

İŞYERLERİNDE ENERJİ TASARRUFU VE  
ETÜD İŞLEMLERİ

Sezai UYSAL

**Anadolu Üniversitesi**  
Mühendislik Fakültesi

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

1992

İŞYERLERİNDE ENERJİ TASARRUFU VE  
ETÜD İŞLEMLERİ

Sezai Uysal

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof.Dr.Kemal Taner

Anadolu Üniversitesi  
Merkez Kütüphane

Eylül - 1992

Sezai Uysal'ın Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı" İş Yerlerinde Enerji Tasarrufu ve Etüd İşlemleri" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

28/10/1992

Üye: Prof. Dr. Kemal Taner (Danışman)

Üye: Doç. Dr. Yaşar Pancar

Üye: Doç. Dr. Berrin Erbay

Fen Bilimleri enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
0.....1992. gün ve...334-2. sayılı  
kararıyla onaylanmıştır

Prof. Dr. Rüstem Kaya  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yaşam ve konfor için bir gereksinim olan enerji kaynaklarının sınırlı oluşu, artan nüfus artışına ve konfor isteklerine aynı oranda cevap veremediğinden enerji maliyetleri her geçen gün artmaktadır. Bu durum, enerjinin etkin kullanılması gereğini ortaya koymaktadır. Enerji genellikle üretim, taşıma, ısıtma, soğutma havalandırma ve aydınlatma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Konutlarda ve işyerlerinde harcanan enerjinin büyük kısmı ısıtma, soğutma ve aydınlatma amaçlıdır. Konutlar genellikle soğutmadan ziyade ısıtma amaçlı enerji kullanmakta ve gece gündüz açık olmaktadır. İş yerleri diye adlandıracağımız idari binalar ve alışveriş merkezleri genellikle günün belli saatlerinde açıktırlar. Ayrıca, bu yerlerin enerji kullanımı günün çeşitli saatlerinde artıp azalmaktadır. İşyerlerinde, iklimlendirme adı altında toplayabileceğimiz ısıtma, soğutma, havalandırma ve nemlendirme amaçlı enerji kullanımı genel giderler içinde büyük yer tutmaktadır. Bu tür yapılarda işletme tek elden yapıldığı için gerek yatırım aşamasında yapılacak ek masraflarla gerekse işletmenin eğitilmiş elemanlar eliyle yürütülmesiyle enerjinin etkin kullanılarak tasarrufu sağlanabilir.

1973 enerji krizinden önce inşa edilen binalarda enerji tüketimi önemli bir faktör olarak dikkate alınmıyordu. Son yıllarda yapılan işyerleri de enerjinin

etkin kullanımı açısından pek uygun sayılmazlar. Özellikle işletme giderleri içerisinde enerji masrafları en büyük payı tuttuklarından enerji tasarrufu konusu daha da büyük önem kazanmaktadır. Enerji sarfiyatı kullanıcıya, yörenin iklim şartlarına, seçilen enerji türüne, kontrol sistemlerine ve kullanım zamanının uzunluğuna bağlıdır.

İşyerlerinde enerjinin verimsiz kullanımını önlemek için bundan sonraki yıllarda bir enerji tasarruf programı ve tasarruf fırsatları geliştirilmelidir. Etkin enerji kullanımı, gerekli konfordan daha iyi ve daha kötü olmamak üzere amaca uygun kaliteyi sağlamak için gerekli minimum düzeyde enerjinin kullanımınıdır.

Bu tez esas olarak çalışma mahallerinde enerji etüdü ve enerji tasarrufu imkanlarıyla ilgili genel prensipler, yöntemler ve problemler hakkında bir müzakere sunmakta ve başlıca enerji bileşenlerini vermektedir.

Ayrıca, enerji sevk ve idaresinin bir uygulaması USAF Ankara Balgat Hava İstasyonu BCE binalarında gerçekleştirilmiştir.

## SUMMARY

Energy is essential for survival and comfort. It is obvious that efficient use of energy in office buildings is a very important aspect in its control because of rapidly increasing energy prices, finiteness and uneven distribution of energy resources, and fast growth of population and energy consumption. Generally energy is used for production, transportation, heating, cooling, air conditioning, and lighting. Residential buildings generally use heating energy rather than cooling during the day and the night. Offices, commercial buildings and public buildings are open during the day time and between definite intervals. Energy consumption fluctuates in office buildings during the day time .

Energy cost for heating, ventilating, and air conditioning is a major part of general energy cost of commercial buildings. In these type of buildings energy can be saved by using extra materials during investment stage and educated people during operation period.

Many of the commercial buildings have been designed before the energy crisis of 1973 when energy consumption generally was not a very important concern. Since energy costs in Turkey increase more rapidly than other costs, the energy portion in the operational costs of commercial buildings get larger and larger. Energy consumption depend on users, climate, energy and the control systems that are chosen, and the length of operation period.

In order to prevent inefficient use of energy at commercial buildings, an energy management programme and basic energy conservation opportunities have to be developed. Energy management involves the utilization of the minimum quantity of energy required for the task and at an appropriate quality, being neither better nor worse than it is needed.

This thesis first presents an extensive discussion on the general principles, methods, problems related to energy auditing and management at working spaces and main energy components are pointed out. Then, an application, on the energy management and auditing procedures of USAF Ankara Air Station BCE Buildings, is performed.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER.....	xi
TABLOLAR.....	xiv
SEMBOLLER.....	xv
1. ENERJİ KULLANIMI VE ETÜDÜ.....	1
1.1. Bir binada Enerji Kullanımının İrdelenmesi	1
1.2. Enerji Tüketimi ve Faktörleri.....	3
1.3. Bina Bileşenleri Yaklaşımı.....	4
1.3.1. Bina Dış Yüzeyleri.....	4
1.3.1.1. İletim, Taşınım, Işınım ve Hava Sızıntısı.....	6
1.3.1.2. Bina Kütlesi ve Isıl Davranışı	7
1.3.2. Ayarlar.....	8
1.3.2.1. Çevrenin Niteliği.....	8
1.3.2.2. İklimlendirme Ayarları....	10
1.3.2.3. İklimlendirme Sisteminin Ve- rimsizliği ve Enerji Tüketi- minin Azalması.....	12
1.3.3. Isıtma ve Soğutma Tesisleri.....	14
1.3.3.1. Kazan Dairesi.....	15
1.3.3.2. Soğutma Grupları .....	17
1.3.4. Dağıtım Sistemi.....	18
1.3.4.1. Hava Kanalları.....	18
1.3.4.2. Boru Tesisatı.....	20
1.3.5. Sıcak Su kullanım Sistemi.....	21



	<b>Sayfa</b>
1.3.6. Aydınlatma Sistemi.....	23
1.3.6.1. Kurulu Aydınlatma Yüğü....	23
1.3.6.2. Işıklandırma Tesisatı.....	24
1.3.7. Elektrik Sistemi.....	25
<b>2. ENERJİ ETÜDÜ GENEL TEKNİĞİ.....</b>	<b>28</b>
2.1. Etüd İşlemleri.....	28
2.1.1. Net Enerji Girişü Yöntemi ile Bina Isı Kayıp Katsayısının Bulunması... ..	28
2.1.2. İz Bırakan Gaz Tekniğı ile Hava Sızıntısı Hızı Hesabı.....	29
2.1.3. Isı-Akış Ölçer Kullanarak Mahal U Değlerinin Bulunması.....	31
2.1.4. İklimlendirilmiş Ortam Sıcaklığı... ..	33
2.1.5. Sıcaklık Düşürölüp Yükseltilmesinin Etkileri.....	33
2.1.6. Kazan Yanma Verimi.....	34
2.1.7. Kazan Isıl Verimi.....	34
2.1.8. Soğutma Gruplarının Performansı....	35
2.1.9. Kanal Isı Kaybının İrdelenmesi.....	36
2.1.10. Serpantinde Hava Karışımının İrdelenmesi.....	36
2.1.11. Hava Akışı Dengesinin İrdelenmesi..	37
2.1.12. Fan Sistemi Performansının İrdelenmesi	38
2.1.13. Boru Hattı Sistemi Ayarları.....	40
2.1.14. Boru Hattı Dağıtım Verimi.....	41
2.1.15. Isı Kaynaklarından Isı Yayılımı....	42
2.1.16. Depolama Kayıplarının İrdelenmesi..	42
2.1.17. Sıcak Su Depolama Gereksinimi.....	43

	Sayfa
2.1.18. Toplam Aydınlatma Verimi.....	43
2.1.19. Gün Işığı Potansiyeli Tahmini.....	44
2.2. Ölçüm Teknikleri.....	45
2.2.1. Dış Hava Sıcaklığının Ölçülmesi....	45
2.2.2. Bina Isıl Zaman Sabiti'nin Tayini..	46
2.2.3. İç Hava Sıcaklığının Ölçülmesi.....	47
2.2.4. Isıl Konfor'un Ölçülmesi.....	48
2.2.5. Kanalda Debi ve Sıcaklığın Ölçülmesi	49
2.2.6. Hava Kanalında Basınç Düşümünün Ölçülmesi.....	50
2.2.7. Borularda Debi ve Sıcaklığın Ölçülmesi...	51
2.3. Analiz Teknikleri.....	51
2.3.1. Aylık Derece-Gün Metodu ile Binanın Isıtma Enerjisi Tüketiminin Tayini.	51
2.3.2. Binada Isıl Yalıtımın Ekonomik Optimizasyonu.....	53
2.3.3. İz Bırakan Gaz Ölçümleriyle Hava Değişim Oranlarının Belirlenmesi...	53
2.3.4. Binalarda Sıcaklık Geri-Kaydırmasının İrdelenmesi.....	56
2.3.5. Borularda Besleme Sıcaklığının Tayini.....	60
3. DENEY YAPILAN BİNANIN ETÜDÜ.....	62
3.1. Etüd İşlemlerinin Uygulanması.....	62
3.2. Ölçümlerin ve Analiz Tekniklerinin Uygulanması.....	82
4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	108
EKLER.....	113
KAYNAKÇA.....	117

## ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Binada Enerji Akışı.....	1
Şekil 1.2. Enerji Faktörleri.....	3
Şekil 1.3. Yaşanan Ortamlarda Enerji Akışı.....	5
Şekil 1.4. İklimlendirilmiş Ortama Isı Akışı.....	8
Şekil 1.5. Ayar Kayıpları.....	11
Şekil 1.6. Sıcak Su Dağıtım Sistemi Kontrol Sistemi Karakteristik Eğrisi.....	12
Şekil 1.7. Kazan Dairesinde Enerji Akışı.....	15
Şekil 1.8. Hava Kanalı Sisteminde Enerji Akışı.....	19
Şekil 1.9. Boru Tesisatında Enerji Akışı.....	20
Şekil 1.10. Sıcak Su Kullanım Sistemindeki Enerji Kayıpları.....	21
Şekil 1.11. Üçgen ve Yıldız Bağlantı Yükleri.....	27
Şekil 2.1. Isı Akış Ölçer Kullanarak Yapı Elemanı U-Değerinin ölçümü.....	32
Şekil 2.2. Tahmini Kayış-kasnak Kaybı.....	40
Şekil 2.3. Ölçme Düzleminin Tayini.....	49
Şekil 2.4. Borularda Akışkan Sıcaklığı Ölçümü.....	52
Şekil 2.5. İç sıcaklık $T_o$ 'dan $T_N$ 'e Düştüğü Zaman Geri-kaydırma Süresince Binanın İç Sıcaklığı.....	58
Şekil 2.6. Geri-kaydırma Süresince Binanın Enerji Kaybı.....	58
Şekil 2.7. Geri-kaydırma Süresince Bina Isıtma Sisteminde Sağlanan Enerji.....	59
Şekil 2.8. Ortam İçin Isı Dengesi.....	60
Şekil 3.1. Bina Isı Kayıp Katsayısı.....	63
Şekil 3.2. Bina Denge Noktası Sıcaklığı.....	65

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.3. Gün Boyunca Binada ve Mahalde Kaydedilen Sıcaklıklar.....	66
Şekil 3.4. Gün Boyunca Binada ve Mahalde Kaydedilen Sıcaklıklar.....	67
Şekil 3.5. Binanın Kullanılmadığı Zamanlarda Ölçülen Sıcaklıklar.....	68
Şekil 3.6. 801 no'lu laboratuvarıda İç Sıcaklık Değişimi.....	69
Şekil 3.7. CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> ve Fazla Hava Arasında Bağntı...	71
Şekil 3.8. a) Ofis 701'de Çalışma Düzleminde Güneş ışığı Potansiyeli.....	84
b) Laboratuvar 801'de ve Toplantı Salonu 712'de Çalışma Düzleminde Güneş ışığı Potansiyeli.....	85
Şekil 3.9. Binanın Zamanla 21°C İç Sıcaklıktan Sapması	87
Şekil 3.10. Seçilmiş Soğutma Sürelerinde Bina Bölme-lerinde Sıcaklık Dağılımı.....	88
Şekil 3.11. Bina Bölümlerinde Isınma Süreleri.....	89
Şekil 3.12. Binanın Isıl Konfor Ölçümleri.....	90
Şekil 3.13. Isıtma Panelinde Hesaplanan Yeni Besleme Sıcaklığı Değerlerinin Uygulanmasıyla Bina- nın Konfor Durumunun Değişimi.....	91
Şekil 3.14. Bina Duvarları Ekonomik Yalıtım Kalınlığı	102
Şekil 3.15. Dış Duvar ve Camların Yalıtımından Önce ve Sonra Binanın Enerji Durumu.....	103
Şekil 3.16. Bina Su Sirkülasyon Sistemi Yeni Teorik Besleme Sıcaklıkları.....	104
Şekil 3.17. Farklı Isıl Zaman Sabitleriyle Yüzde Enerji Tasarrufu.....	106

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.18. Farklı Gece Sıcaklıkları ile Enerji Tasarrufu Yüzdesi.....	107
Şekil E.1. Deney Binası Planı.....	113
Şekil E.2. Bina Isıtma Sistemi Akış Diyagramı.....	114
Şekil E.3. Gece Geri Kaydırma Kontrol Şeması.....	115
Şekil E.4. Klima Sistemi Akış Diyagramı.....	116

## TABLÖLAR

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. İz Yapan Gazlar ve Ölçme Teknikleri....	30
Tablo 3.1. Dört no'lu Kazan Yanma Verimi Ölçümleri ve Hesap Sonuçları.....	71
Tablo 3.2. Besleme Havasındaki Taze Hava Oranı....	74
Tablo 3.3. Kanal Ölçümleri.....	75
Tablo 3.4. Fan Performans Hesapları.....	76
Tablo 3.5. Binanın Üç Ayrı İklimlendirilmiş Bölümünde Sıcaklık Dağılımı.....	78
Tablo 3.6. Farklı Dış Sıcaklıklarda 701 no'lu Ofiste Serpantinden Isı Yayılımı.....	79
Tablo 3.7. Bina Isıl Zaman Sabitinin Tespiti.....	83
Tablo 3.8. Kazan Dairesi İklimlendirme Ana ve Branşman Kanal Hız Raporu.....	93
Tablo 3.9. İklimlendirme Atölyesi Klima Santralleri Ana ve Branşman Kanallarda Hız Değişimi.	95
Tablo 3.10. Binanın Elektrik Ekipmanları İçin Enerji Tablosu.....	97
Tablo 3.11. Çeşitli Denge Noktası Sıcaklıkları İçin Aylık Derece-Gün(1992).....	99

## SEMBOLLER

- A - alan (dış duvar, döşeme ve tavan)  $m^2$
- $A_d$  - kanal kesit alanı  $m^2$
- $A_f$  - döşeme alanı  $m^2$
- $A_G$  - pencere alanı  $m^2$
- $A_o$  - orifis alanı  $m^2$
- $A_p$  - boru kesit alanı  $m^2$
- $A_r$  - radyatör (serpantin) alanı  $m^2$
- $A_w$  - çalışma düzlemi alanı  $m^2$
- BHLC(veya ELC)- bina ısı kayıp katsayısı kW/K
- C - iz bırakan gaz konsantrasyonu
- $C_d$  - deşarj katsayısı
- CLF- soğutma yük faktörü
- Clo- tefriş
- $C_o$  -  $t=0$  anında gaz konsantrasyonu
- $C_p$  - sabit basınçta özgül ısı kJ/kgK
- CU - kullanım katsayısı
- D - hidrolik çap m
- DF - günışığı faktörü
- e - enflasyon(eskalasyon)
- EC - yıllık enerji tüketim maliyeti
- $E_D$  - gündüz günboyu enerji tüketimi kW
- $E_F$  - fan enerji tüketimi kW
- $E_{max}$  - ısıtma sistemince sağlanan maksimum enerji kW
- $E_N$  - gece enerji tüketimi kW
- $E_p$  - pompa enerji tüketimi kW
- $E_S$  - enerji tasarruf yüzdesi
- F - hacimsal iz bırakan gaz enjeksiyon hızı  $m^3/s$
- FLA- tam yük akımı A
- $h_a$  - yanma havası özgül entalpisi kJ/kg
- $h_c$  - taşımın ısı transfer katsayısı  $kW/m^2K$
- $h_f$  - baca gazı özgül entalpisi kJ/kg

- $h_r$  - radyasyon ısı transfer katsayısı kW/m<sup>2</sup>K  
 $h_s$  - buhar özgül entalpisi kJ/kg  
 $h_w$  - besleme suyu özgül entalpisi kJ/kg  
 HHV- yakıt üst ısıl değeri kJ/kg  
  
 $i$  - faiz  
 $I$  - elektrik akımı A  
 $IC$  - ilk yatırımın bugünkü maliyeti  
 $L$  - uzunluk m  
 LLF- ışık kayıp faktörü  
  
 $L_w$  - çalışma düzlemi ortalama aydınlanması lux  
 $\dot{m}_a$  - hava kütleli debisi kg/s  
 $\dot{m}_f$  - yakıt kütleli debisi kg/s  
 $\dot{m}_s$  - buhar kütleli debisi kg/s  
 $\dot{m}_w$  - Su kütleli debisi kg/s  
 $M$  - metabolizma  
  
 $M$  - Ay  
 MDD- aylık derece-gün gün/°C  
 MSHGF- maksimum güneş ısı kazanç faktörü kW/m<sup>2</sup>  
  
 $n$  - ekonomik hizmet ömrü sene  
 $N$  - saatte hava değişimi l/h  
 NPP- etiket güç değeri kW  
  
 $OA$  - dış hava  
  
 $P$  - basınç Pa  
  
 $P_a$  - enerji fiyatı TL/kj  
 $P_d$  - kanal çevresi  
 $P$  - elektrik gücü kW  
  
 $PF$  - güç faktörü  
  
 PPS- olası günışığı yüzdesi  
  
 $PWF$  - bugünkü değere dönüştürme faktörü  
 $q$  - ısı akışı kW/m<sup>2</sup>  
  
 $Q_a$  - yıllık enerji gereksinimi kJ  
 $Q_c$  - iletim ısı kayıpları kW  
 $Q_{GR}$  - toprak kaybı kW  
 $Q_G$  - güneş, ışıklar ve insanlardan ısı kazancı kW



$Q_H$	-	ısıtma sisteminden olan ısı kazancı kW
$(Q_H)_M$	-	aylık ısıtma enerjisi gereksinimi kJ
$(Q_H)_S$	-	mevsimsel ısıtma enerjisi gereksinimi kJ
$Q_i$	-	sızıntı kayıpları kW
$Q_I$	-	dahili ısı kazancı (insanlar, ışık, vs.) kW
$Q_J$	-	çidar kayıpları kW
$Q_{LT}$	-	ışıklardan olan ısı kazancı kW
$Q_L$	-	toplam ısı kayıpları kJ
$Q_{Net}$	-	net enerji girişi kW
$Q_o$	-	insanlardan ısı kazancı kW
$Q_{st}$	-	depolama kayıpları kW
$Q_s$	-	güneşten ısı kazancı kW
RA	-	dönüş havası
RCU	-	oda kullanım katsayısı
SC	-	Siebert sabiti
SC	-	zırh katsayısı
SEF	-	sistem etki faktörü
SP	-	statik basınç Pa
$SP_1$	-	fan girişinde statik basınç Pa
$SP_2$	-	fan çıkışındaki statik basınç Pa
t	-	zaman s
$t_c$	-	soğutma zamanı
$t_p$	-	sabah yüklenme zamanı s
$t_R$	-	geri kaydırma zamanı s
T	-	sıcaklık °C
$T_a$	-	hava sıcaklığı °C
$T_b$	-	aylık denge noktası sıcaklığı °C
$T_c^M$	-	yoğuşma sıcaklığı K
$T_c$	-	soğutulmuş akışkan sıcaklığı °C
$T_D$	-	gündüz sıcaklığı °C

- $T_e$  - buharlaşma sıcaklığı °C  
 $T_f$  - baca gazı sıcaklığı °C  
 $T_G$  - küre sıcaklığı °C  
 $T_H$  - ısıtılmış akışkan sıcaklığı  
 $T_i$  - iç sıcaklık °C  
 $(T_{max})_{out}$  - günlük maksimum dış sıcaklık °C  
 $(T_{min})_{out}$  - günlük minimum dış sıcaklık °C  
 $T_{mix}$  - hava karışım sıcaklığı °C  
 $T_{MRT}$  - Ortalama ısıma sıcaklığı °C  
 $T_N$  - gece ortam sıcaklığı °C  
 $T_o$  - dış sıcaklık °C  
 $T_{op}$  - çalışma sıcaklığı °C  
 $T_r$  - dönüş sıcaklığı (hava,su) °C  
 $T_s$  - besleme sıcaklığı (hava,su) °C  
 $T_w$  - su sıcaklığı °C  
 $U$  - ısı aktarım katsayısı (U-değeri) kW/m<sup>2</sup>  
 $U_r$  - radyatör ısı aktarım katsayısı kW/m<sup>2</sup>  
 $v$  - hız m/s  
 $V$  - gerilim V  
 $V$  - hacim m<sup>3</sup>  
 $\dot{V}_a$  - hacimsel hava debisi m<sup>3</sup>/s  
 $\dot{V}_c$  - soğutulmuş akışkan hacimsal debisi m<sup>3</sup>/s  
 $\dot{V}_H$  - ısıtılmış akışkan hacimsal debisi m<sup>3</sup>/s  
 $VP$  - hız basıncı Pa  
 $\dot{V}_w$  - Su hacimsal desibi m<sup>3</sup>/s  
 $\Delta P$  - basınç farkı Pa  
 $\Delta T$  - sıcaklık farkı °C  
 $\Delta x$  - kanal uzunluğu m  
 $\eta$  - etki  
 $\eta$  - verim

- $\eta_b$  - kazan verimi  
 $\eta_c$  - yanma verimi  
 $\eta_d$  - dağıtım verimi  
 $\eta_f$  - fan verimi  
 $\eta_{IE}$  - tesis etkisi lm/W  
 $\eta_{LM}$  - armatür verimi  
 $\eta_{IL}$  - lamba etkisi lm/W  
 $\eta_m$  - motor verimi  
 $\eta_o$  - toplam verim  
 $\eta_p$  - pompa verimi  
 $\eta_T$  - geçiş verimi  
 $\rho$  - yoğunluk (hava, su, soğutkan) kg/m<sup>3</sup>  
 $\psi$  - faz açısı.  
 $\Phi_u$  - faydalı ışık akışı  
 $1/\tau$  - ısııl zaman sabiti h  
 $\delta$  - serbest ısı kesri  
 $\Theta_c$  - ısı yayılımı kW/K  
 $\beta$  - performans katsayısı  
 $\gamma$  - üs katsayısı

## TEŐEKKÜR

Bu tez çalıőmasında değerli tavsiyeleriyle bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr. Kemal TANER'e teőekkürü bir borç bilirim

Sürekli teővik ve desteğinden ötürü eőim őehnaz UYSAL'a ayrıca teőekkür ederim.

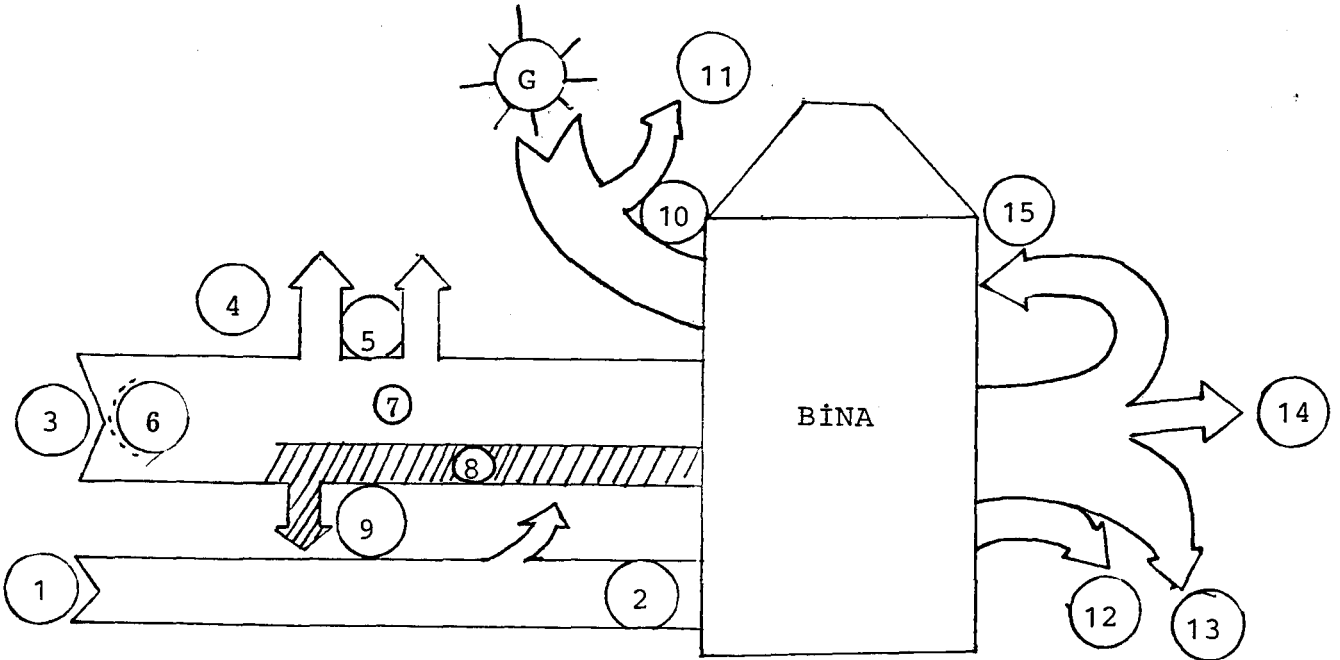
## 1. ENERJİ KULLANIMI VE ETÜDÜ

Bu bölümün amacı özel şartlara sahip sistemlerle çeşitli bina enerji bileşenleri arasında enerji kullanımını etkileyen başlıca faktörler ve enerji akışının kısa bir tekrarını yapmaktır. Bina bölümlerinin enerji kullanımı üzerinde büyük önemi olan genel alanlar ve bu alanların işletme stratejileri de incelenmektedir.

### 1.1. Bir Binada Enerji Kullanımının İrdelenmesi

Bir binada enerji kullanımını irdelerken iki farklı enerji yaklaşımı kullanılabilir. Birisi enerji akışı yaklaşımı diğeri ise bina bileşenleri yaklaşımıdır.

Enerji akışı yaklaşımı tüm bina enerji performansını tanımlamada, binanın enerji dengesini kurmada ve enerji akışı ile bileşenler arasındaki etkileşimi derinlemesine anlamada iyi bir yoldur. Şekil 1.1.'de bir binadaki enerji akışı temsilen gösterilmiştir.



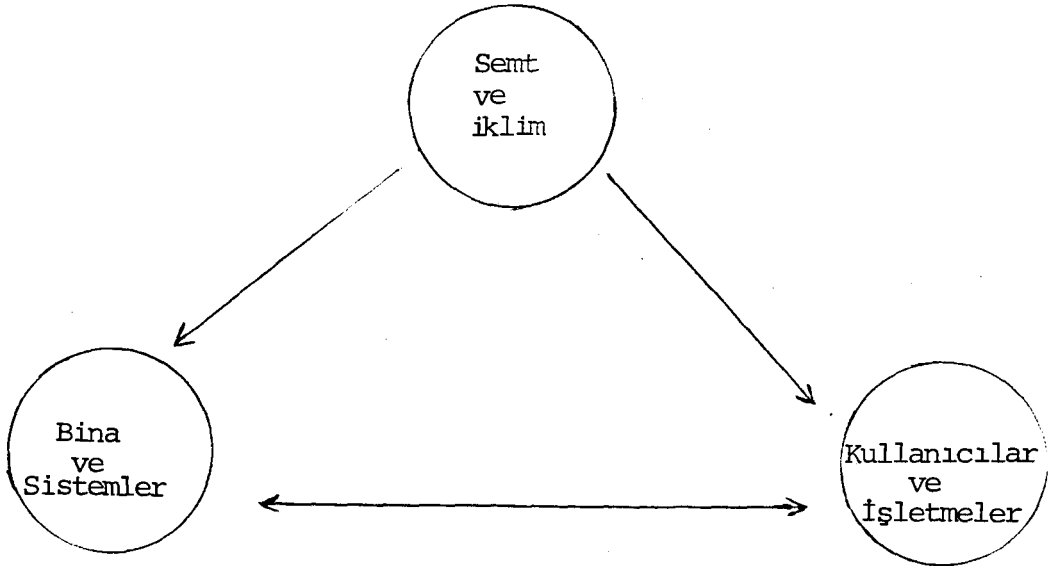
Şekil 1.1. Binada Enerji Akışı[1].

1. Elektrik enerjisi.
2. Elektrik enerjisinin faydalı kısmı
3. Kazana verilen yakıt
4. Kazan kayıpları
5. Dağıtım kayıpları
6. Kazan tarafından yayılan ısı
7. Isınma için gerekli enerji
8. Sıcak su için yayılan enerji
9. Sıcak su dağıtım kayıpları
10. Faydalı güneş enerjisi
11. Faydasız güneş kazançları
12. Atık su enerji kayıpları
13. Dış yüzey kayıpları
14. Egzost havası
15. Geri dönüş havası

Enerji akışı yaklaşımı metodunun kullanımının işletmede ekonomik olduğu haller nadirdir. Bu metod büyük ve karmaşık binalarda gerek etkin yönetim, gerekse bilgisayar simülasyonu gerektirmesi açısından muhtemelen ekonomik olmaz [1]. Çevre yapı insan etkinlikleri ilişkileri şekil 1.2'de verilmiştir.

Enerji tüketimini düşürmede başarılı stratejiler geliştirmek için mevcut enerji faktörlerinin büyüklüğü ve cinsini tayin etmek gerekir.

Bina bileşenleri yaklaşımı uygulandığında, bina içerisindeki her bir bileşenin teker teker performansını irdelemek gerekir. Bu yaklaşımın çoğunlukla enerji tasarrufu



Şekil 1.2. Enerji Faktörleri [2].

fırsatları ile bina bileşenleri arasında doğrudan bir bağıntı olması açısından avantajı vardır. Eğer esas enerji akışı doğrudan bina bileşeninin birkaçı ile ilgili ise bu yaklaşım kullanılarak bazı bileşen veya bileşenler ihmal edilebilir. Bina bileşenleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [1]

- i) Bina dış yüzeyleri
- ii) Ayarlar
- iii) Isıtma ve soğutma
- iv) Dağıtım sistemleri
  - a) Hava kanalları
  - b) Boru işleri
- v) Kullanım sıcak suyu
- vi) Aydınlatma
- vii) Elektrik sistemi
- viii) Çeşitli işler

## 1.2. Enerji Tüketimi ve Faktörleri

Binanın toplam enerji tüketimi bir çok değişkenin ve onların birbirleriyle olan etkileşiminin bir sonucudur. Isı enerjisi ve elektrik enerjisini birçok yoldan etkileyen bu değişkenler enerji faktörleri diye adlandırılır. Bunların meydana gelişi ile ilgili ilişkiler şekil 1.2'de verilmiştir.

Genel olarak soğuk iklimlerde ısıtmaya daha çok enerji harcanır. Yumuşak kış mevsimi olan bölgelerde aydınlatma için gerekli elektrik yükü ve mevsimsel soğutma yükü mevsimsel ısıtmadan daha fazla olabilir. İşyerlerinde sıcak su kullanımı için gerekli enerji miktarı fazla önemli değildir.

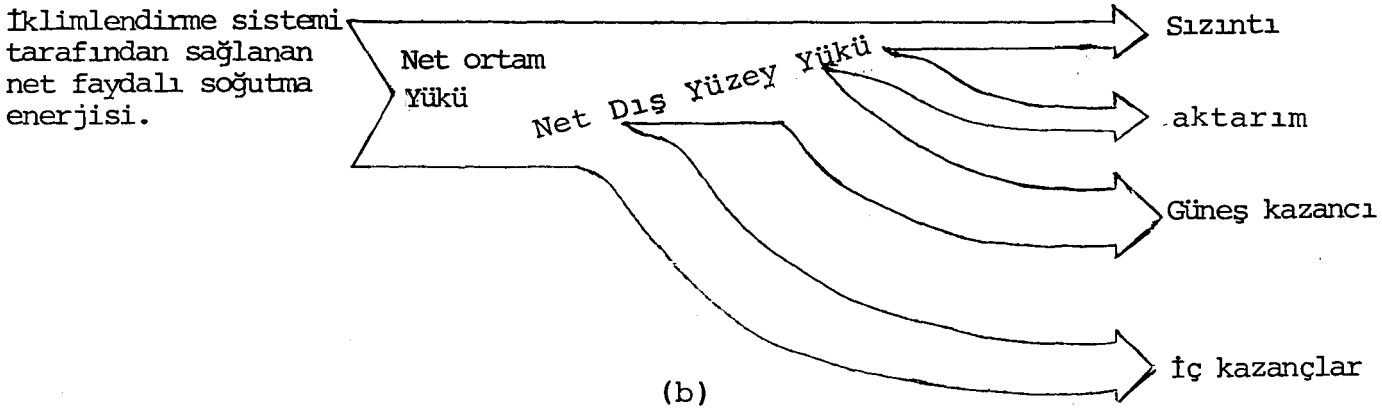
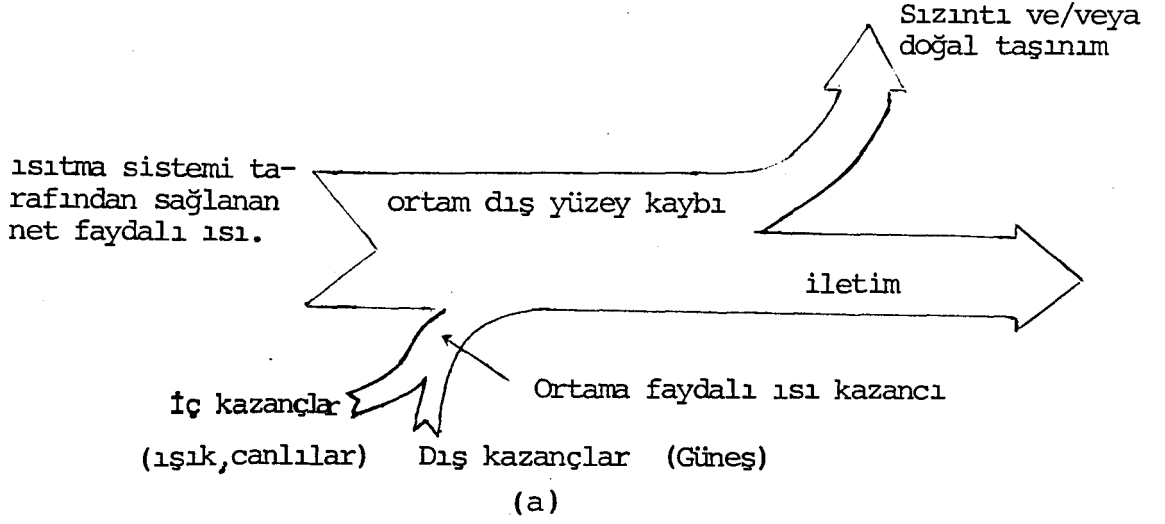
## 1.3. Bina Bileşenleri Yaklaşımı

Bu aşamada daha önceki bölümde liste halinde verilen bina enerji bileşenleri, enerji kullanımı ve işletme stratejilerini etkileyen ana faktörler açısından incelenecektir.

### 1.3.1. Bina Dış Yüzeyleri

Bina dış yüzeyleri deyince binanın duvarları kapıları, pencereleri ve iklimlendirilmeyen bölmelere komşu, iç duvar bölmeleri gibi yüzeyler anlatılmaktadır. İklimlendirilmiş ortamdaki dışarı ve ortama olan enerji akışı şekil 1.3'deki gibi gösterilebilir.





Şekil 1.3. Yaşanan Ortamlarda Enerji Akışı[2]

a) ısıtma

b) soğutma

### 1.3.1.1. İletim, Taşınım, Işınım ve Hava Sızıntısı

Binanın örtüsü, tefrişi ve iklimlendirme sistemleri ya sürekli-hal veya geçici-hal ile olur. Yaşanan ortamlarda ısı iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere üç temel yolla aktarılır. İletim, dış yüzey bileşenleri ile bölümler arasında komşu ortamların farklı sıcaklıkta olmasıyla veya oda içindeki eşyanın sıcaklığının hava sıcaklığından farklı olmasıyla meydana gelir.

İletim ısı kayıpları dış yüzey bileşenlerindeki artan nem miktarı ile birlikte artar. İletim ısı kaybı oranını ısı yalıtımı veya diğer yollarla düşürmek bir işletme stratejisi yöntemidir. Taşınım ısı aktarımı tüm hava ile katı temas yüzeylerinde olur. taşınımla ısı aktarımı kaybı dış yüzeyler boyunca veya gerçek dış yüzey tabakaları içinde hava akışına karşı direnci artırmakla azaltılabilir. Işınım ile ısı aktarımı pencerelerden, odaların çeşitli duvarları arasında ve insan veya eşyalarla duvarlar arasında olur.

İç-dış sıcaklık farkları binanın içi ile dışı arasında bir hava yoğunluğu farkının doğmasına neden olur. Bu yoğunluk farkından doğan kaldırma kuvveti rüzgarın da desteği ile binanın üst tarafının hafifçe basınç altında kalmasına neden olur, ki buna hava sızması denir. Tabii ki, bir miktar hava da bina dışına kaçır buna da hava kaçağı denir. Binanın alt kısımlarına sızan soğuk dış hava oturanları rahatsız eder. Sızıntı hızı üzerine rüzgar bağlı etkisi ve baca etkisinin rolü doğa olarak karmaşıktır ve

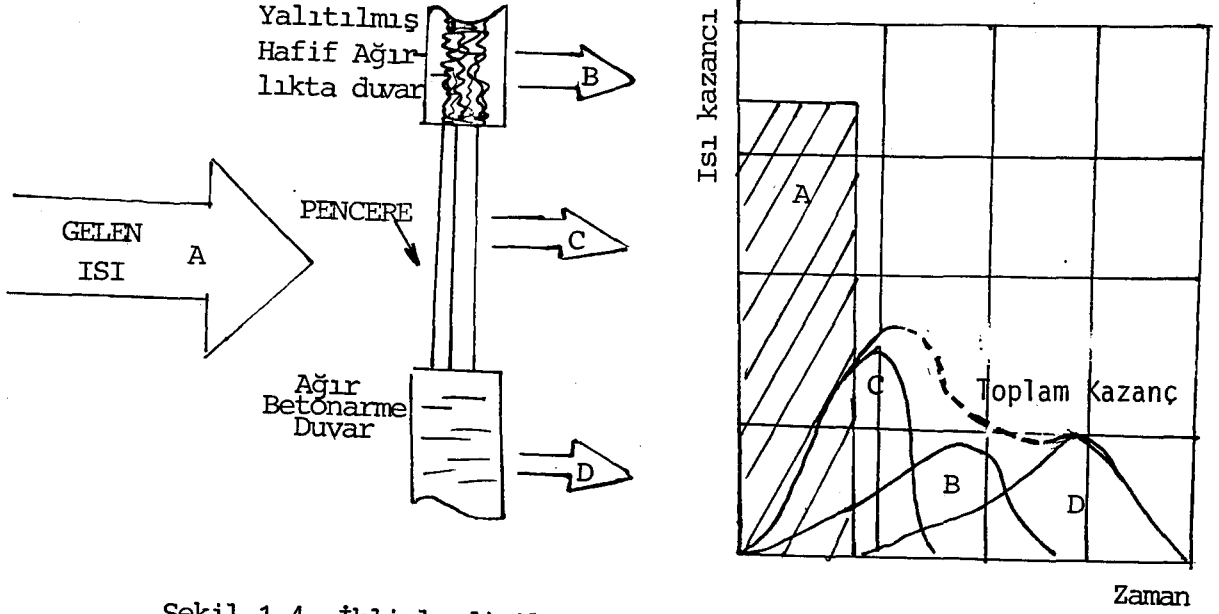
hava şartları kadar bina özelliklerine de bağlıdır. Sızıntıyı azaltmanın yollarından biri dış yüzeylerdeki açıklıkları azaltmak ve yüksek binalarda ara döşemelerdeki açıklıkları azaltarak baca etkisini en aza indirmektir.

Sızıntı ile ilgili esas sorun, hava kaçağı miktarının ölçülmesidir. Deneyleer genellikle çok emek isteyen türden olup, çoğunlukla küçük binalara uygulama açısından pratiktirler [1].

#### 1.3.1.2. Bina Kütlesi ve Isıl Davranışı

Bina ısıl kütlesiyle ilgili iki durum vardır. Birincisi bina dış yüzeyleri kütlesi ile dış yüzeyden geçip ortama ulaşan iletim ısı aktarımı ile ilgilidir. Isıl olarak daha ağır olan duvar veya çatı daha büyük ısıl atalet demektir ve dış yüzeydeki herhangi bir sıcaklık değişiminin iç yüzeyden hissedilmesi zaman alır (Şekil 1.4). İkinci durum, binanın dış tarafındaki ortama veya ortamdaki ısı ile ilgilidir. Toplam ısı kapasitesi binanın ısıl kütlesinin bir fonksiyonudur. Bina kütlesi enerji akışını iki yönde etkiler. Dışarıdan iç ortama ve içeriden de yapıya ısı akışını (tekrar dış duvara geri akması da dahil olmak üzere) yavaşlatır.

Bina dış yüzeylerinin değerlendirilmesi basitçe göz muayenesi ile yapılır. Böyle olunca yerinde test metodları tercih edilir. Tasarruf olanaklarını araştırırken ısı transferinin her üç metodu da dikkate alınmalıdır. Basit binalar için dış yüzey değişikliklerinden doğan tasarruflar derece-gün metodları kullanılarak tahmin edilebilir.



Şekil 1.4. İklimlendirilmiş Ortama Isı Akışı [3].

### 1.3.2. Ayarlar

Isıtma, soğutma, havalandırma ortama giren veya terkeden egzost havası elde edilen şartların gerçek niteliği iklimlendirme sistemleri ve cihazları tarafından sağlanan bu şartların verimliliğinin kontrolü gibi işlemlere ayarlama denir. Genellikle pratik amaçlar için çevrenin niteliği ve iklimlendirmenin verimliliği farklı işletme işlemleri kullanarak gözden geçirilir.

#### 1.3.2.1. Çevrenin Niteliği

Isıl konfor, insanın kendi bedeni ile çevresi arasındaki etkileşimin ısıl olarak hissedilmesinin bir ifadesidir. Bu etkileşimin ısıl dengesi şu altı ana parametrenin bir kombinasyonu ile ilgilidir.

Çevre için:

- i) Hava sıcaklığı,
- ii) Ortalama Işınım sıcaklığı,
- iii) Hava hızı,
- iv) Nemlilik.

İnsan için:

- v) Aktiflik seviyesi (metabolizma),
- vi) Giyim.

Yukarıda verilen altı parametrenin ısı konfor ve enerji tüketimi üzerinde farklı etkileri vardır. Belli bir ısı konfor ve hava niteliği seviyesini düşürmeden aşırı hava sıcaklıkları ve havalandırma oranlarını engellemek önemlidir. Isı konforu etkileyen diğer parametrelerle oynayarak hava sıcaklığı düşürülebilir. Ortalama ışınım sıcaklığını artırmak, daha düşük bir hava sıcaklığı ile aynı konforu sağlar. Bu, bina dış yüzeylerini artırmak ve tabandan ısıtma veya panel radyatörler kullanarak daha büyük ısıtma yüzeyleri sağlayacak şekilde ısıtma sistemini değiştirerek yapılabilir. Ayrıca radyatörlerin yerleşimi de değiştirilebilir. Hava hızı konfor sıcaklığını büyük miktarda etkiler. Bu, iklimlendirme sistemlerinin tasarımında hava hızlarının optimizasyonunu önemli kılar. Düşük nem seviyesi kişilerden olan terleme kayıplarına artırır ve ısı konforu doğrudan etkiler. Aynı zamanda yüksek nem seviyeleri de iç hava kalitesi problemlerine sebep olabilir. Hava sıcaklığı ve nem seviyesi için optimal değerleri hesaplarırken, aktiflik seviyesi ve giyim için varsayımlar yapılır[3].

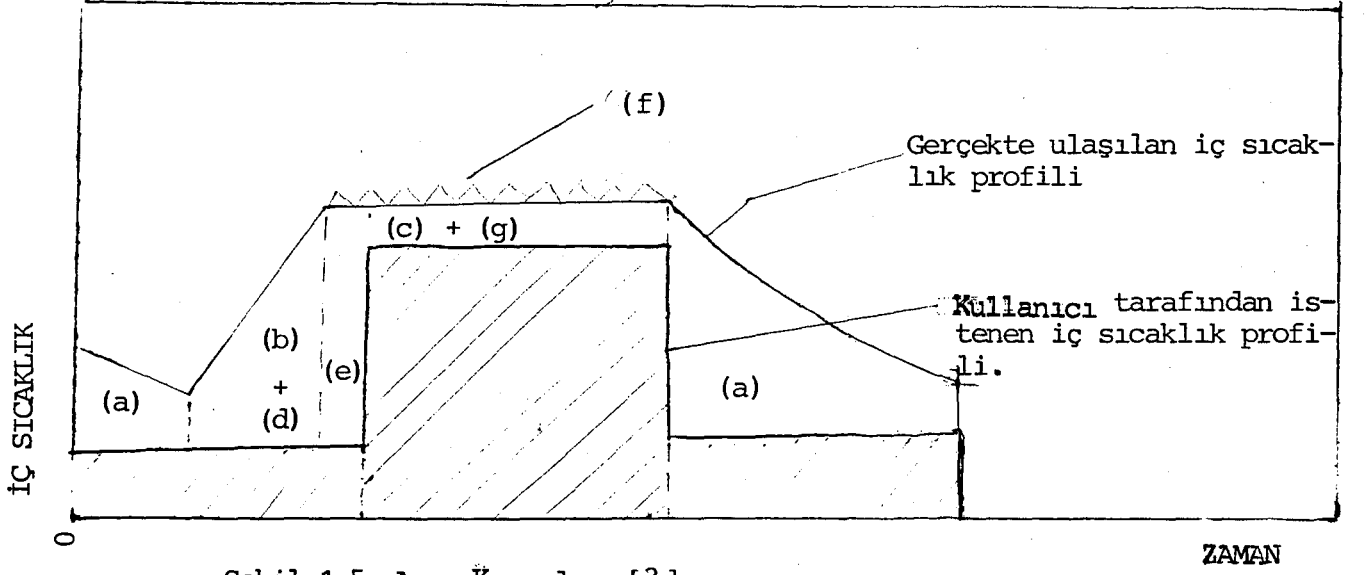
### 1.3.2.2. İklimlendirme Ayarları

Binada enerji kullanımının en verimli hali bazı iklimlendirme sistemi çalışma programı veya kontrol stratejileri kullanarak elde edilebilir. Kontrol elle veya otomatik olarak yapılabilir. Basit işletme programı şu şekilde yapılabilir[1]:

- i) Bina kullanılmadığı zamanlarda havalandırma ve nemlendirme cihazlarının kapatılması,
- ii) Sıcaklık ayar noktalarının değiştirilmesi. Yani kullanılmayan zamanlarda yazın ayar noktasını yükselterek, kışın düşürerek cihazların devre dışı kalması sağlanır.

Ayar kayıpları, binanın sistem olarak ve ortam iklimlendirme sistemleri olarak ayarlara cevap vermede yetersiz kalmasından kaynaklanır. Bu durum şekil 1.5'de gösterilmiştir. a,b,c,d,e,f,g harfleriyle gösterilen alanların açıklanması aşağıda verilmiştir:

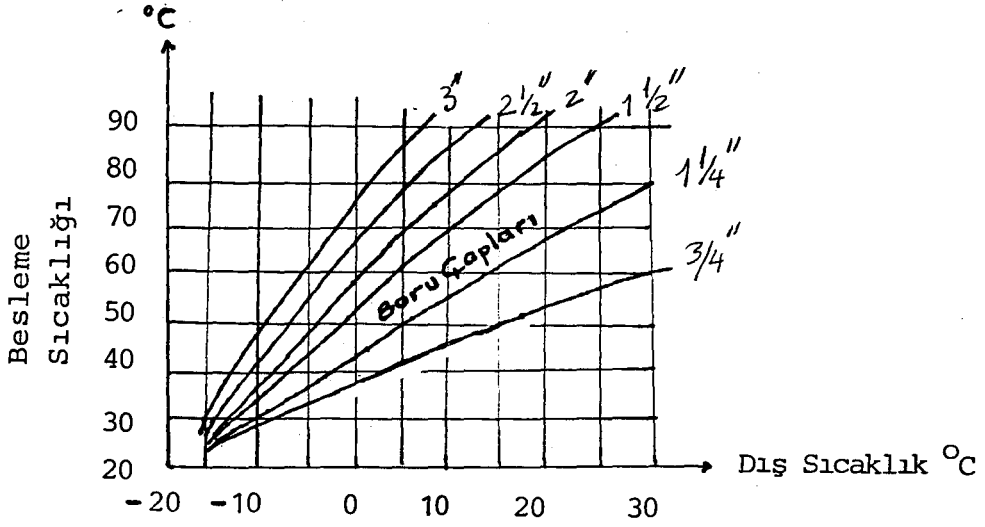
- a) Sıcaklık ayar noktasının düşürülmesi sırasında binanın ısı ataletine bağlı kayıplar,
- b) Sıcaklık ayar noktası düşürüldükten sonra başlama sırasında bina ısı ataletine bağlı kayıplar,
- c) Farklı ayar noktalarına ayarlanmış ortamlar arasındaki ısı alışverişine bağlı kayıplar. Ortam iklimlendirme sisteminin yetersiz olmasına bağlı kayıplar,



Şekil 1.5- Ayar Kayıpları [3].

- d) Isı üretim sisteminin sınırlı gücüne bağlı olarak sıcaklık noktası düşürülmesinden sonra başlatma periyodu sırasında ayar noktasına ulaşılmadan önceki kayıplar,
- e) Gerçekte gerekli sıcaklık noktasına erişinceye kadar ani kayıplar,
- f) Termastatların ayar aralığı genişliğine bağlı kayıplar, ve
- g) Dengesiz ısıtma sistemlerine bağlı kayıplar'dır.

Besleme sıcaklığının sadece dış sıcaklık tarafından tayin edildiği sıcak su dağıtım sistemi için, besleme sıcaklığının boru çaplarına bağlı olarak dış hava sıcaklığı değişmesi kontrol sisteminin karakteristik eğrişi şeklinde şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Sıcak Su Dağıtım Sistemi Kontrol Sistemi Karakteristik Eğrisi.[4].

Geniş borularla ve radyatörlerle binalarda sıcak su dağıtım sistemi ısı gereksinimindeki değişikliğe yavaş cevap verir. Yeni binalarda çok iyi ayarlanmış sistemlerle ve küçük su hacimleriyle değişimlere verilecek cevap çabuklaştırılabilir.

Isıtma sisteminin verimli olması için, enerji yönünden aşağıdaki iki temel gereksinime ihtiyaç vardır:

- i) Aynı hattaki farklı odalar arasındaki ısı dağılımı mümkün olduğunca eşit olmalı,
- ii) Oda sıcaklığı, dış hava sıcaklığındaki kaymalardan bağımsız olarak belli sınırlar içinde tutulmalıdır.

İlk şart için ısıtma sistemi borularının ayarları yapılmalıdır. İkinci şart dış ve/veya iç sıcaklıkları duyar elemanla kontrol ederek besleme sıcaklığını artırıp azaltmakla sağlanabilir.



### 1.3.2.3. İklimlendirme Sisteminin Yetersizliği ve Enerji Tüketiminin Azaltılması.

Binanın ortam yükünü azaltmak için, bu yükleri karşılamada iklimlendirme sistemi yetersizliği dikkate alınmalıdır. Bu yetersizlikler aşağıdaki işlemlerle azaltılabilir:

- i) "Serbest"soğutma kullanılarak,
- ii) İklimlendirme sistemi "karışım kayıpları"nı en aza indirerek,
- iii) Yeniden kullanma stratejileri ile,
- iv) Cihazlarla ilgili fırsatlar,
- v) İkincil cihazların minimizasyonu.

Evaporatif soğutma ve dış hava ile soğutma, serbest soğutma kaynakları olarak değerlendirilebilir. Dış hava ile soğutma, açılıp kapanan pencereler ayrı bacalar ve fanlı havalandırma sistemleriyle veya iklimlendirme sistemleri üzerine bir hava ekonomizörü verileştirmekle sağlanabilir. İklimlendirme sistemlerinin her tipinde pratikte karışım kayıpları yaygındır. Bunların yok edilmesi veya minimize edilmesi enerji tasarrufu için bir fırsattır. Sistem içinde soğuk akışkanla sıcak akışkan karıştığı zaman karışım kayıpları oluşur. Karışım kayıpları; ısıtma, soğutma

ve gizli ısı aktarım işlemlerini bölümlerin ihtiyaçlarına göre sistem ayar değerlerini düzenleyecek bir sıralama ile vanalar ve damperler kullanarak ve bunları doğru kontrol ederek sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki kaçağı en aza indirerek minimize edilebilir.

Yeniden kullanma stratejileri, atık ısının toplanması ve yeniden kullanılması ve bina içindeki veya binadan atılan serin kaynakların yeniden kullanımını içerir. Bina içinde yeniden kullanım, atık ısının doğrudan ısı geri kazanım sistemleriyle veya daha basit doğrudan yaklaşımlarla yeniden dağıtımını gerektirir. Cihazlarla bağıntılı fırsatlar halen mevcut olan cihazın termodinamik olarak daha etkin yeni sistemlerle değiştirilmesini içerir. İkincil cihazların minimizasyonu sonraki bölümde ele alınacaktır. Ayar sistemlerinde gözleme stratejisi mevcut kontrolleri ve sistemleri izleyerek yukarıda bahsolunan bir veya daha fazla mekanizma ile enerjinin boşa harcanıp harcanmadığının araştırılmasıdır.[1].

### **1.3.3. Isıtma ve Soğutma Tesisleri**

Isıtma ve soğutma tesisleri kazanlar, ısı pompaları, soğutma grupları v.b. merkezi cihazları kapsar.

Bir binanın iklimlendirilmesi için gerekli enerji şunlara bağlıdır:

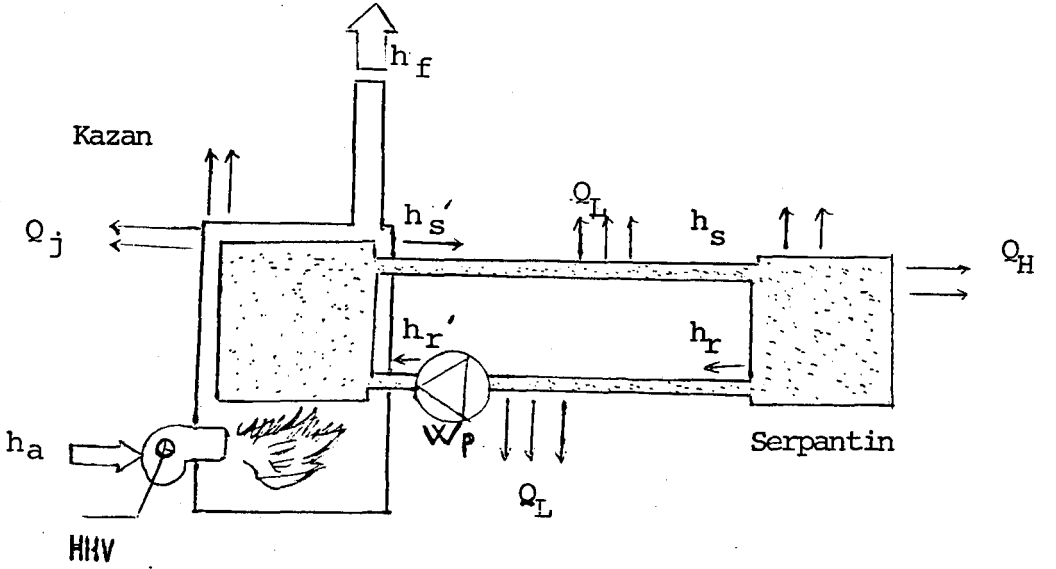
- i) Binadaki ısı kazançları veya kayıpları,
- ii) Isıtma veya soğutma işlemlerinin kendi başına verimi,

iii) Merkezi tesisteki ısı kazançları veya kayıpları.

iv) Dağıtım sistemindeki ısı kazanç veya kayıpları.

### 1.3.3.1. Kazan Dairesi

Bir kazan dairesindeki enerji akışı ve kayıpları Şekil 1.7deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.7. Kazan Dairesinde Enerji Akışı [1].

Bir kazanın yanma verimi, enerji dönüşümünden alınan faydalı enerjinin yakıtın enerji değerine oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_c = 100 * [1 - (h_f - h_a) / HHV] \quad (1.1)$$

$(h_f - h_a)$ şunlara bağlıdır;

- i) Baca gazı tarafından taşınan yanmamış yakıtla bağlı kayıplar,
- ii) Baca gazı tarafından taşınan gizli ısı, ve
- iii) Baca gazı tarafından taşınan duyulur ısı.

Kazan verimi

$$\eta_b = 100 * \left[ \frac{\dot{m}_s * (h_s - h_w)}{\dot{m}_f * HHV} \right] \quad (1.2)$$

Yanma verimi, baca gazındaki  $CO_2$  miktarını artırmakla ve giriş havası ve baca gazı arasındaki sıcaklık farkını azaltmakla artırılabilir. Yakıtı tamamen yakmak için yeterli oksijen sağlandığında  $CO_2$  konsantrasyonu en üst seviyede olur. Bu duruma stokiometrik yanma denir. Mevcut kazanlarda optimum yanma verimini sağlamak için diğer bir yol fazla hava gereksiniminin doğru ve düzenli olarak sağlanmasıdır. Yakıt ısı değeri, vizkozitesi, gaz yoğunluğu, hava sıcaklığı ve nem oranındaki değişimlerden ötürü fazla hava oranı çoğunlukla gereğinden fazla tutulur. Yanma verimini etkileyen diğer faktörler yanma havası ve baca gazı sıcaklıklarıdır. Kazan boyunca gaz sıcaklığındaki düşüş, ısınan akışkan ve ısıtıcı kaynak arasındaki ısı alışverişi yönünden kazanın başarılı yada başarısız olmasıyla ilgilidir. Isı aktarım verimini artırmak kazanlar için bir tasarruf stratejisidir. Kazan ısı aktarımı ya ilave ısı değiştirgeçleriyle ya da yanma havasının önceden ısıtılmasıyla artırılır.

Isıtma tesislerinin ısıtım ve iletim kayıpları (cidar kayıpları) elemanların yüzey alanlarına, yüzey sıcaklıklarına ve çevre sıcaklığına bağlıdır. Cidar kayıpları, cidar yalıtımının düzgünlüğüne bağlıdır.

Kazanlarda asıl etüd etkinliği yanma veriminin ölçümünü içerir. Böyle bir ölçümü yaparken mevcut cihazın-optimum yanmayı sağlayacak şekilde-yakıt hava karışımının yeterli şekilde ayarlanması gerekir.

### 1.3.3.2. Soğutma Grupları

Soğutma işleminin termodinamik verimi büyük ölçüde buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarına bağlıdır. Carnot buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi için teorik performans katsayısı

$$\beta = \frac{T_c}{T_c - T_e} \quad (1.3)$$

şeklindedir. Buradan yoğuşma sıcaklığını düşürerek ve buharlaşma sıcaklığını yükselterek verimi artırmanın mümkün olacağı açıktır. Başka bir yöntem düşük yüklerde çalışma yapmaktır. Bir soğutma grubunun verimliliği her zaman kısmi yüklerde çalışırken etkilenir. Kısmi yüklerde cihazların dikkatli kullanımı önemli miktarda enerji tasarrufu sağlar.

Kompresörlerin bakımı ve tamiri çok iyi yapılmalıdır. Soğutma kuleleri sirkülasyon kayıplarından ve buharlaşan sudan dolayı enerji kaybederler. Soğutma cihazları ve çevreleri arasında bir sıcaklık farkı vardır. Böylece, soğutma kayıpları ısıtım, taşınım ve iletimle meydana gelir. Etüd-planlama stratejisi kayıpları azaltıp

işlem verimini yükseltmektir. Bu tür işlemler çoğunlukla eğitimli işletmeciler gerektirir ve maliyeti biraz artırırlar.

#### 1.3.4. Dağıtım Sistemi

Dağıtım sistemi merkezi veya bölgesel bir yerden ısıtma veya soğutma ortamının kullanım yerine dağıtım sistemlerini içerir. Hava dağıtım sistemlerinde havalandırma havası veya egzost havası iklimlendirilmiş ortama veya ortamdan taşınır. Dağıtım sisteminin iki ana parçası vardır. Bunlar kanal ve boru sistemleridir.

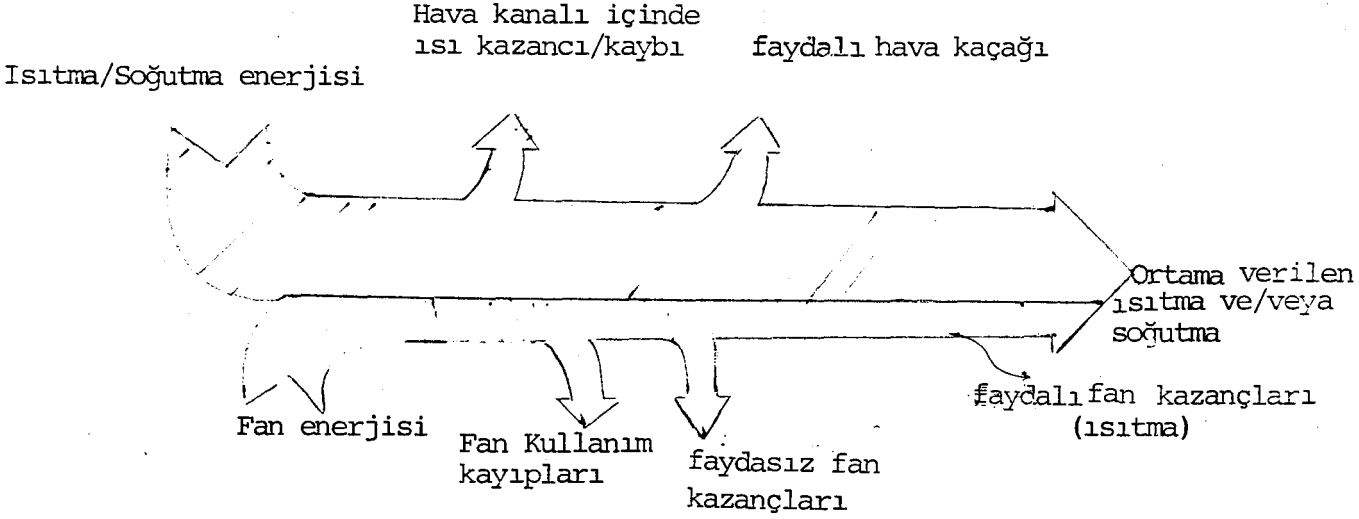
##### 1.3.4.1. Hava kanalları

Hava kanalı sisteminde enerji kayıpları üç temel alanda olur:

- i) Kanaldan iletim yoluyla ısı kaybı ve hava kaçakları ile ısı kaybı,
- ii) Havanın kanal içine basılmasıyla meydana gelen enerji kaybı,
- iii) Hava kanalına dışarıdan karışan soğuk dış hava veya kanaldan kaçan ılık hava nedeniyle ısı kaybı.

Hava kanalı sisteminde enerji akışı şekil 1.8'deki gibi gösterilebilir.

Birinci cins kayıp, hava kaçağını azaltarak ve kanal yalıtımını geliştirerek düşürülebilir. Üçüncü cins kayıp, taze hava alış ve atış damperine konan contayı iyi-leştirerek azaltılabilir. Genellikle ikinci cins kayıpları



Şekil 1.8. Hava Kanalı Sisteminde Enerji Akışı[1].

azaltarak fayda sağlanır.

Bir fanın enerji gereksinimi aşağıdaki formülden bulunur:

$$E_F = \Delta P * \dot{V} * t / \eta_F * \eta_T * \eta_m \quad (1.4)$$

Bu enerji çalışma süresini, hava debisini, kanal direncini azaltarak ve fanın verimini artırarak en aza indirgenebilir. Hava debisi ortam ısı yükünü azaltarak ve besleme havası sıcaklık farkını artırarak düşürülebilir. Hava kanalı sistemindeki bağlantı parçalarının aşırı basınç düşümleri azaltılarak kanal direnci azaltılabilir. Hava kanalı sisteminin en büyük etüd problemi hava tarafından transfer edilen enerjinin gerçek değerini bulmak için gerekli hava akışı ve sıcaklıklarının gerçek ölçümlerinin yapılabilirliğidir.

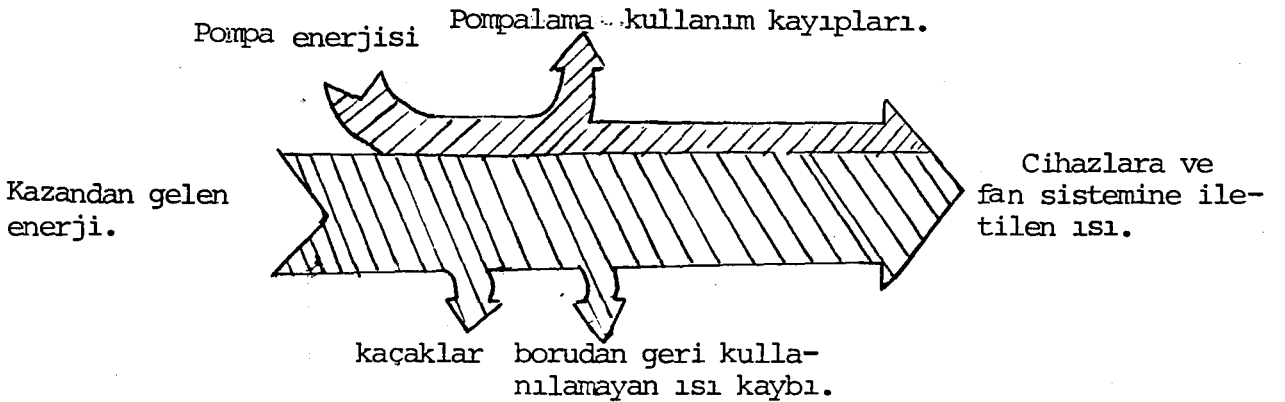
### 1.3.4.2. Boru tesisatı

Boru tesisatında enerji kayıpları iki temel alanda olur. Birisi pompalama kayıpları diğeri boru sistemine veya boru sisteminden olan ısı kazanç ve kayıpları ile kaçaklardan oluşan kayıplardır. Bir sıcak su sisteminde bu kayıplar şekil 1.9 daki gibi gösterilebilir.

Pompa enerji tüketimi

$$E_p = \Delta P \cdot \dot{V} \cdot t / (\eta_p \cdot \eta_T \cdot \eta_m) \quad (1.5)$$

Pompalama enerji kayıpları, basınç kayıplarını pompa debisini ve çalışma süresini azaltarak azaltılabilir. Boru iletim kayıpları büyük oranda aktarılan akışkanın sıcaklığından, yalıtım seviyesinden ve ısıtılan akışkanın ısınması için geçen zamandan etkilenmektedir. Bunlara ilaveten sıcak-su dağıtım sistemi için önemli bir enerji tasarrufu ve konfor şartı boru sisteminin dengeleme ayarlarının yapılmasıdır. Boru performansı ve iletim ısı kayıplarının karakterize edilmesi başlıca etüd problemleridir.



Şekil 1.9. Boru Tesisatında Enerji Akışı [1].



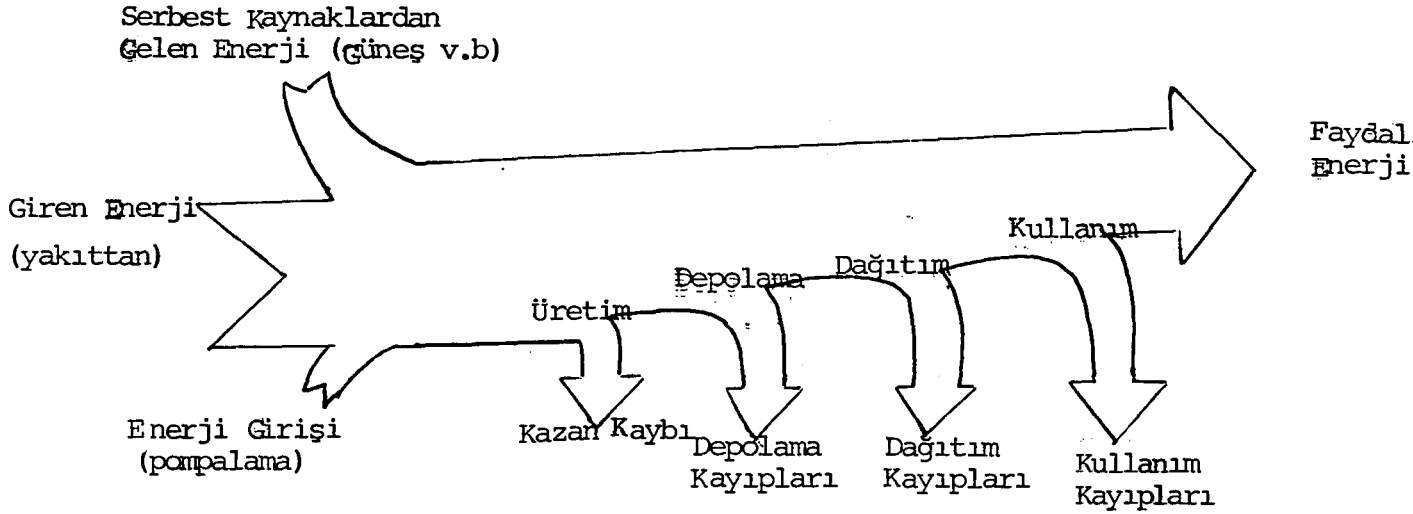
Bu problemleri tanımlamak için akışkan debisi, boru boyunca sıcaklık ve basınç düşümleri ölçülür.

### 1.3.5. Sıcak Su Kullanım Sistemi

Sıcak su kullanım sisteminde sıcak su üretimi ve kullanımını şu alt sistemlerden oluşur:

- i) Kazan veya ısı eşanjörü,
- ii) Depolama tankı,
- iii) Dağıtım sistemi (borular ve sirkülasyon pompaları),
- iv) Kullanım noktaları (mutfaklar, banyolar vb.),
- v) Atık su drenaj boruları.

Kullanım sıcak suyu enerji dengesi şekil 1-10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Sıcak Su Kullanım Sistemindeki Enerji Kayıpları[1].

Çeşitli enerji akışlarının bağıl şiddeti temin edilen asıl enerji kaynağına, kazan cinsine, kullanım sıcak suyu temini ve dağıtımının cinsine bağlıdır. İki çeşit kullanım sıcak suyu dağıtım sistemi vardır[1]:

- i) Kullanım sıcak suyu ısıtması için dizayn edilen ayrı ayrı sistemler,
- ii) Merkezi sistemler (anlık kullanım birimleri ve depolama sistemleri dahil).

Bir kullanım sıcak suyu sisteminde üretim, depolama, dağıtım ve kullanım olmak üzere dört ana kayıp mevcuttur. Elektrikle ısıtılan kazanlarda üretim kayıpları genellikle sıfırdır. Depolama kayıpları tank cidarı boyunca iletim ile olur ve şu şekilde hesaplanabilir:

$$Q_J = U * A * (T_w - T_i) \quad (1.6)$$

Depolama kayıpları ısıl direnci artırarak, deponun hacmini düşürerek ve depolanan suyun sıcaklığını düşürerek azaltılabilir. Dağıtım alt sistemleri iki temel enerji akışından oluşur. Birisi boru yüzeylerinden ısı aktarımı diğeri pompalama enerjisidir. Dağıtım kayıpları kısmen merkezi sistemlerde dikkate değerdir. Kullanım kayıpları genellikle kullanım sıcak suyunun aşırı kullanımından ve gerekli sıcaklıktan fazla sıcaklıkta kullanılmasından meydana gelir. Kullanım sıcak suyu sistemleri için etüd problemleri diğerk alanlarda da yaygındır. Depolama kayıpları ayrı ayrı sistemlerde önemli bir problemi oluşturur.

### 1.3.6. Aydınlatma Sistemi

Aydınlatma, ortamda ışık üretimi ve kontrolü ile ilgili tüm kavramları içerir. Kullanılan enerjiyi azaltmanın iki temel yolu vardır. Bunlar elektriksel aydınlatma yükünü ve ışıkların gerçek kullanımını azaltmaktadır.

#### 1.3.6.1. Kurulu Aydınlatma Yükü

Aydınlatma enerjisi verimi gerçek üretimdeki kayıplardan dolayı azalır. Bu kayıplar;

- i) Elektriğin ışığa dönüşme kayıpları (balast kayıpları ve aydınlatma kaynaklarınca emilen ısı),
- ii) Oda kayıpları,
- iii) Aşırı aydınlatma ve görünürlük kayıpları,

İç aydınlatma için üç çeşit lamba vardır:

- i) Enkandesent lambalar,
- ii) Floresan lambalar,
- iii) Yüksek Yoğunluklu lambalar (civa, sodyum buharlı vb.).

Işık kaynakların veriminden bahsetmek imkansızdır. Elektrik ve ışık ayrı birimlerle ifade edildiğinden bunun yerine lamba ısıtma etkisi kullanılır. Lamba ısıtma etkisi bir ışık kaynağı tarafından yayılan ışık akışının, elektrik devresine verilen güce oranıdır. Birimi Lümen/Watt'dır.

Çalışma süresi arttıkça lamba içerisinde meydana gelen fiziksel değişiklikten ötürü lamba ısıtma etkisi azalır. Ayrıca lamba üzerindeki toz ve kir de etkiyi düşürür. Işık çıkış oranı yayılan ışığın lamba tarafından

Üretilen ışığa oranıdır. Aydınlatma mühendisleri Kullanım Faktörü deyimini kullanırlar. Bu faktör çalışılan düzlem tarafından alınan toplam ışık akısının kurulu olan toplam lamba akısına oranıdır. Aydınlatma cihazlarından yayılan ışığın bir kısmı duvarlar ve tavan tarafından yutulur. Bu, oda kayıpları olarak adlandırılır. Aydınlatma sistemi (ışık kaynağı ve oda) performansı kurulu verim cinsinden ifade edilebilir. Kurulu verim çalışma düzlemine ulaşan ışık akısının sisteme verilen elektrik gücüne oranıdır. Çalışma sırasında gerekli aydınlatmadan fazla ışık sağlandığında aşırı aydınlatma kayıpları meydana gelir. Kurulu ısıtma yükü şu şekilde azaltılabilir[1].

- i) Tüm lamba ve armatürleri temizleyerek binanın bütün bölümlerinde uygun aydınlatma seviyesini sağlamak.
- ii) Aydınlatma armatürlerini daha verimli olanlarıyla değiştirerek elektriğin ışığa dönüşüm verimini artırmak.
- iii) Çalışma sahası planını, armatür yerleşimini ve duvar yansıtmasını etkileyerek ışık yayma işlemini ve görünürlüğü geliştirmek.

#### **1.3.6.2. Işıklandırma Tesisatı**

Enerji tasarrufu ışıklandırma kullanımını kontrol altına almakla temin edilebilir. Bunlar:

- i) Gün ışığını kullanmak,
- ii) Otomatik ışık azaltma tertibatı kullanmak,

- iii) Gerekeceği zaman ışığı kapatan anahtarlar kullanmak.

Enerji tasarrufu, çalışma zamanını ve aydınlatma sistemi tarafından kullanılan elektrik gücünü azaltmakla sağlanabilir. Bir aydınlatma sisteminde etüd işlemleri sırası şu şekilde ifade edilebilir:

- i) Yerleşim ve aydınlatma programının mukayesesiyle çalışma zamanını azaltma imkanını kullanmak,
- ii) Gün ışığı miktarını tahmin etmek,
- iii) Çalışma düzlemi aydınlatma seviyesini gözden geçirmek,
- iv) Işıklandırma sistemi toplam kurulu verimini değerlendirmek. Bu reflektörler ve merceklerin temizliği ve verimliliğini gözleyerek yapılır.

### 1.3.7. Elektrik Sistemi

Elektrik sistemi elektrik motoru güç faktörü kontrol performansı ve talep sınırlamasını içerir.

Binadaki elektrik dağıtım sistemi genelde alternatif akım sistemleridir. Tek fazlı alternatif akım sisteminde güç, aşağıdaki formülden bulunur:

$$P = V * I * PF \quad (1.7)$$

Burada, PF(Güç Faktörü)

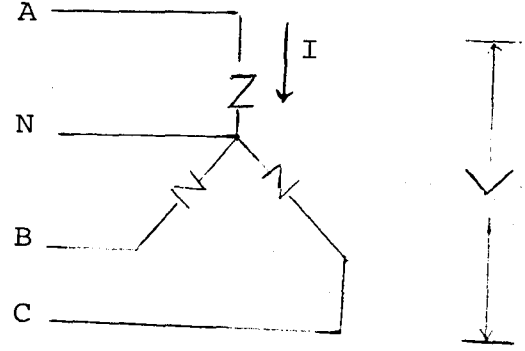
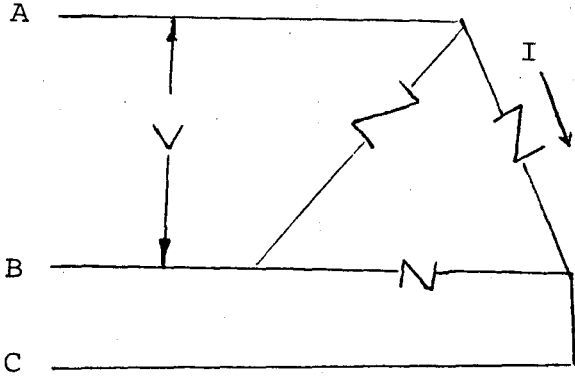
$$PF = \cos\psi = \frac{\text{Gerçek Güç}}{\text{Görünen güç}} \quad (1.8)$$

Üç fazlı sistemde güç, aşağıdaki formülden bulunur.

$$P = \sqrt{3} * I * V * \cos\psi \quad (1.9)$$

Üç fazlı alternatif akım sisteminde yükler, ( $\Delta$ ) Üçgen veya ( $\lambda$ ) Yıldız olarak bağlanır.  $\Delta$  ve  $\lambda$  bağlantılar şekil 1-11 deki gibi gösterilebilir.

Elektrik dağıtım sisteminde voltaj düşümü çekilen yüklerle değişeceğinden, binada herhangi bir noktadaki voltaj sürekli değişecektir. Voltajdaki aşırı değişimler elektrikli cihazların performansını etkiler. Örneğin, düşük voltaj motor verimini ters yönde etkiler. Etüd stratejeleri; güç faktörü, elektrik motorları ve kontrol cihazlarının performansını gözlemlemektir.



Şekil 1.11  $\Delta$  ve  $\lambda$  Bağlantı Yükları

Elektrik enerji tasarrufunun çoğu ışıklandırma ve ayarlama gibi diğer bileşen kategorileri tarafından tanımlanan geri kazanım işlemlerinin doğrudan sonucu olarak meydana gelir.

## 2. ENERJİ ETÜDÜ GENEL TEKNİĞİ

Bu bölümde enerji tasarrufu fırsatlarının değerlendirilmesinde uygulanan etüd işlemleri, ölçme ve analiz teknikleri üzerinde çalışılmıştır.

### 2.1. Etüd İşlemleri

Etüd İşlemi veri toplama ve veri değerlendirme yöntemlerinin açık ve tam bir tanımını sağlar.

#### 2.1.1. Net Enerji Girişi Yöntemi ile Bina Isı Kaybı Katsayısının Bulunması

Bu işlemi yapmak için, yaklaşık 10 gün boyunca bina'ya giren günlük net enerji birikimi ve günlük iç-dış sıcaklık farkları birikimi ölçülür ve kaydedilir.

Binaya giren net enerji;

$$Q_{Net} = Q_H + Q_S + Q_I \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır. Burada,

$Q_H$  - Isıtma sisteminden kazanılan enerji,

$Q_S$  - Güneş enerjisi,

$Q_I$  - İnsanlar, aydınlatma ve cihazlardan kazanılan ısı olmak üzere;

$Q_{NET}$ 'in binadaki enerji kaybını karşıladığı varsayılırsa Bina Isı Kayıp Katsayısı (BHLC);

$$BHLC = \frac{Q_{NET}}{T_i - T_o} \quad (2.2)$$

kW/K° cinsinden bulunur.



İç-diş sıcaklık farkına karşı net enerji girişi grafiği çizilir. Ölçüm noktalarını ve merkez noktasını en iyi şekilde birleştiren doğrusal çizginin eğimi tahmini bina ısı kaybı katsayısını verir.

Bu değer tasarlanan havalandırma miktarından ve bina bölümlerinin U-değerleri ile alanlardan hesaplanan tasarım değerleri ile karşılaştırılır.

### 2.1.2. İz Bırakan Gaz Tekniği ile Hava Sızıntı Hızı Hesabı

Üç temel iz bırakan gaz tekniği vardır. Bunlar,

- 1) Bozunma ,
- 2) Sabit konsantrasyon, ve
- 3) Sabit Püskürtme'dir.

Burada daha az zaman alması ile kolay uygulanabilirliği açısından sadece bozunma yöntemi tanıtılacaktır.  $t=0$ 'dan  $t=t'$ 'ye kadar olan ortalama hava değişimi veya sızıntı: [2].

$$N(t) = (1/t) \ln[Co/C(t)] \quad (2.3)$$

formülünden hesaplanır. Burada,

N — Saatte hava değişimi,

C(t) — (t) anında iz bırakan gaz konsantrasyonu,

Co —  $t=0$  anında iz bırakan gaz konsantrasyonu'dur.

Bu teknik evlerde ve büyük yapılarda uygulanabilir. Bu teknik mutlak konsantrasyonun aksine sadece bağıl iz bırakan gaz konsantrasyonu ölçülmesini

gerektirir ve N'yi belirlemek için gerekli analizler kolaydır. Tablo 2.1'de her metoda uygun bazı gazlarla iz bırakan gaz konsantrasyonunu ölçmeye yarayan birkaç teknik verilmiştir[2].

Tablo 2.1. İz Yapan Gazlar ve Ölçme Teknikleri [2].

TEKNİK	GAZLAR
Isıl iletkenlik Dedektörü	H <sub>2</sub> , He, CO <sub>2</sub>
Elektron Yakalama Gaz Renk-ayrışması	SF <sub>6</sub> , Soğutkanlar, Perflorokarbonlar
Alev İyonizasyonu Gaz Renk-ayrışması	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
Kızılötesi Soğurma	CO, CO <sub>2</sub> , SF <sub>6</sub> , N <sub>2</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , CH <sub>4</sub>

Doğal havalandırmalı binalarda ve geniş binalarda iz yapan gaz karışımı daha zor bir sorundur. Eğer binanın içi bir-iki iç bölme ile birbirine açıksa her ne kadar birkaç saat olsa da gaz hava ile sonunda karışacaktır. Başlangıçta dengeli bir konsantrasyon elde etmek için fanlar kullanılıp bozunma sırasında fanlar kapatılabilir.

Üç çeşit iz yapan gaz bozunması vardır:

1. Tek bölgede iz bırakma,
2. Çoklu iz bırakma,
3. Düşük-maliyetli iz bırakma tekniği.

Üçüncü teknik en çok kullanılanıdır. Bu teknik,

dengeli bir iz bırakan gaz konsantrasyonunun yapıyı tamamen doldurmasını, şekilde gazın binaya uygun bir yerden ve uygun yerlerden püskürtülmesi işlemini kapsar. Karışım işleminin tamamlanması için yeteri kadar beklendikten sonra hemen hemen eşit zaman aralıklarında hava nümune kapları doldurulur. Daha sonra herbir nümunenin gaz konsantrasyonunun ölçülmesi için kaplar merkezi bir laboratuvara gönderilir.

Gaz konsantrasyonunun bozunma hızından, ölçüm zamanı boyunca ortalama hava sızıntı hızı bulunur[2].

Deney sırasındaki hava şartlarında binadaki hava sızıntı hızının miktarı ölçüm sonuçlarından elde edilmiş olur.

### 2.1.3. Isı Akış Ölçer Kullanarak Eleman U-Değerinin Bulunması

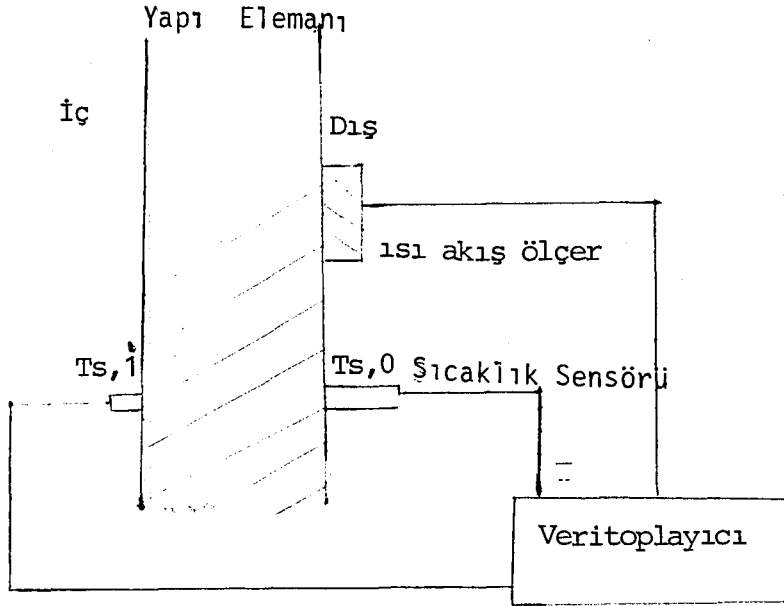
Isı akışının tek boyutlu olduğu bir yer seçilir. (örneğin ısı köprülerinden uzak bir duvar yüzeyinin ortası ) Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi duvarın her iki yüzüne birer sıcaklık duyar elemanı yerleştirilir. Duvarın dış yüzüne bir ısı-akış ölçer konur ve bu elemanlar bir veri toplayıcıya bağlanır. Duvarın her iki yüzündeki sıcaklıklar ve ısı akışı her 1,2 veya 5 dakikada bir ölçülür ve bu üç değişkenin saatlik ortalama değerleri hesaplanır. Ölçüm süresi duvarın ısıl ataletine göre 3 ila 20 gündür[5].

Yapı Elemanı U-Değeri

$$U = \dot{q} / T \quad (2.4)$$

Şeklinde tanımlanır. Bu,

elemanın ( $\text{kW/m}^2\text{C}^\circ$ ) cinsinden ısı aktarım katsayısıdır.  $\dot{q}$  ortalama ısı akısı ( $\text{kW/m}^2$ ) ve  $T$  iç-dış yüzey sıcaklığı farkıdır( $\text{C}^\circ$ ).



Şekil 2.1. Isı Akış Ölçer Kullanarak Yapı Elemanı U-Değerinin Ölçümü[3].

Ölçülen değerler standart U-değerleri ile karşılaştırılır. Eğer elemanın standarttan çok aşağıda yalıtıldığı görülürse yalıtım yeniden gözden geçirilmelidir.

U-değerlerini hesaplamamanın diğer bir yolu, duvarın yapıldığı malzemelerin kalınlığı ve cinsini öğrenip bilinen standart malzeme ısı geçirgenlik katsayıları cinsinden hesaplamaktır.

#### 2.1.4. İklimlendirilmiş Ortam Sıcaklığı

Sözkonusu iklimlendirilmiş bölgenin hava sıcaklıkları birkaç gün boyunca bir veri kaydediciye bağlanmış hissedici vasıtasıyla kaydedilir. Ölçüm sırasında dış hava yeterince soğuk olmalı ve ısıtma sisteminden gelen dikkate değer miktardaki ısı ortama verilmelidir. Ölçülen değerler termostatın ayar noktasına yakın veya kabul edilebilir konfor sınırları içinde olmalıdır.

#### 2.1.5. Sıcaklık Düşürülüp-Yükseltilmesinin Etkileri

Sıcaklık düşürülmesi ve yükseltilmesinin enerji tasarrufu üzerine etkisini görmek için;

- a) Her gün bir veya birkaç kez, sıcaklık düşürülmesi, (geri-kaydırma),
- b) Hergün bir veya birkaç kez sıcaklık yükseltilmesi, (ileri-kaydırma),
- c) Binanın önceden soğutulması, işlemleri yapılır.

Bu işlemlerin yapıldığı ve yapılmadığı zamanlardaki enerji sarfiyatı karşılaştırılır. Binanın enerji sarfiyatı, ortalama iç ve dış sıcaklıklara göre ölçülür.

Sıcaklık değiştirme sisteminin çalıştığı ve çalışmadığı zamanlarda sırasıyla iç-dış sıcaklık farkı veya dış sıcaklığa göre enerji sarfiyatı grafiği çizilir. Bu işlemin hassasiyeti ve düzgünlüğü ölçümler sırasında sıcaklık farklarında ne kadar değişim olduğuna bağlıdır.

Enerji grafiğini elde etmek için genelde 5 ila 10 adet başlatma durdurma zaman aralığı gereklidir. Bu da ölçümlerin 10 ila 20 hafta sürmesi demektir[5].

#### 2.1.6. Kazan Yanma Verimi

Kazanın yanma verimini hesaplamak için baca gazı ve yanma havası sıcaklığı ölçülürken baca gazı içindeki CO<sub>2</sub> (veya O<sub>2</sub>) miktarı da ölçülür.

Daha sonra kazanın yanma verimi (veya kuru yanma verimi) şu formülden hesaplanır [5]:

$$\eta_c = 100 - SC * (T_f - T_a) / CO_2 \quad (2.5)$$

burada SC-Siegert sabiti olup,

Fuel Oil için 0,58

Doğal gaz için 0,48

Kömür için 0,67-0,75 'dir.

T<sub>f</sub> - Baca gazı sıcaklığı

T<sub>a</sub> - Yanma havası sıcaklığı'dır.

Yanma verimi sonuçları standartlarla ve modern kazanlarda hedeflenen verim değerleri ile mukayese edilir.

#### 2.1.7. Kazan Isıl Verimi

Kazan Isıl Verimi, brülör devrede iken yakıtın ısı değerinin ısıtıcı akışkan tarafından alınan miktara oranı olarak tanımlanır.

Kazanın buhar veya sıcak su üretimi ve yakıt sarfiyatı aynı zaman aralıklarında ölçülür ve kaydedilir. Aynı zamanda besleme suyu sıcaklığı ile buhar veya kızgın su sıcaklığı ve basıncı da ölçülür. Tablodan yakıtın üst ısıl değeri alınır ve kazanın ısıl verimi (1.2) formülünden hesaplanır.

Isıl verim sonuçları standartlarla ve modern kazanlarda hedeflenen ısıl değerler ile karşılaştırılır.

### 2.1.8. Soğutma Gruplarının Performansı

Soğutma grubu dengelenmiş yüklerde çalışır. Kompresörün çektiği elektrik gücü ölçülür. Bir monometre kullanılarak yoğuşma ve buharlaşma basınçları ölçülür ve ilgili tablolardan denk gelen yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıkları bulunur. Ölçüm tekniklerinde belirtildiği üzere ısıtılan ya da soğutulan akışkanın giriş ve çıkışlardaki hacimsal debileri ve sıcaklıkları ölçülür[5].

Isıtılan veya soğutulan akışkanın girişi ile çıkışı arasındaki enerji akış farkı şu denklemlerle bulunur.

$$Q_H = \dot{V}_H * (T_{H,o} - T_{H,i}) * \rho_H * C_{PH} \quad (2.6)$$

$$Q_C = \dot{V}_C * (T_{C,o} - T_{C,i}) * \rho_C * C_{PC} \quad (2.7)$$

Bu durumda performans katsayısı,

$$\beta_H = \frac{Q_H}{P_C} \quad (\text{Isıtma durumunda}) \quad (2.8)$$

$$\beta_c = \frac{Q_c}{P_c} \quad (\text{Soğutma durumunda}) \quad (2.9)$$

Bu katsayılar arasında  $B_H = B_c + 1$  bağıntısı vardır. Bu sonuçlar, ölçülen çalışma basınç aralığı için hedeflenen değerlerle karşılaştırılır. Aynı zamanda ısıtılan ve soğutulan akışkanların debileri ve soğutkan sıcaklıkları tasarım değerleri ile karşılaştırılır[5].

### 2.1.9. Kanal Isı Kaybının İrdelenmesi

Isıtma ve soğutmayı sağlamak için hava dolaşımından faydalanılıyorsa, kanal ısı kayıpları sistem performansını aşırı şekilde düşürür. Kanal ısı kaybı kanaldaki şartlandırılmış hava ile çevre arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır.

Dağıtım sistemi, ısı kaybının önemli miktarda olabildiği kanal çevresini tanımlamak için araştırılır (İklimlendirilmeyen ortamlardan geçen yalıtılmamış kanallar gibi). Ölçüm tekniklerinde belirtildiği üzere sistemin her iki ucundaki hava sıcaklıkları ölçülür. Yaklaşık ısı kaybı aşağıdaki formülden bulunabilir (nemlilik ihmal edilirse)

$$Q_i = \dot{m}_a * C_{Pa} * \Delta T \quad (2.10)$$

Kanal ısı kaybını irdelemek için ısı aktarım katsayısı hedeflenen değerlerle karşılaştırılır. Hedeflenen değer ; (ASHRAE standart 90,75,1980)[2].

$$U = 170.28 / (T_a - T_o) \quad (\text{kJ/hm}^2\text{K}) \quad (2.11)$$



Kanalın gerçek ısı aktarım katsayısı aşağıdaki formülden bulunabilir (Işınım ısı aktarımı ihmal edilirse) [6].

$$U = \frac{\dot{m}_a * C_{Pa} * \Delta T}{Pd * \Delta X * (Ta - To)} \quad (2.12)$$

Pd- kanalın çevresi (m)

$\Delta X$ - kanalın uzunluğu(m)

### 2.1.10. Serpantinde Hava Karışımının İrdelenmesi

Dış havanın toplam havaya oranının doğru irdelenmesi iklimlendirme sisteminin düzgün dengelenmesiyle orantılıdır. Serpantinde dış hava, geri dönüş havası ve karışım havası sıcaklıkları aynı anda ölçülür. Karışım havası sıcaklığı yöntemi aşağıdaki formülle açıklanır:

$$T_{mix} = \%OA * T_o + \%RA * T_r \quad (2.13)$$

$$\%OA + \%RA = 1 \quad (2.14)$$

$$\%OA = \frac{T_r - T_{mix}}{T_r - T_o} * 100 \quad (2.15)$$

Burada;  
OA-Dış hava,  
RA-Dönüş havası'dır.

Ölçülen sonuçlar sistemin tasarım değerleriyle karşılaştırılır. Bu işlemin sonuçlarından enerji tasarruf imkanı da tahmin edilebilir.

### 2.1.11. Hava Akışı Dengesinin İrdelenmesi

Dengelenmemiş havalandırma sistemleri istenen ayarlamalara cevap veremediğinden istenilen konfora erişmede başarısız olabilir.

İşlem üç aşamada sürdürülür.

Öncelikle güçlü havalandırma, hava hareketi olmayan ve zayıf hava özelliklerinin olduğu odalar veya yerler tespit edilir. Daha sonra projelerden cihaza en uzak ve en yakın yerler tespit edilir. En sonunda da ölçüm teknikleri kullanılarak farklı yerlerdeki hava akışı irdelenir. Ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu aşağıdaki sonuçlara varılabilir.

- i) Sistem dengeleme istemektedir.
- ii) Hava debisi ölçümleri daha iyi yapılmalıdır.
- iii) Hava debisi dengesi kabul edilebilir seviyededir.

#### 2.1.12. Fan Sistemi Performansının İrdelenmesi

Fan performansını irdelemek için debi, sıcaklık ve barometrik basınçın bulunmasında kullanılan bir hız basınç düzlemi kurulur ve ölçüm düzlemi için hava yoğunluğu hesaplanır, giriş-çıkış statik basınçları kaydedilir. Fan hızı, motor gerilim-akım değerleri ölçülür ve tüm motor etiket değerleri kaydedilir. Fan performansı üzerinde zıt etkisi olabilecek tüm sistem etki durumları dikkate alınır. Statik basınç tanımı şu şekildedir[4].

$$SP = SP_2 - SP_1 - VP_1 + SEF_1 + \dots + SEF_n \quad (2.16)$$

SEF- sistem etki faktörüdür.

Motor güç çıkışını belirlemede bilinen yöntem;

$$\text{Motor güç çıkışı} = (\text{NPP}) * \frac{(\text{Ölçülen Amper})}{(\text{FLA})} * \frac{(\text{Ölçülen Voltaj})}{(\text{etiket voltajı})} \quad (2.17)$$

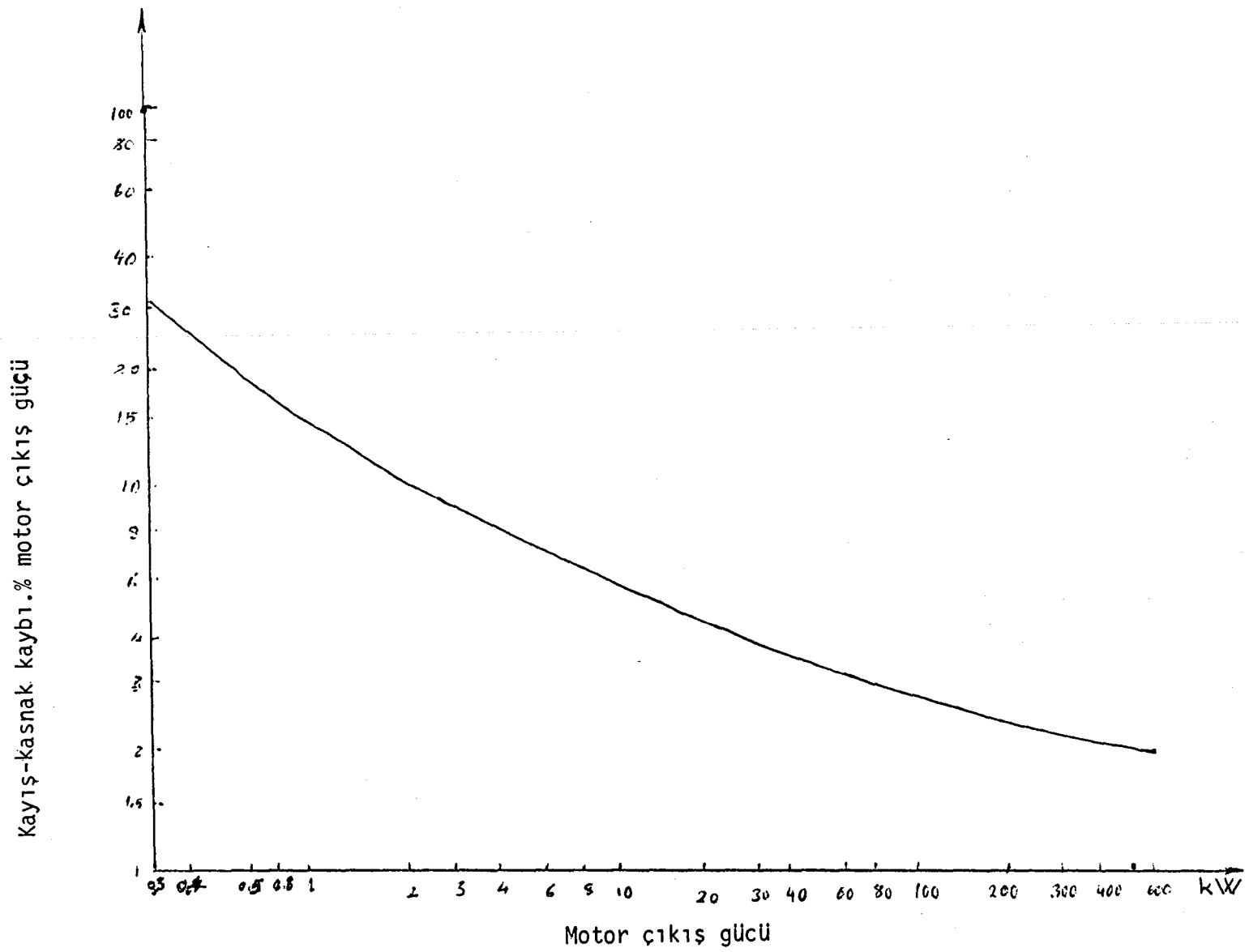
Fan güç girişi tablodan kayış kaybı seçilerek hesaplanabilir (Şekil 2.2.'ye bakınız). Çizilmiş fan çalışma eğrileri ile ölçülen değerleri karşılaştırmak için, sonuçların istenen şartlara dönüştürülmesi gerekir. Sonuçlar daha sonra fanın istenilen işletme noktasında çalışıp çalışmadığı veya sistemde ya da fanda değişiklik yapıp yapılmayacağı yönünden değerlendirilir.

İşleme devam etmeden önce ölçüm sırasında giriş damperi, çıkış damperi veya değişken giriş kanatlarının açık olduğuna dikkat edilmelidir. Çünkü fanın başlangıç değerleri tüm bunların açık olduğu duruma göre belirlenir.

### 2.1.13. Boru hattı Sistemi Ayarları

Aynı fonksiyonları gösteren ve aynı şartlarda olan birçok odada iç sıcaklıklar ölçülerek dengeleme yapılır. Düzgün dengelenmiş sistemlerde sıcaklık değişimi en fazla 1-2 K° civarında olmalıdır[5].

Eğer değişim fazla ise, bu kesinlikle dengelemenin iyi yapılmadığı demek değildir. İyi seçilmemiş cihazlar, ısı kaybı hesaplarındaki belirsizler, sızıntı kayıplarının ihmal edilmesi, iç ve dış ısı kaynakları gibi faktörler de buna sebep olabilir. Tüm bunların yeniden kontrol edilmesi gerekir.



Şekil 2.2. Tahmini Kayış-kasnak Kaybı[3].

#### 2.1.14. Boru Hattı Dağıtım Verimi

Dağıtım verimi şu şekilde tanımlanır:

Isı değiştirgeçlerinden alınan toplam ısı

$$\eta_d = \frac{\text{Isı değiştirgeçlerinden alınan toplam ısı}}{\text{Suya kazan tarafından sağlanan ısı}} \quad (2.18)$$

Suya kazan tarafından sağlanan ısı

Bu tanımı kullanmak için tüm kaynaklardan ölçüm yapmak güç olduğundan temsili bir kaynak seçilmesi daha uygundur. Bu kaynak (radyatör veya konvektör) aşağıdaki bağıntı kullanılarak seçilir.

$$L = \sum_i \dot{m}_{wi} * L_i / \dot{m}_w \quad (2.19)$$

Dağıtım verimi;

$$\eta_d = 1 - \frac{\Delta T_s + \Delta T_r}{\Delta T} \quad (2.20)$$

denklemden hesaplanır. Burada,

$\Delta T_s$  = Kazan çıkışı ile kaynağın girişi arasındaki sıcaklık farkı (°C) (Besleme suyu),

$\Delta T_r$  = Isı kaynağı çıkışı ile kazan giriş arasındaki sıcaklık farkı (°C) (Dönüş suyu),

$\Delta T$  = Kazanda besleme ve dönüş suları arasındaki sıcaklık farkı (°C)'dir.

95°C dan küçük sıcak su sistemleri için tavsiye edilen en az boru yalıtım kalınlığı 15-40 mm.dir. Bu kalınlık ısı iletkenliği 0.06-0.07 W/m<sup>2</sup>K civarındaki yalıtım malzemeleri içindir[5].

### 2.1.15. Isı Kaynaklarından Isı Yayılımı

Bu işlemin amacı ısı kaynaklarının (serpantin, radyatör Fan-coil, konvektör v.b.) yetersiz ya da gereğinden büyük olup olmadığını belirlemektir.

Isı kaynağından olan ısı yayılımı aşağıdaki genel bağıntıdan hesaplanır [5].

$$Q_H = \dot{m}_w * C_{pw} * (T_s - T_r) = \theta_c * \left[ \frac{(T_s - T_i) - (T_r - T_i)}{\ln \left( \frac{T_s - T_i}{T_r - T_i} \right)} \right] \gamma \quad (2.21)$$

$\theta_c$  = Isı kaynaklarından yayılan ortalama ısı (W/K)  
(İmalatçı kataloglarından elde edilebilir)

$\gamma$  = radyatörler için 1.3., konvektörler için 1.5 alınabilir.

Isı kaynağından ısı yayılımını belirlemek için mekan sıcaklığı, kaynak giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülür ve kaydedilir. Bu işlem boru hattının dengelenmesinde de kullanılabilir.

### 2.1.16. Depolama Kayıplarının İrdelenmesi

Depolama kayıpları çoğunlukla depolama tankı duvarlarından iletim ile olan kayıplardır. Isı kayıp hızı tankın şekline, büyüklüğüne, malzemesine, depolama sıcaklığına, ortam sıcaklığına ve yalıtım kalınlığına bağlıdır.

Bu İşlemi yapmak için ortam havası sıcaklığı ve depolama sıcaklığı duyar elemanları bir elektronik panele bağlanır. Bu panel depolama sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasında sabit bir farkı temin eder. Tank sıcaklığı tasarım değerine gelince bu sabit hava/su sıcaklığını temin etmek için harcanan enerji bulunur. örneğin 24 saatlik bir dengelenme zamanından sonra belli bir zaman için enerji sarfiyatı not edilir. Böylece kayıp;

$$\dot{Q}_{st} = Q/t \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edilebilir.

#### 2.1.17. Sıcak Su Depolama Gereksinimi

Sıcak su depolama gereksinimi; ülke yada bölgeye, bina hacmine, binada yaşayanların sayısına, sıcak su üretimi cinsine, depolama kapasitesine, depolama ve dağıtım kayıplarına bağlıdır.

Sıcak su gereksinimi için net enerji

$$Q_{NET} = C_{Pw} * \rho_w * V_w * \Delta T \quad (2.23)$$

$C_{Pw} * \rho_w = 4200 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$  (Suyun hacimsal ısı sığasıdır)

$\Delta T$ - Soğuk besleme suyu ile depodan alınan sıcak su arasındaki sıcaklık farkı olmak üzere verilir.

#### 2.1.18. Toplam Aydınlatma Verimi

Aydınlatma sistemi verimini tanımlamak için aşağıdaki bağıntılar kullanılır:

$$\Phi_u = \eta_{IE} * P \quad (2.24)$$

$$\Phi_u = A_w * L_w \quad (2.25)$$

Burada,

$\Phi_u$  - Faydalı ışık akısı (lumen),

$\eta_{IE}$  - Armatür verimi (lumen/watt),

$L_w$  - Ortalama çalışma düzlemi aydınlatması (lux)'dır.

Ayrıca,

$$\eta_{IE} = \eta_{IL} * \eta_{LM} * RCU * LLF = \eta_{TP} * LLF * CU \quad (2.26)$$

$$RCU = \frac{\eta_{IE}}{\eta_{IL} * \eta_{LM} * LLF} \quad (2.27)$$

$$CU = \eta_{LM} * RCU \quad (2.28)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada,

$\eta_{IL}$  - Lamba verimi (lumen/Watt),

$\eta_{LM}$  - armatür verimi,

RCU- Oda kullanım katsayısı,

CU- kullanım katsayısı,

LLF- Işık kayıp katsayısı'dır.

Aydınlatma, ölçüm tekniklerinde belirtildiği üzere seçilen yerlerde çalışma düzleminde, çalışma (çalışma odası, sınıf gibi) saatinde yapılır.

### 2.1.19 Günışığı Potansiyeli Tahmini

Bu işlemin amacı büyük oranda değişmeyen gökyüzü aydınlığı sırasında gün boyunca farklı bina çalışma düzlemlerinin günlük günışığı potansiyelini belirlemektir. Havanın bulutlu ya da açık olma durumu binanın genellikle içinde bulunduğu duruma göre seçilir.

Dış ve iç aydınlanma seviyeleri ardarda sık sık



ölçülür. Dış aydınlatmalar doğrudan gün ışığı almayacak şekilde ölçülür. İç aydınlanma ölçümü yapılırken elektrik lambaları söndürülür. İç ölçümler fonksiyon olarak farklı mahallerde ayrı ayrı ölçülür.

Gün ışığı faktörü şu şekilde hesaplanır:

$$DF = \frac{\text{Dahili yatay aydınlanma}}{\text{Harici yatay aydınlanma}} \quad (2.29)$$

Yılın temsili bir ayı seçilir ve günlük dahili aydınlanma eğrileri bu ay için çizilir. Aynı diyagramda istenen aydınlanma seviyeleri de çizilir. Günışığı potansiyeli diyagramı kullanılarak elektrik enerjisi tasarrufu tahmin edilebilir.

## 2.2. Ölçüm Teknikleri

Ölçümler etüd işlemlerinin bir parçasıdır. Bir ölçümü yapmanın amacı binanın fonksiyonlarının tasarıma uygun olup olmadığını ve bina fonksiyonlarındaki anormalliklerin miktarını belirlemektir.

### 2.2.1. Dış Hava Sıcaklığının Ölçülmesi

Işınım maruz kalan yüzeylere yakın yüzeylerde sıcaklık gradyantlerinin çok büyük olması yüzünden, dış hava sıcaklığı ölçümlerinde sıcaklık-ölçer'in doğru yerleştirilmesi çok önemlidir. Bu yüzden sıcaklık hissedici doğrudan güneş ışığından ve binanın yüzey sıcaklığından etkilenmeyecek şekilde korunur. Cihaz, binanın kuzeye bakan

cephesinde yaklaşık duvardan 0,5 m uzaklığa veya çimle kaplı ve rüzgara maruz yerde yerden 1.25 m. yüksekliğe yerleştirilir [7].

Dış hava sıcaklığı ölçümü kalibre edilmiş bir termometre ile yapılır. Hava sıcaklığı normal olarak çok hızlı değişmediği için tüm amaçlar için saatlik ölçümler yeterlidir. Bazı durumlar için birkaç saatlik ölçümler veya günlük ortalama değerler de kullanılabilir.

### 2.2.2. Bina Isıl Zaman Sabitinin Tayini

Isıl zaman sabiti ısı kapasitesi, bina kütlesi ve binanın tefrişi ile doğrudan ilgilidir. Isıl zaman sabiti enerji tasarrufunun sıcaklık geri kaydırması ile nasıl etkilenebildiğini göstermek için kullanılabilir. Isıl zaman sabiti, ısıtma cihazı aniden kapatıldıktan sonra binanın iç hava sıcaklığının bir başlangıç değerinden son değere düşmesi için gerekli olan zamana denk gelir. Isıl zaman sabitini belirlemek için aşağıdaki logaritmik denklem kullanılabilir[8].

$T_i - T_o = \Delta T$  farkının zamana göre türevi  $\Delta T$  ile orantılıdır. şöyle

$$kiz; - \frac{d \Delta T}{dt} \propto T. \text{ Buradan } - \left( \frac{d \Delta T}{dt} \right) = \tau \Delta T \text{ veya}$$

$- \left( \frac{d \Delta T}{\Delta T} \right) = \tau. dt. \text{ olur. } \tau \text{ burada orantı sabitidir. Her iki tarafın integrali alınırsa:}$

$$\int_{T_{ilk}}^{T_{son}} - \frac{d \Delta T}{\Delta T} = \int_{t_{ilk}}^{t_{son}} \tau. dt.$$

$$\tau = \frac{1}{t_f - t_i} \times \left[ \ln \frac{\Delta T_i}{\Delta T_f} \right] \quad (2.30)$$

elde edilir.  $(1/\tau)$  ısıtıl zaman sabitidir.

Isıl zaman sabiti ölçümü ışınma yükünü devredışı yapmak için ve binayı daha düzenli ve düşük sıcaklıkta tutmak için gece yapılır. Binanın ısıtma sistemi mesai saati bitiminde kapatılır. Aynı zamanda tüm dahili yükler kapatılır. Bunlardan sonra dış ve iç sıcaklıklar birer saat ara ile farklı geri-kaydırma periyotlarında ve farklı yerlerde birkaç gün için ölçülür ve kaydedilir.

### 2.2.3. İç Hava Sıcaklığının Ölçülmesi

İç hava sıcaklığının ölçülmesinde ölçü aletinin hassasiyetinden veya veri toplama sisteminden kaynaklanan hatalar, ölçü aletinin doğru yerleştirilmemesinden kaynaklanan hatanın yanında çok önemsiz kalır. Bu yüzden sıcaklık hissediciyi doğru yerleştirmek gerekir.

Teorik olarak merkezde net akışın sıfır olduğu bir nötr-düzlem vardır. Birçok durumda nötr-düzlem ısıtıcının üst kısmına yakındır. Düşey sıcaklık gradyentinin etkisini azaltmak için cihaz nötr-düzlem üstüne yerleştirilir. Cihaz radyatörlere, pencerelere veya başka bir ışık kaynağına bakmamalıdır. Aynı zamanda sıcaklık hissedici hava girişi ve çıkışına yakın konmamalıdır.

Ölçümler termokupl, veya termometreler vasıtası ile yapılabilir.

#### 2.2.4. Isıl Konforun Ölçülmesi

Isıl konfor, insan vücudunun ısı çevreyle olan deneyiminin ölçülmesidir. Fanger'in konfor denklemi[3]:

$$f(M, C_{lo}, v, MRT, T_i \text{ ve } P_i) = 0 \quad (2.31)$$

Tüm bu faktörlerin bulunduğu tek bir ölçüm yapmak imkansızdır. Kullanılan ölçüm çalışma sıcaklığı'dır. Bu sıcaklık, insanın gerçek çevredeki ile aynı ısıyı ışıınım ve taşınım ile alabildiği hayali bir siyah-kabinin sıcaklığıdır.

Böylece konfor denklemleri:

$$T_{MRT} = T_G + [2.27 * (v)^{0.5}] * (T_G - T_i) \quad (2.32)$$

$$T_{op} = (h_r * T_{MRT} + h_c * T_i) / (h_r + h_c) \quad (2.33)$$

olup,

$$h_c = 8.6 * (v)^{0.53} \quad (2.34)$$

$$h_r = 4.70 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.35)$$

değerleri kullanılabilir.

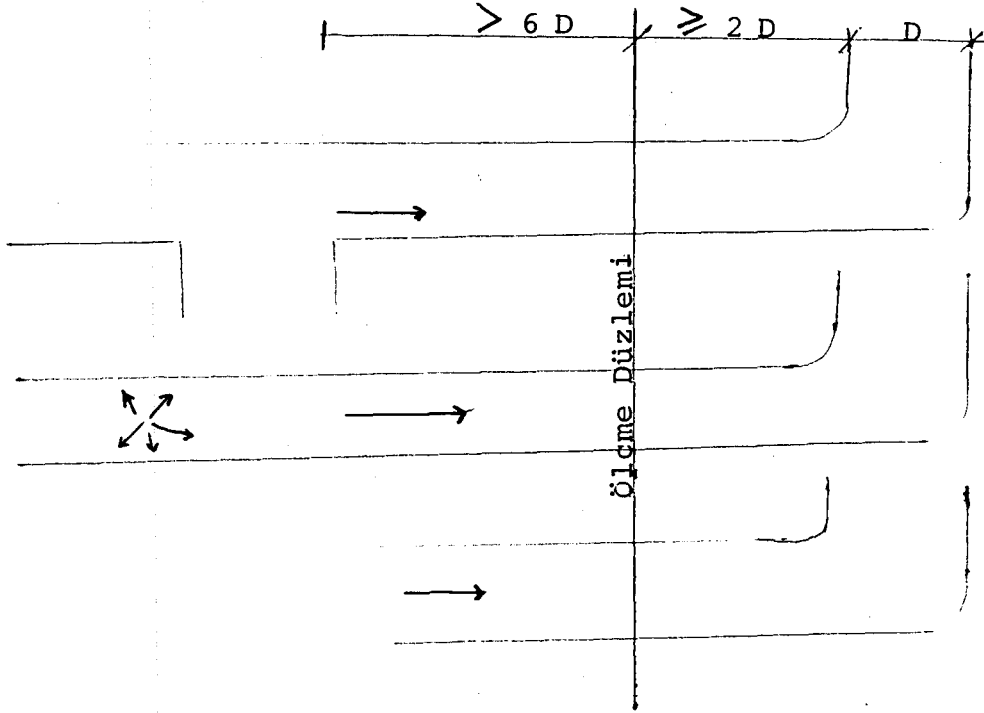
Siyah küre sıcaklığı ( $T_G$ ), küre termometre kullanılarak ölçülür. Bu, 0.15 m. çapında siyaha boyanmış ince-cidarlı bir küredir. Duyar uç kürenin içine yerleştirilir. Küre termometre test noktasına asılır ve ısı denge için beklenir. Aynı zamanda ölçüm tekniklerinde belirtildiği şekilde bir termokulplı hissedici ve bir anemometre kullanılır iç hava sıcaklığı ve hava hızı ölçülür.

Çalışma sıcaklığı sonuçları konfor standartları ile karşılaştırılır. Çalışma sıcaklığı için ASHRAE konfor standardı 20-24°C'dir.

### 2.2.5. Kanalda Debi ve Sıcaklığın Ölçülmesi

Önce ölçme düzlemi seçilir. Diktörtgen kesitli kanalda ölçüm düzlemi şekil 2.3.deki gibi yerleştirilir. Ölçüm düzlemi temiz ve doğrusal bir kanal kesitinde seçilir. Ölçümlerde pitot borusu dirseklerden, geçmelerden, redüksiyonlardan uzak akışa doğru en az, 6 çap, akış yönünde en az 2 çap kadar olacak şekilde yerleştirilir[9].

$$D = \text{Hidrolik çap} = \frac{A_d}{P_d} \quad (2.36)$$



Şekil 2.3. Ölçme Düzleminin Tayini.

Hız ölçümü(dinamik basınç) bir manometreye bağlı standart bir pitot borusu ile veya minyatür bir rüzgar

tünelinde kalibre edilmiş anemometre ile yapılır. Bu amaç için ölçüm düzleminde 1.4 cm çapında delik delinir. Ölçümlerde sıvı içinde hava kabarcığı olmamasına dikkat edilir. Her noktadaki hava hızları dinamik basınçtan aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$v = \text{Sabit} * \sqrt{vp} \quad (2.37)$$

hacimsal hava debisi;

$$\dot{V} = A_d * v \quad (2.38)$$

Kanaldaki hava hızının 3 m/sn'nin altında olduğu yerlerde anemometre ile ölçüm yapılabilir [8].

#### 2.2.6. Hava Kanalında Basınç düşümünün Ölçülmesi.

Aşırı basınç düşümleri şuralarda olur:

- i) Fan giriş ve çıkışlarında,
- ii) Yönlendirici bulunmayan keskin ve geniş dirseklerde,
- iii) Ayrı düzlemlerdeki iki dirsekte,
- iv) Kanal giriş ve çıkış ağızlarında,
- v) Sistemdeki ısı eşanjörlerinde [ 5].

Kanaldaki basınçlar pitot borusu ile ölçülür. Toplam basınç, statik basınç ve hız basıncı arasında

$$TP = SP + VP \quad (2.39)$$

bağıntısı vardır. Gerçek bir kanal sisteminde dahili sürtünmeler toplam basınçta bir düşüğe neden olur.

### 2.2.7. Borularda Debi

Borularda debiyi ölçmek için debi plakaları (orifice plate), debi ölçer ve seygar ultrasonik akış ölçerler kullanılabilir.

Debi plakası, aynı merkezli dairesel ağzı olan metal bir düzlemdir. Ölçüm yapılırken düzlem akışı kısmen engeller ve basınç düşümüne yol açar. Debi ile basınç ilişkisi şu şekilde ifade edilir.

$$\dot{V} = C_d * A_o * \sqrt{(2 * \Delta P / \rho)} / \sqrt{[1 - (A_o / A_p)^2]} \quad (2.40)$$

Burada  $C_d$ -debi plakası boşaltma katsayısı olup değeri 0.60-0.65'tir.

Plakanın her iki yüzündeki basınç U-tüp manometre ile ölçülür. Boru çapı kadar akış'a karşı boru çapının yarısı kadar akış yönünde bir uzaklıkta iki delik delinir ve manometre bağlanır.

Borularda sıcaklık ölçmek için akış yönüne karşı ve dirseğe bir tüp yerleştirilir. Tüpün içine ölçü aleti yerleştirilir(Şekil 2.4).

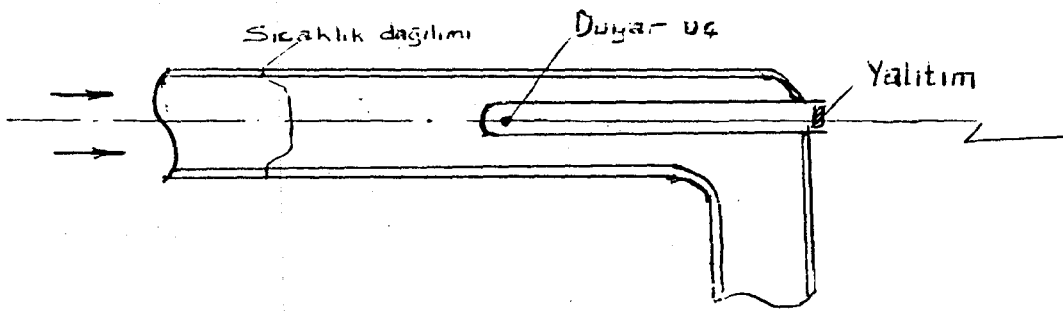
### 2.3. Analiz Teknikleri

Analiz teknikleri birçok Enerji Tasarruf Fırsatı'nı değerlendirmek için gerekli modeller ve formüllerden oluşur.

#### 2.3.1. Aylık Derece-Gün Metod'u ile Binanın Isıtma Enerjisi

##### Tüketiminin Tayini

Bu metod günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar arasında orta-nokta olarak hesaplanan günlük ortalama



Şekil 2.4. Borularda Akışkan Sıcaklığı Ölçümü.

sıcaklıkla denge noktası sıcaklığının günlük farklarının aylık toplamıdır.

Böylece aylık ısınma enerjisi;

$$(Q_H)_M = \frac{24 * MDD * BLC}{h} \quad (2.41)$$

Burada

$$MDD = \sum_D \left( T_{b_M} - \frac{(T_{max} + T_{min})_{out}}{2} \right) \quad (2.42)$$

$$BLC = \sum_i (U * A)_i \quad (2.43)$$

$$T_{b_M} = T_i - \left( \frac{Q_{ST} + Q_I - Q_{GR}}{BLC} \right)_M \quad (2.44)$$

Dönemsel enerji tüketimi

$$(Q_H)_S = \sum_{m=1}^{12} (Q_H)_M \quad (2.45)$$

Binadan toprağa olan kayıp, negatif kazanç olarak alınır.



### 2.3.2. Binada Isıl Yalıtımın Ekonomik Optimizasyonu

Optimizasyon kriteri, bakım ve işletme giderleri dikkate alınmaksızın aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$IC + PWF \times EC = \text{minimum} \quad (2.46)$$

Buradan;

$$PWF = \frac{1 + e}{1 - e} \times \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1+i} \right)^n \right] \quad e=i \quad (2.47)$$

$$PWF = n \times (e + i) \quad e = i \quad (2.48)$$

$$EC = Q_a \times P_a \quad (2.49)$$

Yıllık enerji tüketimini bulmak için aylık derece-gün ve aylık serbest ısı kullanılabilir. Bu metod aşağıda özetlenmiştir.

$$Q_a = \sum_1^{12} (Q_L - Q_G) \quad (2.50)$$

Burada

$$Q_L = 24 \times MDD \times BLC \quad (2.51)$$

$$BLC = \sum_i (U \times A)_i \quad (2.52)$$

(Toprak kayıpları dahil)

$$MDD = \sum_{M=1}^{12} (T_i - T_o) \quad (2.53)$$

$$Q_G = Q_S + Q_{LT} + Q_o \quad (2.54)$$

Binanın duvarları, çatısı vs. gibi bileşenlerinde yapı optimizasyonu yapmak için  $lm^2$  yapı için ödenen ısı kaybını bulmak açısından aşağıdaki formül seçilebilir.

$$q_a = \sum_{m=1}^{12} \left( \frac{Q_L}{A} - \delta * \frac{Q_G}{A} \right) \quad (2.55)$$

Burada  $\delta = f(BLC)$  serbest ısı kesridir.

Bu metod ısıtma sezonunda enerji tüketimi açısından yalıtım kalınlığını artırmanın önemini göstermektedir.

### 2.3.3. İz Bırakan Gaz Ölçüleriyle Hava Değişim Oranlarının Belirlenmesi.

İz bırakan gazın yapı içinde tamamen ve aniden karıştığı varsayılırsa ve kütle denkliği denklemi yazılırsa:[2].

$$V \frac{dc}{dt} = F(t) - V(t) * C(t) \quad (2.56)$$

hava değişimi veya sızıntı hızı:

$$N(t) = \frac{v(t)}{V} \quad (2.57)$$

olur. Ve,

$$C(t) = C_0 \exp\left(- \int_0^t (V(S)/V) ds\right) + (1/V) * \int_0^t W(t, t_1) F/t_1 dt_1 \quad (2.58)$$

olarak bulunur.

Buradan da,

$$W(t, t_1) = \exp \left( - \int_0^t (V(y)/V) dy \right) \quad (2.59)$$
$$C_0 = C(0)$$

sonucu elde edilir. Her metod için aşağıdaki denklemler türetilir:

i) Bozunma metodu: ortama bir başlangıç gazı verildikten sonra gaz verilmesi kesilince  $F(t) = 0$  için 2.56 denklemini şu hale gelir:

$$C(t) = C_0 \exp \left( - \int_0^t (V(S)/V) ds \right) \quad (2.60)$$

Böylece,

$$N(t) = (1/t) \ln [(C_0/C(t))] \quad (2.61)$$

olur.

ii) Sabit konsantrasyon:

$dc/dt=0$  (sabit konsantrasyon) için 2.54 denklemini şu hale gelir:

$$C(t) = \frac{F(t)}{V(t)} \quad (2.62)$$

Böylece,

$$N(t) = \frac{F(t)}{V * C(t)} \quad (2.63)$$

olur.

iii) Sabit enjeksiyon

$F(t) = \text{sabit}$  olduğundan ve  $N$  de sabit varsayılırsa denklem 2.56 şu hale gelir:

$$C(t) = (F/V) + (C_0 - F/V) \exp (-N * t) \quad (2.64)$$

$$N = - \left( \frac{1}{t} \right) \ln \left( \frac{C(t) - F/V}{C_0 - F/V} \right) \quad (2.65)$$

Yapının hava değişim oranı yukarıdaki üç yöntemden birisi kullanılarak bulunur.

#### 2.3.4. Binalarda Sıcaklık Geri-Kaydırmasının İrdelenmesi

Yıllık kışlık enerji tasarrufu genellikle sıcaklık düşürülmesiyle doğru orantılıdır. Mevsimsel ısıtma enerjisi tasarrufu bazı bilim adamları tarafından sıcaklık geri-kaydırması ile öngörülmüştür. Bu metodun kullanılması binanın yapısına, sıcaklık geri-kaydırması ısı kapasitesi uzunluğuna, iklimsel koşullara, bina için gerekli enerji gibi hususlara bağlıdır.

Binanın ısıtma sistemi,  $T_D$  iç sıcaklığını sabit tutmak için  $E_D$  enerjisini; geri-kaydırma süresince  $T_N$  iç sıcaklığını sağlamak için  $E_N$  enerjisini; sabah yüklenme zamanında  $E_{max}$  maksimum enerjisini sisteme verir. Sıcaklık geri-kaydırma modelinin şematik gösterilişi şekil 2.5, 2.6 ve 2.7 de verilmiştir.

a-b ve c-d çizgilerinin doğrusal olduğunu varsayabiliriz. Geri-kaydırma sonucu meydana gelen günün enerji kayıp oranındaki düşüş (abcd) yamuğunun alanından bulunur. Böylece enerji tasarrufu yüzdesi

$$\frac{\Delta E_s}{E_s} = \frac{100 * (\text{Yamuğun alanı})}{24 * E_D} = \frac{100 * (t_R \frac{2t_l + t_p + t_c}{2}) * (E_D - E_N)}{24 * E_D} \quad (2.66)$$

$t_l$  yerine  $t_R - t_C$  koyarsak

$$\frac{\Delta E_S}{E_S} = \frac{100 * [(E_D - E_N) * (t_R - t_C / 2 + t_p / 2)]}{24 * E_D} \quad (2.67)$$

$\Delta E_S / E_S$  -binayı ısıtmak için bina içine verilen günlük enerjideki düşüş yüzdesidir.

Bina dış yüzeyinden enerji akışı veya ısı kaybının yüzeylerin her iki yanındaki sıcaklık farkıyla doğru orantılı olduğu varsayılırsa

$$E_N = BLC * (T_N - T_o) \quad (2.68)$$

$$E_D = BLC * (T_D - T_o) \quad (2.69)$$

Soğutma zamanı ( $t_c$ ) ve sabah yüklenme ( $t_p$ ) zamanı aşağıdaki denklemlerden bulunur. Bu zamanlar için enerji dengesini yazarsak

$$Q_H + Q_G - BLC * (T - T_o) = \rho_a * C_{pa} * V * \frac{dT}{dt}$$

Burada  $Q_G = Q_S + Q_{LT} + Q_o$  'dır.

Bu denklemin bir çözümü;

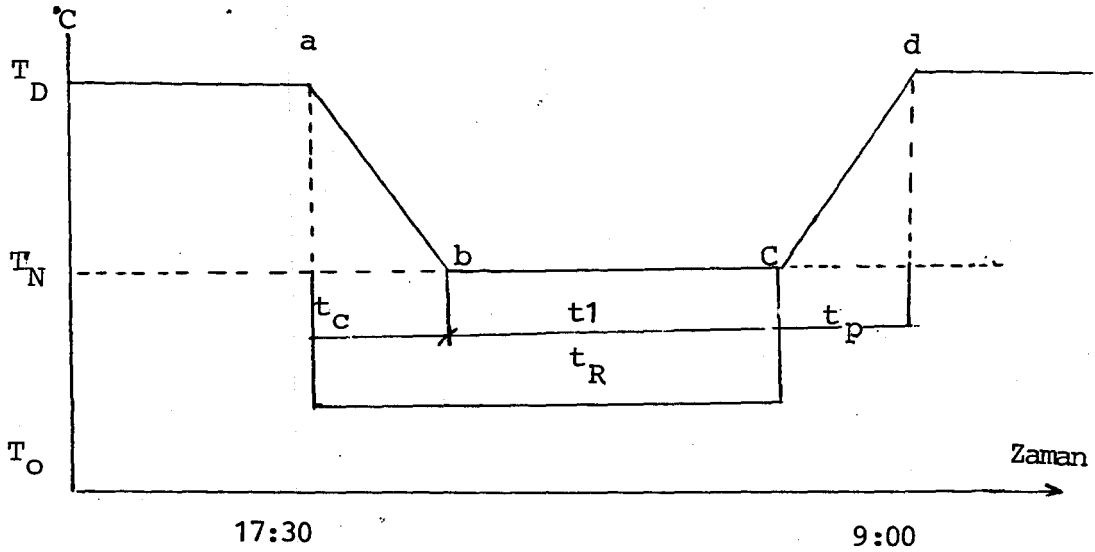
$$(T - T_o) = C * \exp \left( - \frac{t * BLC}{\rho_a * C_{pa} * V} \right) + (Q_H + Q_G) / BLC$$

şeklindedir.

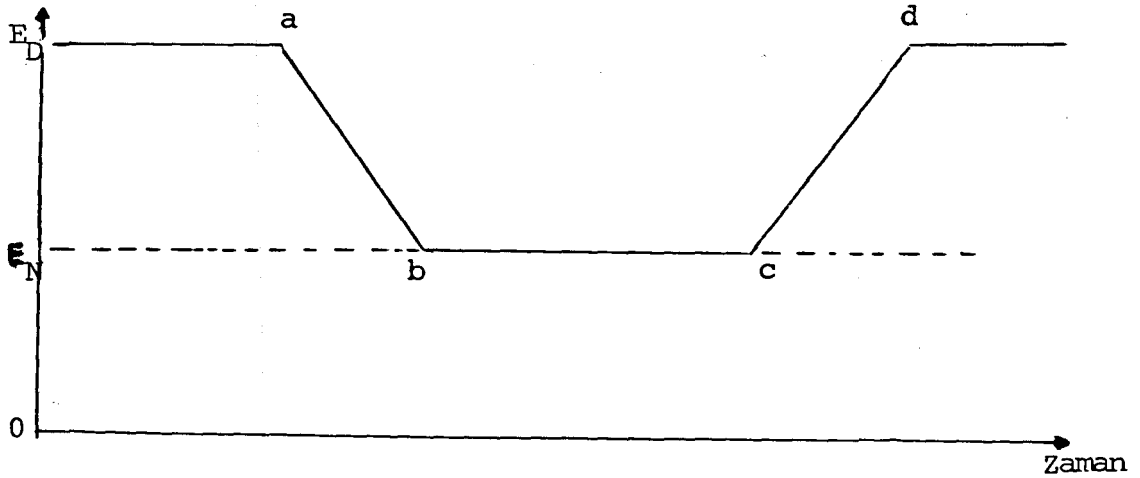
$t = 0$  için  $T = T_D$  başlangıç şartı uygulanırsa

$$\frac{T - T_o - (Q_H + Q_G) / BLC}{T_D - T_o - (Q_H + Q_G) / BLC} = \exp \left( - \frac{t * BLC}{\rho_a * C_{pa} * V} \right) \quad (2,70)$$

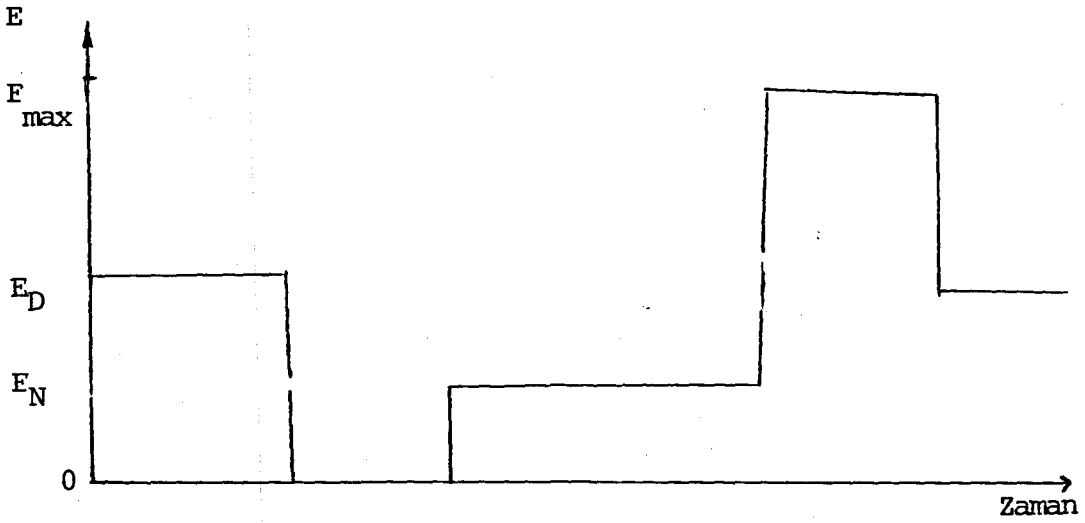
Burada  $\frac{1}{\tau} = \frac{\rho_a * C_{pa} * V}{BLC} =$  Isıl Zaman Sabiti'dir.



Şekil 2.5 İç Sıcaklık  $T_o$ 'dan  $T_N$ 'e Düştüğü Zaman Geri-kaydırma Süresince Binanın İç Sıcaklığı[2].



Şekil 2.6. Geri-kaydırma Süresince Binanın Isıl Enerji Kaybı[2].



Şekil 2.7. Geri-kayıma Süresince Bina Isıtma Sisteminde Sağlanan Enerji[2].

$t = t_c$  için  $T = T_N$  son koşulu uygulanınca

$$t_c = \frac{1}{\tau} * \ln \frac{T_D - T_o - (Q_H + Q_G) / BLC}{T_N - T_o - (Q_H + Q_G) / BLC} \quad (2.71)$$

Sabah yüklenme zamanında  $Q_H = Q_{max}$  olduğundan

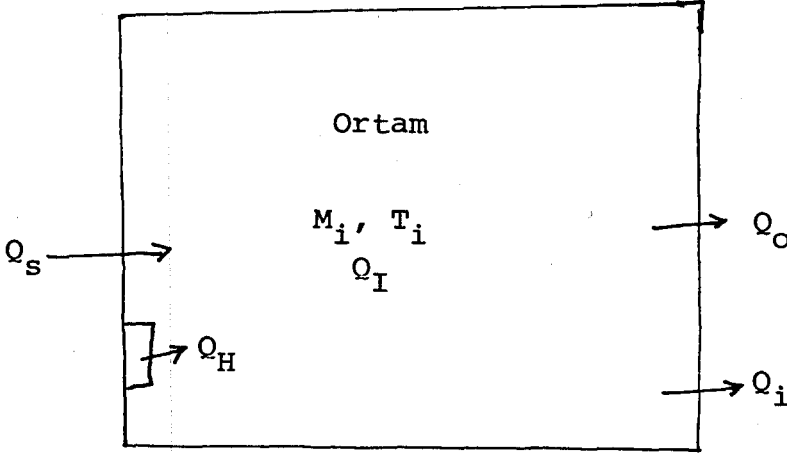
$$t_p = \frac{1}{\tau} * \ln \left| \frac{T_N - T_o - (Q_H + Q_G) / BLC}{T_D - T_o - (Q_H + Q_G) / BLC} \right| \quad (2.72).$$

Bu denklemler kullanılarak sıcaklık geri-kaydirması ile binalarda enerji tasarrufu belirlenebilir.

### 2.3.5. Borularda Besleme Sıcaklığının Tayini

Yatay ve düşey sıcaklık gradyentinin olmadığı düzgün bir mahal hava sıcaklığı kabul edilerek ısı denklemi yazılırsa (Şekil 2.8).

$$Q_H + Q_S + Q_I - Q_O - Q_i = 0 \quad (2.73)$$



Şekil 2.8. Ortam İçin Isı Dengesi.

Dış yüzeylerin ısı kapasiteleri ihmal edilirse

$$Q_H = \dot{m}_w * C_{pw} * (T_S - T_i) * [1 - \exp(-\frac{A * U}{r} * \frac{\dot{m}_w}{C_{pw}})] \quad (2.74)$$

$$Q_O = \sum_i (U * A)_i * (T_i - T_o) \quad (2.75)$$

$$Q_i = V * \rho_a * C_{Pa} * N * (T_i - T_o) \quad (2.76)$$

$$Q_S = \frac{\text{Dış yüzey} \sum_{n=1}^N (MSHG_i * A_{Gi} * SC_i * CLF_i * PPS)}{A_f} \quad (2.77)$$

$$Q_I = Q_i + Q_o \quad (\text{Işıklar, insanlar v.b.}) \quad (2.78)$$



Süreklilik durumunda denge denklemi

$$\dot{m}_w * C_{pw} * (T_s - T_i) * [1 - \exp(-A_r * U_r / \dot{m}_w * C_{pw})] + Q_s + Q_l - \left( \sum (U * A)_i + N * \rho_a * C_{pa} * V \right) * (T_i - T_o) = 0$$

Buradan:

$$T_s = \frac{BLC * (T_i - T_o) + \dot{m}_w * C_{pw} * T_i \left[ 1 - \exp(-A_r * U_r / \dot{m}_w * C_{pw}) \right] - (Q_s + Q_l)}{\dot{m}_w * C_{pw} * \left[ 1 - \exp(-A_r * U_r / \dot{m}_w * C_{pw}) \right]} \quad (2.79)$$

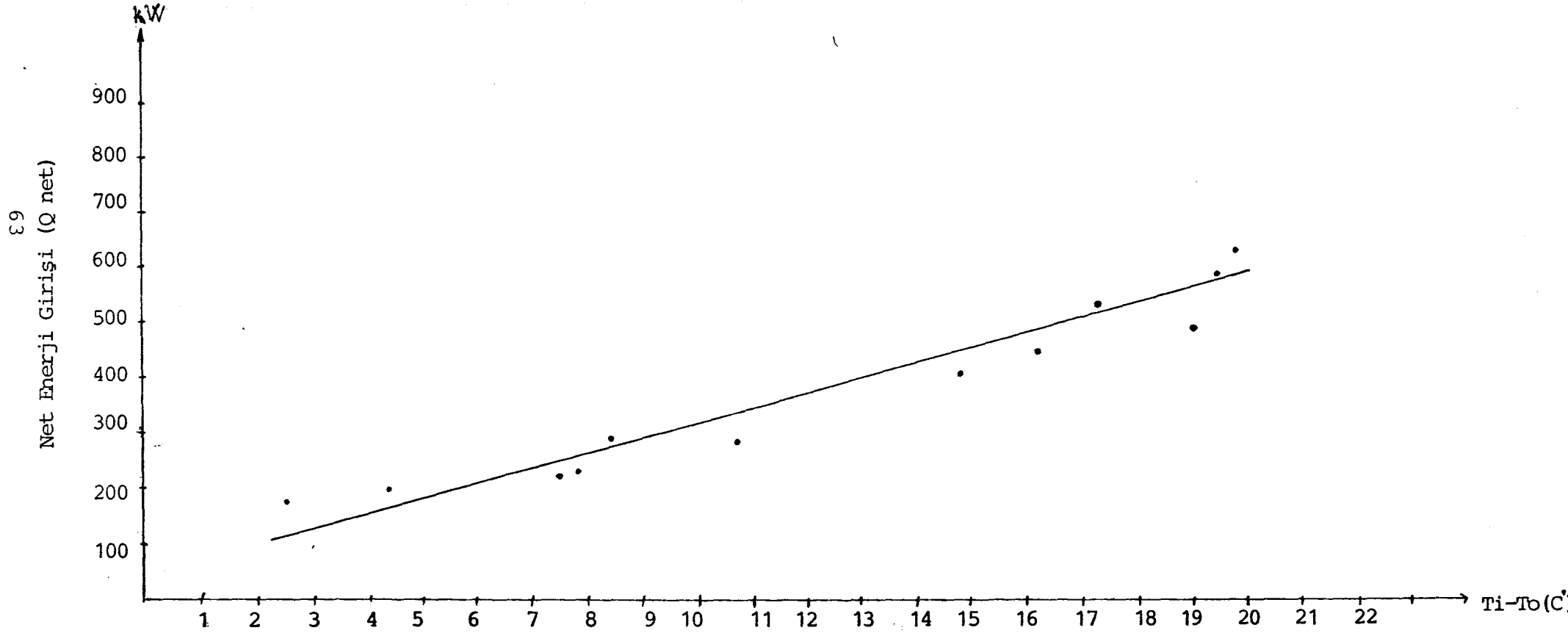
Bu denklem kullanılarak farklı dış sıcaklıklarda boru hattı sisteminin besleme sıcaklıkları bulunur.

### 3. DENEY YAPILAN BİNANIN ETÜDÜ

Bu bölümde, bölüm 2'de bahsedilen teknikler ve işlemler kullanılarak USAF Ankara Hava Üssünde bulunan Base Civil Engineering binasında ölçümler yapılmıştır. Yapılan işlemler ve tekniklerin sunuş sırası bina enerji bileşenleri yaklaşımı esasına göredir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar bileşenlerin tasarım ve hedeflenen değerleriyle karşılaştırılmaktadır.

#### 3.1. Etüd İşlemlerinin Uygulanması

Binanın toplam ısı kayıp katsayısını hesaplamak için 12 gün boyunca ısıtma sisteminin yoğunlaşma borusuna bağlanan bir türbin metre (debi ölçer) kullanılarak binanın günlük ısıtma enerji tüketimi ölçüldü. Binanın dahili kazancı ve güneş kazancı ASHRAE standart işlemleri ve Ankara için meteorolojik veriler kullanılarak hesaplandı. Dış hava sıcaklık değerleri gerçek saatlik sıcaklık verilerinden elde edilirken, ortalama iç sıcaklık ölçüm sırasında 20°C olarak varsayılmıştır. Binaya net enerji giriş hızı iç-dış sıcaklık farkına karşılık şekil 3.1.'deki şekilde çizilmiştir. Eğrinin eğimi binanın toplam ısı kayıp katsayısıdır.



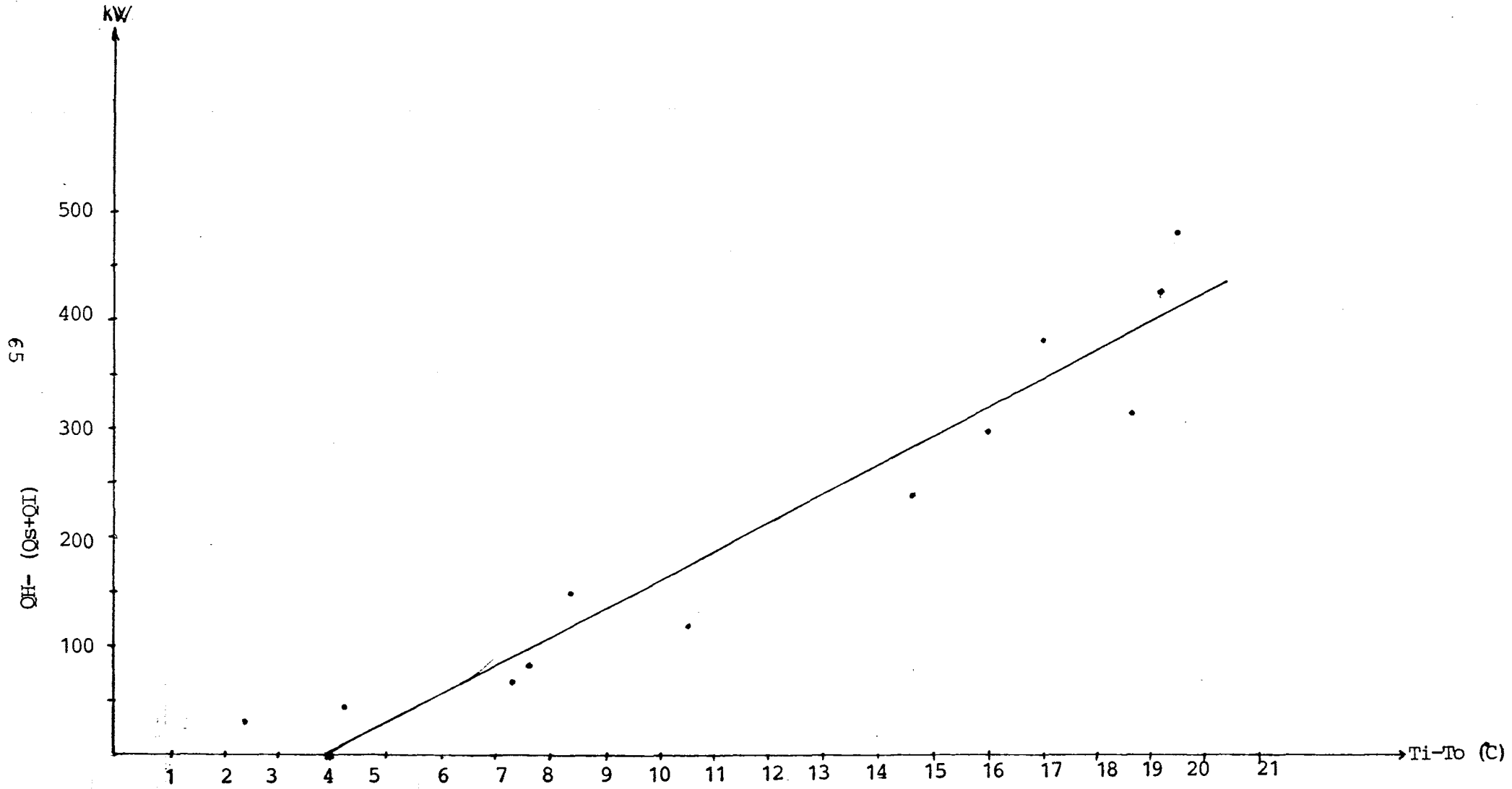
Şekil 3.1. Bina Isı Kayıp Katsayısı.

Bulunan değer yaklaşık olarak 27.50 kW/K. Bu değer Müşavir Firma VBR tasarımcıları tarafından verilen 32.20 kW/K değerinin altındadır.

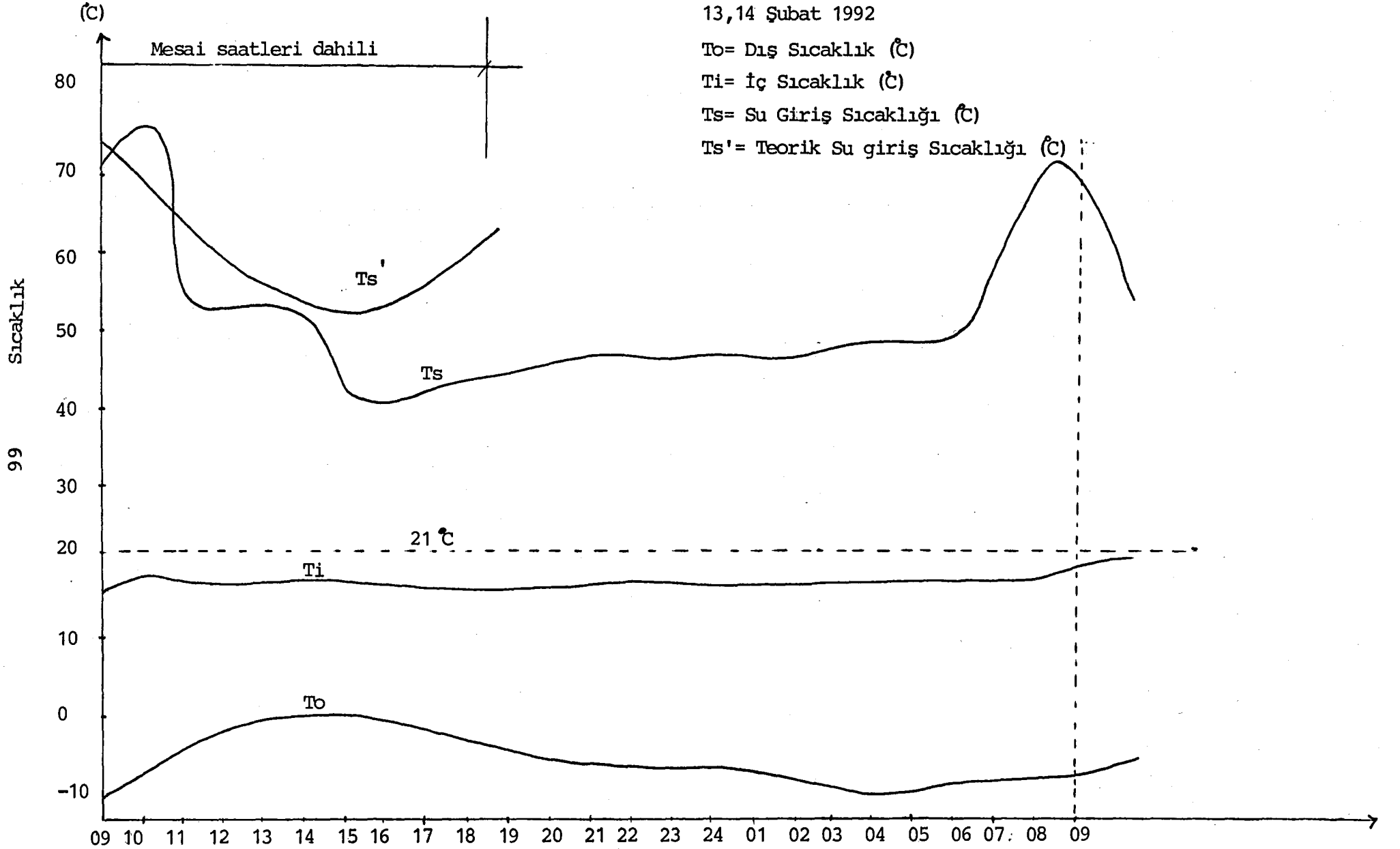
Aynı şekilde aynı yöntem kullanılarak binanın gerçek denge noktası sıcaklığı hesaplanmıştır. şekil 3.2. binanın denge noktası sıcaklığını yaklaşık 16°C olarak göstermektedir.

Binanın iç sıcaklığını irdelemek için 701 nolu Ofis ve 801 no'lu Laboratuvar seçilmiştir. Ofisin iç sıcaklığı 2.bölümde belirtildiği üzere mesai saatinde ve mesai saati haricinde üç gün boyunca ölçülmüştür. Sonuçlar şekil 3.6. da gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları, dahili sıcaklıkların ofisler için 21°C Laboratuvarlar için 18°C olarak verilen tasarım değerlerinin altında olduğunu göstermiştir.

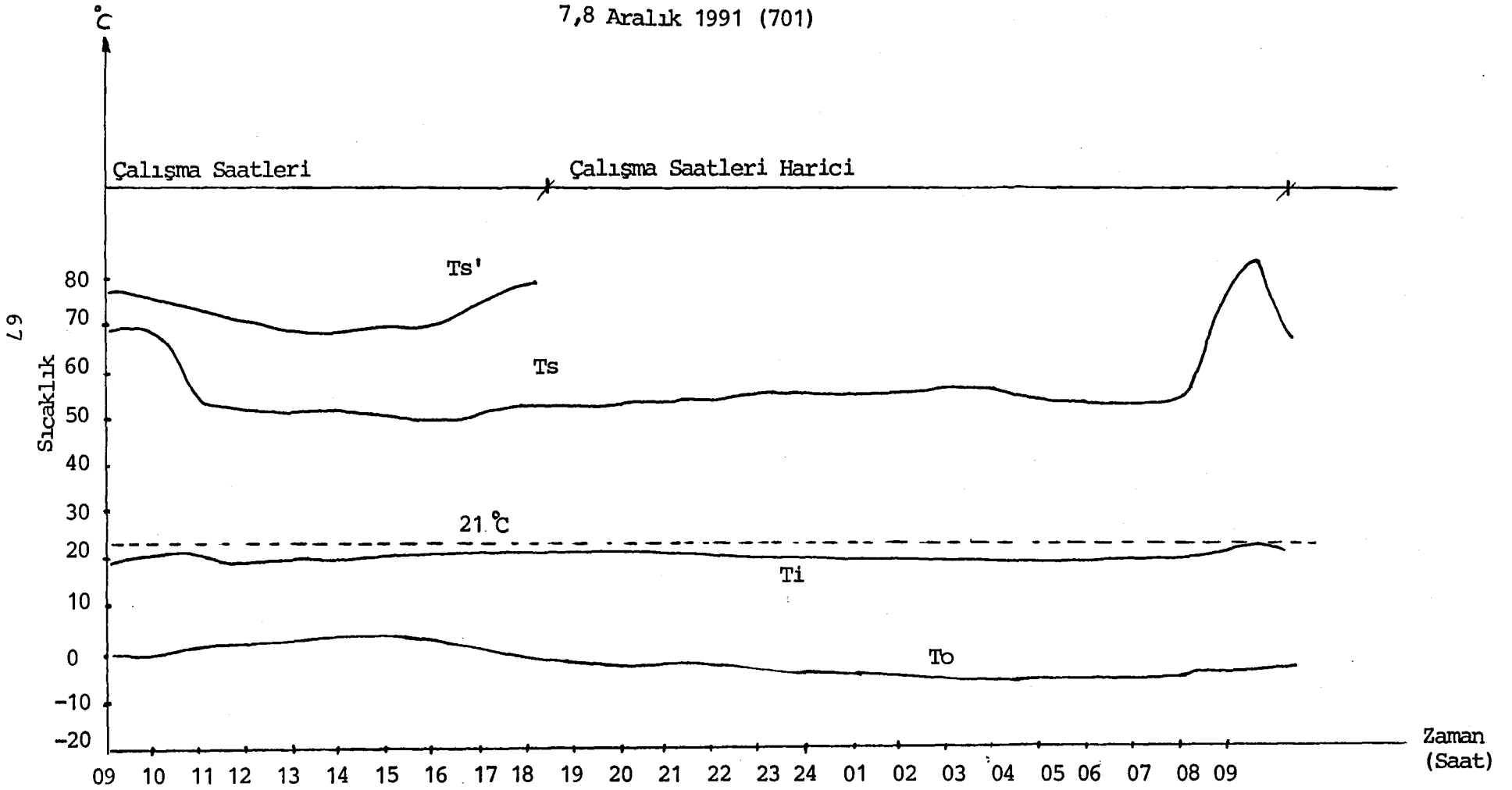
Sıcaklık geri-kaydırmasıyla ısıtma enerjisi tasarrufunu belirlemek için iki farklı durum ele alınmıştır. Birisi optimum başlangıç kontrolü diğeri gece geri-kaydırma kontrolüdür. Bu haller için iki farklı günde binanın günlük ısıtma enerjisi tüketimi ölçülmüştür. Ölçüm sırasında binanın saatlik iç ve dış sıcaklığı kaydedilmiştir. Bu iki hal için ısıtma enerjisi tüketimi aynı iç-dış sıcaklık farkına göre ayarlanmıştır.



Şekil 3.2. Bina Denge Noktası Sıcaklığı

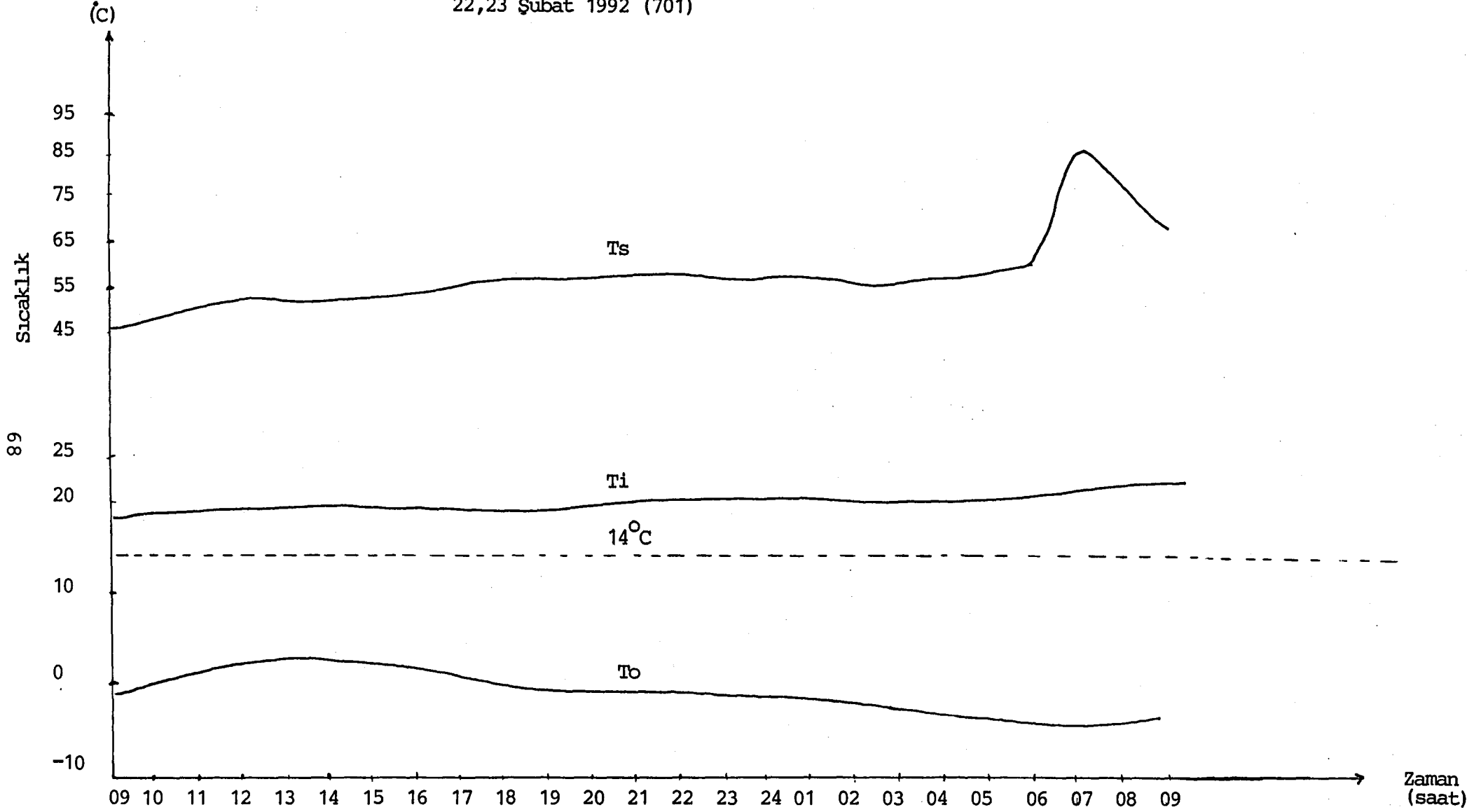


Şekil 3.3 Gün Boyunca Binada ve Mahalde Kaydedilen Sıcaklıklar.



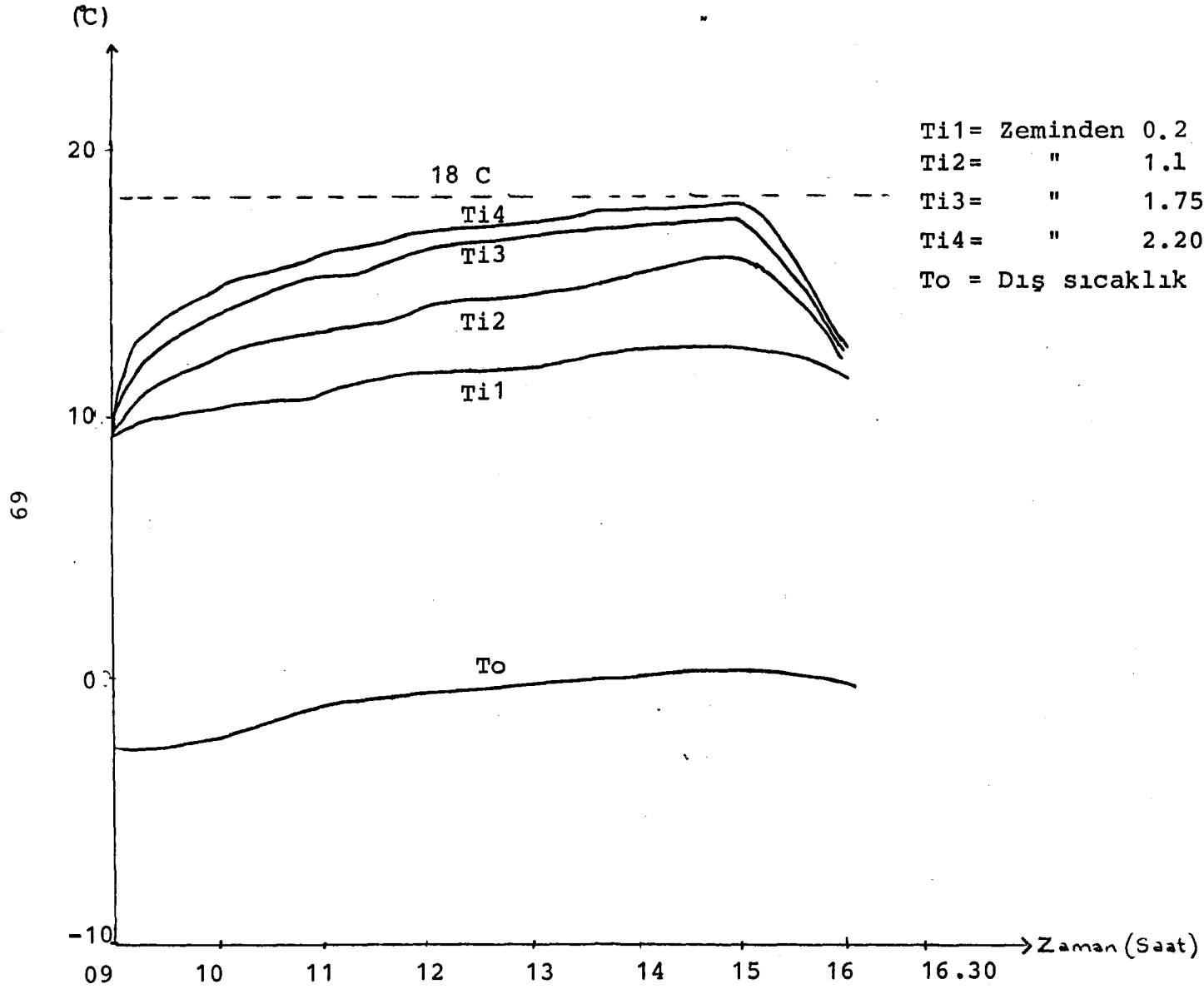
Şekil 3.4 Gün Boyunca Binada ve Mahalde Kaydedilen Sıcaklıklar

22,23 Şubat 1992 (701)



Şekil 3.5 Binanın Kullanılmadığı Zamanlarda Ölçülen Sıcaklıklar





Sekil 3 6 801 no'lu Laboratuvarda İç Sıcaklık Değişimi.

Gece geri-kaydırma kontrolü ile buhar tüketimi 29737.69 kg/gün olarak, optimum başlangıç kontrolü ile 29251.76 kg/gün olarak bulunmuştur. Binanın enerji tüketimini hesaplamak için Isı Üretim Merkezinde aşağıdaki parametreler ölçülmüş ve hesap edilmiştir.

Isı Üretim Merkezinde bir litre yakıt başına buhar üretimi 13.56 kg'dır (Kazan ısı verimi dahil edilmiştir).

Buhar entalpisi 2982.2 kJ/kg'dır. (11.42 bar, 270°C)  
Yakıtın üst ısı değeri 43700 kJ/kg'dır.

Binada bir litre yakıt başına elde edilen enerji 38416.70 kJ/lt'dir. (dağıtım verimi %95 olarak dahil edilmiştir).

Sonuçlardan, optimum başlangıç kontrolünün gece geri-kaydırma kontrolüne göre biraz daha ekonomik olduğu görülmektedir.

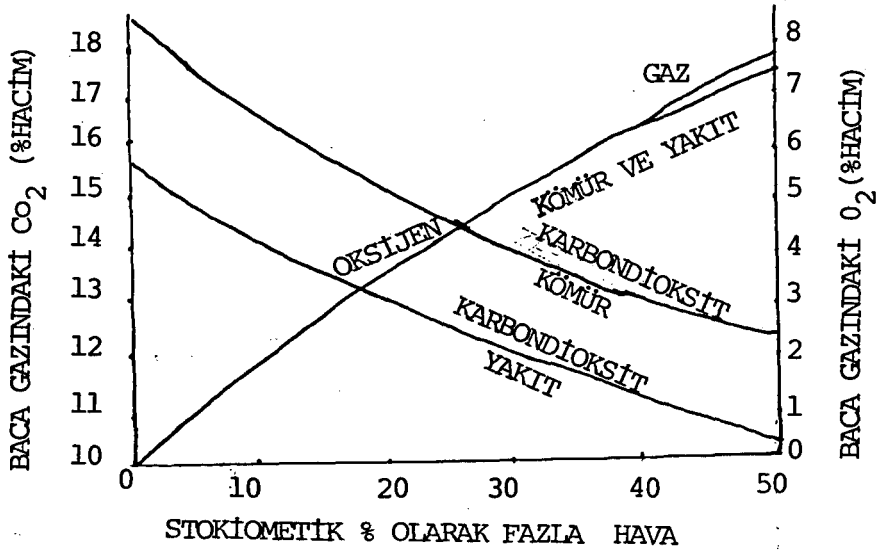
Yanma verimini hesaplamak için, çoğu zaman buhar üreten 4 no'lu kazan seçilmiştir.

Kazan yanma verimi denklem 2.5 den hesaplanmıştır. Tablo 3.1. ölçümleri ve hesap sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 3.1. Dört no'lu Kazan Yanma Verimi Ölçümleri ve Hesap Sonuçları.

GÜN	$T_f$ °C	$T_a$ °C	$CO_2$ %	$O_2$ %	Fazla Hava %	$n_c$ %
Aralık						
16,1991	212	16.8	11.2	6.5	37.2	89.90
Ocak						
31.1992	208	16.12	12.1	5.5	27.4	90.80

Baca gazındaki  $O_2$  ve fazla hava miktarı,  $CO_2$ ,  $O_2$  ve fazla hava arasındaki bağıntıyı gösteren grafikten alınmıştır(şekil 3.7).



Şekil 3.7.  $CO_2$ ,  $O_2$  ve Fazla Hava Arasındaki Bağıntı.

Modern kazanlar için yanma verimi yaklaşık 0.92-0.93 civarındadır. Böylece 4 no'lu kazanın yanma verimi yaklaşık olarak beklenen en iyi değerden %3 daha azdır.

Aynı kazanın ısı verimi denklem 1-2 kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar:

$$T_s = 270^{\circ}\text{C}$$

$$P_s = 11.42 \text{ bar}$$

$$T_w = 100^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_f} = 13.56$$

$$\text{HHV} = 43700 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_b = \frac{13.56 * (2982.20 - 419.04)}{43700} * 100 = \%79.53$$

Yukarıdaki hesaplama için besleme suyu sıcaklığı doymuş suyun sıcaklığı olarak alınmıştır. Bu verim değeri enerji tasarrufu veya yakıt ihtiyacı ile ilgili daha sonraki hesaplarda kullanılmaktadır (dağıtım şebekesindeki kayıplar dahil edilmemiştir).

Kanal ısı kaybını irdelemek için 801 no'lu Laboratuvar iklimlendirme sistemi seçildi. Döşeme altından giden kanalın her iki ucundaki sıcaklıklar ölçüldü. Aynı

zamanda her iki kesitteki hava debileri de ölçüldü. Daha sonra kanaldan yaklaşık ısı kaybı denklem 2.10'a göre hesaplandı.

$$Q_L = 22824 * 1.007 * (31.40 - 30.80) / 3600 = 3.83 \text{ kW}$$

Denklem 2.12'den gerçek ısı transfer katsayısı:

$$U = \frac{22824 * 1.007 * (31.40 - 30.80)}{3.80 * 13.70 * (31.25 - 6) * 3600} = 0.0029 \text{ kW/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Denklem 2.11'den kanal ısı aktarım katsayısının hedeflenen değeri

$$U = 170.28 / (31.25 - 6) = 6.74 / 3600 = 0.0019 \text{ kW(m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

Kanal gerçek ısı aktarım katsayısı hedef değerden büyük ve yaklaşık 1.5 katıdır.

801 no'lu Laboratuvar iklimlendirme sisteminde serpantin hava karışım özellikleri irdelendi. Bu amaç için iki farklı günde iki ölçüm yapıldı. Denklem 2.15'e göre dış havanın toplam havaya oranı elde edildi. Tablo 3.2'de ölçümler ve sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3.2. Besleme Havaındaki Taze Hava Oranı.

Gün	Ölçüm sonuçları			Taze hava
	To	Ti	Tmix	yüzdesi
	°C	°C	°C	%
Mart 8, 1992	8.1	16.8	13.9	33.3
Mart 9, 1992	4.5	26.5	12.4	34.17

İklimlendirme sistemi fanlarının performansını irdelemek için fanların giriş ve çıkışlarında statik ve dinamik basınçlar ölçüldü. Aynı zamanda fanların elektrik motor güçleri ve devirleri de ölçüldü. Tablo 3.3'de ölçüm sonuçları verilmiştir. Denklem 2.16 ve 2.17 ye göre hesaplar yapılmış ve sonuçlar Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Kanal Ölçümleri

Özellik	801 no'lu Laboratuvar	802 no'lu Laboratuvar
$\dot{V}_a$ (m <sup>3</sup> /s)	5.51	4.52
VP (Pa)	15.94	13.23
SP <sub>1</sub> (Pa)	-209	395.94
SP <sub>2</sub> (Pa)	39.44	21.70
RPM <sub>m</sub> (Dev/dak)	1100	1610
RPM <sub>C</sub> (Dev/dak)	1120	1620
Akım(A)	8.70	12.90
Gerilim(V)	383	384
NPP (kW)	11	15.20
FLA (A)	19.70	26.90
NPV (V)	380	380
BDL	0.07	0.07
Cos $\psi$	0.95	0.95
$\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	1.12	1.12
$\rho_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	1.20	1.20

- Mahal barometrik basıncı 644 mm.Hg'dir.

SP<sub>1</sub>- Fan girişi statik basınç

SP<sub>2</sub>- Fan çıkışı statik basınç

VP - hız basıncı

RPM<sub>m</sub> - Ölçülen devir

RPM<sub>C</sub>- fan eğrisinden bulunan devir

NPP- Etiket gücü

FLA- Tam yük akımı  
 NPV- Etiket gerilimi  
 BDL- Kayış kasnak kaybı

Tablo 3.4. Fan Performans Hesapları

Değerler	801 no'lu Laboratuvar	802 no'lu laboratuvar
FSP (Pa)	232.51	404.41
FTP (Pa)	248.45	417.64
EMPI (KW)	5.48	8.15
EMPO (kW)	4.89	7.36
FPI (kW)	4.55	6.85
$\eta_m$ (%)	0.89	0.90
$(\dot{V}a)_c$ (m <sup>3</sup> /s)	5.61	4.55
$(FSP)_c$ (Pa)	258.26	455.86
$(FPI)_c$ (kW)	5.14	7.47
$\eta_F$ (%)	29	30

FSP- Fan statik basıncı  
 FTP- Fan toplam basıncı  
 EMPI- Elektrik motoru çekilen güç.  
 EMPO- Elektrik motoru kullanılan güç  
 FPI- Fan güç girişi  
 $(FSP)_c$  - Fan statik basıncı (eğriden)  
 $(FPI)_c$  - Fan giriş gücü (eğriden)



Binanın boru hattı sisteminin dengelenmesini kontrol için binanın üç farklı bölümünde iç hava ölçümleri yapıldı ve sonuçlar Tablo 3.5'de gösterildi. Deney bölgeleri aynı tasarım ve çalışma şartlarına göre seçildi. Boru hattı sisteminin dağıtım verimini ölçmek için 701 no'lu ofisteki ısıtma serpantini seçildi. Esanjör ile ısıtma serpantinindeki besleme ve dönüş sıcaklıkları ölçüldü. Dağıtım verimi denklem 2.20 den bulunur.

$$\eta_d = 1 - \frac{(64.40 - 63.06) + (57.86 - 57.10)}{64.40 - 57.10} = 0.72$$

Binadaki ısı dağılımını belirlemek için 701 nolu ofisteki ısıtma serpantini seçildi. Birkaç gün için farklı dış hava sıcaklıklarında serpantin giriş çıkış sıcaklıkları ile iç hava sıcaklığı ölçüldü. Serpantinden ısı yayılımı denklem 2.21'den hesaplandı. Tablo 3.6.'da bu işlemlerin ölçüm ve hesaplama sonuçları verilmiştir. Tasarım değerleri ve ASHRAE yöntemleriyle farklı dış sıcaklıklarda ortamın teorik ısıtma gereksinimleri de hesaplandı.

Tablo 3.5- Binanın Üç Ayı İklîmlendirilmiş Bölümünde Sıcaklık Dağılımı.

Gün	Ölçüm Saat	701 no'lu ofis * Ti(°C)	702 no'lu Laboratuvar * Ti(°C)	703 no'lu kütüphane * Ti(°C)	To (°C)	Maksimum Sıcaklık Değişimi C°
Şubat 17,1992	9.00	17.7	18.6	20.4	1.8	2.7
	10.00	18.2	19.2	20.9	2.1	2.7
	11.00	18.3	19.3	21.0	2.2	2.7
	13.00	18.3	19.4	20.9	2.8	2.6
	14.00	18.4	19.4	21.0	3.2	2.6
	15.00	18.6	19.7	21.1	3.3	2.5

\* Deney odaları benzer çalışma koşullarına göre seçilmiştir.

Tablo 3.6. Farklı Dış Sıcaklıklarda 701 no'lu Ofiste Serpantinden Isı Yayılımı.

Gün	Ölçümler (Saat)	$T_o$ °C	$T_i$ °C	$T_s$ (°C)	$T_r$ (°C)	$Q_H$ (kW)	$\dot{m}_w$ (kg/s)	$Q_H'$ İstenen* kW	$T_s'$ İstenen* °C
Şubat 10 1992	12.00	-2.4	18.2	53.73	59.44	1.49	0.10	1.94	70.00
Şubat 13 1992	10.00	-5.2	17.1	63.93	59.24	2.10	0.10	2.26	77.10
Şubat 16 1992	13.30	2.6	17.5	46.2	43.64	1.12	0.10	1.53	57.60
Şubat 17 1992	09.30	2.0	17.8	51.85	48.10	1.38	0.09	1.58	58.97
Şubat 23 1992	14.00	6.5	22.8	55.14	52.08	1.30	0.10	1.21	47.51
Şubat 28 1992	11.00	14.0	21.2	50.68	47.86	1.16	0.10	0.60	28.90
Mart 7	09.00	3.1	22.0	56.78	53.03	1.42	0.09	1.48	56.20

\* —  $Q_H'$  ve  $T_s'$  değerleri 701 no'lu ofisin teorik ısı gereksinimi ve besleme sıcaklığıdır.

Hesaplamalarda aşağıdaki değerler esas alınmıştır.

İç hava sıcaklığı ( $T_i$ )- 21°C,

Güneş, aydınlatma ve kişilerden ısı kazancı- 0.620 kW,

Ortam ısı kayıp katsayısı 0.083 kW/K .

Denklem 2.21 kullanılarak dağıtım sisteminin gerçek kütlesel debisi, denklem 2.29 kullanılarak da teorik besleme sıcaklıkları hesaplandı. Elde edilen sonuçlar aynı tabloda verilmiştir.

Binanın aydınlatma sistemi enerji verimini tanımlamak ve her bir faktörün (armatür verimi, oda şekli ve hacmi, duvar yansıtması vb.) çalışma düzlemlerindeki ışık yayılımı ve dağılımının verimliliği üzerine etkisini değerlendirmek için aşağıdaki ölçümler ve hesaplar yapılmıştır. Ofis 701'de çalışma düzleminde seçilen noktalarda aydınlanmalar ölçüldü ve bu noktaların ağırlıklı ortalama aydınlanmaları hesaplandı. Tasarım verilerinden aydınlatma sistemine ayrılan elektrik güç girişi seçimi yapıldı. Aşağıdaki değerler seçilen, ölçülen ve hesaplanan değerlerdir.

Çalışma düzlemi alanı ( $A_w$ )- 19.68 m<sup>2</sup>

Ortalama çalışma düzlemi aydınlanması ( $I_w$ )- 437.12 lux

ışık Kayıp Faktörü (LLF)-0.95 (kabul edildi)

Elektrik şebekesi güç girişi (P)-320 W.

Lamba etkisi ( $\eta_{IL}$ )-51.25 lümen/W (imalatçı katalogundan)

Denklem 2.25'ten faydalı ışık akısı;

$$\Phi_u = 19.68 * 437.12 = 8602.5 \text{ lümen}$$

olarak bulunmaktadır.

Denklem 2.24'ten tesis verimi şöyle hesaplanır:

$$\eta_{IE} = \frac{8602.5}{320} = 26.88 \text{ Lümen/W}$$

Denklem 2.27'den Oda kullanım katsayısı;

$$RCU = \frac{26.88}{0.95 * 51.25} = 0.55 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Buna göre kullanım katsayısı:

CU= RCU= 0.55 (doğrudan aydınlatmadan ötürü)  
olarak elde edilir.

Odanın tesis verimi tasarım değerinin yaklaşık 1.5 katıdır. Aynı zamanda kullanım faktörü de tasarım değeri olan 0.62'den küçüktür.

Binanın günışığı potansiyelini değerlendirmek için, farklı etkinlikler gösteren üç farklı ortamda ölçümler yapılmıştır. Ölçümler mesai saatleri dahilinde gökyüzünün iki farklı durumunda, birisi açık havada diğeri bulutlu havada olmak üzere yapılmıştır.

Bu ölçümlerin saatlik ortalamaları alındı. Ölçümler aynı zamanda en az günışığı potansiyeline sahip çalışma düzlemlerinde de yapılmıştır. Şekil 3.8.a ve 3.8.b. binanın üç farklı bölümündeki günışığı potansiyeli sonuçlarını göstermektedir. Adı geçen şekillerden görüleceği

üzere doğal aydınlatma için sadece 701 no'lu ofisin genişliği potansiyeli yeterlidir.

### 3.2. Ölçümlerin ve Analiz Tekniklerin Uygulanması

Bu bölümde, etüd işlemlerinde bulunmayan olası ölçüm teknikleri ve binaya uygulanabilecek analiz teknikleri sunulmaktadır.

Sıcaklık geri-kaydırılması ile binanın ısı enerjisini nasıl kullandığını saptamak için binanın ısı zaman sabiti hesaplanmıştır. Güneşten olan kazancın ve dahili kazançlarını etkisinden kurtulmak için ölçümler mesai saatleri dışında yapılmıştır. İç sıcaklığın düşüşünü hızlandırmak için mesai saati bitiminde gece sıcaklık geri-kaydırma yöntemi soğuk gecelerde uygulanmıştır. Bu gecelerde 701 no'lu ofis ve 712 no'lu toplantı odasında dış ve iç sıcaklıklardaki değişim ölçülmüştür. Denklem 2.30 kullanılarak Tablo 3.7'de özetlendiği şekilde 7 gün için ısı zaman sabiti ortalaması 0.011 saat standart sapma ile 28.73 saat olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.7. Binanın Isıl Zaman Sabitinin Tesbiti.

GÜN	701 no'lu Ofis						712 no'lu toplantı salonu						Ortalama Dış Sıcaklık T °C
	Zaman t		$\Delta T_i$ h	$\Delta T_i$ °C	$\tau$ °C	1/h	Zaman t			$\Delta T_i$ °C	$\Delta T_i$ °C	$\tau$ 1/h	
	Başlama	Bitiş					Başlama	Bitiş	h				
20.11.1991	17.30	22.45	5.15	17.1	15.1	0.0241	17.30	22.45	5.15	16.8	13.2	0.0468	-3.0
21.11.1991	16.55	22.50	5.55	14.6	12.4	0.0294	16.55	22.50	5.55	13.4	9.8	0.0563	1.55
27.11.1991	17.45	23.50	6.05	17.0	14.9	0.0218	17.45	23.50	6.05	18.7	13.9	0.0490	1.75
29.11.1991	17.50	23.45	5.50	18.9	16.9	0.0203	17.50	23.45	5.50	17.0	13.6	0.0405	0.75
30.11.1991	17.30	22.45	5.15	23.5	21.2	0.0200	17.30	22.45	5.00	23.6	19.6	0.0434	-4.45
01.12.1991	17.00	22.40	5.40	20.8	18.7	0.0197	17.00	22.40	5.40	23.2	18.6	0.0409	-4.80
04.12.1991	18.00	23.50	5.50	18.3	16.2	0.0221	18.00	23.50	5.50	19.1	14.3	0.0526	-2.75

Ortalama 0.0225

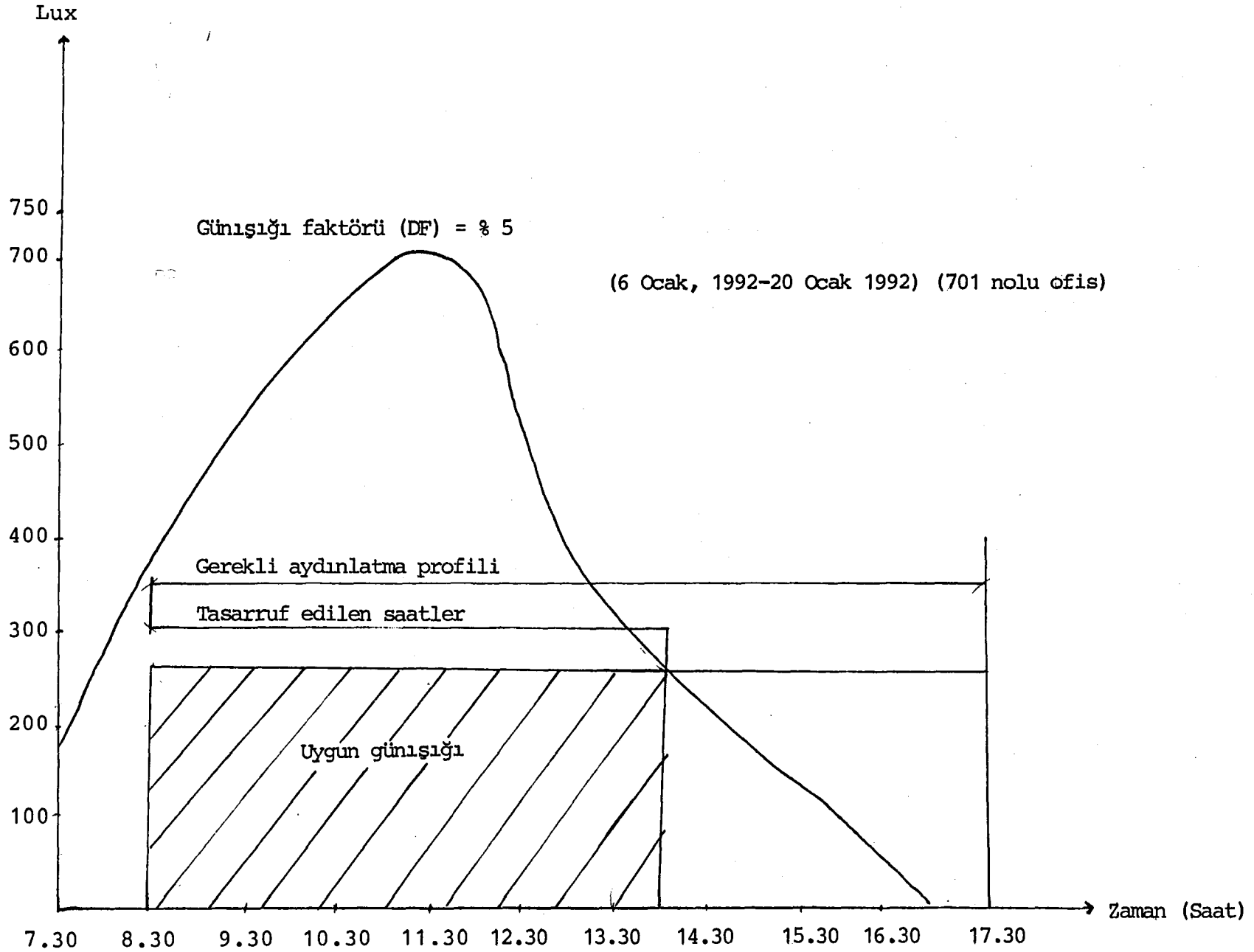
ortalama 0.471

Standart Sapma 0.008

Standart Sapma 0.014

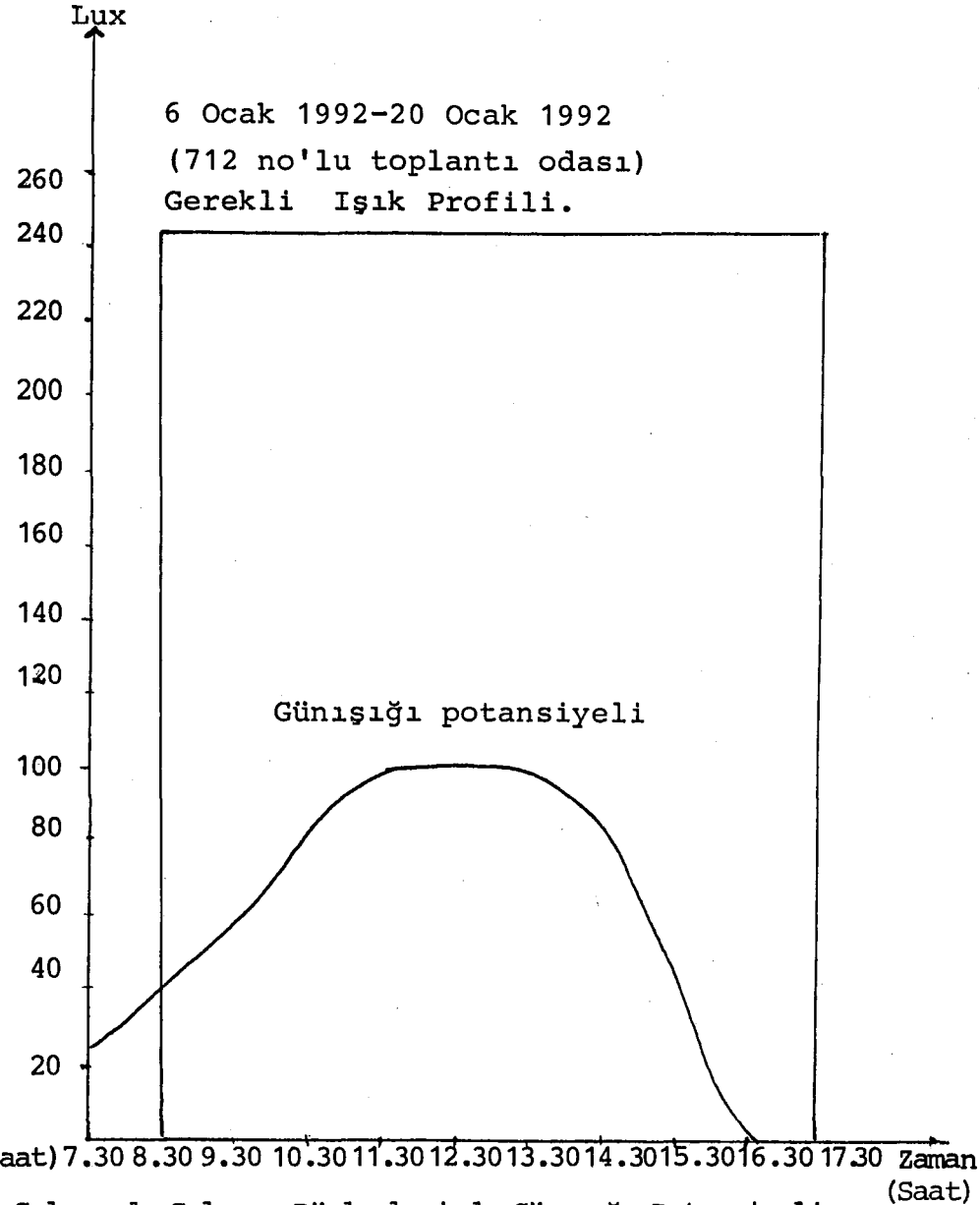
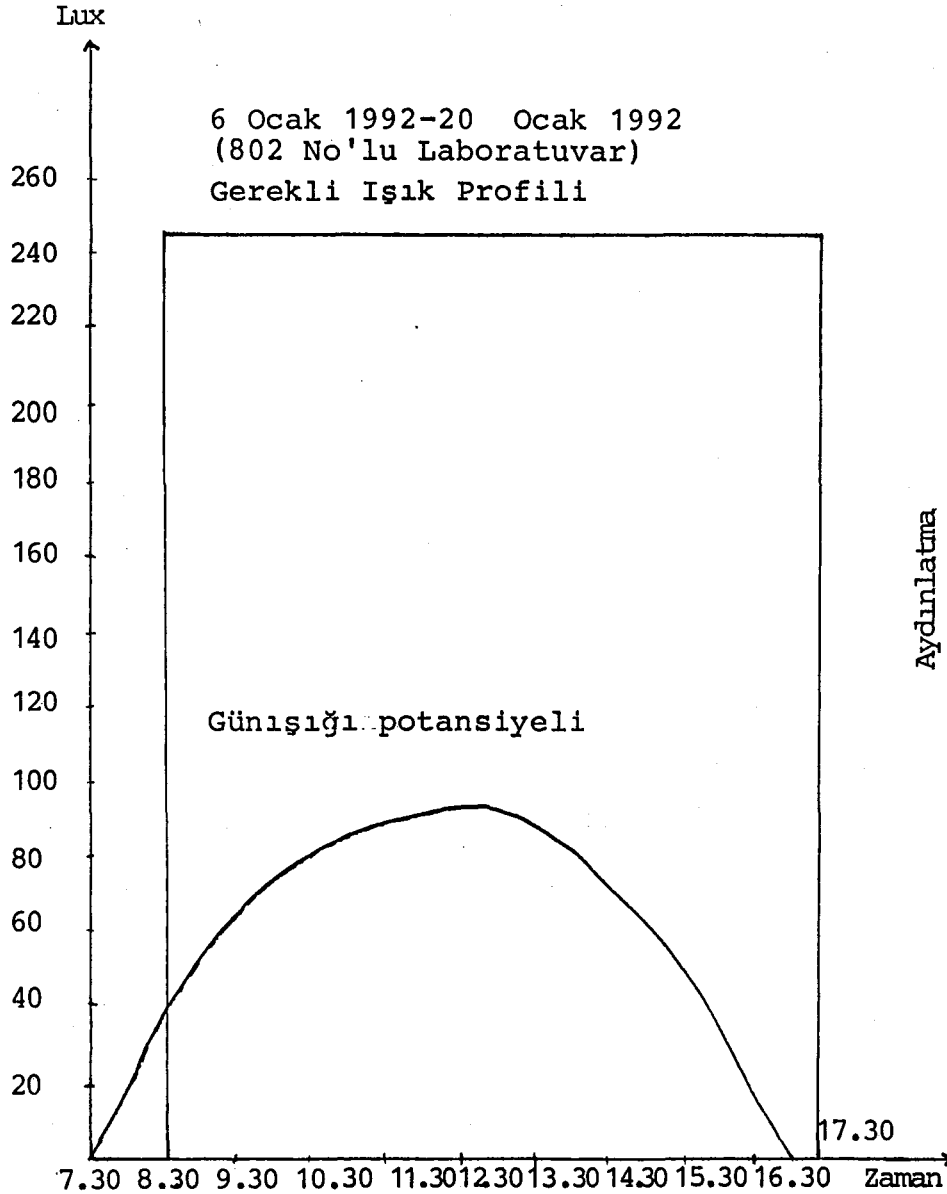
$$\tau = \frac{0.0225 + 0.0471}{2} = 0.0348 \text{ 1/h}$$

1/ $\tau$  = 28.73 saat (Binanın Isıl Zaman Sabiti)



Şekil 3.8.a Ofis 701 de Çalışma Düzleminde Günışığı Potansiyeli.



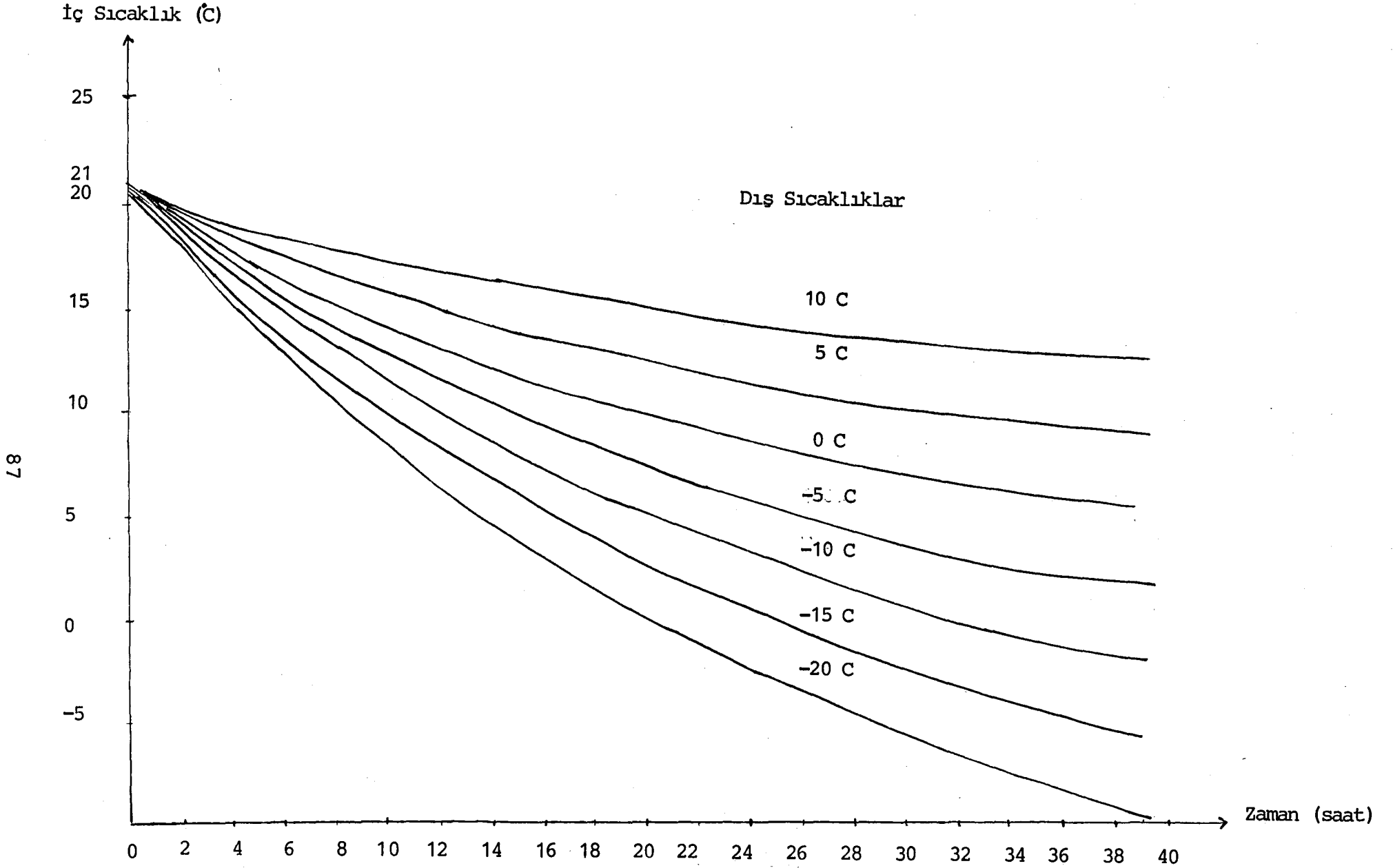


Şekil 3.8.b 802 no'lu Laboratuvar ve 712 no'lu Toplantı Salonunda Çalışma Düzlemlerinde Güneş ışığı Potansiyeli.

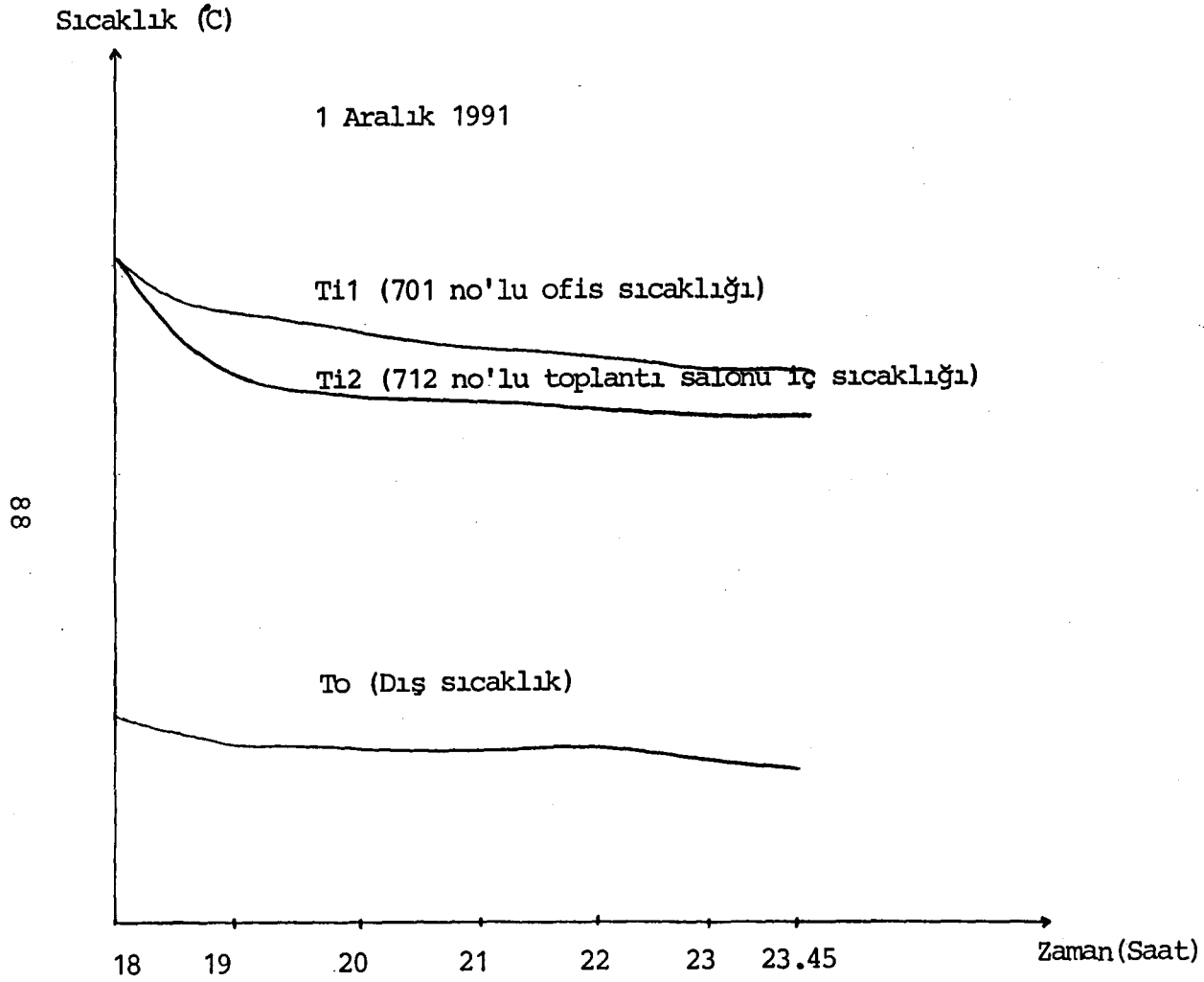
Aynı zamanda bu ısı zaman sabiti kullanılarak farklı dış sıcaklıklarda 21°C deki bina dahili sıcaklığındaki değişim hesaplanmış ve şekil 3.9'daki gibi çizilmiştir.

Diğer taraftan binanın farklı iklimlendirilmiş bölgelerinin gerçek soğutma ve ısıtma zamanını tayin etmek için şekil 3.10 ve 3.11'de görüldüğü üzere iç sıcaklıkların değişimi zamana karşı çizilmiştir. Ortamın ısı ataletinden ve radyatörün ısı zaman sabitinden ötürü 701 no'lu ofisin soğutma ve ısıtma zamanı oldukça uzundur. Toplantı odasının soğutma ve ısıtma zamanı buradaki ısıtma serpantininin etkisinin ihmal edilebilir olmasından dolayı ofise oranla daha çabuktur.

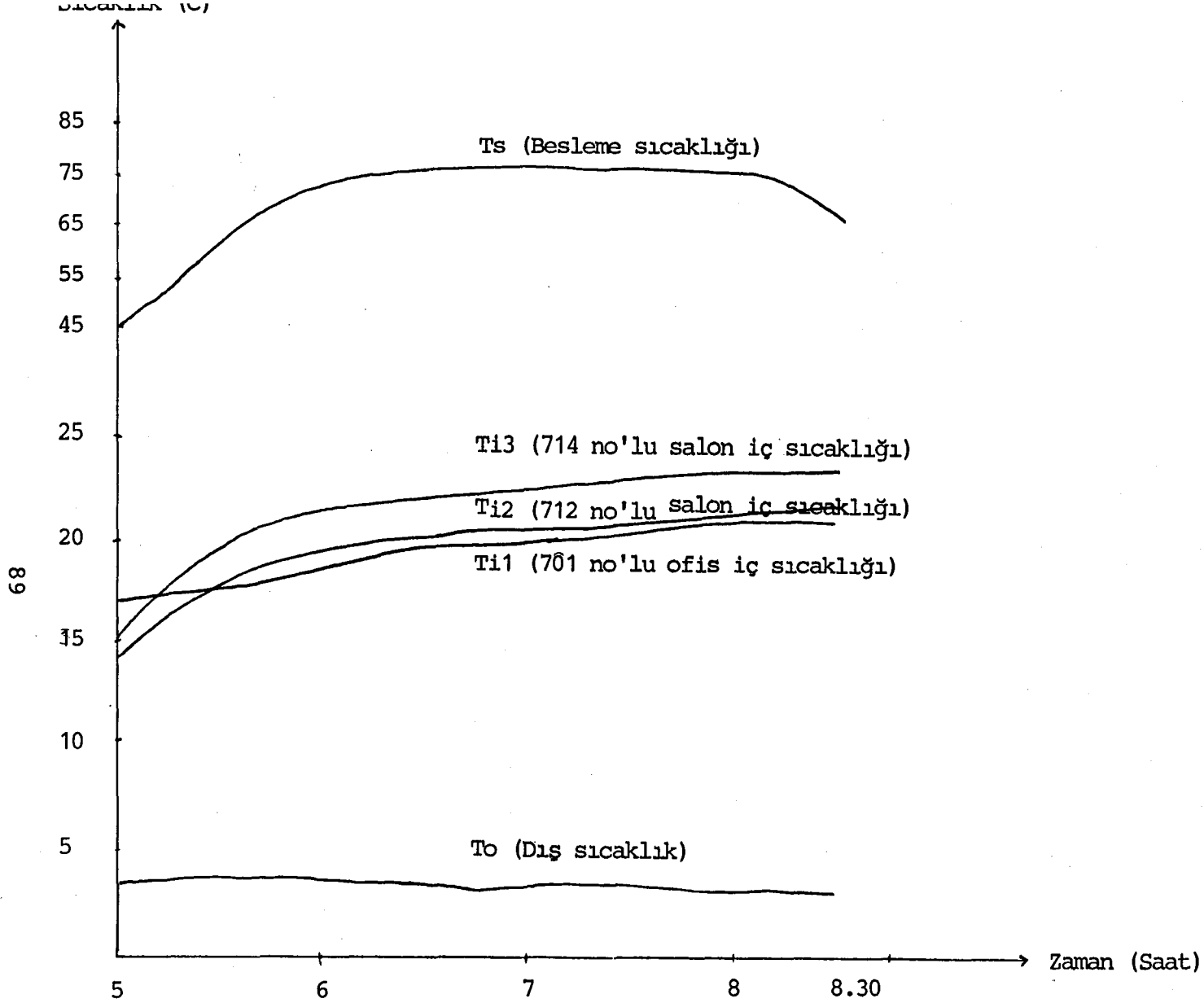
İki farklı mesai zamanında binanın konfor durumunu belirlemek için 701 no'lu ofisin sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bir tanesi ısıtma sisteminin normal çalışma şartlarında yürütülmüştür. Ölçümler sırasında ortamdaki havanın hızı 0.1 m/s olarak alınmıştır. Denklem 2.33 den çalışma sıcaklıkları hesaplanmıştır. Mesai saatlerinde ortamın ısı konfor sonuçları şekil 3.12 ve 3.13 de gösterilmiştir. 801 ve 802 no'lu laboratuvarların ana kanalları ve branşman kesitlerinde hava hızı ölçümleri yapıldı. Denklem 2.37 den hacimsel hava debisi hesaplandı.



Şekil 3.9 Binanın Zamanla 21°C İç Sıcaklıktan Sapması.



Şekil 3.10. Seçilmiş Soğutma Sürelerinde Bina Bölmelerinde Sıcaklık Dağılımı.

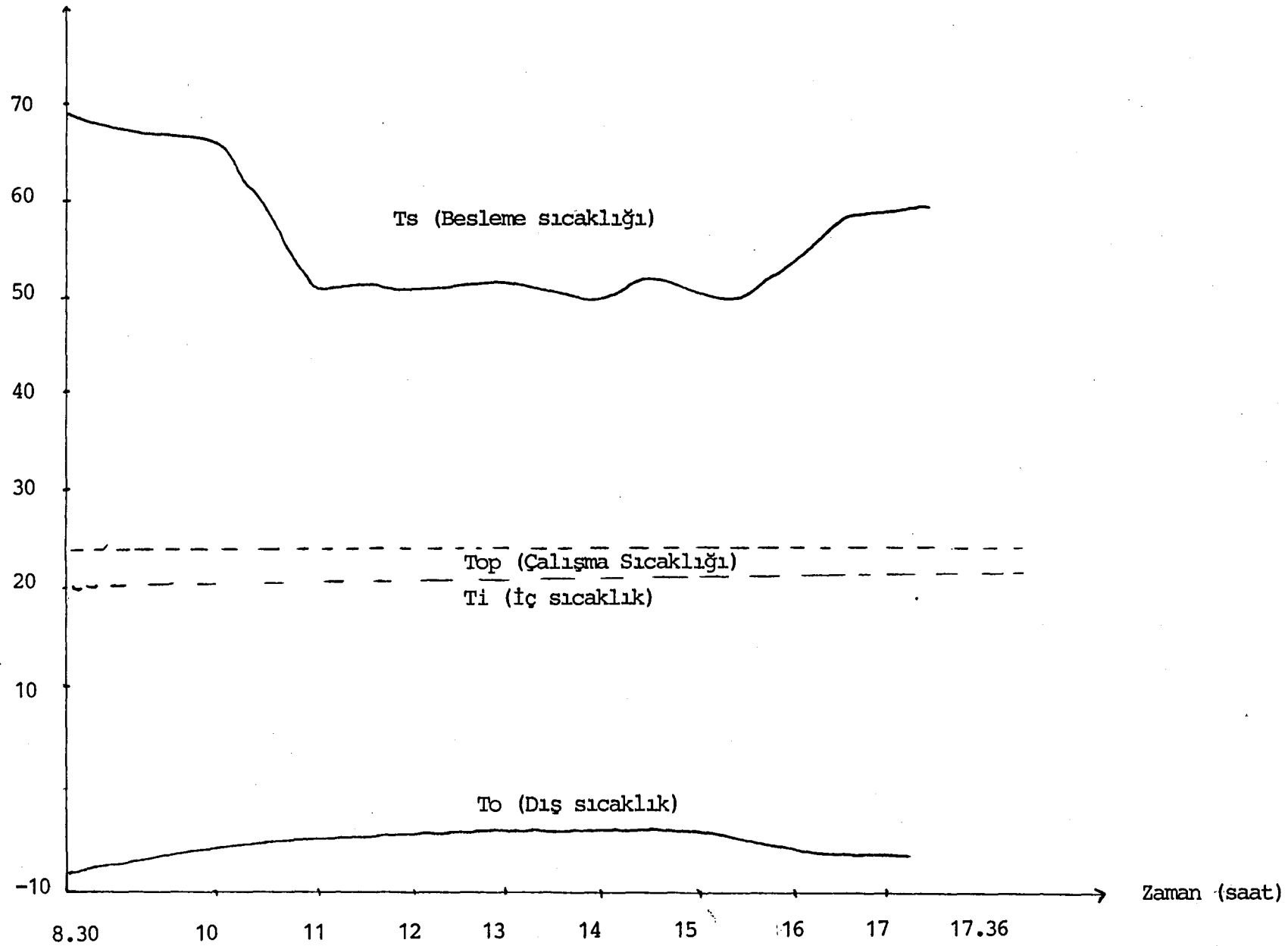


Şekil 3.11- Bina Bölümlerinde Isınma Süreleri.

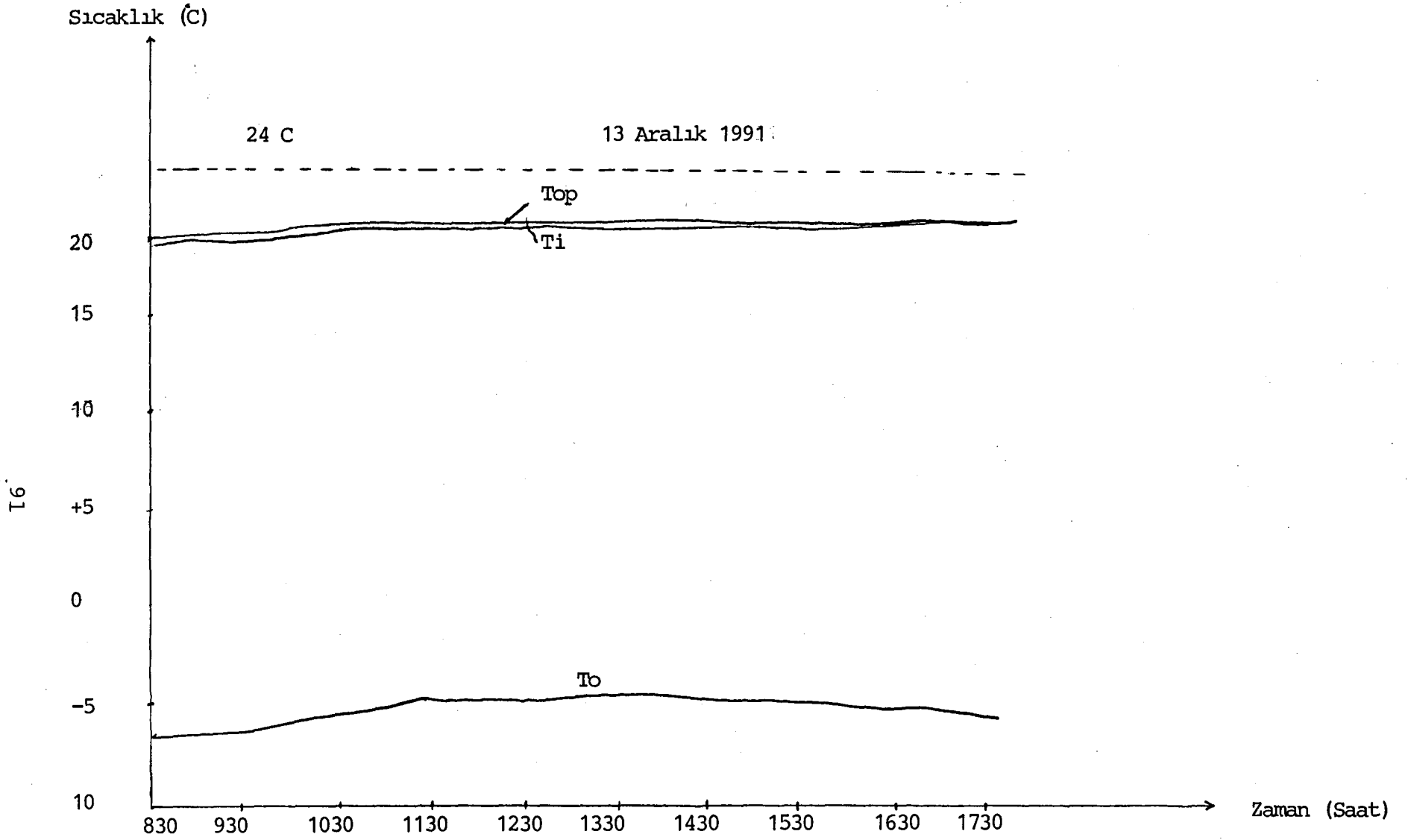
Sıcaklık (°C)

12 Aralık 1991 (701 no'lu ofis)

06



Şekil 3.12. Binanın Isı Konfor Ölçümleri



Şekil 3.13. Isıtma Paneline Hesaplanan Yeni Besleme Sıcaklığı Değerlerinin Uygulanmasıyla Binanın Konfor Durumunun Değişimi.

Tablo 3.8 ve 3.9 da görüldüğü üzere ölçümler ve hesap sonuçları veri toplama föy'üne işlenmiştir.

Elektrik enerjisi tüketimi ve aydınlatma hariç elektrik ekipmanlarının çalışma zamanları ölçülmüş ve sonuçlar tablo 3.10'daki forma işlenmiştir.

Binanın mevsimsel ısıtma enerjisi tüketimi denklem 2.45 kullanılarak hesap edilmiştir. Aylık derece-gün'ler mesai saatleri içinde ve mesai saatleri dışında olmak üzere düzenlenmiştir. Toprağa olan kayıp, negatif kazanç olarak değerlendirilmiş ve tüm ısı kazançları binanın ısı gereksinimini düşürmek için kullanılmıştır. Mesai saati haricinde binadan olan ısı kayıplarının çoğu dahili kazançlardan etkilenmemiştir. Bu yüzden mesai saatleri dışında dahili kazançların etkilerinin toprağa olan ısı kaybına eşit olduğu varsayılmıştır. Standart ASHRAE işlemleri kullanılarak binanın ısı kazançları ve ısı parametreleri hesaplanmıştır. Mesai saatlerinde iç sıcaklık 21°C mesai haricinde 13°C olarak öngörülmüştür. Sonuçlar;

Binanın toplam aydınlatma gücü- 73185 W

Binadaki İnsan sayısı - 400

Bina ısı kayıp katsayısı- 23609 W/°C

(tavan dahil)

Enlem 40°



Tablo 3.8. Kazan Dairesi İklimlendirme Ana ve Branşman Kanal Hız Raporu.

Ana Kanal

Branşman Kanal

Tarih: 20 Mart 1992

23 Mart 1992

NO	HIZ m/s	NO	HIZ m/s	NO	HIZ m/s	NO	HIZ m/s
1	3.3	14	4.9	1	1.7	14	2.5
2	3.1	15	4.6	2	2.1	15	2.7
3	4.9	16	6.1	3	2.4	16	2.4
4	6.0	17	5.2	4	2.3	17	2.2
5	5.2	18	5.0	5	2.0	18	1.9
6	5.4	19	4.7	6	1.8	19	
7	4.8	20	4.3	7	1.9	20	
8	4.3	21	4.5	8	2.3	21	
9	4.8	22	4.8	9	2.5	22	
10	4.5	23	6.1	10	2.2	23	
11	5.2	24	5.8	11	2.1	24	
12	6.0	25	4.8	12	2.0	25	
13	5.8	26		13	2.6	26	
<p>Ortalama Hız = <math>\frac{124.1}{2.5}</math> = 4.96 m/s Gerçek Hız = 4.96 * 1.08 = 5.36 m/s</p>				<p>Ortalama Hız = <math>\frac{39.6}{18}</math> = 2.20 m/s Gerçek Hız = 2.2 * 1.077 = 2.37 m/s</p>			
<p>Yükseklik = 920 Faktör : 1.06 Hava Sıcaklığı: 31.4 C faktör: 1.02 Bileşke Faktör: 1.06 * 1.02 : 1.08</p>				<p>Yükseklik= 920 Faktör= 1.06 Hava Sıcaklığı: 30.8 C Faktör: 1.016 Bileşke Faktör= 1.06 * 1.016 = 1.077</p>			

TABLO 3.8 (DEVAM)

<p>Kanal Alanı: <math>1.30 \times 0.8 = 1.04 \text{ m}^2</math></p> <p>Gerçek Debi: <math>5.36 \times 1.04</math>  <math>= 5.51 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p>Proje Debisi: <math>10.8 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p>ölçme düzlemi merkezinde  statik basınç: <math>39.44 \text{ Pa}</math></p>	<p>Kanal Alanı= <math>0.5 \times 0.9 = 1.45 \text{ m}^2</math></p> <p>Gerçek Debi= <math>2.37 \times 1.45</math>  <math>= 1.07 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p>Proje Debisi= <math>2.7 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p>ölçüm düzlemi merkezinde  statik basınç= <math>13.83 \text{ Pa}</math>.</p>
<p>Standart dışı hava için son düzeltme faktörü= Yükseklik Faktörü  * Sıcaklık Faktörü</p> <p>Gerçek Hız = Ölçülen hız * Düzeltme Faktörü.</p>	

TABLO 3.9. İklimlendirme Atölyesi Klima Santralleri Ana ve Branşman Kanallar Hız Değişimi.

Ana Kanal			Branşman Kanal				
Tarih : 20 Mart 1992			20 Mart 1992				
NO	HIZ m/s	NO	HIZ m/s	NO	HIZ m/s	NO	HIZ m/s
1	4.9	11	4.2	1	1.3	11	2.2
2	5.2	12	3.6	2	1.6	12	1.1
3	5.0	13	4.4	3	1.8	13	
4	4.8	14	4.9	4	1.6	14	
5	4.6	15	5.2	5	2.3	15	
6	5.0	16	3.5	6	2.4	16	
7	5.2	17	4.3	7	2.3	17	
8	5.7	18	4.8	8	1.1	18	
9	5.0	19	3.8	9	1.0	19	
10	4.5	20	5.3	10	1.2	20	
Ortalama Hız = $\frac{93.9}{20}$ = 4.70 m/s Gerçek Hız = 4.7 * 1.08 = 5.02 m/s				Ortalama Hız = $\frac{20}{12}$ = 1.67 m/s Gerçek Hız = 1.67 * 1.07 = 1.8 m/s			
Yükseklik: 9.20: Faktör : 1.06 Hava Sıcaklığı: 31.2 C Faktör: 1.02 Bileşke Faktör: 1.02 * 1.06 : 1.08 Kanal Alanı: 1.05*1.06: 0.9 m <sup>2</sup> Gerçek Debi: 0.9 * 5.02 : 4.52 m <sup>3</sup> /s Proje Debisi: 6.94 m <sup>3</sup> /s				Yükseklik : 9.20 : Faktör: 1.06 Hava Sıcaklığı: 31.0 C Faktör, 1.016 Bileşke Faktörü: 1.06 * 1.016 : 1.077 Kanal Alanı: 0.4*0.5: 0.2 m <sup>2</sup> Gerçek Debi : 0.2* 1.80 : 0.36 m <sup>3</sup> /s Proje Debisi : 0.31 m <sup>3</sup> /s			

TABLO 3.9.'un devamı.

Ölçüm Düzlemi Merkezinde Statik Basınç: 21.70 Pa	Ölçüm Düzlemi Merkezinde Statik Basınç : 21.70 Pa
Standart Dışı Hava İçin Son Düzeltme Faktörü: Yükseklik Faktörü	
Gerçek Hız: Ölçülen Hız * Düzeltme Faktörü * Sıcaklık Faktörü	

TABLO 3.11.'in Devamı.

Aylar	Sıcaklıklar (°C)	Saatlik_Yıllık Derece-Gün	Gözlem Saatleri	
			Dolu Zaman 8.00-18.00	Boş Zaman 18.00-8.00
ARALIK	18.3	461	183	
	13.0	296		186
TOPLAM		2693	1011	1055
		1640	1011 + 1055 = 2066	

TABLO 3.10 Binanın Elektrik Ekipmanları İçin Enerji Tablosu (Aydınlatma Hariç)

Tarih 1 Mart 1992

Ekipman Tipi	Ekipman Sayısı	Akım (A)	Voltaj (V)	Güç (kW)	Toplam Güç (kW)	Peryot başına çalışma saati (h)	Toplam (kW-h)
Pompa I (sirkülasyon)	1	3.25	384/3	2.05	2.05	4320	8856
Pompa II (sirkülasyon)	1	3.40	386/3	2.16	2.16	4320	9331
Pompa I (Klima)	1	5.10	384/3	3.22	3.22	4320	13910
Pompa II (Klima)	1	5.10	483/3	5.48	5.48	4320	13910
Fan I (Klima)	1	8.70	383/3	5.48	5.48	528	12893
Fan II (Klima)	1	12.90	384/3	8.15	8.15	528	4303
Fan-Coil Ünitesi	44	0.50	220/1	0.11	4.84	4320	20909

NOT: Elektrik ekipmanlarının güç faktörü % 95 alınmıştır.

Hesaplanan derece-günler tablo 3.11'de gösterilmiştir. Buradan denklem 2.45'ten mevsimsel ısıtma enerjisi tüketimi hesaplanır.

$$(Q_{H S}) = \frac{2066 * 23.61 * 24 * 3600}{0.65} = 6.48375 * 10^9 \text{ kJ.}$$

(bina dağıtım verimi dahil edilmiştir)

Bina duvarlarının ekonomik yalıtım kalınlığını bulmak için çeşitli yalıtım kalınlıkları çift camlı pencerelerle karşılaştırılmıştır. Denklem 2.50'den binanın metrekaresine düşen yıllık enerji tüketimi hesaplanmıştır. Standart ASHRAE işlemleri ve tasarım verileri kullanılarak bina duvarlarının ısı parametreleri hesaplanmıştır. Üretilen serbest ısı'nın pencereler hariç binanın dış yüzeylerinin yalıtım derecesinden bağımsız olduğu varsayılmıştır. Zira pencerelerdeki fazla camlar aktarılan ışımayı etkileyebilir.

**TABLO 3.11. 1992 'de Çeşitli Denge Noktası Sıcaklıkları  
İçin Aylık Derece-Gün.**

Aylar	Sıcaklıklar ( °C)	Saatlik Yıllık Derece-Gün	Gözlem Saatleri	
			Dolu Zaman 8.00-18.00	Boş Zaman 18.00- 8.00
OCAK	18.2	518	197	
	13.0	357		222
ŞUBAT	17.6	426	156	
	13.0	293		186
MART	17.0	374	145	
	13.0	251		156
NİSAN	17.0	168	47	
	13.0	69		53
MAYIS	17.0	66	15	
	13.0	16	-	13
HAZİRAN	16.9	13	1	
	13.0	0		0
TEMMUZ	-	-	-	-
	-	-	-	-
AĞUSTOS	-	-	-	-
	-	-	-	-
EYLÜL	17.3	24	5	
	13.0	0		0
EKİM	17.7	205	100	
	13.0	76		58
KASIM	18.2	438	162	
	13.0	282		181



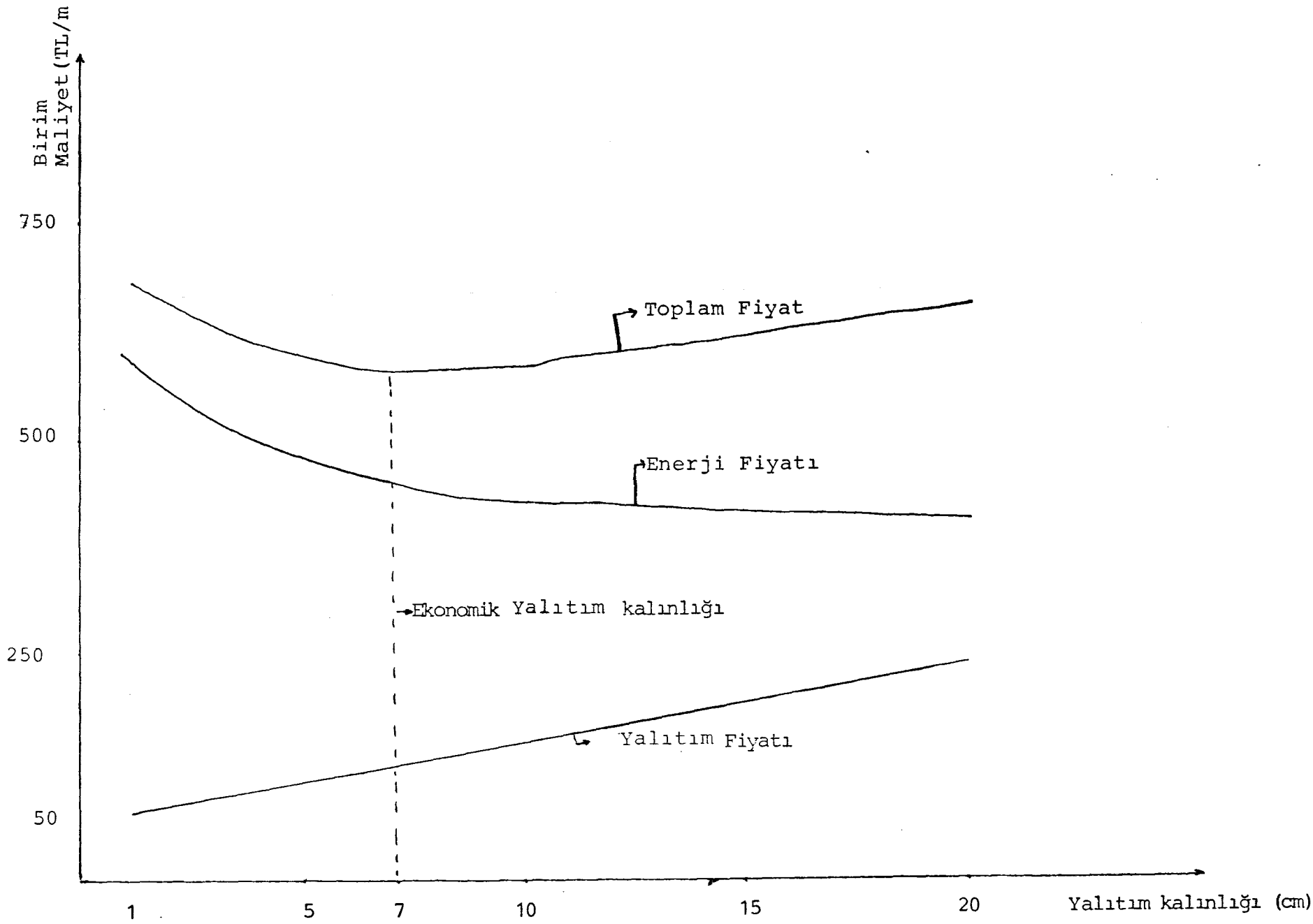
Şekil 3.14 bina duvarları için ekonomik yalıtım kalınlığını göstermektedir. Bu eğri üzerinde ekonomik yalıtım kalınlığı yaklaşık 70 mm.dir. Binanın yalıtımdan önce ve sonraki enerji durumu şekil 3.15'de verilmiştir.

Binanın ısı konfor durumunu artırmak için denklem 2.79 kullanılarak farklı dış sıcaklıklar için yeni teorik besleme sıcaklığı bulundu. Bunun için 701 no'lu ofis seçildi ve ısı parametreleri hesaplandı. Buna göre:

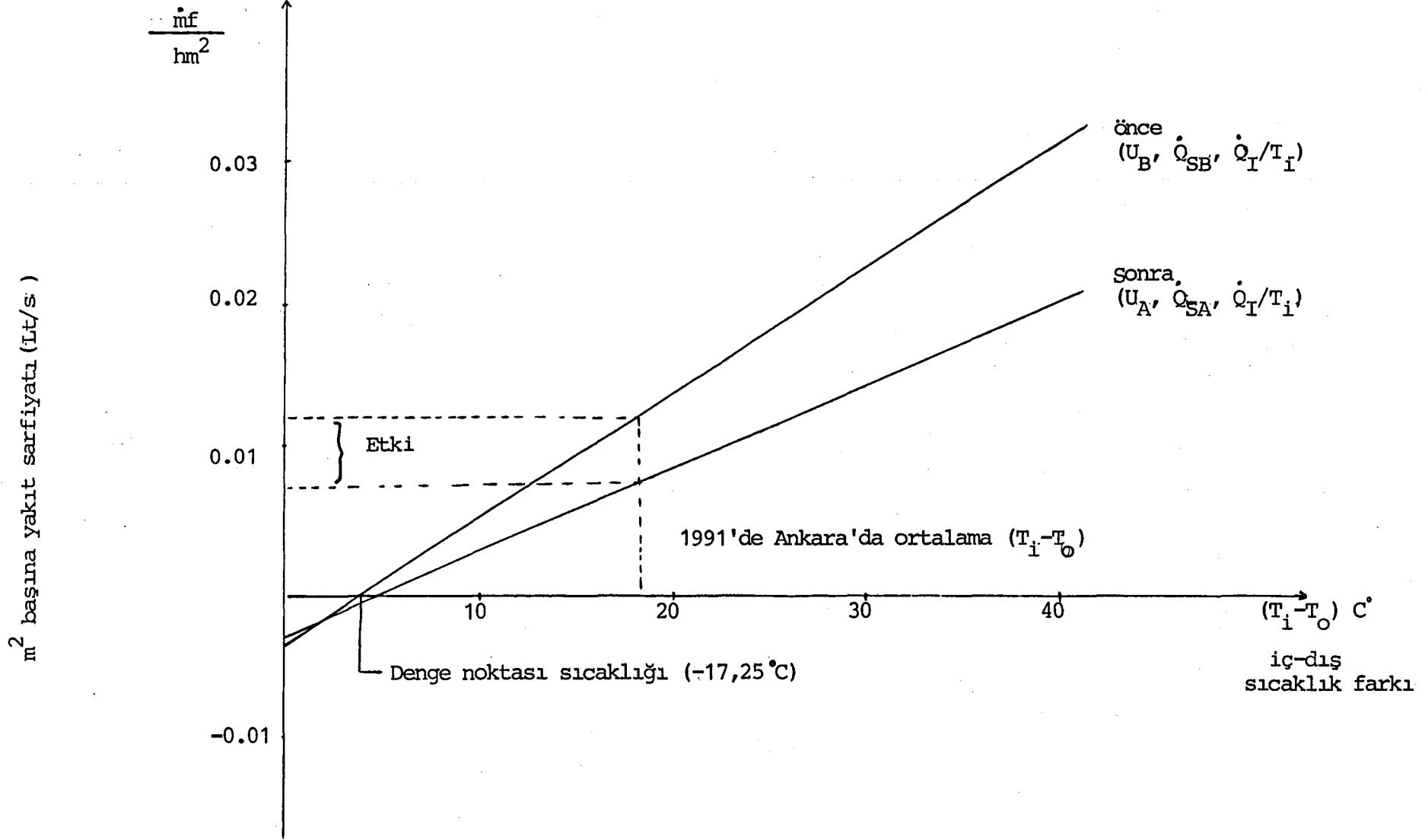
$$\begin{aligned}T_l &= 21^\circ\text{C} \\ \dot{m}_w &= 0.1 \text{ kg/s} \\ C_{p_w} &= 4.18 \text{ kJ/kgK} \\ A_r &= 3.6 \text{ m}^2 \\ U_r &= 0.095 \text{ kW/m}^2\text{K} \\ Q_G &= 0.620 \text{ kW}\end{aligned}$$

Farklı dış sıcaklıklar için bina sıcak su dağıtım sistemi yeni teorik besleme sıcaklıkları şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Farklı dış sıcaklıklarda ısı zaman sabitlerini kullanarak sıcaklık geri-kaydırma yöntemi ile teorik ısıtma enerjisi tasarrufu olanağı irdelenmiştir.

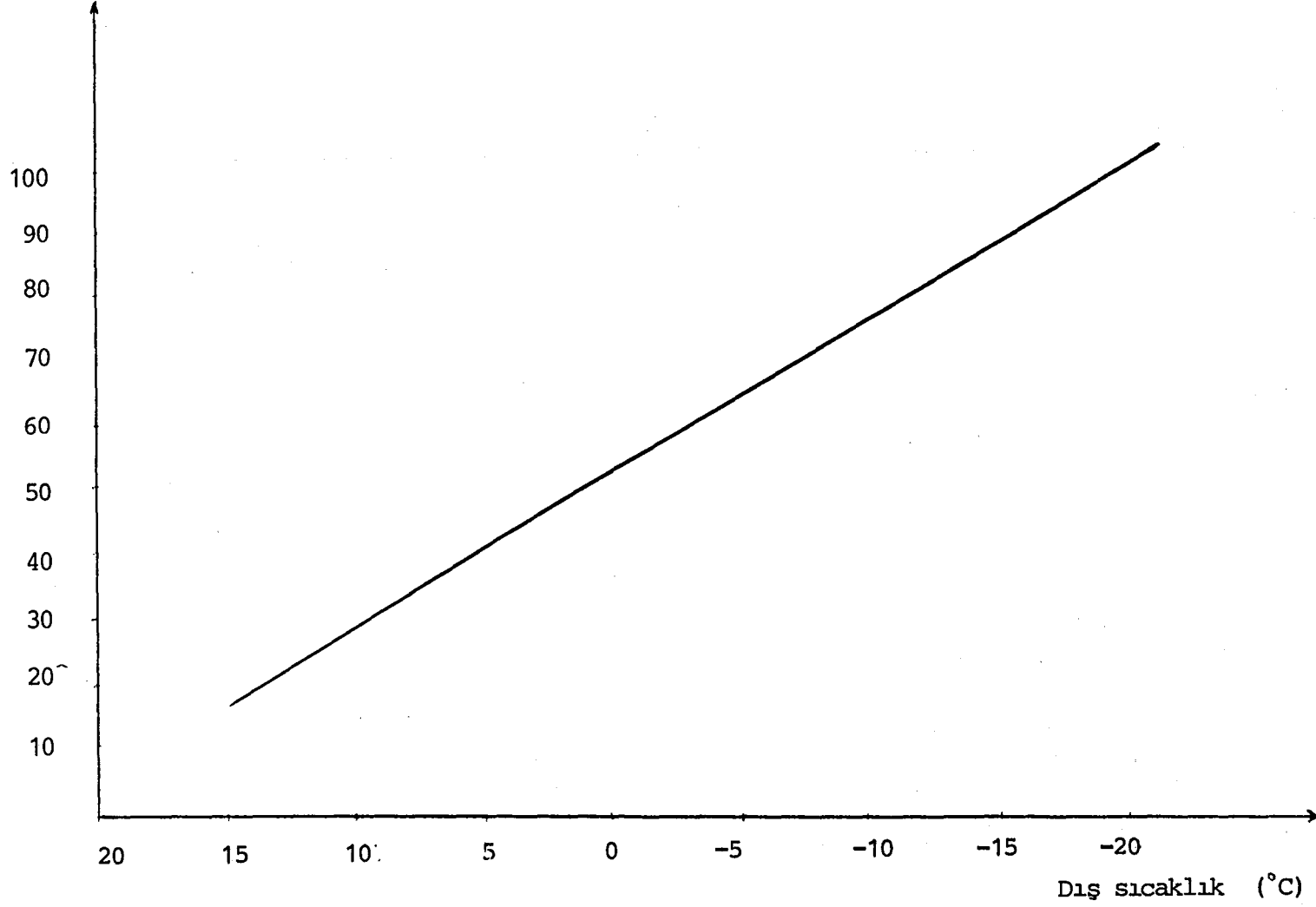


Şekil 3.14. Bina Duvarları Ekonomik Yalıtım Kalınlığı.



Şekil 3.15. Dış Duvar ve Camların Yalıtımından Önce ve Sonra Binanın Enerji Durumu.

Besleme sıcaklığı (°C)



Şekil 3.16 , Bina Su Sirkülasyon Sistemi Yeni Teorik Besleme Sıcaklıkları.

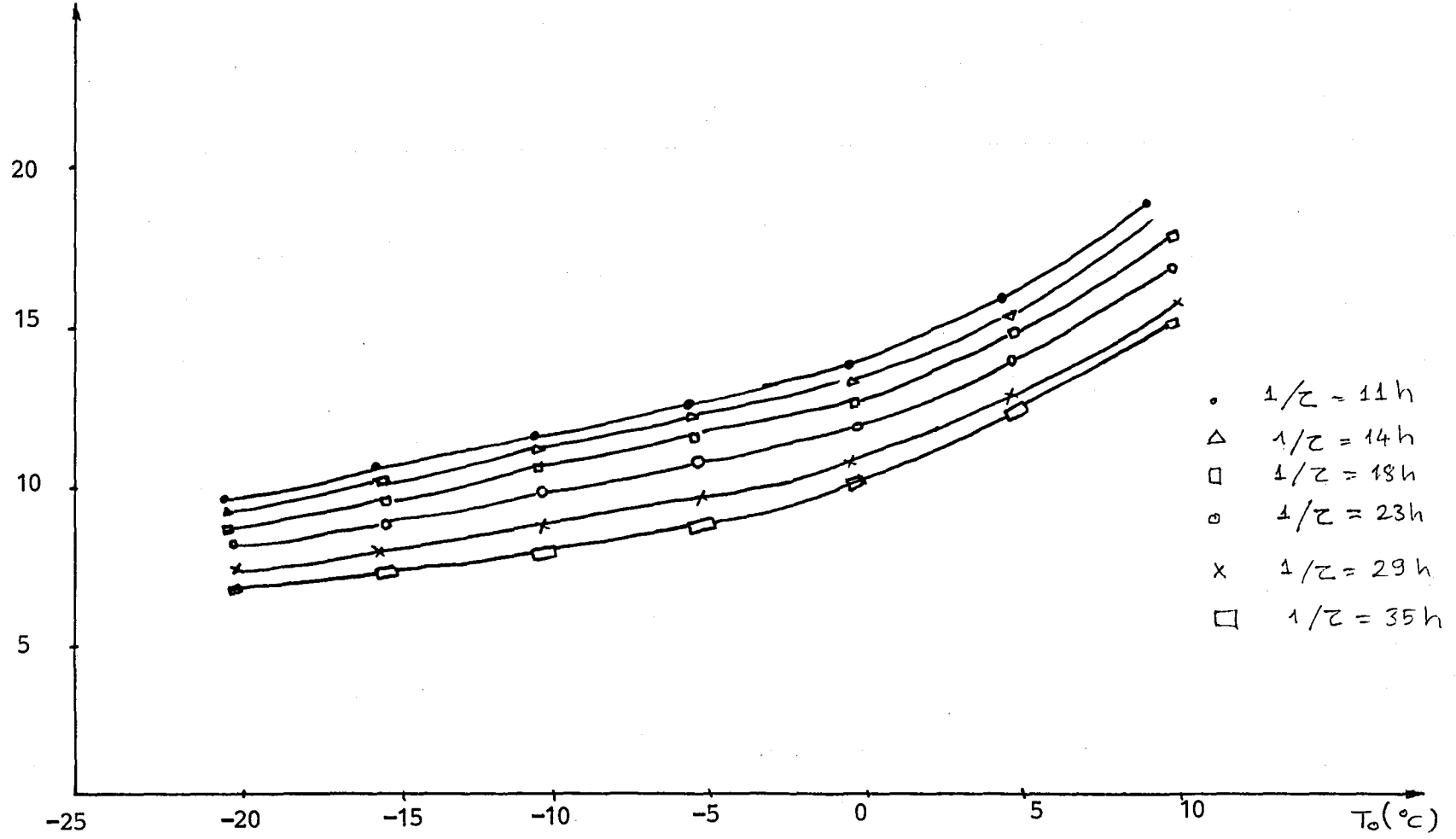
Bunun için aşağıdaki altı ısı zaman sabiti seçilmiştir. Ortalama 29 saat değerinde olan bir tanesi binanın gerçek ısı zaman sabitidir.

$$1/\tau = 11,14,18,23,29,35 \text{ saat}$$

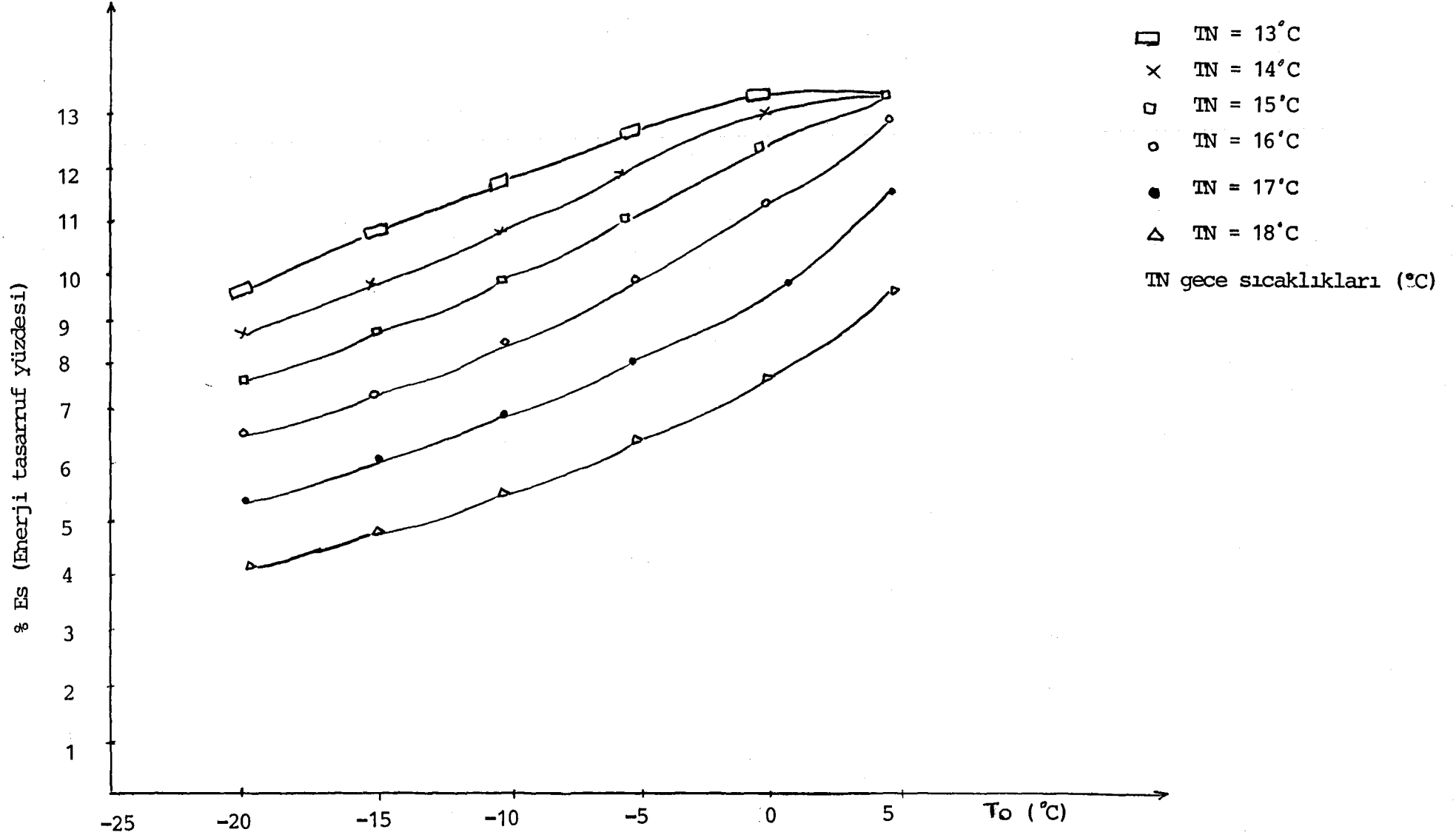
Aynı zamanda binanın gerçek ısı zaman sabiti kullanılarak, farklı dış sıcaklıklarda farklı gece sıcaklığı geri-kaydırması ile teorik ısıtma enerjisi tasarrufu olanağı irdelenmiştir. Aşağıdaki altı ortam gece sıcaklığı kullanılmıştır.

$$T_N = 13,14,15,16,17,18^\circ\text{C}$$

Denklem 2.67 ve bu denklemin farklı şekilleriyle gece sıcaklık geri-kaydırması ile teorik ısıtma enerjisi tasarrufu hesaplandı. Ayrıca binanın soğutma ve sabah yüklenme zamanı denklem 2.71 ve 2.72 kullanılarak bulundu. Bu iki hal için binanın iç sıcaklığı  $21^\circ\text{C}$  olarak kabul edildi. Binanın tasarım verileri ve standart ASHRAE işlemleri kullanılarak bina ısı parametreleri, güneş kazancı ve dahili kazançlar hesaplanmıştır. Isıtma sistemi tarafından sağlanan maksimum enerji birinci hal için binanın ısı kaybının 1.5 katına, ikinci hal için bina ısıtma sistemi ısı değiştirgeçlerinin maksimum kapasitesine eşit olarak alındı. (farklı gece sıcaklıklarında geri-kaydırma tasarrufu) Şekil 3.17'de teorik enerji tasarrufunun yukarıda bahsedilen altı ısı zaman sabitinde farklı dış sıcaklıklara karşı grafiği gösterilmiştir. Aynı zamanda, şekil 3.18'de belirtilen altı gece sıcaklığında farklı dış sıcaklıklara karşın deney binasının teorik ısıtma enerjisi tasarrufu gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Farklı Isıl Zaman Sabitleriyle Yüzde Enerji Tasarrufu.



Şekil 3.18 Farklı Gece Sıcaklıkları ile Enerji Tasarruf Yüzdesi.

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu tezde kullanılan enerji etüdü yaklaşımı etüd işleminin maliyetini azaltırken etkisini artırmanın yollarını aramaktadır. Aynı zamanda bu tezin amacı binanın enerji tasarrufu potansiyelini tanımlamak ve enerji tasarruf fırsatlarını değerlendirmektir. Bu amacın bir sonucu olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 3.1. göstermiştir ki binanın ısı kayıp katsayısı tasarım değerinden  $3.7 \text{ kW}^\circ/\text{K}$  lik bir düşüşle  $27.5 \text{ kW}/\text{K}$  olarak gerçekleşmiştir. Bu fark proje ve hesaplamalar yapılırken dikkate alınan gün ışığı ve iç kazançların fazla kabul edilmesinden doğabilir. Gerçekte bina ısı kayıp katsayısı eğrisinin orijinden geçmesi gerekirken ölçüm ve tahmin hatalarından (güneş, dahili kayıplar) net enerji girişinden yaklaşık  $40 \text{ kW}$  civarında bir sapma ile %10 luk bir hassasiyet elde edilmiştir. Aynı zamanda şekil 3.2 den görüleceği üzere ölçümlere dayanan gerçek bina denge noktası sıcaklığı teorik aylık denge noktası sıcaklığı olan  $17^\circ\text{C}$  ile uyusmaktadır.  $70 \text{ mm.}$  ekonomik yalıtım kalınlığı ve çift cam pencere kullanılarak bu ısı kayıp katsayısı azaltılabilirse önemli bir enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu ek yatırımlarla yılda yaklaşık  $\text{m}^2$  başına  $22.000 \text{ TL.}$ tasarruf edilebilmektedir.

Mesai saatleri içerisinde ölçülen sıcaklıklardan (Şekil 3.3.-3.6) iç sıcaklıkların tasarım değerlerinden (ofisler için  $21^\circ\text{C}$ , laboratuvarlar için  $18^\circ\text{C}$ ) ortalama  $2$  ila  $3^\circ\text{C}$  düşük olduğu görülmüştür. Aynı şekillerden mesai saatleri haricinde ve hafta sonlarında iç sıcaklıkların gündüz sıcaklıkları kadar yüksek olduğu da görülmektedir.



Gün boyunca bina iç sıcaklığı dış sıcaklıklarda kayma olsa bile binanın ısı ataletinden dolayı sabit kalmakta ancak 7<sup>00</sup>-10<sup>00</sup> saatleri arasında hızlı ısıtmadan dolayı tasarım değerine doğru artmaktadır.

Şekil 3.6 dan görüldüğü üzere farklı yüksekliklerde yüksek sıcaklık farkları elde edilmiştir. (Döşemeden 1.10 ile 2.20 m yükseklik arası fark yaklaşık 5.5 °C dir.) Bu, ısıtma ünitelerinin iklimlendirilen mahalde doğru yerlere konmayışındandır. Öte yandan koridorlar ve geçişlerde sıcaklıklar ısıtma ünitelerinin yetersizliğinden yüksekliğin fazla olmasından ve büyük sızıntı kayıplarından dolayı tasarım değerinden yaklaşık 5°C düşüktür. Bu, düşük iç sıcaklıkların başka bir sebebidir.

Şekil 3.3 ve 3.4 de 05<sup>00</sup>-07<sup>00</sup> saatleri arasında hızlı bir ısıtmanın ardından saat 10<sup>00</sup>'da besleme sıcaklığında bir düşüş başladığı gözlenmektedir. Bu sonuçlar ısıtma panellerindeki ayarlama ile uyusmaktadır. Bu erken düşüş 1991 kışında yakıt tasarrufu sağlamak için bilinçli olarak yapılmıştır. Fakat sıcak su dağıtım sistemi besleme sıcaklığı teorik besleme sıcaklığından hemen hemen tüm zamanlarda düşük olmuştur. Bu da binada genelde görülen yetersiz konforun başlıca sebebidir.

Düşük besleme sıcaklıklarının sebepleri:

i) Isıtma sisteminin işletme zamanının yanlış seçimi  
(Geri kaydırmanın saat 10'da başlatılması)

ii) Besleme sıcaklığı işletme eğirisinin yanlış seçimi

iii) Bina ısıtma sistemine yetersiz buhar girişi.

Aynı şekillerden görüldüğü üzere dağıtım sisteminin besleme sıcaklığında dış sıcaklığa bağlı değişimler de gözlenmektedir. Ayrıca dağıtım sistemi besleme sıcaklığı sıcaklık geri kaydırma zamanının ( $10^{00}$ ) başlangıcından sabah yüklenme zamanına kadar sabit kalmaktadır. Mesai saati bitiminde besleme sıcaklığını düşürmek için ikinci bir sıcaklık kaydırması gerekmektedir.

Binanın ısı zaman sabiti oldukça yüksek (28.73 h) olduğundan şekil 3.10 ve 3.11 den görüleceği üzere gerçek soğutma ve ısıtma periyotları uzundur. Bundan ötürü mesai saati başlamadan önce binada istenen iç sıcaklığı sağlamak için sistem tarafından sağlanan ısının yüksek olması ya da ısıtma periyodunun uzun tutulması gerekir. Bu durum şekil 3.3 ve 3.4 'de görülebilir. Bu şekillerden hızlı ısıtma periyodunun bitiminden sonra iklimlendirilmiş ortamın iç sıcaklığının tasarım sıcaklığından düşük olduğu görülmektedir. Aynı zamanda binanın soğutma periyodu dış sıcaklığın yükselmesi ile birlikte artmaktadır(şekil 3.9).

Gece sıcaklık geri kaydırması dış yüzey ısı kaybı hızının büyük ısı zaman sabitine haiz binalarda ısı ataleti az olan binalara nazaran daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Buradan ağır yapıların hafif yapılara oranla daha az bir geri kaydırma kazanımına haiz olduğu görülmektedir(şekil 3.17).

Mutlak geri kaydırma kazanımı daha soğuk iklimlerde daha fazladır. Termostat geri kaydırma aralığının ve zamanın uzun tutulmasıyla daha büyük bir enerji tasarrufu sağlanabilir(şekil 3.18).

Isıtma sisteminin mevcut çalışma şartları ile binanın iklimlendirilmiş ortamlarının konfor seviyesini gösteren işletme sıcaklığı mesai saatinin başlamasından önceki bir kaç saat hariç olmak üzere konfor aralığının (20-24°C) altında kalmaktadır(şekil 3.12). Dağıtım sisteminin teorik besleme sıcaklıkları ile işletme sıcaklığı mesai saatleri boyunca konfor sınırları içinde kalmaktadır(şekil 3.13). Aynı şekillerden görüleceği üzere işletme sıcaklığı ile iç sıcaklık arasındaki fark büyük pencere alanları ve yalıtılmamış duvarlardan ötürü düşüktür(701 nolu mahal).

Klima santrallerinin besleme havasında %33 varan dış hava kayıpları gözlenmiştir. Bu hava kaçakları klima santrallerinin ısıtma enerjisi tüketimini artırmaktadır. Bu tüketim besleme kanallarının içerden sızıntıya karşı yalıtılması ve geri dönüş havası kullanılarak azaltılabilir.

Yeraltı galerilerinden geçen besleme kanallarının yalıtım malzemesi enerji tasarrufu açısından yetersizdir. Bu kanalın ekonomik yalıtım kalınlığı 60 mm olası gerekirken 30 mm'dir.

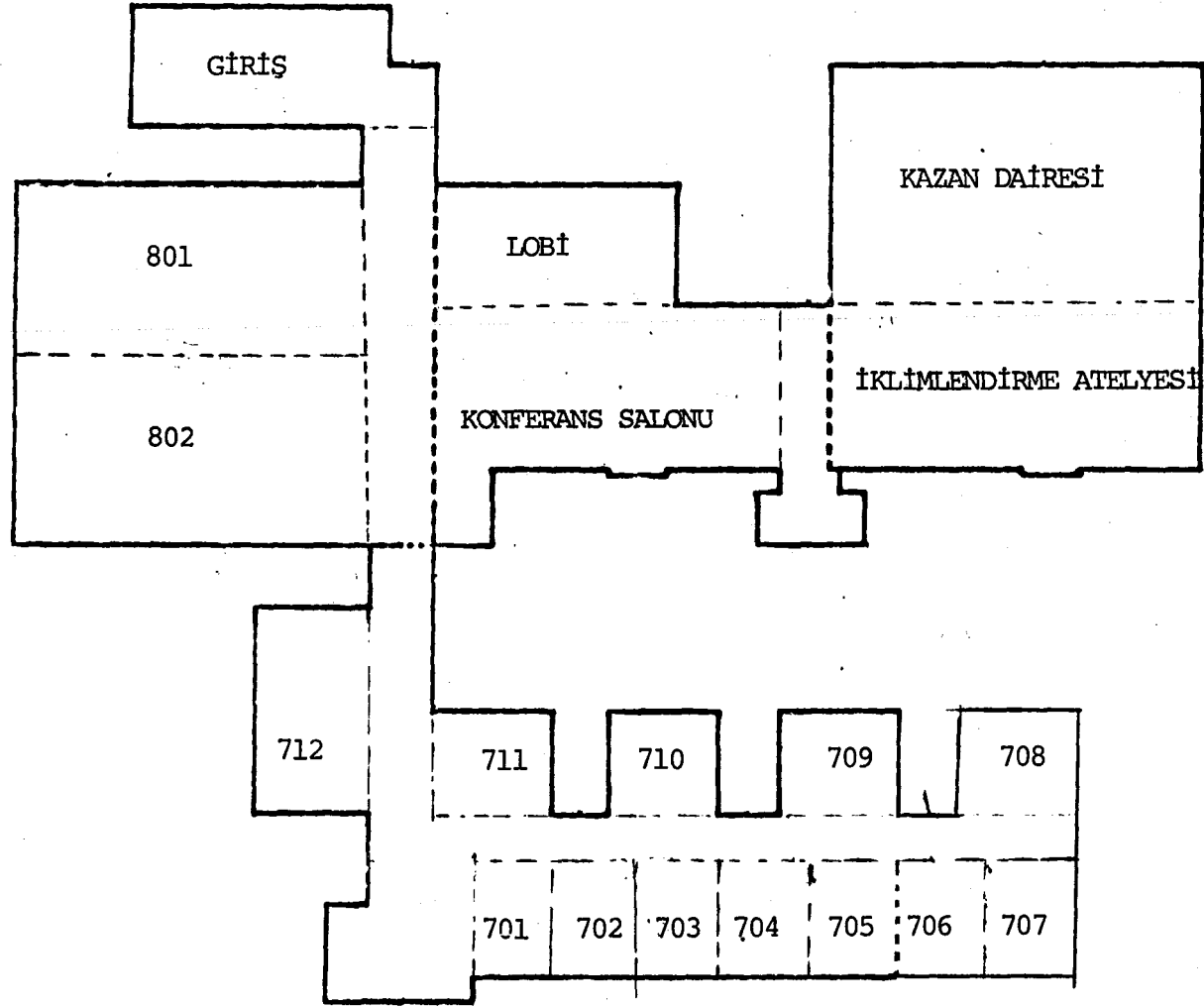
Sıcak su dağıtım sistemi yalıtım seviyesi yalıtım standartlarına göre yeterlidir(yalıtım kalınlığı 30 mm).

Aynı zamanda dağıtım verimi hedef değeri olan %55 ile %85 arasında olup %72'dir(28).

Klima santralları hava kanallarında hacimsal debi tasarım değerlerinden düşüktür(Tablo 3.8 ve 3.9). Tali kanallar üzerinde klapelerin olmamasından dolayı klima santralları besleme kanallarında bir dengesizlik de görülmektedir.

Klima santralları ve sirkülasyon pompaları gün boyunca çalışmaktadır. Bunlar gerekmediği zamanda kapılatılarak enerji tasarrufuna yardımcı olunabilir.

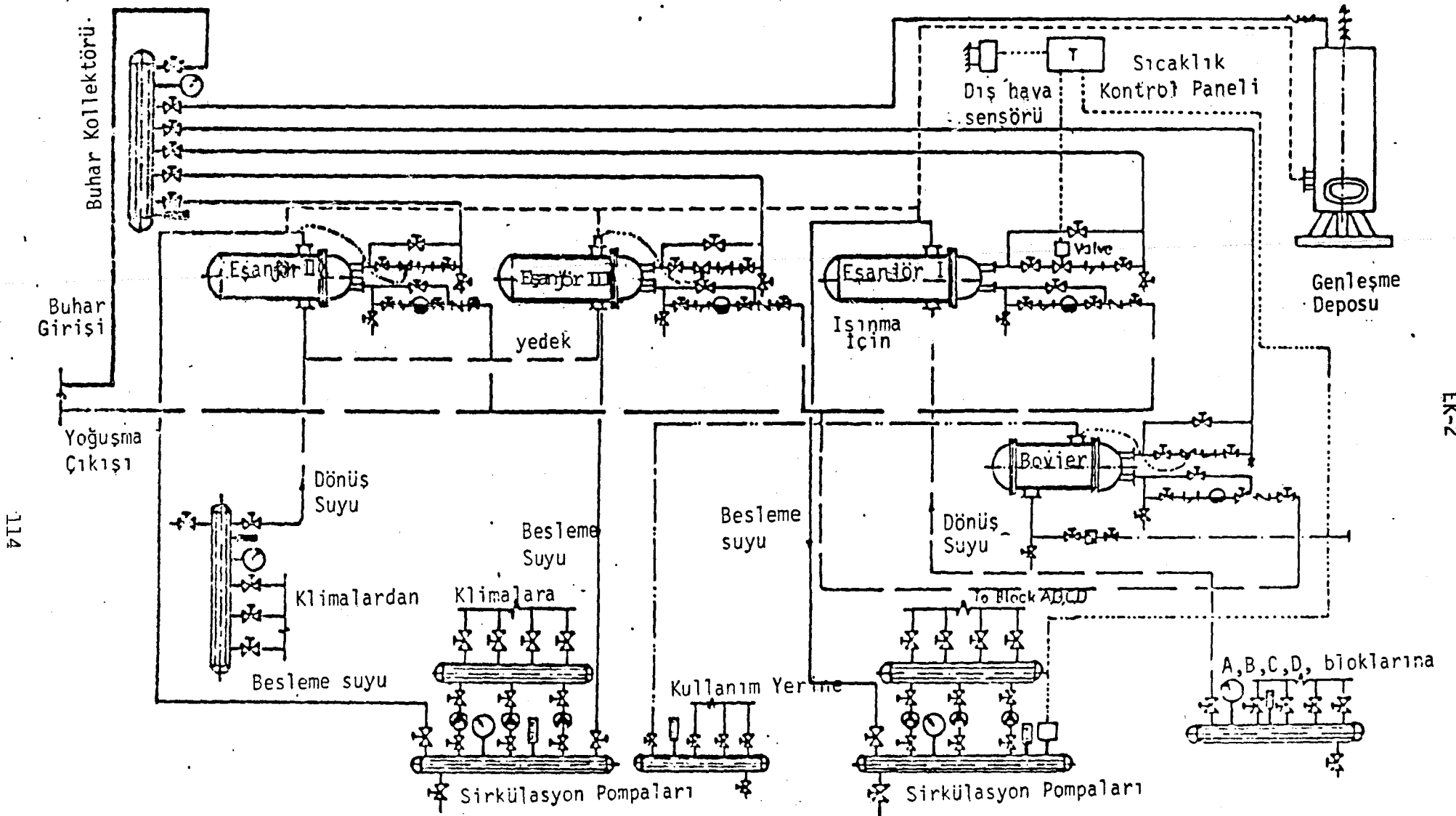
Sonuç olarak ölçüm yapılan binalarda etüt işlemlerinin uygulanması faydalı sonuçlar vermiştir. Yetersiz konfordan dolayı bundan önceki mevsimlerde şikayet konusu olan durumlara bir açıklık getirilmiştir. Bu şikayetleri gidermek için yapılacak ilave harcamalar kısa sürede geri kazanılacaktır.



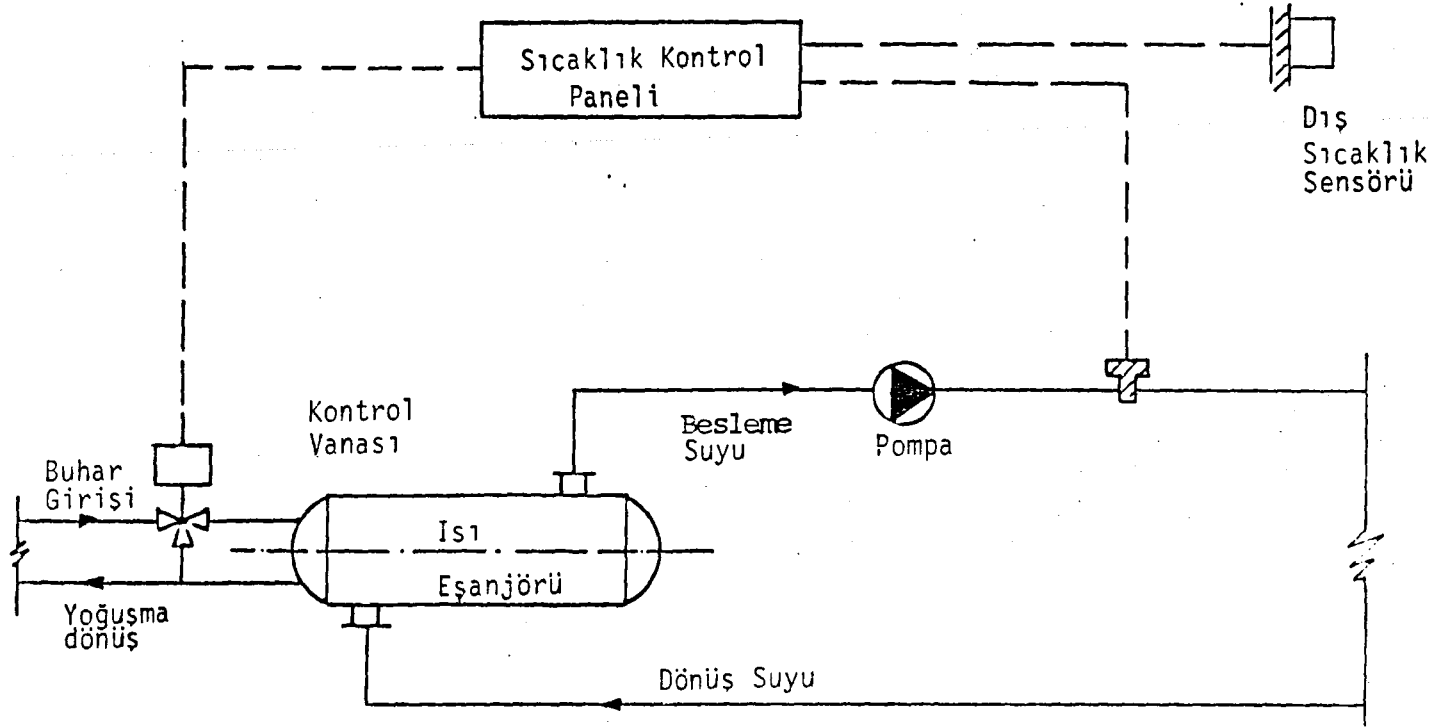
113

EK-1

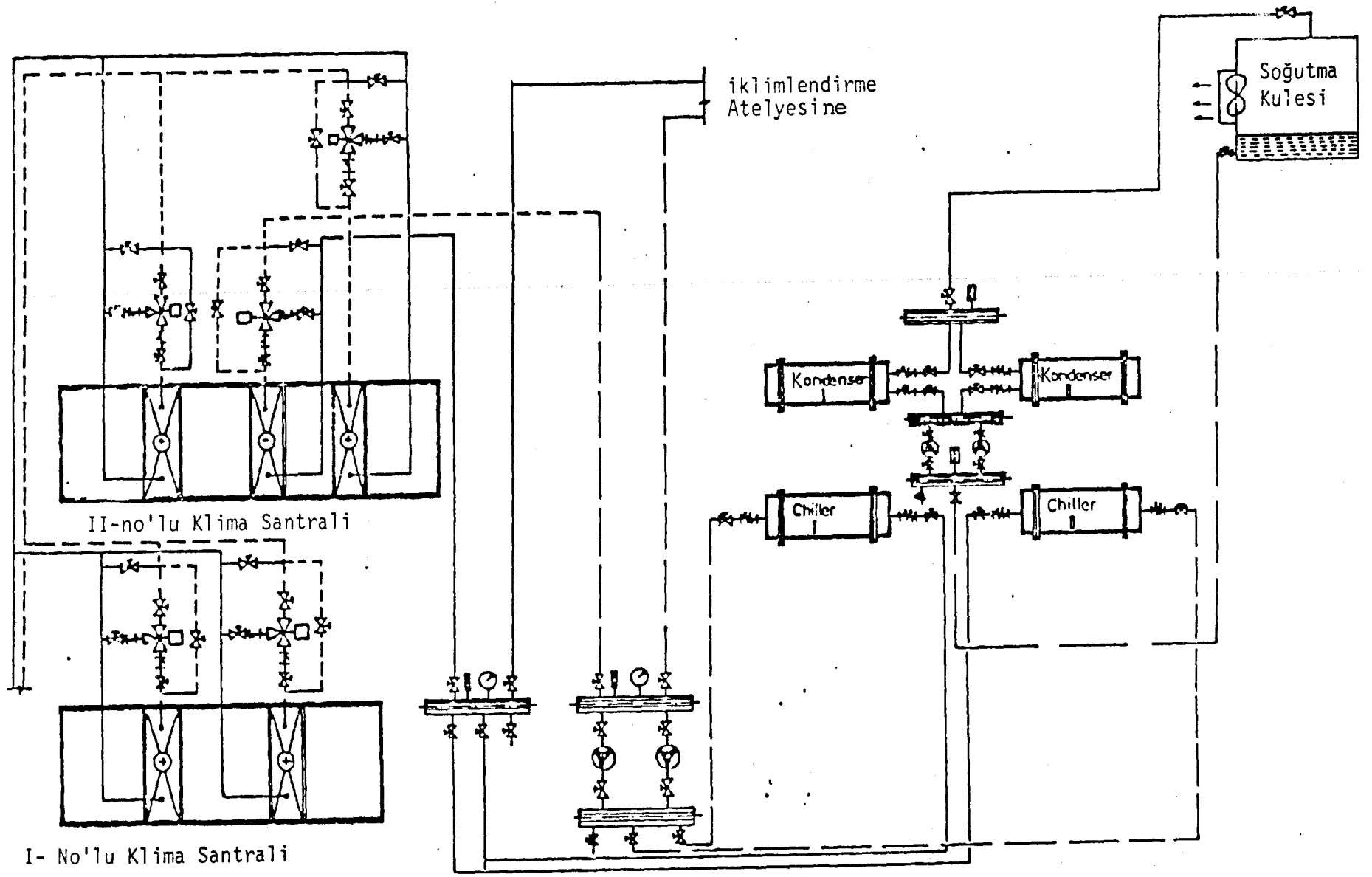
Şekil E.1. Deney Binası Planı.



Şekil E2.Bina Isıtma Sistemi Akış Diyagramı.



Şekil E.3.6ece Geri-kaydırma Kontrol Şeması.



Şekil E.4.Klima Sistemi Akış Diyagramı



## KAYNAKÇA

- [11]. LYBERG, M.D., 1987. "Source Book for Energy Auditors Volume 1 "International Energy Agency, Stockholm.
- [12]. LAGUS, P. and PERSILY, A.K., 1985. "A Review of Tracer Gas Techniques for Measuring Air Flows in Buildings", ASHRAE Transactions, Part 2, pp.1075-1087.
- [13]. MADSEN, L., 1976. "Thermal Comfort Measurements", ASHRAE Transactions, Part 1, pp.60-76.
- [14]. STEVENSON, R.G., 1976. "A Guide to Measurement of Fan performance in the Field". ASHRAE Transactions, Part 1, pp.851-861.
- [15]. LYBERG, M.D., 1987. "Source Book for Energy Auditors Volume 2". International Energy Agency, Stockholm.
- [16]. HOLMAN, J.P., 1985 "Heat Transfer". McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- [17]. ASHRAE. Ashrae-Handbook of Fundamentals, 1977.
- [18]. GRIFFITH, J.E., 1985. "Determination of Thermal Time Constant in Residential Housing", pp.51-69.
- [19]. GLADSTONE, J., 1981. "Air Conditioning Testing/ Adjusting/Balancing: A Field Practice Manual", Van Nostrand Reinhold Company, New York