

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAR KANALLARDA KANAL GENİŞLİĞİNİN ISI  
YALITIMI AÇISINDAN İNCELENMESİ VE  
MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak.Müh. Gülcan ÇAVUŞOĞLU AYDIN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR**

**Haziran 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAR KANALLARDA KANAL GENİŞLİĞİNİN ISI  
YALITIMI AÇISINDAN İNCELENMESİ VE  
MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak.Müh. Gülcan ÇAVUŞOĞLU AYDIN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ**

**Bu tez 14 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr. Mesut GÜR**  
Jüri Başkanı

**Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR**  
Üye

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOLİP**  
Üye

## **ÖNSÖZ**

Tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde her türlü yardımı esirgemeyen Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÖZDEMİR'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmalarım esnasında güneşlik ve gölgeleme sistemi olan jaluzinin temin edilmesine bana katkıda bulunan, Jaluzicam Firması'ndan Sayın Naci GÜLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Gülcan ÇAVUŞOĞLU AYDIN

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PROBLEMİN TANITIMI VE ARAŞTIRMA İHTİYACI.....	9
BÖLÜM 3.	
ISI TRANSFERİ ESASLARI.....	12
3.1. Giriş.....	12
3.1.1. İletim.....	12
3.1.2. Taşınım.....	12
3.1.3. Işınım.....	13
3.2. İletim İle Isı Geçişi .....	13
3.2.1. Isı iletim katsayısı.....	13
3.2.2. Isı geçişi problemlerinde yapılabilecek kabuller.....	14
3.2.3. Düzlem duvarda iletim ile ısı geçişi.....	15
3.3. Taşınım İle Isı Geçişi.....	15
3.4. Düşey Bir Yüzeyde Doğal Isı Taşınımı.....	18

3.4.1. Düşey levhada laminer doğal ısı taşınımı .....	20
3.4.2. Düşey levhada türbülanslı doğal ısı taşınımı .....	21
3.3.3. Kapalı dar kanal içinde doğal taşınım .....	21
BÖLÜM 4.	
ÖLÇME DÜZENEĞİ VE TANITILMASI.....	23
4.1. Araştırmanın Yapılabilmesine İmkan Veren Test Düzeneginin Tanıtılması.....	23
4.2. Deney Düzeneginin Hazırlanışı .....	23
4.2.1. Deney düzenegindeki ısı transfer mekanizması.....	25
4.3. Ölçme Teknikleri.....	26
4.4. Deney Şartları ve Deney Parametreleri.....	28
4.5. Veri Toplama ve Değerlendirme.....	29
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	34
5.1. Birleşik Enerji (Isı) ve Kütle Bilançoları.....	34
5.2. Deney Sistematiği ve Elde Edilen Sonuçlar.....	38
5.2.1. 8 mm tek cam ile yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları.....	39
5.2.2. Camlar arası 5 mm ara boşluk bırakılarak yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları .....	56
5.2.4. Camlar arası 10 mm ara boşluk bırakılarak yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları.....	68
5.2.5. Camlar arası 25 mm ara boşluk bırakılan ve ara boşluğa jaluzi yerleştirilerek yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları .....	85
5.2.6. Camlar arası 25 mm ara boşluk bırakılan ve ara boşluğa jaluzi yerleştirilerek yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları .....	93
5.2.7. Camlar arası 10 mm ara boşluk bırakılan ve buzlu su kullanılarak yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları .....	101
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE TARTIŞMA.....	113

KAYNAKLAR.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	117

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\dot{Q}_x$	: Birim zamanda geçen ısı miktarı ( $W$ )
$A$	: Isı geçiş yönüne dik yüzey alanı ( $m^2$ )
$K$	: Malzemelerin ısı iletim katsayısı ( $\frac{W}{m^2 K}$ )
$V$	: Cismin hacmi ( $m^3$ )
$\rho$	: Cismin yoğunluğu ( $\frac{kg}{m^3}$ )
$c$	: Suyun özgül ısısı ( $\frac{kJ}{kgK}$ )
$T_0$	: Cismin ilk sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_{\infty}$	: Akışkan sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$h$	: Isı taşınım katsayısı ( $\frac{W}{m^2 K}$ )
$T_y$	: Yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_a$	: Akışkan sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$Nu$	: Nusselt sayısı
$Gr$	: Grashof sayısı
$g$	: Yerçekim ivmesi ( $\frac{m}{s^2}$ )
$\beta$	: Hacimsel genleşme katsayısı ( $K^{-1}$ )
$\nu$	: Kinematik vizkozite ( $\frac{m^2}{s}$ )
$L$	: Levhanın yüksekliği ( $m$ )

$T_f$	: Ortalama sıcaklık ( $K$ )
$Ra_{kr}$	: Rayleigh sayısı
$\dot{Q}_1$	: Sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ( $W$ )
$\dot{Q}_2$	: Soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü ( $W$ )
$Q_{K1}$	: Sıcak su bölümünden çevreye olan ısı kaybı ( $W$ )
$Q_{K2}$	: Soğuk su bölümünden çevreye olan ısı kaybı ( $W$ )
$Q_{Tr}$	: Sıcak sudan soğuk su bölümüne geçen ısı gücü ( $W$ )
$Q_{Ktop}$	: Çevreye olan toplam kayıp ısı gücü ( $W$ )
$Q_{top}$	: Toplam ısı gücü transferi ( $W$ )
$m_1$	: Sıcak suyun kütleli debisi $\left(\frac{kg}{sn}\right)$
$m_2$	: Soğuk suyun kütleli debisi $\left(\frac{kg}{sn}\right)$
$T_0$	: Ölçülen ilk sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$T_t$	: t anındaki sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$T_{sicort}$	: Sıcak su ortalaması ( $^{\circ}C$ )
$T_{soğort}$	: Soğuk su ortalaması ( $^{\circ}C$ )
$T_{ort}$	: Ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T$	: Sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ )
$t_0$	: Ölçüm yapılan zaman aralığı ( $s$ )
$t_t$	: t anındaki zaman aralığı ( $s$ )
$\Delta t$	: Zaman farkı ( $s$ )
$K_{pen}$	: Pencerenin toplam ısı transfer katsayısı $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$
$h_{suiç}$	: İç yüzey serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısı $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$
$h_{sudiş}$	: Dış yüzey serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısı $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$



$k_{cam}$	: Camın ısı iletim katsayısı $\left(\frac{W}{mK}\right)$
$S$	: Cam kalınlığı $(m)$
$A_{cam}$	: Camın ısı geçiş alanı $(m^2)$
$Q_{pen}$	: Pencereden geçen ısıl gc $(W)$
$Q_{sa}$	: Sa levhadan geçen ısıl gc $(W)$
$U$	: Sa levhanın genişliği $(m)$
$A_{sa}$	: Sa levhanın kesit alanı $(m^2)$
$k_{sa}$	: Sa levhanın ısı transfer katsayısı $\left(\frac{W}{mK}\right)$
$T_{sa}$	: Sa levhanın sıcaklığı $(K)$

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Levha Üzerindeki Akışta Hız ve Sıcaklık Dağılımları.....	16
Şekil 4.1.	Deney Düzenegi.....	23
Şekil 4.2.	Deney Düzenegindeki Isı Transferlerinin Gösterimi.....	25
Şekil 5.1.	8 mm Tek Cam İçin Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği.....	41
Şekil 5.2.	8 mm Tek Cam için Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği.....	42
Şekil 5.3.	8mm Tek Cam İçin Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	48
Şekil 5.4.	Kesiti Sabit Olan Bir Radyatör Kanadında Isı Geçişi.....	50
Şekil 5.5.	Saç Levhadaki Isı İletimi .....	53
Şekil 5.6.	Saç Levhanın Açılım Şekli.....	53
Şekil 5.7.	8 mm Tek Cam İçin Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği	55
Şekil 5.8.	5 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği.....	58
Şekil 5.9.	5 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği.....	59
Şekil 5.10.	5 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı ile Değişimi .....	63
Şekil 5.11.	Çift Cam İle Yapılan Deneylerdeki Isı Geçişi.....	63
Şekil 5.12.	5 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği.....	67
Şekil 5.13.	10 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi Grafiği .....	69
Şekil 5.14.	10 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı ile Değişimi .....	73

Şekil 5.15.	10 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği.....	75
Şekil 5.16.	25 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği .....	77
Şekil 5.17.	25 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı ile Değişimi.....	81
Şekil 5.18.	25 mm Ara Boşluk Bırakılarak Yapılan Deneyde Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği.....	84
Şekil 5.19.	25 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Ara Boşluğa Jaluzi Yerleştirilerek Yapılan Deneyde Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği.....	86
Şekil 5.20.	25 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Ara Boşluğa Jaluzi Yerleştirilerek Yapılan Deneyde Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı ile Değişimi.....	90
Şekil 5.21.	25 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Ara Boşluğa Jaluzi Yerleştirilerek Yapılan Deneyde Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği.....	92
Şekil 5.22.	25 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Ara Boşluğa Jaluzi Yerleştirilerek Yapılan Deneyde Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi .....	94
Şekil 5.23.	25 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Ara Boşluğa Jaluzi Yerleştirilerek Yapılan Deneyde Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı ile Değişimi.....	98
Şekil 5.24.	25 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Ara Boşluğa Jaluzi Yerleştirilerek Yapılan Deneyde Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği.....	100
Şekil 5.25.	Camlar Arasında 10 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Buzlu Su Kullanılarak Yapılan Deneyde Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği.....	102

Şekil 5.26.	Camlar Arasında 10 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Buzlu Su Kullanılarak Yapılan Deneyde Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı ile Değişimi.....	105
Şekil 5.27.	Camlar Arasında 10 mm Ara Boşluk Bırakılan ve Buzlu Su Kullanılarak Yapılan Deneyde Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği.....	108
Şekil 5.28.	Sıcak Sudan Soğuk Su Bölümüne Geçen Isıl Gücün Sıcaklık Farkı İle Değişim Grafiği .....	110
Şekil 5.29.	Isı Akısının Sıcaklık Farkı İle Değişim Grafiği .....	111
Şekil 5.30.	Pencereden Geçen Isıl Gücün Sıcaklık Farkı İle Değişim Grafiği	111

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Veri Kayıt Tablosu.....	32
Tablo 5.1.	Zamana Bağlı Ölçülen Sıcaklık Değerleri.....	40
Tablo 5.2.	Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	41
Tablo 5.3.	Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri.....	43
Tablo 5.4.	Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri.....	44
Tablo 5.5.	Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri.....	44
Tablo 5.6.	Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları.....	46
Tablo 5.7.	Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları....	46
Tablo 5.8.	Camın Isı Transfer Katsayısı.....	47
Tablo 5.9.	Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı.....	47
Tablo 5.10.	Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları .....	49
Tablo 5.11.	Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları .....	54
Tablo 5.12.	Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	55
Tablo 5.13.	Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları.....	56
Tablo 5.14.	Zamana Bağlı Ölçülen Sıcaklık Değerleri.....	57
Tablo 5.15.	Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	58
Tablo 5.16.	Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri.....	59
Tablo 5.17.	Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri.....	60
Tablo 5.18.	Zamanla Çevreye Geçen Isı Güç Değerleri.....	60
Tablo 5.19.	Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları.....	61

Tablo 5.20.	Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Transfer Değerleri.....	61
Tablo 5.21.	Camın Isı Transfer Katsayısı.....	62
Tablo 5.22.	Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı.....	62
Tablo 5.23.	Saç Levhadan Geçen Isı Miktarları.....	65
Tablo 5.24.	Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları.....	66
Tablo 5.25.	Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	67
Tablo 5.26.	Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları.....	67
Tablo 5.27.	Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	68
Tablo 5.28.	Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri.....	69
Tablo 5.29.	Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri.....	70
Tablo 5.30.	Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri.....	70
Tablo 5.31.	Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları.....	71
Tablo 5.32.	Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları.....	71
Tablo 5.33.	Camın Isı Transfer Katsayısı.....	72
Tablo 5.34.	Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı.....	72
Tablo 5.35.	Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları.....	73
Tablo 5.36.	Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları.....	74
Tablo 5.37.	Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	75
Tablo 5.38.	Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları.....	76
Tablo 5.39.	Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	76
Tablo 5.40.	Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri.....	77
Tablo 5.41.	Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri.....	78
Tablo 5.42.	Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri.....	78
Tablo 5.43.	Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları.....	79

Tablo 5.44.	Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları.....	80
Tablo 5.45.	Camın Isı Transfer Katsayısı.....	80
Tablo 5.46.	Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı.....	81
Tablo 5.47.	Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları .....	83
Tablo 5.48.	Camlar Arasındaki Havanın Isı Taşınım Katsayısı ve Taşınım İle Geçen Isı Miktarları.....	83
Tablo 5.49.	Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	84
Tablo 5.50.	Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları.....	85
Tablo 5.51.	Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	86
Tablo 5.52.	Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri.....	87
Tablo 5.53.	Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri.....	87
Tablo 5.54.	Zamanla Çevreye Kaybolan Isı Güç Değerleri.....	88
Tablo 5.55.	Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları.....	88
Tablo 5.56.	Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları.....	89
Tablo 5.57.	Camın Isı Transfer Katsayısı.....	89
Tablo 5.58.	Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı.....	90
Tablo 5.59.	Saç Levhadan Geçen ( $\mu$ ) Katsayıları ve Isı Miktarları.....	91
Tablo 5.60.	Camlar Arasındaki Havanın Isı Taşınım Katsayısı ve Taşınım İle Geçen Isı Miktarları.....	91
Tablo 5.61.	Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	92
Tablo 5.62.	Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları.....	93
Tablo 5.63.	Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	93
Tablo 5.64.	Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri.....	95
Tablo 5.65.	Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri.....	95
Tablo 5.66.	Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri .....	96

Tablo 5.67.	Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları.....	96
Tablo 5.68.	Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları.....	97
Tablo 5.69.	Camın Isı Transfer Katsayısı.....	97
Tablo 5.70.	Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı.....	98
Tablo 5.71.	Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları.....	99
Tablo 5.72.	Camlar Arasındaki Havanın Isı Taşınım Katsayısı ve Taşınım İle Geçen Isı Miktarları.....	99
Tablo 5.73.	Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	100
Tablo 5.74.	Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları.....	101
Tablo 5.75.	Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri.....	101
Tablo 5.76.	Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltile Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri.....	102
Tablo 5.77.	Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri.....	103
Tablo 5.78.	Zamanla Çevreden Sıcak Su ve Soğuk Su Haznesine Transfer Olan Isı Miktarları.....	103
Tablo 5.79.	Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları.....	104
Tablo 5.80.	Camın Isı Transfer Katsayısı.....	104
Tablo 5.81.	Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı.....	105
Tablo 5.82.	Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları.....	106
Tablo 5.83.	Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları	107
Tablo 5.84.	Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi.....	107
Tablo 5.85.	Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları.....	108
Tablo 5.86.	Isı Transfer Miktarları.....	109



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Optimum Hava Katman Kalınlığı, Çift Camlı Pencereleler, Dar Kanallarda Isı Yalıtımı

Enerji maliyeti ve global çevreye uygun olarak, birçok ülke inşaat sektöründe enerji verimliliğini geliştirmek için önlemler almaktadır. Bu nedenle düşük enerji sarfiyatı ve mükemmel konfor sağlamak için binaların dış cephelerindeki pencerelerden olan ısı kayıplarını azaltmaya yönelik araştırmalar yapılmaktadır.

Enerji sarfiyatını azaltmak için yapılan bu araştırmalar, çift camlı pencerelerde yalıtım özelliğini iyileştirmeye yönelik olmuştur. Bu nedenle çift camlı pencerelerde ısı transferini en düşük seviyeye indirmek için kanal genişliği çeşitli aralıklarda tutulmuş, sıcak akışkanla soğuk akışkan arasındaki ısı transferleri incelenmiştir ve böylece çift camlar arasındaki enerji kayıplarının, hava katmanı kalınlığını optimize ederek azaltılabileceği gösterilmiştir. Bu şekilde yalıtımı en iyi sağlayacak optimum kanal mesafesi bulunmuştur.

Ayrıca son yıllarda yaygın olarak gelişen camlar arası jaluzi şeklindeki güneşliklerin ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Bunun için farklı kanal mesafeleri test edilmiş ve yalıtım özelliği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonunda jaluzinin ısı yalıtımına pozitif bir etkisi olduğu görülmüştür. Ayrıca camlar arasına yerleştirilmesi hem konfor hem de temizlik açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Diğer taraftan, camlar arasındaki hava katman kalınlığı 25 mm' ye kadar havanın katı bir cisim gibi davrandığı gözlemlenmiş ve 25 mm 'ye kadar Nu 1'e eşit olarak kalmıştır.

# **INVESTIGATION AND MODELLING OF CHANNEL WIDTH IN TERMS OF HEAT ISOLATION IN NARROW CHANNELS**

## **SUMMARY**

Key words: Optimum air-layer thickness, double-pane windows, heat insulation in tight channels

Many countries, in accordance with the energy costs and global environment, adopt measures to improve heat efficiency in construction sector. Due to this fact, studies are underway to reduce heat losses via glass windows on the outer sides of buildings to obtain low energy consumption and perfect comfort.

Research for reducing energy consumption is mainly done to improve insulation capabilities of the double glazed windows. For this reason, in order to reduce the heat transfer to a minimum level the channel width is held at certain intervals and the heat transfer between the hot and cold fluid investigated. With this study it is proved that the heat transfer in double glazed windows can be reduced by optimizing the thickness of the air layer. By this study the optimum channel width is determined which can provide the best insulation.

In addition, the effects of window shades between the glass layers over heat transfer have been investigated. Different channel widths tested and the insulation properties have been determined.

According to studies, it is seen that the window shades have positive effect on heat insulation. In addition to this, emplacement of the shades between the glass layers proved to be advantageous in terms of comfort and cleanliness. On the other hand, it is determined that the air layer between the glass panels act as solid in channel lengths up to 25 mm and  $Nu$  stayed as equal to 1 for widths up to 25 mm.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Görevi iç hacimlerin yeterli ölçüde aydınlatılması ve iç ortam ile dış ortam arasındaki görsel bağı sağlamak olan ve bu yüzden de saydam bir eleman olması gereken pencereler yapı kabuğunda ısı kaybının en çok gerçekleştiği bileşenlerdir.

Dünyada kullanılan toplam enerjinin %50'si binalarda tüketilmektedir. Binalarda kullanılan enerjinin %30'u ise yalıtımsız pencereler yoluyla kaybedilmektedir.

Yapılarda camla sağlanan enerji tasarrufu açısından iki farklı boyut söz konusudur. Bunlardan birincisi ısı yalıtımı; ikincisi ise güneş kontrolüdür. Ekonomik ve çevresel bilançolar açısından ısınma çok daha ön planda olmakla birlikte, soğutma da Türkiye coğrafyası açısından ihmal edilemeyecek bir ihtiyaçtır.

Yapılarda araya kuru hava yada yalıtım değeri yüksek gazların koyulmasıyla oluşturulan çift camların kullanılması tek cama göre ısı kaybını yarı yarıya azaltmaktadır. Tek camın ısı geçirgenlik katsayısı ortalama olarak  $5.8 \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$ 'dir.

Buna karşılık aralarında 12 mm hava boşluğu bulunan çift camın ısı geçirgenlik katsayısı  $2.8 \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$ 'dir. Dış ortam ile iç ortam sıcaklık farkı  $10 \text{ } ^\circ\text{C}$  olması durumunda, çift cam kullanımının ısı kaybını yarı yarıya azalttığı görülür.

Büyük ısı kayıplarına sebep olan bu pencereler kış günlerinde ışınlama ısı kazancı sağlamalarına karşı, kapalı kış günlerinde kazanç çok az olduğu için dışarıya olan ısı kayıpları nedeniyle toplamda bir binanın ısı ihtiyacının artmasına neden olurlar. Özellikle gün batımından sonra hiçbir kazanç sağlayamadıkları için bu alanlar, çift cam olsalar bile yalnızca ısı kaybı kaynağı haline gelirler. Isıtma ihtiyacını belirleyen önemli bir parametre cam türüdür. Pencerelerden kaynaklanan ısı kaybının azaltılması için çift camlı ünitelerin kullanılması yaygın bir uygulamadır. Bu

sistemin toplam ısı iletim değeri, aradaki hava tabakasının kalınlığına bağılı olarak değişmektedir. Ancak yeni binaların tamamında kullanılan çift camlar ısı yalıtımı açısından tek başına yeterli olamamaktadır. Low-e ısı yalıtım kaplamaları güneşin görünür ve görünmez ışınlarını iç ortama geçirirken, odanın sıcaklığına bağılı olarak değişen daha uzun dalgalı ışınım enerjisinin dışa geçişini engelledikleri bilinmektedir. Sekhar ve Toon tarafından yapılan çalışmalarda bir camı yüksek performanslı ısı-reflektif camdan diğer tarafı düşük-emisif kaplamayla kaplanmış çift camdan elde edilen faydalar üzerinde çalışılmıştır. Yaşam çevrimi maliyeti ve atmosferik kirlerin azaltılması analiz edilmiştir.

Pencerelerden kaybedilen enerjinin %70'i ışınlama, %30'u ise iletimle gerçekleşmektedir. Low-e kaplamalar ısı kaçışının %70'lik büyük bölümünü denetleyebildiği için ısı kontrolünde etkili olabilmektedir. Ülkemizde tüm konutlarda low-e kaplamalı çift camların kullanılması durumunda yılda 1 milyon USD ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir.

Isı yalıtımında amaç; kışın bina ısısının dışa kaçışını yavaşlatarak, ısıtma enerjisi tüketimini azaltmak ve iç mekanın bütününde dengelenmiş bir sıcaklık ortamının devamını sağlamaktır. Ülkemizde 1970'lerde kullanılmaya başlanan çift cam üniteleri iki cam arasında hapsedilen kuru ve durgun hava sayesinde bina ısısının pencerelerden dışa kaçışını yarı yarıya azaltmaktadır.

Geleneksel çözümler, ısı geçişini iletim yoluyla geciktirmektedir. İki cam arasındaki ara boşluk mesafesi ile bu boşluğu dolduran gazların niteliği önemlidir. Cam kalınlıklarının ısı yalıtımına etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır.

Ticari uygulamalarda iki cam arası genişlikler 6-16 mm arasında değişmektedir. Ara boşluk genişliği 6 mm'den 16 mm'ye doğru arttıkça çift cam ünitesinin yalıtım değeri de artmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucu, ara boşluk genişliği 16-20 mm'yi geçtikten sonra hava hareketleri (taşınım) başlar ve camın yalıtım değeri azalır. Eğer ara boşluk mesafesi 20 mm'nin altında ise iki cam arasında bulunan hava hareketsiz kabul edilir. Bu

durumda hava katı cisim olarak düşünülebilir. Ancak hava tam manasıyla hareketsiz değildir. Az miktarda da olsa bir hava hareketi söz konusudur. Fakat bu miktar ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu durumda ısı iletimi daha az olur iken yalıtım daha yüksek olur.

Genellikle camlar arasında kuru hava vardır. Ancak hava yerine ara boşluğu dolduran Argon, Kripton gibi k değeri daha düşük gazların kullanılması çift cam ünitesinin yalıtım değerini artırmaktadır.

İçeriden dışarıya ısı geçişinin ölçüsü (K) ısı geçirgenlik katsayısı ile belirlenir. Yüksek k katsayısı kötü ısı yalıtımı, düşük K katsayısı ise iyi ısı yalıtımı demektir.

Daha etkin enerji tasarrufu sağlamak amacıyla cam teknolojisinde yapılan yoğun çalışmalar sonucu kaplamalı camlar geliştirilmiştir. Kaplamalı camlar, ısı yalıtımını ve dolayısıyla enerjiyi en etkin şekilde sağlamaktadır. Tek camdan üç kat daha iyi ısı yalıtımı sağlayan ve görüntüde standart camdan farkı olmayan ısı kontrol kaplamalı çift cam üniteleri, kışın daha iyi ısınmak isteyenler için ideal çözümü oluşturmaktadır. Kaplamalı camlarda ısı yalıtımının yanı sıra, güneş kontrolü de sağlanabilmektedir. Kış aylarında bina ısısının dışarıya kaçışı yavaşlatılırken, yazın da güneş enerjisinin bina içine girişi azaltılmakta, böylece iç ortamın ısınması geciktirilmektedir. Bu türdeki kaplamalı camlarla oluşturulan çift cam ünitelerinin kullanımıyla kışın ısıtma giderlerinden, yazın ise klima kullanılan ortamlarda elektrik giderlerinden tasarruf sağlanmaktadır.

Çok katlı cam ünitelerinde ısı transferi, radyasyon, iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen iletimlerin toplamıdır. Taşınım ile olan ısı iletimini azaltmak için akışkan hareketinin azaltılması (yüksek viskozite), iletimle olan ısı iletiminin azaltılması için ise, düşük k gazların kullanılması gerekir. Radyasyonla olan ısı transferi ise cam yüzeyine düşük yayımlı kaplamalar uygulanarak azaltılabilir. Böylesi bir yüzey aynı dalga boylu ısı ışınları da daha fazla yansıtır. Yani iç ortamdaki gelen ısı ışınları (kızıl ötesi ışınları) tekrar iç ortama vererek (yaklaşık % 80 yansıtma sağlarlar) iç ortamın soğumasını engellemektedir.

Günümüzde iki cam arasına yerleştirilen jaluziler hem temizlik açısından hem de dış etkenlerden korunması açısından tercih edilen bir sistem olmuştur. Bu uygulama türünde 16-25 mm bant genişliğine sahip jaluziler doğramanın iki camı arasındaki boşluğa monte edilmektedir.

Jaluzili pencereler kullanışlı, dayanıklı, uygulama alanı geniş, birçok renk ve farklı materyal çeşitliliğine sahip bir ürün grubudur. Ev ve ofislerde kontrolünün pratik olması sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. Pratikliğinin yanında aynı zamanda dekoratif ve estetik bir üründür. Motorlu ve uzaktan kumandalı olarak üretilebilmektedir. 16-25-50 mm bant genişliğinde olmak üzere, delikli, ahşap görünümlü ve mermer seçenekleri vardır. İnce bant genişlikleri pencere kasasına yapılan çalışmalarda, 5 mm olanlar tüm seçeneklerde, 50 mm bant genişliği seçenekleri ise tavan veya duvardan yere kadar yapılan uygulamalarda tercih edilebilir. Dekoratif veya düz renkler başta olmak üzere metalik ve opak renk seçenekleri vardır.

Yapılan çalışmalarda iki camlı sistemlerin, camlar arası mesafenin değiştirilmesi durumunda ısı transferine olan etkisi incelenmiş ve ayrıca camlar arasına güneşlik konulması durumunda bunun ısı transferine olan etkisi incelenmiş ve bu konuda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Özellikle farklı kanal mesafeleri için deneyler yapılarak, bırakılan hava boşluğu mesafesinin pencerelerde ve akvaryumlarda ısı yalıtımı açısından yalıtım özelliği incelenmiştir.

25 mm ara boşluk bırakılarak yerleştirilen iki cam arasına lamelleri tam açık pozisyonda jaluzi yerleştirilmiş ve jaluzinin ısı yalıtımına etkisi incelenmiştir.

Günümüzde, özellikle iki cam arasına güneşlik (jaluzi) uygulaması yeni bir sistem olduğu için bu konuda daha önce literatürde yapılan çalışmalara pek rastlanmamıştır. Yapılan literatür taramasında aşağıdaki çalışmalara rastlanmıştır:

Onur Sivrioğlu ve Oğuz Turgut tarafından yapılan çalışmalarda, siyah kumaştan yapılmış dikey jaluzili hava tutuculu pencerenin ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir.

İki pencere camı arasına yatay eksen etrafında dönebilen 1.2x0.8 m'lik bir jaluzi yerleştirilmiştir. Alüminyumdan yapılmış ve siyaha boyanmış jaluzi tam açık pozisyonda ve yatay olarak yerleştirilmiştir. Bir data toplama cihazı ile çevre sıcaklığı test odasının sıcaklığı, iç camın, iç yüzey sıcaklığı, zemin, tavan, test odasının kuzey, batı ve doğu taraflarındaki duvarların yüzey sıcaklıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kütleli debi, pencereler arasındaki mesafe, dilimlerin eğim açısının hava-tutuculu pencerenin ısı performansı üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Kütleli debide meydana gelen artışın verimi artırdığı, camlar arasındaki mesafede meydana gelen artışın verimde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Güneş enerjisi iki yolla oda içerisine girmektedir. Birinci yolda iç camın iç yüzeyinden oda içerisine doğal konveksiyon ve radyasyonla iletilen enerjidir. İkinci yolda ise, enerji-hava tutuculu pencere içerisinde yutucu levhalardan havaya zorlanmış konveksiyonla transfer edilir. Kollektör de dolaşan hava ısıtılır ve odaya tekrar verilir. Hava sirkülasyonu bir fan yardımıyla sağlanmıştır. Enerjinin geri kanal kısmı da kollektör yüzeyinden çevreye kaybolur. Hava-tutuculu pencere mesafeleri 0.10 m, 0.15 m ve 0.20 m seçilmiştir. Gelen güneş ışınım miktarı gün boyunca sürekli değiştiği için test odası içerisindeki sıcaklık ile kollektöre giren ve çıkan havanın sıcaklıkları da sürekli değişmiştir. 15 dakika aralıklarla sıcaklık ölçümleri yapılmış ve deneysel verileri toplamak için bir programlanabilir data toplama cihazı kullanılmıştır. Bir gün boyunca 19 data alınmıştır. Sıcaklık ölçümlerinde yaklaşık  $\pm 6$  °C 'lik hatalar yapılmıştır.

Yapılan deneylere göre parçalı bulutlu bir günde sıcaklıklarda bir dalgalanma olmuş, bulutsuz bir günde ise ışınım miktarı öğle saatlerine kadar artış gösterip daha sonra azalışa geçmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, kış şartlarında akışkan olarak hava kullanılan pencere tipi bir güneş kollektöründeki deneysel çalışmanın sonuçlarını vermektedir. Hava-tutuculu pencerenin ısı performansı üzerinde yutucu levha açısının kütleli debinin ve hava-tutuculu pencere mesafesinin etkisi incelenmektedir.

Peter Novak tarafından yapılan bir çalışmada ise çift camlı pencerelerde üstten açık, yalıtımlı ekran için ısı transferi sonlu farklar metodu kullanılarak teorik ve deneysel

olarak incelenmiştir. PHOENICS ve ticari olarak uygun CFD paketi kullanılarak yarı açık boşluk oluşturan perdeli ve sifonlu çift camlı pencerede ısı transferi incelenmiştir. Değişken sıvılar için  $10 \leq R \leq 90$  ve  $1 \times 10^8 \leq Gr \leq 3 \times 10^9$  akış rejimleri değerlendirilmiştir. Sayısal sonuçlar, sıcaklık, ısı değişimi ve akışın gözlemlendiği bir takım deneylerle geçerli kılınmıştır. Navier-Stokes denklemlerinden yola çıkarak, akış gözlemlerinden elde edilen sonuçlar ile enerji, momentum ve diferansiyel denklemler yazılmıştır. Fourier ısı iletim kanunu, Newton'un soğuma kanunu ve Stefan-Boltzmann ısı ışıınımı kanunlarından yola çıkarak nümerik bir metot tanımlanmıştır. Bu nümerik metot için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Sabit rejim
- Akış laminar
- İki boyutlu akış
- Akış sıkıştırılmaz, Newtoniel ve ideal gaz

Üsten açık çift camlı pencerelerde iç atmosfer ile dış atmosfer arasında yazın ve kışın ölçümler yapılmış ve çift camlı pencerelerde ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır.

Zhang tarafından yapılan çalışmada çift camlı pencere içine yerleştirilen bir perdenin (jaluzi) ısı transferi açısından izolasyon etkisi incelenmiştir. Perde döndürülebilir yatay çizgilerden yapılan bir panjur sistemidir. Sıcaklık alanında, akış alanında ve bütün ısı transferinde geçirgen perdenin etkisi sayısal olarak tanımlanmıştır.

Muneer ve Han tarafından yapılan çalışmalarda çift camlı pencerelerde konvektif ısı transferi hesabı için bir analiz ortaya konulmuştur. Ayrıca krypton ve xenon gibi ağır inert gazların kullanımına uygun potansiyel enerji tasarruflarına ilişkin çalışmalar yapılmıştır.

Abodahab ve Muneer tarafından yapılan çalışmalarda çift camlı pencerelerin yüksekliği boyunca sıcaklığını hesaplamada kullanılacak fiziksel bir model ortaya konulmuştur. Boylamsal sıcaklıkları hesaplamak için ölçümler ve modelleme teknikleri kullanılmıştır. Bir başka çalışmalarında ise, çift camlı pencerelerde



oluşabilecek yoğunlaşma frekansı değeri hesaplayacak bir hesap tablosu yazılımı geliştirilmiştir.

Yapılan araştırmalarda camlar arası hava katman kalınlığının ısı yalıtımına etkisi için bugüne kadar deneysel bir çalışma yapılmamış olup, bu konudaki çalışmalar sadece teorikte kalmıştır. Jaluzinin sadece güneşin görünür ve görünmez ışınlarını geçirme kapasitesi incelenmiş, jaluzilerin ısı yalıtımına olan katkılarından bahsedilmemiştir.

Bu çalışmanın amacı; Çift camlı pencerelerde hava katmanı kalınlığının ve jaluzi şeklindeki güneşliklerin ısı transferine olan etkilerinin incelenmesidir. Bunun için farklı kanal mesafeleri test edilmiş ve yalıtım özelliği belirlenmiştir. Elde edilecek veriler, pencere üreticileri için yalıtım özelliklerinin belirlenmesinde esas teşkil eden ısı dirençlerinin doğru hesaplanabilmesi bakımından önemlidir.

Yapılan deneysel çalışmalara paralel bir çalışma 2000 yılında Orhan Aydın tarafından teorik olarak yapılmıştır. Farklı iklim koşulları gösteren dört şehir ele alınmış ve sonlu farklar metodu kullanılarak çift camlı pencereler için optimum hava katmanı kalınlıkları belirlenmiştir. Bu şehirler Ankara, Antalya, Kars ve Trabzon olarak seçilmiştir. Hava katmanı kalınlığı 3-40 mm arasında değişmektedir. Enerji kayıplarının hava katmanı kalınlığını optimize ederek azaltılabileceği gösterilmiştir. Her bir şehir için kış sıcaklıkları ölçülmüş, iç sıcaklık 21 °C olarak belirlenmiştir. Her bir şehir için sıcaklık farkı (T), Prandtl (Pr), Rayleigh sayısı (Ra) verilmiştir. Bu parametreler şehirlere göre farklılık gösteren akış ve ısı transfer mekanizmasını elde etmek için bilgisayar kodunda ilk data olarak kullanılmıştır. Camlar arası mesafeler değiştirilerek her mesafe için Nu sayıları bulunmuştur. Hava katmanı kalınlığının 15 mm daha büyük değerler için kalınlıkla birlikte Nu sayısının da attığı görülmüştür. Isı iletim katsayısının düşük olduğu durumda hava katmanının izolasyon malzemesi gibi davrandığı görülmüştür.

Sonuç olarak, sonlu fark tekniği kullanılarak doğal konveksiyonla ısı transferinin teorik olarak araştırılması sonucu her bir şehir için çift camlı pencerelerde optimum hava kalınlığı tabakası belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre optimum kalınlık,

Antalya için 18-21 mm, Trabzon ve Ankara için 15-18 mm, Kars için 12-15 mm olarak bulunmuştur.

Prensip olarak burada yapılan deneysel çalışma, bu çalışmaya paralel bir çalışma olup, matematiksel hesaplarla bulunan sonuçlara burada deneysel ölçümlerle ulaşılmıştır. Orhan Aydın'ın çalışmalarında pencerelerdeki hava katman kalınlığının artmasıyla ısı transferini azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Burada yapılan deneysel çalışmalarda da pencereler arasındaki hava katman kalınlığı arttıkça camdan geçen ısı transferinin azaldığı görülmüştür.

Dünyada birçok ülkede 1940'lardan beri geniş bir kullanım alanı bulan jaluziler, ülkemizde inşaat ve pencere sistemlerinin standart olmayışı nedeniyle kısıtlı kullanılan bir perde sistemi oldu. Ancak son yıllarda, jaluzi satan pek çok firma, aynı zamanda jaluzi üretmeye başlayınca, mekana ve ölçüye göre üretilen jaluzilerin tül ve kumaş perdelerle rekabeti kızıştı. Bu firmalardan biri İstanbul'da yer alan Jaluzicam'dır. Bu çalışmalar esnasında bu firma ile ikili görüşmeler yapılmış ve 25 mm ara boşluğa jaluzi uygulaması yapılarak, bunun ısı yalıtımına etkisi incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. PROBLEMİN TANITIMI VE ARAŞTIRMA İHTİYACI**

Camlı sistemlerde ısı kayıplarının fazla enerji sarfiyatına yol açması neticesinde farklı sistemlerin araştırılıp geliştirilmesi yoluna gidilmiştir. Birim enerji fiyatlarının hızlı bir şekilde yükselmesi bu araştırmaları sürekli kılmaktadır. Pencere tasarımı, binanın enerji korunum düzeyini, doğal aydınlatma, havalandırma, güneşten pasif kazanç sağlama olanaklarını, dolayısıyla binanın ısıtma, soğutma, yapay aydınlatma, yapay havalandırma nedeniyle enerji miktarını şekillendirmektedir. Gereksiz ısı kayıplarının kontrol altına alınabilmesi amacıyla çift cam kullanımının ısı kayıplarına etkisi incelenmiştir. Pencereelerde nitelikli çift camların kullanılmaya başlanmasıyla doğal aydınlanma, estetik, konfor ve ısı kayıpları açısından önemli ölçüde tasarruf sağlanabilmektedir.

Yüksek enerji sarfiyatlarından dolayı, yalıtım ve ısı tasarrufunun önem kazandığı günümüzde, diğer bir konfor faktörü olan aydınlatma ve gölgeleme sistemleri (Jaluziler) evlerde, ofislerde ve havaalanlarında aktif ve pasif olarak kullanılmaktadır. Günümüzde özellikle modern yapıların gölgelendirilmesinde kullanılan güneş kırıcı sistemler (Sun Control) insanın gün ışığına olan ihtiyacını karşılarken, dış dünya ile görsel temasını da devam ettirmektedir. Bu sistemler, lamellerin hareketli ve sabit olarak uygulandığı detay çözümleri içerir. Yapının bulunduğu yere göre, iklim şartları göz önüne alınarak, en ideal gölgeleme ve motorlu kumanda tesisat düzeni tespit edilir. Güneş rüzgar sensörü ile jaluzinin lamelleri otomatik olarak gün ışığına göre hareket eder. Bu sayede gün ışığının bir ayarlayıcısı olur. Daha çok havaalanlarında ve fuar binalarında karşılaşılan bu sistem iklim şartlarına duyarlı olarak güneş kontrolü sağlamaktadır.

Bugüne kadar aydınlatma ve gölgelendirme sistemlerinin konfor ve temizlik açısından yararları üzerinde durulmuş, ısı transferine olan etkileri incelenmemiştir. Bu çalışmada jaluzilerin ısı yalıtımına etkisi incelenmiştir.

Çift camlı sistemlerde camlar arası mesafe değiştirilerek ısı kayıplarına olan etkisi de incelenmiştir. Sonuç olarak çift cam kullanımı, çift cam arası mesafeyi yalıtım açısından optimum değere ulaştırmanın ısı kayıplarını azalttığı tespit edilmiştir.

Bu tespit ile çift cam kullanılması ve camlar arası optimum mesafenin elde edilmesi durumunda enerji tasarrufu sağlandığı gözlemlenmiştir.

Camlı sistemlerde ısı kayıp araştırmaları esnasında çift camlı sistemlerde camlar arasına lamelli yapılar konularak ısı yalıtımına lamelli yapının katkısı araştırılmıştır. Bu aşamada görülmüştür ki az da olsa ısı kazanımı sağlanmaktadır.

Çeşitli renk ve ölçü alternatifi ile sayısız dekorasyon olanakları sunan jaluziler, sağladığı kullanım kolaylığı ile de dikkat çekmektedir. Kolayca açılarak bütün pencereyi tamamen açıktaki bırakabilen bu perdeler, ayrıca içeri giren ışık miktarını da ayarlayabilmektedir. Belli aralıklarla yıkamaya ihtiyaç duyulmaması ve kolay temizlenebilmesi de jaluzinin çok tercih edilmesinin başka bir nedenidir.

Alüminyum ve ahşap malzeme ile gün ışığına olağanüstü formlar kazandırabilen jaluzi sistemleri , iki cam arasına yerleştirilen jaluzi ile elde edilmektedir.

Seri üretime uygunluğu ile diğer sistemlere göre daha ucuz olan jaluziler, alüminyum ve ahşap olmak üzere iki ayrı malzemedeki üretilir. Alüminyum jaluzi, hafif ve dayanıklı olduğu için çok tercih edilen bir sistemdir. Ayrıca tüketiciye sayısız renk seçeneği sunar ve dar alanlarda bile rahatça uygulanabilir.

Piyasada 16 mm'den 50 mm'ye kadar çok değişik ebatta kanat genişliğine sahip alüminyum jaluziler satılmaktadır. Ayrıca çift cam arasına uygulanan ya da motorlu sistemle açılıp kapanan modelleri de mevcuttur. Camlar arasına koyulan en uygun jaluzi ebatı 16-20 mm arasındadır. Çünkü camlar arası mesafe açtıkça aradaki hava

katı cisim gibi davranmamaya başlar, hava hareketlenir ve bu noktadan sonra camın yalıtım değeri düşer.

Alüminyum jaluziye kıyasla daha sıcak görünümlü ve dekoratif olan ahşap jaluziler ise bantlarının düz ve formsuz oluşundan dolayı tam örtücü olmasalar da özellikle geniş pencerelerde çok iyi sonuçlar verebilmektedir.

Jaluzi perde sistemlerinin sağlamış olduğu kullanım üstünlükleri;

- Isı enerji tasarrufuna az da olsa katkıda bulunur,
- Tüm pencereyi açıkta bırakabilecek şekilde toplanabilirler,
- Tamamen kapanarak içerinin görünmesini engeller,
- Pratik mekanizması ile kolayca kullanılır,
- İstenilen ölçülere göre üretilebildiği için her mekana kolayca uyum sağlayabilir,
- Perde ve tüllerde ki gibi belirli aralıklarla yıkama gerektirmez,
- Uzun kullanımlarda deterjanlı bezle temizlenebilir,
- Gerekirse alüminyum jaluziler, duşun altında deterjanla yıkanabilir,
- Çift cam arasına uygulanan jaluziler temizlik gerektirmez, şeklinde sıralanabilir.

Jaluzi perde sistemleri satın alınırken dikkat edilecek hususları ;

- Alüminyum jaluzi alınırken, kanatların fırın boya olmasına dikkat edilmesi gerekir,
- Jaluzi kanatlarının çok ince olması hemen deforme olmasına yol açabilir,
- Çelik alaşımla üretilmiş üst raylar, alüminyum olanlara göre daha dayanıklıdır,
- Kullanılan iplerin kalın olması mekanizmanın zor çalışmasına sebep olur,
- Çok ince olması mekanizmanın deforme olmasına sebep olur,
- Ahşap jaluzilerin ağırlığına göre çelik alaşımlı üst ray ipler tercih edilmelidir, şeklinde sıralanabilir.

## **BÖLÜM 3. ISI TRANSFERİ ESASLARI**

### **3.1. Giriş**

Isı geçişi, sıcaklık farkından dolayı sistem ve çevresi yada maddeler arasında meydana gelen enerji akışını araştıran bir bilimdir. Madde alışverişi olmaksızın sadece sıcaklık farkından dolayı meydana gelen bu enerji, ısı geçişi olarak tanımlanır. Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru kendiliğinden akar. Geçen ısı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez ama meydana getirdiği tesirler gözlenebilir ve ölçülebilir.

Isı geçişi üç şekilde meydana gelmektedir ;

#### **3.1.1. İletim**

Madde veya cismin bir tarafından diğer tarafına ısının iletilmesi ile oluşan ısı transfer çeşididir. Isı transferi daima yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğrudur. Yoğun maddeler genelde iyi iletkenlerdir; örneğin metaller çok iyi iletkenlerdir.

#### **3.1.2. Taşınım**

Katı yüzey ile akışkan arasında gerçekleşen ısı transfer çeşididir. Akışkan içindeki akımlar vasıtası ile ısı transfer edilir. Akışkan içindeki veya akışkanla sınır yüzey arasındaki sıcaklık farklarından ve bu farkın yoğunluk üzerinde oluşturduğu etkiden doğabilmektedir.

### 3.1.3. Işınım

Fotonlar(elektromanyetik radyasyon) yolu ile olan ısı transferidir.

## 3.2 İletimle İle Isı Geçişi

Bir cisim içinde sıcaklık basamağı meydana geldiğinde, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru enerji akışı meydana gelir. Bu cisim katı, sıvı ve gaz olabilir. Sıvı ve gazlarda atom ve moleküllerin hareket etmeksizin birbirlerine teması sonucu sıcaklık farkından dolayı, ısı enerjisinin geçmesi de ısı iletimi ile gerçekleşmektedir. İletim ile geçen ısı enerjisini ilk ifade eden J.B.Fourier olduğundan bu ifadeye Fourier ısı iletim kanunu denir.

Birim alandan iletim ile geçen ısı miktarı, ısının geçiş yönündeki sıcaklık gradyanı ile orantılıdır. Buna göre ;

$$\frac{Q_x}{A} \approx \frac{dT}{dx} \text{ ' olur.} \quad (3.2.1)$$

$$Q_x \cong -kA \left( \frac{dT}{dx} \right) \quad (3.2.2)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıya Fourier ısı iletim kanunu adı verilir.

$Q_x$  : Birim zamanda geçen ısı miktarı ( $W$ )

$A$  : Isı geçiş yönüne dik yüzey alanı ( $m^2$ )

$k$  : Malzemelerin ısı iletim katsayısı ( $\frac{W}{mK}$ )

$\left( \frac{dT}{dx} \right)$  : Isı geçişi yönündeki sıcaklık gradyanı ( $\frac{K}{m}$ )

### 3.2.1. Isı iletim katsayısı

Isı iletim katsayısı birim kalınlıktaki bir cismin, birim yüzeyinden birim zamanda cismin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$  olması halinde geçen ısı miktarıdır. Isı iletim katsayısı sıcaklığa, malzemenin bileşimine, malzemenin

gözenekli olup olmamasına, malzemenin içindeki neme, ısının geçtiği yöne ve benzeri fiziksel ve metalurjik etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Malzemelerin fiziksel ve metalurjik özelliklerinin, ısı iletim katsayılarına etkileri için aşağıdakiler söylenebilir.

- 1.) Saf metallerin ısı iletim katsayısı sıcaklık arttıkça azalır.
- 2.) Alaşımlarda ve yalıtım malzemelerinde ısı iletim katsayısı, sıcaklık arttıkça artar.
- 3.) Isı yalıtım malzemelerinde yoğunluk ve sıcaklık arttıkça ısı iletim katsayısı artar.
- 4.) Saf maddenin ısı iletim katsayısı, içersine başka bir bileşen ilave edilir ise azalır.
- 5.) Nem genellikle bütün malzemelerin ısı iletim katsayısını artırır.
- 6.) Gazlarda sıcaklık arttıkça gaz moleküllerinin hareketi arttığından dolayı ısı iletim katsayısı artmaktadır.
- 7.) Sıvılarda sıcaklık arttıkça çoğu sıvının ısı iletim katsayısı azalmakla birlikte bazı sıvılarınki artmaktadır.
- 8.) Suyun ısı iletim katsayısı, suyun sıcaklığı yaklaşık 140 °C 'de ısıtılmaya kadar artmakta daha sonra azalmaya başlamaktadır.

Isı iletim katsayısı arttıkça ısı geçişi artmaktadır. Isı geçişinin iyi olmasının istenildiği durumlarda ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeler, ısı geçişinin azaltılması istenildiği durumlarda ise, ısı iletim katsayısı küçük olan ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları  $0,03 \pm 0,08$  W /m K arasındadır.

### 3.2.2. Isı geçişi problemlerinde yapılabilecek kabuller

Isı geçişi işlemlerinde birçok değişken etkili olduğundan problemin tam çözümünü yapmak neredeyse imkansızdır. Bu durumlarda bazı kabuller yapıp, problem basite indirgenerek çözülür. Yapılacak kabulleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Cismin termo-fiziksel özelliklerinin sabit olup olmadığı,
- Cismin içinde sıcaklık dağılımının olup olmadığı,
- Cismin içinde ısı üretiminin olup olmadığı,
- Isı geçişinin kaç boyutlu olduğu,



- Cismin geometrisinin belirlenmesi,
- Isı geçişinin zamana bağlı olup olmadığı durumlarda.

### 3.2.3. Düzlem duvarda iletim ile ısı geçişi

İki yüzeyi farklı sıcaklığa sahip olan düzlem duvardan geçen ısı miktarı, Fourier ısı iletim kanunu ile hesaplanabilir. Problem çözümünde yapılan kabuller;

- Isı geçişi bir boyutludur.
- Duvar içerisinde ısı kaynağı yok.
- Malzeme özellikleri sabit.
- Sabit rejim.

$$Q_x \cong -kA \left( \frac{dT}{dx} \right)$$

$$\text{İntegral alınır ise ; } Q_x \int_{x_1}^{x_2} dx = -kA \int_{T_1}^{T_2} dt \quad (3.2.3)$$

$$Q_x (x_2 - x_1) = -kA (T_2 - T_1) \quad (3.2.4)$$

$$Q_x = -kA \left( \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (3.2.5)$$

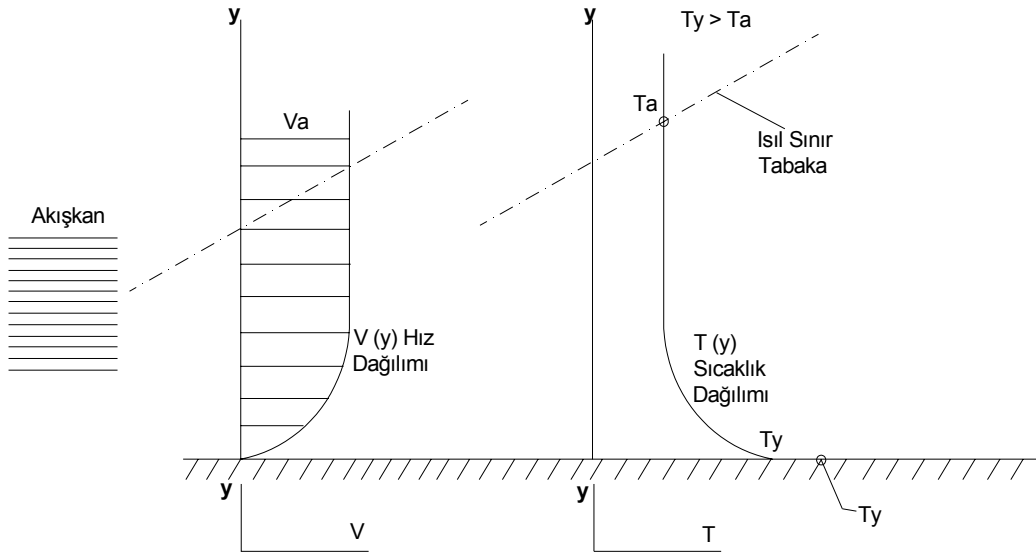
olur.

### 3.3. Taşınım İle Isı Geçişi

Taşınım ile ısı geçişini bir örnekle açıklayalım; Sıcak bir levhanın üzerine soğuk hava üflendiğinde, levhanın daha çabuk soğuyacağı bilinmektedir. Bu olaydaki ısı geçişi ısı taşınım ile olmaktadır. Levhaya çarpan hava molekülleri ısıyı alarak uzaklaşmaktadır. Havanın hızı arttıkça levhanın soğuması daha hızlı olmaktadır.

Aşağıdaki şekildeki gibi;

$T_y$  sıcaklığındaki yüzey üzerinde  $T_a$  sıcaklığındaki bir akışkanın, yüzeye paralel olarak aktığını düşünelim  $T_y > T_a$  olsun. Geçiş bölgesinde akışkan hızı  $V_a$  'ya kadar değişmekte daha sonra sabit kalmaktadır. Akışkan hızının sıfırdan  $V_a$  'ya kadar değiştiği bu geçiş bölgesine hidrodinamik sınır tabaka denir. Akışkan ile yüzeyin sıcaklıkları farklı olduğundan, yüzeyden itibaren akışkan içerisinde  $T_y$  sıcaklığından  $T_a$  sıcaklığına kadar, sıcaklığı değişen bir akışkan bölgesi meydana gelir. Bu bölgeye ise ısı sınır tabaka denir. Isıl sınır tabaka hidrodinamik sınır tabakadan büyük, küçük yada eşit olabilir. Isıl sınır tabakanın dışındaki akışkan sıcaklığı artık  $T_a$  sıcaklığındadır. Taşınım ile olan ısı geçişi, sıcaklığın değişken olduğu ısı sınır tabaka içerisinde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.1. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi  $T_y$  sıcaklığındaki yüzey ile temasta bulunan  $T_a$  sıcaklığındaki akışkan arasındaki ısı geçiş ifadesi 1701 yılında Newton tarafından bulunmuştur. Bu ifade Newton'un soğuma kanunu olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Q = hA(T_y - T_a) \quad (3.3.1)$$

$h$  : Isı taşınım katsayısı  $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

$A$  :Alan  $m^2$

$T_y$  : Yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_a$  : Akışkan sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

Burada ısı taşınım katsayısı  $h$ , akışkanın cinsine , akış hareketinin türbülanslı veya laminer oluşuna, akışkanın hareketli olup olmadığına , yüzey ve akışkanın geometrik ilişkisine, ortamın termo-fiziksel ve ısıl özelliklerine ve benzeri birçok etkene bağlıdır. Bu yüzden, ısı taşınım katsayısı bazı temel geometriler dışında deneysel olarak tespit edilir.

Yüzey ile akışkan arasında meydana gelen ısı taşınım katsayısı bazı geometrik durumlarda yüzeyin her noktasında aynı olmayabilir. Isı geçişi hesaplarında, tüm yüzey için geçerli olan ortalama ısı taşınım katsayısı kullanılır.

Isı taşınım katsayısına en büyük etkiyi akışkanın hareketi yapmaktadır. Sıcak bir levhanın üzerine soğuk hava üflendiğinde levhanın daha hızlı soğuyacağı bilinir. Levhaya çarpan hava molekülleri ısıyı alarak uzaklaşmaktadır. Havanın üflenmesi ısı taşınım katsayısını arttırmaktadır. Dolayısı ile hava hızı arttıkça levhanın soğuması daha hızlı olmaktadır. Akış hareketi laminer ve türbülanslı olabilir. Laminer akışta akış çizgileri hem düzgün hem de birbirine paraleldir. Bu tür akışa paralel akış da denilir.

Türbülanslı akışta ise akış çizgileri paralel olmayıp sağa doğru ilerlerken aşağı ve yukarı doğru hareket etmektedir. Bu tür akış karmaşık bir yapıya sahiptir ve akış çizgileri düzgün değildir. Akış hareketi, akışa neden olan etkenlerden dolayı zorlanmış taşınım ve doğal taşınım olarak ikiye ayrılır.

### 3.3.1. Zorlanmış taşınım

Basınç farkından ya da vantilatör veya pompa vasıtası ile meydana gelen akışa zorlanmış taşınım denir. Bu akıştaki ısı taşınımına da zorlanmış ısı taşınımı denir. Zorlanmış taşınım laminer yada türbülanslı olabilir.

### 3.3.2. Doğal taşınım

Akışkan içindeki sıcaklık farkının meydana getirdiği, yoğunluk farkından dolayı oluşan akışa doğal taşınım denir. Bu akıştaki ısı taşınımına da doğal ısı taşınımı denir. Doğal taşınım da laminer ya da türbülanslı olabilir.

Isı taşınım katsayısı aşağıdaki şekillerde hesaplanır.

- 1.) Analitik çözüm
- 2.) Sayısal çözüm
- 3.) Grafik çözüm
- 4.) Deneysel çözüm
- 5.) Boyut analizi
- 6.) Benzeşim yöntemi

Analitik çözümde süreklilik, momentum ve enerji sınır tabaka denklemleri matematiksel yollarla çözümlenerek sonuca gidilir. Benzeşim metodunda ise, ısı geçişi olayı kütle, hidrolik veya elektrik olaylarının hangisine benziyorsa, o yolla çözüm benzerliği kurularak çözüme gidilir. Deneysel çözümde deneyler yapılarak gerekli katsayılar bulunur. Deney parçası gerçek boyutlarda ya da model boyutlarda olabilir. Ama her ikisinin de sonuçlarını genelleştirmek gerekir. Bunun için boyutsuz sayı gruplarından yararlanılır.

## 3.4 . Düşey Bir Yüzeyde Doğal Isı Taşınımı

Bir levha, sıcaklığı kendi sıcaklığından farklı bir sıcaklık içinde bulunuyor ise, ısı geçişinden dolayı levhaya dik doğrultuda sıcaklık basamağı oluşur. Bu sıcaklık

basamağı yoğunluk farkına, bu da doğal taşınımın nedeni olur. Doğal taşınımın da zorlanmış taşınımın da olduğu gibi, yüzeyle akışkan arasında sınır tabakalar oluşur.

$T_y$  :Yüzey sıcaklığı

$T_\infty$  :Akışkan sıcaklığı olmak üzere;

Sınır tabakalar, yüzey sıcaklığının akışkan sıcaklığından büyük olması halinde şekil 3.1’de gösterildiği gibi meydana gelir. Eğer yüzey sıcaklığı akışkan sıcaklığından büyük ise  $T_y > T_\infty$  ise taşınım hareketi yukarıya doğru, eğer yüzey sıcaklığı akışkan sıcaklığından küçük ise  $T_y < T_\infty$  taşınım hareketi aşağıya doğru olur. Doğal taşınım hareketi laminar yada türbülanslı olabilir.

Sabit yüzey sıcaklığında, akışkanın sıkıştırılamaz olması halinde, doğal taşınım için boyut analizi yapılır ise, doğal ısı geçişi için;

$$N_u = A(Gr - Pr)^B \quad (3.4.1)$$

şeklinde bağıntı elde edilir.

$Gr$  : Grashof sayısı ( $Gr$ ) akışkandaki doğal kaldırma kuvvetinin viskoz kuvvete oranı olarak tanımlanır. Düşey levhada Grashof sayısı;

$$Gr = \frac{g\beta(T_y - T_\infty)L^3}{\nu} \quad (3.4.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

$g$  : yer çekimi ivmesi  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$\beta$  : hacimsel genleşme katsayısı  $(K^{-1})$

$\nu$  : kinematik viskozite  $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

$L$  : levhanın yüksekliği ( $m$ )

$T_f$  : ortalama sıcaklık ( $K$ )

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left( \frac{d\rho}{dT} \right) \quad (3.4.3)$$

İdeal gazlar için  $\rho = \frac{P}{RT}$  olduğundan hacimsel genleşme katsayısı,

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left( \frac{d\rho}{dT} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{P}{RT^2} = \frac{1}{T} \quad (3.4.4)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad \text{ve} \quad T_f = \frac{T_y + T_\infty}{2} \quad (3.4.5)$$

Ortalama ısı taşınım katsayısı;

$$\bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx \quad (3.4.6)$$

integrali ile bulunabilir. Matematiksel işlemler yapıldığında ortalama

$$\bar{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = \frac{4}{3} Nu \quad (3.4.7)$$

şeklinde olur.

### 3.4.1 Düşey levhada laminer doğal ısı taşınımı

Doğal taşınım da  $10^8 < Gr_{kr} < 10^9$  aralığı laminerden türbülansa geçiş aralığıdır.

Eğer  $Gr < 10^8$  ise laminer doğal taşınım,  $Gr < 10^9$  ise türbülanslı doğal taşınım olur.

Doğal taşınım için sınır tabaka denklemleri çözülerek sabit yüzey sıcaklığında, düşey levha için sıkıştırılamayan akışkanlarda, ortalama Nusselt sayısı için,

$$\bar{Nu}_L = 0.677 Pr^{\frac{1}{2}} (0.952 + Pr)^{-\frac{1}{2}} Gr_L^{\frac{1}{4}} \quad (3.4.8)$$

bağıntısı kullanılır. Eğer akışkan hava ise  $Pr=0,714$  konularak;

$$Nu_L = 0.504 Gr_L^{\frac{1}{4}} \quad (3.4.9)$$

bağıntısı elde edilir.

### 3.4.2. Düşey levhada türbülanslı doğal ısı taşınımı

Doğal taşınım da laminerden türbülanslı akışa geçişte bir başka boyutta Rayleigh sayısıdır.

$$Ra_x = Gr_x Pr = \frac{g\beta(T_y - T_\infty)L^3}{\lambda\alpha} \quad (3.4.10)$$

Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş bölgesi  $4 \cdot 10^8 < Ra_{kr} < 6 \cdot 10^{10}$  aralığındadır.

Sabit yüzey sıcaklığında türbülanslı doğal ısı taşınımı için, levha ucundan itibaren türbülansın başladığı kabul edilerek integral denklemi kullanılarak çözüm yapılır ise, ortalama Nusselt sayısı;

$$Nu_L = 0.0246 Gr^{\frac{2}{5}} Pr^{\frac{7}{15}} \left[ 1 + 0.494 Pr^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (3.4.11)$$

şeklinde elde edilir.

### 3.4.3. Kapalı dar kanal içinde doğal taşınım

Farklı sıcaklıktaki kapalı yüzeyler arasında kalan ince akışkan tabakalarında ısı geçişinin iletim ile mi yoksa taşınım ile mi olduğunu kritik Rayleigh sayısı belirtir.

Eğer,

$$Ra_{kr} > 1708 \text{ ise}$$

Doğal taşınım olayı başlar. Küçük ise ısı geçişi iletim ile gerçekleşir. Kapalı dar kanalda Rayleigh sayısı ve Nusselt sayısı,

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_1 - T_2)L^3}{\lambda\alpha} \quad (3.4.12)$$

şeklinde ifade edilir.

$$\bar{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} \quad (3.4.13)$$

şeklinde ifade edilir.



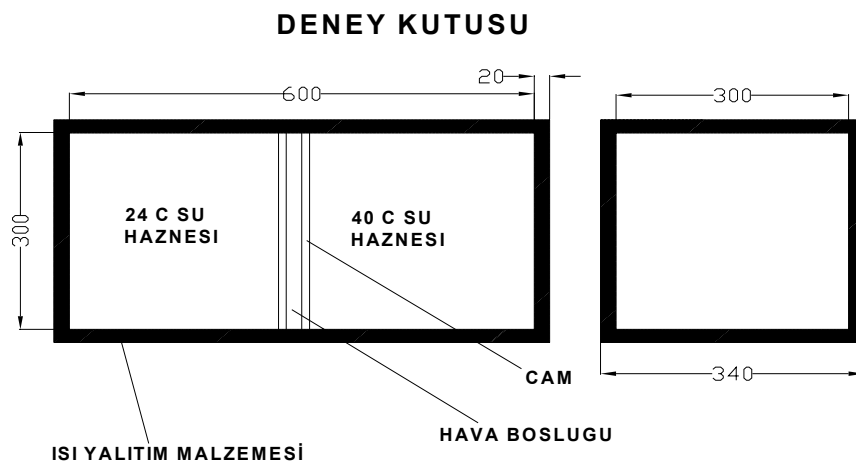
## BÖLÜM 4. ÖLÇME DÜZENEĞİ VE TANITILMASI

### 4.1. Araştırmanın Yapılabilmesine İmkan Veren Test Düzeneginin Tasarımı

Test düzeneginin ölçülerini belirlerken, düzenek içerisine konulacak su miktarlarının fazla olmamasına, kabın içerisine konulacak camların küçük ebatta olmasına, kullanılacak izolasyon malzemesinin aşırı kullanımına sebep olmamasına dikkat edilmiştir ve deney düzeneginin rahat taşınması dikkate alınarak test düzeneginin ölçüleri belirlenmiştir. Test düzenegi malzemesinin Alüminyum seçilmesinde en önemli etken, düzenegin hafif olmasının sağlanmasıdır. Düzenekte ısı yalıtım malzemesi kullanılmasındaki amaç dışarıya olan ısı kayıplarını azaltmaktır.

Ev ve ofislerde standart ortam sıcaklıkları 24-26 °C arasında olduğundan yaz ve kış aylarında laboratuvar ortamında bu sıcaklıkları sağlamak mümkün olabileceğinden dolayı ortam sıcaklığı 24 °C seçilmiştir.

### 4.2. Deney Düzeneginin Hazırlanışı



Şekil 4.1. Deney Düzenegi

Et kalınlığı 3 mm olan alüminyum saç levhadan boyutları 300x300x600 mm olan dikdörtgen kesitli bir deney kutusu yapılmıştır. Deney kutusunun yapımı için Alüminyum saç plakadan uygun ebatta parçalar kesilmiş ve gerekli bükülme işlemine tabi tutulmuştur.

Alüminyum malzeme kaynağında kullanılan TIG elektrot kaynağı kullanılmak sureti ile hazırlanan tüm parçalar kaynaklı imalat metodu ile kaynatılarak deney kutusu oluşturulmuştur.

Deney kutusunun sızdırmazlığının sağlanması amacı ile deney kutusu su doldurularak teste tabi tutulmuştur ve test neticesinde deney kutusunda sızdırma olmadığı gözlemlenmiştir.

Kaynak ile birleştirilen kesişim köşelerine, hem görsellik hem de sızdırmazlık açısından ek tedbir olarak mastik uygulaması yapılmıştır ( tüm kaynak hatları mastik ile kapatılmıştır).

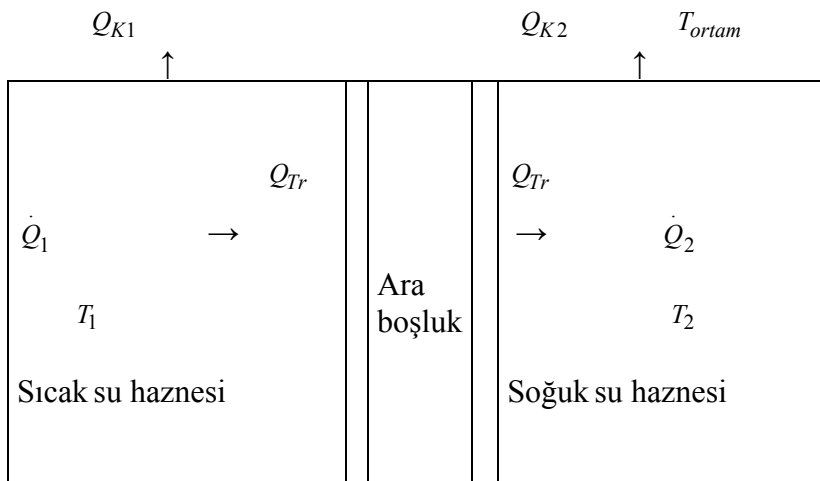
Deney kutusunun üst yüzeyi hariç dört bir tarafı ve taban kısmı tabaka halindeki beyaz ısı yalıtım malzemesinden (Strafor malzeme) uygun ölçülerde kesilerek kaplama yapılmıştır ve kaplama yapılan kutuya ısı yalıtım parçaları, kutu etrafı boyunca bant çekilmesi sureti ile sabitlenmiştir, amaç ek yerlerinden ısı kaybının önüne geçilmesidir.

Isı yalıtım parçaları birleşme doğruları boyunca ısı kaybı olmaması için, parçalar alın altına sıkı bir şekilde temas ile birleştirilmiştir ve bu konumda bant çekilerek sabitlenmiştir. Deney kutusunun üst açık kısmının deney esnasında örtülmesi içinde uygun ölçüde 20 mm ısı yalıtım malzemesinden bir parça daha kesilmiştir. Bu parça deney esnasında kutu üzerine yerleştirilmiş ve kenar kısımlarda mevcut olan ısı yalıtım parçaları üzerine açıkta malzeme kalınlığı kalmayacak şekilde oturtulmuştur, üzerine kenar kısımları havada kalmayacak şekilde ağırlık konularak sıcak hava çıkışlarının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

#### 4.2.1. Deney düzeneğinde ısı transfer mekanizması

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden yola çıkılarak sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunmuş ve bu kayıplar yardımı ile iki akışkan arasında camdan olan ısı transfer değerleri bulunmuştur. Ölçüm yapılan süre zarfında sıcak su sürekli olarak ısı kaybetmiştir. Kaybolan ısının bir kısmı çevreye bir kısmı da soğuk su haznesine olmuştur. Bu süre zarfında soğuk suyun sıcaklığı başlangıçta çevre sıcaklığı ile aynı derecede olduğundan sıcak sudan gelen ısıyı alarak ısısı yükselmeye başlamıştır. Bu durum sıcak su ile soğuk suyun ısıları eşit oluncaya kadar devam etmiştir. Suların ısıları eşitlendikten sonra soğuk suyun ısısı çevrenin ısısından yüksek bir değerde olduğundan çevreye ısı kayıpları başlamıştır ve sıcak su ile soğuk su çevreye ısı vererek sıcaklığı düşmeye başlamıştır. Diğer taraftan deney düzeneğinde kullanılan Alüminyum ısı ve elektriği iyi ileten bir malzeme olduğundan dolayı deney düzeneğindeki Alüminyum saç levhadan da bir ısı transferi söz konusudur. Saç levhadan olan ısı transferleri de bulunmuştur.

Aşağıdaki tabloda deney düzeneği üzerinde gerçekleşen kayıp ısılar ve transfer olan ısılar gösterilmiştir.



$Q_{saç}$

Şekil 4.2. Deney düzeneğindeki ısı transferlerinin gösterimi

Yukarıdaki şekilde;

- 1.) Sıcak su bölümünden çevreye  $Q_{K1}$  ve soğuk suya geçen  $Q_{Tr}$  ısıları geçmektedir, yani iç enerjisi sürekli düşmektedir.
- 2.) Soğuk suya  $Q_{Tr}$  girmekte (çift camdan ve kap malzemesi üzerinden iletimle) ve buradan da çevreye  $Q_{K2}$  ısıyı kaybedilmektedir.
- 3.) Soğuk suyun iç enerjisi sürekli artmamaktadır, zira; soğuk suyun sıcaklığı çevre sıcaklığının üzerine çıktığında, çevreye ısı kayıpları başlar ve artarak devam eder. Sıcak suyun sıcaklığı düştüğü için hazneler arası transfer edilen ısı miktarı azalır ve soğuk suyun çevreye kaybettiği ısıya eşit olduğu durumda soğuk suyun sıcaklığı maksimum değerine ulaşır. Çevreye olan kayıplardan dolayı soğuma devam edeceğinden soğuk suyun sıcaklığı bu kez de düşmeye başlar.

### 4.3. Ölçme Teknikleri

Ölçüm araçları ;

- 1.) Termometre ( 3 adet )
- 2.) Kronometre
- 3.) Metre
- 4.) Tartı
- 5.) Silikon
- 6.) Falçata
- 7.) 8 mm kalınlığında 1 adet düz cam.
- 8.) 4 mm kalınlığında 2 adet düz cam.
- 9.) Silikon tabancası
- 10.) 5 , 10 , 25 mm kalınlığında ahşap cam takozları
- 11.) 20 mm lamelli 1 adet jaluzi

### 1.) Termometre

Deney yapılan ortam sıcaklığının ve deney kutusu içerisindeki akışkanların sıcaklıklarının belirlenmesi için 0,1 °C hassas hekim termometresi kullanılmıştır.

### 2.) Kronometre

Deney esnasında belirlenen zaman aralıklarında sıcaklık tespiti için zamanın ölçülmesinde kullanılmıştır.

### 3.) Metre

Deney kutusunda camlar ile bölünerek oluşturulan haznelerin derinlik, en ve boy ölçümünün yapılması için kullanılmıştır.

### 4.) Litre ölçekli kap

Deney kutusunun haznelere belirlenen miktarlarda akışkan konulması için kullanılmıştır.

### 5.) Silikon

Deney kutusuna yerleştirilen camların kutu iç yüzey temas noktalarında bulunan boşlukların doldurularak sızdırmalığın sağlanması için kullanılmıştır.

### 6.) Falçata

Deney kutusundaki ve camlardaki silikonların temizlenmesi için kullanılmıştır.

### 7.) 8 mm kalınlığında 1 adet düz cam

8 mm cam kullanılarak yapılan ısı transfer deneyi için kullanılmıştır.

8.) 4 mm kalınlığında 2 adet düz cam

5 , 10 ve 25 mm ara boşluk bırakılarak ve 4 mm kalınlığında cam kullanılarak yapılan ısı transfer deneyi için kullanılmıştır.

9.) Silikon tabancası

Sızdırmazlığın sağlanması için gerekli kısımlara silikon çekilebilmesi için kullanılmıştır.

10.) 5 , 10 , 25 mm kalınlığında ahşap cam takozları

Deney kutusuna yerleştirilen camlar arasındaki mesafelerin korunması için master olarak kullanılmıştır.

#### **4.4. Deney Şartları ve Deney Parametreleri**

Deney ortamında ve deney kutusunda olması gereken şartlar;

- Dış ortam sıcaklığı  $24^{\circ}C$
- Deney kutusunda 1. haznedeki akışkan sıcaklığı  $24^{\circ}C$
- Deney kutusunda 2. haznedeki akışkan sıcaklığı  $40^{\circ}C$
- Deney kutusunda 1. haznedeki akışkan sıcaklığı  $14^{\circ}C$
- Deney kutusunda 2. haznedeki akışkan sıcaklığı  $35^{\circ}C$
- 1. deneyde 8 mm kalınlığında tek cam kullanılarak sıcak ve soğuk hazne oluşturulması.
- 2. deneyde 4 mm kalınlığında iki adet cam kullanılarak ve camlar arası 5 mm ara boşluk bırakılarak sıcak ve soğuk hazne oluşturulması.
- 3. deneyde 4 mm kalınlığında iki adet cam kullanılarak ve camlar arası 10 mm ara boşluk bırakılarak sıcak ve soğuk hazne oluşturulması.
- 4. deneyde 4 mm kalınlığında iki adet cam kullanılarak ve camlar arası 25 mm ara boşluk bırakılarak sıcak ve soğuk hazne oluşturulması.

- 5. deneyde 4 mm kalınlığında iki adet cam kullanılarak camlar arası 25 mm ara boşluk bırakılarak ve bu ara boşluğa jaluzi konularak sıcak ve soğuk hazne oluşturulması ( $T_{\text{soğ}}:24^{\circ}\text{C}$  ve  $T_{\text{sıc}}:40^{\circ}\text{C}$ ).
- 6. deneyde 4 mm kalınlığında iki adet cam kullanılarak camlar arası 25 mm boşluk bırakılarak ve bu ara boşluğa jaluzi konularak sıcak ve soğuk hazne oluşturulması ( $T_{\text{soğ}}:14^{\circ}\text{C}$  ve  $T_{\text{sıc}}:35^{\circ}\text{C}$ ).

### **Deney Parametreleri:**

#### 1.Sabit Parametreler:

$m_1$  :8.5 lt Sıcak suyun kütleli debisi

$m_2$  :8.5 lt Soğuk suyun kütleli debisi

$h$  :80 mm Deney düzeneğine konulan suyun yüksekliği

$h T_{\text{ort}}$  :24  $^{\circ}\text{C}$  Ortam sıcaklığı

Haznelere koyulan suyun miktarı seçilirken, 5-6 tane lamelin üst üste gelebilmesi düşünülmüştür.

#### 2. Değişken Parametreler:

a-) Ölçüm aralıkları

b-) Camlar arası mesafe

c-) Sıcak ve soğuk suyun sıcaklıkları

### **4.5. Veri Toplama ve Değerlendirme**

1. Deney: Alüminyum saç levhadan hazırlanan dikdörtgen biçimli deney kutusu ortam sıcaklığı 24  $^{\circ}\text{C}$  olan bir odaya konuldu. Kalınlığı 8 mm olan düz bir cam kutuyu eşit iki hazneye bölecek şekilde kutunun içine yerleştirildi. Camın kutuyla birleşim yerlerine sızdırmazlık sağlaması amacı ile silikon çekildi. Daha sonra litre ölçekli kap vasıtasıyla belirlenen miktarlarda sular haznelere dolduruldu. Haznenin

bir tarafına 24 °C sıcaklığında 8.5 lt su, diğer tarafına da 40 °C sıcaklığında 8.5 lt su konuldu ve her iki hazneye de ortadaki cama yakın yerlerde bulunmak koşulu ile iki adet termometre yerleştirildi. Kutunun üst yüzeyi, daha önce üst yüzey alanını kapatacak şekilde kesilip hazırlanan 20 mm kalınlığında ısı yalıtım malzemesi olan strafor ile kapatıldı ve straforun üzerine, dışarıya olan ısı kaybını önlemek için ağırlıklar konuldu. 10 dakika sonra ilk ölçüm yapıldı. 30. dakikada ikinci ölçüm yapıldı. Daha sonra 15 dakikada bir ölçüm yapıldı. Sonra 30 dakikada bir ölçüm yapıldı. Toplamda 10 adet ölçüm yapıldı. Ölçüm verileri ve ölçüm zamanları kaydedildi.

2. Deney: İkinci olarak yapılan deneyde 4 mm kalınlığında iki adet düz cam alındı. Camlar kutunun içine aralarında 5 mm ara boşluk kalacak şekilde yerleştirildi. Camlar arasına 5 mm kalınlığına cam takozları konularak ara boşluk sabitlendi ve yine camların kutu ile birleşim yerlerine sızdırmazlık sağlaması amacı ile silikon çekildi. Litre ölçekli kap ile haznenin bir tarafına 24 °C sıcaklığında 8.5 lt su, diğerine de 40 °C sıcaklığında 8.5 lt su konuldu ve her iki hazneye de ortadaki cama yakın yerlerde bulunmak koşulu ile iki adet termometre yerleştirildi. Kutunun üst yüzeyi ısı yalıtım malzemesi olan strafor ile kapatıldı ve üzerine ağırlık konuldu. 8 mm cam ile yapılan deneydeki ölçüm aralıkları dikkate alınarak aynı zaman aralıklarında ölçümler yapıldı ve elde edilen veriler ve ölçüm zamanları kaydedildi.

3. Deney: Üçüncü olarak yapılan deneyde 4 mm kalınlığında iki adet düz cam aralarında 10 mm ara boşluk kalacak şekilde yerleştirildi ve camların kutu ile birleşim yerlerine sızdırmazlık sağlaması amacı ile silikon çekildi. Litre ölçekli kap ile haznenin bir tarafına 24 °C sıcaklığında 8.5 lt su, diğerine de 40 °C sıcaklığında 8.5 lt su konuldu ve her iki hazneye de ortadaki cama yakın yerlere olmak koşulu ile iki adet termometre yerleştirildi. Kutunun üst yüzeyi ısı yalıtım malzemesi olan strafor ile kapatıldı ve üzerine ağırlık konuldu. 8 mm cam ve 5 mm ara boşluklu yapılan deneydeki ölçüm aralıkları dikkate alınarak aynı zaman aralıklarında ölçümler yapıldı ve elde edilen veriler ve ölçüm zamanları kaydedildi.



4. Deney: Dördüncü olarak yapılan deneyde 4 mm kalınlığında iki adet düz cam aralarında 25 mm ara boşluk kalacak şekilde yerleştirildi. Ve camların kutu ile birleşim yerlerine sızdırmazlık sağlaması amacı ile silikon çekildi. Litre ölçekli kap ile haznenin bir tarafına 24 °C sıcaklığında 8.5 lt su, diğerine de 40 °C sıcaklığında 8.5 lt su konuldu ve her iki hazneye de ortadaki cama yakın yerlere olmak koşulu iki adet termometre yerleştirildi. Kutunun üst yüzeyi strafor ile kapatıldı ve üzerine ağırlıklar konuldu ve yine aynı aralıklarda ölçümler yapıldı. Elde edilen veriler ve ölçüm zamanları kaydedildi.

5. Deney: Beşinci olarak yapılan deneyde ise aralarında 25 mm ara boşluk kalacak şekilde yerleştirilen 4 mm kalınlığında iki adet düz camın arasına 20 mm genişliğinde jaluzi konuldu. Bu deneyde amaç jaluzinin pencerelerdeki ısı yalıtımına olan etkisini incelemektir. Jaluzi, lamelleri tam açık pozisyonda iken camlar arasına yerleştirilmiştir. Yine aynı şekilde litre ölçekli kap ile haznenin bir tarafına 24 °C sıcaklığında 8.5 lt su, diğerine de 40 °C sıcaklığında 8.5 lt su konuldu ve her iki hazneye de ortadaki cama yakın yerlere olmak koşulu iki adet termometre yerleştirildi. Kutunun üst yüzeyi strafor ile kapatıldı ve üzerine ağırlıklar konuldu ve yine aynı aralıklarda ölçümler yapıldı. Elde edilen veriler ve ölçüm zamanları kaydedildi.

6. Deney: Altıncı olarak yapılan deneyde 4 mm kalınlığında iki adet düz cam aralarında 25 mm ara boşluk kalacak şekilde yerleştirildi ve camların kutu ile birleşim yerlerine sızdırmazlık sağlaması amacı ile silikon çekildi. Litre ölçekli kap ile haznenin bir tarafına 14 °C sıcaklığında 8.5 lt su, diğerine de 35 °C sıcaklığında 8.5 lt su konuldu ve her iki hazneye de ortadaki cama yakın yerlere olmak koşulu ile iki adet termometre yerleştirildi. Kutunun üst yüzeyi ısı yalıtım malzemesi olan strafor ile kapatıldı ve üzerine ağırlık konuldu. Diğer deneylerde ki ölçüm aralıkları dikkate alınarak aynı zaman aralıklarında ölçümler yapıldı ve elde edilen veriler ve ölçüm zamanları kaydedildi.

7. Deney: Son olarak yapılan deneyde 4 mm kalınlığında iki adet düz cam aralarında 10 mm ara boşluk kalacak şekilde yerleştirildi. Litre ölçekli kap ile haznenin bir tarafına 24 °C sıcaklığında 8.5 lt su, diğerine aynı miktarda buz koyuldu. Her iki hazneye de ortadaki cama yakın yerlere olmak koşulu ile iki adet termometre yerleştirildi. Kutunun üst yüzeyi ısı yalıtım malzemesi olan strafor ile kapatıldı ve üzerine ağırlık konuldu ve belirli zaman aralıklarında ölçümler yapıldı ve elde edilen veriler ve ölçüm zamanları kaydedildi.

Aşağıdaki tabloda sıcaklık ölçümleri yapılırken dataların nasıl kaydedildiği gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Veri Kayıt Tablosu

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ (°C)	$T_{sıc}$ (°C)
....	....	....
....	....	....
....	....	....
....	....	....
....	....	....

Yapılan deneyler sonucunda;

Deney kutusundaki sıcak su haznesinden hem çevreye hem de soğuk su haznesine ısı transferi olduğu gözlemlenmiştir. Deney süresi boyunca sıcak suyun iç enerjisi sürekli düşmektedir, bu arada sıcak su haznesinden soğuk suya camdan ısı akışı olmaktadır.

Soğuk su bölümünden aynı zamanda çevreye de ısı kaybı olmaktadır. Soğuk suyun iç enerjisi artmaktadır fakat bu artış sürekli değildir çünkü soğuk suyun sıcaklığı artınca belirli bir noktadan sonra çevreye kayıplar başlar ve artarak devam eder. Sıcak suyun sıcaklığı düştüğü için transfer edilen ısı zamanla azalır ve soğuk suyun çevreye kaybettiği ısıya eşit olur ise soğuk suyun sıcaklığı değişmez. Zamanla çevreye olan kayıplardan dolayı soğuk su sıcaklığı düşüğe geçmeye başlayacaktır ve bu noktadan

sonra sıcak su ve soğuk su sıcaklığı çevreye olan kayıplardan dolayı düşmeye başlayacaktır.

## BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

### 5.1. Birleşik Enerji (Isı) ve Kütle Bilançoları

Aşağıda yapılan deneylerden elde edilen veriler yardımıyla  $\Delta t$  zaman aralıkları için Enerji Bilançoları oluşturulmuştur.

Hesaplamalarda kütlelerin zamana göre değişmediği kabul edilmiştir.

$$\frac{dm}{dt} = 0 \quad (5.1.)$$

Soğuk suyun almış olduğu ısı miktarı

$$Q_{Tr2} = \dot{Q}_2 + Q_{K2} \quad (5.2.)$$

Sıcak suyun vermiş olduğu ısı miktarı

$$Q_{Tr1} = \left( -\dot{Q}_1 \right) - Q_{K1} \quad (5.3.)$$

Sıcak suyun verdiği ısı, soğuk suyun almış olduğu ısı ile kayıpların toplamına eşittir.

$$Q_1 - Q_{K1} = Q_2 + Q_{K2} \quad (5.4.)$$

$$Q_2 + Q_{K2} + Q_{K1} - Q_1 = 0 \quad (5.5)$$

Çevreye kaybolan toplam ısı miktarı

$$Q_{Ktop} = Q_{K1} + Q_{K2} \quad (5.6)$$

$$Q_{Ktop} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 \quad (5.7)$$

Sıcak suyun ortalama sıcaklık değeri,

$$T_{sıcort} = \left( \frac{T_{1sıc} + T_{2sıc}}{2} \right) \quad (5.8)$$

Soğuk suyun ortalama sıcaklık değeri,

$$T_{soğort} = \left( \frac{T_{1soğ} + T_{2soğ}}{2} \right) \quad (5.9)$$

Sıcak suyun zamana bağlı iç entalpi değişimi,

$$\dot{Q}_1 = \frac{Q_1}{\Delta t} \quad (5.10)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{m_1 c (T_t - T_0)}{(t_t - t_0)} \quad (5.11)$$

Soğuk suyun zamana bağlı iç enerji değişimi,

$$\dot{Q}_2 = \frac{Q_2}{\Delta t} \quad (5.12)$$

$$\dot{Q}_2 = \frac{m_2 c (T_t - T_0)}{(t_t - t_0)} \quad (5.13)$$

Denklem (5.11) ve (5.13) in toplamı çevreye kaybolan toplam ısı miktarını vermektedir.

$$Q_{Ktop} = \left[ \frac{m_1 c (T_{son} - T_{ilk})}{(t_{son} - t_{ilk})} \right] + \left[ \frac{m_2 c (T_{son} - T_{ilk})}{(t_{son} - t_{ilk})} \right] \quad (5.14)$$

Sıcak su haznesinden çevreye kaybolan ısı miktarı,

$$Q_{K1} = KA_1 \Delta T \quad (5.15)$$

$$Q_{K1} = KA_1 (T_{sicort} - T_{ortam}) \quad (5.16)$$

Soğuk su haznesinden çevreye kaybolan ısı miktarı,

$$Q_{K2} = KA_2 (\Delta T) \quad (5.17)$$

$$Q_{K2} = KA_2 (T_{sicort} - T_{ortam}) \quad (5.18)$$

$$Q_{Ktop} = Q_{K1} + Q_{K2} \quad (5.19)$$

Denklem (5.16) ve (5.18)'in de toplamı çevreye kaybolan toplam ısı miktarını vermektedir.

$$Q_{Ktop} = KA_1 (T_{sicort} - T_{ortam}) + KA_2 (T_{soğort} - T_{ortam}) \quad (5.20)$$

Görüldüğü gibi denklem (5.14) ve (5.20)'nin her ikisi de kaybolan toplam ısıları verdiği için biri birine eşit olmalıdır. Bir diğer şekilde ifade edilecek olursa;

$$Q_{Ktop} = \left[ KA_1 (T_{sicort} - T_{ortam}) + KA_2 (T_{soğort} - T_{ortam}) \right] = \left[ \frac{m_1 c (T_{son} - T_{ilk})}{(t_{son} - t_{ilk})} + \frac{m_2 c (T_{son} - T_{ilk})}{(t_{son} - t_{ilk})} \right] \quad (5.21)$$

olur.

Sıcak su bölümünden ve soğuk su bölümünden çevreye olan kayıplar taraf tarafa toplanır ve bu eşitlikten  $KA$  çekilir ise zamanla çevreye olan toplam ısı transfer katsayısı hesaplanmış olur.

$$Q_{K1} = KA_1 (T_{sıcort} - T_{ortam}) \quad (5.22)$$

$$Q_{K2} = KA_2 (T_{soğort} - T_{ortam}) \quad (5.23)$$

$$Q_{K1} + Q_{K2} = KA (T_{sıcort} + T_{soğort} - 2T_{ortam}) = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 \quad (5.24)$$

Çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı,

$$KA = \frac{Q_{K1} + Q_{K2}}{T_{sıcort} + T_{soğort} - 2T_{ortam}} \quad (5.25)$$

Sıcak su haznesinden soğuk su haznesine transfer olan ısı miktarı,

$$Q_{Tr1} = \left( -\dot{Q}_1 \right) - Q_{K1} \quad (5.26)$$

$$Q_{Tr1} = \left( -\frac{m_1 c (T_{son} - T_{ilk})}{(t_{son} - t_{ilk})} \right) - (KA_1 (T_{sıcort} - T_{ort})) \quad (5.27)$$

Soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarı,

$$Q_{Tr2} = \dot{Q}_2 + Q_{K2} \quad (5.28)$$

$$Q_{Tr2} = \left( \frac{m_2 c (T_{son} - T_{ilk})}{(t_{son} - t_{ilk})} \right) + (KA_2 (T_{sıcort} - T_{ort})) \quad (5.29)$$

Sıcak ve soğuk akışkan arasında olan ısı transferi ( $Q_{Tr}$ ) aynı zamanda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_{Tr} = K' A' (T_{sıcort} - T_{soğort}) \quad (5.30)$$

Bu ifade de ısı transfer miktarı ( $Q_{Tr}$ ) yerine yazılarak camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K' A'$  bulunur.

$$K' A' = \frac{Q_{Tr}}{T_{sıcort} - T_{soğort}} \quad (5.31)$$

Yukarıda çıkarılan enerji dengeleri yapılan deneylerde tek tek ele alınmış ve böylece her deney için iki hazneden de çevreye olan ısı kayıpları bulunmuş, çift camdan geçen ısı transfer katsayıları ve ısı transferleri bulunmuştur.

## 5.2. Deneysel Sistematığı ve Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı, çift camlı sistemlerin, camlar arası mesafenin değiştirilmesi durumunda ısı transferine olan etkisinin incelenmesidir. Fakat deneyler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla enerji bilançoları oluşturulduktan sonra görüldü ki; ısı transferi sadece akışkanlar arasında çift camdan olmamaktadır. Deneysel kutusunun yapımında kullanılan alüminyum sac levha, ısı iletimi yüksek bir malzeme olduğu için, sac levhadan da bir ısı transferi söz konusudur. Fakat ara boşluk kullanılarak yapılan deneylerde, ara boşlukta hava bulunacağı için hem havanın hem de suyun ısı taşınım katsayılarını belirlemek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle 8 mm kalınlığında tek cam kullanılarak deneysel kutusu arada hava boşluğu bırakmaksızın iki eşit hazneye bölünmüştür. Bu sayede 8 mm cam ile yapılan deneyde haznelere farklı sıcaklıktaki akışkanlar konulduğunda başlangıçta ısı transferinin yüksek bir değerde olacağı ilkesinden yola çıkılarak yüksek değerden başlamak koşulu ile suyun ısı taşınım katsayısı ( $h$ ) değerine keyfi bir atama yapılarak iterasyona başlanmıştır. Daha sonra serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısı yardımı ile sac levhadan olan ısı transferi bulundu. Camlardan olan ısı geçişi de bulunarak, her ikisinin toplamı ile



deney kutusunda meydana gelen toplam ısı transferi bulunmuş olur ve sonra toplam ısı transferi, ölçüm verilerinden elde edilerek bulunan sıcak sudan soğuk suya geçen ve soğuk suyun aldığı ısılar ile eşitlenerek ve yine deneme yanılma yöntemi uygulayarak ölçülen her sıcaklık farkı için suyun serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısı ( $h$ ) bulunur.

Suyun serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısı ( $h$ )'ın sıcaklık farkı ile değişim grafiği çizilerek, elde edilen eğrinin denklemi bulundu. İşte elde edilen bu ( $h$ ) denklemi aynı zamanda 5, 10 ve 25 mm ara boşluklu deneyde kullanılan suyun ısı taşınım katsayısı ile aynı olacağından, 8 mm cam ile yapılan ısı transfer deneyi yardımı ile ara boşluklu deneylerdeki suyun serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayıları bulunur. Bundan dolayı 8 mm'lik tek cam deneyi yapılmıştır.

Çift camlar ile yapılan deneylerde, ara boşluk mesafesi de 25 mm'nin üstüne çıkılmamıştır. Çünkü bu mesafenin üzerine çıkmak, pencerelerde kullanılan kasa genişliğinin arttırılmasını gerektirir. Bu da yüksek maliyet gerektirir.

#### 5.2.1. 8 mm tek cam ile yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları

8 mm cidar kalınlığında 290x290 mm ebatlarında bir cam alınmış ve 300x300x600 mm boyutlarındaki deney kutusunun orta noktasına yerleştirilmiştir. Her tarafı strafor ile çevrili olan kutunun bir haznesine 24 °C sıcaklığında soğuk su, diğer haznesine de 40 °C sıcaklığında sıcak su konulmuştur. Kutunun üst yüzeyi de daha önce kutunun üst yüzey alanını kapatacak şekilde kesilip hazırlanan 20 mm kalınlığında strafor ile kapatılmıştır. Daha sonra belirli zaman dilimlerinde termometreler ile sıcaklık ölçümleri yapılmış ve elde edilen veriler kaydedilmiştir.

Gerekli deney şartlarını sağlamak zor olduğu için sıcaklık ölçmek zor olmaktadır. Bunun nedenleri arasında; kapalı bir kutuda homojen sıcaklık dağılımının sağlanmasının zorluğu, kullanılan termometrenin yeterince hassas olmaması (gösterge gecikmesi) ve ayrıca ölçüm yaparken suda çeşitli sıcaklık katmanları oluşması yer almaktadır. Yani suyun taban sıcaklığı ile üst yüzey sıcaklığı eşit

olmamaktadır. Bu da hatalı ölçüm yapmaya neden olmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için suyu sürekli olarak bir karıştırıcı vasıtası ile karıştırmak gerekir ki, buda deney süresi boyunca mümkün olmamaktadır, bu şekilde suya sürtünme üzerinden ısı verilir ki, bu da istenmemektedir, ayrıca karıştırma esnasında kutunun üst yüzeyini açmak gerekir bu da beklenmeyen ısı kayıplarına neden olmaktadır.

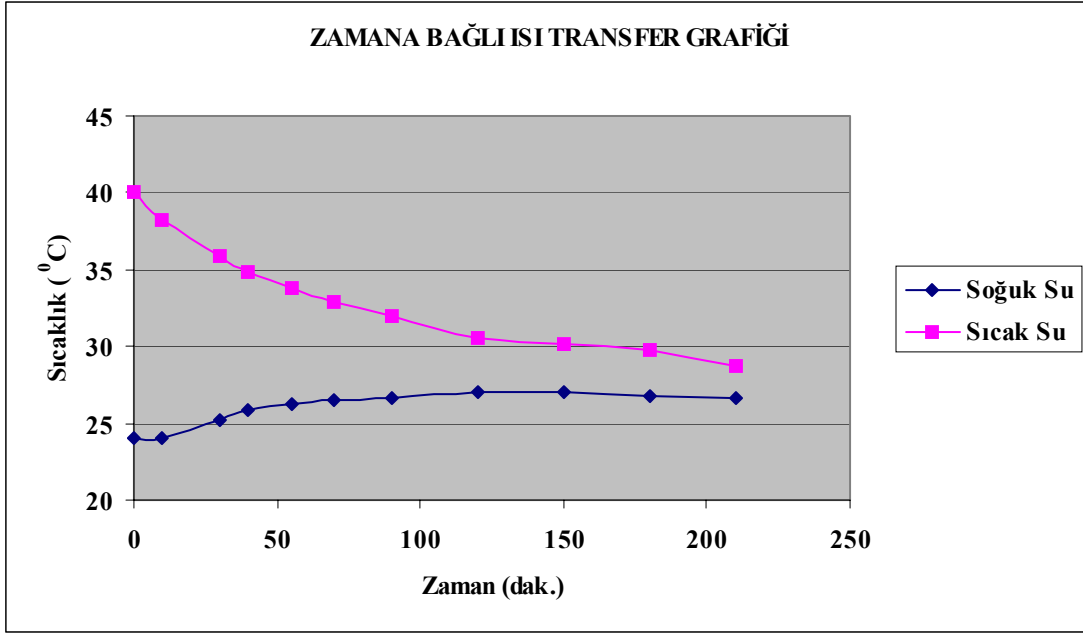
Bütün bu nedenlerden dolayı ölçülen sıcaklık değerleri üzerinde  $\pm 1$   $^{\circ}\text{C}$  'lik ölçüm hataları meydana gelmiştir ve sıcak suyun vermiş olduğu ısı miktarının, soğuk suyun almış olduğu ısı miktarına eşit olması ilkesinden yola çıkılarak ölçülen sıcaklık değerleri üzerinde  $\pm 1$   $^{\circ}\text{C}$  'lik düzeltmeler yapılmıştır. Bu durum ölçüm şartları tam olarak sağlanamayan bir ortam için çok büyük bir ölçüm hatası teşkil etmemektedir.

Aşağıda 8 mm tek cam ile yapılan deneyden elde edilen ilk ölçüm verileri ve ölçme zaman aralıkları verilmiştir.

Tablo 5.1. Zamana Bağlı Ölçülen Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	24	40
10	24	38.2
30	25.2	35.9
40	25.8	34.8
55	26.3	33.8
70	26.5	32.9
90	26.7	32
120	27	30.5
150	27	30.2
180	26.8	29.8
210	26.7	28.7

Yukarıda elde edilen ölçüm verilerine göre sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıda çizilmiştir.



Şekil 5.1. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği

Yukarıdaki grafikten anlaşılacağı gibi, deney şartları tam olarak sağlanamadığı için sıcaklık ölçüm değerlerinde küçük sapmalar olmuştur. Bu sapmalar  $\pm 1$  °C'yi geçmemektedir. Gerek deney şartlarının tam olarak sağlanamaması gerekse ölçüm cihazının yeterince hassas olmamasından dolayı bu sapmaların normal aralıklarda olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcak suyun verdiği ısının soğuk suyun aldığı ısı ve çevreye geçen ısıya eşit olması gerçeğinden yola çıkılarak, bu ısıları eşitlemek koşulu ile okunan değerler üzerinde gerekli düzeltmeler yapılmış ve aşağıdaki tabloda görülen sonuçlara ulaşılmıştır.

Denklem (5.8) ve (5.9)'den sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklık değerleri bulunur.

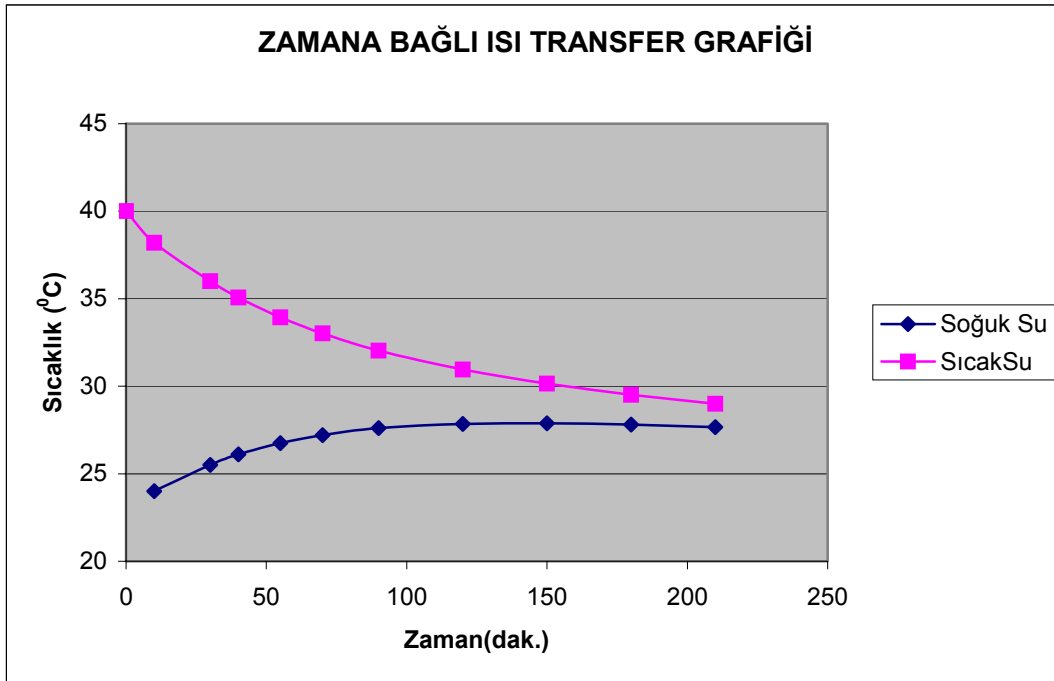
Tablo 5.2. Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ (°C)	$T_{sic}$ (°C)	$\Delta T_{soğort}$ (°C)	$\Delta T_{sicort}$ (°C)
0	24	40		
10	24	38.2	24	39.1
30	25.51	36	24.755	37.1
0	26.1	35.07	25.805	35.535

Tablo 5.2. devam

55	26.75	33.93	26.425	34.5
70	27.2	33.015	26.975	33.473
90	27.6	32.04	27.4	32.528
120	27.85	30.96	27.725	31.5
150	27.89	30.15	27.87	30.555
180	27.81	29.515	27.85	29.833
210	27.67	28.99	27.74	29.253

Düzeltilmiş ölçüm değerlerinde, sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 5.2. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği

Yukarıdaki grafiğe bakılır ise sıcak suyun sıcaklığının zamanla düştüğü, soğuk suyun sıcaklığının ise zamanla attığı görülmektedir. 150 dakika sonunda sıcak suyun sıcaklığı  $30.15^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmüş, soğuk suyun sıcaklığı ise  $27.89^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselmiştir. Fakat bu noktadan sonra 210 dakika sonunda sıcak su  $28.99^{\circ}\text{C}$ 'ye düşer iken, soğuk su da düşüşe geçerek  $27.67^{\circ}\text{C}$  olmuştur. Eğer bu noktadan sonra ölçmeye devam edilseydi sıcak su ile birlikte soğuk suyun ısısının da zamanla düştüğü gözlenecekti. Bunun sebebi başlangıçta soğuk suyun sıcaklığı ile oda sıcaklığı eşit iken zamanla

sıcak sudan olan transfer sonucu ısının bir kısmı çevreye bir kısmı da soğuk su haznesine olmuştur. Soğuk suyun sıcaklığı oda sıcaklığının üstüne çıkınca da bu sefer soğuk sudan da çevreye ısı kayıpları başlamıştır. Dolayısıyla 210 dakika sonunda sıcak su ile birlikte soğuk suyun ısı da düşüşe geçmiştir. Bu noktadan sonra ikisi de lineer olarak düşecektir.

Deneylerde yapılan ölçüm hatası en fazla  $\pm 1$   $^{\circ}\text{C}$  olmuştur. Hatalara bakıldığında soğuk suyun gerçek değerinden daha soğuk ölçüldüğü, sıcak suyun ise genel olarak gerçek değerinden daha düşük okunduğu ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni yukarıda da açıklandığı gibi ölçüm şartlarının tam olarak sağlanamamasıdır.

Ölçülen sıcaklık değerleri ile düzeltilen sıcaklık değerleri arasındaki fark aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.3. Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri

$t$ (dak.)	Soğuk su farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sıcak su farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	0	0
10	0	0
30	0.31	0.1
40	0.3	0.27
55	0.45	0.13
70	0.7	0.115
90	0.9	0.04
120	0.85	0.46
150	0.89	-0.05
180	1.01	-0.285
210	0.97	0.29

Denklem (5.11) ve (5.13)'den, sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ve soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü hesaplanır. Aşağıdaki tabloda sıcak suyun ve soğuk suyun zamana bağlı ısı güçleri hesaplanmış ve bunların toplamalarının kaybolan ısıya eşit olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta\dot{Q}_1$ (W)	$\Delta\dot{Q}_2$ (W)	$Q_{Ktop}$ (W)
0	24	40			
10	24	38.2	-106.6	0	-106.6
30	25.51	36	-65.14	44.709	-20.43
40	26.1	35.07	-55.07	34.938	-20.13
55	26.75	33.93	-45	25.661	-19.34
70	27.2	33.015	-36.12	17.765	-18.36
90	27.6	32.04	-28.87	11.843	-17.02
120	27.85	30.96	-21.32	4.9347	-16.38
150	27.89	30.15	-15.99	0.7896	-15.2
180	27.81	29.515	-12.53	-1.579	-14.11
210	27.67	28.99	-10.36	-2.763	-13.13

Sonuçlara bakılınca, sıcak suyun ve soğuk suyun ısıl güçlerinin zamanla azaldığı görülmektedir. Yani başlangıçta sular arasındaki sıcaklık farkı yüksek olduğundan ısı kayıpları da yüksek olmaktadır. Zamanla sıcaklıklar dengelendiği için ısı kayıpları da azalmaktadır.

Daha önce bahsedildiği gibi sular haznelere koyulduğunda henüz ölçüm için gerekli deney şartları sağlanamamıştır, sular daha durgun hale gelmemiştir. Çalkantılı bir durum söz konusudur. Bundan dolayı 30. dakikadan sonra olan ölçüm verileri değerlendirilmiştir.

Denklem (5.20)'dan, çevreye geçen ısı için toplam ısı transfer katsayısı hesaplanır. Aşağıdaki tabloda çevreye geçen ısı için toplam ısı transfer katsayıları gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri

$t$ (dak.)	$Q_{Ktop}$ (W)	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$KA\left(\frac{W}{K}\right)$
0				
10	-106.6	39.1	24	7.0589
30	-20.43	37.1	24.755	1.4745
40	-20.13	35.535	25.805	1.5093
55	-19.34	34.5	26.425	1.4966

Tablo 5.5. devam

70	-18.36	33.473	26.975	1.4748
90	-17.02	32.528	27.4	1.4274
120	-16.38	31.5	27.725	1.4595
150	-15.2	30.555	27.87	1.4579
180	-14.11	29.833	27.85	1.4576
210	-13.13 (*)	29.253	27.74	1.4597

(\*) – işaret sadece ısı transfer yönünü belirtir.

Yukarıda bulunan  $KA$  değerlerine bakılır ise sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülür, yani çevreye kaybolan ısı transfer katsayısı değişmemektedir. Bulunan sonuçların ortalaması alınıp, çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı  $(KA)_{ort}$  bulunmuştur.

$$(KA)_{ort} = (1.4745 + 1.5093 + 1.4966 + 1.4748 + 1.4274 + 1.4595 + 1.4579 + 1.4576 + 1.4597)$$

$$(KA)_{ort} = 1.46 \frac{W}{K} \text{ bulunur.}$$

$$\text{Maksimum hata oranı} = \left( \frac{1.4597 - 1.4576}{1.4576} \right) = 0.001440724 \text{ bulunur.}$$

$$A = 0.023m^2 \text{ dir.}$$

Camdan geçen ısı için alandan bağımsız ısı transfer katsayısı da,

$$K = \frac{1.46}{0.023} = 63.48 \frac{W}{m^2 K} \text{ olmaktadır.}$$

Denklem (5.16) ve (5.18) kullanılarak sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden ve soğuk su haznesinden zamanla çevreye kaybolan ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.6. Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)_{ort}$ ( $\frac{W}{K}$ )	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)
0					
10	39.1	24	1.46		
30	37.1	24.755	1.46	19.126	1.1023
40	35.535	25.805	1.46	16.841	2.6353
55	34.5	26.425	1.46	15.33	3.5405
70	33.473	26.975	1.46	13.83	4.3435
90	32.528	27.4	1.46	12.45	4.964
120	31.5	27.725	1.46	10.95	5.4385
150	30.555	27.87	1.46	9.5703	5.6502
180	29.833	27.85	1.46	8.5155	5.621
210	29.253	27.74	1.46	7.6687	5.4604

Sıcak suyun ısı gücü, soğuk suyun ısı gücü ve çevreye kaybolan ısılar yukarıda bulunmuştur. Bulunan bu değerler denklem (5.27) ve (5.29)'de yerine konular ise sıcak sudan soğuk suya transfer olan ısı ve soğuk suyun almış olduğu ısı miktarları bulunur. Sıcak suyun verdiği ısı soğuk suyun almış olduğu ve çevreye olan ısı geçişinin toplamına eşit olduğu görülmüştür.

Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden soğuk su haznesine geçen ısı ve soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.7. Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta \dot{Q}_1$ (W)	$\Delta \dot{Q}_2$ (W)	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)	$Q_{Tr1} = \left( -\Delta \dot{Q}_1 \right) - Q_{K1}$	$Q_{Tr2} = \Delta \dot{Q}_2 + Q_{K2}$
0						
10						
30	-65.14	44.709	19.126	1.1023	46.012	45.811
40	-55.07	34.938	16.841	2.6353	38.23	37.573
55	-45	25.661	15.33	3.5405	29.675	29.201
70	-36.12	17.765	13.83	4.3435	22.292	22.109
90	-28.87	11.843	12.45	4.964	16.418	16.807
120	-21.32	4.9347	10.95	5.4385	10.368	10.373
150	-15.99	0.7896	9.5703	5.6502	6.4182	6.4398
180	-12.53	-1.579	8.5155	5.621	4.0187	4.0419
210	-10.36	-2.763	7.6687	5.4604	2.6943	2.697



Camdan transfer olan ısıların yardımıyla camın ısı transfer katsayısı bulunur. Denklem (5.31)' den camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K'A'$  bulunur. Aşağıdaki tabloda camdan transfer olan ısı transfer katsayıları verilmiştir.

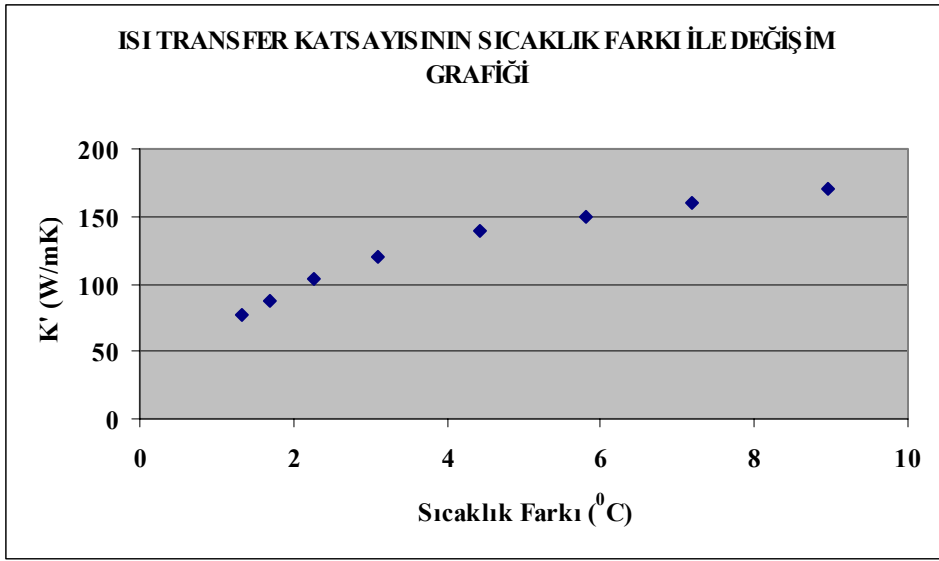
Tablo 5.8. Camın Isı Transfer Katsayısı

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$Q_{Tr}$ (W)	$K'A'$ ( $\frac{W}{K}$ )	$K'$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )
0					
10	39.1	24			
30	37.1	24.755	46.012	3.7272	162.05
40	35.535	25.805	38.23	3.9291	170.83
55	34.5	26.425	29.675	3.6749	159.78
70	33.473	26.975	22.292	3.4309	149.17
90	32.528	27.4	16.418	3.2019	139.22
120	31.5	27.725	10.368	2.7465	119.41
150	30.555	27.87	6.4182	2.3904	103.93
180	29.833	27.85	4.0187	2.0271	88.135
210	29.253	27.74	2.6943	1.7813	77.449

Soğuk sudan sıcak suya olan ısı transferinin sıcaklık farkı ile değişim grafiği aşağıdaki şekilde olur.

Tablo 5.9. Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sıc}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta t = T_{sıc} - T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$K'$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )
0	24	40		
10	24	38.2		
30	25.51	36	10.49	162.05
40	26.1	35.07	8.97	170.83
55	26.75	33.93	7.18	159.78
70	27.2	33.015	5.815	149.17
90	27.6	32.04	4.44	139.22
120	27.85	30.96	3.11	119.41
150	27.89	30.15	2.26	103.93
180	27.81	29.515	1.705	88.135
210	27.67	28.99	1.32	77.449



Şekil 5.3. Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

Camdan geçen ısı için toplam ısı transfer katsayıları matematiksel formüllerle hesaplanmış ve sonuçlar deneysel yöntemlerden bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

8 mm tek cam için toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{1}{K_{pen}} = \frac{1}{h_{suiç}} + \frac{S}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{sudış}} \quad (5.32)$$

Akışkan her yerde aynı özelliğe sahip olduğundan,

$$h_{suiç} = h_{sudış} \quad \text{yazılabilir.}$$

$$\frac{1}{K_{pen}} = \frac{2}{h_{suiç}} + \frac{S}{k_{cam}} \quad (5.33)$$

8 mm tek cam için toplam ısı transfer katsayısı;

$$K_{pen} = \frac{h_{suiç} \cdot k_{cam}}{2k_{cam} + sh_{suiç}} \quad (5.34)$$

olur.

Camdan geçen ısı transferi de aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_{pen} = K_{pen} \cdot A \cdot \Delta(T) \quad (5.35)$$

Isı transfer yüzeyi ,

$$A = 0.023 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

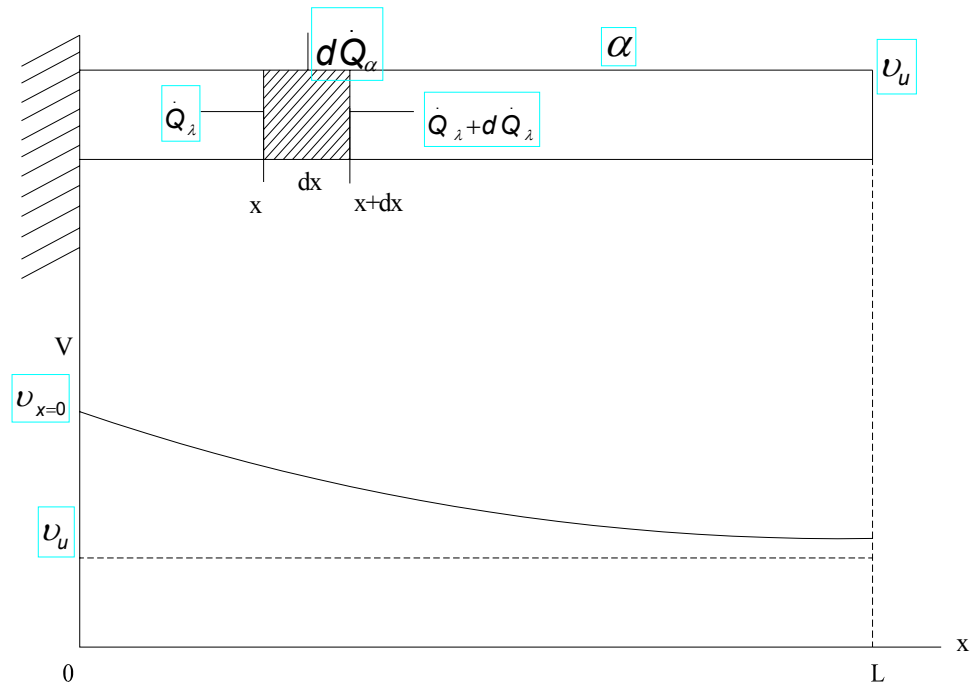
Denklem (5.34) ve (5.35) kullanılarak 8 mm kalınlığındaki tek camdan zamanla geçen ısı transfer katsayıları ve camdan geçen ısı transfer değerleri bulunur. Aşağıdaki tabloda 8 mm tek cam kullanılarak yapılan deneyde camdan geçen ısı transfer katsayıları ve ısı transfer değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.10. Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$K_{pen}$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$Q_{pen}$ (W)
0	24	40			
10	24	38.2	330	77.177	25.206
30	25.51	36	232	64.444	15.549
40	26.1	35.07	215	61.733	12.736
55	26.75	33.93	203	59.706	9.8598
70	27.2	33.015	180	55.532	7.4271
90	27.6	32.04	171	53.785	5.4925
120	27.85	30.96	140	47.209	3.3769
150	27.89	30.15	105	38.544	2.0035
180	27.81	29.515	77	30.422	1.193
210	27.67	28.99	60	24.857	0.7547

Sac Levhalar Üzerinden İletimle Hazneler Arası Isı Transferi ;

Bu ısıyı bulmak için “Grundlagen der Waermeübertragung” kitabından yararlanılmış ve aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.



Şeki.5.4. Kesiti Sabit Olan Bir Radyatör Kanadında Isı Geçişi

$$d\dot{Q}_k + d\dot{Q}_h = 0 \quad (5.36)$$

$$\dot{Q}_k = -k.A.\frac{dT}{dx} \quad (5.37)$$

$$d\dot{Q}_k = \frac{d\dot{Q}_k}{dx}.dx = -k.A.\frac{d^2T}{dx^2}.dx \quad (5.38)$$

$$d\dot{Q}_h = h.U.dx.(T - T_u) \quad (5.39)$$

$$\frac{d^2(T - T_u)}{dx^2} = \frac{h.U}{k.A}.(T - T_u) \quad (5.40)$$

$$v - v_u = e^{\mu \cdot x} \quad (5.41)$$

$$\mu^2 \cdot e^{\mu \cdot x} = \frac{h \cdot U}{k \cdot A} \cdot e^{\mu \cdot x} \quad (5.42)$$

$$\mu_{1,2} = \pm \mu \quad \text{ve}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{h \cdot U}{k \cdot A}} \quad (5.43)$$

$$T - T_u = c_1 \cdot e^{+\mu \cdot x} + c_2 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (5.44)$$

$$T(x=0) = T_{x=0} \quad (5.45)$$

$$\frac{dT}{dx}(x=L) = 0 \quad (5.46)$$

$$T_{x=0} - T_u = c_1 + c_2 \quad (5.47)$$

$$c_1 \cdot e^{2 \cdot \mu \cdot L} - c_2 = 0 \quad (5.48)$$

$$c_1 = \frac{T_{x=0} - T_u}{1 + e^{2 \cdot \mu \cdot L}} \quad (5.49)$$

$$c_2 = (T_{x=0} - T_u) \cdot \frac{e^{+\mu \cdot L}}{e^{-\mu \cdot L} + e^{+\mu \cdot L}} \quad (5.50)$$

$$\frac{T - T_u}{T_{x=0} - T_u} = \frac{e^{-\mu \cdot L} \cdot e^{+\mu \cdot x} + e^{+\mu \cdot L} \cdot e^{-\mu \cdot x}}{e^{-\mu \cdot L} + e^{+\mu \cdot L}} \quad (5.51)$$

$$\frac{T - T_u}{T_{x=0} - T_u} = \frac{\cosh \left[ \sqrt{\frac{h \cdot U}{k \cdot A}} \cdot (L - x) \right]}{\cosh \left[ \sqrt{\frac{h \cdot U}{k \cdot A}} \cdot L \right]} \quad (5.52)$$

$$\frac{T - T_u}{T_{x=0} - T_u} = e^{-\mu \cdot x} \quad (5.53)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} T(x) = T_u \quad (5.54)$$

$$\dot{Q}_{hL} = \int_0^L (T_{x=0} - T_u) \cdot h \cdot U \cdot \frac{\cosh[\mu \cdot (L-x)]}{\cosh(\mu \cdot L)} \cdot dx \quad (5.55)$$

$$= (T_{x=0} - T_u) \cdot h \cdot U \cdot \frac{\sinh(\mu \cdot L)}{\mu \cdot \cosh(\mu \cdot L)} \quad (5.56)$$

$$\dot{Q}_{h\infty} = \lim_{L \rightarrow \infty} \dot{Q}_{hL} = (T_{x=0} - T_u) \cdot h \cdot U \cdot \frac{1}{\mu} \quad (5.57)$$

$$\frac{\dot{Q}_{hL}}{\dot{Q}_{h\infty}} = \tanh(\mu \cdot L) \quad (5.58)$$

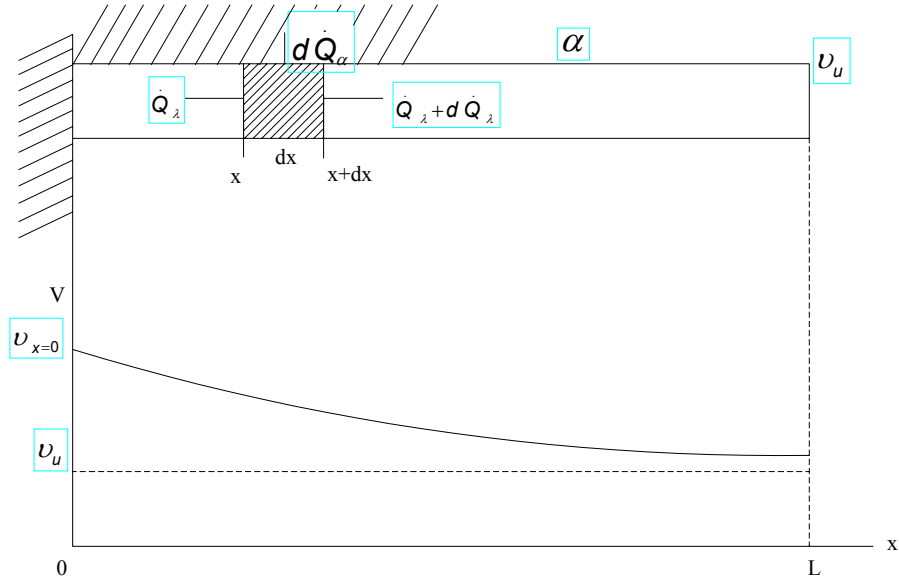
Saç levhadan geçen ısı transferi de aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_{hL} = \tan(\mu L) T_{saç} h u \left( \frac{1}{\mu} \right) \quad (5.59)$$

Bu çalışmada deney düzeneğinin bir tarafı yalıtılmış olduğundan, saç levhadan geçen ısı transferi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_{SAÇ} = Q_{\infty L} \cdot P \quad (5.60)$$

$P = \frac{1}{2}$  alındı (Isı geçişi tek yönde ve yalıtım mükemmel kabul edildiği durum).

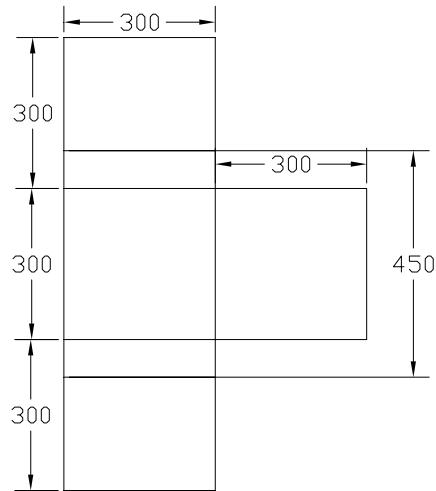


Şekil 5.5. Saç Levhadaki Isı İletimi

Saç levhadan olan ısı transferi;

$$Q_{\infty L} = \tan(\mu L) \frac{T_{saç}}{2} hu \left( \frac{1}{\mu} \right) \text{ olur.} \quad (5.61)$$

Aşağıdaki şekilde saç levhanın bir haznesi için kutunun açılımı gösterilmiştir. Şekil üzerinde saç levhanın uzunluğu ve genişliği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.6. Saç Levhanın Açılım Şekli

Aşağıdaki tabloda denklem (5.43) ve (5.59)'dan 8 mm cam kullanılarak yapılan deneyde saç levhadan geçen ısı transfer değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.11. Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$\mu$	$Q_{saç}$ (W)
0	24	40			
10	24	38.2	330	21.498	49.043
30	25.51	36	232	18.026	30.376
40	26.1	35.07	215	17.353	25.004
55	26.75	33.93	203	16.862	19.448
70	27.2	33.015	180	15.878	14.83
90	27.6	32.04	171	15.476	11.037
120	27.85	30.96	140	14.003	6.993
150	27.89	30.15	105	12.127	4.3968
180	27.81	29.515	77	10.385	2.8333
210	27.67	28.99	60	9.167	1.9281

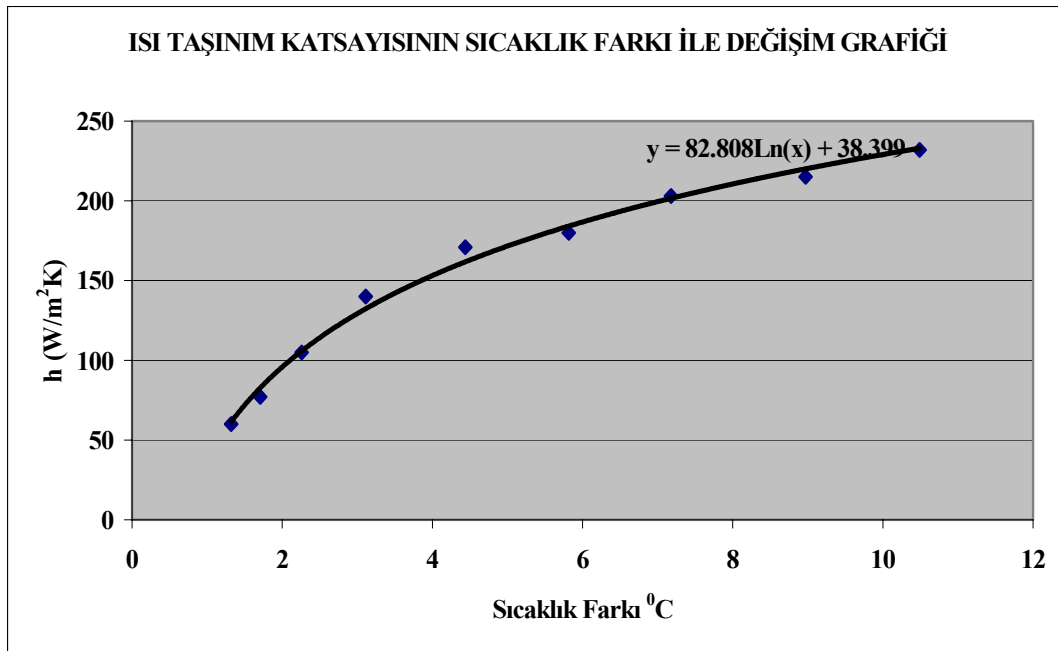
Yukarıdaki sonuçlara bakılınca, camlar arası toplam ısı transfer katsayısının, camdan geçen ısı transferinin, serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısının ( $h$ ) ve saç levhadan olan ısı transferinin zamanla düştüğü görülmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü; başlangıçta sular haznelere doldurulduğunda sıcak su ile soğuk su arasındaki sıcaklık farkı maksimum olduğu için hızlı ve yüksek bir ısı alış verişi olmaktadır. Belirli bir zaman sonra her iki haznedeki suların sıcaklıkları birbirine yaklaşmaya başlar ve ısı transferi giderek azalır. Suların boşaltılması sırasında oluşan çalkalanmaların durulması ve sistemin rejime girmesi için, deneylerde ilk 30 dakika sonunda ölçümlere başlanmıştır. Bu süre içinde sıcak suyun verdiği ısı ile soğuk suyun aldığı ısı arasında bir dengesizlik söz konudur. Çünkü sular haznelere henüz yeni konulmuştur ve daha durgun hale gelmemiştir. Bu yüzden bu süre zarfında düzgün bir ölçüm yapmak mümkün olmamıştır.



Aşağıda ki şekilde serbest konveksiyon ısı taşınım katsayısının ( $h$ )'ın sıcaklık farkı ile değişim grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.12. Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

$t$ (dak.)	$\Delta(T)$	$h \left( \frac{W}{m^2K} \right)$
0		
10		
30	10.49	232
40	8.97	215
55	7.18	203
70	5.815	180
90	4.44	171
120	3.11	140
150	2.26	105
180	1.705	77
210	1.32	60



Şekil 5.7. Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği

$h$ 'ın sıcaklık farkı ile değişimi grafiği neredeyse lineer bir dağılım göstermiştir. Bu durumda akış laminar kabul edilir.

Suyun serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısının sıcaklık farkı ile değişim grafiğinden elde edilen denklem yardımı ile ara boşluk bırakılarak yapılan deneylerdeki serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısı bulunur. Toplam ısı transferi camlardan olan ısı transferi ile sac levhadan olan ısı transferinin toplamına eşittir. Bulunan sonuç yukarıdaki deneysel ölçümlerle bulunan ısı transfer değerine eşittir.

$$Q_{top} = Q_{pen} + Q_{sac} \quad (5.62)$$

Aşağıdaki tabloda toplam ısı transferleri gösterilmiştir.

Tablo 5.13. Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$Q_{pen}$ (W)	$Q_{sac}$ (W)	$Q_{top}$ [W]	$Q_{Tr}$ (W)
0				
10	25.206	49.043	74.249	84.544
30	15.549	30.376	45.925	46.012
40	12.736	25.004	37.741	38.23
55	9.8598	19.448	29.308	29.675
70	7.4271	14.83	22.258	22.292
90	5.4925	11.037	16.529	16.418
120	3.3769	6.993	10.37	10.368
150	2.0035	4.3968	6.4003	6.4182
180	1.193	2.8333	4.0263	4.0187
210	0.7547	1.9281	2.6828	2.6943

Sonuçlara bakılınca, deneysel olarak hesaplanan toplam ısı transferinin, matematiksel olarak hesaplanan toplam ısı transferine eşit olduğu ortaya çıkar.

5.2.2. Camlar arası 5 mm ara boşluk bırakılarak yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları

4 mm et kalınlığında 290x290 mm boyutunda iki adet cam alınmış ve 300x300x600 mm boyutlarındaki deney kutusuna aralarında 5, 10 ve 25 mm ara boşluk kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney kutusu eşit iki hazneye bölünmüştür. Her tarafı strafor ile çevrili olan kutunun bir haznesine 24 °C sıcaklığında su, diğer haznesine de 40 °C sıcaklığında su konulmuştur. Kutunun üst yüzeyi de daha önce kutunun üst yüzey alanını kapatacak şekilde kesilip hazırlanan 20 mm kalınlığında strafor ile

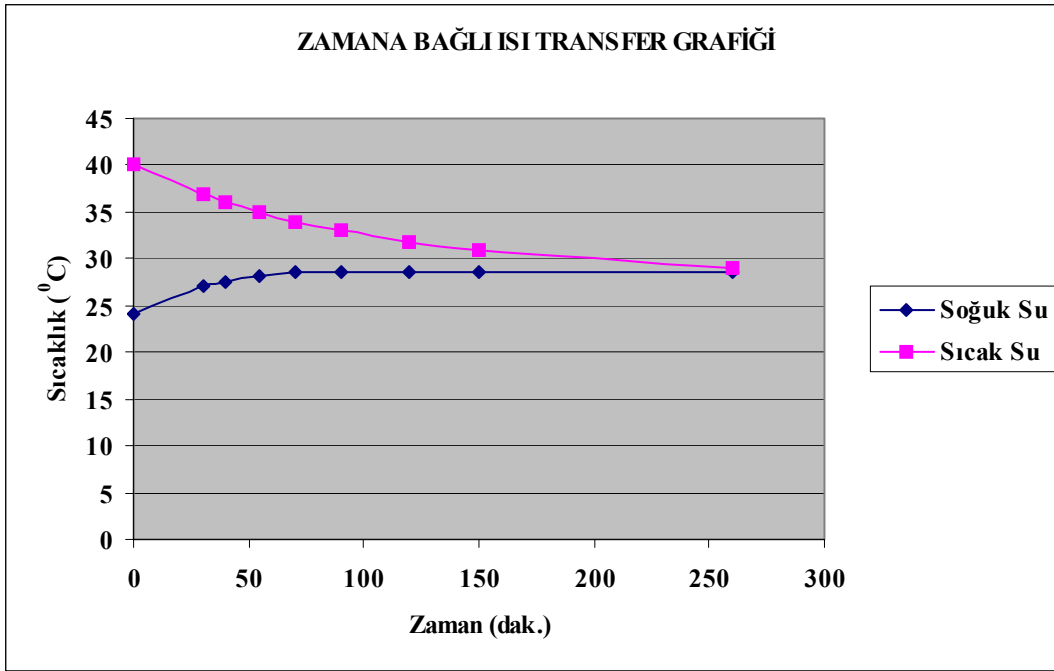
kapatılmıştır. Daha sonra belirli zaman dilimlerinde termometrelerle ölçümler yapılmış ve elde edilen veriler kaydedilmiştir.

Ölçülen sıcaklık değerleri üzerinde  $\pm 1$   $^{\circ}\text{C}$ 'lik ölçüm hataları meydana gelmiş ve gerekli düzeltmeler bütün deneylerde yapılmıştır. Aşağıda camlar arası 5 mm ara boşluk bırakılarak yapılan deneyden elde edilen ilk ölçüm verileri ve ölçme zaman aralıkları verilmiştir.

Tablo 5.14. Zamana Bağlı Ölçülen Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	24	40
30	27	37
40	27.6	36
55	28.15	35
70	28.5	34
90	28.5	33
120	28.5	31.8
150	28.5	31
260	28.5	29

Yukarıda elde edilen ölçüm verilerine göre sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıda çizilmiştir.



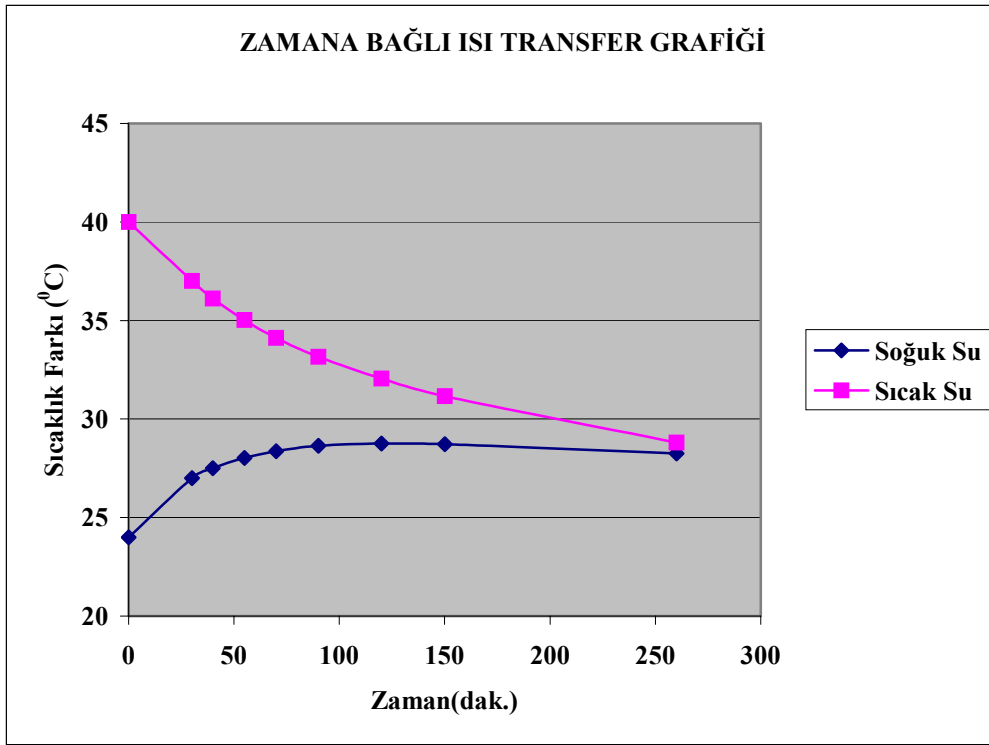
Şekil 5.8. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği

Aşağıdaki tabloda, ölçüm değerleri ve denklem (5.8) ve (5.9)'den yararlanılarak bulunmuş sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklık değerleri mevcuttur.

Tablo 5.15. Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )
0	24	40		
30	27	37	25.5	38.5
40	27.5	36.11	27.25	36.555
55	28.02	35.02	27.76	35.565
70	28.37	34.12	28.195	34.57
90	28.64	33.15	28.505	33.635
120	28.75	32.05	28.695	32.6
150	28.725	31.16	28.7375	31.605
260	28.25	28.81	28.4875	29.985

Sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 5.9. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafliği

Ölçülen sıcaklık değerleri ile düzeltilen sıcaklık değerleri arasındaki fark aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.16. Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri

$t$ (dak.)	Soğuk su farkı ( $^{\circ}C$ )	Sıcak su farkı ( $^{\circ}C$ )
0	0	0
30	0	0
40	-0.1	0.11
55	-0.13	0.02
70	-0.13	0.12
90	0.14	0.15
120	0.25	0.25
150	0.225	0.16
260	-0.25	-0.19

Denklem (5.11) ve (5.13)' den, sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ve soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü hesaplanır. Aşağıdaki tabloda sıcak suyun ve soğuk suyun zamana bağlı ısı güçleri hesaplanmış ve bunların toplamlarının kaybolan ısıya eşit olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5.17. Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta\dot{Q}_1$ (W)	$\Delta\dot{Q}_2$ (W)	$Q_{Ktop}$ (W)
0	24	40			
30	27	37	-59.22	59.217	0
40	27.5	36.11	-52.7	29.608	-23.09
55	28.02	35.02	-43.03	20.528	-22.5
70	28.37	34.12	-35.53	13.817	-21.71
90	28.64	33.15	-28.72	7.9942	-20.73
120	28.75	32.05	-21.71	2.1713	-19.54
150	28.725	31.16	-17.57	-0.493	-18.06
260	28.25	28.81	-12.65	-2.557	-15.21

Denklem (5.25)'den, çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı bulunur.

Tablo 5.18. Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri

$t$ (dak.)	$Q_{Ktop}$ (W)	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$KA$ ( $\frac{W}{K}$ )
0				
30	0	38.5	25.5	0
40	-23.09	36.555	27.25	1.4612
55	-22.5	35.565	27.76	1.4683
70	-21.71	34.57	28.195	1.4706
90	-20.73	33.635	28.505	1.4658
120	-19.54	32.6	28.695	1.4698
150	-18.06	31.605	28.7375	1.4633
260	-15.21	29.985	28.4875	1.4522

Yukarıda bulunan  $KA$  değerlerine bakılır ise burada da sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülür. Yani çevreye kaybolan ısı transfer katsayısı 8 mm tek cam ile yapılan deneydeki değerler ile aşağı yukarı aynıdır.

Bulunan sonuçların ortalaması alınıp, çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı  $(KA)_{ort}$  bulunur.

$$(KA)_{ort} = (1.4612 + 1.4683 + 1.4706 + 1.4658 + 1.4698 + 1.4633 + 1.4522) / 7$$

$$(KA)_{ort} = 1.46 \text{ W/K bulunur.}$$

Denklem (5.14) ve (5.16)'den sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden ve soğuk su haznesinden zamanla çevreye kaybolan ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.19. Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)_{ort}$ ( $\frac{W}{K}$ )	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)
0					
30	38.5	25.5	0	21.17	2.19
40	36.555	27.25	1.46	18.33	4.745
55	35.565	27.76	1.46	16.885	5.4896
70	34.57	28.195	1.46	15.432	6.1247
90	33.635	28.505	1.46	14.067	6.5773
120	32.6	28.695	1.46	12.556	6.8547
150	31.605	28.7375	1.46	11.103	6.9168
260	29.985	28.4875	1.46	8.7381	6.5518

Denklem (5.27) ve (5.29)'den sıcak sudan soğuk suya transfer olan ısı ve soğuk suyun almış olduğu ısı miktarları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden soğuk su haznesine geçen ısı ve soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.20. Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta \dot{Q}_1$ (W)	$\Delta \dot{Q}_2$ (W)	$Q_{K1}$	$Q_{K2}$	$Q_{Tr1} = \left( -\Delta \dot{Q}_1 \right) - Q_{K1}$	$Q_{Tr2} = \Delta \dot{Q}_2 + Q_{K2}$
0						
30	-59.22	59.217	21.17	2.19	38.047	61.407
40	-52.7	29.608	18.33	4.745	34.373	34.353
55	-43.03	20.528	16.885	5.4896	26.146	26.018
70	-35.53	13.817	15.432	6.1247	20.098	19.942
90	-28.72	7.9942	14.067	6.5773	14.653	14.572

Tablo 5.20. devam

120	-21.71	2.1713	12.556	6.8547	9.1568	9.026
150	-17.57	-0.493	11.103	6.9168	6.4643	6.4233
260	-12.65	-2.557	8.7381	6.5518	3.9127	3.9947

Denklem (5.31)'den camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K'A'$  bulunur. Aşağıdaki tabloda camdan transfer olan ısı transfer katsayıları verilmiştir.

Tablo 5.21. Camın Isı Transfer Katsayısı

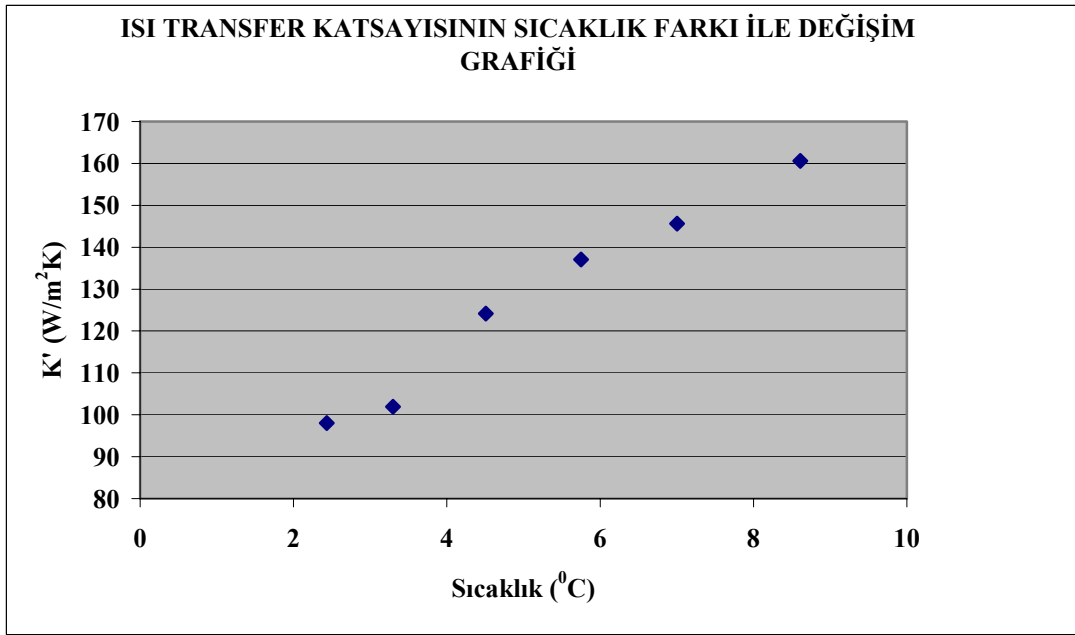
$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$Q_{Tr}$ (W)	$K'A'$ ( $\frac{W}{K}$ )	$K'$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )
0					
30	38.5	25.5	38.047		
40	36.555	27.25	34.373	3.694	160.61
55	35.565	27.76	26.146	3.3499	145.65
70	34.57	28.195	20.098	3.1526	137.07
90	33.635	28.505	14.653	2.8563	124.19
120	32.6	28.695	9.1568	2.3449	101.95
150	31.605	28.7375	6.4643	2.2543	98.015
260	29.985	28.4875	3.9127	2.6128	113.6

Soğuk sudan sıcak suya geçen ısı transferinin sıcaklık farkı ile değişim grafiği aşağıdaki şekilde olur.

Tablo 5.22. Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı

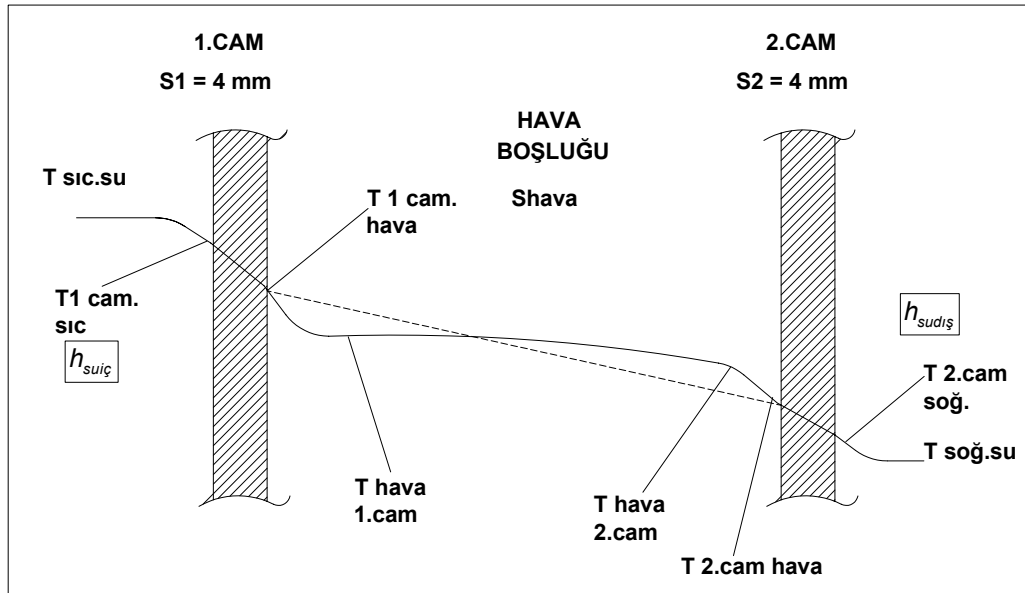
$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sıc}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta t = T_{sıc} - T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$K'A'$ ( $\frac{W}{K}$ )	$K'$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )
0	24	40			
30	27	37			
40	27.5	36.11	8.61	3.694	160.61
55	28.02	35.02	7	3.3499	145.65
70	28.37	34.12	5.75	3.1526	137.07
90	28.64	33.15	4.51	2.8563	124.19
120	28.75	32.05	3.3	2.3449	101.95
150	28.725	31.16	2.435	2.2543	98.015
260	28.25	28.81	0.56	2.6128	113.6





Şekil 5.10. Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı ile Değişimi

Çift camlar ile yapılan deneylerde, camlardan olan ısı geçişi şekildeki gibi olmaktadır.



Şekil 5.11. Çift Cam İle Yapılan Deneylerdeki Isı Geçiş

Yukarıdaki şekilde 4 mm kalınlığında iki adet camın aralarında hava boşluğu kalacak şekilde yerleştirilmesi sonucu oluşan ısı geçişini göstermektedir. Isı geçişi sıcak su ile soğuk su arasında olmaktadır. Sıcak suyun sıcaklığı  $T_{sic}$ , camın sıcak su tarafındaki yüzey sıcaklığı  $T_{1cam}$ , 1.camın hava boşluğundaki yüzey sıcaklığı  $T_{1cam.hava}$ , havanın sıcak su tarafına yakın alandaki sıcaklığı  $T_{hava1.cam}$ , havanın soğuk su tarafına yakın alandaki sıcaklığı  $T_{hava2.cam}$ , 2.camın hava boşluğundaki yüzey sıcaklığı  $T_{2.camhava}$ , camın soğuk su tarafındaki yüzey sıcaklığı  $T_{2cam}$ , soğuk su sıcaklığı  $T_{soğ}$  olarak gösterilmiştir.

Camdan geçen toplam ısı transfer değerleri matematiksel formüllerle hesaplanmış ve sonuçlar deneysel yöntemlerden bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Camdan geçen toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{1}{K_{pen}} = \frac{1}{h_{suiç}} + \frac{S_1}{k_{cam}} + \frac{S_{hava}}{k_{hava}} + \frac{S_2}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{sudiş}} \quad (5.63)$$

$$S_1 = S_2 = 0.04m$$

Akışkan her yerde aynı özelliğe sahip olduğundan,

$$h_{suiç} = h_{sudiş} \quad \text{yazılabilir.}$$

Aralarında ara boşluk bulunan çift camlı yüzeylerde camlardan geçen toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{1}{K_{pen}} = \frac{1}{h_{suiç}} + \frac{2S_1}{k_{cam}} + \frac{S_{hava}}{k_{hava}} + \frac{1}{h_{sudiş}} \quad (5.64)$$

Serbest konveksiyonlu ısı taşınım katsayısı ( $h$ ) için 8 mm tek cam kullanılarak yapılan deneyden elde edilen eğri denklemi  $y = 82.808Ln(x) + 38.399$  olarak

bulundu. Bu denklemde  $x$  yerine akışkanlar arasındaki zamana bağlı sıcaklık farkı yazılarak ara boşluk bırakılarak yapılan deneyler için ısı taşınım katsayısı ( $h$ ) bulunur ve yine sular haznelere konulduğu andan itibaren ısı transferinin en yüksek olacağı ilkesinden yola çıkarak ( $h$ )'ya bir atama yapılır.

Diğer taraftan deneysel olarak bulunan toplam ısı transfer değeri yardımıyla aralarında ara boşluk bulunan çift camlı yüzeylerde camdan olan toplam ısı transferi de aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_{tr} = K_{pen} \cdot A \cdot \Delta(T) \quad (5.65)$$

Aşağıdaki tabloda denklem (5.43) ve (5.61)' den saç levhadan geçen ısı transfer değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda aralarında 5 mm ara boşluk bırakılan çift camlı deneyde saç levhadan geçen ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.23. Saç Levhadan Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$\mu$	$Q_{saç}$ (W)
0	24	40			
30	27	37	330	21.498	34.537
40	27.5	36.11	216.66	17.42	24.094
55	28.02	35.02	199.52	16.717	18.797
70	28.37	34.12	183.23	16.02	14.796
90	28.64	33.15	163.12	15.115	10.949
120	28.75	32.05	137.26	13.865	7.3468
150	28.725	31.16	112.09	12.529	4.896
260	28.25	28.81			

Yukarıdaki sonuçlara bakılınca bir önceki deneyde olduğu gibi, burada da ısı transfer katsayısının, camlardan geçen ısı transferinin, saçtan olan ısı transferinin zamanla azaldığı görülmüştür ve yine aynı şekilde deney şartları tam sağlanamadığı için, sular haznelere henüz yeni koyulduğundan dolayı ilk 40 dakika boyunca olan değişimler değerlendirmeye alınmamıştır.

Denklem (5.64)'den, aralarında 5 mm boşluk bırakılarak yapılan deney için camlardan geçen toplam ısı transfer katsayısı hesaplanır.

Pencereden geçen ısı transferi de denklem (5.62)'den toplam ısı transferinden saçtan olan ısı transferinin çıkarılmasıyla bulunur.

$$Q_{top} = Q_{pen} + Q_{saç} \quad (5.62)$$

$$Q_{pen} = Q_{top} - Q_{saç} \quad (5.66)$$

Aşağıdaki tabloda 5 mm ara boşluk bırakılarak yapılan deney için 4 mm kalınlığındaki camlardan geçen ısı transfer katsayılar ve ısı transfer değerleri verilmiştir.

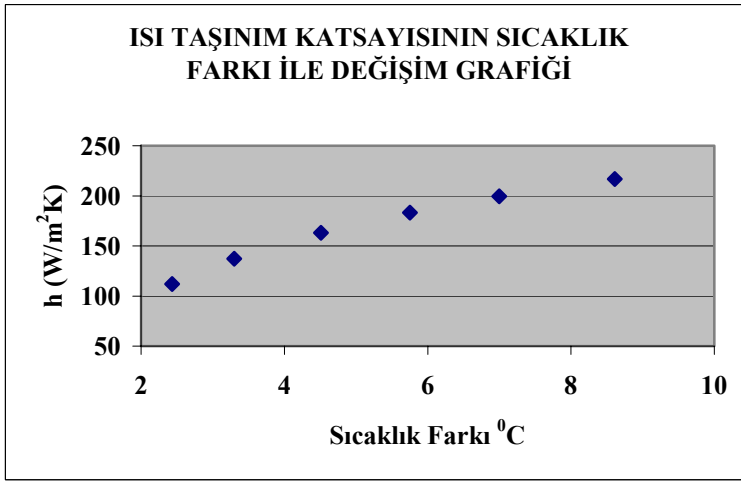
Tablo 5.24. Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$K_{pen}$	$Q_{pen}$
0	24	40			
30	27	37	330	4.6958	3.5095
40	27.5	36.11	216.66	4.6269	10.279
55	28.02	35.02	199.52	4.61	7.349
70	28.37	34.12	183.23	4.5911	5.3018
90	28.64	33.15	163.12	4.5629	3.7043
120	28.75	32.05	137.26	4.5153	1.8099
150	28.725	31.16	112.09	4.4496	1.5684
260	28.25	28.81			

Aşağıdaki şekilde serbest konveksiyon ısı taşınım katsayısının ( $h$ )'ın sıcaklık farkı ile değişim grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.25. Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

$t$ (dak.)	$\Delta(T)$	$h \left( \frac{W}{m^2K} \right)$
0		
30	10	330
40	8.61	216.66
55	7	199.52
70	5.75	183.23
90	4.51	163.12
120	3.3	137.26
150	2.435	112.09



Şekil 5.12. Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği

Denklem (5.65)'den, toplam ısı transferi bulunur.

Tablo 5.26. Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$Q_{pen} (W)$	$Q_{saç} (W)$	$Q_{top} (W)$	$Q_{Tr} (W)$
0				
30	3.5095	34.537	38.047	38.047
40	10.279	24.094	34.373	34.373
55	7.349	18.797	26.146	26.146
70	5.3018	14.796	20.098	20.098
90	3.7043	10.949	14.653	14.653
120	1.8099	7.3468	9.1568	9.1568
150	1.5684	4.896	6.4643	6.4643

Sonuçlara bakılınca deneysel olarak hesaplanan toplam ısı transferinin, matematiksel olarak hesaplanan toplam ısı transferine eşit olduğu ortaya çıkar.

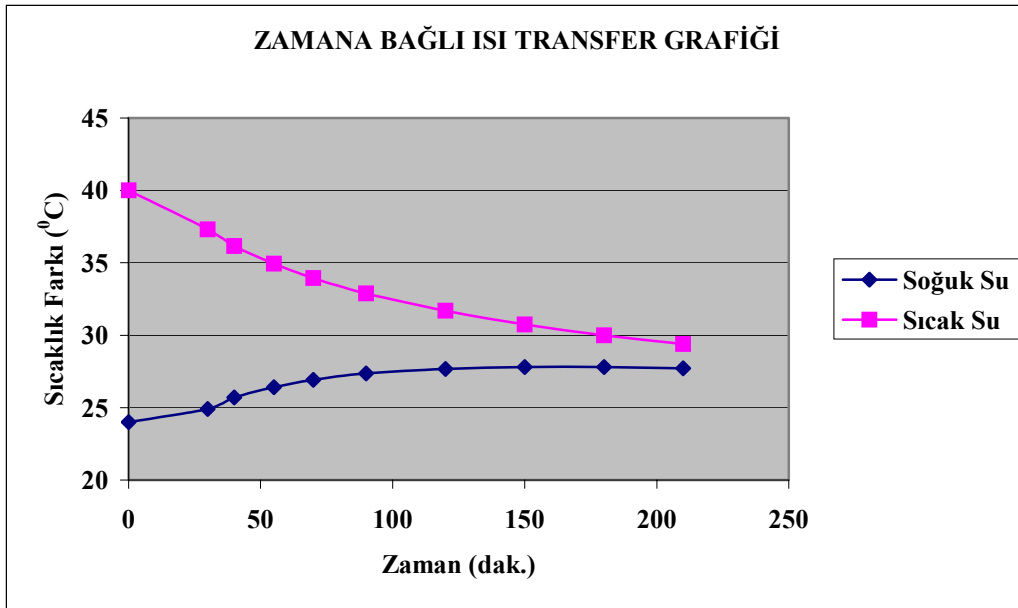
5.2.3. Camlar arası 10 mm ara boşluk bırakılarak yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları

Aşağıdaki tabloda ölçüm değerleri ve denklem (5.8) ve (5.9)'dan yararlanarak bulunmuş sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklık değerleri mevcuttur.

Tablo 5.27. Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )
0	24	40		
30	24.9	37.3	24.45	38.65
40	25.7	36.155	25.3	36.728
55	26.4	34.95	26.05	35.553
70	26.91	33.955	26.655	34.453
90	27.35	32.89	27.13	33.423
120	27.67	31.69	27.51	32.29
150	27.81	30.747	27.74	31.219
180	27.805	30	27.8075	30.374
210	27.706	29.4	27.7555	29.7

Sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıda ki gibi olmaktadır.



Şekil 5.13. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği

Ölçülen sıcaklık değerleri ile düzeltilen sıcaklık değerleri arasındaki fark aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.28. Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri

$t$ (dak.)	Soğuk su farkı ( $^{\circ}C$ )	Sıcak su farkı ( $^{\circ}C$ )
0	0	0
30	0	0
40	0.5	0.055
55	0.9	-0.25
70	0.91	-0.145
90	0.85	-0.11
120	0.87	-0.21
150	0.91	-0.353
180	1.005	-0.2
210	1.206	-0.4

Denklem (5.11) ve (5.13)'den, sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ve soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü hesaplanır. Aşağıdaki tabloda sıcak suyun ve soğuk suyun zamana bağlı ısı güçleri hesaplanmış ve bunların toplamlarının kaybolan ısıya eşit olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5.29. Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sıc}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta\dot{Q}_1$ (W)	$\Delta\dot{Q}_2$ (W)	$Q_{Ktop}$ (W)
0	24	40			
30	24.9	37.3	-53.3	17.765	-35.53
40	25.7	36.155	-67.8	47.373	-20.43
55	26.4	34.95	-47.57	27.634	-19.94
70	26.91	33.955	-39.28	20.134	-19.15
90	27.35	32.89	-31.53	13.028	-18.51
120	27.67	31.69	-23.69	6.3164	-17.37
150	27.81	30.747	-18.61	2.7634	-15.85
180	27.805	30	-14.74	-0.099	-14.84
210	27.706	29.4	-11.84	-1.954	-13.8

Denklem (5.25)'den çevreye geçen toplam ısı transfer katsayısı bulunur.

Tablo 5.30. Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri

$t$ (dak.)	$Q_{Ktop}$ (W)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$KA\left(\frac{W}{K}\right)$
0				
30	-35.53	38.65	24.45	2.353
40	-20.43	36.728	25.3	1.4564
55	-19.94	35.553	26.05	1.4656
70	-19.15	34.453	26.655	1.4607
90	-18.51	33.423	27.13	1.4742
120	-17.37	32.29	27.51	1.4721
150	-15.85	31.219	27.74	1.4464
180	-14.84	30.374	27.8075	1.458
210	-13.8	29.7	27.7555	1.4592

Bulunan sonuçların ortalaması alınıp, çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı  $(KA)_{ort}$  bulunmuştur.

$$(KA)_{ort} = (1.4564 + 1.4656 + 1.4607 + 1.4742 + 1.4721 + 1.4464 + 1.458 + 1.4592) / 8$$

$(KA)_{ort} = 1.46$  W/K bulunur.



Denklem (5.16) ve (5.18) kullanılarak sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden ve soğuk su haznesinden zamanla çevreye kaybolan ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.31. Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)_{ort}$ ( $\frac{W}{K}$ )	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)
0					
30	38.65	24.45	1.46	21.389	0.657
40	36.728	25.3	1.46	18.582	1.898
55	35.553	26.05	1.46	16.867	2.993
70	34.453	26.655	1.46	15.261	3.8763
90	33.423	27.13	1.46	13.757	4.5698
120	32.29	27.51	1.46	12.103	5.1246
150	31.219	27.74	1.46	10.539	5.4604
180	30.374	27.8075	1.46	9.3053	5.559
210	29.7	27.7555	1.46	8.322	5.483

Denklem (5.27) ve (5.29)'den, sıcak sudan soğuk suya transfer olan ısı ve soğuk suyun almış olduğu ısı miktarları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden soğuk su haznesine geçen ısı ve soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.32. Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta \dot{Q}_1$ (W)	$\Delta \dot{Q}_2$ (W)	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)	$Q_{Tr1} = (-\Delta \dot{Q}_1) - Q_{K1}$	$Q_{Tr2} = \Delta \dot{Q}_2 + Q_{K2}$
0						
30	-53.3	17.765	21.389	0.657	31.906	18.422
40	-67.8	47.373	18.582	1.898	49.221	49.271
55	-47.57	27.634	16.867	2.993	30.704	30.627
70	-39.28	20.134	15.261	3.8763	24.02	24.01
90	-31.53	13.028	13.757	4.5698	17.776	17.597
120	-23.69	6.3164	12.103	5.1246	11.583	11.441
150	-18.61	2.7634	10.539	5.4604	8.0748	8.2238
180	-14.74	-0.099	9.3053	5.559	5.4396	5.4603
210	-11.84	-1.954	8.322	5.483	3.5213	3.5289

Denklem (5.31)'den, camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K'$  bulunur.

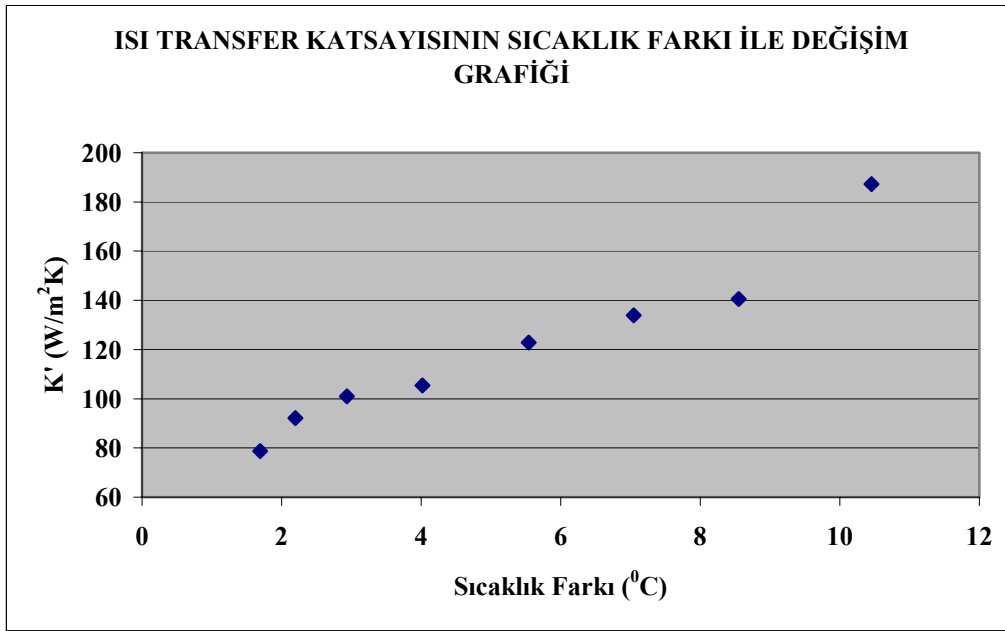
Tablo 5.33. Camın Isı Transfer Katsayısı

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$Q_{Tr}$ (W)	$K' A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0					
30	38.65	24.45	31.906	2.2469	
40	36.728	25.3	49.221	4.3072	187.27
55	35.553	26.05	30.704	3.2312	140.49
70	34.453	26.655	24.02	3.0804	133.93
90	33.423	27.13	17.776	2.825	122.82
120	32.29	27.51	11.583	2.4233	105.36
150	31.219	27.74	8.0748	2.3213	100.93
180	30.374	27.8075	5.4396	2.1199	92.169
210	29.7	27.7555	3.5213	1.8109	78.736

Soğuk sudan sıcak suya geçen ısı transferinin sıcaklık farkı ile değişim grafiği aşağıdaki şekilde olur.

Tablo 5.34. Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sıc}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta t = T_{sıc} - T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$K' A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0	24	40			
30	24.9	37.3	12.4	2.2469	
40	25.7	36.155	10.455	4.3072	187.27
55	26.4	34.95	8.55	3.2312	140.49
70	26.91	33.955	7.045	3.0804	133.93
90	27.35	32.89	5.54	2.825	122.82
120	27.67	31.69	4.02	2.4233	105.36
150	27.81	30.747	2.937	2.3213	100.93
180	27.805	30	2.195	2.1199	92.169
210	27.706	29.4	1.694	1.8109	78.736



Şekil 5.14. Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

Aşağıdaki tabloda denklem (5.43) ve (5.61)'den saç levhadan geçen ısı transfer değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda aralarında 10 mm ara boşluk bırakılan çift camlı deneyde saç levhadan geçen ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.35. Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ (°C)	$T_{sic}$ (°C)	$h$ $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$	$\mu$	$Q_{saç}$ (W)
0	24	40			
30	24.9	37.3	330	21.498	42.826
40	25.7	36.155	232.74	18.054	30.323
55	26.4	34.95	216.08	17.396	23.894
70	26.91	33.955	200.05	16.739	18.943
90	27.35	32.89	180.15	15.884	14.135
120	27.67	31.69	153.6	14.667	9.4693
150	27.81	30.747	127.61	13.369	6.3036
180	27.805	30	103.5	12.04	4.2393
210	27.706	29.4	82.043	10.719	2.9078

Denklem (5.65)'den,  $K_{pen}$  çekilerek camdan olan ısı transfer katsayısı bulunur.

$$Q_{tr} = K_{pen} \cdot A \cdot \Delta(T) \quad (5.65)$$

$$K_{pen} = \frac{Q_{tr}}{A \cdot \Delta(T)} \quad (5.67)$$

Pencereden geçen ısı transferi de denklem (5.62)'den toplam ısı transferinden saçtan olan ısı transferinin çıkarılmasıyla bulunur.

$$Q_{top} = Q_{pen} + Q_{saç} \quad (5.62)$$

$$Q_{pen} = Q_{top} - Q_{saç} \quad (5.66)$$

Aşağıdaki tabloda 10 mm ara boşluk bırakılarak yapılan deney için 4 mm kalınlığındaki camlardan geçen ısı transfer katsayılar ve ısı transfer değerleri verilmiştir.

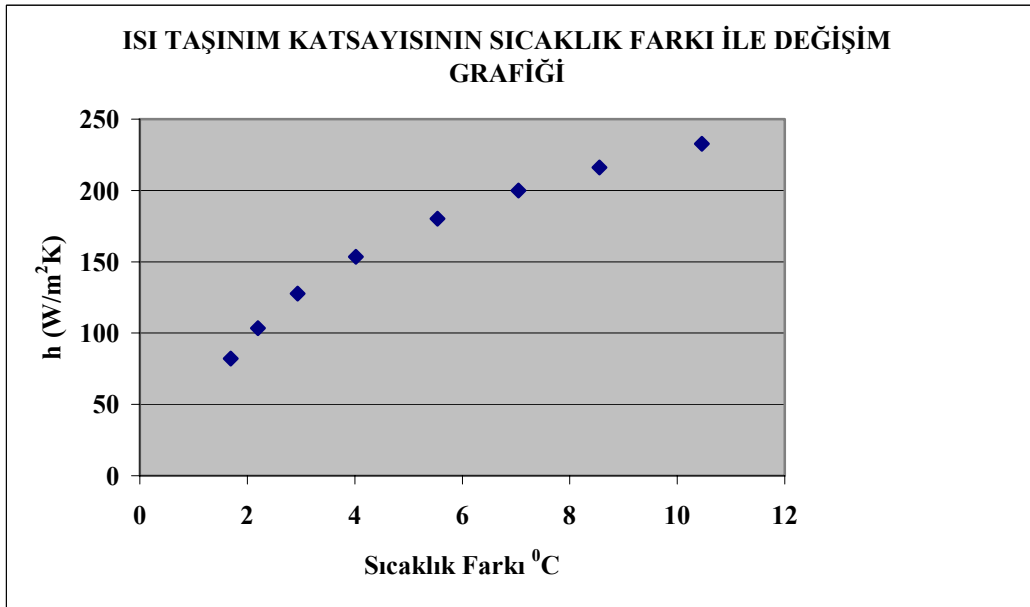
Tablo 5.36. Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$K_{pen}$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$Q_{pen}$ (W)
0	24	40			
30	24.9	37.3	330		0.6906
40	25.7	36.155	232.74	204.69	18.898
55	26.4	34.95	216.08	156.14	6.8104
70	26.91	33.955	200.05	148.24	5.0768
90	27.35	32.89	180.15	139.51	3.6409
120	27.67	31.69	153.6	125.28	2.1139
150	27.81	30.747	127.61	119.54	1.7712
180	27.805	30	103.5	107.75	1.2003
210	27.706	29.4	82.043	90.379	0.6135

Aşağıda ki tabloda serbest konveksiyon ısı taşınım katsayısının ( $h$ )' in sıcaklık farkı ile değişim grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.37. Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

$t$ (dak.)	$\Delta(T)$	$h \left( \frac{W}{m^2K} \right)$
0		
30	12.4	330
40	10.455	232.74
55	8.55	216.08
70	7.045	200.05
90	5.54	180.15
120	4.02	153.6
150	2.937	127.61
180	2.195	103.5
210	1.694	82.043



Şekil 5.15. Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği

Denklem (5.62)'den, toplam ısı transferi bulunur. Aşağıdaki tabloda toplam ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.38. Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$Q_{pen}$ (W)	$Q_{saç}$ (W)	$Q_{top}$ (W)	$Q_{Tr}$ (W)
0				
30	0.6906	42.826	43.517	31.906
40	18.898	30.323	49.221	49.221
55	6.8104	23.894	30.704	30.704
70	5.0768	18.943	24.02	24.02
90	3.6409	14.135	17.776	17.776
120	2.1139	9.4693	11.583	11.583
150	1.7712	6.3036	8.0748	8.0748
180	1.2003	4.2393	5.4396	5.4396
210	0.6135	2.9078	3.5213	3.5213

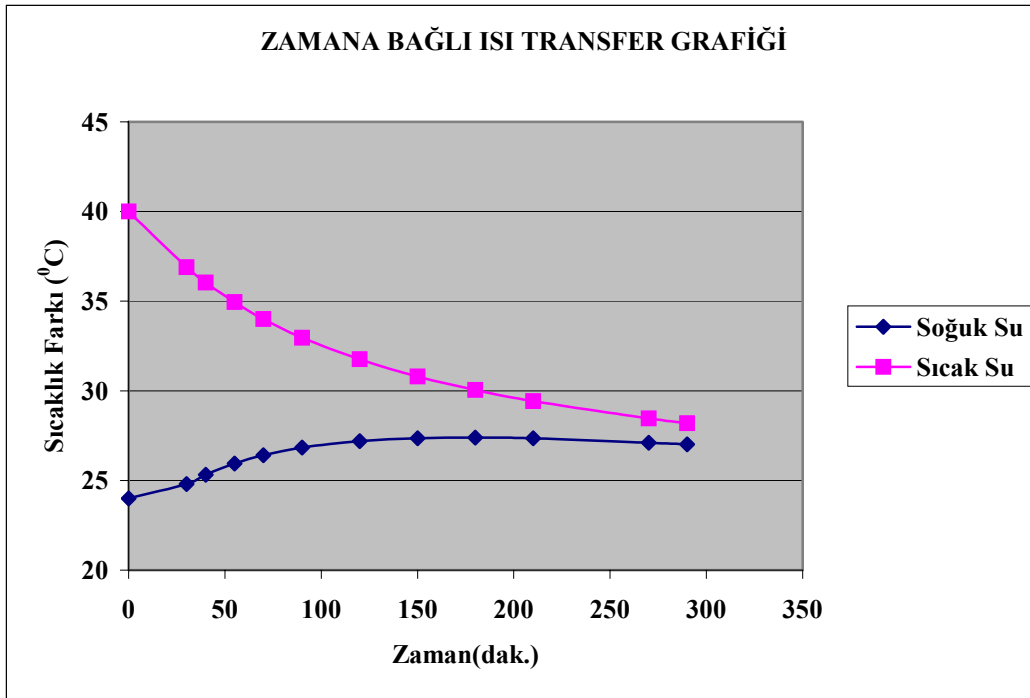
5.2.4. Camlar arası 25 mm ara boşluk bırakılarak yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçlar

Aşağıdaki tabloda ölçüm değerleri ve denklem (5.8) ve (5.9)'dan yararlanarak bulunmuş sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklık değerleri mevcuttur.

Tablo 5.39. Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )
0	24	40		
30	24.8	36.9	24.4	38.45
40	25.325	36.04	25.0625	36.47
55	25.938	34.941	25.6315	35.491
70	26.41	34	26.174	34.471
90	26.84	32.97	26.625	33.485
120	27.2	31.76	27.02	32.365
150	27.36	30.81	27.28	31.285
180	27.4	30.05	27.38	30.43
210	27.35	29.43	27.375	29.74
270	27.1	28.47	27.225	28.95
290	27.01	28.2	27.055	28.335

Sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 5.16. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafliği

Ölçülen sıcaklık değerleri ile düzeltilen sıcaklık değerleri arasındaki fark aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.40. Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri

$t$ (dak.)	Soğuk su farkı ( $^{\circ}C$ )	Sıcak su farkı ( $^{\circ}C$ )
0	0	0
30	0	0
40	0.425	0.04
55	0.738	-0.459
70	0.91	-0.5
90	1.04	-1.03
120	1.2	-0.64
150	1.36	-0.19
180	1.1	-0.45
210	1.05	-0.57
270	0.9	-0.53
290	1.01	-0.7

Denklem (5.11) ve (5.13)'den sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ve soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü hesaplanır. Aşağıdaki tabloda sıcak suyun ve soğuk suyun zamana bağlı ısı güçleri hesaplanmış ve bunların toplamlarının kaybolan ısıya eşit olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5.41. Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta\dot{Q}_1$ (W)	$\Delta\dot{Q}_2$ (W)	$Q_{Ktop}$ (W)
0	24	40			
30	24.8	36.9	-61.19	15.791	-45.4
40	25.325	36.04	-50.93	31.089	-19.84
55	25.938	34.941	-43.39	24.2	-19.19
70	26.41	34	-37.15	18.634	-18.52
90	26.84	32.97	-30.5	12.732	-17.77
120	27.2	31.76	-23.88	7.106	-16.78
150	27.36	30.81	-18.75	3.1582	-15.59
180	27.4	30.05	-15	0.7896	-14.21
210	27.35	29.43	-12.24	-0.987	-13.23
270	27.1	28.47	-9.475	-2.467	-11.94
290	27.01	28.2	-7.994	-2.665	-10.66

Denklem (5.25) kullanılarak çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı bulunur.

Tablo 5.42. Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri

$t$ (dak.)	$Q_{Ktop}$ (W)	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)\left(\frac{W}{K}\right)$
0				
30	-45.4	38.45	24.4	3.0572
40	-19.84	36.47	25.0625	1.4659
55	-19.19	35.491	25.6315	1.4621
70	-18.52	34.471	26.174	1.4643
90	-17.77	33.485	26.625	1.467
120	-16.78	32.365	27.02	1.4737
150	-15.59	31.285	27.28	1.476
180	-14.21	30.43	27.38	1.4487
210	-13.23	29.74	27.375	1.4509
270	-11.94	28.95	27.225	1.4608



Bulunan sonuçların ortalaması alınıp, çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı  $(KA)_{ort}$  bulunmuştur.

$$(KA)_{ort} = (.465+1.462+1.46+1.46+1.47+1.47+1.4487+1.4509+1.4608+1.4424)$$

$$(KA)_{ort} = 1.461 \text{ W/K bulunur.}$$

Denklem (5.16) ve (5.18) kullanılarak sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden ve soğuk su haznesinden zamanla çevreye kaybolan ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.43. Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları

$t \text{ (dak.)}$	$\Delta T_{sıcort} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$\Delta T_{soğort} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$(KA)_{ort} \left(\frac{W}{K}\right)$	$Q_{K1} \text{ (W)}$	$Q_{K2} \text{ (W)}$
0					
30	38.45	24.4	3.0572	21.097	0.584
40	36.47	25.0625	1.4659	18.206	1.5513
55	35.491	25.6315	1.4621	16.776	2.382
70	34.471	26.174	1.4643	15.287	3.174
90	33.485	26.625	1.467	13.848	3.8325
120	32.365	27.02	1.4737	12.213	4.4092
150	31.285	27.28	1.476	10.636	4.7888
180	30.43	27.38	1.4487	9.3878	4.9348
210	29.74	27.375	1.4509	8.3804	4.9275
270	28.95	27.225	1.4608	7.227	4.7085
290	28.335	27.055	1.4424	6.3291	4.4603

Denklem (5.27) ve (5.29)'den, sıcak sudan soğuk suya transfer olan ısı ve soğuk suyun almış olduğu ısı miktarları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden soğuk su haznesine geçen ısı ve soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.44. Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta \dot{Q}_1$ (W)	$\Delta \dot{Q}_2$ (W)	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)	$Q_{Tr1} = \left( -\Delta \dot{Q}_1 \right) - Q_{K1}$	$Q_{Tr2} = \Delta \dot{Q}_2 + Q_{K2}$
0						
30	-61.19	15.791	21.097	0.584	40.094	16.375
40	-50.93	31.089	18.206	1.5513	32.72	32.64
55	-43.39	24.2	16.776	2.382	26.61	26.582
70	-37.15	18.634	15.287	3.174	21.862	21.808
90	-30.5	12.732	13.848	3.8325	16.648	16.564
120	-23.88	7.106	12.213	4.4092	11.671	11.515
150	-18.75	3.1582	10.636	4.7888	8.1158	7.947
180	-15	0.7896	9.3878	4.9348	5.6138	5.7244
210	-12.24	-0.987	8.3804	4.9275	3.8577	3.9406
270	-9.475	-2.467	7.227	4.7085	2.2477	2.2411
290	-7.994	-2.665	6.3291	4.4603	1.6651	1.7956

Denklem (5.31)'den, camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K'A'$  bulunur.

Aşağıdaki tabloda camdan transfer olan ısı transfer katsayıları verilmiştir.

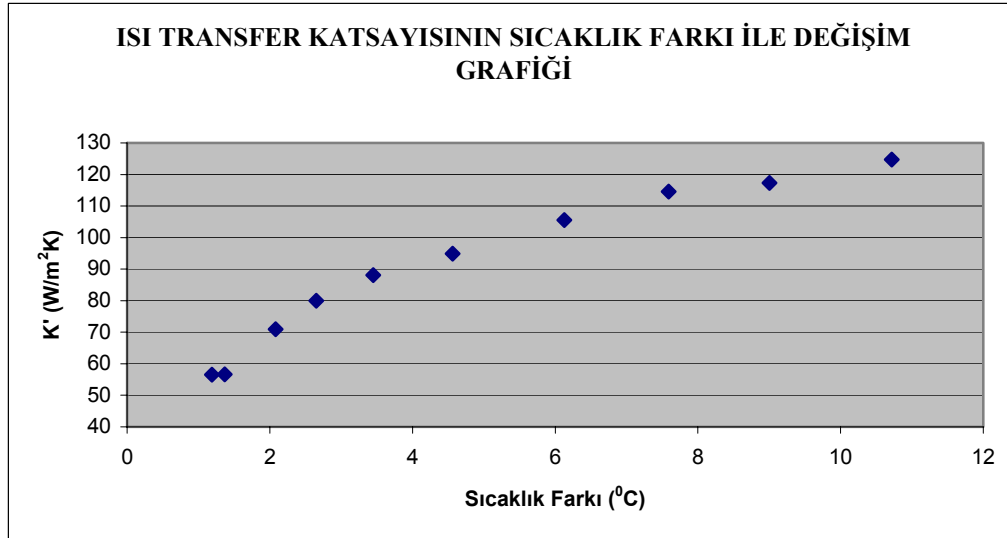
Tablo 5.45. Camın Isı Transfer Katsayısı

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$Q_{Tr}$ (W)	$K'A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0					
30	38.45	24.4	40.094	2.8536	
40	36.47	25.0625	32.72	2.8683	124.71
55	35.491	25.6315	26.61	2.6991	117.35
70	34.471	26.174	21.862	2.635	114.57
90	33.485	26.625	16.648	2.4269	105.52
120	32.365	27.02	11.671	2.1836	94.938
150	31.285	27.28	8.1158	2.0264	88.106
180	30.43	27.38	5.6138	1.8406	80.025
210	29.74	27.375	3.8577	1.6312	70.92
270	28.95	27.225	2.2477	1.303	56.652
290	28.335	27.055	1.6651	1.3009	56.561

Soğuk sudan sıcak suya geçen ısı transferinin sıcaklık farkı ile değişim grafiği aşağıdaki şekilde olur.

Tablo 5.46. Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta t = T_{sic} - T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$K' A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0	24	40			
30	24.8	36.9	12.1	2.8536	
40	25.325	36.04	10.715	2.8683	124.71
55	25.938	34.941	9.003	2.6991	117.35
70	26.41	34	7.59	2.635	114.57
90	26.84	32.97	6.13	2.4269	105.52
120	27.2	31.76	4.56	2.1836	94.938
150	27.36	30.81	3.45	2.0264	88.106
180	27.4	30.05	2.65	1.8406	80.025
210	27.35	29.43	2.08	1.6312	70.92
270	27.1	28.47	1.37	1.303	56.652
290	27.01	28.2	1.19	1.3009	56.561



Şekil 5.17. Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

25 mm ara boşluk bırakılarak yapılan deneylerde hava hareketleri göz önüne alınmış ve havanın ısı taşınım katsayısı bulunmuştur.

Toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{1}{K'} = \frac{1}{h_{suiç}} + \frac{S_1}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{havaıç}} + \frac{1}{h_{havadış}} + \frac{S_2}{k_{cam}} + \frac{1}{h_{sudiş}} \quad (5.68)$$

Burada;

$$S_1 = S_2 = 0.004mm$$

Hava da her yerde aynı özelliğe sahip olduğundan;

$$\frac{1}{h_{hava\i\c}} = \frac{1}{h_{hava\di\ş}} \text{ olur.}$$

$$\frac{1}{K'} = \frac{2}{h_{su}} + \frac{2S_1}{k_{cam}} + \frac{2}{h_{hava}} \quad (5.69)$$

Havanın ısı taşınım katsayısı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$h_{hava} = \frac{2}{\left( \frac{1}{K'} - \frac{2}{h_{su}} - \frac{2S_1}{k_{cam}} \right)} \quad (5.70)$$

Taşınım ile olan ısı geçişi de aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_{taş} = h_{hava} \cdot A \cdot \Delta(T) = Q_{pen} \quad (5.71)$$

Toplam ısı transferi de aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Q_{tr} = Q_{saç} + Q_{taş} \quad (5.72)$$

Aşağıdaki tabloda denklem (5.43) ve (5.61)'dan saç levhadan geçen ısı transfer değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda aralarında 25 mm ara boşluk bırakılan çift camlı deneyde saç levhadan geçen ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.47. Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$\mu$	$Q_{saç}$ (W)
0	24	40			
30	24.8	36.9	330	21.498	41.79
40	25.325	36.04	234.77	18.133	31.213
55	25.938	34.941	220.36	17.568	25.407
70	26.41	34	206.22	16.995	20.721
90	26.84	32.97	188.53	16.25	16.001
120	27.2	31.76	164.03	15.157	11.101
150	27.36	30.81	140.94	14.05	7.7835
180	27.4	30.05	119.09	12.915	5.4935
210	27.35	29.43	99.04	11.778	3.9288
270	27.1	28.47	64.466	9.5021	2.0774
290	27.01	28.2	52.803	8.5997	1.6253

Denklem (5.70) ve (5.71)'den, havanın ısı taşınım katsayısı ve taşınım ile geçen ısı hesaplanır. Aşağıdaki tabloda havanın ısı taşınım katsayısı ve taşınım ile geçen ısı miktarları verilmiştir.

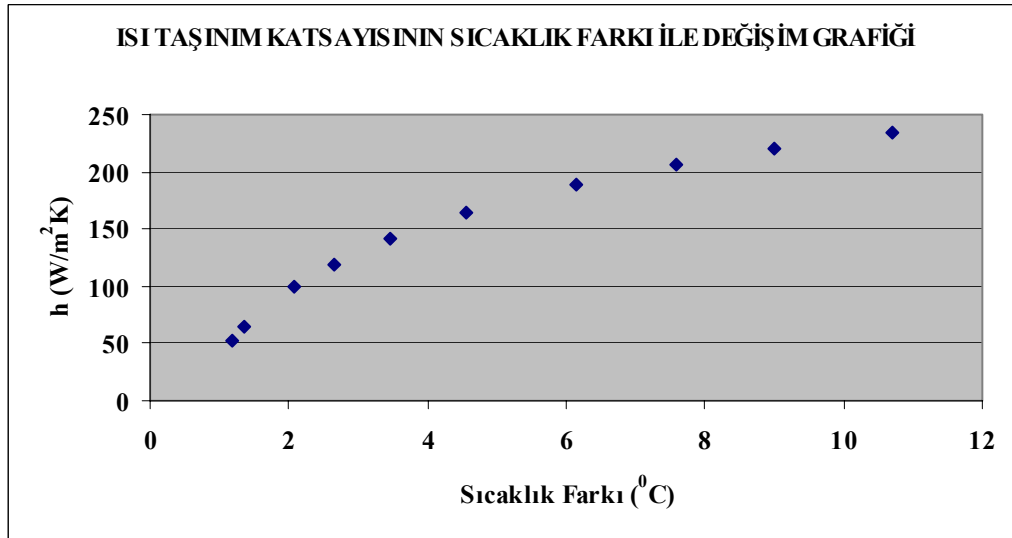
Tablo 5.48. Camlar Arasındaki Havanın Isı Taşınım Katsayısı ve Taşınım İle Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$h_{hava}$ ( $\frac{W}{mK}$ )	$Q_{taş}$ (W)
0	24	40			
30	24.8	36.9	330	5.9264	1.7096
40	25.325	36.04	234.77	6.002	1.5332
55	25.938	34.941	220.36	5.6413	1.2108
70	26.41	34	206.22	5.5111	0.9972
90	26.84	32.97	188.53	5.0691	0.7408
120	27.2	31.76	164.03	4.5571	0.4954
150	27.36	30.81	140.94	4.2338	0.3482
180	27.4	30.05	119.09	3.849	0.2432
210	27.35	29.43	99.04	3.4132	0.1692
270	27.1	28.47	64.466	2.7414	0.0895
290	27.01	28.2	52.803	2.7627	0.0784

Aşağıdaki tabloda serbest konveksiyon ısı taşınım katsayısının ( $h$ )'ın sıcaklık farkı ile değişim grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.49. Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

$t$ (dak.)	$\Delta(T)$	$h \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0		
30	12.1	330
40	10.715	234.77
55	9.003	220.36
70	7.59	206.22
90	6.13	188.53
120	4.56	164.03
150	3.45	140.94
180	2.65	119.09
210	2.08	99.04
270	1.37	64.466
290	1.19	52.803



Şekil 5.18. Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği

Denklem (5.72)'den de toplam ısı transferi bulunur. Aşağıdaki tabloda toplam ısı transferi ve daha önce deneysel yol ile bulunan toplam ısı transferleri verilmiştir.

Tablo 5.50. Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$Q_{taş}$ (W)	$Q_{saç}$ (W)	$Q_{top}$ (W)	$Q_{Tr}$ (W)
0				
30	1.7096	41.79	43.499	40.094
40	1.5332	31.213	32.746	32.72
55	1.2108	25.407	26.618	26.61
70	0.9972	20.721	21.718	21.862
90	0.7408	16.001	16.741	16.648
120	0.4954	11.101	11.597	11.671
150	0.3482	7.7835	8.1317	8.1158
180	0.2432	5.4935	5.7366	5.6138
210	0.1692	3.9288	4.098	3.8577
270	0.0895	2.0774	2.1669	2.2477
290	0.0784	1.6253	1.7036	1.6651

5.2.5. Camlar arası 25 mm ara boşluk bırakılan ve ara boşluğa jaluzi yerleştirilerek yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları ( $T_{sıc}:40, T_{soğ}:24$ )

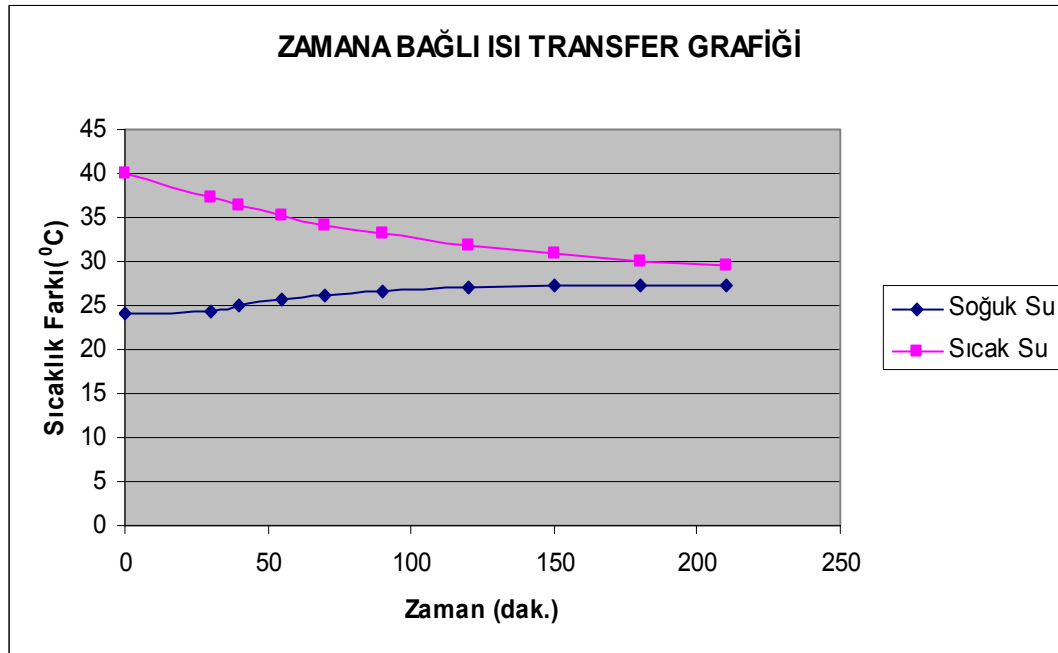
4 mm et kalınlığında 290x290 mm boyutunda iki adet cam arasına 20 mm lamelli jaluzi yerleştirilmiştir. Camlar aralarında 25 mm ara boşluk bırakılarak deney kutusunu eşit iki hazneye bölecek şekilde yerleştirilmiştir. Her tarafı strafor ile çevrili olan kutunun bir haznesine 24 °C sıcaklığında su, diğer haznesine de 40 °C sıcaklığında su konulmuştur. Kutunun üst yüzeyi de daha önce kutunun üst yüzey alanını kapatacak şekilde kesilip hazırlanan 20 mm kalınlığında strafor ile kapatılmıştır. Daha sonra belirli zaman dilimlerinde termometrelerle ölçümler yapılmış ve elde edilen veriler kaydedilmiştir.

Ölçülen sıcaklık değerleri üzerinde  $\pm 1$  °C 'lık ölçüm hataları meydana gelmiş ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda ölçüm değerleri ve denklem (5.8) ve (5.9)'den yararlanılarak bulunmuş olan sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklık değerleri mevcuttur.

Tablo 5.51. Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )
0	24	40		
30	24,4	37,2	24,2	38,6
40	24,97	36,3	24,685	36,75
55	25,64	35,15	25,305	35,725
70	26,16	34,17	25,9	34,66
90	26,64	33,1	26,4	33,635
120	27,05	31,85	26,845	32,475
150	27,25	30,87	27,15	31,36
180	27,32	30,08	27,285	30,475
210	27,29	29,44	27,305	29,76

Sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıda ki gibi olmaktadır.



Şekil 5.19. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği

Ölçülen sıcaklık değerleri ile düzeltilen sıcaklık değerleri arasındaki fark aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Tablo 5.52. Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri

$t$ (dak.)	Soğuk su farkı ( $^{\circ}C$ )	Sıcak su farkı ( $^{\circ}C$ )
0	0	0
30	0	0
40	0,17	-0,1
55	0,24	-0,15
70	0,56	-0,63
90	0,64	-0,4
120	0,85	-0,35
150	0,85	-0,63
180	0,92	-0,92
210	0,89	-0,96

Denklem (5.11) ve (5.13)'den, sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ve soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü hesaplanır. Aşağıdaki tabloda sıcak suyun ve soğuk suyun zamana bağlı ısı güçleri hesaplanmış ve bunların toplamlarının kaybolan ısıya eşit olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5.53. Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta\dot{Q}_1$ (W)	$\Delta\dot{Q}_2$ (W)	$Q_{Ktop}$ (W)
0	24	40			
30	24,4	37,2	-55,27	7,8956	-47,37
40	24,97	36,3	-53,3	33,754	-19,54
55	25,64	35,15	-45,4	26,45	-18,95
70	26,16	34,17	-38,69	20,528	-18,16
90	26,64	33,1	-31,68	14,212	-17,47
120	27,05	31,85	-24,67	8,0929	-16,58
150	27,25	30,87	-19,34	3,9478	-15,4
180	27,32	30,08	-15,59	1,3817	-14,21
210	27,29	29,44	-12,63	-0,592	-13,23

Denklem (5.25) kullanılarak çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı bulunur.

Tablo 5.54. Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri

$t$ (dak.)	$Q_{Ktop}$ (W)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)\left(\frac{W}{K}\right)$
0				
30	-47,37	38,6	24,2	3,2009
40	-19,54	36,75	24,685	1,4545
55	-18,95	35,725	25,305	1,4543
70	-18,16	34,66	25,9	1,4458
90	-17,47	33,635	26,4	1,4515
120	-16,58	32,475	26,845	1,4647
150	-15,4	31,36	27,15	1,4649
180	-14,21	30,475	27,285	1,4561
210	-13,23	29,76	27,305	1,4589

Bulunan sonuçların ortalaması alınıp, çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı  $(KA)_{ort}$  bulunmuştur.

$$(KA)_{ort} = (1,4545 + 1,4543 + 1,4458 + 1,4515 + 1,4647 + 1,4649 + 1,4561 + 1,4589)$$

$$(KA)_{ort} = 1.456 \text{ W/K bulunur.}$$

Denklem (5.16) ve (5.18) kullanılarak sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden ve soğuk su haznesinden zamanla çevreye kaybolan ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.55. Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)_{ort}\left(\frac{W}{K}\right)$	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)
0					
30	38,6	24,2	3,2009	21,316	0,292
40	36,75	24,685	1,4545	18,615	1,0001
55	35,725	25,305	1,4543	17,119	1,9053
70	34,66	25,9	1,4458	15,564	2,774
90	33,635	26,4	1,4515	14,067	3,504
120	32,475	26,845	1,4647	12,374	4,1537

Tablo 5.55. devam

150	31,36	27,15	1,4649	10,746	4,599
180	30,475	27,285	1,4561	9,4535	4,7961

Denklem (5.27) ve (5.29)'dan, sıcak sudan soğuk suya transfer olan ısı ve soğuk suyun almış olduğu ısı miktarları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden soğuk su haznesine geçen ısı ve soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.56. Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta \dot{Q}_1$ (W)	$\Delta \dot{Q}_2$ (W)	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)	$Q_{Tr1} = (-\Delta \dot{Q}_1) - Q_{K1}$	$Q_{Tr2} = \Delta \dot{Q}_2 + Q_{K2}$
0						
30	-55,27	7,8956	21,316	0,292	33,953	8,1876
40	-53,3	33,754	18,615	1,0001	34,68	34,754
55	-45,4	26,45	17,119	1,9053	28,281	28,355
70	-38,69	20,528	15,564	2,774	23,125	23,302
90	-31,68	14,212	14,067	3,504	17,614	17,716
120	-24,67	8,0929	12,374	4,1537	12,3	12,247
150	-19,34	3,9478	10,746	4,599	8,5985	8,5468
180	-15,59	1,3817	9,4535	4,7961	6,1402	6,1778
210	-12,63	-0,592	8,4096	4,8253	4,2233	4,2331

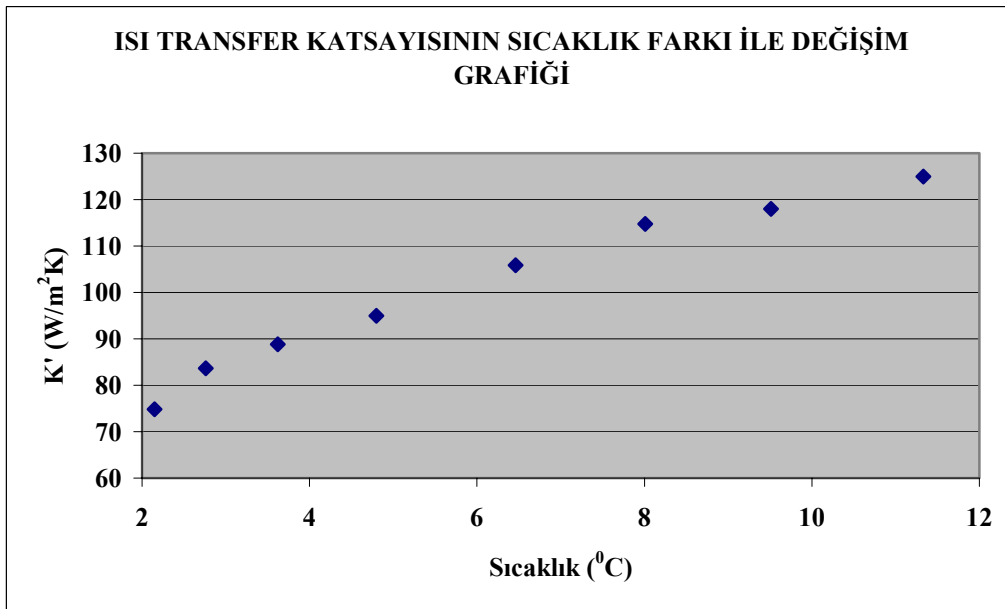
Denklem (5.31)'den, camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K'A'$  bulunur. Aşağıdaki tabloda camdan transfer olan ısı transfer katsayıları verilmiştir.

Tablo 5.57. Camın Isı Transfer Katsayısı

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$Q_{Tr}$ (W)	$K'A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0					
30	38,6	24,2	33,953	2,3578	
40	36,75	24,685	34,68	2,8744	124.98
55	35,725	25,305	28,281	2,7141	118
70	34,66	25,9	23,125	2,6398	114.77
90	33,635	26,4	17,614	2,4345	105.85
120	32,475	26,845	12,3	2,1847	94.989
150	31,36	27,15	8,5985	2,0424	88.8
180	30,475	27,285	6,1402	1,9248	83.688
210	29,76	27,305	4,2233	1,7203	74.795

Tablo 5.58. Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sıc}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta t = T_{sıc} - T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$K' A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0	24	40			
30	24,4	37,2	12,8	2,3578	
40	24,97	36,3	11,33	2,8744	124.98
55	25,64	35,15	9,51	2,7141	118
70	26,16	34,17	8,01	2,6398	114.77
90	26,64	33,1	6,46	2,4345	105.85
120	27,05	31,85	4,8	2,1847	94.989
150	27,25	30,87	3,62	2,0424	88.8
180	27,32	30,08	2,76	1,9248	83.688
210	27,29	29,44	2,15	1,7203	74.795



Şekil 5.20. Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

Aşağıdaki tabloda denklem (5.43) ve (5.61)'den, saç levhadan ısı transfer değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda aralarında 25 mm ara boşluk bırakılan çift camlı deneyde saç levhadan geçen ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.59. Saç Levhadan Geçen ( $\mu$ ) Katsayıları ve Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$\mu$	$Q_{saç}$ (W)
0	24	40			
30	24.4	37.2	330	21.498	44.208
40	24.97	36.3	239.39	18.311	33.327
55	25.64	35.15	224.89	17.748	27.113
70	26.16	34.17	210.68	17.178	22.103
90	26.64	33.1	192.87	16.436	17.055
120	27.05	31.85	168.28	15.352	11.836
150	27.25	30.87	144.92	14.247	8.282
180	27.32	30.08	122.46	13.096	5.8023
210	27.29	29.44	101.78	11.939	4.1175

Denklem (5.70) ve (5.71)'den, havanın ısı taşınım katsayısı ve taşınım ile geçen ısı hesaplanır. Aşağıdaki tabloda havanın ısı taşınım katsayısı ve taşınım ile geçen ısı miktarları verilmiştir.

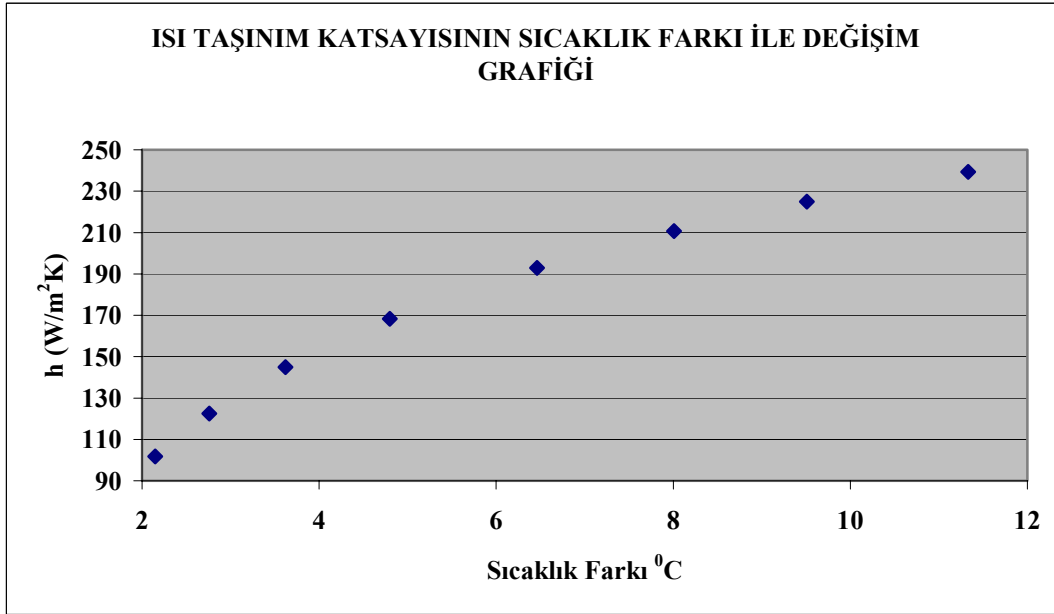
Tablo 5.60. Camlar Arasındaki Havanın Isı Taşınım Katsayısı ve Taşınım İle Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$h_{hava}$ ( $\frac{W}{mK}$ )	$Q_{taş}$ (W)
0	24	40			
30	24.4	37.2	330	4.8643	1.4843
40	24.97	36.3	239.39	6.0124	1.624
55	25.64	35.15	224.89	5.6712	1.2858
70	26.16	34.17	210.68	5.5183	1.0538
90	26.64	33.1	192.87	5.0827	0.7828
120	27.05	31.85	168.28	4.5565	0.5214
150	27.25	30.87	144.92	4.2651	0.3681
180	27.32	30.08	122.46	4.0298	0.2652
210	27.29	29.44	101.78	3.6052	0.1848

Aşağıda ki tabloda serbest konveksiyon ısı taşınım katsayısının ( $h$ )'ın sıcaklık farkı ile değişim grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.61. Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

$t$ (dak.)	$\Delta(T)$	$h \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0		
30	12.8	330
40	11.33	239.39
55	9.51	224.89
70	8.01	210.68
90	6.46	192.87
120	4.8	168.28
150	3.62	144.92
180	2.76	122.46
210	2.15	101.78



Şekil 5.21. Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği

Denklem (5.72)'den de toplam ısı transferi bulunur. Aşağıdaki tabloda toplam ısı transferi ve daha önce deneysel yol ile bulunan toplam ısı transferleri verilmiştir.

Tablo 5.62. Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$Q_{\text{taş}} (W)$	$Q_{\text{saç}} (W)$	$Q_{\text{top}} (W)$	$Q_{Tr} (W)$
0				
30	1.4843	44.208	45.692	33.953
40	1.624	33.327	34.952	34.68
55	1.2858	27.113	28.399	28.281
70	1.0538	22.103	23.157	23.125
90	0.7828	17.055	17.838	17.614
120	0.5214	11.836	12.357	12.3
150	0.3681	8.282	8.6501	8.5985
180	0.2652	5.8023	6.0675	6.1402
210	0.1848	4.1175	4.3023	4.2233

5.2.6. Camlar arası 25 mm ara boşluk bırakılan ve ara boşluğa jaluzi yerleştirilerek yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları ( $T_{\text{sıc}}:35, T_{\text{soğ}}:14$ )

4 mm et kalınlığında 290x290 mm boyutunda iki adet cam arasına 20 mm lamelli jaluzi yerleştirilmiştir. Camlar, aralarında 25 mm ara boşluk bırakılarak deney kutusunu eşit iki hazneye bölecek şekilde yerleştirilmiştir. Her tarafı strafor ile çevrili olan kutunun bir haznesine 14 °C sıcaklığında su, diğer haznesine de 35 °C sıcaklığında su konulmuştur. Kutunun üst yüzeyi de daha önce kutunun üst yüzey alanını kapatacak şekilde kesilip hazırlanan 20 mm kalınlığında strafor ile kapatılmıştır. Daha sonra belirli zaman dilimlerinde termometrelerle ölçümler yapılmış ve elde edilen veriler kaydedilmiştir.

Aşağıdaki tabloda ölçüm değerleri ve denklem (5.8) ve (5.9)'dan yararlanarak bulunmuş sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklık değerleri mevcuttur.

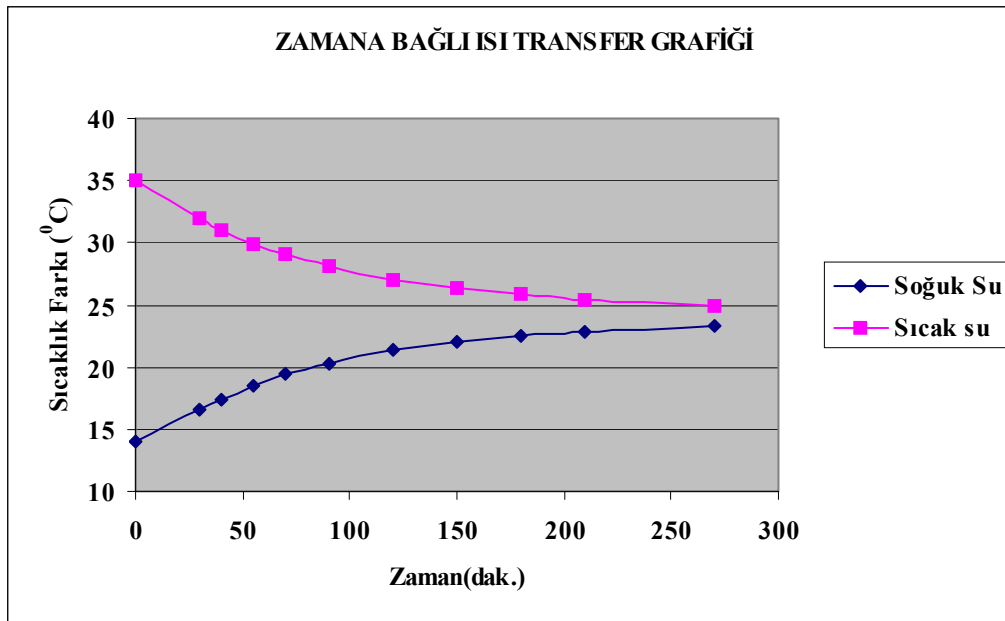
Tablo 5.63. Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{\text{soğ}} (°C)$	$T_{\text{sıc}} (°C)$	$\Delta T_{\text{soğort}} (°C)$	$\Delta T_{\text{sıcort}} (°C)$
0	14	35		
30	16.5	32	15.25	33.5
40	17.399	31.09	16.9495	31.545
55	18.5	29.97	17.9495	30.53
70	19.4	29.05	18.95	29.51

Tablo 5.63. devam

90	20.34	28.09	19.87	28.57
120	21.34	27.067	20.84	27.579
150	22.04	26.335	21.69	26.701
180	22.54	25.81	22.29	26.073
210	22.9	25.43	22.72	25.62
270	23.32	24.97	23.11	25.2

Sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıda ki gibi olmaktadır.



Şekil 5.22. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği

Ölçülen sıcaklık değerleri ile düzeltilen sıcaklık değerleri arasındaki fark aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Tablo 5.64. Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri

$t$ (dak.)	Soğuk su farkı ( $^{\circ}C$ )	Sıcak su farkı ( $^{\circ}C$ )
0	0	0
30	0	0
40	-0.101	-0.41
55	0.5	-0.53
70	0.6	-0.45
90	-0.16	0.09
120	0.14	-0.133
150	0.54	-0.165
180	0.14	0.61
210	0.4	0.63
270	0.32	0.77

Denklem (5.11) ve (5.13)'den, sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ve soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü hesaplanır. Aşağıdaki tabloda sıcak suyun ve soğuk suyun zamana bağlı ısı güçleri hesaplanmış ve bunların toplamlarının kaybolan ısıya eşit olduğu gösterilmiştir.

Tablo 5.65. Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta\dot{Q}_1$ (W)	$\Delta\dot{Q}_2$ (W)	$Q_{Ktop}$ (W)
0	14	35			
30	16.5	32	-59.22	49.347	-9.869
40	17.399	31.09	-53.89	53.236	-0.651
55	18.5	29.97	-44.22	43.465	-0.75
70	19.4	29.05	-36.32	35.53	-0.79
90	20.34	28.09	-28.42	27.832	-0.592
120	21.34	27.067	-20.19	19.739	-0.454
150	22.04	26.335	-14.45	13.817	-0.632
180	22.54	25.81	-10.36	9.8694	-0.493
210	22.9	25.43	-7.501	7.106	-0.395
270	23.32	24.97	-4.54	4.1452	-0.395

Denklem (5.25) kullanılarak çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı bulunur.

Tablo 5.66. Zamanla Çevreye Geçen Isıl Güç Değerleri

$t$ (dak.)	$Q_{Ktop}$ (W)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)\left(\frac{W}{K}\right)$
0				
30	-9.869	33.5	15.25	13.159
40	-0.651	31.545	16.9495	1.3173
55	-0.75	30.53	17.9495	1.5643
70	-0.79	29.51	18.95	1.7164
90	-0.592	28.57	19.87	1.3458
120	-0.454	27.579	20.84	1.0848
150	-0.632	26.701	21.69	1.6155
180	-0.493	26.073	22.29	1.3613
210	-0.395	25.62	22.72	1.1611
270	-0.395	25.2	23.11	1.2735

Bulunan sonuçların ortalaması alınıp, çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı  $(KA)_{ort}$  bulunmuştur.

$$(KA)_{ort} = (1.3173 + 1.5643 + 1.7164 + 1.3458 + 1.0848 + 1.6155 + 1.3613 + 1.1611 + 1.2735)$$

$$(KA)_{ort} = 1.382 \text{ W/K bulunur.}$$

Denklem (5.16) ve (5.18) kullanılarak sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden ve soğuk su haznesinden zamanla çevreye kaybolan ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.67. Sıcak ve Soğuk Su Haznesinden Zamanla Çevreye Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)_{ort}\left(\frac{W}{K}\right)$	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)
0					
30	33.5	15.25	13.159	13.11	-12.08
40	31.545	16.9495	1.3173	10.412	-9.73
55	30.53	17.9495	1.5643	9.0114	-8.35
70	29.51	18.95	1.7164	7.6038	-6.969
90	28.57	19.87	1.3458	6.3066	-5.699
120	27.579	20.84	1.0848	4.9383	-4.361
150	26.701	21.69	1.6155	3.7274	-3.188
180	26.073	22.29	1.3613	2.8601	-2.36
210	25.62	22.72	1.1611	2.2356	-1.766

Denklem (5.27) ve (5.29)'dan, sıcak sudan soğuk suya transfer olan ısı ve soğuk suyun almış olduğu ısı miktarları bulunur. Sıcak suyun verdiği ısı soğuk suyun almış olduğu ısıya eşit olduğu görülmüştür. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden soğuk su haznesine geçen ısı ve soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.68. Sıcak Sudan Soğuk Suyu (Camdan) Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta \dot{Q}_1$ (W)	$\Delta \dot{Q}_2$ (W)	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)	$Q_{Tr1} = (-\Delta \dot{Q}_1) - Q_{K1}$	$Q_{Tr2} = \Delta \dot{Q}_2 + Q_{K2}$
0						
30	-59.22	49.347	13.11	-12.08		
40	-53.89	53.236	10.412	-9.73	43.475	43.475
55	-44.22	43.465	9.0114	-8.35	35.204	35.204
70	-36.32	35.53	7.6038	-6.969	28.716	28.716
90	-28.42	27.832	6.3066	-5.699	22.117	22.117
120	-20.19	19.739	4.9383	-4.361	15.255	15.255
150	-14.45	13.817	3.7274	-3.188	10.721	10.721
180	-10.36	9.8694	2.8601	-2.36	7.5029	7.5029
210	-7.501	7.106	2.2356	-1.766	5.2652	5.2652
270	-4.54	4.1452	1.656	-1.228	2.8839	2.8839

Denklem (5.31)'den, camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K'A'$  bulunur. Aşağıdaki tabloda camdan transfer olan ısı transfer katsayıları verilmiştir.

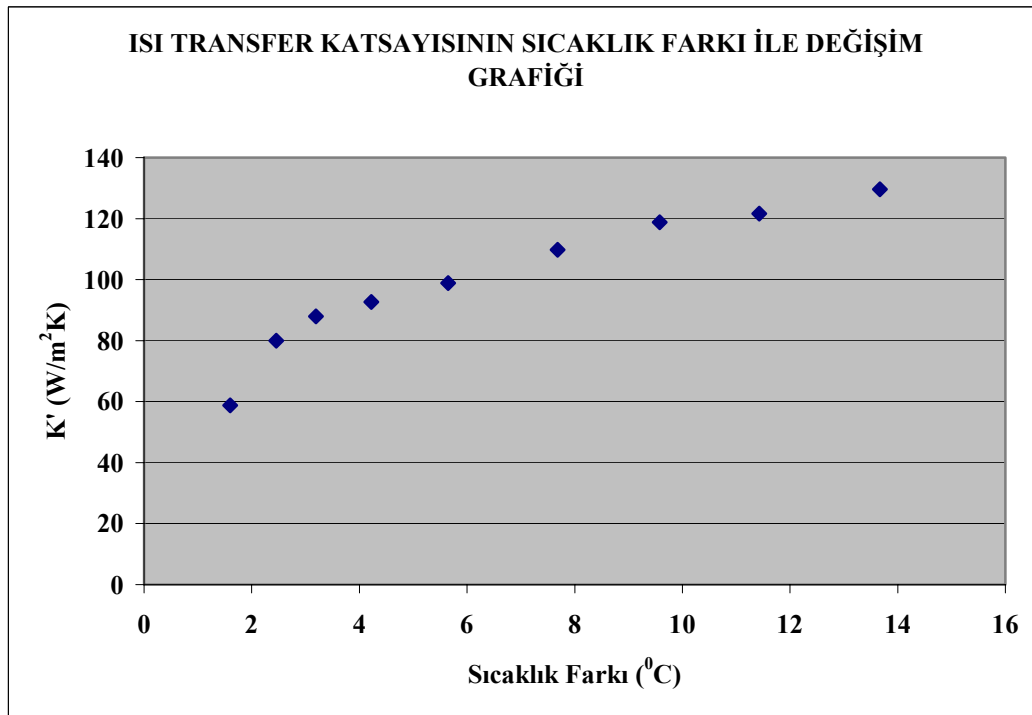
Tablo 5.69. Camın Isı Transfer Katsayısı

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$Q_{Tr}$ (W)	$K'A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0					
30	33.5	15.25	46.107	2.5264	
40	31.545	16.9495	43.475	2.9787	129.58
55	30.53	17.9495	35.204	2.7983	121.61
70	29.51	18.95	28.716	2.7193	118.84
90	28.57	19.87	22.117	2.5422	109.81
120	27.579	20.84	15.255	2.2638	98.864
150	26.701	21.69	10.721	2.1396	92.67
180	26.073	22.29	7.5029	1.9836	87.901
210	25.62	22.72	5.2652	1.8156	79.995
270	25.2	23.11	2.8839	1.3799	58.75

Soğuk sudan sıcak suya geçen ısı transferinin sıcaklık farkı ile değişim grafiği aşağıdaki şekilde olur.

Tablo 5.70. Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta t = T_{sic} - T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$K' A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0	14	35			
30	16.5	32	15.5	2.5264	
40	17.399	31.09	13.691	2.9787	129.58
55	18.5	29.97	11.47	2.7983	121.61
70	19.4	29.05	9.65	2.7193	118.84
90	20.34	28.09	7.75	2.5422	109.81
120	21.34	27.067	5.727	2.2638	98.864
150	22.04	26.335	4.295	2.1396	92.67
180	22.54	25.81	3.27	1.9836	87.901
210	22.9	25.43	2.53	1.8156	79.995
270	23.32	24.97	1.65	1.3799	58.75



Şekil 5.23. Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

Aşağıdaki tabloda denklem (5.43) ve (5.61)'den, saç levhadan geçen ısı transfer değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda aralarında 25 mm ara boşluk bırakılan çift camlı deneyde saç levhadan geçen ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.71. Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$\mu$	$Q_{saç}$ (W)
0	14	35			
30	16.5	32	330	21.498	53.533
40	17.399	31.09	255.07	18.901	41.57
55	18.5	29.97	240.41	18.35	33.811
70	19.4	29.05	226.1	17.795	27.586
90	20.34	28.09	207.95	17.066	21.246
120	21.34	27.067	182.9	16.005	14.723
150	22.04	26.335	159.08	14.926	10.296
180	22.54	25.81	136.5	13.827	7.2599
210	22.9	25.43	115.26	12.705	5.1589
270	23.32	24.97	79.864	10.576	2.7936

Denklem (5.70) ve (5.71)'den, havanın ısı taşınım katsayısı ve taşınım ile geçen ısı hesaplanır.

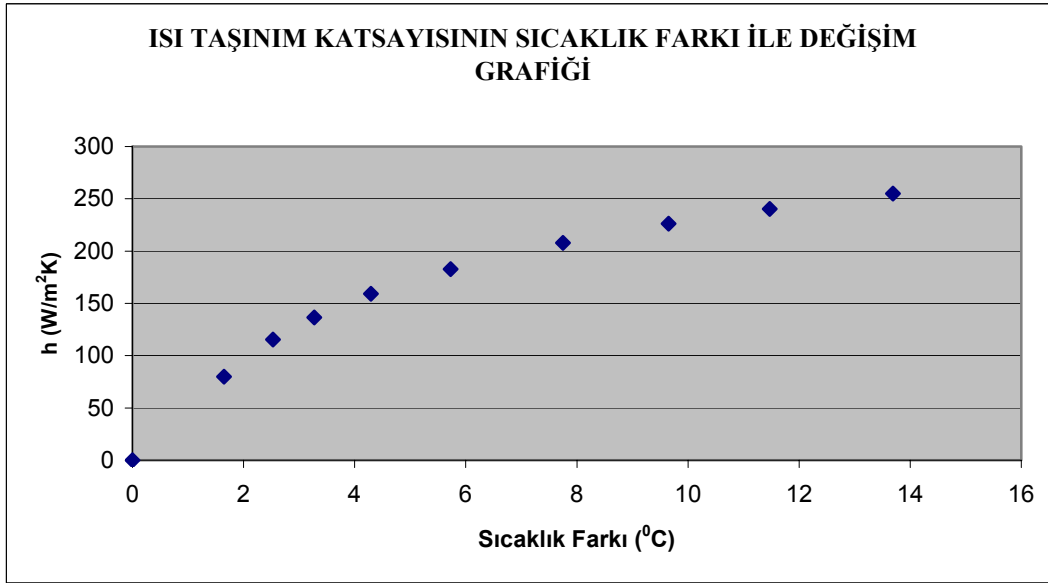
Tablo 5.72. Camlar Arasındaki Havanın Isı Taşınım Katsayısı ve Taşınım İle Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$h_{hava}$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$Q_{taş}$ (W)
0	14	35			
30	16.5	32	330	5.2238	1.9303
40	17.399	31.09	255.07	6.2308	2.0337
55	18.5	29.97	240.41	5.8454	1.5984
70	19.4	29.05	226.1	5.6818	1.3071
90	20.34	28.09	207.95	5.3073	0.9806
120	21.34	27.067	182.9	4.718	0.6442
150	22.04	26.335	159.08	4.4652	0.4572
180	22.54	25.81	136.5	4.1443	0.3231
210	22.9	25.43	115.26	3.7984	0.2291
270	23.32	24.97	79.864	2.887	0.1136

Aşağıdaki tabloda serbest konveksiyon ısı taşınım katsayısının ( $h$ )'ın sıcaklık farkı ile değişim grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.73. Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

$t$ (dak.)	$\Delta(T)$	$h \left( \frac{W}{m^2K} \right)$
0		
30	15.5	330
40	13.691	255.07
55	11.47	240.41
70	9.65	226.1
90	7.75	207.95
120	5.727	182.9
150	4.295	159.08
180	3.27	136.5
210	2.53	115.26
270	1.65	79.864



Şekil 5.24. Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği

Denklem (5.72)'den de toplam ısı transferi bulunur. Aşağıdaki tabloda toplam ısı transferi ve daha önce deneysel yol ile bulunan toplam ısı transferleri verilmiştir.

Tablo 5.74. Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$Q_{taş} (W)$	$Q_{saç} (W)$	$Q_{top} (W)$	$Q_{Tr} (W)$
0				
30	1.9303	53.533	55.463	46.107
40	2.0337	41.57	43.604	43.475
55	1.5984	33.811	35.409	35.204
70	1.3071	27.586	28.893	28.716
90	0.9806	21.246	22.227	22.117
120	0.6442	14.723	15.368	15.255
150	0.4572	10.296	10.754	10.721
180	0.3231	7.2599	7.583	7.5029
210	0.2291	5.1589	5.388	5.2652
270	0.1136	2.7936	2.9072	2.8839

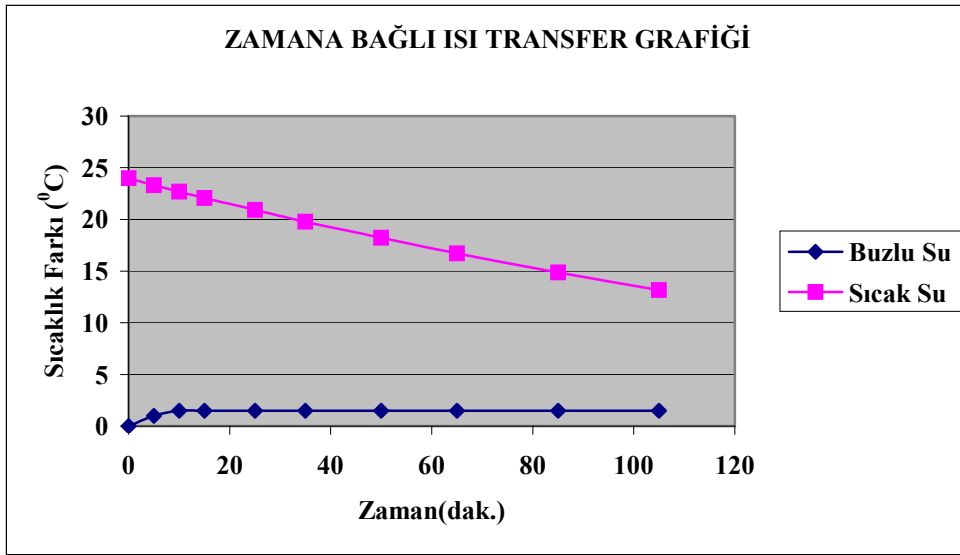
5.2.7. 10 mm ara boşluk bırakılan ve buzlu su kullanılarak yapılan ısı transfer deneyi ve sonuçları ( $T_{sıc}:24, T_{soğ}:0$ )

Aşağıdaki tabloda düzeltilmiş ölçüm değerleri ve denklem (5.8) ve (5.9)'dan yararlanarak bulunmuş sıcak ve soğuk suyun ortalama sıcaklık değerleri mevcuttur.

Tablo 5.75. Sıcak ve Soğuk Suyun Ortalama Sıcaklık Değerleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ} (^{\circ}C)$	$T_{sıc} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{soğort} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{sıcort} (^{\circ}C)$
0	0	24		
5	1	23.314	0.5	23.657
10	1.5	22.69	1.25	23.002
15	1.5	22.08	1.5	22.385
25	1.5	20.91	1.5	21.495
35	1.5	19.786	1.5	20.348
50	1.5	18.21	1.5	18.998
65	1.5	16.72	1.5	17.465
85	1.5	14.88	1.5	15.8
105	1.5	13.17	1.5	14.025

Sıcak su ile soğuk su arasında gerçekleşen ısı transferinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıda ki gibi olmaktadır.



Şekil 5.25. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişim Grafiği

Ölçülen sıcaklık değerleri ile düzeltilen sıcaklık değerleri arasındaki fark aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.76. Ölçülen İlk Sıcaklık ile Düzeltilen Sıcaklık Arasındaki Fark Değerleri

$t$ (dak.)	Soğuk su farkı ( $^{\circ}C$ )	Sıcak su farkı ( $^{\circ}C$ )
0	0	0
5	0	0.314
10	0	0.19
15	0	0.08
25	0	0.91
35	0	0.786
50	0	0.71
65	0	0.22
85	0	-0.12
105	0	-1.33

Denklem (5.11) ve (5.13)'den, sıcak suyun zamana bağlı ısı gücü ve soğuk suyun zamana bağlı ısı gücü hesaplanır. Aşağıdaki tabloda sıcak suyun ve soğuk suyun zamana bağlı ısı güçleri hesaplanmış ve bunların toplamalarının kaybolan ısıya eşit olduğu gösterilmiştir.



Tablo 5.77. Sıcak ve Soğuk Suyun Zamana Bağlı Isıl Güçleri

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta\dot{Q}_1$ (W)	$\Delta\dot{Q}_2$ (W)	$Q_{Ktop}$ (W)
0	0	24			
5	1	23.314	-81.25	118.43	37.188
10	1.5	22.69	-73.9	59.217	-14.69
15	1.5	22.08	-72.24	0	-72.24
25	1.5	20.91	-69.28	0	-69.28
35	1.5	19.786	-66.56	0	-66.56
50	1.5	18.21	-62.22	0	-62.22
65	1.5	16.72	-58.82	0	-58.82
85	1.5	14.88	-54.48	0	-54.48
105	1.5	13.17	-50.63	0	-50.63

Çevreye kaybolan toplam ısı transfer katsayısı bulunur diğer deneylerde bulunan 1.46 alınarak çevreden soğuk su ve sıcak su haznesine giren ısılar bulunmuştur.

Denklem (5.16) ve (5.18) kullanılarak sıcak suyun ve soğuk suyun çevreye olan ısı kayıpları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden ve soğuk su haznesinden zamanla çevreye kaybolan ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.78. Zamanla Çevreden Sıcak Su ve Soğuk Su Haznesine Transfer Olan Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sicort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$(KA)_{ort}$ ( $\frac{W}{K}$ )	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)
0					
5	23.657	0.5	1.46	-0.501	-34.31
10	23.002	1.25	1.46	-1.457	-33.22
15	22.385	1.5	1.46	-2.358	-32.85
25	21.495	1.5	1.46	-3.657	-32.85
35	20.348	1.5	1.46	-5.332	-32.85
50	18.998	1.5	1.46	-7.303	-32.85
65	17.465	1.5	1.46	-9.541	-32.85
85	15.8	1.5	1.46	-11.97	-32.85
105	14.025	1.5	1.46	-14.56	-32.85

Denklem (5.27) ve (5.29)'dan, sıcak sudan soğuk suya transfer olan ısı ve soğuk suyun almış olduğu ısı miktarları bulunur. Aşağıdaki tabloda sıcak su haznesinden soğuk su haznesine geçen ısı ve soğuk su haznesinin almış olduğu ısı miktarları verilmiştir.

Tablo 5.79. Sıcak Sudan Soğuk Suya (Camdan) Geçen Isı Miktarları

$t$ (dak.)	$\Delta \dot{Q}_1$ (W)	$\Delta \dot{Q}_2$ (W)	$Q_{K1}$ (W)	$Q_{K2}$ (W)	$Q_{Tr1} = \left( -\Delta \dot{Q}_1 \right) + Q_{K1}$	$Q_{Tr2} = \Delta \dot{Q}_2 - Q_{K2}$
0						
5	-81.25	118.43	-0.501	-34.31	80.744	152.74
10	-73.9	59.217	-1.457	-33.22	72.445	92.432
15	-72.24	0	-2.358	-32.85	69.886	32.85
25	-69.28	0	-3.657	-32.85	65.626	32.85
35	-66.56	0	-5.332	-32.85	61.228	32.85
50	-62.22	0	-7.303	-32.85	54.914	32.85
65	-58.82	0	-9.541	-32.85	49.281	32.85
85	-54.48	0	-11.97	-32.85	42.507	32.85
105	-50.63	0	-14.56	-32.85	36.067	32.85

Denklem (5.31)'den, camdan geçen ısı transfer katsayısı  $K'A'$  bulunur. Aşağıdaki tabloda camdan transfer olan ısı transfer katsayıları verilmiştir.

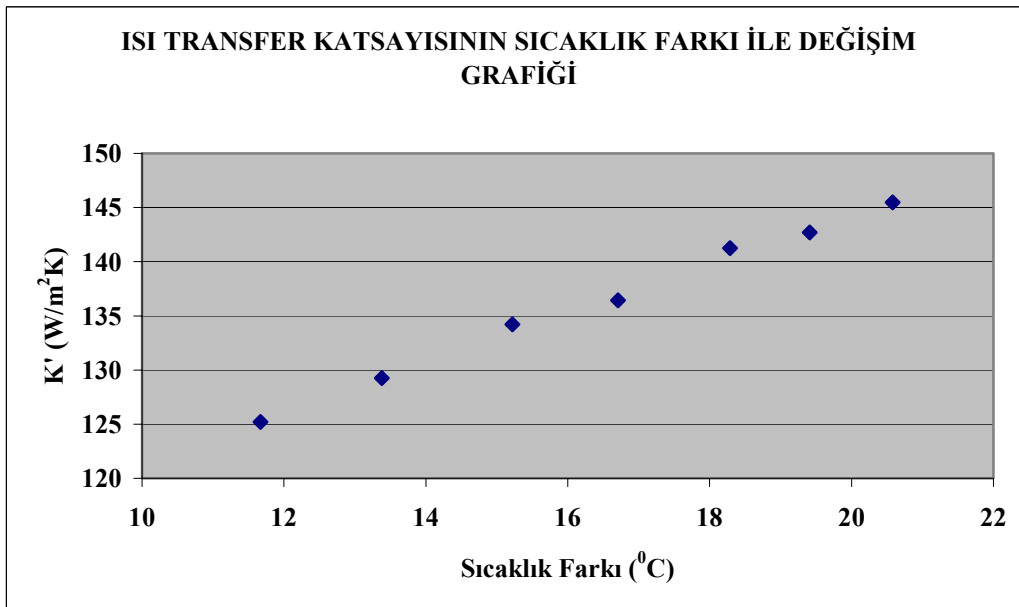
Tablo 5.80. Camın Isı Transfer Katsayısı

$t$ (dak.)	$\Delta T_{sıcort}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T_{soğort}$ ( $^{\circ}C$ )	$Q_{Tr}$ (W)	$K'A' \left( \frac{W}{K} \right)$	$K' \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$
0					
5	23.657	0.5	80.744	3.4868	
10	23.002	1.25	72.445	3.3305	
15	22.385	1.5	69.886	3.3463	145.49
25	21.495	1.5	65.626	3.2821	142.7
35	20.348	1.5	61.228	3.2485	141.24
50	18.998	1.5	54.914	3.1383	136.45
65	17.465	1.5	49.281	3.0868	134.21
85	15.8	1.5	42.507	2.9725	129.24
105	14.025	1.5	36.067	2.8796	125.2

Soğuk sudan sıcak suya geçen ısı transferinin sıcaklık farkı ile değişim grafiği aşağıdaki şekilde olur.

Tablo 5.81. Sıcak Su İle Soğuk Su Arasındaki Sıcaklık Farkı

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta t = T_{sic} - T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$K' A'$ ( $\frac{W}{K}$ )	$K'$ ( $\frac{W}{m^2 K}$ )
0	0	24			
5	1	23.314	22.314	3.4868	
10	1.5	22.69	21.19	3.3305	
15	1.5	22.08	20.58	3.3463	145.49
25	1.5	20.91	19.41	3.2821	142.7
35	1.5	19.786	18.286	3.2485	141.24
50	1.5	18.21	16.71	3.1383	136.45
65	1.5	16.72	15.22	3.0868	134.21
85	1.5	14.88	13.38	2.9725	129.24
105	1.5	13.17	11.67	2.8796	125.2



Şekil 5.26. Pencerenin Isı Transfer Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

Aşağıdaki tabloda denklem (5.43) ve (5.61)'den, saç levhadan geçen ısı transfer değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda aralarında 25 mm ara boşluk bırakılan çift camlı deneyde saç levhadan geçen ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.82. Saç Levhadan Geçen Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$\mu$	$Q_{saç}$ (W)
0	0	24			
5	1	23.314	330	21.498	77.066
10	1.5	22.69	291.23	20.196	68.751
15	1.5	22.08	288.81	20.112	66.494
25	1.5	20.91	283.97	19.943	62.185
35	1.5	19.786	279.03	19.769	58.072
50	1.5	18.21	271.57	19.502	52.353
65	1.5	16.72	263.83	19.223	47
85	1.5	14.88	253.16	18.83	40.474
105	1.5	13.17	241.84	18.404	34.503

Denklem (5.65)'den  $K_{pen}$  çekilerek camdan olan ısı transfer katsayısı bulunur.

$$Q_{tr} = K_{pen} \cdot A \cdot \Delta(T) \quad (5.65)$$

$$K_{pen} = \frac{Q_{tr}}{A \cdot \Delta(T)} \quad (5.67)$$

Pencereden geçen ısı transferi de denklem (5.62)'den, toplam ısı transferinden saçtan olan ısı transferinin çıkarılmasıyla bulunur.

$$Q_{top} = Q_{pen} + Q_{saç} \quad (5.62)$$

$$Q_{pen} = Q_{top} - Q_{saç} \quad (5.66)$$

Aşağıdaki tabloda 10 mm ara boşluk bırakılarak yapılan deney için 4 mm kalınlığındaki camlardan geçen ısı transfer katsayıları ve ısı transfer değerleri verilmiştir.

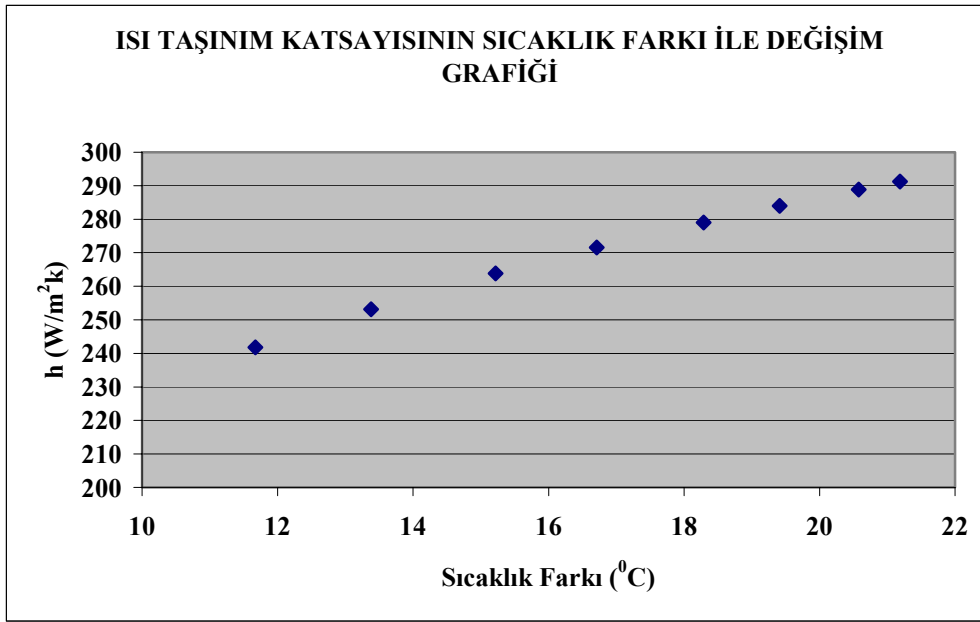
Tablo 5.83. Camın Isı Transfer Katsayıları ve Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$T_{soğ}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{sic}$ ( $^{\circ}C$ )	$h$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$K_{pen}$ ( $\frac{W}{m^2K}$ )	$Q_{pen}$ (W)
0	0	24			
5	1	23.314	330	157.33	3.6783
10	1.5	22.69	291.23	148.65	3.6946
15	1.5	22.08	288.81	147.65	3.3927
25	1.5	20.91	283.97	147	3.4412
35	1.5	19.786	279.03	145.58	3.1554
50	1.5	18.21	271.57	142.88	2.5615
65	1.5	16.72	263.83	140.78	2.2804
85	1.5	14.88	253.16	138.13	2.0332
105	1.5	13.17	241.84	134.37	1.564

Aşağıdaki tabloda serbest konveksiyon ısı taşınım katsayısının ( $h$ )'ın sıcaklık farkı ile değişim grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5.84. Serbest Konveksiyon Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimi

$t$ (dak.)	$\Delta(T)$	$h$
0		
5		
10	21.19	291.23
15	20.58	288.81
25	19.41	283.97
35	18.286	279.03
50	16.71	271.57
65	15.22	263.83
85	13.38	253.16
105	11.67	241.84



Şekil 5.27. Isı Taşınım Katsayısının Sıcaklık Farkı İle Değişimini Veren Yaklaşım Grafiği

Denklem (5.62)'den, toplam ısı transferi bulunur. Aşağıdaki tabloda toplam ısı transfer değerleri verilmiştir.

Tablo 5.85. Deneysel ve Matematiksel Metotlar İle Bulunan Toplam Isı Transfer Miktarları

$t$ (dak.)	$Q_{pen}$ (W)	$Q_{saç}$ (W)	$Q_{top}$ (W)	$Q_{Tr}$ (W)
0				
5	3.6783	77.066	80.744	80.744
10	3.6946	68.751	72.445	72.445
15	3.3927	66.494	69.886	69.886
25	3.4412	62.185	65.626	65.626
35	3.1554	58.072	61.228	61.228
50	2.5615	52.353	54.914	54.914
65	2.2804	47	49.281	49.281
85	2.0332	40.474	42.507	42.507
105	1.564	34.503	36.067	36.067

Aşağıdaki tabloda, elde edilen tüm veriler toplu halde gösterilmiştir.

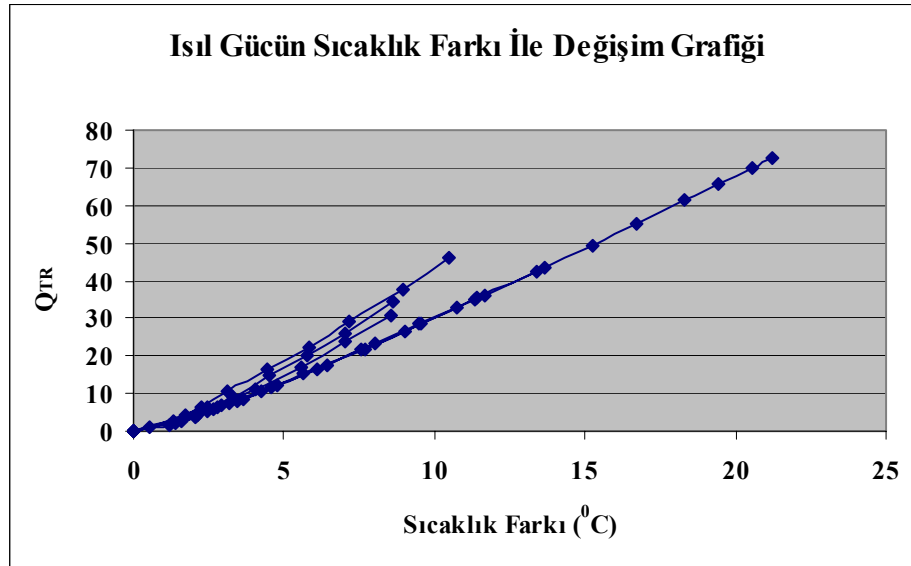
Tablo 5.86. Isı Transfer Miktarları

8 mm tek cam			
$\Delta(T)$	$Q_{Tr}(W)$	$q\left(\frac{W}{m^2}\right)$	$Q_{pen}(W)$
10.49	45.9247	1996.72722	15.5485
8.97	37.7405	1640.89174	12.7361
7.18	29.3076	1274.24189	9.85983
5.815	22.2576	967.720197	7.42712
4.44	16.5291	718.65511	5.49255
3.11	10.3698	450.862668	3.37688
2.26	6.4003	278.274034	2.00353
1.705	4.02631	175.056944	1.19301
1.32	2.68277	116.642357	0.75466
0	0	0	0
5 mm ara boşluk, çift cam			
8.61	34.3725	1494.45797	10.279
7	26.1459	1136.77729	7.34898
5.75	20.0978	873.817391	5.30181
4.51	14.653	637.086232	3.70426
3.3	9.15678	398.120773	1.80994
2.435	6.46431	281.057005	1.56836
0.56	1	43.4782609	
0	0	0	
10 mm ara boşluk, çift cam			
	49.2209	2140.04058	
8.55	30.7041	1334.95966	6.81041
7.045	24.0197	1044.33647	5.07685
5.54	17	739.130435	3.6
4.02	11	478.26087	2.1
2.937	7	304.347826	1.7
2.195	5.43964	236.506087	1.20034
0	0	0	0
25 mm ara boşluk, çift cam			
10.715	32.64	1419.13043	1.53318
9.003	26.5819	1155.73338	1.2108
7.59	21.8076	948.154396	0.99721
6.13	16.5641	720.177536	0.7408
4.56	11.5152	500.66087	0.4954
3.45	7.94702	345.522705	0.34822
2.65	5.72436	248.885024	0.24316
2.08	3.94056	171.328502	0.16925
1.37	2.24114	97.4408213	0.08954
1.19	1.79555	78.0673913	0.07838
0	0	0	0
25 mm ara boşluk, çift cam arası jaluzi uygulaması			
11.33	34.7536	1511.02609	1.624
9.51	28.3554	1232.84396	1.28578
8.01	23.3024	1013.14976	1.05377
6.46	17.716	770.26087	0.78277
4.8	12.2466	532.462802	0.5214
3.62	8.54678	371.599034	0.36808

Tablo 5.86. devam

2.76	6.17782	268.600966	0.26516
2.15	4.23313	184.049275	0.18479
0	0	0	0
25 mm ara boşluk, çift cam arası jaluzi uygulaması ( farklı sıcaklık)			
13.672	43.4816	1890.50319	2.03209
11.425	35.2878	1534.25077	1.59142
9.58	28.7966	1252.02681	1.30471
7.68	21.8604	950.453623	0.96516
5.65	15.1837	660.160386	0.63855
4.22	10.503	456.65314	0.44754
3.19	7.43124	323.097585	0.32166
2.456	5.17279	224.903768	0.22568
1.6	2.74701	119.435411	0.10786
0	0	0	0
10 mm ara boşluk, çift cam( buzlu su)			
21.19	72.4453	3149.79652	3.69455
20.58	69.8864	3038.54058	3.39268
19.41	65.6262	2853.31304	3.44118
18.286	61.2276	2662.07014	3.15543
16.71	54.9141	2387.56773	2.56148
15.22	49.2808	2142.643	2.28038
13.38	42.5073	1848.14493	2.03321
11.67	36.0668	1568.11957	1.56399

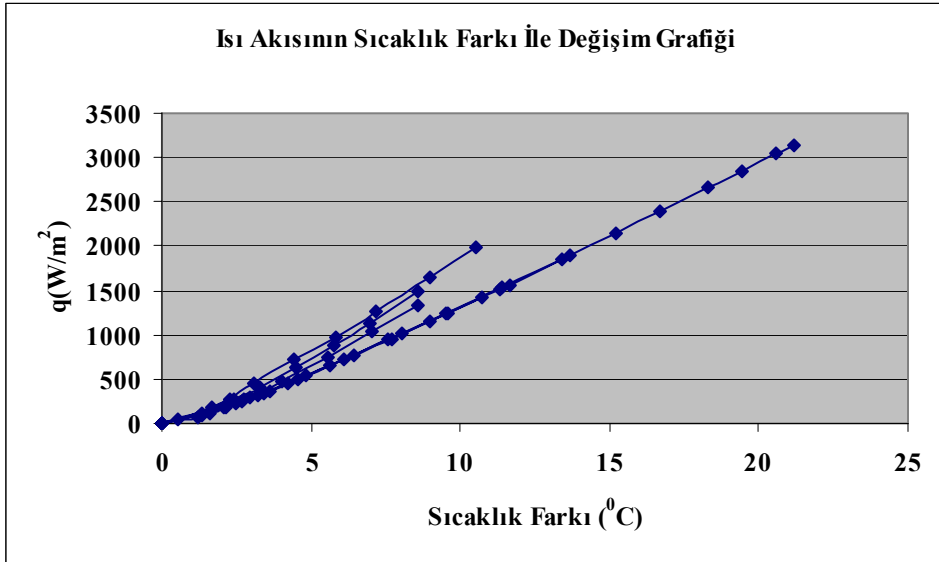
Aşağıdaki grafikte, her aralık için bulunan  $Q_{tr}$  değerlerinin sıcaklık farkı ile değişim grafiği mevcuttur.



Şekil 5.28. Sıcak Sudan Soğuk Su Bölümüne Geçen Isıl Gücün Sıcaklık Farkı İle Değişim Grafiği

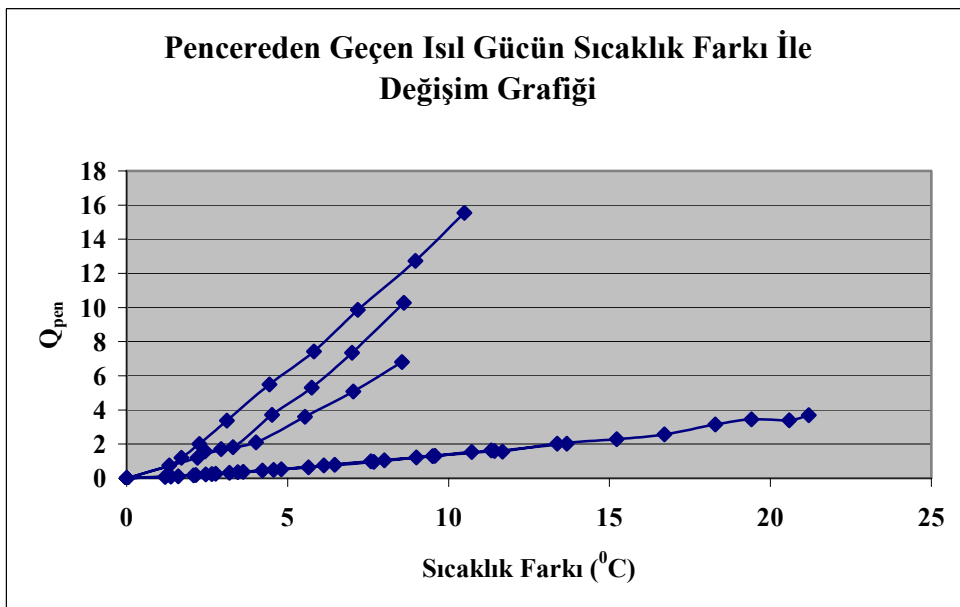


Aşağıdaki grafikte, her aralık için bulunan ısı akısının  $q$  sıcaklık farkı ile değişim grafiği mevcuttur.



Şekil 5.29. Isı Akısının Sıcaklık Farkı İle Değişim Grafiği

Aşağıdaki grafikte, her aralık için bulunan  $Q_{\text{pen}}$ ' in sıcaklık farkı ile değişim grafiği mevcuttur.



Şekil 5.30. Pencereden Geçen Isıl Gücün Sıcaklık Farkı İle Değişim Grafiği

Ara boşluk bırakılarak elde edilebilecek enerji tasarrufu aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\%EnerjiTasarrufu = \frac{Q_{pen}(8mmtekcam)}{Q_{pen}(araboşlukluçiftcam)}$$

Sonuçlara bakıldığında, farklı aralıklarda yapılan deneylerde, camlar arasındaki hava katmanı kalınlığı arttıkça camdan geçen ısı miktarının azaldığı görülmüştür. Pencerelerde çift cam kullanımı enerji sarfiyatını azaltırken, ara boşluğu mesafesi optimum değere doğru yaklaşırken enerji tasarrufu daha çok artmıştır. Deneylerde 5 mm ara boşluk için % 20, 10 mm ara boşluk için % 50, 25 mm ara boşluk için neredeyse % 80 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Camlar arasına koyulan jaluzinin ısı yalıtımına önemli bir katkısı olmadığı görülmüştür.

2000 yılında Orhan Aydın tarafından yapılan matematiksel çalışmalarda da aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Artan hava katmanı kalınlığı ile pencerelerdeki ısı transferinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yine burada da hava katmanı kalınlığının optimum değerinde kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlandığı hesaplanmıştır.

Camdaki Nu sayısının değişiminin hava katmanı kalınlığı ile değişimi verilmiştir. Hava katman kalınlığının en küçük değeri için  $Nu = 1$  civarlarındadır ve Nu sayısı ara boşluk mesafesi neredeyse 15 mm'ye kadar 1 civarında gitmiş ve bu noktadan sonra artmıştır.

## BÖLÜM.6 SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüzde, giderek artan yüksek enerji maliyetlerinden dolayı, yapılarda enerji tasarrufu sağlamak ve mükemmel konfora ulaşmak amacıyla çeşitli alanlarda çalışmalar yapılmaktadır.

Bu Çalışmanın amacı, çift camlı pencerelerde hava katmanı kalınlığının ve jaluzi şeklindeki güneşlik uygulamalarının ısı transferine olan etkilerinin incelenmesi ve yalıtım açısından kanal mesafesinin etkisinin belirlenmesidir. Bunun için; bir deney düzeneğinde, farklı kanal mesafelerinin yalıtım etkisi incelenmiştir ve ayrıca jaluzi uygulaması bulunan çift camlı bir pencerenin yalıtım özelliği açısından etkisi test edilmiştir.

Farklı sıcaklıktaki akışkanlar arasında yapılan deneylerde camlar arası mesafe 5, 10 ve 25 mm olarak değiştirilmiştir ve her kanal mesafesi için akışkanlar arasında gerçekleşen ısı transfer miktarları; sıcaklık-zaman ölçümleri yapılarak, birleşik enerji-kütle denklileri yardımıyla hesaplanmıştır. Ayrıca 8 mm tek cam için (arada hava boşluk mesafesi bırakmaksızın) bir deney yapılarak, 4 x 4 mm çift cam uygulamalarında hava boşluksuz bir pencerenin yalıtım özelliği belirlenerek, hava boşluklarının yalıtım özelliklerinin camların yalıtım özelliklerinden soyutlanması sağlanmıştır. Bunun için transfer edilen ısı akıları esas alınmıştır.

Elde edilen verilerden, camlar arasındaki kanal mesafesi 5 mm' den 25 mm' ye doğru arttıkça sıcaklık farkı ile akışkanlar arasında gerçekleşen ısı transfer miktarının azaldığı görülmüştür. Çalışmanın odak noktasında jaluzi uygulamaları bulunmasından dolayı, test edilen pencere yüksekliği 80-90 mm arasında ( 4-5 jaluzi aralığı) seçilmiştir.

Camlar arası kanal mesafesinin 25 mm olduğu durumda; araya yerleştirilen jaluzinin, ısı yalıtımına negatif veya pozitif anlamda kayda değer bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak jaluzilerin yaz rejimindeki pozitif etkisi unutulmamalıdır. Jaluzilerin camlar arasına yerleştirilmesi, mükemmel konfor sağlarken, temizlik açısından da büyük fayda sağlamaktadır. Pencereye gelen ışığın miktarını ayarlamaya da olanak sağlayan jaluzilerin, yüksekliği fazla olan bir pencerenin, doğal konveksiyonla daha fazla ısı transfer etme potansiyelini ortadan kaldırması sonucu, yalıtıma katkıda bulunduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada camlar arası mesafe ve camlar arasına yerleştirilen jaluzilerin ısı yalıtımına etkisi deneysel olarak incelenmiş olup daha önce yapılmış olan Orhan Aydın'ın çalışmalarıyla örtüştüğü görülmüştür. Orhan Aydın [ tarafından yapılan çalışmalarda camlar arası mesafe 10 mm den 15 mm doğru arttıkça ısı transferindeki değişim teorik olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada deneyler, başlangıçta sıcaklık farkı yüksek olan iki akışkan arasında yapıldığından dolayı, ısı transfer değişimleri kolaylıkla gözlemlenebilmiş ve istenilen parametreler ayarlanarak sonuçlara ulaşılmıştır. Gerçek durumdan farklı olarak her iki tarafta hava yerine su kullanılmıştır, ancak değerlendirme için iki cam arası hava tabakası kalınlığı ve jaluzi uygulaması esas alınmıştır. Bu çalışmalarda camlar arasındaki havanın 25 mm ye kadar katı cisim gibi davrandığı görülmüştür. Diğer bir deyimle, 25 mm' ye kadar hava tabakası hareketsiz bir akışkan özelliği göstermekte olup Nusselt sayısı yaklaşık olarak 1'e eşit olmaktadır. Bu durum Orhan Aydın tarafından da hesaplanmış olup, bu çalışmada deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Bu çalışmada; 5mm ara boşluk için % 20, 10 mm ara boşluk için % 50, 25mm ara boşluk için neredeyse % 80 enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

Yapılan çalışmadan elde edilen bulgular ışığında; pencere dizaynı için 25 mm hava boşluklu ve jaluzi uygulamalı çözümlerin, ısı transferini önemli ölçüde azaltılabileceği ve bu şekilde ekonomiyi desteklediği, enerji sarfiyatının azaltılmasını sağlayacağı kanıtlanmıştır.

İleriye dönük olarak, söz konusu jaluzi uygulamalarının ışınlama ile olan ısı transferini ne şekilde etkileyeceğine ve özellikle yaz rejimi iklimlendirme çalışmalarına esas teşkil edecek olan verilerin elde edilmesine yönelik benzer bir çalışmanın yapılması gerektiği anlaşılmış bulunmaktadır. Bu hedefe yönelik olarak, bir diğer çalışmanın hazırlıkları devam etmektedir.

**KAYNAKLAR**

- [1] S.C.SEKHAR,K.L.C.TOON,On the study of energy performance and life cycle of smart window,Energy Buildings ,1998
- [2] OĞUZ TURGUT,ONUR SİVRİOĞLU, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 17, No 4, 71-82, 2002
- [3] PETER NOVAK,Heat transfer through a double pane window with an insulation screen open at the top,Energy Buildings ,1998
- [4] Z.ZHANG,Naturel convection in a vertical enclosure with internal permeable screen,J.Heat Transfer,1991
- [5] T.MUNEER,B.HAN,Simplified analysis for free convection in enclosures-application to an industrial problem,Energy Covvers,Manage,1996
- [6] N.ABODAHAB,T.MUNEER,Free convection analysis of a window cavity and its longitudinal temperature profile,Energy Convers.Manage,1998
- [7] ORHAN AYDIN,Determination of optimum air-layer thickness in double – pane windows,Trabzon,Turkey,2000
- [8] "Grundlagen der Waermeübertragung" R. Jeschar ; R. Alt ; E. Specht Viola-Jeschar-Verlag, Goslar , 1990

## ÖZGEÇMİŞ

Gülcan Çavuşoğlu Aydın, 22.06.1978 de Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 1995 yılında Akyazı Lisesi'nden mezun oldu. 1997 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nü 2001 yılında bitirdi. 2001 yılında, hala görevini sürdürmekte olduğu Alimex Alüminyum San.ve Tic.Ltd.Şti.'de proje mühendisi olarak çalışmaya başladı.