

7910

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

MİMARLIK PROGRAMI

PARALEL YÜZEYLİ ISI KÖPRÜSÜ İÇEREN YAPI ELEMANINDA YÜZEY
SICAKLIKLARININ HESAPLANMASINDA KULLANILABİLECEK BİR YÖNTEM

Y.Mimar Yalçın YAŞAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor"
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Eylül 1989
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 14 Aralık 1989

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Kutsal ÖZTÜRK

Jüri Üyesi : Prof.Dr. İmer SUNGUROĞLU

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Mesut B. ÖZDENİZ

Enstitü Müdürü : Doç.Dr. Temel SAVAŞKAN

Eylül 1989

TRABZON

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

ÖNSÖZ

Çağımızda, toplumların hızlı gelişmelerine paralel olarak hayat standardındaki yükselmelerin doğal sonucu, yapıda ısı korunumu gittikçe önemsenmekte ve ısıtma enerjisinden tasarruf sağlamak amaçlanmaktadır.

Sınırlayıcı yapı elemanlarında, yürürlükteki higro-termik çevre koşulları için öngörülen ısı ve nem korunumunun, uygulanması sırasında sürekliliğini koruyamadığı kesimler, ısı köprüleri ya da nem köprüleri olarak tanımlanırlar. Sınırlayıcı bir yapı sağlanması gereken ısı ve nem korunumu, uygulamada tam bir bütünlük ve süreklilik göstermelidir. Nasıl ki, bir zincirin mukavemeti, onu oluşturan halkaların en zayıfına ait mukavemete eşit ise, yapıda ısı korunumunun değerlendirilmesinde de ısı köprülerinin etkilerinin önem kazanması bu çalışmanın hazırlanmasına neden olmuştur.

Amaç, bu alandaki çalışmalara yeni katkılarda bulunmak ve uygulayıcıya ısı köprülerinin etkileri konusunda fikir edinebileceği bilgiyi vermektir.

Bana, bu ilginç ve zevkli konuda çalışma olanağı sağlayan, yerinde uyarıları ile sonuca ulaşmama yardımcı olan sayın hocam Prof.Dr. İmer SUNGUROĞLU'na, çabalarını yönlendiren danışmanım sayın Doç.Dr. Kutsal ÖZTÜRK'e, tezin hazırlanmasında büyük ilgi ve yardımlarını gördüğüm sayın Prof.Dr. Nihat TOYDEMİR'e sayın Doç.Dr. Ruhi KAYKAYOĞLU'na, sayın Y.Doç.Dr. Asiye PEHLEVAN'a, KTÜ Mimarlık Bölümü İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Bilim Dalında görevli tüm öğretim elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca deneysel çalışmamı finanse eden İZOCAM A.Ş.'ine ve bana gereksinim duyduğum her konuda, her zaman destek sağlayan aileme minnet ve şükran duygularımı sunarım.

Eylül 1989, Trabzon

Yalçın YAŞAR

İ Ç İ N D E K İ L E R

	Sayfa
SEMBOLLER	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1- GİRİŞ, AMAÇ, KAPSAM	1
BÖLÜM 2- YAPININ ISIL SÜRECİ	6
2.1. İLETİM YOLUYLA ISI AKIMI.....	6
2.2. TAŞINIM YOLUYLA ISI AKIMI.....	7
2.3. IŞINIM YOLUYLA ISI AKIMI.....	8
2.4. YÜZEYDEN ISI GEÇİŞ KURALLARI.....	8
BÖLÜM 3- YAPI ELEMANLARINDA ZAMANA BAĞLI OLMAYAN REJİMDE SICAKLIK ALANLARINI BELİRLEMEK İÇİN KULLANILAN MEVCUT YÖNTEMLER.....	11
3.1. BİR BOYUTLU ISI GEÇİŞİNDE SICAKLIK ALANLARININ HESABI.....	13
3.1.1. Analitik Yöntem.....	13
3.1.2. Grafik Yöntem.....	15
3.2. İKİ BOYUTLU ISI GEÇİŞİNDE SICAKLIK ALANLARININ HESABI.....	17
3.2.1. Analitik Yöntem.....	17
3.2.2. Sayısal Yöntem.....	19
3.2.3. Analog Yöntem.....	23

BÖLÜM 4- ISI KÖPRÜSÜ İÇEREN YAPI ELEMANLARINDA YÜZEY SICAKLIKLARININ HESAPLANMASI İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL BİR AĞ YÖNTEMİ.....	26
4.1. YÖNTEMİN AÇIKLANMASI.....	26
4.1.1. Isı Akımı ve Elektrik Akımı Arasındaki Benzerlik.....	26
4.2. YÖNTEMİN ADIMLARI.....	34
4.2.1. Isı Köprüsünün Isıl Yönden Yapı Elemanının Tümüne Etkisinin Hesabı.....	35
4.2.2. Hesaplanan Çerçeve Genişliğinin İzotermal Dilimlere Ayrılması.....	37
4.2.3. Sınır Sıcaklık Değerlerinin Hesabı.....	37
4.2.4. Ardışık Düğüm Noktalarında Dirençlerin Hesabı.....	40
4.2.5. Kurulan Isı Şebekesine Bağlı Olarak Yüzey Sıcaklıklarının Hesabı.....	41
BÖLÜM 5- YÖNTEMİN UYGULAMASINA İLİŞKİN ÖRNEK.....	44
5.1. YÖNTEMİN İÇERDİĞİ HESAPLAMA İŞLEMLERİNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	44
5.2. ÖRNEK ÇALIŞMASINDA İZLENEN YOL.....	44
BÖLÜM 6- DENEYSEL ÇALIŞMA.....	56
6.1. MODELİN KURULMASI.....	56
6.1.1. Modellerde Kullanılan Bileşenlerin Fiziksel Niteliklerinin Saptanması.....	58
6.1.1.1. Birim Hacim Ağırlık.....	59
6.1.1.2. Porozite.....	60
6.1.1.3. Ultrases Deneyi.....	61
6.1.1.4. Isı İletkenlik Katsayısı Ölçüm Deneyleri.....	62
6.2. DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	65
6.2.1. Sıcaklık Ölçer.....	65
6.2.2. Soğuk Dolap.....	65

6.3. DENEY DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI.....	67
6.4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	70
6.5. DENEY SONUÇLARININ, TEORİK SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI VE İRDELEME.....	70
BÖLÜM 7- SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	116



SEMBOLLER

SİMGE	BİRİM	AÇIKLAMA
A	m^2	Alan
$a(=\lambda/\rho c)$	$m^2/h, \%$	Isıl yayınım katsayısı-ağırlık olarak
B	m	Konstrüksiyon genişliği
b	m	Etki genişliği
b^*	m	Isı köprüsü genişliği
C	Farad ($=F$)	Kapasite
C^*	Farad/ m^3	Birim hacim kapasite
c	Wh/kgK	Özgül ısı
D	m	Çap
d	m	Kalınlık
E	$kg/cm^2, kg/m^2$	Dinamik elastisite modülü
J	Amper/ m^2	Elektrik akım yoğunluğu
h	%	Hacim olarak
i	A	Akım
k	W/m^2K	Isı geçirme katsayısı
$1/k$	m^2K/W	Isı geçirme direnci
L	m	Uzunluk
p	%	Porozite
q	W/m^2 . Coulomb	Isı akım debisi-Elektrik yükü
\dot{q}	W/m^3	Birim hacimde üretilen ısı miktarı
R	$m^2K/W, \Omega$	Direnç
R^*	Ω/m	Birim uzunlukta iletkenin direnci
$S(=V\rho c)$	Wh/K	Isıl kapasite
T	$^{\circ}C$	Sıcaklık
t	h,s	Zaman
t^*	μs	Elastik dalganın örneği kat etme zamanı
V	m^3, V	Hacim-Potansiyel
v	V	Gerilim

xyz	-	Karteziyen koordinatlar
∇	-	Diverjans operatörü
W	gr, kg	Ağırlık
α	W/m^2K	Yüzeysel ısı iletim katsayısı
$1/\alpha$	m^2K/W	Yüzeysel ısı iletim direnci
β	-	Ayırma parametresi
Δ	gr/cm ³ , kg/m ³	Birim hacim ağırlık
Δx	-	x yönünde artırım
Δy	-	y yönünde artırım
$\tau (=1/RC)$	s	Zaman sabiti
δ	gr/cm ³ , kg/m ³	Özgül ağırlık
$1/\Lambda$	m^2K/W	Isı geçirgenlik direnci
λ	W/mK	Isı iletim katsayısı
ρ	kg/m ³ , Coulomb/m ²	Yoğunluk-Elektrik yük yoğunluğu
Φ	W	Isı akımı

MATRİS GÖSTERİMİ

A	:	Lineer cebirsel denklem sisteminin katsayılar matrisi
A^{-1}	:	Lineer cebirsel denklem sisteminin invers matrisi
a_{ij}	:	Matrisin i sıra j sütunundaki elemanı
b_{ij}	:	Invers matrisin i sıra j sütunundaki elemanı
S	:	Lineer cebirsel denklem sisteminin sabitler vektörü
T	:	Hesaplanacak sıcaklık değerleri vektörü

ENDİSLER

O_c	:	Cam
$O_ç$:	Çerçeve
O_d	:	Dış
$O_{dçk}$:	Dış çerçeve katmanı
O_{dg}	:	Doygun
O_{dy}	:	Dış yüzey
O_e	:	Elektriğe göre
O_I	:	Isıl
$O_{I,J}$:	Konum

O_{IK}	:	Isı köprüsu
$O_{I\text{Ş}}$:	Işınım
O_i	:	İç
$O_{i\text{çk}}$:	İç çerçeve katmanı
O_{iy}	:	İç yüzey
O_k	:	kuru
O_{min}	:	Minimum
O_s	:	Su emme
O_t	:	Taşınım
$O_{1..n}$:	Düğüm noktalarının tek boyutlu dizi şeklinde numaraları
O_{GB}	:	Gaz beton



ÖZET

İlk çağlardan beri insanlar tabiattaki olaylardan korunmaya çalışmış ve kendilerine en iyi yaşama koşullarını sağlayacak barınakları, olanakları el verdiğince yaratmaya çalışmışlardır. Böylece zaman içinde insanlığın evrimi ile birlikte yarattıkları ve yaşadıkları barınakların'da evrimi söz konusu olmuş ve günümüz yapılarına gelinmiştir.

Özellikle yaşama biçiminin, modern mimari anlayışının, endüstri ve ekonomik koşullarının değişmesi ile yapıda ısı korunumu günümüzde de güncelliğini korumuştur.

Bugüne kadar ülkemizde ve yabancı ülkelerde uygulanan standartlar, yönetmelikler ve yapılan çalışmalarda homojen bir yapı elemanının yüzey sıcaklıkları hesabı, ısı akımının yüzeye dik doğrultuda ve tek yönlü olduğu kabulüne dayandırılmıştır. Ancak bu yöntem ısı köprüsü içeren yapı elemanlarında yanıl ısı akımının ihmal edilmesi nedeniyle yeterli olmamaktadır. Burada uygulayıcıya belli yaklaşım kriterleri verilmelidir. Bu tip veriler ancak ısı köprüleri ve civarlarındaki sıcaklık ve ısı akımlarının dağılımları konusunda kesin bilgiler varsa elde edilebilir.

Bundan dolayı, paralel yüzeyli ısı köprüsü içeren yapı elemanlarında yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılabilir bir yöntemin geliştirilmesi bu tezin konusunu oluşturmuştur.

Isı köprüleri çevrelerine oranla fazla ısı iletkenliği özelliği taşıyan yapı bileşenleridir ve kesit yüzeylerinin biçimine göre; lineer, paralel ve noktasal olarak sınıflandırılabilirler.

Burada, genel hesaplama kabulleri yapılarak birinci aşamada termoelektrik anolojisi temeline oturan bir ağıstemi yöntemi geliştirilmiş, ikinci aşamada yöntemin geçerliliği deneysel olarak test edilmiştir. Deneysel çalışma betonarme kolon-düzlemsel duvar ve betonarme kiriş-düzlemsel duvar birleşimini içeren ve yapılarda en çok raslanan iki farklı ısı köprüsü modeli üzerinde yapılmıştır.

Bu çalışmada önerilen yöntemle göre hesaplanan değerlerle, deneysel olarak ölçülen değerler karşılaştırılmış ve teorik yöntemin yeterli doğruluk ve duyarlılıkta sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak bu yöntemle paralel yüzeyli ısı köprüsü içeren yapı elemanlarının ısı korunumu hesaplarında yüzeysel yoğunlaşma ve ısı kaybına ısı köprüsünün etkisi hakkında kesin bilgiler elde edilir.

SUMMARY

Since the early ages, human beings have tried to protect themselves against the natural phenomena and to create the housing facilities for providing the best living conditions possible. Hence, the improvement of housing conditions and technological facilities together with the evolution of the human kind in time, resulted in the construction of contemporary buildings.

As a result of changes in the living standards, concept of modern architecture and technological and economical conditions, the conservation of heat in the buildings has become a more significant aspect.

In the standards and regulations used in Turkey and other countries, the calculation of surface temperatures of a homogeneous structural element is based on the assumptions that the heat flow is unidirectional and perpendicular to the surface. However, this approach is not sufficient, because it does not include the side way component of the heat flow in building elements which contain heat bridges. Therefore the designer has to be provided by some definite approach criteria. Such data can only be obtained if definite information on the distribution of temperature and heat flow in heat bridges and around them is provided.

Therefore, the purpose of this thesis is to develop a method which can be used for computation of surface temperatures in building elements that contain heat bridges with parallel surfaces.

Heat bridges are structure components which has relatively higher heat conducting characteristics than their surroundings, and can be classified as linear, parallel or point-type depending on their cross sectional surface shapes.

In this thesis, the following assumptions were made:

- . The materials are isotropic, which means that the coefficient of heat conduction is the same in all directions throughout the material.
- . In multilayered systems, the boundaries of the layers are parallel to the external surfaces.

- . Surface heat transfer coefficient (α) is constant for internal and external surfaces.
- . Heat flow is independent of time.
- . The system does not generate heat.
- . The specific densities and specific heat coefficients of the materials are constant.
- . Coefficient of heat conduction (λ) is independent of direction and is constant in a single layer for the multilayered systems.
- . The problem is two dimensional, because the heat flow in the z direction is assumed to be constant.
- . In all calculations the internal and external medium temperatures are constant.

In the first stage of this work, a network method based on the thermo-electrical analogy has been developed. In the second stage the validity of this method has been tested experimentally. Experimental work has been carried out on two different linear heat bridge models which are most frequently encountered in buildings. On the surfaces of these models, the horizontal axis has been marked using the model based on column-planar wall heat bridge relation and the vertical axis has been marked using the model based on beam-planar wall heat bridge relation. The thermal elements have been located on the specified positions on their axes. In this way, surface temperatures have been obtained by taking thirty five measurements in each position.

In this thesis, the experimentally measured values were compared with those calculated using the method proposed. It has been observed that the proposed theoretical method produced accurate and precise results. It was concluded that, with this method, accurate information can be obtained on the effects of heat bridge on the surface condensation and the heat loss values used in the computations of heat conservations of the building elements which contain heat bridges with parallel surfaces.

BÖLÜM - I

GİRİŞ, AMAÇ, KAPSAM

Konfor, ekonomi ve sağlık koşulları binalarda duvarların ortalama ısı geçirme katsayılarının küçük tutulmasını öngörmektedir. Üst limit, duvarın işlevi, binanın işlevi, binanın coğrafi konumu, duvarın ağırlığı gibi birçok faktöre bağlıdır.

Çeşitli standartlar değişik seçeneklerin her biri için maksimal değeri vermektedir. Bu değerler EK A Tablo A.1, A.2, A.3'de görülebilir.[1], [2], [3], [4], [5].

Bu standartlara uyulduğu zaman, dış duvarların sınırladığı iç mekanda belli bir konfor ortamı uygun ekonomik ölçüler içinde sağlanabilmektedir.

İnsanın kendisini, kapalı bir çevrede rahat ve huzur içinde hissetmesi, insanla ilişkili faktörlerin yanında fiziksel faktörlerle de ilgilidir. Hacim içerisinde ısı konforu belirleyen en etkin iklim elemanının iç hava sıcaklığı olduğu söylenebilir. Ancak yapılan birçok araştırma göstermiştir ki; kapalı bir hacim içerisinde iç hava sıcaklığının belirli bir değerde olması, ısı konforunun gerçekleştirilmesinde tek başına yeterli değildir. Söz konusu konfor ortamının ısı açıdan sağlanmasında iç ortam hava sıcaklığının yanısıra çevre yüzeylerin sıcaklıkları da önemli bir etken olmaktadır [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15].

Bir binanın iç ortamını sınırlayan duvarların iç yüzey sıcaklıklarının oluşturduğu ortalama sıcaklığın, iç

ortam konfor sıcaklığından 2.7 °C kadar sapması durumunda insan metabolizmasının hiçbir zorluk çekmeden, bunu dengelediği deneylerle saptanmıştır [16]. Eichler ve Moritz'e göre bu sapma 3 °C olabilmektedir [17], [18].

Homojen bir duvar söz konusu olduğunda iç yüzey sıcaklığı;

$$t_{iy} = t_i - \frac{k}{\alpha_i} (t_i - t_d) \quad (1.1)$$

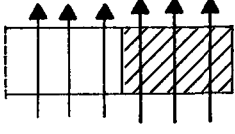
eşitliği ile hesaplanır.

Burada;

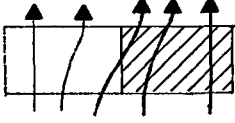
t_{iy}	: İç yüzey sıcaklığı	°C
t_i	: İç ortam sıcaklığı	°C
k	: Isı geçirme katsayısı	W/m ² K
α_i	: İç yüzey ısı iletim katsayısı	W/m ² K
t_d	: Dış ortam sıcaklığı	°C

Bu eşitlik ısı akımının homojen bir duvarın paralel yüzeylerine dik doğrultuda ve tek yönlü olduğu varsayımına dayanır. Demek ki, 1.1 eşitliği değişik bileşenlerden oluşan, yani bünyesinde ısı köprüsü içeren yapı elemanlarına doğrudan doğruya uygulanırsa yanıltıcı sonuçlar verir.

Çünkü, bir yapı elemanının belli yerlerinde ısı geçirgenliği yüksek değişik bileşenlerden oluşan ve "Isı köprüsü" olarak adlandırılan başka bileşenler (betonarme kolon, giriş v.s.) varsa, yapı elemanının bu bileşenlere yakın bölgelerinde, yüzeyine dik ısı akımları yanında, bir de ısı geçirgenliği daha fazla, dolayısı ile daha düşük sıcaklıkta olan bu bileşenlere doğru yanal ısı akımları oluşur (Şekil 1.1).



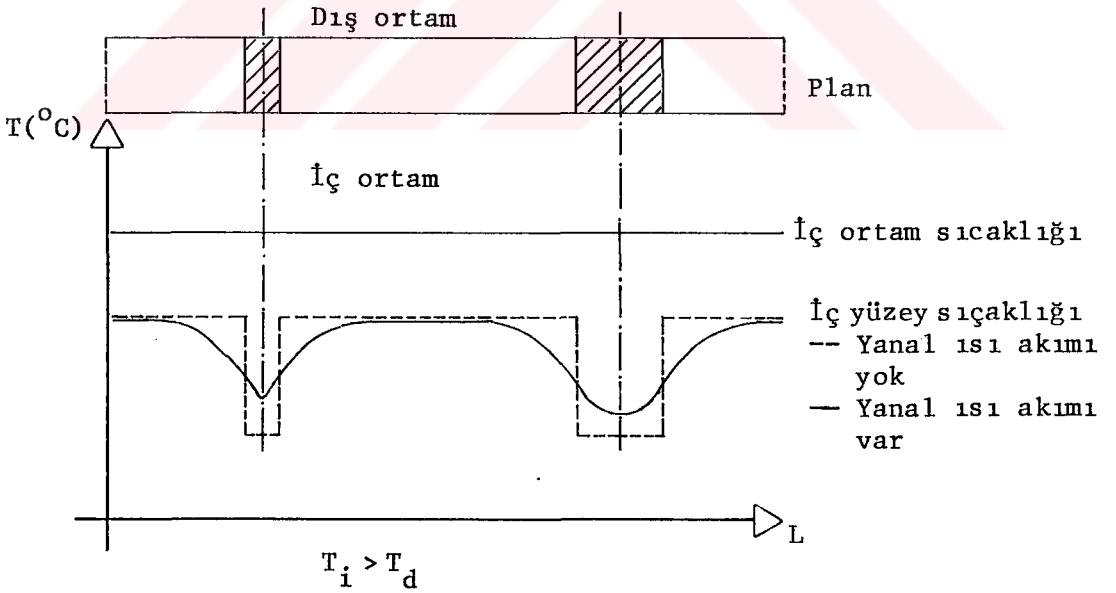
Yanal ısı akımı yok (1.1'e göre)



Yanal ısı akımı var (Gerçek akım)

Şekil 1.1. Isı köprüsü olan yapı elemanlarında ısı akımının şematik görünümü.

Bu durumda, en soğuk nokta bile gerçek yüzey sıcaklığı 1.1 eşitliği yardımı ile elde edilecek değere oranla daha yüksek olacaktır (Şekil 1.2). Aradaki fark ise; ısı köprüsünün genişliği oranında azalıp çoğalacaktır [19], [20].



Şekil 1.2. Yapı elemanı içinde bir ısı köprüsünün yer alması halinde iç yüzey sıcaklıkları dağılımı.

O halde, her hangi bir yapı elemanının bünyesinde ısı köprüsü olması, elemanın yüzey sıcaklığının üniform

dağılmamasına ve soğuk hava koşullarında, iç ortamdaki su buharının, elemanın soğuk olan bu yüzeylerinde yoğuşmasına neden olacaktır.

Bu olay, yapı elemanının iç yüzey sıcaklığının iç ortamda mevcut buhar basıncını taşıyamayacağı bir değere düşmesi sonucu meydana gelir. Yüzeyde oluşan bu yoğuşmaya "Çiylenme"; çiylenmenin başladığı iç yüzey sıcaklığına ise "Çiylenme noktası" denir. Bu konuyla ilgili değerler EK A Tablo A.4, A.5'de verilmiştir [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27].

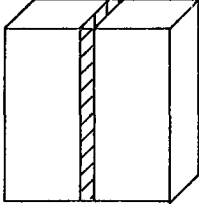
Çiylenme sorununun incelenmesi bu tezin amacı olmakla birlikte, yapıdaki ısı köprülerinin bu olayın ana nedeni olduğunu burada belirtmek gerekir. Bu yüzeylerde çiylenme olmasa bile toz birikmesi ve renk değişmesi görülür (Resim 1.1). Bu durum çiylenme kadar önemli olmasa da konstrüksiyon tipi ne olursa olsun ısı köprülerinin daima bir hata olduğunu göstermektedir.



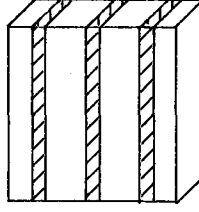
Resim 1.1. Taşıyıcı Sistem-Düzlemsel duvar-Isı Köprüsü ilişkisi.

Isı köprüsü deyince sınırlayıcı yapı elemanlarındaki ısı ve nem korunumunda sürekliliğin sağlanamadığı zayıf noktalar anlaşılmalıdır. Kesit yüzeylerine göre ısı köprüleri; eğer ısı köprüsü kesit boyunca paralel olarak uzanıyorsa veya yapı elemanının kalınlığına göre uzunsa lineer, aralarında eşit mesafeli birçok lineer ısı köprüsü

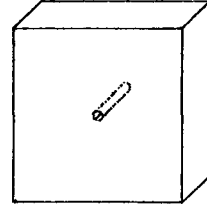
varsa paralel, kesit yüzeylerindeki boyutları kısa ise noktasal olarak tanımlanır (Şekil 1.3).



A) Linear
ısı köprüsü



B) Paralel
ısı köprüsü



C) Noktasal
ısı köprüsü

Şekil 1.3. Isı köprüsü tipleri.

Bu çalışmada, yapıdaki ısı köprüleri probleminde yüzey sıcaklıklarının hesabında kullanılabilecek bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla birinci aşamada ısı akımı ile elektrik akımı arasındaki analogiden yararlanarak teorik bir yöntem geliştirilmiş, ikinci aşamada yöntemin geçerliliği deneysel olarak test edilmiştir.

Deneyde kullanılan model, taşıyıcı sistem-düzlemsel duvar lineer ısı köprüsü ilişkisi içermektedir. Burada duvarın ve ısı köprüsünün ısı geçirgenliklerinin yanı sıra geometrik parametreleri de değiştirilmemiştir. Dolayısıyla ile konu bu açıdan ileride yapılacak çalışmalara açıktır.

BÖLÜM - 2

YAPININ ISIL SÜRECİ

Yapılar çevreleriyle sürekli bir ısı alışverişi içindedirler. Isı enerjisinin, kaynağından başlayarak bir ortamdan diğer bir ortama geçmesi "Isı Geçişi Olayı" olarak tanımlanmaktadır [28]. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde, ısı geçişinin iletim, taşınım ve ışınım türlerine ilişkin kısaca bilgi verilecektir.

2.1. İLETİM YOLUYLA ISI AKIMI

Bu ısı geçişi türünde ısı bir kütü ya da durgun bir akışkan içinde iletilir. İletim, katılarda moleküllerin titreşimi ve serbest elektronların hareketiyle olur. Eğer bir cismin içinde sıcaklık farklılıkları varsa, termodinamiğin ikinci kanununa göre sıcaklık ya da enerji dağılımı üniform duruma doğru bir değişim gösterir.

Isı iletiminin temel kanunu Joseph Fourier tarafından verilmiştir [29]. Bu kanuna göre iletilen ısı miktarı, ısı akış yönüne dik doğrultudaki ısı akış alanı ve ısı akışı doğrultusundaki sıcaklık gradyanı ile doğru orantılıdır. Bu kanunda kapalı bir şekilde gösterilen λ orantı sabiti ısı iletkenliği adını alır. λ , W/mK birimi ile gösterilir ve;

- . Kullanılan malzemeye (beton, ahşap, mantar),
- . Malzemenin ρ yoğunluğuna,
- . Gözeneklerin dağılımına (çok sayıda kapalı gözenek

bizi düşük bir λ değerine ulaştırır; aralarında birkaç boşluk birbirleriyle ilişkide ise yüksek bir λ değerine neden olurlar.),

- . Sıcaklığa,
- . Malzemenin nem oranına (nem yüzdesi arttıkça λ da artar.).

bağlıdır [30], [31].

Isı iletimi problemlerinde sıcaklık ve dolayısı ile ısı akışının hızı zamana bağlıdır. Bu duruma zamana bağlı rejimde değişken ısı iletimi denir. Bazı durumlarda ise; ısı yüksek sıcaklıktaki bir sistemden düşük sıcaklıktaki bir sisteme aktarılır ve bu işlem süresince sistem içindeki sıcaklıklar zamanla değişmez. Böyle bir ısı iletimi olayına da zamandan bağımsız (sabit rejimde veya kararlı ısı iletimi denir.

2.2. TAŞINIM YOLUYLA ISI AKIMI

Bu tür ısı geçişinde ısı bir akışkanın hareketi yardımıyla taşınır. İçinde durgun hava bulunan bir ortama yüzeyleri sıcak olan bir cisim bulunduğu bir hava akımına neden olur. Bu durumda, serbest veya doğal taşınım dan söz edebiliriz. Eğer bu örnekteki sıcak cisim bizim tarafımızdan yaratılmış bir hava akımı içine konmuş olsaydı yine ısı taşınımı olacaktı. Fakat bu durumda zorlanmış taşınım dan söz edilebilir.

α_t ısı taşınım katsayısı W/m^2K cinsinden ifade edilir ve;

- . Akışkanın karakteristiklerine (ele aldığımız durumda: hava),
- . Yüzeyin-duvarın karakteristiklerine (form, boyutlar, yüzeyin pürüklülüğü),
- . Yüzeğe göre havanın hızı ve durumuna (örneğin az veya çok rüzgar),

. Yüzey ve hava arasındaki sıcaklık farkına, bağlıdır [32].

2.3. IŞINIM YOLUYLA ISI AKIMI

Farklı sıcaklıktaki iki cisim, içinde vakum olan bir ortamla birbirinden ayıralım. Bu cisimlerin birbirlerini gören yüzeyleri dışındaki diğer yüzeyleri ısı geçirmeyecek şekilde yalıtılmış olsa bile, zamanla bu cisimlerin sıcaklıklarının birbirlerine eşitlendiği yani aralarında bir enerji alışverişi olduğu gözlenir. Bu ısı geçişi türüne de ışınlım yoluyla ısı akımı denir.

Mutlak sıfır (-273°C)'ın üzerinde bir sıcaklığa sahip bütün cisimler ışınlama yoluyla enerji yayarlar. Bu enerji ışınları doğrusal şekilde yayılan elektromanyetik dalgalardır. Işınlama maddesel bir ortam gerektirmez, boşlukta da oluşabilir [33], [34]. ($\alpha_{i\dot{s}}$) ısı ışınlımı katsayısı $\text{W/m}^2\text{K}$ cinsinden gösterilir ve şu değerleri alır [35]:

. Bir iç ortam ve bir dış duvarın iç yüzü arasında:

$$\alpha_{i\dot{s}} = 4.152 \dots\dots 4.303 \text{ W/m}^2\text{K}$$

. Bir binanın dış yüzü (cephe) ve dış ortam arasında:

$$\alpha_{i\dot{s}} = 3.489 \dots\dots 3.721 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2.4. YÜZEYDEN ISI GEÇİŞ KURALLARI

Eğer iki veya üç ısı geçişi türü aynı zamanda oluşuyorsa etkileri toplanır. Pratik hesabı kolaylaştırmak için, yüzeyin özelliklerine ve hava hızına bağlı olarak aynı zamanda hem taşınım yoluyla ısı geçişini, hem de ışınlımla ısı geçişini hesaba katan bir katsayı

tanımlanmıştır [36], [37], [38]. Buna yüzey ısı geçiş katsayısı denir.

Bu katsayı:

- . (α_i) iç ortam ve duvarın iç yüzü arasındaki ısı geçişi için; iç yüzey ısı iletim katsayısı
- . (α_d) dış ortam ve duvarın dış yüzü arasındaki ısı geçişi için; dış yüzey ısı iletim katsayısı

adını alır ve W/m^2K cinsinden ifade edilir. Yapı yüzeylerinden ışıınım ve taşınım yoluyla geçen ısı miktarının hesaplanmasında, yüzeysel ısı iletim katsayısının, ortalama rüzgar hızına göre hesaplanmış sabit bir değer olarak alınabileceği bilinmektedir [39]. Aşağıdaki Tablo 2.1 bu katsayıların değerlerini vermektedir.

Tablo 2.1. Hava Hızına Bağlı Yüzeysel Isı İletim Katsayıları ve Dirençleri [40].

Konum	Yüzey ve ısı akımı yönü	α (W/m^2K)	$1/\alpha$ (m^2K/W)
İçte	Duvar ve iç pencereler	8.141	0.13
	Isı akımı yukarı doğru olan döşeme	8.141	0.13
	Isı akımı aşağı doğru olan döşeme	5.815	0.17
	Dış pencereler	11.630	0.08
Dışta	Rüzgar hızı 2 m/s	23.260	0.04
. Sakin hava (normal)			

Yüzeysel ısı iletim dirençlerinin hesap değeri, basitleştirilmiş olarak bütün durumlarda:

. $1/\alpha_i$ için; $0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$

. $1/\alpha_d$ için; $0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$

alınır [41]. (Toprakla sınırlı duvar ve bodrumsuz yaşama hacminin toprağa oturan alt sınırı hariç.)



BÖLÜM - 3

YAPI ELEMANLARINDA ZAMANA BAĞLI OLMAYAN REJİMDE SICAKLIK ALANLARINI BELİRLEMEK İÇİN KULLANILAN MEVCUT YÖNTEMLER

Yapı elemanlarında zamana bağlı üç boyutlu ısı ge-
çişi için, sıcaklık alanının diferansiyel denklemi Jean
B. Joseph Fourier tarafından

$$\frac{\partial}{\partial x}[\lambda \frac{\partial T}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[\lambda \frac{\partial T}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[\lambda \frac{\partial T}{\partial z}] + \dot{q} = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.1)$$

şeklinde verilmiştir [42]. Bu ifade sabit ısı iletim kat-
sayısı için aşağıdaki şekli alır;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{\lambda} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.2)$$

Burada:

$a = \lambda / \rho \cdot c$: Isı yayılım katsayısı	$ m^2/h $
ρ	: Malzemenin yoğunluğu	$ kg/m^3 $
c	: Malzemenin özgül ısısı	$ Wh/kgK $
\dot{q}	: Birim hacimde üretilen ısı miktarı	$ W/m^3 $

Bu diferansiyel denklemin, yapıyla ilgili konularda
çözümlerini kolayca bulabilmek için aşağıdaki varsayımlar
yapılmaktadır:

- . Malzeme izotropdur. Yani ısı iletim katsayısı mal-
zeme içindeki her doğrultuda aynı kalmaktadır.

- . Çok tabakalı sistemlerde, tabaka sınırları dış yüzeylere paraleldir.
- . α yüzeysel ısı geçiş katsayısı, iç ve dış yüzeylerde sabittir.
- . Isı akımı zamandan bağımsızdır ($\partial T/\partial t = 0$).
- . Sistem ısı üretmemektedir ($\dot{q} = 0$).
- . Malzemelerin özgül ağırlıkları ve özgül ısıları değişmemektedir.
- . λ ısı iletim katsayısı, sıcaklıktan, yönden bağımsızdır ve çok tabakalı sistemlerde bir tabaka içinde sabittir.

Bu ana varsayımların ışığı altında, zamana bağlı olmayan sabit rejimde Kartezyen koordinat sisteminde (3.1) denklemi aşağıdaki yapıya dönüşür;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (3.3)$$

Bir boyutlu ısı geçişi için,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \quad (3.4)$$

İki boyutlu ısı geçişi için,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (3.5)$$

denklemleri elde edilir. Burada elde edilen (3.5) ifadesi literatürde "Laplace" denklemi olarak bilinir.

Çalışmanın bu bölümünde, konunun gereği olarak (3.4) ve (3.5) denklemlerinin çözümlerine ilişkin yöntemler incelenecektir.

3.1. BİR BOYUTLU ISI GEÇİŞİNDE SICAKLIK ALANLARININ HESABI

3.1.1. Analitik Yöntem

Bir boyutlu ısı geçişi için verilen (3.4) denklemini integre edersek

$$\frac{\partial T}{\partial x} = C_0$$

$$T = C_0 X + C_1 \quad (3.6)$$

sonucu elde edilir.

Burada;

C_0, C_1 : Sabitler

dir.

Sabitler, sınır koşullarının (3.6) denklemine uygulanması ile bulunur.

$$X = 0 \text{ için } T = T_i,$$

$$X = L \text{ için } T = T_d \quad \text{ise}$$

(3.6) dan

$$C_0 = \frac{T_d - T_i}{L}$$

$$C_1 = T_i$$

bulunur. Homojen yapıllı tek veya çok katmanlı sınırlayıcı bir dış kabuk kesitinde, x yönünde birim alandan geçen ısı akımı için Fourier yasası olarak da bilinen

$$\frac{q}{A} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.7)$$

denklemini geçerlidir [43].

O halde (3.6) denklemini (3.7) ifadesinde kullanılırsa,

$$\frac{q}{A} = -\lambda[C_0] \quad (3.8)$$

elde edilir. (3.8) denkleminde A birim alan olarak alınır-
sa ($A = \text{Im}^2$)

$$q = -\lambda[C_0] \quad (3.9)$$

ısı akım debisi bulunur.

(3.9) denkleminde C_0 için aşağıdaki ifade kolayca yazılabilir;

$$C_0 = -q \frac{1}{\lambda} \quad (3.10)$$

(3.10) denklemi (3.6) denklemine yerleştirilirse,

$$T = -q \left[\frac{1}{\lambda} \right] x + C_1 \quad (3.11)$$

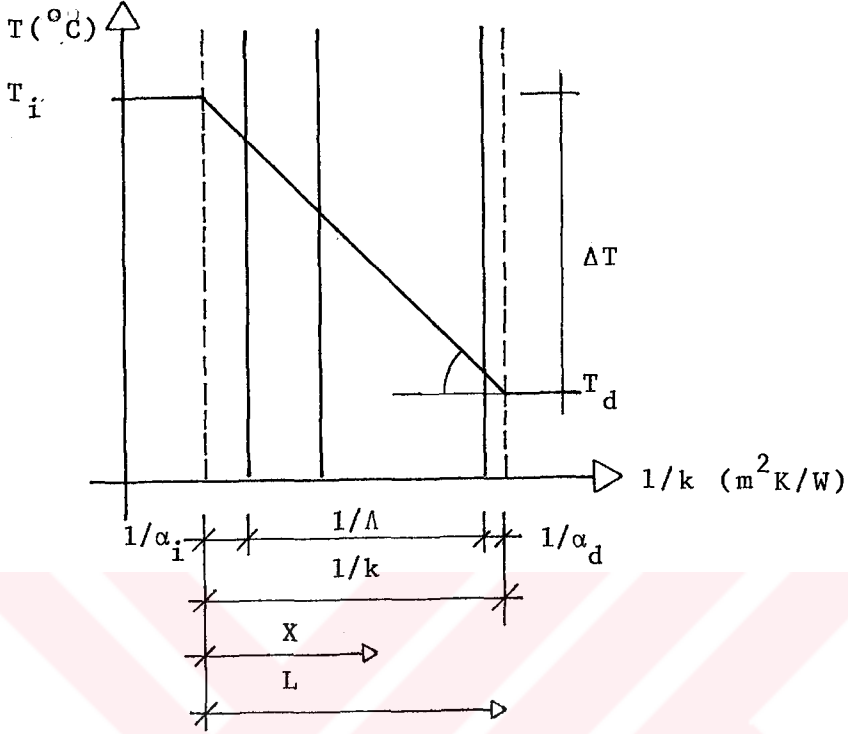
ifadesi elde edilir. Sonuçta (3.11) denklemi aşağıdaki şekle döner.

$$T = -q \left[\frac{1}{\lambda} \right] x + T_1 \quad (3.12)$$

(3.12) denklemi $y = mx + b$ yapısında bir doğru denklemi göstermektedir. Demek ki sınırlayıcı dış kabuk kesitinde ısı akımı, kalınlıkları ısı geçirgenlik dirençlerine göre orantılanmış her tabakayı doğrusal biçimde geçer ve sıcak ortamdan soğuk ortama hiç sapma göstermeden akar. Burada doğrunun eğimi $\text{tg } \theta \cong q$ dur [44], [45].

Bu doğru, x - ekseninde (I/k) ısı geçirme direnci, y - ekseninde ise (T) sıcaklık derecelerinin bulunduğu bir koordinat sisteminde, (-q) eğimi ile yer almakta ve y - eksenini (T_1) noktasında kesmektedir (Şekil 3.1). Eğimin negatif olmasının nedeni, sıcaklığın (T_1) iç sıcaklık derecesinden, (T_d) dış sıcaklık derecesine düşmesidir [46], [47],

[48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56].



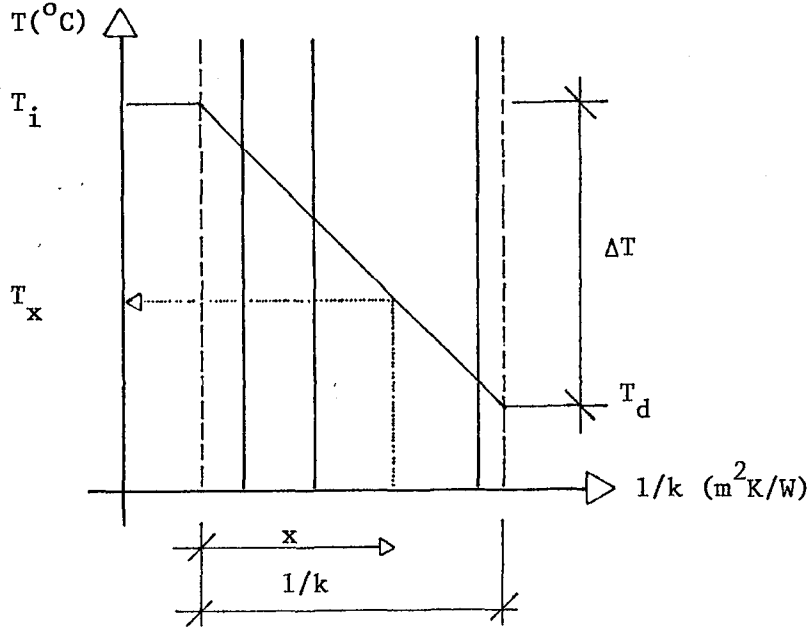
Şekil 3.1. Isı akımı diyagramı.

Bu durumda iç yüzeyden başlayarak kesitin her hangi bir x noktasındaki (T) sıcaklığı, (3.12) denkleminde yararlanılarak analitik olarak hesaplanabilir.

3.1.2. Grafik Yöntem

Glaser grafik yönteminde daha önceden bilinmesi gereken veriler (yapı elemanını oluşturan her bir malzemeye ait ısı geçirgenlik dirençleri, iç ve dış ortam sıcaklıkları) hesap edilerek, ordinatta sıcaklıkların, apsiste (1/k) değerlerinin yer aldığı ısı akım grafiğinin kullanılmasıyla sıcaklıklar elde edilebilir.

Bunun için koordinat sisteminin; yatay eksenini üzerinde istenilen herhangi bir ölçekte her bir tabakaya ilişkin ısı geçirgenlik dirençleri (d/λ), eleman içindeki sıralamalarına da bağlı kalmak koşulu ile yerleştirilirler.



Şekil 3.2. Yapı elemanının herhangi bir x noktasındaki T_x sıcaklığı.

Bu arada iç ve dış ortamla ilgili yüzey ısı geçiş dirençlerinin de aynı eksene işlenmesini unutmamak gerekir.

Düsey eksen üzerine de istenilen herhangi bir ölçekte söz konusu sıcaklıklarla ilgili bir skala çizilir. Bu skala üzerine iç ve dış ortamla ilgili hava sıcaklıkları, elemandaki ilgili yerlere (yüzey ısı geçiş dirençlerinin her iki ortamla olan ayırım çizgileri üzerine) işaretlenir ve bu iki nokta bir doğruyla birleştirilir ve ısı akım doğrusunun sabit eğimli tek bir doğru olduğu açıkça görülür.

Elde edilen ısı akım grafiği yardımıyla elamanın herhangi bir noktasındaki sıcaklık düzeyini bu doğru üzerinden okumak olanaklıdır [57], [58], [59], [60], [61].

Bunun için x noktasından y -eksenine bir paralel çizilerek, ısı akım doğrusunu kestiği noktadan y -eksenine bir dik çıkıp bu dikin eksenini kestiği yerdeki sıcaklık değerini okumak yeterlidir (Şekil 3.2).

3.2. İKİ BOYUTLU ISI GEÇİŞİNDE SICAKLIK ALANLARININ HESABI

3.2.1. Analitik Yöntem

Zamana bağlı ve zamana bağlı olmayan rejimlerde ısı geçişi problemlerinin çözümü için geliştirilmiş birçok analitik yöntem vardır. Bu yöntemler genel olarak Arpacı [62] tarafından uygulamalı olarak sunulmuştur. Analitik yöntemler, en çok kullanılan değişkenlere ayırma (separasyon) yöntemi ile başlamakta, zorluk derecesi ve problem fiziğinin zorladığı durumlarda varyasyonel yöntemlere kadar uzanmaktadır. Varyasyonel yöntemlere Ritz, Galerkin, Kantorovich, Sonlu Elemanları, Sınır Elemanları gibi yöntemler temel oluşturmaktadır [63].

Burada bu analitik yöntemlerden, değişkenlere ayırma yöntemi kısaca özetlenecektir. Bu yöntemin seçilmesinde neden, yöntemin iki boyutlu zamana bağlı olmayan ısı geçişi problemlerine kolayca uygulanabilirliğiğidir.

Değişkenlere ayırma yönteminin önemli özellikleri, daha önceden tanımlanan iki boyutlu Laplace denkleminde tartışılacaktır. İki boyutlu Laplace denklemi (3.5) kartezyen koordinatlarda

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad : \quad T = T(x, y) \quad (3.13)$$

yapısında olur. Değişkenlere ayırma yöntemi gereği ($T(x, y)$) sıcaklık alanı, iki ayrı fonksiyonun çarpımı olarak gösterilir:

$$T(x, y) = X(x)Y(y) \quad (3.14)$$

Yani X fonksiyonu sadece x'e, Y fonksiyonu sadece y'e bağlıdır. Bu varsayım X(x) ve Y (y) nin iki ayrı denklemi sağladığı gösterilince daha sağlıklı olur. (3.14) ifadesi (3.13) denkleminde yerleştirilir ve sonuç XY'ye bölünürse

aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\left[\frac{d^2X}{dx^2}\right] \frac{1}{X} = - \left[\frac{d^2Y}{dy^2}\right] \frac{1}{Y} \quad (3.15)$$

(3.15) denkleminin sol tarafı x in fonksiyonu olup y den bağımsızdır. Benzer şekilde sağ tarafta y nin fonksiyonu olup x ten bağımsızdır. x ve y birbirlerinden bağımsız olarak değişebildiklerine göre (3.15) denkleminin her iki tarafı birbirinden bağımsız olarak bir sabite eşit olmalıdır. Bu sabite ayırma parametresi denir. Bu sabit;

$$+\beta^2$$

veya

$$-\beta^2$$

olarak tanımlanabilir.

Böylece (3.5) Laplace denklemi aşağıdaki gibi iki tane adi diferansiyel denkleme indirgenmiş olur.

$$\frac{d^2X}{dx^2} \pm \beta^2 X = 0 \quad (3.16a)$$

$$\frac{d^2Y}{dy^2} \pm \beta^2 Y = 0 \quad (3.16b)$$

(3.16a) ve (3.16b) denklemlerinin gerekli sınır koşulları altında çözümü bize $X(x)$ ve $Y(y)$ fonksiyonlarını verir. Bu değerler daha sonra (3.14) denklemine yerleştirilirse $T(x,y)$ sıcaklık alanı elde edilir.

Değişkenlere ayırma yöntemi ile Laplace denkleminin çözümü sınır koşullarına doğrudan bağlıdır. Sınır değerlerinin çözümün oluşturulmasına getirdiği bir takım koşullar vardır. Bunlar aşağıda özetlenmiştir [64];

1. İki ayrı yönde değişkenlere ayrılan sıcaklık alanı ifadesinde, yönlerden bir tanesi homojen adi

diferansiyel denklem ile homojen sınır değerleri taşınmalı, diğer yön ise homojen adi diferansiyel denklem ile bir homojen bir de homojen olmayan sınır değeri taşınmalıdır.

2. β^2 'nin önündeki işaret ise, homojen denklemi ve onun homojen sınır değerlerinin karakteristik değer problemine dönüşecek şekilde seçilmesi ile belirlenir.

Değişkenlere ayırma yönteminin uygulanamadığı bir takım durumlarda problem süperpozisyon yöntemi ile çözümlenebilir [65].

3.2.2. Sayısal Yöntem

Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için geliştirilen ve bilgisayar destekli kullanılan birçok sayısal yöntem vardır [66], [67]. Bunlardan en çok kullanılan yöntemler;

1. Sonlu farklar yöntemi
2. Sonlu elemanlar yöntemi

dir.

Bu yöntemlerin amacı sürekli problemi bilgisayarda çözebilecek ayrık matematiksel bir model şekline indirgemektir. Burada sonlu farklar yöntemi için kullanılan formülasyon tanıtılacaktır. Sonlu elemanlar yönteminin ayrıntıları ise kaynak [63] da anlatılmıştır ve burada tartışılmayacaktır.

Sonlu farklar yönteminde çözümün aranacağı alan içinde tanımlanan ve bu çalışmada ısı geçişini kontrol eden Laplace denkleminin (3.5), sonlu noktalarda ayrık matematiksel modeli kurulmakta ve her noktada (3.5) denklemi sonlu farklar cebiri ile ifade edilmektedir. Bu noktalar iki boyutlu alanda bir ağ yapısı oluştururlar, bu ağ yapısını oluşturan noktalar literatürde; "Ağ Noktası", "Düşüm Noktası" veya "Grid" olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 3.3a-b, iki boyutlu bir çözüm alanının ağ noktalarına ayrılmış sonlu farklar gösterimini içermektedir. Şekil 3.3b de görüldüğü gibi ağ noktaları x yönünde Δx artımı ile i konumlarında, y yönünde Δy artımı ile j konumlarında gösterilmiştir.

(3.5) Laplace denklemi, Şekil 3.3a da görülen ağ noktalarında yazılmak istenirse, T sıcaklık fonksiyonunun ve onun ikinci dereceden türevlerinin x - y koordinat sisteminde sonlu farklar yöntemi ile yazılması gerekmektedir. Bu durumda (3.5) denkleminin her noktada sonlu farklar yaklaşımı elde edilir.

Aşağıdaki ifadeler, sonlu farklar yöntemi kullanılarak gösterilen birinci ve ikinci dereceden türev ifadeleridir (Şekil 3.3c).

Sıcaklığın x'e göre birinci türevi:

Orta farka göre

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (3.17)$$

Öne doğru farka göre

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{\Delta x} \quad (3.18)$$

Geri doğru farka göre

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta x} \quad (3.19)$$

Sıcaklığın x'e göre ikinci türevi;

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right|_{i,j} = \frac{T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j}}{(\Delta x)^2} \quad (3.20)$$

Sıcaklığın y'ye göre birinci türevi:

Orta farka göre

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{i,j} = \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j-1}}{2\Delta y} \quad (3.21)$$

Öne doğru farka göre

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{i,j} = \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{\Delta y} \quad (3.22)$$

Geri doğru farka göre

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{i,j} = \frac{T_{i,j} - T_{i,j-1}}{\Delta y} \quad (3.23)$$

Sıcaklığın y'ye göre ikinci türevi;

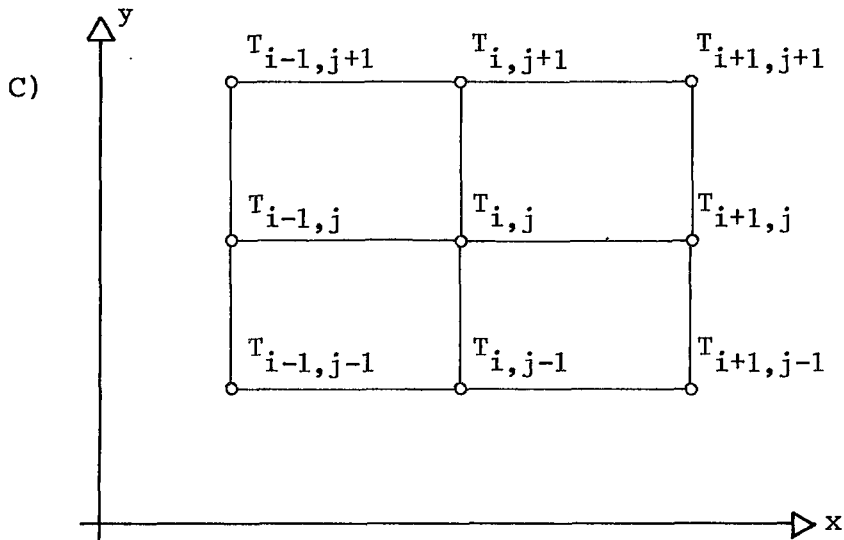
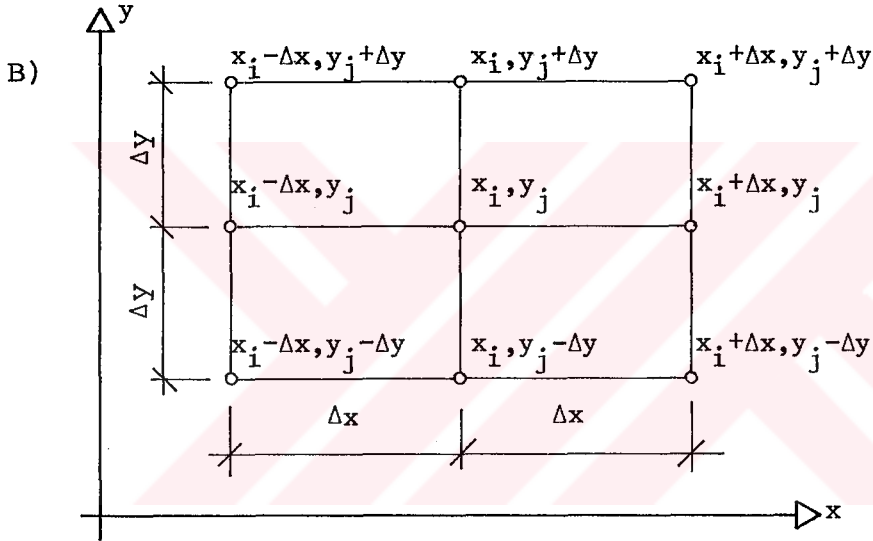
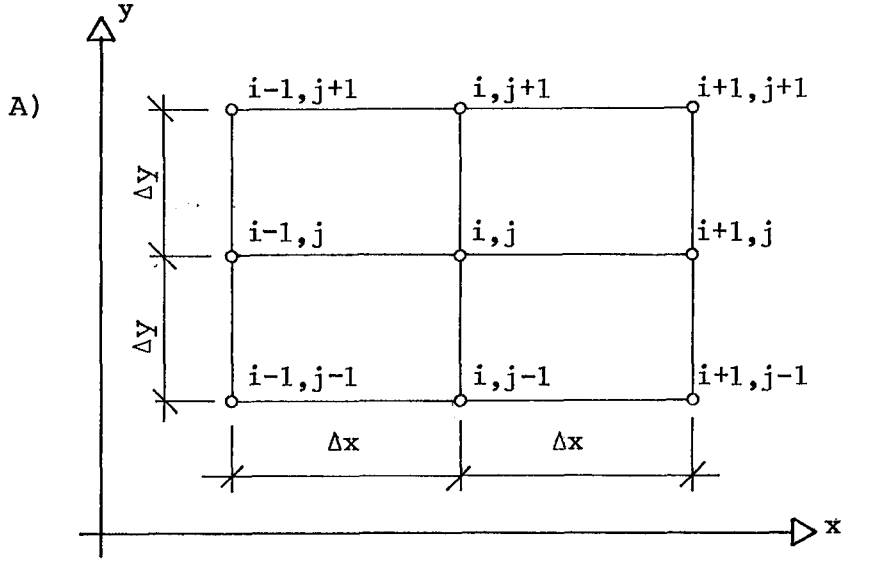
$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right|_{i,j} = \frac{T_{i,j-1} - 2T_{i,j} + T_{i,j+1}}{(\Delta y)^2} \quad (3.24)$$

şeklinde yazılabilir.

O halde,

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right|_{i,j} + \left. \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right|_{i,j} = \frac{T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j}}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{i,j-1} - 2T_{i,j} + T_{i,j+1}}{(\Delta y)^2} \quad (3.25)$$

olarak bulunur.

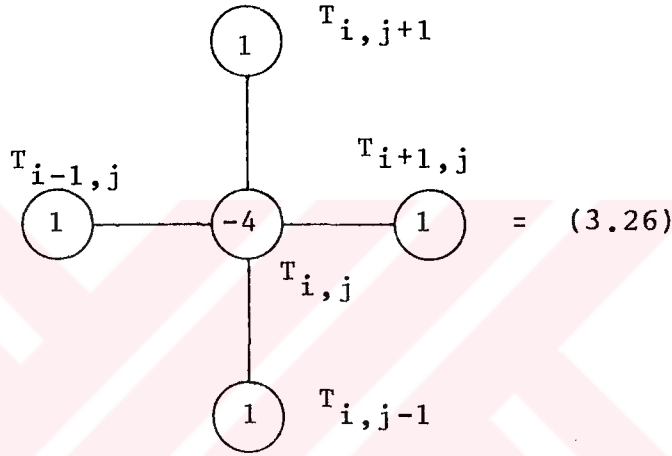


Şekil 3.3. İki boyutlu ısı geçişi analizinde kullanı-sonlu farklar ağ yapısı.

Eğer $\Delta x = \Delta y = h$ ise, Laplace denkleminin sonlu farklarla gösterimi aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \Big|_{i,j} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \Big|_{i,j} = \frac{T_{i-1,j} + T_{i+1,j} - 4T_{i,j} + T_{i,j-1} + T_{i,j+1}}{h^2} \quad (3.26)$$

Dolayısıyla yukarıdaki sonlu farklar yaklaşımını ağ noktalarında ağırlıklı moleküller cinsinden şematik olarak göstermek de olanaklıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Sonlu farklar yaklaşımının ağ noktalarında ağırlıklı moleküller cinsinden şeması.

3.2.3. Analog Yöntem

Fiziğin iki veya daha fazla kolunda benzer eşitlikler geçerliyse bu kollara benzerdir denilir. Benzeşim iki koldaki diferansiyel denklemlerin karşılaştırılması ile anlaşılır. Yani iki ayrı fiziksel olay arasında matematiksel analoginin söz konusu olabilmesi için, bu olayların matematiksel olarak kendi bağımsız değişkenleri cinsinden özdeş denklemlerle tarif edilebilmeleri gerekir [69],[70].

Bir kolda (birinci sistemde) problemi çözmek daha zor-
sa, fakat benzer kolda (ikinci sistemde) problem deneysel yolla veya teorik olarak çözülebiliyorsa benzerlikten yararlanarak birinci sistemdeki sonuçlarda bulunmuş olur.

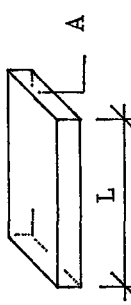
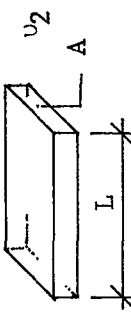
Bu durum herhangi bir olayın incelenmesinde, daha uygun, daha doğru sonuçlar veren, gerçekleştirilmesi daha kolay olan, aslına benzer bir olaydan yararlanmaya olanak sağlamaktadır.

Çeşitli analogiler bulunmakla birlikte [71], ısı geçişi ve elektrik arasındaki matematiksel benzerlik sabit ve sabit olmayan rejimde ısı geçişi problemlerinin çözümü için en çok bilinen ve en yaygın olarak kullanılan analogidir.

Elektriksel sistemde elektriksel yükün korunması, ısı sistemde ısının korunmasına karşı gelir. Böylece elektriksel sistemde Ohm kanunundaki akım kavramı ısı sistemde Fourier kanunundaki ısı akım kavramına karşı gelir. Elektriksel ve ısı analogisi Tablo 3.1 de gösterilmiştir [72].

Sabit rejimde geçişte ($\partial V/\partial t = 0$) ve ($\partial T/\partial t = 0$) ısı iletimi Laplace denklemini gerçeklerler. Buna göre $v(x,y)$ elektriksel potansiyel alanı $T(x,y)$ sıcaklık alanının analogüdür ve gerilim alanındaki eş potansiyel çizgileri sıcaklık alanındaki izotermallere karşı gelir [73].

Tablo 3.1. Isı-Elektrik Analoğu [72].

Isı İletimi		Elektrik İletimi	
			
Sıcaklık	$T_1 > T_2$	Gerilim	$u_1 > u_2$
Sıcaklık Farkı	ΔT	Potansiyel fark	ΔV
Isıl direnç* • Uzunluk • Isının geçtiği alan • Isı iletim katsayısı • Yüzeysel ısı Geçiş katsayısı	$R_I = \frac{L}{\lambda \cdot A}, \frac{1}{\alpha \cdot A}$ $\frac{L}{A}$ λ α	Direnç • Uzunluk • Akımın geçtiği Alan • Öz direnç • Öziletkenlik	$R_e = \rho \frac{L}{A}$ $\frac{L}{A}$ $\rho = \frac{1}{\kappa}$
Isıl akımı	Φ	Akım	i
Isıl kapasite	$S (=V \cdot \rho \cdot c)$	Kapasite	C
Isı yayılım katsayısı	$a (= \lambda / \rho \cdot c)$	Zaman Sabiti	$\tau = l / R \cdot c$
	$^{\circ}C$		Volt
	$^{\circ}C$		Volt
	K/W $\frac{m^2}{m^2}$ W/mK W/m ² K		(=Ω) $\frac{m}{m^2}$ Ωm 1/Ωm
	W		Amper
	Wh/K		Farad (=F)
	m ² /h		s

*Buradaki ısııl direnç kavramı, Isı geçirgenlik direnci ile karıştırılmamalıdır.

BÖLÜM - 4

ISI KÖPRÜSÜ İÇEREN YAPI ELEMANLARINDA YÜZEY SICAKLIKLARININ HESAPLANMASI İÇİN GELİŞTİRİLEN SAYISAL BİR AĞ YÖNTEMİ

Bir hacmi çevreleyen yapı elemanlarının içinde belirli yerlerdeki ısı köprüleri, ısı akımının çevreye göre daha yüksek olduğu bölgelerdir. Isı köprüleri bitişik olan yapı malzemesine göre daha yüksek ısı iletkenliğine sahiptirler. Bu durumda iç ortama yönelik yapı elemanı yüzeylerindeki, ısı köprüsü bölgelerinde, komşu yüzeylere göre düşük yüzey sıcaklıkları ortaya çıkar.

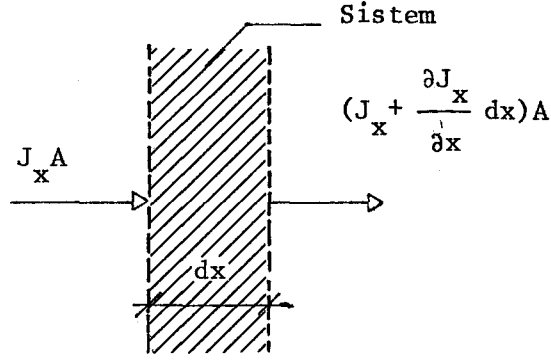
Isı köprüsü bölgeleri için; ısı korunum kurallarının belirlenmesi ancak ısı köprüleri ve civarlarındaki sıcaklık ve ısı akımlarının dağılımları konusunda kesin bilgiler varsa, mümkün olabilir. Bu amaçla, termoelektrik analogisi temeline dayanan, sayısal bir ağ yöntemi geliştirilmiştir.

4.1. YÖNTEMİN AÇIKLANMASI

4.1.1. Isı ve Elektrik Akımları Arasındaki Benzerlik

Burada, alansal bir elektrik-direnç ağ sisteminden yararlanarak buna karşı gelen zamana bağlı olmayan rejimde ısı akımı incelenecektir.

Bir ortamda yük hareketi varsa o ortamda bir elektrik akımı meydana gelir. Elektrik akımını belli direnç ve kapasiteye sahip katı bir malzemede ele alırsak, tek boyutlu olması durumu (Şekil 4.1) de görülmektedir.



Şekil 4.1. Daimi elektrik akımı.

Buna göre, malzemenin (A) yüzeyine giren akım yoğunluğu (x) doğrultusunda (J_x) ise, malzemenin içinde (dx) kadar bir mesafe katettikten sonra çıkan akım yoğunluğu $(J_x) + (\frac{\partial J_x}{\partial x}) \cdot dx$ olacaktır. Bu değişim (dx) yolu boyunca malzemedeki zaman içinde değişen elektrik yükü değişimine bağlıdır ($\frac{\partial \rho_e}{\partial t}$).

Genel elektrik kanununa göre (elektrik yük yoğunluğunun zaman içinde değişimi, akım yoğunluğunun sistem içindeki yer değişimi ile orantılıdır.), " q_e " elektrik yükünün korunumu aşağıdaki diferansiyel denklemle gösterilmektedir. [74].

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad (4.1)$$

Bu ifadede;

$$\vec{J} = J_x \vec{i} + J_y \vec{j} + J_z \vec{k}$$
$$\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z}$$

değerleri yerine konularak, (4.1) denklemi tek boyutlu durum için,

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} = - \frac{\partial J_x}{\partial x} \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada;

- x, y, z :Karteziyen koordinatlar
 ∇ :Diverjans operatörü
 $\rho_e = (q/A \cdot dx)$:Yük yoğunluğu
|Coulomb/L³|
 $J_x = (i/A)$:Elektrik akım yoğunluğu (x yönünde)
|Amper/L²|
 i :Birim zaman için elektrik yükü (=Akımı)
|Coulomb/sn. (=Amper)|
 q_e :Elektrik yükü
|Coulomb|

olarak tanımlanır. Eğer, dt zaman aralığı için toplam elektrik yükünü (dq_e) ile gösterecek olursak bir andaki (i) akımı,

$$i = \frac{dq_e}{dt} \quad (4.3)$$

olacaktır [75].

Şimdi (4.2) eşitliğini elektrik potansiyeli cinsinden gösterelim.

Temel elektrik yasaları sonuçlarından

$$\rho_e = C^* \cdot V \quad (\text{Kapasite tanım bağıntısı}) \quad (4.4)$$

$$J_x = - \frac{1}{R^*} \frac{\partial V}{\partial x} \quad (\text{Ohm kanunu}) \quad (4.5)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada;

C^* : Birim hacmin kapasitesi
| Farad/L³ |

R^* : Birim uzunluktaki cismin direnci
| ohm/L |

V : Potansiyel
| V |

dır. Bu bağıntılar (4.2) eşitliğinde yerine konulursa bir boyutlu elektrik akımı denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (C^*V) = - \frac{\partial}{\partial x} \left(- \frac{1}{R^*} \frac{\partial V}{\partial x} \right)$$

$$R^*C^* \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \quad (4.6)$$

Literatürde de [76] bir boyutlu ısı akımı denkleminin

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (4.7)$$

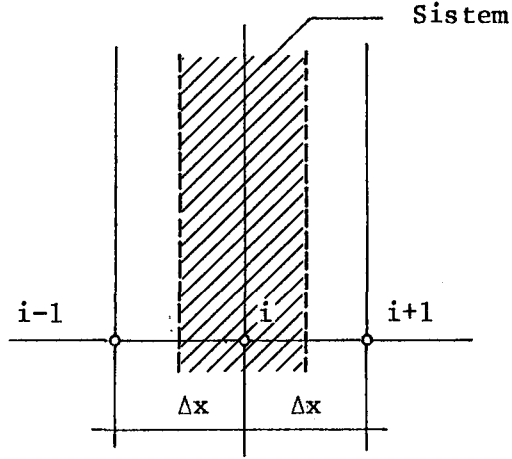
şeklinde olduğu göz önüne alınırsa, elektrik akımı denklemi ile ısı akımı denkleminin benzer olduğu görülür.

Bu benzerlikten hareketle (4.7) denkleminin çözümü (4.6) denkleminin çözümünden yararlanarak elde edilebilir. Çözüme ulaşabilmek için $(\partial^2 V / \partial x^2)$ bağıntısını sonlu farklarla gösterelim (Şekil 4.2).

$$\left. \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right|_i = \frac{V_{i+1} - 2V_i + V_{i-1}}{\Delta x^2}$$

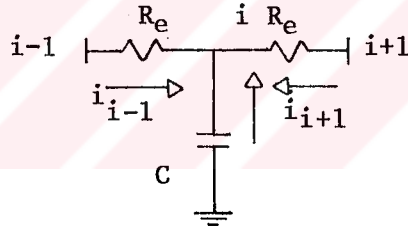
Buna göre denklem (4.6),

$$R^*C^*(\Delta x)^2 \frac{dV_i}{dt} = V_{i+1} - 2V_i + V_{i-1} \quad (4.8)$$



Şekil 4.2. Tek boyutlu sonlu farklar ağ yapısı.

şekline dönüşür. Bu şekilde bir formülasyon bir kapasite ve iki direnç taşıyan elektrik akım devresi ile modellenenbilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Elektrik akım devresi.

Dolayısıyla şekil 4.3 te çizilen devrenin denklemi (4.8) denklemine benzer bir ifadedir. Bunun için (R) toplam direnç ve sistemin (C) kapasitesi,

$$R \text{ (Ohm)} = R^* (\Delta x) / A \quad \text{ve} \quad C \text{ (Farad)} = C^* A (\Delta x) \quad (4.9)$$

şeklinde tanımlanır ve Şekil 4.2'deki sistem Şekil 4.3 te görülen sisteme indirgenmiş olur.

Daha açık olarak söylersek, incelenen sistem Kirchhoff'un akım kanununu (Herhangi bir düğüm noktasına gelen yönlü

akımların şiddetlerinin cebirsel toplamı sıfırdır) otomatik olarak sağlayacak şekilde bağımsız bir devreler takımı ile gösterilmiş olur.

Buna göre, tek boyutlu durum için üç çevre akımı i_{i-1} , i_o , i_{i+1} dir. Şekil 4.3 ve "i" düğüm noktası için,

$$i_{i-1} + i_o - i_{i+1} = 0 \quad (4.10)$$

ifadesi yazılır.

Öte yandan C kapasitenin tanım bağıntısına göre,

$$i_o = C \frac{dV_i}{dt} \quad (4.11)$$

dir ve seri dirençlerdeki akım şiddetleri birbirinin aynı olduğundan [77],

$$i_{i-1} = \frac{\Delta V}{R} = \frac{V_i - V_{i-1}}{R} \quad (4.12)$$

$$i_{i+1} = \frac{\Delta V}{R} = \frac{V_{i+1} - V_i}{R}$$

yazılabilir. Buradan, (4.11) ve (4.12) bağıntıları ile (4.10) ifadesinin Şekil 4.3'e göre uyarlanması sonucu aşağıdaki yeni denklem elde edilir.

$$R C \frac{dV_i}{dt} = V_{i+1} + V_{i-1} - 2V_i \quad (4.13)$$

($R C = R^* C^* (\Delta x^2)$) olduğu hatırlanırsa yeni denklemin bu şekli ile (4.8) denkleminin benzeri olduğu anlaşılır.

Bu durumda, Şekil 4.3'te görülen devre elemanı tek boyutlu ısı iletim problemi için analog model olmaktadır.

O halde, (4.7) bağıntısında ikinci türevler yerine (3.20) eşitliği ile verilen sonlu fark ifadesini yazarsak,

$$\frac{(\Delta X)^2}{a} \frac{dT_i}{dt} = T_{i+1} + T_{i-1} - 2T_i \quad (4.14)$$

olur ve (4.14) ile (4.13) denklemlerinin benzerliğinden yararlanarak $(\Delta x)^2/a$, "RC" orantılı hale getirilirse, sabit rejimde ısı akımı için elektrik analogisi "i" noktasında (Şekil 4.3),

$$\frac{V_{i-1} - V_i}{R} + \frac{V_{i+1} - V_i}{R} = 0 \quad (4.15)$$

şeklinde yazılır.

Aynı şekilde iki boyutlu ısı akım denkleminin çözümü, iki boyutlu elektrik akım denkleminin çözümünden yararlanarak elde edilir. İki boyutlu elektrik akım denklemi (4.1) bağıntısından,

$$R^* C^* \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \quad (4.16)$$

bulunur ve bu ifadenin ikinci türevleri yerine sonlu fark ifadeleri yazılırsa,

$$R^* C^* (\Delta x)^2 \frac{\partial V_{i,j}}{\partial t} = V_{i-1,j} + V_{i,j-1} + V_{i+1,j} + V_{i,j+1} - 4V_{i,j} \quad (4.17)$$

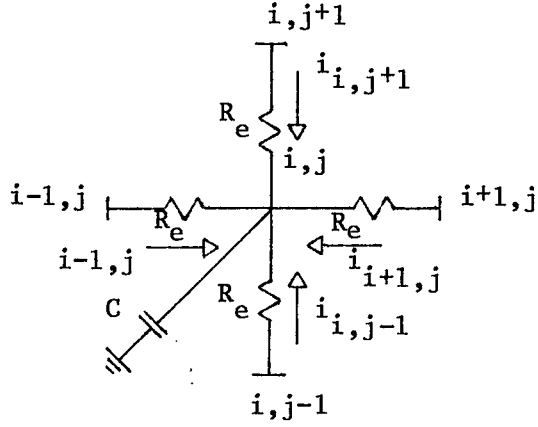
olur. Bu şekilde bir formülasyon da bir kapasite ve "x"- "y" yönünde iki direnç taşıyan bir elektrik akım devresi ile modellenir (Şekil 4.4).

Buna göre, Kirchhoff akım kanunundan "i,j" düğüm noktası için,

$$i_{i-1,j} - i_{i+1,j} + i_{i,j-1} - i_{i,j+1} + i_o = 0 \quad (4.18)$$

olur ve kapasitenin tanım bağıntısına göre,

$$i_o = C \frac{dV_{i,j}}{dt} \quad (4.19)$$



Şekil 4.4. Elektrik akım devresi.

yazılır. Ayrıca

$$\begin{aligned} i_{i-1,j} &= \frac{\partial V}{R} = \frac{V_{i,j} - V_{i-1,j}}{R} \\ i_{i+1,j} &= \frac{\partial V}{R} = \frac{V_{i+1,j} - V_{i,j}}{R} \\ i_{i,j-1} &= \frac{\partial V}{R} = \frac{V_{i,j} - V_{i,j-1}}{R} \\ i_{i,j+1} &= \frac{\partial V}{R} = \frac{V_{i,j+1} - V_{i,j}}{R} \end{aligned} \quad (4.20)$$

bağıntıları yardımıyla iki boyutlu elektrik akımı için,

$$R C \frac{dV_{i,j}}{dt} = V_{i-1,j} + V_{i,j-1} + V_{i+1,j} + V_{i,j+1} - 4V_{i,j} \quad (4.21)$$

ifadesi bulunur. Açıkça görüldüğü gibi son elde edilen denklem (4.17) denkleminin benzeridir.

Bu durumda, Şekil 4.4 te görülen devre elemanı iki boyutlu iletim problemi için analog model olmakta ve sabit rejimde ısı akımı için elektrik analogisinden yararlanarak "i,j" düğüm noktasında,

$$\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{R_I} + \frac{T_{i+1,j} - T_{i,j}}{R_I}$$
$$\frac{T_{i,j-1} - T_{i,j}}{R_I} + \frac{T_{i-1,j} - T_{i,j}}{R_I} = 0 \quad (4.22)$$

bağıntısı yazılır. Burada,

R_I : Toplam ısı direnç
|K/W|

olarak tanımlanır.

Demek ki; söz konusu elektrik analogisinden yararlanarak, incelediğimiz probleme karşı gelen 'Laplace' denkleminin klasik sonlu farklar yöntemiyle çözümünde sınır koşulları ek dirençlerin hesaba katılması ile gözönüne alınabilmektedir.

4.2. YÖNTEMİN ADIMLARI

Burada izlenmesi gereken yol, yapısında ısı köprüsü bulunduran bir konstrüksiyonda izotermal dilimlerin seçimi, bir başka tanımla 'ısı şebekesinin' kurulmasıdır. Bunun için ele alınan konstrüksiyonun (Δz) eşit kalınlığındaki hacim elemanlarına, ancak eşit olmayan ($\Delta x \cdot \Delta y$) alan parçalarına bölünmelidir.

Termoelektriksel analogi göz önünde tutulursa, hacim elemanının ağırlık merkezinde tek bir düğüm noktası alınır ve böylece her hacim elemanının dirençlerinin paralel bağlanması sonucu alansal bir ağ sistemi oluşturulur. Bu durumda oluşturulan dikdörtgen ağ bir ısı şebekesine dönüşmüş olur.

4.2.1. Isı Köprüsünün Isıl Yönden Yapı Elemanınının Tümüne Etkisinin Hesabı

Genellikle ısı köprüsü oluşturan yapı bileşenlerinin genişliği bütün içinde küçük bir oran tutar. Bu nedenle hesapların, konstrüksiyonun bütününde uygulanması yerine hesaplanan çerçeve genişliği, yani ısı köprüsünün etki alanı içinde, yapılmasının işlemleri kısaltacağı düşünülmüştür.

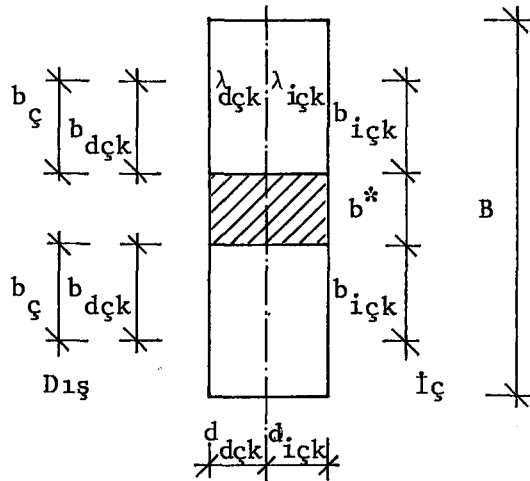
En az çerçeve genişliği, çerçevenin kalınlığı ile iç veya dış katmanın ısı geçirgenliğine, ayrıca iç ve dış yüzeyel ısı iletim katsayısına bağlı olarak tanımlanır [78], [79], [80].

Çerçeve için gerekli " b_{ζ} " genişliği, aşağıdaki iki değer büyük olanına eşittir.

$$b_{i\zeta k} \geq 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\lambda d}{\alpha}\right)_{i\zeta k}} = 2 \cdot \sqrt{(R\lambda d)_{i\zeta k}} \quad (4.23a)$$

ve

$$b_{d\zeta k} \geq 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\lambda d}{\alpha}\right)_{d\zeta k}} = 2 \cdot \sqrt{(R\lambda d)_{d\zeta k}} \quad (4.23b)$$



Şekil 4.5. Isı köprülü bir monolitik konstrüksiyonda çerçevenin hesapsal etki genişliği.

Burada,

- B : Konstrüksiyonun genişliği
|m|
- b^* : Isı köprüsü genişliği
|m|
- $b_{içk}$: İç çerçeve katmanının etki genişliği
|m|
- $b_{dçk}$: Dış çerçeve katmanının etki genişliği
|m|
- $d_{içk}$: İç çerçeve katmanının kalınlığı
|m|
- $d_{dçk}$: Dış çerçeve katmanının kalınlığı
|m|
- $\lambda_{içk}$: İç çerçeve katmanının ısı iletkenliği
|W/mK|
- $\lambda_{dçk}$: Dış çerçeve katmanının ısı iletkenliği
|W/mK|

dir.

Çerçevenin etki genişliği $b_{içk}$, $b_{dçk}$ veya b^* değerinden büyük olanına eşit alınır.

Şekil 4.5'te monolitik bir çerçevenin $b_{içk}$ ve $b_{dçk}$ etki genişliği görülmektedir. İçten yalıtımlı konstrüksiyonlarda $d_{içk}$ ve $d_{dçk}$ yalıtıma kadar olan konstrüksiyon kalınlığı olarak alınır. Bu durumda bütün konstrüksiyonun en az genişliği, ısı köprüsünün (b^*) genişliği ile her iki yandaki gerekli ($b_{ç}$) çerçeve genişliğinin toplamına eşittir. Yani;

$$B_{min.} = b^* + 2 b_{ç} \quad (4.24)$$

dir.

Burada,

$B_{min.}$: Konstrüksiyonun olması gereken en az genişliği
|m|

- b^* : Isı köprüsü genişliği
|m|
- $b_{\text{ç}}$: Çerçevenin etki genişliği
|m|

şeklinde tanımlanmaktadır.

(4.23 a-b) bağıntılarına göre elde edilen çerçevenin etki genişliği çok sayıda konstrüksiyonda denenerek doğrulanmıştır [81].

Konstrüksiyonun diğer noktaları için ise, ısı köprüsünün etkisinin olmadığı varsayılarak tek boyutlu ısı iletim hesabı yapılır.

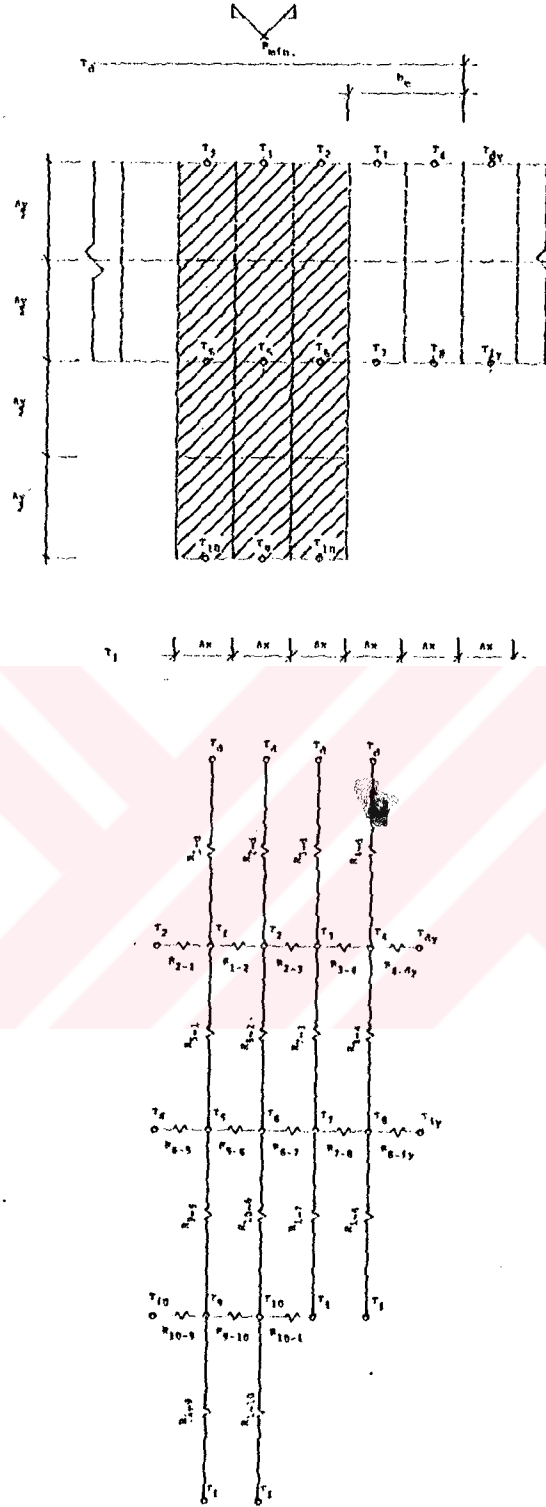
4.2.2. Hesaplanan Çerçeve Genişliğinin izotermal Dilimlere Ayrılması

Izotermal dilimlerin homojen malzemedен olması, ayrıca kurulacak dikdörtgen ağın, sistemin karakteristik noktalarından geçirilmesi, işlemleri kolaylaştıracağı gibi zaman kaybını da önler. Ters durumda daha fazla işlem yapmamız gerekir. Şekil 4.6 da dikdörtgen bir ağın yani "Isı şebekesinin" oluşturulmasına ilişkin iki örnek verilmiştir.

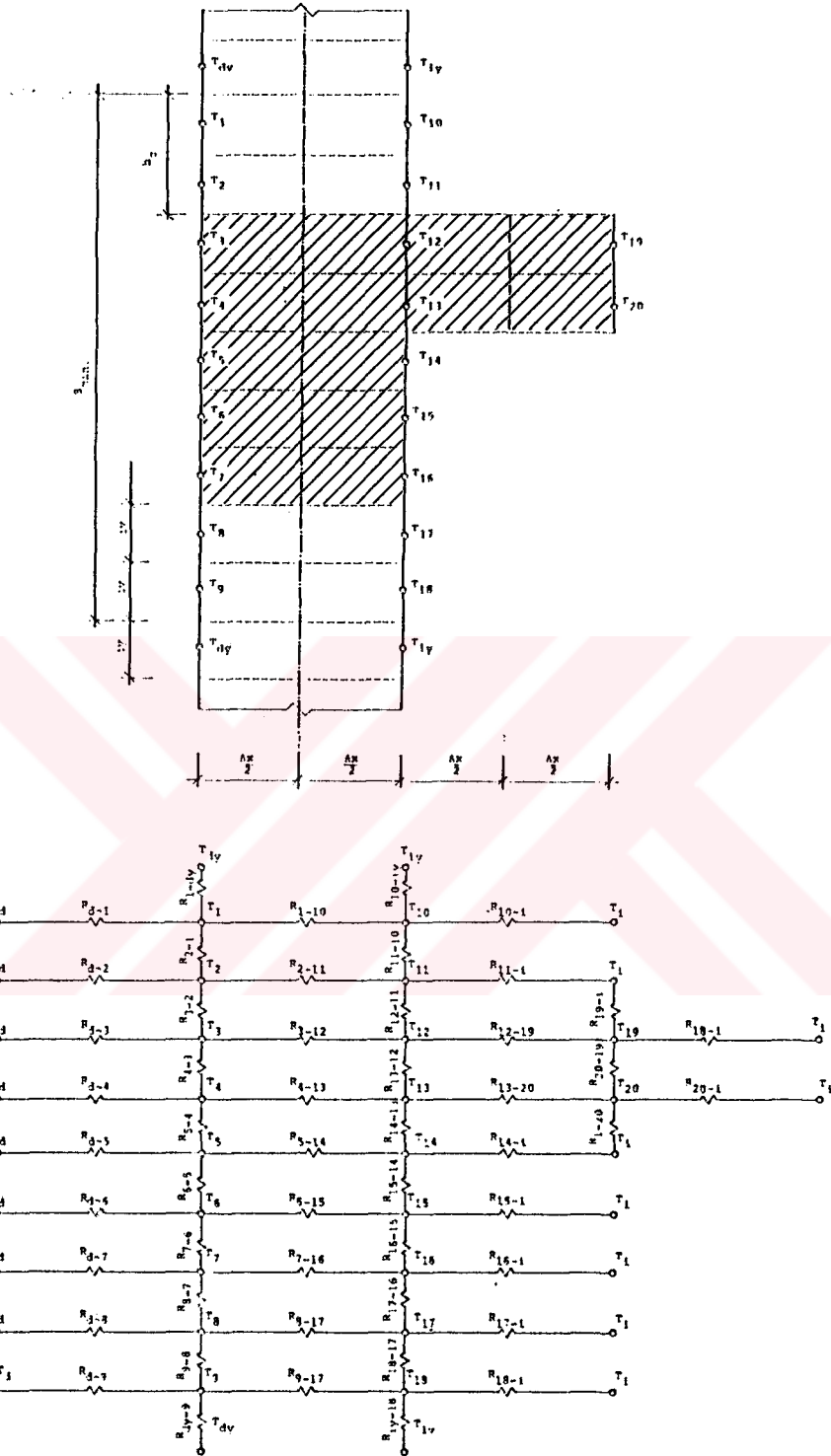
4.2.3. Sınır Sıcaklık Değerlerinin Hesabı

Hesaplanan konstrüksiyon genişliğinin içinde kurulan ısı şebekesinin sınır noktalarındaki sıcaklıkların belirlenmiş olması gerekir. Hesapların başlangıcında (T_i , T_d) iç ve dış ortam sıcaklıkları veri olarak bilinmektedir. Çerçeve, yani ısı köprüsü etki alanının dışında kalan yerlerde sınır değerleri (3.12) denklemi yardımıyla kolayca bulunur.

Ancak, konstrüksiyon genişliği içindeki tüm noktaların hesaplarını ayrı ayrı yapmamız gerekemeyebilir. Çünkü ısı köprüsü oluşturan yapı bileşeninin merkezinden geçen eksen, bazı durumlarda konstrüksiyon genişliğinin simetri



Şekil 4.6a. Betonarme karkas bir yapıda taşıyıcı sistemin duvar bünyesinde ısı köprüsü oluşturması durumunda direnç ağı sisteminin kurulması.

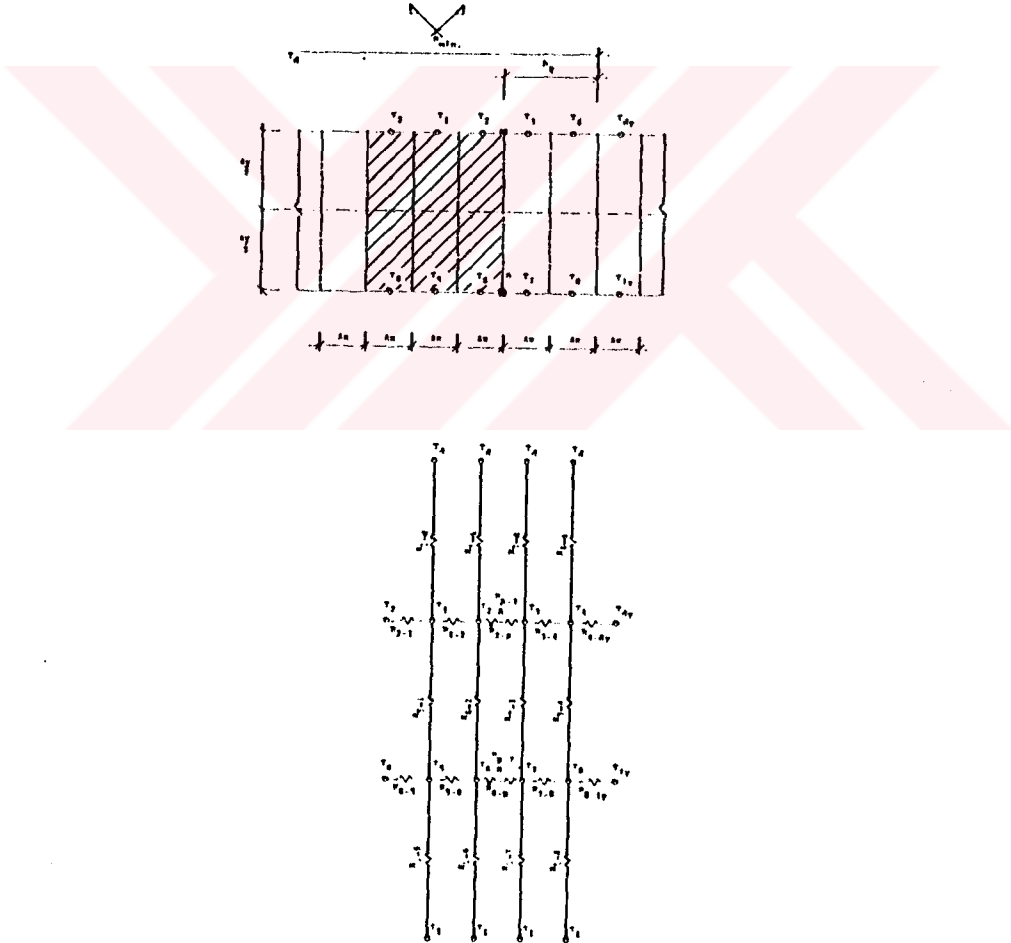


Şekil 4.6b. Kat seviyesinde betonarme hatıl veya kirişin duvar bünyesinde ısı köprüsü oluşturması durumunda direnç ağ sisteminin kurulması.

ekseninden geçebilir (Şekil 4.6a). Bu durumda konstrüksiyon genişliğinin yalnızca yarısı için hesap yapmak yeterlidir ve sınır değeri simetri eksenine en yakın düğüm noktasının değerine eşittir.

4.2.4. Ardışık Düğüm Noktalarında Dirençlerin Hesabı

Ardışık düğüm noktaları arasında farklı malzemelerden oluşmuş iki yapı bileşeni bulunması durumunda (Şekil 4.7) bu noktalar arasındaki toplam direnç (R_{6-7}) iki bileşke dirençin (R_{6-B} ve R_{B-7}) toplamı olarak düşünülebilir. Bu işlem diğer ardışık düğüm noktaları için de uygulanır.



Şekil 4.7. Aralarında farklı malzemeler bulunan ardışık düğüm noktalarında dirençlerin düzenlenmesi

4.2.5. Kurulan Isı Şebekesine Bağlı Olarak Yüzey Sıcaklıklarının Hesabı

Bünyesinde ısı köprüsü içeren konstrüksiyonlarda hesaplanan konstrüksiyon genişliği ($\Delta x \cdot \Delta y$) alan parçalarına bölünerek ısı şebekesi kurulur ve her bir düğüm noktası için (4.22) bağıntısı yardımıyla

$$a_{11}T_1 + a_{12}T_2 + \dots + a_{1n}T_n = C_1$$

$$a_{21}T_1 + a_{22}T_2 + \dots + a_{2n}T_n = C_2$$

.....

(4.25)

$$a_{n1}T_1 + a_{n2}T_2 + \dots + a_{nn}T_n = C_n$$

biçiminde nokta sayısı kadar denklemden oluşan bir lineer denklem takımı elde edilir. Buradaki a_{ij} katsayıları, hesabı istenen düğüm noktaları arasındaki direnç değerleri yardımıyla rahatlıkla hesaplanır ve indislerle gösterilen düğüm noktalarının birbirleriyle komşu olmaması durumunda katsayı da sifıra eşit olur.

Denge denklemleri yazılan bir düğüm noktasının, sınır değerlere açık bir düğüm noktası ile komşu olması durumunda (S_j , ($j=1,n$)) katsayıları elde edilir.

Elde edilen lineer denklem takımlarının çözümü için Crâmer Kuralı (determinantlarla çözüm), Gauss Eliminasyonu, Gauss-Jordan Eliminasyonu, Matris Yöntemi, Üçgen Matris Çarpanlarına Ayırma Yöntemi ve Karekök Yöntemi gibi dolaysız yöntemler vardır. Ayrıca Basit İterasyon, Gauss Seidel İterasyonu ve Relaksasyon Yöntemleri gibi dolaylı yöntemler de uygulanmaktadır [82], [83].

Hesaplanması istenen sıcaklıklar $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ olduğuna göre (4.25) eşitliği matris notasyonu kullanılarak; $[A]$ katsayılar matrisi, $[T]$ bilinmeyen sıcaklıklar matrisi ve

[S] sabitler matrisi olmak üzere, aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$[A] = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad [T] = \begin{vmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_n \end{vmatrix} \quad [S] = \begin{vmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{vmatrix}$$

Burada,

- [A] : Katsayılar matrisi
|N.N|
- [T] : Bilinmeyenler matrisi
|N.1|
- [S] Sabitler matrisi
|N.1|

dir. Dolayısıyla (4.25) bağıntısı aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$[A].[T] = [S] \tag{4.26}$$

Bu matris sisteminin çözümü ise,

$$[T]=[A]^{-1} [S] \tag{4.27}$$

olur. [A], katsayılar matrisinin $[A]^{-1}$ inversinin; aşağıdaki gibi $b_{11} \dots b_{nn}$ 'e kadar olan elemanlardan oluştuğunu varsayarsak

$$[A]^{-1} = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{vmatrix}$$

yazılır. O halde bilinmeyen sıcaklıklar için sonuç çözümleri sonunda aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$T_1 = b_{11}S_1 + b_{12}S_2 + \dots + b_{1n}S_n$$

$$T_2 = b_{21}S_1 + b_{22}S_2 + \dots + b_{2n}S_n$$

.....

$$T_n = b_{n1}S_1 + b_{n2}S_2 + \dots + b_{nn}S_n$$

Bu çalışmada yaklaşımın içerdiği sayısal hesaplamalar hazırlanan bilgisayar programları aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.



BÖLÜM - 5

YÖNTEMİN UYGULAMASINA İLİŞKİN ÖRNEK

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşıma ilişkin örnek, sınırlayıcı yapı elemanları içinde yer alan ve ısı tutuculuk değeri ana çekirdeğe oranla düşük olan strüktürel elemanlar için yapılmıştır (Şekil 4.6a-b).

Bu sayısal uygulamalarda belirli varsayımlar kabul edilmiş ve belirli sonuçlar elde edilmiştir. Bu bölümde, sayısal uygulamalarda kabul edilen varsayımlar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

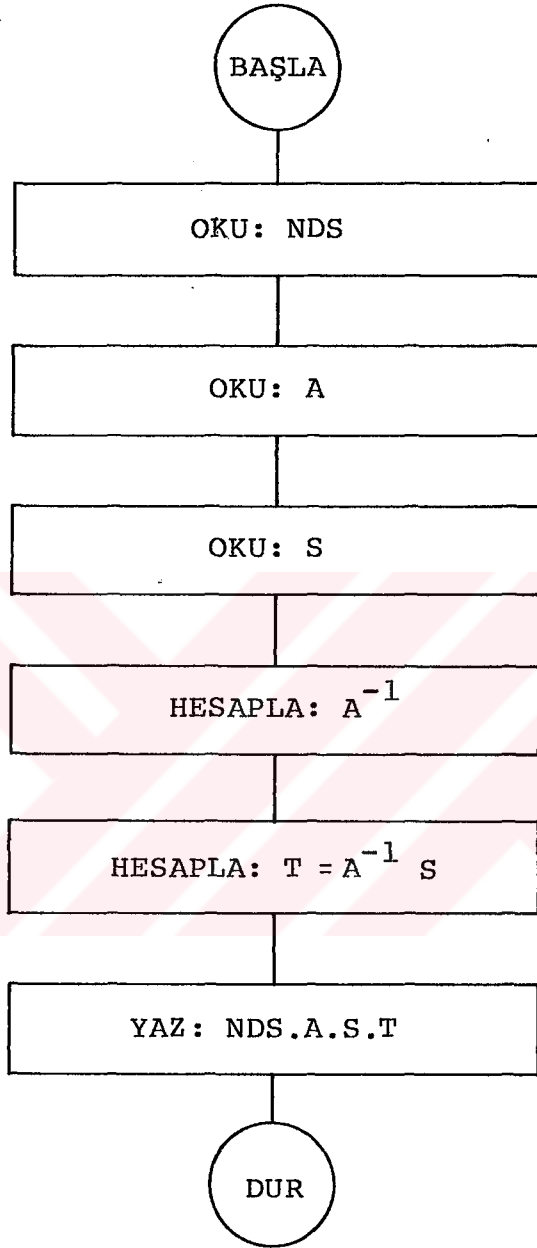
5.1. YAKLAŞIMIN İÇERDİĞİ HESAPLAMA İŞLEMLERİNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Önerilen yaklaşımın içerdiği hesaplama işlemlerinin bilgisayar aracılığı ile kısa sürede yapılabilmesi için, bu çalışma kapsamında yöntemin uygulamasının gerçekleştirildiği; Şekil 5.1 de verilmiş olan akış çizgesi, Fortran IV dilinde yazılmış olan bilgisayar programı ve buna bağlı alt program hazırlanmıştır. EK B.1. de gerekli açıklamaları verilen bu programdan yararlanarak, yöntemin içerdiği yukarıda anlatılan denklemlere ilişkin tüm hesaplamaların kısa sürede yapılması olanaklıdır.

5.2. ÖRNEK ÇALIŞMASINDA İZLENEN YOL

Sayısal uygulamalarda kullanılan malzeme verileri, gerekli boyutlara ve sınır koşulları toplu olarak Tablo 5.1 de verilmiştir. Sayısal hesaplarda, aşağıda adımları ayrıntılı

biçimde açıklanmış olan yol izlenmiştir.

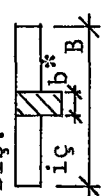
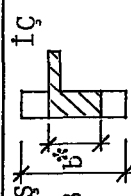


Şekil 5.1. Isı köprüsü içeren yapı elemanlarında yüzey sıcaklıklarının hesaplanması için geliştirilen yöntemin akış çizgesi.

Tablo 5.1. Örnek Uygulamada Kullanılan Malzeme Verileri, Boyutları ve Sınır Koşulları.

NO.	ÖRNEK ADI	Yüzeysel ısı iletim direnci		Malzemenin ısı iletkenliği		Boyutlar				
		İç yüzeyde	Dış yüzeyde	Isı köprüsü	Ana çekirdek	Konstrüksiyon kalınlığı	Konstrüksiyon genişliği	Isı köprüsü kalınlığı	Isı köprüsü genişliği	Isı köprüsü genişliği
		$1/\alpha_i$	$1/\alpha_d$	λ_{IK}	λ_{\checkmark}	d	B	d_{IK}	b^*	
I	Kolon-Düzlemsel duvar ısı köprüsü	0.13	0.04	1.84	0.26	0.175	0.405	0.35	0.15	
II	Kiriş-Düzlemsel duvar ısı köprüsü					0.175	0.55	0.175	0.25	

Tablo 5.2. Konstrüksiyon Şemaları ve Hesap Sonuçları.

NO.	ŞEMA	Çerçevenin etki genişliği	Konstrüksiyonun olması gereken en az geniş.	Konstrüksiyon genişliği	Isı geçirme katsayısı (Duvar)	İç ortam sıcaklığı	Dış ortam sıcaklığı	İç yüzey sıcaklığı	Dış yüzey sıcaklığı
I	DIŞ. 	0.10	0.35	<0.405	1.186	21	-7	16.68	-5.67
II	DIŞ. 	0.10	0.45	<0.55	1.186	21.2	-7.6	16.76	-6.22

1. Adım. Ön veriler hesaplanır

- . (4.23a) veya (4.23b) denklemlerine göre çerçevenin "b_ç" etki genişliği hesaplanır. Gerekli genişlik bu denklemlere göre bulunan değerlerin büyük olmasına eşittir.
- . (4.24) denklemine göre "B_{min}" en az konstrüksiyon genişliği belirlenir.
- . Mevcut konstrüksiyon genişliğinin "B_{min}" dan büyük olup olmadığının kontrolü yapılır.
- . Konstrüksiyonunun diğer noktaları için ise, ısı köprüsünün etkisinin olmadığı varsayılarak tek boyutlu ısı iletim hesabı yapılır. İç ve dış ortam sıcaklıkları veri olarak bilindiğine göre (3.12) denklemi yardımıyla istenen iç ve dış yüzey sıcaklıkları kolayca bulunur.

Tablo 5.2 de konstrüksiyon şemaları ve 1. Adımın sonuçları sunulmuştur.

2. Adım. Direnç ağ sistemi (ısı şebekesi) kurulur.

Direnç ağ sisteminin kurulması için B_{min} hesaplanan konstrüksiyon genişliği eşit Δz kalınlıklarındaki hacim elemanlarının taban kenarları eşit olmayan Δx.Δy bölünür. (Kenar uzunluklarının eşit olması durumunda katsayılar matrisi sıfır olur) Termo elektriksel analogi göz önünde tutularak, bu hacim elemanlarından her birinin ağırlık merkezinde bir düğüm noktası alınır. Bunların paralel bağlanması ile de direnç ağ sistemi (Isı şebekesi) kurulur. (Şekil 4.6a-5.6b).

Sonra 4.22 denklemi, her düğüm noktası için yazılır. Bu, bilinmeyen düğüm noktası sıcaklıkları için bir lineer denklem takımını oluşturur.

Bu amaçla; önce Şekil 4.6a da gösterilen konstrüksiyon için belirlenmiş olan her düğüm noktasını x-y yönünde

birbirine bağlayan dirençler Tablo 3.1 de verilen ısıl direnç bağıntıları yardımı ile aşağıdaki şekilde bulunur.

$$R_{2-1}, R_{1-2}, R_{10-9}, R_{9-10} = \frac{\Delta x}{\lambda_{IK} [(\Delta Y/2) \cdot 1]}$$

$$R_{6-5}, R_{5-6} = \frac{\Delta x}{\lambda_{IK} (\Delta Y \cdot 1)}$$

$$R_{2-3} = \frac{\Delta x/2}{\lambda_{IK} [(\Delta Y/2) \cdot 1]} + \frac{\Delta x/2}{\lambda_{GB} [(\Delta Y/2) \cdot 1]}$$

$$R_{10-i} = \frac{\Delta x/2}{\lambda_{IK} [(\Delta Y/2) \cdot 1]} + \frac{1}{\alpha_i [(\Delta Y/2) \cdot 1]}$$

$$R_{3-4}, R_{4-dy}, R_{7-8}, R_{8-iy} = \frac{\Delta x}{\lambda_{GB} [(\Delta Y/2) \cdot 1]}$$

$$R_{i-9}, R_{i-10}, R_{i-7}, R_{i-8} = \frac{1}{\alpha_i (\Delta x \cdot 1)}$$

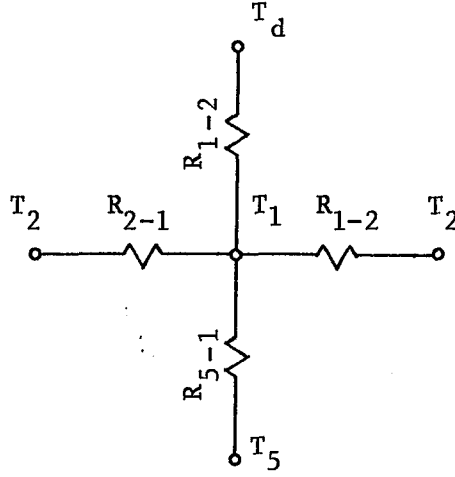
$$R_{9-5}, R_{10-6}, R_{5-1}, R_{6-2} = \frac{\Delta Y}{\lambda_{IK} (\Delta x \cdot 1)}$$

$$R_{7-3}, R_{8-4} = \frac{\Delta Y}{\lambda_{GB} (\Delta x \cdot 1)}$$

$$R_{1-d}, R_{2-d}, R_{3-d}, R_{4-d} = \frac{1}{\alpha_d (\Delta x \cdot 1)}$$

$$R_{6-7} = \frac{\Delta x/2}{\lambda_{IK} (\Delta Y \cdot 1)} + \frac{\Delta x/2}{\lambda_{GB} [(\Delta Y/2) \cdot 1]}$$

Sonra T_1 düğüm noktası için 4.22 denklemi aşağıdaki biçimde düzenlenir.



Şekil 5.2. T_1 düğüm noktası.

$$\frac{T_2 - T_1}{R_{2-1}} + \frac{T_2 - T_1}{R_{1-2}} + \frac{T_5 - T_1}{R_{5-1}} + \frac{T_d - T_1}{R_{1-d}} = 0$$

$$T_2 \left(\frac{1}{R_{2-1}} \right) + T_2 \left(\frac{1}{R_{1-2}} \right) + T_5 \left(\frac{1}{R_{5-1}} \right) + T_d \left(\frac{1}{R_{1-d}} \right) - T_1 \left(\frac{1}{R_{2-1}} + \frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{5-1}} + \frac{1}{R_{1-d}} \right) = 0 \quad (5.1)$$

Benzer işlemler diğer $T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}$ noktaları için yapılırsa aşağıdaki denklem takımı elde edilir.

$$T_1 \left(\frac{1}{R_{1-2}} \right) + T_3 \left(\frac{1}{R_{2-3}} \right) + T_6 \left(\frac{1}{R_{6-2}} \right) + T_d \left(\frac{1}{R_{2-d}} \right) - T_2 \left(\frac{1}{R_{1-2}} + \frac{1}{R_{2-3}} + \frac{1}{R_{6-2}} + \frac{1}{R_{2-d}} \right) = 0 \quad (5.2)$$

$$T_2 \left(\frac{1}{R_{2-3}} \right) + T_4 \left(\frac{1}{R_{3-4}} \right) + T_7 \left(\frac{1}{R_{7-3}} \right) + T_d \left(\frac{1}{R_{3-d}} \right) - T_3 \left(\frac{1}{R_{2-3}} + \frac{1}{R_{3-4}} + \frac{1}{R_{7-3}} + \frac{1}{R_{3-d}} \right) = 0 \quad (5.3)$$

$$T_3 \left(\frac{1}{R_{3-4}} \right) + T_{dy} \left(\frac{1}{R_{4-dy}} \right) + T_8 \left(\frac{1}{R_{8-4}} \right) + T_d \left(\frac{1}{R_{4-d}} \right) - T_4 \left(\frac{1}{R_{3-4}} + \frac{1}{R_{4-dy}} + \frac{1}{R_{8-4}} + \frac{1}{R_{4-d}} \right) = 0 \quad (5.4)$$

$$T_6 \left(\frac{1}{R_{6-5}} \right) + T_6 \left(\frac{1}{R_{5-6}} \right) + T_9 \left(\frac{1}{R_{9-5}} \right) + T_1 \left(\frac{1}{R_{5-1}} \right) - T_5 \left(\frac{1}{R_{6-5}} + \frac{1}{R_{5-6}} + \frac{1}{R_{9-5}} + \frac{1}{R_{5-1}} \right) = 0 \quad (5.5)$$

$$T_5 \left(\frac{1}{R_{5-6}} \right) + T_7 \left(\frac{1}{R_{6-7}} \right) + T_{10} \left(\frac{1}{R_{10-6}} \right) + T_2 \left(\frac{1}{R_{6-2}} \right) - T_6 \left(\frac{1}{R_{5-6}} + \frac{1}{R_{6-7}} + \frac{1}{R_{10-6}} + \frac{1}{R_{6-2}} \right) = 0 \quad (5.6)$$

$$T_6 \left(\frac{1}{R_{6-7}} \right) + T_8 \left(\frac{1}{R_{7-8}} \right) + T_1 \left(\frac{1}{R_{1-7}} \right) + T_3 \left(\frac{1}{R_{7-3}} \right) - T_7 \left(\frac{1}{R_{6-7}} + \frac{1}{R_{7-8}} + \frac{1}{R_{1-7}} + \frac{1}{R_{7-3}} \right) = 0 \quad (5.7)$$

$$T_7 \left(\frac{1}{R_{7-8}} \right) + T_{iy} \left(\frac{1}{R_{8-iy}} \right) + T_1 \left(\frac{1}{R_{1-8}} \right) + T_4 \left(\frac{1}{R_{8-4}} \right) - T_8 \left(\frac{1}{R_{7-8}} + \frac{1}{R_{8-iy}} + \frac{1}{R_{1-8}} + \frac{1}{R_{8-4}} \right) = 0 \quad (5.8)$$

$$T_{10} \left(\frac{1}{R_{10-9}} \right) + T_{10} \left(\frac{1}{R_{9-10}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{i-9}} \right) + T_5 \left(\frac{1}{R_{9-5}} \right) - T_9 \left(\frac{1}{R_{10-9}} + \frac{1}{R_{9-10}} + \frac{1}{R_{i-9}} + \frac{1}{R_{9-5}} \right) = 0 \quad (5.9)$$

$$T_9 \left(\frac{1}{R_{9-10}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{10-i}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{i-10}} \right) + T_6 \left(\frac{1}{R_{10-6}} \right) - T_{10} \left(\frac{1}{R_{9-10}} + \frac{1}{R_{10-i}} + \frac{1}{R_{i-10}} + \frac{1}{R_{10-6}} \right) = 0 \quad (5.10)$$

Yukarıda ayrı ayrı yapılan işlemlerin benzeri Şekil 4.6b de gösterilen konstrüksiyon içinde uygulanırsa, aşağıdaki direnç değerleri ve belirlenen düşüm noktalarındaki bilinmeyen sıcaklık değerlerine ilişkin lineer denklem takımı elde edilir.

$$R_{d-1}, R_{d-2}, R_{d-3}, R_{d-4}, R_{d-5}, R_{d-6}, R_{d-7}, R_{d-8}, R_{d-9} = \frac{1}{\alpha_d (\Delta Y \cdot 1)}$$

$$R_{1-10}, R_{2-11}, R_{8-17}, R_{9-18} = \frac{\Delta x}{\lambda_{GB} (\Delta Y \cdot 1)}$$

$$R_{3-12}, R_{4-13}, R_{5-14}, R_{6-15}, R_{7-16}, R_{12-19}, R_{13-20} = \frac{\Delta x}{\lambda_{IK} (\Delta Y \cdot 1)}$$

$$R_{10-i}, R_{11-i}, R_{19-i}, R_{20-i}, R_{14-i}, R_{15-i}, R_{16-i}, R_{17-i}, R_{18-i} = \frac{1}{\alpha_i (\Delta y \cdot 1)}$$

$$R_{dy-9}, R_{9-8}, R_{2-1}, R_{1-dy}, R_{iy-18}, R_{18-17}, R_{11-10}, R_{10-iy} = \frac{\Delta y}{\lambda_{GB} ((\Delta x/2) \cdot 1)}$$

$$R_{8-7}, R_{3-2}, R_{17-16} = \frac{\Delta y/2}{\lambda_{GB} ((\Delta x/2) \cdot 1)} + \frac{\Delta y/2}{\lambda_{IK} ((\Delta x/2) \cdot 1)}$$

$$R_{7-6}, R_{6-5}, R_{5-4}, R_{4-3}, R_{16-15}, R_{15-14}, R_{20-19} = \frac{\Delta y}{\lambda_{IK} ((\Delta x/2) \cdot 1)}$$

$$R_{12-11} = \frac{\Delta y/2}{\lambda_{IK} (\Delta x \cdot 1)} + \frac{\Delta y/2}{\lambda_{GB} ((\Delta x/2) \cdot 1)}$$

$$R_{14-13} = \frac{\Delta y/2}{\lambda_{IK} ((\Delta x/2) \cdot 1)} + \frac{\Delta y/2}{\lambda_{IK} (\Delta x \cdot 1)}$$

$$R_{13-12} = \frac{\Delta y}{\lambda_{IK} (\Delta x \cdot 1)}$$

$$R_{i-20}, R_{19-i} = \frac{1}{\alpha_i ((\Delta x/2) \cdot 1)} + \frac{\Delta y/2}{\lambda_{IK} ((\Delta x/2) \cdot 1)}$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-1}} \right) + T_{10} \left(\frac{1}{R_{1-10}} \right) + T_2 \left(\frac{1}{R_{2-1}} \right) + T_{dy} \left(\frac{1}{R_{1-dy}} \right) - T_1 \left(\frac{1}{R_{d-1}} + \frac{1}{R_{1-10}} + \frac{1}{R_{2-1}} + \frac{1}{R_{1-dy}} \right) = 0 \quad (5.11)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-2}} \right) + T_{11} \left(\frac{1}{R_{2-11}} \right) + T_3 \left(\frac{1}{R_{3-2}} \right) + T_1 \left(\frac{1}{R_{2-1}} \right) - T_2 \left(\frac{1}{R_{d-2}} + \frac{1}{R_{2-11}} + \frac{1}{R_{3-2}} + \frac{1}{R_{2-1}} \right) = 0 \quad (5.12)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-3}} \right) + T_{12} \left(\frac{1}{R_{3-12}} \right) + T_4 \left(\frac{1}{R_{4-3}} \right) + T_2 \left(\frac{1}{R_{3-2}} \right) - T_3 \left(\frac{1}{R_{d-3}} + \frac{1}{R_{3-12}} + \frac{1}{R_{4-3}} + \frac{1}{R_{3-2}} \right) = 0 \quad (5.13)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-4}} \right) + T_{13} \left(\frac{1}{R_{4-13}} \right) + T_5 \left(\frac{1}{R_{5-4}} \right) + T_3 \left(\frac{1}{R_{4-3}} \right) - T_4 \left(\frac{1}{R_{d-4}} + \frac{1}{R_{4-13}} + \frac{1}{R_{5-4}} + \frac{1}{R_{4-3}} \right) = 0 \quad (5.14)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-5}} \right) + T_{14} \left(\frac{1}{R_{5-14}} \right) + T_6 \left(\frac{1}{R_{6-7}} \right) + T_4 \left(\frac{1}{R_{5-4}} \right) - T_5 \left(\frac{1}{R_{d-5}} + \frac{1}{R_{5-14}} + \frac{1}{R_{6-7}} + \frac{1}{R_{5-4}} \right) = 0 \quad (5.15)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-6}} \right) + T_{15} \left(\frac{1}{R_{5-15}} \right) + T_7 \left(\frac{1}{R_{7-6}} \right) + T_5 \left(\frac{1}{R_{6-5}} \right) - T_6 \left(\frac{1}{R_{d-6}} + \frac{1}{R_{6-5}} + \frac{1}{R_{7-5}} + \frac{1}{R_{6-5}} \right) = 0 \quad (5.16)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-7}} \right) + T_{16} \left(\frac{1}{R_{7-16}} \right) + T_8 \left(\frac{1}{R_{8-7}} \right) + T_6 \left(\frac{1}{R_{7-6}} \right) - T_7 \left(\frac{1}{R_{d-7}} + \frac{1}{R_{7-16}} + \frac{1}{R_{8-7}} + \frac{1}{R_{7-6}} \right) = 0 \quad (5.17)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-8}} \right) + T_{17} \left(\frac{1}{R_{8-17}} \right) + T_9 \left(\frac{1}{R_{9-8}} \right) + T_7 \left(\frac{1}{R_{8-7}} \right) - T_8 \left(\frac{1}{R_{d-8}} + \frac{1}{R_{8-17}} + \frac{1}{R_{9-8}} + \frac{1}{R_{8-7}} \right) = 0 \quad (5.18)$$

$$T_d \left(\frac{1}{R_{d-9}} \right) + T_{18} \left(\frac{1}{R_{9-18}} \right) + T_{dy} \left(\frac{1}{R_{dy-9}} \right) + T_8 \left(\frac{1}{R_{9-8}} \right) - T_9 \left(\frac{1}{R_{d-9}} + \frac{1}{R_{9-18}} + \frac{1}{R_{dy-9}} + \frac{1}{R_{9-8}} \right) = 0 \quad (5.19)$$

$$T_1 \left(\frac{1}{R_{1-10}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{10-i}} \right) + T_{11} \left(\frac{1}{R_{11-10}} \right) + T_{1y} \left(\frac{1}{R_{10-iy}} \right) - T_{10} \left(\frac{1}{R_{1-10}} + \frac{1}{R_{10-i}} + \frac{1}{R_{11-10}} + \frac{1}{R_{10-iy}} \right) = 0 \quad (5.20)$$

$$T_2 \left(\frac{1}{R_{2-11}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{11-i}} \right) + T_{12} \left(\frac{1}{R_{12-11}} \right) + T_{10} \left(\frac{1}{R_{11-10}} \right) - T_{11} \left(\frac{1}{R_{2-11}} + \frac{1}{R_{11-i}} + \frac{1}{R_{12-11}} + \frac{1}{R_{11-10}} \right) = 0 \quad (5.21)$$

$$T_3 \left(\frac{1}{R_{3-12}} \right) + T_{19} \left(\frac{1}{R_{12-19}} \right) + T_{13} \left(\frac{1}{R_{13-12}} \right) + T_{11} \left(\frac{1}{R_{12-11}} \right) - T_{12} \left(\frac{1}{R_{3-12}} + \frac{1}{R_{12-19}} + \frac{1}{R_{13-12}} + \frac{1}{R_{12-11}} \right) = 0 \quad (5.22)$$

$$T_4 \left(\frac{1}{R_{4-13}} \right) + T_{20} \left(\frac{1}{R_{20-13}} \right) + T_{14} \left(\frac{1}{R_{14-13}} \right) + T_{12} \left(\frac{1}{R_{13-12}} \right) - T_{13} \left(\frac{1}{R_{4-13}} + \frac{1}{R_{20-13}} + \frac{1}{R_{14-13}} + \frac{1}{R_{13-12}} \right) = 0 \quad (5.23)$$

$$T_5 \left(\frac{1}{R_{5-14}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{14-i}} \right) + T_{15} \left(\frac{1}{R_{15-14}} \right) + T_{13} \left(\frac{1}{R_{14-13}} \right) - T_{14} \left(\frac{1}{R_{5-14}} + \frac{1}{R_{14-i}} + \frac{1}{R_{15-14}} + \frac{1}{R_{14-13}} \right) = 0 \quad (5.24)$$

$$T_6 \left(\frac{1}{R_{6-15}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{15-i}} \right) + T_{16} \left(\frac{1}{R_{16-15}} \right) + T_{14} \left(\frac{1}{R_{15-14}} \right) - T_{15} \left(\frac{1}{R_{6-15}} + \frac{1}{R_{15-i}} + \frac{1}{R_{16-15}} + \frac{1}{R_{15-14}} \right) = 0 \quad (5.25)$$

$$T_7 \left(\frac{1}{R_{7-16}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{16-i}} \right) + T_{17} \left(\frac{1}{R_{17-16}} \right) + T_{15} \left(\frac{1}{R_{16-15}} \right) - T_{16} \left(\frac{1}{R_{7-16}} + \frac{1}{R_{16-i}} + \frac{1}{R_{17-16}} + \frac{1}{R_{16-15}} \right) = 0 \quad (5.26)$$

$$T_8 \left(\frac{1}{R_{8-17}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{17-i}} \right) + T_{18} \left(\frac{1}{R_{18-17}} \right) + T_{16} \left(\frac{1}{R_{17-16}} \right) - T_{17} \left(\frac{1}{R_{8-7}} + \frac{1}{R_{17-i}} + \frac{1}{R_{18-17}} + \frac{1}{R_{17-16}} \right) = 0 \quad (5.27)$$

$$T_9 \left(\frac{1}{R_{9-18}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{18-i}} \right) + T_{iy} \left(\frac{1}{R_{iy-18}} \right) + T_{17} \left(\frac{1}{R_{18-17}} \right) - T_{18} \left(\frac{1}{R_{9-10}} + \frac{1}{R_{18-i}} + \frac{1}{R_{iy-18}} + \frac{1}{R_{18-17}} \right) = 0 \quad (5.28)$$

$$T_{12} \left(\frac{1}{R_{12-19}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{19-i}} \right) + T_{20} \left(\frac{1}{R_{20-19}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{19-i}} \right) - T_{19} \left(\frac{1}{R_{12-19}} + \frac{1}{R_{19-i}} + \frac{1}{R_{20-19}} + \frac{1}{R_{19-i}} \right) = 0 \quad (5.29)$$

$$T_{13} \left(\frac{1}{R_{13-20}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{20-i}} \right) + T_i \left(\frac{1}{R_{i-20}} \right) + T_{19} \left(\frac{1}{R_{20-19}} \right) - T_{20} \left(\frac{1}{R_{13-20}} + \frac{1}{R_{20-i}} + \frac{1}{R_{i-20}} + \frac{1}{R_{20-19}} \right) = 0 \quad (5.30)$$

3. Adım Denklem Sisteminin çözümü

Elde edilen lineer denklem takımı matris notasyonu kullanılarak [A] katsayılar matrisi, [T] bilinmeyen sıcaklıklar matrisi, [S] sabitler matrisi:

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} & a_{18} & a_{19} & a_{110} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} & a_{28} & a_{29} & a_{210} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} & a_{38} & a_{39} & a_{310} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & a_{47} & a_{48} & a_{49} & a_{410} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} & a_{57} & a_{58} & a_{59} & a_{510} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} & a_{68} & a_{69} & a_{610} \\ a_{71} & a_{72} & a_{73} & a_{74} & a_{75} & a_{76} & a_{77} & a_{78} & a_{79} & a_{710} \\ a_{81} & a_{82} & a_{83} & a_{84} & a_{85} & a_{86} & a_{87} & a_{88} & a_{89} & a_{810} \\ a_{91} & a_{92} & a_{93} & a_{94} & a_{95} & a_{96} & a_{97} & a_{98} & a_{99} & a_{910} \\ a_{101} & a_{102} & a_{103} & a_{104} & a_{105} & a_{106} & a_{107} & a_{108} & a_{109} & a_{1010} \end{bmatrix} [T] = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_7 \\ T_8 \\ T_9 \\ T_{10} \end{bmatrix} [S] = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \end{bmatrix}$$

Şekil 4.6a için

Şekil 4.6b için

a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{110}	$[T]=$	T_1	$[S]=$	S_1
a_{111}	a_{112}	a_{113}	a_{114}	a_{115}	a_{116}	a_{117}	a_{118}	a_{119}	a_{120}		T_2		S_2
a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{210}		T_3		S_3
a_{211}	a_{212}	a_{213}	a_{214}	a_{215}	a_{216}	a_{217}	a_{218}	a_{219}	a_{220}		T_4		S_4
a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}	a_{37}	a_{38}	a_{39}	a_{310}		T_5		S_5
a_{311}	a_{312}	a_{313}	a_{314}	a_{315}	a_{316}	a_{317}	a_{318}	a_{319}	a_{320}		T_6		S_6
a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}	a_{47}	a_{48}	a_{49}	a_{410}		T_7		S_7
a_{411}	a_{412}	a_{413}	a_{414}	a_{415}	a_{416}	a_{417}	a_{418}	a_{419}	a_{420}		T_8		S_8
a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}	a_{57}	a_{58}	a_{59}	a_{510}		T_9		S_9
a_{511}	a_{512}	a_{513}	a_{514}	a_{515}	a_{516}	a_{517}	a_{518}	a_{519}	a_{520}		T_{10}		S_{10}
a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}	a_{67}	a_{68}	a_{69}	a_{610}		T_{11}		S_{11}
a_{611}	a_{612}	a_{613}	a_{614}	a_{615}	a_{616}	a_{617}	a_{618}	a_{619}	a_{620}		T_{12}		S_{12}
a_{71}	a_{72}	a_{73}	a_{74}	a_{75}	a_{76}	a_{77}	a_{78}	a_{79}	a_{710}		T_{13}		S_{13}
a_{711}	a_{712}	a_{713}	a_{714}	a_{715}	a_{716}	a_{717}	a_{718}	a_{719}	a_{720}		T_{14}		S_{14}
a_{81}	a_{82}	a_{83}	a_{84}	a_{85}	a_{86}	a_{87}	a_{88}	a_{89}	a_{810}		T_{15}		S_{15}
a_{811}	a_{812}	a_{813}	a_{814}	a_{815}	a_{816}	a_{817}	a_{818}	a_{819}	a_{820}		T_{16}		S_{16}
a_{91}	a_{92}	a_{93}	a_{94}	a_{95}	a_{96}	a_{97}	a_{98}	a_{99}	a_{910}		T_{17}		S_{17}
a_{911}	a_{912}	a_{913}	a_{914}	a_{915}	a_{916}	a_{917}	a_{918}	a_{919}	a_{920}		T_{18}		S_{18}
a_{101}	a_{102}	a_{103}	a_{104}	a_{105}	a_{106}	a_{107}	a_{108}	a_{109}	a_{1010}		T_{19}		S_{19}
a_{1011}	a_{1012}	a_{1013}	a_{1014}	a_{1015}	a_{1016}	a_{1017}	a_{1018}	a_{1019}	a_{1020}		T_{20}		S_{20}
a_{111}	a_{112}	a_{113}	a_{114}	a_{115}	a_{116}	a_{117}	a_{118}	a_{119}	a_{1110}				
a_{1111}	a_{1112}	a_{1113}	a_{1114}	a_{1115}	a_{1116}	a_{1117}	a_{1118}	a_{1119}	a_{1120}				
a_{121}	a_{122}	a_{123}	a_{124}	a_{125}	a_{126}	a_{127}	a_{128}	a_{129}	a_{1210}				
a_{1211}	a_{1212}	a_{1213}	a_{1214}	a_{1215}	a_{1216}	a_{1217}	a_{1218}	a_{1219}	a_{1220}				
a_{131}	a_{132}	a_{133}	a_{134}	a_{135}	a_{136}	a_{137}	a_{138}	a_{139}	a_{1310}				
a_{1311}	a_{1312}	a_{1313}	a_{1314}	a_{1315}	a_{1316}	a_{1317}	a_{1318}	a_{1319}	a_{1320}				
a_{141}	a_{142}	a_{143}	a_{144}	a_{145}	a_{146}	a_{147}	a_{148}	a_{149}	a_{1410}				
a_{1411}	a_{1412}	a_{1413}	a_{1414}	a_{1415}	a_{1416}	a_{1417}	a_{1418}	a_{1419}	a_{1420}				
a_{151}	a_{152}	a_{153}	a_{154}	a_{155}	a_{156}	a_{157}	a_{158}	a_{159}	a_{1510}				
a_{1511}	a_{1512}	a_{1513}	a_{1514}	a_{1515}	a_{1516}	a_{1517}	a_{1518}	a_{1519}	a_{1520}				
a_{161}	a_{162}	a_{163}	a_{164}	a_{165}	a_{166}	a_{167}	a_{168}	a_{169}	a_{1610}				
a_{1611}	a_{1612}	a_{1613}	a_{1614}	a_{1615}	a_{1616}	a_{1617}	a_{1618}	a_{1619}	a_{1620}				
a_{171}	a_{172}	a_{173}	a_{174}	a_{175}	a_{176}	a_{177}	a_{178}	a_{179}	a_{1710}				
a_{1711}	a_{1712}	a_{1713}	a_{1714}	a_{1715}	a_{1716}	a_{1717}	a_{1718}	a_{1719}	a_{1720}				
a_{181}	a_{182}	a_{183}	a_{184}	a_{185}	a_{186}	a_{187}	a_{188}	a_{189}	a_{1810}				
a_{1811}	a_{1812}	a_{1813}	a_{1814}	a_{1815}	a_{1816}	a_{1817}	a_{1818}	a_{1819}	a_{1820}				
a_{191}	a_{192}	a_{193}	a_{194}	a_{195}	a_{196}	a_{197}	a_{198}	a_{199}	a_{1910}				
a_{1911}	a_{1912}	a_{1913}	a_{1914}	a_{1915}	a_{1916}	a_{1917}	a_{1918}	a_{1919}	a_{1920}				
a_{201}	a_{202}	a_{203}	a_{204}	a_{205}	a_{206}	a_{207}	a_{208}	a_{209}	a_{2010}				
a_{2011}	a_{2012}	a_{2013}	a_{2014}	a_{2015}	a_{2016}	a_{2017}	a_{2018}	a_{2019}	a_{2020}				

şeklinde düzenlenir.

Buradan bilinmeyen sıcaklıklar EK B.1 de verilen Fortran IV dilinde yazılmış sıcaklık isimli bilgisayar programının koşturulması ile sayısal olarak belirlenir.

Örnek uygulamaların bilgisayar çıktıları EK B.2 de sunulmuştur.

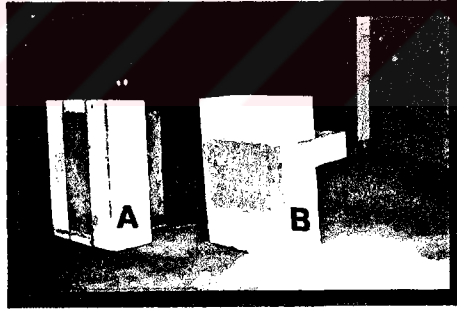


BÖLÜM - 6

DENEYSSEL ÇALIŞMA

6.1. MODELİN KURULMASI

Sunulan teorik yöntemin doğruluğunun sınanması amacı ile yapılan deneylerde iki tip model kullanılmıştır. Bunlardan biri, betonarme karkas bir yapıda, taşıyıcı sistemin duvar bünyesinde ısı köprüsü oluşturmasına ilişkin model, diğeri ise; kat seviyesinde betonarme hatıl veya kirişin duvar bünyesinde ısı köprüsü oluşturmasına ilişkin modeldir. Modellerin genel görünüşleri Resim 6.1 de, boyut, plan ve görünüşleri Şekil 6.1 de gösterilmiştir.



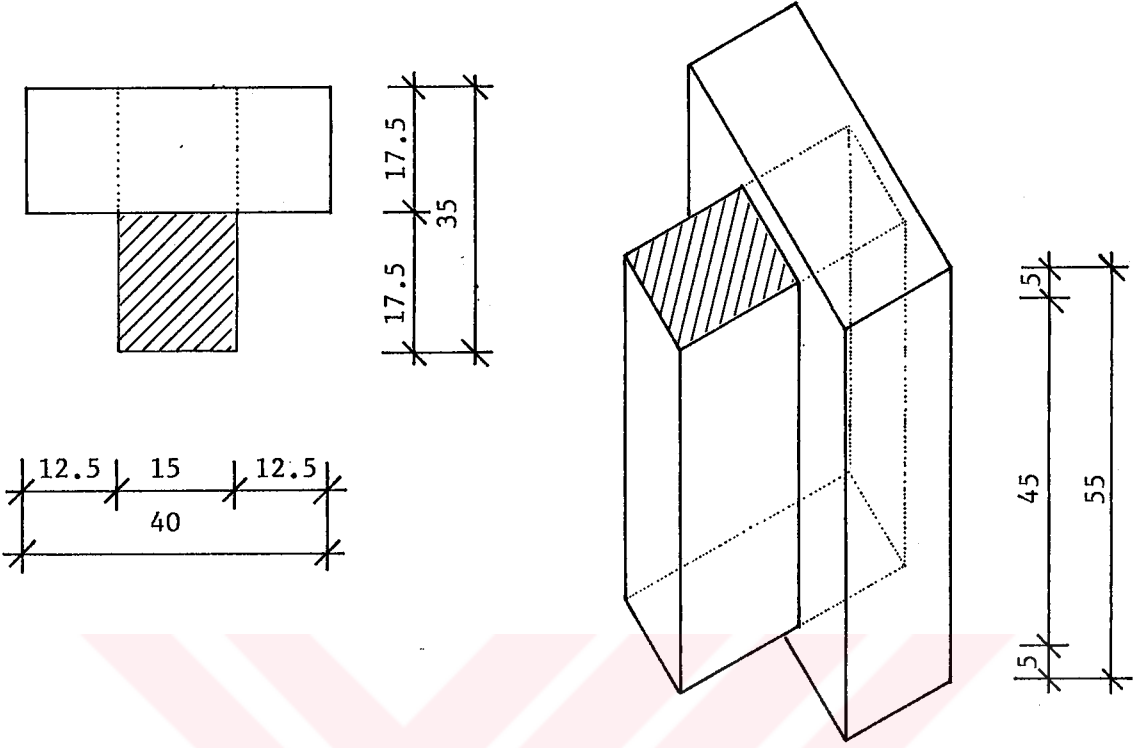
Resim 6.1. Deney modelleri

A: Kolon-Düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisi

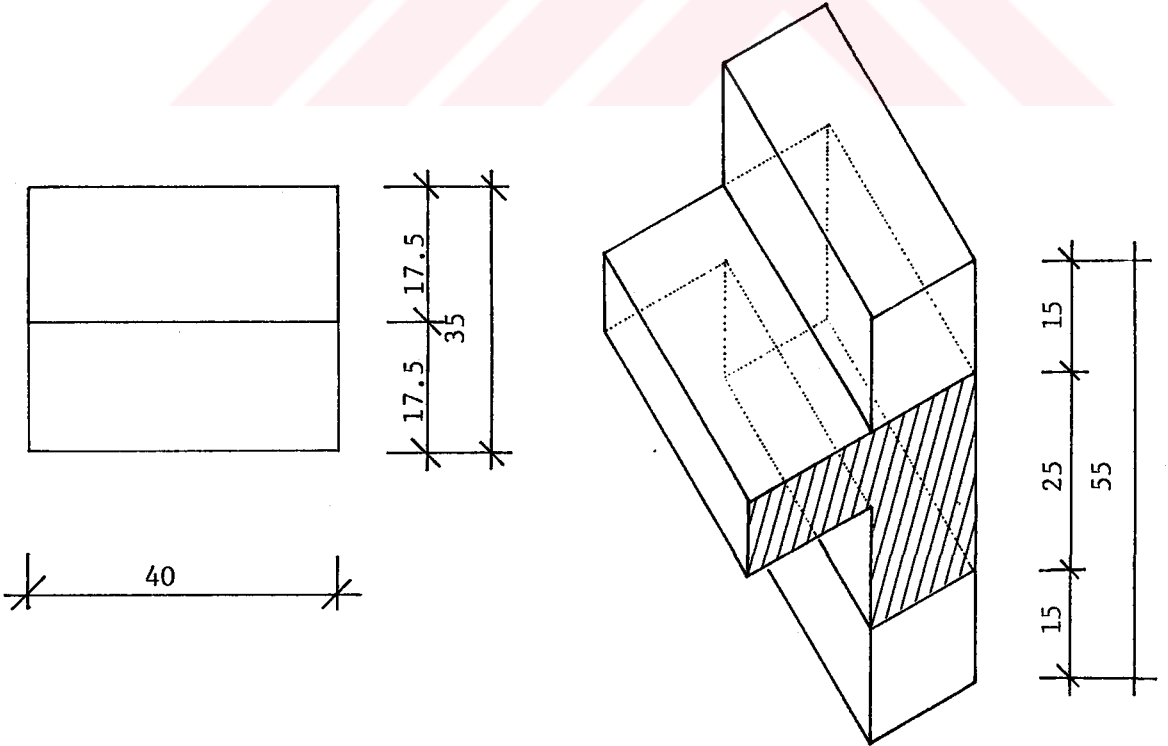
B: Kiriş-Düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisi

Bu tür modellerin seçilmesindeki amaç yapılarda en sık raslanan ısı köprüsü tipleri olmalarıdır. Modeller fotoğraf ve şekillerde de görüldüğü gibi yapılardaki kiriş/kolon-

Betonarme kolon-düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisi.



Betonarme kiriş-düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisi.



Şekil 6.1. Deney modellerinin boyut plan ve görünüşleri
Ölçek: 1/10.

duvar birleşimini modellemek üzere, betonarme-gaz beton bileşenlerden oluşturulmuştur.

Modeller hazırlanırken betonarme kiriş/kolon ayrı ayrı üretilmiş ve daha sonra (yirmidokuz gün) piyasada bu amaçla kullanılan özel bir tutkalla gaz beton bileşen (G 15/1) uygun şekilde birleştirilmiştir (Resim 6.2).



Resim 6.2. Model hazırlama

Betonarme kiriş/kolon için aşağıda dane çapı verilen malzemeler ve oranlar dikkate alınmıştır.

Kum	:	0-4 mm
Mıcır	:	4-8 mm
Mıcır	:	8-16 mm
Su/çimento oranı	:	37/63
Ağırlıkça çelik/beton oranı	:	0.0325

6.1.1. Modellerde Kullanılan Bileşenlerin Fiziksel Niteliklerinin Saptanması

Bu çalışmada, modellerin kurulmasında kullanılan bileşenlerin, fiziksel niteliklerinin saptanması için, birim hacim ağırlık, porozite, ısı iletkenlik, ultrases, deneyleri yapılması ön görülmüştür. Bu nitelikler modellerin üretimi

sırasında hazırlanan örnekler üzerinden saptanmıştır [85], [86], [87], [88], [89], [90] , [91].

Bu deneylerden ısı iletkenlik İTÜ Makina Fakültesi Isı Transferi, diğerleri ise KTÜ İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi laboratuvarlarında yapılmıştır.

6.1.1.1. Birim Hacim Ağırlık

Örneklerin, birim hacim ağırlıklarının hesaplanması için öncelikle, her bir örneğin boyutları (D) çapı, (h) yüksekliği 1/10 mm.lik duyarlıklı verniyelli kompasla ölçülmüştür. Bu boyutlara bağlı olarak örneklerin (V_T) hacmi cm^3 cinsinden hesaplanmıştır.

Sonra 0.01 gr duyarlıklı terazide tartılarak (W), doğal ağırlıkları, 105°C etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulularak (W_K) kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

(Δ) birim hacim ağırlığı ve (Δ_k) kuru birim hacim ağırlığı;

$$\Delta = \frac{W \text{ (Ağırlık) gr}}{V_T \text{ (Hacim) } cm^3} \quad (6.1a)$$

$$\Delta_k = \frac{W_K \text{ (Kuru Ağırlık) gr}}{V_T \text{ (Hacim) } cm^3} \quad (6.1b)$$

bağıntılarından hesaplanmıştır.

Örneklerin Δ_d doygun birim hacim ağırlıklarının hesaplanması için kurutulmuş örnekler, içinde 20°C de saf su bulunan bir kaba su seviyesi yüksekliklerinin yaklaşık 1/4 üne gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kaba yavaş yavaş su ilave edilerek su seviyesi, başlangıçtan 1 saat sonra örneklerin yüksekliklerinin yaklaşık yarısına ve ikinci saatin sonunda ise 3/4 üne yükseltilmiştir. Bu anda, kaba yeniden su ilave edilerek örneklerin tamamen su altında kalmaları sağlanmıştır.

Deney başlangıcından 48 saat sonra sudan çıkarılan örneklerin yüzeylerindeki su damlaları, ıslatılarak sıkılmış bezle alınarak (W_d) doygun ağırlıkları belirlenmiştir.

Bu değerlere bağlı olarak; doygun birim hacim ağırlığı (Δ_d),

$$\Delta_d = \frac{W_d (\text{Doygun Ağırlık}) \text{ gr}}{V_T (\text{Hacim}) \text{ cm}^3} \quad (6.2)$$

(a_s) ağırlıkca su emme yeteneği:

$$a_s = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (\%) \quad (6.3)$$

(h_s) hacimce su emme yeteneği:

$$h_s = \frac{W_d - W_k}{W_k / \Delta_k} \times 100 \quad (\%) \quad (6.4)$$

bağıntıları yardımı ile hesaplanmıştır.

6.1.1.2. Porozite

Kuru ve doygun ağırlıkları önceden belirlenen örneklerden betonarmenin porozitesi;

$$p = \frac{W_d - W_k}{V_T} \times 100 \quad (\%) \quad (6.5)$$

formülü ile, gaz betonun porozitesi ise (δ) özgül ağırlığı belirlendikten sonra, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$p = \left(1 - \frac{\Delta_k}{\delta}\right) \cdot 100 \quad (\%) \quad (6.6)$$

Burada;

p : porozite (%)
 Δ_k : Kuru birim ağırlık (gr/cm^3)
 δ : Özgül ağırlık (gr/cm^3)

dir.

Tablo 6.2 de örneklerin poroziteleri gösterilmiştir.

6.1.1.3. Ultrases Deneyi

Örneklerin dinamik elastisite modülü ultrasonik deney aletinde (Resim 6.3), elastik dalganın örneği kat etme zamanı ölçülerek belirlenmiştir. Alet prospektüsünde rezonans frekansı ile (t^*) zamanı arasında aşağıdaki bağıntı verilmektedir;



Resim 6.3. Ultrasonik deney aleti

$$\text{Rezonans frekansı} = \frac{1.}{2.t^*} \quad (6.7)$$

Burada,

t^* : Elastik dalganın örneği katetme zamanı (μsn)
dır.

Örneklerin dinamik elastisite modülü

$$E = C.W.f^2 \quad (6.8)$$

formülünden yararlanılarak bulunmuştur.

Burada;

- E : Dinamik elastisite modülü, (libre/inc²)
W : Örneğin ağırlığı (libre)
f : Boyuna titreşim frekansı, (devir/sn)
C : 0.01318 L/D², (sn²/inc², silindirik örnekler için)
L : Örneğin uzunluğu, (inc)
D : Örneğin çapı, (inc)

dir.

Formül metrik sisteme dönüştürüldüğünde aşağıdaki şekli almaktadır.

$$E = 5.16 \frac{L}{r^2} \cdot W \cdot \left(\frac{1}{2t^*}\right)^2 \cdot 10^{+6} \quad (6.9)$$

Bu halde

- E : Dinamik elastisite modülü, (kg/cm²)
W : Örneğin ağırlığı , (gr)
L : Örneğin uzunluğu , (cm)
r : Örnek çapı , (cm)
t* : Elastik dalğanın örneği kat etme zamanı (mikro saniye)

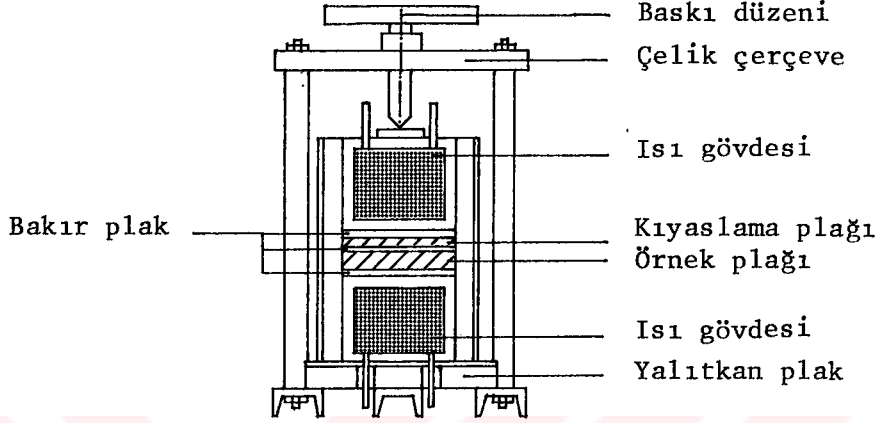
olur.

Örnekler için hesaplanan değerler Tablo 6.1 de gösterilmiştir.

6.1.1.4. Isı İletkenlik Katsayısı Ölçüm Deneyleri

Bu deneyler, bağıl (kıyaslama) yöntemine göre yapılmıştır.

Isı iletkenlik katsayısı ölçümlerinde kullanılan deney aleti, zemini yalıtkan plak ile izole edilmiş çelik bir çerçeve içindeki iki yuvarlak (çap: 0.1128 m) ısı gövdesinden oluşmuştur (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Deney aletinin şematik resmi .

Her iki ısı gövdesi arasında 3 bakır temas (ölçme) plakaları ve bunların arasında normal (kıyaslama) plağı, örnek (numune) plağı olmak üzere toplam 5 plak birbirleriyle iyi bir temas durumundadır. Tüm sistemin dış etkilere karşı ısı izolasyonunu sağlamak için, alet çelik bir silindirle çevrilerek arada kalan boşluk cam elyafla özenle doldurulmuştur.

Bir baskı düzeni ile de tüm sistemin basınç altında tutulması, içteki temas plaklarının formu ve ayrıca izolasyon maddesinin kontrolü sağlanır.

Üstteki ısı gövdesine normal terkoz suyu bir taraftan girip diğer taraftan çıkarken, alttaki ısı gövdesinde depolanan sıcak su girişi ve çıkışı bir termostat sistemine bağlanır. Böylece alttaki ısı gövdesi, üstteki ısı gövdesinden daha büyük bir sıcaklığa getirilmiş olur. Bu sıcaklıklar sürekli olarak sabit tutulursa aşağıdan yukarıya doğru bir ısı akımı oluşur. Normal ve örnek plaklar üzerinde oluşan

sıcaklık düşüşleri (sıcaklık farkları), üç ölçme plağı üzerinden termoelementler ile bağlantı oluşturan bir hassas ışınlama milivoltmetresi ile milivolt (mv) cinsinden ölçülmüştür (Resim 6.4).



Resim 6.4. Deney düzeneği

Ölçümler 10-15 dakika aralıklarla 4-5 kez tekrarlanmış, aralarından uygun görülen değerler alınmış ve interpolasyon yöntemiyle "°C" birimine çevrilmiştir [92].

Aranan ısı iletkenlik katsayısı;

$$\lambda = \lambda_c \cdot \frac{d}{d_c} \cdot \left(\frac{T_3 - T_4}{T_2 - T_3} \right) \quad (6.10)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada;

λ : Örneğin ısı iletkenlik katsayısı
|W/mK|

λ_c : Camın ısı iletkenlik katsayısı
|W/mK|

T_2, T_3, T_4 : Bakır konstat elemanların sıcaklığı
|°C|

d : Örneğin kalınlığı
|m|
 d_c : Camın kalınlığı
|m|

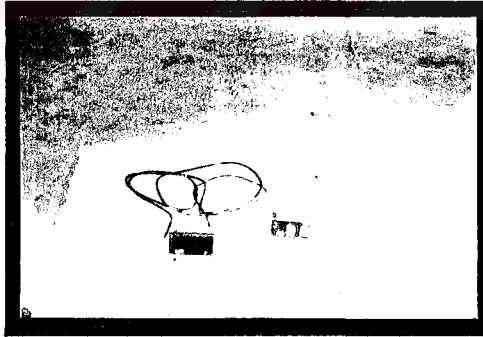
dir.

6.2. DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR VE ÖZELLİKLERİ

6.2.1. Sıcaklık Ölçer

0.1°C hassasiyetli "LCS Digital Termometre"dir. Araç -40°C, +150°C arası çalışan özel ısı problu olup yüzey sıcaklıklarını ölçmekte kullanılmıştır. Beslemesi AC 12 V 160 mA dir. (Resim 6.5).

Deneyde kullanılan sıcaklık ölçerler kalibre edildikten sonra kullanılmıştır. Kalibrasyon, proplar önce buzlu suya daldırılarak sıcaklık ölçer 0°C ye, sonra sabit bir ısıda (dil altında) 36.5°C ye ayarlanarak yapılmıştır.



Resim 6.5. Sıcaklık ölçer

6.2.2. Soğuk Dolap

Soğuk oda bir çelik strüktür üzerine, iç boyutları (0.405x0.405x0.58 m.) olan bir kâgir kutu şeklinde özel bir

Tablo 6.1. Örneklerin Fiziksel Özelliklerinin Ortalama Değerleri.

ÖRNEK ADI	Ö Z E L L İ K							
	Çap	Kalınlık	Hacim	Ağırlık	Kuru ağırlık	Doygun ağırlık	Birim hacim ağırlık	Kuru birim hacim ağırlık
	D	d	V	W	W _k	W _d	Δ	Δ _k
	cm	cm	cm ³	gr	gr	gr	gr/cm ³	gr/cm ³
Betonarme	11.28	2.12	212.17	415.6	410.81	463.72	1.96	1.94
Gaz Beton	11.27	0.98	97.90	36.28	35.06	-	0.37	0.36

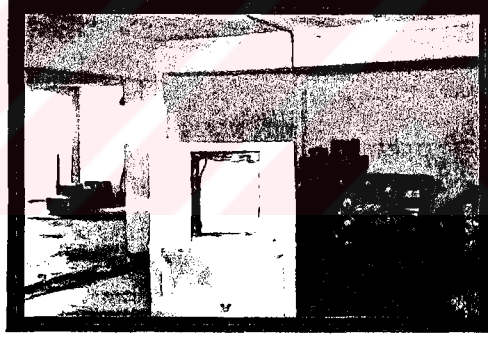
ÖRNEK ADI	Ö Z E L L İ K							
	Doygun birim hacim ağırlık	Ağırlıkça su emme	Hacimce su emme	Özgül ağırlık	Porozite	Ses geçiş zamanı	Dinamik elastisite modülü	Isı iletkenlik katsayısı
	Δ _d	a _s	h _s	δ	P	t	E x 10 ⁴	λ
gr/cm ³	%	%	gr/cm ³	%	μs	kg/cm ²	W/mK	
Betonarme	2.19	12.9	24.98	-	24.95	10	4.2	1.84
Gaz Beton	-	-	-	2.41	85.2	9	0.43	0.26

şirket tarafından yaptırılmıştır. Bu odada, ısı köprüsü içeren yapı elemanında yüzey sıcaklıklarının deneysel olarak ölçülmesini gerçekleştirmek amacı ile (Şekil 6.3) de görülen tasarım yapılmıştır. Bu amaç, odanın bir duvarı modelle değiştirilerek sağlanmıştır.

Bu oluşturulan hacim içinde, doğal taşınımın sağlanması ve hava hareketinin frenlenmemesi için soğutucu serpantinler tavana yerleştirilmiştir.

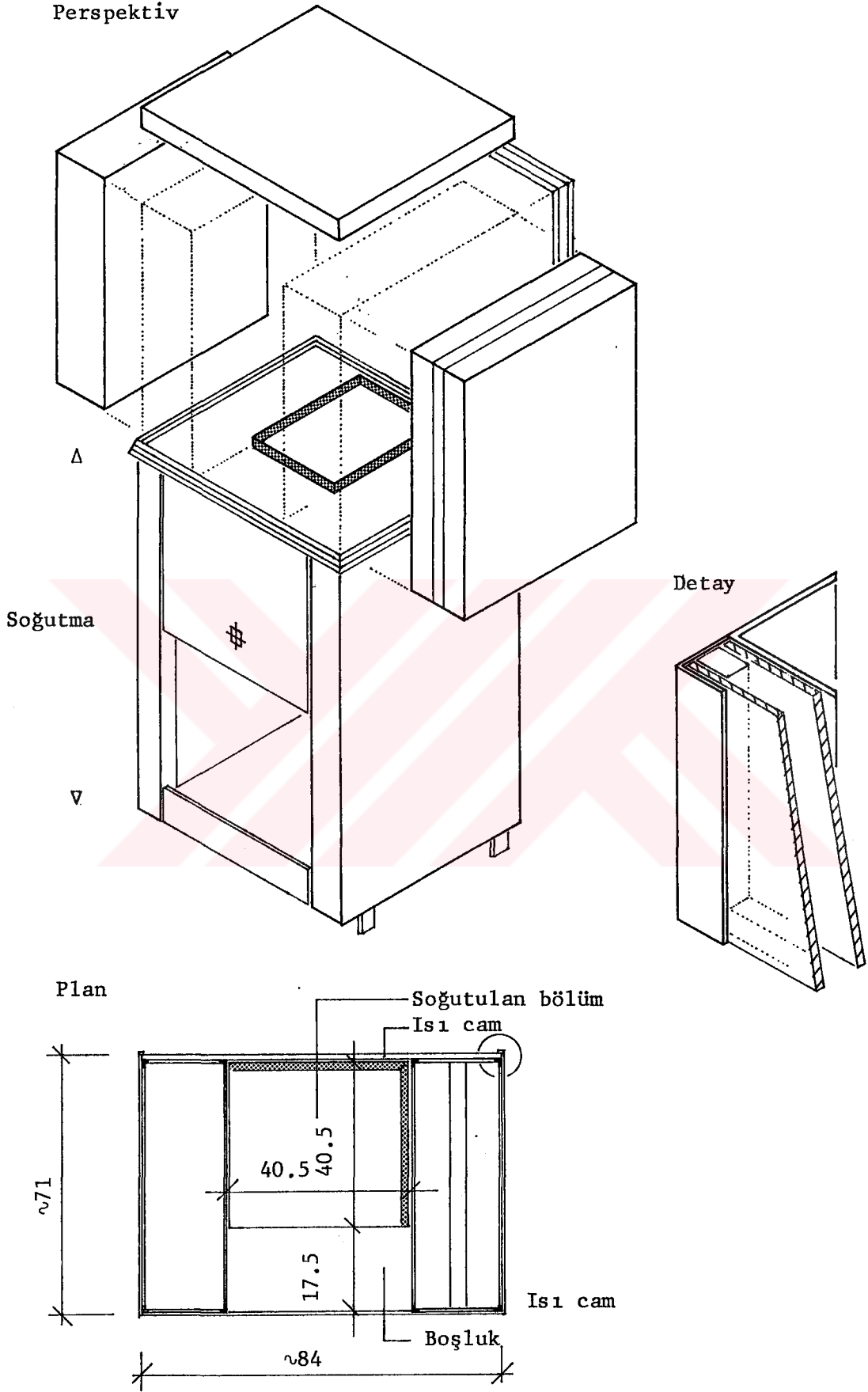
6.2. DENEY DÜZENEGİNİN HAZIRLANMASI

Oluşturulan modeller soğuk dolap üzerindeki soğuk odanın bir duvarı üzerine tasarlanmış bölme (Resim 6.6) ayrı ayrı konulmuştur. Bu durumda soğuk oda hacmi dış ortam, bulunan mekânın hacmide iç ortam olarak kabul edilmiştir.



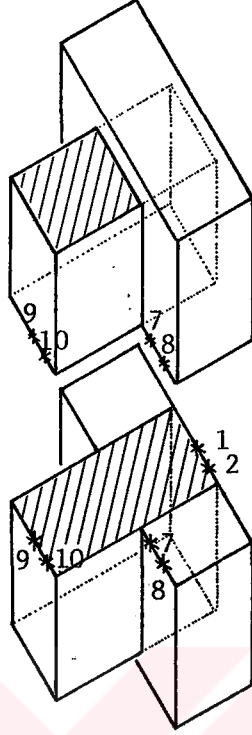
Resim 6.6. Soğuk oda hacmi

Bu yerleştirme işlemi yapılırken her bir modelin çevresi ısı sızmalarını önlemek için cam yünü ile yalıtılmıştır. Bunların yüzeylerine; kolon-düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisi modelinin ekseni yatay, giriş-düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisi modelinin ekseni düşey olmak üzere işaretlenmiştir. Termoelemanların konumları yine onlara özgü eksenler üzerine 0.05 metre aralıkla belirlenen bu pozisyonlara bağlanmıştır (Şekil 6.4).

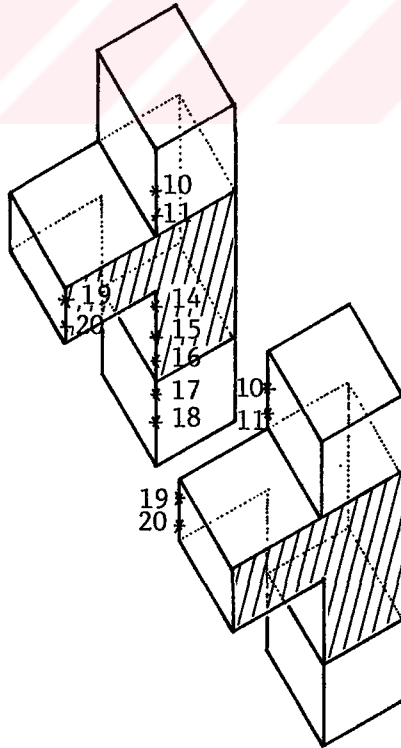


Şekil 6.3. Soğuk odanın boyut, plan ve perspektivi

Betonarme kolon-düzlemsel duvar ısı köprüsü modeli.

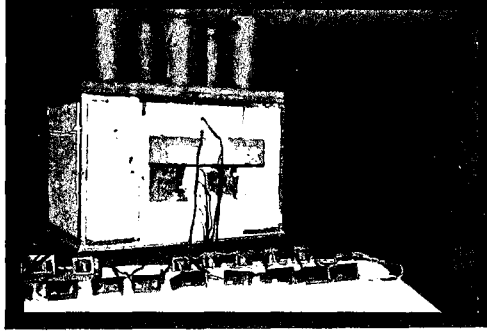


Betonarme kiriş-düzlemsel duvar ısı köprüsü modeli



Şekil 6.4. Termoelemanların konumları

Bu şekilde her model üzerinde yüzey sıcaklıklarını ölçme olanağı sağlanmıştır (Resim 6.7).



Resim 6.7. Deney düzeneği

6.3. DENEYSEL SONUÇLAR

Deneyisel çalışmada değişik iç ve dış ortam koşulları altında ısı köprüsü etkisi ile modellerin eksenleri üzerindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Önce sistemin durumunu olağan, dengeli sabit bir hale getirmek üzere soğuk dolap yeterli bir süre boyunca (her sabah saat 08.00-13.00) çalıştırılmıştır. Sistem dengeli duruma ulaştıktan sonra belirli aralıklarla yüzey sıcaklıkları modellerin iç yüzeyinde ölçülmüştür.

Otuzbeş değişik dış ve iç ortam koşulları için elde edilmiş, modellere ait deneysel sıcaklık değerleri EK C. Tablo C1-C2' de sunulmuştur.

6.4. DENEYSEL VE TEORİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE İRDELENMESİ

Deneylerin yapıldığı iç ve dış ortam sıcaklıkları önerilen teorik yöntemde verimolarak alınmış her model için uygulanmış ve termoelemanların yapıştırıldığı pozisyonlardaki yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar Ek C. Tablo C.1 - C.2. de karşılaştırmalı olarak bir arada sunulmuştur. Burada belirlenen bazı pozisyonlarda deneysel ölçümlerle, teorik sonuçlar arasında sapmalar olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, deneysel çalışmada pratik olarak homojen çevre sıcaklığının uygulanamamış olmasıdır. Ayrıca problem iki boyutlu olarak ele alınmış ve üçüncü boyutta ısı geçişi ihmal edilmiştir. Sonuçta model yüzeyinde üçüncü boyutta oluşan sıcaklık gradyentleri nedeni ile deneysel ölçümler bazı noktalarda yükselmiştir. Ancak, teorik olarak hesaplanan değerlerle, deneysel olarak ölçülen değerler arasında anlamlı bağıntılar bulunup bulunmadığını belirlemek için x^2 testi yapılmıştır [93],[94].

Sıfır varsayımı olarak; hesapladığımız değerler, (teorik) deneysel olarak ölçülen (gerçek değerler) arasında bir farklılık olup olmadığı denetlendi. Sıfır varsayımına göre gerçek değerlerle teorik değerler birbirlerinden farklı değildir. Görülen farklılıklar tesadüfi nedenlerle ortaya çıkabilecek farklılıklardır. Alternatif varsayım ise gerçek değerlerle teorik değerlerin birbirlerinden farklı olduklarını kabul eder.

Her iki varsayım içinde bir yanılma payı (risk) söz konusudur. Sececeğimiz α değeri sıfır varsayımı doğru iken onu reddetme ihtimalini ölçmektedir. Bu çalışmada α değeri istatistikteki genel tutuma uygun olarak 0.05 olarak alınmıştır [95].

Tüm ölçme noktaları dikkate alınarak hesaplanan x^2 değeri, $\alpha = 0.05$ ve $df = 34$ için kritik x^2 değerinden küçük olduğu için sıfır varsayımını reddetmeye yeterli kanıt elde edilememiştir [96]. Buna göre hesaplanan değerlerle ölçülen değerlerin aynı olduklarını ve birbirlerinden tesadüfî nedenlerle ayrıldıklarını ileri sürebiliriz.

BÖLÖM - 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada ısı köprüsü olarak, hacmi çevreleyen yapı elemanlarında, yürürlükteki higro-termik çevre koşulları için öngörülen ısı ve nem korunumunun uygulanması sırasında sürekliliğini koruyamadığı kesimler tanımlanmıştır. Isı köprüleri kendilerine bitişik olan yapı elemanlarına göre daha yüksek ısı geçirgenliğine sahiptir.

Gerek iklimsel konforun istenilen düzeyde gerçekleştirilebilmesi ve gerekse yapıların enerji harcamalarının en az düzeyde tutulabilmesi; hacimden ısı kayıplarının belirli bir düzeyde olabilmesi ve bu nedenle de sınırlayıcı yapı elemanlarından geçen ısı miktarının kontrol edilmesi ile mümkündür.

Hacimdeki iklimsel konforun en az ek yapma enerji harcanarak gerçekleştirilmesi için kabuktan geçen gerçek ısı miktarının belirlenmesinde ısı köprülerinin ısı kaybına olan etkileri ele alınmalıdır.

Bir ısı köprüsü sıcak tarafta yüzey sıcaklığının düşmesine ve soğuk tarafta, önünde yükselmesine neden olur. Bunun yapı fiziksel sonuçlarını önceden belirlemek gerekir.

Bu amaçla paralel yüzeyli ısı köprüsü içeren yapı elemanlarında yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılabilecek teorik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem ayrıca yapılan bir deneysel kontrolle de doğrulanmıştır.

Deneysel çalışmada irdelenen modeller pratikte en çok uygulanan ısı köprüsü biçimlerinden seçilmiştir.

Yaklaşımın getirdiği yenilikler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

o Ele alınan bir hacim için iklimsel konforun sağlanması açısından, ısı köprülerinin ısı kaybına olan etkilerinin hesaba katılabilmesi olanağı sağlanmıştır.

o Sınırlayıcı yapı elemanının iklimsel konforun sağlanmasında göstereceği performans düzeyinin, farklı yapı bileşenlerinin iç yüzey sıcaklıklarına bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada, ısı köprüsü içeren yapı elemanlarında yüzeye dik ısı akımları yanında yanal ısı akımlarında hesaba katılarak yüzey sıcaklıklarının elde edilmiş olması konunun bu yönüne getirilmiş bir yenilik olarak görülebilir.

o Isı köprüsü içeren yapı elemanlarında ısı köprüsünün etki alanında iç yüzey sıcaklıklarının tek boyutlu ısı akımında elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle geliştirilen yöntemle göre hesaplanacak olan iç yüzey sıcaklıkları yüzeysel yoğuşma kontrolünde kullanılmalıdır.

o Yeni yaklaşımda kullanılan sonlu farklar yönteminin içerdiği hesaplama işlemlerinin çok vakit alması bir sakınca olarak görülebilir. Ancak günümüzün bilgisayar teknikleri bu sakıncayı ortadan kaldırmaktadır. Önerilen yöntemlerde verilen bilgisayar programının kullanılmasıyla kolaylıkla uygulanabilir.

Geliştirilen yeni yaklaşımın uygulanabilirliği ve bu konuda yapılacak diğer çalışmalarda kullanılabilirliği açısından incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilebilir.

o Yaklaşımın girdileri olan yapısal ve çevresel değişkenlerin seçimine ilişkin varsayım ve öneriler, günümüz tekniklerine ve ilgili konulardaki kaynak taramasına dayandırılmaktadır.

Geliştirilen yaklaşım ve bilgisayar program söz konusu bu teknik ve kaynaklardaki herhangi bir yeniliğin uygulanmasına olanak verecek genellikte ve esneklikte tutulmuştur. Bu nedenlere bağlı olarak yapılacak tüm uygulamalarda kullanılabilir olması nedeniyle yöntem genellenebilir niteliktedir.

Bu çalışmanın amacıyla aynı niteliklere sahip olan farklı doğrultulardaki amaçlar için, değişkenlerin seçiminde yapılacak varsayımların değiştirilmesiyle, ilkelerin bütünlüğü bozulmadan yöntemin her örneğe uygulanması olanaklıdır. Bu nedenle yöntemin, bu konuda yapılacak diğer bilimsel çalışmalara ve Türkiye için hazırlanan yönetmeliklerle ilgili çalışmalara ışık tutacağı söylenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] ANONİM., TS 825-Binalarda Isı Etkilerinden Korunma Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1970.
- [2] ANONİM., DIN 4108-Waermeschutz im Hochbau (Binalarda Isı Korunumu), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1981.
- [3] KIESSL, K., GERTIS, K., On The Situation of Heating Energy Conservation in Buildings in West Germany, Proceedings of CIB W67 Third International Symposium, An Foras Forbartha, Dublin, 1982, Volume I, s. 39-54.
- [4] YAŞAR, Y., ÖZDENİZ, B.M., Türkiye'nin Yapılarda Enerji Sakınımı ile İlgili Yasal Düzenlemeleri, Enerji Dünyasının Sorunları Seçenek Ve Çözümleri Karşısında Türkiye Sempozyumu, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1985, s. 10.
- [5] SCHÜLE, W., Waerme- und Feuchteschutz, Verlag von W. Ernest und Sohn, Berlin, 1979.
- [6] SUNGUROĞLU, İ., Yüzey Özelliklerine Bağlı Olarak Örtüsüz Beton Duvarlarda Rasyonel Kesit Tayini, (Doktora Tezi), İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1973, s. 33.
- [7] CLOSE, P.D., How Comfort is Affected by Surface Temperatures and Insulation, ASHVE Transactions, C. 36, No. 871, 1930, s. 459-480.
- [8] GOROMOSSOV, M.S., The Physiological Basis of Health Standards for Dwellings, World Health Organization, Public Health Papers, No. 33, Geneva, 1968, s. 99.
- [9] FANGER, P.O., Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Co., New York, 1972, s. 22-27.
- [10] GRIFFITHS, I.D., McLNTYRE, D.A., Radiant Temperature and Comfort, CIB Commission W45-Symposium, Eylül 1972.

- [11] HUTCHEON, N.B., Thermal Environment and Human Comfort, Canadian Building Digest, CBD102, Ottawa, 1968, s. 102.1-102.4.
- [12] NEVINS, R.G., McNALL, P.E., ASHRAE Thermal Comfort Standards as Performance Criteria for Buildings, CIB Commission W45-Symposium, 1972.
- [13] YILMAZ, A.Z., İklimsel Konfor Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolünde Optimum Performans Gösteren Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, (Doktora Tezi), İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul, 1983, s.8.
- [14] YENER, C., Ortalama İnsansal Sıcaklığa Göre Mimarlıkta Mekânın Yatay Boyutlarda Ölçülendirilebilmesi İçin Bir Yöntem Önerisi, (Doktora Tezi), TÜBİTAK, Ankara, 1977, s. 15-21.
- [15] ANONİM., Yapılarda Isıl Konfor, Centre Scientifique Et Technique De La Construction, Brüksel, 1976, s. 3-4.
- [16] OLGYAY, V., Desing with Climate, New Jersey, University of Princeton, 1963, s. 15.
- [17] EICHLER, F., Bauphysikalische Entwurslehre I, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 1972.
- [18] MORITZ, K., Richtig und Falsch, Bauverlag GmbH, Berlin, 1965, s. 21.
- [19] CROISET, M., L'hygrothermique Dans Le Batiment, Confort thermique d'hiver et d'été Condensations, Editions Eyrolles, 61 boulevard Saint-Germain, Paris, 1968. s. 118.
- [20] JOHANNSEN, K., Beitrag zur Ermittlung von Waermebrückenwirkungen in Hochbauteilen, (Doktora Tezi), Von der Fakultæt für Bauwesen der Technischen Universitaet Carolo-Wilhelmina, Braunschweig, 1968., s. 5.
- [21] TEZCAN, Y., Sıcak Yapı Elemanlarının Kondansasyon Kontrolu Hesaplarında Kullanılacak Dış Sınır Şartları ve Peryotların Belirlenmesi İçin Yeni Bir Metod, (Doktora Tezi), İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1970, s. 11.
- [22] MORITZ, K., Richtig und Falsch, Bauverlag GmbH, Berlin, 1965, s. 44-47 ve s. 277-284.
- [23] TIMMERBERG, C.H., Details ... Details, Klaus Esser KG, Düsseldorf, 1974, s. 92-94.

- [24] SAUTTER, L., Waermeschutz und Feuchtigkeitsschutz im Hochbau, Verlagsgesellschaft MBH Max Lipfert, Berlin, 1948, s. 68-74.
- [25] REICHEL, W., Ytong Handbuch, Bauverlag GmbH, Berlin, 2. Baskı, 1970, s. 92-94.
- [26] YÜCESOY, L., Bina Dış Kabuğunda Yoğuşma ve Buharlaşma Miktarları ile Isı İletkenliğine Etkilerinin Belirlenmesi İçin Grafik Yöntem, (Doktora Tezi), İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1985, s. 9.
- [27] ANONİM., TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1979.
- [28] ILGAZ, T., Yapı Düşey Dış Kabuklarının Isı Etkilerinden Korunması (Araştırma Raporu), KTÜ İnşaat Mimarlık Fakültesi, Trabzon, 1979, s. 15-16.
- [29] HOLMAN, P.J., Heat Transfer, McGraw-Hill Book Co., Tokyo, 1981, s. 2-6.
- [30] ANONİM., Yapılarda Isıl Konfor, Centre Scientifique Et Technique De La Construction, Brüksel, 1976, s. 6-7.
- [31] MEINERT, S., Normengerechter und wirtschaftlicher Waermeschutz, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld, 1978, s. 22-24.
- [32] ANONİM., Yapılarda Isıl Konfor, Centre Scientifique Et Technique De La Construction, Brüksel, 1976, s. 6-7.
- [33] BERKÖZ, E., ALPHAN, A., Isıtma - Havalandırma Ders Notları, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1987.
- [34] ONUR, Ş.H., Isı Transferi Ders Notları, KTÜ Makina Bölümü, Trabzon, 1986.
- [35] ANONİM., Yapılarda Isıl Konfor, Centre Scientifique Et Technique De La Construction, Brüksel, 1976, s. 6-8.
- [36] DIAMANT, R.M.E., Thermal and Acoustic Insulation of Buildings, Iliffe Book Co., Londra, 1965, s. 32.
- [37] McADAMS, W.C., Heat Transmission, McGraw-Hill Book Co., Nef York, 3. Ed., 1954, s. 184-201.
- [38] ÖZDENİZ, B.M., Yapı Tasarımı İçin Türkiye İklim Verileri, Trabzon, 1984, s. 25.

- [39] ANONİM., DIN 4108-Waermeschutz im Hochbau, Beuth Verlag GmbH, 1981.
- [40] ANONİM., TS 825-Binalarda Isı Etkilerinden Korunma Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1975.
- [41] YÜCESOY, L., Yapılarda Isı ve Buhar Etkisi, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul, 1984, s.7.
- [42] HOLMAN, P.J., Heat Transfer, McGraw-Hill Book Co., Tokyo, 1981, s. 4.
- [43] HOLMAN, P.J., Heat Transfer, McGraw-Hill Book Co., Tokyo, 1981, s. 3.
- [44] BERBER, J., Bauphysik, Bernh. Friedr. Voigt, Hamburg, 1979, s. 21.
- [45] ANONİM., DIN 4108-Waermeschutz im Hochbau (Binalarda Isı Korunumu), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1981, Bölüm 5, s. 2.
- [46] ANONİM., DIN 4108-Waermeschutz im Hochbau (Binalarda Isı Korunumu), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1981, Bölüm 2.
- [47] NEUFERT, E., Styroporhandbuch, Bauverlag GmbH, Berlin, 1964, s. 401, 409, 414.
- [48] SCHULE, W., Bauphysik, Verlag von W. Ernst und Sohn, Berlin, 1979, s. 521-525.
- [49] TIMMERBERG, C.H., Details ... Details, Klaus Esser KG, Düsseldorf, 1974, s. 132-138.
- [50] GOSELE, K., SCHULE, W., Schall-Waerme-Feuchtigkeit, Bauverlag GmbH, 2. Baskı, Berlin, 1972, s. 151-160.
- [51] SCHULZ, P., Schallschutz-Waermeschutz-Feuchteschutz-Brandschutz im Innenausbau, Deutsche Verlagsanstalt GmbH, 3. Baskı, Stuttgart, 1980, s. 168-271.
- [52] MORITZ, K., Richtig und Falsch, Bauverlag GmbH, Berlin, 1965, s. 13-17.
- [53] MORITZ, K., Flachdachhandbuch, Bauverlag GmbH, Berlin, 1961, s. 1-20.
- [54] SAUTTER, L., Waermeschutz und Feuchtigkeitschutz im Hochbau, Verlagsgesellschaft MBH Max Lipfert, Berlin, 1948, s. 23-32.

- [55] ILGAZ, T., Isısal ve Nemsel Olaylarla İlgili Koşullar Açısından Sızdırmaz Örtülü Dam Yapılar Üzerine Bir Araştırma, (Doktora Tezi), KTÜ İnşaat ve Mimarlık Fakültesi, Trabzon, 1969, s. 66-68.
- [56] YÜCESOY, L., Yapılarda Isı ve Buhar Etkisi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1984, s. 3-4.
- [57] SUNGUROĞLU, İ., Yüzey Özelliklerine Bağlı Olarak Örtüsüz Beton Duvarlarda Rasyonel Kesit Tayini, (Doktora Tezi), İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1973, s. 37-38.
- [58] ERTEN, E., Hıgro-Termik Davranışlar Açısından Zeminle Sınırlı Duvar, (Doktora Tezi), KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1984, s. 54.
- [59] YÜCESOY, L., Bina Dış Kabuğunda Yoğuşma ve Buharlaşma Miktarları ile Isı İletkenliğine Etkilerinin Belirlenmesi İçin Grafik Yöntem, (Doktora Tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1985, s. 9.
- [60] HAFERLAND, F., Das Diffusionstechnische Verhalten mehrschichtiger Aussenwände, Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin, 1970, s. 27-28.
- [61] GLASER, H., Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusions Vorgängen, Kealtetechnik, sayı 10, 1959, s. 345-349.
- [62] ARPACI, S.V., Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publishing Co., U.S.A., 1966.
- [63] ARPACI, S.V., Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publishing Co., U.S.A. 1966, s. 435-473.
- [64] ARPACI, S.V., Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publishing Co., U.S.A. 1966, s. 193-194.
- [65] ARPACI, S.V., Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publishing Co., U.S.A., 1966, s. 218-219.
- [66] VEMURI, V., KARPLUS, J.W., Digital Computer Treatment of Partial Differential Equations, Prentice Hall Series in Computational Mathematics, Prentice-Hall, Inc. U.S.A., 1981, s. 81-108.
- [67] RICHARDS, E.B., SANDFORD, J., An Introduction to Numerical Techniques in Fluid Dynamics, Von Karman Institute For Fluid Dynamics, Course Note 85, Brüksel, 1971, s. 46-77.

- [68] ZIENKIEWICZ, C.O., The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill Book Co., New York, 1971.
- [69] DIRIK, D., Çok Katlı Yapıların Tasarımlarında Termal Dengenin Sağlanmasına Yönelmiş Bir Yaklaşım, (Doktora Tezi), İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1976, s. 37.
- [70] CHAPMAN, A.J., Heat Transfer, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1967, s. 204.
- [71] SCHNEIDER, J.P., YILMAZ, A.M., (Çeviri), Conduction Heat Transfer, Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 1974, s. 354-392.
- [72] KAKAÇ, S., Isı Transferine Giriş I: Isı İletimi, ODTÜ, Ankara, 1976, s. 250.
- [73] SCHNEIDER, J.P., YILMAZ, A.M., (Çeviri), Conduction Heat Transfer, Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 1974, s. 374.
- [74] ARPACI, V.S., Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley, U.S.A., 1966, s. 524-527.
- [75] FITZGERALD, A.E., HIGGINBOTHAM, E.D., GRABEL, A., Besic Elektrical Engineering, McGraw-Hill, 5th Edition, London, 1988, s. 13-16.
- [76] KAKAÇ, S., Isı Transferine Giriş I: Isı İletimi, ODTÜ, Ankara, 1976, s. 206.
- [77] PAUL, C.R., NASAR, S.A., UNNEWEHR, L.E., Introduction To Electrical Engineering, McGraw-Hill, New York, 1986, s. 80-88.
- [78] ERHORN, H., (Dipl.-Ing. Fraunhofer - Institut Für Bauphysik, Stuttgart, Almanya) 14.4.1987 tarihli mektup.
- [79] ERHORN, H., TAMMES, E., Eine einfache Methode zum Abscheatzen balkenförmiger Waermebrücken in Bauteilen mit planparallelen Oberfleachen, Bauphysik Sonderdruck aus: 7, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, Heft I, 7-11.
- [80] WOLFSEHER, U., Rechnerische Ermittlung Mehrdimensionaler Temperaturfelder unter stationaeren und instationaeren Bedingungen, Rechensystem und bauphysikalische Anwendung, (Doktora Tezi), Universiteat Essen, 1978.
- [81] ERHORH, H., TAMMES, E., Eine Einfache Methode zum Abscheatzen Balkonförmiger Vaermebrücken in Bauteilen mit planparallelen Oberflaechen, Bauphysik Sonderdruck aus: 7, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, Heft 1, s. 7-11.

- [82] STEPHEH, H., CRANDALL, S.E., UTKU, Ş., ÖZDEN, E.Y., (Çeviri), Mühendislik Analizi (Sayısal Hesap Metotlarına Genel Bakış), İTÜ E.H.M. Yayınları Sayı 9. İstanbul, 1968, s. 33-77.
- [83] AKTAŞ, Z., Nümerik Metotlar ve Mühendislik Uygulamaları Bölüm II, ODTÜ, Ankara, 1973, s. 131-146.
- [84] AKTAŞ, Z., ÖNCÜL, H., URAL, S., Sayısal Çözümleme, Saim Toraman Matbaası, Cilt 1., Ankara, 1981, s. 78.
- [85] ANONİM., TS 699 Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.
- [86] TOYDEMİR, N., Pişmiş Toprak Yapı Malzemesinin Rasyonel Üretim Olanaklarının Araştırılması, (Doçentlik Tezi), İTÜ Matbaası, İstanbul, 1978, s. 41-54.
- [87] BÜYÜKÇULHA, I., Perlit Katkısının Pişmiş Toprak Malzemesinin Mekanik ve Fiziksel Davranışlarına Etkisinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Teknik Üniversite, İstanbul, 1987, s. 36-38.
- [88] PEHLEVAN, A., Yapı Malzemesi Ders Notları, KTÜ Mimarlık Bölümü, Trabzon, 1986.
- [89] YOUASH, Y.Y., Dynamic Physical Properties of Roch, Part-1, Theory and Procedure, Proc. 2nd Cong. Int. Soc. Rock. Mech., Belgrade, 1970, s. 171-183.
- [90] TARHAN, F., Artvin Granitinin Mühendislik Jeolojisi ve Baraj Yeri Olma Açısından İrdelenmesi, (Doçentlik Tezi), KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi Jeoloji Bölümü, Trabzon, 1982, s. 84-86.
- [91] SCHITTKNECHT, E., Ingenieur S.I.A., Technische und Wissenschaftliche Messinstrumente und Apparate, Zürich, Teknik Broşür.
- [92] DAĞSÖZ, A.K., Teknikte Sıcaklık Ölçülmesi, (Teorik Esaslar-Termometreler ve Kontrolları), Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1971, s. 167.
- [93] ÖZDEMİR, H., İstatistik Yöntemler, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, 1981, s. 92-96.
- [94] ÖZTÜRK, K., Mimarlıkta-Tasarım Sürecinde-Cephelerin Estetik Ağırlıklı Sayısal/Nesnel Değerlendirilmesi için Bir Yöntem Araştırması, (Doktora Tezi), Karadeniz Matbaacılık ve Gazetecilik A.Ş., Trabzon, 1978, s. 114-116.

- [95] GÜNEL, A., İstatistik Analiz ve Kalite Kontrolü, Karadeniz Üniversitesi Basım Evi, 1. Kısım, Seri No: 13, Trabzon, 1986, s. 127-129.
- [96] WHITE, J., YEATS, A., SKIPWORTH, G., Tables For Statisticians, Longman Group Ltd., London, 1974, s. 23.



EKLER

EK A.

Tablo A.1. TS 825 ve ısı yönetmelikleriyle getirilen ısı yalıtım sınırları

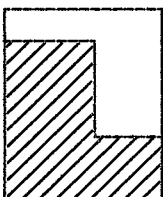
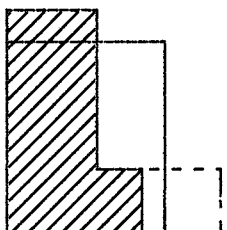
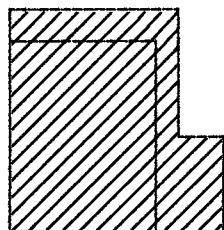
Yasal sınırlamalar	Yıl	İzin verilen en yüksek ısı geçirme katsayısı (W/m ² K)			
		I.	II.	III.	IV.
TS 825	1970	-	-	-	-
TS 825	1979	2.21	1.86	1.51	-
Isı yönetmeliği	1981	1.92	1.51	1.33	1.16
Isı yönetmeliği	1985	2.26	1.51	1.33	-
TS 825	1985	2.21	1.86	1.51	-

Tablo A.2. Batı ülkelerinin ısı yalıtımı ile ilgili sınırlamaları (1982 yılındaki durum)

Ülke adı	İzin verilen en yüksek ısı geçirme katsayısı (W/m ² K)							Ventilasyon	İzin verilen pencere alanı
	k _{catı}	k _{d+p}	k _{de d.}	k _p	k _{dös.}	k _{zen.}	k _{or.b.}		
İrlanda	0.4	-	0.6	-	0.6	-	0.85		
Norveç	0.23	0.45	-	-	0.23	0.30	-		
İsveç	-	0.17- 0.40	0.25- 0.30	2.0	0.17- 0.20				
Kanada	0.27- 0.40		0.29- 0.35		0.23- 0.40	0.66			
Finlandiya Hafif Ağır	0.23 0.29		0.29 0.35	2.1	0.23 0.29			Zorunlu 1.4*10 ⁻⁴ (defa)/s	
U.K. Konut Fabrika D.Yapılar	0.35 0.6 0.7	- - -	0.6 0.6 0.7		0.6 0.6 0.7				%12 ¹⁾ %25 ¹⁾ %15 ¹⁾
A.B.D. Konut 2500<Derece gün<4500 ise D.gün) Derece gün>4500 ise Ticari 1700<Derece gün<4400 ise D.gün) Derece gün>4400 ise	(7.4* 10 ⁻⁴ D.gün) 0.19 (8.1* 10 ⁻⁴ D.gün) 0.34		(1.1* 10 ⁻⁴ D.gün) (1.9* 10 ⁻⁴ D.gün)					Yaşama 2.5*10 ⁻³ m ³ /s Mutfak-Banyo 10*10 ⁻³ m ³ /s Mağaza 3.5*10 ⁻³ m ³ /s Büro 7.5*10 ⁻³ m ³ /s	
Batı Almanya	Yapı büyük- lüğüne göre	1.45- 1.75		Normal ısıtılan yapılarda k _{ort} =0.61+0.19--- F/V göre Az ısıtılan yapıl. k _{ort} =0.75+0.155--- F/V göre					
Danimarka >18°C kadar ısıtılan yapılar >10°C kadar ısıtılan yapılar	0.2 0.4		0.4 0.6	3.3	0.3 6.45				Döşeme alanının %15'i

¹⁾ Dış duvar alanının

Tablo A.3. Plan tipine göre en yüksek ortalama ısı geçirme katsayısı değerleri

Satır	Yapı elemanı		En yüksek ısı geçirme katsayısı W/m ² K	
1	1.1.	Dış duvarlar, kapı ve pencereler	Planları ≥ 15 m. kenarlı bir karenin içinde kalabilen yapılar (Şekil a) $k_{ort} \leq 1.45$ ²⁾	
	1.2		Planları ≥ 15 m. kenarlı bir karenin içine tam girmeyen yapılar (Şekil b) $k_{ort} \leq 1.55$	
	1.3		Planları ≥ 15 m. kenarlı bir kareyi içine alan yapılar (Şekil c) $k_{ort} \leq 1.75$	
2	Ostten veya alttan dış havayla sınırlı çatı araları veya döşemeler		$k_{dö} \leq 0.45$	
3	Bodrum döşemeleri veya ısıtılmayan hacimleri sınırlayan duvar veya döşemeler		$k \leq 0.80$	
4	Toprakla sınırlı duvar veya döşemeler		$k \leq 0.90$	
<p>¹⁾ 1.1. - 1.3. satırlarda, en küçük k_{ort} değerini veren kat esas alınmalıdır. Değişik dış boyutlara sahip katlı yapılarda, her kat ayrı hesaplanmalıdır.</p> <p>²⁾ Eğer 2. satır için $k_{dö} \leq 0.38$ W/m²K ve 3. veya 4. satır için $k \leq 0.70$ W/m²K seçilirse, yapı için satır 1.1'de $k_{ort} \leq 1.55$ W/m²K alınabilir.</p>				
				
		Şekil a	Şekil b	Şekil c

Tablo A.4. Çeşitli hacimlere uygun ortam sıcaklıkları ve bağıl nem oranları

	Sıcaklık °C	Bağıl nem %
Konutlar		
Oturma, çalışma odası	+18...20	50...55
Yatak odası	+15...18	55...65
Mutfak	+16...18	55...80
Banyo	+22	60...80
W.C.	+20	55...70
Merdiven evi	+15	50...55
Okullar		
Sınıflar	+20	60
Hol, merdiven evi	+18...20	50
Toplantı salonu	+15	55
W.C.	+15	55...60
Duş ve yıkanma hacimleri	+20	80...90
Hastane ve klinikler		
Ameliyathaneler	+24...35	40...60
Hasta yatak odaları	+22	50...60
Laboratuvar ve araştırma odaları	+24	30...45
Merdiven, W.C.	+20	45...55
Morg	-5...±0	
Sinema, tiyatro, toplantı salonu	+18	60...65
Gıda pazarı ve marketler		
Sebze, meyve saklama odaları	-1...+4	85...90
Peynir ve süt saklama	+2... 6	75
Et ve balık saklama	-18...-2	85...95
Satış hacimleri	+6...10	50...70
Derin soğuk oda (uzun süre saklama için)	-20	95
Soğuk oda	-15	90
Dondurma, vb.	-15	90
Yağ, margarin saklama	-6...-4	75...80
Portakal, limon, vb.	+2... 6	90
Muz	+11	85
Salata, karnabahar, salatalık	-2...+2	85...90
Yumurta	±0...+1	80
Ekmekek, kek, vb.	+2...+8	80
Konserve	+2...+4	85
Çikolata	+18...20	50...60
Tütün, sigara, vb.	+16...20	55...65
Deri eşya	+10...15	50...70
Kağıt, kağıt eşya	+15...20	40...65
Kibrit	+10...15	40...65
Eczaneler		
İlaç saklama	+20...26	30...35
Arşiv	+15	50...60
Satış mahali	+10...20	50...60

Tablo A.4. (Devamı)

	Sıcaklık °C	Bağıl nem %
Yüzme havuzları	22...28	80...90
Sauna	70...110	3... 9
Jimlastik, spor salonu	15	50...80
Matbaa, basımevi	20...24	60...80
Ahırlar		
At ahırları	5... 6	75...85
İnek, sığır ve diğer büyük baş hayvanlar	8...10	80
Koyun ahır	10	75...85
Domuz ahır	5...10	75...85
Keçi ahır	10	75...85
Ekmeç fırınları		60...75
Un saklama	18...27	60...75
Maya depolama	0...5	55...70
Hamur yoğurma	23...27	55...70
Ekmeç soğutma	25...27	75...80
Kitapçılar, kütüphaneler	18...15	60...70
Atölyeler, imalathaneler		40...60
Elektrikli makina, elektronik vb. işler için	18...20	60...65
Hafif el işçiliği olan olan atölyeler	20	50
Ağır el işçiliği olan olan atölyeler (Döküm vb.)	15...25	80...95
Marangozhaneler	20	65...75
Boyahaneler (Püskürtme vb. şekilde)	25...40	65...75
Montaj atölyeleri	10...15	65...75
Metal işleme atölyeleri	10...20	50
Renklendirme, boya işleri için	10...20	75...85
Galvanizhaneler, deri tabakhaneleri		85
Elektronik ölçme vb. için	20	50...55
Fabrika ve endüstri yapıları		
Pamuklu tekstil fab.	20...25	60...85
Yün tekstil fab.	20...25	65...85
Yapay ipek, perlon vb. fab.	20...22	60...90
Ipek tekstil fab.	18...22	65...80
Siğara fab.	20...27	60...70
Kağıt endüstrisi	20...24	67...70
Kibrit ve patlayıcı madde imalatı	20	50...75
Şekerli gıda maddeleri üretimi	20...27	30...50
Çikolata fab.	16...18	50...55
Deri sanayi	30	75...85
Bira ve içki fab.	10...15	80...85
Optik laboratuvar vb.	20	10...15
Plastik, kauçuk sanayi	15...25	75...85
Kömür öğütme vb.	25	50...60
Briket tuğla fab.	20...25	50...60
Kimyasal madde fab.	18...22	50...70
Trafo, jeneratör vb.	30...35	50...60
Fotoğraf-film stüdyoları		
Film saklama, banyo ilaçları saklama	15	60...65
Banyo odası	20...22	50
Kurutma	20...28	50

Tablo A.5. Ortalama bağıl neme göre kabuk elemanının yüzeyinde terleme sıcaklıkları

Hava sıcaklığı		Bağıl neme göre terleme sıcaklıkları									
		50%		55%		60%		65%		70%	
°C	°K	°C	°K	°C	°K	°C	°K	°C	°K	°C	°K
-10	263,15	-17,6	255,55	-16,6	256,55	-15,7	257,45	-14,7	258,45	-13,9	259,25
- 5	268,15	-12,9	260,25	-11,8	261,35	-10,8	262,35	- 9,9	263,25	- 9,1	264,05
± 0	273,15	- 8,1	265,05	- 6,6	266,55	- 5,6	267,55	- 4,7	268,45	- 3,8	269,35
+ 2	275,15	- 6,5	266,65	- 5,3	267,15	- 4,3	268,85	- 3,4	269,75	- 2,5	270,65
+ 4	277,15	- 4,8	268,35	- 3,7	269,45	- 2,7	270,45	- 1,8	271,35	- 0,9	272,25
+ 6	279,15	- 3,2	269,95	- 2,1	271,05	- 1,0	272,15	- 0,1	273,05	0,9	274,05
+ 8	281,15	- 1,6	271,55	- 0,4	272,75	- 0,2	272,45	1,8	274,95	2,9	276,05
+10	283,15	0,1	273,25	1,4	274,55	2,6	275,75	3,7	276,85	4,8	277,95
+12	285,15	1,9	275,05	3,2	276,35	4,3	277,45	5,5	278,65	6,6	279,75
+14	287,15	3,8	276,95	5,1	278,25	6,4	279,55	7,5	280,65	8,6	281,75
+16	289,15	5,6	278,75	7,0	280,15	8,2	281,35	9,4	282,55	10,5	283,65
+18	291,15	7,4	280,55	8,8	281,95	10,1	283,25	11,3	284,45	12,4	285,55
+20	293,15	9,3	282,45	10,7	283,85	12,0	285,15	13,7	286,35	14,3	287,45
+22	295,15	11,1	284,25	12,5	285,65	13,9	287,05	15,2	288,35	16,3	289,45
+25	298,15	13,8	286,95	15,3	288,45	16,7	289,85	17,9	291,05	19,1	292,25
+30	303,15	18,5	291,65	19,9	293,05	21,2	294,35	22,8	295,95	24,2	297,35
+35	308,15	23,0	296,15	24,5	297,65	26,0	299,15	27,4	300,55	26,7	301,85
+40	313,15	27,6	300,75	29,2	302,35	30,7	303,85	32,1	305,25	33,5	306,65
+45	318,15	32,2	305,35	33,8	306,95	35,4	308,55	36,8	309,95	38,2	311,35
+50	323,15	36,7	309,85	37,4	310,55	40,1	313,25	41,6	314,75	43,0	316,15

Tablo A.5. (Devam)

Hava sıcaklığı		Bağıl neme göre terleme sıcaklıkları									
°C	°K	75%		80%		85%		90%		95%	
		°C	°K	°C	°K	°C	°K	°C	°K	°C	°K
-10	263,15	-13,2	259,95	-12,5	260,65	-11,8	261,35	-11,2	261,95	-10,6	262,55
- 5	268,15	- 8,3	264,85	- 7,6	265,55	- 6,9	266,25	- 6,2	265,95	- 5,6	267,55
± 0	273,15	- 3,1	270,05	- 2,3	270,85	- 1,6	271,55	- 0,9	272,25	- 0,3	272,85
+ 2	275,15	- 1,6	271,55	- 0,8	272,35	- 0,1	273,05	0,6	273,75	1,3	274,45
+ 4	277,15	- 0,1	273,05	0,8	273,95	1,6	274,75	2,4	275,55	3,2	276,35
+ 6	279,15	1,9	275,05	2,8	275,95	3,6	276,75	4,4	277,55	5,2	278,35
+ 8	281,15	3,9	277,05	4,8	277,95	5,6	278,75	6,4	279,55	7,2	280,35
+10	283,15	5,8	278,95	6,7	279,85	7,6	280,75	8,4	281,55	9,2	282,35
+12	285,15	7,6	280,75	8,5	281,75	9,5	282,65	10,3	283,45	11,2	284,35
+14	287,15	9,6	282,75	10,6	283,75	11,5	284,65	12,5	285,65	13,2	286,35
+16	289,15	11,5	284,65	12,5	285,65	13,4	286,55	14,3	287,45	15,2	288,35
+18	291,15	13,5	286,65	14,5	287,65	15,4	288,55	16,3	289,45	17,2	290,35
+20	293,15	15,4	288,55	16,5	289,65	17,4	290,55	18,3	291,45	19,2	292,35
+22	295,15	17,4	290,55	18,4	291,55	19,4	292,55	20,3	293,45	21,2	294,35
+25	298,15	20,2	293,35	21,3	294,45	22,3	295,45	23,2	296,35	24,4	297,35
+30	303,15	25,3	296,45	26,4	299,55	27,5	300,65	28,5	301,65	29,2	302,35
+35	308,15	29,9	303,05	31,0	304,15	32,6	302,75	33,1	306,25	34,1	307,25
+40	313,15	34,7	307,85	35,9	309,05	37,0	310,15	38,0	311,15	39,0	312,15
+45	318,15	39,5	312,65	40,7	313,85	41,8	314,95	42,9	316,05	44,0	317,15
+50	323,15	44,3	317,45	45,6	318,75	46,8	319,95	47,9	321,05	49,0	322,15

EK B.

EK B.1.

YAKLAŞIMIN İÇERDİĞİ HESAPLAMA İŞLEMLERİNDE KULLANILMAK ÜZERE GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI (FORTRAN IV).

- 1.ADIM: Çözülecek denklem sayısını oku.
- 2.ADIM: Lineer denklem katsayılarını oku.
- 3.ADIM: Sağ taraf sabitlerini oku.
- 4.ADIM: Alt programla [A] katsayılar matrisinin tersini al.
- 5.ADIM: Bilinmeyen sıcaklıkları hesapla.
- 6.ADIM: Girdileri ve sonuçları yaz.

Özet olarak yukarıdaki işlemleri yapan program listesi aşağıda verilmiştir.

```
C YALÇIN YAŞAR KTO MÜHENDİSLİK MİMARLIK F. MİMARLIK B. 61080 TRABZON
C *****
C ***                                     ***
C ***          PROGRAM ADI: S I C A K L I K          ***
C ***                                     ***
C ***          ISI KÖPROSO İÇEREN YAPI ELEMANLARINDA          ***
C ***          SICAKLIK DAĞILIMINI BULUR          ***
C ***                                     ***
C *****
C
C          PROGRAMDA KULLANILAN PRAMETRELER
C          -----
C          NDS ..... ÇÖZÜLECEK DENKLEM SAYISI (MAX: 100)
C          A ..... LINEER CEBİRSEL DENKLEM SİSTEMİNİN
C                   KATSAYILAR MATRİSİ
C          S ..... LINEER CEBİRSEL DENKLEMLERİN SAĞ
C                   TARAF SABİTLER VEKTÖRÜ
C          T ..... HESAPLANACAK SICAKLIK DEĞERLERİ VEKTÖRÜ
C
C          PROGRAM SCL
C          PARAMETER (N= 100)
C          DIMENSION A(N,N),LL(N),MM(N),S(N),T(N)
C
C ***** DENKLEM SAYISINI OKU
C
C          READ (5,*) NDS
C          WRITE (6,100) NDS
C
C ***** SAĞ TARAF SABİTLER VEKTÖRÜNÜ OKU
C
C          READ (5,*)(S(I),I=1,NDS)
C
C ***** KATSAYILAR MATRİSİNİ OKU
C
C          DD 1 I=1,NDS
C          1 READ (5,*)(A(I,J),J=1,NDS)
C
C ***** KATSAYILAR MATRİSİ VE SABİTLER VEKTÖRÜNÜ YAZ
C
```

```
WRITE (6,105)
DO 2 I=1,NDS
2 WRITE (6,110) (A(I,J),J=1,NDS)
WRITE (6,115)
WRITE (6,110) (S(I),I=1,NDS)
C
C ***** ALT PROGRAM ILE KATSAYILAR MATRISININ INVERSINI AL
C
C CALL MINV (A,NDS,DET,LL,MM)
C
C ***** LINEER CEBIRSEL DENKLEM SISTEMINI ÇÖZ VE SICAKLIKLARI BUL
C
C PRINT *, 'A MATRISININ INVERSI'
C DO 77 I = 1,NDS
C WRITE(6,*) (A(I,J),J=1,NDS)
77 CONTINUE
C DO 4 I=1,NDS
C XT=0
C DO 3 J=1,NDS
C 3 XT=XT+A(I,J)*S(J)
C 4 T(I)=XT
C
C ***** HESAPLANAN SICAKLIK DEĞERLERINI YAZ
C
C WRITE (6,120) (I,T(I),I=1,NDS)
C STOP
100 FORMAT (///5X, 'DENKLEM SAYISI(NDS)', I6)
105 FORMAT (///5X, 'DENKLEM KATSAYILARI(A)', ///)
110 FORMAT (/(3X,10F8.3))
115 FORMAT (///5X, 'SAĞ TARAF SABITLERI(S)', ///)
120 FORMAT (///5X, 'HESAPLANAN SICAKLIK DEĞERLERI(T)', //, (8X, 'T(', I3,
& ')=', F8.3//)
END
C
C *****
C ***
C *** ALT PROGRAM: M I N V [84] ***
C ***
C *** LINEER CEBIRSEL DENKLEM SISTEMININ ÇÖZÜMÜ İÇİN ***
C *** GAUSS-JORDAN YÖNTEMİ ***
C ***
C *****
C
C
C DEĞİŞKENLER
C -----
C A ..... INVERSI ALINACAK KATSAYILAR MATRİSİ
C N ..... A MATRİSİNİN BOYUTU
C D ..... A MATRİSİNİN DETERMINANTİ
C L ..... N BOYUTUNDA YARDIMCI VEKTÖR
C M ..... N BOYUTUNDA YARDIMCI VEKTÖR
C
C SUBROUTINE MINV(A,N,D,L,M)
C DIMENSION A(1),L(1),M(1)
```

```
C
C ***** DOUBLE PRECISION A,D,BIGA,HOLD
C
      D=1.0
      NK=-N
      DO 80 K=1,N
      NK=NK+N
      L(K)=K
      M(K)=K
      KK=NK+K
      BIGA=A(KK)
      DO 20 J=K,N
      IZ=N*(J-1)
      DO 20 I=K,N
      IJ=IZ+I
10  IF( ABS(BIGA)- ABS(A(IJ))) 15,20,20
15  BIGA=A(IJ)
      L(K)=I
      M(K)=J
20  CONTINUE
C
C ***** SATIRLARI BIRBIRI ILE YER DEGIŞTİR
C
      J=L(K)
      IF(J-K) 35,35,25
25  KI=K-N
      DO 30 I=1,N
      KI=KI+N
      HOLD=-A(KI)
      JI=KI-K+J
      A(KI)=A(JI)
30  A(JI)=HOLD
C
C ***** KOLONLARI BIRBIRI ILE YER DEGIŞTİR
C
35  I=M(K)
      IF(I-K) 45,45,38
38  JP=N*(I-1)
      DO 40 J=1,N
      JK=NK+J
      JI=JP+J
      HOLD=-A(JK)
      A(JK)=A(JI)
40  A(JI)=HOLD
C
C ***** KOLONLARI EKSI PIVOT ILE BÖL ( PIVOT DEĞERİ
C      BIGA'DA SAKLANMIŞTIR)
C
45  IF(BIGA) 48,46,48
46  D=0.0
      RETURN
48  DO 55 I=1,N
      IF(I-K) 50,55,50
50  IK=NK+I
      A(IK)=A(IK)/(-BIGA)
```

```
55 CONTINUE
   DD 65 I=1,N
   IK=NK+I
   HOLD=A(IK)
   IJ=I-N
   DD 65 J=1,N
   IJ=IJ+N
   IF(I-K) 60,65,60
60 IF(J-K) 62,65,62
62 KJ=IJ-I+K
   A(IJ)=HOLD*A(KJ)+A(IJ)
65 CONTINUE
C
C ***** SATIRI PIVOT ILE BOL
C
   KJ=K-N
   DD 75 J=1,N
   KJ=KJ+N
   IF(J-K) 70,75,70
70 A(KJ)=A(KJ)/BIGA
75 CONTINUE
C
C ***** PIVOT DEGERINE RECİPÖRAL DEĞERİNİ AKTAR
C
   D=D*BIGA
   A(KK)=1.0/BIGA
80 CONTINUE
C
C ***** SONUÇ, SATIR VE KOLONLARI DEĞİŞTİR
C
   K=N
100 K=(K-1)
   IF(K) 150,150,105
105 I=L(K)
   IF(I-K) 120,120,108
108 JQ=N*(K-1)
   JR=N*(I-1)
   DD 110 J=1,N
   JK=JQ+J
   HOLD=A(JK)
   JI=JR+J
   A(JK)=-A(JI)
110 A(JI)=HOLD
120 J=M(K)
   IF(J-K) 100,100,125
125 KI=K-N
   DD 130 I=1,N
   KI=KI+N
   HOLD=A(KI)
   JI=KI-K+J
   A(KI)=-A(JI)
130 A(JI)=HOLD
   GO TO 100
150 RETURN
END
```


EK B.2.

DENKLEM SAYISI (NDS) 10

DENKLEM KATSAYILARI [A]

-8.140	6.451	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.225	5.688	0.774	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.774	-2.452	0.440	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.440	-2.118	0.000	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000
0.525	0.000	0.000	0.000	-13.951	12.900	0.000	0.000	0.525	0.000
0.000	0.525	0.000	0.000	6.451	-8.325	0.824	0.000	0.000	0.525
0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.824	-1.745	0.440	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.440	-1.361	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	-7.382	6.451
0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	3.225	-4.798

SAG TARAF SABITLERI [S]

8.148	8.148	8.148	10.642	0.000	0.000	-8.547	-15.886	-8.547	-22.008
-------	-------	-------	--------	-------	-------	--------	---------	--------	---------

DETERMINANT = -257156.875

[A] MATRISININ INVERSI

-0.086	0.093	0.031	0.006	-0.001	0.005	0.004	0.002	0.000	0.001
0.047	0.113	0.038	0.008	0.026	0.051	0.028	0.010	0.010	0.019
0.015	0.038	-0.412	-0.086	0.004	0.007	-0.017	-0.010	0.001	0.003
0.003	0.008	-0.086	-0.491	-0.001	-0.002	-0.012	-0.031	0.000	-0.001
-0.001	0.051	0.007	-0.002	-0.333	-0.555	-0.285	-0.092	-0.122	-0.224
0.002	0.051	0.007	-0.002	-0.278	-0.591	-0.304	-0.098	-0.116	-0.221
0.002	0.028	-0.017	-0.012	-0.143	-0.304	-0.781	-0.253	-0.060	-0.114
0.001	0.010	-0.010	-0.031	-0.046	-0.098	-0.253	-0.818	-0.019	-0.037
0.000	0.021	0.003	-0.001	-0.122	-0.233	-0.119	-0.039	-0.376	-0.531
0.000	0.019	0.003	-0.001	-0.112	-0.221	-0.114	-0.037	-0.266	-0.590

HESAPLANAN SICAKLIK DEGERLERI [T]

T(1)= 0.291 T(2)= 0.790 T(3)= -3.597 T(4)= -5.219 T(5)= 10.332

T(6)= 10.481 T(7)= 13.681 T(8)= 15.812 T(9)= 16.730 T(10)= 16.979

DENKLEM SAYISI [NDS] 20

DENKLEM KATSAYILARI [A]

-2.118	0.440	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.440	-2.452	0.774	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.774	-5.688	3.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	3.225	-8.139	3.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	3.225	-8.139	3.225	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	3.225	-8.139	3.225	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.225	-5.688	0.774	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.774	-2.452	0.440	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.774	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.440	-2.118	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000
0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.361
0.440	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.440
-1.713	0.812	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.812	-8.313	6.451	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000
0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	6.451	-11.811	4.310	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.525
0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	4.310	-8.467	3.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	3.225	-7.382	3.225	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	3.225	-4.931	0.774	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.774	-1.695	0.440	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.774	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.440	-1.361	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.798	3.225
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.225	-4.798

SAG TARAF SABITLERI [S]

11.582	8.846	8.845	8.845	8.846	8.846	8.845	8.846	11.582	-16.002
-8.628	0.000	0.000	-8.623	-8.628	-8.628	-8.628	-16.002	-22.217	-22.217

DETERMINANT = 0.232917852E+11

[A] MATRISININ INVERSI

-0.493	-0.095	-0.020	-0.011	-0.006	-0.004	-0.003	-0.001	0.000	-0.032
-0.017	-0.009	-0.008	-0.006	-0.004	-0.004	-0.002	-0.001	-0.003	-0.003
-0.095	-0.456	-0.093	-0.050	-0.028	-0.017	-0.011	-0.004	-0.002	-0.018
-0.040	-0.033	-0.029	-0.023	-0.018	-0.014	-0.009	-0.003	-0.011	-0.010
-0.020	-0.093	-0.280	-0.148	-0.082	-0.048	-0.032	-0.012	-0.006	-0.016
-0.047	-0.082	-0.075	-0.061	-0.046	-0.038	-0.025	-0.008	-0.026	-0.026
-0.011	-0.050	-0.148	-0.237	-0.127	-0.073	-0.048	-0.018	-0.008	-0.014
-0.042	-0.076	-0.078	-0.069	-0.056	-0.047	-0.032	-0.011	-0.026	-0.026
-0.006	-0.028	-0.082	-0.127	-0.229	-0.127	-0.082	-0.029	-0.012	-0.011
-0.034	-0.063	-0.068	-0.075	-0.068	-0.060	-0.045	-0.015	-0.022	-0.022
-0.004	-0.017	-0.049	-0.073	-0.128	-0.238	-0.149	-0.053	-0.019	-0.009
-0.027	-0.050	-0.056	-0.067	-0.081	-0.079	-0.066	-0.022	-0.018	-0.018
-0.003	-0.012	-0.033	-0.049	-0.083	-0.150	-0.283	-0.098	-0.033	-0.007
-0.022	-0.042	-0.048	-0.060	-0.079	-0.097	-0.098	-0.033	-0.015	-0.015
-0.001	-0.006	-0.017	-0.024	-0.038	-0.063	-0.110	-0.476	-0.136	-0.005
-0.017	-0.031	-0.036	-0.048	-0.070	-0.103	-0.291	-0.101	-0.011	-0.011
0.000	-0.001	-0.004	-0.005	-0.008	-0.014	-0.024	-0.102	-0.512	-0.001
-0.004	-0.007	-0.008	-0.011	-0.016	-0.024	-0.071	-0.051	-0.003	-0.003
-0.032	-0.018	-0.016	-0.014	-0.011	-0.009	-0.007	-0.003	-0.002	-0.814
-0.240	-0.063	-0.048	-0.034	-0.023	-0.018	-0.010	-0.003	-0.019	-0.018
-0.017	-0.040	-0.047	-0.041	-0.034	-0.026	-0.021	-0.009	-0.006	-0.240
-0.739	-0.194	-0.149	-0.105	-0.071	-0.054	-0.031	-0.010	-0.059	-0.056
-0.009	-0.033	-0.082	-0.075	-0.062	-0.049	-0.039	-0.016	-0.011	-0.063
-0.194	-0.372	-0.285	-0.200	-0.136	-0.102	-0.059	-0.020	-0.113	-0.107
-0.008	-0.029	-0.074	-0.078	-0.068	-0.055	-0.044	-0.018	-0.012	-0.048
-0.149	-0.285	-0.334	-0.234	-0.158	-0.119	-0.069	-0.023	-0.102	-0.105
-0.006	-0.023	-0.060	-0.068	-0.074	-0.065	-0.055	-0.023	-0.016	-0.034
-0.105	-0.200	-0.234	-0.325	-0.218	-0.163	-0.093	-0.031	-0.071	-0.074
-0.004	-0.017	-0.046	-0.055	-0.066	-0.077	-0.072	-0.031	-0.024	-0.023
-0.071	-0.135	-0.158	-0.217	-0.349	-0.259	-0.145	-0.048	-0.048	-0.050
-0.003	-0.014	-0.037	-0.045	-0.057	-0.073	-0.085	-0.040	-0.036	-0.017
-0.053	-0.101	-0.118	-0.162	-0.258	-0.416	-0.228	-0.076	-0.036	-0.037
-0.002	-0.007	-0.020	-0.024	-0.032	-0.042	-0.052	-0.059	-0.107	-0.009
-0.028	-0.053	-0.062	-0.085	-0.134	-0.216	-0.783	-0.259	-0.019	-0.020
-0.001	-0.003	-0.009	-0.011	-0.015	-0.021	-0.030	-0.077	-0.326	-0.004
-0.011	-0.021	-0.025	-0.034	-0.053	-0.084	-0.293	-0.847	-0.008	-0.008
-0.003	-0.011	-0.026	-0.025	-0.021	-0.017	-0.014	-0.006	-0.004	-0.019
-0.059	-0.113	-0.102	-0.071	-0.048	-0.036	-0.021	-0.007	-0.416	-0.291
-0.003	-0.010	-0.026	-0.026	-0.022	-0.017	-0.014	-0.006	-0.004	-0.018
-0.056	-0.107	-0.105	-0.074	-0.050	-0.037	-0.022	-0.007	-0.291	-0.415

HESAPLANAN SICAKLIK DEĞERLERİ [T]

T(1)= -6.013	T(2)= -5.251	T(3)= -3.029	T(4)= -2.770	T(5)= -2.609
T(6)= -2.460	T(7)= -2.280	T(8)= -1.314	T(9)= -5.294	T(10)= 15.630
T(11)= 12.983	T(12)= 8.784	T(13)= 8.545	T(14)= 8.535	T(15)= 8.737
T(16)= 9.193	T(17)= 12.555	T(18)= 12.806	T(19)= 17.024	T(20)= 17.003

EK C.

χ^2 (Chi-Square) Testi

Chi-Square testi, deneylerden elde edilmiş sonuçların bir varsayıma uygun olarak teorik sonuçlarla karşılaştırılmasında kullanılır.

Deneylerden elde sonuçlarla ortaya çıkan farklılaşmanın belli bir varsayıma göre beklenen farklar olup olmadıklarının irdelenmesinde aşağıdaki Yates formülü kullanılmıştır.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(|f_o - f_n| - 0.5)^2}{f_n}$$

Bu formülde ;

f_o : Yüzey sıcaklıklarının deneysel olarak ölçülen değerleri
|°C|

f_n : Yüzey sıcaklıklarının denklem 4.22 göre hesaplanan değerleri
|°C|

$|f_o - f_n|$: Her iki sıcaklık arasındaki fark
|°C|

df : Serbestlik derecesi [(r-1)(c-1)]
r : Yapılan ölçüm sayısı
c : Her koşul için tablodaki düşey sütun sayısı

α : Güven düzeyi

χ^2_{α} : χ^2 tablosundan serbestlik derecesi ve α değeri için alınan kritik değer

dir.

Tablo C.1. Kolon - Düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisinde belirlenen düğüm noktalarında ölçülen ve hesaplanan yüzey sıcaklıkları ve χ^2 testi

Ortam Sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI					
T_a	T_i						
-5.0	21.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f_a)		-0.7	-0.0	15.1	16.6	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f_h)		0.183	0.302	13.725	16.200	16.683	16.934
$\chi^2=(f_a-f_h)^2/f_h$		0.801	0.129	0.055	0.000	0.002	0.184

Ortam Sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI					
T_a	T_i						
-7.6	21.2	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f_a)		-0.9	0.1	15.1	16.6	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f_h)		0.323	0.927	13.800	15.908	16.900	17.152
$\chi^2=(f_a-f_h)^2/f_h$		1.618	0.299	0.046	0.002	0.009	0.139

Ortam Sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI					
T_a	T_i						
-8.9	21.6	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f_a)		-0.5	-0.1	15.2	16.8	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f_h)		0.388	1.222	14.043	16.105	17.249	17.503
$\chi^2=(f_a-f_h)^2/f_h$		0.388	0.552	0.030	0.002	0.007	0.081

Ortam Sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI					
T_a	T_i						
-9.0	21.3	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f_a)		-0.6	-0.7	15.1	16.6	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f_h)		0.398	1.264	13.838	15.842	17.015	17.264
$\chi^2=(f_a-f_h)^2/f_h$		0.623	1.695	0.042	0.004	0.010	0.119

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-5.8	21.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.6	0.0	15.0	16.6	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.226	0.497	13.708	15.938	16.702	16.952
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.470	0.000	0.045	0.001	0.002	0.180

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-6.9	21.1	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.8	-0.6	15.1	16.6	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.285	0.761	13.750	15.901	16.807	17.057
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		1.200	0.974	0.052	0.002	0.005	0.158

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-5.5	21.1	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.2	-0.9	15.3	16.9	17.0	19.1
Hesaplanan değer (f _n)		0.210	0.409	13.780	16.048	16.774	17.026
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.038	1.600	0.075	0.007	0.004	0.145

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-7.6	21.3	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.8	-0.1	15.0	16.6	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.322	0.923	13.866	15.986	16.981	17.233
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		1.201	0.296	0.028	0.000	0.013	0.124

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-8.0	21.4	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.1	0.0	15.3	16.9	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.343	1.016	13.926	16.030	17.070	17.322
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.009	0.262	0.054	0.008	0.012	0.109

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-9.0	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.2	-0.5	15.4	16.9	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.397	1.255	13.968	15.999	17.172	17.424
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.023	1.255	0.062	0.010	0.006	0.093

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-6.2	21.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.5	0.0	15.0	16.6	17.0	19.1
Hesaplanan değer (f _n)		0.247	0.594	13.700	15.900	16.710	16.961
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.247	0.014	0.046	0.002	0.002	0.158

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-6.4	21.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.4	-0.3	15.1	16.8	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.259	0.643	13.695	15.877	16.716	16.966
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.097	0.305	0.059	0.011	0.000	0.177

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T ₁						
-7.0	21.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.6	0.0	15.1	16.7	17.0	19.1
Hesaplanan değer (f _n)		0.291	0.790	13.681	15.812	16.730	16.979
$x^2=(f_o-f_n)^2/f_n$		0.525	0.106	0.061	0.009	0.003	0.154

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T ₁						
-8.4	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.1	0.0	15.3	16.9	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.365	1.109	13.981	16.061	17.157	17.410
$x^2=(f_o-f_n)^2/f_n$		0.030	0.334	0.047	0.007	0.011	0.095

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T ₁						
-8.8	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		0.0	0.0	15.2	16.8	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.386	1.207	13.972	16.020	17.167	17.420
$x^2=(f_o-f_n)^2/f_n$		0.033	0.414	0.037	0.004	0.006	0.094

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T ₁						
-6.4	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.4	-0.3	15.4	16.9	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.257	0.622	14.022	16.266	17.109	17.365
$x^2=(f_o-f_n)^2/f_n$		0.095	0.286	0.054	0.001	0.014	0.102

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _s						
-5.7	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.5	-0.3	15.3	16.9	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.219	0.451	14.039	16.342	17.093	17.349
$\chi^2=(f_a-f_n-0.5)^2/f_n$		0.219	0.139	0.041	0.000	0.009	0.105

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _s						
-9.1	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.7	0.0	15.1	16.8	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.402	1.280	13.965	15.987	17.174	17.426
$\chi^2=(f_a-f_n-0.5)^2/f_n$		0.901	0.475	0.028	0.006	0.006	0.093

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _s						
-9.6	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.1	0.0	15.3	16.9	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.429	1.402	13.954	15.934	17.186	17.438
$\chi^2=(f_a-f_n-0.5)^2/f_n$		0.001	0.580	0.051	0.013	0.009	0.091

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _s						
-8.7	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.4	0.0	15.4	16.9	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.381	1.182	13.974	16.028	17.164	17.417
$\chi^2=(f_a-f_n-0.5)^2/f_n$		0.207	0.393	0.061	0.008	0.011	0.094

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-6.6	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.1	0.0	15.5	17.1	17.3	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.267	0.668	14.078	16.439	17.123	17.378
$x^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.066	0.042	0.060	0.001	0.006	0.100

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-8.4	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.8	-0.3	15.2	16.8	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.365	1.109	13.981	16.061	17.157	17.410
$x^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		1.211	0.745	0.036	0.003	0.011	0.095

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-8.6	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.4	0.0	15.3	16.8	17.0	19.1
Hesaplanan değer (f _n)		0.375	1.158	13.976	16.040	17.162	17.415
$x^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.201	0.373	0.048	0.004	0.006	0.008

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _a	T _i						
-8.2	21.2	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.9	-0.2	15.1	16.6	17.0	19.1
Hesaplanan değer (f _n)		0.355	1.074	13.788	15.846	16.916	17.166
$x^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		1.605	0.557	0.047	0.004	0.010	0.119

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T _s						
-5.2	21.2	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.3	-0.9	15.1	16.7	17.0	19.1
Hesaplanan değer (f _n)		0.194	0.344	13.847	16.143	16.846	17.098
$x^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.000	1.609	0.040	0.000	0.007	0.131

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T _s						
-5.7	21.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.8	-0.9	15.5	16.8	17.2	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.221	0.473	13.709	15.946	16.699	16.950
$x^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		1.228	1.611	0.121	0.007	0.000	0.180

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T _s						
-7.9	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.2	-0.5	15.3	16.9	17.0	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.338	0.987	13.991	16.114	17.145	17.399
$x^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.004	0.987	0.046	0.005	0.007	0.097

Ortam Sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI					
T _d	T _s						
-7.8	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _o)		-0.8	-0.1	15.5	17.0	17.3	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.332	0.962	13.994	16.124	17.143	17.397
$x^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		1.203	0.328	0.072	0.008	0.006	0.097

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I					
T _a	T _i						
-7.7	21.5	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.5	-0.4	15.4	16.9	17.2	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.316	0.890	14.000	16.155	17.162	17.390
$\chi^2 = (f_a - f_n - 0.5)^2 / f_n$		0.316	0.701	0.057	0.003	0.011	0.098

Ortam Sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I					
T _a	T _i						
-6.9	21.6	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.5	-0.3	15.1	16.8	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.283	0.739	14.079	16.297	17.201	17.458
$\chi^2 = (f_a - f_n - 0.5)^2 / f_n$		0.283	0.393	0.019	0.000	0.009	0.088

Ortam Sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I					
T _a	T _i						
-6.8	21.6	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.5	-0.9	15.1	16.8	17.1	19.2
Hesaplanan değer (f _n)		0.278	0.715	14.081	16.307	17.198	17.455
$\chi^2 = (f_a - f_n - 0.5)^2 / f_n$		0.278	1.738	0.019	0.000	0.000	0.088

Ortam Sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I					
T _a	T _i						
-7.7	22.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f _a)		-0.3	-0.1	15.2	17.2	17.4	19.4
Hesaplanan değer (f _n)		0.325	0.917	14.326	16.528	17.536	17.796
$\chi^2 = (f_a - f_n - 0.5)^2 / f_n$		0.048	0.291	0.009	0.001	0.007	0.068

Tablo C.1. (Devamı)

Ortam Sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I					
T_d	T_i						
-7.9	22.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f_o)		-0.6	-0.3	15.5	17.2	17.4	19.4
Hesaplanan değer (f_n)		0.336	0.965	14.321	16.507	17.541	17.800
$\chi^2=(f_o-f_n)^2/f_n$		0.565	0.606	0.032	0.002	0.007	0.067

Ortam Sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I					
T_d	T_i						
-7.0	22.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f_o)		-0.4	0.0	15.6	17.3	17.4	19.4
Hesaplanan değer (f_n)		0.287	0.746	14.341	16.601	17.519	17.780
$\chi^2=(f_o-f_n)^2/f_n$		0.121	0.081	0.040	0.002	0.008	0.070

Ortam Sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I					
T_d	T_i						
-7.3	21.0	1	2	7	8	9	10
Ölçülen değer (f_o)		-0.7	-0.2	15.0	16.6	17.1	19.1
Hesaplanan değer (f_n)		0.306	0.843	13.788	15.816	17.269	17.576
$\chi^2=(f_o-f_n)^2/f_n$		0.836	0.349	0.036	0.005	0.006	0.059

$\Sigma \chi^2$:	16.691	20.519	1.656	0.142	6.236	3.954
df	:	34	34	34	34	34	34
α	:	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$\chi^2_{0.05;34}$:	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6	48.6
Güvenilirlik	:	% 95	% 95	% 95	% 95	% 95	% 95

Tablo C.2. Kiriş - Düzlemsel duvar ısı köprüsü ilişkisinde belirlenen düğüm noktalarında ölçülen ve hesaplanan yüzey sıcaklıkları ve χ^2 testi

Ortam sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI									
T_d	T_1										
-7.6	21.2	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f_o)		17.9	14.7	10.6	10.8	12.0	14.1	15.1	16.9	16.4	
Hesaplanan değer (f_n)		15.630	12.983	8.536	8.739	9.193	12.555	12.806	17.024	17.003	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.200	0.114	0.286	0.278	0.578	0.086	0.250	0.008	0.000	

Ortam sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI									
T_d	T_1										
-6.8	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f_o)		18.0	14.8	10.6	10.9	12.1	13.2	15.1	16.9	16.4	
Hesaplanan değer (f_n)		16.034	13.450	9.082	9.294	9.957	13.155	13.686	17.403	17.388	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.134	0.053	0.114	0.131	0.348	0.015	0.061	0.000	0.013	

Ortam sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI									
T_d	T_1										
-7.1	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f_o)		18.0	14.8	10.7	10.9	12.2	13.2	15.2	16.9	16.4	
Hesaplanan değer (f_n)		15.973	13.353	8.942	9.152	9.614	13.015	13.452	17.353	17.342	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.145	0.067	0.176	0.170	0.452	0.007	0.115	0.000	0.011	

Ortam sıcaklığı (°C)		DÜĞÜM NOKTALARI									
T_d	T_1										
-7.3	21.2	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f_o)		18.2	14.8	10.6	10.9	12.1	13.1	15.2	17.0	16.4	
Hesaplanan değer (f_n)		15.691	13.080	8.676	8.881	9.334	12.695	13.037	17.069	17.054	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.257	0.113	0.233	0.259	0.549	0.000	0.212	0.010	0.001	

Tablo C.2. (Devamı)

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-6.6	21.6	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		18.1	14.8	10.6	10.9	12.1	13.2	15.2	16.9	16.5
Hesaplanan değer (f _n)		16.153	13.583	9.233	9.447	9.913	13.323	13.925	17.519	17.504
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.129	0.030	0.081	0.096	0.287	0.010	0.043	0.000	0.014

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-7.9	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		18.2	14.9	10.1	11.0	12.2	13.2	15.3	17.0	16.4
Hesaplanan değer (f _n)		15.813	13.113	8.566	8.771	9.231	12.643	12.839	17.236	17.220
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.225	0.126	0.124	0.340	0.660	0.000	0.299	0.004	0.005

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-7.7	21.4	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		18.2	14.9	10.0	11.0	12.2	13.1	15.3	17.0	16.4
Hesaplanan değer (f _n)		15.770	13.101	8.603	8.803	9.266	12.629	12.903	17.180	17.164
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.236	0.128	0.093	0.327	0.639	0.000	0.278	0.005	0.004

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-8.3	21.3	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		18.2	15.0	10.1	11.1	12.3	13.2	15.4	17.0	16.5
Hesaplanan değer (f _n)		15.572	12.847	8.265	8.465	8.920	12.320	12.353	17.003	16.987
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.290	0.212	0.215	0.538	0.929	0.012	0.525	0.014	0.000

Tablo C.2. (Devamı)

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I									
T _d	T ₁										
-8.0	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.0	10.1	11.1	12.4	13.2	15.4	17.0	16.5	
Hesaplanan değer (f _n)		16.791	13.082	8.519	8.724	9.183	12.596	12.760	17.220	17.204	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.230	0.153	0.137	0.403	0.803	0.000	0.358	0.004	0.002	

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I									
T _d	T ₁										
-6.7	21.1	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.1	10.2	11.1	12.4	13.1	15.5	17.0	16.4	
Hesaplanan değer (f _n)		15.723	13.190	8.900	8.103	9.562	12.896	13.406	17.075	17.060	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.248	0.150	0.071	0.246	0.571	0.006	0.189	0.010	0.001	

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I									
T _d	T ₁										
-6.9	21.6	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.0	10.2	11.0	12.3	13.2	15.5	17.0	16.5	
Hesaplanan değer (f _n)		16.098	13.406	9.075	9.277	9.726	13.036	13.211	17.466	17.454	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.159	0.089	0.043	0.161	0.442	0.008	0.242	0.000	0.011	

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I									
T _d	T ₁										
-6.4	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.0	10.3	11.0	12.4	13.2	15.5	17.0	16.5	
Hesaplanan değer (f _n)		16.113	13.572	9.270	9.483	9.943	13.340	13.990	17.464	17.449	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.156	0.063	0.030	0.109	0.385	0.009	0.072	0.000	0.011	

Tablo C.2. (Devamı)

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T _s									
-5.8	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.2	10.4	11.2	12.5	13.3	15.6	17.2	16.4
Hesaplanan değer (f _n)		16.232	13.755	9.551	9.763	10.234	13.613	14.450	17.555	17.541
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.132	0.064	0.012	0.089	0.304	0.002	0.029	0.001	0.023

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T _s									
-5.5	21.2	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.3	10.5	11.3	12.4	13.4	15.6	17.1	16.3
Hesaplanan değer (f _n)		16.043	13.630	9.520	9.735	10.195	13.529	14.415	17.343	17.329
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.171	0.100	0.024	0.116	0.285	0.010	0.032	0.003	0.016

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T _s									
-5.7	21.2	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.3	15.1	10.8	11.3	12.4	13.5	15.6	17.2	16.3
Hesaplanan değer (f _n)		16.009	13.569	9.427	9.641	10.100	13.437	14.262	17.318	17.299
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.200	0.078	0.080	0.139	0.320	0.014	0.049	0.008	0.014

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T _s									
-5.9	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.1	15.2	10.8	11.4	12.4	13.5	15.7	17.2	16.3
Hesaplanan değer (f _n)		16.211	13.724	9.504	9.721	9.186	13.571	14.371	17.540	17.526
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.119	0.069	0.066	0.142	0.288	0.013	0.047	0.001	0.030

Tablo C.2. (Devamı)

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T ₁									
-6.3	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		17.6	14.5	10.9	11.7	12.2	13.2	15.2	16.4	16.1
Hesaplanan değer (f _n)		16.199	13.613	9.304	9.519	9.985	13.397	14.131	17.476	17.461
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.050	0.011	0.129	0.296	0.294	0.006	0.022	0.018	0.042

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T ₁									
-6.2	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		18.0	14.7	10.8	11.5	12.1	13.8	15.2	16.5	16.2
Hesaplanan değer (f _n)		16.153	13.633	9.364	9.578	10.043	13.433	14.143	17.495	17.480
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.112	0.023	0.093	0.211	0.241	0.001	0.021	0.014	0.034

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T ₁									
-7.0	21.9	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		18.0	15.2	10.9	11.7	12.2	14.1	15.6	16.7	16.0
Hesaplanan değer (f _n)		16.314	13.677	9.217	9.431	9.903	13.364	13.879	17.716	17.700
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.086	0.076	0.151	0.331	0.326	0.004	0.107	0.015	0.081

Ortam sıcaklığı (°C)		D O Ğ O M N O K T A L A R I								
T _a	T ₁									
-7.4	21.6	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _a)		18.3	15.1	10.9	11.7	12.1	13.7	15.6	16.7	16.1
Hesaplanan değer (f _n)		15.994	13.339	8.858	9.067	9.531	12.952	13.312	17.397	17.381
$\chi^2=(f_a-f_n -0.5)^2/f_n$		0.203	0.119	0.268	0.501	0.449	0.004	0.240	0.002	0.035

Tablo C.2. (Devamı)

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-7.8	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.1	10.9	11.7	12.2	13.6	15.5	16.8	16.2
Hesaplanan değer (f _n)		15.831	13.143	8.613	8.819	9.279	12.689	12.914	17.751	17.235
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.220	0.161	0.370	0.642	0.631	0.013	0.336	0.000	0.016

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-8.2	21.2	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.3	15.2	10.9	11.7	12.2	13.5	15.4	16.7	16.1
Hesaplanan değer (f _n)		15.993	13.237	8.597	8.803	9.269	12.731	12.870	17.447	17.430
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.204	0.161	0.378	0.652	0.637	0.005	0.320	0.003	0.039

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-8.6	21.7	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.4	15.1	11.0	11.8	12.3	13.6	15.3	16.8	16.2
Hesaplanan değer (f _n)		15.835	13.043	8.352	8.555	9.018	12.470	12.478	17.300	17.283
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.269	0.185	0.552	0.880	0.858	0.031	0.432	0.000	0.019

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI								
T _a	T _i									
-8.1	21.1	10	11	14	15	16	17	18	19	20
Ölçülen değer (f _o)		18.4	15.2	10.9	11.7	12.2	13.7	15.4	16.7	16.3
Hesaplanan değer (f _n)		15.449	12.763	8.244	8.443	8.894	12.247	13.334	16.861	16.846
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.388	0.293	0.563	0.900	0.885	0.074	0.183	0.006	0.000

Tablo C.2. (Devamı)

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T ₁										
-8.7	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.4	15.2	10.9	11.8	12.2	13.5	15.4	16.9	16.4	
Hesaplanan değer (f _n)		15.651	12.868	8.191	8.391	8.849	12.271	12.221	17.114	17.097	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.323	0.260	0.595	1.008	0.918	0.043	0.587	0.004	0.002	

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T ₁										
-8.8	21.3	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.3	15.2	10.9	11.8	12.2	13.7	15.3	16.7	16.5	
Hesaplanan değer (f _n)		15.771	12.694	8.030	8.228	8.682	12.076	11.978	16.927	16.910	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.350	0.317	0.699	1.146	1.049	0.104	0.664	0.004	0.000	

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T ₁										
-9.0	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.2	11.0	11.8	12.2	13.6	15.4	16.5	16.4	
Hesaplanan değer (f _n)		15.593	12.777	8.050	8.249	8.706	12.133	11.995	17.068	17.051	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.284	0.289	0.745	1.128	1.029	0.077	0.703	0.000	0.001	

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T ₁										
-8.9	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.3	15.2	10.9	11.8	12.1	13.4	15.3	16.8	16.2	
Hesaplanan değer (f _n)		15.611	12.807	8.097	8.297	8.754	12.178	12.069	17.083	17.066	
$\chi^2=(f_o-f_n-0.5)^2/f_n$		0.306	0.279	0.665	1.086	0.925	0.042	0.617	0.002	0.007	

Tablo C.2. (Devamı)

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T _i										
-8.3	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.1	15.2	11.0	11.8	12.2	13.3	15.2	17.1	16.3	
Hesaplanan değer (f _n)		15.730	12.990	8.378	8.581	9.040	12.456	12.559	17.174	17.158	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.222	0.225	0.537	0.861	0.782	0.009	0.376	0.010	0.007	

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T _i										
-8.6	21.6	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.0	15.2	11.3	11.8	12.2	13.4	15.3	17.0	16.4	
Hesaplanan değer (f _n)		15.751	12.971	8.295	8.497	8.957	12.393	12.386	17.214	17.198	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.194	0.230	0.756	0.924	0.840	0.020	0.470	0.004	0.005	

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T _i										
-7.5	21.5	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.4	15.3	11.7	11.8	12.2	13.3	15.2	16.9	16.5	
Hesaplanan değer (f _n)		15.878	13.189	8.699	8.929	9.406	12.861	13.798	17.001	16.985	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.257	0.196	0.719	0.629	0.559	0.000	0.147	0.009	0.000	

Ortam sıcaklığı (°C)		DOĞUM NOKTALARI									
T _a	T _i										
-6.3	21.2	10	11	14	15	16	17	18	19	20	
Ölçülen değer (f _o)		18.2	15.3	11.8	11.9	12.3	13.4	15.2	17.2	16.6	
Hesaplanan değer (f _n)		15.889	13.385	9.145	9.356	9.814	13.158	13.803	17.222	17.207	
$\chi^2=(f_o-f_n -0.5)^2/f_n$		0.206	0.149	0.507	0.446	0.401	0.005	0.058	0.013	0.000	

ÖZGEÇMİŞ

- Yalçın YAŞAR 30.04.1954'te Yenisöölöz Köyü (Bursa)'nde doğdu.
- İlk Öğrenimini 1960-1965'te Yenisöölöz Köyü İlkokulu'nda
- Orta Öğrenimini 1965-1973'te Bursa Erkek Lisesi'nde
- Yüksek Öğrenimini 1974-1980'de KTÜ İnşaat-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde tamamladı.
- Yüksek Öğrenimi ve Sonrası 1977-1981, KTÜ Döner Sermaye İşletmesi, değişik bürolarda çeşitli mesleki çalışmalara katıldı.
- 20.07.-22.08.1981, Avusturya Hükümet Bursu'ndan yararlanarak Avusturya'ya gitti. Internationale Sommerakademie für Bildende Kunst Salzburg "Prof.Gustav Peichl, Wien" Mimarlık Sınıfı'ndan sertifika aldı.
- Aynı yıl KTÜ İnşaat Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Bilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak girdi.
- Halen KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.
- Evlidir ve bir kızı vardır.
- Yayınları "Türkiye'nin Yapılarda Enerji Sakınımı ile İlgili Yasal Düzenlemeleri", (M.B. Özdeniz ile birlikte) Enerji Dünyasının Sorunları, Seçenek ve Çözümleri Karşısında Türkiye Sempozyumu, Bildiriler, der., T. Yarman, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1985. s. 421-430.
- "Isı Korunumu ve Sorunları", 6. Enerji ve Enerji Tasarrufu Semineri, Bildiriler, der., TÜYAP, İstanbul, 1987. S. 111-116.
- Yapı Bilgisi Kitabı, (Yapı Ana Bilim Dalı Elemanları ile birlikte) KTÜ Basımevi Genel Yayın No: 126, M.Y.O. No: 7, Trabzon, 1988.
- Uygulama T.C. Çimento Sanayi A.Ş. "Tip Konut" projesi, KTÜ Döner Sermaye İşletmesi, 1982.
- Ödül "İmar İskan Bakanlığınca Açılan Gecekondu Bölgeleri ve Geri Kalmış Yörelerde Kiralık Konut Proje Yarışması", I. Mansiyon, (MMLS'de Danışman E.Özkan, M.B.Özdeniz ile birlikte), 1982.
- "Trabzon Belediye Sarayı Fikir Proje Yarışması", II. Ödül, (A. Özbilen ile birlikte), 1986.