

**T.C
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİNALARIN ISI YALITIMINDA
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Tuğrul AKYOL

Balıkesir, Eylül – 2006

T.C
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİNALARIN ISI YALITIMINDA
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğrul AKYOL

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kadir BİLEN

Sınav Tarihi: 01. 09. 2006

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL (BAÜ)

Doç. Dr. Kadir BİLEN (Danışman-Ata.Ü)

Doç. Dr. Cengiz ÖZMETİN (BAÜ)

Balıkesir, Eylül – 2006

ÖZET

BİNALARIN ISI YALITIMINDA ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Tuğrul AKYOL

Balikesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kadir BİLEN)

Balikesir, 2006

Bilimsel gelişmeler neticesinde ileri teknolojiye dayalı yaşam biçimi ve dünya nüfusunun artması toplumların enerji ihtiyacını önemli ölçüde artırmıştır. Artan enerji tüketimi nedeniyle fosil kökenli enerji kaynaklarının giderek azalması, günümüzde, toplumları yeni enerji kaynakları arayışlarına iterken, mevcut kaynakların verimli kullanılmasını da zorunlu hale getirmiştir. Konutlarda ısınma ve sıcak su amaçlı tüketilen enerjinin toplam tüketim içindeki payı göz önüne alındığında, bu alanda enerjinin verimli kullanılması sonucu önemli miktarlarda enerji tasarrufu elde edilebileceği görülmektedir.

Binalar, dünyanın her ülkesinde yüksek enerji tüketicileridir. Dünya primer enerji tüketiminin yaklaşık üçte birlik dilimi konut, ofis, hastane ve okul gibi endüstriyel olmayan binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyaçları ile bu ihtiyaçları karşılayan sistemlerin işletilmesine harcanmaktadır. Binalarda ısıtma uygulamaları için tüketilen enerji ise, bu dilim içerisinde en büyük paya sahiptir. Türkiye'deki binalarda birim ısıtma enerjisi tüketimi çok yüksek seviyelerdedir. Avrupa'da konutların ortalama enerji tüketimleri yılda 100 kWh/m² iken, Türkiye'de, başta ısı yalıtımının olmayışı veya yetersiz ısı yalıtımı nedeniyle bu değer ortalama 200 kWh/m² civarındadır. Bu nedenle binalarda alınacak yeterli yalıtım önlemleriyle önemli ölçüde enerji tasarrufu elde edilebilir. Yapılan çalışmalar, binalarda enerjinin etkin kullanılması ile ortalama %40 enerji tasarrufu sağlanacağını göstermektedir. Bunun yanında, enerji tüketimindeki her bir azalma yüzdesinin çevrenin korunması ve karbondioksit emisyonlarının azalması üzerine önemli etkileri bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Atatürk Üniversitesi Kampüsünde bulunan ve yılda yaklaşık 330 kWh/m² ısıtma enerjisine ihtiyaç duyan aynı tipteki 29 ve 30 No'lu lojman binalarının enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Başlangıçta her iki binanın da dış duvarlarında ısı yalıtımı bulunmamaktadır. İnceleme konusu binalardan 30 No'lu blokta, "Binalarda Enerji Etkinliğinin Teşviki" projesince iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Dış duvarları yalıtımsız olan binada, başta dış duvar ısı yalıtımı olmak üzere önemli bazı ısı rehabilitasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve yapılan iyileştirmelerin etkileri gözlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, 29.Blok referans bina olarak kabul edilmiş ve 30. Blok'a uygulanan enerji verimliliği önlemlerinin etkileri referans bina ile yapılan karşılaştırma ile ortaya çıkarılmıştır. Karşılaştırmaya, her iki binada 2004–2005 ısıtma sezonunda yapılan ısı tüketim ve sıcaklık ölçümleri temel teşkil etmiştir. Yapılan iyileştirmeler neticesinde 30 No'lu lojman binasının, 29 No'lu lojman binasına göre %51.3 daha az ısı enerjisi tükettiği görülmüştür. Gerçekleştirilen ısı yalıtımı sayesinde 30.Blok dış duvarlarında meydana gelen ısı kayıpları ise %81 oranında azalmıştır. 30.Blok'un, ölçüm süresi olan 165 gün boyunca tükettiği ısı enerjisi ile 29.Blok 57 gün ısınabilmiştir. Çalışmada, her iki binanın dış duvarlarından olan ekserji kayıpları da hesaplanmış ve eşit ısı tüketim değerlerinde, 30.Blok'un dış duvarlarında %94 daha az ekserji kaybı olduğu görülmüştür. Bunun yanında, ısıtma esnasında binalarda bulunan ısıtıcılar ile iç ortamlar arasındaki ısı transferinden dolayı meydana gelen tersinmezlikler incelenmiş ve alınan önlemler sonucu 30.Blok'ta %28.8 daha az tersinmezlik olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Isı yalıtımı, enerji, ekserji, tersinmezlik.

ABSTRACT

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF THERMAL INSULATION OF BUILDINGS

Tuğrul AKYOL

Balikesir University, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering

(Ms. D. Thesis / Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kadir BİLEN)

Balikesir-Turkey, 2006

The life style based on advanced technology as a result of scientific developments and the increase of world population has raised the energy requirements of societies considerably. The decrease in the amount of fossil fuels due to increased energy consumption, nowadays, not only have forced the societies to find new energy sources, but also have forced the existing sources to be used efficiently. When it is considered that the rate of energy consumption in buildings for heating and hot water is high in the total consumption, it is clear that a large amount of energy can be saved by using energy efficiently in buildings.

Buildings are large consumers of energy in all countries. Approximately one third of primary energy is consumed in non-industrial buildings such as dwellings, offices, hospitals, and schools, where it is utilized for space heating and cooling, lighting, and the operation of appliances. The most of the energy is consumed for space heating in the total amount of the consumption in heating, cooling and lighting utilizations. In Turkey, unit energy consumption of existing buildings is excessive. While average heating energy consumption of residential buildings in Europe is 100 kWh/m² per year, in Turkey, it is about 200 kWh/m² per year since no or little thermal insulation. Therefore, considerable energy savings can be obtained by using proper insulation in buildings. Recent researches have shown that 40% of building energy consumption could be saved, provided that using energy efficiently. Furthermore, every reduction in energy-usage has a significant influence on environmental protection and CO₂ emissions.

In this study, energy and exergy analysis of two same types of residential buildings, Block-29 and Block-30, which are located in the campus of Ataturk University and have the same heating energy consumption of 330 kWh/m² per year were performed. In the beginning the external walls of both blocks have no insulation. In Block-30, leading external wall insulation, some important energy savings measures were carried out and the effects of these implementations were observed. For that reason, Block-29 was chosen as the reference building and the effects of measures implemented to Block-30 were determined by comparing with reference building. The measurements of heat consumption and temperature carried out in these buildings during the 2004-2005 heating season were used as comparison parameters. On the result of measurements, it was determined that Block-30 consumed 51.3% lower thermal energy. Owing to external wall insulation in Block-30, the heat losses through walls decreased 81% in proportion to Block-29. With the total energy amount which Block-30 consumed during the measurement period, 165 days, Block-29 could be heated only for 57 days. Exergy loses through the external walls also were calculated in this study and it was seen that in the equal heat consumptions, exergy losses through external walls of Block-30 was 94% lower than Block-29. Furthermore, the total irreversibility caused by heat transfer between the heaters and inner air during the heating period was also calculated. It was determined that the irreversibility in Block-30 was 28.8% lower than in Block-29.

KEY WORDS: Thermal insulation, energy, exergy, irreversibility.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER..	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL KAVRAMLAR	10
2.1 Isı Yalıtımı ve Temel Kavramlar	10
2.1.1 Isı Yalıtımı	10
2.1.2 Isı Yalıtımının Faydaları	11
2.1.3 Yaygın Isı Yalıtım Malzemeleri	12
2.1.4 Bina Isı Yalıtım Malzemesi Seçim Kriterleri	13
2.1.5 Optimum Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı	14
2.2 Termodinamiğin Birinci Kanunu	15
2.3 Termodinamiğin İkinci Kanunu	16
2.3.1 Tersinmezlikler	16
2.4 Ekserji Kavramı	17
2.4.1 Değişik Enerji Türlerinin Ekserjileri	18
3. METERYAL ve YÖNTEM	20
3.1 Binaların Seçim Kriterleri	20
3.2 Binaların Tasviri	21
3.2.1 Genel Özellikler	21
3.2.2 Bölgesel Özellikler	25
3.2.3 Yapısal Özellikler	26
3.2.3.1 Dış Duvarlar	26
3.2.3.2 Çatı	31
3.2.3.3 Taban / Zemin	31
3.2.3.4 Pencereler	34
3.2.4 Isıtma Sistemi	37
3.2.4.1 Atatürk Üniversitesi Isıtma Sistemi	37
3.2.4.2 Sekonder Çevrim	39
3.2.5 İç Ortam Sıcaklıkları	41
3.3 İnceleme Binalarının Mevcut Durumlarının Değerlendirilmesi ..	43
3.4 Enerji Tasarruf Potansiyelleri	48
3.5 Gerçekleştirilen Isı Rehabilitasyon Çalışmaları	50
3.5.1 Dış Duvarların Yalıtımı	52
3.5.1.1 Duvarların Dış Yüzüne Yalıtım Uygulaması	52
3.5.1.1.1 Havalandırmalı Sistem	52
3.5.1.1.2 Mantolama Sistemi	53
3.5.1.2 Duvarların İç Yüzünde Yalıtım Uygulaması	53
3.5.1.3 İki Duvar Arasında Yalıtım Uygulaması	54

3.5.1.4	30.Blok Dış Duvar Isı Yalıtım Uygulaması	54
3.5.2	Isıtma Çevrimine Ayar Kumandalı Üç Yollu Karıştırma Vanası Takılması	57
3.5.3	Radyatörlere Termostatik Vana Takılması	60
3.6	Ölçümler ve Hesaplamalar	61
3.6.1	Isı Tüketim Değeri Ölçümü	62
3.6.1.1	İnceleme Konusu Binaların Isı Tüketim Değerlerinin Ölçülmesi	66
3.6.2	Sıcaklık Ölçümü	68
3.6.2.1	İnceleme Konusu Binalarda Sıcaklık Ölçümleri	71
3.6.3	Dış Duvar Isı Kayıplarının Hesaplanması	73
3.6.4	Dış Duvar Ekserji Kayıplarının Hesaplanması	73
4.	BULGULAR	75
5.	TARTIŞMA ve SONUÇ	89
	KAYNAKLAR	96
	EKLER	98
	EK A	98
	EK B	103

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Enerji dönüşüm diyagramı	3
Şekil 1.2	Türkiye'deki enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı	4
Şekil 2.1	Ekonomik kalınlık	15
Şekil 2.2	Sonlu sıcaklık farkında; sıcaklık, ısı, entropi ve ekserji geçişi	17
Şekil 3.1	Atatürk Üniversitesi Kampüs Haritası	21
Şekil 3.2	Atatürk Üniversitesi 29. ve 30. bloklarının vaziyet planı	22
Şekil 3.3	Isı akış plakasıyla U değeri ölçümü	28
Şekil 3.4	İnceleme binalarında tuğla duvar U değeri ölçüm sonuçları	29
Şekil 3.5	İnceleme binalarında taş duvar U değeri ölçüm sonuçları ...	30
Şekil 3.6	İnceleme binalarında beton duvar U değeri ölçüm sonuçları	30
Şekil 3.7	Her bir dairenin güney cephesinde bulunan pencerelerin boyutları	36
Şekil 3.8	Güney cephesindeki merdiven boşluğundaki pencerelerin boyutları	36
Şekil 3.9	Her bir dairenin kuzey cephesinde bulunan pencerelerin boyutları	36
Şekil 3.10	Doğu ve batı cephelerinde bulunan pencerelerin boyutları ..	36
Şekil 3.11	Kızgın Sulu Merkezi Isıtma Sistemi	38
Şekil 3.12	Isıtma çevrimleri şeması	40
Şekil 3.13	İç ortamdaki sıcaklık ve bağıl nem ile konfor şartları arasındaki ilişki	42
Şekil 3.14	Kampüste bulunan eski lojman binalarından 4.Blok'a ait termografik görüntü	44
Şekil 3.15	Kampüste bulunan 130 m ² 'lik yeni bir lojman binasına ait termografik görüntü	44
Şekil 3.16	İnceleme binalarının yapı bileşenlerinde meydana gelen ısı kayıplarının dağılımı	45
Şekil 3.17	İnceleme binalarının TS 825'e göre birim hacim başına yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	46
Şekil 3.18	İnceleme binalarının TS 825'e göre hesaplanan aylık ısı kayıpları, ısı kazançları ve aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçları	47
Şekil 3.19	Oda sıcaklıklarının yakıt tüketimine etkisi	47
Şekil 3.20	Blok mantolama uygulaması (kuzeybatı görünümü)	54
Şekil 3.21	8 cm kalınlığındaki levhalar teraziye alınırken	55
Şekil 3.22	Batı cephesinde dübelleme işleminden bir görünüm	56
Şekil 3.23	Dış hava kompenzasyon sistem elemanlarının ısıtma tesisatı üzerinde gösterimi	58
Şekil 3.24	Dış hava denkleştirme eğrileri	59
Şekil 3.25	2004-2005 Isıtma sezonunda Atatürk Üniversitesinde ısıtmanın yapıldığı günler ve inceleme binalarında ölçümlerin yapıldığı tarihler	61
Şekil 3.26	Kombine ısı sayacı ve tesisat montajı	63
Şekil 3.27	Kompakt ısı sayacı ve tesisat montajı	63

Şekil 3.28	Elektronik ısı payölçer sistem elemanları	65
Şekil 3.29	Referans binada (29.Blok) ısı tüketim ölçümü sistem elemanlarının ısıtma tesisatına yerleşimi	67
Şekil 3.30	Isı rehabilitasyonu gerçekleştirilen 30.Blokta sıcaklık kontrol ve ısı tüketim ölçümü sistem elemanlarının ısıtma tesisatına yerleşimi	67
Şekil 3.31	İnceleme binalarında sıcaklık ölçüm sensörlerinin yerleşimi	71
Şekil 4.1	İnceleme binalarına ait ısı tüketim değerlerinin aylara göre değişimi	76
Şekil 4.2	30.Blok'a ait ısı sayacı ölçüm sonuçlarının regresyon değerleri ile karşılaştırılması	77
Şekil 4.3	29.Blok'a ait ısı sayacı ölçüm sonuçlarının regresyon değerleri ile karşılaştırılması	77
Şekil 4.4	İnceleme binalarının Aralık ayındaki günlük ısı tüketimleri ..	78
Şekil 4.5	İnceleme binalarının Ocak ayındaki günlük ısı tüketimleri ...	78
Şekil 4.6	İnceleme binalarının Şubat ayındaki günlük ısı tüketimleri ..	79
Şekil 4.7	İnceleme binalarının Mart ayındaki günlük ısı tüketimleri	79
Şekil 4.8	İnceleme binalarının Nisan ayındaki günlük ısı tüketimleri ..	80
Şekil 4.9	Aralık ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 29.bloğa ait sıcaklıklar	81
Şekil 4.10	Aralık ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 30.bloğa ait sıcaklıklar	81
Şekil 4.11	Ocak ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 29.bloğa ait sıcaklıklar	82
Şekil 4.12	Ocak ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 30.bloğa ait sıcaklıklar	82
Şekil 4.13	29.Blok-Aralık ayına ait ortalama sıcaklıklar	83
Şekil 4.14	30.Blok-Aralık ayına ait ortalama sıcaklıklar	83
Şekil 4.15	29.Blok-Ocak ayına ait ortalama sıcaklıklar	84
Şekil 4.16	30.Blok-Ocak ayına ait ortalama sıcaklıklar	84
Şekil 4.17	29.Blok-Şubat ayına ait ortalama sıcaklıklar	85
Şekil 4.18	30.Blok-Şubat ayına ait ortalama sıcaklıklar	85
Şekil 4.19	29.Blok-Mart ayına ait ortalama sıcaklıklar	86
Şekil 4.20	30.Blok-Mart ayına ait ortalama sıcaklıklar	86
Şekil 4.21	29.Blok-Nisan ayına ait ortalama sıcaklıklar	87
Şekil 4.22	30.Blok-Nisan ayına ait ortalama sıcaklıklar	87
Şekil 4.23	29.Blok-Mayıs ayına ait ortalama sıcaklıklar	88
Şekil 4.24	30.Blok-Mayıs ayına ait ortalama sıcaklıklar	88
Şekil 5.1	İnceleme binalarının toplam ısı tüketim değerleri	90
Şekil 5.2	İnceleme binalarında dış duvar ısı kayıpları	90
Şekil 5.3	29.Blok'a ait aylık ort. iç ort. ve dış duv. iç yüzey sıcaklıkları	94
Şekil 5.4	30.Blok'a ait aylık ort. iç ort. ve dış duv. iç yüzey sıcaklıkları	94
Şekil 5.5	29.Blok'a ait aylık ortalama dış hava ve dış duvar dış yüzey sıcaklıkları	95
Şekil 5.6	Şekil 5.6 30.Blok'a ait aylık ortalama dış hava ve dış duvar dış yüzey sıcaklıkları	95

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	İncelenen binaların ortak genel özellikleri	23
Çizelge 3.2	Türkiye'deki bazı illerin iklim karakteristikleri	25
Çizelge 3.3	Yapı bileşenlerine ait temel özellikler (her bir bina için)	26
Çizelge 3.4	İncelenen binaların dış duvar özellikleri (her bir bina için) .	27
Çizelge 3.5	U değerlerinin karşılaştırılması	29
Çizelge 3.6	İncelenen binaların çatı özellikleri (her bir bina için)	32
Çizelge 3.7	İncelenen binaların taban/zemin özellikleri	33
Çizelge 3.8	İncelenen binaların pencere sistemi (her bir bina için)	35
Çizelge 3.9	İç yüzey ile ortam sıcaklıkları arasındaki farkın ısı konfor ile ilişkisi	41
Çizelge 3.10	İnceleme binalarında hesaplanan U değerlerinin TS 825'e göre tavsiye edilen U değerleriyle karşılaştırılması	45
Çizelge 3.11	Bölgelere göre Atop /Vbrüt oranlarına bağlı olarak gereken Q'nun hesaplanması	46
Çizelge 3.12	Gerçekleştirilen ısı rehabilitasyon çalışmaları	51
Çizelge 3.13	Çeşitli termometrelerin ölçüm aralıkları	68
Çizelge 3.14	En kullanışlı ısı elementleri	70
Çizelge 4.1	30. Blok dış duvar bileşenlerinin yalıtım öncesi ve sonrası U değerleri	75
Çizelge 5.1	Dış duvarlarda meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları .	91
Çizelge 5.2	30.Blokta radyatörlerle iç ortamlar arasında meydana gelen ısı transferinden kaynaklanan tersinmezliklerin aylara göre dağılımı	92

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Kadir BİLEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Literatür araştırmalarında yardımını esirgemeyen Dr. Uğur AKYOL'a, dizinlerin oluşturulmasına yardımcı olan Arş. Gör. Kerem DEMİRCİOĞLU'na ve Arş. Gör. Baybars Ali FİL'e, değerli önerilerinden dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU'na, inceleme konusu binalarda yapılan çalışmalarını birlikte yürüttüğümüz "Binalarda Enerji Etkinliğinin Teşviki" Projesi'nin değerli çalışanlarından proje koordinatörü Sayın Ergin SALİHOĞLU'na, Sayın Bülent CİNDİL'e ve Sayın Şehnaz ÇALIŞKAN'a, bilgilerine başvurduğum değerli hocam Sayın Prof. Dr. Bedri YÜKSEL'e, teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında bana sürekli destek olan ve çalışmalarımı yakından ilgilenen aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2006

Tuğrul AKYOL

GİRİŞ

Son yıllarda bilimsel gelişmeler neticesinde ileri teknolojiye dayalı sosyo-ekonomik yaşam biçimi ve dünya nüfusunun artması toplumların enerji tüketimlerini önceki yüzyıllara nazaran binlerce kat artırmıştır. Enerji tüketimindeki bu artış beraberinde, enerji-kaynak üretimi, enerji-çevre ve enerji-ekonomi arasında ilişkiler ve sorunlar getirmiştir.

Önceleri, yaşamını doğal çevrede sürdürürken ihtiyaçlarını da doğal kaynaklardan sağlayan insan, nüfusun artması ve ihtiyaçlarının çeşitlenmesiyle yeni kaynaklar arayışına girmiştir. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için kolay bir yol seçmiş ve yakılmasıyla daha fazla enerji açığa çıkaran fosil yakıtlara yönelmiştir.

Toplumların hızla sanayileşmesiyle birlikte fosil kaynaklı enerji tüketimi hızla artmaya başlamıştır. 1800'lü yıllarda dünya enerji tüketiminin %5'ini fosil kaynaklar oluştururken bu oran günümüzde %90'lara kadar ulaşmıştır. Fosil kaynakların hızla tüketilmesi beraberinde kaynak sorununu gündeme getirmiştir. Üstelik kömür, doğalgaz, petrol gibi binlerce yılda oluşmuş bu kaynaklar tükendikçe, atıkları nedeniyle hava, su ve toprak kirlenmeye başlamıştır. Çok geçmeden fosil yakıt kullanımının doğaya ve canlılara verdiği zararlar etkisini artırmıştır. Bu kirlenmeler sadece yakın çevreyle sınırlı kalmamış; atmosfere de yayılarak iklim değişikliğine yol açmaya ve yaşamı tehdit etmeye başlamıştır.

Tüm bu olumsuzluklar, insanlığı enerji üretimi ve enerji tüketimi konularında daha fazla inceleme ve araştırma yapmaya yöneltmiştir. Bu nedenle özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol kriziyle birlikte birçok ülke, mevcut enerji tesislerini yeniden gözden geçirmiş ve verimliliklerini artırarak iyileştirme yoluna gitmişlerdir. Bunun yanında fosil yakıtlar dışında yeni ve

yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda ciddi araştırmalar yapılmaya başlanmıştır.

Modern dđnyamızın yakın tarihine bakıldığında,

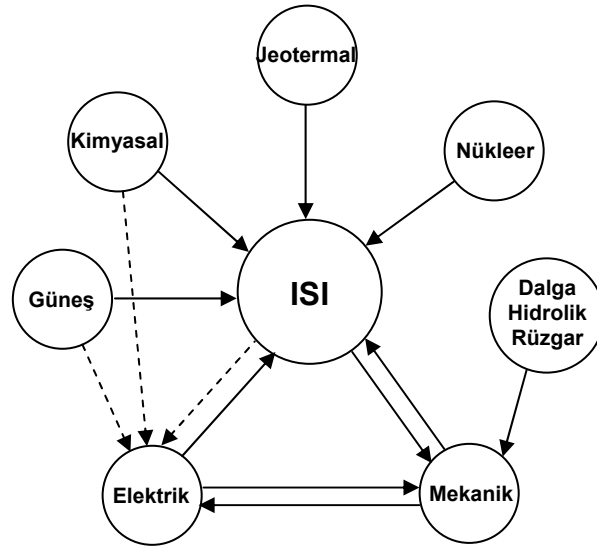
- 1970'lerde, yaşanan petrol kriziyle birlikte kıt olan yakıt kaynaklarının korunması konusu ağırlık kazanmış,
- 1980'lerde, enerji verimliliğinin enerji tđketime ve maliyetler üzerindeki önemli etkisi fark edilmiş,
- 1990'larda, enerji kullanımının çevreye üzerindeki olumsuz etkilerinin (özellikle sera gazlarının kontrolü) azaltılması üzerinde durulmuş,
- 2000'lerde ise sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji anlayışına ulaşılmıştır.

Enerji tasarrufu, ekonomik büyümeden ve çağdaş yaşam koşullarından ödün vererek enerjinin az kullanılması değildir. Enerji tasarrufu enerji üretiminin ve tđketime maksimum verimle gerçekteştirilmesi, enerji kayıplarının minimuma indirilmesi, ekonomik gelişmeden ve yaşam konforunu engellemeden enerji talebini kontrol altına alınmasıdır. Başka bir deyişle üretim hızı ve kalitesi düşmeden verimliliğin artırılmasıdır [1].

Enerji talebini kontrol altına almak için yapılması gereken, enerjiyi verimli kullanmaktır. Enerji verimliliği sayesinde belli miktardaki enerji ile daha fazla ürün elde edilebilecek veya belli ürün için daha az enerji tüketilebilecektir. Özellikle büyük tesislerde enerjinin verimli kullanılması, enerji maliyetini düşüreceği gibi kayıp enerjiyi geri kazanmak için yapılan sistemlerin maliyetlerini de en aza indirmiş olacaktır. Ayrıca fosil yakıt kullanılan tesislerde enerji dönüşümü sırasında, çevreye atılan zararlı emisyonları da azaltacaktır [1].

Enerjinin verimli ve gider bakımından etkin kullanımı, bir şekilden diğerine enerji dönüşüm yöntemlerinin incelemesi ile başlamalıdır. Bu enerji dönüşümünün etkilenebildiği olası değişik yollar şekil 1.1'de şematik olarak gösterilmiştir. şekilde kesik çizgi ile gösterilen hatlar, gelişmenin bugünkü

durumunda, büyük bir ölçekte fizibl olan, ama ekonomik olarak değerli (rantabl) olmayan enerji dönüşüm yollarını göstermektedir. Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine doğrudan dönüşümü bir yakıt hücresiyle; güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm fotovoltatik hücrede; ısı enerjiden elektrik enerjisine doğrudan dönüşüm Seebeck etkisi (veya Peltier etkisiyle elektrik enerjisi kullanılan soğutma) ile olur [2].



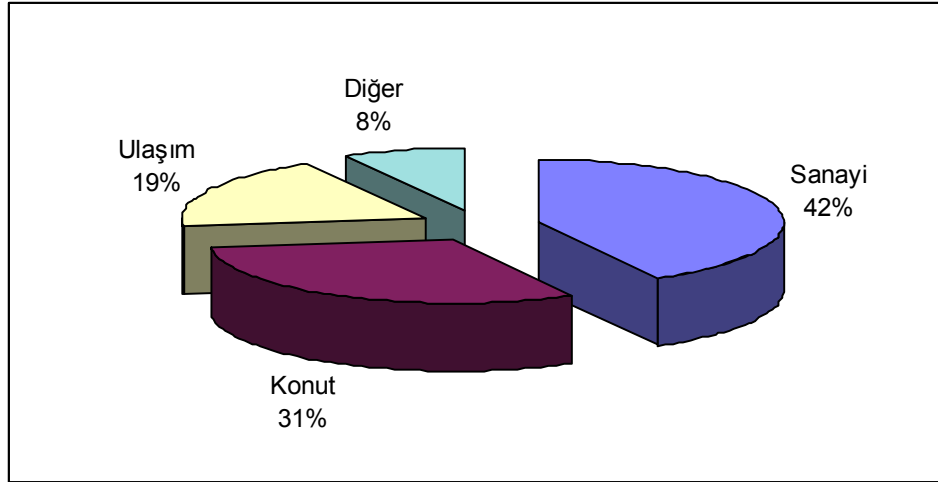
Şekil 1.1 Enerji dönüşüm diyagramı

Fosil ve nükleer yakıtlara alternatif doğal enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalar, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kavramlarını da gündeme getirmiştir. Yaşamın sürdürülebilirliği için kaynakların sürdürülebilir olması yeterli değildir. Ekolojik denge için kaynakların yenilenebilir de olması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji, “doğanın kendi çevrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanabilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, yakılınca tükenen ve yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Oysa hidrolik (su), güneş, rüzgar ve jeotermal gibi doğal kaynaklar yenilenebilir olmalarının yanında temiz enerji kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

2020 yılında dünyada üretilen elektriğin yüzde 50'sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması planlanmaktadır. 2010 yılında ise kullanılacak elektrik enerjisinin yüzde 10'unun rüzgardan sağlanması hedeflenmektedir. Bunun dışında dünyada pek yaygın olmayan başka yenilenebilir enerji kaynakları da bulunmaktadır. Dalga, med-cezir (gel-git), çöpten sağlanan metan gazı ve kanalizasyon ısısından da ısınma ve elektrik üretimi için enerji elde edilebilmektedir [3].

Ülkemiz enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde, 2003 yılında tüketilen 63.8 TEP'lik enerjinin %42'sinin sanayi sektöründe, %31'inin konutlarda, %19'unun ulaşımda harcandığı görülmektedir (Şekil 1.2). Konutlarda tüketilen bu enerjinin ise %86'sı ısınma ve sıcak su için harcanmaktadır.



Şekil 1.2 Türkiye'deki enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı

Konutlarda ısınma ve sıcak su amaçlı tüketilen enerjinin toplam tüketim içindeki payı göz önüne alındığında, bu alanda enerjinin verimli kullanılması sonucu elde edilecek tasarrufun büyük olacağı görülmektedir. Bu yüzden konutlarda enerji verimliliği, enerji tüketiminin azaltılması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu konu iki ayrı kısımda ele alınarak

incelenebilir. Birinci kısım; konutların yapı özellikleri ve bileşenlerini, ikincisi ise ısıtma sistemlerinin türü ve özelliklerini kapsamaktadır. Konutların yapı ve özelliklerinde enerji verimliliği;

- Yapı elemanlarında ısı yalıtımı,
- Bölgelere göre pencere konstrüksiyonu,
- Isıtma sistemlerinin iyi projelendirilmesi ve otomatik kontrol,
- Bina içi konfor şartlarının Avrupa ve dünya standartlarına göre uygunluğu,

kullanılarak sağlanabilir. Bu yönde yapılan çalışmalar, bu kurallara uyulması durumunda binalarda ortalama yaklaşık %40 oranında enerji tasarrufu sağlanacağını göstermektedir [1].

Özkahraman ve Bolattürk, binaların dış duvarlarında düşük ısı iletkenliğe sahip gözenekli sünger taşlarının (volkanik kayalar) kullanılması durumunda sağlanan yalıtımının etkisini araştırmış ve bu yöntemle soğuk iklime sahip bölgelerde, binaların enerji kayıplarında %60'lara varan bir azalma elde edilebileceğini belirlemişlerdir. Yaptıkları optimizasyon çalışmasında dış duvarların bu tür bir malzemeyle kaplanması durumunda optimum yalıtım kalınlığını 15 cm olarak hesaplamışlardır [4].

Dömbaycı ve arkadaşları binaların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Denizli ilinin sahip olduğu iklim koşullarında yaptıkları bu çalışmalarında, yalıtım malzemesi olarak iki farklı malzemeyi (EPS ve taş yünü), enerji kaynağı olarak ise beş farklı yakıt türünü (kömür, doğalgaz, LPG, fueloil ve elektrik) göz önünde bulundurmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre yakıt türü olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak da EPS yalıtım malzemesinin maliyet bakımından en uygun seçenekler olduğunu ortaya koymuşlardır [5].

Bolattürk, Türkiye'nin farklı iklim koşullarına sahip farklı bölgelerinde, beş farklı yakıt türü için (kömür, doğalgaz, LPG, fueloil ve elektrik) yaptığı diğer bir çalışmasında dış duvar yalıtım malzemesi olarak EPS kullanmış ve kentin içerisinde bulunduğu bölgenin iklim koşullarına ve kullanılan yakıtın

cinsine göre optimum yalıtım kalınlığının 2 ile 17 cm arasında, enerji tasarrufunun %22 ile %79 arasında, bu yalıtım sisteminin geri ödeme süresinin ise 1.3 ile 4.5 yıl arasında değiştiğini belirlemiştir [6].

Çomaklı ve Yüksel Türkiye'nin soğuk iklim şartlarına sahip üç ilinde (Erzurum, Erzincan ve Kars) binalarda strofor ile yapılan dış duvar yalıtımı için optimum yalıtım kalınlığını belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada, Erzurum için optimum yalıtım kalınlığı 10 cm bulunmuş ve bu yalıtım kalınlığına uyulması durumunda dış duvarlardaki ısı kaybının yalıtımsız duvara göre yaklaşık %80 oranında azalacağı vurgulanmıştır. Çalışmada ayrıca bu iller için yalıtım ile elde edilen enerji tasarruf miktarlarını ve geri ödeme sürelerini belirlemişlerdir [7].

Mohsen ve Akash, binalarda enerji tasarrufu konusunda Ürdün'de yaptıkları çalışmalarında binaların duvar ve çatılarında yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda %76.8 değerine varan miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabildiğini ortaya koymuşlardır [8].

Nussbaumer ve arkadaşları, bina duvarlarında uygulanan vakumlu yalıtım panellerinin ısı performanslarını belirlemek için deneysel ve sayısal bir araştırma yapmışlardır. Bu amaçla beton bir duvar, her biri üç adet vakumlu yalıtım paneli içeren, altı adet EPS levhası ile dış tarafından yalıtılmıştır. 40 mm kalınlığındaki vakumlu yalıtım panelini içinde bulunduran, 60 mm kalınlığındaki yalıtım levhasının kullanıldığı durumda %95 oranında bir ısı iyileşme sağlandığı görülmüştür [9].

Arslan ve Köse, termoekonomik analiz üzerine dayandırdıkları, binalardaki dış duvar yalıtım malzemesi kalınlığı optimizasyon çalışmalarını, Türkiye'nin soğuk iklim yapısına sahip illerinden biri olan Kütahya için yapmışlardır. Çalışmalarında yoğuşan buharın ekserji üzerindeki etkisini de göz önünde bulundurmışlardır. 18°C, 20°C ve 22°C iç ortam sıcaklıklarına karşılık optimum yalıtım kalınlıklarını sırasıyla 0.06, 0.065 ve 0.075 m olarak,

enerji tasarruf oranlarını da bu sıcaklıklara karşılık olarak sırasıyla %74.9, %76.3 ve %78.8 olarak tespit etmişlerdir [10].

Gieseler ve arkadaşları, Almanya'daki örnek bir binanın duvarlarında ve çatısında mineral yün malzemesi ile yaptıkları yalıtım çalışması ile sağlanabilecek enerji tasarrufunu araştırmışlardır. Bu çalışma için örnek binada iki yıl boyunca sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler sayesinde, bir modelleme programı yardımı ile oda sıcaklıklarına ait detaylı bir simülasyon modeli elde edilmiştir. Bu model yardımı ile binaya yapılan yalıtım neticesinde elde edilen enerji tasarrufu belirlenmiştir [11].

Cihan T. yaptığı çalışmada Türkiye'de geleneksel ısı yalıtım sistemlerine alternatif olarak sunulan EPS-bloklı çelik donatılı beton taşıyıcı duvar sisteminin örnek bir bina için ısı performansını, ilgili standartlara göre incelenmiş ve ısı yalıtım sistemleriyle karşılaştırılmıştır [12].

Arjantin'de yapılan bir çalışmada, La Pampa Üniversitesinde okuyan dar gelirli öğrenciler için inşa edilmiş olan ve içerisinde doğalgazın kullanıldığı konutların ısı ve enerji davranışları tespit edilerek, enerji tasarrufuna ve yaşam konforuna yönelik tedbirler ortaya konmuştur. Bu amaç doğrultusunda belli bir süre boyunca binaların doğal gaz tüketimleri, radyasyon vasıtasıyla binalara gelen enerji miktarı tespit edilmiş, sıcaklık ölçümleri yapmak için konutlardaki bazı odaların içerisine ve bu odaların iç ve dış duvar yüzeylerine termoçift telleri yerleştirilmiştir [13].

Konutlardaki enerji tüketiminin azaltılması konusunda bir çalışma yapan Ueno T. ve arkadaşları, göz önünde bulundurdıkları binadaki toplam elektrik ve gaz tüketimini, bina içerisinde bulunan ve elektrikle çalışan her bir cihazın elektrik tüketimlerini ve odaların her birinin sıcaklıklarını 30 dakikalık aralıklarla ölçen bir sistem kurmuşlardır [14].

Akbari H, yaz mevsiminde 1.5 aylık bir süre boyunca iki küçük prefabrik beton yapının çatısı üzerinde bir tür yansıtıcı kaplama kullanmak

suretiyle bu kaplamanın yapıdaki enerji kaybı üzerindeki etkisini araştırmış ve yıllık 125 kWh'lik bir enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir. Prefabrik yapıdaki enerji kullanımını ve çevresel şartları 13 farklı noktada kullandığı sıcaklık sensörleri yardımı ile 15'er dakikalık aralıklarla ölçümler yaparak izlemiştir. Bu ölçümler yardımı ile prefabrik yapılarda çatıların dış ve iç yüzey sıcaklıklarını, iç ortam sıcaklıklarını, dış ortamın kuru termometre sıcaklığını ve bağıl nemini, dışarıdaki havanın hızını ve yönünü, yatay olarak yapıya gelen radyasyon miktarını ve yapıların toplam güç tüketimlerini izlemiştir [15].

Gustafson, yaptığı çalışmada, eski binalarda kullanılan enerjiyi azaltmak için optimizasyon yapmış ve bunun için bir simülasyon programı geliştirmiştir. Bu programı kullanarak ısıtma sistemlerinde ömür-çevrim maliyet karşılaştırması yapmıştır. Burada en önemli vurgulanan sonuç, bölgesel ısıtma sistemlerinde işletme maliyetlerinin düşük olması için binalarda yeniden yalıtım yapılması ve ısı kayıplarının en aza indirilecek şekilde binaların tasarlanmasıdır [16].

Binalarda Enerji Etkinliğinin Teşviki Projesi:

- Türkiye'de özellikle ısınma için artan enerji ihtiyacı,
- Artan enerji talebinin yeni santrallerle ve kaynaklarla karşılanması yerine tasarruf ederek eldeki kaynakların bilinçli ve verimli kullanılması gerekliliği,
- Binalarda enerji tasarrufu ile ilgili daha önce uygulanan projelerin olumlu sonuçlar vermesi,
- Avrupa'da normlarda standartlaşmaya gidilmesi,
- Dünyadaki karbondioksit (CO₂) ve kükürtdioksit (SO₂) emisyonlarının yükselmesine karşı önlem alınması gerekliliği,

gibi sebeplerden dolayı, Türkiye'de artan enerji ihtiyacı ve tüketiminin ulusal enerji politikasına göre aşağı çekilmesini ve enerji yönetimi bilincinin, yapılacak birlikte çalışma ve iş bölümü ile resmi kurumlarda ve özel sektörde

arttırılmasını hedefleyen bir proje yürütülmüştür. Alman Teknik İşbirliği Kurumu (GTZ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi ve Erzurum Büyükşehir Belediyesi'nin ortaklaşa projesi olan "Binalarda Enerji Etkinliğinin Teşviki" projesi Kasım 2002'de başlayarak Erzurum ve Ankara illerinde faaliyetlerini tamamlamıştır.

Ülkemizin en soğuk iklim bölgelerinden birinde bulunması, kış sezonunun soğuk ve uzun geçmesi nedeniyle Erzurum, proje kapsamında pilot il olarak seçilmiştir. Bölgemizde bulunan binalarda ısı yalıtımına gereken önemin verilmeyişi, ısınma amacıyla yüksek enerji tüketimlerine sebep olmaktadır. Yüksek enerji tüketimli binalar aynı zamanda yüksek enerji tasarruf potansiyeline de sahiptirler. Tüm bu gerçekler dikkate alınarak, Binalarda Enerji Etkinliğinin Teşviki Projesi kapsamında Atatürk Üniversitesi kampüsünde bulunan Lojman binalarından 30.Blok'ta ısı rehabilitasyonu gerçekleştirilmiş ve rehabilitasyon sonuçları kampüste bulunan ve ısı rehabilitasyonu yapılmamış aynı tipteki bir lojman binası olan 29.Blok ile karşılaştırılmıştır. Buna göre 29.Blok referans bina olarak kabul edilmiş ve karşılaştırma, her iki binada 2004–2005 ısıtma sezonu içerisinde yürütülen ısı tüketimi ve sıcaklık ölçümleriyle yapılmıştır.

Bu çalışmada, Binalarda Enerji Etkinliğinin Teşviki Projesince Atatürk Üniversitesinde gerçekleştirilen ısı rehabilitasyonu çalışmasının sonuçları yeniden değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca, her iki bina için ekserji analizi yapılmış ve analiz kapsamında bina dış duvarlarından olan ekserji kayıpları hesaplanmıştır.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Isı Yalıtımı ve Temel Kavramlar

2.1.1 Isı Yalıtımı

Isı yalıtımı, doğru uygulandıklarında, iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıınım (radyasyon) yoluyla gerçekleşen ısı akış hızını azaltan malzeme ya da malzemeler kombinasyonudur. Isı yalıtım malzemeleri, dış hacimlerden binalara veya binalardan dış hacimlere olan ısı akış hızını yüksek ısı direnç özellikleri sayesinde azaltırlar [17].

Isı yalıtım malzemeleri, içerdikleri sayısız mikroskopik kapalı hava hücrelerinin (bünyelerindeki havanın hareket etmesine izin vermeyerek) taşınım ile olan ısı transferini engellemesi sonucu, ısı akısına direnç gösterirler. Isıl direnci gösteren, yalıtım malzemesi değil yalıtım malzemesinin bünyesinde bulunan hava hücreleridir [17].

Küçük hücre boyutuna sahip (kapalı hücre yapısına sahip) ısı yalıtım malzemeleri aynı zamanda, radyasyon etkisini de azaltır. Bunun yanında ısı yalıtım malzemesindeki hücre boyutunun küçülerek yoğunluğun artması genellikle iletim ile olan ısı transferini artırır. Tipik olarak, ölü hava hücreli ısı yalıtım malzemeleri durgun havanın gösterdiği ısı direnci aşamazlar. Ancak polistiren ve poliüretan gibi plastik köpük ısı yalıtım malzemeleri, yalıtım hücrelerinde hava yerine florokarbon gazları içerdikleri için durgun havaya göre daha yüksek ısı dirençler gösterirler [17].

Isı iletkenlik değeri, λ – değeri, bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1 K olduğunda, birim zamanda birim alan ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan geçen ısı miktarıdır ve W/m-K

şeklinde ifade edilir. Bir ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değerinin bilinmesi, o malzemenin farklı ısı yalıtım malzemeleriyle karşılaştırılmasına olanak sağlar.

Isıl geçirgenlik direnci, *R değeri*, iletim, taşınım ve radyasyon yoluyla gerçekleşen ısı akısına olan direncin bir ölçüsüdür ve malzemenin ısı iletkenlik değerinin, kalınlığının ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur. m²K/W şeklinde ifade edilir.

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda_h} \quad (2.1)$$

Burada;

1/Λ : Isıl geçirgenlik direnci (m²K / W),

d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m),

λ_n : Isı iletkenlik hesap değeri (W/mK)

dir.

Çok tabakalı yapı bileşenlerinde, ısı geçirgenlik direnci (1/Λ), tek tek yapı elemanı kalınlıkları (d₁, d₂...d_n) ve bu yapı elemanlarının, ısı iletkenlik hesap değerleri (λ₁, λ₂... λ_n) kullanılarak formül (2) ile hesaplanır.

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (2.2)$$

2.1.2 Isı Yalıtımının Faydaları

Binalarda ısı yalıtımının aşağıda belirtildiği gibi birçok yararı vardır [17,18];

- Isı yalıtımı sayesinde ısı kayıpları azaltılarak enerji korunur, böylece doğal kaynaklar korunmuş olur,

- Enerji tüketimi bir işletme masrafıdır. Küçük yatırımlı ısı yalıtım uygulamalarıyla büyük oranlarda enerji tasarrufu elde edilir (binanın yapı maliyetinin sadece yaklaşık %5'i kadar bir yatırımla). Isı yalıtımı sadece işletme maliyetlerinin azalmasını sağlamaz aynı zamanda sistem boyutları küçüleceğinden HVAC sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerini de düşürür,
- Isı yalıtımının kullanımı sadece işletme enerjisi maliyetlerini azaltmaz; aynı zamanda atmosfere salınan kirleticilerin de azalmasını sağlar,
- Isı yalıtımı özellikle mevsimler arası geçişte evlerimizin ısı konfor periyodunu uzatır,
- Isı yalıtımı, komşu hacimlerden ya da dışardan gelebilecek olan rahatsız edici gürültülerden ortamları korur ve binalarda akustik konfor sağlar,
- Yüksek sıcaklık değişiklikleri, bina yapısına zarar verebilecek istenmeyen termal hareketliliklere sebep olabilir. Binayı düşük sıcaklık dalgalanmalarında tutmak, yapı bütünlüğünün korunmasına yardımcı olur. Bu durum, bina yapı ömrünü de uzatan doğru ısı yalıtımının uygulanmasıyla sağlanabilir,
- Doğru dizayn ve ısı izolasyonu aynı zamanda yapı yüzeylerinde yoğuşmanın engellenmesine yardımcı olur. Bunun yanında ısı yalıtımının, yanlış izolasyon malzemesi seçimi ve kötü dizayn sonucunda yapıya ters etki göstererek zarar vermesinden kaçınmak gerekir,
- Uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi ve doğru bir şekilde uygulanması halinde, yangın esnasında, alevlerin yayılması engellenir.

2.1.3 Yaygın Isı Yalıtım Malzemeleri

Binalarda kullanılan çeşitli türdeki ısı yalıtım malzemeleri, aşağıdaki temel ve kompozit malzeme başlıkları altında sıralanabilir [17];

- *İnorganik malzemeler*
 - Camyünü, taşyünü gibi *lifli malzemeler*,
 - Kalsiyum silikat ve seramik gibi *hücre yapılı malzemeler*,
- *Organik malzemeler*
 - Selüloz, pamuk, ahşap, sentetik elyaf gibi *lifli malzemeler*,
 - Mantar, polistiren, polietilen, poliüretan ve diğer polimerler gibi *hücre yapılı malzemeler*.

2.1.4 Bina Isı Yalıtım Malzemesi Seçim Kriterleri

Isı yalıtım malzemesi seçiminde; maliyet, basma dayanımı, su buharı emişi ve geçirimi, alev direnci, uygulama kolaylığı ve ısı iletkenlik gibi birçok parametre dikkate alınmalıdır. Bunun yanında, ısı performans ve enerji korunumu söz konusu olduğunda, ısı yalıtım malzemelerinin en çok önem kazanan özelliği ısı iletkenlik değerleridir. Isı yalıtım malzemesinin seçimini etkileyen faktörler aşağıdaki gibi özetlenebilir [17];

a) Isıl performans

- *Isıl direnç*
 - *Yüksek ısı dirence sahip yalıtım malzemeleri (camyünü, taşyünü, polistiren, polietilen, poliüretan, ...)*
 - *Malzeme kalınlığına karşı ısı direnç*
 - *Malzeme yoğunluğuna karşı ısı direnç*
 - *İşletme sıcaklık aralığına karşı ısı direnç*
- *Isı köprüleri*
 - *Isı yalıtımının duvarlar ve çatı boyunca sürekliliğinin sağlanması*
- *Isı depolama*

b) Maliyet

- *Isı yalıtımının ek maliyeti*
- *Malzeme ve işçilik kalitesi için ek maliyet*
- *Klima ekipmanlarının boyutlarının küçülmesi ve ilk yatırım maliyetleri üzerine etkisi*

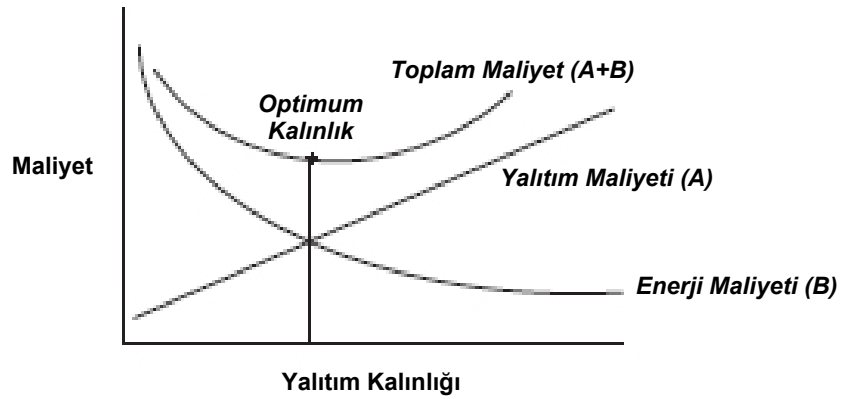
- *İşletme maliyetleri üzerine etkisi*
- c) *Uygulama kolaylığı*
- *Hızlı ve kolay uygulanabilirlik*
 - *İşletme, bakım ve değiştirilebilme kolaylığı*
- d) *Güvenlik ve sağlık*
- *Yangına karşı direnç gösterebilme özelliği*
 - *Sağlık riskleri (zehirli duman vs.)*
 - *Yapısal sağlamlık (Yük taşıma veya taşımama durumları)*
 - *Deri veya göz tahrişi*
- e) *Dayanım*
- *Isıl direncin zamanla değişimi*
 - *Su ve buhar etkileri*
 - *Boyutsal kararlılık (Isıl genleşme ve büzölmeler)*
 - *Basma ve eğilme dayanımı*
 - *Kimyasal ve korozif etkenler*
 - *Biyolojik etkenler*
- f) *Akustik performans*
- *Ses absorpsiyonu*
 - *Ses yalıtımı*
- g) *Hava sızdırmazlık*
- *Buhar enfiltrasyon bariyeri*
 - *Duvar/çatı yapım kalitesi*
- h) *Çevresel etkiler*
- i) *Mevcut olma durumu*

2.1.5 Optimum Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı

Uygulanacak ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılması her zaman, yalıtımdan daha iyi sonuçlar elde edileceği manasına gelmemelidir. Isı yalıtımı, her türdeki bina için aynı enerji etkinliğini sağlamaz. Yalıtımın etkinliği ve ekonomik değeri en iyi bir şekilde aşağıda belirtilen maddelerin

fonksiyonu olan *yapım-kullanım ömrü gider analizi (life-cycle cost analysis)* ile belirlenir (Şekil 2.1) [17];

- Bina türü, fonksiyonu, büyüklüğü, şekli ve konstrüksiyonu
- Yalıtılacak olan yapı bileşenleri (çatı, duvar, vs.)
- Binanın bulunduğu bölgedeki lokal iklim şartları
- Kullanılan yalıtım malzemesi türü
- Yalıtım maliyeti (malzeme ve montaj maliyetleri)
- Kullanılan klima sisteminin türü ve verimliliği
- Kullanılan enerjinin türü ve maliyeti (tasarruf edilen enerji miktarı)
- Bakım maliyetleri



Şekil 2.1 Ekonomik kalınlık

2.2 Termodinamiğin Birinci Kanunu

Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin korunumu kanunu olarak da bilinir. Bu kanun, doğal süreçlerde değişik enerji türlerinin toplamının sabit kaldığını vurgular, fakat bu dönüşümlerin yönü ve verimliliği üzerinde herhangi bir kısıt öngörmez. Halbuki gözlemler, değişik enerji türlerinin birbirlerine dönüştürülmesinde verimliliğin farklı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle değişik enerji türlerinin kalitelerinin farklı olduğu söylenebilir [19].

2.3 Termodinamiğin İkinci Kanunu

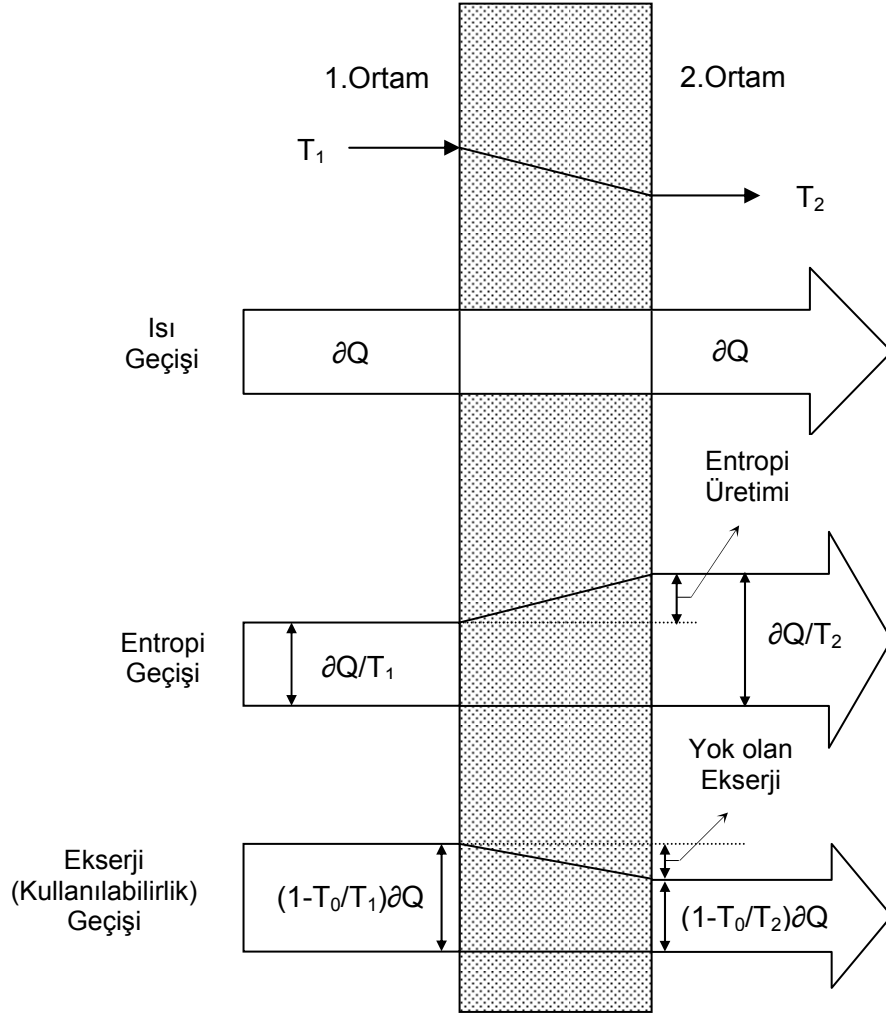
Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin miktarı üzerinde durur ve enerjinin bir biçimden diğerine dönüşümü sırasındaki değişimleri sayısal değerlerle ifade eder. Sayısal değer olarak eşit olan, ancak biçim ve kaynak bakımından farklı enerji türleri arasında ayırım gözetmez. Termodinamiğin ikinci kanunu ise enerjinin miktarının yanında kalitesini de ön plana çıkarır ve bir enerji kaynağının maksimum iş yapabilme potansiyeli üzerinde durur. Termodinamiğin ikinci kanunun ortaya çıkardığı en önemli kavramlar tersinmezlik ve entropidir. Bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma olanağının değerlendirilememesi bu yasanın inceleme alanı içindedir [20].

2.3.1 Tersinmezlikler

Bazı enerji türleri kayıpsız olarak ısıya dönüştürülebilirken, ısı enerjisinin örneğin mekanik enerjiye kayıpsız olarak dönüştürülebilmesi mümkün değildir. Kayıpsız olarak enerji dönüşümü tersinir süreç olarak adlandırılmıştır. 19. yüzyılda Lord Kelvin, Carnot ve Clausius, yaptıkları çalışmalarda, termal (ısı) enerjiyle çalışan makinalarda enerji alış-verişinin termodinamiksel esaslarını ortaya koymuşlardır. Bu esaslar, enerjinin değişik çeşitleri arasındaki dönüşümler sırasında bazı düzensizlikler olduğunu göstermiştir. Enerji dönüşümleri sırasında ortaya çıkan düzensizlikler, termodinamiğin ikinci yasasının temelini oluşturmuştur. Bu yasaya göre enerji dönüşümü sırasında oluşan düzensizliklere tersinmezlik adı verilmiştir. Tersinmezliklere neden olan birçok etken vardır. Bunlar;

- Sonlu sıcaklık farkında ısı transferi (Şekil 2.2)
- Gazların ve sıvıların sonlu basınç farkıyla genişlemesi,
- Kimyasal reaksiyonlar,
- Farklı kimyasal potansiyellere sahip maddelerin karışması,
- Sürtünme,
- Direnç içerisindeki elektrik akımı,

- Elastik olmayan deformasyon, olarak sıralanabilir. Bu etkilerden herhangi birinin olması durumunda süreç tersinmez olur [1].



Şekil 2.2 Sonlu sıcaklık farkında; sıcaklık, ısı, entropi ve ekserji geçişi

2.4 Ekserji Kavramı

Özellikle 1970'li yıllardan sonra, enerjinin verimli kullanımı konusundaki çalışmalar artmış, çeşitli enerji dönüşümlerini içeren süreçlerde verimliliğin artırılmasının yanı sıra, aynı amaçlara yönelik yeni süreçlerin değerlendirilmesi ve mevcut süreçlerle karşılaştırılması da önem kazanmıştır.

1940'lı yıllarda ilk kez ortaya atılan kullanılabilirlik kavramı da değişik enerji kaynakları kullanarak değişik ürünler üreten süreçlerin, enerjinin verimli kullanılması açısından değerlendirilebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılabilirlik kavramına eşdeğer olan ve Rant tarafından ortaya atılan ekserji kavramı ise günümüzde daha yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Rant'a göre ekserji; enerjinin diğer enerji türlerine dönüştürülebilen kısmıdır [19].

Süreçlerin ekserji analizinin temelini oluşturan yaklaşım, ısı, entalpi gibi değişik enerji türlerinin biri faydalı, diğeri faydasız iki kısmı olduğunun kabul edilmesidir. Enerjinin faydalı kısmını ekserji oluşturmaktadır. Enerjinin kullanılmayan kısmı ise anerji olarak adlandırılmaktadır. Ekserji ile anerji arasında;

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (2.3)$$

bağıntısı geçerlidir [1].

2.4.1 Değişik Enerji Türlerinin Ekserjileri

Termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarından yararlanılarak iş, ısı ve entalpi gibi değişik enerji türlerinin ekserjileri hesaplanabilir.

İş, kolayca diğer bir enerji türüne dönüştürülebildiği için işin tamamı ekserjidir.

$$\dot{E}_{x,w} = \dot{W} \quad (2.4)$$

Isı transferinden dolayı meydana gelen ekserji,

$$\dot{E}_{x,q} = \int_A \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \dot{Q}_i dA \quad (2.5)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Eğer uniform sıcaklık dağılımı varsa, ısı transferinden dolayı oluşan ekserji,

$$\dot{E}_{x,Q} = \dot{Q}_i \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (2.6)$$

bağıntısına göre hesaplanır [1].

3. METERYAL ve YÖNTEM

3.1 Binaların Seçim Kriterleri

İnceleme konusu binalar seçilirken, enerji verimliliği konusunda yapılan iyileştirme çalışmalarının sağlıklı bir şekilde başlatılabilmesi, etkin bir şekilde sürdürülebilmesi, yapılacak olan karşılaştırmada doğru sonuçların elde edilebilmesi ve çalışmaların bölgemizde bulunan diğer binalar için uygulamaya yönelik örnek teşkil edebilmesi için, doğru binaların tespit edilmesi büyük önem arz etmiştir. Bu amaca yönelik olarak, inceleme binalarının seçiminde aşağıdaki kriterler belirlenmiştir:

- 1) Bina sahibi veya sorumlu kuruluş, gerçekleştirilmesi düşünülen iyileştirme çalışmalarını uygulamak üzere finansal kaynaklara sahip olmalıdır.
- 2) Karşılaştırması yapılan binalar birçok yönden benzer olmalıdır.
- 3) Yüksek enerji sarfiyatı olmalıdır.
- 4) Proje sahası Erzurum'daki bina grup/türlerini temsil edebilir olmalıdır, bu şekilde uygulanacak tedbirler tekrar edilebilir olacaktır.
- 5) Birçok kişinin görebileceği bir mahal seçilmelidir (merkezi, kolay ulaşılabilir).

Yukarıda belirtilen ölçütleri sağlayan binaların tespit edilebilmesi için okullar, resmi kurum binaları, yapı kooperatifleri, üniversite lojmanları ve özel konutlar gibi birçok bina türü arasında bir inceleme yapılmıştır. Bunun yanında, bazı durumlarda, konut sahipleri kendileri başvurarak bir pilot proje uygulaması talebinde bulunmuşlardır.

Yapılan incelemeler sonucunda, Atatürk Üniversitesi kampusunda bulunan 29 ve 30 No'lu lojman binalarının yukarıda belirtilen kriterleri sağladığı görülmüş ve bu binalar inceleme binaları olarak seçilmiştir.

3.2 Binaların Tasviri

3.2.1 Genel Özellikler

İncelemeye konu olan lojman binaları, Atatürk Üniversitesi Kampüsü'nün kuzeydoğusunda bulunan ve ayrıık nizam olarak inşa edilen aynı tipteki 29. ve 30. Bloklar'dır (Şekil 3.1). 1963 yılında inşa edilen bloklar, bodrum kat dahil beşer kattan oluşmakta olup, kampüste bulunan birçok eski lojman binası ile benzer yapı tekniğine sahiptir.



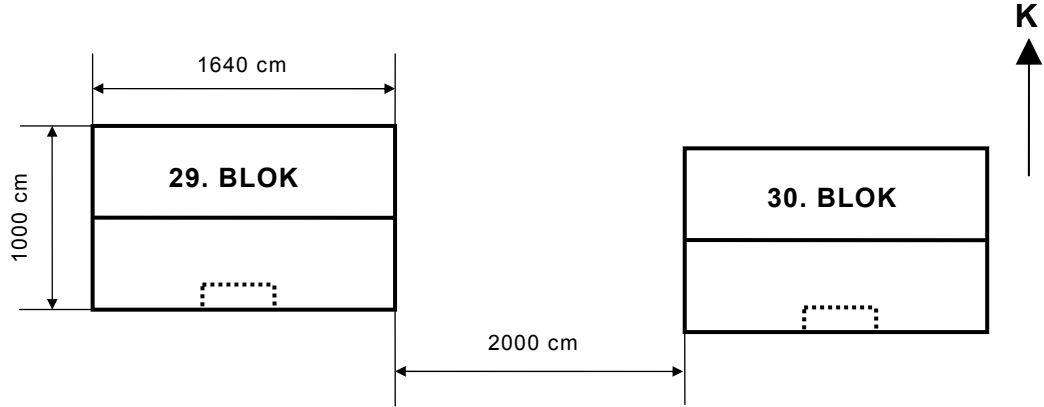
Şekil 3.1 Atatürk Üniversitesi Kampüs Haritası (1-Rektörlük Binası, 17-Lojmanlar, 23-Isı Santrali) [21]

Atatürk Üniversitesi bünyesinde akademik ve idari personelin oturduğu 1033 lojman bulunmaktadır. Bu lojmanların büyüklükleri 40 m² ile 150 m² arasında değişmektedir. Lojman binalarının büyük bir kısmı 1970 yılından önce inşa edilmiş, son yıllarda 49 bloktan oluşan bu eski binalara ihtiyaç doğrultusunda yeni lojman binaları eklenmiştir. Tüm lojman binaları ve diğer

binaların ısı ihtiyacı (ısıtma alanı yaklaşık 550 000 m²) kampüste bulunan ısı santrali tarafından karşılanmaktadır.

İncelemeye konu olan her iki binanın statik ve mimarı projeleri birbirlerinin aynı olup, binalar arasında kot farkı bulunmamaktadır. Binalar buldukları yer itibariyle rüzgara karşı korunaklı bir bölgede ve aynı oranda gölgelenmeye maruzlardır.

Binaların dış ölçüleri 14.5 m x 16.4 m x 10 m (Y x E x D)'dir ve bina girişleri güneye bakmaktadır. Binalar arasındaki mesafe 20 m dir (Şekil 3.2). Binalara komşu olarak 50 m ile 150 m aralıklarla, üniversitenin diğer lojman binaları bulunmaktadır.



Şekil 3.2 Atatürk Üniversitesi 29. ve 30. Bloklarının vaziyet planı

Blokların her birinde, toplam 4 katta bulunan 8 dairenin (her bir dairenin kullanım alanı 67 m²) ve bodrum katlarda bulunan 2 dairenin mimari planları simetriklerdir. Bodrum katlardakiler dahil binalarda bulunan tüm daireler oturma amaçlı kullanılmaktadır. Binaların genel özelliklerine ait bilgiler Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 İncelenen binaların ortak genel özellikleri (her bir bina için)

BİNANIN TANIMI :		ENERJİ ETÜT FORMU 01	
1.	Adresi	Atatürk Üniversitesi Kampüsü, Erzurum	
2.	Bina Tipi	Çok aileli apartman	
3.	İnşa Yılı	1963	
4.	Yapım Türü (Betonarme karkas, Yığma)	Betonarme karkas	
5.	Kat Sayısı (Bodrum dahil)	5	
6.	Toplam Net Kullanım Alanı	761 m ²	
7.	Binadaki Ortalama İnsan Sayısı	40	
8.	Kullanım Amacı (Kamu Binası, Ticari Bina, Konut, vb.)	Konut	
9.	Hafta İçi Kullanım Süresi (Konutlar için 24 saat)	24 saat	
10.	Hafta Sonu Kullanım Süresi (Konutlar için 24 saat)	24 saat	
11.	Yılda Kullanıldığı Gün Sayısı	365 gün	
12.	Bina Yüksekliği	14.5 m	
13.	Kat Yüksekliği	2.9 m	
14.	Taban Alanı	164 m ²	
15.	Tavan Alanı	164 m ²	
16.	Toplam Pencere Alanı	77.51 m ²	
17.	Toplam Dış Duvar Alanı	763.35 m ²	
18.	Toplam Dış Yüzey (kabuk) Alanı	1173.5 m ²	
19.	Isıtılan Hacim	2378 m ³	
20.	Nizam Türü (Bitişik, Ayrık)	Ayrık	
21.	Dış Ortama Bakan Cephe Adedi	4	
22.	Dış Ortama Bakan Cephelerin Yönleri	Kuzey, güney, doğu, batı	
23.	Rüzgâr Durumu	Rüzgâra karşı korunaklı, (K):	Korunaklı
		Rüzgâra maruz, (R):	
24.	Isıtma Sistemi	Merkezi sistem kaloriferli	Bölgesel ısıtma
		Kat kaloriferi	
		Soba	
		Diğer (Belirtiniz)	
25.	Kullanılan Yakıtın Cinsi ve Kalorifik Değeri	Kömür (İthal)	Kalorifer yakıtı (H _u =9700 kcal/kg)
		Kalorifer yakıtı	
		Doğal Gaz	
		Diğer (Belirtiniz)	
26.	Sıcak su temini	Bireysel ısıtıcı	Bireysel ısıtıcı + Merkezi ısıtıcı
		Merkezi ısıtıcı	
27.	Havalandırma	Cebri	Doğal
		Doğal	

Binaların mevcut durumları incelenirken, binalara ait bazı proje ve detay projelere ulaşılamamış (özellikle binaların temel detayları, ısı yalıtım projeleri, kalorifer tesisat projeleri), ancak binalarda yapılan incelemeler neticesinde analizlerde kullanılacak yeterli bilgiler elde edilmiştir. Bu bağlamda binalarda enerji etütleri yapılmış ve elde edilen bilgiler kontrol listelerine (enerji etüt formlarına) doldurulmuştur.

30.Blok'ta gerçekleştirilecek olan ısı rehabilitasyon çalışmalarının net etkilerini tespit edebilmek için mevcut durumda, binaların benzer özelliklere sahip olması gerekmektedir. Her iki binayı da kapsayan enerji etütleri sayesinde, hem bina yapı kabuğu bileşenleri hakkında sağlıklı bilgiler elde edilmiş; hem de mimari ve statik projeleri aynı olan bu binaların mevcut durumda birbirlerine göre ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını farklı kılabilen parametreler;

- Binalara ait projeler ve detay projeler ile binaların gerçek durumları arasındaki farklılıklar.
- Binalardaki ısı yalıtım farklılıkları ve ısı yalıtım malzemelerinin fiziksel durumları arasındaki farklılıklar.
- Yapı bileşenlerindeki bozukluklar ve inşa, montaj ve malzeme farklılıkları.
- Binaların ısıtma sistemleri arasındaki farklılıklar.
- Binalardaki iç ortam sıcaklıkları arasındaki farklılıklar.
- Binaların gölgelenme durumları arasındaki farklılıklar.
- Binaların iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları arasındaki farklılıklar.
- Binalarda enerji verimliliği sağlayarak ısı tüketimini azaltan cihaz ve sistemlerin kullanım durumları.
- Enerji verimliliği konusunda binalarda alınan önlemler arasındaki farklılıklar.
- Lojman sakinlerinin ısı enerjisi tüketimi ve enerji verimliliği konusundaki davranış farklılıkları.

incelenmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucu, binaların birçok bakımdan büyük oranda benzer olduğu ve mevcut durumda binaların ısı tüketim değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle 30. Blok'a uygulanacak olan ısı rehabilitasyonundan sonra, binalar arasında sağlıklı ve hassas bir karşılaştırmanın yapılarak doğru sonuçların elde edilebileceği kanısı netlik kazanmıştır.

Yapılan enerji etütleri ve hesaplamalar aynı zamanda, binaların ısı enerjisi tasarruf potansiyellerinin belirlenebilmesi için temel oluşturmuş, tasarruf edilebilecek noktalar, gerekli önlemlerin listesi ve bu önlemler için gerekli yatırım maliyetleri ile yatırımların geri dönüş sürelerini içeren bir rapor hazırlanmıştır.

3.2.2 Bölgesel Özellikler

Erzurum ili şiddetli karasal "Doğu Anadolu İklimi" bölgesinde yer alır. Erzurum Meteoroloji gözlem merkezinin 42 yıllık gözlem sonuçlarına göre Erzurum'da "yıllık sıcaklık ortalaması" 6°C kadardır. Bu değerin, 35 yıllık ortalamalara göre Kars'ta 4.2 °C olduğu hatırlanırsa, Erzurum-Kars Bölümü'nün gözlem yapılabilen merkezler arasında Türkiye'nin en soğuk bölümü ve Erzurum'un da, Türkiye'nin Kars'tan sonra en soğuk yöresi olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 3.2). Çevrenin sıcaklık rejiminde böyle bir sonucun ortaya çıkması, denizlere uzaklık, karasallık, yükseklik ve şehrin coğrafi konumu gibi nedenlerle ilgilidir [22].

Çizelge 3.2 Türkiye'deki bazı illerin iklim karakteristikleri

	Rakım (m)	Ortalama Derece-Gün Sayısı (°C gün)
Erzurum	1758	4856
Kars	1775	5049
Adana	23	1135

3.2.3 Yapısal Özellikler

Yapı kabuğu, yapının içinde yaşanan mekanları dışardan çepeçevre sararak yapının dış yüzeyini oluşturur. Yapı kabuğunu oluşturan elemanlar;

- Dış duvarlar (dolgu duvarlar, kolon, kiriş, perde beton),
- Kapı ve pencereler,
- Çatılar,
- Toprağa temas eden döşeme veya duvarlar

olmak üzere dört ayrı başlık altında sınıflandırılabilir [23]. İnceleme binalarının bu elemanlarına ait temel özellikler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Yapı bileşenlerine ait temel özellikler (her bir bina için)

		Yapı bileşeni	U-değeri (W/m ² K)	Alan (m ²)
$V_{brüt}$	2378 m ³	Tuğla duvar	1.71	456
		Beton duvar	2.89	221
A_{top}	1173.5 m ²	Taş duvar	1.78	86
		Çatı	0.30	164
$A_{top}/V_{brüt}$	0.493 m ⁻¹	Pencere	2.80	77
		Toprak temaslı döşeme	2.83	164

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (TS 825'e göre hesaplanan) 106.73 kWh/m³ veya 333.97 kWh/m²

3.2.3.1 Dış Duvarlar

İncelemeye konu olan binaların dış duvarları dolu tuğla duvarlar, donatılı duvarlar (kolon, kiriş) ve doğal taş duvarlar olmak üzere 3 çeşit yapı bileşeninden oluşturulmuştur (Çizelge 3.4). Toplam yapı kabuk alanının % 65 'ini oluşturan dış duvarlarda ısı yalıtımı bulunmamaktadır. Dış duvar alanının % 60'ı ise 20 cm kalınlığındaki dolu tuğlalardan (TS 705'e uygun) oluşmaktadır. Tuğla duvarlar, içerden yaklaşık 3 cm kalınlığındaki kireç-çimento harcı ile ve dışardan 3 cm kalınlığındaki çimento harcı ile sıvanmıştır.

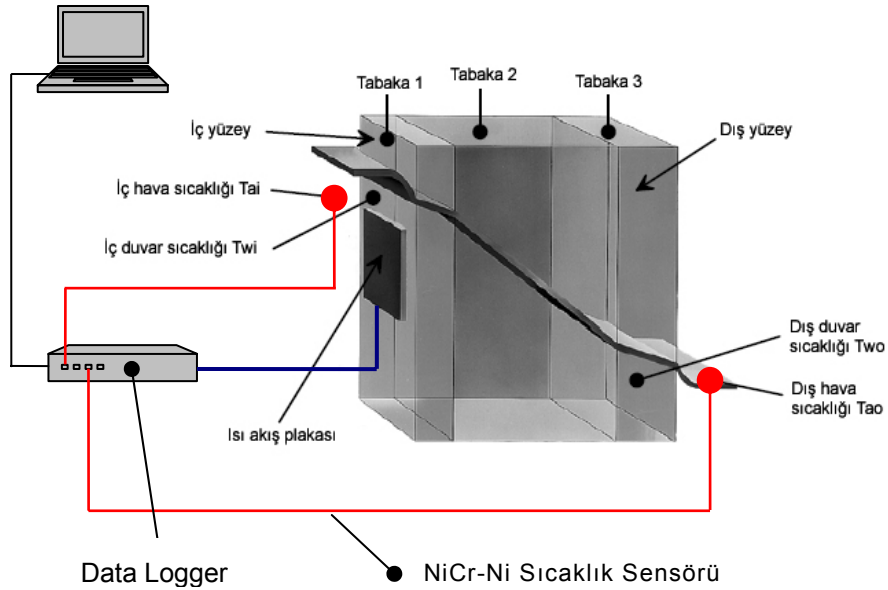
Çizelge 3.4 İncelenen binaların dış duvar özellikleri (her bir bina için)

DIŞ DUVAR:

ENERJİ ETÜT FORMU 02

1.	Toplam Dış Duvar Alanı (m²)	763.35		
2.	Yüzeylerde Yoğuşma Var mı? Nerede ve Ne Şekilde?	Var. Dış duvarların iç yüzeylerinde. Özellikle dış duvar ile tavan birleşim yerlerinde küflenme şeklinde görülmektedir.		
3.	Duvar Bilgileri ve Konstrüksiyonu (Tuğla Duvar) :			
	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	-	Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)	-
	İç Yüzey Sıcaklığı (°C)	-	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	-
	Toplam Tuğla Duvar Alanı (m ²) :		456.4	
	U değeri (W/m²K) (Hesaplanan) :		1.715	
	İç sıva	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Yalıtımsız Yapı Malzemesi (Tuğla, Gazbeton, Bims vb.)	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Dış sıva	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Kireç-çimento harcı	Kalınlık (cm)	3	
	TS 704, TS 705' e uygun dolu tuğla	Kalınlık (cm)	20	
	Çimento harcı	Kalınlık (cm)	3	
4.	Duvar Bilgileri ve Konstrüksiyonu (Taş Duvar) :			
	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	-	Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)	-
	İç Yüzey Sıcaklığı (°C)	-	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	-
	Toplam Taş Duvar Alanı (m ²) :		86.24	
	U değeri (W/m²K) (Hesaplanan) :		1.788	
	İç sıva	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Yalıtımsız Yapı Malzemesi	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Dış sıva	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Kireç-çimento harcı	Kalınlık (cm)	2	
	Doğal Taş	Kalınlık (cm)	60	
	Çimento harcı	Kalınlık (cm)	3	
5.	Duvar Bilgileri ve Konstrüksiyonu (Betonarme, kolon, kiriş vb.) :			
	İç Ortam Sıcaklığı (°C)	-	Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)	-
	İç Yüzey Sıcaklığı (°C)	-	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	-
	Toplam Betonarme Duvar Alanı (m ²) :		220.71	
	U değeri (W/m²K) (Hesaplanan) :		2.898	
	İç sıva	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Yalıtımsız Betonarme	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Dış sıva	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		
	Kireç-çimento harcı	Kalınlık (cm)	3	
	Normal beton (donatılı)	Kalınlık (cm)	25	
	Çimento harcı	Kalınlık (cm)	3	

Bina yapı kabuğunu oluşturan dolu tuğla duvar, taş duvar ve betonarme duvar bileşenlerinin dış havaya maruz kalan kısımlarının (3.1) bağıntısına göre hesaplanan toplam ısı transfer katsayıları sırasıyla; $U_{\text{duvar,tuğla}}=1.71 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{duvar,taş}}=1.78 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $U_{\text{duvar,betonarme}}=2.89 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir (EK A). Yapılan bir ölçüm ile dış duvar bileşenlerinin hesaplanan toplam ısı transfer katsayılarının doğrulukları kontrol edilmiştir. Bunun için bir ısı akış plakası yardımıyla dış duvar bileşenlerinin U değerleri ölçülmüştür. Duvarların U değerlerinin ölçümünde, iç ve dış hava sıcaklıklarını ölçen 2 adet NiCr-Ni termoçift sıcaklık sensörü ve Ahlborn FQ90 tipi 150-2 model bir ısı akış plakası kullanılmıştır. Isı akış plakası U değeri ölçülecek olan duvarların iç yüzeylerine sıkı bir temas sağlayacak şekilde yapıştırılarak bir data logger'a bağlanmıştır. Termoçift sıcaklık sensörleri de iç ve dış hava sıcaklıklarını ölçmek üzere yerleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Isı akış plakasıyla U değeri ölçümü

Boyutları 250 mm X 250 mm X 1.5 mm olan epoksi ısı akış plakası tarafından tespit edilen ısı akış yoğunluğu (q , W/m^2) ve sıcaklık sensörlerince tespit edilen iç ve dış hava sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$), bilgisayarda kurulu olan bir yazılım sayesinde (3.2) bağıntısına göre U değerlerine dönüştürülmüştür.

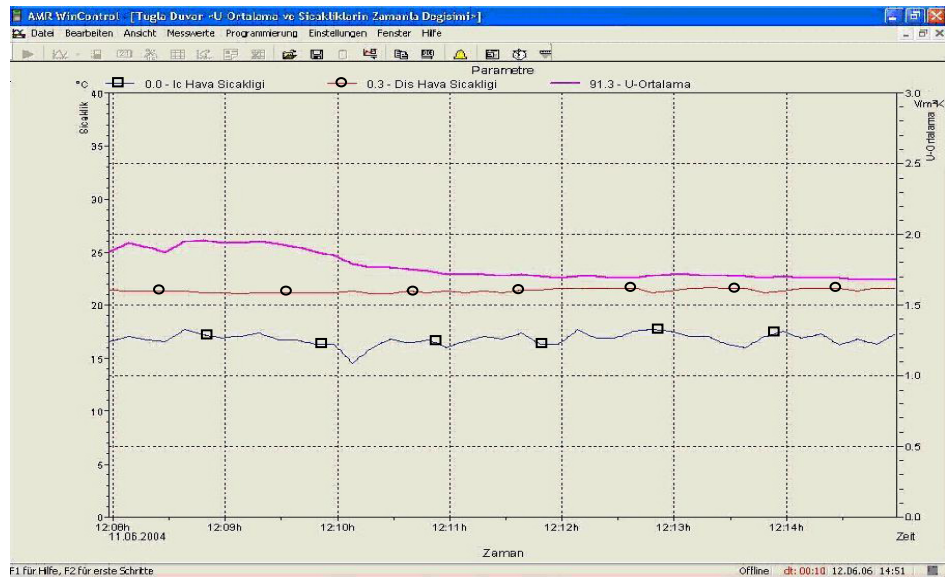
$$U = \frac{1}{1/\alpha_i + 1/\Lambda + 1/\alpha_d} \dots\dots(\text{Hesaplanan}) \quad (3.1)$$

$$U = \frac{q}{T_{ai} - T_{ao}} \dots\dots(\text{Ölçülen}) \quad (3.2)$$

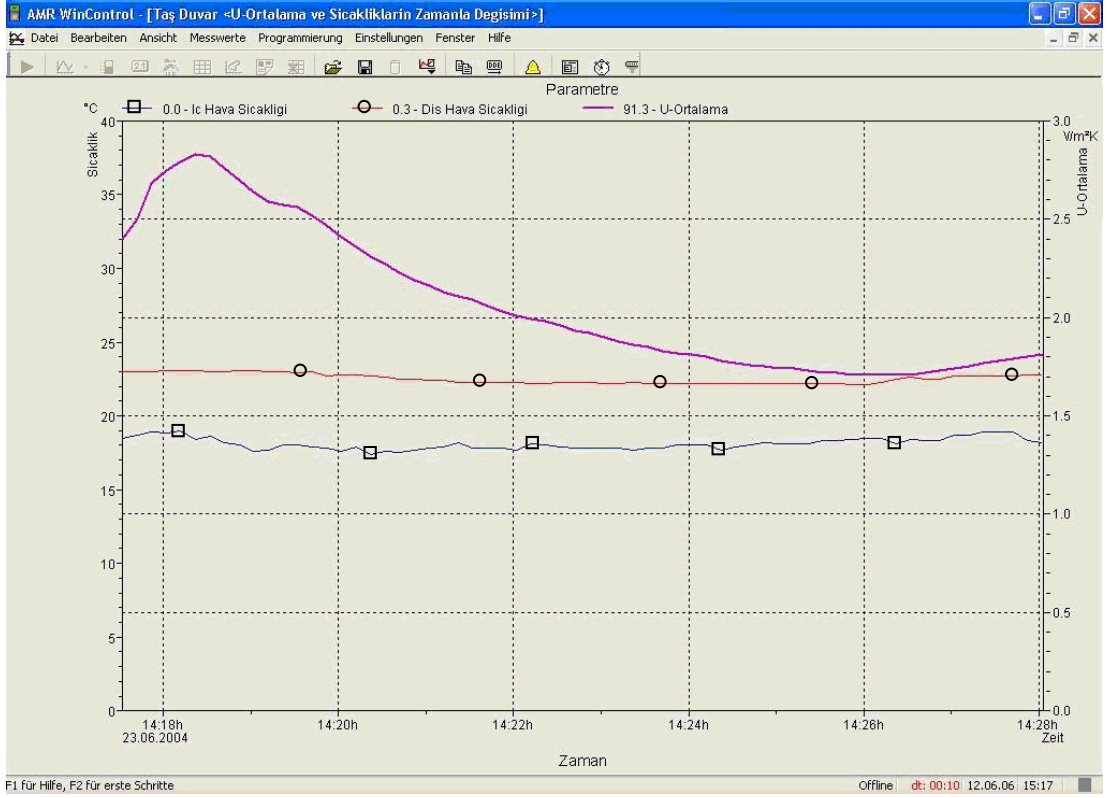
Burada U, duvarın toplam ısı geçiş katsayısı, T_{ai} ve T_{ao} ise sırasıyla iç ve dış hava sıcaklıklarıdır. Ölçümlere, okunan U değerleri kararlı hale gelinceye kadar devam edilmiş (Şekil 3.4, 3.5, 3.6). ve kararlı hale gelen U değerleri hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 U değerlerinin karşılaştırılması

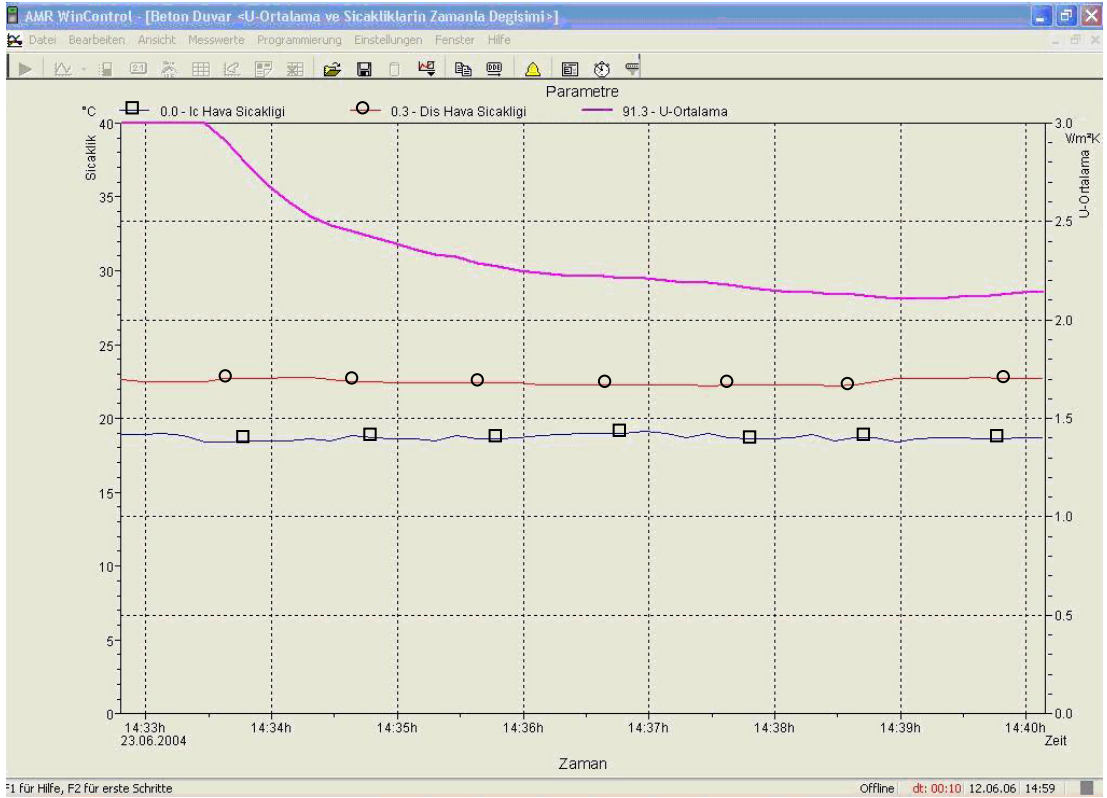
	Hesaplanan U değeri (W/m ² K)	Ölçülen U değeri (W/m ² K)
Tuğla Duvar	1.71	1.68
Taş Duvar	1.78	1.81
Beton Duvar	2.89	2.15



Şekil 3.4 İnceleme binalarında tuğla duvar U değeri ölçüm sonuçları



Şekil 3.5 İnceleme binalarında taş duvar U değeri ölçüm sonuçları



Şekil 3.6 İnceleme binalarında beton duvar U değeri ölçüm sonuçları

3.2.3.2 Çatı

Çatıların ısı performans kriterleri;

- Yağmur, kar, rüzgar ve güneş ışınları gibi doğadaki bütün dış etkilere karşı koymak,
- İç ve dış mekanlar arasındaki ısı farklarının ve farklı genleşme katsayılarına sahip yapı malzemelerinin oluşturduğu genleşmelere esneklik göstererek, oluşabilecek yapı hasarlarını önceden engellemek,
- Nem kontrolünü sağlamak ve nem akışına olanak vermek,
- Yoğuşma sorununa daha doğru çözüm getirmek amacıyla doğru ısı yalıtım detayını uygulamak,
- İçinde bulunan iklim bölgesine göre çığleşmeden oluşabilecek yapı hasarlarını engelleme amacıyla hava boşlukları bırakmak,
- Çatı arası kullanılmayan çatılarda, çatı ve döşeme arasında bırakılan durağan havadan ısı yalıtımı malzemesi olarak yararlanmak

olarak sıralanabilir [23].

İnceleme binalarının çatı özellikleri Çizelge 3.6' de verilmiştir.

3.2.3.3 Taban / Zemin

Döşemeler yapı kabuğunda farklı şekillerde bulunurlar, ancak ısı performans bakımından en önemlileri toprağa temas eden döşemelerdir.

Toprağa temas eden döşeme ve duvarlardaki ısı performans kriterleri;

- Yeterli ısı direnç göstermek,
- Topraktan gelebilecek nemi engellemek,
- Yeraltı ve yağmur sularına karşı direnç göstermek,
- Döşeme altındaki temel duvarından dolayı oluşabilecek ısı köprülerini engellemek,

Çizelge 3.6 İncelenen binaların çatı özellikleri (her bir bina için)

ÇATI:

ENERJİ ETÜT FORMU 03

1. **Tavan / Çatı Kullanım Durumu :**

Teras.....		Teras Alanı (m ²) :	
Çatılı.....	X	Çatı Alanı (m ²) :	164 m ²
Çatı Arası Isıtılıyor.....			
Çatı Arası Isıtılmıyor.....	X		

2. **Yüzeylerde Yoğuşma Var mı? Nerede ve Ne Şekilde? :** Var. Binaların son katlarında bulunan dairelerin tavanlarında, özellikle köşelerde, yoğuşmadan kaynaklanan küflenme görülmektedir.

3. **Sıcaklık Bilgileri :** -

**Tavan / Çatı
Konstrüksiyonu:**

Yalıtımlı	İç sıva	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	Kireç-çimento harcı	Kalınlık (cm) :	2
	Yapı Malzemesi (Betonarme, Asmolen)	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	Normal beton (Donatılı)	Kalınlık (cm) :	12
	İzolasyon	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	Camyünü	Kalınlık (cm) :	12
				U değeri (W/m²K) (Hesaplanan) :	0.303

Genel Değerlendirme ve İlaveler

Evin çatısı metal kaplama ve yenidir. Yalnız Güney ve Kuzey taraflarında yalıtım önlemi olarak yeterli çatı çıkıntıları vardır. Çatının üst kenarlarındaki metal kaplamaların kenarları sıva ile kapatılmıştır. Çatı arasına bir çatı penceresinden girilebilmektedir. Çatı kirişi yaklaşık 90 cm. yüksekliğindedir. Çatı çıkıntılarında havalandırma boşlukları vardır.

Çizelge 3.7 İncelenen binaların taban/zemin özellikleri (her bir bina için)

TABAN / ZEMİN:

ENERJİ ETÜT FORMU 04

1	Taban / Zemin Kullanım Durumu :				
a)	Toprağa Oturan Döşeme	<input checked="" type="checkbox"/>	Alanı (m ²) :	161.3	
b)	Düşük Sıcaklıklı Döşeme	<input type="checkbox"/>	Alanı (m ²) :	
c)	Açık Geçit Üzeri Döşeme	<input type="checkbox"/>	Alanı (m ²) :	

2
Taban / Zemin konstrüksiyonu :

Toprağa oturan döşeme	Döşeme Kaplaması	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	PVC	Kalınlık (cm)	0.3
	Yalıtım Malzemesi	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	-	Kalınlık (cm)	-
	Yapı Malzemesi (Kaplama, şap, betonarme vb.)	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	Çimento harçlı şap	Kalınlık (cm)	5
	"	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	Normal beton (Donatılı)	Kalınlık (cm)	10
	"	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		Kalınlık (cm)	
	"	Malzeme veya Bileşen Çeşidi		Kalınlık (cm)	
	Grobeton	Malzeme veya Bileşen Çeşidi	Normal beton (Donatısız)	Kalınlık (cm)	15
U değeri (W/m²K) (Hesaplanan) :				2.836	

- Derinlere inildikçe toprak sıcaklığının artmasından doğabilecek ısı gerilmelere esneklik göstermek,
 - Uygulanacak yalıtımların bakım ve onarımlarını gerçekleştirebilecek detaya sahip olmak
- olarak sıralanabilir [23].

İnceleme binalarının taban özellikleri Çizelge 3.7' de verilmiştir.

3.2.3.4 Pencereleler

Yapı kabuğunda pencere tasarımı toplam enerji gereksinimi (ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi dahil) göz önünde bulundurulduğunda;

- Uygun kullanım ve kullanıcı koşulları,
- Pencere karakteristiği (doğrama detayları, boyut, vs.) ve yön,
- Hava durumu ve güneş ışınımı gibi çevresel faktörlerden oluşan enerji kayıp ve kazançları,
- Isıtma tesisatı seçimi ve işletmesi,

açısından pencerelerin, binayı ve yapı dış kabuğunu etkilediği görülür.

Pencerelere gerekli özen gösterilmezse yapı kabuğunun ısı performansını düşüreceğinden;

- Isı akışı,
- Hava sirkülasyonu,
- Nem geçişi,
- Yoğuşma kontrolü,
- Yağmur ve kar etkisi,
- Güneş ve diğer ışınımın kontrolü,
- Hava sızması (enfiltrasyon)

gibi olumsuz faktörler ortaya çıkabilir [23].

İnceleme binalarının pencere sistemine ait özellikler Çizelge 3.8' da, pencere boyutları ise Şekil 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 İncelenen binaların pencere sistemi (her bir bina için)

PENCERE SİSTEMİ:

ENERJİ ETÜT FORMU 05

1. Pencere Sisteminin Durumu :

Çerçevenin Malzemesi	(Ahşap, Plastik, Alüminyum vb.)	Plastik
Çerçevenin Tipi	(Tek / Muntabık (İkili Çerçeve))	Tek
Camlama Tipi	(Tek Cam, Çift Cam, Isı Cam, Kaplamalı Cam vb.)	Çift Cam (12 mm boşluklu)
U değeri (W/m²K) :		2.8

2. Pencere Sisteminin Alanı :

	Tip 1	
Doğu	5.56	(m ²)
Batı	5.56	(m ²)
Kuzey	38.64	(m ²)
Güney	27.75	(m ²)
TOPLAM PENCERE ALANI	77.51	(m²)

3. Çerçeve Yüzeylerinde ve Kenarlarında Yoğuşma Var mı?

Nerede ve Ne Şekilde? : Pencere duvarına monte edildiği yerlerde (pencere kasalarında) yoğuşma gözlenmiştir. Yoğuşma, kasalarda paslanmaya sebep olmuştur.

4. Gölgeleme Durumu, $r_{i,ay}$ (Çizelge 1)

Doğu	0.8
Batı	0.8
Kuzey	0.8
Güney	0.6

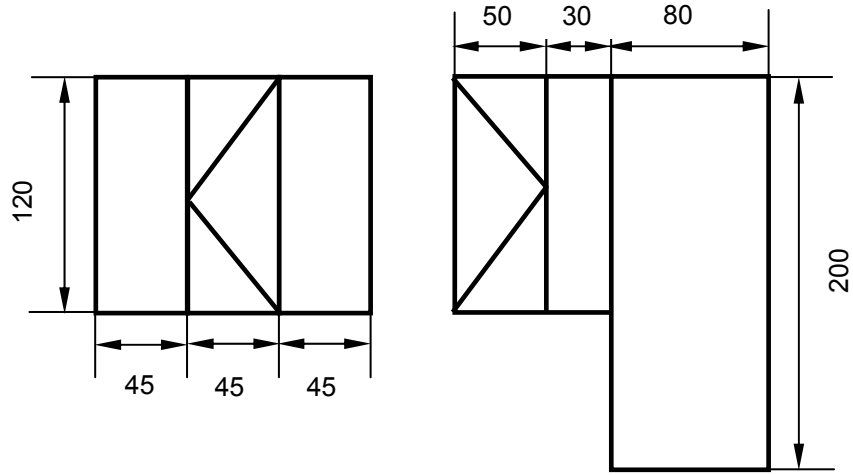
5. Çizelge 1

	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı binaların bulunduğu yönlerde ise	0.8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelemenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde ise	0.6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde ise	0.5

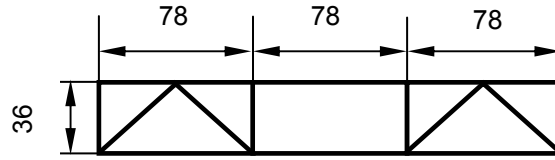
Genel Değerlendirme ve İlaveler

Binanın pencereleri kısa bir süre önce, ahşap doğramalı tek camlı (çift kanatlı) pencerelerden, plastik doğramalı çift camlı pencerelere değiştirilmiştir. Pencere taşıyıcı kasaları yalıtım için yeterli dirence sahip değildir, kasaların çelik oluşu ve yüzey alanlarının büyüklüğü nedeniyle önemli oranda ısı kayıplarının olduğu tahmin edilmektedir.

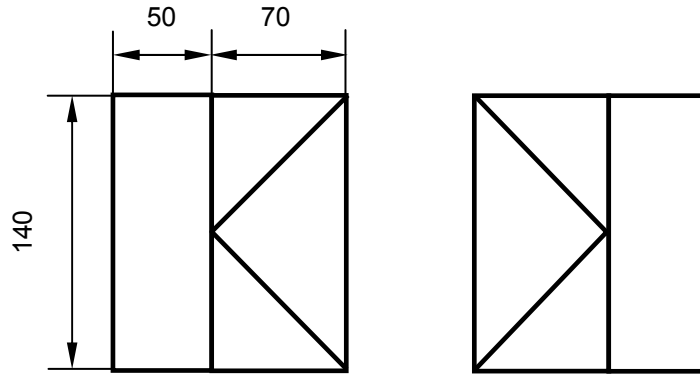
Ayrıca binalardaki bazı pencere sistemlerinde montaj hataları görülmektedir, açılır kanatlar yüzeylere tam oturmamaktadır, bu nedenle pencere sızdırmazlıkları iyi değildir. Evlerin giriş alanları metal çatılı bir çıkıntıda ve çift kanatlı metal çerçeveli bir kapıdan oluşmaktadır. Kapı, çelik ve camdan oluşmakta ve etkili bir hava sızdırmazlığı bulunmamaktadır.



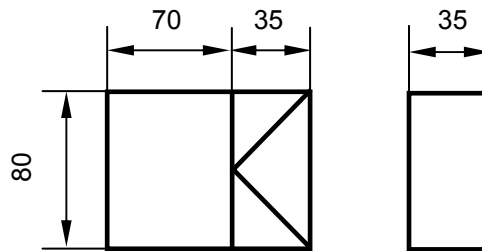
Şekil 3.7 Her bir dairenin güney cephesinde bulunan pencerelerin boyutları



Şekil 3.8 Güney cephesindeki merdiven boşluğundaki pencerelerin boyutları



Şekil 3.9 Her bir dairenin kuzey cephesinde bulunan pencerelerin boyutları



Şekil 3.10 Doğu ve batı cephelerinde bulunan pencerelerin boyutları

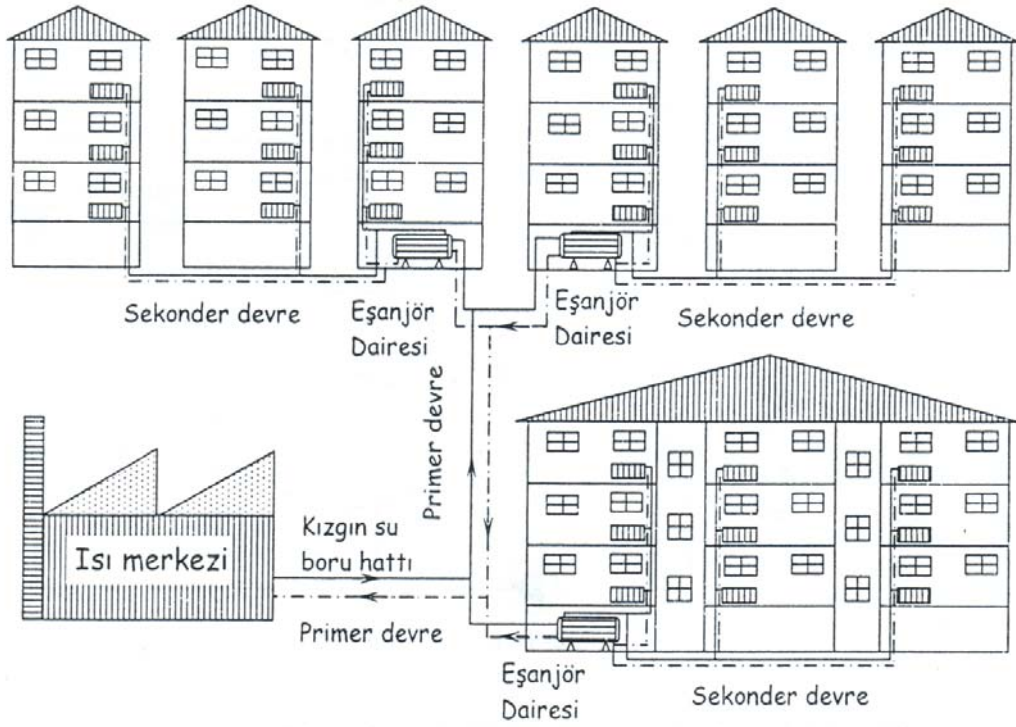
3.2.4 Isıtma Sistemi

3.2.4.1 Atatürk Üniversitesi Isıtma Sistemi

Bölgesel ısıtma sistemleri: Bölgesel ısıtma, bir merkezde üretilen ısının aracı akışkan ve boru şebekesi ile çok geniş bir alan içerisindeki kullanım yerlerine ulaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Bölge ısıtmasının kullanım alanı bir site olduğu gibi mahalle veya bir şehrin tamamı olabilir. Ülkemizde üniversite kampüsleri ve resmi dairelerin lojmanları dışında, diğer ülkelerde uygulandığı gibi bölge ısıtma sistemi yaygın kullanılmamaktadır [1].

Bölge ısıtma sistemi, ısı santrali, eşanjör daireleri ve boru hatlarından oluşmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan olarak su veya buhar kullanılır. Su sıcaklığı, 100°C ye kadar olan sistemler sıcak sulu 110-180°C arasında olanlar ise kızgın sulu sistemler olarak adlandırılır. Atatürk Üniversitesinde olduğu gibi, uzak mesafeli binalara sahip kampüslerde kızgın sulu ısıtma sistemleri tercih edilir [1].

Kızgın sulu merkezi ısıtma sistemi: Bu sistemlerde 180°C' e kadar ısıtılmış kızgın su kullanılır. Isı merkezinde üretilen ısı, kızgın su vasıtasıyla eşanjör dairelerine aktarılır. Binaların ısıtılması genellikle sekonder devredeki 90/70°C su ile sağlanır. Bu sistemlerde iki devre vardır. Birinci devre (primer devre) ısı merkezi ile eşanjörler arasındaki kızgın su devresidir. İkinci devre (sekonder devre) ise eşanjörler ile radyatörler arasındaki devredir (Şekil 3.11) [1].



Şekil 3.11 Kızgın Sulu Merkezi Isıtma Sistemi

Atatürk Üniversitesi merkezi ısı santrali: 1972 yılında kurulmuştur. Santral kızgın su kazanları, yakıt depoları, tamir ve bakım atölyesinden oluşur. Üretilen kızgın su ile kampüs içerisindeki binaların (lojmanlar, fakülteler, hastane ve sosyal tesisler) ısıtma ve sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu amaçla santralde üretilen kızgın su, ana dağıtım hatları ve ana hatlara bağlanan yan hatlar ile kampüs içerisindeki eşanjör dairelerine gönderilir. Santralden 175–150°C sıcaklık ve ortalama 1471 kPa (15 atü) basınçta gönderilen kızgın su, 140–110 °C sıcaklıkta geri dönmektedir. Kızgın suyun basınçlandırılması buhar ile yapılmaktadır.

Santralde eşit kapasiteli (10 000 000 kcal/h) üç adet ve 12 000 000 kcal/h kapasiteli bir adet olmak üzere toplam 4 adet paket tipi, su borulu, ışınımlı kızgın su kazanı bulunmaktadır [1]. Mart 2005'e kadar fuel oil yakılan kazanlarda bu tarihten itibaren doğalgaz kullanımına geçilmiştir.

Kızgın sulu sistemlerde su sıcaklıkları ve basınçları yüksek olduğundan konut ısıtılmasında genellikle dolaylı bağlantı tercih edilir. Yani kazanda üretilen kızgın su ısıtma hacimlerine direkt olarak gönderilmez. Santralden 175–150 °C ve ortalama 1471 kPa (15 atü) basınçta gönderilen kızgın su bir eşanjörden geçirilir ve eşanjörün ikinci devresinden ısıtma için sıcak su (90/70°C) elde edilir. İkinci devre sıcaklık kontrolü motorlu vanalar vasıtası ile yapılır [1].

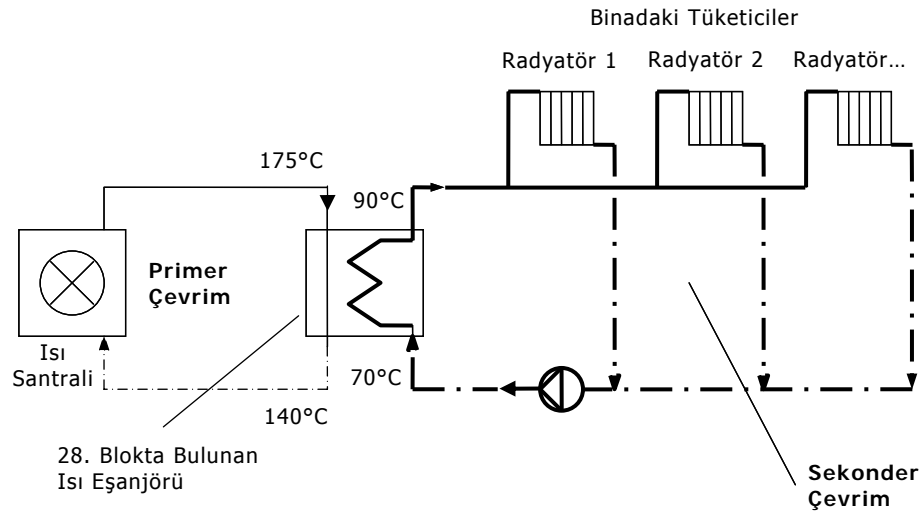
3.2.4.2 Sekonder Çevrim

Her iki lojman binası da 29. Blok'un güneybatısında bulunan 28 numaralı lojmanın bodrum katındaki eşanjör dairesi tarafından ısıtılmaktadır. Üniversite kampüsündeki 53 eşanjör dairesinden biri olan bu eşanjör dairesi aynı zamanda çevresinde bulunan aynı tipteki 5 lojman binasının da ısı ihtiyacını karşılamaktadır.

Tesis, boru demetli toplam 4 eşanjörden oluşmaktadır. Her biri 1 000 000 kcal/h (1.164 kW) kapasiteli 2 eşanjör ısıtma için, diğer ikisi ise (her biri 300 litre kapasiteli) sıcak su üretimi için kullanılmaktadır. Isıtma amaçlı kullanılan eşanjörlerden biri yedektir. Tesiste ayrıca ısının toplam 7 binaya dağıtımı için dağıtım hatları mevcuttur.

Eşanjör dairesi ilk bakışta çok eski bir tesis izlenimi vermektedir. Tesiste bulunan vanaların bir kısmı çok zor çalıştırılabilmektedir. Hem boru hatlarında ve vanalarda, hem de eşanjörlerin kendisinde birçok yerde ya hiç yalıtım bulunmamakta ya da mevcut ısı yalıtımı hasar görmüş durumdadır. Tesis çalıştırıldığında yaklaşık 134 m² alana sahip bodrumdaki sıcaklık çok yükselmekte ve kışın iç ortam sıcaklığını dayanılabilir bir seviyeye indirebilmek için pencerelerin açılması gerekmektedir. Göze çarpan diğer bir husus da tesisatın bazı yerlerinde su sızıntılarının bulunmasıdır.

1972 yılında, binaların ısıtma sistemi merkezi ısıtmadan bölgesel ısıtmaya değiştirilmiştir. Binada bulunan üç büyük baca o zamandan beri dairelerde kullanılan ilave sıcak su ısıtıcıları ve gaz sobalarının atık gazlarını uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Bacaların yerleşimi bölgesel ısıtmaya geçilmeden önceki orijinal ısıtma metoduna dayanmaktadır ve kapasiteleri daha yüksek bir gaz yüküne göre tasarlanmıştır [24].



Şekil 3.12 Isıtma çevrimleri şeması

Lojman binalarına gidecek ısının iletiildiği sekonder çevrimde radyatörlere giden suyun gidiş sıcaklığı 90°C, dönüş sıcaklığı ise 70°C civarındadır (Şekil 3.12). Sekonder çevrimdeki suyun gidiş sıcaklığı ısı santralinden otomatik olarak kontrol edilmektedir. Sekonder çevrim ısıtma sistemi, çoğu zaman maksimum ısı verecek şekilde ayarlanmaktadır. Oda havasına ısı transferi, üzerinde el vanaları olan kolonlu tip çelik radyatörler ile gerçekleşmektedir. 29. ve 30. Blokların her biri için radyatörlerin kurulu ısı gücü 96 kW ' dır.

3.2.5 İç Ortam Sıcaklıkları

İç hacimlerin konfor durumunun belirlenmesinde iç ortamdaki;

- Hava sıcaklığı,
- Bağıl nem,
- Hava hızı,
- Malzemelerin ısı depo etme yeteneği (ısı kütlesi),
- Yüzey sıcaklıkları

etkili olmaktadır.

İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması hava akımlarını arttıracığından, iç ortam sıcaklığı normal düzeyde olsa bile konforsuzluk ortaya çıkarabilir. İnsanların içinde buldukları hacimlerin iç hava sıcaklıkları yeterli düzeyde olsa bile o hacmi çevreleyen duvar, döşeme ve tavan gibi yapı elemanlarının ortalama yüzey sıcaklıkları soğuk veya sıcaksa vücut doğrudan radyasyonla ısı kaybederek veya kazanarak soğuk ya da sıcak hisseder. Duvar iç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığından uzaklaşmasının en önemli sebebi duvarların yalıtımsız oluşudur. Konforlu bir mekanda iç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark 3°C'den fazla olmamalıdır. Çeşitli konfor durumları için iç ortam sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki Çizelge 3.9.'de görülmektedir [23].

Çizelge 3.9 İç yüzey ile ortam sıcaklıkları arasındaki farkın ısı konforu ile ilişkisi

$T_{iç} - T_{iç yüzey}$	Konfor Durumu
2	Çok konforlu
3	Konforlu
4	Az konforlu
6	Konforsuz
8,5	Soğuk
>8,5	Çok soğuk

İç yüzey ile ortam sıcaklığı arasındaki fark konfor standartlarına yakınsa mekanın her noktasında homojen bir sıcaklık elde edilir. Konfor şartları aynı zamanda kullanıcıyı tanımlayan eylem türü ve giysilerin ısı direnci gibi niteliklere de bağlıdır.

Konfor ortamını sağlamada, odanın sıcaklık, nem ve hava hızı için;

Mekan Sıcaklığı : 20~22°C

İç Yüzey Sıcaklığı : 17~19°C

Döşeme Sıcaklığı : 18~20°C

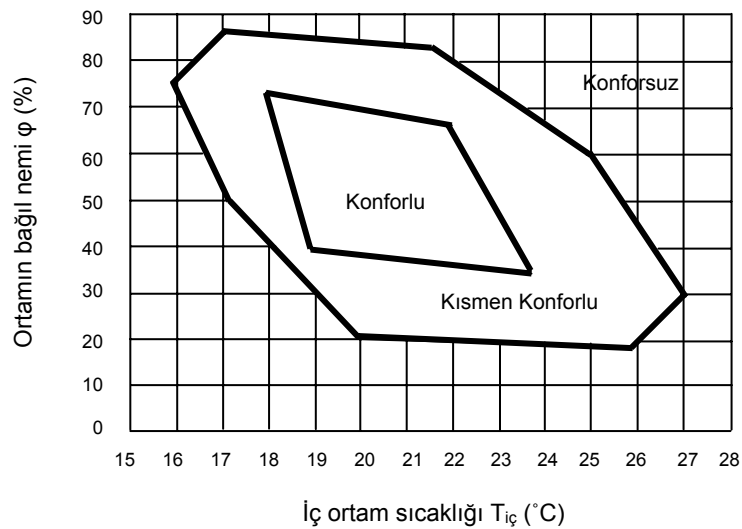
Tavan döşemesi sıcaklığı : 18~20°C

Düşeyde sıcaklık farkı : < 3°C

Nem : 35~70%

Hava hızı : < 0.25 m/sn,

değerleri verilmektedir. Isı, tanımı gereği yüksek sıcaklıklı ortamdaki düşük sıcaklıklı ortama enerji aktarımıdır. Sıcaklık ise ortamdaki moleküllerin ortalama kinetik enerjileri ile orantılı bir kavramdır. Kış mevsiminde %30 ile %70'lik bir bağıl nem normal bir ortam sıcaklığı için konfor hissini verebilmektedir (Şekil 3.13). [23].



Şekil 3.13 İç ortamdaki sıcaklık ve bağıl nem ile konfor şartları arasındaki ilişki

Her iki binada da yapılan sıcaklık ölçümlerinde iç ortam sıcaklıklarının, kışın soğuk günlerinde bile 28-30°C'lere çıkabildiği görülmüştür. Radyatörlerin kurulu ısı güçleri gereğinden büyüktür. Özellikle küçük hacimli mekânlarda görülen yüksek ortam sıcaklıkları, radyatörlerde sıcaklık ayarlı termostatik vanaların olmaması nedeniyle büyük oranlarda pencerelerin açılması ile giderilmektedir. Bu durum binaların yıllık ısı tüketim değerlerini önemli ölçüde artırmaktadır.

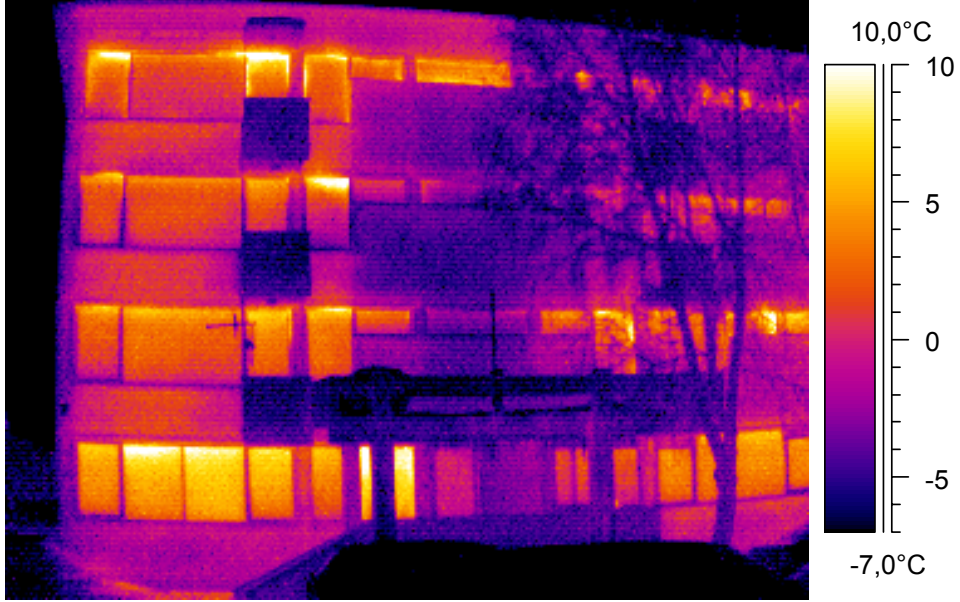
Dış duvarlarda ısı yalıtımının bulunmaması, duvar iç yüzey sıcaklıklarının ortam sıcaklıklarından 4 ile 8°C arasında düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu durum, binalarda yaşayanlara konforsuzluk hissi vermektedir.

Binalarda yapılan incelemelerde ayrıca, bazı dairelerdeki radyatörlerin perde, mobilya vs. tarafından örtüldüğü, bazı dairelerdeki radyatörlerin üzerlerinde ise dekorasyon amaçlı mermer levhaların bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum, ısı kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca dairelerin hiç birisinde radyatör arkalarına konan ve ısı kayıplarını azaltan yalıtım levhalarının bulunmadığı tespit edilmiştir.

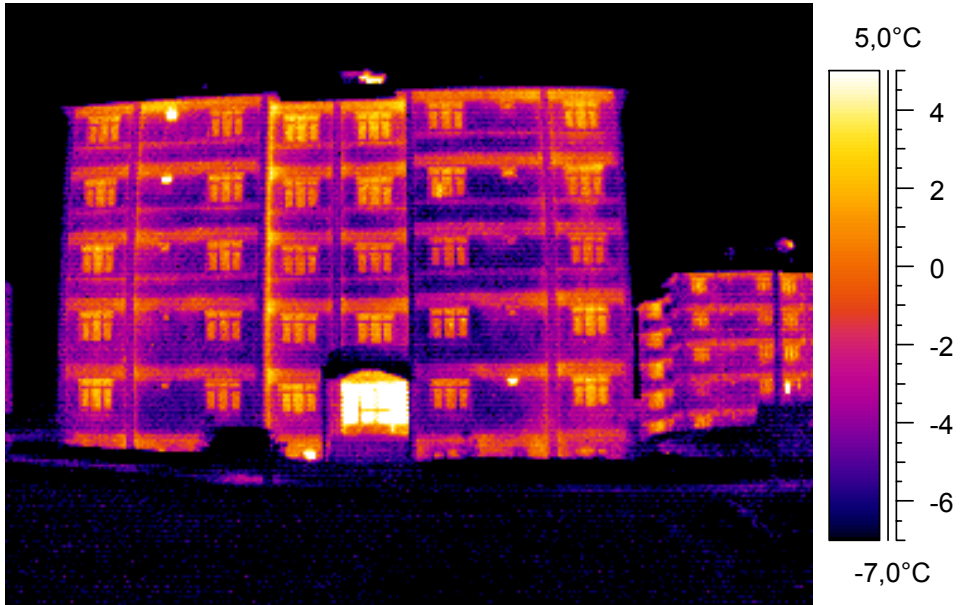
3.3 İnceleme Binalarının Mevcut Durumlarının Değerlendirilmesi

Yapılan ön enerji etütleri ve hesaplamalar neticesinde, inceleme konusu binaların mevcut durumdaki ısı tüketim değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek enerji tüketiminin başlıca sebebi dış duvarların yalıtımsız olmasıdır. Atatürk Üniversitesinde bulunan eski lojman binalarının dış duvarlarının genelinde ya hiç ısı yalıtımı bulunmamakta ya da mevcut ısı yalıtımı yetersiz olmaktadır. Yeni lojman binalarının dış duvarlarında ise daha iyi bir ısı yalıtımı mevcuttur. Bu durum çekilen termografik görüntülerde açıkça görülmektedir. Yetersiz ısı yalıtımlı duvarlar ve yüksek U değerli pencereler nedeniyle eski binalardaki yüzey sıcaklıklarının, yeni

binalardakine göre daha yüksek olduğu gör÷lmektedir. Bu durum eski binalarda pencere ve duvarlardan olan ısı kayıplarının daha fazla olduğu şeklinde yorumlanabilir (Şekil 3.14, 3.15).



Şekil 3.14 Kampüste bulunan eski lojman binalarından 4.Blok'a ait termografik görüntü

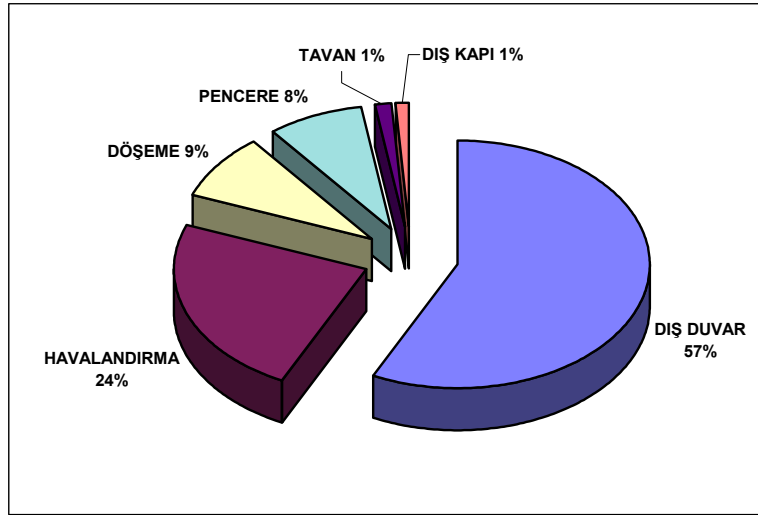


Şekil 3.15 Kampüste bulunan 130 m²'lik yeni bir lojman binasına ait termografik görüntü

Bina kabuk alanlarının %65'ini oluşturan dış duvarların U değerleri, tavsiye edilen sınır değerlerden oldukça büyüktür (Çizelge 3.10) ve ısı kayıplarının %57'si bu yapı elemanlarından gerçekleşmektedir (Şekil 3.16). Bu yüzden en büyük enerji tasarrufu dış duvarların yalıtılmasıyla elde edilecektir.

Çizelge 3.10 İnceleme binalarında hesaplanan U değerlerinin TS 825'e göre tavsiye edilen U değerleriyle karşılaştırılması

	İnceleme Konusu Binalar (Mevcut Durum)	Türkiye
		IV. Bölge
Dış Duvarlar	1.71 (Tuğla Duvar), 1.78 (Beton Duvar), 2.89 (Taş Duvar)	0.40
Tavan	0.30	0.25
Döşeme	2.83	0.40
Pencereler	2.80	2.80



Şekil 3.16 İnceleme binalarının yapı bileşenlerinde meydana gelen ısı kayıplarının dağılımı

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre binaların yıllık ısı enerjisi ihtiyaçları, binaların ısı kaybeden toplam yüzey alanlarının

binaların brüt hacimlerine oranına ($A_{top}/V_{brüt}$) göre sınırlandırılmaktadır (Çizelge 3.11). Buna göre, mevcut durumda inceleme binalarında;

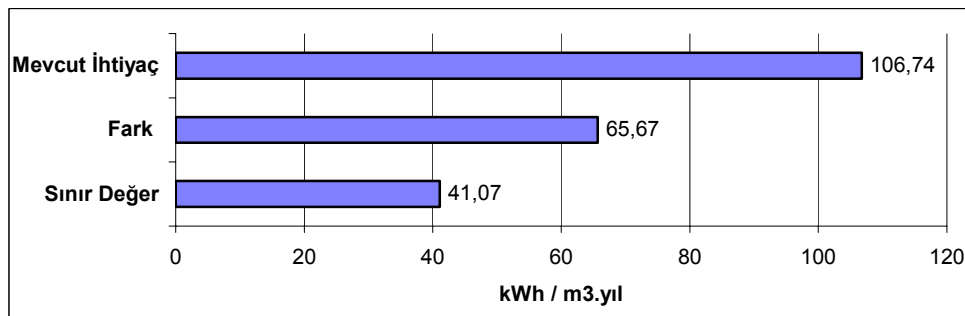
$A_{top}/V_{brüt} = 0.491 \text{ m}^{-1}$ iken, bu orana göre olması gereken birim hacim başına maksimum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:

$$Q' = 41.07 \text{ kWh/m}^3$$

olmak zorundadır¹. Ancak mevcut durumda, binaların birim hacim başına yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları $Q = 106.74 \text{ kWh/m}^3$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.17). Binaların aylara göre ısı kayıpları, ısı kazançları ve ısıtma enerjisi ihtiyaçları Şekil 3.18'te verilmiştir.

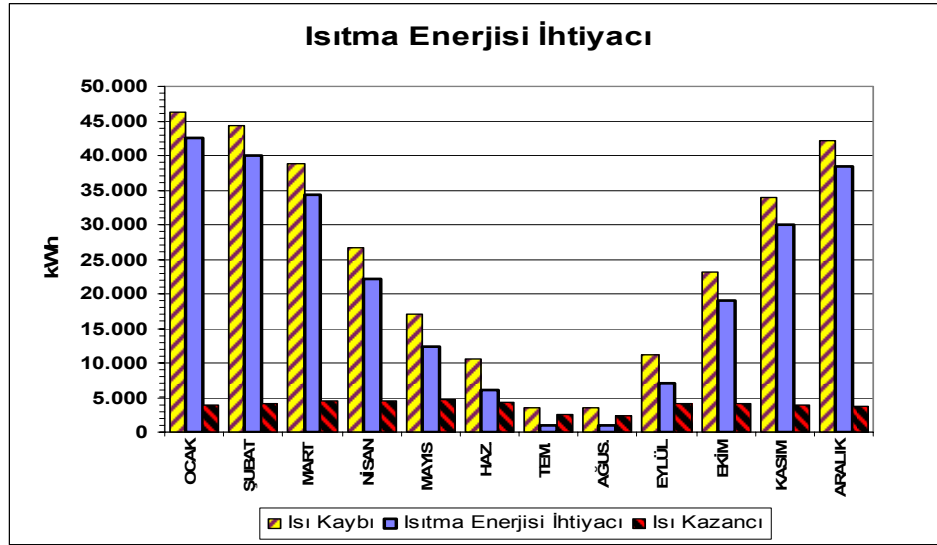
Çizelge 3.11 Bölgelere göre $A_{top}/V_{brüt}$ oranlarına bağlı olarak gereken Q' 'nin hesaplanması [25]

1. Bölge	A_N ile ilişkili $Q' =$	46,62	$A/V +$	17,38	[kWh/m ²]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q' =$	14,92	$A/V +$	5,56	[kWh/m ³]
2. Bölge	A_N ile ilişkili $Q' =$	68,59	$A/V +$	32,30	[kWh/m ²]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q' =$	21,95	$A/V +$	10,34	[kWh/m ³]
3. Bölge	A_N ile ilişkili $Q' =$	67,29	$A/V +$	50,16	[kWh/m ²]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q' =$	21,74	$A/V +$	16,05	[kWh/m ³]
4. Bölge	A_N ile ilişkili $Q' =$	82,81	$A/V +$	87,70	[kWh/m ²]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q' =$	26,5	$A/V +$	28,06	[kWh/m ³]



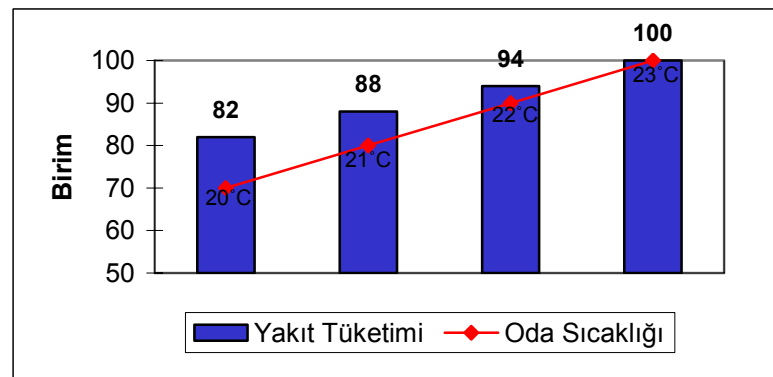
Şekil 3.17 İnceleme binalarının TS 825'e göre birim hacim başına yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

¹ Söz konusu binalar Türkiye 4. İklim Bölgesinde bulunduğu ve kat yükseklikleri 2.6 m'den büyük olduğu için Q' 'nin hesaplanmasında Çizelge 3.9'un son satırında bulunan ifade kullanılmıştır.



Şekil 3.18 İnceleme binalarının TS 825'e göre hesaplanan aylık ısı kayıpları, ısı kazançları ve aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçları

Isıtma tesisatının sekonder devresi, binalardaki radyatörlere maksimum düzeyde ısı verecek şekilde çalışmakta, sekonder devreden binalara gönderilen tesisat suyunun sıcaklığı iç ve/veya dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak ayarlanmamaktadır. Bu durum, binalardaki kurulu radyatör güçlerinin gerektiğinden fazla olması ve radyatörlerde sıcaklığa duyarlı termostatik radyatör vanalarının bulunmayışı ile birleşerek, hacim sıcaklıklarının konfor sıcaklıklarının üzerine çıkması ve yakıt tüketiminde artışa sebep olmaktadır. Oda sıcaklığını 1°C arttırmak için yaklaşık %6 oranında daha fazla yakıt gerekmektedir (Şekil 3.19) [26].



Şekil 3.19 Oda sıcaklıklarının yakıt tüketimine etkisi

3.4 Enerji Tasarruf Potansiyelleri

İnceleme konusu binalarında yapılan enerji etütleri ve hesaplamalar neticesinde binalardaki enerji tasarruf potansiyelleri ve gerekli önlem önerileri aşağıdaki şekilde sunulmuştur [27]:

Erz-UNI-01 – Dış duvarları yalıtımla kaplama

Mevcut durum: Dış duvarlar içten ve dıştan sıva ile kaplı tuğladan örülmüş duvarlardır. Yalıtım mevcut değildir. Dolayısıyla yüksek ısı kayıpları oluşmaktadır.

Erz-UNI-02 – Termostatik vanalar

Mevcut Durum: Evlerdeki radyatörler oda sıcaklığına göre kontrol edilmemekte, üzerlerinde yalnız el vanaları bulunmaktadır. İstenen oda sıcaklığına ulaşıldığında odaya verilen enerji azaltılamamaktadır.

Erz-UNI-03 – Üç yollu vana ve ayar motoru

Mevcut Durum: Isıtma sisteminin gidiş sıcaklığı 90°C ye sabitlenmiştir. Binada verilen ısı başlıca radyatörlerdeki akış miktarının değiştirilmesiyle (el vanaları ile) düzenlenmektedir. Bir hat üzerinde bulunan radyatörlerin etkileşimi ile dağıtım problemleri ortaya çıkmakta bu da bina içinde ısıtmanın eşit dağılamamasına neden olmaktadır.

Erz-UNI-04 – Bacaları birleştirme, yalıtma ve fazla olanı kapatma

Mevcut Durum: Bina ısı bacası kanallarından dışarı kaçmaktadır. Bacaların yerleşimi bölgesel ısıtmaya geçilmeden önceki orijinal ısıtma metoduna dayanmaktadır.

Erz-UNI-05 a) – Tesisatın ve boru hatlarının yalıtılması

Mevcut Durum: Bodrumdaki ısı eşanjörü ve ısı iletim boruları (Bölgesel Isıtma hatlarının boruları) kısmen yalıtımsız veya kısmen yalıtımları bozulmuş haldedir. Bu nedenle bodrumdaki sıcaklık çok yükselmektedir.

Erz-UNI-05 b) – Isıtma borularının yalıtımı

Mevcut Durum: Bodrumdaki ısıtma boruları kısmen yalıtımsız, kısmen ise yalıtımları bozulmuştur. Bu da bodrumun çok fazla ısınmasına neden olmaktadır.

Erz-UNI-06 – Bölgesel ısıtma ısı transfer ünitesi odasından alınan sıcak havanın merdiven boşluğuna verilmesi

Mevcut Durum: Bölgesel ısıtma ısı transfer ünitesinin atık ısı ısıtma periyodu boyunca, kullanılmadan pencereden dışarı atılmaktadır.

Diğer tasarruf potansiyelleri

Erz-UNI-A - Pencereler

Tavsiye: Lastik contalar düzenli olarak test edilmeli ve bakımları yapılmalıdır. Pencerelerin yenilenmesi durumunda, montajda çelik çerçeve kullanımının önlenmesine dikkat edilmelidir.

Erz-UNI-B – Giriş kapısının değiştirilmesi veya yalıtılması

Tavsiye: Çelik kapı yüksek ısı kaybına neden olmaktadır. Enerji açısından uygun olmayan camlama ile ısı kayıpları daha da artmıştır. İki parçalı kanatlı kapı uygulaması, aralardan hava akımının yüksek olmasına yol açmaktadır.

Erz-UNI-C –En Üst kat tavanındaki yalıtım kalınlığının 20 cm ye çıkarılması

Yukarıda anlatılan enerji tasarrufu potansiyellerinden Erz-UNİ–01 ile Erz-UNİ–04 arası önlemler ve karşılığında elde edilebilecek tasarruflar üç binanın hepsi için geçerlidir (28, 29 ve 30. Bloklar). Erz-UNİ–05 kısmi olarak bütün binalar için uygulanabilir, Erz-UNİ–06 yalnız 28 nolu bina için geçerlidir. Diğer tavsiyelerin hepsi tüm binalar için geçerlidir.

Söz konusu önlemler bazen birbirlerine ters yönde etki yapabilir ve bu durumda toplam değerde azalma olabilir.

3.5 Gerçekleştirilen Isı Rehabilitasyon Çalışmaları

Yukarıda belirtilen önerilerden birçoğu, direkt olarak inceleme konusu binaların ısı ihtiyaçlarını azaltmaya yönelik önlem önerileri olmakla birlikte bunun dışında bazı öneriler (ısıtma tesisatındaki boru ve eşanjörlerin yalıtılması gibi), ısıtma tesisatındaki kayıpları azaltmayı hedefleyen öneriler niteliğindedir.

Çizelge 3.12 Gerçekleştirilen ısı rehabilitasyon çalışmaları

	Mevcut Durum	Önem / İyileştirme²	Uygulama
Erz-UNI-01	Yalıtımsız dış duvarlar	8 cm dış duvar yalıtımı	Gerçekleştirildi
Erz-UNI-02	Radyatörler el vanalarıyla kontrol ediliyor	Her radyatöre termostatik vana takılması	Gerçekleştirildi
Erz-UNI-03	İkincil çevrimdeki ısı miktarı ayarlanmıyor	Isıtma çevrimine ayar kumandalı üç yollu karıştırıcı vana takılması	Gerçekleştirildi
Erz-UNI-04	Üç baca kullanılıyor	Atık gazları bir araya toplayarak, kullanılan baca sayısının azaltılması	Gerçekleştirilmedi
Erz-UNI-A	Pencereler yapısal olarak kötü durumda	Pencere sızdırmazlıklarının düzenli kontrolü	Gerçekleştirilmedi
Erz-UNI-B	Giriş kapısı metal ve iki kanatlı	Kapı kanatlarından birisinin sabitlenmesi, yeni kapı veya mevcut kapının yalıtımı	Gerçekleştirilmedi
Erz-UNI-C	Çatı çıkıntılarının alt taraflarında havalandırma delikleri var	Deliklerin mümkün olduğu kadar kapatılması	Gerçekleştirilmedi

Yapılan ön enerji etütleri, hesaplamalar ve hazırlanan raporlar doğrultusunda binaların mevcut durumdaki ısı ihtiyaçlarını önemli ölçüde azaltacak olan iyileştirme önerilerinden bazıları 30 no'lu lojman binasına uygulanmıştır (Çizelge 3.12). İyileştirme önlemlerinin uygulanmasından sonra bodrumları konut olarak kullanılan 29 ve 30 no'lu binaların enerji tüketimlerinin izlenmesi gereklidir. 30 no'lu bina rehabilite edilirken 29 no'lu bina rehabilite edilmeyecek ve referans olarak alınacak. Enerji verimliliği önlemlerinin etkileri ölçümlerle belgelenecek ve referans bina ile karşılaştırılacaktır.

² Erz-UNI-02 no'lu önlem 29. bloktaki tüm dairelere de uygulanmıştır.

3.5.1 Dış Duvarların Yalıtımı

Binaların dış duvarlarının yalıtılmasında genel olarak;

- 1) Duvarların dış yüzüne yalıtım uygulaması
- 2) Duvarların iç yüzünde yalıtım uygulaması
- 3) İki duvar arasında yalıtım uygulaması

şeklinde 3 çeşit uygulama yöntemi kullanılmaktadır.

3.5.1.1 Duvarların Dış Yüzüne Yalıtım Uygulaması

Yapı fiziği bakımından ısı yalıtımının dış tarafa gelmesi en uygun ısı yalıtım yöntemidir. Bu yöntem sayesinde, hem duvar elemanlarının oluşturdukları yüzeyler; hem de kolon, kiriş lento, perde duvar gibi betonarme yüzeyler yalıtılarak ısı köprüleri ortadan kaldırılmakta ve yalıtımdan en etkin sonuç alınmaktadır. Bu yöntemin diğer bir avantajı da, iç ortamlardaki su buharının yoğuşarak yüzeyde veya iç katmanlarda oluşturduğu yoğuma problemini ortadan kaldırmasıdır. Bu uygulama yöntemi, havalandırılmalı sistem ve mantolama sistemi olarak 2 gruba ayırmak mümkündür.

3.5.1.1.1 Havalandırılmalı Sistem

Bu sistemde yalıtım levhaları duvar dış yüzeyine monte edilerek, bir taşıyıcı sistem üzerine kaplama malzemesi döşenir. Isı yalıtım levhaları ile kaplama malzemesi arasında en 5 cm boşluk bırakılmasına dikkat edilmelidir [28].

3.5.1.1.2 Mantolama Sistemi

Dış duvarların ısı direncini yükseltmek için duvar ve taşıyıcı sistemde yoğuşmanın önlenmesi veya kontrol altına alınması için A1, A2 veya B1 yanıcılık sınıfına uygun ısı yalıtım levhalarının bir sistem bileşeni olarak, sisteme tariflenmiş uygun malzemeler ile (Isı yalıtım levhası, file, yapıştırıcısı, sıvası, alkali dayanımlı sıva filesi, çeşitli profiller, gerekli ise uygun mekanik sabitleştiriciler ve boya, kaplama malzemeleri ile birlikte) binaların dış cephelerinde gerçekleştirilen yalıtım uygulamalarıdır [29]. Bu uygulamada genellikle;

A) *EPS ısı yalıtım levhaları*: TS 7316 EN 13163 standardına göre TSE belgeli ve TS 825'e uygun kalınlıkta, yoğunluğu en az 15 kg/m^3 , kapalı ortamda boyutsal kararlılığı oluşuncaya dek blok halinde dinlendirilmiş, yanma sınıfı B1 olan genleştirilmiş (ekspande) polistiren köpük levhalar [29].

B) *XPS ısı yalıtım levhaları*

C) *Taşyünü ısı yalıtım levhaları*: TS 825'e uygun kalınlıkta ve TS 901-1 EN 13162 standardına göre TSE belgeli, yoğunluğu 150 kg/m^3 ve üzerinde olan, üretici tarafından sıva altı uygulamaları için özel üretilen ve taşyünü levhalar veya en az 90 kg/m^3 yoğunluklu ve üretici tarafından özel üretilen lamel taşyünü kullanılır [29].

3.5.1.2 Duvarların İç Yüzünde Yalıtım Uygulaması

Dış cepheye ısı yalıtım uygulamalarının gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda ısı yalıtımı içten uygulanabilir. İçten uygulamalarda; ısı köprülerine karşı önlem alınmalı ve yoğuşma analizi yapılmalıdır.

3.5.1.3 İki Duvar Arasında Yalıtım Uygulaması

Sandviç duvar uygulamaları, boşluklu ve boşluksuz olarak iki şekilde uygulanabilir. Boşluklu sandviç duvar uygulamalarında ısı yalıtım levhaları iç tarafta bulunan duvar yüzeyine tespit edilir. Boşluk dış duvar ile levha arasında bırakılmalıdır. Boşluksuz sandviç duvar uygulamalarında ısı yalıtım levhaları dış duvarın içe bakan yüzeyine yapıştırıldıktan sonra, iç duvar boşluk bırakılmayacak şekilde örülür. Sandviç duvar yalıtım uygulamalarında iki duvar elemanı yatayda ve düşeyde 50 cm. 'lik aralıklarla birbirine özel elemanlarla bağlanmalıdır [29].

3.5.1.4 30.Blok Dış Duvar Isı Yalıtım Uygulaması

2004-2005 kış sezonu başlamadan önce 30 no'lu lojman binasının toplam 700 m² olan dış havaya açık duvarları 8 cm kalınlığındaki ekspande polistiren (EPS) ile ($\rho=16 \text{ kg/m}^3$, $\lambda=0.033 \text{ W/mK}$, $\mu=20-40$) dışardan, mantolama sistemi ile yalıtılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 30. Blok mantolama uygulaması (kuzeybatı görünümü)

Daha önceki yıllarda dış duvar ısı yalıtım kalınlıklarının optimizasyonu konusunda yapılan bir çalışmada, ekspande polistren kullanılması durumunda Erzurum için optimum yalıtım kalınlığı 10 cm olarak belirlenmiştir [7]. 8 cm kalınlığındaki EPS ile hem Erzurum için optimum ısı yalıtım kalınlığına yakın bir değer seçilmiş; hem de bu değer ile, binaların bulunduğu IV. iklim bölgesindeki (Erzurum) dış duvarlar için TS 825 tarafından tavsiye edilen U değerine yakın U değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 8 cm kalınlığındaki levhalar teraziye alınırken

B1 (zor alev alıcı) yangın sınıfı özelliği taşıyan EPS ısı yalıtım levhalarının 30. Blok dış duvarlarına uygulanması için yaz ayları seçilmiş, ısı

yalıtım levhalarının yapıştırılacağı yüzeyler kir, toz, yağ, kabarmış boya, kalkmış sıva gibi tutunmada/yapışmada uygunsuzluk oluşturacak zararlı etkenlerden arındırılmış, levhalar arasında boşluk kalmamasına özen gösterilmiştir. Isı yalıtımı yapılması sonrasında sağlıklı sonuçlar alınması için, yapı kabuğunun tamamen kurumuş olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Batı cephesinde dübelleme işleminden bir görünüm

3.5.2 Isıtma Çevrimine Ayar Kumandalı Üç Yollu Karıştırma Vanası Takılması

Bir ısıtma tesisatının boyutlandırılmasında en kötü şartlardaki ısıtma ihtiyacının karşılanması esas alınır. Ancak sistem, zamanın büyük bir kısmında daha düşük seviyelerde çalışmak durumundadır. Düşük seviyelerde ısıtma sisteminin gücünü de otomatik olarak kendiliğinden düşürmek ve sistemin kendi kendine çalışmasını sağlamak otomatik kontrol cihaz ve sistemlerinin görevidir [30].

Isıtılan bir hacimde sıcaklık ayarı,

- Isıtma elemanlarına giren suyun sıcaklığının değiştirilmesi,
- Isıtma elemanlarına giren su debisinin değiştirilmesi,

olarak iki şekilde yapılmaktadır. Otomatik ayar panellerinde,

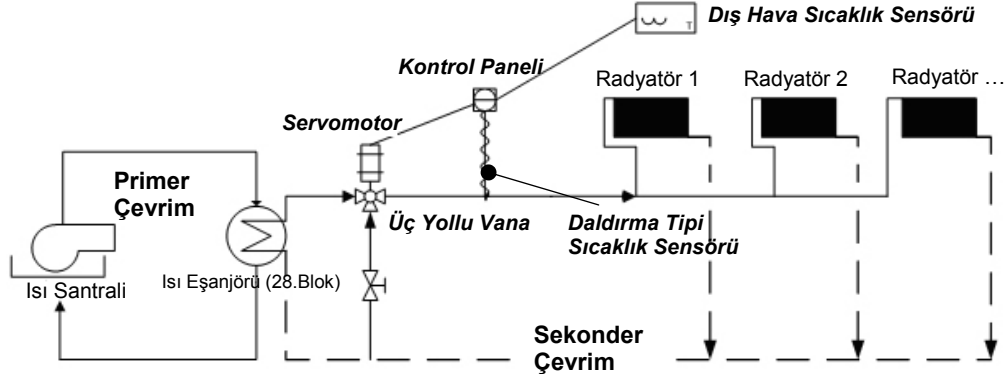
- Dış hava sıcaklığı
- İç ortam sıcaklığı
- Her iki sıcaklık

esas alınarak ayrıca gece-gündüz ile saate ve günlere göre ayar yapma olanakları mümkündür.

Burada, 30.Blok için uygulanan kontrol sistemi, üç yollu motorlu karıştırma vanası kullanılarak, dış hava sıcaklığındaki değişmeye bağlı olarak 30.Blok'taki ısıtıcılara giden su sıcaklığını ayarlanması esasına dayanır. Mevcut ısıtma tesisatı göz önüne alındığında, üst kattaki radyatörlerde gerekli su debisinin sağlanamayacağı gerekçesi ile, 30.Blok'ta, ısıtma elemanlarına giden su debisinin değiştirilmesi sureti ile sıcaklık ayarlamasının yapılması uygun görülmemiştir.

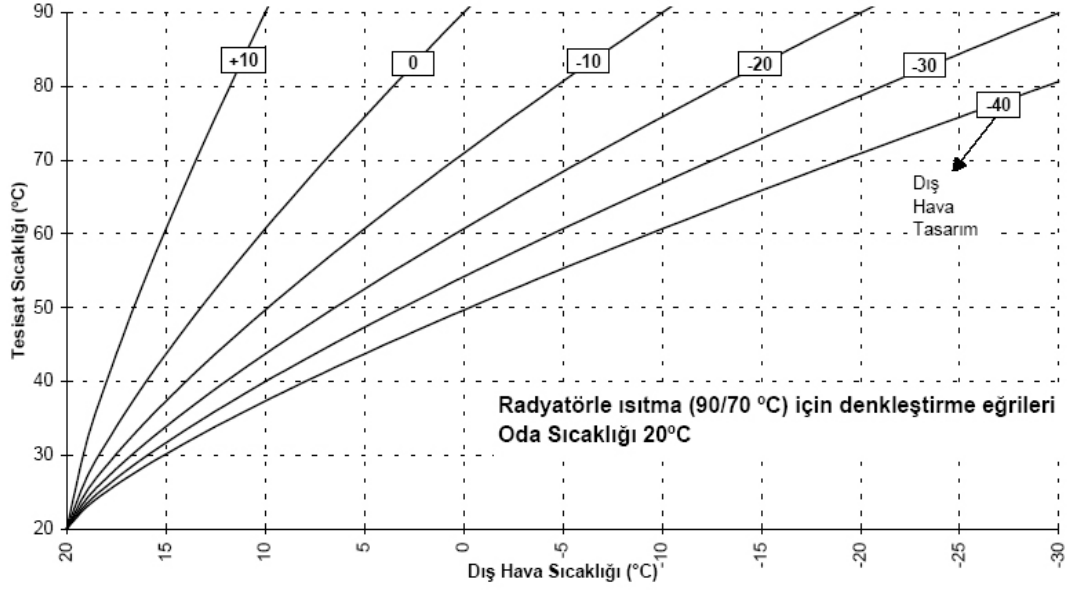
Kontrol sistemi, bir adet glob tipi üç yollu flanşlı kontrol vanası ve Ontrol MVS 20 NF 230 model servomotoru, 1 adet Ontrol T3001 model

kontrol paneli, 1 adet Ontrol TT531 model dış hava sıcaklık duyar elemanı ve 1 adet daldırma tipi (standart Pt 1000 tipi) sıcaklık duyar elemanından oluşmaktadır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Dış hava kompenzasyon sistem elemanlarının ısıtma tesisatı üzerinde gösterimi [27]

Kontrol paneli, dış hava sıcaklığındaki artış ve azalmalara paralel olarak 30.Blok'a verilen tesisat suyu sıcaklığını (karışım suyu sıcaklığını) ayarlayarak bina içi sıcaklığın sabit tutulmasına çalışır. Panel bu işlemi gerçekleştirirken, dış hava sensörü tarafından sağlanan sıcaklık bilgisine karşılık gelen karışım sıcaklığını, hafızasında bulunan denkleştirme eğrilerinden birisine göre tespit eder (Şekil 3.24). Daha sonra tespit edilen karışım suyu sıcaklığını sağlayacak şekilde tesisat gidiş suyu (90°C) ile tesisat dönüş suyunun (70°C) belirli oranlarda karıştırılmasını sağlar. Bu işlem, servomotor tarafından üç yollu vananın uygun şekilde konumlandırılması ile gerçekleşir. Konumlandırma, daldırma tipi sıcaklık sensörü tarafından algılanan karışım suyu sıcaklığı, istenilen değere gelinceye kadar devam eder. Vana konumlandırılması sırasındaki oransal+integral (PI) kontrol algoritması, değişken koşullarda tutarlı ve hassas bir kontrol sağlar.



Şekil 3.24 Dış hava denkleştirme eğrileri [31]

Kontrol paneli kullanacağı eğriyi üç değere bakarak belirler [31]:

Isıtma sistemi türü: Panel devreye alınırken ısıtmanın radyatör sistemiyle mi yerden ısıtma sistemi ile mi yapıldığı tanımlanır. Radyatörlü sistemlerde tesisata verilecek en yüksek su sıcaklığı 90°C, yerden ısıtma sistemlerinde ise 55°C olarak alınır.

Tasarım sıcaklığı: Panelin kullanıldığı bölgede oluşabilecek en soğuk dış hava sıcaklığını temsil etmektedir. İnceleme konusu binaların içinde bulunduğu iklim koşulları nedeniyle, tasarım sıcaklığı -20°C olarak alınmıştır. Şekil 3.18 incelendiğinde, her eğri için dış hava sıcaklığının tasarım sıcaklığına kadar düştüğü noktada, tesisat sıcaklığının 90°C olduğu görülecektir. Başka bir deyişle; dış hava sıcaklığı -20°C ye düştüğünde, rehabilite edilen lojman binasına 90°C de tesisat suyu gönderilecektir.

Sıcaklık ayarı: Kullanıcının ayarladığı bina içinde istenen sıcaklık değeridir. Panel zaman programına bağlı olarak iki sıcaklık değerinden (tasarruf değeri=16°C ya da konfor değeri=20°C) birisini kullanır.

30.Blok'a uygulanan dış hava sıcaklığı kompenzasyonlu sıcaklık kontrol sistemi, yukarıda da belirtildiği gibi karışım suyu sıcaklığını (tesisat suyu) sadece dış hava sıcaklığına bağlı olarak ayarlamaktadır. Sistemde, bina içinde istenen sıcaklığa bağlı bir kontrol kullanılmamıştır. Oysa sistem aynı zamanda, bir oda sıcaklığı duyar elemanının bina sıcaklığını temsil eden bir yere yerleştirilmesi halinde, istenilen oda sıcaklığının sağlanıp sağlanmadığını da kontrol edebilme imkanına sahiptir. Bu sayede, istenilen oda sıcaklığının tam olarak sağlanmadığı durumlarda, sistem tanımlanan tasarım sıcaklığında küçük bir kaydırma yapar. Bu yöntemle bir haftalık çalışma sonrasında sistem, binanın ısı özelliklerine en uygun denkleştirme eğrisini kendiliğinden bulmuş olur.

3.5.3 Radyatörlere Termostatik Vana Takılması

Bu uygulamada radyatörden önce termostatik bir musluk bulunur. Bu musluk, oda sıcaklığından kumanda alan bir termostat tarafından açılıp kapatılır. Oda sıcaklığından alınan kumanda ile radyatöre giden su debisi ayarlanarak, radyatör ısı gücü değiştirilir. Böylece oda sıcaklığı sabit tutulur [32].

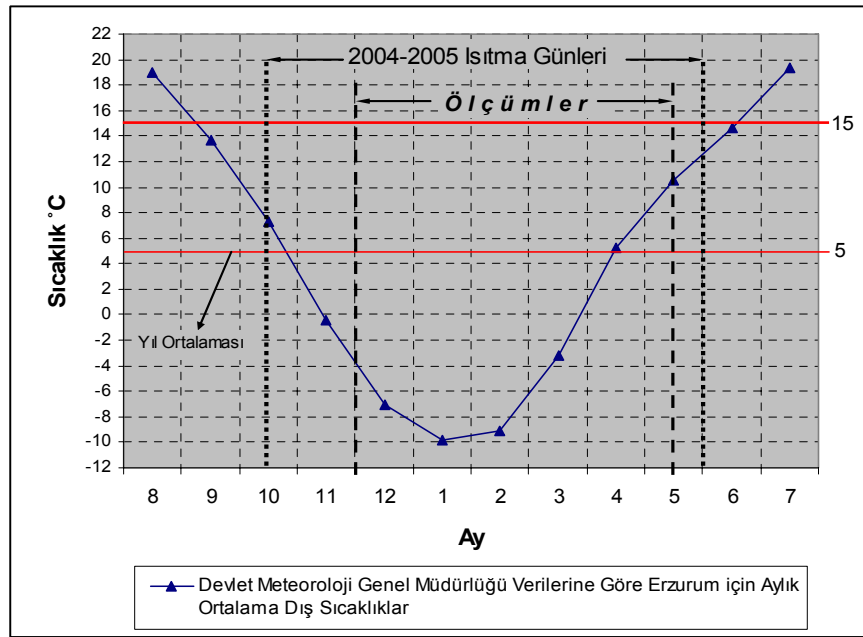
30.Blok için kurulan dış hava kompenzasyon sistemi, iç ortam sıcaklıklarına göre bir kontrol sağlamadığından, bloktaki iç ortam sıcaklıklarının aşırı derecede yükselmesini önlemek için tüm radyatörlere termostatik vana takılmıştır.

3.6 Ölçümler ve Hesaplamalar

Bölüm 3.3'te anlatılan ısı rehabilitasyon çalışmaları sonuçlarının sağlıklı bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi için iyileştirme yapılan lojman binası olan 30. Blok ile referans bina olan 29. Blok'un ısı tüketimlerinin izlenmesi ve karşılaştırılması gerekmektedir.

İzlemede, her iki bina için de aynı tür ölçüm cihazları kullanılmış ve binaların tükettikleri ısı miktarları ile binalara ait bazı sıcaklıklar ölçülmüştür. Ölçümler, her iki bina için de aynı ölçüm noktalarından eşzamanlı olarak alınmıştır.

Tüketilen ısı miktarları ve tüketim esnasındaki sıcaklık değerlerinin ölçülmesi 2004–2005 ısıtma sezonu içerisinde, 1 Aralık – 13 Mayıs tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Isıtma günü, günlük ortalama dış sıcaklığın 15°C'nin altında olduğu günlere denir [32]. Bu yüzden bir yılın ısıtma periyodunun sınırlarını, günlük ortalama dış sıcaklığın 15°C'nin altında olduğu dönemler belirleyebilir.



Şekil 3.25 2004–2005 Isıtma sezonunda Atatürk Üniversitesinde ısıtmanın yapıldığı günler ve inceleme binalarında ölçümlerin yapıldığı tarihler

Geçmiş yıllara ait on yıllık Erzurum sıcaklık verilerine göre, Erzurum'da aylık ortalama dış sıcaklıkların, Eylül ayında 15°C'nin altına düştüğü ve Haziran ayında 15°C'ye ulaştığı görülmektedir [33]. Bu durum, Erzurum'un ısıtma periyodu hakkında bir fikir verebilir. Ancak Atatürk Üniversitesi Merkezi Isı Santralinin 2004–2005 ısıtma sezonunda çalıştığı dönemler dikkate alındığında, inceleme konusu binalar için ısıtmanın 15 Ekim–1 Haziran tarihleri arasında gerçekleştiği bilinmektedir (Şekil 3.25).

3.6.1 Isı Tüketim Değeri Ölçümü

Binalarda tüketilen ısı miktarlarının ölçümü;

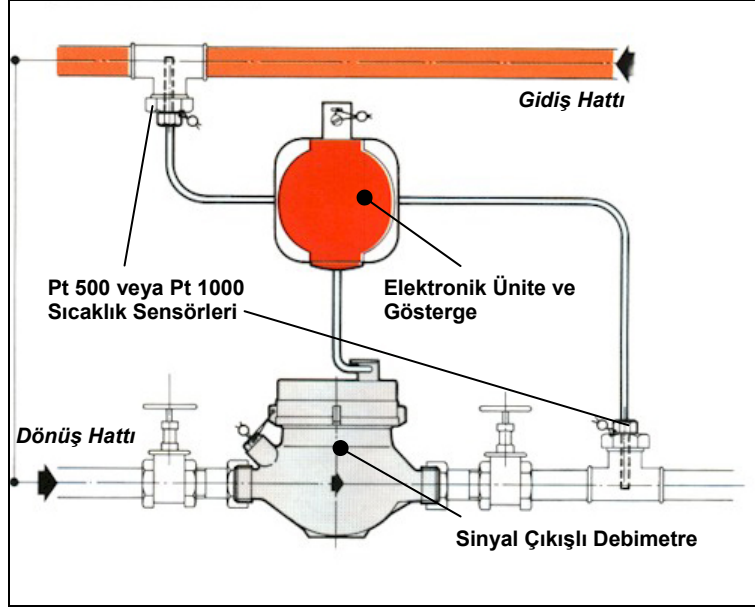
- Doğrudan ölçme
- Dolaylı ölçme

yöntemleriyle yapılır [32].

Doğrudan ölçme yöntemi: Isı kullanımının, fiziksel açıdan tam olarak ölçülmesi için kullanılır. Buharlı ısıtıcılarda, ya buhar miktarı ya da kondens suyu miktarı ölçülebilir. Buharın hali saptanmış ise, o zaman ısı miktarı kolaylıkla hesaplanır. Buhar miktarının ölçülmesi için kısma cihazları veya şamandıra ölçer kullanılır.

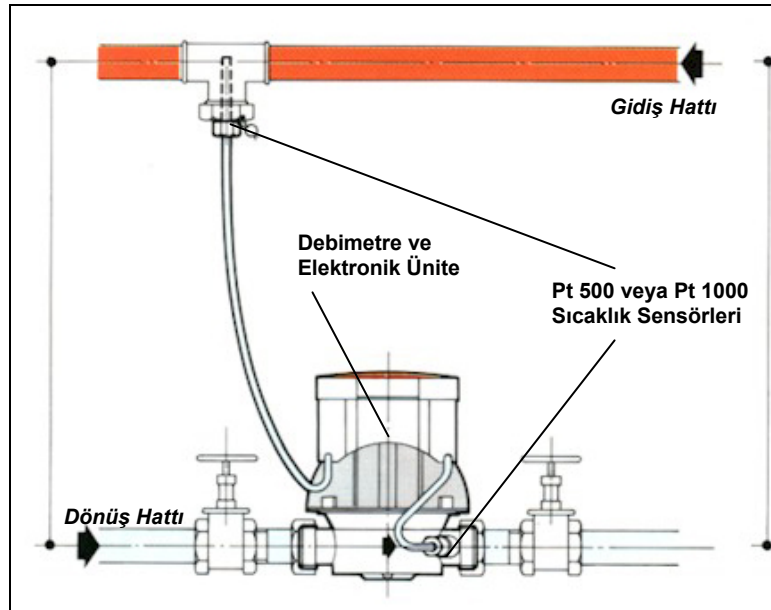
Su ile ısıtma tesislerinde, temin edilen ısının tam olarak ölçülmesi daha zordur. Bunun için ısı sayaçları kullanılır. Şekil 3.26'da kombine tip bir ısı sayacının ve Şekil 3.27'de ise kompakt tip bir ısı sayacının tesisat bağlantısı gösterilmiştir. Bütün ısı sayaçlarının çalışma prensibi, akan su miktarına ve gidiş ile dönüş arasındaki entalpi farkının ölçümüne dayalıdır (3.3).

$$Q=m.C_p.(T_{gidiş} - T_{dönüş})=m.(h_{gidiş} - h_{dönüş}) \quad (3.3)$$



Şekil 3.26 Kombiye ısı sayacı ve tesisat montajı [34]

Gidiş ve dönüş sıcaklığı, dirençli termometre ile ölçülür. 70/90°C tesisleri için Pt 500 veya Pt 1000 ölçü elemanları yeterli iken, yüksek gidiş sıcaklığı olan uzak ısıtma şebekelerinde, tel sargılı ölçüm elemanı bulunan Pt 100 sensörleri kullanılmaktadır. Bütün ölçüm değerleri, elektrikli impuls serisine dönüştürülür ve elektronik hesap mekanizması-günümüzde mikroişlemci sayesinde-debi ve sıcaklık farkından oluşan sonuç bulunur [32].



Şekil 3.27 Kompakt ısı sayacı ve tesisat montajı [34]

Dolaylı ölçme yöntemi: Burada ısı miktarı değil, bir ısı sayacı ile sadece toplam tüketimin bir bölümü ölçülür. *Buharlaştırılmalı- ısı gideri dağıtıcısı (buharlaştırılmalı ısı payölçer)*, radyatör dilimleri arasına veya panel radyatörün üzerine yerleştirilen bir gövdeden oluşur. Bunun içerisinde ise, yüksek kaynama noktalı özel bir sıvı (tretalin vb.) ile doldurulmuş bir ölçme borusu bulunur ve bu boru her sene değiştirilir. Bir ısıtma periyodu esnasında buharlaşan sıvı miktarı, radyatörlerden yayılan ısının ölçüsüdür ve buna göre uyarlanmış bir lokal göstergeden okunur. Bir konutun tüketim oranı, ısıtma tesisinin tüm cihazlarının toplam lokal miktarının oranına eşittir. Çok konutlu binalarda kullanılır. Isı gideri dağıtıcıları gerçek ısı sayaçları değil, sadece merkezi ısıtma tesisleri işletme maliyetlerinin konut başına bölünmesi için, ayarlanmayan ısıtma maliyeti dağıtıcısıdır. Radyatör veriminin dikkate alınması için, değerlendirme faktörleri gereklidir. Kusursuz ölçüm sonuçları için doğru ölçüm cetveli ve montaj gereklidir. Farklı tipteki ısıtma elemanlarında (radyatörler, konvektörler vb.) düzeltmelerin yapılması zordur. Bazı ısıtma sistemlerinde uygulanması mümkün değildir, örneğin döşemeden ve radyasyonla ısıtma sistemlerinde ve dikey tek borulu ısıtma sistemlerinde kullanılmaz [32].

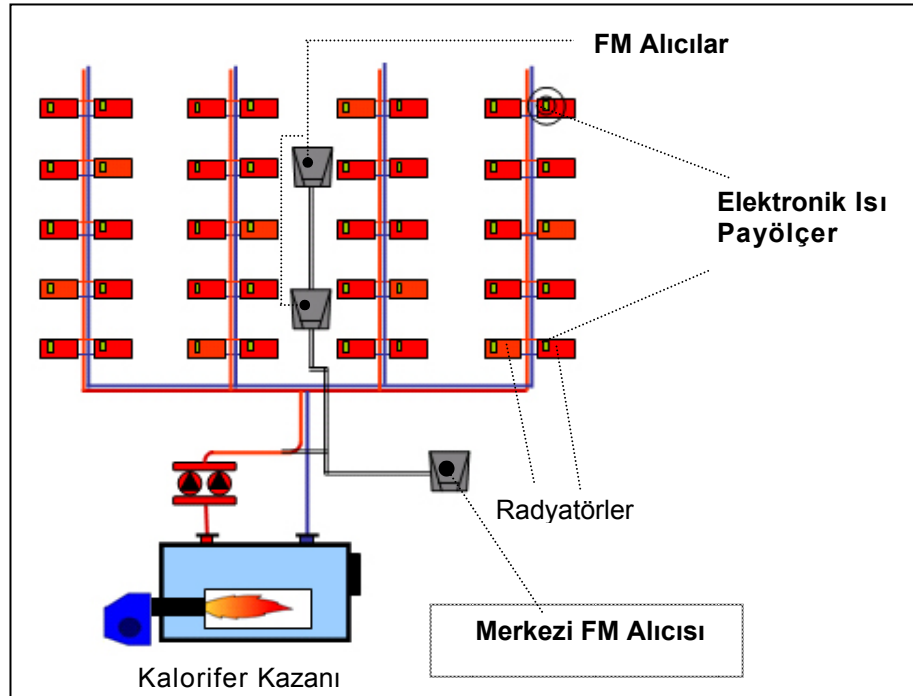
Buharlaştırılmalı- ısı gideri dağıtıcılarında hata oranı %5...10 olup bu oran bazen daha da fazla olabilir. Merkezi ısıtma sistemli çok konutlu binalarda tüketicilere bireysel ısınma imkanı sağlayan bu sistemlerde ısı enerjisi tasarrufu, bina tipi ve ısı izolasyonuna göre tecrübelerle dayanılarak %10...20 kadar olup enerji tasarrufu için basit ve ucuz bir seçenektir. Bunun yanında sistem, ölçme eğrisinin karakteristik eğrisinin ısıtma elemanının karakteristik eğrisine denk olmaması, soğuk buharlaşma, sayacın okunabilirliğinin sınırlı olması ve tek sensörlü olması nedeniyle iç hava sıcaklığını algılayamaması gibi dezavantajlara sahiptir [32].

Elektronik- ısı gideri dağıtıcıları (elektronik ısı payölçer), buharlaştırılmalı- ısı gideri dağıtıcılarında olduğu gibi radyatör dilimleri üzerine yerleştirilen bir gövdeden oluşur. Buharlaştırılmalı- ısı gideri dağıtıcılarındaki dezavantajlar görülmez. Tek sensörlü, çift sensörlü veya üç sensörlü olabilir.

Tek sensörlü cihazlar, sadece montaj mahalindeki ısıtıcı gövdesi sıcaklığını kaydedebilir; iç sıcaklık, sabit bir değer olarak cihaza programlanmıştır. Alt uygulama sınırı 60°C dizayn sıcaklığıdır.

Çift sensörlü cihazlarda, hem ısıtıcı gövdesinde hem de iç hava için dağıtıcının ön kısmında birer sensör bulunur. Düşük sıcaklıklı tesisatlarda kullanılır [32].

Üç sensörlü cihazlar, gidiş ve dönüş sıcaklığı ile iç oda sıcaklığını kaydeder; ısıtıcı gövdesi, yüzey sıcaklığını daha hassas bir biçimde saptar. Özellikle tek borulu ve düşük sıcaklıklı tesisatlar için çok uygundur.



Şekil 3.28 Elektronik ısı payölçer sistem elemanları [35]

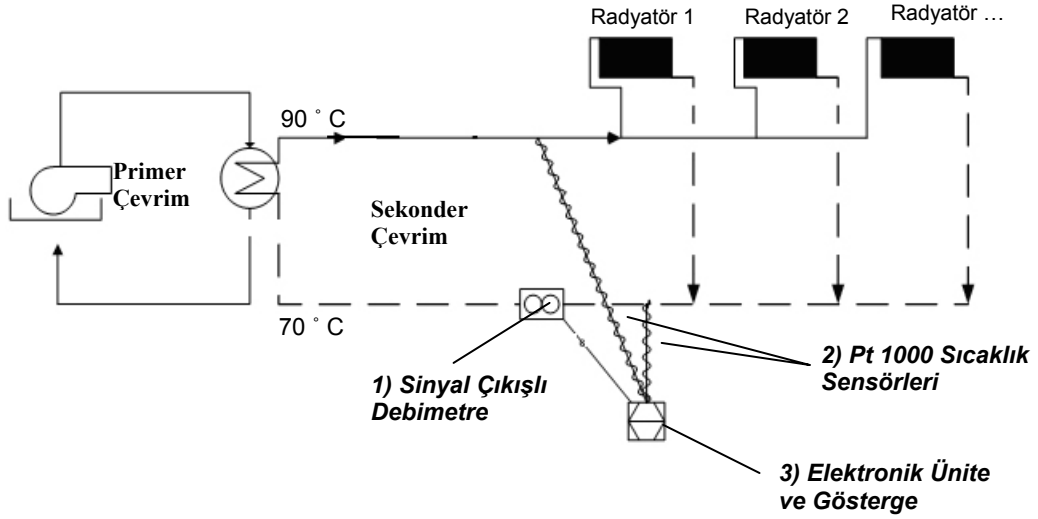
Şekil 3.28'de tek sensörlü elektronik ısı payölçer sisteminin elemanları gösterilmektedir. Sistem üç ana elemandan oluşmaktadır:

- Radyatörlerin üzerlerine takılan ve radyatörlerin ısını ölçen elektronik ısı payölçer,
- Elektronik ısı payölçerlerin gönderdiği sinyalleri alan FM alıcılar,
- Bütün verilerin toplandığı merkezi FM alıcı

Öncelikle dairelerdeki tüm radyatörlerin üzerine payölçerler monte edilir. Payölçerler döküm, çelik, panel her tür radyatöre takılabilir. İçerisinde, radyatörlerin sıcaklığına duyarlı bir sensör bulunmaktadır ve radyatör sıcaklığıyla orantılı olarak belirli değerler payölçerlerce kaydedilir. Payölçerlerde kaydedilen bu değerler sinyaller vasıtasıyla apartmanların merdiven boşluklarındaki FM alıcılara gönderilir ve burada toplanır. Toplanan bu değerler kalorifer dairesine yerleştirilmiş bilgisayar destekli bir merkezi FM alıcısına gönderilerek sistemin kurulu olduğu binada tüketilen toplam yakıt miktarı, her dairenin tüketim oranına göre paylaşılır [35].

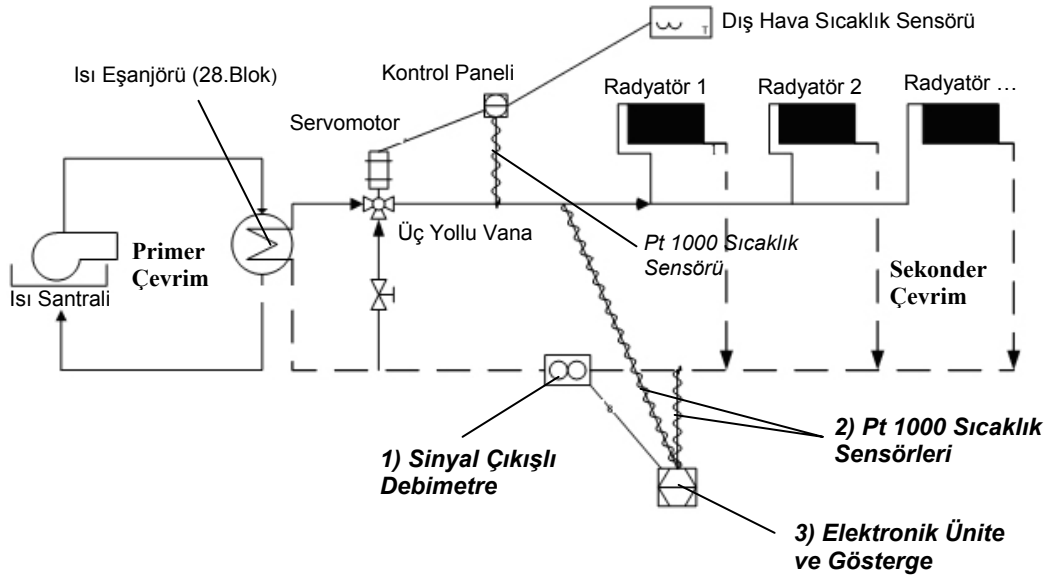
3.6.1.1 İnceleme Konusu Binaların Isı Tüketim Değerlerinin Ölçülmesi

İnceleme konusu binaların ısı tüketimlerinin ölçümünde, Alnatronic marka kombine ısı sayaçları kullanılmış ve binaların ısı tüketimleri doğrudan ölçülmüştür. Her iki binanın bodrumlarında bulunan bina ısı girişlerine monte edilen sistemlerde, debimetreler tesisatın gidiş hattına flanşlı birleştirme ile bağlanmış, gidiş ve dönüş hatları sıcaklıklarını ölçen Pt 1000 tipi sıcaklık sensörleri ise tesisat borularına kaynakla birleştirilen kovanlara daldırılmış ve üstten vidalanmıştır (Şekil 3.29, 3.30).



Şekil 3.29 Referans binada (29.Blok) ısı tüketim ölçümü sistem elemanlarının ısıtma tesisatına yerleşimi

Isı sayaç sisteminin elektronik ünitesi üzerinde bulunan dijital göstergeden MWh cinsinden ısı tüketim değerleri ve sinyal çıkışlı debimetreden m^3 cinsinden su geçiş miktarları 13 Mayıs 2005 tarihine kadar haftalık periyotlarla okunmuş ve kaydedilmiştir.



Şekil 3.30 Isı rehabilitasyonu gerçekleştirilen 30.Blokta sıcaklık kontrol ve ısı tüketim ölçümü sistem elemanlarının ısıtma tesisatına yerleşimi

3.6.2 Sıcaklık Ölçümü

Sıcaklık ölçme yöntemleri sıcaklıkla, maddelerin değişen ve ölçülebilir tarzındaki;

- Katı, sıvı ve gaz biçimindeki maddelerin genişmesi
- Elektrik direncinin değişmesi
- Elektrik motor gücünün şiddeti
- Işık ve ısı radyasyonlarının şiddeti

özelliklerinden yararlanılarak ortaya çıkarılmıştır. Çizelge 3.13’de, yukarıda belirtilen özelliklerden yararlanılarak geliştirilen çeşitli termometrelerin ölçüm aralıkları verilmiştir [32].

Çizelge 3.13 Çeşitli termometrelerin ölçüm aralıkları [30]

Ölçüm aralığı (°C)	Ölçüm aleti
- 100 + 50	Alkollü Termometre
- 35 + 300	Normal Civa - Cam Termometre
- 35 + 500	Gazla doldurulmuş Civa – Cam Termometre
- 35 + 800	Civa – Kuvarz Camı Termometre
.... + 300	Bimetal – Termometre
.... + 600	Çubuk Şekilli Metal Termometre
- 25 + 500	Yaylı – Termometre
- 40 + 130	NTC
- 100 + 150	Nikel – Direnç Termometresi
- 200 + 750	Platin – Direnç Termometresi
- 200 + 600	Bakır – Konstantan – Termo element
- 200 + 800	Demir – Konstantan – Termo element
0 + 1000	Krom nikel – Konstantan – Termo element
- 200 + 1300	Krom nikel – Nikel – Termo element
0 + 1600	Platin rodyum – Platin – Termo element
- 100 + sınırsız	Işıma termometresi

Sıcaklık ölçümündeki en büyük zorluk, ölçüm cihazlarından ziyade, genelde sensörlerin doğru şekilde monte edilmemesinden

kaynaklanmaktadır. Ölçüm yerlerinde, iletim ve ışıınımdan dolayı oluşan ısı alımı veya ısı yayılması, gerçek sıcaklık değeriinin değışmesine sebep olur ve göstergede yanlış görüntülenir. Bu yüzden termometrelerin montajında veya düzenlenmesinde çok dikkat etmek gerekmektedir [32].

Genleşme Termometreleri:

a) Civalı cam termometreler: Önceleri çok sık kullanılan bu termometreler, yaklaşık 300°C'ye kadar kullanılabilir.

b) Genleşme – yaylı termometreler: Bu termometreler de doldurulmuş bir sıvı ile çalışır. Isıtma esnasında, daldırma borusundaki sıvının genleşmesinden dolayı, sıcaklığa bağlı olarak basınç artışı meydana gelir. Hava sıcaklıklarının ölçümlerinde fazla etkili değildir.

c) Buhar basıncı termometresi: Tension termometre veya kaynama basınç termometresi olarak ta isimlendirilir. Bir sıvının ısınması esnasında meydana gelen buhar basıncı, genleşme ihtimali olmadan, bir ideal gazın basıncına nazaran daha hızlı yükseldiğinden, daha hassas bir ölçüm elde edilir. Bu termometrelerde genellikle eter, etilen klorid, civa vb. sıvılar kullanılır.

d) Metal genleşme termometresi: Farklı genleşme katsayılı, iki katının genleşme farkının ölçülmesi için kullanılır.

e) Bimetal termometre: Bu termometrelerde farklı genleşme katsayılı iki metal levha birbirine lehimlenir. Sıcaklık değışikliklerinde levhalar daha fazla veya daha az şiddetle bükülür. Bu esnada oluşan hareketler, göstergeye aktarılır.

Elektrikli Direnç Termometresi: Bu termometrelerde, saf metal tellerin sıcaklık artışı ile elektrik iletkenlik dirençlerinin muntazam bir şekilde artması özelliklerinden faydalanılır ve uzak mesafe ölçümlerinde kullanılır. Düşük sıcaklıklar için nikel, yüksek sıcaklıklar için (yaklaşık 500°C'ye kadar) platin kullanılır. İletken uzunluğunun, ölçme hassasiyetine pratikte etkisi olmaz. Norm ölçme direnci, Pt100 için 0°C'de 100Ω değerindedir. Platindeki direnç değişimi %0.4/K'dir.

Isı Elementleri (Termoçiftler): Eğer farklı metallere oluşan iki telin temas yeri ısıtılırsa ve aynı zamanda diğer uçları soğuk tutulursa, o zaman bir elektriksel gerilim (termal gerilim) meydana gelir. Bu, sıcak ve soğuk temas yerinin (lehim yeri) arasındaki sıcaklık farkıyla hemen hemen doğru orantılı olarak yükselir ve bir milivoltmetrede okunabilir. Özellikle nokta şeklindeki ölçümler için çok hızlı ve doğrudur. Çizelge 3.14'de en kullanışlı ısı elementleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 En kullanışlı ısı elementleri [32]

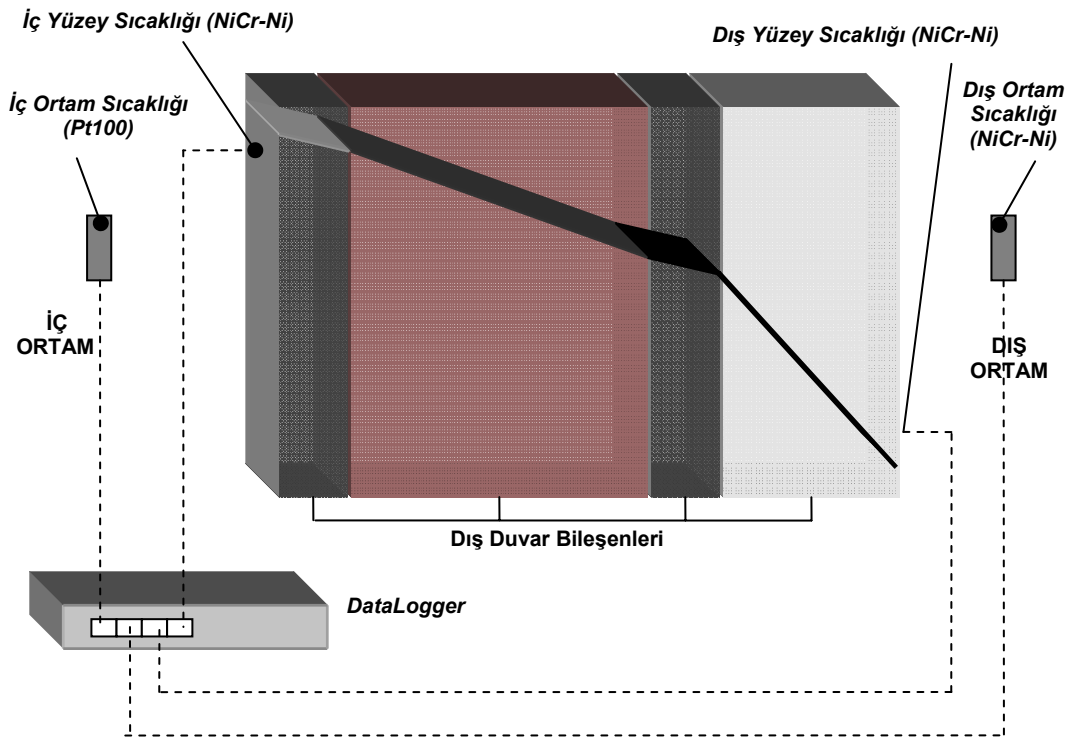
Ölçüm algılayıcı türü	Sınıf	Sıcaklık aralığı (°C)
K tipi (NiCr – Ni)	1	- 40 ... 375 375 ... 1000
	2	- 40 ... 333 333 ... 1200
J tipi (Fe – konstantan)	1	- 40 ... 375 375 ... 750
	2	- 40 ... 333 333 ... 750
S tipi (PtRh10 – Pt)	1	0 ... 1100 1100 ... 1600
R tipi (PtRh13 – Pt)	2	0 ... 600 600 ... 1600

Işımali Termometreler (Kızılötesi Termometre, Pirometre): Işım termometreleri bir yüzeyden kaynaklanan ışımın ölçülmesi sağlanır. Bu termometrelerde ölçüm alanı -100°C 'den pratik olarak $>5000^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkabilir.

Kızılötesi Termografi: Kızılötesi termografi, nesnel üzerindeki sıcaklık dağılımının yüzeye temas etmeden ölçülmesini sağlar

3.6.2.1 İnceleme Konusu Binalarda Sıcaklık Ölçümleri

Karşılaştırma binalarının her birinde, iç ortam, dış duvar iç yüzey, dış duvar dış yüzey ve dış ortam sıcaklıkları olmak üzere 4 er noktadan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Dış ortam, iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıkları K tipi (NiCr-Ni) termoçiftler ile, iç ortam sıcaklıkları ise Pt100 elektrikli direnç termometreleri ile ölçülmüştür (Şekil 3.32).



Şekil 3.31 İnceleme binalarında sıcaklık ölçüm sensörlerinin yerleşimi

Ölçümler için her iki binanın en üst katında bulunan daireler seçilmiş, sıcaklık sensörleri bu dairelerin kuzeye ve batıya cephesi olan odalarına yerleştirilmiştir. İç ortam sıcaklıklarını ölçmek üzere yerleştirilen sıcaklık sensörleri, odaların içlerinde kat yüksekliklerini ortalayacak, herhangi bir ısı kaynağından etkilenmeyecek ve herhangi bir cisimle temas etmeyecek şekilde üzerleri açık olarak monte edilmiştir. Dış ortam sıcaklıklarını ölçen K tipi sıcaklık sensörleri ise, odaların kuzeyinde bulunan pencerelerden son kat yüksekliğinde, dış duvara temas etmeyecek ve dış duvarlardan transfer olan ısıya maruz kalmayacak bir şekilde dış ortama serbest bırakılmıştır. Bu sensörlerin iç ortam sıcaklıklarından etkilenmemesi için, ölçüm noktaları mümkün olduğunca pencerelerden uzakta seçilmiştir.

Yüzey sıcaklıkları, son kat yüksekliğindeki kuzey cephelerin tuğla duvar yüzeylerinden ölçülmüştür. Bu amaçla kullanılan K tipi sensörler, duvarların iç ve dış yüzeylerine, iç yüzeylerde herhangi bir ısı kaynağından etkilenmeyecek şekilde yapılandırılmıştır.

Sıcaklık sensörleri, saatte bir değer kaydedecek şekilde programlanan data loggerlara bağlanarak, sıcaklık değerleri 2 aylık periyotlarla data loggerlardan alınmıştır.

Bir termometre probu ile dairelerin (ölçümlerin yapıldığı evlerin) diğer odalarında yapılan ölçümler, salon sıcaklıklarının (en büyük oda) sürekli olarak sıcaklık ölçülen odaya göre ortalama 1°C daha düşük olduğunu göstermektedir. Sıcaklık ölçümleri karşılaştırma binalarının diğer dairelerde de yapılmıştır. Ölçümler, sıcaklıklarda ortalama $\pm 2^{\circ}\text{C}$ sapma olduğunu göstermiştir.

3.6.3 Dış Duvar Isı Kayıplarının Hesaplanması

İnceleme konusu binaların dış duvarlarında meydana gelen ısı kayıpları (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) bağıntılarına göre hesaplanmıştır:

$$Q_{DD-tugla}=(T_{dış}-T_{iç})\cdot U_{tuğla}\cdot A_{tuğla} \quad (3.4)$$

$$Q_{DD-taş}=(T_{dış}-T_{iç})\cdot U_{taş}\cdot A_{taş} \quad (3.5)$$

$$Q_{DD-beton}=(T_{dış}-T_{iç})\cdot U_{beton}\cdot A_{beton} \quad (3.6)$$

$$Q_{DD-toplam}=Q_{DD-tugla}+Q_{DD-taş}+Q_{DD-beton} \quad (3.7)$$

(3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) bağıntılarında, $Q_{DD-tugla}$, $Q_{DD-taş}$, $Q_{DD-beton}$, sırasıyla tuğla duvar, taş duvar, beton duvar bileşenlerinde meydana gelen ısı kayıplarını, $Q_{DD-toplam}$ tüm dış duvar bileşenlerinde meydana gelen ısı kaybını; $T_{dış}$ ve $T_{iç}$ sırasıyla, sıcaklık propları tarafından saatte bir ölçülen dış ve iç ortam sıcaklıklarını, $U_{tuğla}$, $U_{taş}$, U_{beton} sırasıyla, ise sırasıyla tuğla duvar, taş duvar, beton duvar bileşenlerinin hesaplanan toplam ısı geçirgenlik katsayılarını göstermektedir.

3.6.4 Dış Duvar Ekserji Kayıplarının Hesaplanması

İnceleme konusu binaların dış duvarlarında meydana gelen ekserji kayıpları (3.8), (3.9), (3.10) ve (3.11) bağıntılarına göre hesaplanmıştır:

$$EX_{DD-tugla}=Q_{DD-tugla}\cdot[(1-T_{içyüzey}/T_{iç})-(1-T_{dışyüzey}/T_{dış})] \quad (3.8)$$

$$EX_{DD-taş}=Q_{DD-taş}\cdot[(1-T_{içyüzey}/T_{iç})-(1-T_{dışyüzey}/T_{dış})] \quad (3.9)$$

$$EX_{DD\text{-beton}} = Q_{DD\text{-beton}} \cdot [(1 - T_{i\text{çyüzey}}/T_{i\text{ç}}) - (1 - T_{dışyüzey}/T_{dış})] \quad (3.10)$$

$$EX_{DD\text{-toplam}} = EX_{DD\text{-tuğla}} + EX_{DD\text{-taş}} + EX_{DD\text{-beton}} \quad (3.11)$$

(3.8), (3.9), (3.10) ve (3.11) bağıntılarında $T_{i\text{çyüzey}}$ ve $T_{dışyüzey}$ sırasıyla, sıcaklık profları tarafından saate bir ölçülen dış duvar iç yüzey ve dış duvar dış yüzey sıcaklıklarını; $EX_{DD\text{-tuğla}}$, $EX_{DD\text{-taş}}$, $EX_{DD\text{-beton}}$ sırasıyla, tuğla duvar, taş duvar, beton duvar bileşenlerinde meydana gelen ekserji kayıplarını; $EX_{DD\text{-toplam}}$ ise tüm dış duvar bileşenlerinde meydana gelen ekserji kaybını göstermektedir.

:

4. BULGULAR

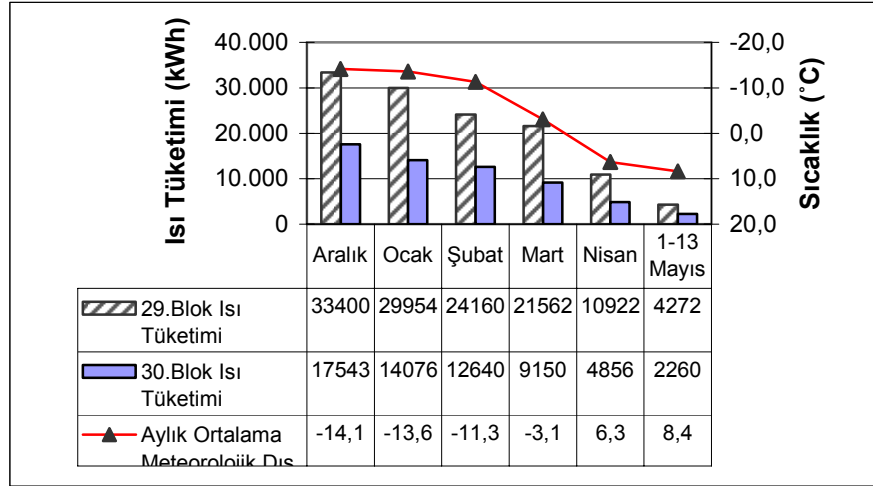
Bu çalışmada, Atatürk Üniversitesinde bulunan iki benzer lojman binasının (29. ve 30. Bloklar) enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Başlangıçta dış duvarları yalıtımsız olan binalardan birisinde (30.Blok) dış duvar ısı yalıtımı gerçekleştirilmiş ve binaya olan ısı girişinin dış hava sıcaklığına bağlı olarak kontrolü sağlanmıştır; diğeri ise mevcut durumunda bırakılarak referans bina kabul edilmiş ve iki bina karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, her iki binayı kapsayan ısı tüketim ve sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi etkin rol oynamıştır. Atatürk Üniversitesi Isı Merkezi, ölçümlerin yapıldığı 2004–2005 ısıtma sezonunda yaklaşık 225 gün ısıtma amaçlı çalışmıştır. Analizlere temel teşkil eden ölçümlere ise sezon içerisinde 165 gün boyunca devam edilmiştir.

30. Blok dış duvarlarının 8 cm kalınlığındaki EPS ile yalıtılması ile 30. Blok dış duvar bileşenleri için elde edilen yeni U değerleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 30. Blok dış duvar bileşenlerinin yalıtım öncesi ve sonrası U değerleri

Dış duvar yapı bileşeni	U (W/m ² K)	
	Yalıtım öncesi	Yalıtım sonrası
Tuğla duvar	1.71	0.329
Beton duvar	2.89	0.357
Taş duvar	1.78	0.332

İnceleme konusu binalarda, ısı sayaçları ile yapılan ölçümler neticesinde binaların aylık ısı tüketim değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 İnceleme binalarına ait ısı tüketim değerlerinin aylara göre değişimi

Aylık tüketim değerleri kullanılarak yapılan regresyonlarla, her iki bina için, binaların ölçüm aralığındaki günlük ısı tüketim değerlerini, dış sıcaklığa ve binaların iç ve dış ortamları arasındaki sıcaklık farklarına bağlı olarak veren fonksiyonlar elde edilmiştir. *Nonlineer tahmin yöntemlerinden üssel büyüme regresyonunun* kullanılması sonucu, binaların günlük ısı tüketim değerlerini belirli hata oranlarında veren;

$$Q_{\text{günlük},29} = 37.6288 \times N^{0.822} \times \Delta T_{\text{ort}}^{0.223} \times e^{(1+0.0019 \times T_{\text{dış,ort}})^{3.415}} \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{günlük},30} = 23.1805 \times N^{0.880} \times \Delta T_{\text{ort}}^{0.204} \times e^{(1+0.000002 \times T_{\text{dış,ort}})^{2.907}} \quad (4.2)$$

bağıntıları elde edilmiştir. Burada,

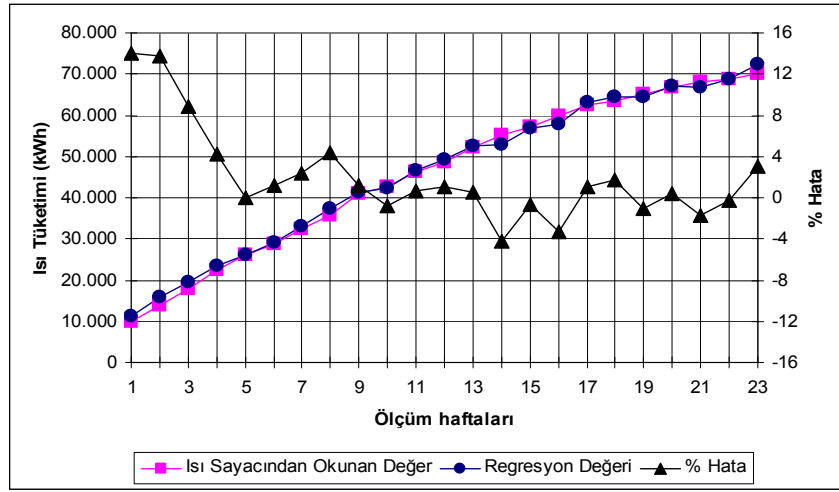
N: Ölçümlerin başladığı tarihten itibaren geçen gün sayısı.

$Q_{\text{günlük},29,30}$: Karşılaştırma binalarının ölçümlerin başlangıcından itibaren N. güne kadar tükettikleri toplam ısı miktarı (kWh).

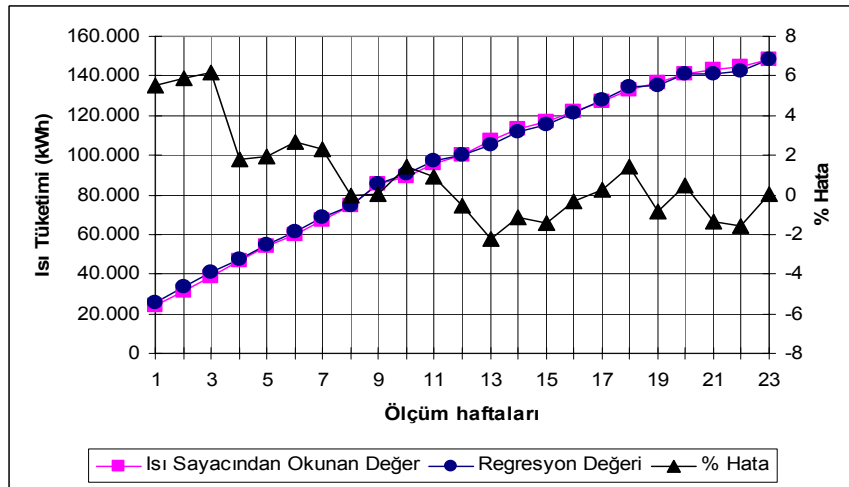
ΔT_{ort} : Toplam ısı tüketim değeri istenen güne kadar binalarda ölçülen günlük iç ve dış ortam sıcaklıkları arasındaki farkın ortalaması.

$T_{dış,ort}$: Toplam ısı tüketim değeri istenen güne kadar hesaplanan günlük meteorolojik dış sıcaklık verilerinin ortalaması ($^{\circ}C$).

Elde edilen (4.1) ve (4.2) fonksiyonlarının, binaların günlük ısı tüketim değerlerini çok iyi açıkladığı görülmüş, hata oranlarını veren grafikler Şekil 4.2 ve 4.3'te gösterilmiştir. Buna göre; başlangıçtaki ilk üç regresyon değeri hariç tutulduğunda, hata oranlarının mutlak değerlerinin ortalaması 30. Blok için %1.70, 29. Blok için ise %1.13 bulunmuştur.

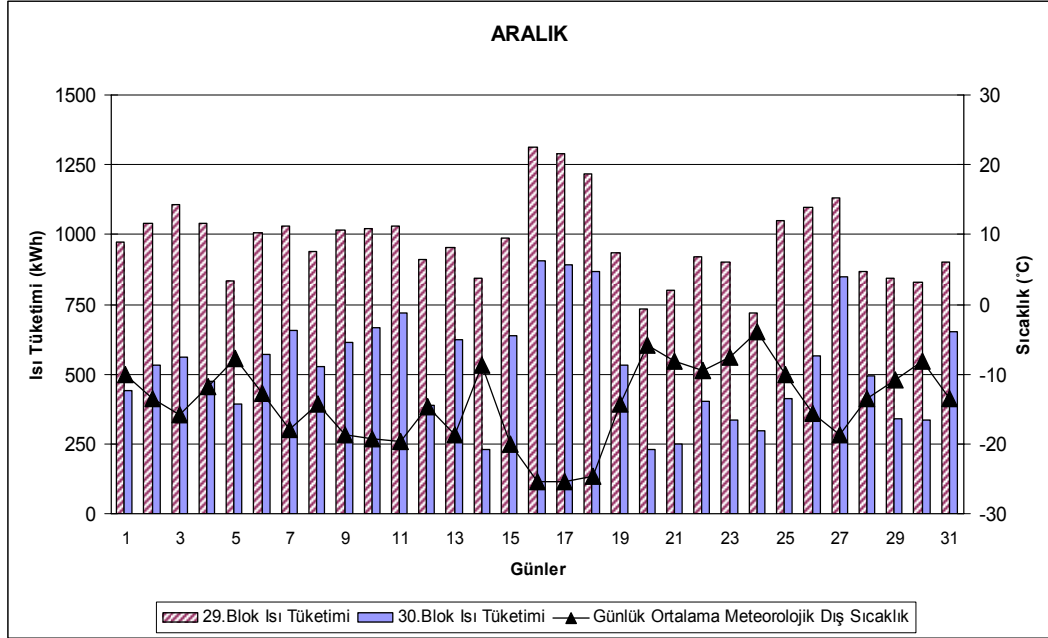


Şekil 4.2 30. Blok'a ait ısı sayacı ölçüm sonuçlarının regresyon değerleri ile karşılaştırılması

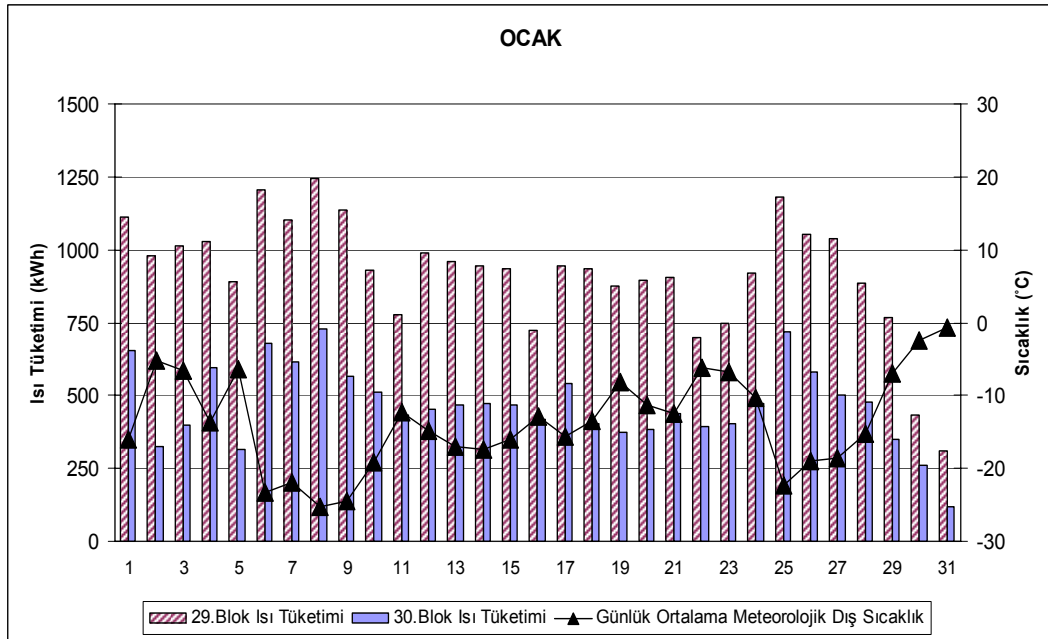


Şekil 4.3 29. Blok'a ait ısı sayacı ölçüm sonuçlarının regresyon değerleri ile karşılaştırılması

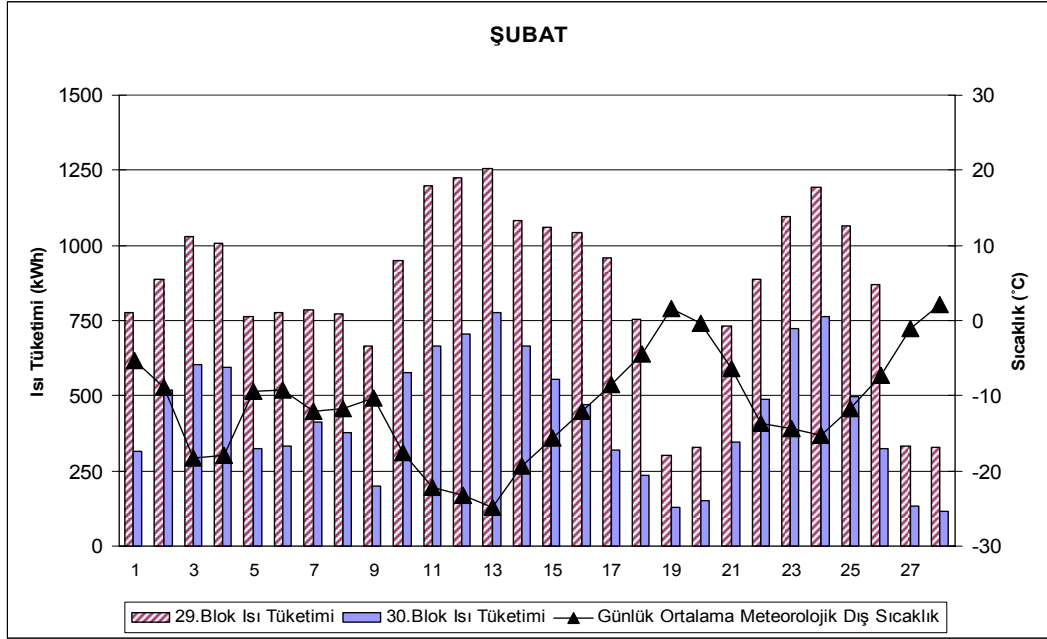
(4.1) ve (4.2) fonksiyonları kullanılarak hesaplanan günlük ısı tüketim değerleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir (Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8).



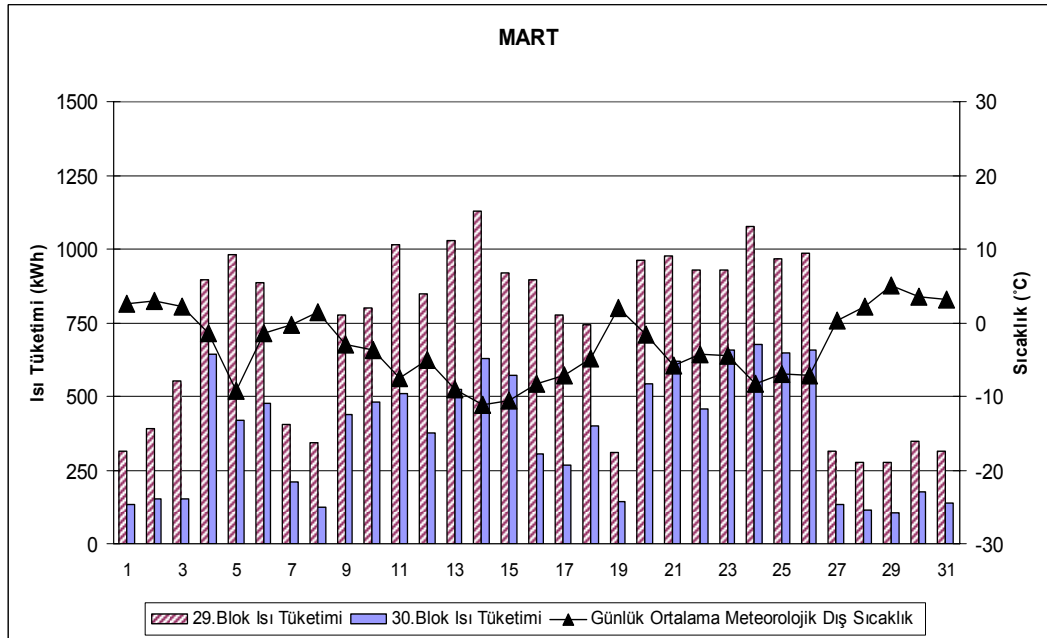
Şekil 4.4 İnceleme binalarının Aralık ayındaki günlük ısı tüketimleri



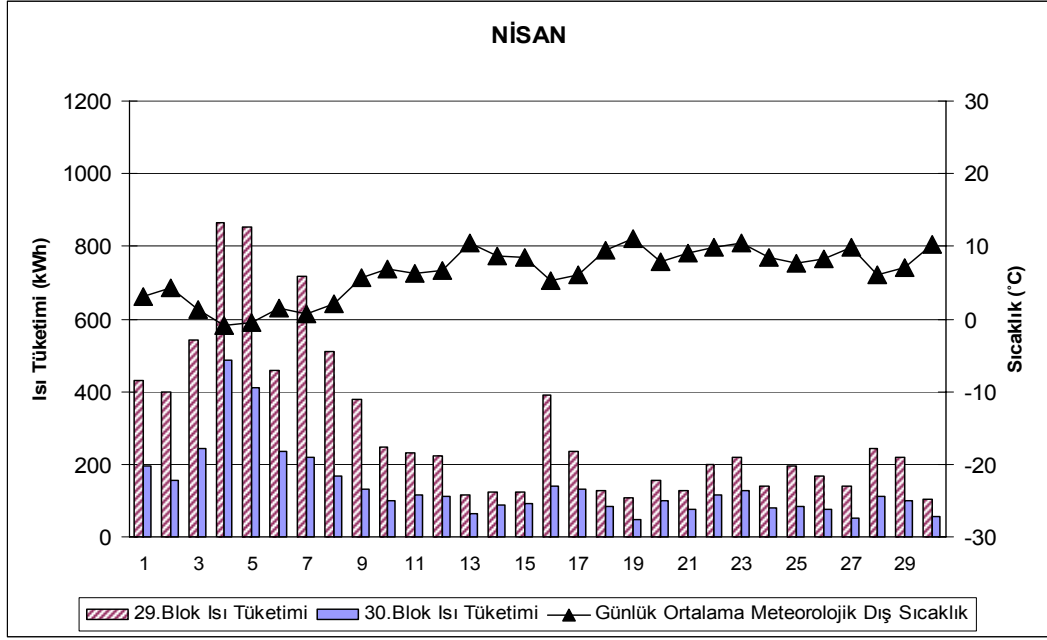
Şekil 4.5 İnceleme binalarının Ocak ayındaki günlük ısı tüketimleri



Şekil 4.6 İnceleme binalarının Şubat ayındaki günlük ısı tüketimleri

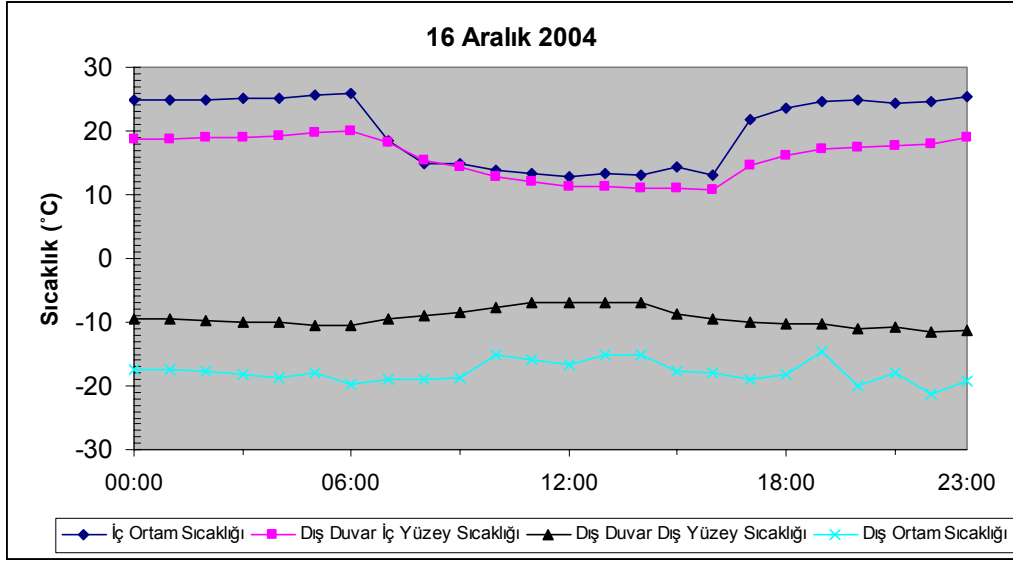


Şekil 4.7 İnceleme binalarının Mart ayındaki günlük ısı tüketimleri

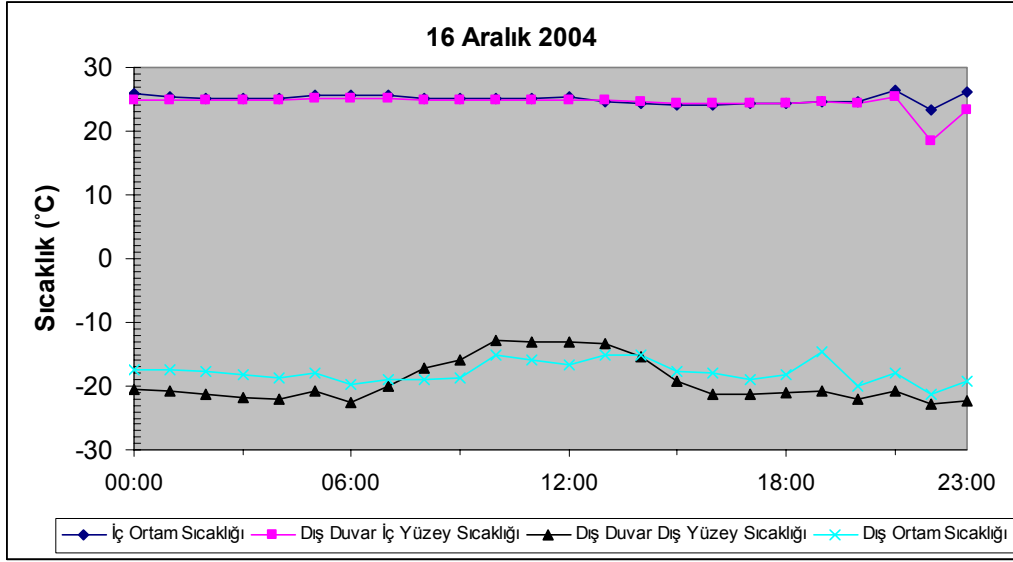


Şekil 4.8 İnceleme binalarının Nisan ayındaki günlük ısı tüketimleri

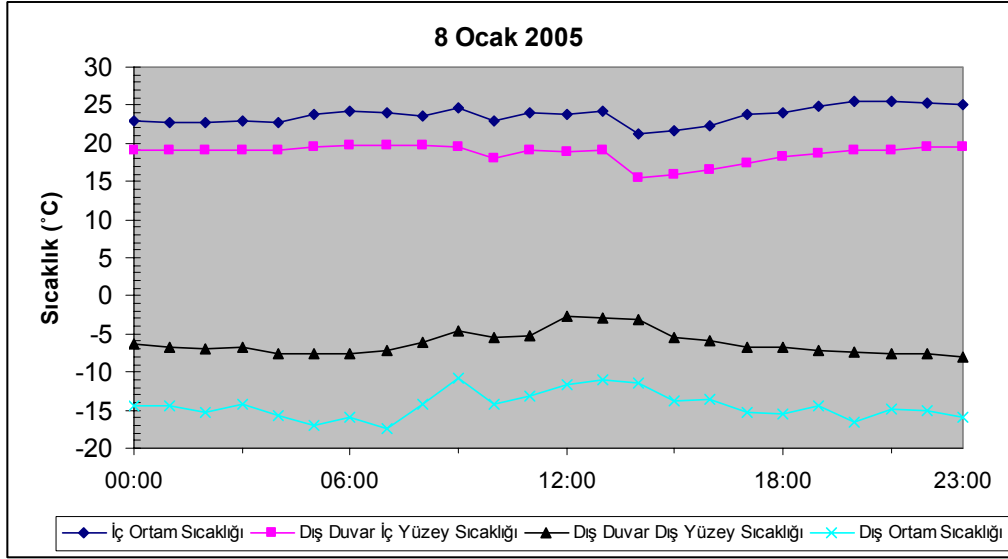
İnceleme konusu binalarda yapılan sıcaklık ölçümlerinde; iç ortam, iç yüzey, dış yüzey ve dış ortam sıcaklıkları ölçülmüştür. Buna göre ısıtma sezonunda günlük ortalama sıcaklıkların en düşük olduğu 16 Aralık 2004 ile 8 Ocak 2005'teki sıcaklıkları veren grafikler aşağıdaki gibidir:



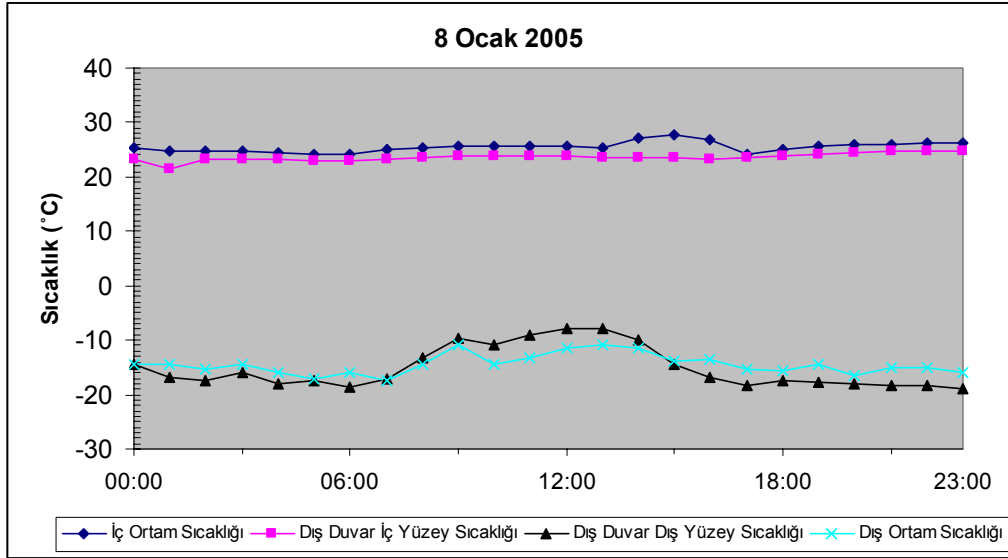
Şekil 4.9 Aralık ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 29. Blok'a ait sıcaklıklar



Şekil 4.10 Aralık ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 30. Blok'a ait sıcaklıklar

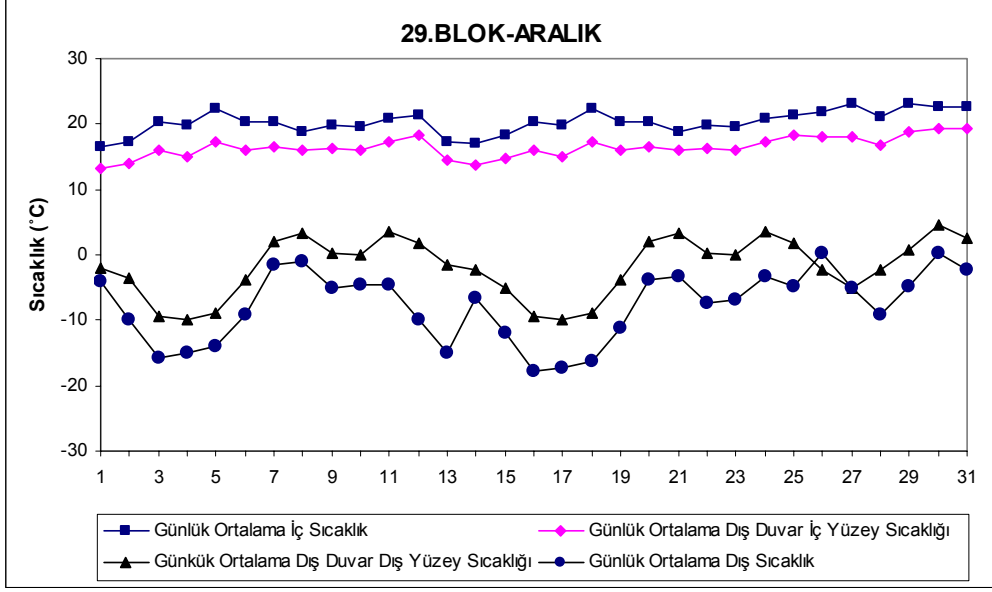


Şekil 4.11 Ocak ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 29. Blok'a ait sıcaklıklar

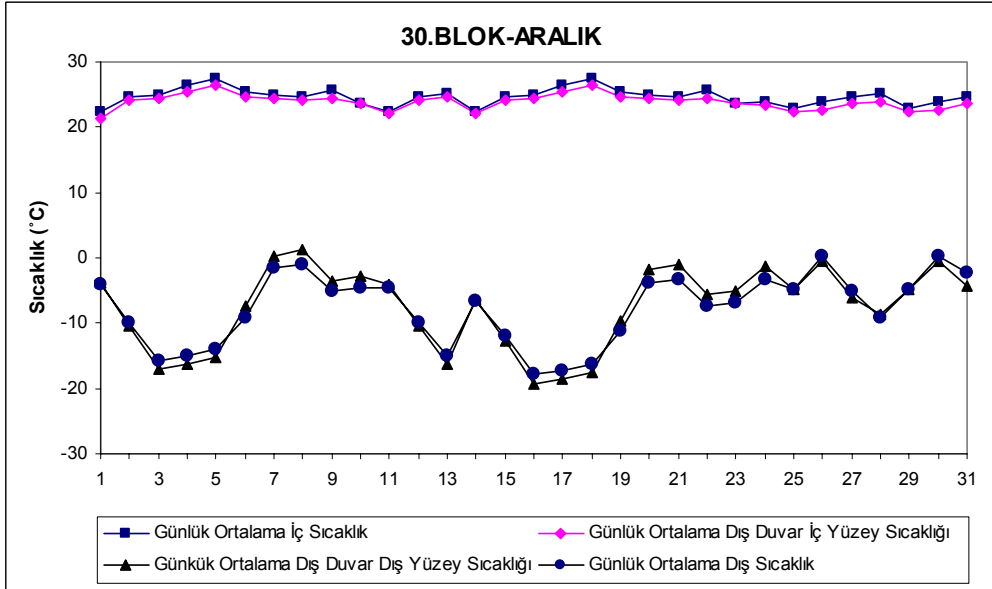


Şekil 4.12 Ocak ayında günlük ortalama sıcaklığın en düşük olduğu günde 30. Blok'a ait sıcaklıklar

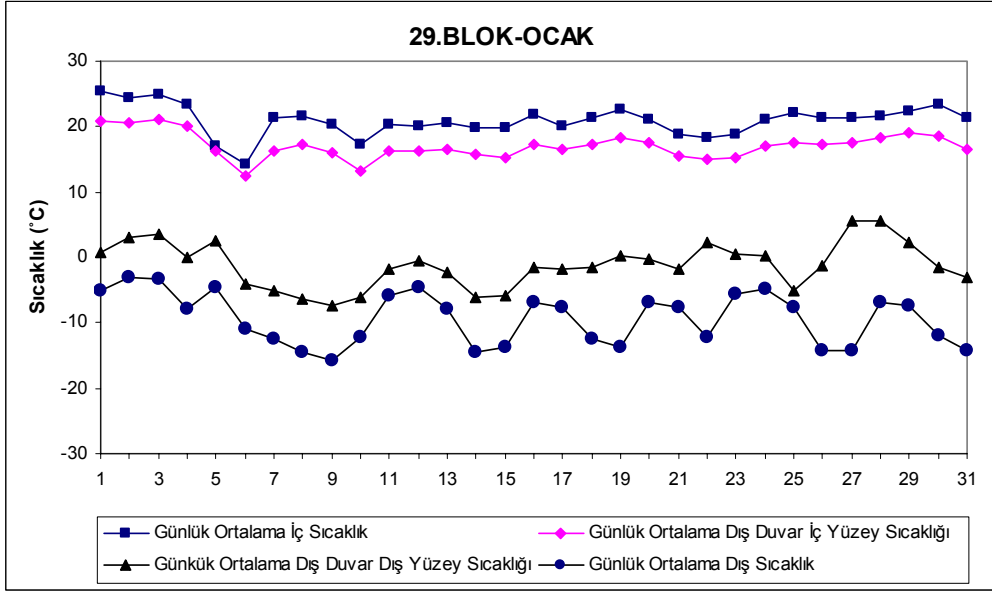
Ölçüm aylarına ait günlük ortalama iç ortam, iç yüzey, dış yüzey ve dış ortam sıcaklıklarına ait grafikler aşağıdaki gibidir.



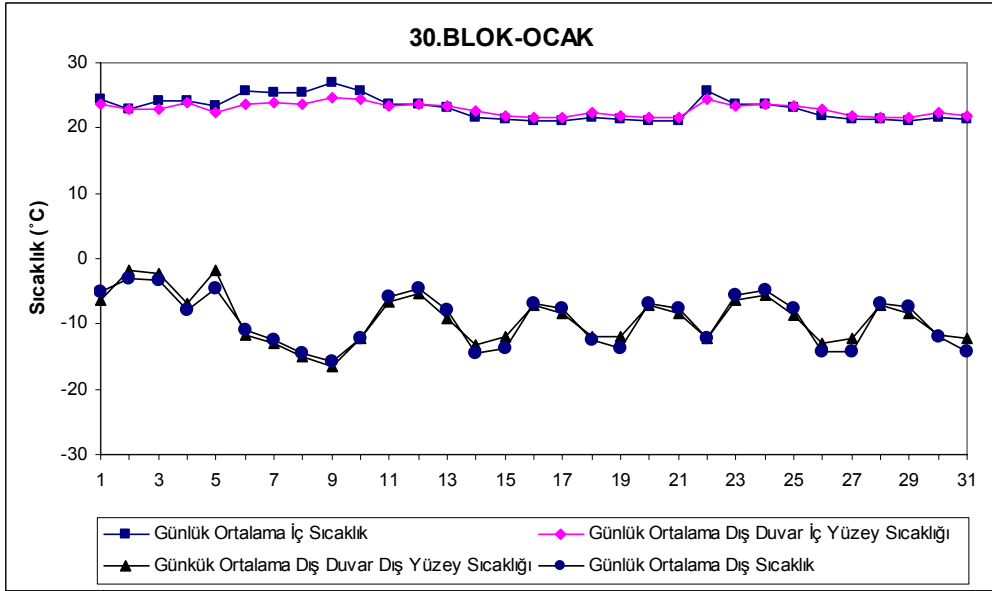
Şekil 4.13 29. Blok-Aralık ayına ait ortalama sıcaklıklar



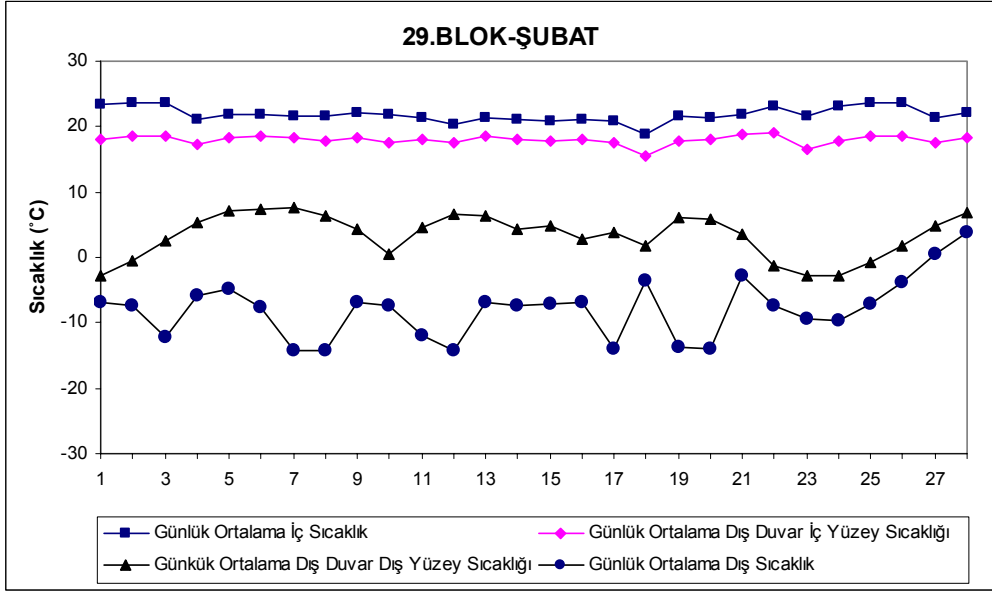
Şekil 4.14 30. Blok-Aralık ayına ait ortalama sıcaklıklar



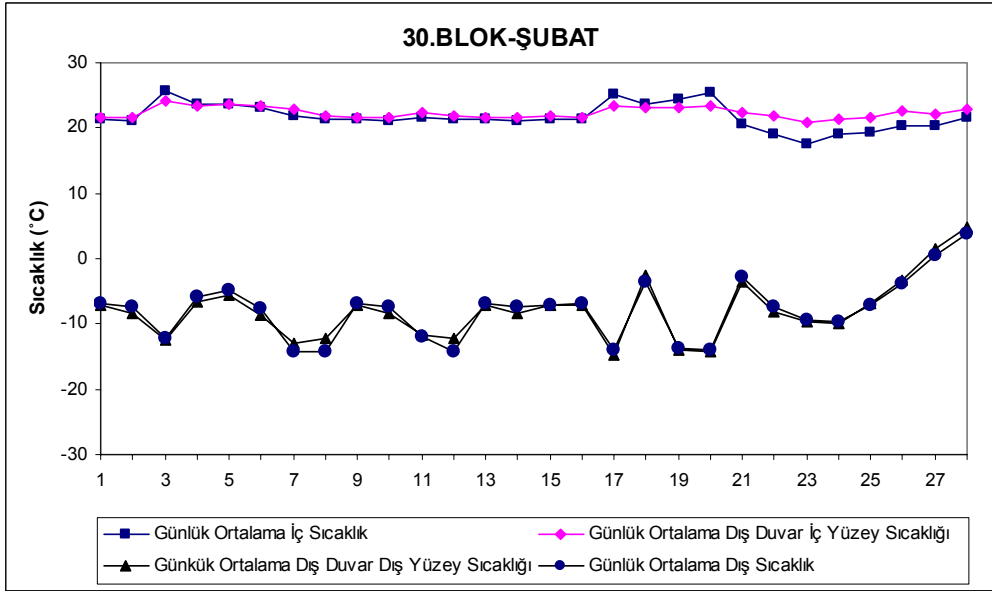
Şekil 4.15 29. Blok-Ocak ayına ait ortalama sıcaklıklar



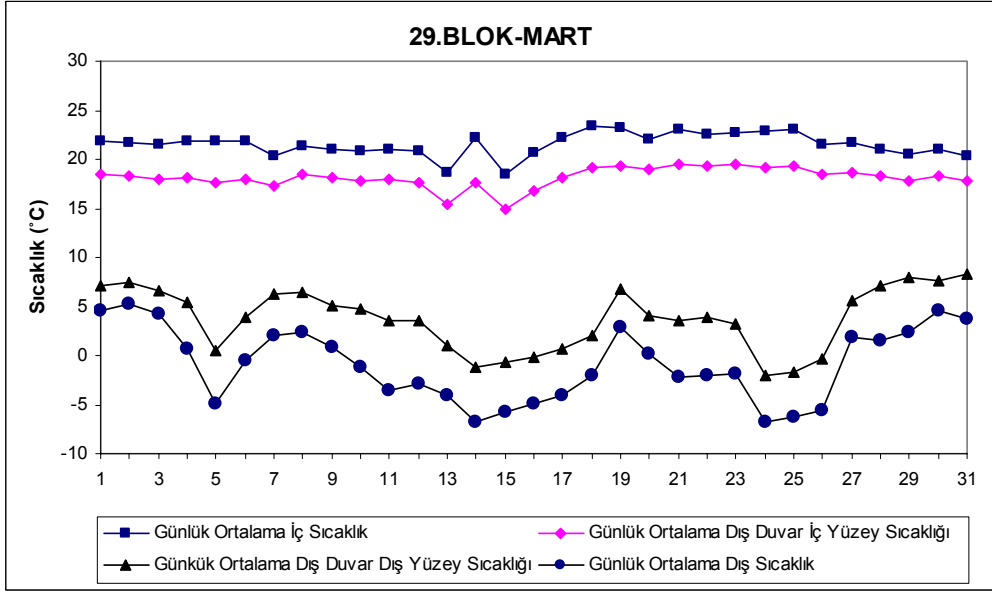
Şekil 4.16 30. Blok-Ocak ayına ait ortalama sıcaklıklar



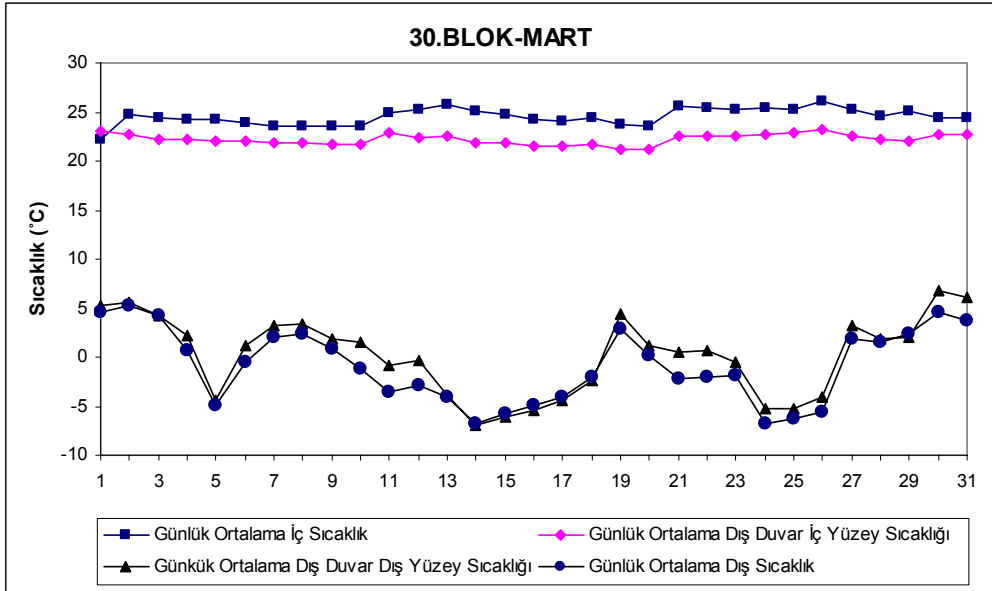
Şekil 4.17 29. Blok-Şubat ayına ait ortalama sıcaklıklar



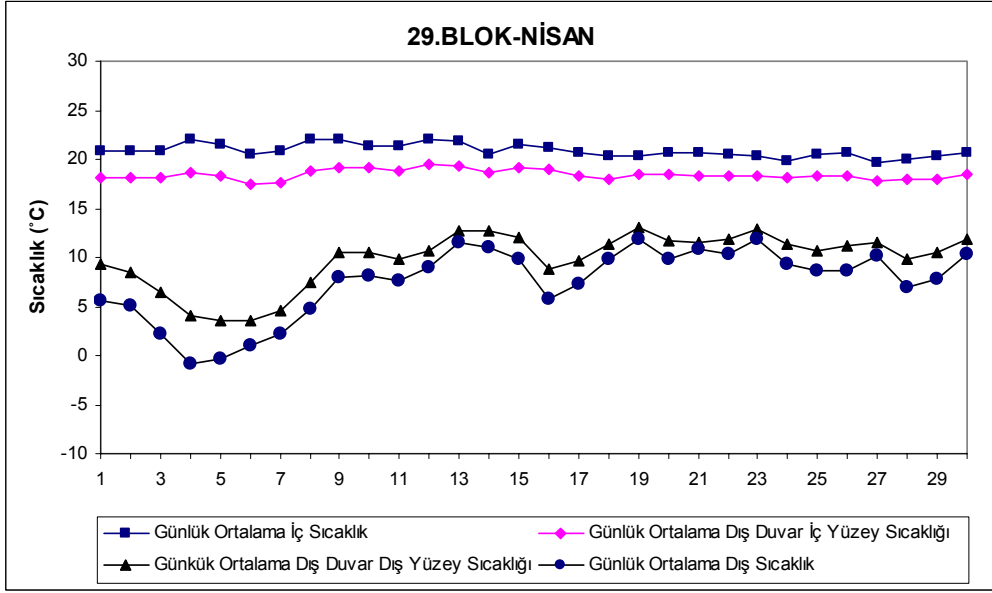
Şekil 4.18 30. Blok-Şubat ayına ait ortalama sıcaklıklar



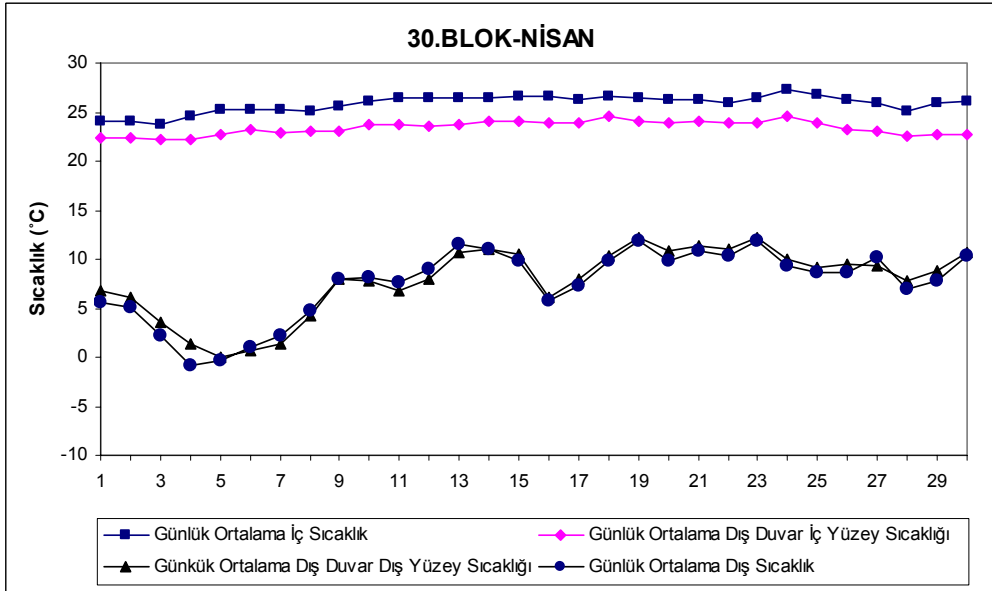
Şekil 4.19 29. Blok-Mart ayına ait ortalama sıcaklıklar



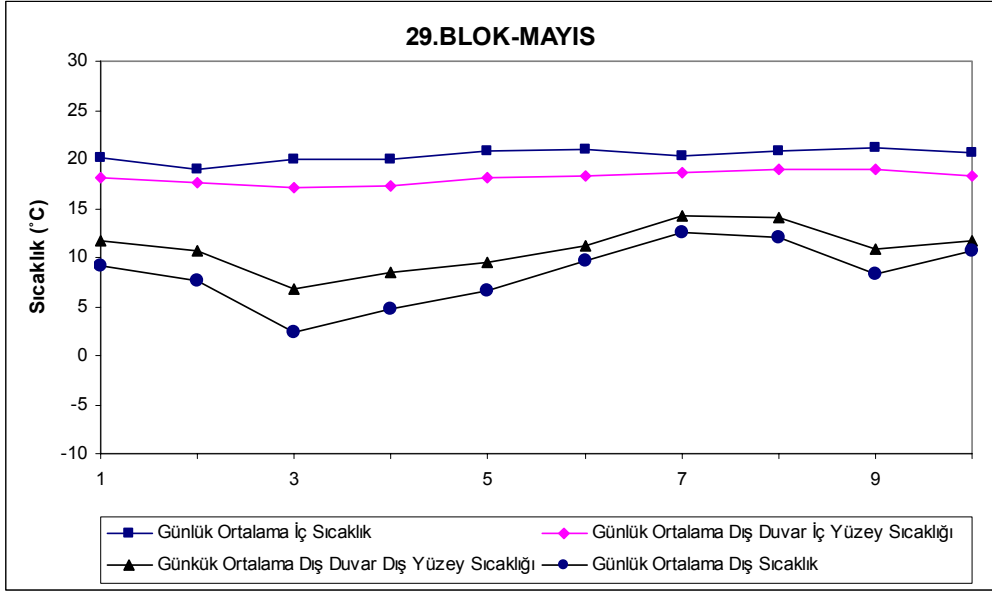
Şekil 4.20 30. Blok-Mart ayına ait ortalama sıcaklıklar



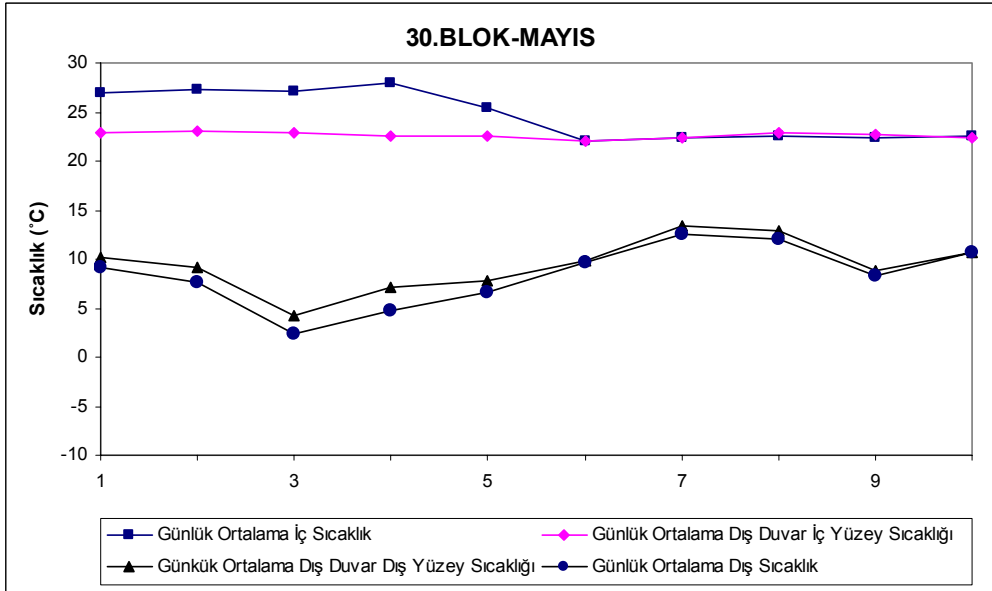
Şekil 4.21 29. Blok-Nisan ayına ait ortalama sıcaklıklar



Şekil 4.22 30. Blok-Nisan ayına ait ortalama sıcaklıklar



Şekil 4.23 29. Blok-Mayıs ayına ait ortalama sıcaklıklar



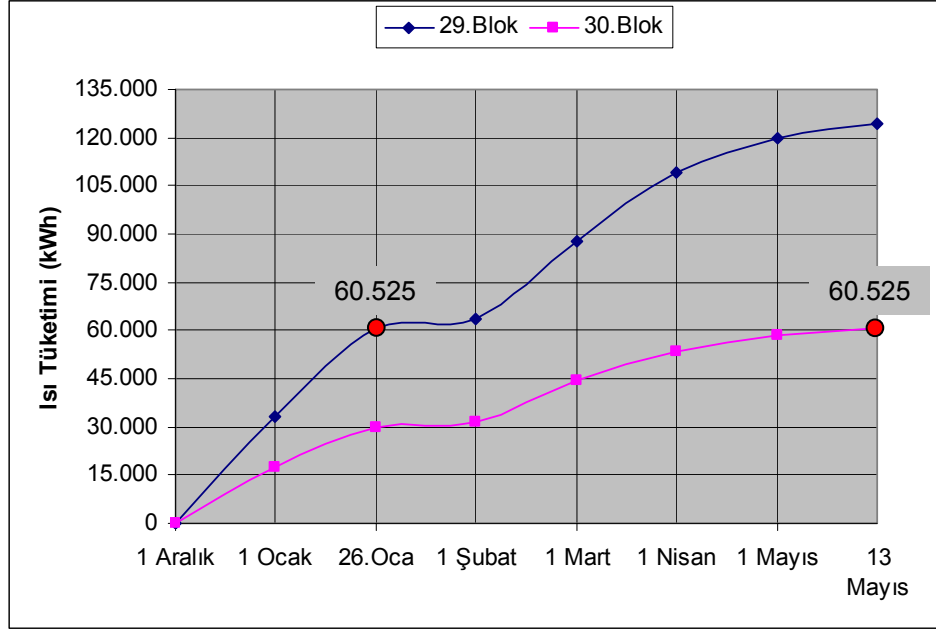
Şekil 4.24 30. Blok-Mayıs ayına ait ortalama sıcaklıklar

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

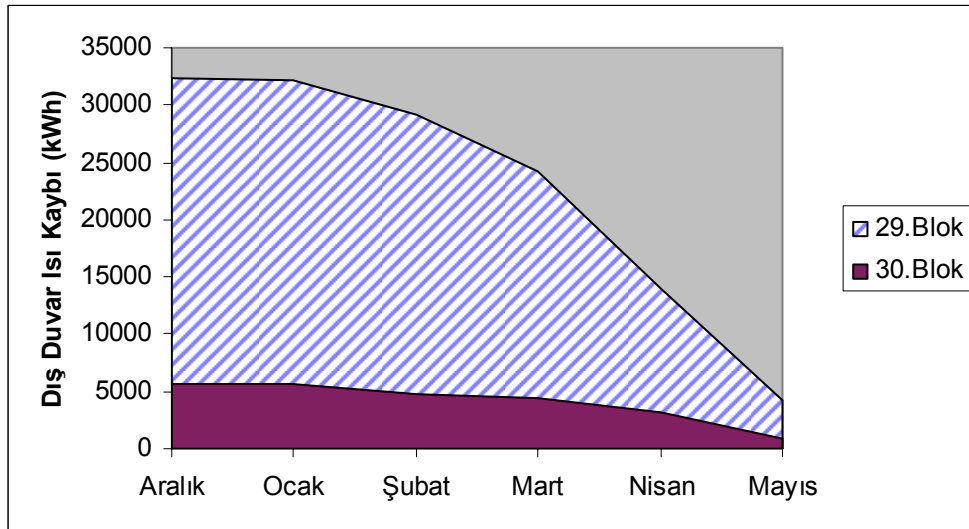
Erzurum’da tüketilen enerjinin büyük bir bölümü konutların ısıtılmasına harcanmaktadır. Bu yüzden ısı tüketimini azaltacak önlemlerin alınması büyük önem arz etmektedir. Bölgemizde bulunan konutların ısıtılması için büyük miktarda enerji tüketilirken, ısı yalıtımına gereken önem verilmemektedir. Atatürk Üniversitesinde ısıtma amacıyla her yıl yaklaşık 10 bin ton fuel-oil tüketilmekte ve üniversite bütçesinin büyük bir bölümü ısıtmaya harcanmaktadır. Yüksek yakıt tüketiminin en büyük sebebi binalardaki ısı yalıtımının yetersiz oluşudur. Isı yalıtımının yetersizliği sadece yalıtım kalınlığının yetersiz olmasından değil, aynı zamanda yanlış uygulama sonucu ısı köprülerinin engellenememesi ve binaların diğer yapı bileşenlerinde ısı yalıtımının ya hiç ya da eksik olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek enerji tüketimli bu binalar yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahiptirler. Bu açıdan yapılan iyileştirme çalışmalarının sonuçlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Gerçekleştirilen ısı rehabilitasyonu neticesinde karşılaştırmanın yapıldığı tarihler arasında 30 No’lu lojman binası, 29 No’lu lojman binasına göre %51.3 daha az ısı enerjisi tüketmiştir. Buna göre; 30.Blok’un incelemenin yapıldığı 1 Aralık–13 Mayıs tarihleri arasında tüketmiş olduğu toplam enerji ile 29.Blok sadece 1 Aralık–26 Ocak tarihleri arasında ısınabilmiştir (Şekil 5.1). Başka bir deyişle 1 Aralık’tan itibaren 30. Blok’u 165 gün ısıtan enerji 29. Blok’u 57 gün ısıtılabilmiştir. İnceleme binalarının ısı tüketimleri arasındaki farkın en büyük sebebi 30.Blok’un dış duvarlarının yalıtılmasından kaynaklanmaktadır. Ölçülen iç ve dış ortam sıcaklıkları yardımıyla, dış duvarlardan olan ısı kayıpları hesaplanmış ve gerçekleştirilen ısı yalıtımıyla dış duvarlardaki ısı kayıplarının yaklaşık %81 oranında

azaldığı görülmüştür (Şekil 5.2). Şekil 5.2 deki taralı alan ısının, dış duvar yalıtımı sayesinde dışarıya kaçarak kaybolmamış olan bölümünü göstermektedir.



Şekil 5.1 İnceleme binalarının toplam ısı tüketim değerleri



Şekil 5.2 İnceleme binalarında dış duvar ısı kayıpları

- Her iki lojman binasının dış duvarlarında meydana gelen ekserji kayıpları incelendiğinde, ölçümlerin yapıldığı aralıkta 29.Blok ve 30.Blok dış duvarlarında meydana gelen ekserji kayıplarının sırasıyla, 8 811 377 kJ ve 251 534 kJ olduğu görülmektedir (Çizelge 5.1). Buna göre 30.Blok dış duvarlarında %97 daha az ekserji kaybı meydana gelmiştir. Ayrıca 29.Blok dış duvarlarında sadece 1 Aralık–26 Ocak tarihleri arasında gerçekleşen ekserji kayıpları 4 150 799 kJ iken ölçümlerin yapıldığı tarih aralığında (1 Aralık-13 Mayıs) 30.Blok dış duvarlarında meydana gelen ekserji kayıpları ise toplam 251 534 kJ'dur. Bu durumda 30.Blok, 29.bloğun 1 Aralık–26 Ocak tarihleri arasında (57 gün boyunca) tükettiği toplam enerji ile hem daha fazla (165 gün) ısıtılabilmiş; hem de dış duvarlarında 29.bloğa göre yaklaşık %94 daha az ekserji kaybı meydana gelmiştir.

Çizelge 5.1 Dış duvarlarda meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları

	29. Blok		30. Blok	
	Enerji Kaybı (kJ)	Ekserji Kaybı (kJ)	Enerji Kaybı (kJ)	Ekserji Kaybı (kJ)
Aralık	116 250 223	2 303 698	20 553 344	66 680
Ocak	115 758 674	2 271 059	20 508 837	65 772
Şubat	104 850 809	2 057 125	16 972 914	50 968
Mart	87 320 372	1 317 632	16 104 440	41 253
Nisan	50 468 489	485 118	11 247 823	21 002
1-13 Mayıs	15 069 836	376 745	3 319 898	5 859
Toplam	489 718 403	8 811 377	88 707 256	251 534

- 30.Blok kalorifer tesisatına yerleştirilen dış hava kompenzasyon sistemi, yüksek hava sıcaklıklarında yalıtımlı lojman binasının aşırı derecede ısınmasını ve özellikle ani sıcaklık yükselişlerinde dinamik bir kontrol sağlayarak yakıt tüketiminin artmasını önlemiştir. Tesisat su sıcaklığının dış hava sıcaklığına bağlı olarak ayarlanması ile

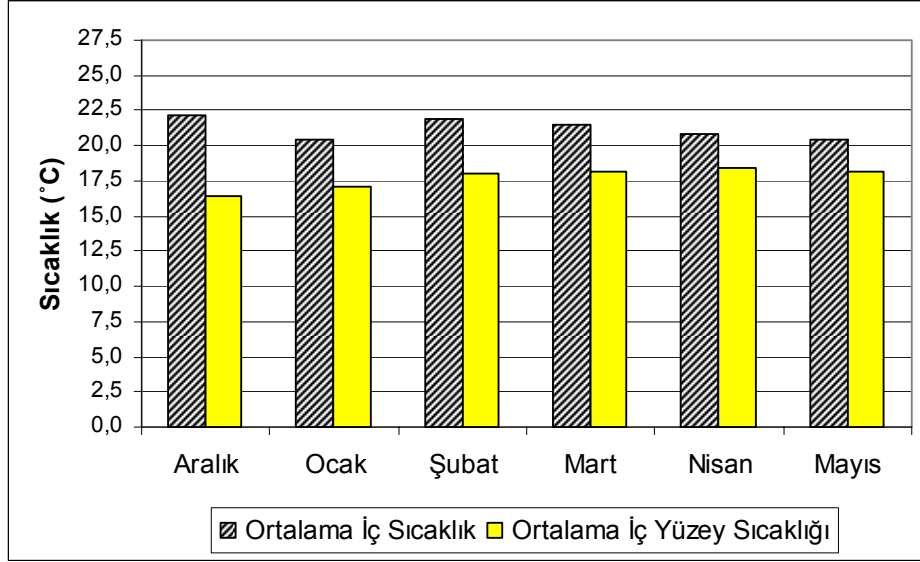
30.Blok'taki ısıtıcılara giden su sıcaklıkları, 29.Blok'taki ısıtıcılara giden su sıcaklıklarından düşük olmuştur. Bu durum 30.Blok'taki iç ortamların daha düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından enerji almasına sebep olmuş ve böylece radyatörlerle iç ortamlar arasında gerçekleşen ısı transferinden dolayı meydana gelen tersinmezlikler azalmıştır. Ölçüm aralığında, 30.Bloktaki ısıtıcılarla iç ortamlar arasındaki ısı transferinden dolayı oluşan tersinmezlik, toplam 31 118 397 kJ olarak hesaplanmıştır. Buna karşın 29.Blokta, 1 Aralık – 26 Ocak tarihleri arasında ısıtıcılar ile iç ortamlar arasındaki ısı transferinden dolayı oluşan tersinmezlik ise 43 613 996 kJ'dur (Aralık ve Ocak aylarında 29.Bloktaki ısıtıcılara giden tesisat suyu sıcaklığı 90°C olarak kabul edilmiştir). Bu da, aynı ısı tüketim değerlerinde, 30.Bloktaki ısıtıcılarla iç ortamlar arasındaki ısı transferi nedeniyle oluşan tersinmezliğin 29.Blok'taki tersinmezliğe oranla %28.6 daha az gerçekleştiğini göstermektedir.

Çizelge 5.2 30.Blokta radyatörlerle iç ortamlar arasında meydana gelen ısı transferinden kaynaklanan tersinmezliklerin aylara göre dağılımı

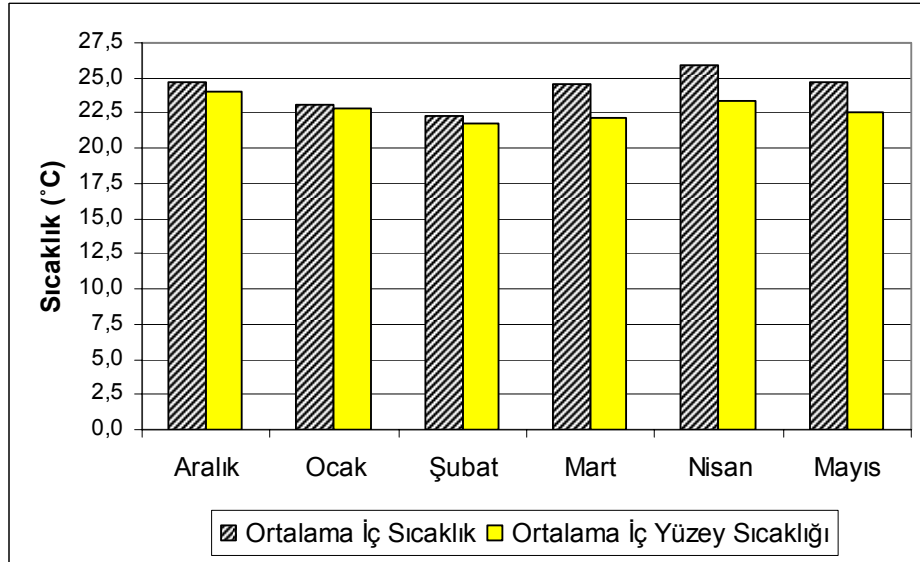
	Aylık Ortalama Dış Sıcaklık (°C)	Aylık Ortalama Tesisat Gidiş Suyu Sıcaklığı (°C)	Aylık Ortalama İç Sıcaklık (°C)	Aylık Ortalama Tersinmezlik (kJ)
Aralık	-14,1	82	24,7	10 195 199
Ocak	-13,6	80	23,1	8 168 399
Şubat	-11,3	75	21,8	6 955 199
Mart	-3,1	65	24,5	3 945 600
Nisan	6,3	50	25,8	1 310 400
1-13 Mayıs	8,4	46	24,7	543 600
			Toplam	31 118 397

- Karşılaştırma binalarında ölçülen sıcaklıklar incelendiğinde; aylık ortalama iç ortam sıcaklıklarının 30.Blokta daha yüksek olduğu görülmektedir. İç ortam sıcaklıkları ile iç yüzey sıcaklıkları arasındaki farkların ortalaması 29.Blok için 3.5 °C, 30.Blok için ise 1.3°C olarak

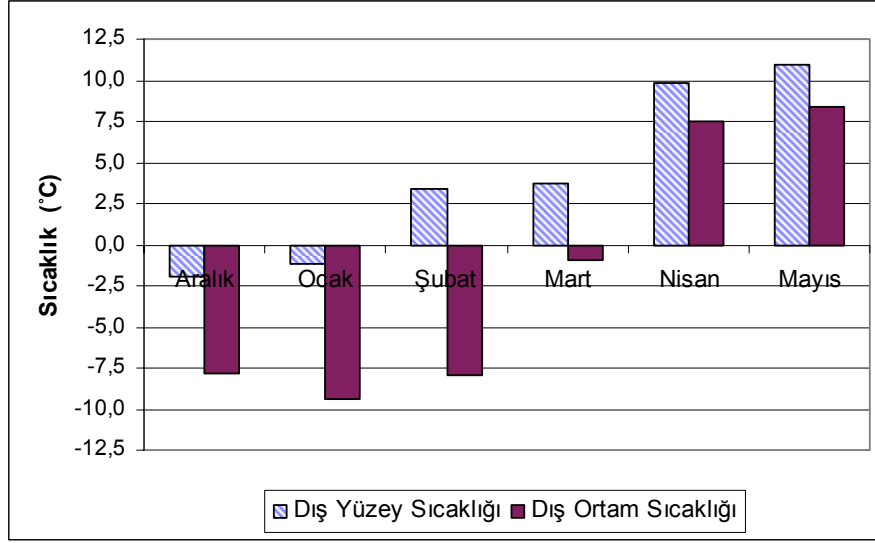
hesaplanmıştır (Şekil 5.3 ve 5.4). İç ortam ile iç yüzey sıcaklıkları arasındaki fark Aralık ayında 29.Blok için 5.7 °C'ye kadar çıkmışken, saatlik ölçümlerde bu farkın daha da büyük çıkabildiği görülmüştür. Duvar iç yüzey sıcaklıklarının ortam sıcaklıklarından uzaklaşmasının en büyük nedeni 29.Blok dış duvarlarının yalıtımsız oluşudur. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması hava akımlarını artırdığından, iç ortam sıcaklıkları normal düzeylerde olsa bile hava hızından dolayı konforsuzluk hissi doğurmaktadır. Düşük yüzey sıcaklıkları aynı zamanda duvar yüzeylerinde yoğuşmaya neden olmaktadır. Bu durum 29.Blok duvarlarında belirli bir şekilde kendini göstermektedir. Konforlu bir mekanda iç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark 3°C den fazla olmamalıdır. İnceleme binalarının dış yüzey ile dış ortam sıcaklıkları karşılaştırıldığında; yalıtımsız olan 29.Blokta, dış yüzey ile dış ortam sıcaklıkları arasındaki farkın benzer şekilde 30.Bloktakinden daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 5.5 ve 5.6). Bu durum da 29.Blok dış duvarlarının yalıtımsız olmasından kaynaklanmaktadır.



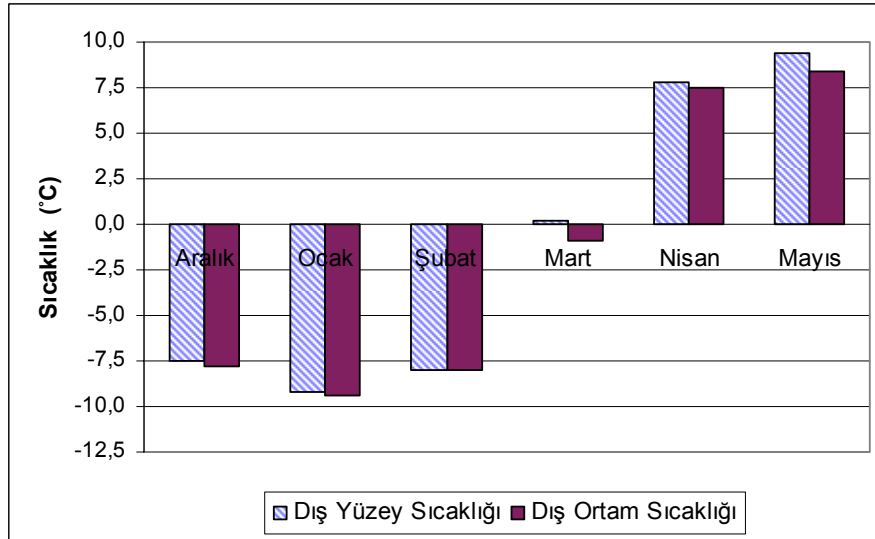
Şekil 5.3 29.Blok'a ait aylık ortalama iç ortam ve dış duvar iç yüzey sıcaklıkları



Şekil 5.4 30.Blok'a ait aylık ortalama iç ortam ve dış duvar iç yüzey sıcaklıkları



Şekil 5.5 29.Blok'a ait aylık ortalama dış hava ve dış duvar dış yüzey sıcaklıkları



Şekil 5.6 30.Blok'a ait aylık ortalama dış hava ve dış duvar dış yüzey sıcaklıkları

- İncelemelerin yapıldığı ısıtma dönemindeki Mart ayında Atatürk Üniversitesinde Merkezi Isı Santraline doğalgaz kullanımına geçilmiştir. Gerçekleştirilen ısı rehabilitasyonu sonucunda ölçüm aralığında 30.Blok'un, 29.bloğa göre 6 ton daha az fuel oil ve 1192 m³ daha az doğalgaz tükettiği hesaplanmıştır. Bununla birlikte 10766 m³ daha az CO₂ ve 50 m³ daha az SO₂ atmosfere salınmış ve hava kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Çomaklı, K., Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, (2003).
- [2] Ülgen, K., Yapılarda Enerji Verimliliği ve Yönetimi Semineri, İYEM, Gebze, (2005), 10.
- [3] Uyar, T.S., “Yenilenebilir Enerji”, *Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Dergisi*, 55, (2005), 16.
- [4] Özkahraman, H.T., Bolattürk, A., “The use of tuff stone cladding in buildings for energy conservation”, *Construction and Building Materials*, 20, (2006) 435–440.
- [5] Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., Pancar, Y., “Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources”, *Applied Energy*, in press.
- [6] Bolattürk, A., “Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey”, *Applied Thermal Engineering*, 26 (2006), 1301–1309.
- [7] Çomaklı, K., Yüksel, B., “Optimum insulation thickness of external walls for energy saving”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (2003), 473–479.
- [8] Mohsen, M.S., Akash, B.A., “Some prospects of energy savings in buildings”, *Energy conversion and management*, 42 (2001), 1307–1315.
- [9] Nussbaumer, T., Wakili, K.G., Tanner, C., “Experimental and numerical investigation of the thermal performance of a protected vacuum insulation system applied to a concrete wall”, *Applied Energy* 83 (2006), 841–855.
- [10] Arslan, O., Köse, R., “Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings”, *Energy and Buildings*, in press.

[11] Gieseler, U.D.J., Heidt, F.D., Bier, W., "Evaluation Of The Cost Efficiency Of An Energy Efficient Building", *Renewable Energy Journal* 29 (2004), 369–376.

[12] Cihan, T., "EPS Bloklü, elik donatılı beton taşıyıcı duvarlı binanın ısı performansı", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2004).

[13] Filippin, C., Beascochea, A., "Energy-efficient housing for low-income students in a highly variable environment of central Argentina", *Renewable Energy*, in press.

[14] Ueno, T., Sano, F., Saeki, O., Tsuji, K., "Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data", *Applied Energy* 83 (2006), 166–183.

[15] Akbari, H., "Measured energy savings from the application of reflective roofs in two small non-residential buildings", *Energy* 28 (2003), 953–967.

[16] Gustafsson, S.I., "Optimisation of insulation measures on existing buildings", *Energy and Buildings* (2000), 33, 49-55.

[17] Al-Homoud, M.S., "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials", *Building and Environment*, 40 (2005), 353–366.

[18] Evcil, N., Isı izolasyonu ve dış duvarların enerji etkin yenilenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, (2000).

[19] Arıkol, M., Ekserji Analizine Giriş, Tübitak Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Gebze, (1985).

[20] engel, Y.A., Boles, M.A., Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, Mc.Graw Hill, 867.

[21] Atatürk Üniversitesi web sitesi, www.atauni.edu.tr

[22] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

[23] Ünalın, H., Yapı kabuğunda ısı yalıtımının irdelenmesi ve Anadolu Üniversitesi Lojmanları örneği, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Eskişehir, (2003).

[24] Erzurum'daki binalarda enerji etkinliğinin teŖviki projesi (Proje numarası: 2000.2226.9-001.00), Eutech ve Ing.Büro Hobrack, Demonstrasyon Binası: Üniversite-Binaları No. 28/29/30 için ön fizibilite çalışması raporu, Erzurum, (2004).

[25] Karakoç, T.H., Uygulamalı TS 825 ve kalorifer tesisatı hesabı, Anadolu Üniversitesi, (2001).

[26] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü web sitesi, www.eie.gov.tr Isıtma tesisatı kitabı, Isısan çalışmaları No:265.

[27] Erzurum'daki binalarda enerji etkinliğinin teŖviki projesi (Proje numarası: 2000.2226.9-001.00), Erzurum'daki demonstrasyon objelerinin analizleri izleme raporu, Erzurum, (2005).

[28] Isı, Ses, Yangın, İzolasyon, İzocam Yayınları

[29] Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, www.izoder.org

[30] Isıtma tesisatı kitabı, Isısan çalışmaları No:265.

[31] Ontrol T3001 Yakıt tasarruf paneli, Mühendislik kılavuzu.

[32] Schramek, R., Isıtma ve klima tekniği el kitabı, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın No:11, (2003)

[33] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

[34] www.sayac.com

[35] www.enersis.com.tr

EKLER

EK A İnceleme Binaları Mevcut Durum (Yalıtımsız) TS 825 Hesaplamaları

Çizelge A.1 İnceleme binaları mevcut durum özgül ısı kaybı hesap çizelgesi

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı elemanının kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri	$d/\lambda, 1/\alpha$	Isı iletkenlik katsayısı	Isı kaybedilen yüzey	Isı kaybı
			d (m)	λ_n (W/mK)	(m ² K/W)	U (W/m ² K)	A m ²	A x U (W/K)
DUVAR (dış havaya açık) DUVAR 1	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,030	0,870	0,034			
	7.1.2	TS 704, TS 705 'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	0,200	0,560	0,357			
	4.2	Çimento harcı	0,030	1,400	0,021			
	1/ α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı			0,04			
TOPLAM					0,58	1,715	456,40	782,73
DUVAR (dış havaya açık) DUVAR 2	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,030	0,870	0,034			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	0,250	2,100	0,119			
	4.2	Çimento harcı	0,030	1,400	0,021			
	1/ α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı			0,04			
TOPLAM					0,34	2,898	210,93	611,28
DUVAR (dış havaya açık) DUVAR 3	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	0,870	0,023			
	7.6.1.3	Hafif betondan boşluklu bloklarla duvarlar (kurvars kumu katılmaksızın TS 2823 uygun BDB türü bloklarla) > 2000, < 2600 kg/m ³	0,600	1,740	0,345			
	4.2	Çimento harcı	0,030	1,400	0,021			
	1/ α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı			0,04			
TOPLAM					0,56	1,788	32,69	58,45
DUVAR (toprağa temas eden) DUVAR 1	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	0,870	0,023			
	7.6.1.3	Hafif betondan boşluklu bloklarla duvarlar (kurvars kumu katılmaksızın TS 2823 uygun BDB türü bloklarla) > 2000, < 2600 kg/m ³	0,600	1,740	0,345			
	1/ α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı			0,04			
	TOPLAM					0,50	0,5x 1,859	53,55
DUVAR (toprağa temas eden) DUVAR 2	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,030	0,870	0,034			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun),	0,250	2,100	0,119			

Çizelge A.1'in devamı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı elemanının kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	$d/\lambda, 1/\alpha$ (m ² K/W)	Isı iletkenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isı kaybedilen yüzey A m ²	Isı kaybı A x U (W/K)
	1/α d	doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı) Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı						
TOPLAM					0,28	0,5x 3,090	9,78	15,11
TAVAN (çatılı)	1/α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
TAVAN I	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	0,870	0,023			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	0,120	2,100	0,057			
	10.4	Mineral ve bitkisel lifli yalıtım malzemeleri (TS 901)	0,120	0,040	3,000			
	1/α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı			0,08			
TOPLAM					3,29	0,8x 0,303	161,30	39,10
TABAN (toprağa oturan/iç ortam)	1/α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
TABAN I	9.1.3	Sentetik malzemeden kaplamalar (örneğin PVC)	0,003	0,230	0,013			
	4.6	Çimento harçlı şap	0,050	1,400	0,036			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	0,100	2,100	0,048			
	5.1.2	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatısız)	0,150	1,740	0,086			
	1/α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı						
TOPLAM					0,31	0,5x 2,836	161,30	228,72
PENCERE						2,800	77,51	217,03
KAPI						5,500	4,95	27,23
Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı :							2.029,41	W/K

$$H = H_i + H_h$$

$$H_i = 2.029,41 \quad W/K$$

$$H_h = 627,8 \quad W/K$$

$$H = 2.657,19 \quad W/K$$

Çizelge A.2 İnceleme binaları mevcut durum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesap çizelgesi

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H = H_i + H_h$ (W/K)	$T_i - T_d$ (K,C)	$H(T_i - T_d)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_g (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_g$ (W)			
OCAK	2.657,19	24,2	64.303	3.805	1.577	5.382	0,08	1,00	152.723.232
ŞUBAT		23,1	61.381		1.966	5.771	0,09	1,00	144.141.120
MART		20,3	53.940		2.425	6.230	0,12	1,00	123.664.320
NİSAN		13,9	36.934		2.514	6.319	0,17	1,00	79.354.080
MAYIS		8,9	23.648		2.941	6.746	0,29	0,97	44.334.552
HAZİRAN		5,5	14.614		3.078	6.883	0,47	0,88	22.179.640
TEMMUZ		1,8	4.782		3.002	6.807	1,42	0,51	3.396.634
AĞUSTOS		1,8	4.782		2.832	6.637	1,39	0,51	3.621.360
EYLÜL		5,8	15.411		2.430	6.235	0,40	0,92	25.077.081
EKİM		12,1	32.151		1.988	5.793	0,18	1,00	68.319.936
KASIM		17,7	47.032		1.510	5.315	0,11	1,00	108.130.464
ARALIK		22,0	58.458		1.381	5.186	0,09	1,00	138.081.024
Q _{yıl} = Σ Q _{ay} =									913.023.443

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 1/1000 \times 913.023.443 = 253.820 \text{ kWh}$$

Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı Q' = 41,07 kWh/m³

Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı Q = 106,74 kWh/m³

EK B Isı yalıtımından sonra 30.Blok'a ait TS 825 hesaplamaları

Çizelge B.1 Isı yalıtımı sonrası 30.Blok'a ait özgül ısı kaybı hesap çizelgesi

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı elemanının kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri	$d/\lambda, 1/\alpha$	Isı iletkenlik katsayısı	Isı kaybedilen yüzey	Isı kaybı
			d (m)	λ (W/mK)	(m ² K/W)	U (W/m ² K)	A m ²	A x U (W/K)
DUVAR (dış havaya açık)	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)						
DUVAR 1	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,030	0,870	0,034			
	7.1.2	TS 704, TS 705 'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	0,200	0,560	0,357			
	4.2	Çimento harcı	0,030	1,400	0,021			
	10.2.1.1	Polistiren - partiküler köpük (TS 7316)	0,080	0,033	2,424			
	4.8	Anorganik asıllı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,008	0,300	0,027			
	1/ α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
TOPLAM					3,03	0,329	456,40	150,16
DUVAR (dış havaya açık)	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)						
DUVAR 2	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,030	0,870	0,034			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	0,250	2,100	0,119			
	4.2	Çimento harcı	0,030	1,400	0,021			
	10.2.1.1	Polistiren - partiküler köpük (TS 7316)	0,080	0,033	2,424			
	4.8	Anorganik asıllı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,008	0,300	0,027			
	1/ α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
TOPLAM					2,80	0,357	210,93	75,30
DUVAR (dış havaya açık)	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)						
DUVAR 3	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	0,870	0,023			
	7.6.1.3	Hafif betonndan boşluklu bloklarla duvarlar (kuvars kumu katılmaksızın TS 2823 uygun BDB türü bloklarla) > 2000, < 2600 kg/m ³	0,600	1,740	0,345			
	4.2	Çimento harcı	0,030	1,400	0,021			
	10.2.1.1	Polistiren - partiküler köpük (TS 7316)	0,080	0,033	2,424			
	4.8	Anorganik asıllı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,008	0,300	0,027			
	1/ α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)			0,04			
TOPLAM					3,01	0,332	32,69	10,85
DUVAR (toprağa temas eden)	1/ α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)						
DUVAR 1	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	0,870	0,023			
	7.6.1.3	Hafif betonndan boşluklu bloklarla duvarlar (kuvars kumu katılmaksızın TS 2823 uygun BDB türü bloklarla) >	0,600	1,740	0,345			

Çizelge B.1'in devamı

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı elemanının kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri	$d/\lambda, 1/\alpha$	Isı iletkenlik katsayısı	Isı kaybedilen yüzey	Isı kaybı
			d (m)	λ_h (W/mK)	(m ² K/W)	U (W/m ² K)	A m ²	A x U (W/K)
	1/α d	2000, < 2600 kg/m ³ Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı						
TOPLAM					0,50	0,5x 1,859	53,55	49,77
DUVAR (toprağa temas eden)	1/α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
DUVAR 2	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,030	0,870	0,034			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	0,250	2,100	0,119			
	1/α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı						
TOPLAM					0,28	0,5x 3,090	9,78	15,11
TAVAN (çatılı)	1/α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,13			
TAVAN 1	4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	0,870	0,023			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	0,120	2,100	0,057			
	10.4	Mineral ve bitkisel lifli yalıtım malzemeleri (TS 901)	0,120	0,040	3,000			
	1/α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı			0,08			
TOPLAM					3,29	0,8x 0,303	161,30	39,10
TABAN (toprağa oturan/iç ortam)	1/α i	Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)			0,17			
TABAN 1	9.1.3	Sentetik malzemeden kaplamalar (örneğin PVC)	0,003	0,230	0,013			
	4.6	Çimento harçlı şap	0,050	1,400	0,036			
	5.1.1	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	0,100	2,100	0,048			
	5.1.2	Normal beton, (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatısız)	0,150	1,740	0,086			
	1/α d	Yüzeysel ısı iletim katsayısı dışı						
TOPLAM					0,31	0,5x 2,836	161,30	228,72
PENCERE						2,800	77,51	217,03
KAPI						5,500	4,95	27,23
Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı :							813,27	W/K

$$H = H_i + H_h$$

$$H_i = 813,27 \quad W/K$$

$$H_h = 627,8 \quad W/K$$

$$H = 1.441,04 \quad W/K$$

Çizelge B.2 Isı yalıtımı sonrası 30.Blok'a ait yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesap çizelgesi

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H = H_i + H_h$ (W/K)	$T_i - T_d$ (K,C)	$H(T_i - T_d)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_g (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_g$ (W)			
OCAK	1.441,04	24,2	34.873	3.805	1.577	5.382	0,15	1,00	76.440.672
ŞUBAT		23,1	33.288		1.966	5.771	0,17	1,00	71.324.064
MART		20,3	29.253		2.425	6.230	0,21	0,99	59.837.097
NİSAN		13,9	20.030		2.514	6.319	0,32	0,96	36.194.065
MAYIS		8,9	12.825		2.941	6.746	0,53	0,85	18.379.612
HAZİRAN		5,5	7.925		3.078	6.883	0,87	0,68	8.409.899
TEMMUZ		1,8	2.593		3.002	6.807	2,63	0,00	0
AĞUSTOS		1,8	2.593		2.832	6.637	2,56	0,00	0
EYLÜL		5,8	8.358		2.430	6.235	0,75	0,74	9.704.707
EKİM		12,1	17.436		1.988	5.793	0,33	0,95	30.929.428
KASIM		17,7	25.506		1.510	5.315	0,21	0,99	52.472.836
ARALIK		22,0	31.702		1.381	5.186	0,16	1,00	68.729.472
$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} =$									432.421.852

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 1/1000 \times 432.421.852 = 120.213 \text{ kWh}$$

Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı $Q' = 41,07 \text{ kWh/m}^3$

Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı $Q = 50,55 \text{ kWh/m}^3$