmiştir. Daha sonra üretilen ısı ile buhar üretilmiş ve buhar ile de bölgenin ısıtılması sağlanmıştır (DBDH). Bu tesisin ardında günümüzde daha modern tesisler kurularak bölge ısıtma sistemi kullanımı devam etmektedir (Şekil 1.8).

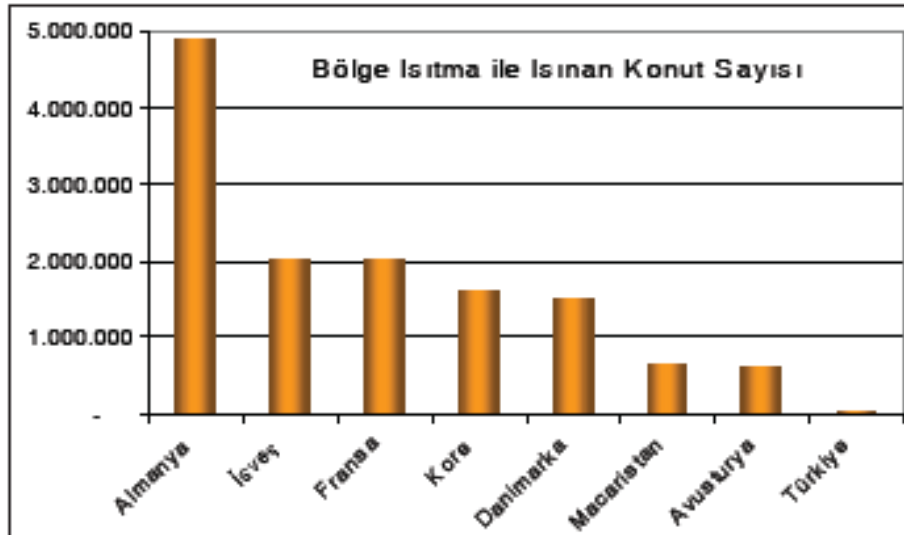


Şekil 1.7 Kopenhag'da (Danimarka) bölge ısıtma amacıyla kurulan ilk tesis (DBDH)



Şekil 1.8 Esbjerg’de (Danimarka) atık yakarak bölge ısıtma yapan modern bir tesis (DBDH)

Dünya’da bazı ülkelerdeki bölge ısıtma sistemi ile ısıtılan konut sayıları Şekil 1.9’da verilmiştir. Dünya’daki bu kullanım oranlarına karşın ülkemizde bölge ısıtma sistemi ile ısıtılan konut sayısı yaklaşık olarak 42.000 adettir. Bu değer diğer ülkelerdeki değerler ile karşılaştırıldığında ülkemizdeki kullanımının oldukça az olduğu görülmektedir (Güngör C., 2010).



Şekil 1.9 Çeşitli ülkelerde bölge ısıtma ile ısınan konut sayıları (Güngör C., 2010)

Ülkemizde kurulan ve hala hizmet veren 2 bölge ısıtma sistemi hakkındaki genel bilgiler şu şekildedir:

Esenkent Bölge Isıtma Sistemi (ÇATES, 2009)

Bölge ısıtma sistemi ülkemizde ilk olarak, İstanbul'da Esenyurt Belediyesi'nin Esenkent konut projesinde 1993 yılında uygulanmıştır. Sistem 180 MW'lık ısı kapasitesinde doğalgaz yakıtlı termik santrale sahiptir. Ayrıca santralde üretilen elektrik enerjisi ulusal şebekeye aktarılmaktadır.

Sistem atık ısıdan faydalanarak ve buhar türbininden buhar çekerek toplamda 180 MW ısı enerjisi üretebilmektedir. Yaklaşık olarak 10.000 konuta kesintisiz olarak ısınma ve sıcak su için enerji sağlamaktadır.

Balçova Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi (ÇATES, 2009)

Bölgedeki 8 farklı jeotermal kuyudan, üretim sıcaklığı 83 °C–135 °C aralığında değişen jeotermal akışkan elde edilebilmektedir. Bölge ısıtma sisteminde dolaşan suyun gidiş sıcaklığı jeotermal akışkan yardımıyla 80 °C – 90 °C aralığına ısıtılırken, dönüş sıcaklığı ise 42 °C – 60 °C aralığına düşürülmektedir. Böylece 6631 konut ile birlikte 2 otel ve 2 üniversitenin bulunduğu bölge ısıtılabilir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Bu bölümde tezin kapsamı içerisinde incelenen ulusal ve uluslararası yayınların kısa özetleri iki başlık altında verildi.

1.2.1 Binalarda Enerji Tüketimi

Emery ve Kippenhan (2006) yaptıkları çalışmada standartlara uygun olarak inşa edilen konutlardaki ısı enerjisi tüketimlerini kullanıcı davranışlarına bağlı olarak incelemişler. Bu incelemeyi yaparken hem deneysel olarak çalışmışlar hem de bina enerji simülasyon programlarından yararlanmışlardır. Sonuç olarak sıradan davranışlar sergileyen kullanıcıların olduğu konutlardaki hesaplamaların kullanıcı davranışları hesaba katılmadan yapılabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte enerji tasarrufu için etkin önlemler almaya çalışan kullanıcıların olduğu konutlarda kullanıcı davranışlarının da hesaba katılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Wojdyga (2008) yaptığı çalışmada bölge ısıtma sistemlerinin ısı yükü üzerindeki sıcaklık, rüzgâr ve güneş ışıınımı gibi iklimsel parametrelerin etkisini incelemiştir. Bu değişkenlere bağlı olarak bölge ısıtma sisteminin yükünü tahmin edebilecek ampirik bağıntılar üretilmiştir.

Ihara vd. (2008) Tokyo'nun bazı iş hayatının yoğunluklu olduğu bölgelerinde elektrik tüketiminin nasıl değiştiğini incelemiştir. Temel olarak hava sıcaklığına ve nem oranına bağlı olarak analizler yapmışlardır. Yılın hangi dönemlerinde ve günün hangi saatlerinde hangi parametrelerin etkili olduklarını belirlemişlerdir.

Valor vd. (2001) çalışmalarında elektrik tüketiminin sıcaklığa bağlı analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen ampirik bağıntılarla elektrik tüketiminin tahmin edilmesine çalışmışlardır.

Gagliavd. (2007) konut dışı binaların enerji tüketimi, gaz salınımı ve potansiyel enerji tasarrufu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada farklı tipteki, yaştaki ve iklim bölgesindeki binalar incelenmiştir. En etkili tasarruf önlemlerinin dış hava temaslı duvarların yalıtımı, verimli ampullerin kullanılması vb. olduğunu belirlemişlerdir.

Psiloglou vd. (2009) elektrik tüketiminin sıcaklığa bağlı değişimini iki farklı şehir için incelemişler. Daha sonra iki şehir için elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Düşük elektrik tüketimi için optimum dış sıcaklıkların iki şehir için farklı olduğunu belirlemişlerdir.

Matzarakis ve Balafoutis (2004) ısıtma-derece gün değerlerini sıcaklığa bağlı olarak; sıcaklığı da coğrafi faktörler, enlem, boylam, rakım ve denizden uzaklığa bağlı olarak incelemişlerdir. Elde edilen haritalar ile yakıt tüketiminin hangi bölgelerde fazla hangi bölgelerde az olduğunu belirlemişlerdir.

Durmayaz ve Kadioğlu (2003) çalışmalarında Türkiye'nin 5 büyük şehri için ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yakıt tüketimi incelemesi gerçekleştirmişlerdir. İncelemelerini bir apartman binası üzerinde ve derece-saat yöntemi ile yapmışlardır. Binadaki farklı özellikler için (konstrüksiyon özellikleri, pencere alanı, cam tipi ve enfiltrasyon oranı) hesaplamaları yaparak maksimum ve minimum noktaları tespit etmişlerdir. Ayrıca sundukları yöntemin herhangi bir bölge için uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Neidhart ve Sester (2004) çalışmalarında bir bölgedeki bina hacimlerinin 3-boyutlu lazer tarama ile nasıl gerçekleştirileceğini anlatmışlardır. Ayrıca binaların yaş ve tipe bağlı sınıflandırılmasını da incelemişlerdir. Ayrıca elde edilen sonuçlar geleneksel yöntemin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların güvenilir olduğu ve ısı atlası (haritası) olmayan bölgelerde uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

KEP-SDM^{**} (2008) çalışmasında enerji verimliliği yasası hükümlerince hazırlanmış ve konutların enerji performansının belirlenmesi amacıyla çeşitli ülkelerin ve Avrupa Standartlarından yararlanılarak oluşturulmuş bir yöntem anlatılmaktadır. Sunulan yöntem aylık zaman periyotlarında çalışmaktadır.

Pedersen vd. (2008) binaların elektrik ve ısı yükünün tahmini için bir yöntem sunmuşlardır. Yöntem farklı bina tipleri için ölçülen saatlik verileri kullanıyor. Isı yükünü bölge ısıtma sisteminden alınan saatlik değerlerle günlük ortalama sıcaklık değerleri üzerinden doğrusal regresyonla belirlenmeye çalışılıyor. Bina tipine bağlı olarak özgül ısı yükü üzerinden hesap yapıyor.

Pedersen ve Ulseth (2006) çalışmasında saatlik ısı enerjisi tüketimi (bölge ısıtma sisteminden alınan) ve elektrik tüketimi verilerini kullanarak eğri uydurma ve istatistiksel dağılım yöntemleri ile ısı talebini tahmin etmeye çalışmışlardır. Farklı bina tipleri için yük eğrilerini çıkartmışlardır.

Swan ve Ugursal (2009) çalışmalarında konutların enerji tüketimlerinin modellenme tekniklerini özetlemişlerdir. Her yöntem için olumlu-olumsuz yönler ortaya konulmuştur.

Aydinalp vd. (2003) çalışmalarında konutların enerji tüketimlerinde kullanılan 3 adet yöntemin incelemesini ve karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Her yöntem farklı durumlarda en iyi sonuçları verebilmekte ve kendine özgü olumlu-olumsuz yönleri sahip olabilmektedir.

Ruan vd. (2009) çalışmalarında ticari binalar için uygun dağıtılmış güç üretim teknolojilerinin seçimini incelemişlerdir. Hastane ve otellerin bu tip sistemler için çok uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Bansal ve Bhattacharya (2009) binaların enerji tüketimi ve yük tahmini için yalıtım durumuna bağlı olarak analizlerin gerçekleştirildiği bir çalışma ortaya koymuşlardır. Optimum yalıtım kalınlığı ve U-değeri gibi sonuçlara ulaşmışlardır.

Shimoda vd. (2004) konutlardaki enerji tüketiminin şehir bazında yıllık tahmini konusunda çalışmışlardır. Değişken olarak da kullanıcı özelliklerini ve aktivitelerini, iklim parametrelerini, aletlerin elektrik tüketimlerini ve bina tiplerini incelemişlerdir. Sonuçları istatistikî verilerle karşılaştırmışlardır.

^{**} Konutlarda Enerji Performansı Standard Değerlendirme Metodu

Ozturk vd. (2004) konutların ve ticari binaların enerji talebinin tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada etkin parametreler çeşitli senaryolarla incelenmiştir. Önerilen yöntemlerin yasal düzenlemelerin şekillendirilmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Santin vd. (2009) çalışmalarında yalıtım seviyesinin konutların ısı enerji ihtiyaçları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ayrıca yalıtımın belli seviyelerinden sonra bina tipinin ve kullanıcı özelliklerinin nasıl daha etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Pedersen (2007) çalışmasında ısı yükler ve enerji tahminleri üzerindeki iklim parametrelerinin ve sosyal farklılıkların etkisini incelemiştir. Analizlerde farklı yöntemler (Regresyon, simülasyon ve akıllı bilgisayar sistemleri) kullanmış ve en uygun yöntemi tespit etmeye çalışmıştır.

1.2.2 Bölge Isıtma Sistemi

Hlebnikov ve Siirde (2008) çalışmalarında Estonya'daki eski bölge ısıtma sistemlerinin yapılan yenileştirmelerle verimliliklerindeki artışı incelemiştir. Eski sistem ve optimize edilmiş haliyle teknik ve ekonomik açılardan karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak da verimlilik artış oranı tespit edilmiştir.

Brkic ve Tanaskovic (2008) çalışmalarında bir bölgede doğalgazlı bireysel sistemlerin ya da bölge ısıtma sisteminin olması durumlarını basit bir model geliştirerek karşılaştırmıştır. Oluşturulan model bir bölgeyi birim alan yaklaşımı ile sahip olduğu bina sayısı ve ısı enerjisi yüküne bağlı olarak küçük bölgelere ayırmakta ve binaların bölgede simetrik olarak dağıldığını düşünerek sistem için gerekli boru hattı ve diğer elemanların yerleşimini yapmaktadır. Farklı durumlar için elde edilen sonuçlar verilerek örnek bir analiz gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yalıtım durumuna bağlı olarak sonuçların nasıl değişkenlik gösterebileceği incelenmiştir.

Verda ve Ciano (2005) çalışmalarında bölge ısıtma sistemi boru hattı tasarımının optimizasyonunun nasıl gerçekleştirilebileceğini incelemişlerdir. Optimizasyon parametresi olarak da birim ısı enerjisi maliyetini kullanmışlardır. Farklı yöntemlerle analizleri gerçekleştirerek en uygun yöntemi tespit etmişlerdir.

Reidhav ve Werner (2006) çalışmalarında var olan bölge ısıtma sistemlerinin genişletilmesinin teknik ve ekonomik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analizlerin müstakil konutların olduğu bölgelerde nasıl sonuç vereceğini incelemişlerdir. Konut başına

maliyetlerin nasıl gerçekleşeceğini hesaplamışlardır.

Nilsson vd. (2008) yayınlarında İsveç'te 2002-2006 yılları arasında yürütülen dağınık bölge ısıtma sistemi araştırma programının (sparse district-heating research programme) sonuçlarını özetlemişlerdir.

Olsen vd. (2008) çalışmalarında düşük enerji yüküne sahip binaların bulunduğu bölgelerde düşük sıcaklıklı bölge ısıtma sisteminin uygun olabileceğini göstermeye çalışmışlardır. İyi yalıtılmış ve küçük çaplı ikiz boruların kullanılmasının bu durumun çözümü olduğunu öne sürmüşlerdir.

Durmayaz vd. (2000) çalışmalarında örnek bir bina üzerinden giderek farklı parametrelere bağlı olarak İstanbul'un ısı enerjisi talebi ve yakıt tüketimini derece-saat yöntemi ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Kullanılan yöntemin herhangi bir bölgeye kolayca uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Sarak ve Satman (2003) çalışmalarında konut sektöründeki doğalgaz tüketiminin derece-gün yöntemi ile nasıl bulunduğunu anlatmışlardır. Ayrıca Türkiye için örnek analizler sunmuşlardır. Sonuçların gerçek değerlerle örtüştüğü belirtilmiştir.

Mori vd. (2006) çalışmalarında bir bölgenin ısı enerjisi talebinin coğrafi bilgi sistemi ile nasıl belirlenebileceğini incelemişlerdir. Bunun için öncelikle bölgedeki bina sayıları, tipleri ve taban alanları belirlemişlerdir. Daha sonra da bina tiplerine göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Son olarak da farklı tipler için ölçüm değerleri kullanılarak bölge enerji talebi belirlenmeye çalışılmıştır.

Agioutantis ve Bekas (2000) çalışmalarında bir bölgeye jeotermal kaynaklı bölge ısıtma sisteminin kurulmasının analizini yapmışlardır. Enerji talebi için bölgenin yalıtım durumu ülke için hazırlanan yalıtım sınıflandırmasına göre belli bir sınıfta kabul edilmiştir ve buna göre de referans bir bina için hesap yapılmıştır. Yöntem olarak derece-saat kullanılmıştır.

Dotzauer (2002) çalışmasında var olan bir bölge ısıtma sisteminin çalışmasının optimize edilmesi incelemiştir. Bunun için en başta ısı enerjisi talebinin tahmin edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Enerji yükü üzerinde etkisi bulunan en önemli parametrelerin dış ortam sıcaklığı ve kullanım özellikleri olduğunu belirtmiştir. Bu sonuca göre ısı enerjisi talebini sıcaklık ve kullanım özelliklerine bağlı olarak ve geçmiş verileri kullanarak tahmin edebilecek basit bir yöntem geliştirmiştir.

Difs vd. (2009) çalışmalarında endüstride bölge ısıtma sisteminin kullanılabilirliğini

incelemişlerdir. Isı enerjisi talebinin farklı tip endüstriler ve prosesler için değişimi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çevresel, teknik ve ekonomik açılardan değerlendirilmiş ve ne kadar önemli oldukları vurgulanmıştır.

Lund ve Ostergaard (2000) çalışmalarında var olan elektrik ağının sürdürülebilirlik açısından yeni bir ağ ile değiştirilmesinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Değişimle beraber kombine çevrimin ve yenilenebilir enerjinin (rüzgâr) kullanımının daha uygun olacağı vurgulanmıştır.

Reidhav ve Werner (2008) çalışmalarında düşük ısı enerjisi yoğunluklu bölgeler için bölge ısıtma sisteminin analizini yapmışlardır. Muhtemel problemin dağıtım masraflarının fazla olması olduğu belirtilmiştir. Bu tip bölgelerde doğalgaz, elektrik ve fuel-oil için fazla tüketim vergilerinin olması durumunda bölge ısıtmanın uygun olabileceği sonucuna varılmaktadır.

Klugman vd. (2008) çalışmalarında endüstriyel tesisleri elektrik ve ısı enerjisi açısından modellemişler ve bölge ısıtma sistemiyle arasında ilişki kurmuşlardır. Sonuçların enerji maliyetlerine bağlı olmadığı, bu nedenle de dünyanın herhangi bir bölgesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Möller ve Lund (2010) çalışmalarında doğalgaz verilen ve bireysel ısıtma sistemine sahip bölgelere bölge ısıtma sisteminin getirilmesinin uygun olup olmadığını teknik, ekonomik ve çevresel açılardan değerlendirmişlerdir. Ayrıca ısı enerjisi haritası yöntemini kullanmışlardır.

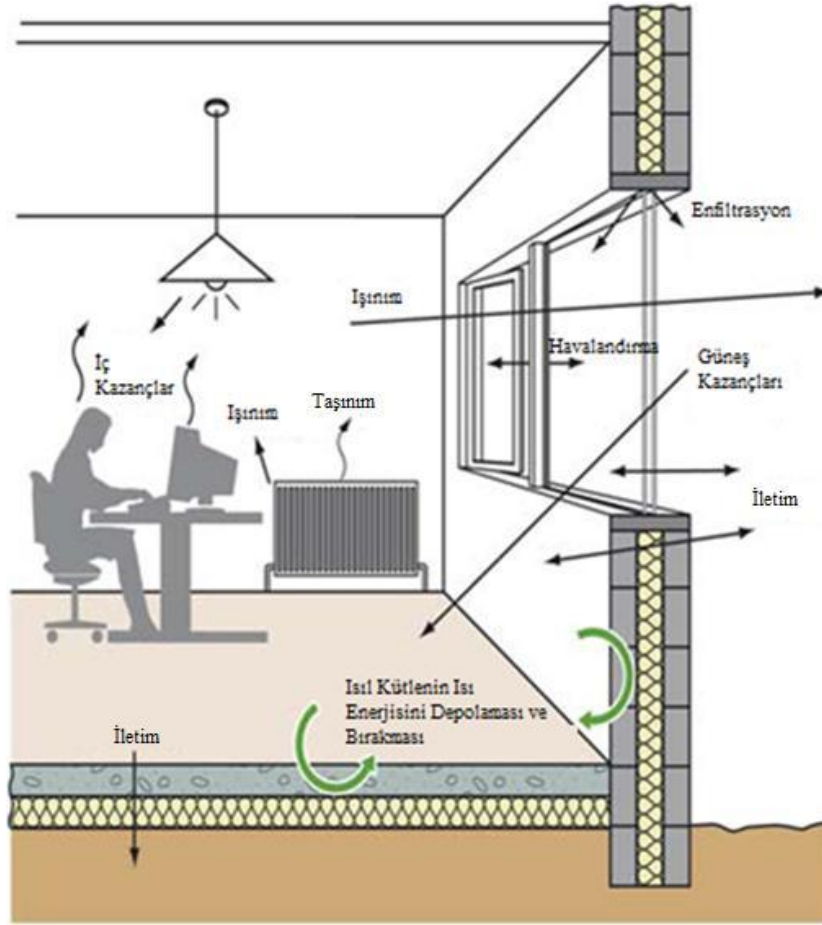
Sjödin ve Henning (2004) çalışmalarında bölge ısıtma sistemini maliyetler açısından inceleyerek maliyeti etkileyen faktörleri analiz etmişlerdir. Kullanılan üç farklı yöntemin de benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Birim fiyatların sabit değil de değişken olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Sundberg ve Henning (2002) çalışmalarında ısı enerjisi ve elektrik üretimi için uygun sistem ve yakıtın belirlenmesini analiz etmişlerdir. Ayrıca devlet desteklerinin, yakıt fiyatlarının ve elektrik fiyatlarının bunun üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

2. KONUTLARIN ISITMA AMAÇLI ENERJİ TALEBİNİN MODELLENMESİ

Bu bölüm bölge ısıtma sistemi modelinin temelini oluşturan konutların ısı enerjisi talebinin belirlenmesiyle ilgili hesaplamaları içermektedir. Bir bölgeyi oluşturan en küçük birim konuttur. Konutların ısıtma amaçlı enerji talebinin hesaplanması için literatürde birçok yöntem mevcuttur. Yöntemleri farklı açılardan sınıflandırmak mümkündür:

- Hesap periyodu (saatlik, günlük, aylık vb.),
- Kapsam (basit, detaylı vb.),
- Hassasiyet (statik, dinamik vb.).



Şekil 2.1 Bina içi enerji akışları (European Concrete Platform, 2007)^{††}

Bir konut içindeki enerji akışı (Şekil 2.1) bina elemanları, iklim özellikleri ve ısıtma sistemlerine bağlı birçok faktörden etkilenmektedir (Şekil 2.2). Konutun ısı enerjisi talebi genellikle dış ve iç ortam sıcaklık farkına ve zamana göre değişir. Binalar için ısıtma sistemlerinin modellenmesi oldukça zordur. Bunun sebebi birkaç örnek ile açıklanabilir.

^{††} Türkçeleştirilmiştir.

standartlarında da (EN 13790^{§§}) yer almaktadır ve dünyanın birçok ülkesinde kullanılmaktadır. Yöntemin en önemli özelliği basit ve sonuçlarının güvenilir olmasıdır. Aylık hesap yönteminin detayları sonraki bölümlerde detaylı olarak verildi.

Ülkemizde son yıllarda önem kazanan enerji verimliliği konusunda çalışmalar devletin çeşitli organları tarafından farklı alanlarda yürütülmektedir. Bu konuda yapılan en önemli çalışmalar çıkarılan Enerji Verimliliği Kanunu (2007) ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğidir (2008). Bu yasal düzenlemelerle birlikte binaların enerji performansının hesaplanabilmesi (BEP-HY) için yapılan çalışmalar da bu konudaki önemli gelişmelerdendir. Bina enerji performans (BEP, BEP-TR) yöntemi Avrupa Birliği standartlarındaki saatlik yöntemden yararlanılarak geliştirilmiştir.

2.1 Aylık Hesap Yöntemi

2.1.1 Isıtma Enerjisi Talebi Hesabı

Isıtma enerjisi talebi hesabının detayları TS 825’de anlatıldığı için bu bölümde sadece genel hatlarıyla anlatıldı. Aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sırasıyla aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \quad [J] \quad (2.1)$$

$$Q_{yıl} = \sum_{i=1}^{12} \dot{Q}_{ay(i)} \quad [J] \quad (2.2)$$

Burada:

$Q_{yıl}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı,
Q_{ay}	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı,
H	Binanın özgül ısı enerjisi kaybı (W/K),
θ_i	Aylık ortalama iç sıcaklık (°C),
θ_e	Aylık ortalama dış sıcaklık (°C),
η_{ay}	Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü (birimsiz),
$\phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç enerji kazançları (sabit alınabilir) (W),
$\phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W),
t	Zaman, (saniye olarak bir ay = 86400 x 30) (s)’dir.

§§ “EN 13790 - Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling” Standardı

Bu çalışmada sadece ısıtma ile ilgili hesap yapıldığı, yani soğutma dikkate alınmadığı için Q_{ay} ifadesinin negatif çıktığı durumlar dikkate alınmamıştır.

2.1.1.1 Birim (Özgöl) Isı Enerjisi Kaybı Hesabı

Bir konutun özgöl ısı enerjisi kaybı değeri iletim-taşıyım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı enerjisi kayıplarının toplamına eşittir.

$$H = H_T + H_V \quad [W/K] \quad (2.3)$$

Burada:

H_T İletim-taşıyım yoluyla gerçekleşen özgöl ısı enerjisi kaybı (W/K),

H_V Havalandırma yoluyla gerçekleşen özgöl ısı enerjisi kaybıdır (W/K).

İletim ve Taşıyım Yoluyla Gerçekleşen Isı Enerjisi Kaybı

İletim-taşıyım yoluyla gerçekleşen ısı enerjisi kaybı Denklem 2.4 ile hesaplanır.

$$H_T = \Sigma A.U + I . U_I \quad [W/K] \quad (2.4)$$

$$\Sigma AU = U_D A_D + U_p . A_p + U_k . A_k + 0.8 U_T . A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \quad [W/K] \quad (2.5)$$

Burada:

U_D Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_p Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_k Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_T Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_t Zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_d Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_{ds} Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_I Isı köprüsü doğrusal ısıl geçirgenlik katsayısı (W/mK),

I Isı köprüsü uzunluğu (m),

A_D Dış duvarın alanı (m²),

A_p Pencerenin alanı (m²),

A_k Dış kapının alanı (m²),

A_T Tavan alanı (m²),

A_t Zemine oturan taban/döşeme alanı (m²),

A_d Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı (m²),

A_{ds} Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanıdır (m²).

Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Enerjisi Kaybı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı Denklem 2.6 ile hesaplanır.

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V' = \rho \cdot c \cdot n_h V_h = 0.33 n_h \cdot V_h \quad [\text{W/K}] \quad (2.6)$$

Burada:

- ρ Havanın yoğunluğu (kg/m^3),
- C Havanın özgül ısısı (J/kgK),
- V' Hacimce hava değişim debisi (m^3/h),
- n_h Hava değişim oranı (h^{-1}),
- V_h Havalandırılan hacimdir ($V_h = 0,8 \times V_{\text{brüt}}$) (m^3).

Doğal havalandırma yapılan konutların hava değişim oranı (n_h) $0,8 \text{ h}^{-1}$ alınabilir.

2.1.1.2 Konut İç Enerji Kazançları

Konutlarda farklı ısı enerjisi kaynaklarından dolayı iç enerji kazançları olur. Örneğin içerideki insanlardan kaynaklanan metabolik ısı ve aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı enerjisi ortamın sıcaklığını artırıcı etki yaparlar. İç enerji kazançları için basit bir yaklaşım söz konusudur:

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda:

$$\phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n \quad (\text{W}) \text{ ve}$$

Yüksek iç enerji kazançlı binalarda:

$$\phi_{i,ay} \leq 10 \cdot A_n \quad (\text{W})' \text{dır.}$$

Burada:

A_n Bina kullanım alanıdır (m^2).

$$A_n = 0,32 \cdot V_{\text{brüt}} \quad (2.7)$$

$V_{\text{brüt}}$ Binanın ısıtılan brüt hacmidir (m^3).

2.1.1.3 Konut Güneş Enerjisi Kazançları

Güneş enerjisi kazançlarının hesaplanmasında sadece doğrudan gerçekleşen kazançlar dikkate alınır. Dolaylı yollarla gerçekleşen kazançlar (örneğin dış duvara düşen güneş ışınımının etkisi) hesaplarda yer almaz. Güneş enerjisi kazançları şu şekilde hesaplanır:

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \cdot g_{i,ay} \cdot I_{i,ay} \cdot A_i \quad [\text{W}] \quad (2.8)$$

Burada:

- $r_{i,ay}$ “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü,
 $g_{i,ay}$ “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirime faktörü,
 $I_{i,ay}$ “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınlamı şiddeti (W/m^2),
 A_i “i” yönündeki toplam pencere alanıdır (m^2).

Ortalama ışınlam değerleri bahsi geçen standartta yer alan tablolardan alınır.

2.1.1.4 Kazanç Kullanım Faktörü

İç ısı ve güneş enerjisi kazançlarının tamamının konut içerisinde ısı enerjisi talebini azaltıcı etki yaptığını düşünmek yanlış olacağından bu değerler kazanç kullanım faktörü ile çarpılarak hesaplamalara dâhil edilir. Bu faktör aynı zamanda konut ısıl kütle etkisini (bina yapısal elemanlarının ve bina içerisindeki eşyaların ısı enerjisini depolaması) de içerisinde barındırır. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü Denklem 2.9 ile hesaplanır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (2.9)$$

Burada:

KKO_{ay} Kazanç / kayıp oranı olup Denklem 2.10 ile hesaplanır.

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H.(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (2.10)$$

Burada:

- $\theta_{i,ay}$ Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$),
 $\theta_{e,ay}$ Aylık ortalama dış hava sıcaklığı ($^{\circ}C$),
 $\phi_{i,ay}$ Aylık iç kazançlar (W),
 $\phi_{s,ay}$ Aylık ortalama güneş enerjisi kazancıdır (W).

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

2.1.1.5 Isıtma Enerjisi Talebi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Genel hatlarıyla anlatılan hesaplama yönteminin sonuçlarının değerlendirme aşamasında bazı tablolar kullanılır (Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2). Bu tablodaki sınır değerlere bağlı olarak hesaplamaları yapılan konutun standartlara uygun olup olmadığına karar verilir.

Çizelge 2.1 En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri (TS 825)

		$A/V < 0,2$ için	$A/V > 1,05$ için	
1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1,DG} =$	19,2	56,7	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1,DG} =$	6,2	18,2	kWh/m ³ ,yıl
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2,DG} =$	38,4	97,9	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2,DG} =$	12,3	31,3	kWh/m ³ ,yıl
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3,DG} =$	51,7	116,5	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3,DG} =$	16,6	37,3	kWh/m ³ ,yıl
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4,DG} =$	67,3	137,6	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4,DG} =$	21,6	44,1	kWh/m ³ ,yıl

Çizelge 2.2 Bölgeler ve ara değer $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri (TS 825)

1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1,DG} =$	44,1 x A/V + 10,4	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1,DG} =$	14,1 x A/V + 3,4	[kWh/m ³ ,yıl]
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2,DG} =$	70 x A/V + 24,4	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2,DG} =$	22,4 x A/V + 7,8	[kWh/m ³ ,yıl]
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3,DG} =$	76,3 x A/V + 36,4	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3,DG} =$	24,4 x A/V + 11,7	[kWh/m ³ ,yıl]
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4,DG} =$	82,8 x A/V + 50,7	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4,DG} =$	26,5 x A/V + 16,3	[kWh/m ³ ,yıl]

2.1.2 Kullanım Sıcak Suyu Enerjisinin Hesabı

Sıcak su ihtiyacı, toplam enerji ihtiyacının hesaplanması için gerekmektedir. Sıcak su hesabı ile ilgili literatürde bazı yaklaşımlar bulunmakla birlikte tespiti zor bazı etkenlere bağlı olduğu için genel bir yöntem söz konusu değildir. Bu çalışmada hesaplamaları basitleştirebilmek için EN 15316-3-1^{***} Standardındaki yöntem kullanıldı.

$$Q_{sıcak_su} = V_{sıcak_su} \cdot c_{su} \cdot \Delta T \cdot t \quad [J] \quad (2.11)$$

Burada:

*** “EN 15316-3-1 - Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 3-1:Domestic hot water systems, characterisation of needs “ Standardı

$Q_{sıcak_su}$ Sıcak su saatlik ısı enerjisi ihtiyacı,
 $V_{sıcak_su}$ Günlük sıcak su ihtiyacı (lt/gun),
 c_{su} Özgül ısı (=1,163) (W.h/kg.K),
 ΔT Şebeke suyu sıcaklığı ile sıcak suyun getirildiği sıcaklık arasındaki farktır.

Günlük sıcak su temini için gerekli enerji ihtiyacını konutun döşeme alanına bağlı olarak hesaplamak amacıyla şu formül kullanıldı:

$$V_{sıcak_su} = 39,5 \cdot \ln(A_{döşeme}) - 90,2 \quad [\text{lt/gun}] \quad (2.12)$$

Burada:

$A_{döşeme}$ Döşeme alanıdır (m^2).

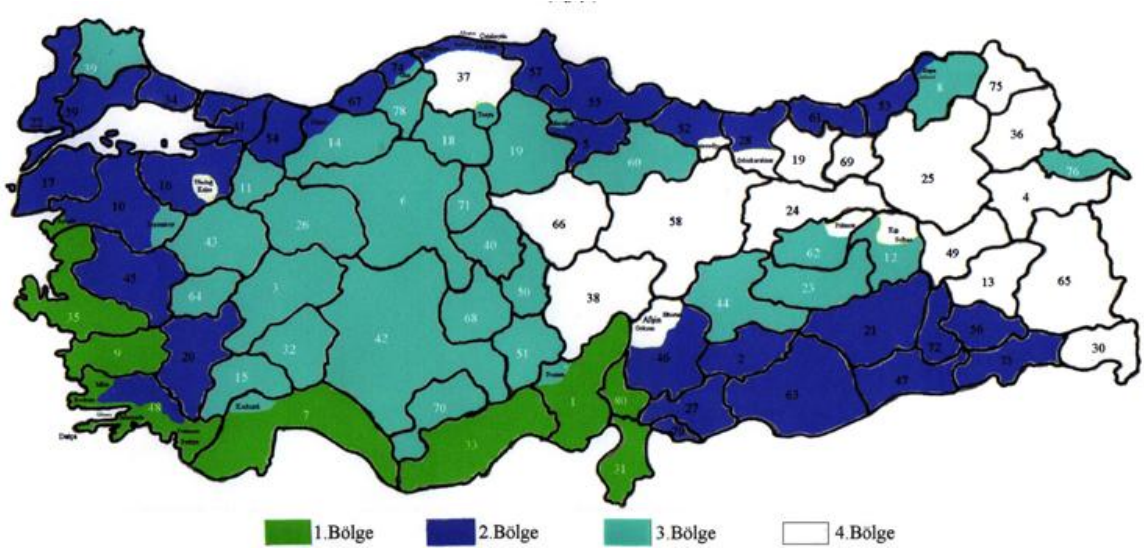
Kullanım suyu sıcaklığı genellikle 60°C , şebeke suyu sıcaklığı da mevsimsel olarak değişmekle birlikte genellikle 10°C olarak alınır. Hesaplama bu değerler kabul edildi.

2.2 İklim Verilerinin İncelenmesi

Bir konutun ısıtma ya da soğutma talebini belirleyen en önemli faktör, konutun içi ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkıdır. Bu nedenle hesaplamalarda kullanılan verilerin o bölgeyi temsil edebilecek nitelikte olması gerekir. Bu amaçla genellikle uzun yıllara ait verilerin ortalaması alınarak hesaplamalarda kullanılacak veriler oluşturulur. Bu yöntem basit olmakla beraber bütün dünyada kullanılmaktadır. Bu yöntemin dışında dünyada kullanılan bir diğer yöntem de Tipik İklim Yılı (Typical Meteorological Year - TMY) yöntemidir. TMY yöntemi basit yöntemle oranla daha gerçekçi olarak kabul edilmektedir. TMY ile ilgili detaylar daha sonraki bölümlerde anlatıldı.

TS 825’de kullanılan aylık sıcaklık ve güneşlenme şiddeti değerleri yıllar önce belirlenen uzun yıllara ait ortalama değerlerdir. Bu değerlerin aslında devamlı güncellenmesi gerekir. Ancak hala yıllar önce belirlenen değerler kullanılmaktadır. Hesaplamalarda bu değerler kullanılmakla beraber farklı şekillerde oluşturulan verilerin sonuçları ile de karşılaştırmalar yapıldı.

Standartlarda Türkiye 4 iklim bölgesine ayrılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan iklim verileri bu 4 bölge için hazırlanmıştır. 4 iklim bölgesi, illerin derece-gün değerlerine göre oluşturulmuştur. İklim bölgeleri Şekil 2.3’de görülebilir. Ülkemiz için hazırlanan bu iklim bölgelerinin çok kaba bir yaklaşımla yapıldığı Pusat ve Ekmekçi’nin çalışmasında yer almaktadır (2010). Bu çalışmada aynı zamanda farklı bir yöntemle yapılan iklim bölgelerine ayırma işleminin sonuçları da yer almaktadır.



Şekil 2.3 Derece-gün bölgeleri ve şehirler (TS 825)

İklim bölgeleri için verilen aylık sıcaklık ortalamaları Çizelge 2.3’de görülebilir. Aynı iklim bölgesinde yer alan illere bakıldığında bu verilerin kullanılmasının doğru olamayacağı anlaşılabılır. Örneğin farklı iklimsel özelliklere sahip İstanbul ile Mardin’in aynı bölgede yer alması bu hesapların çok basit bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.3 Bölgeler için aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları, °C

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

Sıcaklık dışında bir diğer önemli iklim parametresi de güneşlenme şiddetidir. Bu değişken için Türkiye’nin tamamını kapsayan bir tablo verilmiştir (Çizelge 2.4). Bu kadar geniş bir coğrafyaya yayılan Türkiye için tek bir tablo verilmesinin ne kadar basit bir yaklaşım olduğu ortadadır.

Çizelge 2.4 Aylık ortalama güneşlenme şiddeti, W/m² (TS 825)

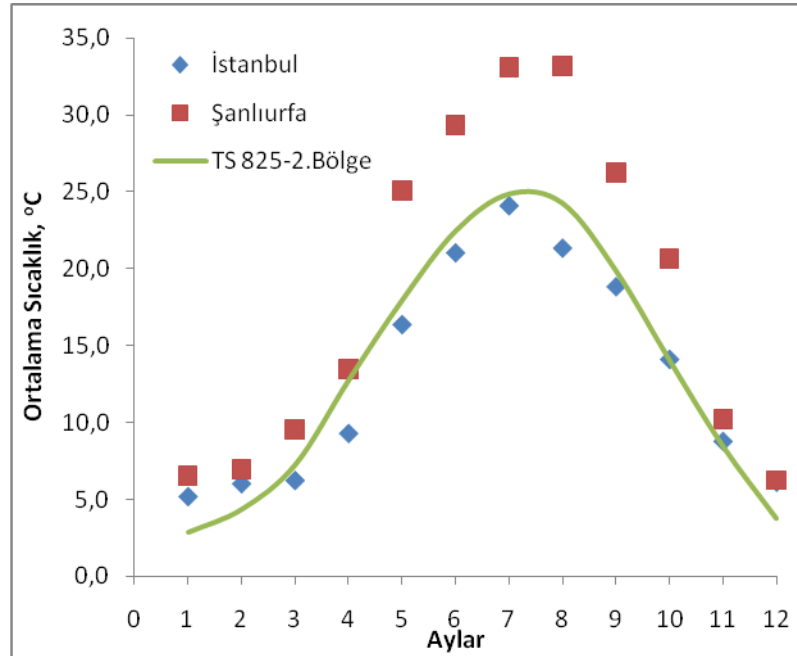
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
I _{güney}	72	84	87	90	92	95	93	93	89	82	67	64
I _{kuzey}	26	37	52	66	79	83	81	73	57	40	27	22
I _{batı/doğu}	43	57	77	90	114	122	118	106	81	59	41	37

2.2.1 İklim Verilerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde iklim verileri ve iklim bölgeleri arasındaki ilişki incelendi. Analiz için 2. derece-gün bölgesinde yer alan Şanlıurfa ve İstanbul seçildi. Öncelikle 2 ilin verisi sıcaklık açısından incelendi. Çizelge 2.5 ve Şekil 2.4'te de görüleceği üzere aynı iklim bölgesinde yer alan 2 şehir ve standarttaki veriler arasında büyük farklılıklar görülmektedir. Burada İstanbul ve Şanlıurfa için kullanılan ortalama veriler daha önce yapılan TMY analizi çalışmasından alınmıştır (Pusat, 2009).

Çizelge 2.5 İstanbul ve Urfa için ortalama sıcaklık değerleri, °C

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
İstanbul	5,2	6,0	6,2	9,3	16,4	21,0	24,1	21,4	18,8	14,1	8,8	6,1	13,1
Şanlıurfa	6,6	7,0	9,6	13,5	25,1	29,3	33,1	33,2	26,2	20,7	10,2	6,2	18,4



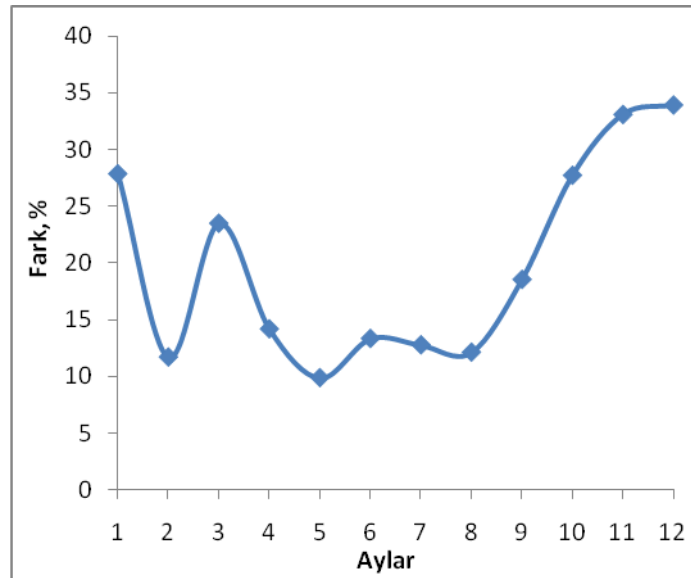
Şekil 2.4 Ortalama dış ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması

Sıcaklık verileri için yapılan analizlerden sonra benzer bir analiz güneş ışıınımı verileri kullanılarak aynı 2 şehir (aynı iklim bölgesindeki) için yapıldı. Kullanılan veriler bu sefer

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) çalışmasından alındı. Güneş ışınlamı ve güneşlenme süresi ile ilgili ölçülen ve GEPA gibi bazı veritabanlarında yer alan verilerin karşılaştırılması konusunda Pusat ve Bağcı'nın çalışmalarında detaylı analizler mevcuttur (2010). Çizelge 2.6'da iki şehir için aylık ortalama ışınlam değerleri verildi. Şekil 2.5'de de iki şehir arasındaki farklar sunuldu. Aylık ışınlamlar arasındaki farklar % 34'lere kadar çıkabilmektedir.

Çizelge 2.6 İstanbul ve Urfa için ortalama güneş ışınlamı değerleri, kWh/m²

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
İstanbul	1,40	2,19	3,13	4,36	5,57	5,92	5,74	5,22	4,09	2,74	1,62	1,19
Şanlıurfa	1,94	2,48	4,09	5,08	6,18	6,83	6,58	5,94	5,02	3,79	2,42	1,80



Şekil 2.5 Güneş ışınlamı değerleri arasındaki farklar

2.3 Konutlarda Isı Enerjisi Talebi

Bölge ısıtma sistemlerinin ekonomik modelinde en önemli parametrelerin başında bölgenin maksimum ve zamana bağlı (saatlik) ısı enerjisi talepleri gelmektedir. Bu taleplerin bir konut için belirlenmesi yukarıda anlatılan hesap yöntemi ile kolaylıkla yapılabilir. Ancak bir bölge için çok detaylı hesap yapmak çoğu zaman mümkün olmayacak ya da çok uzun sürecektir. Çoğu bölge ısıtma sistemi yük tahmininde örnek bir konut belirlenerek eş değer konut hesaplaması yöntemi kullanılır. Ancak bir konutun ısı enerjisi talebi birçok parametreden etkilendiğinden eş değer konut kabulü ile önemli bir hata yapılabilme olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle belediyelerde bulunan bilgileri kullanarak bölgenin gerçek ısı enerjisi talebini

kolay, hızlı ve doğru şekilde hesaplayabilecek modele ihtiyaç vardır. Bu amaçla aşağıda anlatılan çalışmalar yapıldı.

Konutların ısı enerjisi talepleri çok sayıda parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada aşağıda verilen en önemli parametrelerin ısı enerjisi talebi üzerindeki etkileri incelendi:

- Konutun binadaki konumu,
- Isıtma periyodu,
- Isıtılan alan,
- Pencere tipi,
- Pencere oranı,
- Yalıtım durumu,
- Döşeme alanı,
- İklim bölgesi,
- İç ısı enerjisi kazancı,
- Kat yüksekliği.

Bütün bu değişkenlere bağlı olarak ısı enerjisi talebindeki (ısıtma ve sıcak su beraber) değişimler incelendi. Bu parametrelerden herhangi bir bölge için tespiti kolay ya da mevcut ve konutun ısı enerjisi talebi üzerindeki etkisi yüksek olanlara bağlı olarak konutların ısı enerjisi talebini hesaplayabilmek için gerekli modeller geliştirildi. Parametreler üzerindeki analizler yapılırken incelenen değişken dışındaki bütün parametreler varsayılan değerler olarak sabit kabul edildi (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7 Konut için kabul edilen varsayılan değerler

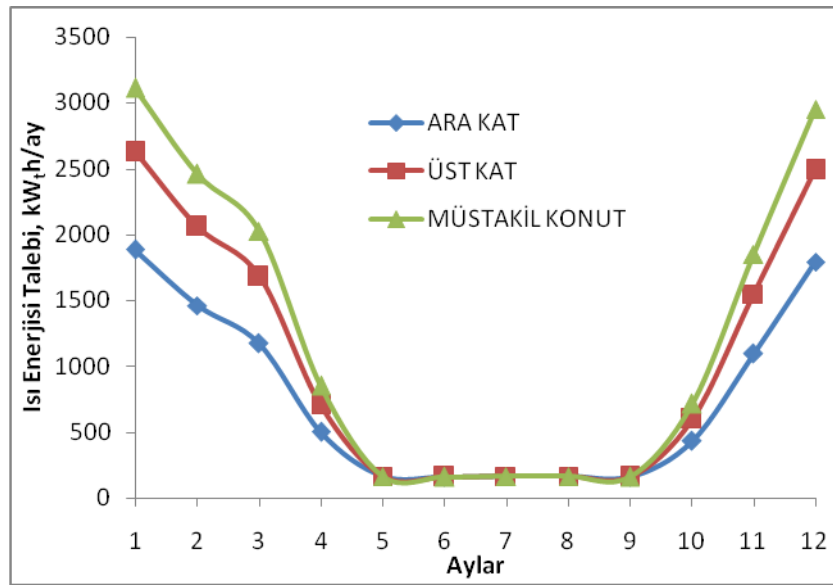
Konutun Varsayılan Özellikleri		
Bina Tipi	-	Her katta tek konut olan bina
Konutun binadaki konumu	-	Ara Kat
Isıtma periyodu	<i>saat</i>	24
Isıtılan alan	%	100
Pencere tipi	$W/m^2.K$	5,9
Pencere oranı	%	20
Yalıtım durumu	<i>m</i>	0,04
Döşeme alanı	m^2	100
İklim bölgesi	-	2.
İç ısı enerjisi kazancı	W/m^2	5
Kat Yüksekliği	<i>m</i>	2,6

2.3.1 Konutun Binadaki Konumu

Konutun binadaki konumunun ısı enerjisi talebine etkisi aylık olarak analiz edildi. Bu parametre için aşağıda belirtilen 3 durum incelendi:

- Ara kat,
- En üst kat,
- Müstakil konut.

Konutun ara katta olması durumunda sadece dış duvarlardan ısı enerjisi kaybı olduğu; tavan ve döşemeden ısı enerjisi kaybı olmadığı varsayıldı. En üst katta olması durumunda ise dış duvarlar ve tavandan olan ısı enerjisi kayıpları hesaplamalara dâhil edildi. Müstakil konut durumunda da zemin, tavan ve dış duvarların tamamından ısı enerjisi kaybı hesabı yapıldı. Analizine yer verilmeyen en alt katta olması durumu en üst katta olma durumuna benzer olabilmekle birlikte konut zemininin altındaki duruma (toprak, bodrum vb.) göre farklılık gösterebilmektedir.



Şekil 2.6 Konutun binadaki konumunun aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Şekil 2.6'da görülebileceği üzere ısıtma ihtiyacının olduğu dönemlerde konutun binadaki konumunun değişmesiyle aylık olarak % 72'lere varan farklar oluşmaktadır. Maksimum talebin olduğu Ocak ayında ara kat ile müstakil konut arasında % 65 ve ara kat ile üst kat arasında % 39 fark görülmüştür. Yıllık ısı enerjisi taleplerinde ise sırası ile % 61 ile % 37 fark belirlenmiştir. Bu değerler oldukça anlamlı olup talep belirlenmesinde konutun konumunun önemli olduğunu göstermektedir. Yaz aylarında yani ısıtma talebinin olmadığı aylarda sadece sıcak su ihtiyacı olduğundan konutun konumuna bağlı olarak talep değişimi yoktur.

2.3.2 Isıtma Periyodu

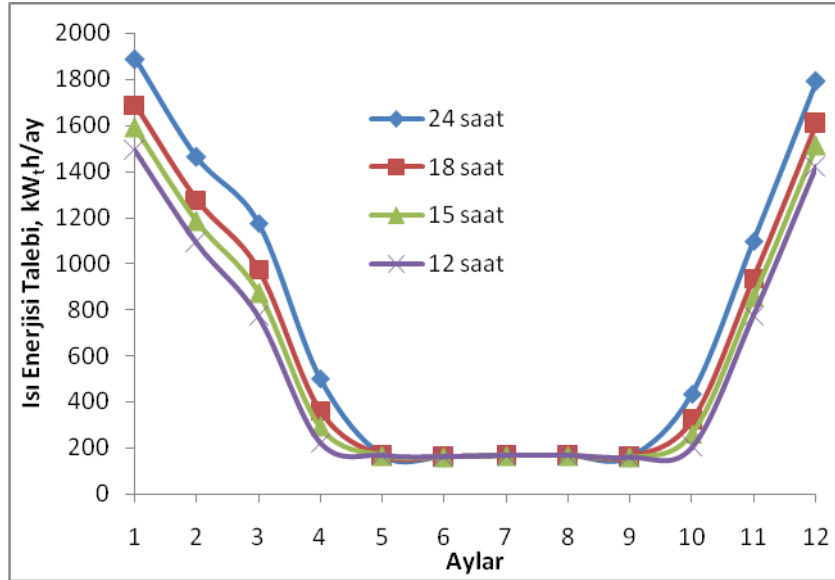
Konutlar da günlük ısıtma süresi kullanıcı karakteristiğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. En karakteristik iki ısıtma şekli 24 saat ısıtma yapıldığı sürekli ısıtma ile örneğin akşam yatarken ısıtma sisteminin kapatıldığı ve sabah tekrar açıldığı kesikli ısıtmadır. Bu gibi durumlarda konutun aylık ve yıllık ısı enerjisi talebinde değişimler gözlenmesi normaldir. Ancak bilinmelidir ki bu gibi durumların tespiti oldukça zordur.

Günlük ısıtma süresinin etkisini incelemek için EN 13790 standardından faydalanıldı. Bu standart, kesikli ısıtma durumunda ısı enerjisi talebinin belirlenmesi için sürekli ısıtma aylık ısı enerjisi talebinin kesikli ısıtma katsayısı ($a_{kesikli}$) ile çarpılmasını önermektedir.

$$a_{kesikli} = 1 - b_{kesikli} \cdot \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right) \cdot \gamma \cdot (1 - f_{\text{çalışma}}) \quad (2.13)$$

Burada:

- $b_{kesikli}$ Deneysel katsayı (=3),
- $f_{\text{çalışma}}$ Günlük çalışma süresi oranı,
- τ Konut zaman sabiti (saat),
- γ Isıl denge oranıdır.



Şekil 2.7 Isıtma periyodunun aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Günlük çalışma saatine bağlı olarak ısı enerjisi taleplerinin değişimi Şekil 2.7’de verilmiştir. Bu parametrenin değişimi ile % 56’lara varan farklar oluşmaktadır. 24 saat ile 12 saatlik ısıtma periyotları eğrilerine bakıldığında, süre yarıya düşmesine rağmen ısı enerjisi talebinin

yarıya düşmediği görülmektedir. Bu iki durumun yıllık ısı enerjisi talepleri arasında % 26 oranında fark bulunmaktadır. Isıtma periyodu tamamen kullanıcı karakteristiğine bağlı olduğundan bölge ısıtma sistemi uygulanacak bölge halkının alışkanlıklarına göre belirlenmesi gereklidir.

2.3.3 Isıtılan Alan

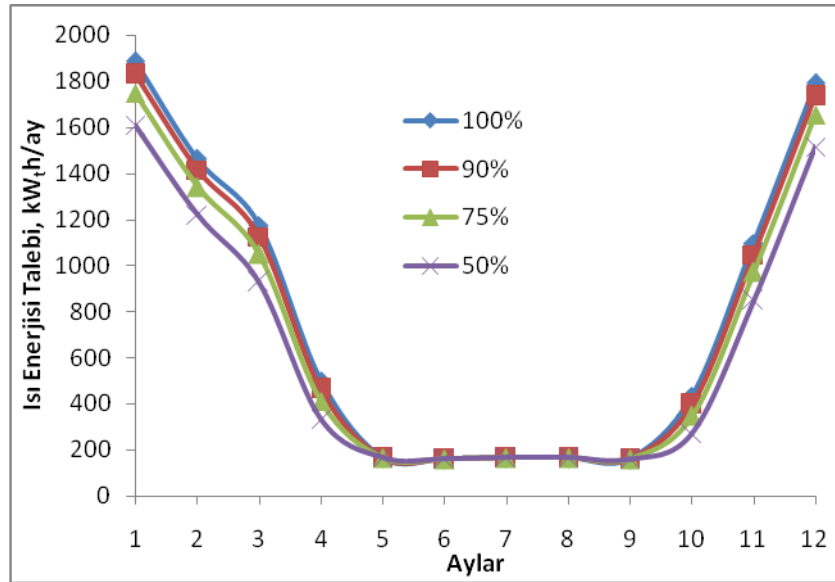
Konutun tamamının ısıtılmadığı durumlar bu başlık altında incelendi. Kısmi ısıtma durumundaki ısı enerjisi talebinin değişimi konutun bazı odalarının ısıtılmadığı düşünülerek hesaplandı. Bu tip ısıtma yapılan konutlar için ısı enerjisi talebi hesabı iç ortam konfor sıcaklığının düzeltilmesiyle gerçekleştirilir (EN 13790). Isıtılmayan alanlar ve ısıtılan alanların değerleri ile iç ortam sıcaklıklarına bağlı olarak Denklem 2.14 ile hesaplanır:

$$T_{konfor, düzeltilmiş} = \frac{\sum A_{döşeme} \cdot T_{konfor}}{\sum A_{döşeme}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.14)$$

Burada:

$A_{döşeme}$ Odanın alanı (m^2),

T_{konfor} Odanın ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ısıtılan odalarda konfor sıcaklığına eşittir.



Şekil 2.8 Isıtılan alan oranının aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Isıtılan alanın oranının etkisi de günlük çalışma süresindeki analize benzer bir değişim göstermektedir (Şekil 2.8). % 50 ve % 100 ısıtılan alan oranları için maksimum fark % 37 ile Ekim ayında görülmektedir. İki durumun yıllık ısı enerjisi talepleri arasındaki fark da % 18'dir. Bu iki durum için ısıtılan alan yarıya düşmesine rağmen aylık ısı enerjisi talepleri

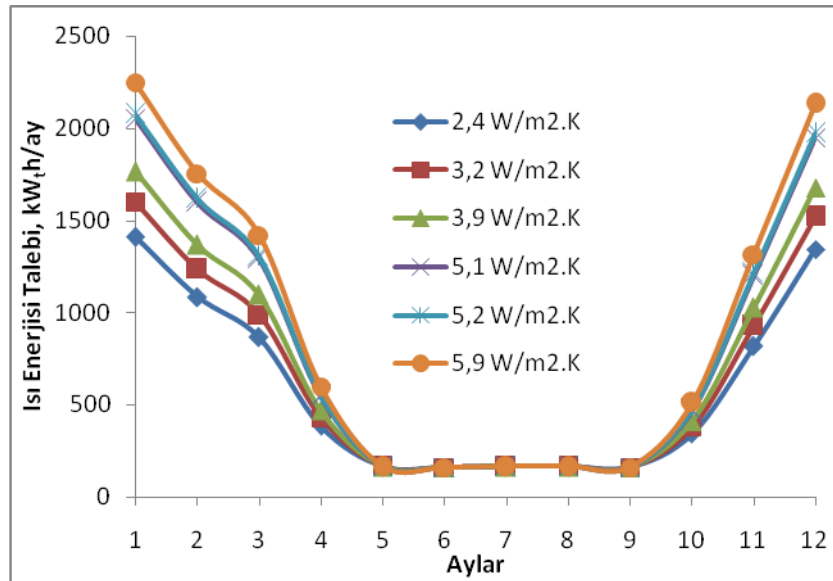
hiçbir zaman yarıya düşmemektedir. Bu durum, konutun tamamını ısıtmayarak tasarruf yapıldığı düşüncesinin doğru olduğunu göstermektedir. Ancak bu analizde ısıtılmayan odalardan ötürü konutun konfor seviyesindeki azalmanın dikkate alınmadığı göz ardı edilmemelidir. Isıtılan alanın değişiminin tamamen kullanıcı karakteristiğine bağlı olmasından ötürü bölge halkının alışkanlıklarına göre tespit edilmelidir.

2.3.4 Pencere Tipi

Konutun sahip olduğu pencerelerin cam ve çerçeve özellikleri ısı enerjisi talebi üzerinde etkili bir parametredir. Cam ve çerçeve özellikleri içeriden dışarıya olan ısı transferini ve güneş ışınları ile gelen enerjinin içeriye girebilen miktarını etkilemektedir. Farklı pencere tipleri için standartta (TS 825) toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri) değerleri verilmektedir. Bu değerler kullanılarak bazı pencere tipleri için analizler gerçekleştirildi. Analizde kullanılan pencere tipleri ve U-değerleri Çizelge 2.8'de verildi.

Çizelge 2.8 Analizlerde kullanılan pencere tipleri ve U-değerleri

Pencere Tipi	U-değeri (W/m ² .K)
Ahşap Tek Cam	2,4
Alüminyum Tek Cam	3,2
Alüminyum Çift Cam	3,9
Plastik Tek Cam	5,1
Plastik Çift Cam	5,2
Plastik Çift Cam-low_e	5,9

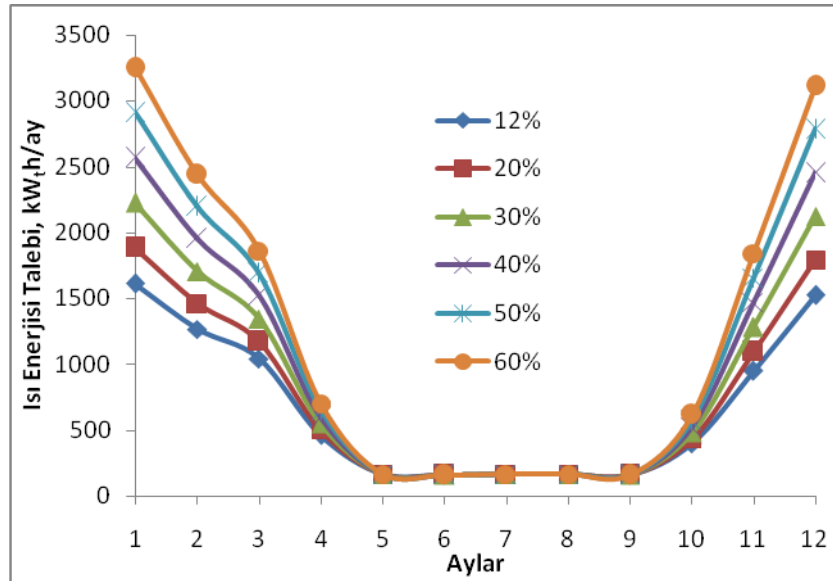


Şekil 2.9 Pencere tipinin aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Farklı pencere tipine (cam ve doğrama) bağlı olarak seçilen 6 pencere ısıl geçirgenlik katsayısı kullanılarak yapılan analizin sonuçları Şekil 2.9'da verildi. Bu parametre için yapılan analizde aylık ısı enerjisi talepleri arasında (ısıtmanın olduğu aylar için) maksimum % 64 ve minimum % 10 fark görülmektedir. U-değerinin en yüksek ve en düşük olduğu durumların yıllık ısı enerjisi talepleri arasındaki fark % 53'dür. Bir bölgedeki binalara bakıldığı zaman bu analizde yer verilen pencere tiplerinin hepsini görmek mümkündür. Bu parametrenin etkisi oldukça yüksek olduğu için bölge ısı enerjisi talep tahmininde dikkat edilmesi gerekmektedir.

2.3.5 Pencere Oranı

Toplam pencere alanının toplam dış duvar alanına oranının (pencere oranı) ısı enerjisi talebi üzerindeki etkisi bu bölümde incelendi. Duvar ve pencerelerin farklı ısı özelliklerine sahip olması ve ayrıca pencerelerin güneş ışınlamalarını geçirebilmesi sebebi ile pencere oranı parametresi ısı enerjisi talebine etki etmektedir. Farklı pencere oranları için analizler gerçekleştirilerek sonuçlar sunuldu.



Şekil 2.10 Pencere oranının aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Pencere oranının etkisi Şekil 2.10'da görülebilir. Pencere oranının % 30'ların üzerine çıkması durumu konutlar için çok rastlanabilen bir durum değildir; ancak ofis binalarında görülebilecek bir durumdur. En yüksek ve en düşük pencere oranı durumları için maksimum fark % 104 ile Aralık ayında görülmektedir. % 12 ve % 30 pencere oranı durumları için yıllık ısı enerjisi talepleri arasındaki fark % 30'dur. Pencere oranının bir bölgedeki bütün binalar

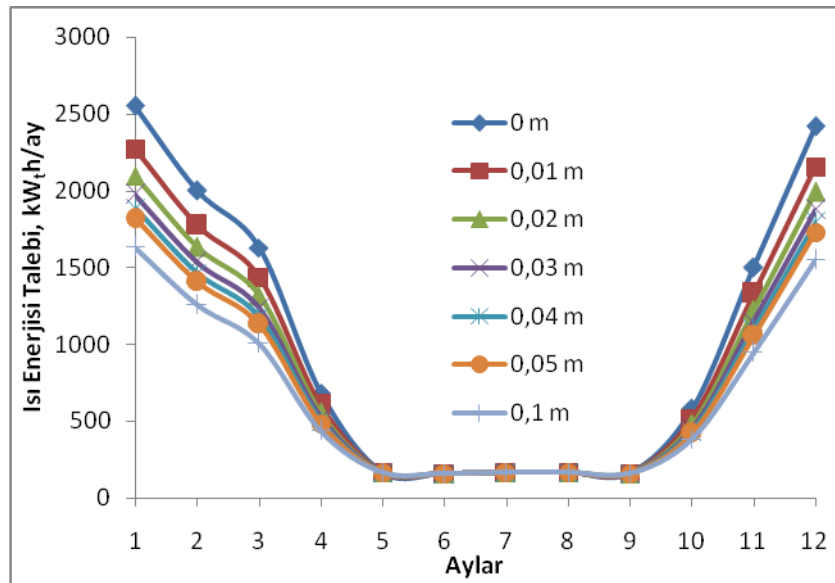
için tespiti, gerçekleştirilmesi zor bir işlemdir. Ancak etkisinin bu kadar yüksek olması, belirlenmesi gereken bir parametre olduğunu göstermektedir.

2.3.6 Yalıtım Durumu

Şüphesiz bir konutun ısı enerjisi talebini etkileyen en önemli parametrelerden birisi yalıtım durumudur. Yalıtım, en çok ısı enerjisi kaybının olduğu duvarların ısı özelliklerini iyileştirdiğinden talep edilen ısı enerjisinin değerini belirlemektedir (Şekil 2.11). Farklı yalıtım kalınlıkları için analizler yapılarak sonuçlar değerlendirildi.



Şekil 2.11 Bir konutta ısı enerjisi kayıplarının gerçekleştiği bölgeler ve oranları (İ-T)



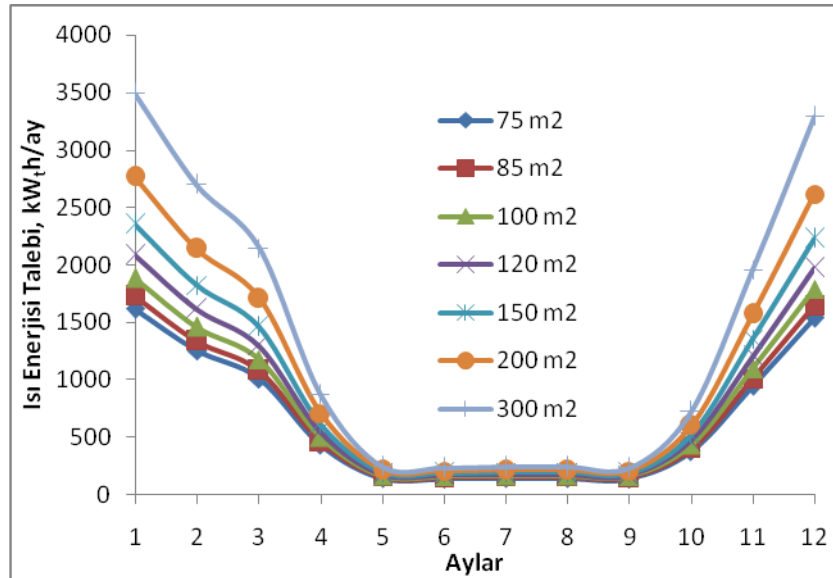
Şekil 2.12 Yalıtım kalınlığının aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Konutlar için en önemli parametrelerden birisi olan yalıtım durumunun etkisi Şekil 2.12’de görülebilir. En büyük fark doğal olarak, hiç yalıtımın olmadığı durum ile en iyi yalıtımın olduğu durum arasında % 38 olarak görülmektedir. Yıllık ısı enerjisi talepleri arasındaki

farkları yalıtım durumlarının bir üst ve bir altındaki durumlar açısından incelersek bütün durumlar için yaklaşık % 11’lik bir fark görülmektedir. Bu da hiç yalıtımsız durum ile en kötü yalıtım arasındaki farkı açıkça göstermektedir. Yalıtım malzemeleri ile ilgili piyasada çok farklı özelliklerde ürünler bulunmaktadır. Ülkemizde yalıtımın öneminin yakın zamanda anlaşılmaya başlanmış olması ve bu konudaki yasal yükümlülüklerin tamamen yerine getirilmiyor olması, yapılan/yapılmış binaların çoğunun (yaklaşık % 80) yalıtımsız olduğu sonucunu doğurmuştur (E-H, 2009). Bu parametre, bölgedeki binaların genel yalıtım durumuna göre ya da binalar tek tek incelenerek belirlenmesi gerekmektedir.

2.3.7 Döşeme Alanı

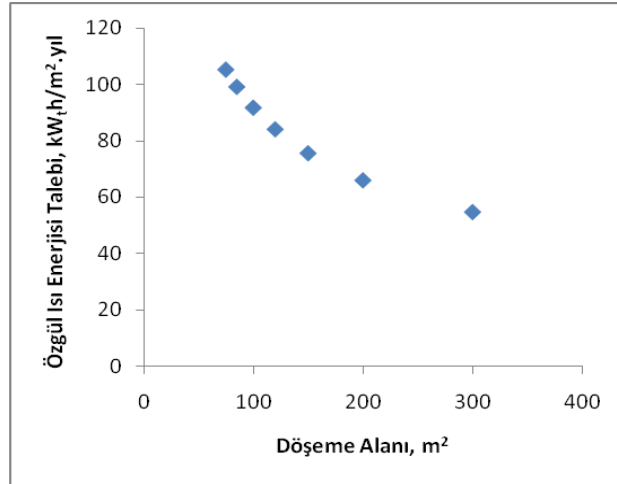
Aynı ısı-fiziksel (thermo-physical) özelliklere sahip bir konutun farklı döşeme alanlarına sahip olması durumunda ısı enerjisi talebindeki değişim bu bölümde incelendi. Döşeme alanı arttıkça ısı enerjisi talebinin artacağı aşikârdır. Bu bölümde döşeme alanına bağlı olarak ısı enerjisi talebinin nasıl bir artış gösterdiği incelendi. Çünkü bir bölgedeki binalara bakıldığında zaman döşeme alanının çok farklı değerler alabileceği görülebilir. Bu nedenle bütün konutları aynı döşeme alanına sahip gibi değerlendirmek yanlış sonuçlar doğurabilir.



Şekil 2.13 Döşeme alanının aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Konutun sahip olduğu döşeme alanına bağlı olarak aylık ısı enerjisi değişimi Şekil 2.13’de görülebilir. 75 m² ve 300 m² döşeme alanları için Ocak ayı ısı enerjisi talebi değerleri arasında % 116 fark görülmektedir. Döşeme alanı değişimine bağlı olarak önemli bir değişim söz konusudur. Bu nedenle bu parametrenin dikkate alınması gerekmektedir.

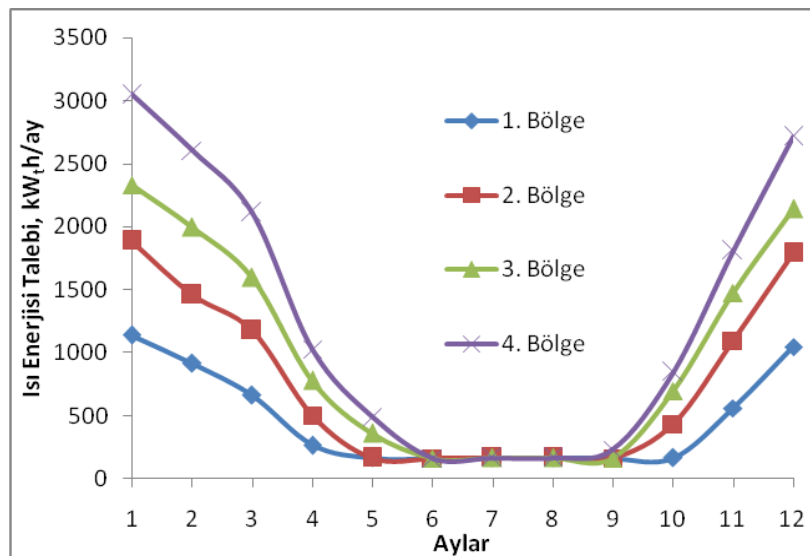
Şekil 2.14’de özgül ısı enerjisi talebinin döşeme alanına bağlı değişimi verildi. Özgül ısı enerjisine bağlı değişimler toplam alan için elde edilen değişimlerin tam tersidir: Toplam döşeme alanı arttıkça yıllık toplam ısı enerjisi talebi artmaktadır, fakat özgül ısı enerjisi talebi azalmaktadır. Çünkü herhangi iki döşeme alanı için alandaki artış yıllık ısı enerjisi talebindeki artıştan daha fazla olmaktadır. Böylece döşeme alanı arttıkça özgül ısı enerjisi talebi azalır.



Şekil 2.14 Özgül ısı enerjisi talebinin döşeme alanına bağlı değişimi

2.3.8 İklim Bölgesi

Bir konutun farklı iklim bölgelerinde bulunması durumuna bağlı olarak ısı enerjisi talebindeki değişimler bu bölümde incelendi. İklim bölgeleri ile beraber dış ortam sıcaklığı da değiştiği için bu parametre ısı enerjisi talebini önemli miktarda etkilemekte ve ısıtma sistemi kapasitesini belirlemektedir. Dört farklı iklim bölgesi için hesaplar yapılarak sonuçlar karşılaştırıldı.

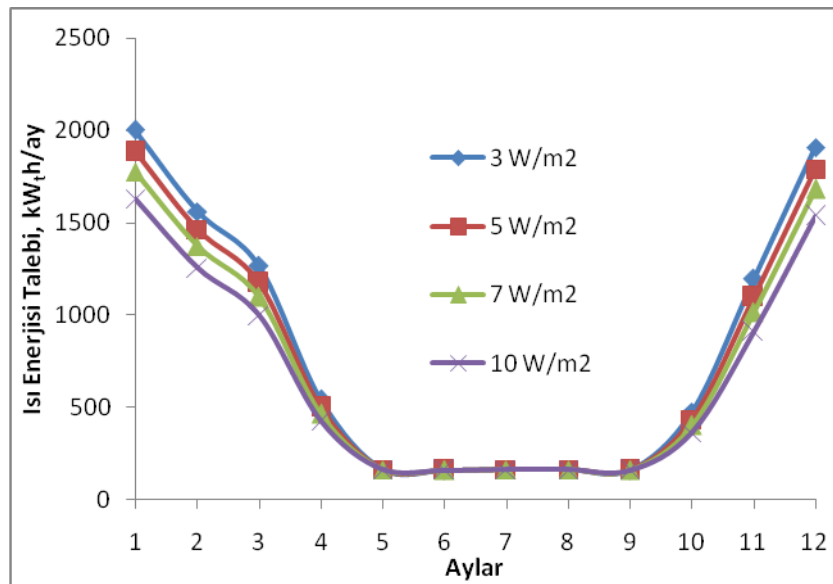


Şekil 2.15 İklim bölgesinin aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Farklı iklim bölgeleriyle beraber aylık sıcaklık ortalamalarının da değişmesiyle aylık ısı enerjisi taleplerindeki değişim Şekil 2.15'te görülebilir. Aylık eğrilere bakılırsa en sıcak bölgenin 1. İklim Bölgesi, en soğuk bölgenin de 4. İklim Bölgesi olduğu anlaşılabılır. Referans olarak 2. Bölge seçilirse en büyük fark % 198 ile Mayıs ayında 4. Bölge için gerçekleşmektedir. 2. Bölgenin sırasıyla 1., 3. ve 4. Bölge ile arasındaki yıllık ısı enerjisi talebi farkı % 39, % 31 ve % 68'dir. Bu farklar göz ardı edilemeyecek seviyelerdedir. Bu nedenle konutların ısı enerjisi talebi hesaplamalarında mutlaka hesaba katılmalıdır.

2.3.9 İç Isı Enerjisi Kazancı

İç ısı enerjisi kazancı değerinin belirlenmesi de zor bir işlemdir. İç ısı enerjisi kazançlarının etkisi çok fazla olmamakla birlikte farklı değerler verilerek etkisi incelendi. Farklı durumları temsil eden değerler için iç ısı enerjisi kazancının etkisi incelenerek sonuçları sunuldu. Bir konut için iç ısı enerjisi kazancını etkileyen çok fazla değişken (aydınlatma sistemi, elektrikli araçlar, sıcak su sistemi vb.) vardır. Bu etkenlerin her konutta değiştiği ve tespitinin çok külfetli bir iş olduğu düşünüldüğü zaman iç ısı enerjisi kazancının basit hesaplama yöntemleri içerisinde sabit kabul edilmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır.

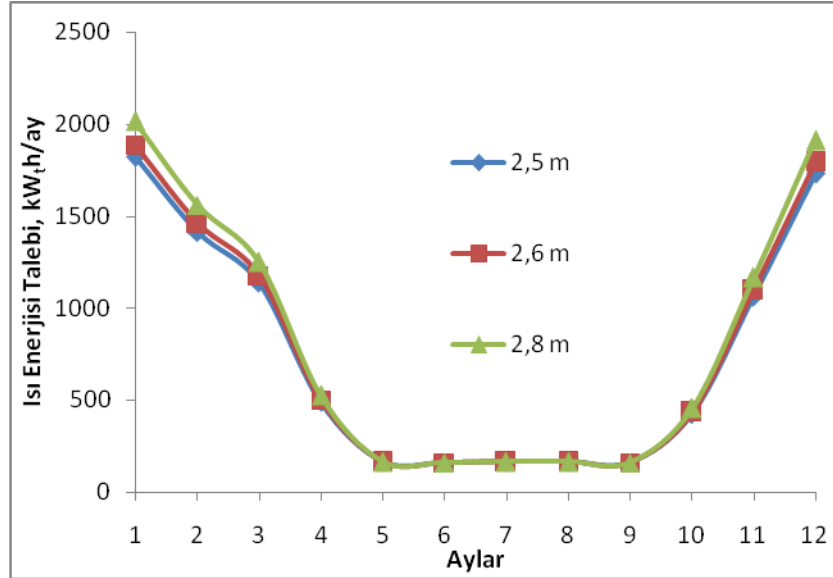


Şekil 2.16 İç ısı enerjisi kazancının aylık ısı enerjisi talebine etkisi

Dört farklı iç ısı enerjisi kazancı değeri için aylık ısı enerjisi talebi değişimi Şekil 2.16'da verildi. Referans olarak varsayılan iç ısı enerjisi kazancı değeri (5 W/m^2) seçilirse sırasıyla 3, 5 ve 10 W/m^2 değerleri için oluşan yıllık ısı enerjisi talebi farkı % 7, % 6 ve % 13'dür.

2.3.10 Kat Yüksekliği

Binalarda kat yüksekliği farklılıklar gösterebilmektedir. Bu ise taban alanı aynı olan konutlar için ısıtılacak toplam hacmin değişmesi gerekmektedir. Farklı kat yükseklikleri için ısı enerjisi taleplerinin değişimi incelendi.



Şekil 2.17 Kat yüksekliğinin aylık ısı enerjisi talebine etkisi

TS 825'te bir konutun standartlara uygun olup olmadığının tespitinde kullanılan limit değerlerin (özellik ısıtma enerjisi talebi) tespitinde kat yüksekliğini de kullanan bazı tablo değerleri mevcuttur. Şekil 2.17'ye göre kat yüksekliğinin varsayılan yükseklik (2,6 m) durumuna göre aylık ısı enerjisi taleplerinde en fazla % 7'lik bir fark oluşturabilmektedir. Tespiti zor ve etkisi diğerlerine göre sınırlı olan bu parametrenin hesaplamalara dâhil edilmemesi sonuçları çok fazla etkilemeyecektir.

2.4 Isı Enerjisi Talebinin Modellenmesi

Bu bölüme kadar bir konutun ısı enerjisi talebini etkileyen 10 farklı parametrenin değerlendirilmesi yapıldı. Çizelge 2.9'da bu parametrelerin incelenen durumları arasındaki yıllık ısı enerjisi talebi üzerinde yaptığı maksimum ve minimum değişim oranları verildi. Kat yüksekliği haricindeki bütün parametrelerin maksimum değişim oranları % 10'un üzerinde olmaktadır. Bu da bütün parametrelerin önemli olduğunu göstermektedir. Ancak bir bölgede yer alan bütün binalar için bu parametrelerin ihtiyaç duyduğu verilerin elde edilmesi zahmetli bir iştir. Kısa vadede bazı gerçekçi kabuller ve mühendislik yaklaşımları ile analizlerin yapılması daha doğru olacaktır. Uzun vadede ise belediyelerin sınırları içerisinde yer alan binalarla ilgili bir veri tabanı hazırlaması en doğru yöntem olacaktır.

Çizelge 2.9 Konut ısı enerjisi talebini etkileyen parametreler için maksimum ve minimum değişim oranları

Parametre	Min. Değişim, %	Maks. Değişim, %	Aralık
Konutun binadaki konumu	18	61	Ara kat – Üst Kat – Müstakil Konut
Isıtma periyodu	7	26	24 – 18- 15 – 12 Saat
Isıtılan alan	4	18	% 100 – 90 – 75 - 50
Pencere tipi	1	53	2,4 – 3,2 – 3,9 – 5,1 – 5,2 – 5,9 W/m ² .K
Pencere oranı	10	81	% 12 – 20 – 30 – 40 – 50 - 60
Yalıtım durumu	3	34	0,0 – 0,01 – 0,02 – 0,03 – 0,04 – 0,05 – 0,1 m
Döşeme alanı	7	108	75 – 85 – 100 – 120 – 150 – 200 – 300 m ²
İklim bölgesi	28	176	1. – 2. – 3. – 4. Bölge
İç ısı enerjisi kazancı	6	19	3 – 5 – 7 – 10 W/m ²
Kat Yüksekliği	3	9	2,5 – 2,6 – 2,8 m

Bu çalışmada binalar ile ilgili sahip olunan verilerin durumuna göre kullanımı kolay ve hızlı sonuç veren 2 farklı model geliştirildi. İlk model tablolardan ikinci model ise matematiksel denklemlerden oluşmaktadır.

2.4.1 Model A

Bu model bina toplam döşeme alanı ve yalıtım malzemesi kalınlığına bağlı olarak oluşturuldu. İklim bölgesi olarak 2. Bölge ve konut tipi olarak da müstakil konut seçildi. Pencerelerin ısı geçirgenlik katsayıları standartta tavsiye edilen 2,4 W/m²K kabul edildi. Bu modelde diğer parametrelerin etkileri varsayılan değerler kullanılarak göz ardı edildi. Hesaplamalara ayrıca sıcak su temini için gerekli ısı enerjisi de dâhil edilmedi. Analizlerde kullanılan değişkenlerin aldığı değerler Çizelge 2.10’da verildi. Tablodaki değerler birbirinden bağımsızdır, yani her döşeme alanı değeri için bütün yalıtım malzemesi kalınlığı değerlerinde hesap yapıldı.

Döşeme alanının 5.000 m² gibi yüksek bir değere kadar çıkmasının nedeni, aslında birden fazla konuttan oluşan bir apartmanın toplam döşeme alanı değeri kullanılarak ve sanki müstakil bir konutmuş gibi düşünülerek ısıtma enerjisi talebinin hesaplanabilmesini sağlamaktır. Böylece toplam döşeme alanı ve yalıtım durumu bilgisi ile binaların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının hesaplanması amaçlanmaktadır.

Çizelge 2.10 Model A'da kullanılan değişkenler

	Döşeme Alanı, m ²	Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, m
1	81	0,00
2	125	0,02
3	175	0,04
4	250	0,06
5	350	0,08
6	500	0,10
7	750	0,12
8	1.250	0,14
9	2.000	0,16
10	5.000	0,18
11		0,20

Başlangıçta 10 ve 11 farklı değerle başlayan analiz sonucunda hesaplanan değerler bazı sınıflandırmalarla sadeleştirildi. Yalıtım durumu, 5 farklı kategoriye ayrılarak iyi ve kötü gibi isimlerle tanımlandılar. Çizelge 2.10'da verilen değerler ile yapılan analizlerin sonuçları döşeme alanı ve yalıtım malzemesi kalınlığına bağlı olarak bir tabloya aktarıldı (Çizelge 2.11).

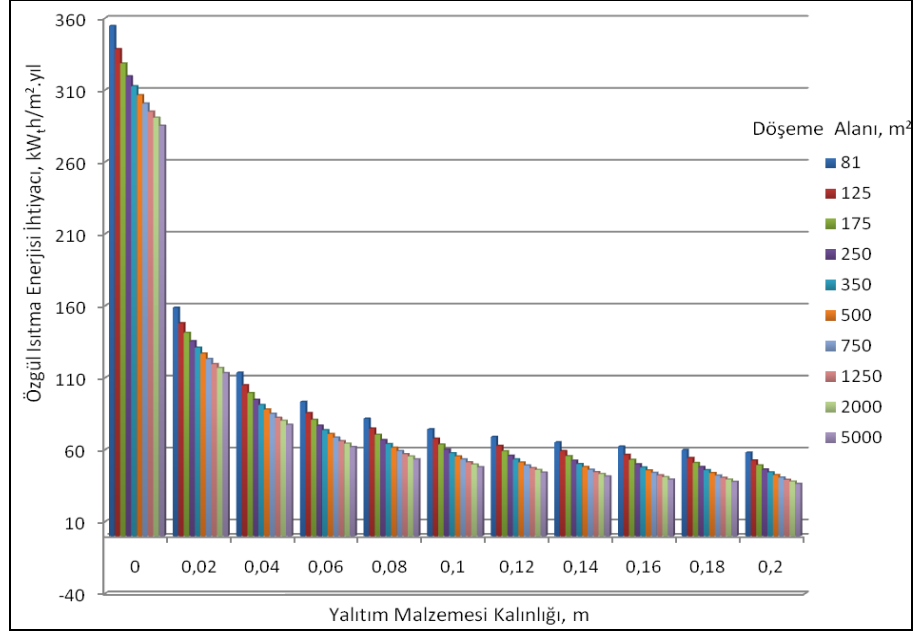
Çizelge 2.11 Model A sonuç tablosu

ÖZGÜL ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI, kWh/m².yıl

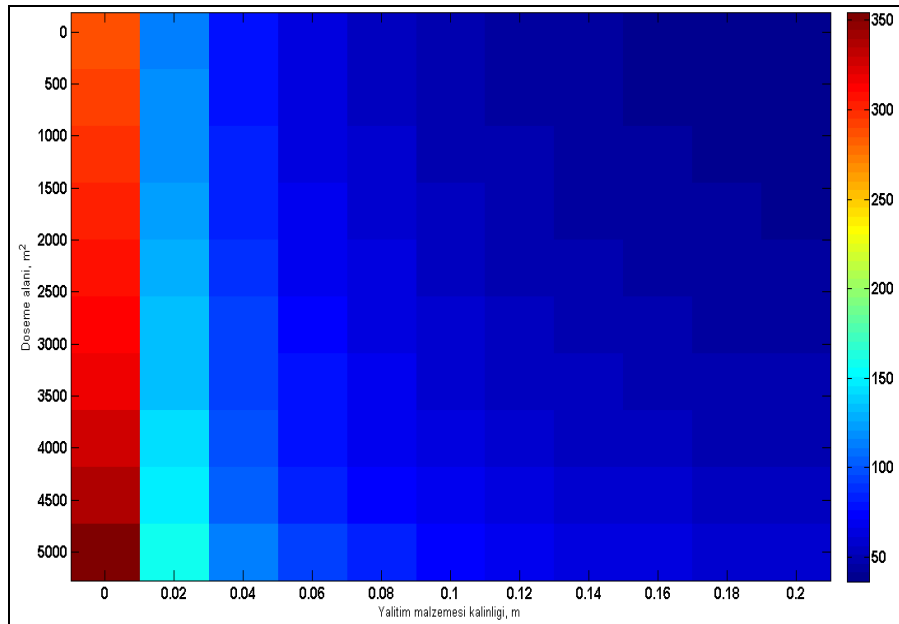
		Döşeme Alanı, m ²				
		< 200	201-400	401-1000	1001-2500	> 2501
YALITIM MALZEMESİ KALINLIĞI, m	0 (Yalıtımsız)	341	316	304	293	285
	0,010-0,025 (Kötü Yalıtım)	149	133	125	118	113
	0,026-0,050 (Orta Yalıtım)	106	93	87	81	77
	0,051-0,105 (İyi Yalıtım)	77	66	61	57	54
	> 0,106 (Çok İyi Yalıtım)	58	49	45	42	40

Hesaplamalarla elde edilen detaylı sonuçlar ayrıca Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da grafiksel olarak verildi. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yalıtım malzemesi kalınlığının ve döşeme alanının artışıyla özgül ısıtma enerjisi talebinin azaldığı görüldü. Önemli bir nokta da hiç yalıtımın olmadığı bina ile en kötü yalıtıma sahip binanın özgül ısıtma enerjisi talepleri arasındaki farkın en yüksek seviyelerde olmasıdır. Bu da binalar için az seviyelerdeki yalıtımın dahi önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabileceği sonucunu ortaya çıkarır. Bu model kullanılarak herhangi bir bölge için bölge ısıtma sisteminin ısıtma enerjisi talebinin belirlenmesinde aşağıdaki sıralama ile bilgiler elde edilerek kullanılabilir:

- Bölgedeki binaların sayıları,
- Her binanın toplam döşeme alanı (bütün katlar ve dairelerin toplam döşeme alanı) ya da bir kattaki toplam döşeme alanı ve binanın kat sayısı,
- Binaların yalıtım durumu ve yalıtım malzemesi kalınlığı,
- Elde edilen döşeme alanı, bina sayıları ve yalıtım malzemesi kalınlığı bilgileri ile binaların hesaplamalarımızdaki tablo ve grafiklere göre hangi guruba girdiği,
- Son olarak da binaların girdiği gruptaki özgül ısıtma enerjisi ihtiyacı ile toplam döşeme alanı çarpılarak toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanır.



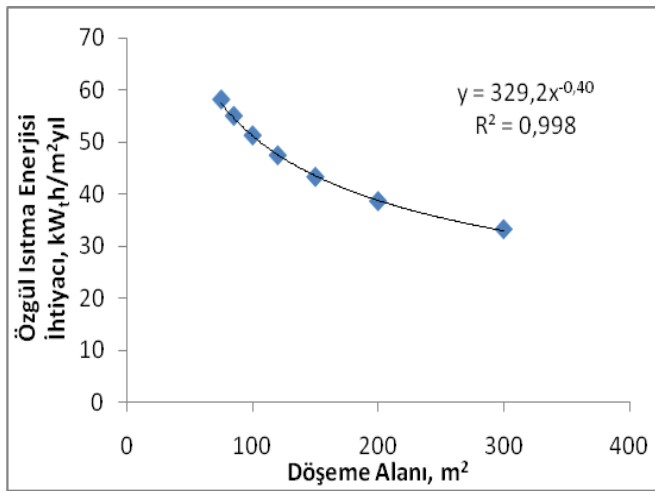
Şekil 2.18 Döşeme alanı ve yalıtım malzemesi kalınlığına bağlı özgül ısıtma enerjisi talebi 1 ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{yıl}$)



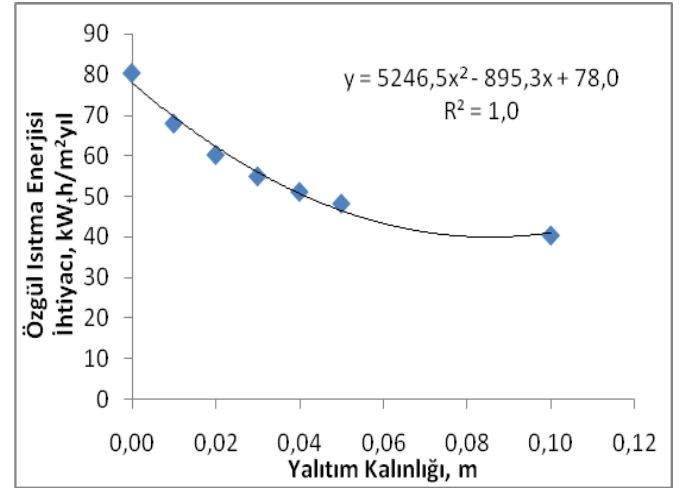
Şekil 2.19 Döşeme alanı ve yalıtım malzemesi kalınlığına bağlı özgül ısıtma enerjisi talebi 2 ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{yıl}$)

2.4.2 Model B

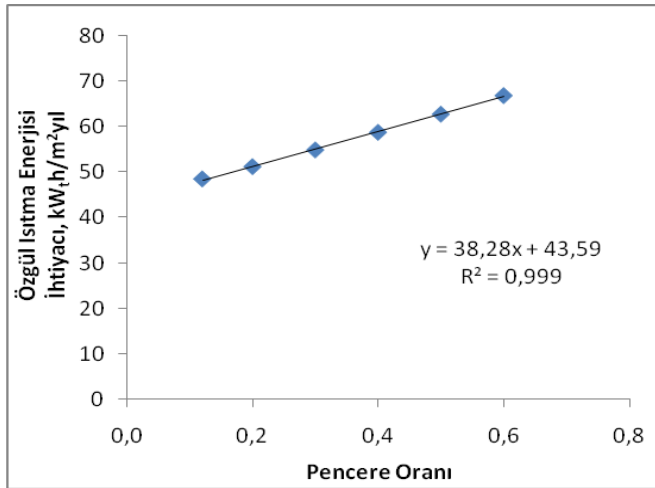
Bu model, ısıtma enerjisi talebini etkileyen birçok parametrenin (döşeme alanı, yalıtım durumu, pencere oranı, pencere tipi, ısıtılan alan, ısıtma periyodu ve kat yüksekliği) değer değişiminin ısıtma enerjisi talebindeki değişimini ifade eden denklemlerden oluşturuldu. Öncelikle diğer parametreler sabit kalırken her parametrenin değer değişiminin ısıtma enerjisi talebindeki değişimi gösteren ayrı ayrı denklemleri elde edildi. Daha sonra bu denklemler birleştirilerek tüm değişkenlerin etkisini içeren ve özgül ısıtma enerjisi değerini veren model oluşturuldu. Örnek olarak 2. Bölge için Şekil 2.20’de parametrelerin ayrı ayrı değişimleri ile özgül ısıtma enerjisi taleplerinin değişimleri ve Denklem 2.15’de de model verildi.



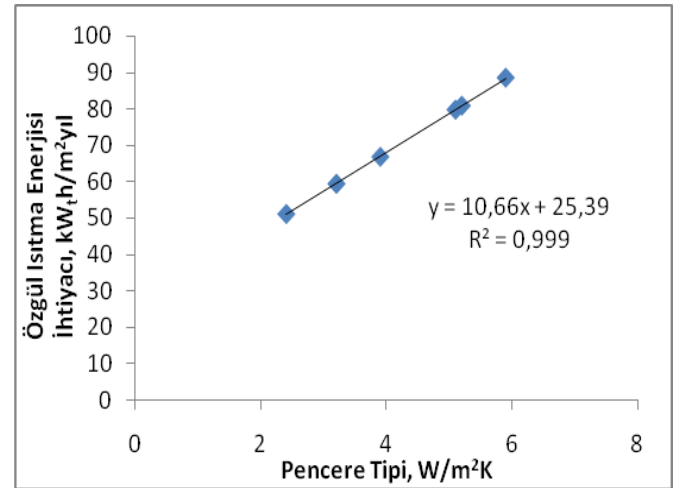
A) Döşeme alanı etkisi



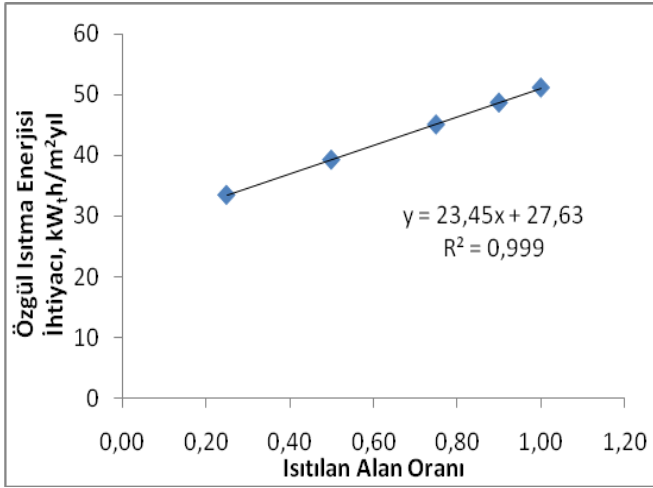
B) Yalıtım durumu etkisi



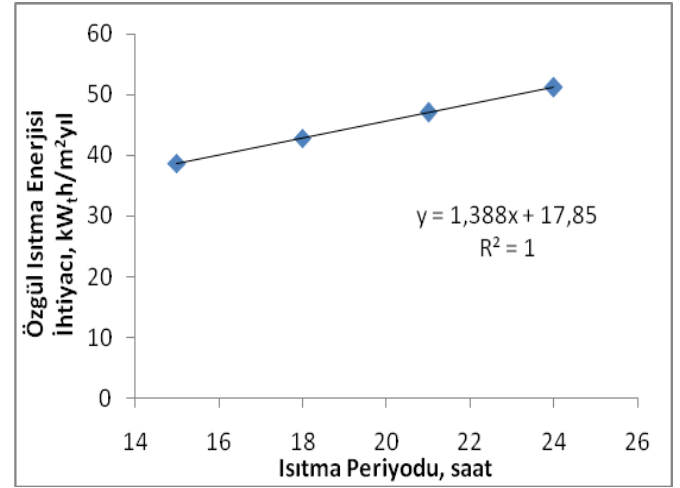
C) Pencere oranı etkisi



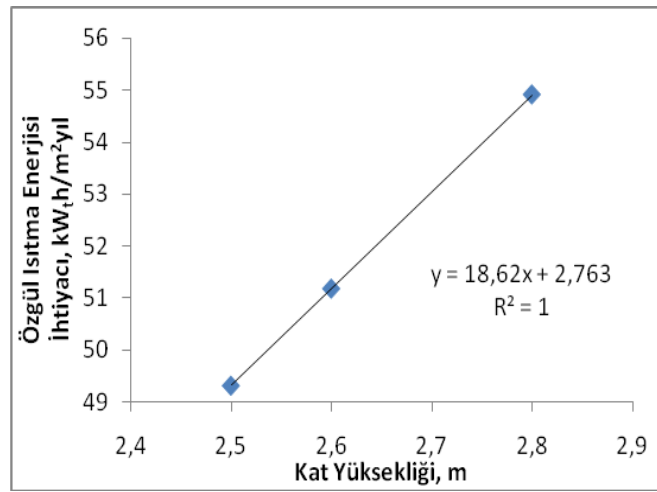
D) Pencere tipi etkisi



E) Isıtılan alan etkisi



F) Isıtma periyodu etkisi



G) Kat yüksekliği etkisi

Şekil 2.20 Model B’de kullanılan parametrelerin özgül ısıtma enerjisi talebi üzerindeki etkileri

Bu eşitlik konut için bilinen parametrelerin değerlerinin yerine konulmasıyla kullanılabilir. Bilinmeyen parametreler için de varsayılan değerler kullanılır (Çizelge 2.12). Bu denklemin sonucuna sıcak su için gerekli ısı enerjisi de eklenerek konut yıllık toplam ısı enerjisi talebi elde edilebilir.

$$E_{ısıtma} = 51 \cdot (6,43 \cdot A^{-0,4}) \cdot (102,5 \cdot D^2 - 17,49 \cdot D + 1,52) \cdot (0,75 \cdot R + 0,85) \cdot (0,21 \cdot P + 0,5) \cdot (0,46 \cdot I + 0,54) \cdot (0,03 \cdot T + 0,35) \cdot (0,36 \cdot H + 0,05) \quad [\text{kWt.h/m}^2.\text{yıl}] \quad (2.15)$$

Denklem incelendiğinde, döşeme alanı ve yalıtım malzemesi kalınlığı parametrelerinin dışındaki değişkenler doğrusal bir denklem ile ifade edildiler. Döşeme alanı ise eksponansiyel ve dış duvar yalıtımı da ikinci dereceden bir denklem ile ifade edildiler.

Çizelge 2.12 Model B için varsayılan değerler

PARAMETRE	SİMGE	DEĞER	BİRİM
Döşeme Alanı	A	100	m^2
Dış Duvar Yalıtımı	D	0,04	m
Pencere Oranı	R	20	%
Pencere Tipi	P	2,4	$W/m^2.K$
Isıtılan Alan Oranı	I	100	%
Isıtma Periyodu	T	24	<i>saat</i>
Kat Yüksekliği	H	2,6	m

2.5 Konutun Saatlik Olarak Modellenmesi

Bölge ısıtma sistemlerinin tasarımında, analizinde ve işletilmesinde sistemin maksimum kapasitesine ve anlık işletme değerlerine ihtiyaç vardır. Özellikle sistemin işletme masraflarının belirlenmesinde saatlik ısıtma taleplerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle aylık olarak yapılan analizlerden sonra saatlik ısı enerjisi talep analizleri de yapıldı. Saatlik ısı enerjisi analizleri aylık ortalama değer üzerinden yapılan hesaplamalara göre daha doğru sonuçlar verdiğinden bölge ısıtma modeli hesaplamalarında bölgenin pik yükünün hesaplanmasında da kullanıldı. Ayrıca pompaların tükettiği elektrik enerjisi hesabı da saatlik olarak yapıldı.

2.5.1 Tipik İklim Yılı

Bu bölümdeki saatlik olarak yapılan bütün analizlerde Pusat'ın yaptığı çalışmalarda elde edilen meteorolojik veriler kullanıldı (2009). Kullanılan bu verilerden en önemlisi tipik iklim yılı (typical meteorological year - TMY) verileridir. TMY verilerinin binaların enerji tüketimi hesaplamalarında uzun yıllara ait ortalamaların alınması ile elde edilen verilerden daha gerçekçi olduğu literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir (Skeiker ve Ghani, 2008; Yang vd., 2008). Dünyada kullanılan bina enerji performans yazılımları incelendiğinde TMY yaklaşımının yaygın bir şekilde kullanıldığı görülebilir. Ülkemiz için hazırlanan BEP-HY yazılımı da TMY yaklaşımını kullanmaktadır.

TMY verilerinin hazırlanmasında uzun yıllara ait saatlik ve günlük ortalama veriler kullanılır. Bu veriler bazı istatistikî yöntemler kullanılarak incelenir. Her ay için ayrı ayrı olmak üzere uzun yıllar ortalamasına en yakın (uzun yıllardaki verilere göre ayı en iyi temsil eden ay) aylar tespit edilir. Bu ayların tespitinde uzun dönemlik kümülatif dağılım fonksiyonu (cumulative distribution functions - CDF) ve Finkelstein-Schafer (F-S) istatistiği kullanılır.

$$F - S = \left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (2.16)$$

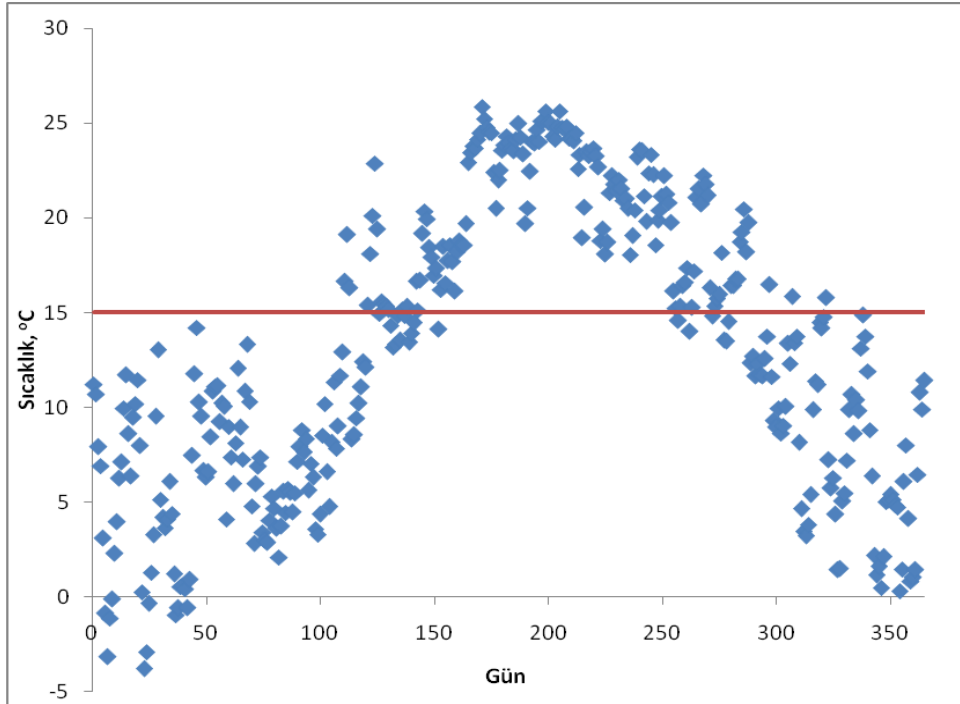
Burada:

δ_i : Uzun dönem ve söz konusu ayın CDF değerleri farkının mutlak değeri,
 n : Aylardaki gün sayısıdır.

En küçük F-S değerine sahip ay uzun yılların ortalamasına en yakın ay demektir (Freeman, 1979). Bu yöntem sayesinde, uzun yılların ortalaması alınarak elde edilen yapay verilerin yerine, uzun yıllar boyunca görülen gerçek verilerin kullanılması sağlanır.

2.5.2 Isıtma Döneminin Tespiti

Saatlik hesaplamalarda ısıtma süresinin belirlenmesi amacı ile Duryamaz ve Kadioğlu'nun çalışmasındaki yöntem kullanıldı (2003). Bu yöntemle göre, günlük ortalama sıcaklık değerinin 15 °C'nin üzerine çıkması ısıtma döneminin bittiği; altına düşmesi ise ısıtma döneminin başladığı kabulü yapılmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapılan analizde İstanbul için ısıtmanın başladığı tarih 16 Ekim (289. gün), ısıtma döneminin bittiği tarih ise 20 Nisan (110. gün) olarak belirlendi (Şekil 2.21). Tarihler belirlenirken süreklilik de arandı: Isıtma döneminin başlangıcı için günlük ortalama sıcaklığın 15 °C'nin altına düştüğü ilk tarih değil, üst üste 2 gün 15 °C'nin altına düştüğü tarih kabul edilmiştir.



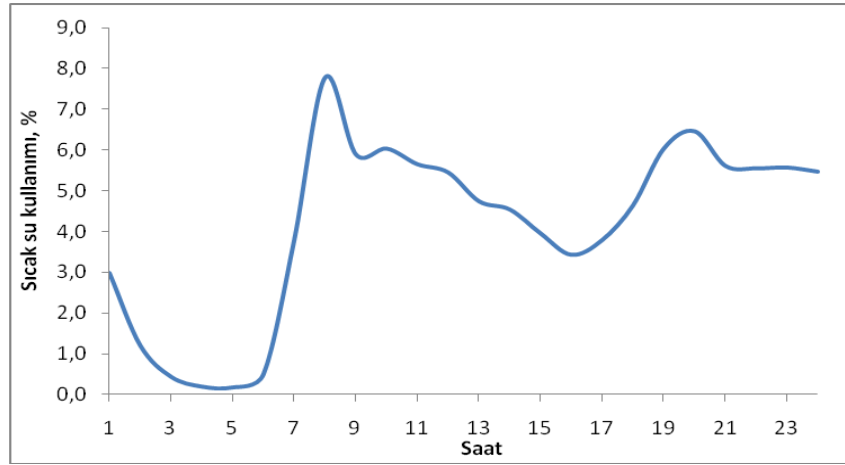
Şekil 2.21 Isıtma dönemi başlangıç ve bitişinin tespiti

2.5.3 Saatlik Sıcak Su Enerji Tüketim Hesabı

Saatlik olarak konut ısı enerjisi talebi analizi yapabilmek için sıcak su tüketimine bağlı ısı enerjisinin de saatlik olarak hesaplanması gerekir. Bunun için ASHRAE'nin günlük saatlik sıcak su kullanım dağılım değerleri kullanıldı (Çizelge 2.13). Bu değerler her saat için günlük toplam tüketim oranına çevrilerek kullanıldı. Günlük sıcak su enerji tüketim hesabının nasıl yapıldığı daha önce (Bölüm 2.1.2) anlatılmıştı. Günlük değer bu yüzdelik oranlara göre gün içerisinde dağıtılarak hesaplamalara dâhil edildi.

Çizelge 2.13 Saatlik sıcak su kullanımı (ASHRAE)

Saat	Sıcak Su Kullanımı	
	litre	%
1	14,8	3,0
2	6	1,2
3	2,2	0,4
4	1	0,2
5	0,9	0,2
6	2,5	0,5
7	18,8	3,8
8	38,5	7,8
9	29,2	5,9
10	29,9	6,0
11	28	5,7
12	27	5,5
13	23,5	4,7
14	22,5	4,5
15	19,6	4,0
16	17	3,4
17	18,8	3,8
18	23	4,6
19	29,9	6,0
20	32	6,5
21	27,8	5,6
22	27,5	5,6
23	27,6	5,57
24	27,1	5,47
Toplam	495,1	100,00
Ortalama	20,6	4,17

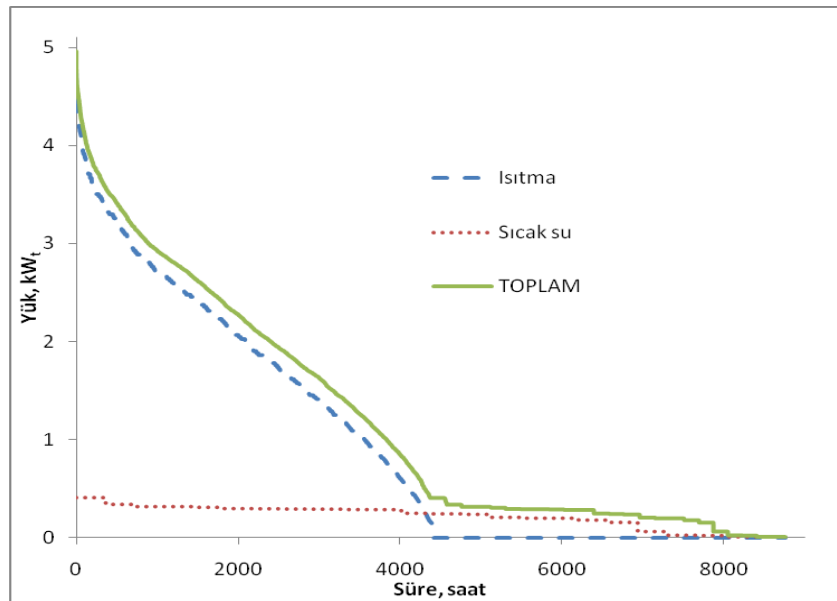


Şekil 2.22 Günlük sıcak su kullanım dağılımı

Şekil 2.22’de de görülebileceği üzere sıcak su kullanımının büyük bölümünün sabah saatlerinde (pik: 38,5 litre ile sabah saat 08’de) ve akşam saatlerinde (pik: 32 litre ile akşam saat 20’de) olduğu görülür.

2.5.4 Saatlik Veri Analizi

Çizelge 2.14’de verilen özelliklere sahip İstanbul’daki bir konut için saatlik hesaplamalar sonucunda elde edilen düzenlenmiş yük-süre eğrisi Şekil 2.23’de örnek olarak verildi. Saatlik ısıtma, sıcak su ve toplam ısı enerjisi yüklerinin zamana bağlı değerleri, ayrı ayrı büyükten küçüğe sıralanarak düzenlenmiş yük-süre eğrisi elde edildi. Bu eğri bir yıl içinde herhangi bir yük ve üzeri yüklerin talep süresini gösterir. Ayrıca eğrinin altında kalan alan bir yıllık toplam ısı enerjisi talebini vermektedir.



Şekil 2.23 Düzenlenmiş yük-süre eğrisi

Çizelge 2.14 Konutun genel özellikleri

Konutun Özellikleri		
Döşeme Alanı	m^2	100
Yalıtım Malzemesi Kalınlığı	m	0,04
Pencere Oranı	%	20
Pencere Tipi	$W/m^2.K$	2,4
Isıtılan Alan Oranı	%	100
Isıtma Periyodu	<i>saat</i>	24
Kat Yüksekliği	m	2,6

2.6 Referans Konut Çalışması

Bölge ısıtma modelinin herhangi bir bölgeye uygulanabilmesi için bölge ile ilgili verilerin belirlenmesi gereklidir. Ayrıca yapılan uygulamanın doğruluğu elde edilen verilerin hassasiyetine bağlıdır. Bu bölümde bölgedeki binalarla ilgili detaylı bilgilere ulaşamadığı zaman kullanılabilecek basit bir yöntem sunuldu. Bu yöntem enerji verimliliği yönetmelikleri tarafından en çok dikkate alınan ve güncel olan yalıtım durumunu 3 farklı sınıfta (yalıtımsız, ortalama yalıtım ve yalıtımlı) incelemekte ve diğer parametreleri de ortalama değerler olarak kabul etmektedir. Örnek analizler İstanbul için yapıldı ve sonuçlar alt bölümlerde verildi. Üç referans konut tipi için yapılan analizler sonucunda elde edilen yıllık ısı enerjisi ve pik ısı enerjisi talebi değerleri bölge ısıtma sistemi modelinde kullanıldı. Ayrıca elde edilen 3 farklı referans konut tipi için üretilen düzenlenmiş yük-süre eğrileri konutun ve bölgenin yıllık ısı enerjisi talebinin nasıl değiştiğini de göstermektedir.

2.6.1 Yalıtımlı Konut

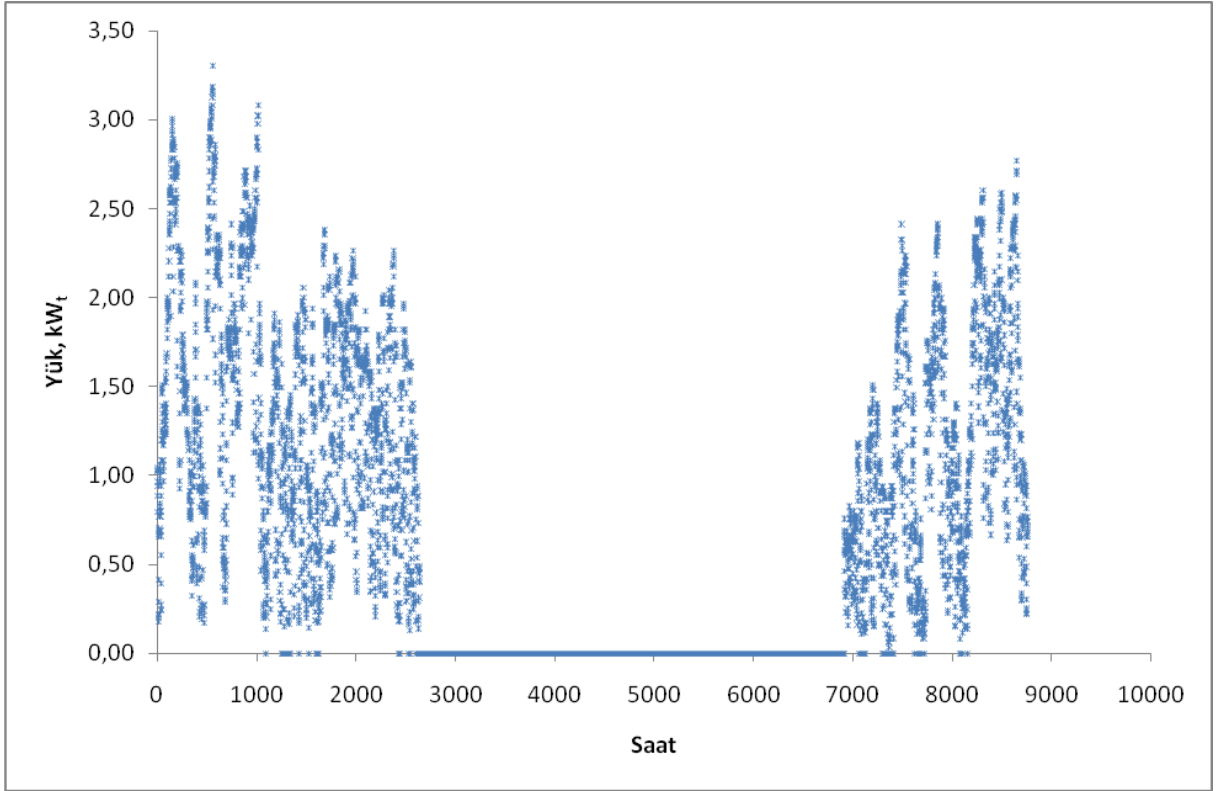
İstanbul için yalıtımlı tip referans konut ile yapılan analizlerle elde edilen sonuçlar bu bölümde sunuldu (Çizelge 2.15, Çizelge 2.16, Şekil 2.24 ve Şekil 2.25).

Çizelge 2.15 Yıllık ısı enerjisi talebi (Yalıtımlı tip)

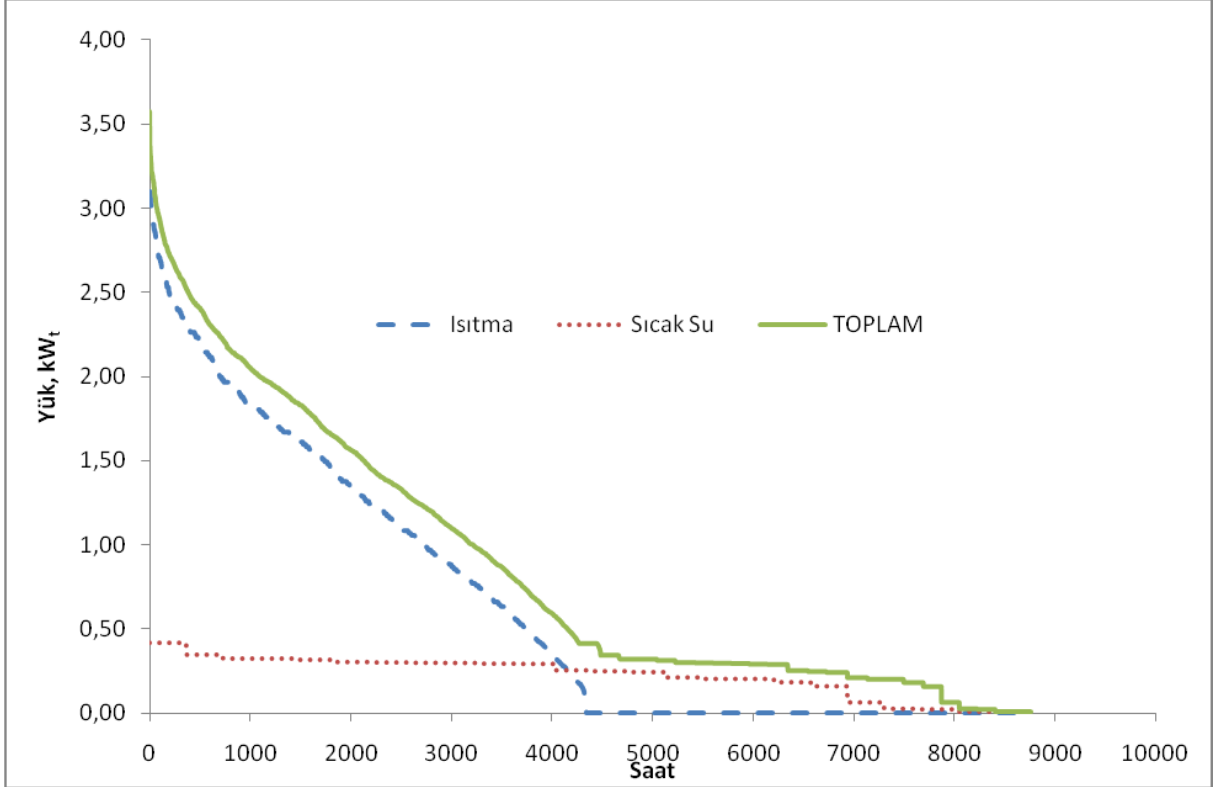
ISI ENERJİSİ TALEBİ, $kW_h/yıl$		
<i>Isıtma</i>	<i>Sıcak Su</i>	<i>Toplam</i>
5664	1946	7610

Çizelge 2.16 Pik ısı yük (Yalıtımlı tip)

PİK YÜK, kW_t	
<i>Sıcak su dâhil</i>	<i>Sıcak su hariç</i>
3,69	3,28



Şekil 2.24 Saatlik yükler (Yalıtımlı tip)



Şekil 2.25 Düzenlenmiş yük-süre eğrileri (Yalıtımlı tip)

2.6.2 Yalıtımsız Konut

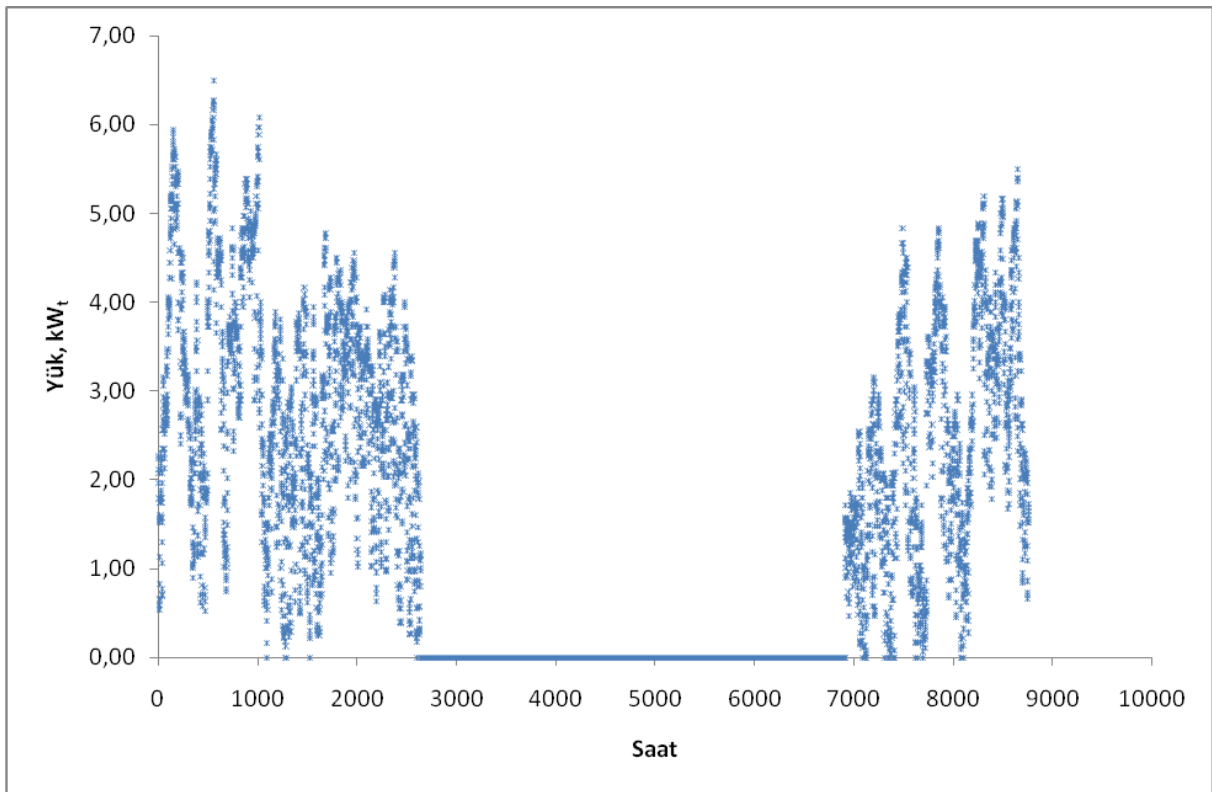
Yalıtımsız tip referans konut için elde edilen sonuçlar bu bölümde sunuldu (Çizelge 2.17, Çizelge 2.18, Şekil 2.26 ve Şekil 2.27).

Çizelge 2.17 Yıllık ısı enerjisi talebi (Yalıtımsız tip)

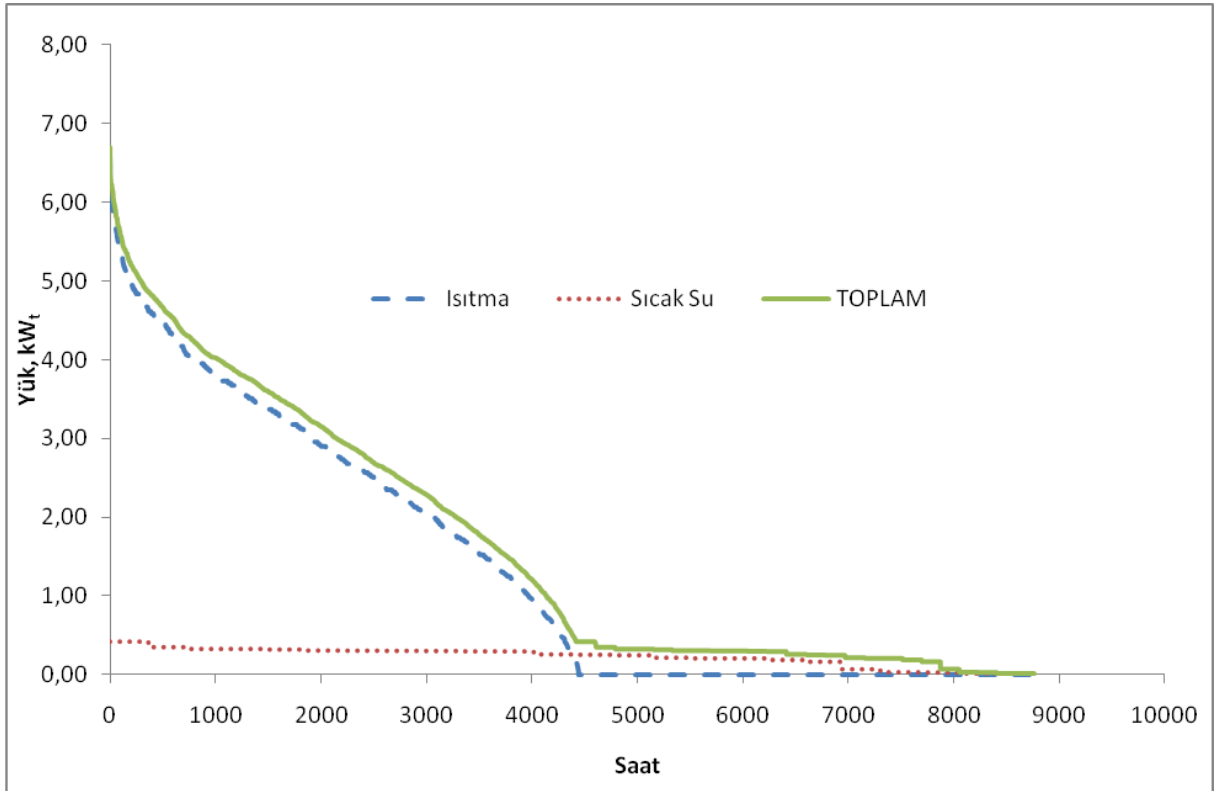
ISI ENERJİSİ TALEBİ, kW_th/yıl		
<i>Isıtma</i>	<i>Sıcak Su</i>	<i>Toplam</i>
11343	1946	13289

Çizelge 2.18 Pik ısı yükü (Yalıtımsız tip)

PİK YÜK, kW_t	
<i>Sıcak su dâhil</i>	<i>Sıcak su hariç</i>
6,49	6,08



Şekil 2.26 Saatlik yükler (Yalıtımsız tip)



Şekil 2.27 Düzenlenmiş yük-süre eğrileri (Yalıtımsız tip)

2.6.3 Ortalama Konut

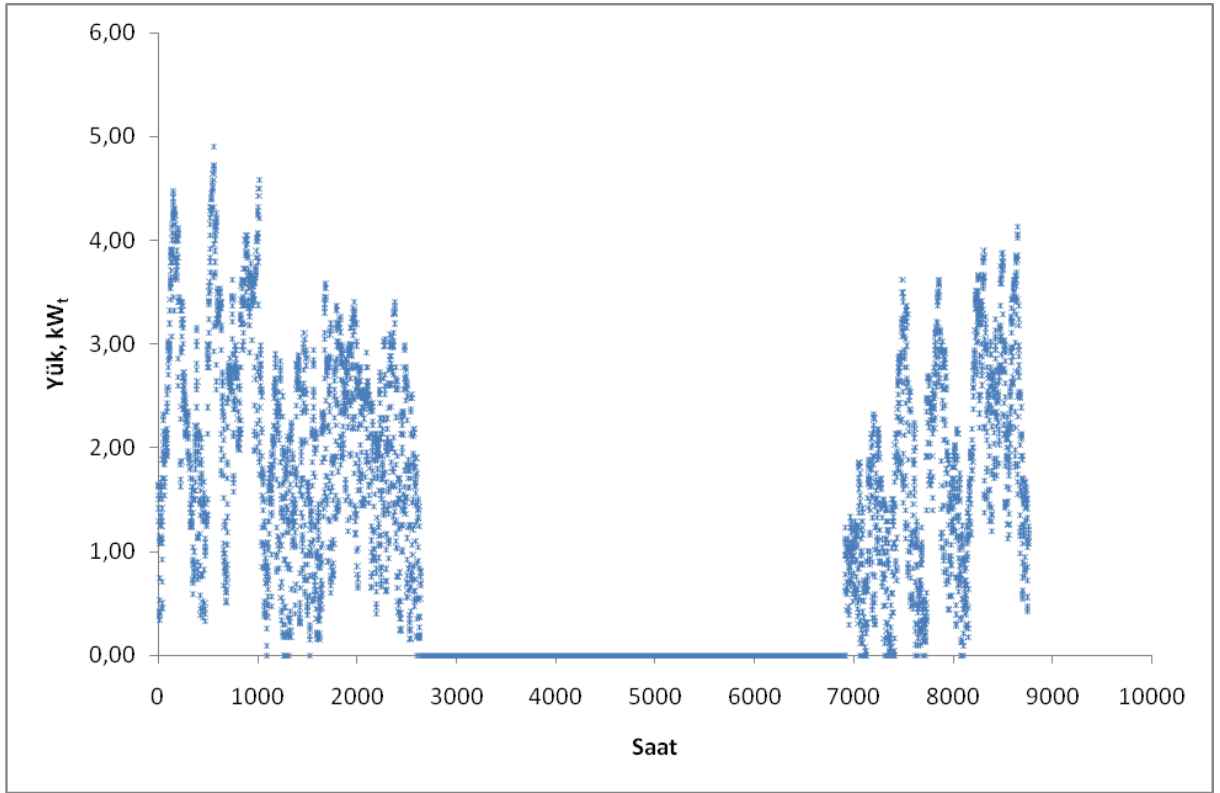
Ortalama tip referans konut için elde edilen sonuçlar bu bölümde sunuldu (Çizelge 2.19, Çizelge 2.20, Şekil 2.28 ve Şekil 2.29).

Çizelge 2.19 Yıllık ısı enerjisi talebi (Ortalama tip)

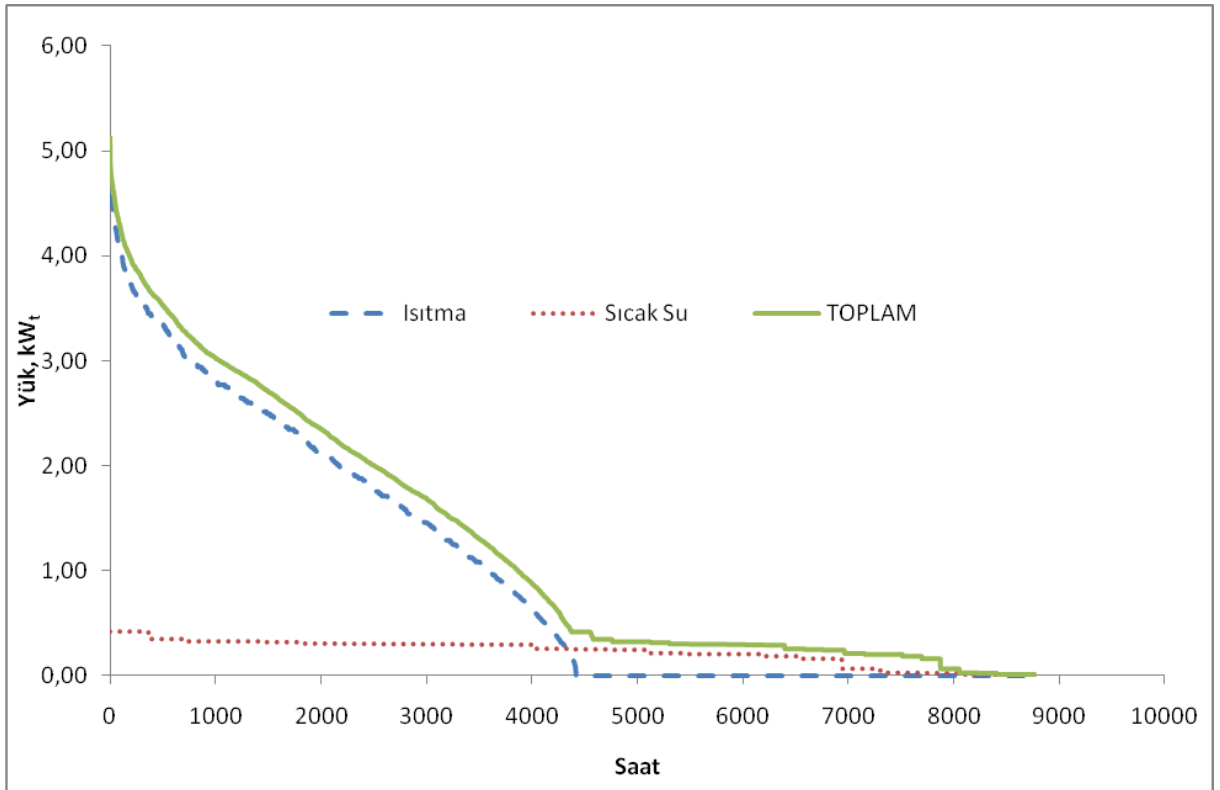
ISI ENERJİSİ TALEBİ, $kW_{th}/yıl$		
<i>Isıtma</i>	<i>Sıcak Su</i>	<i>Toplam</i>
8503	1946	10449

Çizelge 2.20 Pik ısı yükü (Ortalama tip)

PİK YÜK, kW_t	
<i>Sıcak su dâhil</i>	<i>Sıcak su hariç</i>
5,09	4,68



Şekil 2.28 Saatlik yükler (Ortalama tip)



Şekil 2.29 Düzenlenmiş yük-süre eğrileri (Ortalama tip)

Oluşturulan 3 referans konut tipi için yapılan analizlerle bölge ısıtma sistemi modelinde kullanılmak üzere gerekli veriler elde edildi. Pik ısı yük ve yıllık toplam ısı enerjisi değerlerine bakıldığında, ortalama tip referans konut değerlerinin yalıtımlı ve yalıtımsız tip referans konutların değerlerinin ortalaması olduğu görülebilir. Yalıtımsız tip referans konutun pik ısı yükü (sıcak su dâhil) yalıtımlı tip referans konutun yaklaşık 1,8 katıdır. Bu fark bu iki tip konut için seçilecek ısıtma sistemi açısından değerlendirilirse, yalıtımın konutlardaki önemi daha iyi anlaşılabilir. Yıllık toplam ısı enerjisi ihtiyacı açısından iki tip arasında yaklaşık 1,9 kat fark vardır. Pik ısı yükler ile yıllık toplam yükler arasındaki farkların eşit olmaması, daha sonraki bölümlerde anlatılan bölge ısıtma sistemi ekonomik modelinin birim ısı enerjisi maliyetlerini üç farklı yalıtım tipi için farklı olarak hesaplamasına neden olmaktadır.

Sonuçlar, bir bölgedeki yıllık toplam ısı enerjisi ihtiyacı açısından da değerlendirilebilir. Örneğin yıllık toplam ısı enerjisi talebi 2.500 MW_th/yıl olan bir bölge incelenirse: Bu bölgedeki bütün binalar yalıtımlı tip referans konuta benzer ise bu bölgede yaklaşık 329 adet konut vardır; eğer bu bölgedeki binalar yalıtımsız tip referans konuta benzer ise bu bölgede yaklaşık 177 adet konut vardır. Dolayısıyla bölgedeki binaların yalıtım durumları bölgenin ısı enerjisi talebini önemli ölçüde belirlemektedir.

3. BÖLGELERİN ISI ENERJİSİ TALEBİNİN MODELLENMESİ

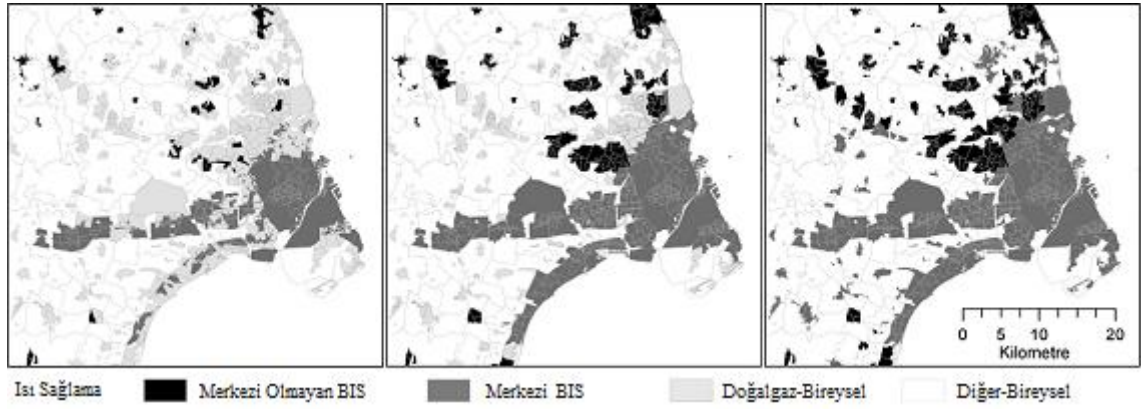
Konutlarla ilgili yapılan analizlerden sonra, en küçük birimi konut olarak kabul edilen bir bölgenin ısıtma ve sıcak su temini amaçlı enerji talebi bu bölümde incelendi. Bir bölgenin sahip olduğu toplam ısı enerjisi talebi bölge ısıtma sisteminin o bölgeye uygulanabilirliğini önemli ölçüde belirlemektedir.

3.1 Bölge Tanımı ve Özellikleri

Bölge, bir yerleşim yerinin tamamı yerine sadece bölge ısıtma sistemi tarafından ısı enerjisi talebi karşılanacak kısmını gösterir. Bir bölgenin bölge ısıtma sistemini etkileyen temel özellikleri vardır. Bölgeler arasında değişiklik gösterecek ve bölge ısıtma sisteminin hem uygulanabilirliğini hem de ekonomisini belirleyecek bu temel özellikler şu şekilde sıralanabilir:

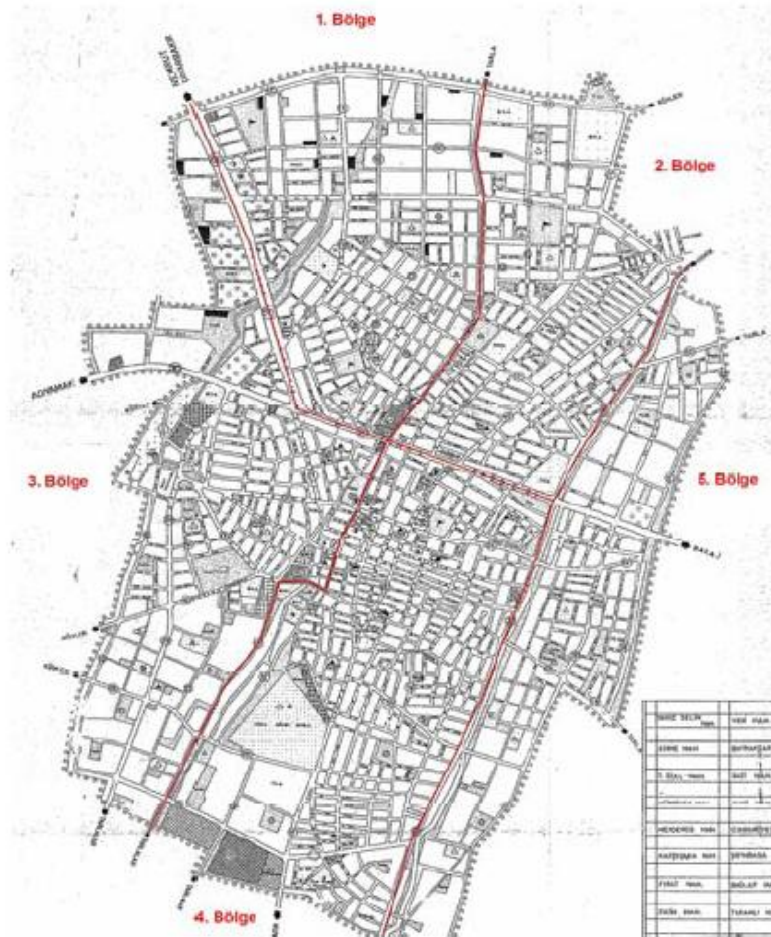
- Yüzölçümü,
- Nüfus,
- Bina Sayısı,
- Konut Sayısı,
- Mevcut Isıtma Sistemleri,
- Mevcut Isıtma Enerjisi Kaynağı,
- Bölge Isıtma Sisteminde Kullanılabilecek Enerji Kaynağı,
- Bölgenin Yer Aldığı İklim Bölgesi,
- Bölge Enerji Talebi,
- Bina ve Konutların Isıl-Fiziksel Özellikleri.

Bu özelliklerin birçoğu bölge içerisinde sabit olabilmekle beraber farklılıklar da gösterebilir. Birkaç örnek vermek gerekirse bölge içerisindeki binaların kat sayıları, konutların yalıtım durumları, ısıtma sistemleri vb. farklı farklı olabilir. Şekil 3.1’de bir bölgenin (Kopenhag) ısıtma sistemine bağlı detaylı incelenmesinden sonra oluşturulan 3 farklı senaryonun görsel hali verilmiştir.



Şekil 3.1 Bir bölgenin ısıtma sistemine bağlı olarak incelenmesi (Möller ve Lund, 2010)^{†††}

Bölge olarak tanımlanan alan bir coğrafi bölge, şehir, ilçe, mahalle, köy ya da toplu konut alanı olabilir. Bir şehir birkaç bölgeye ayrılarak da bölgeler tanımlanabilir. Şekil 3.2’de bir yerleşim yerinin enerji yoğunluğuna bağlı olarak 5 bölgeye ayrılması görülebilir.

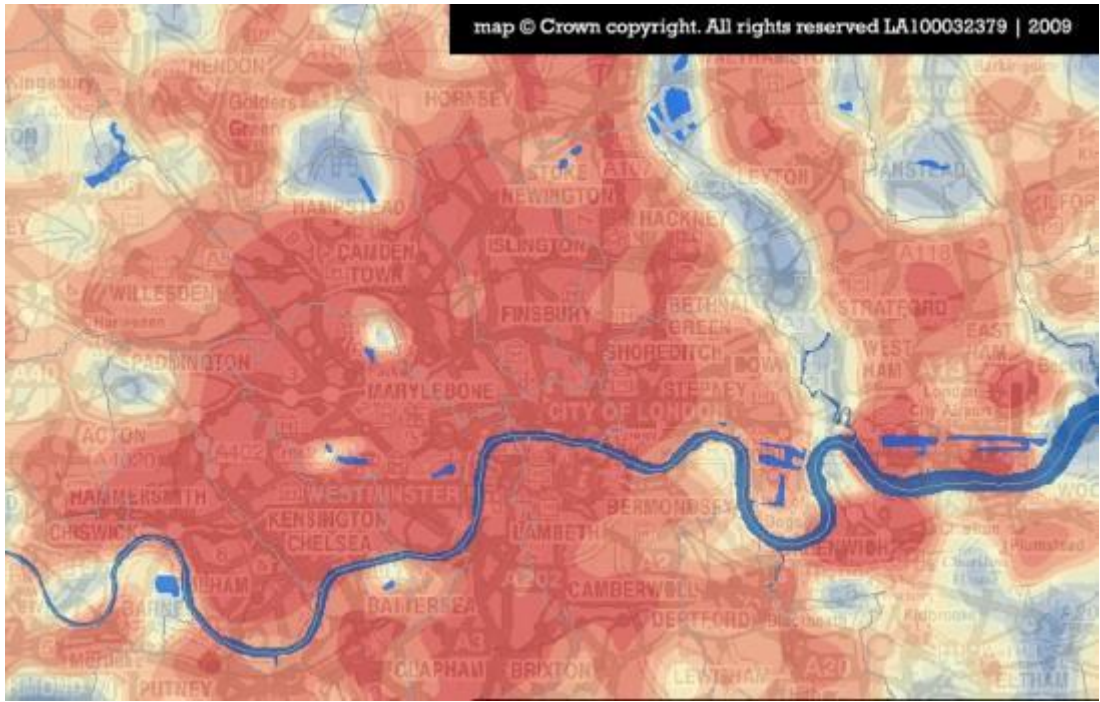


Şekil 3.2 Bir yerleşim yerinin farklı bölgelere ayrılması (Serpén, 2008)

^{†††} Türkçeleştirilmiştir.

3.2 Bölgenin Modellenmesi

Bir bölgenin ısıtma enerjisi talebi modellenirken en basitinden detaylısına kadar farklı yollar izlenebilir. Detaylı yöntemde bölge içerisinde yer alan bütün binalar tek tek incelenerek ısı enerjisi ihtiyaçları hesaplanır ve sonra da bölgenin toplam ısı enerjisi ihtiyacı belirlenir. Basit yöntem de ise bölgedeki binalar için ortalama bir bina tipi seçilerek yaklaşık olarak bölgenin ısı enerjisi talebi hesaplanır. Ayrıca bir diğer yöntem de binaların geçmiş yıllarda ısı enerjisi tüketimi için harcamalarını gösteren faturaların değerlendirilmesi şeklindedir. Şekil 3.3'de Londra için binaların ısı enerjisi yüklerine göre hazırlanan ve bölge ve merkezi ısıtma sistemi için karar vermede kullanılan detaylı bir ısı haritası görülmektedir.



Şekil 3.3 Londra için hazırlanan ısı haritası (London Heat Map, 2009)

Bölgenin toplam yakıt tüketimi ve ısıtmanın bölgeye olan maliyeti hesaplanırken de basit ve detaylı yöntemler kullanılabilir. Kullanılan yakıtın türü, ısıtma sisteminin özellikleri, kullanıcı karakteristikleri vb. yöntemin özelliklerine göre hesaplara dâhil edilebilir.

3.3 Örnek Bölge Modellemesi

Bu bölümde bir bölge için yapılan hesaplama sonuçlarının ısı enerjisi ihtiyacını değiştiren bazı temel parametrelere bağlı olarak nasıl değiştiği incelendi. İncelenen temel parametreler şu şekildedir:

- Yalıtım Durumu,
- Konut Sayısı,
- Isıtma Sistemi Verimi.

3.3.1 Örnek I: Yalıtım Durumu Etkisi

İkinci bölümde konutlar için yapılan modellemeler sonucunda oluşturulan 3 tip referans konut için bölge modellemesi yapıldı. Bu örnekte incelenen bölgedeki konut sayısı 1.000 kabul edildi. 1.000 konutun 3 tip referans konut tipi için yıllık ısı enerjisi ihtiyaçları Çizelge 3.1’de görülebilir.

Çizelge 3.1 Yalıtım durumunun yıllık ısı enerjisi talebine etkisi

Referans Konut Tipi	Yıllık Isı Enerjisi Talebi, kW _t h/yıl	Yalıtımlı Konuta Göre Fark, %
Yalıtımlı Konut	7.610.000	0
Yalıtımsız Konut	13.288.626	75
Ortalama Konut	10.448.813	37

Sonuçlara göre yalıtımlı ve yalıtımsız konutlardan oluşan 1.000 konutlu bir bölgenin yıllık ısı enerjisi talepleri arasındaki fark yaklaşık olarak % 75 gibi büyük bir orandır.

3.3.2 Örnek II: Konut Sayısı Etkisi

İkinci örnekte 1.000 adet binanın olduğu bir bölgenin farklı konut sayıları için yıllık ısı enerjisi ihtiyaçları karşılaştırıldı. Konut tipi olarak yalıtımlı referans konut tipi kullanıldı. Sonuçlar Çizelge 3.2’de verildi.

Çizelge 3.2 Konut sayısının yıllık ısı enerjisi talebine etkisi

Konut Sayısı	Yıllık Isı Enerjisi Talebi, kW _t h/yıl	2.000 Konut Sayısına Göre Fark, %
2.000 Konut	15.220.000	0
3.000 Konut	22.830.000	50
4000 Konut	30.440.000	100

Bina sayısı aynı olmasına rağmen konut sayısına bağlı olarak sonuçlar çok fazla farklılık göstermektedir.

3.3.3 Örnek III: Isıtma Sistemi Verimi Etkisi

Son örnekte ısıtma sisteminin verimine bağlı olarak yıllık net enerji tüketiminin nasıl değiştiği incelendi. Burada yalıtımlı referans konut tipinden oluşan 1.000 konutluk bir bölge incelendi. Isıtma sistemi veriminin % 90, % 80 ve % 70 olduğu üç durum için hesaplamalar yapıldı ve sonuçlar Çizelge 3.3'te verildi.

Çizelge 3.3 Isıtma sistemi veriminin yıllık ısı enerjisi tüketimine etkisi

Sistem Verimi	Yıllık Net Isı Enerjisi Tüketimi, kWth/yıl	% 90 Verime Göre Fark, %
90%	8.371.000	0
80%	9.132.000	9
70%	9.893.000	18

Isıtma sistemi verimine bağlı olarak sonuçlar % 18 oranında değişebilmektedir.

4. ENERJİ MALİYET HESABI

Bu bölümde mühendislik ekonomisinin temel yöntemleri ile bir bölge ısıtma sisteminin birim ısı enerjisi maliyeti hesaplama yöntemi verildi. Bu bölüm için kaynak olarak Enerji Maliyeti (1995) kitabı ile Enerji Maliyeti Yüksek Lisans Ders Notları (2010) kullanıldı. İncelenen yöntem modelde kullanılan yöntemle aynıdır. Mühendislik ekonomisinde kullanılan temel yöntemler aşağıda kısaca özetlendi:

Gelecek değer: Bugünkü değeri belli olan paranın bilinen yıllık artış oranı ile n yıl sonraki değeridir (Şekil 4.1) ve Denklem 4.1’den bulunur:

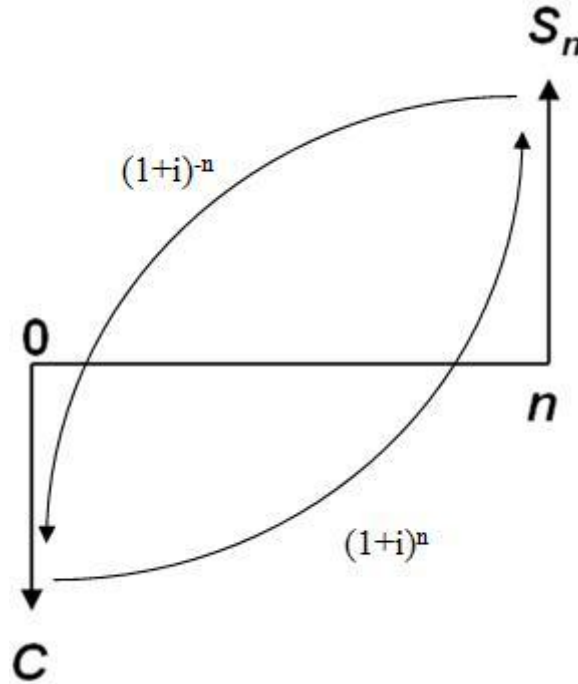
$$S_n = C \cdot (1+i)^n \quad [\text{TL/yıl}] \quad (4.1)$$

Geçmiş Değer: Gelecekteki değeri bilinen paranın bilinen yıllık artış oranı ile n yıl önceki değeridir (Şekil 4.1) ve Denklem 4.2’den bulunur:

$$C = S_n \cdot (1+i)^{-n} \quad [\text{TL/yıl}] \quad (4.2)$$

Burada:

- n Yıl,
- S_n Paranın n yıl sonraki değeri,
- C Paranın n yıl önceki değeri,
- i Yıllık değer değişimini gösteren faiz oranıdır (%).



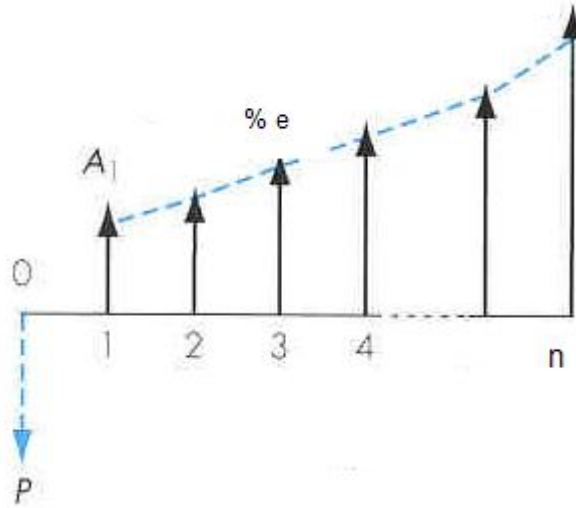
Şekil 4.1 Şimdiki ve gelecekteki değerler

Geometrik Artan Bir Serinin Şimdiki Değeri: Belli bir yıllık artış oranı ile (% e) artış gösteren periyodik nakit akışının şimdiki değeridir (Şekil 4.2) ve Denklem 4.3’den bulunur:

$$P = \begin{cases} \frac{A_1}{i-e} \left[1 - (1+e)^n \cdot (1+i)^{-n} \right] \rightarrow i \neq e \\ \frac{n \cdot A_1}{1+i} \rightarrow i = e \end{cases} \quad [\text{TL}] \quad (4.3)$$

Burada:

- P Nakit akışının şimdiki değer toplamı,
 A_1 Nakit akışının 1. Yıldaki değeri (TL/yıl),
 e Eskalasyon oranıdır (%).



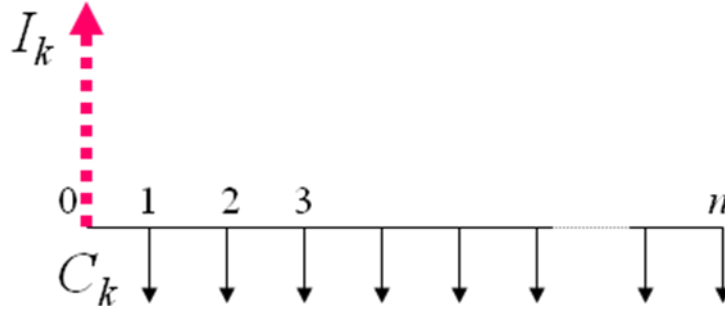
Şekil 4.2 Geometrik artan bir seri

Amortisman Bedeli (Sabit Yıllık Sermaye Bedeli): Şimdiki değeri bilinen bir paranın yıllık eşit miktarlarda dağıtılması durumunda yıllık değeri (Şekil 4.3) şu şekilde hesaplanabilir:

$$C_k = I_k \cdot \left[\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad [\text{TL/yıl}] \quad (4.4)$$

Burada:

- I_k Bir serinin şimdiki değer toplamı (TL),
 C_k Sabit bir serinin yıllık değeridir.



Şekil 4.3 Sabit yıllık sermaye bedeli

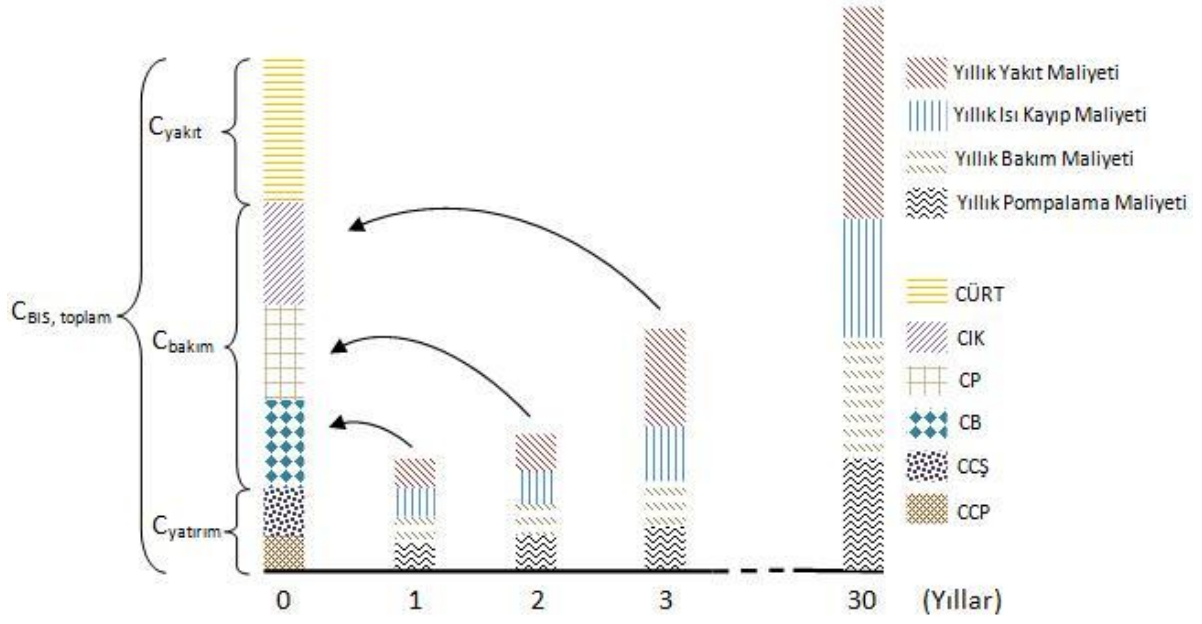
4.1 Bölge Isıtma Sistemi Maliyet Hesabı

Bir bölge ısıtma sisteminin ekonomik olarak değerlendirilmesinde mühendislik ekonomisindeki (Bugünkü değer, yıllık değer, geri ödeme oranı vb.) yöntemler kullanılabilir. Ancak bu çalışmada, ısıtma için kullanılacak farklı kaynakların (kömür, doğalgaz, jeotermal, bölge ısıtma vb.) ekonomiklik karşılaştırmalarında kullanılması daha faydalı olan birim ısı enerjisi maliyeti (TL/kW_th) kullanıldı. Bu amaçla bu bölümde bölge ısıtma sisteminde birim ısı enerjisi maliyetinin hesaplama yöntemi verildi. Geliştirilen ekonomik model, santralden çekilen ısı enerjisinin binanın kapısına kadar getirildiğini varsaydığı için santral ve bina içerisindeki sistemler ile ilgili hesaplamalar model içerisinde yer almamaktadır.

Bölge ısıtma sistemi birim ısı enerjisi maliyeti aşağıda yazılmış olan masraf (TL) kalemlerinden oluşur (Şekil 4.4):

- İlk yatırım masrafları, $C_{yatırım}$
 - Temel şebeke masrafları, CCŞ
 - Temel pompa masrafları, CCP
- İşletme-bakım-onarım masrafları, $C_{bakım}$
 - Isı kaybı masrafları, CIK
 - Pompalama masrafları, CP
 - Bakım masrafları, CB
- Yakıt masrafları, $C_{yakıt}$
 - Isı üretim masrafları, CÜRT

Bahsi geçen masraf kalemleri ömür boyu yapılan masrafların şimdiki değere getirilmiş halleridir.



İlk yatırım masrafları boru hattı uzunluğu, boru çapları ve pompa kapasitesi gibi değişkenlere bağlıdır. Isı üretim masrafları bölgedeki konut sayısına ve yalıtım durumuna bağlı iken ısı kaybı masrafları da boru çapına ve uzunluğuna bağlıdır.

İlk yatırım masraflarının şimdiki değerlerinin toplamı şu şekilde hesaplanır:

$$C_{yatirim} = CCŞ + CCP \quad [TL] \quad (4.5)$$

İşletme-bakım-onarım masraflarının şimdiki değerlerinin toplamı şu şekilde hesaplanır:

$$C_{bakim} = CIK + CP + CB \quad [TL] \quad (4.6)$$

Yakıt masraflarının yani ısı enerjisi üretim masraflarının şimdiki değerlerinin toplamı şu şekilde hesaplanır:

$$C_{yakit} = CÜRT \quad [TL] \quad (4.7)$$

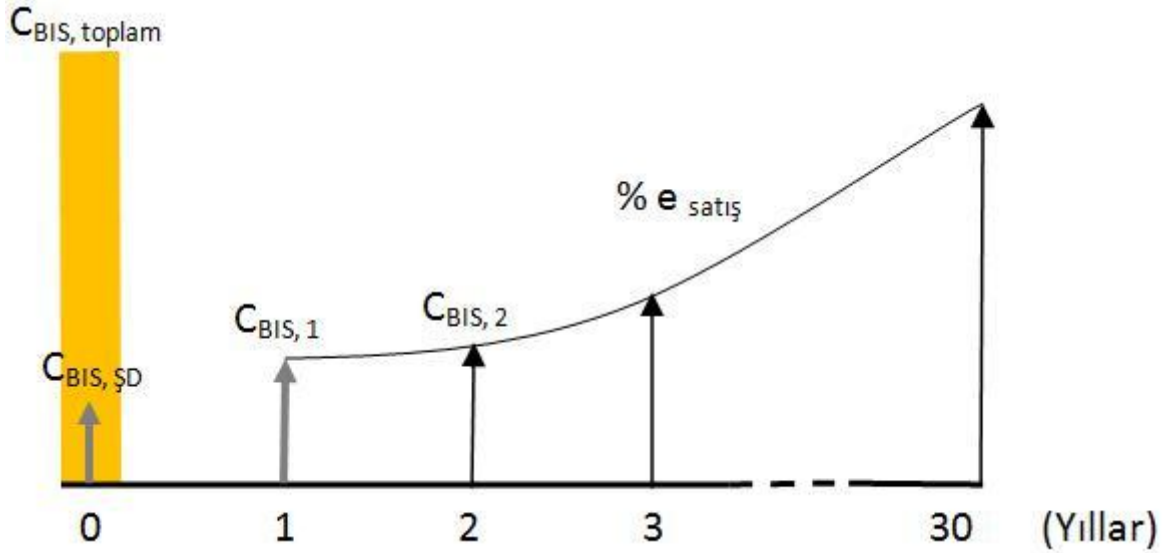
Buraya kadar sistem ömrü boyunca yapılan bütün masrafların şimdiki değerlerinin toplamı ayrı ayrı hesaplandı. Bütün masraf kalemlerinin toplamı da sistemin ömür boyu maliyetlerinin şimdiki değerlerinin toplamına eşit olur:

$$C_{BIS, toplam} = C_{yatirim} + C_{bakim} + C_{yakit} \quad [TL] \quad (4.8)$$

Burada:

$C_{BIS, toplam}$ Ömür boyu masraflar toplamının şimdiki değeridir.

Elde edilen ömür boyu masraflar toplamının şimdiki değerinin, birim ısı enerjisi maliyetinin bulunabilmesi amacı ile yıllık değerlere dönüştürülmesi gerekir (Şekil 4.5). Bunun için bahsi geçen değer, belirli bir yıllık artış oranı (% $e_{\text{satış}}$) ile yıllık nakit akış serisine dönüştürülmelidir. Bu amaçla şimdiki değeri bilinen bir paranın belli bir yıllık artış oranı göstermesi halinde 1. yıldaki değeri hesaplandı (Denklem 4.9). Daha sonra da bu değer şimdiki değeri bulundu (Denklem 4.10).



Şekil 4.5 Bölge ısıtma ömür boyu masraflar toplamının şimdiki değerinin yıllık değere dönüştürülmesi

$$C_{BIS,1} = \left[\begin{array}{l} \frac{C_{BIS,toplam}}{\left(1 - (1 + e_{\text{satış}})^n \cdot (1 + i)^{-n}\right)} (i - e_{\text{satış}}) \rightarrow i \neq e \\ \frac{C_{BIS,toplam}}{n} (1 + i) \rightarrow i = e \end{array} \right] \quad [\text{TL/yıl}] \quad (4.9)$$

$$C_{BIS,\text{şD}} = C_{BIS,1} (1 + e_{\text{satış}})^{-1} \quad [\text{TL/yıl}] \quad (4.10)$$

Burada:

$C_{BIS,1}$ Ömür boyu masraflar toplamının yıllara dağıtılmasından sonraki 1. yıl değeri,

$C_{BIS,\text{şD}}$ Ömür boyu masraflar toplamının yıllara dağıtılmasından sonraki 0. yıl değeri,

$e_{\text{satış}}$ BIS satış eskalasyonu (%).

Artış yüzdesi ile ifade edilen, satılan ısı enerjisinin yıllık fiyat artışıdır. Bu da büyük oranda bölge ısıtma sisteminin en önemli değişken masrafı olan ısı kaynağından çekilen ısı enerjisinin sahip olduğu birim üretim maliyeti artış oranına bağlıdır. Isı enerjisi üretim maliyetindeki fiyat değişimi de doğal olarak üretim sisteminin kullandığı yakıt türüne ve fiyat

değişimine bağlıdır.

Yukarıda bölge ısıtma sisteminin ömür boyu masraflarının şimdiki değere getirilen yıllık maliyeti ($C_{BIS,SD}$) hesaplandı. Bundan sonra da birim ısı ve konut başına düşen yıllık ısı enerjisi maliyeti sırasıyla şu şekilde hesaplanır:

$$C_{BIS,ISI} = \frac{C_{BIS,SD}}{E_{talep,bölge}} \quad [\text{TL/kW}_t\text{h}] \quad (4.11)$$

$$C_{BIS,KONUT} = \frac{C_{BIS,SD}}{N_{konut}} \quad [\text{TL/konut.yıl}] \quad (4.12)$$

Burada:

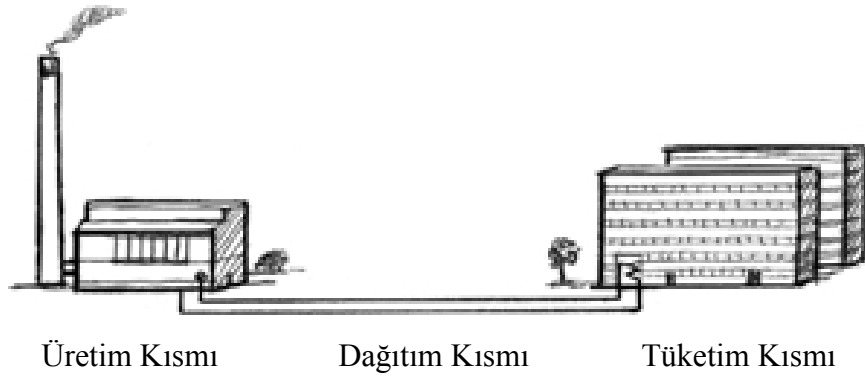
- $E_{talep,bölge}$ Bölge yıllık toplam ısı enerjisi talebi ($\text{kW}_t\text{h/yıl}$),
- $C_{BIS,ISI}$ Birim ısı enerjisi maliyeti,
- N_{konut} Konut sayısı (Adet),
- $C_{BIS,KONUT}$ Konut başına yıllık ısı enerjisi maliyetidir.

Hesaplanan birim ısı enerjisi maliyeti ve konut başına düşen yıllık toplam ısı enerjisi maliyeti, diğer yakıtların birim maliyet ve konut başına düşen yıllık toplam maliyet değerleri ile karşılaştırılabilir. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile hem bugünkü hem de gelecekteki değerler karşılaştırılabilir.

5. BÖLGE ISITMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Bu bölüme kadar konut ve bölge için ısı enerjisi talebi hesaplama yöntemleri verildi. Bu bölümde ise elde edilen bu sonuçlar yardımıyla oluşturulan, bölge ısıtma sistemi analizlerinde kullanılabilecek ekonomik model geliştirildi. Bu modelin amacı herhangi bir bölge için bölge ısıtma sistemi planlandığında etkin parametreleri içeren teknik ve ekonomik analizlerin kolay ve doğru bir şekilde yapılmasıdır.

Bölge ısıtma sistemi temel olarak üretim, iletim-dağıtım ve tüketim olmak üzere 3 ana kısımdan oluşur (Şekil 5.1). Bu kısımlarla ilgili detaylı bilgiler alt bölümlerde verildi.



Şekil 5.1 Bölge ısıtma sistemi yapısı (DANFOSS, Chapter 1)

5.1.1 Üretim Kısmı

Bölge ısıtma sisteminin ısı enerjisi üretim kısmında herhangi bir yakıtın yakılması ile elde edilen ısı enerjisi iletim ya da dağıtım sistemindeki akışkana aktarılır. Kullanılan yakıt açısından üretim kısmı üç ana gruba ayrılabilir (Çokoksen, 2010):

- Katı yakıtlı.
 - Kömür
 - Odun
 - Çöp
 - Talaş
 - Pelet
- Sıvı Yakıtlı.
 - Motorin
 - Fuel-oil
- Gaz yakıtlı.
 - Doğal gaz
 - LPG
 - Biyogaz

Isı enerjisinin temin edildiği tesis bölge ısıtma amaçlı kurulmuş bir santral olabileceği gibi

farklı amaçla kurulan bir tesis de olabilir. Bölge ısıtma sisteminde asıl amacı elektrik üretmek olan bir santralden çekilen ısı enerjisi kullanılabileceği gibi, herhangi bir endüstriyel tesisten çekilen ısı enerjisi de kullanılabilir. Örneğin ülkemizde yıllar önce kurulan termik santrallerin atık enerjilerinin faydaya dönüştürülmesi amacıyla TÜBİTAK ve Yıldız Teknik Üniversitesi tarafından yürütülen “Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması” projesi bölge ısıtma sistemlerinin kurulabilmesi ve büyük verim artışları hedefiyle devam etmektedir (TSAD).

Bunların dışında bölge ısıtma sisteminde enerji kaynağı olarak jeotermal enerji de kullanılabilir. Bu tür uygulamalar ülkemizde ve tüm dünyada kullanılmaktadır.

Sistemde dolaşan akışkanın sıcaklığı 100 °C'nin altında olabileceği gibi 170 °C'lere kadar çıkabilmektedir. Günümüzde artık buharlı sistemler neredeyse kullanılmamaktadır. Tasarım ve işletme şartlarında ısı enerjisi talep miktarına bağlı olarak sıcaklık değerleri minimum maliyet için optimize edilmelidir (DANFOSS, Chapter 2).

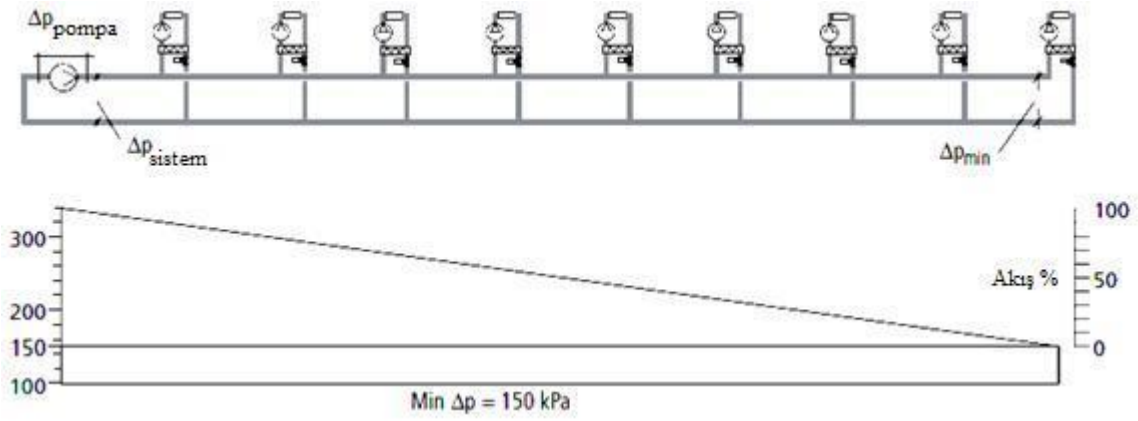
5.1.2 İletim-Dağıtım Kısım

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

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

Boru hatlarının yerleşim şekli tasarlanırken borudaki sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan genleşmeleri karşılayabilecek şekilde olmalıdır. Bunun için Z, L, U vb. tasarımlar kullanılır. Ya da dengeleme tertibatı kullanılarak borudaki gerilmelerden kaynaklanabilecek problemler önlenabilir.

Dağıtım hattındaki basıncın da kullanıcıya taahhüt edilen ısı enerjisi miktarını sağlayabilmek için belli bir değerin altına düşmemesi gerekir. Bu basınç değeri de son kullanıcı için genellikle 150 kPa'dır (Şekil 5.2). Son kullanıcı için bu değerin garanti edilmesi bütün kullanıcıların taahhüt edilen ısıyı aldığını gösterir.



Şekil 5.2 Basınç Ayarı^{***} (DANFOSS, Chapter 2)

5.1.3 Tüketim Kısım

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

Tüketici olan konutların sisteme bağlanması genel olarak 3 şekilde gerçekleşir (DANFOSS, Chapter 2):

- Doğrudan bağlantı,
- Tek ısı değiştiricili bağlantı,
- Her bir ikincil devre için ayrı ısı değiştiricili bağlantı.

5.2 Bölge Isıtma Sistemi İle İlgili Hesaplar

Bu bölümde bölge ısıtma sisteminin teknik ve ekonomik hesaplarının yapıldığı bir model oluşturuldu. Oluşturulan bu model bölgeye ait temel parametreleri içermektedir. Yapılan hesaplamaların kapsamı santralden çekilen ısı enerjisi ile başlar ve boru hatlarının bina ile birleştiği noktada biter. Dolayısıyla ısı enerjisinin çekildiği santral ile ilgili herhangi bir hesap yapılmamaktadır. Isı enerjisinin santralden belli bir maliyetle çekildiği düşünülmektedir. Ayrıca ısı enerjisinin dağıtıldığı binalardaki ısı enerjisi sistemleri analizlerin kapsamının dışındadır. Santralden çekilen ısı enerjisinin iletim ve dağıtım hatları ile binalara ulaştırılması oluşturulan modelin temel sınırlarını göstermektedir. Modelin sınırlarının bu şekilde

^{***} Türkçeleştirilmiştir.

belirlenmesinin nedeni BIS dışında ısı enerjisi kaynağı olarak kullanılan yakıtlar (doğalgaz, kömür vb.) ile modelin elde ettiği birim ısı enerjisi fiyatlarını karşılaştırabilmektir.

5.2.1 Teknik Hesaplar

BIS'nin boyutlandırılması için yapılan teknik hesaplar bu bölümde verildi. Bölge ısıtma sisteminin tasarlanabilmesi için boru hattı, akışkan özellikleri ve pompa ile ilgili temel parametrelerin belirlenmesi ya da hesaplanması gerekir. BIS tasarımı için gerekli teknik parametreler kullanılarak ekonomik hesaplar için gerekli değişkenler elde edilir. Yapılan teknik hesaplarda her türlü değişkenin hesaplanması mümkün olmayabilir. Bu nedenle bazı kabullerin yapılması zorunludur.

5.2.1.1 Teknik Hesaplar İçin Yapılan Kabuller

BIS tasarımının yapılabilmesi için gerekli teknik kabuller Çizelge 5.1'de verildi. Akışkanın gidiş-dönüş sıcaklığı sabit olarak kabul edildi ve sırasıyla 110 ve 70 °C olarak alındı.

Tasarım aşamasındaki tahmini ısı enerjisi kaybı literatürde bölge ısıtma sistemi analizlerinde genel olarak kabul edilen % 6 olarak alındı (Verda ve Ciano, 2005). Isı enerjisi kaybı bölgedeki enerji yoğunluğuna^{§§§} bağlı olarak % 30'lara kadar çıkabilmektedir. Enerji yoğunluğu yüksek bölgelerde ise % 3 seviyelerine kadar inebilmektedir (DANFOSS, Chapter 5).

Modelde kot farkı ile ilgili bir basınç değeri alınmadı. Bu yüzden basınç ile ilgili 50 kPa'lık bir emniyet değeri kabul edildi. Kullanılan borular PN 16 olarak kabul edildiği için pompaların basınç limiti 16 bar alındı. Hat basıncının bu basınç değerinin üzerine çıkması durumunda pompa istasyonu sayısı ile kabul edilen değerlerde kalması sağlandı.

Çizelge 5.1 Teknik hesaplar için yapılan kabuller

Değişken	Değeri	Birim	Açıklama
$T_{gidiş}$	110	°C	Akışkan gidiş sıcaklığı
$T_{dönüş}$	70	°C	Akışkan dönüş sıcaklığı
ρ_{90}	965	kg/m ³	90 °C için akışkan yoğunluğu
$C_{p_{90}}$	4,208	kJ/kg.K	90 °C için akışkan özgül ısı

^{§§§} Bina sayısının ve konut sayısının yüksek olduğu bölgeler enerji yoğunluğu yüksek bölgelerdir.

Değişken	Değeri	Birim	Açıklama
μ_{90}	3,14E-07	kg/m.s	Akışkan viskozitesi
ν_{90}	3,26E-07	m ² /s	Akışkan kinematik viskozitesi
$E_{\text{pürüzlülük}}$	0,05	mm	Boru pürüzlülük değeri
g	9,81	m/s ²	Yerçekimi ivmesi
η_{pompa}	90	%	Pompa verimi
$r_{\text{pik,kayıp_tasarım}}$	6	%	Tasarım için kabul edilen ısı kayıp oranı
V_{iletim}	3,5	m/s	İletim hattı için maksimum hız değeri
$V_{\text{ana_dağıtım}}$	3	m/s	Ana dağıtım hattı için maksimum hız değeri
$V_{\text{bina_dağıtım}}$	2	m/s	Bina dağıtım hattı için maksimum hız değeri
$P_{\text{kayıp_birim}}$	100	Pa/m	Tasarım için birim boru boyu başına basınç kaybı
P_{limit}	16	bar	Pompalar için basınç limiti
P_{doyma}	70,2	kPa	Akışkanın 90 °C'deki doyma basıncı
$P_{\text{son_kullanıcı}}$	150	kPa	Son kullanıcı basınç değeri
P_{emniyet}	50	kPa	Emniyet için gerekli basınç değeri
$P_{\text{kot_farkı}}$	0	kPa	Kot farkından kaynaklanan basınç değeri

Birim boru başına tasarım basınç kaybı değeri de bu tip analizlerde kullanılan 100 Pa/m olarak kabul edildi (DBDH, 2006). Bazı analizlerde bu değer 250 Pa/m olarak da kabul edilmektedir.

Borulardaki akışkan hızları için üç farklı limit seçildi. İletim hattındaki hız limiti 3,5 m/s, ana dağıtım hattındaki hız limiti 3 m/s ve bina dağıtım hattındaki hız limiti de 2 m/s olarak kabul edildi (DBDH, 2006). Boru hattındaki akışkan hızının limit değerlerin üzerine çıkması durumunda, tasarım değerleri üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak akışkan hızının limit değerlerin altına düşmesi sağlandı.

5.2.1.2 Debi Hesabı

Öncelikle bölgenin ısı enerjisi yüküne bağlı olarak tasarım pik ısı enerjisi kaybı ve toplam pik ısı enerjisi yükü hesaplandı:

$$\dot{q}_{\text{pik,toplam_tasarım}} = \dot{q}_{\text{pik,bölge}} + \dot{q}_{\text{pik,kayıp_tasarım}} \quad [\text{kW}] \quad (5.1)$$

$$\dot{q}_{\text{pik,kayıp_tasarım}} = \dot{q}_{\text{pik,bölge}} \cdot r_{\text{pik,kayıp_tasarım}} \quad [\text{kW}] \quad (5.2)$$

Burada:

$\dot{q}_{pik,toplam_tasarim}$	Bölge tasarım toplam pik ısı enerjisi yükü (pik ısı enerjisi kaybı dâhil),
$\dot{q}_{pik,bölge}$	Bölge toplam pik ısı enerjisi yükü (kW _t),
$\dot{q}_{pik,kayıp_tasarim}$	Bölge tasarım toplam pik ısı enerjisi kaybı,
$r_{pik,kayıp_tasarim}$	Tasarım pik ısı enerjisi kayıp oranıdır (%).

Daha sonra da akışkan debisi ortalama akışkan özelliklerine bağlı olarak boru hattı için hesaplandı:

$$\dot{V}_{boru} = \frac{\dot{q}_{pik,toplam_tasarim}}{C_{p_90} \cdot \rho_{90} \cdot (T_{gidiş} - T_{dönüş})} \quad [\text{m}^3/\text{sn}] \quad (5.3)$$

Burada:

$\dot{V}_{boru}$ Akışkanın hacimsel debisidir.

5.2.1.3 Akışkan Hızı Hesabı

Boru çapına bağlı olarak kesit alanı; kesit alanı ve debiye bağlı olarak da akışkan hızı hesabı yapıldı:

$$v_{boru_hattı} = \frac{\dot{V}_{boru}}{A_{boru}} \quad [\text{m}/\text{sn}] \quad (5.4)$$

$$A_{boru} = \frac{\pi \cdot D_{boru}^2}{4} \quad [\text{m}^2] \quad (5.5)$$

Burada:

$v_{boru_hattı}$ Akışkan hızı,
 A_{boru} Boru kesit alanı,
 D_{boru} Boru çapıdır (m).

5.2.1.4 Basınç Kaybı Hesabı

Borudaki birim basınç kaybı (1 metre boru için) hesabı için sırasıyla Reynolds sayısı, bağlı pürüzlülük ve sürtünme katsayısı hesaplandı:

$$Re_d = \frac{v_{boru_hatt} \cdot D_{boru}}{v_{90}} \quad (5.6)$$

$$R_{pürüzlülük} = \frac{E_{pürüzlülük}}{D_{boru}} \quad [\text{mm/mm}] \quad (5.7)$$

Burada:

$R_{pürüzlülük}$ Boru bağıl pürüzlülük değeridir.

$$f = \left(\frac{-1}{1,8 \cdot \log \left[\frac{6,9}{Re_d} + \left(\frac{R_{pürüzlülük}}{3,7} \right)^{1,1} \right]} \right)^2 \quad (5.8)$$

Ve sonra da birim basınç kaybı hesabı yapıldı:

$$P_{kayıp_birim} = f \cdot \frac{\rho_{90} \cdot v_{boru_hatt}^2}{2 \cdot D_{boru}} \quad [\text{Pa/m}] \quad (5.9)$$

Burada:

f Sürtünme katsayısı,
 $P_{kayıp_birim}$ Birim basınç kaybıdır.

5.2.1.5 Isı Enerjisi Kaybı Hesabı

Toplam ısı enerjisi kaybını hesaplayabilmek için öncelikle 1 m boru boyu için ısı enerjisi kaybı hesabı yapıldı. Bunun için de bir ön-yalıtımlı boru firmasının standart tip boruları için verdiği 90 °C akışkan sıcaklığı için ısı enerjisi kayıp değerleri kullanıldı (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 90 °C akışkan sıcaklığı için anma çapına bağlı ısı enerjisi kaybı değerleri (İZOBOR)

Anma çapı (D), mm	Isı enerjisi kaybı (H), W/m
15	12,0
20	12,4
25	15,2
32	15,7
40	18,2

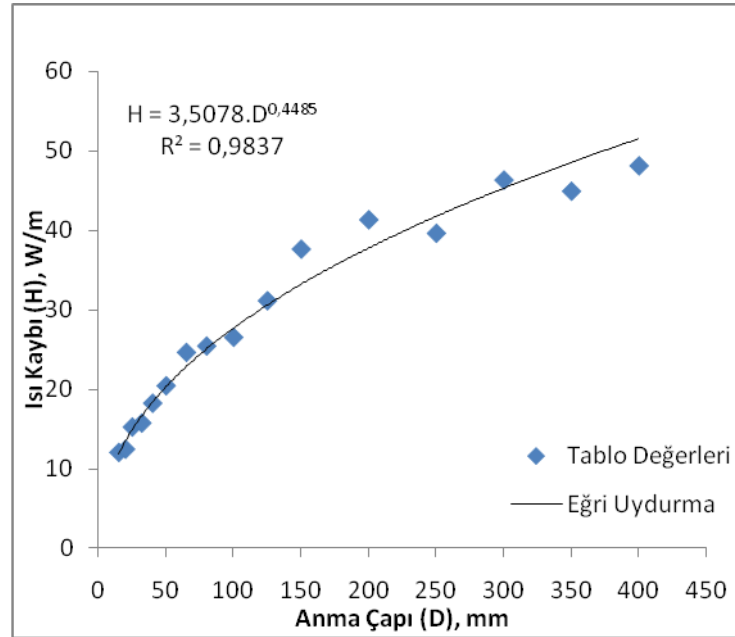
Anma çapı (D), mm	Isı enerjisi kaybı (H), W/m
50	20,4
65	24,6
80	25,4
100	26,5
125	31,1
150	37,6
200	41,3
250	39,6
300	46,3
350	44,9
400	48,1

Tablodaki ısı enerjisi kayıp değerlerine bağlı olarak eğri uyduruldu (Şekil 5.3). Elde edilen fonksiyon kullanılarak istenilen boru çapı için 1 m borudaki ısı enerjisi kaybı hesaplandı. Elde edilen denklem şu şekildedir:

$$H_{kayıp} = 3,5078 \cdot D_{boru}^{0,4485} \quad [\text{W/m}] \quad (5.10)$$

Burada:

$H_{kayıp}$ Boru birim ısı enerjisi kayıp değeridir.



Şekil 5.3 Isı enerjisi kaybı hesabı için eğri uydurma

5.2.1.6 İşletme Basıncı Hesabı

Toplam işletme basıncı da şu şekilde bulundu:

$$P_{işletme} = P_{doyma} + P_{son_kullanıcı} + P_{emniyet} + P_{kot_farkı} + P_{kayıp_toplam} \quad [\text{kPa}] \quad (5.11)$$

Burada:

$P_{işletme}$ Sistem işletme basıncı,

$P_{kayıp_toplam}$ Sistem toplam basınç kaybıdır (kPa).

İşletme basıncı için sınır değerinin 16 bar olduğu daha önce belirtilmişti. Eğer işletme basıncı bu değerin üzerine çıkarsa pompa istasyonu sayısı arttırılır. Pompa istasyonu sayısı da şu şekilde hesaplandı:

$$N_{pompa_sayısı} = \frac{P_{işletme}}{P_{limit}} \quad [\text{adet}] \quad (5.12)$$

Burada:

$N_{pompa_sayısı}$ Pompa istasyonu sayısıdır.

$N_{pompa_sayısı}$ değerinin küsuratlı çıkması durumunda her zaman üste yuvarlanarak işlem yapıldı.

5.2.1.7 Pompa Güç Hesabı

Pompanın yıllık elektrik enerjisini hesaplayabilmek için pompanın gücünün hesaplanması gerekir. Pompa gücü debi, basınç ve pompa verimine bağlı olarak Denklem 5.13'den hesaplandı:

$$N_{pompa} = \frac{\dot{m}_{boru} \cdot \Delta P}{\rho_{90} \cdot \eta_{pompa} \cdot 10^3} \quad [\text{kW}_e] \quad (5.13)$$

Burada:

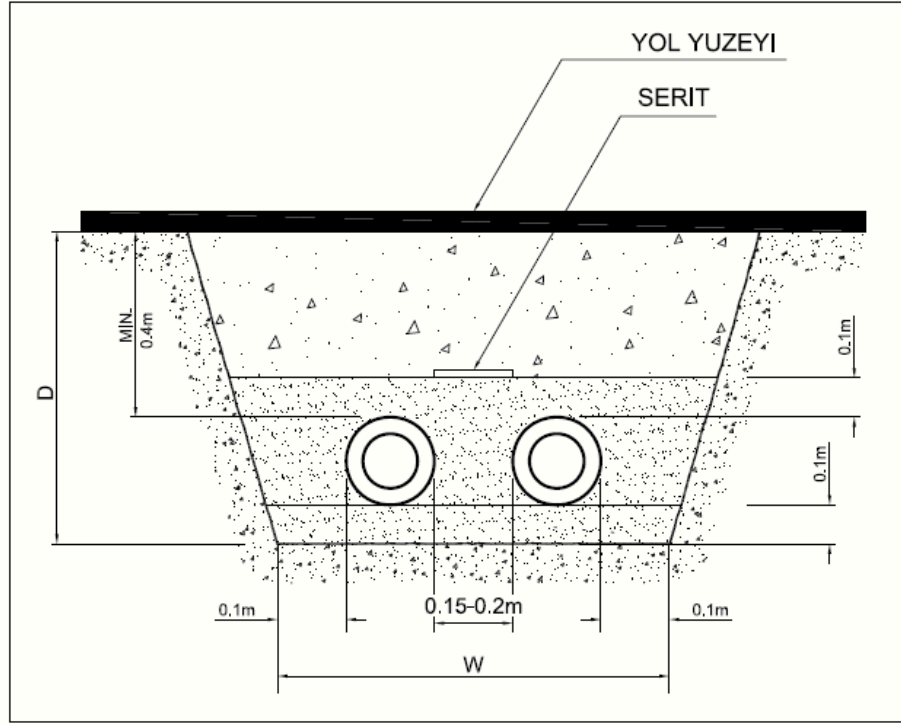
N_{pompa} Pompa gücü,

$\dot{m}_{boru}$ Akışkan kütleli debisi (kg/sn),

ΔP Basınç farkıdır (MPa).

5.2.1.8 Boru Hattı İçin Kanal Hesabı

Boru hatlarının toprağa gömülmesi için yapılacak kazı miktarı hesaplandı. Genel uygulama gidiş ve dönüş hatlarının beraber gömülmesidir (Şekil 5.4). Hesaplar için bölge ısıtma sistemi uygulamacıların kullandığı değerler kullanıldı (Çizelge 5.3). Basitleştirmek için kazı kesiti dikdörtgen olarak alındı.



Şekil 5.4 Kanal kesit alanı (İZOBOR)

Çizelge 5.3 Kazı kesit alanı bilgileri (İZOBOR)

Anma çapı, mm	W, m	D, m	A_kazı, m ²
20	0,70	0,65	0,46
32	0,70	0,65	0,46
50	0,70	0,65	0,46
65	0,80	0,65	0,52
80	0,80	0,70	0,56
100	0,90	0,75	0,68
125	1,00	0,80	0,80
150	1,10	0,90	0,99
200	1,20	1,00	1,20

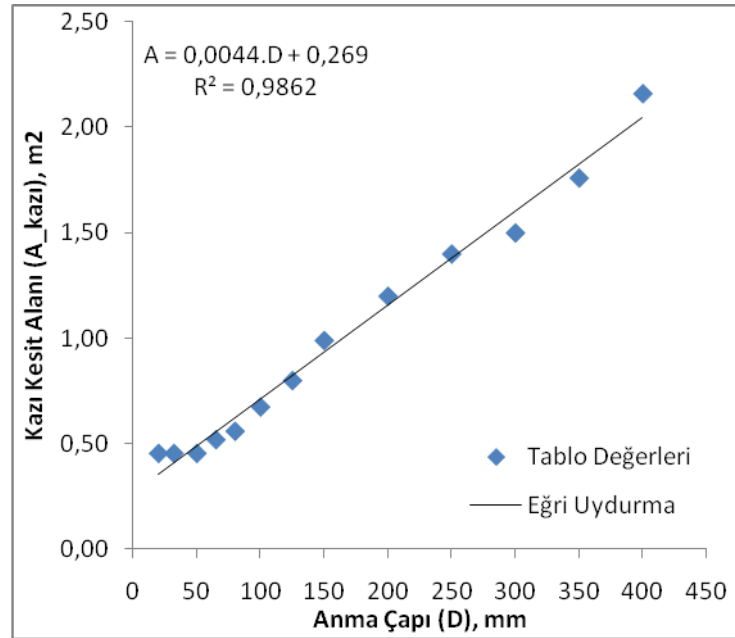
Anma çapı, mm	W, m	D, m	A_kazı, m ²
250	1,40	1,00	1,40
300	1,50	1,00	1,50
350	1,60	1,10	1,76
400	1,80	1,20	2,16

Daha sonra bu tablodaki verilere göre eğri uyduruldu ve elde edilen fonksiyon hesaplamalarda kullanıldı (Şekil 5.5).

$$A_{kazı} = 0,0044 \cdot D_{boru} + 0,269 \quad [m^2] \quad (5.14)$$

Burada:

$A_{kazı}$ Kazı kesit alanıdır.



Şekil 5.5 Kesit alanı hesabı için eğri uydurma

5.2.2 Ekonomik Hesaplar

Maliyetlerle ilgili hesaplar bu bölümde verildi.

5.2.2.1 Ekonomik Hesaplar İçin Yapılan Kabuller

Ekonomik hesaplar için yapılan gerekli kabuller Çizelge 5.4'te görülebilir. Hesaplamalara kamulaştırma maliyeti dâhil edilmedi. Sistem ömrü 30 yıl olarak kabul edildi. Pompa ömrü 15 yıl kabul edildi, bu yüzden de sistem ömrü boyunca 2 kez pompa satın alma maliyet hesabı

yapıldı.

Karşılaştırmalarda doğalgaz kullanıldığı için doğalgaz birim fiyatı İGDAŞ'ın internet sitesinden alındı ve vergiler üzerine eklenerek hesaplamalarda kullanıldı (2010).

Çizelge 5.4 Ekonomik hesaplar için yapılan kabuller

Değişken	Değeri	Birim	Açıklama
C_{kamu}	0	TL/m ²	Kamulaştırma birim maliyeti
$C_{ısı}$	0,025	TL/kW _t h	Santral birim ısı enerjisi maliyeti
$C_{elektrik}$	0,250	TL/kW _e h	Santral birim elektrik enerjisi maliyeti
$C_{bakım}$	6	TL/MW _t h	Birim bakım masrafı
$C_{doğalgaz}$	0,069	TL/kW _t h	Doğalgaz birim maliyeti
L_{birim}	6	m	Birim boru boyu
h	8760	h	Yıllık işletme süresi
A_{kamu}	0	m ²	Kamulaştırılacak alan
n	30	yıl	Sistem ömrü
i	10	%	Faiz oranı
r	12	%	İskonto oranı
$e_{ısı}$	5	%	Isı eskalasyon oranı
$e_{elektrik}$	5	%	Elektrik eskalasyon oranı
$e_{bakım}$	5	%	Bakım eskalasyon oranı
e_{pompa}	3,172		İkinci pompa ile ilk pompa maliyet oranları
$e_{satış}$	5	%	Isı satış eskalasyon oranı
$n_{2.pompa}$	15	yıl	İkinci pompanın satın alınma yılı

Bakım maliyeti Çokoksen'in (2010) yüksek lisans tezinde yer alan yıllık maliyet değerlerinin TL/MW_th şekline çevrilmesiyle elde edildi.

Elektrik birim fiyatı TEDAŞ'ın internet sitesinden alındı ve üzerine gerekli vergiler eklenerek hesaplamalarda kullanıldı (2010).

Birim ısı enerjisi fiyatı üretilen sisteme göre çok değişebilmektedir, ancak bu değer varsayılan olarak 0,025 TL/kW_th kabul edildi.

5.2.2.2 İlk Yatırım Masrafları

Birim Boru Maliyeti Hesabı

İlk yatırım masrafları içerisinde en önemli paya sahip olan boru masraflarının hesaplanabilmesi için boru çapına bağlı olarak birim boru maliyetleri hesaplandı (Çizelge 5.5 ve Şekil 5.6). Bu değerler çeşitli firmalardan alınan bilgilerle oluşturulmuştur. Görüldüğü gibi boru maliyeti doğrusal bir artış göstermemektedir. Dolayısıyla çap değişiminin maliyetler üzerindeki etkisi doğrusal olmayacaktır.

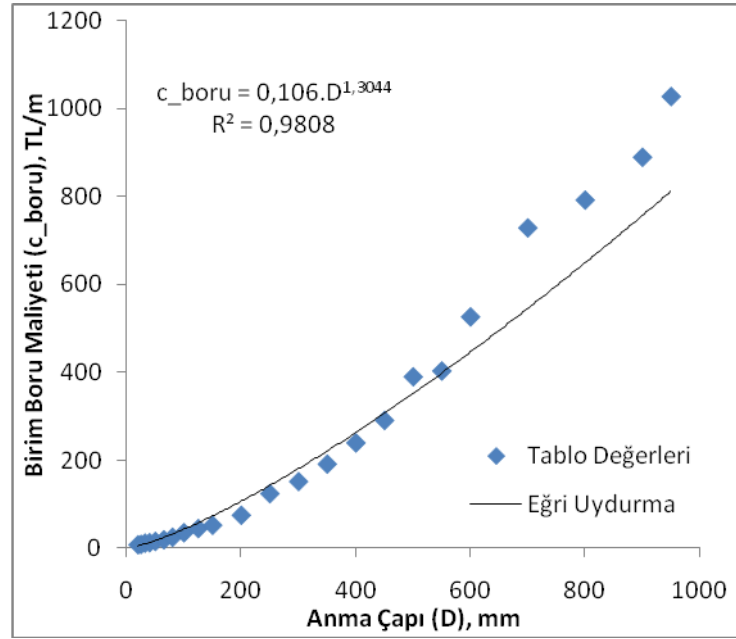
Çizelge 5.5 Boru çapına bağlı olarak boru maliyeti değişimi

Anma çapı, mm	Birim Boru Maliyeti, TL/m
20	8,51
25	9,45
32	12,29
40	13,23
50	16,07
65	19,85
80	25,52
100	35,91
125	45,36
150	52,92
200	75,60
250	124,74
300	152,15
350	191,84
400	240,03
450	291,06
500	390,29
550	403,52
600	526,37
700	728,60
800	791,91
900	889,25
950	1027,22

$$c_{boru} = 0,106 \cdot D_{boru}^{1,3044} \quad [\text{TL/m}] \quad (5.15)$$

Burada:

c_{boru} Birim boru maliyetidir.



Şekil 5.6 Boru çapına bağlı olarak boru maliyeti değişimi

İşçilik-Montaj Maliyeti Hesabı

İşçilik-montaj maliyetleri yine boru çapına bağlı olarak birim boru boyu için Çizelge 5.6'da verildi (Şekil 5.7). Bu değerler çeşitli firmalardan alınan bilgilerle oluşturulmuştur. Öncelikle her 3 boru hattı için de çap ve uzunluk hesapları yapılır, daha sonra da kullanılan boru sayıları hesaplanarak toplam boru hattı işçilik-montaj maliyetleri elde edilir.

Çizelge 5.6 Boru çapına bağlı olarak işçilik-montaj maliyeti değişimi

Anma çapı, mm	Birim İşçilik Maliyeti, TL/birim_boru
20	91
25	91
32	91
40	91
50	96
65	106
80	126
100	148
125	175
150	197
200	208
250	253
300	324

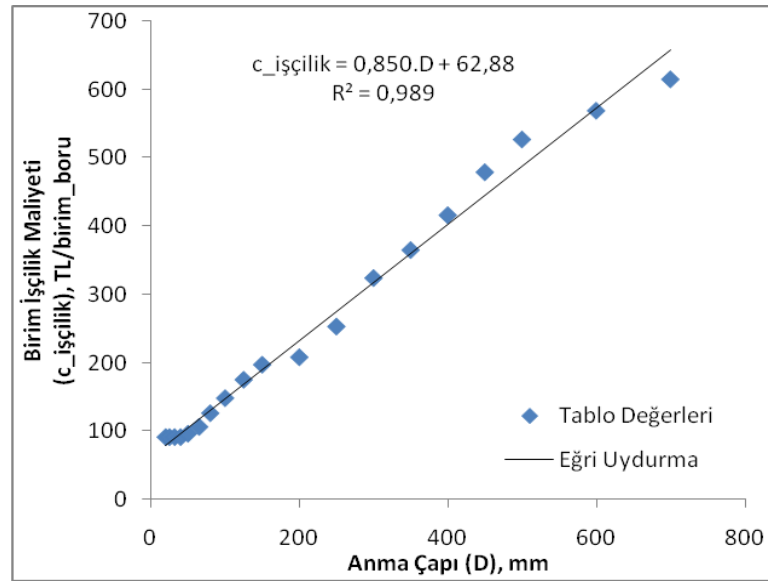
Anma çapı, mm	Birim İşçilik Maliyeti, TL/birim_boru
350	365
400	416
450	479
500	527
600	569
700	615

$$c_{işçilik} = 0,8504 \cdot D_{boru} + 62,882 \quad [TL/birim_boru] \quad (5.16)$$

$$N_{boru} = \frac{L_{boru}}{L_{birim}} \quad (5.17)$$

Burada:

$c_{işçilik}$ Birim işçilik maliyeti,
 N_{boru} Boru sayısı (adet),
 L_{boru} Boru boyudur (m).



Şekil 5.7 Boru çapına bağlı olarak işçilik-montaj maliyeti değişimi

Kazı Maliyet Hesabı

Boru hatlarının toprak altına gömülmesi ile ilgili maliyet hesapları kazı maliyeti altında değerlendirilir. Boru çapına ve boru hattı uzunluklarına bağlı olarak toplam kazı maliyetleri hesaplanabilir. Çizelge 5.7'de ki değerler yardımıyla oluşturulan grafiğe eğri uydurma yöntemiyle üretilen eşitlik kullanılarak istenilen her çap için kolaylıkla hesap yapılabilir (Şekil 5.8). Bu değerler çeşitli firmalardan alınan bilgilerle oluşturulmuştur.

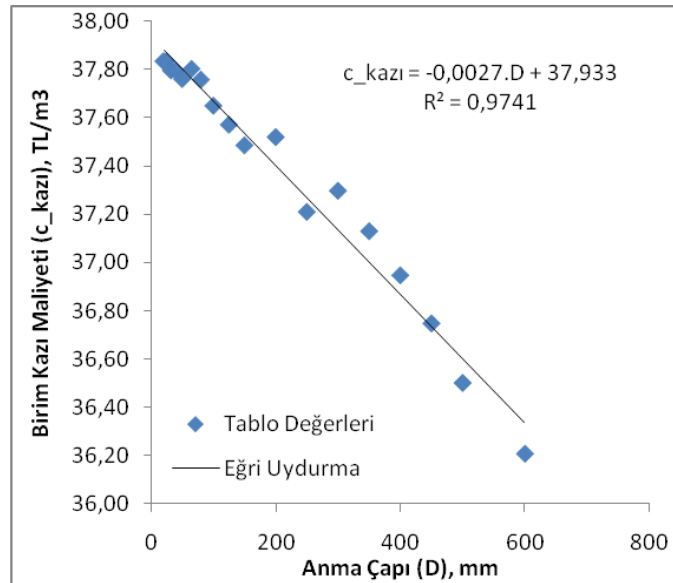
Çizelge 5.7 Boru çapına bağlı olarak kazı maliyeti değişimi

Anma çapı, mm	Birim Kazı Maliyeti, TL/m ³
20	37,83
25	37,83
32	37,80
40	37,80
50	37,76
65	37,80
80	37,76
100	37,65
125	37,57
150	37,49
200	37,52
250	37,21
300	37,30
350	37,13
400	36,95
450	36,74
500	36,50
600	36,21

$$c_{kazi} = -0,0027 \cdot D_{boru} + 37,933 \quad [\text{TL/m}^3] \quad (5.18)$$

Burada:

c_{kazi} Birim kazı maliyetidir.



Şekil 5.8 Boru çapına bağlı olarak kazı maliyeti değişimi

Pompa Satın Alma Maliyeti Hesabı

Tek bir pompa için satın alma maliyeti şu şekilde hesaplanır (TSAD):

$$c_{pompa} = 0,57 \cdot \left(\Delta P \cdot \dot{V} \right) + 835,5 \quad [\text{TL/pompa}] \quad (5.19)$$

Burada:

c_{pompa} Birim pompa satın alma maliyetidir,

ΔP Basınç farkıdır (mSS).

Hesaplanan birim pompa satın alma maliyeti değeri, daha önce hesaplanan pompa istasyonu sayısı ($N_{pompa_sayısı}$) ile çarpılarak toplam pompa satın alma maliyeti hesaplanır.

5.2.2.3 Bakım-Onarım-İşletme Masrafları

Bu bölümde bölge ısıtma sistemi işletmeye başladıktan sonra başlayan bakım, onarım ve işletme masraflarına yer verildi. Bu masraflar içerisinde çalışan personelin giderleri de vardır. Bu masraf türünün belirlenmesi zor bir işlem olmakla beraber çeşitli yaklaşımlar söz konusudur. En geçerli olanı ise üretilen birim enerji için hesaplanan maliyet değerleridir. Bu çalışmada, bu değer *Esenkent Bölge Isıtma Sisteminde***** dayalı olarak yapılan Çokoksen'in (2010) yüksek lisans tezinden alındı. Analizlerde şimdiki değer birim bakım-onarım-işletme masrafı ($c_{bakım} = 6 \text{ TL/MW}_t\text{h}$) olarak kullanıldı.

5.2.2.4 Yakıt Masrafları

Bu bölümde bölge ısıtma sistemi çalışmaya başladıktan sonra oluşan yakıt masrafları anlatıldı. Bölge ısıtma sisteminde yakıt masrafını incelerken yakıt olarak sistemin herhangi bir kaynaktan çektiği ısı enerjisi kabul edildi. Isı enerjisinin nasıl ve hangi yakıtla bağlı olarak üretildiği kısmı değerlendirmeye alınmadı. Modeli genelleştirmek için yapılan bu kabul aslında gerçekçi bir kabuldür. Çünkü ısı enerjisinin çekileceği sistem açısından bakılırsa birim ısı enerjisi maliyeti yakıtla, sistem tipine, kapasiteye vb. bağlı olarak çok farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle ısı enerjisinin birim maliyeti için bir kabul yapılarak hesaplamaların karmaşılaşması önlenmiştir ($c_{ısı} = 0,025 \text{ TL/kW}_t\text{h}$).

5.2.2.5 Pompa İşletme Masrafları

Sistemde kullanılan dolaşım pompalarının tükettikleri elektrik enerjisi bu masraf kalemi içerisinde değerlendirilir. Pompa kapasitesi seçilirken tasarım değerlerine bağlı olarak hesap

**** Temmuz 2010 itibarıyla Türkiye'nin ilk ve tek ısı kaynağı kojenerasyon olan bölge ısıtma tesisi.

yapılır. Ancak pompa devamlı aynı kapasitede çalışmayacaktır; çünkü bölgenin ısı enerjisi talebi devamlı olarak değişmektedir. Bu yüzden pompanın harcayacağı elektrik enerjisini hesaplarken bir yıllık bir dönem için saatlik olarak hesap yapmak gerekir. Ya da pompanın çalışma faktörü tahmin edilerek daha basit bir yaklaşımla yıllık elektrik tüketimi hesaplanabilir. Bu çalışmada saatlik analizler sonucunda hesaplanan pompa elektrik tüketim değerleri kullanıldı.

$$E_{pompa_işletme} = 8760 \cdot N_{pompa} \cdot L_{f_pompa} \quad [\text{kW}_{\text{e}}\text{h/yıl}] \quad (5.20)$$

Burada:

$$\begin{aligned} E_{pompa_işletme} & \quad \text{Pompa yıllık elektrik tüketimi,} \\ L_{f_pompa} & \quad \text{Pompa çalışma faktörüdür.} \end{aligned}$$

Pompanın tüketeceği yıllık elektrik enerjisi hesaplandıktan sonra tüketilen elektriğin yıllık maliyeti hesaplanır.

$$C_{pompa_işletme} = E_{pompa_işletme} \cdot C_{elektrik} \quad [\text{TL/yıl}] \quad (5.21)$$

Burada:

$$\begin{aligned} C_{pompa_işletme} & \quad \text{Pompa toplam elektrik tüketim maliyeti,} \\ E_{pompa_işletme} & \quad \text{Pompa elektrik tüketimidir.} \end{aligned}$$

Hesaplanan bu pompa işletme birim maliyeti bir yılda tek bir pompanın harcayacağı elektrik enerjisi miktarıdır. Dolayısıyla bu değer daha önce hesaplanan pompa istasyonu sayısı ($N_{pompa_sayısı}$) ile çarpılarak yıllık toplam pompa işletme maliyeti hesaplanır.

5.2.2.6 Isı Enerjisi Kayıp Masrafları

Bölge ısıtma sisteminde ısı enerjisi kayıpları ön-yalıtımlı borulardaki akışkan sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasındaki farktan dolayı gerçekleşir. Kayıplardan kaynaklanan maliyetler yakıt masrafı içerisinde anlatılan ısı enerjisi maliyeti içerisinde yer almadığı için ayrı bir kalem olarak değerlendirilir. Bu değer boru hattının uzunluğu, çapı ve kalitesine bağlı olarak değişir. Daha önceki bölümde anlatıldığı gibi birim ısı enerjisi kaybı çapa bağlı olarak hesaplanır. Daha sonra bu değer her boru hattı için ayrı ayrı olmak üzere boru hattı uzunluğu ile çarpılarak toplam sistemin tasarım ısı enerjisi kaybı değeri hesaplanır. Bu çalışma ile geliştirilen modelde 3 farklı çapta boru hattı olduğu için hepsi için ayrı ayrı hesap yapıldı.

$$\dot{q}_{pik,kayıp} = \frac{\sum H_{kayıp} \cdot L_{boru}}{1.000} \quad [\text{kW}_t] \quad (5.22)$$

Burada:

$\dot{q}_{pik,kayıp}$ Pik ısı enerjisi kaybı,

$H_{kayıp}$ Birim ısı enerjisi kaybıdır (W/m).

Hesaplanan anlık ısı enerjisi kaybı değerinden sonra yıllık ısı enerjisi kaybı hesabı yapıldı. Oluşturulan bölge ısıtma modelinde gidiş ve dönüş sıcaklıklarının değişmediği kabul edildi. Uygulamada, bölgenin ısı enerjisi talebindeki değişmelere bağlı olarak gidiş-dönüş sıcaklıkları minimum maliyet için optimize edilir. Ancak oluşturulan modeli karmaşık hale getirmemek için sıcaklıklar sabit kabul edildi.

Daha önce konutlarla ilgili yapılan saatlik analizlerde elde edilen düzenlenmiş yük-süre eğrilerine bakılırsa anlık ısı enerjisi yükünün hiçbir zaman sıfıra inmediği görülür. Bunun nedeni ısıtma yapılmayan dönemlerde sıcak su enerji ihtiyacının olmasıdır. Akışkan sıcaklıkları sabit kaldığı ve bölge ısıtma sistemi yılın her anı çalıştığı için ısı enerjisi kayıpları ile ilgili hesaplar da yılın her saatinde yapıldı.

$$Q_{kayıp} = \dot{q}_{pik,kayıp} \cdot h \quad [\text{kW}_t\text{h/yıl}] \quad (5.23)$$

Burada:

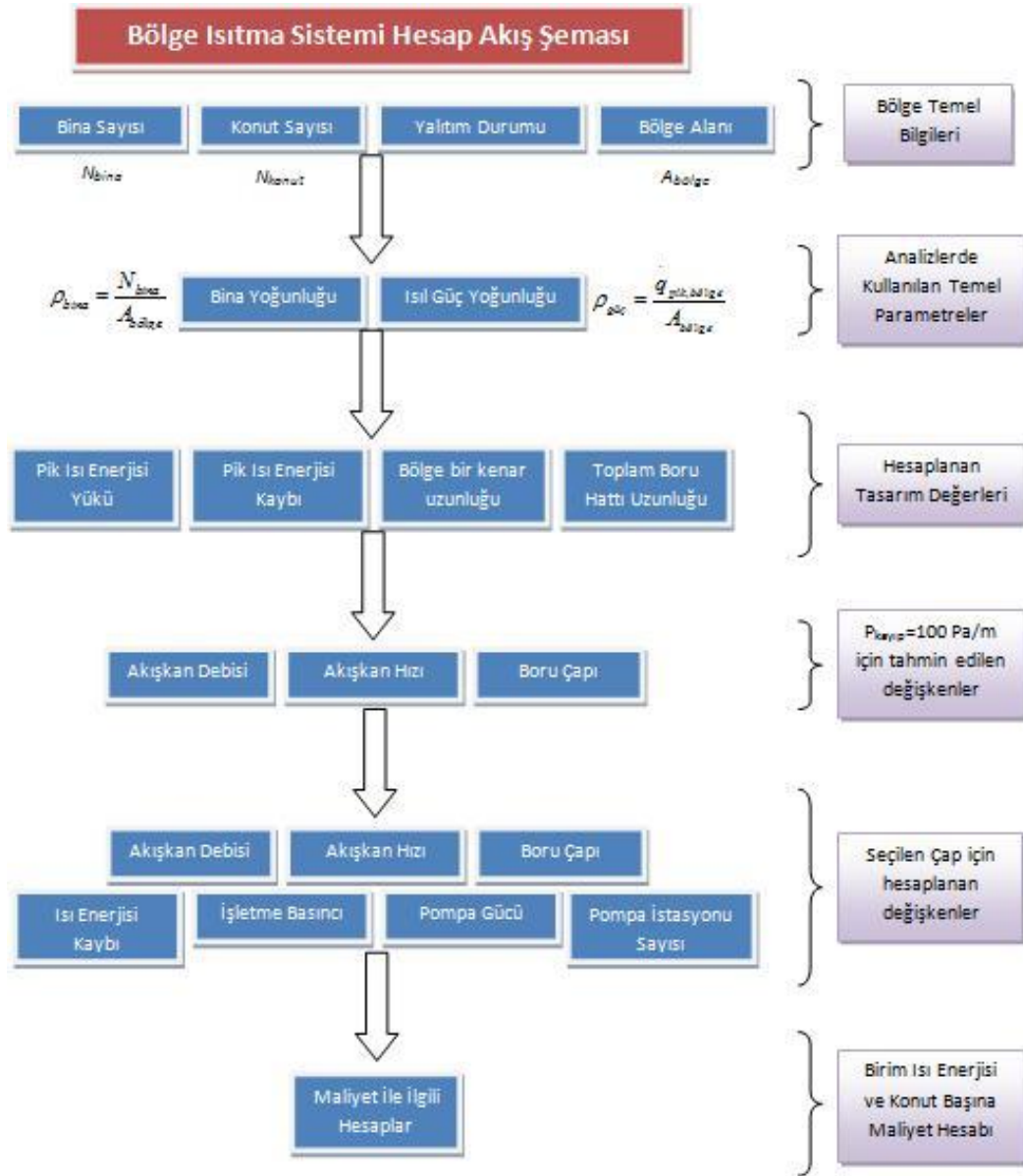
$Q_{kayıp}$ Yıllık toplam ısı enerjisi kaybı,

h Süredir (saat).

Isı enerjisi kaybından kaynaklanan yıllık ısı enerjisi yükü hesaplandıktan sonra yıllık ısı enerjisi kayıp maliyeti hesaplanır.

5.3 Bölge Isıtma Sistemi Modeli

Bu bölüme kadar bölge ısıtma sistemi ile ilgili teknik ve ekonomik hesapların nasıl yapıldığı anlatıldı ve ayrıca oluşturulan bölge ısıtma sistem modelinin detayları verildi. Şekil 5.9'da bölge ısıtma sistemi hesaplamalarında kullanılan akış şeması verildi.



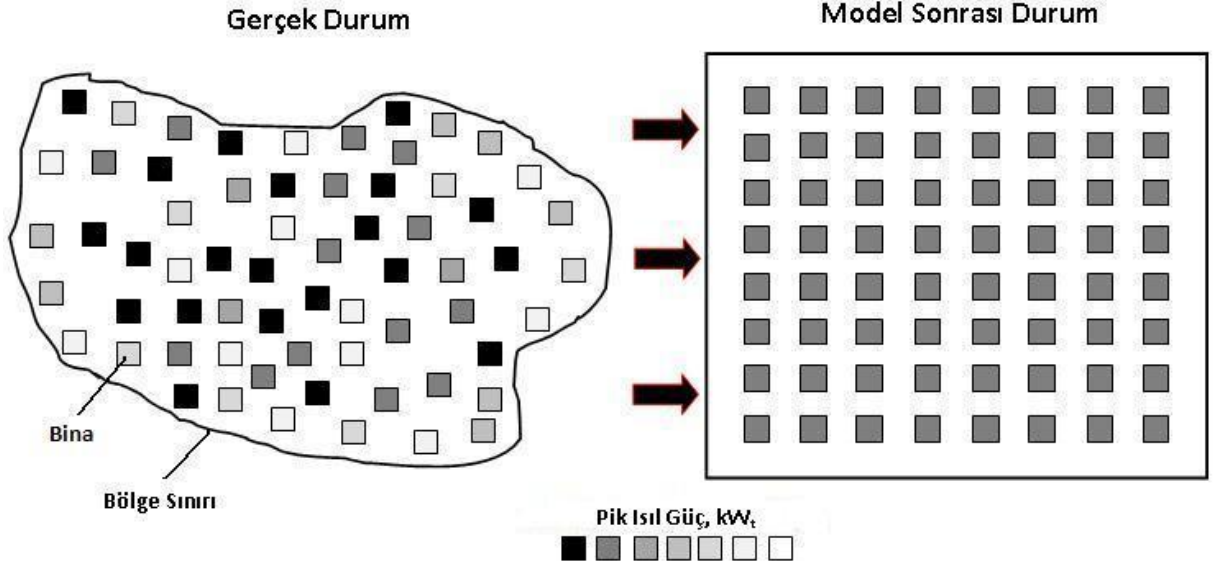
Şekil 5.9 Bölge ısıtma sistemi hesap akış şeması

5.3.1 Model İle İlgili Genel Bilgiler ve Kabuller

Bölge ısıtma sisteminin bir bölgeye uygulanabilmesi için detaylı çalışmalar gerekmektedir. Örneğin boru hatlarının yerleşimi, çapları vb. için detaylı analizlerin ve simülasyonların çeşitli yazılımlar yardımıyla yapılması gerekmektedir. Bu çalışmayla, bahsi geçen kompleks analizlerinin yerine, kullanımı kolay ve hızlı sonuçlar verebilen bir model oluşturularak birkaç adımda bölge ısıtmanın ekonomik açıdan değerlendirilmesini sağlamak amaçlandı. Bu amaçla bazı kabuller yapılarak bölge ısıtma modeli oluşturuldu.

Öncelikle söz konusu bölge, sahip olduğu fiziksel şekil ne olursa olsun yüzölçümü aynı kalacak şekilde karesel bir alana dönüştürüldü (Şekil 5.10). Daha sonra da bölge üzerindeki

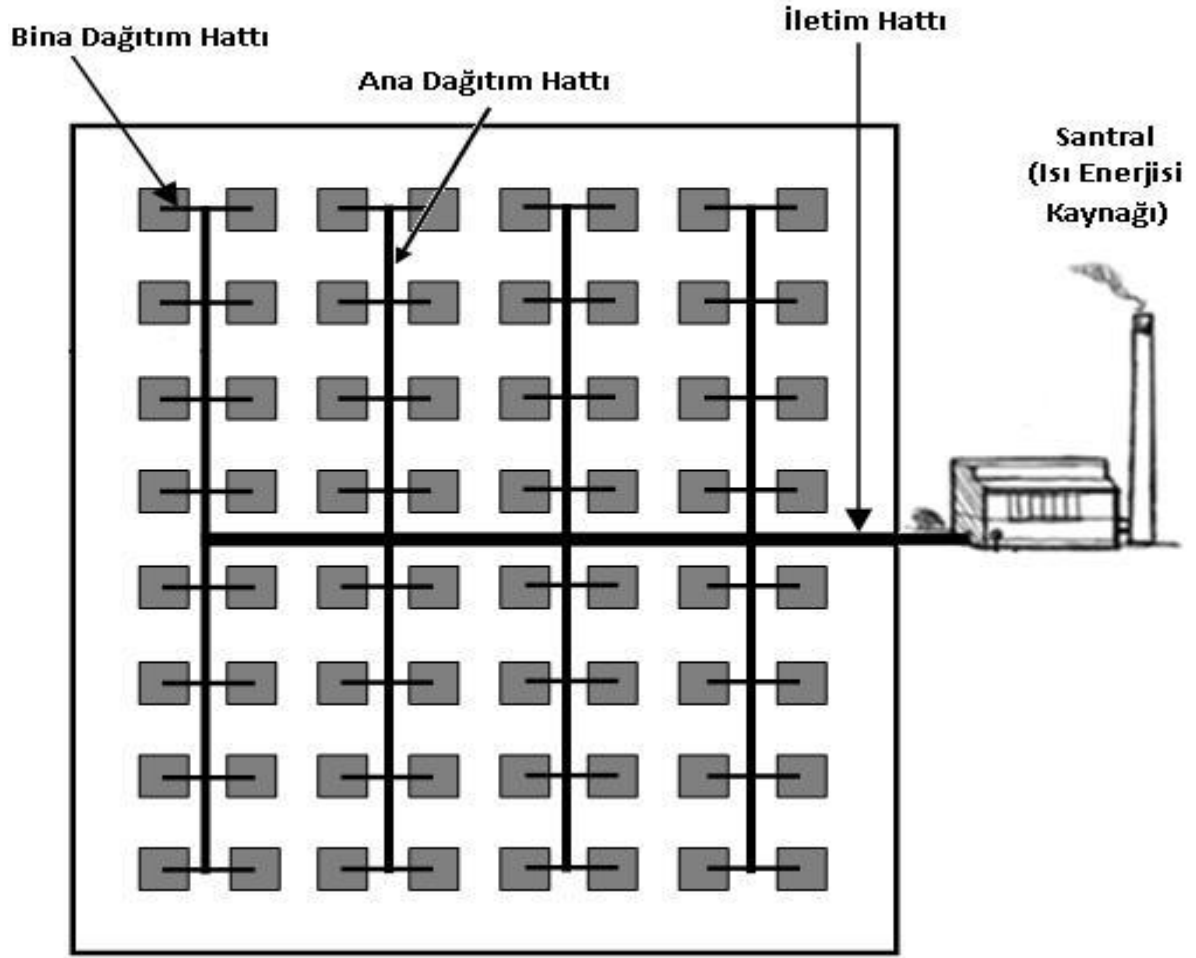
binalar tamamen simetrik bir şekilde bölgeye dağıtıldı. Bu dağıtım, binalar bölgeye gerçekte sahip olduğu bina sayısı ve toplam ısı enerjisi yükü aynı kalacak şekilde gerçekleştirildi. Binaların hepsi aynı ısı yüküne sahip varsayıldı. Isı enerjisi kaynağının da (santral) hemen bölgenin sınırında olduğu kabulü yapıldı.



Şekil 5.10 Bölge ısıtma modeli ana hatları

Isının çekildiği kaynağın da hemen bölgenin sınırında olduğu kabul ediliyor. Şekil 5.11’de de görülebileceği üzere sistemde 3 tip boru hattı mevcuttur:

- İletim Hattı: Bu hat santralden (ısı kaynağı) çekilen ısıtmanın ana dağıtım hatlarına iletiildiği kısımdır.
- Ana Dağıtım Hattı: İletim hattından alınan ısı bina dağıtım hatlarına bu hat üzerinden ulaştırılır.
- Bina Dağıtım Hattı: Bu hat ısıtmanın binaya iletiildiği son hattır.



Şekil 5.11 Bölge ısıtma sistemi: Binalar, boru hatları ve santral

Bölge modellenirken kullanılan, bölgenin sahip olduğu temel parametreler şu şekildedir:

- Bina Sayısı (N_{bina} , adet),
- Pik Isıl Güç ($\dot{q}_{pik,bölge}$, kW_t),
- Bölgenin Alanı ($A_{bölge}$, km²),
- Konut Sayısı (N_{konut} , adet).

5.3.2 Modeldeki Parametreler

Bölge ısıtma sistemi analizlerinde bölgeyi tanımlayan bazı parametreler kullanıldı. Bu parametreler analizleri kolaylaştırmak için önemlidir. Örneğin, Brkic ve Tanaskovic çalışmalarında, ısı yükü (pik yük yoğunluğu) tanımını kullanarak; bölge ısıtma sisteminin farklı ısı yükü değerlerinde ekonomik açıdan olumlu sonuç verebilmesi için bölgede olması gereken konut sayısı limitini hesaplamışlardır (2008). Reidhav ve Werner de çalışmalarında lineer ısı enerjisi yükü tanımını kullanarak birim boru boyu için oluşan ısı enerjisi kaybı ile sistemin ekonomik olarak değerlendirmesini yapmışlardır (2008). İrlanda'da hazırlanan bir

raporda da *enerji yoğunluğu* parametresine bağlı olarak bölge ısıtmanın ekonomikliği incelenmiştir (SEI, 2002). Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalarda söz edilen ya da kullanılan ancak bölgeyi tam anlamıyla ifade edemeyen parametrelerden iki tanesi kullanılarak bir model geliştirildi. Bölge ısıtma modelinde kullanılan temel parametreler şu şekildedir:

Bina Yoğunluğu (ρ_{bina}): Bina sayısı (N_{bina}) ile bölgenin alanı ($A_{bölge}$) arasındaki oranı ifade etmektedir:

$$\rho_{bina} = \frac{N_{bina}}{A_{bölge}} \quad \left[\frac{adet}{km^2} \right] \quad (5.24)$$

Isıl Güç Yoğunluğu ($\rho_{güç}$): Pik ısııl güç ($\dot{q}_{pik,bölge}$) ile bölgenin alanı ($A_{bölge}$) arasındaki orana eşittir:

$$\rho_{güç} = \frac{\dot{q}_{pik,bölge}}{A_{bölge}} \quad \left[\frac{kW_t}{km^2} \right] \quad (5.25)$$

Bu parametreler (bina yoğunluğu ve ısııl güç yoğunluğu) bazı çalışmalarda ayrı ayrı kullanılmış olmakla beraber bu çalışmada yüzölçümü ile beraber kullanılarak bölgenin daha iyi tanımlanmasını sağlamıştır.

5.3.3 Modelin Uygulama Sınırları

Bölge tamamen simetrik olarak düşünüldüğü için bina sayıları simetrik dağıtılabilecek sayısal değerler olmalıdır. Bina sayıları tam kare sayılar olmalı ve bina sayısının karekökü de dörde bölünebilen bir sayı olmalıdır (16, 64 vb.). Aksi takdirde dağılım yapılamamaktadır.

Bölge için hesaplanan debi değerinin yüksek çıkmasına bağlı olarak çap ve akışkan hızının en üst değerlerin (çap için piyasadaki en büyük çap ve hız için de boru hattında kabul edilebilir olan en yüksek hız) üzerinde hesaplanması durumunda boru hatlarının dağılımlarının ve sayılarının değişmesi gerekmektedir. Bu da modelin simetrik yapısını bozarak karmaşılaşmasına neden olacaktır. Bu problemin çözümü için daha sonraki bölümlerde anlatılan birim alan yaklaşımı kullanılmıştır.

5.3.4 Modeldeki Hesaplamalar

Model içerisinde yapılan bazı temel hesaplamalar bu bölümde anlatıldı.

5.3.4.1 Konut Sayısı

Konut sayısı bölge ile ilgili bilinen temel değişkenlere ve konutların yalıtım durumuna bağlı olarak hesaplandı.

$$N_{konut} = \frac{\dot{q}_{pik,bölge}}{\dot{q}_{pik,konut}} \quad [\text{adet}] \quad (5.27)$$

Burada:

$\dot{q}_{pik,konut}$ Konut pik ısı enerjisi kayıp değeridir (kW_t/konut).

Yalıtım durumuna bağlı olarak üç adet referans konut tipi için tasarım pik yükleri ($\dot{q}_{pik,konut}$) Bölüm 2.6’da hesaplanmıştı.

5.3.4.2 Boru Hattı Boylarının Hesabı

Boru hatları da tamamen simetrik olan binalar gibi simetrik bir şekilde yerleştirilir. Üç farklı çapta olan boru hatlarının toplam uzunlukları bu model için geliştirilen denklemlerle hesaplandı. Denklemler, kâğıt üzerinde yapılan hesaplamalardaki sonuçlar arasında görülen ilişkiler yardımıyla geliştirildi. Öncelikle bölge kare şeklinde olduğu için bir kenar uzunluğu hesaplandı.

$$L_{bölge} = \sqrt{A_{bölge} \cdot 10^6} \quad [metre] \quad (5.28)$$

Daha sonra gidiş ve dönüş toplam boru boyları hesaplandı.

$$L_{iletim} = L_{bölge} \cdot \sqrt{N_{bina}} \quad [metre] \quad (5.29)$$

$$L_{ana_dağıtım} = L_{bölge} \cdot (\sqrt{N_{bina}} - 1) \quad [metre] \quad (5.30)$$

$$L_{bina_dağıtım} = L_{bölge} \cdot \frac{\sqrt{N_{bina}} - 1}{\frac{\sqrt{N_{bina}}}{2}} \quad [metre] \quad (5.31)$$

Burada:

$L_{bölge}$ Bölgenin bir kenarının uzunluğu,
 L_{iletim} İletim hattı uzunluğu,
 $L_{ana_dağıtım}$ Ana dağıtım hattı uzunluğu,

$L_{bina_dağıtım}$ Bina dağıtım hattı uzunluğudur.

5.3.4.3 Debi Hesabı

Santralden çekilen ısı enerjisinin değerine bağlı olarak iletim hattında olması gereken debinin nasıl hesaplanacağı Bölüm 5.2.1.2’de anlatılmıştı. Bu bölümde de debinin iletim hattından ana dağıtım hattına oradan da bina dağıtım hattına nasıl aktarıldığı anlatıldı. Bölge tamamen simetrik olduğu için debiler de boru hatlarına eşit bir şekilde dağıtıldı. Debi paylaşımı için geliştirilen formüller kullanıldı (Denklem 5.32 ve 5.33).

$$\dot{V}_{ana_dağıtım} = \frac{\dot{V}_{iletim}}{\sqrt{N_{bina}}} \quad [m^3/sn] \quad (5.32)$$

$$\dot{V}_{bina_dağıtım} = \frac{\dot{V}_{ana_dağıtım}}{\sqrt{N_{bina}}} \quad [m^3/sn] \quad (5.33)$$

Burada:

$\dot{V}_{iletim}$ İletim hattındaki hacimsel debi,
 $\dot{V}_{ana_dağıtım}$ Ana dağıtım hattındaki hacimsel debi,
 $\dot{V}_{bina_dağıtım}$ Bina dağıtım hattındaki hacimsel debidir.

5.3.4.4 Basınç Kaybı ve Akışkan Hızı Hesabı

Basınç kaybının tasarım hesabında 100 Pa/m olarak kabul edildiği daha önce belirtilmişti. Akışkan hızı da bu değere bağlı olarak hesaplandı. Bunun için Excel’deki “Hedef Bul (Goal Seek)” işlevi kullanıldı. Daha önce bahsedilen bütün eşitlikler Excel’e girildikten sonra bu komut ile basınç kaybını 100 Pa/m yapan hız değeri hesaplandı. Bundan sonra da Denklem 5.4 ve Denklem 5.5 kullanılarak boru çapı hesaplandı. Bu işlemler sırasıyla iletim hattı, ana dağıtım hattı ve bina dağıtım hattı için yapıldı.

5.3.4.5 Boru Seçimi

Çap değerlerinin nasıl hesaplandığı bir önceki bölümde anlatıldı. Hesaplanan çap değerleri standartlarda yer alan çelik boru çaplarına bağlı olarak düzeltildi. Düzeltme işlemi çap ile ilgili bir analizi de yapabilmek için şu şekilde yapıldı: Hesaplanan çap değerine göre standarttaki bir üst çap seçildi; daha sonra standarttan bir altındaki ve bir üstündeki çaplar da seçildi. Bu şekilde her durum için üç farklı çap seçilerek, daha sonraki bölümlerdeki teknik ve

ekonomik analizler yapıldı.

Boru seçime bağlı olarak aşağıdaki bütün değişkenler üç hat için de güncellendi (tekrar hesaplandı):

- Akışkan hızı,
- Basınç kaybı,
- Birim ısı kaybı.

5.3.4.6 Güç ve Enerji Hesabı

Üç boru hattı için pik ve yıllık toplam ısı enerjisi kayıpları sırasıyla Denklem 5.22 ve 5.23 ile hesaplandı. Kayıplar konut tipine bağlı değildir ancak konutların/bölgenin enerji talebi binaların yalıtım durumuna göre değişmektedir. Üç adet referans konut tipi için yıllık enerji talepleri daha önce hesaplanmıştı. Dolayısıyla üç referans konut tipi için bölgenin toplam enerji talebi hesaplanabilir.

$$Q_{bölge,talep} = Q_{konut} \cdot N_{konut} \quad [kW_t/h/yıl] \quad (5.34)$$

$$Q_{bölge,toplam} = Q_{bölge,talep} + Q_{kayıp} \quad [kW_t/h/yıl] \quad (5.35)$$

Burada:

Q_{konut}	Konut yıllık ısı enerjisi talebi ($kW_t/h/konut.yıl$),
$Q_{bölge,talep}$	Bölge yıllık ısı enerjisi talebi (kayıplar hariç),
$Q_{bölge,toplam}$	Bölge yıllık toplam ısı enerjisi talebi (kayıplar dâhil),
$Q_{kayıp}$	Sistem yıllık toplam ısı enerjisi kaybıdır ($kW_t/h/yıl$).

5.3.4.7 Basınç ve Pompa Hesabı

Her boru hattı için hesaplanan birim basınç kaybı değerlerine bağlı olarak en uzun boru hattındaki toplam basınç kaybı hesaplanır. Daha önce verilen Denklem 5.11 ile de işletme basıncı hesaplanır.

Pompa elektrik talebi için de 3 referans konut tipi için elde edilen saatlik yük değerleri kullandı ve yıllık toplam elektrik enerjisi tüketimi hesaplandı. Ayrıca pompanın yıllık çalışma faktörü de analizlerde kullanılmak üzere hesaplandı.

$$L_{f-pompa} = \frac{E_{pompa,gerçek}}{E_{pompa,maksimum}} \quad (5.36)$$

Burada:

$E_{pompa,gerçek}$	Pompa gerçek elektrik enerjisi tüketimi (kW _e h),
$E_{pompa,maksimum}$	Pompa maksimum elektrik enerjisi tüketimidir (kW _e h).

5.3.4.8 Maliyet Hesapları

Bu bölümde daha önce hesaplanan birim maliyetler de kullanılarak toplam ve birim maliyetler hesaplandı.

İlk Yatırım Masrafları

Toplam 4 kalemden oluşan ilk yatırım masrafları sırasıyla aşağıdaki denklemler ile hesaplandı. Öncelikle temel şebeke masrafları hesaplandı:

$$C_{boru} = c_{boru,iletim} \cdot L_{iletim} + c_{boru,ana_dagitim} \cdot L_{ana_dagitim} + c_{boru,bina_dagitim} \cdot L_{bina_dagitim} \quad [TL] \quad (5.37)$$

$$C_{kazi} = c_{kazi,iletim} \cdot L_{iletim} \cdot A_{kazi,iletim} + c_{kazi,ana_dagitim} \cdot L_{ana_dagitim} \cdot A_{kazi,ana_dagitim} + c_{kazi,bina_dagitim} \cdot L_{bina_dagitim} \cdot A_{kazi,bina_dagitim} \quad [TL] \quad (5.38)$$

$$C_{isçilik} = c_{isçilik,iletim} \cdot N_{iletim} + c_{isçilik,ana_dagitim} \cdot N_{ana_dagitim} + c_{isçilik,bina_dagitim} \cdot N_{bina_dagitim} \quad [TL] \quad (5.39)$$

$$CCŞ = C_{boru} + C_{kazi} + C_{isçilik} \quad [TL] \quad (5.40)$$

Daha sonra da pompa satın alma masrafları hesaplandı:

$$C_{pompa} = c_{pompa} \cdot N_{pompa_sayisi} \cdot \left(1 + e_{pompa} \cdot (1+r)^{-N_{2,pompa}}\right) \quad [TL] \quad (5.41)$$

$$CCP = C_{pompa} \quad [TL] \quad (5.42)$$

Burada:

$c_{boru,iletim}$	İletim hattı birim boru maliyeti (TL/m),
$c_{boru,ana_dagitim}$	Ana dağıtım hattı birim boru maliyeti (TL/m),
$c_{boru,bina_dagitim}$	Bina dağıtım hattı birim boru maliyeti (TL/m),
C_{boru}	Toplam boru maliyeti,
$c_{kazi,iletim}$	İletim hattı birim kazı maliyeti (TL/m ³),
$A_{kazi,iletim}$	İletim hattı kazı kesit alanı (m ²),
$c_{kazi,ana_dagitim}$	Ana dağıtım hattı birim kazı maliyeti(TL/m ³),
$A_{kazi,ana_dagitim}$	Ana dağıtım hattı kazı kesit alanı (m ²),
$c_{kazi,bina_dagitim}$	Bina dağıtım hattı birim kazı maliyeti(TL/m ³),

$A_{kazi,bina_dagitim}$	Bina dağıtım hattı kazı kesit alanı (m ²),
C_{kazi}	Toplam kazı maliyeti,
$C_{isçilik,iletim}$	İletim hattı birim işçilik maliyeti (TL/adet),
N_{iletim}	İletim hattı boru sayısı (adet),
$C_{isçilik,ana_dagitim}$	Ana dağıtım hattı birim işçilik maliyeti (TL/adet),
$N_{ana_dagitim}$	Ana dağıtım hattı boru sayısı (adet),
$C_{isçilik,bina_dagitim}$	Bina dağıtım hattı birim işçilik maliyeti (TL/adet),
$N_{bina_dagitim}$	Bina dağıtım hattı boru sayısı (adet),
$C_{isçilik}$	Toplam işçilik maliyeti,
C_{pompa}	Toplam pompa satın alma maliyetidir.

Isı Enerjisi Kayıp Masrafı

Boru hattında kaybedilen ısı enerjisinin maliyeti şu şekilde hesaplandı:

$$C_{isi_kayip,0} = Q_{kayip} \cdot C_{isi} \quad [\text{TL/yıl}] \quad (5.43)$$

$$CIK = C_{isi_kayip,0} \cdot (1 + e_{isi}) \cdot \left[\frac{1 - (1 + e_{isi})^n \cdot (1 + r)^{-n}}{r - e_{isi}} \right] \quad [\text{TL}] \quad (5.44)$$

Burada:

Q_{kayip}	Yıllık toplam ısı enerjisi kaybı (kW _t h/yıl),
$C_{isi_kayip,0}$	Toplam ısı enerjisi kayıp maliyeti şimdiki değeridir.

Pompa İşletme Masrafı

Pompaların tükettiği elektriğin maliyeti aşağıdaki formüllerle hesaplandı:

$$C_{pompa_isletme,0} = E_{pompa_isletme} \cdot C_{elektrik} \quad [\text{TL/yıl}] \quad (5.45)$$

$$CP = C_{pompa_isletme,0} \cdot (1 + e_{elektrik}) \cdot \left[\frac{1 - (1 + e_{elektrik})^n \cdot (1 + r)^{-n}}{r - e_{elektrik}} \right] \quad [\text{TL}] \quad (5.46)$$

Burada:

$C_{pompa_isletme,0}$	Toplam pompa işletme maliyeti şimdiki değeridir.
------------------------	--

Bakım-Onarım-İşletme Masrafı

Bölge ısıtma sisteminin üretime başladığı andan itibaren yapılan bakım-onarım-işletme masrafları aşağıdaki gibi hesaplandı:

$$C_{bakım_onarım,0} = Q_{bölge,toplam} \cdot c_{bakım} \quad [TL/yıl] \quad (5.47)$$

$$CB = C_{bakım_onarım,0} \cdot (1 + e_{bakım}) \cdot \left[\frac{1 - (1 + e_{bakım})^n \cdot (1 + r)^{-n}}{r - e_{bakım}} \right] \quad [TL] \quad (5.48)$$

Burada:

$C_{bakım_onarım,0}$ Toplam bakım-onarım maliyeti şimdiki değeridir.

Yakıt Masrafı

Bölge ısıtma modelinde bölgenin ihtiyacı olan ısı enerjisinin (kayıplar dâhil değil) sisteme maliyeti şu şekilde hesaplandı:

$$C_{ısı_talep,0} = Q_{bölge,talep} \cdot c_{ısı} \quad [TL/yıl] \quad (5.43)$$

$$C_{ÜRT} = C_{ısı_talep,0} \cdot (1 + e_{ısı}) \cdot \left[\frac{1 - (1 + e_{ısı})^n \cdot (1 + r)^{-n}}{r - e_{ısı}} \right] \quad [TL] \quad (5.44)$$

Burada:

$C_{ısı_talep,0}$ Toplam ısı enerjisi talebi maliyeti şimdiki değeridir.

Toplam Maliyetler

Bir bölge ısıtma siteminde değerlendirilmesi gereken maliyetler yukarıda anlatıldı. Elde edilen maliyet değerleri ile de birim ısı enerjisi ve konut başına yıllık toplam ısı enerjisi maliyetleri sırasıyla Eşitlik 4.11 ve 4.12 ile hesaplanabilir.

5.4 Oluşturulan Modeller

Önceki bölümlerde anlatılan yaklaşım tarzı kullanılarak 3 adet model geliştirildi. Modeller temel olarak aynı olmakla birlikte bölge ısıtma sistemine yaklaşım tarzı açısından farklılık göstermektedirler. Başlangıç parametreleri olarak kabul edilen değerler ve incelenen durum sayıları farklıdır. Hedeflenen, bölge ısıtma sistemi ile ilgili olabilecek bütün durumları incelemek olduğu için ikinci model ilk modelin, üçüncü model ise ilk iki modelin yetersiz kaldığı durumları analiz edebilmek için geliştirildi.

5.4.1 Model A

İlk model 3 temel değişken üzerine geliştirildi:

- Bina sayısı, N_{bina} ,
- Bina yoğunluğu, ρ_{bina} ,
- Isıl güç yoğunluğu, $\rho_{güç}$.

Bu parametreler için modelde kullanılan değerler Çizelge 5.8’de verildi. Bu değerler Brkic ve Tanaskovic’in çalışması kullanılarak elde edilmiştir (2008). Bahsi geçen çalışmada bina sayısı ve ısıl güç yoğunluğu değerleri doğrudan kullanılıyor, ancak bina yoğunluğu değerleri tarafımızdan elde edilmiştir. Söz konusu çalışmada bina yoğunluğu tanımı da kullanılmamıştır. Tablodaki parametreler birbirinden bağımsızdır. Örneğin, her bina sayısı değeri için bütün bina yoğunluğu ve ısıl güç yoğunluğu değerleri için hesap yapılmıştır.

Çizelge 5.8 Model A temel değişkenler

No	N_{bina} (adet)	ρ_{bina} (adet/km ²)	$\rho_{güç}$ (MW _t /km ²)
1	4	80	10
2	16	160	20
3	64	320	30
4	256	640	40
5	4096	1280	50
6		2560	75
7			100
8			125

Bu temel değişkenlere bağlı olarak diğer bütün parametreler hesaplandı. İncelenen temel durum sayısı $5 \times 6 \times 8 = 240$ olarak elde edildi. Bütün durumlarda 3 farklı çap için hesap yapıldığı daha önce açıklanmıştı. Dolayısıyla toplamda $240 \times 3 = 720$ durum için hesap yapıldı. Aynı zamanda, binaların 3 farklı yalıtım durumu için hesap yapıldığı daha önce belirtilmişti.

Diğer temel parametreler açısından bakılacak olursa bölgenin alanı ve toplam pik ısıl yükü (dolayısıyla konut sayısı) her durum için hesaplanmaktadır. Bölgenin alanı açısından en büyük değer 51,2 km², en küçük değer de 0,0016 km²; bölgenin toplam pik ısıl gücü açısından bakılacak olursa da en büyük değer 6400 MW_t, en küçük değer de 0,016 MW_t olarak hesaplandı. Daha önce bahsedilen modelin sınırlı olduğu konulardan dolayı $19 \times 3 = 57$ durum için hesaplama yapılamadı.

5.4.2 Model B

Oluşturulan ikinci model de 3 temel değişkene bağlı olarak oluşturuldu:

- Bina sayısı, N_{bina} ,
- Bölge alanı, $A_{bölge}$,
- Isıl güç yoğunluğu, $\rho_{güç}$.

Kullanılan temel parametrelerin değerleri Çizelge 5.9'da verildi. Diğer parametreler bu değişkenlere bağlı olarak hesaplandı. İncelenen temel durum sayısı $6 \times 10 \times 8 = 480$ oldu. Farklı çaplarla yapılan hesaplamaları da dâhil edersek toplam $480 \times 3 = 1440$ durum için hesaplamalar yapıldı.

Çizelge 5.9 Model B temel değişkenler

No	N_{bina} (adet)	$A_{bölge}$ (km ²)	$\rho_{güç}$ (MW _t /km ²)
1	16	0,01	10
2	64	0,1	20
3	144	0,5	30
4	256	1	40
5	4096	10	50
6	10000	25	75
7		50	100
8		100	125
9		200	
10		500	

Yine modelin genel sınırlamalarından dolayı bütün durumlar için hesaplar sonuçlandırılmadı. Bu modelin bölgenin alanı ve toplam pik ısı yük değeri açısından çok geniş kapsamlı olması nedeniyle sadece $192 \times 3 = 576$ durum için hesaplamalar sonuçlandırılabilir. Geriye kalan 864 durum için ise hesaplamalar nihayete erdirilemedi.

5.4.3 Model C

Son model, kullanılan temel parametreler açısından Model B ile aynıdır. Ancak parametrelerin sayıları farklıdır (Çizelge 5.10). İkinci modelde de gerçekleştirilemeyen genel model yaklaşımı, Model C ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için birim alan yaklaşımı geliştirilmiştir.

Çizelge 5.10 Model C temel değişkenler

No	N_{bina} (adet)	$A_{bölge}$ (km ²)	$\rho_{güç}$ (MW/km ²)
1	16	1	10
2	64	2	20
3	256	4	40
4	4096	9	75
5	10000		125

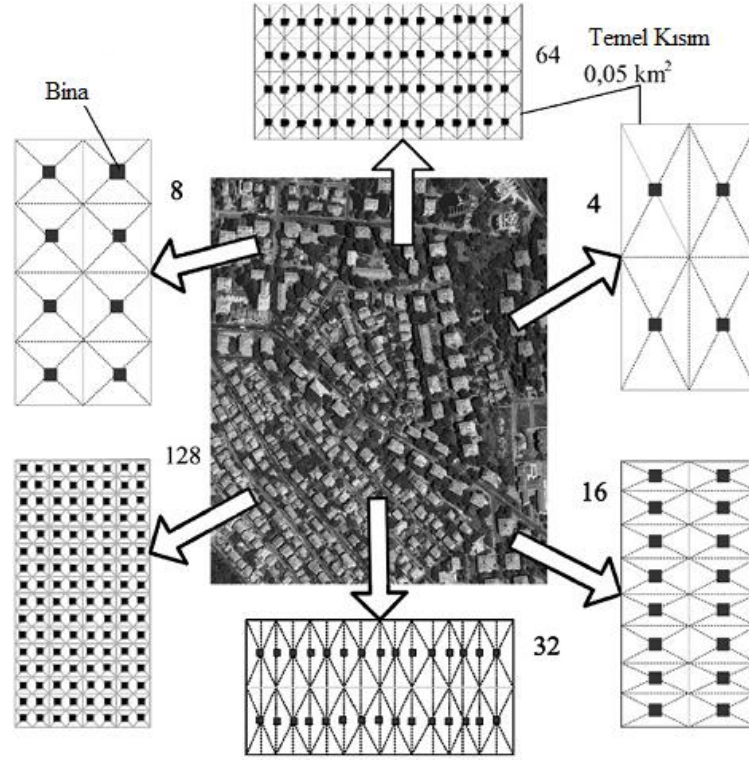
İncelenen temel durum sayısı $5 \times 4 \times 5 = 100$ oldu. Farklı çaplar için yapılan hesaplamalarla beraber de durum sayısı $100 \times 3 = 300$ olarak oluştu. Bütün durumlar için hesaplamalar sonuca ulaşabilmiştir. Bu model genel olarak ilk 2 modeli sınırlayan debi ve çap ile ilgili sorunu farklı bir yaklaşımla aşmak için geliştirilmiştir. Model, birim bölge alanı olarak 1 km²'lik bir alanı kabul ediyor ve örneğin 2 km²'lik alan için 2 birim alanın ($2 \times 1 \text{ km}^2 = 2 \text{ km}^2$) yan yana olduğu bir bölgeymiş gibi hesap yapıyor. Oluşan tek fark iki birim bölgenin iletim hatlarının boylarında gerçekleşen artıştır. Dolayısıyla bir bölge tek bir birim alandan oluştuğu düşünülerek hesaplama yapılamıyorsa bölgenin daha küçük birim alanlardan oluştuğu varsayılarak hesaplamalar sonuçlandırılabilir. Bu model bu özelliği ile büyük bölge alanına ve yüksek ısıl güç yoğunluğu değerine sahip yerlerde çok kullanışlı olmaktadır.

5.4.3.1 Birim Alan Yaklaşımı

Bölgeyi modellemek için Bölüm 5.3.1'de anlatılan kabuller çerçevesinde analizler yapılmak istenirse bazı sınırlayıcı etkilerle karşılaşılır. Bu sınırlayıcı etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için modelin sahip olduğu simetrik bina dağılımı ve boru hattı yerleşimi kabulünün kullanılmaması gerekmektedir. Bu da modelin gittikçe karmaşık bir yapıya dönüşmesine neden olur. Örneğin akışkan debisinin yüksek bir değerde olması hızın ve boru çapının da yüksek değerler (çap için piyasadaki en büyük çap ve hız için de boru hattında kabul edilebilir olan en yüksek hız) almasına neden olur. Bu değerleri uygulanabilir seviyelere düşürebilmek için de boru hattı sayısı ve yerleşiminin düzenlenmesi, yani modelin değiştirilmesi gerekmektedir. Debinin değeri bölgenin pik ısı enerjisi yüküne bağlıdır. Dolayısıyla pik ısı yükün yüksek olduğu durumlarda modelin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu sınırlayıcı etkileri ortadan kaldırabilmek için birim alan yaklaşımı geliştirilmiştir.

Bu yaklaşım bir bölgeyi aynı özelliklere sahip birim alanlara bölerek hesaplamaların yapılmasını öngörüyor. Şekil 5.12'de görülebileceği üzere örnek bir bölge içerisinde öngörülen 6 birim alan gösterilmiştir. Bu yaklaşım Brkic ve Tanaskovic'in çalışmasında kullanılmıştır (2008). Bahsi geçen çalışmada 0,05 km²'lik birim alan seçilerek herhangi bir

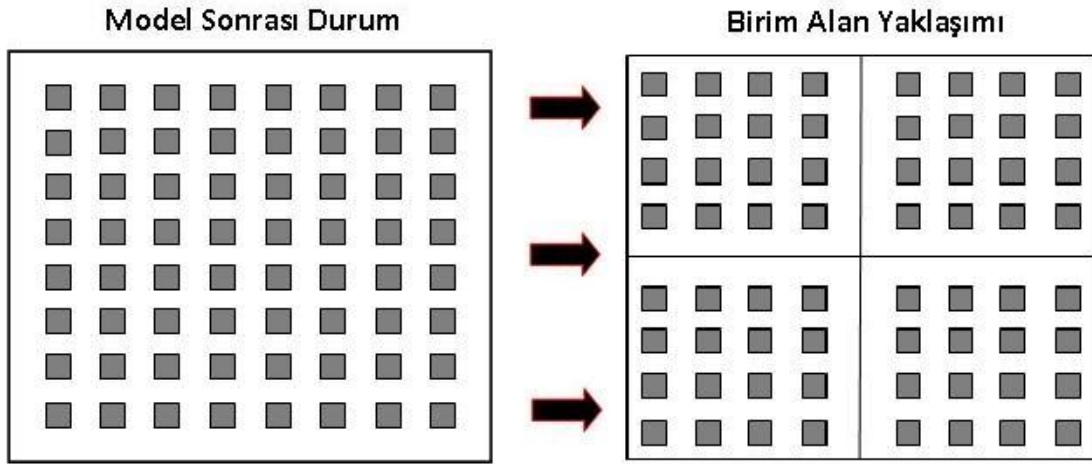
bölgede görülebilecek farklı bina sayıları için analizler yapılmıştır. Ancak sözü edilen çalışma bütün birim alanları birbirinden bağımsızmış gibi değerlendirerek gerçekçi olmayan bir yaklaşım ortaya koymuştur.



Şekil 5.12 Farklı özelliklere sahip bir bölgenin analizi^{††††}

Bu çalışmada geliştirilen yöntem ise bölge ısıtma modelinin temelini oluşturan farklı bina sayısı ve ısı güç yoğunluğu özelliklerinin simetrik bir şekilde bölgeye dağıtılması kabulüne ek olarak oluşturulmuştur. Bölge alanının ve pik ısı gücün yüksek olduğu durumlarda bölge aynı kabul çerçevesinde daha küçük bölgelere (birim alanlara) ayrılarak çözüm sunulmaktadır (Şekil 5.13). Oluşturulan bu birim alanlar tamamen aynı özelliklere (bina yoğunluğu, ısı güç yoğunluğu ve alan) sahip olmaktadır.

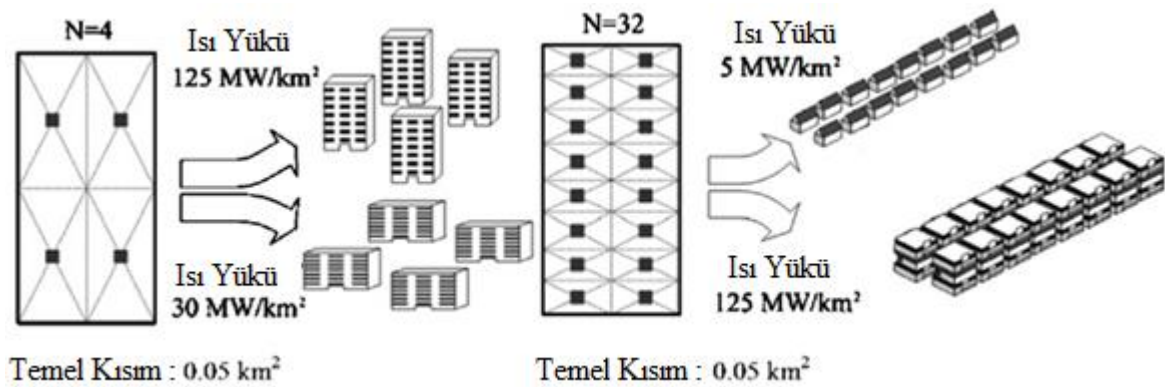
^{††††} Brkic ve Tanaskovic'in çalışmasından alınarak Türkçeleştirilmiştir (2008).



Şekil 5.13 Birim alan yaklaşımı

Geliştirilen bu yaklaşımda temel hesaplamalara ek olarak boru hattı, pompa ve ısı enerjisi kayıpları ile ilgili analizlerin de yapılması gerekmektedir. Aslında temel fark birim alanlardan oluşan bölgenin iletim hattı boyundaki artıştır. Bütün birim alanlardan santrale uzanan ek iletim hatları teknik (boru boyu, pompa istasyonu sayısı, basınç kaybı, ısı enerjisi kaybı vb.) ve ekonomik (ilk yatırım, ısı enerjisi kaybı vb.) hesapları etkiler.

Birim alan yaklaşımı ile bütün bina sayısı ve ısı güç yoğunluğu durumlarında hesaplamalar yapılabilmektedir. Bu farklar görsel olarak incelenmek istenirse Şekil 5.14 incelenebilir. Şekilde aynı bina sayısı ve farklı ısı yükü olduğunda bina başına düşen konut sayısının nasıl değiştiği gösterilmektedir. Aynı zamanda eşit ısı yükü ve farklı bina sayılarının olduğu durum görselleştirilmektedir.

Şekil 5.14 Bina sayısı ve ısı yükü ilişkisi^{****}

**** Brkic ve Tanaskovic'in çalışmasından alınarak Türkçeleştirilmiştir (2008).

5.5 Modellerin Kullanımı

Oluşturulan 3 adet modelin kullanımı bazı kısıtlamalara sahip olduğu için hepsi için aynı şartlarda kullanım söz konusu değildir. Bu nedenle modellerin sahip olduğu sınırlar ve kullanılabilirlik bu bölümde anlatıldı.

Model A farklı bölge alanları için hesap yapmasına karşın belli bir düzene göre değişen bölge alanı değerleri için olmamıştır. Bunun en önemli nedeni bina sayılarının belli değerlerin dışına çıkamamasıdır. Ayrıca hesap yapılamayan bazı durumların olması sonuçların bazı yerlerinde boşlukların olmasına neden olmaktadır. Her bina yoğunluğu değeri için farklı alanlara bağlı olarak sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle oluşturulacak tablo ve grafikler incelenecek duruma göre kullanılabilir.

Model B ise çok geniş kapsamlı olarak başlamasına karşın hesaplamaları sınırlandıran parametrelerden dolayı çoğu durum için hesaplar sonuçlandırılmadı. Bazı küçük çaplı alanlar için üretilen tablolar incelenen durumlara göre birim alan yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilebilir.

Model C ilk iki modelin eksikliklerini tamamlamak açısından geliştirildiği için bütün durumlarda hesaplamaları sonuçlandıracak şekilde oluşturuldu. Her bölge alanı için anlamlı sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle bölge alanının büyük olduğu durumlarda bu model kullanılabilir.

5.6 Modellerin Teknik Analizi

Elde edilen sonuçların teknik parametreler açısından analizinin sonuçları bu bölümde sunuldu. Analizler yapılırken kullanılan temel parametreler ve değerleri Çizelge 5.11’de görülebilir. Parametrelerin değerlerinin seçiminde farklı açılardan analiz yapmaya olanak sağlayabilecek durumların olmasına dikkat edildi.

Çizelge 5.11 Teknik analiz parametreleri

No	N_{bina} (adet)	$A_{bölge}$ (km ²)	$\rho_{güç}$ (MW _{el} /km ²)
1	16	0,1	10
2	144	0,5	50
3	4096	1	125

Temel parametrelere bağlı olarak 27 farklı durum ele alındı ve analizler bunlara göre yapıldı (Çizelge 5.12). Bütün bu durumlar aynı zamanda 3 farklı referans konut tipi ve boru çapı için de yapıldı.

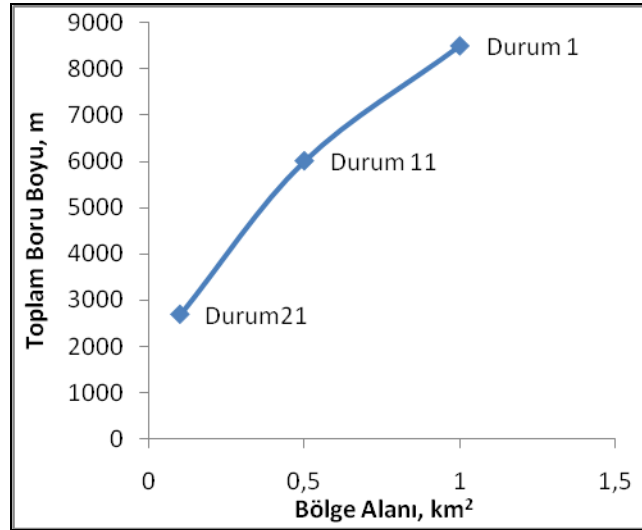
Çizelge 5.12 Analizlerde kullanılan durumlar

Durum No	$A_{bölge} (km^2)$	$N_{bina} (adet)$	$\rho_{güç} (MW_t/km^2)$
1	1	16	10
2	1	16	50
3	1	16	125
4	1	144	10
5	1	144	50
6	1	144	125
7	1	4096	10
8	1	4096	50
9	1	4096	125
10	0,5	16	10
11	0,5	16	50
12	0,5	16	125
13	0,5	144	10
14	0,5	144	50
15	0,5	144	125
16	0,5	4096	10
17	0,5	4096	50
18	0,5	4096	125
19	0,1	16	10
20	0,1	16	50
21	0,1	16	125
22	0,1	144	10
23	0,1	144	50
24	0,1	144	125
25	0,1	4096	10
26	0,1	4096	50
27	0,1	4096	125

5.6.1 Boru Boyu Analizi

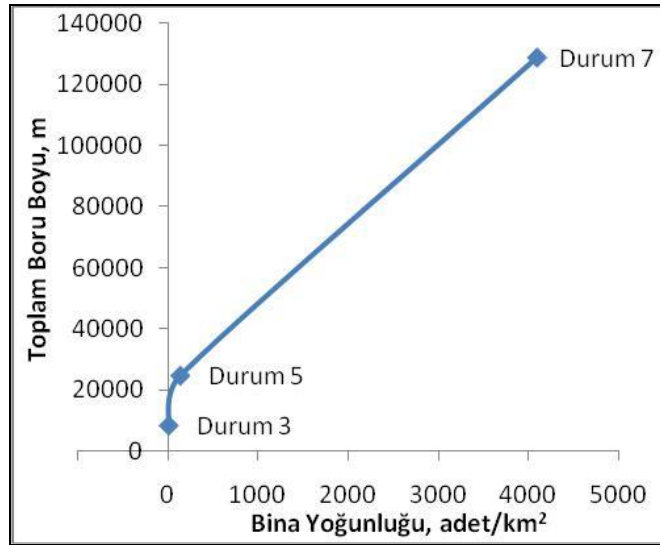
Bölge ısıtma sistemindeki 3 boru hattının toplam uzunluğu açısından bir analiz yapıldı. Isıl güç yoğunluğuna bağlı olarak boru boyu değişimi olmayacağı için 3 farklı bölge alanı ve bina yoğunluğu için boru boyu değişimi incelendi.

Öncelikle, bina sayısının sabit olduğu durumlar için bölge alanına bağlı olarak boru boyu analizi yapıldı (Şekil 5.15). Alan arttıkça, toplam boru boyu bölge alanındaki artışa paralel bir artış göstermektedir. Bu paralellik modelin simetrisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.15 Bölge alanına bağlı boru boyu analizi (N_{bina} : sabit)

Daha sonra aynı bölge alanı için bina yoğunluğuna bağlı boru boyu analizi yapıldı (Şekil 5.16). Bölge alanı sabit olduğu için bina yoğunluğunun artması bina sayısının artması demektir. Bu nedenle bina sayısı arttıkça boru boyları da artış göstermektedir. İki parametrenin artış hızı, yine model simetrisinden dolayı birbirine paralel olmaktadır.

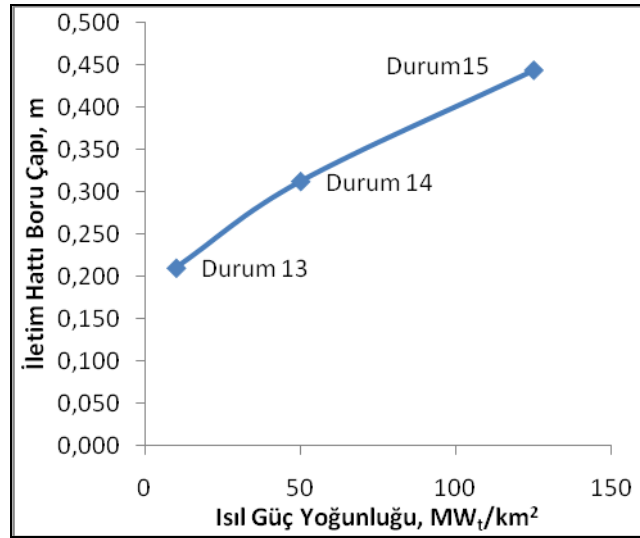


Şekil 5.16 Bina yoğunluğuna bağlı boru boyu analizi ($A_{bölge}$: sabit)

5.6.2 Boru Çapı Analizi

Boru çapı, birim basınç kaybını 100 Pa/m yapan akışkan hızı değerine ve bölgenin pik ısı enerjisi yüküne bağlı olarak hesaplanmıştır. Boru çapı analizi, aynı bina yoğunluğu ve bölge alanı için farklı ısı güç yoğunluklarının olduğu durumlarda iletim hattı için yapıldı (Şekil

5.17).



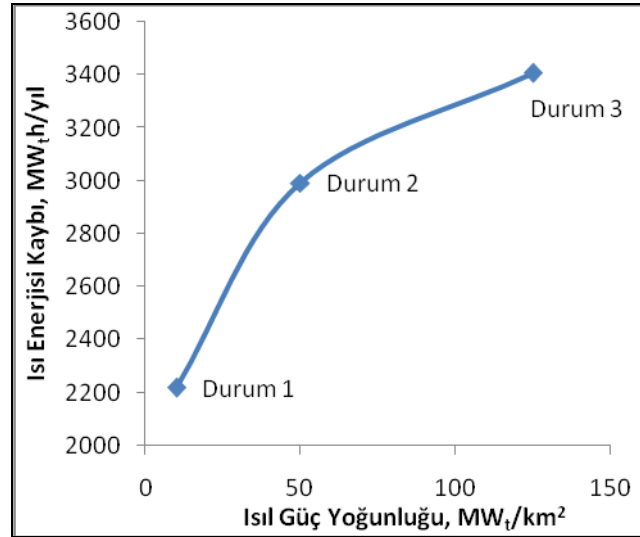
Şekil 5.17 Isıl güç yoğunluğuna bağlı iletim hattı boru çapı değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)

Tabii ki bu çap değerleri hesaplanan değerler değil, standarttaki çap değerleridir. Görüldüğü gibi ısıl güç yoğunluğu arttıkça çap artışı gerçekleşmektedir. Sabit yüzölçümü için ısıl güç yoğunluğunun artması pik ısıl gücün artması demektir. Bu da akışkan debisinin, dolayısıyla da boru hattı çapının artması demektir.

5.6.3 Isı Enerjisi Kayıp Analizi

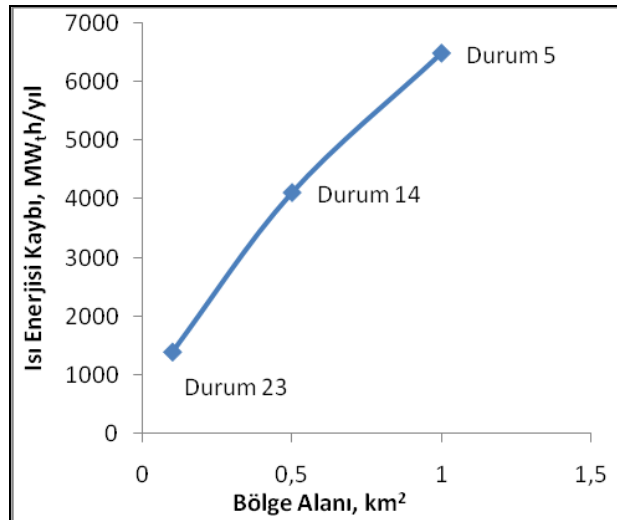
Boru hatlarındaki ısı enerjisi kayıpları bölge ısıtma sistemleri için önemli bir parametredir. Fizibilite çalışmalarında önemli bir kıstas olarak değerlendirilmektedir. Isı enerjisi kaybı için 3 temel parametreye (bölge alanı, bina yoğunluğu ve ısıl güç yoğunluğu) bağlı olarak analizler yapıldı. Isı enerjisi kaybı, boru çapı ve uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Aynı bina yoğunluğu ve bölge alanına bağlı olarak farklı ısıl güç yoğunlukları için ısı enerjisi kaybı sonuçları Şekil 5.18’de verildi. Isıl güç yoğunluğu arttıkça boru boyları değişmemekle beraber boru çapı arttığı için ısı kaybı da artmaktadır. Daha önce verilen ısıl güç yoğunluğu ve boru çapına bağlı eğriye benzer bir eğilim göstermektedir (Şekil 5.17).



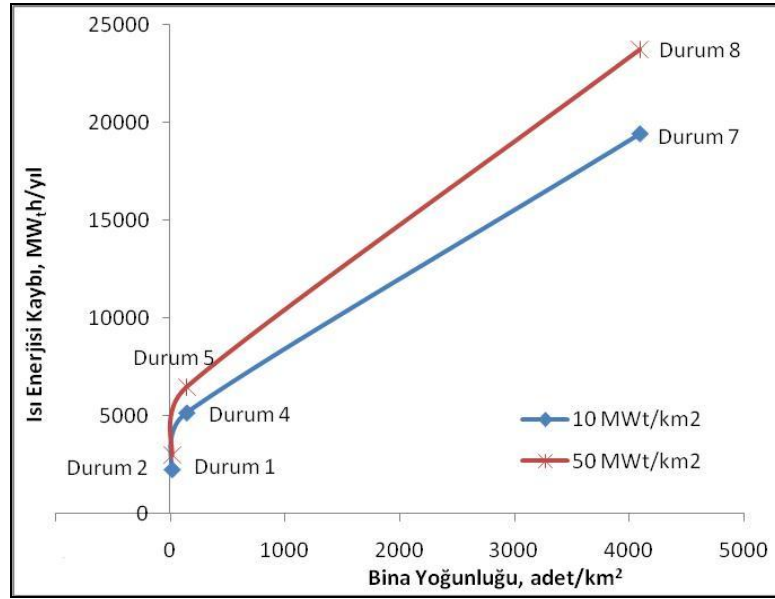
Şekil 5.18 Isıl güç yoğunluğuna bağlı ısı enerjisi kayıp analizi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)

Aynı bina sayısı ve ısıl güç yoğunluğu için farklı bölge alanlarındaki ısı enerjisi kayıpları hesaplanarak Şekil 5.19’da sunuldu. Alan arttıkça boru boyları da artmaktadır. Aynı zamanda ısıl güç yoğunluğunun sabit olmasından dolayı pik ısıl güç de artar, dolayısıyla boru çapları da artar. Bu nedenle ilk analizdeki eğriye göre daha hızlı bir artış görülmektedir.



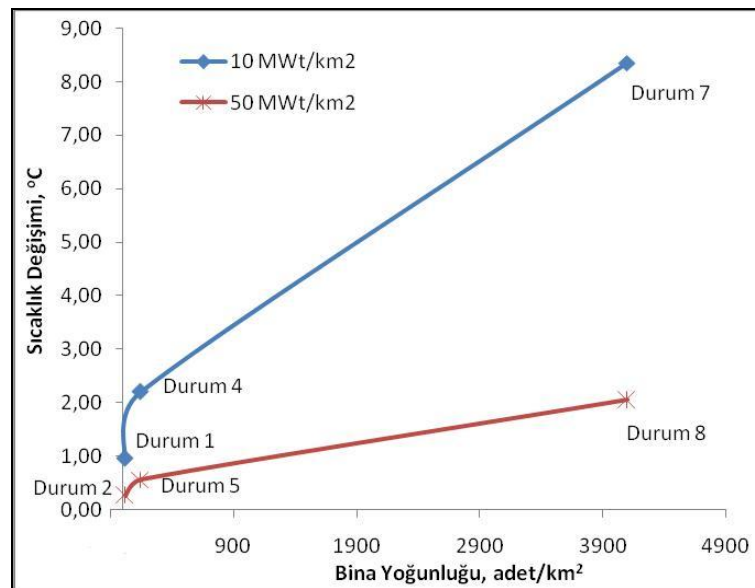
Şekil 5.19 Bölge alanına bağlı ısı enerjisi kayıp analizi (ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit)

İki farklı ısıl güç yoğunluğu ve aynı bölge alanı için bina yoğunluğuna bağlı ısı enerjisi kayıp analizinin sonuçları Şekil 5.20’de görülebilir. Bina yoğunluğu arttıkça bina sayısı artmaktadır. Aynı ısıl güç yoğunluğu için pik ısı yükü de sabit kaldığı için boru çapı da sabit kalmaktadır. Dolayısıyla boru boyundaki artışa paralel bir artış göstermektedir. Isıl güç yoğunluğu arttıkça pik ısıl güç artar, dolayısıyla da boru çapları ve akışkan debisi artar. Bu nedenle yüksek ısıl güç yoğunluğu eğrisi daha çok ısı enerjisi kayıp değerlerine sahip olur.



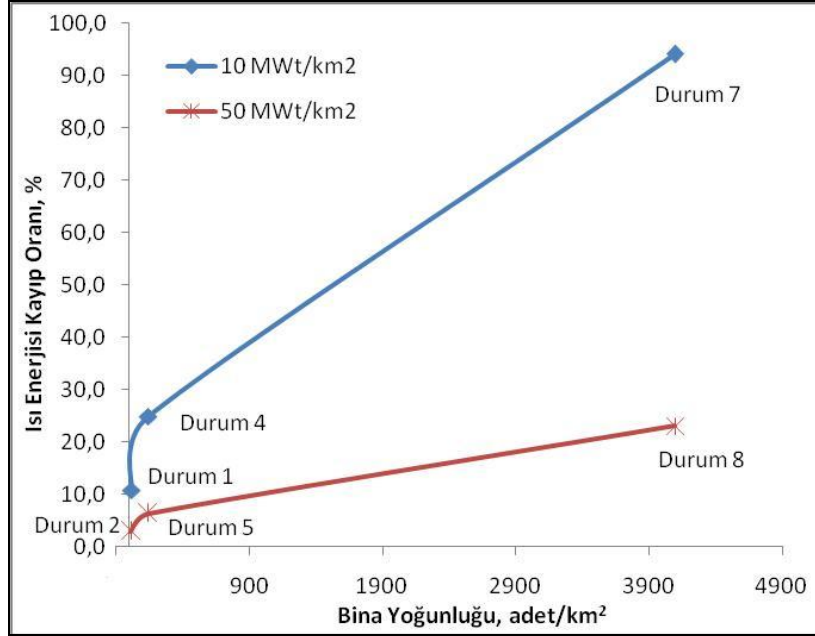
Şekil 5.20 Bina ve ısıl güç yoğunluğuna bağlı ısı enerjisi kayıp analizi ($A_{\text{bölge}}$: sabit)

Isı enerjisi kayıplarından dolayı boru hattındaki akışkanda gerçekleşen sıcaklık değişimi ve kayıplar ile toplam ısı enerjisi talebi arasındaki ilişki de incelendi. Öncelikle kayıplardan kaynaklanan sıcaklık değişimi Şekil 5.21’de verildi. Görüldüğü gibi sıcaklık değişimleri 8 °C’nin üstüne çıkabilmektedir. Şekil 5.20’deki farklı ısıl güç yoğunluğu eğrilerinin durumunun tam tersi bir durum söz konusudur. Yüksek ısıl güç yoğunluğu durumunda sıcaklık değişimleri daha düşük seviyelerde olmaktadır. Bunun nedeni, sıcaklık değişiminin pik ısıl güç ile doğru, debi ile ters orantılı olması ve debideki artışın pik ısıl güçteki artıştan çok daha yüksek olmasıdır.



Şekil 5.21 Isı enerjisi kayıplarından kaynaklanan sıcaklık değişimi ($A_{\text{bölge}}$: sabit)

Daha sonra da ısı enerjisi kayıplarının bölgenin ısı enerjisi talebinin (kayıplar hariç) yüzde kaçı olduğu hesaplandı (Şekil 5.22). Bu oran çok farklılıklar gösterebilmektedir. Bazı durumlarda % 90'lara kadar çıkabilmektedir. Düşük ısı güç yoğunluğu eğrisinin daha yüksek kayıp oranlarına sahip olmasının nedeni, bölge talebindeki artışın kayıplardaki artıştan çok daha yüksek olmasıdır.



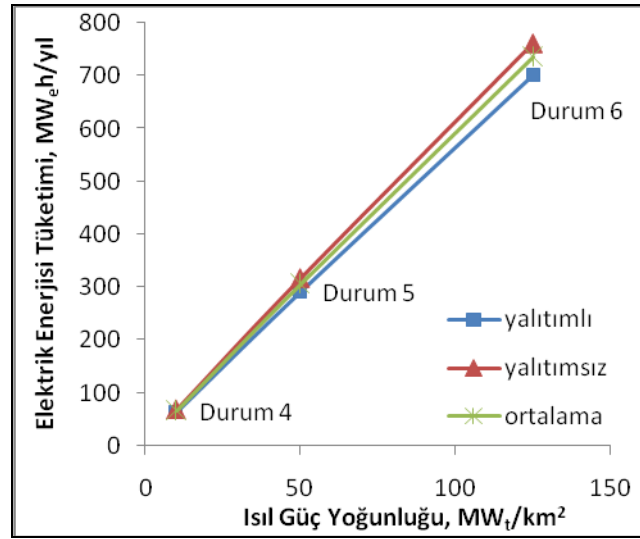
Şekil 5.22 Isı enerjisi kayıp oranı ($A_{\text{bölge}}$: sabit)

5.6.4 Pompa Elektrik Enerjisi Tüketim Analizi

Pompanın elektrik enerjisi tüketimi binanın yalıtım durumuna bağlı olarak değişmektedir. Bölgenin ısı enerjisi yüküne bağlı olarak da değişmektedir; ancak modeller sadece İstanbul için incelendiğinden bu etken burada incelenmedi. Pompa elektrik enerjisi tüketimi işletme basıncına dolayısıyla basınç kayıplarına ve akışkan debisine bağlı olarak da değişmektedir. Bu bölümde, farklı açılardan pompa elektrik enerjisi tüketimi değerlendirildi.

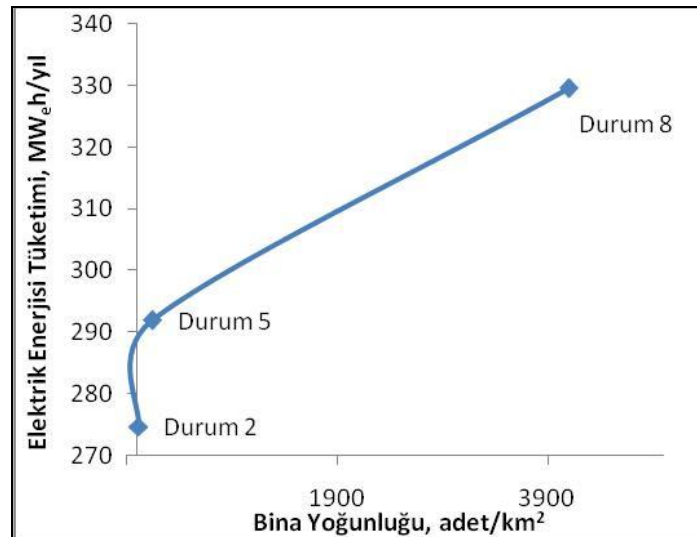
Öncelikle, aynı bölge alanı ve bina yoğunluğu için farklı ısı güç yoğunluklarına bağlı bir analiz gerçekleştirildi (Şekil 5.23). Pik ısı güçünün, yani ısı güç yoğunluğunun artmasıyla beraber debi ve çap da artmaktadır. Çap artışıyla basınç kayıpları azalmakta, ancak debideki artışın pompa elektrik enerjisi tüketimine etkisi daha fazla olduğu için elektrik enerjisi tüketimi artış göstermektedir. Yalıtım durumları için elektrik tüketimlerinin eşit olmamasının nedeni saatlik yüklerin farkından kaynaklanmaktadır. Daha önce yalıtım durumları için pik ısı yükleri ile yıllık toplam ısı enerjisi talepleri arasındaki oranların farklı olduğu açıklanmıştı.

Aynı durum pik ısıl yükler ile saatlik yükler arasında da söz konusudur. Ayrıca yalıtım durumları arasındaki fark, ısıl güç yoğunluğu arttıkça artış göstermektedir.



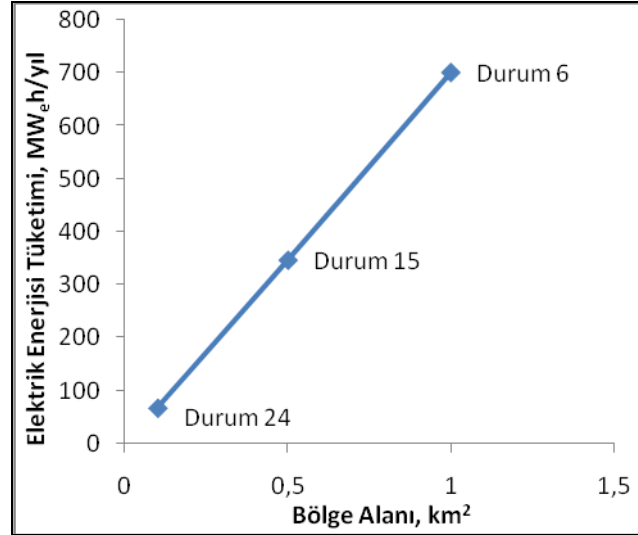
Şekil 5.23 Isıl güç yoğunluğuna ve yalıtım durumuna bağlı pompa elektrik enerjisi tüketim analizi ($A_{\text{bölge}}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)

Daha sonra aynı bölge alanı ve ısıl güç yoğunluğu için farklı bina yoğunluklarına bağlı olarak analiz gerçekleştirildi (Şekil 5.24). Pik ısıl gücün aynı olması nedeniyle iletim hattındaki debi ve çap aynı kalır. Diğer iki boru hattındaki çaplar ve boru boylarındaki değişimlerden ötürü bir miktar değişim gözlenmekle beraber diğer parametrelere göre çok etkin bir parametre olmadığı için bu değişim toplam bölge ısıtma maliyetlerini çok fazla etkilememektedir.



Şekil 5.24 Bina yoğunluğuna bağlı pompa elektrik enerjisi tüketimi analizi (yalıtımlı konut için, $A_{\text{bölge}}$: sabit, ρ_{guc} : sabit)

Son olarak da aynı bina sayısı ve ısıl güç yoğunluğu için farklı bölge alanlarına bağlı olarak pompa elektrik tüketimi hesaplandı (Şekil 5.25). Alan arttıkça debi ve çaplar da artmaktadır. Dolayısıyla işletme basıncı ve pompa elektrik tüketimi de artış göstermektedir. Şekil 5.24'deki değişime göre daha etkili bir artış söz konusudur.



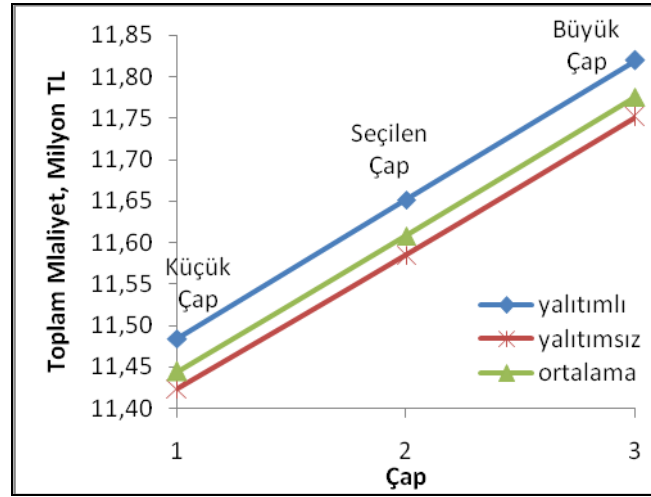
Şekil 5.25 Bölge alanına bağlı pompa elektrik enerjisi tüketimi analizi (yalıtlı konut için, ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit)

5.7 Modellerin Ekonomik Analizi

Elde edilen sonuçların ekonomik parametreler açısından analizinin sonuçları bu bölümde sunuldu. Analizler yapılırken kullanılan farklı durumlar teknik analizlerde kullanılan durumlar ile aynı seçildi (Çizelge 5.12).

5.7.1 Çapa Bağlı Analiz

Her durum için seçilen çap ve bir üst ve altındaki çaplar için de hesap yapıldığı söylenmişti. Bu çaplar için ekonomik olarak nasıl bir değişim görüleceği Durum No 24 için incelendi. Yalıtım durumuna bağlı olarak 3 farklı çap seçimi için bölge ısıtma sistemi ömür boyu maliyetlerinin şimdiki değerlerindeki değişim Şekil 5.26'da sunuldu. Çapa bağlı olarak yaklaşık 150.000 TL'lik farklar oluşabilmektedir. Küçük ve büyük çap ile seçilen çap arasında oluşan toplam maliyet farkı ortalama % 1,4'ler civarındadır. Bu fark çapa bağlı olarak değişen ısı enerjisi kaybı, basınç kaybı, pompa elektrik enerjisi tüketimi ve ilk yatırım maliyetleri parametrelerinin değişmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.26 Çapa bağlı olarak maliyet değişimi

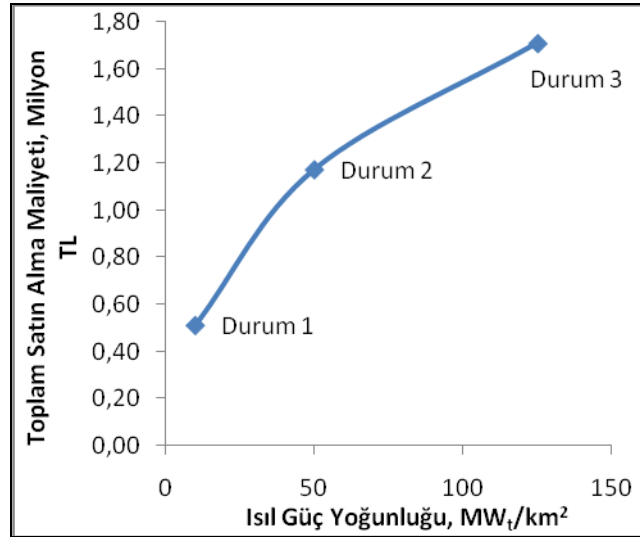
Dünyadaki bölge ısıtma sistemi uygulamalarına bakılırsa, sistemin kurulduğu bölgedeki ilk hizmet alanının zamanla genişletilmeye çalışıldığı görülür. Bu doğrultuda boru hattı için belirlenen çapın seçiminde bu düşünce dikkate alınır, maliyet üzerindeki etkisi düşük olan çap seçiminin büyük çapın seçilmesi yönünde kullanılması gelecek açısından da önemli bir anlam taşıyacaktır.

Analizlerde elde edilen bu grafik toplam maliyetlere göre hazırlandığı için yalıtımlı tip daha maliyetli çıkıyor. Yapılan analizlerde konut sayısı bir giriş parametresi değildir. Pik ısı güce göre 3 farklı referans konut tipi için hesaplanır. Konut sayısına bakılacak olursa, aynı ısı güç yoğunluğu için yalıtımlı tipte daha fazla konut vardır. Dolayısıyla konut başına maliyetler hesaplanırsa, yalıtımlı tipte konut başına daha düşük maliyetler çıkar.

5.7.2 Toplam Satın Alma Maliyetleri

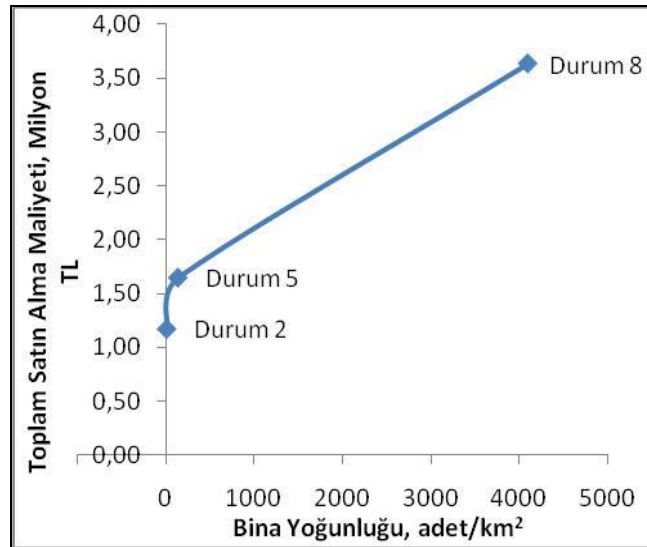
Pompa ve boru satın alma maliyetlerinin etkisi farklı açılardan incelendi. Burada asıl etkili parametre boru satın alma maliyetleri olduğu için boru boyuna ve çapına bağlı değişimler bu analizde etkili oldular.

Aynı bölge alanı ve bina yoğunluğu için farklı ısı güç yoğunluklarına bağlı satın alma maliyetlerindeki değişimler Şekil 5.27’de verildi. Burada ısı güç yoğunluğu değişimi söz konusudur, ancak ısı güç yoğunluğu değişiminin boru boylarına etkisi yoktur. Çap değişiminden dolayı boru satın alma maliyetleri değişmektedir. Pompa satın alma maliyetinin etkisi çok az olduğu için ısı güç yoğunluğu-çap değişim eğrisine benzer bir grafik ortaya çıkmaktadır (Şekil 5.17).



Şekil 5.27 Isıl güç yoğunluğuna bağlı satın alma maliyeti değişimi (A_{bölge}: sabit, ρ_{bina}: sabit)

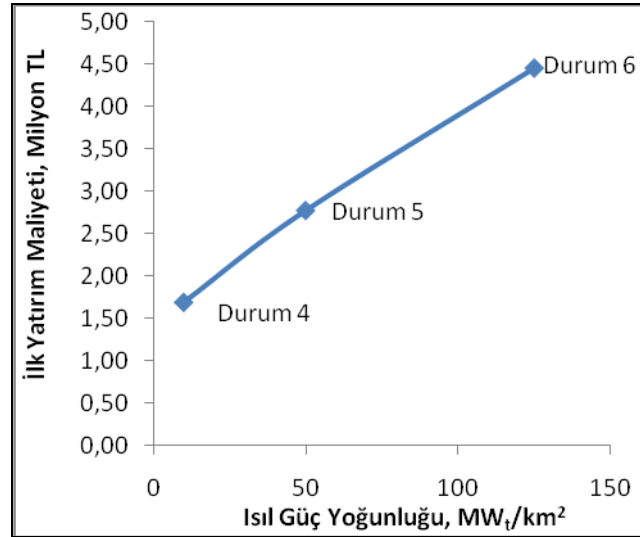
Aynı bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı olarak farklı bina yoğunlukları için satın alma maliyetlerindeki değişimler Şekil 5.28’de sunuldu. Yine etkin parametre boru çapı olacak şekilde bir eğilim gözlenmektedir.



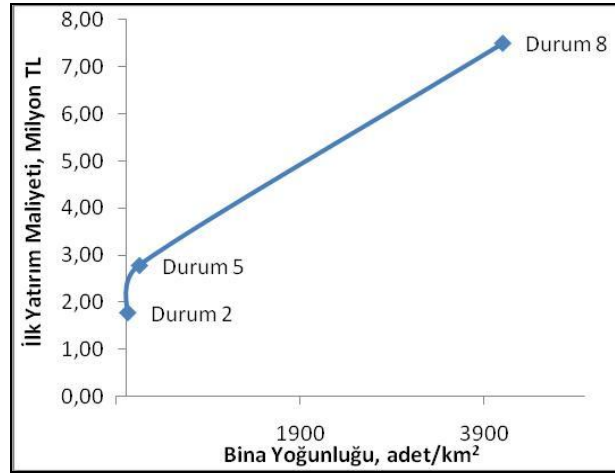
Şekil 5.28 Bina yoğunluğuna bağlı satın alma maliyeti değişimi (A_{bölge}: sabit, ρ_{guc}: sabit)

5.7.3 Toplam İlk Yatırım Maliyeti

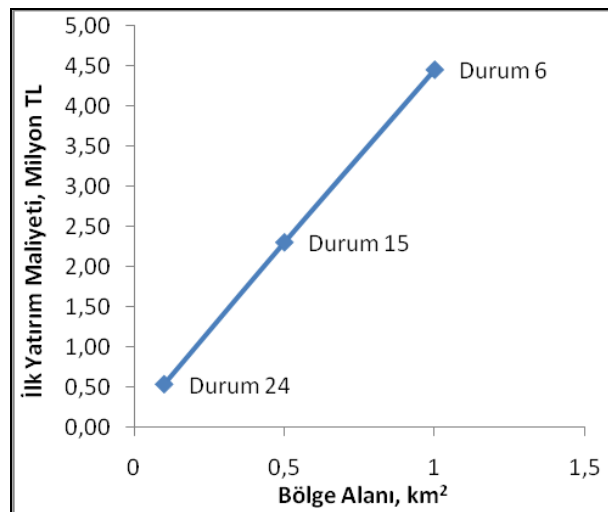
Satın alma ve kurulum maliyetlerinin değişimi bu bölümde incelendi. Sırası ile Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de ısı güç yoğunluğu, bina yoğunluğu ve bölge alanının etkisi incelendi. Kurulum ve boru satın alma maliyetleri ağırlıklı olmak üzere boru boyu ve çapındaki değişmelere benzer sonuçlar elde edildi.



Şekil 5.29 Isıl güç yoğunluğu ilk yatırım maliyetleri değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)



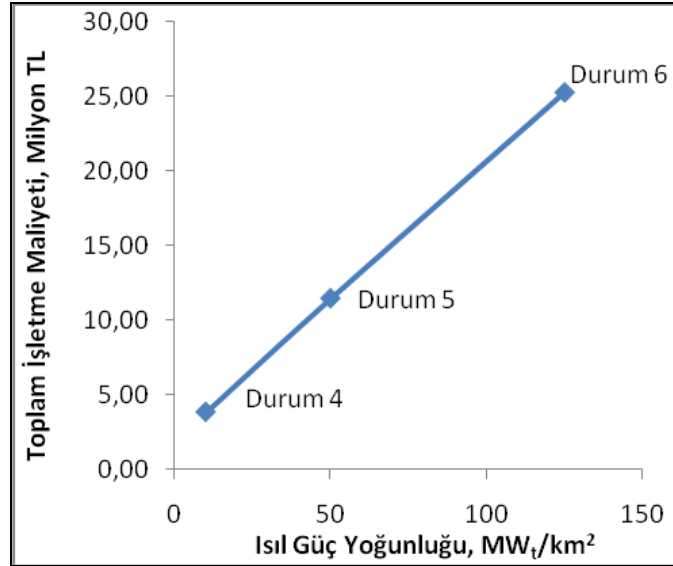
Şekil 5.30 Bina yoğunluğu ilk yatırım maliyetleri değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{guc} : sabit)



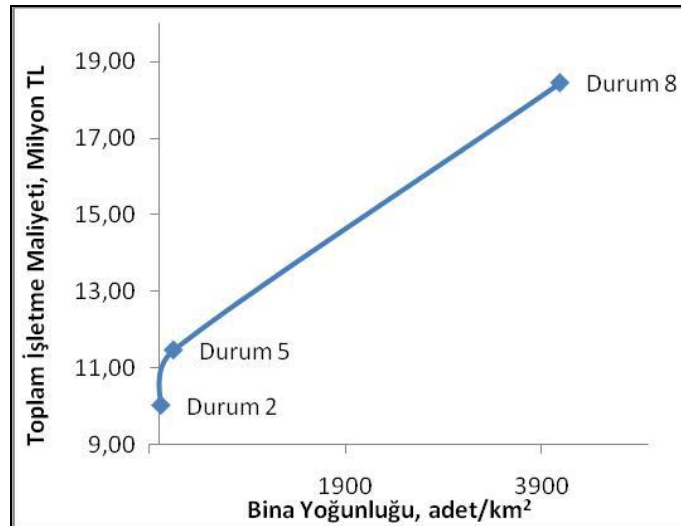
Şekil 5.31 Bölge alanı ilk yatırım maliyetleri değişimi (ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit)

5.7.4 Toplam İşletme Maliyeti

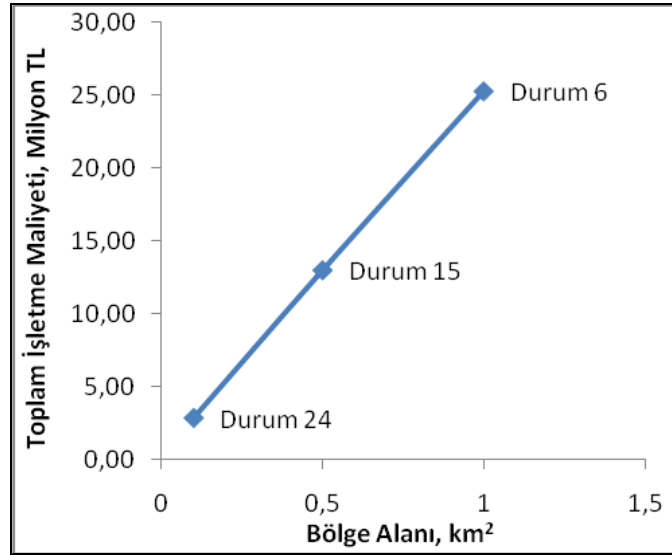
Isı enerjisi kaybı, pompa işletme ve bakım-onarım-işletme maliyet kalemlerinin toplamının temel parametrelere bağlı değişimi bu bölümde incelendi. Sırası ile Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de ısı güç yoğunluğu, bina yoğunluğu ve bölge alanının etkisi incelendi. Ağırlıklı olarak bakım-onarım-işletme ve ısı enerjisi kayıp maliyetleri olmak üzere temel parametrelere bağlı değişimler teknik parametrelerdeki değişimlere paralel olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.32 Güç yoğunluğu işletme maliyetleri değişimi ($A_{\text{bölge}}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)



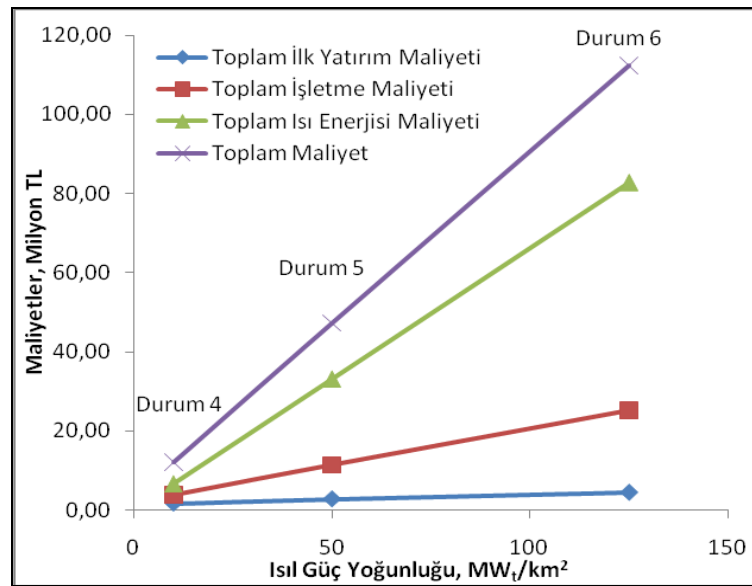
Şekil 5.33 Bina yoğunluğu işletme maliyetleri değişimi ($A_{\text{bölge}}$: sabit, ρ_{guc} : sabit)



Şekil 5.34 Bölge alanı işletme maliyetleri değişimi (ρ_{guc} : sabit, N_{bina} : sabit)

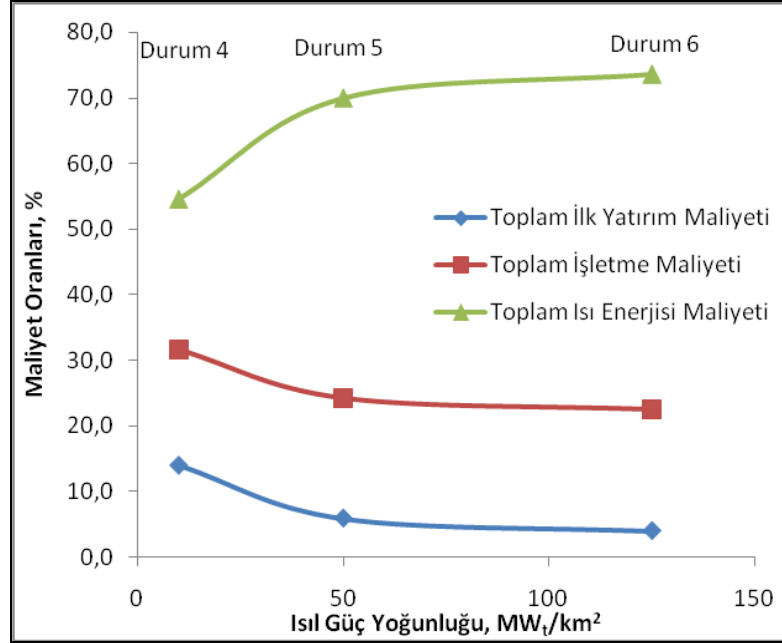
5.7.5 Maliyet Oranları

Bu bölümde maliyet kalemlerinin şimdiki değere getirilmiş toplamalarının toplam maliyet üzerindeki etkisi incelendi. Öncelikle ilk yatırım, işletme ve ısı enerjisi maliyetlerinin toplam maliyetle beraber şimdiki değerleri grafiğe döküldü (Şekil 5.35). Daha sonra da bu değerlerin toplam maliyet içindeki payları hesaplanarak Şekil 5.36'da sunuldu. Görüldüğü gibi en büyük payı santralden çekilen ısı enerjisi maliyetleri oluşturuyor. Daha sonra da işletme ve bakım maliyetleri gelmektedir. İlk yatırım maliyetleri ısıl güç yoğunluğunun düşük olduğu durumlarda maliyet üzerinde önemli bir paya sahip olmaktadır.



Şekil 5.35 Maliyet değerlerinin değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)

Isıl güç yoğunluğunun artmasıyla beraber ısı enerjisi maliyetlerinin payı artmakta, ancak ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin payı azalmaktadır. Bu sonuç, bölgenin ısı enerjisi talebinin artması ile birim ısı enerjisi maliyetlerinin de azalmasını sağlamaktadır. Isı enerjisi maliyetleri % 50 - 75, işletme maliyetleri % 20 - 35 ve ilk yatırım maliyetleri de % 0 - 15 aralıklarında paya sahip olmaktadır.



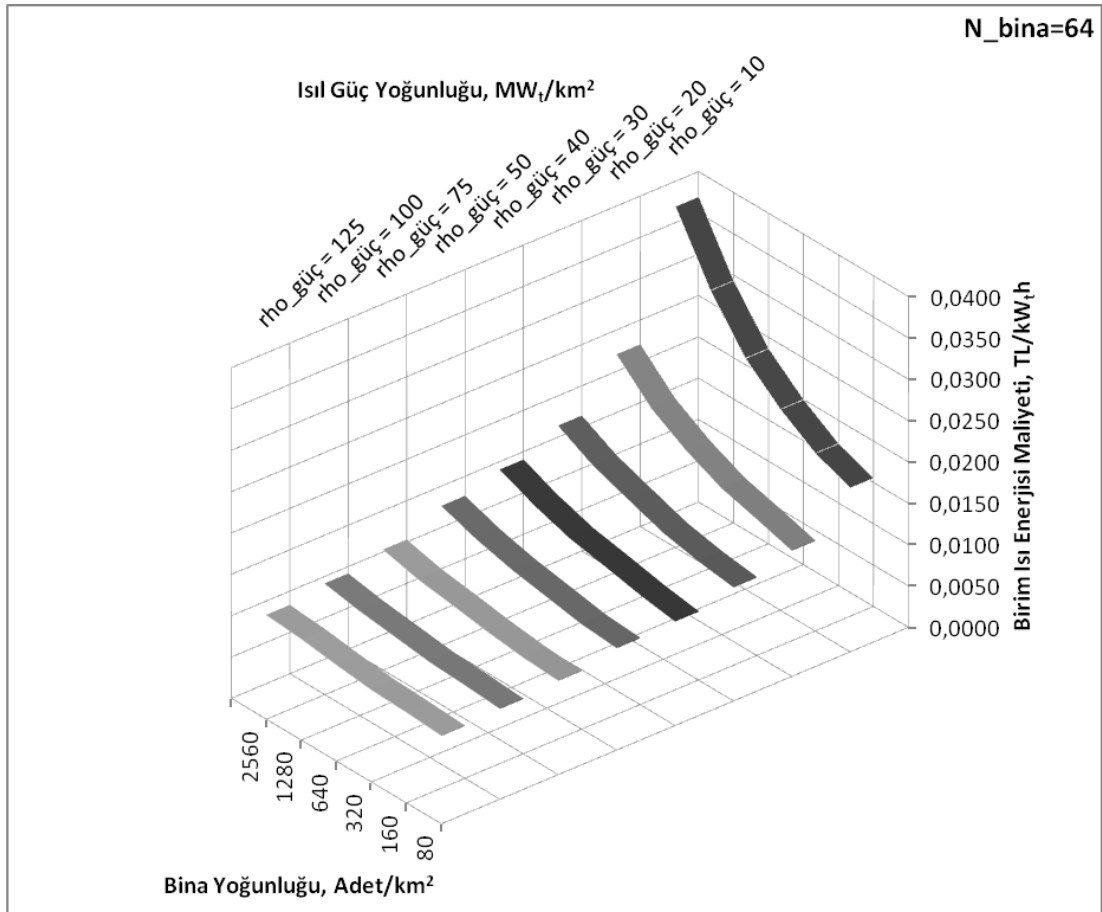
Şekil 5.36 Maliyet oranlarının değişimi ($A_{bölge}$: sabit, ρ_{bina} : sabit)

5.8 Sonuçların Analizi ve Karşılaştırmalar

Bu bölümde, elde edilen bütün sonuçlar bölge ısıtma sisteminin birim ısı enerjisi ve konut başına yıllık toplam ısı enerjisi maliyeti üzerinden oluşturulan tablo ve grafiklerle analiz edildi ve doğalgaz ile karşılaştırmalar yapıldı. Temel parametrelere bağlı olarak farklı açılardan elde edilen bütün sonuçlar incelendi. Doğalgaz ile karşılaştırmaların yapıldığı durumlar haricindeki analizlerde birim ısı enerjisi maliyetleri ve konut başına yıllık maliyetler içerisindeki yakıt maliyeti (santralden çekilen ısı enerjisi maliyeti) hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Maliyet hesapları içerisindeki ısı enerjisi kayıp maliyetleri ise daha önce belirtilen varsayılan değerler ile hesaplanmıştır. Santralden çekilen ısı enerjisinin maliyetler üzerindeki etkisinin büyüklüğü daha önce açıklanmıştı. Bu nedenle, sonuçların daha genel olabilmesi için böyle bir yol izlenmiştir.

5.8.1 Sabit Isıl Güç Yoğunluğu

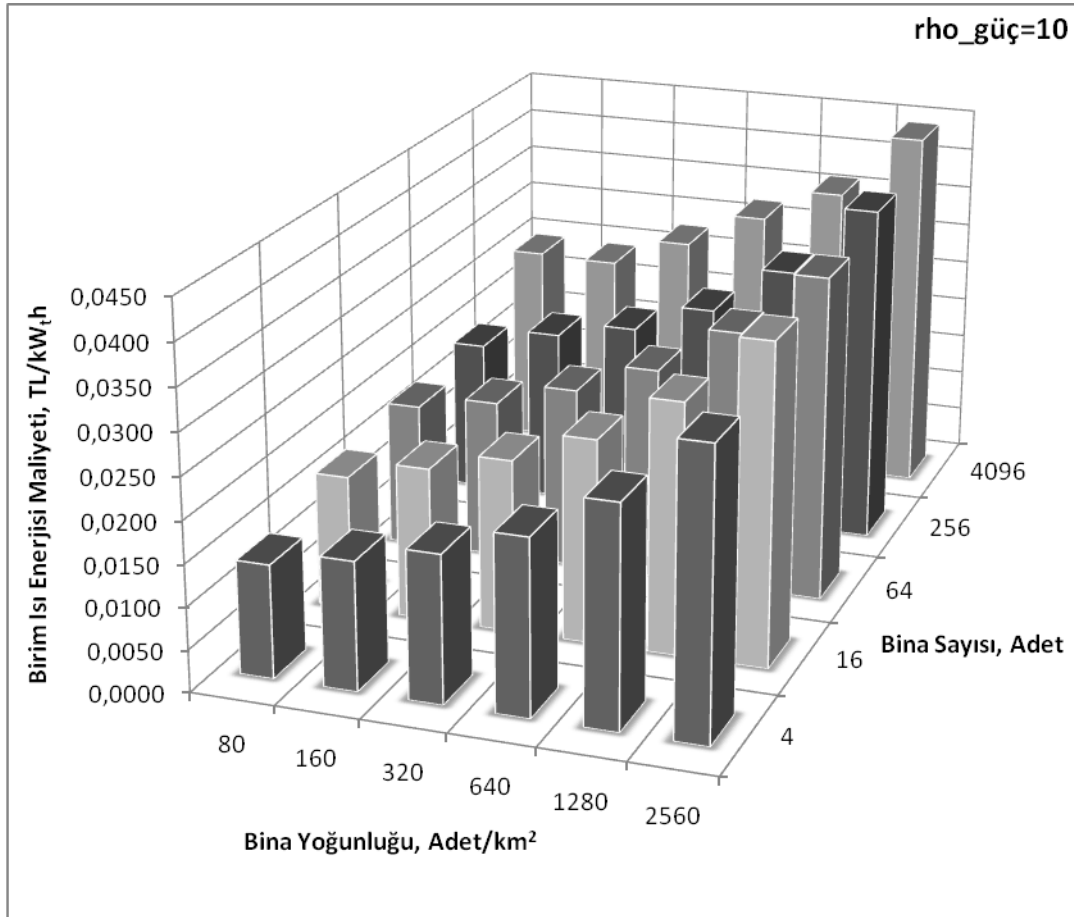
Bu bölümde, ısıl güç yoğunluğunun sabit olduğu durumlar diğer parametrelere bağlı olarak incelendi. Öncelikle birim alan yaklaşımı ile incelenen farklı ısıl güç yoğunlukları için değişen bina yoğunluğu ve sabit bina sayısı için birim maliyetler incelendi. Şekil 5.37’de de görülebileceği üzere düşük ısıl güç yoğunluklarında, bina yoğunlukları ile maliyet değişimi yüksek olmaktadır. Bina sayısı sabit olduğu için bina yoğunluğunun artması aslında bölge alanının azalması anlamına gelmektedir. Bölge alanının azaldığı ve ısıl güç yoğunluğunun sabit kaldığı eğri boyunca bölgenin pik ısıl gücü de azalmaktadır. Dolayısıyla ısıl güç yoğunluğunun sabit kaldığı ve bina yoğunluğunun arttığı eğri boyunca boru çapları ve uzunlukları ve ısı enerjisi ve basınç kayıpları azalmaktadır. İlk yatırım ve enerji talebinin düşmesinden ötürü de bakım-onarım-işletme maliyetleri düşmektedir. Maliyetlerdeki bu azalmalar bölge yıllık ısı enerjisi talebindeki azalmaya oranla daha düşük olduğu için birim ısı enerjisi maliyeti artmaktadır.



Şekil 5.37 Bina yoğunluğu ve ısıl güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $N_{bina}=64$)

Isıl güç yoğunluğunun daha yüksek olduğu eğrilere bakılacak olursa değişim daha azdır. Eğrilerin hepsinde bina yoğunluğu değişimi aynıdır. Dolayısıyla bölge alanı ve pik ısı enerjisi yükü değişimi de aynıdır. Buna karşın maliyetlerdeki azalma ısıl güç yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda daha fazladır. Yani ısıl güç yoğunluğu arttıkça bina yoğunluğundaki artışla beraber maliyetlerdeki azalma daha fazladır.

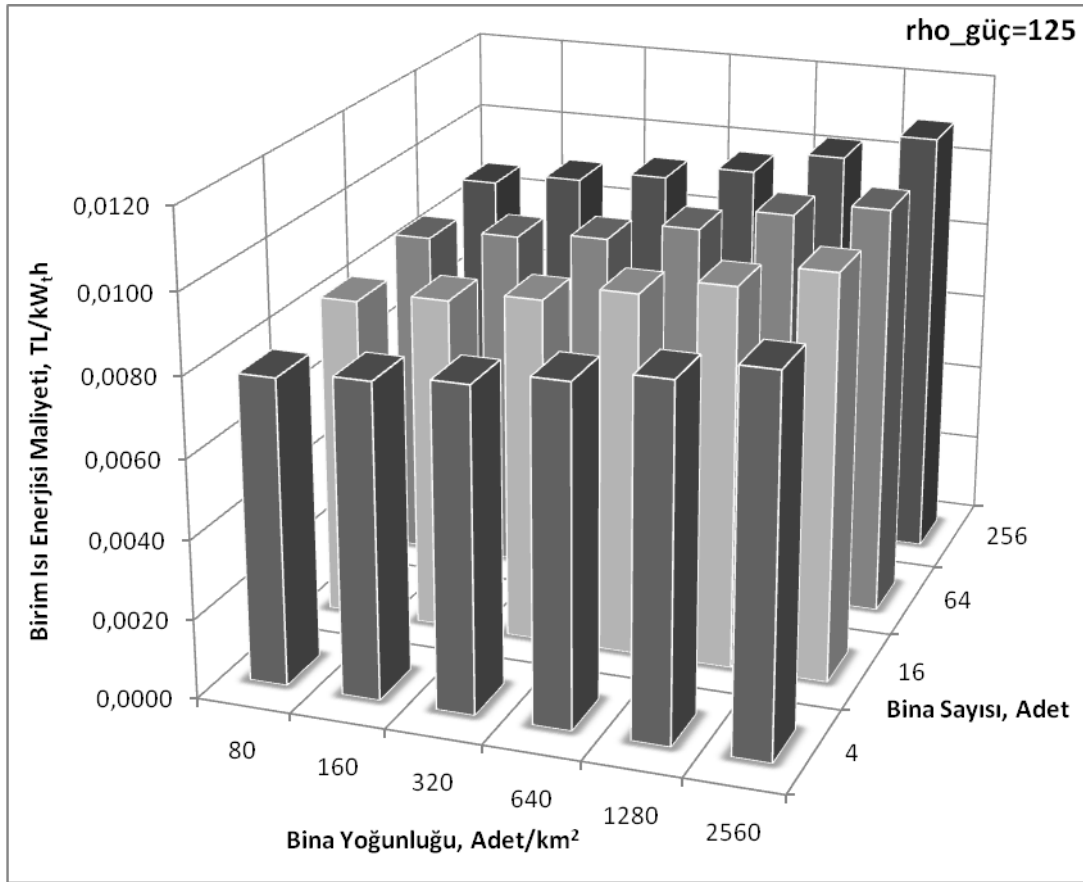
Farklı bina sayıları için benzer bir analiz yapıldığında tek bir ısıl güç yoğunluğu değeri için Şekil 5.38 ve Şekil 5.39 elde edildi. Aynı bina yoğunluğunda, bina sayısının artması bölge alanının da artması demektir. Bina yoğunluğu arttıkça farklı bina sayıları için hesaplanan birim maliyetler arasındaki oran da artmaktadır. Isı enerjisi talebindeki değişimler sabit kaldığı için ve maliyetlerdeki değişimler de bina sayısı ile birlikte arttığı için birim maliyetlerin artış oranı da artmaktadır.



Şekil 5.38 Bina yoğunluğu ve bina sayısına bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)

Daha önce de bahsedildiği gibi ısıl güç yoğunluğu arttıkça bölge ısı enerjisi talebindeki değişim ile toplam maliyetteki değişim arasındaki oran 1'e yaklaşmaktadır. Dolayısıyla birim

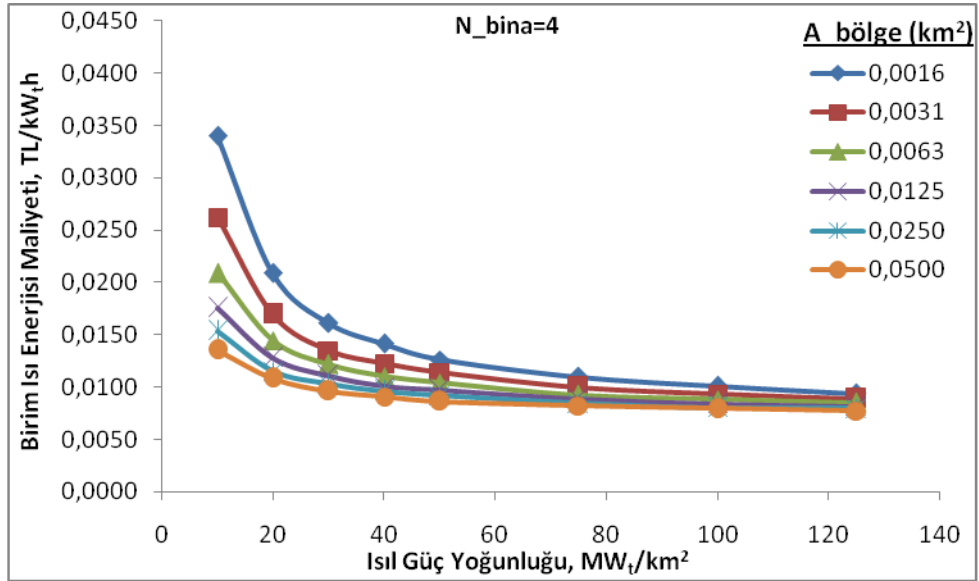
ısı enerjisi maliyetlerindeki değişimler en düşük seviyelere inmektedir.



Şekil 5.39 Bina yoğunluğu ve bina sayısına bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)

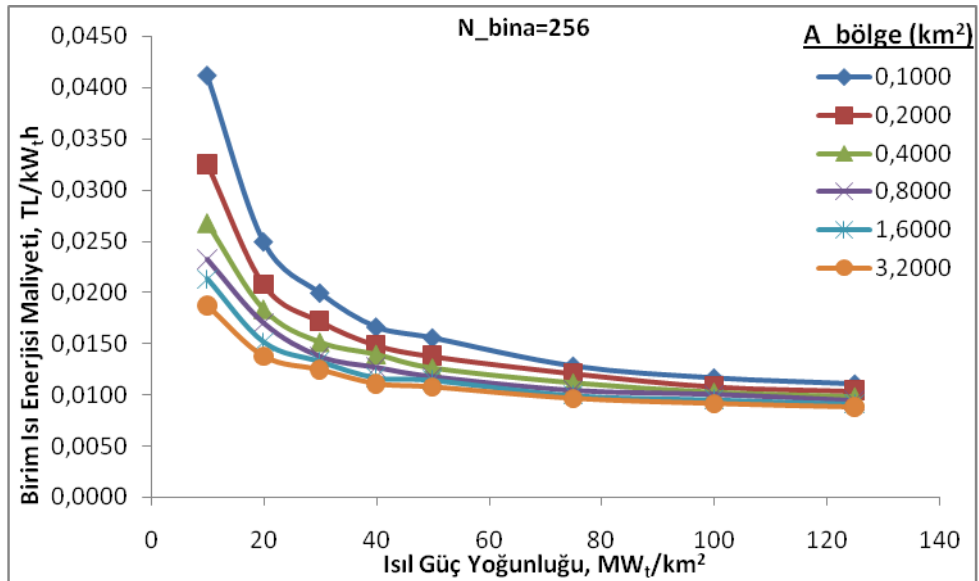
5.8.2 Sabit Bina Yoğunluğu

Bu bölümde bina yoğunluğunun sabit olduğu durumlar diğer parametrelere bağlı olarak incelendi. Öncelikle sabit bina sayısı için farklı bölge alanlarında değişen ısı güç yoğunlukları için birim ısı enerjisi maliyetleri incelendi. Şekil 5.40 ve Şekil 5.41 iki farklı bina sayısı için bölge alanı, bina sayısı ve ısı güç yoğunluğunun farklı durumları için birim ısı enerjisi maliyetinin değişimini göstermektedir. Şekillerdeki eğriler farklı bölge alanları, yani farklı bina yoğunlukları içindir. Alan arttıkça bina yoğunluğu azalmaktadır. Daha önce elde edilen “yüksek ısı güç yoğunluklarında bina yoğunluğuna bağlı değişimler daha az olmaktadır” sonucu burada da görülmektedir.



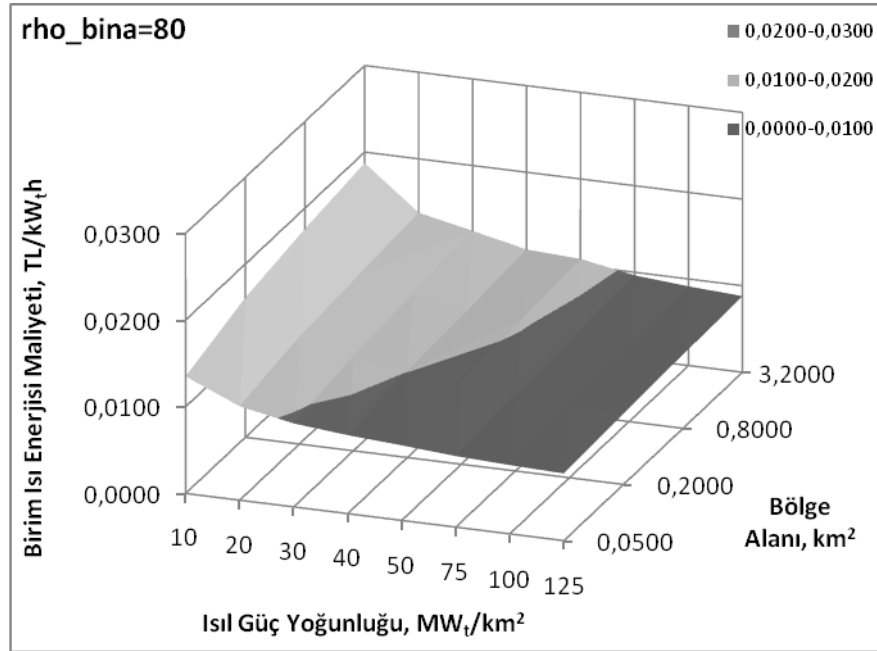
Şekil 5.40 Farklı ısı güç ve bina yoğunlukları ile maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $N_{bina}=4$)

Şekil 5.40 ve Şekil 5.41 beraber değerlendirildiğinde $N_{bina}=256$ durumunda maliyetler daha yüksek olmaktadır. Aynı zamanda iki şekildeki eğriler aynı bina yoğunlukları içindir. Yüksek bina sayısının olduğu durumda ilk yatırım maliyetleri, ısı enerjisi kaybı, basınç kaybı ve ısı enerjisi talebi artmaktadır. Dolayısıyla bütün maliyet kalemlerinde ve ısı enerjisi talebinde artış söz konusudur. Maliyetlerin yüksek bina sayısı durumunda daha fazla olmasının nedeni toplam maliyetlerdeki artışın ısı enerjisi talebindeki artıştan daha fazla olmasıdır.

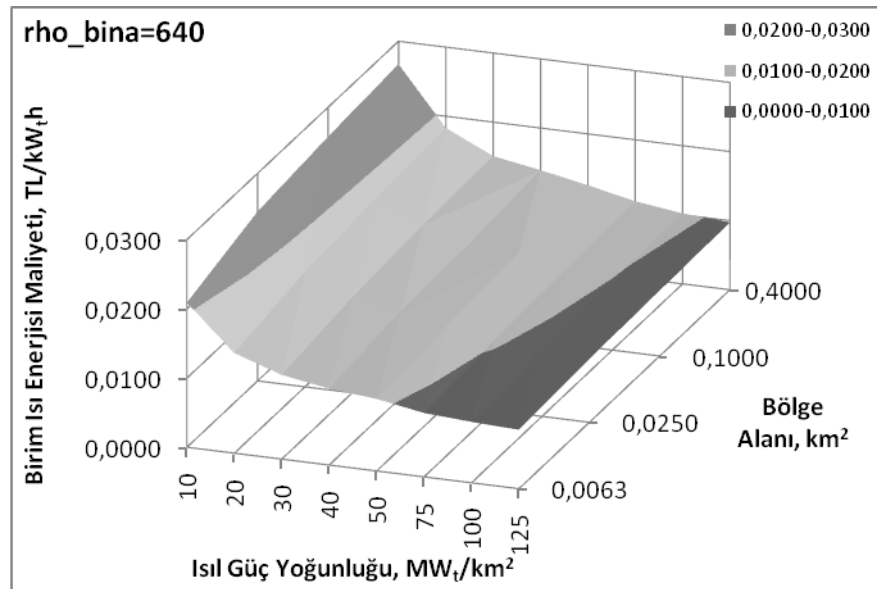


Şekil 5.41 Farklı ısı güç ve bina yoğunlukları ile maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $N_{bina}=256$)

İki farklı bina yoğunluğu değeri için bölge alanı ve ısıl güç yoğunluğuna bağlı birim maliyet değişimi Şekil 5.42 ve Şekil 5.43’de verildi. Aynı bina yoğunluğu için alana bağlı değişim ısıl güç yoğunluğuna bağlı değişimden daha az etkilidir.



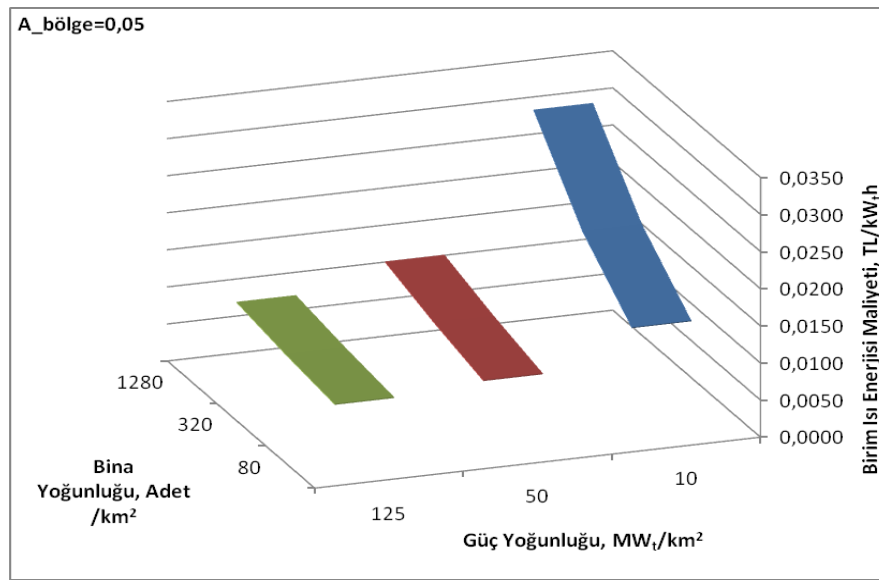
Şekil 5.42 Bölge alanı ve ısıl güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=80$ adet/km²)



Şekil 5.43 Bölge alanı ve ısıl güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=640$ adet/km²)

5.8.3 Sabit Bölge Alanı

Bu bölümde bölge alanının sabit olduğu durumlar diğer parametrelere bağlı olarak incelendi. Şekil 5.44’de üç farklı bina ve ısı güç yoğunluğu için analiz sonuçları verildi. Daha önce elde edilen sonuç burada da görüldü, “düşük ısı güç yoğunluklarında maliyet değişimi daha fazla olmaktadır”. Sabit ısı güç yoğunluğunun olduğu eğride, alan sabit olduğu için ısı enerjisi talebi sabit kalmakta ve bina yoğunluğu bina sayısı arttığı için artmaktadır. Talebin sabit kalmasına karşın bütün maliyetler bina sayısının artmasına mukabil artmaktadır. Dolayısıyla da birim maliyetler artmaktadır.



Şekil 5.44 Bina yoğunlu ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (Ortalama konut tipi için, $A_{bölge}=0,05 \text{ km}^2$)

5.8.4 Yalıtım Durumu Etkisi

Bu bölümde yalıtım durumunun birim ısı enerjisi maliyetleri ve konut başına düşen yıllık toplam maliyetler üzerindeki etkisi incelendi. Birim alanının 1 km^2 , bina sayısının 144 adet olduğu bir durum için 8 farklı ısı güç yoğunluğu değerine bağlı olarak birim ve konut başı maliyetler analiz edildi (Çizelge 5.13).

Görüleceği üzere birim ısı enerjisi maliyetleri yalıtım durumuna göre bir miktar değişiklik göstermektedir. Bunun nedeni, konut sayısının analizlerin başlangıç parametresi olmaması yani hesaplanarak bulunmasıdır. Konut sayısı, bütün yalıtım durumlarında aynı olan pik ısı güce bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bundan dolayı da konut sayısı yalıtım durumu iyileştikçe artmaktadır. Konut sayısındaki değişimin birim ısı enerjisi maliyetine etkisi ihmal

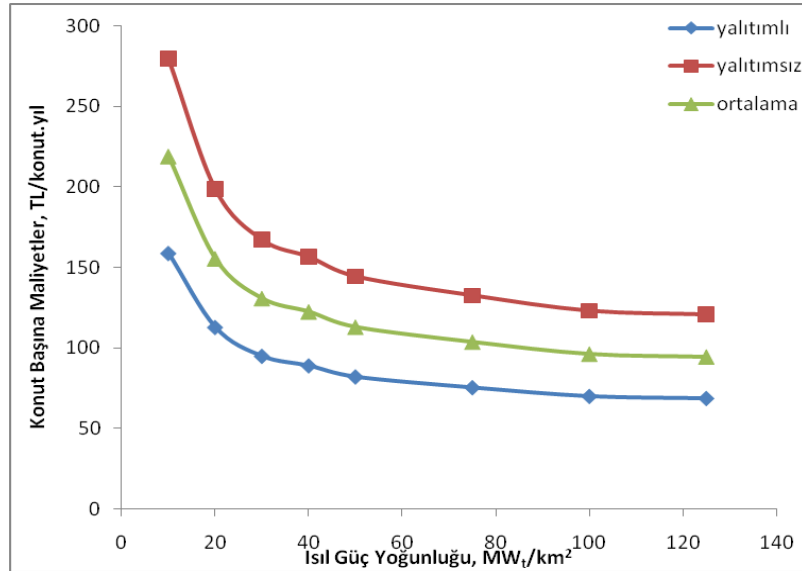
edilebilecek kadar az (% 1'in altında) olmaktadır, ancak bu değişim konut başına düşen yıllık ısı enerjisi maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir (Şekil 5.45). Konut sayısı yalıtım durumuna paralel olarak değiştiği için konut başına maliyetler de yalıtım durumu iyileştikçe düşmektedir. Isıl güç yoğunluğunun $10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$ olduğu durum için hesaplanan konut sayıları sırasıyla 2710, 1540 ve 1964 adet olmaktadır. Toplam ısı enerjisi talebi değerleri birbirine çok yakın olduğu için de konut başına maliyetler büyük farklılık göstermektedir.

Çizelge 5.13 Yalıtım tipleri için maliyetler

A_bölge = 1 km² – N_bina = 144 adet						
Isıl güç yoğunluğu, MW_t/km²	Birim ısı enerjisi maliyeti, TL/kW_th			Konut başına yıllık maliyet, TL/konut.yıl		
	<i>Yalıtımlı</i>	<i>Yalıtımsız</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Yalıtımlı</i>	<i>Yalıtımsız</i>	<i>Ortalama</i>
10	0,02087	0,02103	0,02097	159	279	219
20	0,01480	0,01493	0,01488	113	198	155
30	0,01244	0,01256	0,01251	95	167	131
40	0,01166	0,01176	0,01172	89	156	122
50	0,01075	0,01085	0,01081	82	144	113
75	0,00987	0,00996	0,00992	75	132	104
100	0,00916	0,00924	0,00921	70	123	96
125	0,00899	0,00907	0,00904	68	120	94

Yalıtım durumu ile ısı enerjisi talebi ve pompa elektrik enerjisi tüketimi değişmektedir. İlk yatırım ve ısı enerjisi kayıp maliyetleri yalıtım durumları ile bağlantılı değildir. Binaların yalıtım durumlarının iyileşmesi ile birlikte pompa işletme maliyetleri azalmaktadır, bakım-onarım-işletme maliyetleri ise artmaktadır. Aynı zamanda referans konut ısı enerjisi talebi yalıtımın iyileşmesi ile birlikte azalmakta, buna karşın konut sayısının da artmasından dolayı bölge toplam ısı enerjisi talebi artmaktadır. Yalıtımın iyileşmesi ile beraber maliyetlerdeki artış ısı enerjisi talebindeki artıştan daha az olduğu için birim ısı enerjisi maliyetleri çok az da olsa düşmektedir.

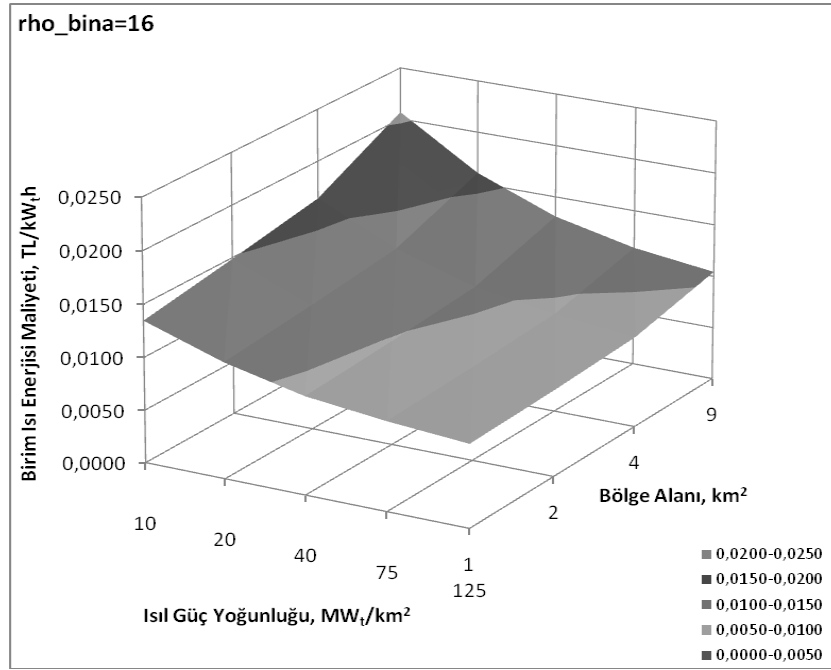
Yalıtımlı ile yalıtımsız konutlar için elde edilen değerlerin güç yoğunluğu ile değişimi, bütün ısı güç yoğunluğu durumları için hemen hemen sabit (% 76) kalmaktadır.



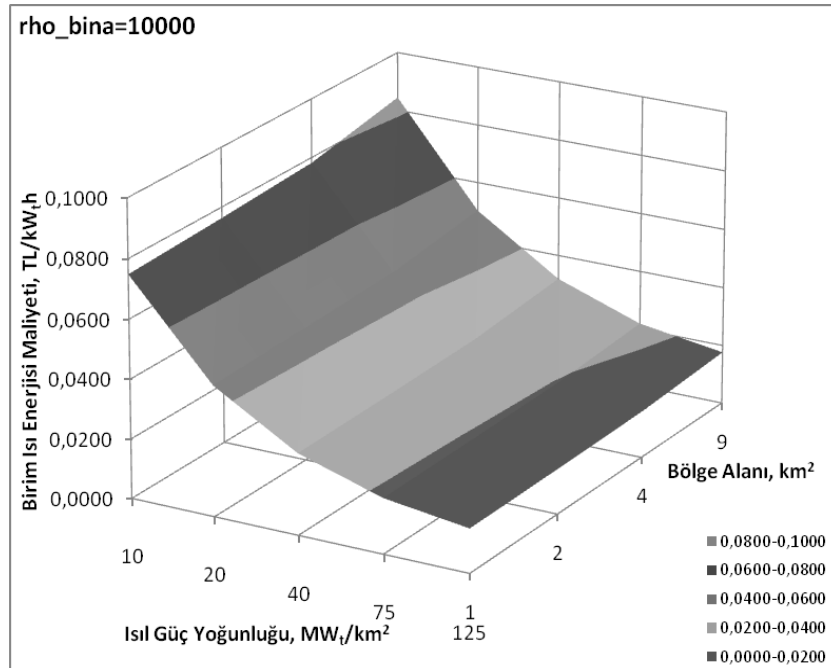
Şekil 5.45 Yalıtım durumu ile konut başı maliyetlerin değişimi ($A_{\text{bölge}}=1 \text{ km}^2$, $N_{\text{bina}}=144$ adet)

5.8.5 Birim Alanlardan Oluşan Bölgeler İçin Analiz

Birim alan yaklaşımının birkaç birim alandan oluşan herhangi bir bölgeye uygulanabilmesi için oluşturulan Model C'nin sonuçları bu bölümde analiz edildi. İki farklı bina yoğunluğu için bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı birim ısı enerjisi maliyeti değişimi Şekil 5.46 ve Şekil 5.47'de verildi. İki grafikten bina yoğunluğu arttıkça birim maliyetin çok fazla değiştiği anlaşılmaktadır. Sabit ısı güç yoğunluğu için bölge alanı arttıkça (bina sayısı da artmaktadır) birim maliyetler artmaktadır. Maliyetlerdeki değişim birim alan yaklaşımındaki değişimle benzerdir. Ancak tek fark birim alanlardan oluşan bir bölgede maliyetler için söz konusudur: Boru ve pompa satın alma, pompa elektrik enerjisi tüketimi ve ısı enerjisi kayıp maliyetleri de artar.

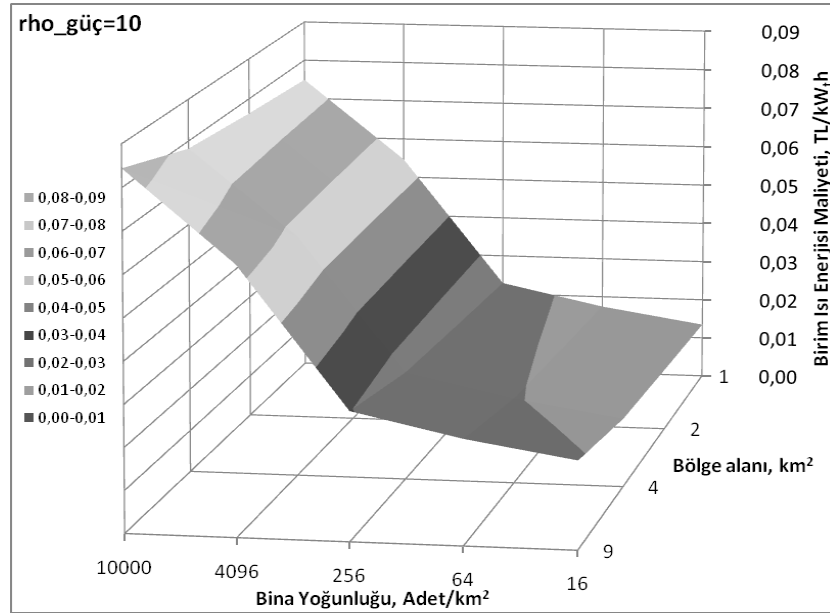


Şekil 5.46 Bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=16$ adet/km²)

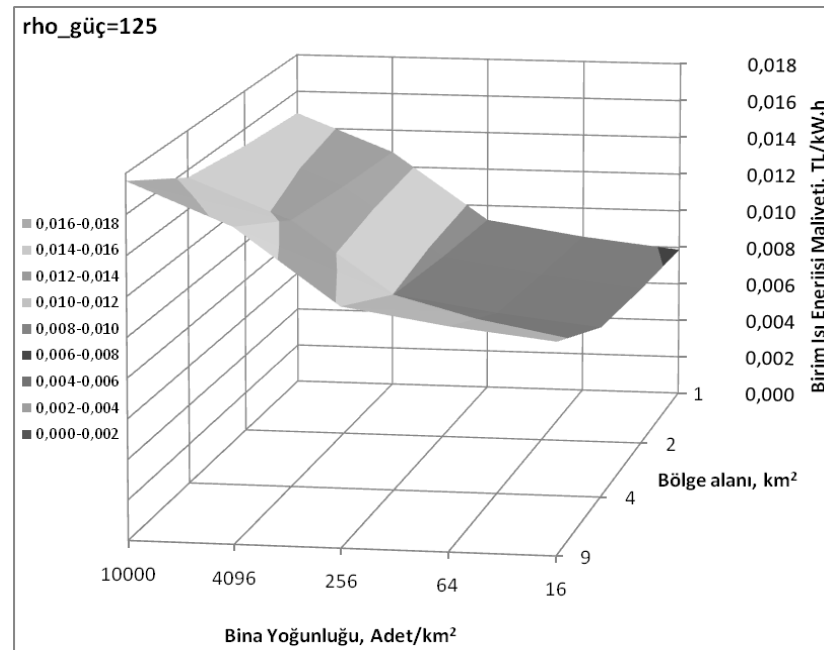


Şekil 5.47 Bölge alanı ve ısı güç yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{bina}=10000$ adet/km²)

Sabit ısı güç yoğunluğu için bina yoğunluğu ve bölge alanına bağlı olarak maliyet değişimleri Şekil 5.48 ve Şekil 5.49’da verildi. Birim alan yaklaşımında olduğu gibi alan ve bina yoğunluğu arttıkça birim maliyetler de artmaktadır.

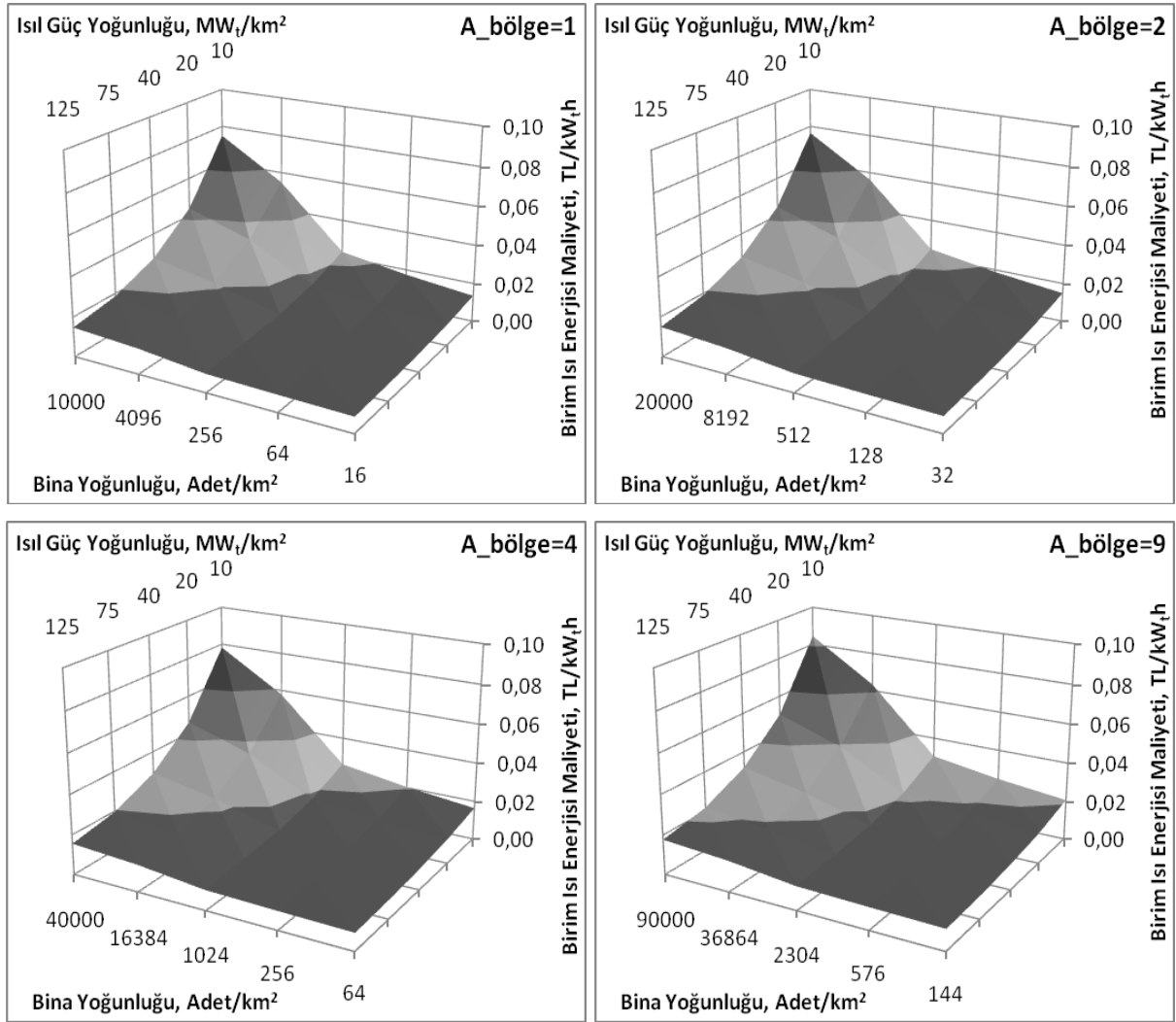


Şekil 5.48 Bölge alanı ve bina yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)



Şekil 5.49 Bölge alanı ve bina yoğunluğuna bağlı maliyet değişimi (ortalama konut tipi için, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)

Dört farklı bölge alanı için bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğuna bağlı birim ısı enerjisi maliyeti değişimi Şekil 5.50’de verildi. Grafiklerin tepe noktası alan artıkcı yükselmektedir. Düşük ısı güç yoğunluğu ve yüksek bina yoğunluğu maliyetin de en yüksek noktalara ulaştığı durumlar olmaktadır.



Şekil 5.50 Bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğu ile farklı bölge alanları için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için)

5.8.6 Model C'nin Matematiksel Eşitliklere Dönüştürülmesi

Model C ile elde edilen sonuçların gerçekte olabilecek bütün durumları kapsayabilmesi için, analizlerle elde edilen değerler de kullanılarak matematiksel eşitlikler geliştirildi. Denklem ortalama tip referans konut için elde edilen sonuçlarla üretildi. Ancak birim ısı enerjisi maliyeti yalıtım durumundan önemli derecede etkilenmediği için bütün yalıtım durumlarında kullanılabilir. Genel analizlerde yapıldığı gibi santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti hesaplamalara dâhil edilmedi. Ancak santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti de dâhil edilmek istenirse şu şekilde hesap yapılabilir:

$$C_{BIS,ISI} = C_{ham} + C_{isi,santral} \quad [TL/kWh] \quad (5.45)$$

$$C_{BIS,KONUT} = C_{BIS,ISI} \cdot (Q_{konut}) \quad [TL/konut.yıl] \quad (5.46)$$

Burada:

$C_{BIS,ISI}$	BIS birim ısı enerjisi maliyeti,
C_{ham}	BIS birim ısı enerjisi maliyeti (santralden çekilen ısı enerjisi maliyeti hariç, TL/kW _t h),
$C_{isi,santral}$	Santralden çekilen ısı enerjisi maliyeti (TL/ kW _t h),
$C_{BIS,KONUT}$	Konut yıllık ısı enerjisi maliyetidir.

Üretilen eşitlik bölgenin alanı, bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğuna bağlı olarak çalışmaktadır. Bölgenin bina sayısı ve alanı en kolay elde edilebilecek verilerdir. Ancak ısı güç yoğunluğu bir bölge için hesaplanması en zor verilerdendir. Çünkü çok fazla parametreye bağlı olarak değişmektedir. Örneğin binaların hepsi farklı yalıtım özelliklerine sahip olabilir. Yalıtım özelliklerinin tahmin edilmesi de zor bir işlemdir. Binaların ısı enerjisi taleplerinin birçok parametreye bağlı olarak değiştiği Bölüm 2’de açıklanmıştı. Elde edilen denklem şu şekildedir:

$$C_{ham} = a \cdot A_{bölge} + m \cdot \rho_{bina}^n \quad [TL/kW_t h] \quad (5.47)$$

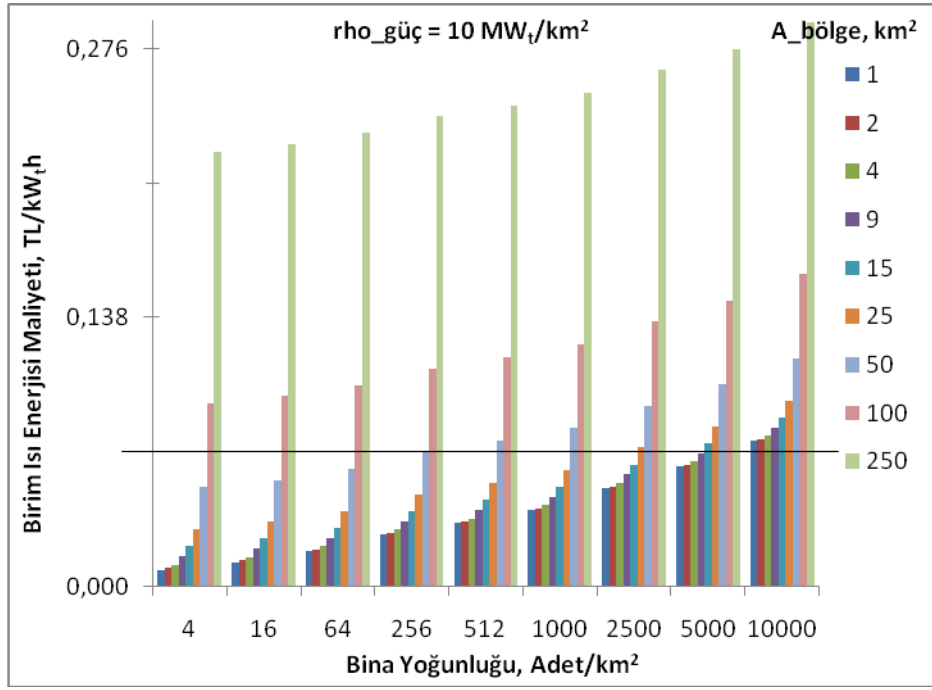
$$a = 0,0022 \cdot \rho_{güç}^{-0,408} \quad (5.48)$$

$$m = 0,0053 \quad (5.49)$$

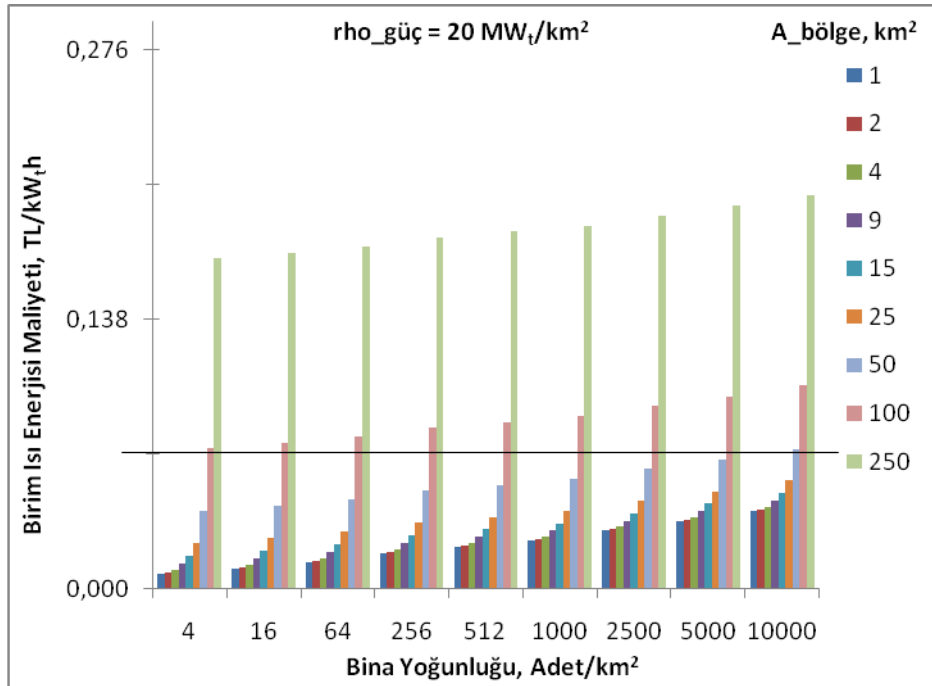
$$n = 0,7174 \cdot \rho_{güç}^{-0,399} \quad (5.50)$$

Doğalgazın birim fiyatına göre santralden çekilen ısı enerjisi maliyetinin dâhil edilmediği Model C için üretilen denklemler kullanılarak bir analiz yapıldı. Bu denklemlerle daha kapsamlı analizler yapılması mümkündür. Çünkü daha büyük bölge alanları için sonuçlar elde edilebilmektedir. Bölge alanı ve bina yoğunluğuna bağlı olarak 6 farklı ısı güç yoğunluğu değeri için grafikler elde edilmiştir (Şekil 5.51, Şekil 5.52, Şekil 5.53, Şekil 5.54, Şekil 5.55 ve Şekil 5.56). Bu analizdeki amaç genel maliyet çerçevesini çizabilmektir. Şekillerdeki yatay düz çizgi doğalgaz birim fiyatını göstermektedir. Bu çizgi sadece maliyet değerlerini anlayabilmek açısından konulmuştur.

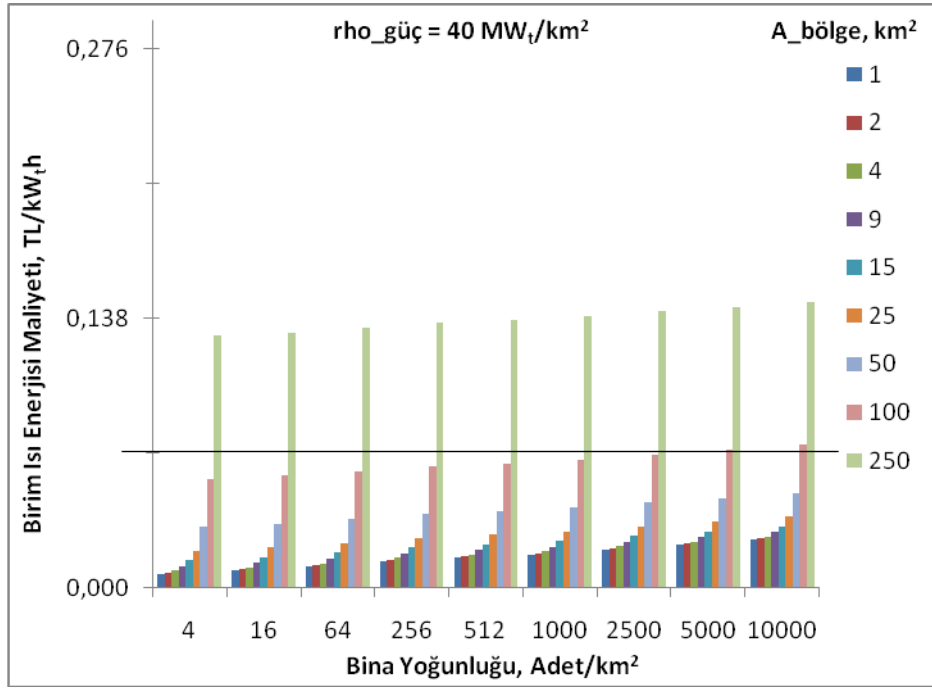
Düşük ısı güç yoğunluklarında santralden çekilen ısı enerjisinin dâhil edilmemiş olmasına rağmen çoğu bölge alanı ve bina yoğunluğu için maliyetler uygun çıkmaktadır. Isıl güç yoğunluğu arttıkça da uygun olan bölge alanı ve bina yoğunluğu aralığı artış göstermektedir. En yüksek ısı güç yoğunluğu durumunda sadece en yüksek alan için olumsuz bir durum söz konusudur.



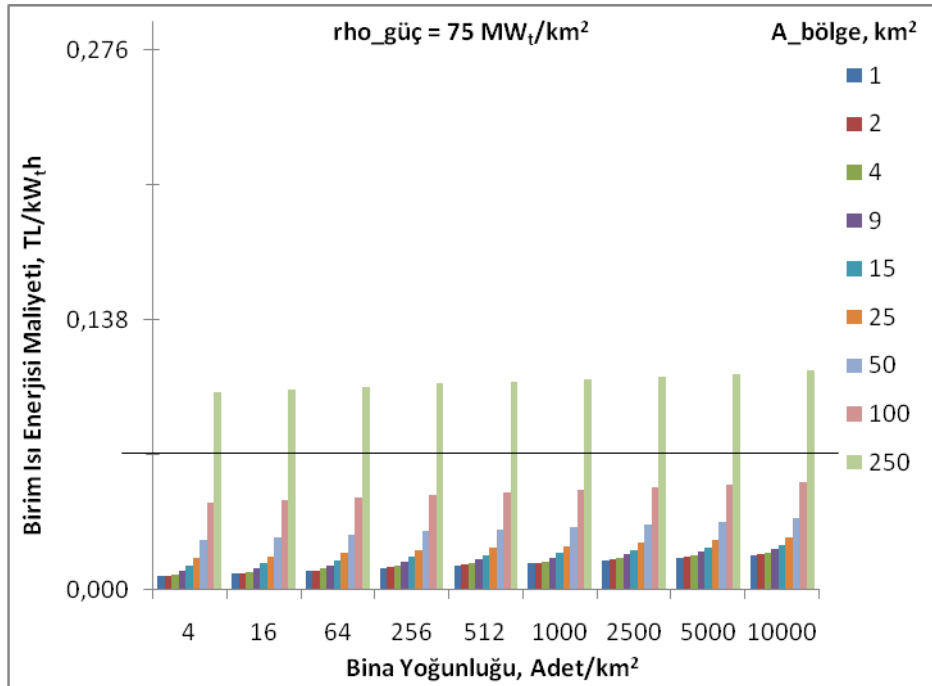
Şekil 5.51 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)



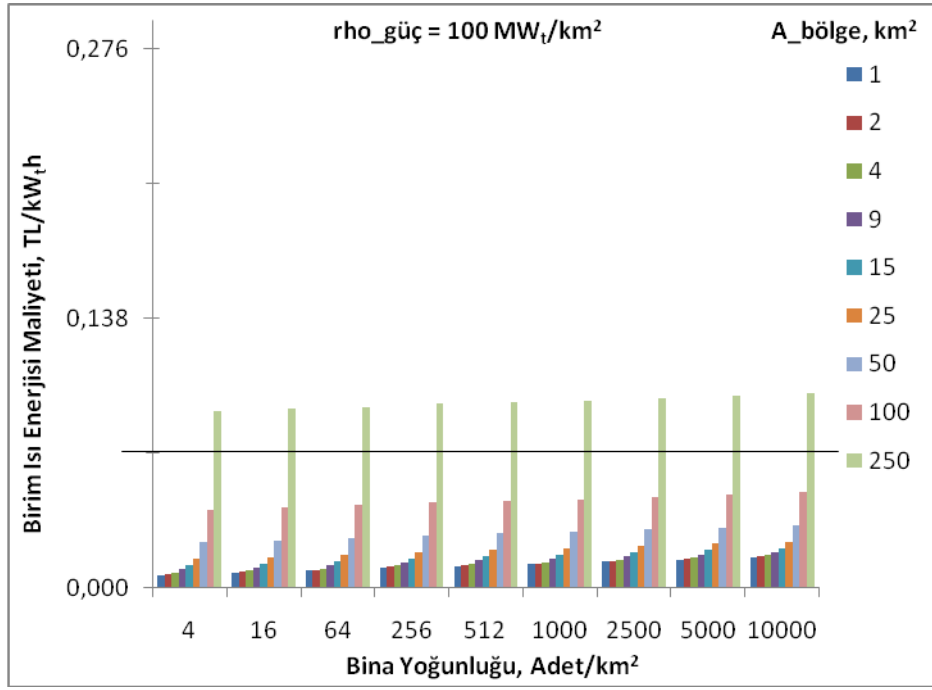
Şekil 5.52 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=20 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)



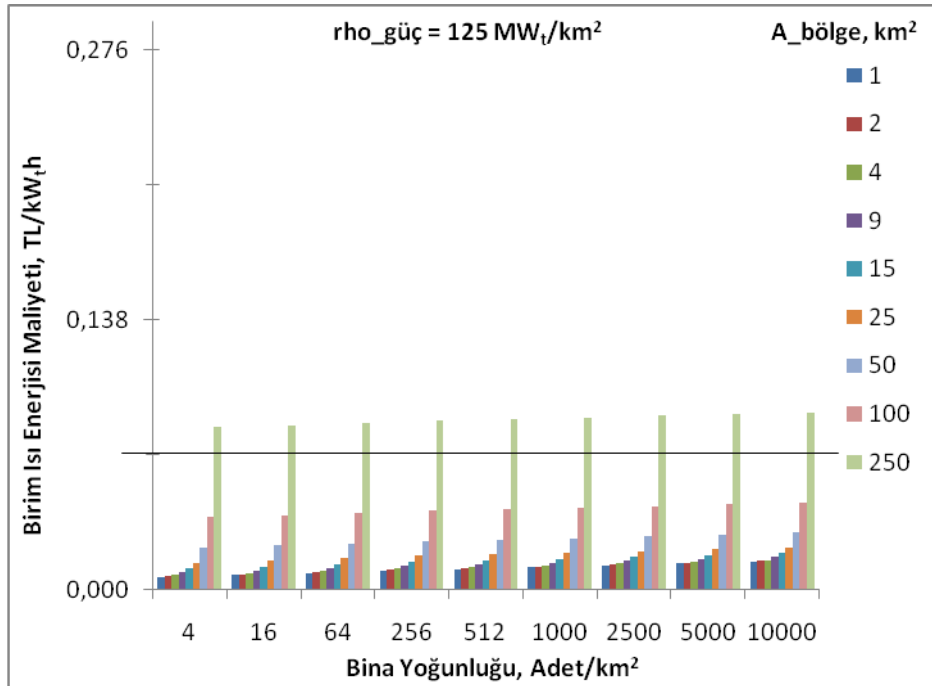
Şekil 5.53 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=40 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)



Şekil 5.54 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=75 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)



Şekil 5.55 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=100 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)

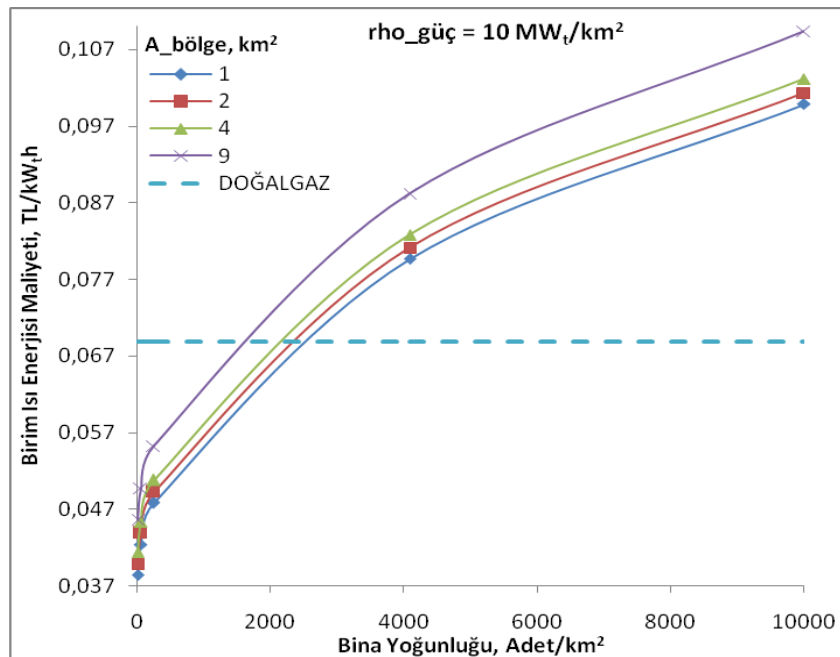


Şekil 5.56 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral}$: dâhil değil, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)

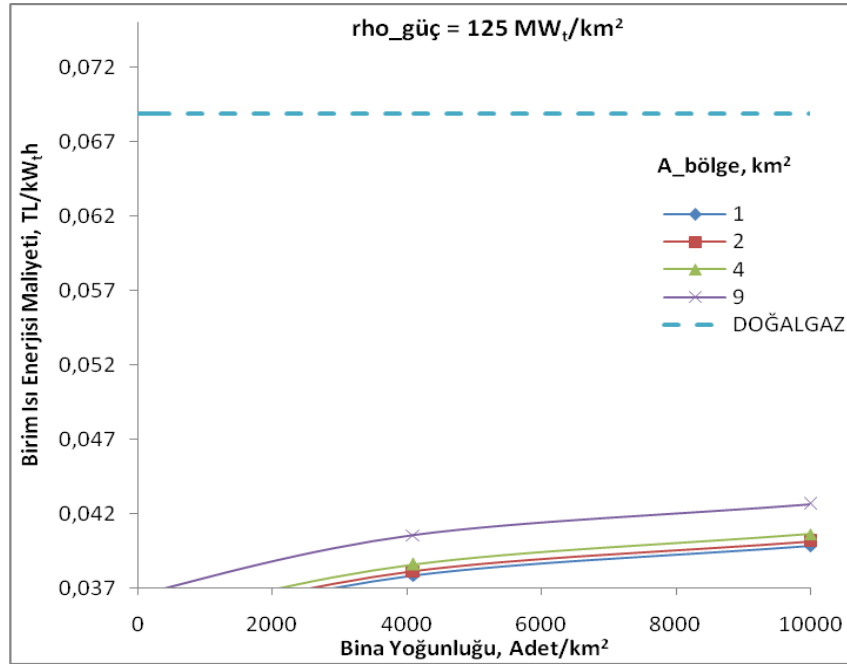
5.8.7 Doğalgaz İle Bölge Isıtma Sisteminin Mukayesesi

Doğalgazın bugünkü değeri ile modellenen bölge ısıtma sisteminin hesaplanan şimdiki değer birim maliyetleri karşılaştırılarak hangi durumlarda bölge ısıtma sisteminin uygun, hangi durumlarda uygun olmadığı değerlendirildi. Değerlendirme yapılırken birim ısı enerjisi maliyeti daha önce belirtilen varsayılan değer olarak kullanıldı (Çizelge 5.4 – $c_{ISI,santral} = 0,025$ TL/kW_th). Karşılaştırmadaki temel mantık binaların kapısına kadar gelen doğalgaz ile bölge ısıtma sistemi birim ısı enerjisi fiyatı ve konut başına düşen yıllık ısıtma maliyetinin mukayesesidir. Analizler 3 referans konut tipi için de yapılmıştır. Bu mukayeselerde Model C ile elde edilen denklemler kullanılmıştır. Modelde bina içi sistemlerin yer almadığı daha önce açıklanmıştı. Dolayısıyla doğalgaz ve bölge ısıtma sisteminin binanın kapısına kadar getirdiği enerjinin birim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Öncelikle en yüksek ve en düşük ısıl güç yoğunluğu değerleri için bina yoğunluğu ve bölge alanına bağlı değişim incelendi (Şekil 5.57 ve Şekil 5.58). Görüldüğü gibi ısıl güç yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda bina yoğunluğunun ve bölge alanının etkisi çok azalıyor ve bölge ısıtma sistemi doğalgaza göre her zaman avantajlı görünüyor. Düşük ısıl güç yoğunluğunun olduğu durumda $A_{bölge} = 9$ km² için $\rho_{bina} = 1600$ adet/km² değerinden sonra doğalgaz daha avantajlı duruma geçiyor. Düşük ısıl güç yoğunluğunun olduğu durumda ise $A_{bölge} = 1$ km² için $\rho_{bina} = 2600$ adet/km² değerinden sonra doğalgaz daha avantajlı duruma geçiyor.

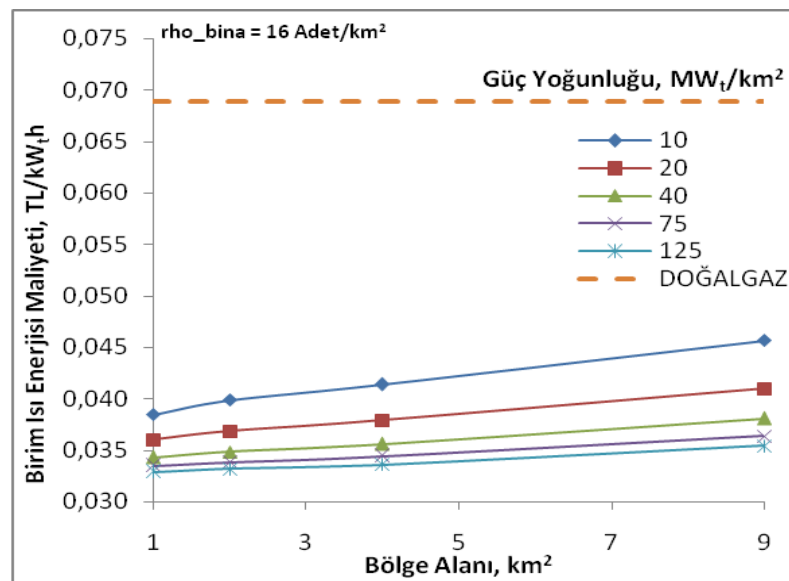


Şekil 5.57 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025$ TL/kW_th, $\rho_{guc}=10$ MW_t/km²)

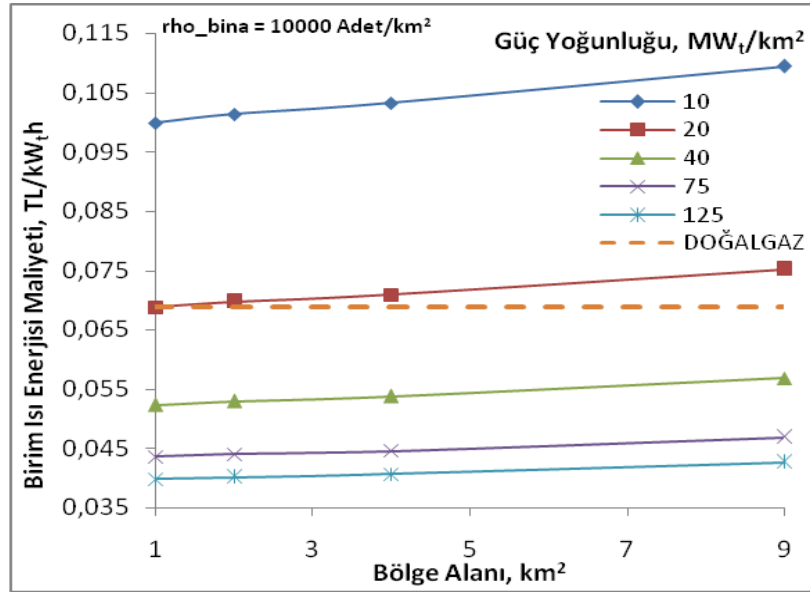


Şekil 5.58 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025 \text{ TL/kWh}$, $\rho_{guc}=125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$)

Daha sonra en düşük ve en yüksek bina yoğunluğu değerleri için ısıl güç yoğunluğu ve bölge alanına bağlı mukayeseler yapıldı (Şekil 5.59 ve Şekil 5.60). İlk analize benzer şekilde bina yoğunluğunun düşük olduğu durumda bölge alanı ve ısıl güç yoğunluğunun etkisi çok az olmakta ve bölge ısıtma sistemi daha avantajlı çıkmaktadır. Yüksek bina yoğunluğunun olduğu durumda ısıl güç yoğunluğunun en düşük iki değeri bölgenin alanına bağlı olmaksızın doğalgazın daha avantajlı olduğu durumlar olarak gözükmemektedir.



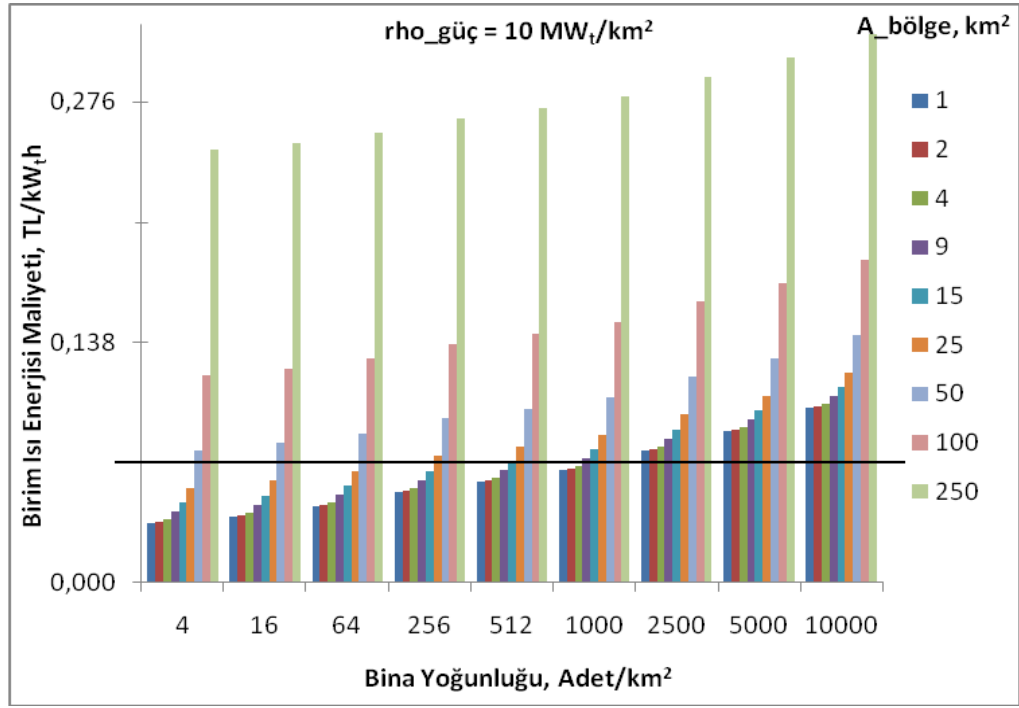
Şekil 5.59 Isıl güç yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025 \text{ TL/kWh}$, $\rho_{bina}=16 \text{ Adet/km}^2$)



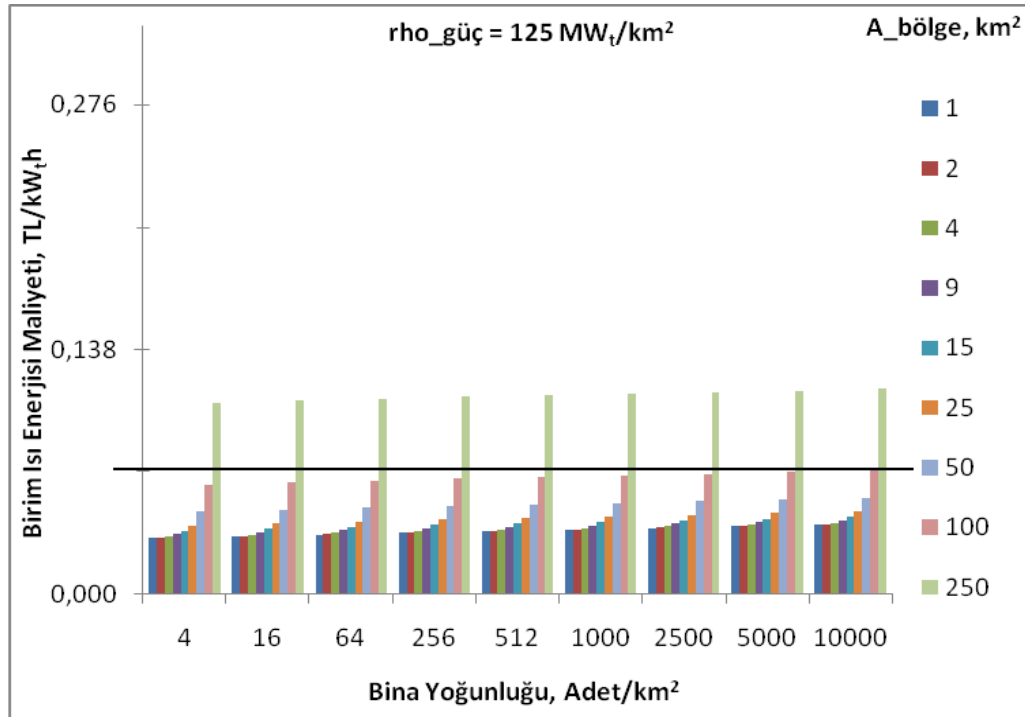
Şekil 5.60 Isıl güç yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaz ile mukayese (ortalama konut tipi için, $C_{ISI,santral} = 0,025 \text{ TL/kW}_{th}$, $\rho_{bina} = 10000 \text{ Adet/km}^2$)

Son olarak, Model C için üretilen eşitlikler kullanılarak santralden alınan ısı enerjisinin maliyetinin de eklenmesiyle elde edilen değerlerin doğalgaz fiyatıyla karşılaştırılması da yapılarak yüksek ve düşük ısı güç yoğunluğu için sonuçlar Şekil 5.61 ve Şekil 5.62’de sunuldu. Yatay çizgiler yine doğalgaz birim fiyatını göstermektedir. Düşük güç yoğunluğu ($10 \text{ MW}_t/\text{km}^2$) durumunda ilk bina yoğunluğu değeri (4 adet/km^2) için üç bölge alanı ($50, 100$ ve 250 km^2) ve son bina yoğunluğu değeri için de bütün alanlar için birim maliyetler doğalgazın üzerine çıkmaktadır. Yüksek güç yoğunluğu ($125 \text{ MW}_t/\text{km}^2$) durumunda ise son bina yoğunluğu değeri (10.000 adet/km^2) hariç sadece 250 km^2 için doğalgazın üzerinde maliyetler oluşmaktadır. Son bina yoğunluğu değerinde ise 100 km^2 için doğalgazın çok az üzerine çıkmaktadır. Düşük güç yoğunluğu ve 1 km^2 ’lik bölge alanı için 1.000 adet/km^2 ’den sonra doğalgazın üzerine çıkmaktadır. Düşük güç yoğunluğu ve 9 km^2 ’lik bölge alanı için 512 adet/km^2 ’den sonra doğalgazın üzerine çıkmaktadır.

Düşük güç yoğunluğunda bölge alanına bağlı değişimler, yüksek güç yoğunluğu durumundaki değişimlere göre çok daha yüksektir. Benzer bir şekilde bina yoğunluğuna bağlı değişimler düşük güç yoğunluğu durumunda daha yüksektir.



Şekil 5.61 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaza göre maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025$ TL/kW_th, $\rho_{guc}=10$ MW_t/km²)



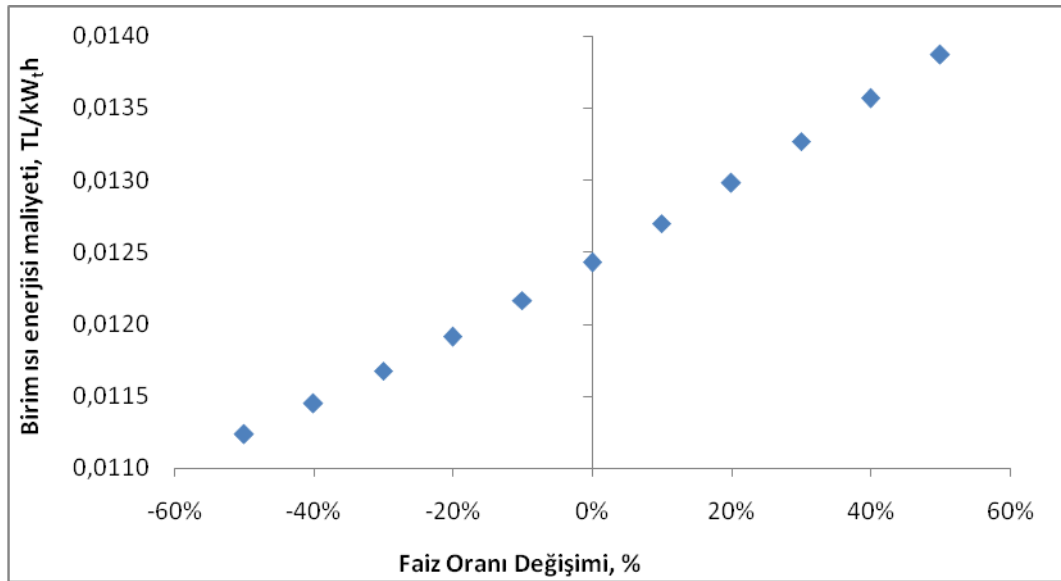
Şekil 5.62 Bina yoğunluğu ve bölge alanı değişimi için doğalgaza göre maliyet değişimleri (ortalama konut tipi için, $c_{ISI,santral} = 0,025$ TL/kW_th, $\rho_{guc}=125$ MW_t/km²)

5.9 Bölge Isıtma Sistemi Modelinin Duyarlılık Analizi

Oluşturulan bölge ısıtma sistemi modelinin çeşitli parametrelere bağlı olarak nasıl değiştiği bu bölümde incelendi. Dört temel parametre üzerinden duyarlılık analizi yapıldı:

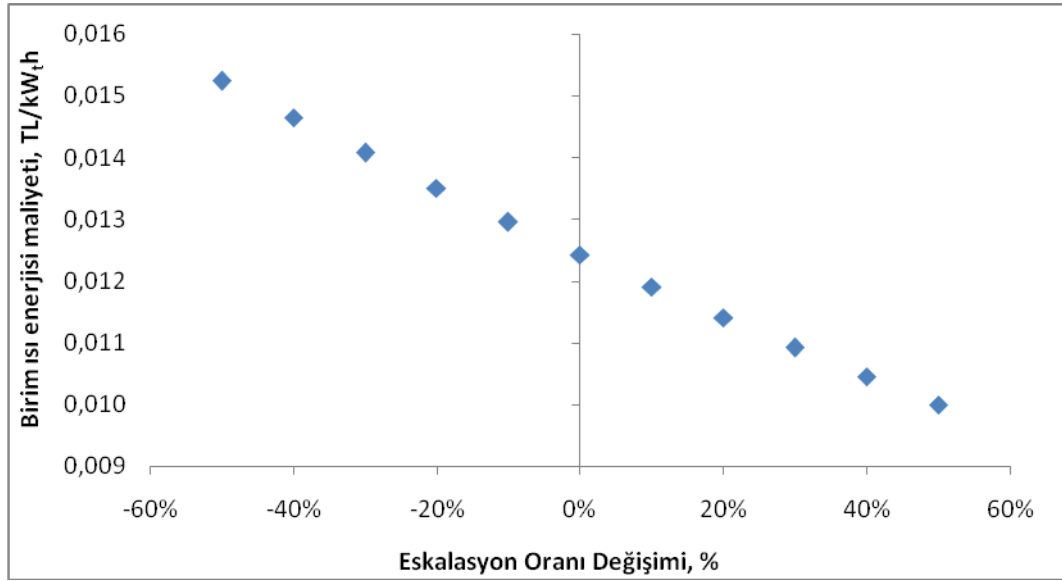
- Faiz oranı,
- Eskalasyon oranı,
- Santral birim ısı enerjisi maliyeti,
- İlk yatırım masrafları.

Analizler, santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti dâhil edilmeden yapıldı. Dolayısıyla sadece dağıtım sisteminin ısı enerjisini binaya ulaştırması ile oluşan maliyet değerleri üzerinden analizler yapıldı. Ancak santral birim ısı enerjisi maliyeti analizinde, ayrıca dâhil olduğu durumlar da incelendi. Faiz oranı varsayılan değer olarak % 10 ve iskonto oranı da faiz oranından 2 puan fazla olacak şekilde kabul edilmişti. Faiz oranındaki değişimlere bağlı olarak iskonto oranı da 2 puan fazla olacak şekilde değiştirildi. Buna göre elde edilen sonuçlar faiz oranı için Şekil 5.63’de sunuldu. Kabul edilen değer ile incelenen değerler arasında % 12’lere varan farklar oluşabilmektedir.



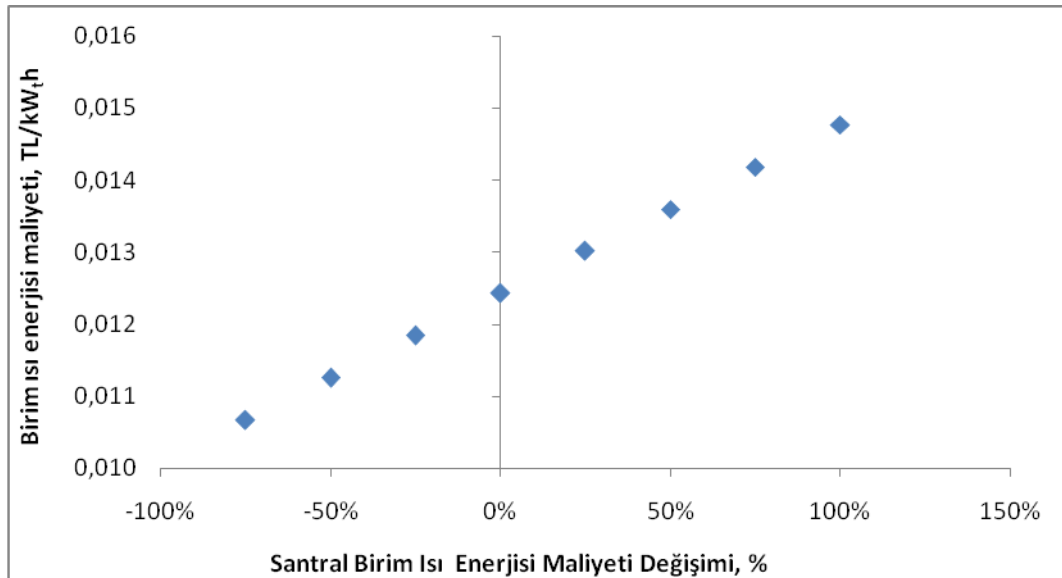
Şekil 5.63 Faiz oranı ile maliyet değişimi ($c_{ISI,santral}$: dâhil değil)

Faiz oranından sonra, aynı oldukları kabul edilen santral ısı eskalasyonu ve bölge ısıtma sistemi satış eskalasyonu için analiz yapıldı (Şekil 5.64). Eskalasyon oranı tahmini zor bir değişkendir. Kabul edilen değer ile incelenen değerler arasında % 23’lere varan farklar oluşabilmektedir.

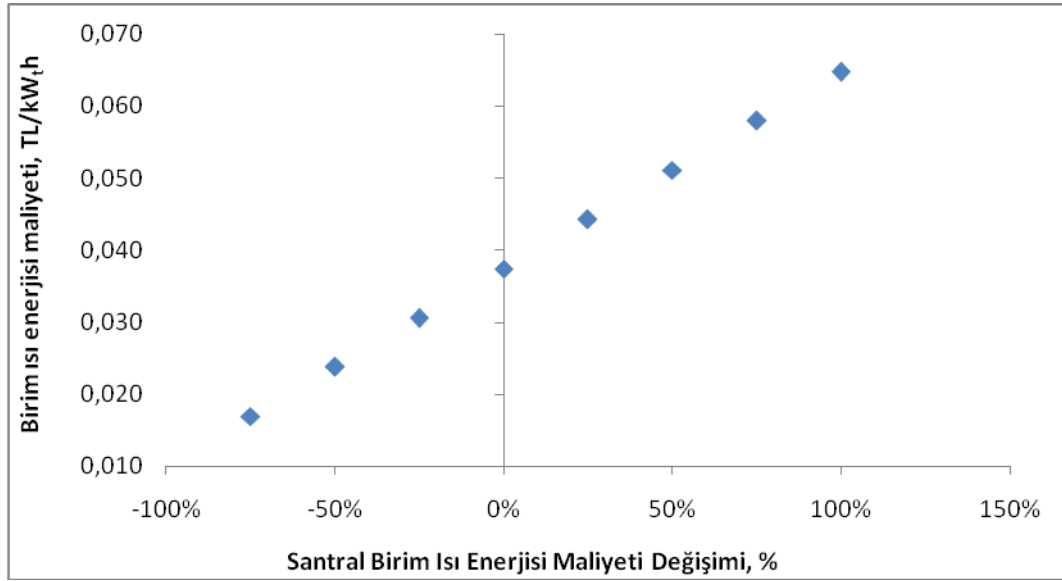


Şekil 5.64 Eskalasyon oranı ile maliyet değişimi ($C_{ISI,santral}$: dâhil değil)

Santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti hem ısı enerjisi kayıplarının hem de toplam bölge ısıtma sistemi birim maliyetinin hesabında etkili bir değişkendir. Isı enerjisinin satın alınacağı santraldeki birim ısı enerjisi maliyeti çok farklı etkene (yakıt türü, santral tipi vb.) bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Sadece ısı enerjisi kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 5.65’de verildi. Etkisi % 19’lara varabilmektedir. Toplam maliyet açısından sonuçlar Şekil 5.66’da verildi. Bu durumda ise farklar % 73’lere kadar ulaşabilmektedir.

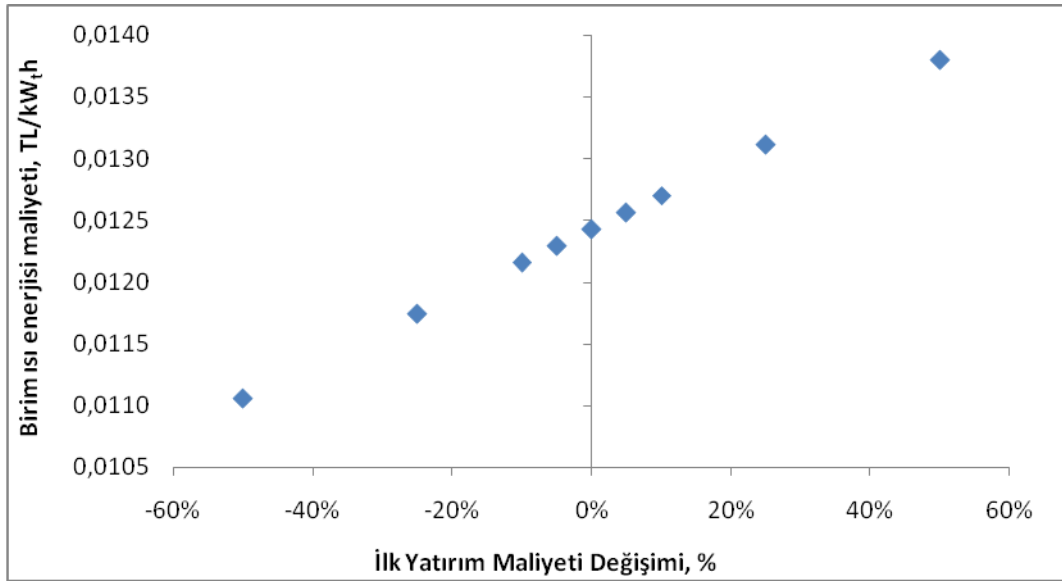


Şekil 5.65 Santral birim ısı enerjisi maliyetine bağlı değişim ($C_{ISI,santral}$: dâhil değil)



Şekil 5.66 Santral birim ısı enerjisi maliyetine bağlı değişim ($C_{ISI,santral}$: dâhil)

İlk yatırımların maliyetindeki değişiminin etkisi de Şekil 5.67’de verildi. İlk yatırım maliyetlerindeki değişimler de % 11’lere ulaşan farklar yaratabilmektedir.



Şekil 5.67 İlk yatırım maliyetlerine bağlı değişim ($C_{ISI,santral}$: dâhil değil)

6. MODELİN UYGULAMASI

Bu bölümde elde edilen modellerin uygulaması yapılmaya çalışıldı. **Uygulama için öncelikle Esenkent Bölge Isıtma Sistemi seçildi** (Şekil 6.1). Var olan sistem ekonomik açıdan karlı bir yatırımdır. Burada yapılan analizin sonuçlarının bunu doğrulaması beklenmektedir. BIS sınırları içerisinde yer alan bölgenin özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Esenkent bölgesi genel bilgiler

Bölge Alanı	Bina Sayısı	Konut Sayısı	Yalıtım Durumu
km^2	<i>adet</i>	<i>adet</i>	-
1,14	691	10.000	Yalıtımsız



Şekil 6.1 Esenkent bölgesi

Bölgedeki binaların yalıtımsız tipe uygun olduğu Çokoksen’in çalışmasındaki bir konut için yıllık ısı enerjisi talebinin 13.133,55 kW_th olması bilgisinden elde edilmiştir (2010). Binaların hepsi aynı konut sayısına ve kullanım şekline sahip değildir. Örneğin bölgede okullar, alışveriş merkezleri vs vardır. Bu verilere göre artık gerekli parametreleri hesaplırsak;

$$\rho_{\text{bina}} = 606 \text{ adet}/km^2 \text{ ve}$$

$$\rho_{\text{güç}} = 57 \text{ MW}_t/km^2 \text{ olarak elde edilir.}$$

Bu verilere göre Model C için üretilen denklem kullanılarak varsayılan değerlerle santralden alınan ısı enerjisinin maliyeti hariç birim ısı enerjisi maliyeti 0,0137 TL/kW_h olarak hesaplanır. Eğer santralden çekilen ısı enerjisinin maliyetini de varsayılan değer olarak kabul edersek birim maliyet 0,0387 TL/kW_h olarak hesaplanır.

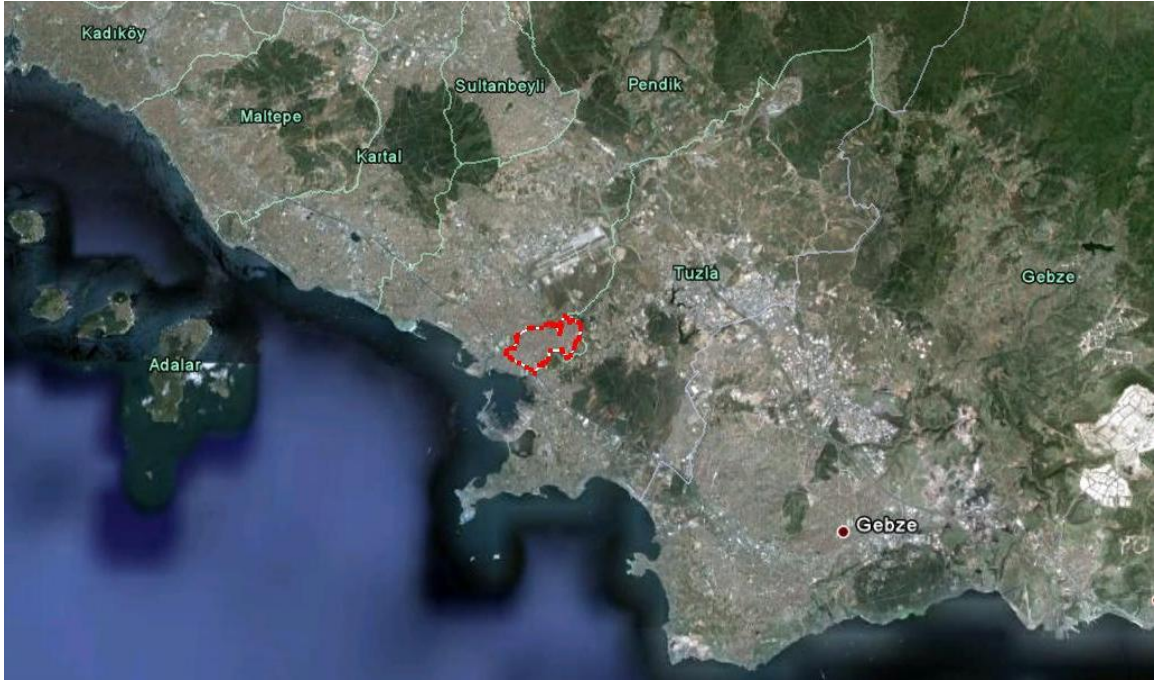
Esenkent'teki ısı enerjisi satış fiyatı 0,0380 TL/kW_h olarak gerçekleşmektedir. Bu bağlamda hesaplanan değer gerçek değere hemen hemen eşittir. Gerçek değer sorumlu firmanın maliyetler üzerine bir miktar kar koyması ile elde edilmesine rağmen hesapla bulunan değer biraz yüksek çıktı. Bunun nedeni buraya kadar yapılan analizlerin içerisinde yer almaktadır. Hesaplanan değer belli kabuller çerçevesinde doğrudur.

Basitçe birkaç değişiklikle hesaplamalar güncellenebilir. Örneğin santral ısı enerjisi satış fiyatı % 25 gibi azaltılırsa ısı enerjisi kayıplarında ve toplam ısı enerjisi maliyetlerinde değişimler gerçekleşir. Isı enerjisi kayıplarından ötürü yaklaşık % 10'luk bir azalma, santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti de % 25 bir azalma gösterir. Birim ısı enerjisi maliyeti de yaklaşık olarak 0,0323 TL/kW_h olarak elde edilir. Gerçek ısı enerjisi satış fiyatıyla karşılaştırılırsa da birim maliyet üzerine % 18 kâr eklenerek satış gerçekleştirilmektedir gibi bir sonuca ulaşılabilir. Kısacası ufak güncellemelerle hesaplamaların ve modellerin yaklaşık olarak doğru sonuçlar verdiği söylenebilir.

İkinci uygulama örneği de Pendik ilçesi için yapıldı. Pendik için yapılan analizlerde birkaç mahalleyi içeren bir bölge belirlendi (Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4). Bu bölgedeki bina sayısı (10.000 adet bina) ve bölge alanı (3,5 km²) kabaca hesaplandı (Çizelge 6.2). Model C için üretilen eşitlik kullanılarak ısı güç yoğunluğunun farklı değerleri için hesaplamalar yapıldı.

Çizelge 6.2 Pendik bölgesi genel bilgiler

Bölge Alanı	Bina Sayısı	Konut Sayısı	Yalıtım Durumu
km ²	adet	adet	-
3,5	10.000	-	-



Şekil 6.2 Seçilen bölgenin uzaktan görünüşü (Pendik)

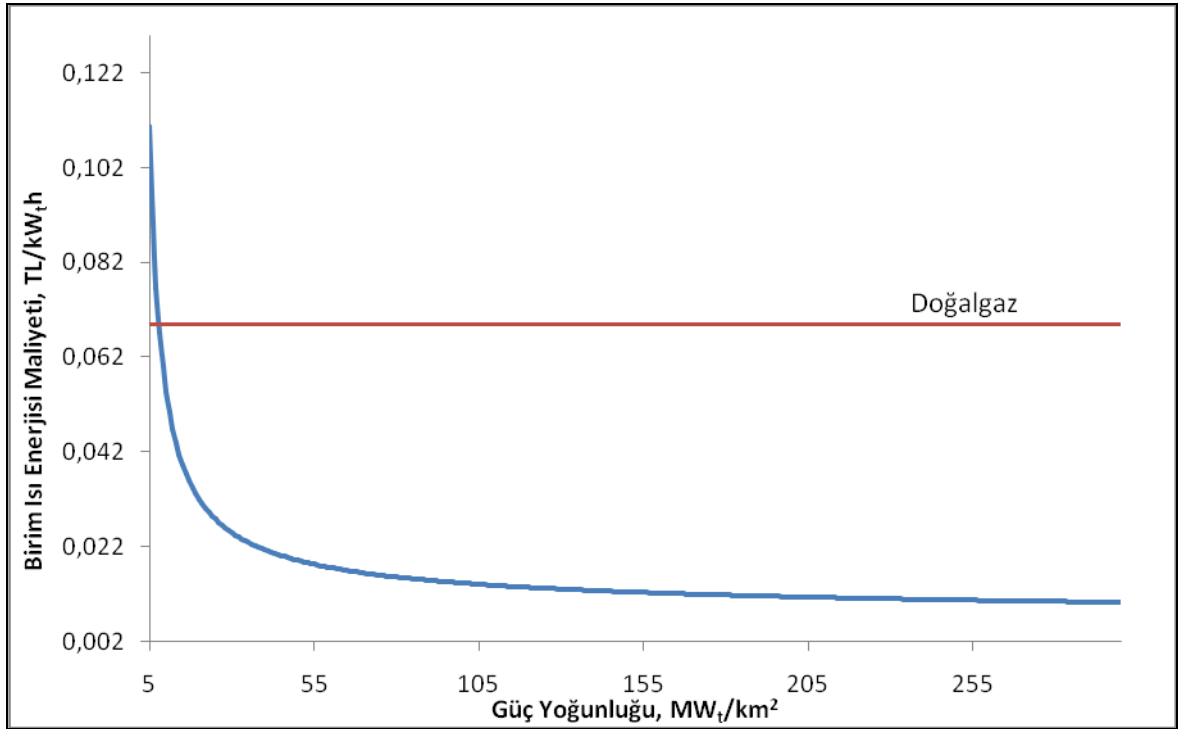


Şekil 6.3 Seçilen bölgenin kapsadığı mahalleler (Pendik)



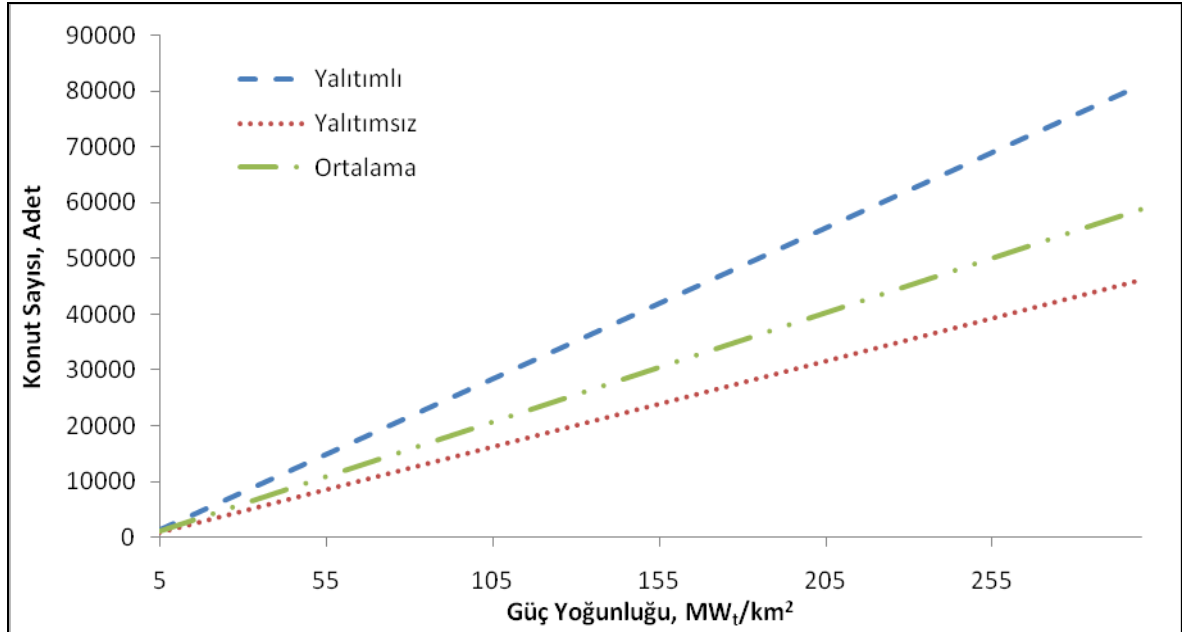
Şekil 6.4 Seçilen bölgenin yakından görünüşü (Pendik)

Bölgedeki konut sayısı, binaların kat sayıları ve yalıtım durumu ile ilgili herhangi bir tespit mevcut değildir. Analizler bu belirsizliklere bağlı olarak yapıldı. Binaların ortalama kat sayısı için genel izlenim olarak 4 - 5 katlı binaların olduğu düşünülmektedir. Öncelikle farklı ısı güç yoğunlukları için santralden çekilen ısı enerjisinin maliyeti hariç birim ısı enerjisi maliyeti hesaplandı (Şekil 6.5). Eğriye bakılırsa $8 \text{ MW}_t/\text{km}^2$ 'lik ısı güç yoğunluğundan sonra doğalgazın altına iniyor. Tabi ki bu değerlere santral birim ısı enerjisi üretim maliyeti de ekleneceği için hangi değerden sonra doğalgazın altına düşeceği duruma göre değişmektedir. Varsayılan değer ($0,025 \text{ TL/kW}_t\text{h}$) için $13 \text{ MW}_t/\text{km}^2$ değerinden sonra doğalgaz birim maliyetinin altına inmektedir.



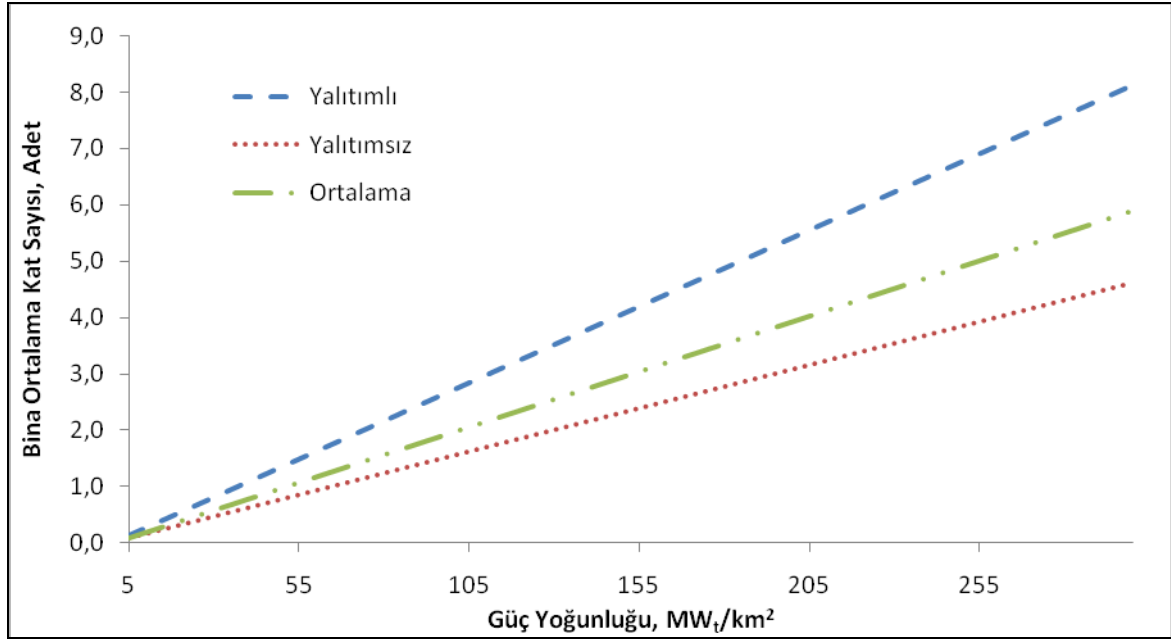
Şekil 6.5 Pendik için birim ısı enerjisi maliyetinin ısı güç yoğunluğuna bağlı değişimi

Daha sonra farklı ısı güç yoğunlukları için toplam konut sayısının yalıtım durumuna bağlı olarak nasıl değiştiği incelendi (Şekil 6.6). Farklı yalıtım durumları için ısı güç yoğunluğu arttıkça aralarındaki fark artmaktadır.



Şekil 6.6 Konut sayısının ısı güç yoğunluğuna bağlı değişimi

Son olarak da binaların ortalama kat sayısı farklı yalıtım durumları için ısı güç yoğunluğuna bağlı olarak hesaplandı (Şekil 6.7). Kat sayısına bakıldığında $36 \text{ MW}_t/\text{km}^2$ 'den sonra 1'in (yalıtlımlı tip için) üzerine çıkmaya başlıyor. Bu da bu değerden önceki analizlerin yanlış sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bölgenin genel olarak 4-5 katlı olduğu söylenmişti. Buna göre $146 \text{ MW}_t/\text{km}^2$ 'den sonra 4 katın (yalıtlımlı tip için) üzerine çıkılmaktadır. Tabi ki bu değerlendirme her katta tek konut olması durumu içindir.



Şekil 6.7 Bina ortalama kat sayısı değişimi

Sonuçlara genel olarak bakıldığında bölge ısıtmanın Pendik içerisinde belirlenen bölge için her halükarda doğalgazdan daha avantajlı bir sistem olduğu anlaşılmaktadır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji talebinde olan artışın sürekli ve kullanılan enerji kaynaklarının kısıtlı olması enerji tüketimi ile ilgili planlamalarının önemini arttırmıştır. Enerjinin tüketicilere minimum maliyetle, sorunsuz ve güvenilir bir şekilde ulaştırılması, enerji tüketim verimliliğinin artırılması ve çevreye duyarlı sistemlerin tercih edilmesi hususları bu konudaki önemli karar verme parametreleridir. Aynı zamanda kullanılan enerji kaynaklarının yerli ya da ithal olması durumu ve çeşitlilik gösterebilmesi dikkat edilmesi gereken önemli konulardır. Enerji tüketimi içerisinde yaklaşık % 30 gibi yüksek bir paya sahip konutların, bu alanda yapılacak düzenlemelerdeki önemi aşikârdır. Bu nedenle konutlarla ilgili alınacak önlemler genel enerji karakteristiğini büyük oranda düzeltecektir. Bu konuların önemi ülkemizde çok geç anlaşılmaya başlanmıştır. Örneğin binalarda yalıtım konusu çok temel bir husus olmasına karşın uygulama zorunluluğu 2000 yılından itibaren “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” ile getirilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarla (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008) binaların enerji kimlik belgesi alması zorunluluğu getirilmiştir. Ülkemiz bu tip çalışmalarla konutlarda tüketilen enerjinin minimuma indirilmesini hedeflemektedir. Bu hususta ülkemizde gerçekleştirilen yasal düzenlemeler ve geliştirilmeye çalışılan toplumsal enerji verimliliği bilinci geç kalınan önemli bir konunun telafisini öngörmektedir.

Konutlardaki enerji verimliliği hususunda Dünyada yaygın olarak kullanılan ve konforlu, güvenli, ekonomik ve çevreci bir ısıtma sistemi seçeneği olan bölge ısıtma sistemlerinin ülkemiz için uygulanabilirliğinin incelenmesi gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalara bakılırsa bir bölgeye uygulanması düşünülen bölge ısıtma sisteminin ekonomik açıdan değerlendirilmesini sağlayacak kullanımı kolay, temel birkaç parametreye bağlı olarak çalışan ve hızlı sonuç veren bir yöntemin eksikliği görülmektedir. Bu konuda genellikle simülasyon yazılımları kullanılmakta, detaylı hesaplamalar gerekmekte ve çok fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı bölge ısıtma sisteminin ekonomik değerlendirmesini sağlayabilecek hızlı sonuç verebilen, kullanımı kolay ve detaylı veri gerektirmeyen ekonomik modelin geliştirilmesini sağlamaktır.

Bu amaçla, öncelikle bir bölgenin en küçük birimi olan konutların ve daha sonra da bölgenin tamamının ısı enerjisi (ısıtma ve sıcak su için) ihtiyacının hesaplanmasını sağlayan 2 adet model geliştirildi. Bu modellerden ilki tablo ve grafiklerden oluşurken, ikincisi de matematiksel eşitliklerden oluşmaktadır. Modeller geliştirilirken konutun ısı-fiziksel özellikleri ve çevresel etkenlerin ısı enerjisi talebi üzerindeki etkisi detaylı olarak incelendi. Yapılan analizlerle incelenen parametrelerin (konutun binadaki konumu, ısıtma periyodu,

ısıtılan alan, pencere tipi, pencere oranı, yalıtım durumu, döşeme alanı, iklim bölgesi, iç kazançlar ve kat yüksekliği) çok önemli olduğu tespit edildi. Isı enerjisi talebindeki değişimlerin % 1 ile % 176 arasında olduğu görüldü.

Bir bölgedeki konutların toplam ısı enerjisi talebi belirlenirken yukarıda bahsi geçen parametrelerin bölge için tespit edilmesi mümkün olmayabilir. Bu durum ülkemiz için düşünülürse binalarla ilgili bilgi edinmenin ne kadar güç olacağı tahmin edilebilir. Konutlar için geliştirilen modeller minimum veri ile çalışabilecek durumdadırlar. Bununla beraber temel değişkenlerin ısı enerjisi talebi üzerindeki etkilerinin çok yüksek olması sonuçların hassasiyetini düşürecektir. Bu hususta belediyelerin bir proje başlatarak bölge sınırları içerisindeki bütün binalarla ilgili detaylı bir çalışmanın yürütülmesi ve bina envanterinin oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede detaylı analizler ve gerekçi sonuçların elde edilmesi sağlanabilir.

Konutlar ve bölge ile ilgili hesaplamalardan sonra bölgenin modellenbilmesini sağlayacak bir yöntem geliştirildi. Bu yöntemin amacı bölge ısıtma sistemi boru hatlarının tasarımındaki zorlukları aşmaktır. Aksi takdirde optimum boru hattı tasarımı ve boru seçimi gibi hususlar için detaylı analiz ve simülasyonların yapılması gerekmektedir. Bu yöntem, bölgenin temel parametrelerini kullanarak ve detaylı simülasyon çalışmalarına ihtiyaç duymadan çalışacak şekilde geliştirildi. Bu amaçla bazı kabuller yapıldı. Bir bölge düşünüldüğü zaman bütün binaların aynı özelliklere (ısı- fiziksel, kat sayısı, konut sayısı vb.) sahip olması, toplu konut alanları haricinde beklenemez. Bu durumu bertaraf edebilmek için bölgenin toplam bina sayısı, yüzölçümü ve ısı enerjisi yükü sabit kalacak şekilde yeni bir bakış açısıyla bölgenin incelenmesi sağlandı. Geliştirilen bu yöntem bölgedeki binaların tamamen simetrik olarak (binalar arası mesafeler ve binaların ısı enerjisi yükleri açısından) bölgeye dağıtılmasını öngörmektedir. Ayrıca bölgenin karesel bir şekle sahip olduğunu ve ısı enerjisi kaynağının da hemen bölgenin sınırında bulunduğu varsayılıyor. Geliştirilen yöntemin yüksek ısı gücü yoğunluğu durumlarında çalışmamasından dolayı birim alan yaklaşımı geliştirildi. Bu yaklaşım bölgenin aynı özelliklerde daha küçük birim alanlardan oluştuğunu varsayıyor.

Kullanılan yöntemle birlikte bölge ısıtma sistemi tasarımı için gerekli teknik hesaplamaların yapılabilmesi sağlandı. Hesaplar için öncelikle tahmini boru çapı değerinin, 2 temel tasarım parametresine (birim basınç kaybı [100 Pa/m] ve ısı enerjisi kayıp oranı [% 6]) bağlı olarak bulunması sağlandı. Daha sonra hesaplanan boru çapı için imalatı gerçekleştirilen çap listesinden uygun olan değerler seçildi ve diğer bütün parametreler çapa bağlı olarak hesaplandı.

Teknik analizlerden sonra maliyet analizleri için gerekli hesaplamalar yapıldı. Hesaplanan temel maliyet parametreleri sırasıyla ilk yatırım (pompa ve boru hattı), işletme-bakım (ısı enerjisi kaybı, elektrik enerjisi tüketimi, işletme ve bakım) ve ısı enerjisi (herhangi bir kaynaktan çekilen ısı enerjisi) maliyetleridir. Geliştirilen ekonomik model mukayese yöntemi olarak birim ısı enerjisi maliyetini kullanmıştır. Bunun nedeni bölge ısıtma sisteminin diğer yakıt türlerine (doğalgaz, kömür, jeotermal vb.) alternatif olmasıdır. Bu bakış açısıyla da modelin sınırları belirlenmiştir: Isı enerjisi santralden belli bir maliyetle alınır ve boru hattı ve diğer donanımlar yardımıyla binanın kapısına kadar ulaştırılır. Dolayısıyla santral ve bina içi sistemler modelin kapsamına girmez.

Oluşturulan bu model ile birçok teknik ve ekonomik analiz gerçekleştirildi. Sonuç olarak da grafiksel ve matematiksel sonuçlar geliştirilerek bölge ısıtma sistemlerinin ekonomiklik alanı belirlenmeye çalışıldı. Analizlerde, literatürdeki çalışmalarda yüzeysel olarak bahsedilen iki temel bölge parametresi (bina yoğunluğu ve ısı güç yoğunluğu) kullanıldı. Bu parametreler bölgenin yüzölçümü ile beraber en önemli değişkenlerdir. Bölge ısıtma sisteminin ekonomiklik alanı bu parametrelere göre belirlenebilmektedir.

Geliştirilen matematiksel model ile Esenkent ve Pendik için uygulama örneği gerçekleştirilmiştir. Esenkent'teki mevcut bölge ısıtma sistemi ile yapılan mukayesede benzer sonuçların elde edilebileceği görülmüştür. Pendik için yapılan analizde ise bölge ısıtmanın doğalgaza göre ekonomik açıdan çok daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Bölge ısıtma sisteminin ekonomik açıdan değerlendirilebilmesini sağlamak için yapılan bu çalışmada önce konutlar ve bölgenin ısı enerjisi talebinin belirlenmesini sağlayacak konut ısı enerjisi hesap modelleri geliştirildi. Daha sonra da bölge ısıtma sistemi tasarımı için geliştirilen yöntem kullanılarak ekonomik model geliştirildi. Bu modeller bölge ile ilgili temel parametrelere bağlı olarak çalışmaktadırlar. Birçok parametreyi içerisinde barındırmakla beraber elde edilebilecek veri miktarında da bağlı olarak varsayılan değerlerle çalışabilmektedir. Bilgi envanteri gibi herhangi bir konuda detaylı bilgiler içeren veritabanlarına sahip olmayan ülkemiz için kullanımı kolay ve hızlı sonuç verebilen bir model olmakla beraber, yetkililerin binalarla ilgili gerekli veritabanlarının oluşturulmasını sağlamaları gerekmektedir. Bu çalışma ile bölge ısıtma sistemlerinin ülke ekonomisi açısından önemli yatırımlar olduğu ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

Ağış Ö., (2009) “Bölgesel Isıtma/Soğutma Potansiyelimiz ve Fırsatlar”, Türkiye Birinci Bölge Isıtma/Soğutma Konferansı.

Agioutantis Z. ve Bekas A., (2000) “The potential of district heating using geothermal energy. A case study, Greece”, *Geothermics*, 29:51-64.

ASHRAE, www.ashrae.org

Aydinalp M., Ugursal V.I. ve Fung A.S., (2003) “”, *International Journal of Energy Research*, 27:441–453.

Bansal N.K. ve Bhattacharya A., (2009) “Parametric equations for energy and load estimations for buildings in India”, *Applied Thermal Engineering*, 29:3710–3715.

BEP; BEP-TR, www.yigm.gov.tr/bep/

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, (2008).

Brkic D. ve Tanaskovic T. I., (2008) “Systematic approach to natural gas usage for domestic heating in urban areas”, *Energy*, 33:1738–1753.

Brkic D., (2008) “Natural gas heating in Serbian settlements according to urbanity parameters”, *Architecture and Civil Engineering*, 6: 139 - 153.

ÇATES, (2009) “ÇATES Atık Isısı ile Bölgesel Isıtma İmkânları”, MMO Zonguldak şube enerji komisyonu raporu.

Çokoksen B., (2010) “Bölge Isıtma Sistemlerinin Ekonomiklik Alanının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

DANFOSS, “8 Steps - Control of Heating Systems”.

DBDH, (2006) “District heating networks – choosing the right pipe dimensions”, *News from DBDH* 1.

DHCAN, “The case for district heating: 1000 cities can’t be wrong! - a guide for policy and decision makers”.

Difs K., Danestig M. ve Trygg L., (2009) “Increased use of district heating in industrial processes – Impacts on heat load duration”, *Applied Energy*, 86:2327–2334.

Dotzauer E., (2002) “Simple model for prediction of loads in district-heating systems”, *Applied Energy*, 73:277–284.

Durmayaz A., Kadioğlu M. ve Şen Z., (2000) “An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul”, *Energy* 25:1245–1256.

Durmayaz A. ve Kadioğlu M., (2003) “Heating energy requirements and fuel consumptions in the biggest city centers of Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 44:1177–1192.

EİE, www.eie.gov.tr

E-H, www.emlakhaberleri.com

Emery A.F. ve Kippenhan C.J., (2006) “A long term study of residential home heating consumption and the effect of occupant behavior on homes in the Pacific Northwest constructed according to improved thermal standards”, *Energy*, 31:677–693.

Enerji Maliyeti, (1995), Nejat Aybers ve Bahri Şahin, YTU Yayını.

Enerji Maliyeti Yüksek Lisans Ders Notları, (2010), Hasan Hüseyin Erdem, YTU (Yayınlanmamış).

Enerji Verimliliği Kanunu, (2007).

EN 13790, “Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling”.

EN 15316-3-1 - Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 3-1:Domestic hot water systems, characterisation of needs “ Standardı

EUROHEAT, www.euroheat.org

European Concrete Platform, (2007) “Concrete for energy-efficient buildings: The benefits of thermal mass”.

Excel, www.microsoft.com

Freeman T. L., (1979) “ Evaluation Of The "Typical Meteorological Years", For Solar Heating And Cooling System Studies.

Gaglia A. G., Balaras C.A., Mirasgedis S., Georgopoulou E., Sarafidis Y. ve Lalas D. P., (2007) “Empirical assessment of the Hellenic non-residential building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings”, *Energy Conversion and Management*, 48:1160–1175.

GEPA, www.eie.gov.tr

Güngör C., (2010) “TSAD Projesi Kapsamında Termik Santral Çevrelerinde Bölge Isıtma Potansiyeller”, *ICCI 2010*, 54-57.

Hlebnikov A. ve Siirde A., (2008) “The major characteristic parameters of the Estonian district heating networks and their efficiency increasing potential”, *Energetika*, 54-4:67–74.

Ihara T., Genchi Y., Sato T., Yamaguchi K. ve Endo Y., (2008) “City-block-scale sensitivity of electricity consumption to air temperature and air humidity in business districts of Tokyo, Japan” *Energy*, 33:1634–1645.

İGDAŞ, www.igdas.com.tr

İZOBOR, www.izobor.com

İ-T, www.imsantesisat.com

KEP-SDM, “Konutlarda Enerji Performansı Standard Değerlendirme Metodu”, 2008.

Klugman S., Karlsson M. ve Moshfegh B., (2008) “Modeling an industrial energy system: Perspectives on regional heat cooperation”, *International Journal of Energy Research*, 32:793–807.

London Heat Map, (2009), www.londonheatmap.org.uk

Lund H. ve Østergaard P. A., (2000) “Electric grid and heat planning scenarios with centralised and distributed sources of conventional, CHP and wind generation”, *Energy*, 25:299–312.

Matlab, www.mathworks.com

Matzarakis A. ve Balafoutis C., (2004) “Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption” *International Journal of Climatology*, 24: 1817–1828.

Mori S., Ito J., Ishida T. ve Morimoto S., (2006) “A GIS-based Model for the Assessment of Energy and Environmental Contributions of Distributed Energy Systems”, *EnviroInfo (Graz)*.

Möller B. ve Lund H., (2010) “Conversion of individual natural gas to district heating: Geographical studies of supply costs and consequences for the Danish energy system”, *Applied Energy*.

Neidhart H. ve Sester M., (2004) “Identifying building types and building clusters using 3D-laser scanning and GIS-data”, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress*.

Nilsson S. F., Reidhav C., Lygnerud K. ve Werner S., (2008) “Sparse district-heating in Sweden”, *Applied Energy*, 85:555–564.

Nordic Energy Perspectives, (2009) “The Future of Nordic District Heating”.

Olsen P.K., Lambertsen H., Hummelshøj R., Bøhm B., Christiansen C.H., Svendsen S., Larsen C.T. ve Worm J., (2008) “A New Low-Temperature District Heating System for Low-Energy Buildings”, *The 11th International Symposium on District Heating and Cooling*.

Özdemir V., (2003) “Binaların Isıl Performanslarının Değerlendirilmesinde Enerji Modelleme ve Simülasyon”, *Teknoloji*, Yıl 6-Sayı 3-4:87-93.

Öztürk H.K., Canyurt O.E., Hepbaslı A. ve Utlu Z., (2004) “Residential-commercial energy input estimation based on genetic algorithm (GA) approaches: an application of Turkey”, *Energy and Buildings*, 36:175–183.

Pedersen L., Stang J. ve Ulseth R., (2008) “Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems”, *Energy and Buildings*, 40:1124–1134.

Pedersen L. ve Ulseth R., (2006) “Method for load modelling of heat and electricity demand”, *10th International Symposium on District Heating and Cooling*.

Pedersen L., (2007) “Use of different methodologies for thermal load and energy estimations in buildings including meteorological and sociological input parameters”, *Renewable and*

Sustainable Energy Reviews, 11: 998–1007.

Psiloglou B.E., Giannakopoulos C., Majithia S. ve Petrakis M., (2009) “Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment”, *Energy*, 34:1855–1863.

Pusat Ş. ve Ekmekçi İ., (2010) “A Study on Climatic Zones of Turkey”, IX. International HVAC+R Technology Symposium, 305-311.

Pusat Ş. ve Bağcı E., (2010) “Comparison of Measured and Estimated Solar Radiation Data: A case study for İstanbul”, International Solar Future Conference, 164-167.

Pusat Ş., (2009) “Meteorolojik Veri Analiz Çalışmaları” (Yayınlanmamış).

Reidhav C. ve Werner S., (2006) “Investment Models for District Heating in Areas with Detached Houses”, The 10th International Symposium on District Heating and Cooling.

Reidhav C. ve Werner S., (2008) “Profitability of sparse district heating”, *Applied Energy*, 85:867–877.

Ruan Y., Liu Q., Zhou W., Firestone R., Gao W. ve Watanabe T., (2009) “Optimal option of distributed generation technologies for various commercial buildings”, *Applied Energy*, 86:1641–1653.

Santin O.G., Itard L. ve Visscher H., (2009) “The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock”, *Energy and Buildings*, 41:1223–1232.

Sarak H. ve Satman A., (2003) “The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study”, *Energy*, 28:929–939.

Serpen U., (2008) “Economic analysis for district heating of Kâhta county with brine from karakuş oil field in Turkey”, Thirty-Third Workshop on Geothermal Reservoir Engineering.

SEI, (2002) “Assessment of the Barriers and Opportunities Facing the Deployment of District Heating in Ireland”, Sustainable Energy Ireland.

Shimoda Y., Fujii T., Morikawa T. ve Mizuno M., (2004) “Residential end-use energy simulation at city scale”, *Building and Environment*, 39:959 – 967.

Sjödin J. ve Henning D., (2004) “Calculating the marginal costs of a district-heating utility”, *Applied Energy*, 78:1–18.

Sundberg G., Henning D., (2002) “Investments in combined heat and power plants: influence of fuel price on cost minimised operation”, *Energy Conversion and Management*, 43:639–650.

S-D, www.sustainable-development.veolia.com

Swan L.G. ve Ugursal V.I., (2009) “Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:1819–1835.

TEDAŞ, www.tedas.gov.tr

TS 825, (2008) “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”.

TSAD, www.tsad.org.tr

Valor E., Meneu V. ve Caselles V., (2001) “Daily Air Temperature and Electricity Load in Spain”, American Meteorological Society.

Verda V. ve Ciano C., (2005) “Procedures for the Search of the Optimal Configuration of District Heating Networks”, International Journal of Thermodynamics, 8:143-153.

Wojdyga K., (2008) “An influence of weather conditions on heat demand in district heating systems”, Energy and Buildings, 40:2009-2014.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	06.01.1984	
Doğum yeri	İstanbul / Kartal	
Memleket	Çankırı / Kurşunlu / Yeşilöz Köyü	
Lise	1998-2002	Pendik Gülizar ve Zeki Obdan Süper Lisesi
Lisans	2002-2007	Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2007-2010	* Danimarka Teknik Üniversitesi Makine Müh. Bölümü, Rüzgâr Enerjisi Programı * Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı * Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı Kurumlar

2008-2009	Serbest - Rüzgâr Enerjisi Uzmanı
2009-Devam ediyor	YTÜ Makine Fakültesi - Araştırma Görevlisi

İletişim Bilgileri

Adres	Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş Yerleşkesi Makine Mühendisliği Bölümü, E1-Blok, No:38 Beşiktaş – İstanbul
Tel	0212 383-29-15
E-posta	spusat@yildiz.edu.tr – sabanpusat@gmail.com
Web	www.sabanpusat.com