



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAPALI HACİMLERDE İŞINIMLA
ISI TRANSFERİNİN SİMÜLASYONU

FARUK KAYNAKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2009



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAPALI HACİMLERDE IŞINIMLA
ISI TRANSFERİNİN SİMÜLASYONU

FARUK KAYNAKLI

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bursa – 2009

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAPALI HACİMLERDE IŞINIMLA
ISI TRANSFERİNİN SİMÜLASYONU

FARUK KAYNAKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 25/08/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Muhsin
KILIÇ
(Danışman)

Prof. Dr. Recep
YAMANKARADENİZ
(Jüri Üyesi)

Prof. Dr. Erdoğan
DİLAVEROĞLU
(Jüri Üyesi)

ÖZET

Görüş faktörü, ışınlımla ısı geçişinin önemli ve karmaşık konularından biridir. Bu çalışmada özellikle yüzeyler arasındaki görüş faktörünün hesaplanması üzerinde durulmuştur. Çünkü ışınlımla ısı geçişi hesaplamalarında genelde yüzey alanları, emissivite değerleri ve yüzey sıcaklıkları bilinmekte fakat yüzeylerin konumuna ve şekline göre görüş faktörünün belirlenmesi diğer parametrelere göre daha zor ve karmaşık olmaktadır.

Birçok problemde görüş faktörünün hesaplanması, oldukça karmaşık denklemlerin çözülmesini gerektirmektedir. Hesaplamaları kolaylaştırmak için yaygın olarak karşılaşılan sonlu geometrik şekiller için görüş faktörünü hesaplayan bir program hazırlanması bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Geliştirilen bilgisayar yazılımı ile literatürde karşılaşılan 23 geometri temel alınarak yüzeyler arasındaki görüş faktörleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Hazırlanan program, seçilen geometriye göre görüş faktörünü hesaplayabildiği gibi istenen aralık ve parametreye bağlı olarak iterasyon da yapabilmektedir. Geliştirilen yazılım, hem mühendislik eğitiminde hem de uygulamada kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Işınımla ısı transferi, görüş faktörü, simülasyon

SIMULATION OF RADIATIVE HEAT TRANSFER IN ENCLOSED VOLUMES

ABSTRACT

The view factor is one of the most important and complex issues of the radiative heat transfer. In this study, calculation of view factor between the surfaces is emphasized. Because, in calculations of radiation generally surface areas, emissivity values and surface temperatures are known, but determining of the view factors related to the surfaces' geometry and position are more difficult and complex.

Calculation of the view factors in many problems requires fairly complex equations to be solved. To develop the computer code that calculates the view factor for finite geometric shapes which are commonly encountered is the purpose of the study. Based on 23 different geometries in literature, the view factor between the surfaces can be easily calculated by developed computer code. The program can calculate the view factor depending on selected geometry and iterations desired range and parameter. Developed program may be used in both engineering education and practical applications.

Keywords: Radiative heat transfer, View factor, Simulation

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
1 GİRİŞ	1
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	4
3.1 Giriş	4
3.2 İletimle Isı Transferi	4
3.3 Taşınım ile Isı Transferi.....	8
3.4 Işınım ile Isı Transferi	11
3.4.1 Işınım ile ilgili temel kavramlar	11
3.4.2 Isıl ışı nım.....	12
3.4.3 Işınım şiddeti	15
3.4.4 Planck kanunu	16
3.4.5 Stefan-Boltzmann kanunu.....	17
3.4.6 Dalga bandında ışı nım	18
3.5 Yüzeyler Arasında Işınım ile Isı Transferi	18
3.5.1 Görüş faktörü.....	19
3.5.2 İki diferansiyel eleman arasındaki görüş faktörü	19
3.5.3 Bir diferansiyel alan ve bir sonlu alan arasındaki görüş faktörü.....	21
3.5.4 İki sonlu alan için görüş faktörü	22
3.6 Görüş Faktörü	23
3.6.1 Programda ele alınan geometriler.....	23
4 BİLGİSAYAR YAZILIMI.....	31
4.1 Giriş	31
4.2 Programın Tanıtımı	31
4.2.1 Problem listesi	32

4.2.2	Giriş parametreleri	32
4.2.3	Problem parametreleri.....	34
4.2.4	Sonuçlar	34
4.2.5	İterasyon sonuçları.....	34
5	ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	35
5.1	Problem 10: Eşit, Paralel Ve Karşılıklı Yerleştirilmiş İki Dikdörtgen Yüzey	35
5.2	Problem 11: Birbirine Dik, Bitişik İki Dikdörtgen Yüzey	37
5.3	Problem 12: Birbirine Paralel İki Dairesel Yüzey	39
5.4	Problem 17: Aynı Eksenli İç İç İki Silindir	42
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	45
7	KAYNAKLAR	46
	EK-1 : PROGRAMIN KAYNAK KODU	47
	ÖZGEÇMİŞ.....	62
	TEŞEKKÜR	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bazı akışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayı değerleri	10
Çizelge 5.1. Birbirine paralel iki dikdörtgen levha için veriler	36
Çizelge 5.2. Birbirine dik ve bitişik iki dikdörtgen levha için veriler	38
Çizelge 5.3. Birbirine paralel iki dairesel yüzey için veriler	40
Çizelge 5.4. İç içe, aynı eksenli iki silindir için veriler	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Yan yüzeyi yalıtılmış metal çubuk.....	5
Şekil 3.2. Değişik maddeler için ısı iletim katsayısı değerleri	7
Şekil 3.3. Hidrodinamik ve ısı sınır tabakalar.....	9
Şekil 3.4. Bir yüzeye gelen ışınımın yansıtılması, yutulması ve geçirilmesi.....	13
Şekil 3.5. Işınım şiddeti.....	15
Şekil 3.6. Işınım şiddetinin hacimsel açı üzerinde integrali.....	16
Şekil 3.7. 0 ile λ dalga boyu aralığında siyah cisim ışınımı.....	18
Şekil 3.8. Birbirini gören iki yüzey arasında görüş faktörü.	20
Şekil 4.1. Programın bölümleri	32
Şekil 4.2. Örnek problem	33
Şekil 5.1. Birbirine paralel iki dikdörtgen yüzey arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008)	35
Şekil 5.2. Birbirine paralel iki dikdörtgen yüzey arasında ışıma görüş faktörü.....	36
Şekil 5.3. Birbirine dik, bitişik iki dikdörtgen yüzey arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008).....	37
Şekil 5.4. Birbirine dik, bitişik iki dikdörtgen yüzey arasında ışıma görüş faktörü.....	38
Şekil 5.5. Birbirine paralel iki dairesel yüzey arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008)	39
Şekil 5.6. Birbirine paralel iki dairesel yüzey arasında ışıma görüş faktörü.....	40
Şekil 5.7. Aynı eksenli iç içe iki silindirin yüzeyleri arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008).....	42
Şekil 5.8. Aynı eksenli iç içe iki silindirin yüzeyleri arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008).....	43

SİMGELER DİZİNİ

A	: Alan
E_s	: Yayınım gücü, W/m^2
F	: Görüş Faktörü
h	: Isı taşınım katsayısı, W/m^2K
k	: Boltzman sabiti (1.3805×10^{-23}), J/K
Q	: Isı akısı, W
T	: Sıcaklık, °C veya K
σ	: Stefan-Boltzman sabiti (5.67×10^{-8}), $W/(m^2K^4)$
ε	: Yayma katsayısı
α	: Yutma katsayısı
λ	: Işınım dalga boyu
τ	: Işınım geçirme katsayısı
ρ	: Işınım yansıtma katsayısı

1 GİRİŞ

Bir ortamda yada ortamlar arasında sıcaklık farkı mevcutsa ısı geçişi olacaktır. Isı geçişi olayı gerçekleştiği fiziksel durumuna göre farklı mekanizma yada modlarda incelenir. Bir katı yada durgun akışkan ortamında sıcaklık farkı mevcutsa bu durumdaki ısı geçişini tanımlamak için iletim terimi kullanılır. Bir yüzey ile hareketli bir akışkan arasında sıcaklık farkı söz konusu ise bu iki ortam arasında ısı geçişini tanımlamak için taşınım terimi kullanılır. Sonlu sıcaklıktaki bütün yüzeyler elektromanyetik dalga formunda enerji yayarlar. Bu nedenle farklı sıcaklıklarda bulunan ve aralarında engelleyici bir ortam olmadan birbirini gören iki yüzey arasında ışınlama ısı transferi vardır.

Isı transferi modlarının temellerini oluşturan ve birim zamanda transfer edilen enerji miktarını belirlemekte kullanılan eşitliklerin elde edilmesini sağlayan fiziksel mekanizmaların anlaşılması mühendisler ve bilim adamları için oldukça önemlidir.

Bu çalışmada ısı transfer modlarından ışınlama ısı transferi ve özellikle görüş faktörünün hesaplanması üzerinde durulmuştur. Çünkü uygulamada genel olarak alan, emissivite ve yüzey sıcaklıkları bilinmekte fakat yüzeylerin konumuna ve şekline göre görüş faktörünün hesaplanması gerekmektedir.

Bir çok problemde görüş faktörünün hesaplanması için oldukça karmaşık denklemlerin çözülmesi gerekmektedir. Bu hesaplama işlemini kolaylaştırmak için yaygın olarak karşılaşılan sonlu geometrik şekiller için görüş faktörünü hesaplayan bir program hazırlanması bu çalışmanın temel amacıdır. Bu program sadece anlık bir durum için hesaplama yapabildiği gibi, birden çok parametrenin verilen aralıklardaki değerleri için iterasyon da yapabilmektedir.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalarda, öncelikle ışınlam konusunda literatürde yer alan özellikle ulusal ve uluslararası düzeyde kabul görmüş kitaplardan faydalanılmıştır. Isıl ışınlamın temel kavram ve teoremleri ele alınarak konu kapsamlı olarak irdelenmiştir. Daha sonra yüzeyler arasındaki ışınlam, görüş faktörü ve ilgili kavramlar üzerinde durulmuştur. Yüzeyler arasındaki ışınlamda ilk olarak diferansiyel elemanlar arasındaki daha sonra ise sonlu elemanlar arasındaki görüş faktörü bağıntıları ele alınmıştır. Yaralanılan temel kaynaklar arasında Modest (1993), Çengel (2003), Altınışık (2003), Kılıç ve Yiğit (2008) ve Howel (1982) sayılabilir. Jithesh ve ark. (2007) iki yüzey arasında net ışınlamı azaltan üçüncü yüzeyin gölgeleme etkisi üzerinde durmuştur.

Bu çalışmanın ilk adımını oluşturan taşınım ile ısı transferinin modellendiği ve bilgisayar ortamına aktarıldığı Ünver (2000)'de, akışın şekline ve karakteristiğine göre verilen temel Nusselt bağıntılarından faydalanılarak taşınım denklemleri çözdürülmüştür. Borular ve daha genel olarak kanallar içinde iç akış problemleri ele alındığı gibi düz yüzey üzerinden veya boru demetine dış akış konfigürasyonları da simülasyona dahil edilmiştir. Sonuçlar, Delphi programlama dilinde hazırlanan ve görsel bileşenlerle desteklenen yazılımın ayrı bir sayfasında kullanıcıya sunulmaktadır. Bu sayfada kullanıcı, sadece bir simülasyon sonucunu görebildiği gibi birkaç sonucu da karşılaştırmalı olarak ele alabilmektedir. Söz konusu çalışma, hem doğal hem de zorlanmış taşınım bağıntılarını içermektedir.

Temel ısı transferi bilgilerinin verildiği Kılıç ve Yiğit (2008)'den ışınlam ile ısı transferi ve diferansiyel elemanlar arasındaki görüş faktörleri konularında faydalanılmıştır. Diferansiyel ve sonlu elemanlar arasındaki görüş faktörü bağıntıları özet olarak verilmiştir. Yine temel bilgilerin yer aldığı Altınışık (2003)'de, ışınlam ile ısı transferi konusunda özellikle uygulamalı olarak ele alınan problemler dikkate alınarak sistematik belirlenmiştir. Görüş faktörlerinin daha kapsamlı ele alındığı Modest (1993)'de çok farklı geometrik konumlar için verilen eşitliklerden faydalanılmıştır. Bu kaynaktan, diğer çalışmalarda yer almayan ışınlam ile ısı transferinin gerçekleştiği konumlar için verilen görüş faktörü denklemleri de hazırlanan simülasyona aktarılmıştır. Aynı zamanda söz konusu kaynaktan, kullanıcıya denklemin ilgili olduğu geometrik durumu görsel olarak sunmak için de faydalanılmıştır.

Ribando ve Weller (1999), ısı transferi araçları ile ilgili yaptığı çalışmada birkaç basit geometrik şekil için görüş faktörünün hesaplatmasını MS Excel programında yapmıştır.

Ayrıca kullanılan görüş faktörü denklemlerinin kontrolü ve farklı birkaç geometrik konum için Howell (1982)'den faydalanılmıştır. Simülasyonda kullanılan eşitlikler söz konusu kaynakla tek tek kontrol edilmiş ve karşılaştırmalı grafikler oluşturulmuştur. Simülasyondan elde edilen sonuçlarla literatürdeki sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Sonuçların karşılaştırılması tezin ileriki bölümlerinde daha detaylı olarak ele alınacaktır.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Giriş

Bu bölümde temel ısı transferi mekanizmalarına giriş yapılmış, ışıınım ile ısı transferi konusu detaylı olarak ele alınmıştır. Simülasyonda kullanılan tüm eşitlikler şekilleri ile birlikte verilmiştir.

3.2 İletimle Isı Transferi

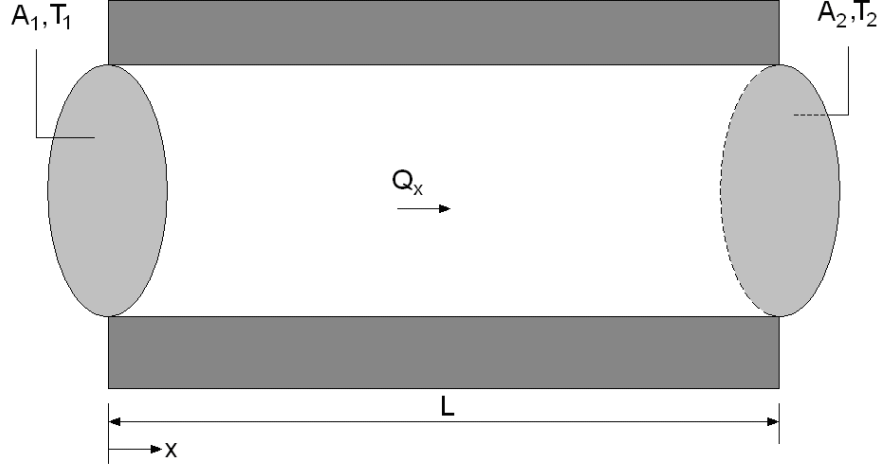
Isı transferinin bu modu atomik yada moleküler seviyedeki aktiviteler ile ilişkilidir. İletim bir maddenin partikülleri arasındaki ilişki esnasında daha fazla enerjiye sahip partiküllerden daha az enerjiye sahip partiküllere enerji transferi olarak görülebilir.

Fiziksel mekanizmayı açıklamak içinde sıcaklık gradyanı olan hareketsiz bir gaz kütlelerini ele alalım. Gaz farklı sıcaklıkta bulunan iki yüzey arasındaki hacmi dolduracaktır. Bu hacim içinde seçilen belli bir noktadaki sıcaklık bu noktadaki gaz moleküllerinin enerjisi ile ilişkilidir. Sürekli olarak komşu moleküllerin birbirleri ile çarpışması enerjisi fazla olan moleküllerden düşük enerjili moleküllere enerji transferine sebep olmaktadır. Sıcaklık gradyanının olması ile iletimle olan ısı transferi azalan sıcaklık yönünde gerçekleşir. Moleküllerin rastgele hareketleri dolayısıyla gerçekleşen net enerji transferi, enerjinin difüzyonu (yayılmı) olarak adlandırılabilir.

Sıvılarda da fiziksel mekanizma aynıdır, fakat moleküller birbirlerine daha yakın olarak buldukları için moleküller arası ilişkiler daha kuvvetli ve daha yüksek frekanslarda gerçekleşir. Benzer olarak katılarda iletim kafes yapılarında ortaya çıkan titreşimler ile ilişkilendirilebilir. İletken olmayan katılarda enerji transferi atomik kafes yapısında ortaya çıkan titreşimler ile olur. İletken katılarda ise buna ilave olarak serbest elektronların hareketleri de enerji transferinde etkilidirler.

Isı iletiminin temel denklemi Fourier ısı iletimi kanunu ile ifade edilir. Fourier ısı iletimi kanunu yapılan gözlemler ve deneyler sonucu elde edilmiştir. Bu kanunu açıklamak için yan yüzeyi yalıtılmış (ısı kaybı olmayan) bir metal çubuğu ele alalım. Silindirik şeklindeki çubuğun uç yüzeyleri $T_1 > T_2$ olacak şekilde sabit sıcaklıkta tutulduğunu kabul edelim. Bu durumda iki uç yüzey arasındaki sıcaklık farkı pozitif x yönünde ısı transferine neden olacaktır. Birim zamanda transfer edilen ısı (ısı transfer oranı) Q_x

ölçülebilir ve Q_x 'in, yüzeyler arası sıcaklık farkı $\Delta T (=T_2-T_1)$, kesit alanı $A (=A_1=A_2)$ ve çubuğun boyu $L (=x_2-x_1)$ ile değişimi incelenebilir.



Şekil 3.1. Yan yüzeyi yalıtılmış metal çubuk

İlk olarak ΔT ve L 'yi sabit tutalım ve kesit alanı A 'yı değiştirelim. Bu durumda Q_x 'in A ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenecektir. Benzer olarak ΔT ve A 'yı sabit tutarsak ve L 'yi değiştirirsek Q_x 'in L ile ters orantılı olarak değiştiği görülecektir. Son olarak A ve L sabit tutulup ΔT değiştirilirse, Q_x 'in ΔT ile doğru orantılı olarak değiştiğini gözlemleyebiliriz. O halde toplu olarak bunları aşağıdaki şekli ile ifade edebiliriz:

$$Q_x \propto A \frac{\Delta T}{L} \quad (3.1)$$

Çubuğun malzemesini (örneğin metal yerine plastik) değiştirirsek yukarıdaki orantının geçerli kaldığı gözlenecektir. Ancak, aynı A , L ve ΔT için plastik çubukta Q_x daha küçük olacaktır. Bu sonuç orantının bir eşitlik şekline dönüştürülebileceğini gösterir. Malzemenin ısı iletimindeki rolünün bir ölçüsü olarak orantı katsayısı da tanımlanarak (3.1) eşitliği:

$$Q_x = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W] \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Isı iletimi termodinamiğin II. Kanunu'na göre azalan sıcaklık yönünde olacağından pozitif ısı transferi oranı (Q_x) için (3.2) eşitliğinin sağ tarafı (-) ile

çarpılmıştır. Buradaki k , ısı iletim katsayısı (W/mK), malzemenin önemli bir özelliğidir. (3.2) eşitliği $\Delta x \rightarrow 0$ limit durumu için değerlendirilirse

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (3.3)$$

Şeklinde yazılabilir. (3.3) eşitliğinden faydalanılarak birim zamanda ve birim alandan transfer edilen enerji olarak ısı akısı (q_x [W/m^2]) aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad [W/m^2] \quad (3.4)$$

Isı akısı yöne bağımlı bir büyüklüktür, q_x 'in yönü; sıcaklık farkının olduğu doğrultuya dik ve kesit alanına (A) normal doğrultudadır. Genel olarak, ısı akışının yönü daima sabit sıcaklıktaki (izotermal) yüzeyin normali doğrultusundadır.

$q_n = -k \frac{dT}{dn}$ şeklinde tanımlanabilir. Burada q_n n yönündeki ısı akısıdır.

Isı akışının bir vektörel büyüklük olduğu bilinciyle, Fourier ısı iletimi kanununu kartezyen koordinat sisteminde genel bir ifade olarak

$$\vec{q} = (\vec{i}q_x + \vec{j}q_y + \vec{k}q_z) \quad [W/m^2] \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}$, $q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}$, $q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}$ dir. O halde (3.5)

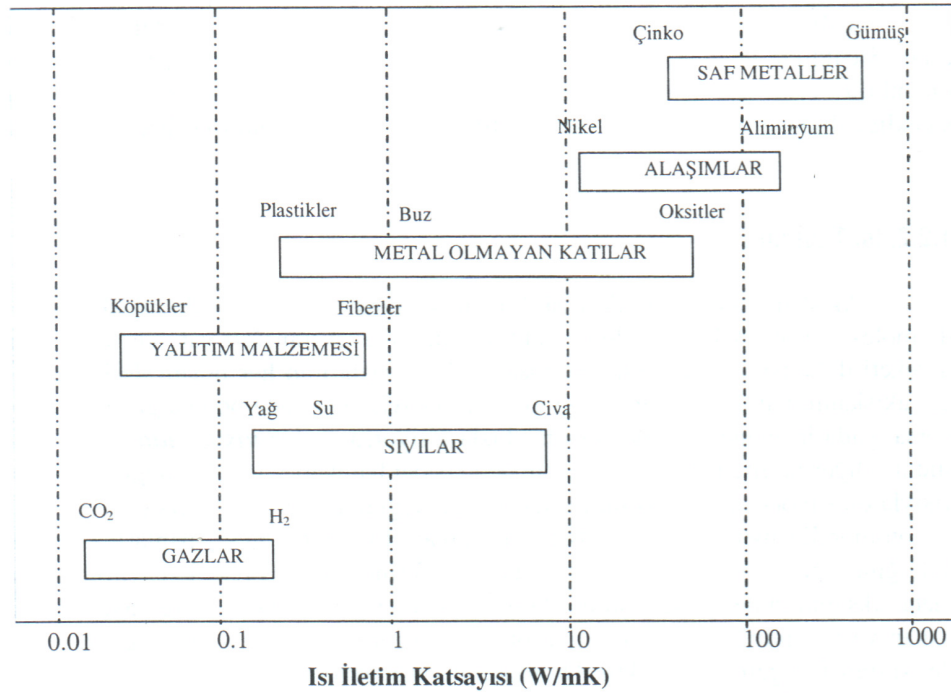
eşitliği yeniden düzenlenirse:

$$\vec{q} = -k\vec{\nabla}T = -k(\vec{i} \frac{\partial T}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial T}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial T}{\partial z}) \quad [W/m^2] \quad (3.6)$$

formunu alır. Burada $\vec{\nabla}$ üç boyutlu del operatörü ve $T(x,y,z)$ skalar sıcaklık dağılımıdır. Fourier ısı iletim kanunundan, ısı iletim katsayısı, k , x yönünde şu şekilde tanımlanır:

$$k_x \equiv -\frac{q_x}{(\partial T / \partial x)} \quad (3.7)$$

Eşitlikten de görülebileceği gibi ısı iletim katsayısı malzemenin bir özelliği olması yanında yöne ve sıcaklığa da bağlıdır. Verilen bir sıcaklık gradyanı için, iletimle ısı akısı artan ısı iletim katsayısı ile artar. Genel olarak katılar sıvılardan, sıvılar ise gazlardan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptirler. Isı iletim katsayısının değeri moleküller yada atomlar arasındaki mesafe ile bağlantılıdır. Isı iletim katsayısının değeri farklı maddeler için genel olarak aşağıdaki Şekil 3.2 ile verilmiştir.



Şekil 3.2. Değişik maddeler için ısı iletim katsayısı değerleri

Isı iletimi katılarda iki etki ile oluşur: serbest elektronların hareketi ve kafes yapısı titreşim dalgaları. Bu iki etkinin toplamı katılarda ısı iletim katsayısını belirler:

$$k = k_e + k_k$$

burada k_e serbest elektronların ısı iletim katsayısını, k_k da kafes yapısı titreşimlerinin etkisini göstermektedir. k_e elektrik direnci ile ters orantılıdır. Saf metallerde (düşük elektrik direncine sahiptirler) k_e 'nin etkisi k_k 'dan çok büyüktür. Bunun aksine alaşımlarda (yüksek elektrik direncine sahiptirler) k_k 'nın ısı iletim katsayısına etkisi ihmal edilemez. Metal olmayan katılarda k esas olarak k_k 'dan oluşur. Düzenli atom yapısına sahip katılarda k_k 'nın etkisi amorf yapıya sahip katılara nazaran çok daha fazladır. Isı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi önemli olabilir.

Akışkanlarda moleküller arası mesafe katılara nazaran daha fazla olduğu için ısıl enerji transferi daha az etkilidir. Bu nedenle gaz ve sıvıların ısı iletim katsayısı katılardan daha düşüktür. Gaz ve sıvıların ısı iletim katsayısı genellikle artan sıcaklıkla artar.

Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları, genellikle, artan sıcaklıkla artar. Sıcaklıkla değişim genellikle fazladır. Bu sonuç, uygulama için son derece önemlidir. Tablolardan

bu malzemelerin ısı iletim katsayıları alınırken uygulama sıcaklığı dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde önemli projelendirme hataları ortaya çıkabilir.

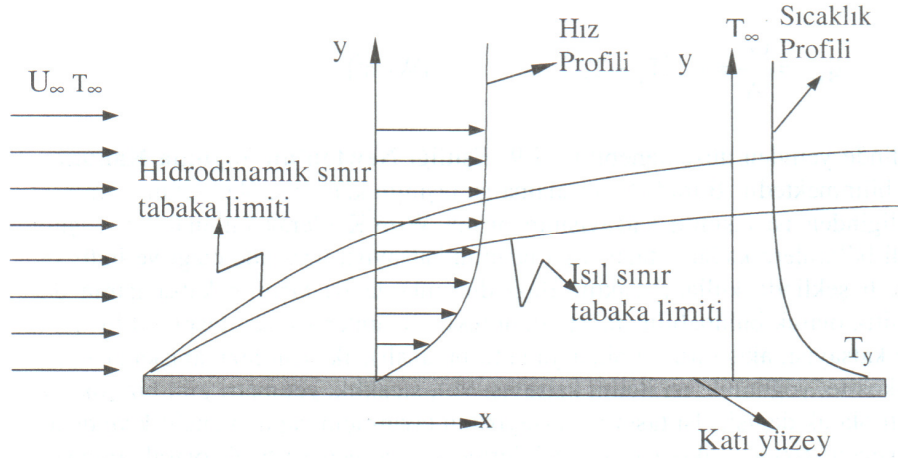
3.3 Taşınım İle Isı Transferi

Akışkan hareketiyle ilgili olan ısı transferinin bu modu; akışkan içinde moleküllerin etkileşmesiyle gerçekleşen iletimle ısı transferi yanında akışkanın hareketi dolayısıyla enerjinin taşınması mekanizmalarının her ikisini de içerir. Eğer akışkanın hareketi yardımcı bir araç vasıtasıyla (fan yada pompa gibi) sağlanıyorsa, yada incelenen hacme belli bir hızla giriyorsa zorlanmış taşınım söz konusudur. Diğer taraftan, incelenen hacimde akışkan hareketi yoğunluk değişimi dolayısıyla oluşuyorsa doğal taşınım ifadesi daha uygundur. Örneğin güneşli bir günde bir otomobilin metal kısımları, belli bir zaman diliminde, güneş ışınlarına maruz kaldığında güneş ışınımı dolayısıyla ısı transferine maruz kalacaktır. Otomobilin metal aksamının her yönde ışınım ile ısı kaybetmesi ile beraber çevre havasına da, ısınan ve yoğunluğu azalan havanın otomobil üzerinde hareketi ile, doğal taşınım ile ısı transferi gerçekleşecektir. Otomobil hareket ettiğinde ise çevre havasına zorlanmış taşınım ile ısı transferi gerçekleşecektir. Zorlanmış taşınımın, genelde, doğal taşınımdan çok daha fazla ısı transferine neden olduğu bilinmektedir.

Akışkan hareketi taşınım ile ısı transferinin ayırt edici bir özelliği olduğuna göre, ısı transferinin bu şeklini tanımlayabilmek için akışkanlar mekaniği prensiplerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Herhangi bir akışkan bir katı yüzey üzerinden akarken yüzey ile temas eden molekülleri sürtünme yada viskoz etkiler nedeniyle yüzeye yapışırlar. Yüzeye yapışan (yüzeyi ıslatan) bu moleküllerin yüzey üzerinde kaymadığı kabul edilirse burada akışkanın hızı sıfır olacaktır. Dolayısıyla katı bir yüzey üzerinden akan akışkanın hızı yüzeyde sıfır iken yüzeyden uzaklaştıkça artacak ve yüzeyden etkilenmeyen yeterince uzaktaki akışkan moleküllerinin serbest akış bölgesindeki hızına kadar çıkacaktır. Yüzey üzerinde akışkan hızının değiştiği bu bölge taşınım ile ısı transferinde önemli rol oynamaktadır. Şematik olarak Şekil 3.3 de gösterilen akışkan hızının değiştiği bu bölge, hidrodinamik sınır tabaka olarak isimlendirilir. Hidrodinamik sınır tabakanın kalınlığı; akışkan hızının serbest bölgedeki akışkan hızına oranının %99 olduğu yüzeye normal mesafe olarak alınır ve yüzeye paralel doğrultuda kalınlığı artar.

Hidrodinamik sınır tabaka içinde viskoz akış laminar veya türbülanslı olabilir. Laminer akış durumunda, akışın birbirleri üzerinde kayan yüzeye paralel katmanlar halinde olduğu ve katmanlar arasında akışkan alışverişinin olmadığı düşünülebilir. Fakat, gerçekte yüzeye normal doğrultuda da bir akışkan hareketi vardır ve bundan dolayı yüzeye paralel doğrultuda ilerledikçe sınır tabaka kalınlığı artar. Akışkan katmanları arasında akışkan alışverişinin az olması nedeniyle yüzeye normal doğrultuda ısı transferinin bir bölümü de iletimle gerçekleşir.

Türbülanslı akışta ise; ortalama akış hareketi yüzeye paralel olmasına rağmen sınır tabaka içindeki akışkan hareketinde hem yüzeye paralel hem de normal doğrultuda dalgalanmalar ve bir karışıklık söz konusudur. Bu da bu akışkanın karışmasına neden olur. Dolayısıyla türbülanslı akışta yüzeye paralel doğrultunun yanında normal doğrultuda da enerji akışkan moleküllerince taşınır. Bu nedenle türbülanslı akışta laminar akışa göre daha fazla ısı transferi gerçekleşir.



Şekil 3.3. Hidrodinamik ve ısı sınır tabakaları

Katı yüzey sıcaklığının serbest akış bölgesindeki akışkanın sıcaklığından büyük olduğunu kabul edelim (Şekil 3.3). Bu durumda, sürekli rejim halinde, yüzeydeki akışkan moleküllerinin sıcaklığı yüzey sıcaklığına eşit olacaktır. Yüzeyden normal doğrultuda uzaklaştıkça akışkanın sıcaklığı azalacak ve yeterince yüzeyden uzak bir mesafede akışkanın sıcaklığı serbest bölgedeki akışkan sıcaklığına eşit olacaktır. Yüzey üzerindeki sıcaklığın değiştiği bu bölge, hidrodinamik sınır tabaka benzeri (fakat aynı değil), bir tabaka oluşturacaktır. Bu tabaka ısı sınır tabaka olarak isimlendirilir. Isı sınır tabaka, hidrodinamik sınır tabakadan daha ince veya daha kalın olabilir.

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi birim zamandaki taşımınla ısı transferini hesaplayabilmek için akışkanlar mekaniği, ısı iletimi ve sınır tabaka teorilerini bilmek gerekmektedir. Ancak bu kompleks durum tek bir parametrenin üzerine indirgenip işlemler yapılabilir. Taşımınla transfer edilen ısıнын sıcaklık farkı ile orantılı olduğu bulunmuştur. Bu durumda

$$\frac{Q_t}{A} = \alpha (T_y - T_\infty) \quad [W/m^2] \quad (3.8)$$

yazılabilir. Bir orantı sabiti tanımlarsak 3.8 eşitliği;

$$q_{taş} = \frac{Q_t}{A} = h_m (T_y - T_\infty) \quad [W/m^2] \quad (3.9)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. (3.9) Eşitliği Newton'un Soğuma Kanunu olarak bilinmektedir. Burada h_m ortalama ısı taşımın katsayısı olarak tanımlanır. (3.9) eşitliğinden ısı taşımın katsayısının birimi W/m^2K olarak bulunabilir. Taşımınla ilgili bölümlere kadar ortalama ısı taşımın katsayısı; üzerinde çizgi ve indis olmadan, h şeklinde kullanılacaktır. Bazı durumlarda ısı taşımın katsayısının değeri analitik olarak bulunabilir, fakat çoğunlukla ölçümler sonucu tespit edilir. Isı taşımın katsayısı, akış türü (laminar yada türbülanslı), akışkan hızı, akışkan özellikleri (viskozite, yoğunluk, ısı iletim katsayısı vb), sıcaklık, geometri gibi bir çok etkene bağlı olarak değişir. Isı taşımın katsayısının tayini için yapılan analitik ve deneysel çalışmalar sonucu, akış karakteristiklerine ve geometriye bağlı olarak ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Çizelge 3.1 de bazı akışkanlar için ortalama ısı taşımın katsayısının alabileceği değerler görülmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı akışkanlar için ortalama ısı taşımın katsayı değerleri

Akışkan ve taşımın modu	h [W/m^2K]
Doğal Taşımın	
Hava	5-25
Su	30 – 600
Yağlar	5-300
Zorlanmış Taşımın	
Hava	10 – 300
Su	300- 15000
Yağlar	60- 1800
Kaynayan Su	2500 - 60000
Yoğuşan Buhar	5000- 120000

Taşıymıla ısı transferi problemleri sonuç olarak ısı taşıym katsayısının tayinine indirgenebilmektedir. Eğer ısı taşıym katsayısı belirlenebiliyorsa birim zamandaki ısı transferi (3.9) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. Taşıymıla ısı transferi, sık sık, ısı iletimi problemlerinde sınır şartı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlerde, genelde, ısı taşıym katsayısının önceden bilindiği veya verildiği varsayılır.

3.4 Işıymıla Isı Transferi

3.4.1 Işıymıla ilgili temel kavramlar

İletim ve taşıymıla ısı transferi mekanizmaları enerjinin içinden nakledilebileceği bir ortama gereksinim duymaktadırlar. Ancak enerji mutlak vakum ortamından, yani hiçbir maddenin bulunmadığı bir ortam içinden geçerek de transfer edilebilir. Bu mekanizma elektromanyetik ışınım (radyasyon) olarak tanımlanır. Işıymda enerji elektromanyetik dalgalarla ya da fotonlarla taşınır. Elektromanyetik ışınım, X ışınları, gama ışınları, görülebilen ışık spektrumu, radyo dalgaları gibi yaygın olarak bilinen dalga boyu aralıklarını da kapsayan, geniş bir spektruma sahiptir. Işıyma olayı ışığın vakum içindeki hızıyla gerçekleşir. Bu geniş ışım spektrumunda bizi ilgilendiren sadece ısı bileşenlerdir. Mutlak sıfır sıcaklığının üzerinde sonlu sıcaklığa sahip bütün maddeler çevrelerinden bağımsız olarak ışım ile enerji yayarlar. Net ısı transferi ise sıcak bölgeden soğuk bölgeye gerçekleşir. Dolayısıyla ortamdaki izafi olarak soğuk cisim yaptığı ışımada daha fazla enerji yutar.

Maddenin ısı enerjisinden kaynaklanan ve birim yüzeyinden birim zamanda serbest bırakılan enerji yayınım gücü E ile gösterilebilir. Stefan-Boltzman kanunu yayınım gücünün alabileceği maksimum değerini belirtmektedir:

$$E_s = \sigma.T_y^4 \quad [W / m^2] \quad (3.10)$$

Burada T_y yüzeyin mutlak sıcaklığı (K) ve σ Stefan-Boltzman sabiti ($\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$) dir. Maksimum yayınım gücüne sahip böyle bir yüzey ideal ışıymıcı yada siyah cisim olarak adlandırılır.

Siyah cisim ile aynı sıcaklığa sahip gerçek bir yüzey tarafından yayılan ısı akısı ise:

$$E = \varepsilon.\sigma.T_y^4 \quad [W / m^2] \quad (3.11)$$

şeklinde bulunabilir. ε , yüzeyin ışınım yayma özelliği olan (emissivity) yayınım oranıdır. Yayınım oranı değerini $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığındadır ve yüzeyin siyah cisme nazaran

enerji yayma etkinliğini göstermektedir. Siyah cisim için $\varepsilon=1$ dir. Yayınım oranı değerleri yüzeyin yapısına büyük oranda bağlıdır.

Yüzeyi gören diğer cisimlerden ve çevresinden yüzey üzerine ışıma olmaktadır. Işıma kaynağına bakmadan, yüzey üzerine düşen ışımandan, yüzeyin birim alanında birim zamanda absorbe edilen ışıma enerjisi, yüzeyin ışıma özelliklerinden yutma katsayısının (absorptivity) bilinmesi ile hesaplanabilir. Yani:

$$G_{abs} = \alpha.G \quad [W / m^2] \quad (3.12)$$

Yutma katsayısı değeri yüzey yapısına bağlı olarak $0 \leq \alpha \leq 1$ dir. Eğer $\alpha < 1$ ise yüzey opakdır ve yüzeye gelen ışının bir kısmı yansıtılmaktadır. Yüzey yarı geçirgen ise gelen ışının bir kısmı geçirilecektir. Absorbe edilen yada yüzey tarafından yayılan enerji, maddenin ısı enerjisini sırasıyla artırır yada azaltırken, yüzey tarafından yansıtılan yada geçirilen ışıma maddenin ısı enerjisinin değişmesinde bir etkiye sahip değildir. Yutma katsayısı α , yüzeyin yapısına bağlı olduğu kadar yüzey üzerine düşen ışının karakteristiğine de bağlıdır.

Özel bir durum olarak, T_y sıcaklığındaki bir yüzeyin, kendinden çok daha büyük ve yüzeyi $T_{çevre}$ sabit sıcaklığında olan bir hacim içinde olduğunu varsayalım. $T_y \neq T_{çevre}$ olması durumunda yüzey ile çevresi arasında ışımla ısı alışverişi gerçekleşecektir. Böyle bir durumda yüzey üzerine düşen ışıma, $T_{çevre}$ sıcaklığındaki bir siyah cismin ışınması sonucu gerçekleşen ışıma olarak değerlendirilebilir ve yüzeye düşen ışıma miktarı $G = \sigma.T_{çevre}^4$ olacaktır. Yüzeyin yutma katsayısı ile ışıma katsayısının eşit olduğu ($\alpha = \varepsilon$, gri yüzey) varsayılırsa yüzeyden birim zamanda birim alandan net ışımla ısı transferi için:

$$q_{ışınım} = \frac{Q}{A} = \varepsilon.E_b.(T_y) - \alpha.G.(T_{çevre}) = \varepsilon.\sigma.(T_y^4 - T_{çevre}^4) \quad [W / m^2] \quad (3.13)$$

ifadesi bulunur.

Bu ifade; birim zamanda ve birim alandan, yüzeyin ışıma ile kaybettiği enerji ile yüzeye gelen ışıma ile kazandığı enerji arasındaki farkı vermektedir.

3.4.2 Isıl ışıma

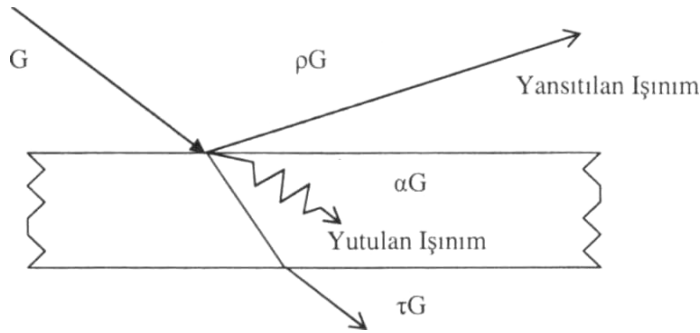
Isıl ışınımın, onun alt gruplarından biri olan, görünen ışığın, optik özelliklerini büyük oranda sergilediği bilinmektedir.

Şekil 3.4 de görüldüğü gibi bir yüzeye bütün dalga boylarında gelen toplam ışınım, yüzeyin özelliklerine bağlı olarak yutulabilecek, yansıtılabilecek, ya da madde içinden geçebilecektir.

Yüzeyden yutulan, yansıtılan ve geçirilen ışınım miktarlarının; yüzeye gelen ışınım miktarına oranları sırasıyla ışınım yutma oranı α , ışınım yansıtma oranı ρ ve ışınım geçirme oranı τ olarak tanımlanırsa;

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (3.14)$$

bağıntısı elde edilir.



Şekil 3.4. Bir yüzeye gelen ışınımın yansıtılması, yutulması ve geçirilmesi.

Yüzeylerin yapısına bağlı olarak iki tür yansıma gerçekleşir: doğrultuya bağlı yansıma ve yayılı yansıma. Doğrultuya bağlı yansımada yansıma açısı gelen ışınımın geliş açısına eşittir. Ancak yüzeylerin çoğu, doğrultuya bağlı yansımadan ziyade bütün doğrultularda yayılı yansıma gerçekleştirirler.

Çoğu katı maddelerin ışınım geçirme oranı sıfırdır, bu tür yüzeyler ısı ışınım için donuk (opak) olarak adlandırılır. Opak bir yüzey için Eşitlik (3.4) $\rho + \alpha = 1$ olacaktır.

Cisimleri üzerlerinden yansıyan ışınlar vasıtasıyla görürüz, eğer cisimden herhangi bir ışın yansıması olmaz ise bu cisim siyah olarak görünür. Isıl ışınım da üzerine gelen bütün dalga boylarındaki toplam ışınımı yutan ideal bir yüzey siyah cisim olarak adlandırılır. Siyah cisim üzerine gelen ışınımı ne yansıtır nede geçirir. Dolayısıyla bir siyah cisim için; $\rho=0$, $\tau=0$, $\alpha=1$ dir. Tamamen kapalı büyük bir hacim üzerindeki küçük bir delik içerenin özelliklerinden bağımsız olarak siyah cisim karakteristiğine çok

benzerdir. Deliğe gelen ışınının içeriden dışarıya yansıtılması oldukça zor bir ihtimaldir. Dolayısıyla ideal siyah bir cisim olarak kabul edilebilir.

Genel olarak Siyah Cisim aşağıdaki özelliklere sahip ideal bir yüzeydir:

Siyah cisim üzerine düşen ışınının bütünü (dalga boyu ve doğrultusundan bağımsız olarak) yutar.

Aynı sıcaklık ve dalga boyunda hiçbir yüzey siyah cisimden daha fazla enerji yayamaz ya da ışıma yapamaz.

Siyah cisim tarafından yapılan ışıma; sıcaklık ve dalga boyunun fonksiyonu olmasına rağmen, doğrultudan bağımsızdır. Diğer bir deyişle, siyah cisim bütün doğrultularda yayılı ışıma yapar.

Bir yüzeyin birim yüzey alanından bütün dalga boylarında ve bütün yönlerde ışıma yapmak suretiyle birim zamanda yaptığı enerji transferine toplam neşretme gücü denir ve E (W/m^2) ile gösterilir. Toplam neşretme gücü ile yakından ilgili olarak ışıma oranı (emissivity) tanımlanır. Işıma oranı (emissivity) ε ; bir yüzeyin toplam neşretme gücünün (E) aynı sıcaklıktaki siyah cismin toplam neşretme gücüne (E_s) oranı olarak şu şekilde tanımlanır:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_s} \quad (3.15)$$

Toplam neşretme gücü bütün dalga boylarında yapılan ışımayı kapsamaktadır, o halde her bir dalga boyu için bu dalga boyundaki monokromatik neşretme gücü E_λ tanımlanabilir. Dolayısıyla toplam neşretme gücü buna bağlı olarak,

$$E = \int_0^{\infty} E_\lambda \cdot d\lambda \quad (3.16)$$

şeklinde de tanımlanabilir. Monokromatik ışıma oranı (emissivity) Eşitlik (3.5) 'e benzer olarak $\varepsilon_\lambda = E_\lambda / E_{\lambda,s}$ olarak tanımlanır. Burada $E_{\lambda,s}$ aynı sıcaklıktaki siyah cismin λ dalga boyundaki monokromatik neşretme gücüdür. Monokromatik ışınım yutma oranı (absorptivity) α_λ , monokromatik ışıma oranına benzer olarak tanımlanabilir. Monokromatik ışınım yutma oranı (absorptivity) α_λ , yüzeyin üzerine gelen λ dalga boyundaki ışınımdan yutulan miktarının aynı sıcaklıktaki siyah cisim tarafından yutulan miktara oranı şeklinde tanımlanır.

3.4.3 Işınım şiddeti

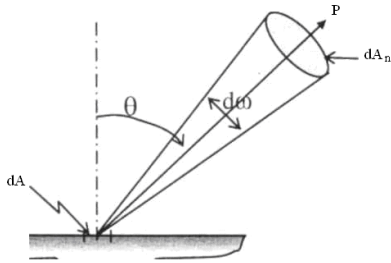
Bir yüzeyden belirli bir doğrultuda gönderilen ışınım enerjisi miktarını bulabilmek için belirtilen yol doğrultusunda ışınım şiddetinin belirlenmesi gerekir. Işınım şiddetinin belirlenmesinde ise tek ışın kavramı yetersiz kalmaktadır. Bu durumda hacimsel açı kavramını tanımlamak gerekmektedir. Şekil 3.5 deki yatay yüzey üzerindeki temsili alan parçası dA 'dan birim zamanda belli bir doğrultuda neşredilen ışınım enerjisini bulmaya çalışalım. P noktasında duran bir gözlemci dA alanına bakıyor olsun. Küresel koordinat sistemi; r radyal koordinatı, θ zenith (boylam) açısı ve (Φ) azimuthal (yatay) açı olmak üzere Şekil 3.5 de gösterilmiştir. Eğer dA alanından birim zamanda neşredilen toplam enerji dQ olarak tanımlanırsa ışınım şiddeti, I , aşağıdaki şekilde tarif edilir:

$$I \equiv \frac{d^2Q}{d\omega dA \cos\theta} \quad (3.17)$$

burada $d\omega$ diferansiyel hacimsel (katı) açıdır. P noktasından dA alanına bakıldığında alanın görünen boyutunun $dA \cos\theta$ olduğu açıktır. Yayılı ışıma yapan bir yüzeyde ışınımın doğrultudan bağımsız olduğunu hatırlayarak Eşitlik (3.13)'ü yeniden düzenlenecek olursa, toplam neşretme gücü, $E=dQ/dA$, ve ışınım şiddeti, I , arasındaki bağıntı aşağıda şekilde yazılabilir:

$$\frac{dQ}{dA} = E = \int I \cdot \cos\theta \cdot d\omega = I \cdot \cos\theta \cdot d\omega \quad (3.18)$$

Eşitlik (3.14) 'e bakıldığında yayılı ışıma yapan bir yüzey için bağıntının tamamen geometrik olduğu görülmektedir.



Şekil 3.5. Işınım şiddeti

Yatay bir yüzey üzerinde bir yan küreyi ele alalım ve yüzey üzerinde diferansiyel yüzey elemanı dA yer alsın. Şekil 3.6 da görüldüğü gibi koni ve yarıkürenin kesişim bölgesi olan alan bir hacimsel (katı) açı olarak isimlendirilir ve steradyan ile ölçülür. Katı açı;

büyüklik olarak, $\omega = A_n/r^2$ ya da $d\omega = dA_n/r^2$ şeklinde tanımlanır ve $dA_n = (r \cdot \sin\theta \cdot d\Phi)(r \cdot d\theta)$ olduğu göz önüne alınırsa,

$$d\omega = \frac{(r \cdot \sin\theta \cdot d\phi)(r \cdot d\theta)}{r^2} = \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi \quad (3.19)$$

bulunur. Birim alandan toplam neşretme gücü,

$$E = I \cdot \int \cos\theta \cdot d\omega = I \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi \quad (3.20)$$

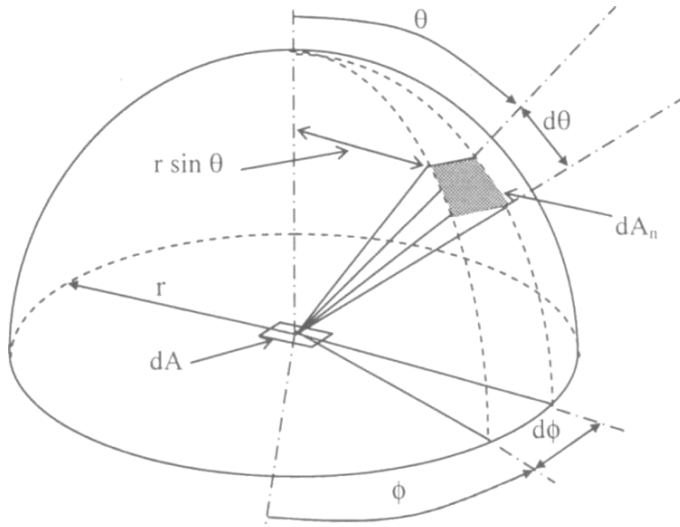
olarak ya da basitçe,

$$E = \pi \cdot I \quad (3.21)$$

şeklinde bulunur. Eğer yüzey yayılı ışıma yapmıyor ise bu durumda;

$$E = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi \quad (3.22)$$

olur.



Şekil 3.6. Işınm şiddetinin hacimsel açı üzerinde integrali

3.4.4 Planck kanunu

Siyah cismin neşretme gücünün dalga boyuna bağlı ifadesi Max Planck tarafından quantum teorisi vasıtasıyla elde edilmiştir. Bu ifade, Planck sabiti h (Eşitlik (3.3)), Boltzmann sabiti $k = 1.3805 \times 10^{-23}$ J/K, Eşitlik (3.1) ve (3.2) kullanılarak ışınm şiddeti şu şekilde bulunur:

$$I_{s,\lambda} = \frac{2.h.c_0^2}{\lambda^5.n^2[\exp(h.c_0/n.\lambda.k.T) - 1]} \quad (3.23)$$

Siyah cismin yayılı ışıma yaptığı hatırlanacak olursa, Eşitlik (3.17) 'de kullanılarak,

$$E_{s,\lambda} = \pi.I_{s,\lambda} = \frac{2.\pi.h.c_0^2}{\lambda^5.n^2[\exp(h.c_0/n.\lambda.k.T) - 1]} \quad (3.24)$$

elde edilir. $C_1=2.\pi.h.c_0^2= 3.742 \times 10^{-16}$ W.m² ve $C_2=hc_0/k=1.439 \times 10^{-2}$ mK olmak üzere Eşitlik (3.20) yeniden düzenlenirse,

$$E_{s,\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5.n^2[\exp(C_2/n.\lambda.T) - 1]} \quad (3.25)$$

şeklini alır. Eşitlik (3.21) siyah cismin neşretme gücünün, $E_{s,\lambda}$, dalga boyu ve sıcaklığın fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Eşitliğin her iki tarafı T^5 e bölünecek olursa eşitlik,

$$\frac{E_{s,\lambda}}{T^5} = \frac{C_1}{(\lambda.T)^5.n^2[\exp(C_2/n.\lambda.T) - 1]} \quad (3.26)$$

şeklini alır.

3.4.5 Stefan-Boltzmann kanunu

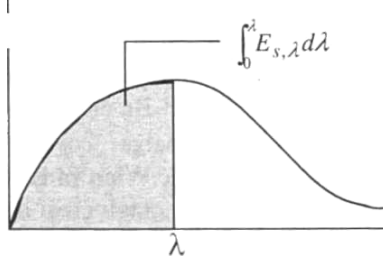
Eşitlik (3.21) ile verilen tek bir dalga boyu için siyah cismin neşretme gücü ifadesi, siyah cismin toplam neşretme gücünü bulmak için sıfır ile sonsuz dalga boyu aralığında integre edildiğinde,

$$E_s = \int_0^\infty E_{s,\lambda}.d\lambda = \frac{2.\pi^5.k^4.T^4}{15.c^2.h^3} = \sigma.T^4 \quad (3.27)$$

elde edilir. Burada σ Stefan-Boltzmann sabiti olarak isimlendirilir ve değeri $\sigma=5.67 \times 10^{-8}$ W/m²K⁴ dir. Bu sabitin diğer fiziksel sabitlerin bir kombinasyonu olduğu Eşitlik (3.23) de görülmektedir. Stefan-Boltzmann ifadesi Planck Kanunu'ndan önce deneysel çalışmalar ile 1879 da Stefan ve termodinamik bağıntılardan 1884 de Boltzmann tarafından elde edilmiştir. Stefan-Boltzmann sabitinin tam değeri 1900 yılında Planck Kanunu'nun bulunmasıyla, diğer fiziksel sabitlerle ortaya çıkan ilişkisi sonucu elde edilmiştir. Bu basit fakat oldukça önemli sonuç sayesinde, bir siyah cismin sıcaklığının bilinmesiyle bütün doğrultu ve dalga boylarında yaydığı ışıma gücünü hesaplayabilmek mümkün olmuştur.

3.4.6 Dalga bandında ışıınım

Mühendislik uygulamalarında bazen belirli bir dalga boyu aralığında (yada bandında) siyah cisimden olan ışıınının bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 3.7. 0 ile λ dalga boyu aralığında siyah cisim ışıını.

Belli bir sıcaklık ve 0 ile λ aralığı için Şekil 3.7 de görüldüğü gibi taralı bölge eğrinin altındaki toplam alana oranlanarak aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$F_{(0 \rightarrow \lambda)} = \frac{\int_0^{\lambda} E_{s,\lambda} \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{s,\lambda} \cdot d\lambda} = \frac{\int_0^{\lambda} E_{s,\lambda} \cdot d\lambda}{\sigma \cdot T^4} = \int_0^{\lambda T} \frac{E_{s,\lambda}}{\sigma \cdot T^5} \cdot d(\lambda T) = f(\lambda T) \quad (3.28)$$

Eşitlik (3.24) de $(E_{s,\lambda}/\sigma \cdot T^5)$ terimi dalga boyu sıcaklık çarpımının (λT) nin bir fonksiyonu olduğuna göre, $F_{(0 \rightarrow \lambda)}$ ifadesi (ΔT) nin fonksiyonu olarak yazılabilir. Bu sonuçlar iki dalga boyu λ_1 ve λ_2 arasındaki banttaki ışıını hesaplamada şu şekilde kullanılabilir:

$$F_{(\lambda_1 \rightarrow \lambda_2)} = \frac{\int_0^{\lambda_2} E_{s,\lambda} \cdot d\lambda - \int_0^{\lambda_1} E_{s,\lambda} \cdot d\lambda}{\sigma \cdot T^4} = F_{(0 \rightarrow \lambda_2)} - F_{(0 \rightarrow \lambda_1)} \quad (3.29)$$

3.5 Yüzeyler Arasında Işıınımla Isı Transferi

Önceki kısımda ışıınımda; yüzey özellikleri (ışııma, yutma, geçirme ve yansıtma) incelenmiş, küresel koordinatların detayları ile birlikte geometri ve yüzey etkisinin önemi de tartışılmıştı. Siyah cisim, gri cisim ve yayılı ışııma yapan yüzeylerde tanıtılmış, fakat gerçek ısı transferi miktarı hakkında fazla ayrıntılı bilgi verilmemişti. Stefan-Boltzmann kanunu tanıtılmış ancak yüzeyler arası ışıınım yolu ile ısı transferi hakkında bir eşitlik çıkarılmamıştı. Siyah cisim veya gri cisim davranışlarının hesaplamaları nasıl etkileyeceği bu kısımda incelenecektir. Aynı zamanda geometrinin ışıınımla ısı transferine etkisi de bu kısımda incelenecektir.

Uygulamadaki problemlerin bir kısmında ışıınım yoluyla olan ısı transferi göz önüne alınır, birçok problemde ise ihmal edilir. Mesela bir oda içindeki düz buhar borusunun

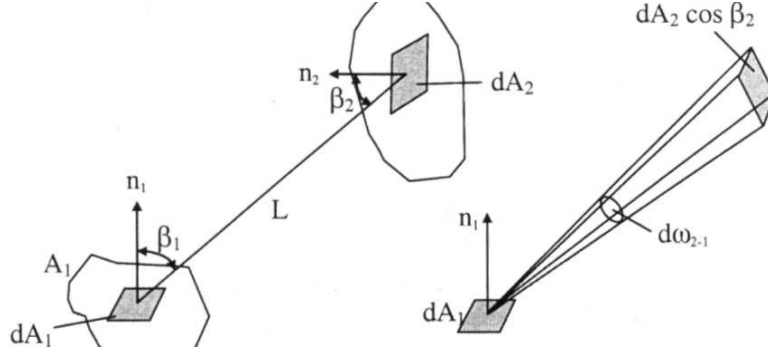
ısı kaybı çevresindeki havaya taşınım ve çevre yüzeylere ya da cisimlere ışıınım yolu ile olur. Belli şartlar altında ışıınım kayıpları taşınım kayıplarına eşittir. Bu durumda ışıınım kayıplarını ihmal etmek doğal olarak %50 hataya sebep olacaktır. Bu yüzden mühendislik problemlerinde ışıınımla ısı transferi de hesaplara katılmak zorundadır.

3.5.1 Görüş faktörü

Görüş faktörü geometrik bir terimdir ve iki yüzeyin ışıınım yoluyla enerji alış verişi yaptığı sistemler için kullanılır. Işıınım dalgaları doğrusal hatlar boyunca yayılırlar ve eğer bir yüzey diğerini göremiyorsa, birinci yüzeyden diğerine direkt ışıınım yoktur. Şöminedeki ateşi düşünelim. Ateşe tamamen kapalı bir noktada oturan kişi, şöminedeki ateşten doğrudan enerji alamaz. Bu durumun aksine, ateşin karşısında bir noktada oturan kişi ışıınım yolu ile doğrudan ısı alır. Hatta ateşe yakın oturan kişi ateşe uzak oturandan daha fazla ısı alır. Ateşin tam önünde oturan, yanlarda oturanlardan daha fazla ısı alır. Bu örnekte belirtildiği gibi, pozisyon (veya geometri) kaynakla alıcı arasındaki ışıınım yolu ile transfer edilen enerji miktarının belirlenmesinde önemlidir. Görüş faktörü kaynakla alıcı arasındaki uzaklık ve geometrilere bağlı olarak tanımlanır. Görüş Faktörü; bir cisimden (kaynak) ayrılıp diğer cisme (alıcı) direkt olarak giden ışıınımın oranı olarak da tanımlanabilir.

3.5.2 İki diferansiyel eleman arasındaki görüş faktörü

Şekil 3.7 de gösterilen A_1 ve A_2 yüzeyleri birbirini görebilmektedirler. A_1 üzerindeki bir diferansiyel eleman dA_1 , A_2 üzerindeki bir diferansiyel eleman dA_2 olarak tanımlanmıştır. Amacımız bu diferansiyel alanlar arasında görüş faktörü için bir eşitlik türetmektir. İki alan elemanı arasında çizilen doğru ile her bir diferansiyel alanın normalinin yaptığı açı β dır. Diferansiyel alanlar arasındaki mesafe L dir. β_1 , β_2 ve L değerleri dA_1 ve dA_2 nin seçildikleri yere bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.8. Birbirini gören iki yüzey arasında görüş faktörü.

Bölümün başlarında belirtildiği üzere dA_1 den ayrılan ve dA_2 tarafından kesilen (durdurulan) radyasyon (ışınım) ifadesi şu şekilde verilmiştir:

$$dQ_{d1-d2} = I_1 \cdot \cos \beta_1 \cdot dA_1 \cdot d\omega_{2-1} \quad (3.30)$$

Burada I_1 , dA_1 alanından yayılan radyasyonun yoğunluğu (ışınım şiddeti), $d\omega_{2-1}$ dA_1 yüzeyinden dA_2 yüzeyini gören katı açıdır. $d\omega_{2-1}$ katı açısı tarifinden,

$$d\omega_{2-1} = \frac{\cos \beta_2 \cdot dA_2}{L^2} \quad (3.31)$$

elde edilir. Bir siyah cisim için ışınlım şiddeti ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$I_{b1} = \frac{\sigma \cdot T_1^4}{\pi} \quad (3.32)$$

(3.31) ve (3.32) ifadeleri (3.30) eşitliğinde yerine yazarsak;

$$dQ_{d1-d2} = \frac{\sigma \cdot T_1^4}{\pi} \cdot \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_1 \cdot dA_2}{L^2} \quad (3.33)$$

bulunur. Aynı mantıkla devam ederek, dA_2 yüzeyi doğrultusunda dA_1 yüzeyini terk eden radyasyon ifadesi;

$$dQ_{d2-d1} = \frac{\sigma \cdot T_2^4}{\pi} \cdot \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_1 \cdot dA_2}{L^2} \quad (3.34)$$

olur. Burada (3.33) ve (3.34) ifadelerinin siyah cisimler için geçerli olduğu unutulmamalıdır. dA_1 diferansiyel alanını referans alarak, dA_1 ve dA_2 arasındaki ışınlımla olan net ısı transferi;

$$dQ_{d1-d2} = dQ_{d1-d2} - dQ_{d2-d1} \quad (3.35)$$

Burada " \rightarrow " notasyonu net ısı alış verişini belirten alt indis olarak kullanılmıştır. (3.33) ve (3.34) denklemleri yukarıdaki (3.35) de yerine yazılırsa;

$$dQ_{d1-d2} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \cdot \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_1 \cdot dA_2}{\pi \cdot L^2} \quad (3.36)$$

bulunur. Birim alan başına ısı alış verişi için ise;

$$\frac{dQ_{d1-d2}}{dA_1} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \cdot \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_2}{\pi \cdot L^2} \quad (3.37)$$

yazılabilir. Eşitlik (3.37); iki diferansiyel siyah cisim yüzeyi arasında, birim alan başına, birim zamandaki net ısı değişimi, alanlar arasındaki mesafe, yüzey sıcaklıklarının dördüncü kuvvetleri arasındaki fark, β_1 ve β_2 gibi açıları kapsayan geometrik terimler arasındaki ilişkiyi vermektedir. Bu eşitlikte geometriyi ifade eden;

$$dF_{d1-d2} = \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_2}{\pi \cdot L^2} \quad (3.38)$$

ifadesi görüş faktörü olarak tanımlanır.

Eşitlik (3.38) dA_1 yüzeyine olan net ısı alış verişi ifadesinden çıkarılmıştır. Yukarıdaki bağıntıları yeniden düzenleyip dA_2 yüzeyine olan net ısı transferi elde edilebilir. Bu takdirde sonuç;

$$\frac{dQ_{d2-d1}}{dA_2} = \sigma(T_2^4 - T_1^4) \cdot \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_1}{\pi \cdot L^2} \quad (3.39)$$

olacaktır. Buradan görüş faktörü;

$$dF_{d2-d1} = \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_1}{\pi \cdot L^2} \quad (3.40)$$

olarak bulunur. Eşitlik (3.38) ve (3.40) bağıntıların karşılaştırılması görüş faktörleri arasında bir ilişki olduğunu gösterir. (3.38) ifadesinin dA_1 ile çarpımı, (3.40) ifadesinin ile dA_2 ile çarpımına eşittir. Böylece aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$dA_1 \cdot dF_{d1-d2} = dA_2 \cdot dF_{d2-d1} = \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_2 \cdot dA_1}{\pi \cdot L^2} \quad (3.41)$$

Yukarıdaki ifade karşılıklı bağıntı olarak adlandırılır. Böylece birbirlerinden L mesafede olan iki siyah yüzey arasındaki net ısı alış verişi şu şekilde yazılabilir:

$$dQ_{d1-d2} = \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot dF_{d1-d2} \cdot dA_1 = \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot dF_{d2-d1} \cdot dA_2 \quad (3.42)$$

3.5.3 Bir diferansiyel alan ve bir sonlu alan arasındaki görüş faktörü

Şekil 3.7 de dA_1 ve A_2 alanları arasındaki görüş faktörünü bulmak için, öncelikle, Eşitlik (3.38) ifadesinin A_2 alanı üzerinde integralinin alınması gerekir.

$$F_{d1-2} = \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2 \cdot dA_2}{\pi \cdot L^2} \quad (3.43)$$

Yukarıdaki integral alındığında görüş faktörünün artık diferansiyel bir büyüklük olmayacağına dikkat ediniz. Eşitlik (3.43); dA_1 yüzeyinin net ışınlama ısı transferi hesaplanmasında çıkarılan görüş faktörü olduğudur. Diğer yandan, A_2 yüzeyi üzerinde net ışınlama ısı transferi hesaplanmasında daha farklı bir görüş faktörü ortaya çıkacaktır. Eşitlik (3.41) de bulunan sonuçtan faydalanarak; enerji dengesini oluşturarak veya daha basitçe karşılıklı bağıntı kullanılarak aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$A_2 \cdot dF_{2-d1} = dA_1 \cdot F_{d1-2} \quad (3.44)$$

İlk bakışta notasyon karmaşık görünebilir, fakat tutarlıdır. Görüş faktörü ancak, alıcı diferansiyel bir alan olduğunda dF olarak yazılabilir. Bu yüzden dA_1 ve A_2 arasındaki ısı alış verişi ifadesi şu şekli alır:

$$dQ_{d1 \rightarrow 2} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \cdot dA_1 \cdot F_{d1-2} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \cdot A_2 \cdot dF_{2-d1} \quad (3.45)$$

Burada A_2 alanının sabit sıcaklıkta (izotermal) ve sıcaklığının T_2 olduğunu hatırlatmak yararlı olacaktır.

3.5.4 İki sonlu alan için görüş faktörü

Yine Şekil 3.7 referans alınarak A_1 ve A_2 sonlu alanları arasında görüş faktörünü veren bir bağıntıyı, enerji balansını yazmak ve iki alan arasındaki net enerji alış verişini değerlendirmek suretiyle çıkarabiliriz. Bir alternatif olarak da, (3.38) ifadesini çıkarmada kullanılan yolla aşağıdaki ifade elde edilir:

$$F_{1-2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi \cdot L^2} \quad (3.46)$$

A_2 den A_1 e olan görüş faktörü de benzer bir şekilde,

$$F_{2-1} = \frac{1}{A_2} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi \cdot L^2} \quad (3.47)$$

olarak çıkartılabilir. Bu görüş faktörleri arasındaki bağıntı ise,

$$A_1 \cdot F_{1-2} = A_2 \cdot F_{2-1} \quad (3.48)$$

olur. Bu takdirde A_1 yüzeyinden ışımla yayılan enerjiden A_2 yüzeyine ulaşan enerji,

$$Q_{1-2} = \sigma \cdot T_1^4 \cdot A_1 \cdot F_{1-2} \quad (3.49)$$

olur benzer şekilde A_2 yüzeyinden ışımayla yayılan enerjiden A_1 yüzeyine ulaşan enerji,

$$Q_{2-1} = \sigma \cdot T_2^4 \cdot A_2 \cdot F_{2-1} \quad (3.50)$$

olur.

Bu takdirde iki yüzey arasında ışınlama ile net enerji transferi;

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \cdot A_1 \cdot F_{1-2} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \cdot A_2 \cdot F_{2-1} \quad (3.51)$$

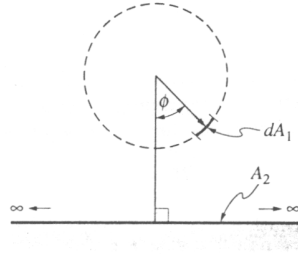
şeklinde hesaplanabilir.

3.6 Görüş Faktörü

Bu tez kapsamında farklı geometrilere sahip cisimler arasında ışınlama ile ısı transferi hesabında kullanılan görüş faktörü ile ilgili eşitlikler aşağıda verilmiştir. Hazırlanan bilgisayar programında tüm bu geometrik şekiller kullanıcıya liste halinde sunulmaktadır ve kullanıcı istediği şekil ile ilgili görüş faktörünün hesaplatmasını yapabilmektedir.

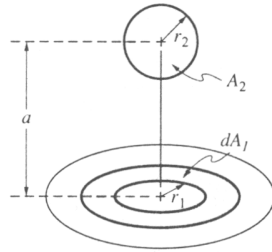
3.6.1 Programda ele alınan geometriler

1. Sonsuz küçük silindir elemanından sonsuz levhaya olan görüş faktörü



$$F_{d1-2} = \frac{1}{2}(1 + \cos \phi)$$

2. Dairesel levha üzerinden alınan sonsuz küçük halka elemanından küreye olan görüş faktörü

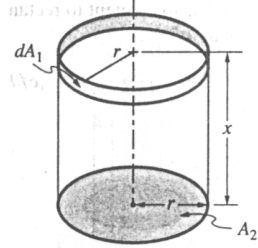


$$R_1 = r_1 / a$$

$$R_2 = r_2 / a$$

$$F_{d1-2} = \frac{R_2^2}{(1 + R_1^2)^{3/2}}$$

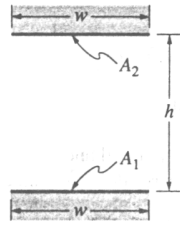
3. Sonsuz küçük halka elemandan dairesel silindir tabanına olan görüş faktörü



$$X = x/2.r$$

$$F_{d1-2} = \frac{X^2 + \frac{1}{2}}{\sqrt{X^2 + 1}} - X$$

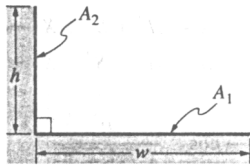
4. Aynı sonlu genişlik ve sonsuz uzunluktaki paralel iki levha arasında görüş faktörü



$$H = h/w$$

$$F_{1-2} = F_{2-1} = \sqrt{1 + H^2} - H$$

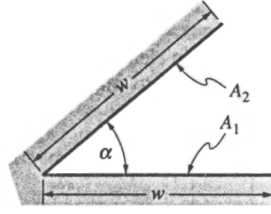
5. Farklı h ve w genişliğine sahip, birer kenarı ortak, birbirine dik iki sonsuz levha arasındaki görüş faktörü



$$H = h/w$$

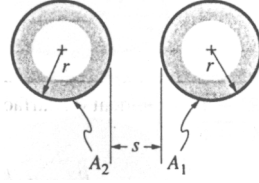
$$F_{1-2} = \frac{1}{2} \left(1 + H - \sqrt{1 + H^2} \right)$$

6. Ortak w genişliğinde, kama şeklinde bir kenarı ortak, aralarında α açısı olan iki sonsuz levha



$$F_{1-2} = F_{2-1} = 1 - \sin \frac{\alpha}{2}$$

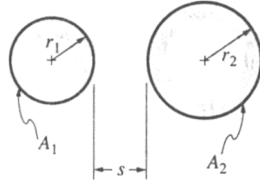
7. Aynı çapta sonsuz iki silindir arasında görüş faktörü



$$X = 1 + \frac{s}{2.r}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{\pi} \left(\sin^{-1} \frac{1}{X} + \sqrt{X^2 - 1} - X \right)$$

8. Farklı yarıçapta sonsuz iki silindir arasındaki görüş faktörü



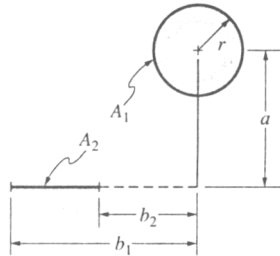
$$R = r_2 / r_1$$

$$S = s / r_1$$

$$C = 1 + R + S$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \pi + \sqrt{C^2 - (R+1)^2} - \sqrt{C^2 - (R-1)^2} + (R-1) \cdot \cos^{-1} \frac{R-1}{C} - (R+1) \cdot \cos^{-1} \frac{R+1}{C} \right\}$$

9. Sonsuz uzun silindir dış yüzeyi ile, asimetrik olarak yerleştirilmiş sonsuz uzun paralel dikdörtgen arasında görüş faktörü

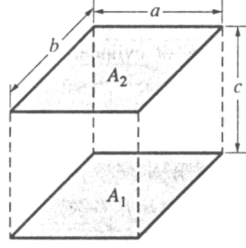


$$B_1 = b_1 / a$$

$$B_2 = b_2 / a$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{2\pi} \left(\tan^{-1} B_1 - \tan^{-1} B_2 \right)$$

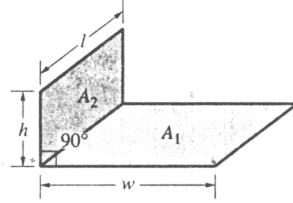
10. Eşit, paralel ve karşılıklı yerleştirilmiş iki dikdörtgen



$$X = a/c \quad Y = b/c$$

$$F_{1-2} = \frac{2}{\pi \cdot X \cdot Y} \cdot \left\{ \ln \left[\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} \right]^{1/2} + X \sqrt{1+Y^2} \cdot \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right. \\ \left. + Y \sqrt{1+X^2} \cdot \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} - X \cdot \tan^{-1} X - Y \cdot \tan^{-1} Y \right\}$$

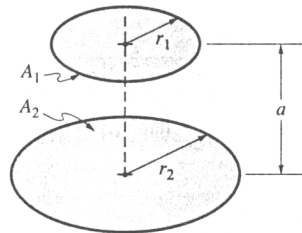
11. Birbirine dikey bir kenarları ortak, sonsuz uzun iki levha



$$H = h/l \quad W = w/l$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{\pi \cdot W} \left(W \cdot \tan^{-1} \frac{1}{W} + H \cdot \tan^{-1} \frac{1}{H} - \sqrt{H^2 + W^2} \cdot \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{H^2 + W^2}} \right. \\ \left. \frac{1}{4} \cdot \ln \left\{ \frac{(1+W^2)(1+H^2)}{1+W^2+H^2} \left[\frac{W^2(1+W^2+H^2)}{(1+W^2)(W^2+H^2)} \right]^{W^2} \left[\frac{H^2(1+H^2+W^2)}{(1+H^2)(H^2+W^2)} \right]^{H^2} \right\} \right)$$

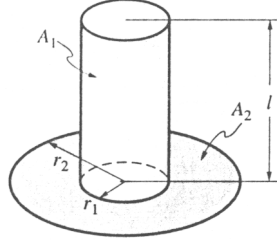
12. Farklı yarıçapta eşmerkezli iki disk



$$R_1 = r_1/a \quad R_2 = r_2/a \quad X = 1 + \frac{1+R_2^2}{R_1^2}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{2} \left\{ X - \sqrt{X^2 - 4 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right\}$$

13. Silindir dış yüzeyinden, silindir ucundaki diske olan görüş faktörü



$$R_1 = r_1 / a$$

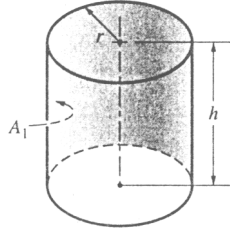
$$R_2 = r_2 / a$$

$$A = L^2 + R^2 - 1$$

$$B = L^2 - R^2 + 1$$

$$F_{1-2} = \frac{A}{8LR} + \frac{1}{2\pi} \left[\cos^{-1} \frac{A}{B} - \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{(A+1)^2}{R^2} - 4} \cdot \cos^{-1} \frac{AR}{B} - \frac{A}{2RL} \cdot \sin^{-1} R \right]$$

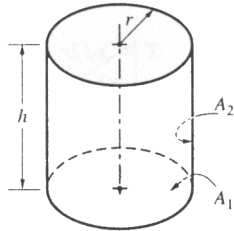
14. Silindir iç yüzeyinin kendine olan görüş faktörü



$$H = h/2r$$

$$F_{1-1} = 1 + H - \sqrt{1 + H^2}$$

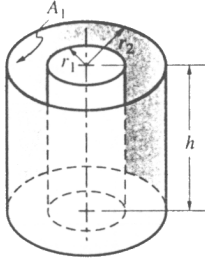
15. Silindir iç yüzeyinin kendi iç tabanına olan görüş faktörü



$$H = h/2r$$

$$F_{1-2} = 2H \cdot \left[\sqrt{1 + H^2} - H \right]$$

16. İç içe eşmerkezli sonlu uzunluktaki iki silindirin içteki yüzeyin dıştaki yüzeye olan görüş faktörü

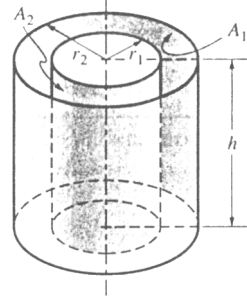


$$R = r_2 / r_1$$

$$H = h / r_1$$

$$F_{1-2} = 1 - \frac{1}{R} - \frac{H^2 + 4R^2 - H}{4R} + \frac{1}{\pi} \left(\frac{2}{R} \cdot \tan^{-1} \frac{2\sqrt{R^2 - 1}}{H} - \frac{H}{2R} \left\{ \frac{\sqrt{4R^2 + H^2}}{H} \cdot \sin^{-1} \frac{H^2 + 4(R^2 - 1) - 2H^2 / R^2}{H^2 + 4(R^2 - 1)} - \sin^{-1} \frac{R^2 - 2}{R^2} \right\} \right)$$

17. İç içe eşmerkezli sonlu uzunluktaki silindirin dış yüzeyin içteki yüzeyi görüş faktörü

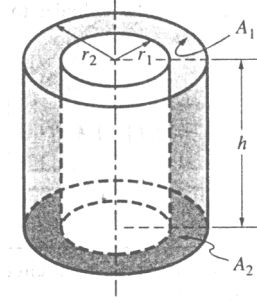


$$R = r_2 / r_1$$

$$H = h / r_1$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{R} \left(1 - \frac{H^2 + R^2 - 1}{4H} - \frac{1}{\pi} \left\{ \cos^{-1} \frac{H^2 - R^2 + 1}{H^2 + R^2 - 1} - \frac{\sqrt{(H^2 + R^2 + 1)^2 - 2R^2}}{2H} \cdot \cos^{-1} \frac{H^2 - R^2 + 1}{R(H^2 + R^2 - 1)} - \frac{H^2 - R^2 + 1}{2H} \cdot \sin^{-1} \frac{1}{R} \right\} \right)$$

18. İç içe eşmerkezli sonlu uzunluktaki iki silindirden dıştakinin iç yüzeyinin, iki silindirin tabanları arasında kalan alanı görme faktörü



$$H = h/r_2$$

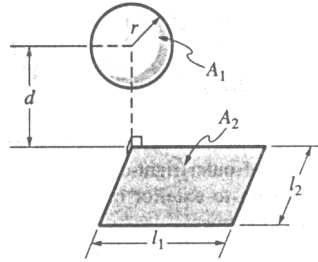
$$R = r_1/r_2$$

$$X = \sqrt{1-R^2}$$

$$Y = \frac{R(1-R^2-H^2)}{1-R^2+H^2}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{\pi} \left\{ R \left(\tan^{-1} \frac{X}{H} - \tan^{-1} \frac{2X}{H} \right) + \frac{H}{4} \left[\sin^{-1}(2R^2-1) - \sin^{-1} R \right] \right. \\ \left. + \frac{X^2}{4H} \left(\frac{\pi}{2} + \sin^{-1} R \right) - \frac{\sqrt{(1+R^2+H^2)^2 - 4R^2}}{4H} \left(\frac{\pi}{2} + \sin^{-1} Y \right) \right. \\ \left. + \frac{\sqrt{4+H^2}}{4} \left[\frac{\pi}{2} + \sin^{-1} \left(1 - \frac{2R^2 H^2}{4X^2 + H^2} \right) \right] \right\}$$

19. Küreden sonlu büyüklükteki dikdörtgen levhaya



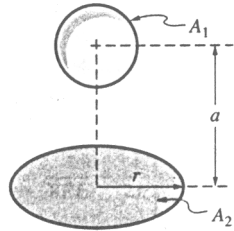
$$r < d$$

$$D_1 = d/l_1$$

$$D_2 = d/l_2$$

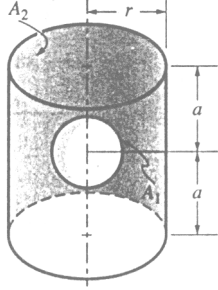
$$F_{1-2} = \frac{1}{4\pi} \cdot \tan^{-1} \sqrt{\frac{1}{D_1^2 + D_2^2 + D_1^2 D_2^2}}$$

20. Küreden eşmerkezli diske



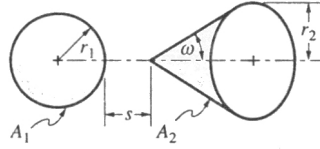
$$R = r/a \quad F_{1-2} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+R^2}} \right]$$

21. Silindir içerisindeki küreden silindirin iç yüzeyine



$$R = r/a \quad F_{1-2} = \frac{1}{\sqrt{1+R^2}}$$

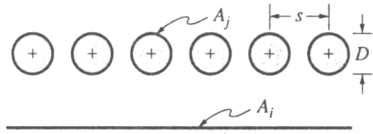
22. Küreden eşmerkezli koniye



$$S = s/r_1 \quad R = r_2/r_1$$

$$\omega \geq \sin^{-1} \frac{1}{S+1} \text{ için} \quad F_{1-2} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1+S+R \cdot \cot \phi}{\sqrt{(1+S+R \cdot \cot \phi)^2 + R^2}} \right]$$

23. Sonsuz levhadan, bu levhaya paralel silindir sırasına



$$F_{1-2} = \frac{1}{\pi} \left(\cos^{-1} \frac{D}{s} + \frac{s}{D} - \sqrt{\left(\frac{s}{D} \right)^2 - 1} \right)$$

4 BİLGİSAYAR YAZILIMI

4.1 Giriş

Çalışmanın bu kısmında, aralarında sıcaklık farkı bulunan iki yüzey arasındaki ışınlama ısı transferinin hesaplanmasında etkili olan görüş faktörünün ve ısı transferi miktarının hesaplanması için geliştirilen bilgisayar programı tanıtılmıştır. Program ısı akısının hesaplanmasında aşağıda görülen Stefan-Boltzman denklemini kullanmaktadır:

$$Q_{1-2} = A_1 \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot F_{1-2} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (4.1)$$

Bu denklemdeki alan (A), emissivite (ϵ), sıcaklıklar (T_1 , T_2) ve seçilen problem türüne göre gereken geometrik parametreler kullanıcı tarafından girilmektedir. Program da verilen parametreler yardımı ile görüş faktörünü (F) ve ısı akısını (Q) hesaplamaktadır. Görüş faktörünün hesaplanmasında oldukça karmaşık denklemler mevcuttur. Bu tür denklemlerin bilgisayar yardımı olmadan çözülmesi oldukça vakit alır ve hata yapma ihtimali yüksektir. Bu nedenle, bu ifadeleri bilgisayar ortamında çözdürmek ve insanların kolayca kullanabileceği paket programlar haline getirmek yararlı olacaktır. Ayrıca program; parametrelerden her birinin iki değeri arasında iterasyon yapabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, özellikle yurtiçinde bu konudaki eksikliğin görülmesi nedeniyle, 23 adet görüş faktörünün hesaplanması için Delphi 7 programlama dili kullanılarak bir program hazırlanmış ve görsel öğelerle zenginleştirilerek son kullanıcıya hazır hale getirilmiştir. Mühendislik uygulamalarında da kullanıcıya kolaylık sağlayacak bu program temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi; anlık bir durum için (parametrelerin tek bir değeri) görüş faktörü ve ısı akısının hesaplanması, ikincisi ise; bir veya birden çok parametrenin belirli bir aralıkta verilen adımları için görüş faktörü ve ısı akısının hesaplanması. Böylelikle görüş faktörü ve ısı akısının bir parametrenin değişimi ile nasıl değiştiği incelenebilmektedir.

4.2 Programın Tanıtımı

Programın görünümünü 5 bölüme ayırarak inceleyebiliriz:

1. Çözmek istediğimiz problem türünü seçeceğimiz liste
2. Problem türünden bağımsız giriş değerleri
3. Problem türüne göre vermemiz gereken giriş parametreleri

4. Hesaplanan görüş faktörü ve ısı akısı
5. Eğer iterasyon yaptırmış isek, tıkladığımızda iterasyon sonuçlarını görebileceğimiz 'İterasyon Sonuçları' sekmesi.

Şimdi bu bölümleri detaylı olarak inceleyelim:

Kapalı Hacimlerde Işımla Isı Transferinin Simülasyonu

$$Q_{1-2} = A_1 \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot F_{1-2} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

İterasyon yap

	İlk Değer	Son Değer	Adım
Alan (A)	1 m ²		
Emissivite (E)	1		
Sıcaklık (T1)	35 °C		
Sıcaklık (T2)	25 K		

11.)

h	m		
w	m		
l	m		

Görüş Faktörü (F)

İşinim (Q) W

HESAPLA

Birbirine dik, bir kenarları ortak, sonsuz uzun iki levha

$H = h/l, W = w/l$

$$F_{1-2} = \frac{1}{\pi W} \left(W \tan^{-1} \frac{1}{W} + H \tan^{-1} \frac{1}{H} - \sqrt{H^2 + W^2} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{H^2 + W^2}} \right) + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{(1+W^2)(1+H^2)}{1+W^2+H^2} \left[\frac{W^2(1+W^2+H^2)}{(1+W^2)(W^2+H^2)} \right]^{W^2} \left[\frac{H^2(1+H^2+W^2)}{(1+H^2)(H^2+W^2)} \right]^{H^2} \right)$$

Farklı yarıçapta, eşmerkezli paralel iki disk

$R_1 = r_1/a, R_2 = r_2/a$

$$X = 1 + \frac{1+R_2^2}{R_1^2}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{2} \left\{ X - \sqrt{X^2 - 4 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right\}$$

Silindirin dış yüzeyinden, silindirin ucundaki diske olan görüş faktörü

$R = r_1/r_2, L = l/r_2,$

$$A = L^2 + R^2 - 1,$$

Görüş Faktörleri | İterasyon Sonuçları

Şekil 4.1. Programın bölümleri

4.2.1 Problem listesi

Bu çalışmada 23 adet görüş faktörü problemi ele alınmıştır. Bu listede problemin şekli, görüş faktörünün hesaplanmasında kullanılacak denklem ve bu denklemde kullanılacak parametreler belirtilmiştir. İlk adım olarak çözmek istediğimiz problem türünü bu listeden seçiyoruz.

4.2.2 Giriş parametreleri

Görüş faktörü ve ısı akısının hesaplanmasında, seçtiğimiz problem türünden bağımsız olarak girmemiz gereken parametrelerin değerlerini bu bölümde veriyoruz. Burada sadece 'İlk Değer' sütununa bilgi girmemiz yeterli olacaktır. Eğer anlık bir durum için

değil de, bir veya birden fazla parametrenin farklı değerleri için iterasyon yaptırmak istiyorsak bu kısmın en üstünde bulunan 'İterasyon Yap' onay kutusunu işaretlememiz gerekir. Bu durumda da program bizden 'Son Değer' ve 'Adım' sütunlarına da bilgi girmemizi isteyecektir. Eğer bir parametre için 'İlk Değer' ve 'Son Değer' birbirine eşit ise veya 'Son Değer' boş ise bu parametre için sadece bir değer alınacak demektir. Eğer 'İlk Değer' ile 'Son Değer' farklı ise bu durumda o parametrenin 'İlk Değer' değerinden başlayarak 'Son Değer' değerine kadar her seferinde 'Adım' kadar artırılarak veya azaltılarak (adım negatif ise) her adım için görüş faktörü ve ısı akısı hesaplanır. Örnek olarak aşağıdaki resimde görülen problemi ele alalım:

Kapalı Hacimlerde Işınlı Isı Transferinin Simülasyonu

$$Q_{1-2} = A_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot F_{1-2} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

İterasyon yap

No	Alan	Emissivite	T1	T2	F	Q	Param1	Param2	Param3
1	1	1	25	25	0,2	0	1	1	1
2	1	1	30	25	0,2	6,165	1	1	1
3	1	1	35	25	0,2	12,643	1	1	1
4	1	1	40	25	0,2	19,444	1	1	1
5	1	1	45	25	0,2	26,579	1	1	1
6	1	1	50	25	0,2	34,058	1	1	1

Alan (A) İlk Değer: 1 m2 Son Değer: 1 Adım: 0
Emissivite (E) İlk Değer: 1 Son Değer: 1 Adım: 0
Sıcaklık (T1) İlk Değer: 25 °C Son Değer: 50 K Adım: 5
Sıcaklık (T2) İlk Değer: 25 K Son Değer: 25 K Adım: 0

11.)
h: 1 m
w: 1 m
l: 1 m

Görüş Faktörü (F): 0,2
Işınım (Q): 34,058 W

Görüş Faktörleri İterasyon Sonuçları

Şekil 4.2. Örnek problem

Alan, Emissivite ve T_2 sıcaklığı sabit verilmiştir (ilk ve son değerleri aynıdır). T_1 sıcaklığının ise ilk değeri 25, son değeri 50 °C tır ve adımı 5 verilmiştir. 'Hesapla' düğmesine tıkladığımızda program gerekli hesaplamaları yapacaktır. Sonuçları ekranın altında orta kısımda bulunan 'İterasyon Sonuçları' sekmesine tıklayarak görebiliriz. Sağdaki tabloda ısı akısının sıcaklık farkı ile nasıl değiştiği görülebilmektedir. Bu tablodan istenen değerleri seçip ekranın altındaki 'Kopyala' düğmesine basılarak panoya kopyalanabilir veya 'Kaydet' düğmesine tıklayarak metin dosyasına kaydedilebilir veya Ctrl+Delete tuş bileşimine basılarak silinebilir. Aynı fonksiyonlara

liste üzerinde farenin sağ tuşuna bastığınızda açılacak menüden de ulaşılabilir. Kaydedilen dosyalar OpenOffice Calc veya MS Excel gibi bir program ile açılarak bu parametre değişimlerinin grafikleri çizdirilebilir. Bunun ile ilgili detaylı çalışmayı bir sonraki bölümde yapacağız.

4.2.3 Problem parametreleri

Her problemin çözümünde farklı parametreler gerekmektedir. Bu kısımda görüntülenen parametreler, ekranın sağında bulunan listeden seçtiğimiz probleme göre değişir.

4.2.4 Sonuçlar

Hesaplanan görüş faktörü (F) ve ısı akısı (Q) bu bölümde görüntülenir.

4.2.5 İterasyon sonuçları

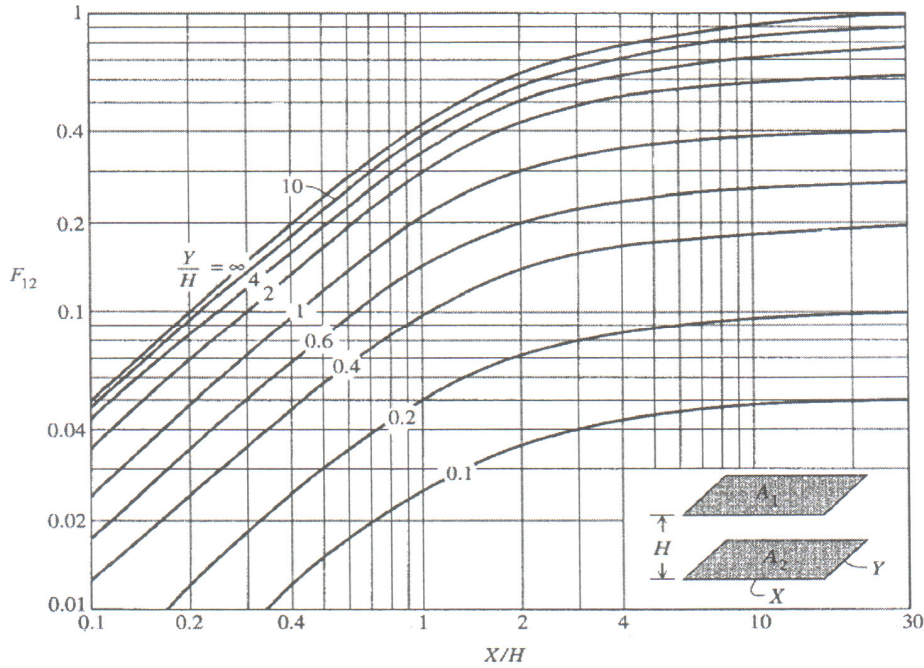
Eğer iterasyon yapılmış ise her adımda giriş değerleri hesaplanan değerler bu sekmeden tablo halinde görülebilir. Bu tablodan istenen değerleri seçip ekranın altındaki ‘Kopyala’ düğmesine basılarak panoya kopyalanabilir veya ‘Kaydet’ düğmesine tıklayarak metin dosyasına kaydedilebilir veya Ctrl+Delete tuş bileşimine basılarak silinebilir. Aynı fonksiyonlara liste üzerinde farenin sağ tuşuna bastığınızda açılacak menüden de ulaşılabilir. Kaydedilen dosyalar OpenOffice Calc veya MS Excel gibi bir program ile açılarak bu parametre değişimlerinin grafikleri çizdirilebilir.

5 ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Uygulamada yaygın olarak karşılaşılan bazı durumlarda görüş faktörünün hesaplanması oldukça karmaşık olduğundan bunun yerine hazır grafikler kullanılmaktadır. Bu bölümde bazı cisimler için görüş faktörleri hesaplanıp grafikleri oluşturuldu ve bu grafikler literatürde kullanılan grafikler ile karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçlar ile literatürde kullanılan grafikler tam bir uyumluluk göstermektedir.

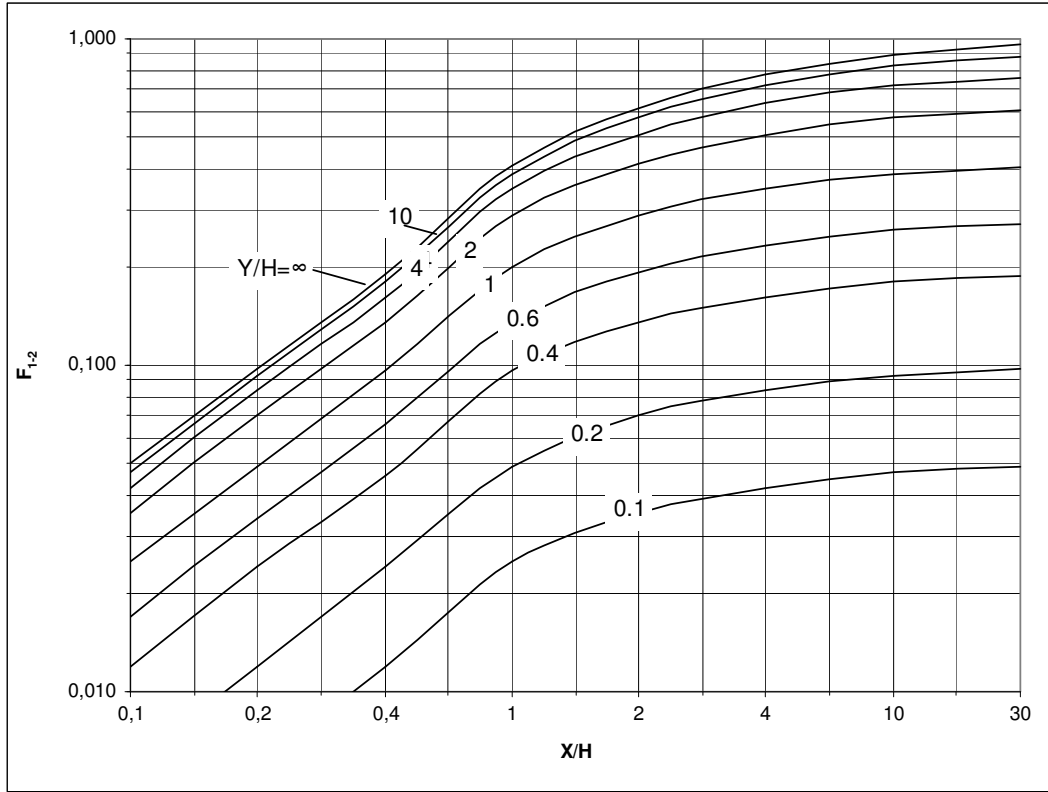
5.1 Problem 10: Eşit, Paralel Ve Karşılıklı Yerleştirilmiş İki Dikdörtgen Yüze

Birbirine paralel, eşit boyutlarda ve karşılıklı yerleştirilmiş iki dikdörtgen levhayı ele aldığımızda bu levhaların birbirini görüş faktörleri ($F_{1-2}=F_{2-1}=F$) ile ilgili literatürde aşağıdaki grafiği görüyoruz. Programda “a” ile gösterilen büyüklük kaynakta “X” ile, programdaki “b” kaynakta “Y” ile, programdaki “c” kaynakta “H” ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Birbirine paralel iki dikdörtgen yüzey arasında ışımaya görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008)

Programdan elde ettiğimiz grafik ve grafiği oluşturan veriler aşağıdaki aşağıdadır.



Şekil 5.2. Birbirine paralel iki dikdörtgen yüzey arasında ışıma görüş faktörü

Sabit parametreler:

$$A=1 \text{ m}^2$$

$$\varepsilon=1$$

$$T_1=35^\circ\text{C}$$

$$T_2=25^\circ\text{C}$$

$$c=1$$

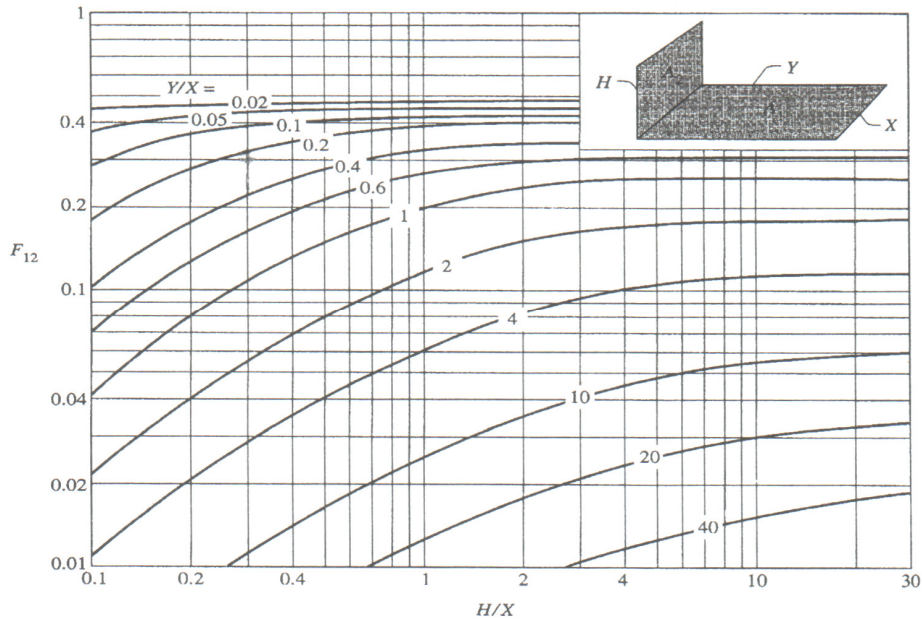
Çizelge 5.1. Birbirine paralel iki dikdörtgen levha için veriler

a	a/c	b=0,1	F	b=0,2	F	b=0,4	F	b=0,6	F
0,1	0,1	0,1	0,003	0,2	0,006	0,4	0,012	0,6	0,017
0,2	0,2	0,1	0,006	0,2	0,012	0,4	0,024	0,6	0,034
0,4	0,4	0,1	0,012	0,2	0,024	0,4	0,046	0,6	0,066
1	1	0,1	0,025	0,2	0,049	0,4	0,096	0,6	0,136
2	2	0,1	0,035	0,2	0,070	0,4	0,135	0,6	0,193
4	4	0,1	0,042	0,2	0,084	0,4	0,162	0,6	0,233
10	10	0,1	0,047	0,2	0,093	0,4	0,180	0,6	0,259
30	30	0,1	0,049	0,2	0,097	0,4	0,188	0,6	0,271

b=1	F	b=2	F	b=4	F	b=10	F	b=∞	F
1	0,025	2	0,035	4	0,042	10	0,047	100	0,050
1	0,049	2	0,070	4	0,084	10	0,093	100	0,098
1	0,096	2	0,135	4	0,162	10	0,180	100	0,191
1	0,200	2	0,286	4	0,346	10	0,386	100	0,411
1	0,286	2	0,415	4	0,509	10	0,573	100	0,614
1	0,346	2	0,509	4	0,632	10	0,719	100	0,775
1	0,386	2	0,573	4	0,719	10	0,827	100	0,897
1	0,405	2	0,603	4	0,760	10	0,879	100	0,958

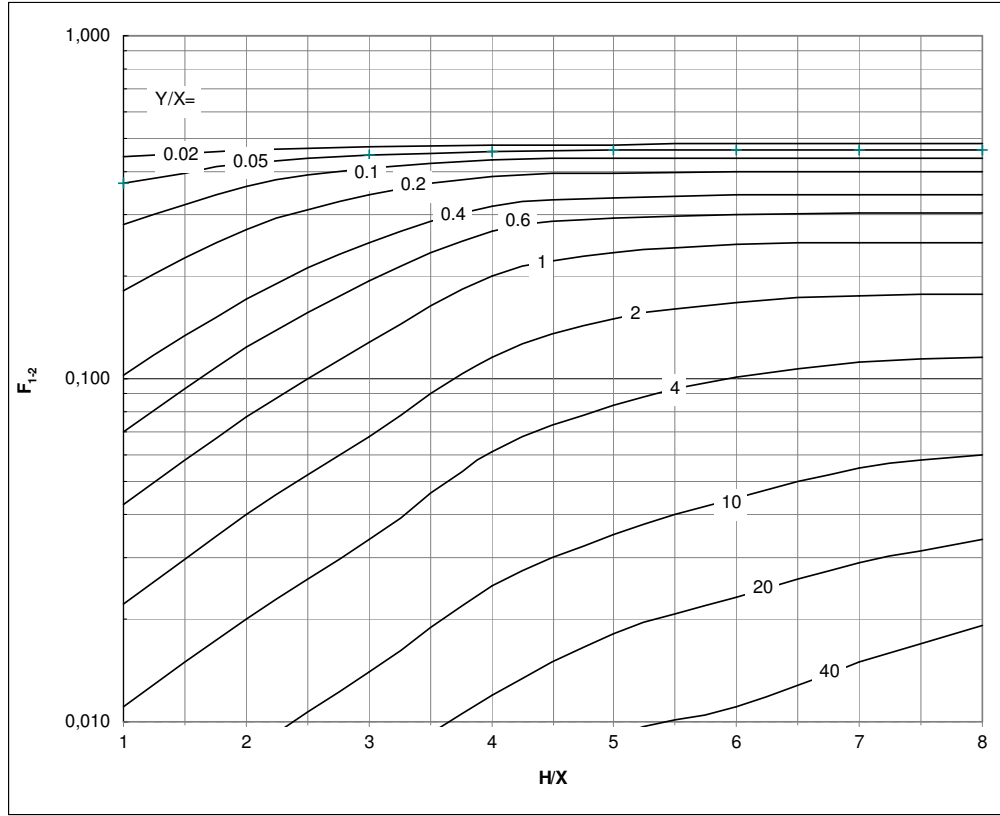
5.2 Problem 11: Birbirine Dik, Bitişik İki Dikdörtgen Yüzey

Birbirine dik, bir kenarları ortak iki dikdörtgen levhayı ele aldığımızda, yatay levhanın dikey levhayı görüş faktörü (F_{1-2}) için literatürde aşağıdaki grafiği görüyoruz. Programdaki “h” kaynakta “H” ile, programdaki “w” kaynakta “Y” ile, programdaki “l” kaynakta “X” ile gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Birbirine dik, bitişik iki dikdörtgen yüzey arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008)

Programdan elde ettiğimiz grafik ve grafiği oluşturan veriler aşağıdaki aşağıdadır.



Şekil 5.4. Birbirine dik, bitişik iki dikdörtgen yüzey arasında ışıma görüş faktörü

Sabit parametreler:

$$A=1 \text{ m}^2$$

$$\varepsilon=1$$

$$T_1=35^\circ\text{C}$$

$$T_2=25^\circ\text{C}$$

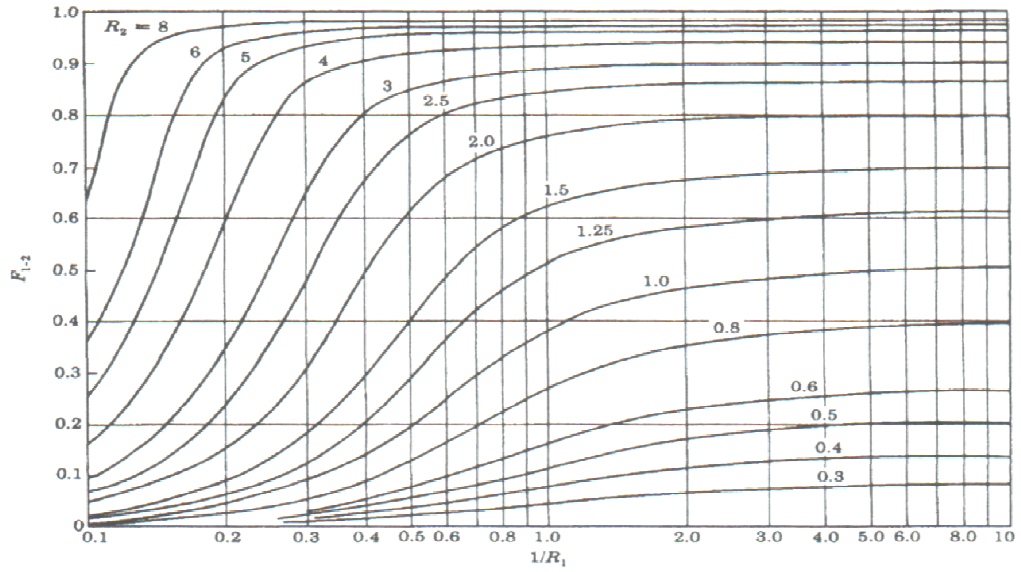
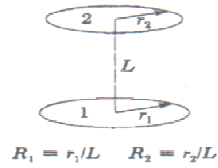
Çizelge 5.2. Birbirine dik ve bitişik iki dikdörtgen levha için veriler

h	l	h/l	w/l=0,02	F_{1-2}	w/l=0,05	F_{1-2}	w/l=0,1	F_{1-2}	w/l=0,2	F_{1-2}	w/l=0,4	F_{1-2}
0,1	1	0,1	0,02	0,444	0,05	0,372	0,1	0,282	0,2	0,181	0,4	0,102
0,2	1	0,2	0,02	0,466	0,05	0,423	0,1	0,362	0,2	0,271	0,4	0,171
0,4	1	0,4	0,02	0,476	0,05	0,449	0,1	0,409	0,2	0,343	0,4	0,250
1	1	1	0,02	0,481	0,05	0,461	0,1	0,433	0,2	0,387	0,4	0,319
2	1	2	0,02	0,482	0,05	0,463	0,1	0,438	0,2	0,397	0,4	0,338
4	1	4	0,02	0,483	0,05	0,464	0,1	0,439	0,2	0,400	0,4	0,343
10	1	10	0,02	0,483	0,05	0,464	0,1	0,439	0,2	0,401	0,4	0,345
30	1	30	0,02	0,483	0,05	0,464	0,1	0,439	0,2	0,401	0,4	0,345

w/l=0,6	F ₁₋₂	w/l=1	F ₁₋₂	w/l=2	F ₁₋₂	w/l=4	F ₁₋₂	w/l=10	F ₁₋₂	w/l=20	F ₁₋₂	w/l=40	F ₁₋₂
0,6	0,070	1	0,043	2	0,022	4	0,011	10	0,004	20	0,002	40	0,001
0,6	0,123	1	0,077	2	0,040	4	0,020	10	0,008	20	0,004	40	0,002
0,6	0,192	1	0,128	2	0,068	4	0,034	10	0,014	20	0,007	40	0,003
0,6	0,269	1	0,200	2	0,116	4	0,061	10	0,025	20	0,012	40	0,006
0,6	0,294	1	0,233	2	0,149	4	0,084	10	0,035	20	0,018	40	0,009
0,6	0,302	1	0,245	2	0,167	4	0,101	10	0,045	20	0,023	40	0,011
0,6	0,305	1	0,249	2	0,175	4	0,112	10	0,055	20	0,029	40	0,015
0,6	0,305	1	0,250	2	0,176	4	0,115	10	0,060	20	0,034	40	0,019

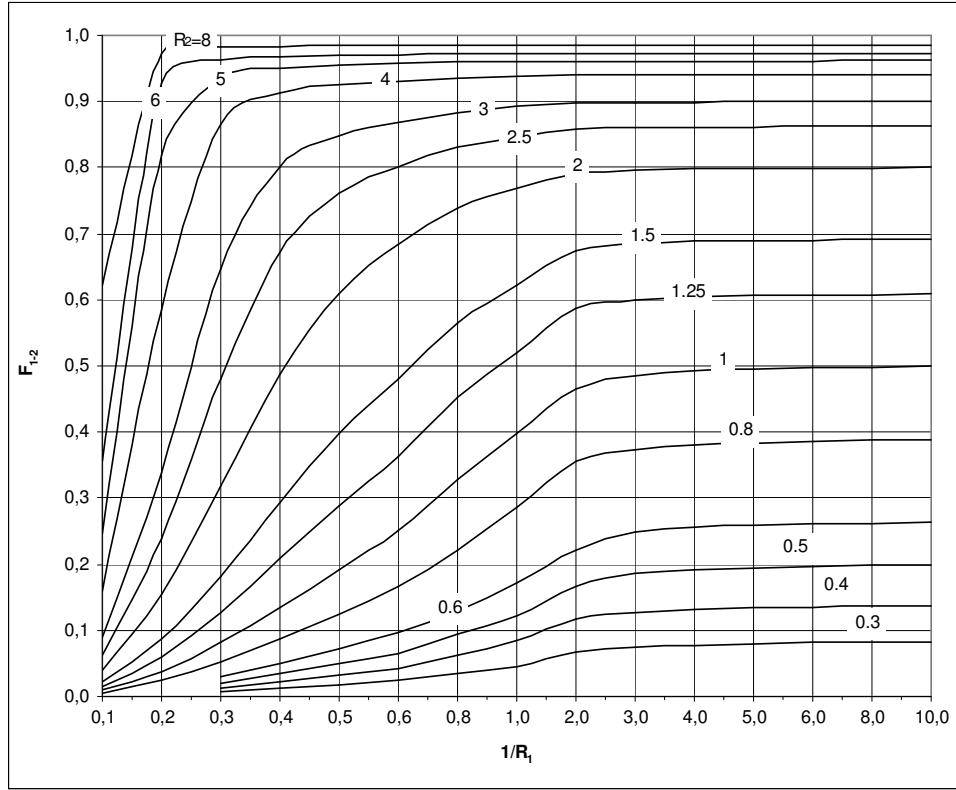
5.3 Problem 12: Birbirine Paralel İki Dairesel Yüze

Birbirine paralel iki dairesel yüzeyi ele aldığımızda birinci yüzeyin ikinci yüzeyi görüş faktörü (F_{1-2}) için literatürde aşağıdaki grafiği görüyoruz. Programda “a” ile gösterilen büyüklük kaynakta “L” olarak gösterilmiştir. Kaynakta ve programdaki 1 ve 2 numaralı yüzeyler yer değiştirmiştir.



Şekil 5.5. Birbirine paralel iki dairesel yüzey arasında ışımaya görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008)

Programdan elde ettiğimiz grafik ve grafiği oluşturan veriler aşağıdaki aşağıdadır.



Şekil 5.6. Birbirine paralel iki dairesel yüzey arasında ışınma görüş faktörü

Sabit parametreler:

$$A=1 \text{ m}^2$$

$$\varepsilon=1$$

$$T_1=35^\circ\text{C}$$

$$T_2=25^\circ\text{C}$$

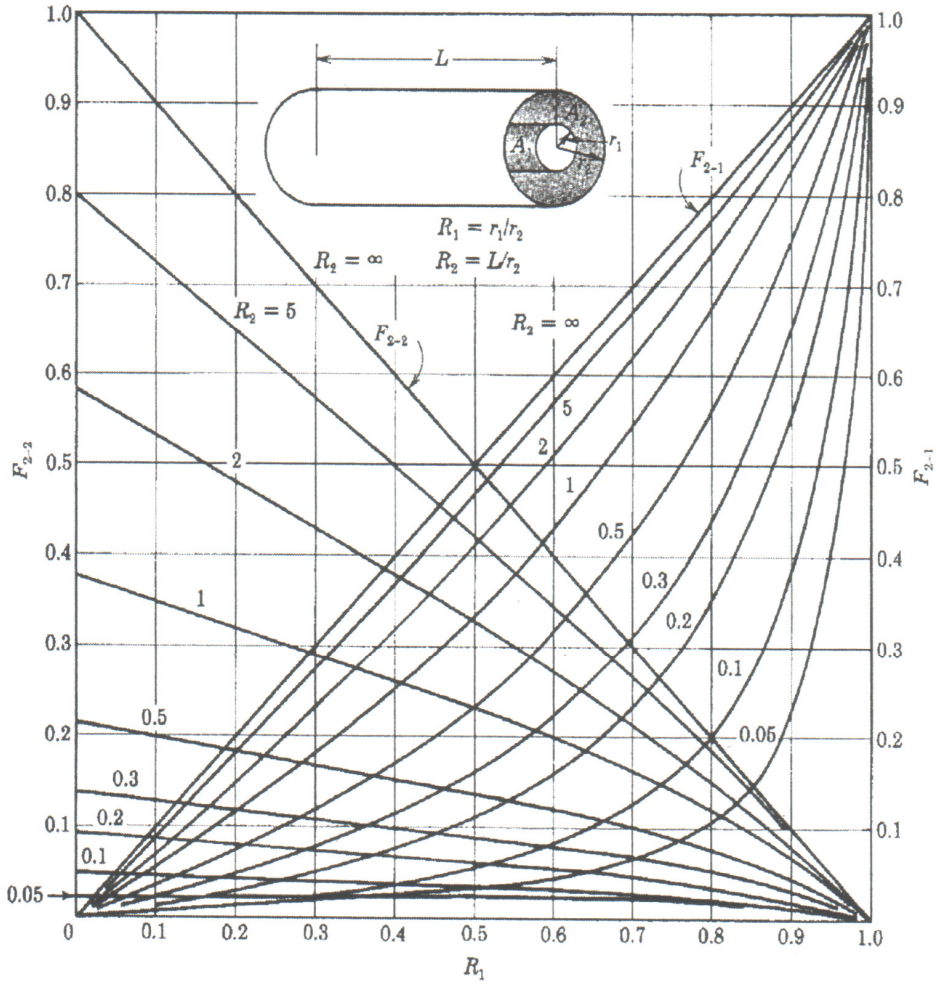
$$L=1 \text{ m}$$

Çizelge 5.3. Birbirine paralel iki dairesel yüzey için veriler

r_1	$1/R_1$	r_2	$R_2=0,3$	F_{1-2}	r_2	$R_2=0,4$	F_{1-2}	r_2	$R_2=0,5$	F_{1-2}	r_2	$R_2=0,6$	F_{1-2}
10,000	0,1	0,3	0,3		0,4	0,4		0,5	0,5		0,6	0,6	
5,000	0,2	0,3	0,3		0,4	0,4		0,5	0,5		0,6	0,6	
3,333	0,3	0,3	0,3	0,007	0,4	0,4	0,013	0,5	0,5	0,021	0,6	0,6	0,030
2,500	0,4	0,3	0,3	0,012	0,4	0,4	0,022	0,5	0,5	0,034	0,6	0,6	0,049
2,000	0,5	0,3	0,3	0,018	0,4	0,4	0,032	0,5	0,5	0,049	0,6	0,6	0,071
1,667	0,6	0,3	0,3	0,024	0,4	0,4	0,042	0,5	0,5	0,065	0,6	0,6	0,093
1,250	0,8	0,3	0,3	0,035	0,4	0,4	0,061	0,5	0,5	0,094	0,6	0,6	0,133
1,000	1,0	0,3	0,3	0,044	0,4	0,4	0,077	0,5	0,5	0,117	0,6	0,6	0,164
0,500	2,0	0,3	0,3	0,068	0,4	0,4	0,116	0,5	0,5	0,172	0,6	0,6	0,232
0,333	3,0	0,3	0,3	0,075	0,4	0,4	0,127	0,5	0,5	0,187	0,6	0,6	0,249
0,250	4,0	0,3	0,3	0,078	0,4	0,4	0,132	0,5	0,5	0,192	0,6	0,6	0,256
0,200	5,0	0,3	0,3	0,080	0,4	0,4	0,134	0,5	0,5	0,195	0,6	0,6	0,259
0,167	6,0	0,3	0,3	0,081	0,4	0,4	0,135	0,5	0,5	0,196	0,6	0,6	0,261
0,125	8,0	0,3	0,3	0,081	0,4	0,4	0,136	0,5	0,5	0,198	0,6	0,6	0,262
0,100	10,0	0,3	0,3	0,082	0,4	0,4	0,137	0,5	0,5	0,199	0,6	0,6	0,263

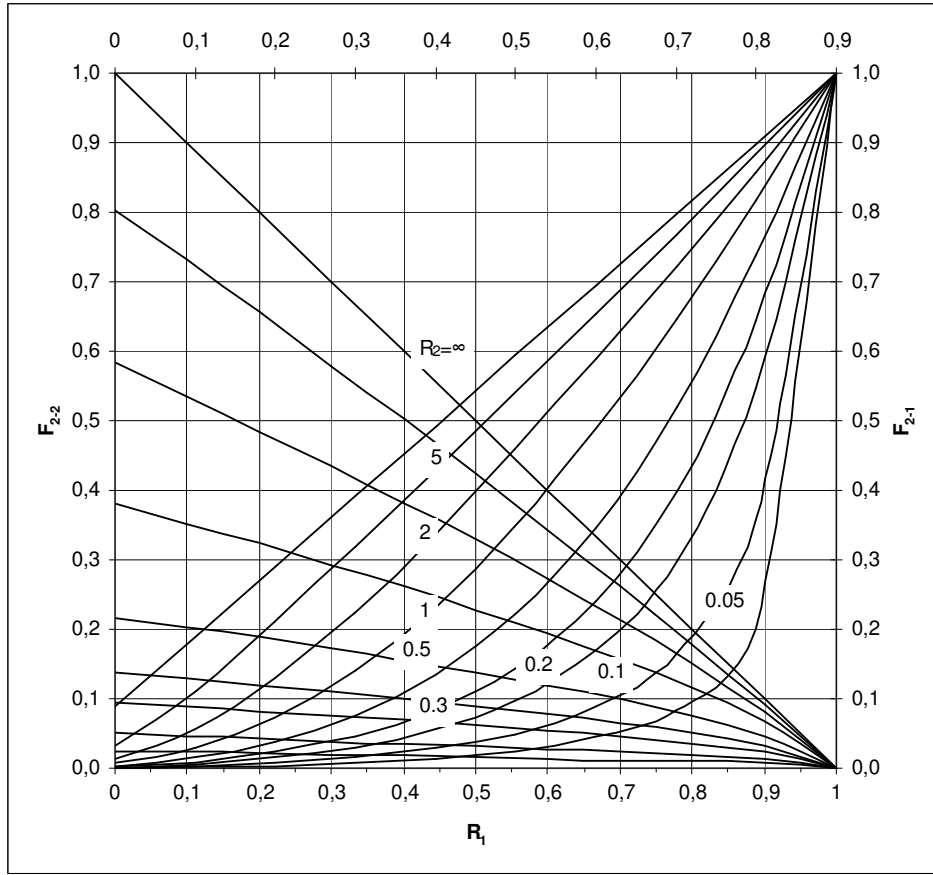
5.4 Problem 17: Aynı Eksenli İç İç İki Silindir

Aynı eksenli, iç içe ve eşit boydaki iki silindirden dıştakinin iç yüzeyinin, içtekinin dış yüzeyini görüş faktör (F_{2-1}) ve dıştaki silindirin kendini görme faktörü (F_{2-2}) için literatürde aşağıdaki grafiği görüyoruz. Programda “h” ile gösterilen büyüklük kaynak grafikte “L” ile, programdaki “A₁” kaynakta “A₂” ile, programdaki “A₂” kaynakta “A₁” ile gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Aynı eksenli iç içe iki silindirin yüzeyleri arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008)

Programdan elde ettiğimiz grafik ve grafiği oluşturan veriler aşağıdadır.



Şekil 5.8. Aynı eksenli iç içe iki silindirin yüzeyleri arasında ışıma görüş faktörü (Kılıç ve Yiğit, 2008)

Sabit parametreler:

$$A=1 \text{ m}^2$$

$$\varepsilon=1$$

$$T_1=35^\circ\text{C}$$

$$T_2=25^\circ\text{C}$$

Çizelge 5.4. İç içe, aynı eksenli iki silindir için veriler

r_1	$1/R_1$	r_2	$R_2=0,05$	L	$F_{2,1}$	$R_2=0,1$	L	$F_{2,1}$	$R_2=0,2$	L	$F_{2,1}$
0,1	0,1	1	0,05	0,005	0,000	0,1	0,01	0,001	0,2	0,02	0,001
0,2	0,2	1	0,05	0,010	0,002	0,1	0,02	0,003	0,2	0,04	0,006
0,3	0,3	1	0,05	0,015	0,004	0,1	0,03	0,008	0,2	0,06	0,015
0,4	0,4	1	0,05	0,020	0,008	0,1	0,04	0,016	0,2	0,08	0,031
0,5	0,5	1	0,05	0,025	0,014	0,1	0,05	0,029	0,2	0,10	0,057
0,6	0,6	1	0,05	0,030	0,025	0,1	0,06	0,050	0,2	0,12	0,098
0,7	0,7	1	0,05	0,035	0,045	0,1	0,07	0,088	0,2	0,14	0,169
0,8	0,8	1	0,05	0,040	0,084	0,1	0,08	0,164	0,2	0,16	0,298
0,9	0,9	1	0,05	0,045	0,200	0,1	0,09	0,357	0,2	0,18	0,546
1	1	1	0,05	0,050	1,000	0,1	0,10	1,000	0,2	0,20	1,000

$R_2=0,3$	L	F_{2-1}	$R_2=0,5$	L	F_{2-1}	$R_2=1$	L	F_{2-1}	$R_2=2$	L	F_{2-1}
0,3	0,03	0,002	0,5	0,05	0,003	1	0,1	0,007	2	0,2	0,014
0,3	0,06	0,009	0,5	0,10	0,015	1	0,2	0,030	2	0,4	0,057
0,3	0,09	0,023	0,5	0,15	0,038	1	0,3	0,073	2	0,6	0,129
0,3	0,12	0,046	0,5	0,20	0,076	1	0,4	0,140	2	0,8	0,225
0,3	0,15	0,084	0,5	0,25	0,134	1	0,5	0,232	2	1,0	0,337
0,3	0,18	0,144	0,5	0,30	0,222	1	0,6	0,350	2	1,2	0,459
0,3	0,21	0,240	0,5	0,35	0,347	1	0,7	0,489	2	1,4	0,588
0,3	0,24	0,396	0,5	0,40	0,519	1	0,8	0,646	2	1,6	0,721
0,3	0,27	0,643	0,5	0,45	0,737	1	0,9	0,816	2	1,8	0,858
0,3	0,30	1,000	0,5	0,50	1,000	1	1,0	1,000	2	2,0	1,000

$R_2=5$	L	F_{2-1}	$R_2=\infty$	L	F_{2-1}
5	0,5	0,032	50	5	0,088
5	1,0	0,111	50	10	0,189
5	1,5	0,212	50	15	0,290
5	2,0	0,319	50	20	0,392
5	2,5	0,429	50	25	0,493
5	3,0	0,541	50	30	0,594
5	3,5	0,654	50	35	0,695
5	4,0	0,768	50	40	0,797
5	4,5	0,883	50	45	0,898
5	5,0	1,000	50	50	1,000

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın hazırlanması esnasında yapılan araştırmalarda görüş faktörlerinin denklemleri ile ilgili çok sayıda kaynak olmasına rağmen, son derece karışık olan bu denklemlerin hesaplanmasıyla ilgili geniş çaplı bir kolaylaştırıcı araca rastlanmamıştır. Karşılaşılan programlar sadece bir veya iki problem türü ile sınırlı kalmıştır. Isıl ışıınım problemlerinin çözümünde kullandığımız Stefan-Boltzman denklemi son derece basit olmasına rağmen uygulamadaki problemlerde ısı ışıınımın dikkate alınamama sebebi ise görüş faktörünün hesaplanmasının son derece zor olmasıdır. Birçok durumda bu görüş faktörlerinden birden fazlasının aynı anda dikkate alınması gerekmektedir. Bu da problemlerin çözümü oldukça zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada ise uygulamada sık karşılaşılan yirmi üç adet geometriye ait görüş faktörünün hesaplamasını yapabilen bir yazılım geliştirilmiştir ve sonuçlar literatürde kullanılan grafikler ile karşılaştırıldığında tam bir uyum olduğu gözlenmiştir. Bu yazılım hem akademik çalışmalarda hemde pratik uygulamalarda kullanılabilir.

Geliştirilen yazılım sadece sonlu cisimler için problem çözümlerini içermektedir. İleride yapılacak çalışmalarda diferansiyel elemanlar da geliştirilen simülasyona dahil edilebilir. Ayrıca iletim ve taşınım problemleri de simülasyona eklenerek tüm ısı transferi mekanizmalarını içeren kapsamlı bir modül oluşturulabilir.

7 KAYNAKLAR

1. ALTINIŞIK, K. 2003. Uygulamalarla Isı Transferi. Nobel Yayın Dağıtım. 788 s.
2. ÇENGEL, Y.A. 2003. Heat Transfer: A Practical Approach. McGraw Hill, 921 p.
3. HOWELL, J.R. 1982. A catalog of radiation heat transfer configuration factors. McGraw-Hill, 2nd edition.
4. JITHESH, P.K., S. ANIL LAL, M.R. RAJKUMAR. 2007. Determination of radiation view factors considering shadow effect. The Fifth International Symposium on Radiative Transfer. 17 - 22 June, 2007.
5. KILIÇ, M., A. YİĞİT. 2008. Isı Transferi. (Yenilenmiş 3. Baskı) Alfa Aktüel Yayınevi, 490 s.
6. MODEST, M.F. 1993. Radiative Heat Transfer. McGraw-Hill Inc., 832 p.
7. RIBANDO, R.J., E.A. WELLER. 1999. The Verification of an Analytical Solution - An Important Engineering Lesson. Journal of Engineering Education, 88 (3):281-283.
8. ÜNVER, Ü. 2000. Doğal ve Zorlanmış Taşınım İle Isı ve Kütle Transferinin Bilgisayar Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

EK-1 : PROGRAMIN KAYNAK KODU

```

unit RadiationF;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms,
  Dialogs, dxExEdtr, dxTL, dxTLClms, dxCntner, ExtCtrls, StdCtrls,
  ComCtrls, Buttons, Menus;

type
  TProblemParam = record
    Etiket,
    Birim: String;
  end;

  TExtendedRecord = record
    Deger,
    Ilk,
    Son,
    Adim: Extended;
  end;

  TForm1 = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Image1: TImage;
    Label1: TLabel;
    edAIlk: TEdit;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    edEIlk: TEdit;
    Label4: TLabel;
    edT1Ilk: TEdit;
    Label7: TLabel;
    edT2Ilk: TEdit;
    Bevel1: TBevel;
    Bevel2: TBevel;
    Label18: TLabel;
    edQ: TEdit;
    Label19: TLabel;
    Bevel3: TBevel;
    Label38: TLabel;
    edF: TEdit;
    btHesapla: TBitBtn;
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
    TabSheet2: TTabSheet;
    tlFormul: TdxTreeList;
    tlFormulImage: TdxTreeListGraphicColumn;
    tlFormulText: TdxTreeListColumn;
    lvIteration: TListView;
    edASon: TEdit;
    edESon: TEdit;
    edT1Son: TEdit;
    edT2Son: TEdit;
    edAAdim: TEdit;
    edEAdim: TEdit;
  end;

```

```

edT1Adim: TEdit;
edT2Adim: TEdit;
chbIterasyon: TCheckBox;
rgTBirim: TRadioGroup;
lbEtiket1: TLabel;
lbBirim1: TLabel;
lbEtiket2: TLabel;
lbBirim2: TLabel;
lbEtiket3: TLabel;
lbBirim3: TLabel;
lbEtiket4: TLabel;
lbBirim4: TLabel;
lbAdim: TLabel;
lbSon: TLabel;
Label125: TLabel;
edIlk1: TEdit;
edSon1: TEdit;
edAdim1: TEdit;
edIlk2: TEdit;
edSon2: TEdit;
edAdim2: TEdit;
edIlk3: TEdit;
edSon3: TEdit;
edAdim3: TEdit;
edIlk4: TEdit;
edSon4: TEdit;
edAdim4: TEdit;
lbNo: TStaticText;
Panel2: TPanel;
btKopyala: TBitBtn;
btKaydet: TBitBtn;
dlgSave: TSaveDialog;
popIterasyon: TPopupMenu;
miKopyala: TMenuItem;
miKaydet: TMenuItem;
miSil: TMenuItem;
Button2: TButton;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure tlFormulImageCustomDrawCell(Sender: TObject;
  ACanvas: TCanvas; ARect: TRect; ANode: TdxTreeNode;
  AColumn: TdxTreeListColumn; ASelected, AFocused,
  ANewItemRow: Boolean; var AText: String; var AColor: TColor;
  AFont: TFont; var AAlignment: TAlignment; var ADone: Boolean);
procedure FormDestroy(Sender: TObject);
procedure dxTreeList2Column1CustomDrawCell(Sender: TObject;
  ACanvas: TCanvas; ARect: TRect; ANode: TdxTreeNode;
  AColumn: TdxTreeListColumn; ASelected, AFocused,
  ANewItemRow: Boolean; var AText: String; var AColor: TColor;
  AFont: TFont; var AAlignment: TAlignment; var ADone: Boolean);
procedure tlFormulChangeNode(Sender: TObject; OldNode,
  Node: TdxTreeNode);
procedure NumericEditKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure tlFormulCalcRowLineHeight(Sender: TObject;
  Node: TdxTreeNode; Column: TdxTreeListColumn; const Text:
String;
  BoundsWidth, TextHeight, MaxLineCount: Integer; InflateFlag,
  GridFlag: Boolean; var LineCount, LineHeight: Integer;
  var Done: Boolean);
procedure btHesaplaClick(Sender: TObject);

```

```

    procedure chbIterasyonClick(Sender: TObject);
    procedure btKaydetClick(Sender: TObject);
    procedure miKopyalaClick(Sender: TObject);
    procedure miKaydetClick(Sender: TObject);
    procedure miSilClick(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
private
    Bmp: TBitmap;
    Heights: array[0..23] of integer;
    Problems: array[29..51, 1..4] of TProblemParam;
    function IsValidChar(Edit: TEdit; Key: Char): Boolean;
    function Hesapla(ProblemNo: integer; Param: array of Extended):
Extended;
    procedure PrepareProblems;
    procedure AddToIterationList(ProblemNo: Integer; P: array of
Extended);
    public
        { Public declarations }
    end;

var
    Form1: TForm1;

implementation

uses Math, ClipBrd;

{$R *.dfm}
{$R resderle.res}

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var
    i, w: integer;
    R: TMemoryStream;
    S: String;
    Res: TResourceStream;
begin
    PageControll.ActivePageIndex := 0;
    Randomize;
    lbNo.Font.Size := lbNo.Font.Size + 2;
    lbNo.Font.Style := lbNo.Font.Style + [fsBold];
    Bmp := TBitmap.Create;
    R := TMemoryStream.Create;
    w := 0;
    for i := 29 to 51 do
        begin
            Res := TResourceStream.Create(HInstance, 'RES' + IntToStr(i),
'ReSIMLER');
            Bmp.LoadFromStream(Res);
            Res.Position := 0;
            R.LoadFromStream(Res);
            SetLength(S, R.Size);
            R.Position := 0;
            R.Read(S[1], R.Size);
            Heights[i-29] := Bmp.Height + 10;
            if Bmp.Width > w then w := Bmp.Width;
            Res.Free;
        end;
    tlFormulImage.Width := w+5;

```

```

    tlFormul.ClearSelection;
    tlFormul.Items[0].Focused := True;
    tlFormul.Items[0].Selected := True;
    PrepareProblems;
    tlFormulChangeNode(tlFormul, nil, tlFormul.Items[0]);
end;

procedure TForm1.tlFormulImageCustomDrawCell(Sender: TObject;
  ACanvas: TCanvas; ARect: TRect; ANode: TdxTreeListNode;
  AColumn: TdxTreeListColumn; ASelected, AFocused, ANewItemRow:
  Boolean;
  var AText: String; var AColor: TColor; AFont: TFont;
  var AAlignment: TAlignment; var ADone: Boolean);
var Res: TResourceStream;
begin
  AText := ANode.Values[1];
  ARect.Bottom := ARect.Bottom + 30;
  Res := TResourceStream.Create(HInstance, 'RES' +
  IntToStr(ANode.Index + 29), 'RESIMLER');
  try
    Bmp.LoadFromStream(Res);
    ACanvas.FillRect(ARect);
    ACanvas.Font.Color := clBlack;
    InflateRect(ARect, -3, 0);
    DrawText(ACanvas.Handle,
      PChar(AText),
      Length(AText),
      ARect,
      DT_LEFT or DT_WORDBREAK);
    ACanvas.Draw(ARect.Left + 4, ARect.Bottom-Bmp.Height-30, Bmp);
    ACanvas.Rectangle(ARect.Left+4, ARect.Bottom-Bmp.Height-30,
    ARect.Right, ARect.Bottom-Bmp.Height-30);
    InflateRect(ARect, 3, 0);
    if AFocused then
      ACanvas.FrameRect(ARect);
    ADone := True;
  finally
    Res.Free;
  end;
end;

procedure TForm1.FormDestroy(Sender: TObject);
begin
  Bmp.Free;
end;

procedure TForm1.dxDTreeList2Column1CustomDrawCell(Sender: TObject;
  ACanvas: TCanvas; ARect: TRect; ANode: TdxTreeListNode;
  AColumn: TdxTreeListColumn; ASelected, AFocused, ANewItemRow:
  Boolean;
  var AText: String; var AColor: TColor; AFont: TFont;
  var AAlignment: TAlignment; var ADone: Boolean);
begin
  //InflateRect(ARect, -2, -2);
  // Label123.Caption := Format('L: %3d      T: %3d%sW: %3d      H:
  %3d%sIndex: %d',
  // [ARect.Left, ARect.Top, #13, ARect.Right-ARect.Left,
  ARect.Bottom-ARect.Top, #13, ANode.AbsoluteIndex]);
end;

```

```

procedure TForm1.tlFormulChangeNode(Sender: TObject; OldNode,
Node: TdxTreeNode);
var
  i: integer;
begin
  for i := 1 to 4 do
    begin
      with TLabel(FindComponent('lbEtiket'+IntToStr(i))) do
        begin
          Visible := Problems[Node.Index+29][i].Etiket <> '';
          Caption := Problems[Node.Index+29][i].Etiket;
        end;
      with TEdit(FindComponent('edIlk'+IntToStr(i))) do
        begin
          Visible := Problems[Node.Index+29][i].Etiket <> '';
          Text := '';
        end;
      with TEdit(FindComponent('edSon'+IntToStr(i))) do
        begin
          Visible := Problems[Node.Index+29][i].Etiket <> '';
          Text := '';
        end;
      with TEdit(FindComponent('edAdim'+IntToStr(i))) do
        begin
          Visible := Problems[Node.Index+29][i].Etiket <> '';
          Text := '';
        end;
      with TLabel(FindComponent('lbBirim'+IntToStr(i))) do
        begin
          Visible := Problems[Node.Index+29][i].Etiket <> '';
          Caption := Problems[Node.Index+29][i].Birim;
        end;
    end;
  chbIterasyonClick(chbIterasyon);
  lbNo.Caption := IntToStr(tlFormul.FocusedNode.Index + 1) + '.';
end;

function TForm1.IsValidChar(Edit: TEdit; Key: Char): Boolean;
var
  ValidCharSet: set of Char;
begin
  ValidCharSet := [ DecimalSeparator, '+', '-', '0'..'9' ];

  Result := ( Key in ValidCharSet ) or ( ( Key < #32 ) and ( Key <>
Chr( vk_Return ) ) );

  if Result then
    begin
      if Key = DecimalSeparator then
        begin
          if Edit.SelLength = 0 then
            Result := Pos( DecimalSeparator, Edit.Text ) = 0
          else
            begin
              Result := Pos( DecimalSeparator, Edit.Text ) = 0;
              if not Result then
                Result := Pos( DecimalSeparator, Edit.SelText ) <> 0;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

        end
    else if ( Key = '+' ) or ( Key = '-' ) then
        Result := ( ( Edit.SelStart = 0 ) and
            ( Pos( '+', Edit.Text ) = 0 ) and
            ( Pos( '-', Edit.Text ) = 0 ) ) or
            ( Edit.SelLength = Length( Edit.Text ) );
    end;
end;

procedure TForm1.NumericEditKeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
    if (Key <> #0) and (not IsValidChar(TEdit(Sender), Key)) then
        Key := #0;
    end;
end;

procedure TForm1.tlFormulCalcRowLineHeight(Sender: TObject;
    Node: TdxTreeNode; Column: TdxTreeListColumn; const Text:
    String;
    BoundsWidth, TextHeight, MaxLineCount: Integer; InflateFlag,
    GridFlag: Boolean; var LineCount, LineHeight: Integer;
    var Done: Boolean);
var
    ARect: TRect;
begin
    FillChar(ARect, SizeOf(TRect), #0);
    ARect.Right := BoundsWidth;
    DrawText(Node.Owner.Canvas.Handle, PChar(VarToStr(Node.Values[1])),
    Length(Node.Values[1]), ARect, DT_LEFT or DT_WORDBREAK or
    DT_CALCRECT);
    LineHeight := Heights[Node.AbsoluteIndex] + ARect.Bottom;
    Done := True;
end;

function TForm1.Hesapla(ProblemNo: integer; Param: array of Extended):
    Extended;
var
    F: Extended;
    tmp1, tmp2, tmp3, tmp4: Extended;
    term1, term2, term3, term4, term5: Extended;
begin
    case ProblemNo of
        29 : begin
            F := 0.5 * (1 + Cos(Param[0]));
            end;
        30 : begin
            F := Power((Param[1] / Param[2]), 2) /
                Power(1 + Power(Param[0] / Param[2], 2), 1.5);
            end;
        31 : begin
            tmp1 := Param[1] / 2 / Param[0];
            F := (0.5 + tmp1 * tmp1) / Sqrt(tmp1 * tmp1 + 1) - tmp1;
            end;
        32 : begin
            tmp1 := Param[1] / Param[0];
            F := Sqrt(tmp1 * tmp1 + 1) - tmp1;
            end;
        33 : begin
            tmp1 := Param[1] / Param[0];
            F := 0.5 * (1 + tmp1 - Sqrt(tmp1 * tmp1 + 1));
            end;
    end;
end;

```

```

    end;
34 : begin
    F := 1 - Sin(Param[0]/2);
    end;
35 : begin
    tmp1 := 1 + (Param[1] / 2 / Param[0]);
    F := 1/PI * (ArcSin(1/tmp1) + Sqrt(tmp1 * tmp1 - 1) - tmp1);
    end;
36 : begin
    tmp1 := Param[1] / Param[0];
    tmp2 := Param[2] / Param[0];
    tmp2 := 1 + tmp1 + tmp2;
    F := 1/2/PI * (
        PI + Sqrt(tmp2*tmp2 - Sqr(tmp1+1)) -
        Sqrt(Sqr(tmp2) - Sqr(tmp1-1)) +
        (tmp1-1) * ArcCos((tmp1-1)/tmp2) -
        (tmp1+1) * ArcCos((tmp1+1)/tmp2)
    );
    end;
37 : begin
    tmp1 := Param[1] / Param[0];
    tmp2 := Param[2] / Param[0];
    F := 1/2/PI * (ArcTan(tmp1) - ArcTan(tmp2));
    end;
38 : begin
    tmp1 := Param[0] / Param[2];
    tmp2 := Param[1] / Param[2];
    F := 2/PI/tmp1/tmp2 * (
        ln(sqrt(
            (1+tmp1*tmp1)*(1+tmp2*tmp2)/(1+tmp1*tmp1+tmp2*tmp2) )) +
        tmp1*sqrt(1+tmp2*tmp2)*ArcTan(tmp1/sqrt(1+tmp2*tmp2)) +
        tmp2*sqrt(1+tmp1*tmp1)*ArcTan(tmp2/sqrt(1+tmp1*tmp1)) -
        tmp1*ArcTan(tmp1) -
        tmp2*ArcTan(tmp2)
    );
    end;
39 : begin
    tmp1 := Param[0] / Param[2]; // H = h / l
    tmp2 := Param[1] / Param[2]; // W = w / l
    Term1 := tmp2 * ArcTan(1 / tmp2) + tmp1 * ArcTan(1 / tmp1);

    Term2 := Sqrt(tmp1 * tmp1 + tmp2 * tmp2) * ArcTan(1 /
    Sqrt(tmp1 * tmp1 + tmp2 * tmp2));

    Term3 := (1 + tmp2 * tmp2) * (1 + tmp1 * tmp1) / (1 + tmp2 *
    tmp2 + tmp1 * tmp1);

    Term4 := (tmp2 * tmp2) * (1 + tmp2 * tmp2 + tmp1 * tmp1) /
    ((1 + tmp2 * tmp2) * (tmp2 * tmp2 + tmp1 * tmp1));
    Term4 := Power(Term4, tmp2 * tmp2);

    Term5 := (tmp1 * tmp1) * (1 + tmp1 * tmp1 + tmp2 * tmp2) /
    ((1 + tmp1 * tmp1) * (tmp1 * tmp1 + tmp2 * tmp2));
    Term5 := Power(Term5, tmp1 * tmp1);

    F := (1 / (PI * tmp2)) * (Term1 - Term2 + 0.25 * ln(Term3 *
    Term4 * Term5));
    end;
40 : begin

```

```

tmp1 := Param[1] / Param[0]; // R1
tmp2 := Param[2] / Param[0]; // R2
tmp3 := 1 + (1+Sqr(tmp2)) / Sqr(tmp1);
F := 0.5 * (tmp3 - Sqrt(Sqr(tmp3) - 4*Sqr(tmp2/tmp1)));
end;
41 : begin
tmp1 := Param[1] / Param[2]; // R
tmp2 := Param[0] / Param[2]; // L
tmp3 := Sqr(tmp2) + Sqr(tmp1) - 1; // A
tmp4 := Sqr(tmp2) - Sqr(tmp1) + 1; // B
F := tmp3/8/tmp2/tmp1 + 0.5/PI * (
ArcCos(tmp3/tmp4) - 0.5/tmp2 * Sqrt(Sqr(tmp3+1)/Sqr(tmp1)-
4) * ArcCos(tmp3*tmp1/tmp4) -
tmp3/2/tmp1/tmp2 * ArcSin(tmp1)
);
end;
42 : begin
tmp1 := Param[0] / 2 / Param[1]; // H
F := 1 + tmp1 - Sqrt(1+Sqr(tmp1));
end;
43 : begin
tmp1 := Param[0] / 2 / Param[1]; // H
F := 2 * tmp1 * (Sqrt(1+Sqr(tmp1)) - tmp1);
end;
44 : begin
tmp1 := Param[0] / Param[2]; // R1 = r1/h
tmp2 := Param[1] / Param[2]; // R2 = r2/h
F := 1/PI/tmp2 * (
PI*(tmp2-tmp1) + ArcCos(tmp1/tmp2) -
Sqrt(1 + 4*Sqr(tmp2)) * ArcTan( Sqrt( (1+4*Sqr(tmp2)) *
(Sqr(tmp2)-Sqr(tmp1)) ) / tmp1 ) +
2*tmp1 * ArcTan(2*Sqrt( Sqr(tmp2)-Sqr(tmp1) ) )
);
end;
45 : begin
tmp1 := Param[0] / Param[2];
tmp2 := Param[1] / Param[2];
tmp3 := tmp2 + tmp1;
tmp4 := tmp2 - tmp1;
F := 1/PI/tmp2 * (
0.5 * (Sqr(tmp2) - Sqr(tmp1) - 1) *
ArcCos(tmp1/tmp2) + PI*tmp1 - PI/2*tmp3*tmp4 -
2*tmp1*ArcTan( Sqrt( Sqr(tmp2)-Sqr(tmp1) ) ) +
Sqrt( (1+Sqr(tmp3)) * (1+Sqr(tmp4)) ) *
ArcTan(Sqrt( (1+Sqr(tmp3))*tmp4 / (1+Sqr(tmp4))/tmp3 ) )
);
end;
46 : begin
tmp1 := Param[2] / Param[1]; // H
tmp2 := Param[0] / Param[1]; // R
tmp3 := Sqrt(1-Sqr(tmp2)); // X
tmp4 := tmp2 * (1-Sqr(tmp2)-Sqr(tmp1)) / (1-
Sqr(tmp2)+Sqr(tmp1)); // Y
F := 1/PI * (
tmp2*(ArcTan(tmp3/tmp1)-ArcTan(2*tmp3/tmp1)) +
tmp1/4 * (ArcSin(2*Sqr(tmp2)-1) - ArcSin(tmp2)) +
Sqr(tmp3)/4/tmp1 * (PI/2 + ArcSin(tmp2)) -
Sqrt(Sqr(1+Sqr(tmp2)+Sqr(tmp1))-4*Sqr(tmp2)) / 4/tmp1 *
(PI/2 + ArcSin(tmp4)) +

```



```

        Sqrt(4 + Sqr(tmp1)) / 4 * (
            PI/2 + ArcSin( 1-2*Sqr(tmp2)*Sqr(tmp1) /
(4*Sqr(tmp3)+Sqr(tmp1)) )
        )
    );
end;
47 : begin
    tmp1 := Param[0] / Param[1]; // D1
    tmp2 := Param[0] / Param[2]; // D2
    F := 1/4/PI * ArcTan(1/(
Sqr(tmp1)+Sqr(tmp2)+Sqr(tmp1)*Sqr(tmp2) ));
end;
48 : begin
    tmp1 := Param[0] / Param[1]; // R
    F := 0.5 * (1 - 1/Sqrt(1+Sqr(tmp1)));
end;
49 : begin
    tmp1 := Param[0] / Param[1]; // R
    F := 1/Sqrt(1+Sqr(tmp1));
end;
50 : begin
    tmp1 := Param[0] / Param[1]; // S
    tmp2 := Param[2] / Param[1]; // R
    tmp3 := Param[3]; // w
    F := 0.5 * (1 - (1+tmp1+tmp2*Cot(tmp3)) /
Sqrt(Sqr(1+tmp1+tmp2*Cot(tmp3)) + Sqr(tmp2) ));
end;
51 : begin
    F := 0.5 * (1 + Cos(Param[0]));
end;
else F := 1;
end;

Result := F;
end;

procedure TForm1.btHesaplaClick(Sender: TObject);
var
    A, E, T1, T2, P1, P2, P3, P4: TExtendedRecord;
    IsCelcius: Boolean;
    F, Q, tmpT1, tmpT2: Extended;

    procedure AssignRecordValues(var P: TExtendedRecord; const edIlk,
edSon, edAdim: TEdit);
    begin
        with P do
            begin
                Ilk := StrToFloatDef(edIlk.Text, 0);
                Deger := Ilk;
                Son := StrToFloatDef(edSon.Text, Ilk);
                Adim := StrToFloatDef(edAdim.Text, 0);
                if (Abs(Ilk-Son) < 10000) and (Adim = 0) then
                    begin
                        Adim := (Son-Ilk) / 5;
                        edAdim.Text := FormatFloat('0.###', Adim);
                    end;
            end;
        end;
end;

function DoStep(var V: TExtendedRecord): Boolean;

```

```

begin
  Result := (V.Adim = 0) or (V.Deger = V.Son);
  with V do
    if (Abs(Adim) >= Abs(Son - Deger)) then Deger := Son
    else Deger := Deger + Adim;
    if Result then V.Deger := V.Ilkc;
  end;
begin
  if chbIterasyon.Checked then
    lvIteration.Items.Add.Caption := '---->' +
    FormatDateTime('dd/mm/yyyy hh:nn:ss', Now);
    lvIteration.Tag := 0;
    IsCelcius := rgTBirim.ItemIndex = 0;
    AssignRecordValues(A, edAIlk, edASon, edAAdim);
    AssignRecordValues(E, edEIlk, edESon, edEAdim);
    AssignRecordValues(T1, edT1Ilk, edT1Son, edT1Adim);
    AssignRecordValues(T2, edT2Ilk, edT2Son, edT2Adim);
    AssignRecordValues(P1, edIlk1, edSon1, edAdim1);
    AssignRecordValues(P2, edIlk2, edSon2, edAdim2);
    AssignRecordValues(P3, edIlk3, edSon3, edAdim3);
    AssignRecordValues(P4, edIlk4, edSon4, edAdim4);
    repeat // A
      repeat // E
        repeat // T1
          repeat // T2
            repeat // P1
              repeat // P2
                repeat // P3
                  repeat // P4
                    if IsCelcius then
                      begin
                        tmpT1 := Power(T1.Deger + 273.15, 4);
                        tmpT2 := Power(T2.Deger + 273.15, 4);
                      end
                    else begin
                        tmpT1 := Power(T1.Deger, 4);
                        tmpT2 := Power(T2.Deger, 4);
                      end;
                    F := Hesapla(tlFormul.FocusedNode.Index+29,
[P1.Deger, P2.Deger, P3.Deger, P4.Deger]);
                    Q := A.Deger * E.Deger * 5.67E-8 * F * (tmpT1 -
tmpT2);
                    edF.Text := FormatFloat('0.###', F);
                    edQ.Text := FormatFloat('0.###', Q);
                    AddToIterationList(tlFormul.FocusedNode.Index+29,
[A.Deger, E.Deger, T1.Deger, T2.Deger, F, Q, P1.Deger, P2.Deger,
P3.Deger, P4.Deger]);
                    until DoStep(P4);
                    until DoStep(P3);
                    until DoStep(P2);
                    until DoStep(P1);
                    until DoStep(T2);
                    until DoStep(T1);
                    until DoStep(E);
                    until DoStep(A);

                if chbIterasyon.Checked then PageControl1.ActivePageIndex := 1;
            end;

```

```
procedure TForm1.PrepareProblems;
begin
  FillChar(Problems, SizeOf(Problems), #0);
  Problems[29, 1].Etiket := 'Aç1';
  Problems[29, 1].Birim := '°';

  Problems[30, 1].Etiket := 'r1';
  Problems[30, 1].Birim := 'm';
  Problems[30, 2].Etiket := 'r2';
  Problems[30, 2].Birim := 'm';
  Problems[30, 3].Etiket := 'a';
  Problems[30, 3].Birim := 'm';

  Problems[31, 1].Etiket := 'r';
  Problems[31, 1].Birim := 'm';
  Problems[31, 2].Etiket := 'x';
  Problems[31, 2].Birim := 'm';

  Problems[32, 1].Etiket := 'w';
  Problems[32, 1].Birim := 'm';
  Problems[32, 2].Etiket := 'h';
  Problems[32, 2].Birim := 'm';

  Problems[33, 1].Etiket := 'w';
  Problems[33, 1].Birim := 'm';
  Problems[33, 2].Etiket := 'h';
  Problems[33, 2].Birim := 'm';

  Problems[34, 1].Etiket := 'Aç1';
  Problems[34, 1].Birim := '°';

  Problems[35, 1].Etiket := 'r';
  Problems[35, 1].Birim := 'm';
  Problems[35, 2].Etiket := 's';
  Problems[35, 2].Birim := 'm';

  Problems[36, 1].Etiket := 'r1';
  Problems[36, 1].Birim := 'm';
  Problems[36, 2].Etiket := 'r2';
  Problems[36, 2].Birim := 'm';
  Problems[36, 3].Etiket := 's';
  Problems[36, 3].Birim := 'm';

  Problems[37, 1].Etiket := 'a';
  Problems[37, 1].Birim := 'm';
  Problems[37, 2].Etiket := 'b1';
  Problems[37, 2].Birim := 'm';
  Problems[37, 3].Etiket := 'b2';
  Problems[37, 3].Birim := 'm';

  Problems[38, 1].Etiket := 'a';
  Problems[38, 1].Birim := 'm';
  Problems[38, 2].Etiket := 'b';
  Problems[38, 2].Birim := 'm';
  Problems[38, 3].Etiket := 'c';
  Problems[38, 3].Birim := 'm';

  Problems[39, 1].Etiket := 'h';
  Problems[39, 1].Birim := 'm';
```

```
Problems[39, 2].Etiket := 'w';
Problems[39, 2].Birim := 'm';
Problems[39, 3].Etiket := 'l';
Problems[39, 3].Birim := 'm';
```

```
Problems[40, 1].Etiket := 'a';
Problems[40, 1].Birim := 'm';
Problems[40, 2].Etiket := 'r1';
Problems[40, 2].Birim := 'm';
Problems[40, 3].Etiket := 'r2';
Problems[40, 3].Birim := 'm';
```

```
Problems[41, 1].Etiket := 'l';
Problems[41, 1].Birim := 'm';
Problems[41, 2].Etiket := 'r1';
Problems[41, 2].Birim := 'm';
Problems[41, 3].Etiket := 'r2';
Problems[41, 3].Birim := 'm';
```

```
Problems[42, 1].Etiket := 'h';
Problems[42, 1].Birim := 'm';
Problems[42, 2].Etiket := 'r';
Problems[42, 2].Birim := 'm';
```

```
Problems[43, 1].Etiket := 'h';
Problems[43, 1].Birim := 'm';
Problems[43, 2].Etiket := 'r';
Problems[43, 2].Birim := 'm';
```

```
Problems[44, 1].Etiket := 'r1';
Problems[44, 1].Birim := 'm';
Problems[44, 2].Etiket := 'r2';
Problems[44, 2].Birim := 'm';
Problems[44, 3].Etiket := 'h';
Problems[44, 3].Birim := 'm';
```

```
Problems[45, 1].Etiket := 'r1';
Problems[45, 1].Birim := 'm';
Problems[45, 2].Etiket := 'r2';
Problems[45, 2].Birim := 'm';
Problems[45, 3].Etiket := 'h';
Problems[45, 3].Birim := 'm';
```

```
Problems[46, 1].Etiket := 'r1';
Problems[46, 1].Birim := 'm';
Problems[46, 2].Etiket := 'r2';
Problems[46, 2].Birim := 'm';
Problems[46, 3].Etiket := 'h';
Problems[46, 3].Birim := 'm';
```

```
Problems[47, 1].Etiket := 'd';
Problems[47, 1].Birim := 'm';
Problems[47, 2].Etiket := 'l1';
Problems[47, 2].Birim := 'm';
Problems[47, 3].Etiket := 'l2';
Problems[47, 3].Birim := 'm';
```

```
Problems[48, 1].Etiket := 'r';
Problems[48, 1].Birim := 'm';
```

```

Problems[48, 2].Etiket := 'a';
Problems[48, 2].Birim := 'm';

Problems[49, 1].Etiket := 'r';
Problems[49, 1].Birim := 'm';
Problems[49, 2].Etiket := 'a';
Problems[49, 2].Birim := 'm';

Problems[50, 1].Etiket := 's';
Problems[50, 1].Birim := 'm';
Problems[50, 2].Etiket := 'r1';
Problems[50, 2].Birim := 'm';
Problems[50, 3].Etiket := 'r2';
Problems[50, 3].Birim := 'm';
Problems[50, 4].Etiket := 'w';
Problems[50, 4].Birim := '°';

Problems[51, 1].Etiket := 'D';
Problems[51, 1].Birim := 'm';
Problems[51, 2].Etiket := 's';
Problems[51, 2].Birim := 'm';
end;

procedure TForm1.chbIterasyonClick(Sender: TObject);
begin
  lbSon.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  lbAdim.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edSon1.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edSon2.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edSon3.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edSon4.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edAdim1.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edAdim2.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edAdim3.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  edAdim4.Enabled := chbIterasyon.Checked;
  if chbIterasyon.Checked then
    begin
      edASon.Text := edAIlk.Text;
      edESon.Text := edEIlk.Text;
      edT1Son.Text := edT1Ilk.Text;
      edT2Son.Text := edT2Ilk.Text;
      edSon1.Text := edIlk1.Text;
      edSon2.Text := edIlk2.Text;
      edSon3.Text := edIlk3.Text;
      edSon4.Text := edIlk4.Text;
    end
  else begin
    edASon.Text := '';
    edESon.Text := '';
    edT1Son.Text := '';
    edT2Son.Text := '';
    edSon1.Text := '';
    edSon2.Text := '';
    edSon3.Text := '';
    edSon4.Text := '';
  end;
  edAAdim.Text := '';
  edEAdim.Text := '';
  edT1Adim.Text := '';

```

```

    edT2Adim.Text := '';
    edAdim1.Text := '';
    edAdim2.Text := '';
    edAdim3.Text := '';
    edAdim4.Text := '';
end;

procedure TForm1.AddToIterationList;
var
    N: TListItem;
    c: integer;
begin
    N := lvIteration.Items.Add;
    lvIteration.Tag := lvIteration.Tag + 1;
    N.Caption := IntToStr(lvIteration.Tag);
    N.SubItems.Add(IntToStr(ProblemNo));
    for c := 0 to High(P) do
        N.SubItems.Add(FormatFloat('0.###', P[c]));
    end;
end;

procedure TForm1.btKaydetClick(Sender: TObject);
var
    i, j: integer;
    L: TStringList;
    S, F: String;
begin
    F := '';
    if TBitBtn(Sender).Tag = 1 then
        begin
            if not dlgSave.Execute then Exit;
            F := dlgSave.FileName;
        end;
    L := TStringList.Create;
    try
        S := lvIteration.Columns[0].Caption;
        for j := 1 to lvIteration.Columns.Count - 1 do
            S := S + #9 + lvIteration.Columns[j].Caption;
        L.Text := S;
        for i := 0 to lvIteration.Items.Count - 1 do
            begin
                if not lvIteration.Items[i].Selected then Continue;
                S := lvIteration.Items[i].Caption;
                for j := 0 to lvIteration.Items[i].SubItems.Count - 1 do
                    S := S + #9 + lvIteration.Items[i].SubItems[j];
                L.Add(S);
            end;
        finally
            if F = '' then Clipboard.AsText := L.Text
            else L.SaveToFile(F);
            L.Free;
        end;
    end;
end;

procedure TForm1.miKopyalaClick(Sender: TObject);
begin
    btKopyala.Click;
end;

procedure TForm1.miKaydetClick(Sender: TObject);

```

```
begin
  btKaydet.Click;
end;

procedure TForm1.miSilClick(Sender: TObject);
var
  i: integer;
begin
  for i := lvIteration.Items.Count - 1 downto 0 do
    begin
      if lvIteration.Items[i].Selected then lvIteration.Items[i].Delete;
    end;
  end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var
  Deger: array[1..9] of Extended;
  i, j: integer;
begin
  Deger[1] := 0.05;
  Deger[2] := 0.1;
  Deger[3] := 0.2;
  Deger[4] := 0.3;
  Deger[5] := 0.5;
  Deger[6] := 1;
  Deger[7] := 2;
  Deger[8] := 5;
  Deger[9] := 50;
  for j := 1 to 9 do
    for i := 1 to 10 do
      begin
        edIlk1.Text := FormatFloat('0.####', i/10);
        edIlk3.Text := FormatFloat('0.####', Deger[j] * i /10);
        btHesapla.Click;
      end;
    end;
end;

end.
```

ÖZGEÇMİŞ

1975 Bursa doğumlu olan Faruk KAYNAKLI, 1992 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek öğrenimine başladı. 2000 yılında bölümünden mezun olarak aynı yıl Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen makine mühendisi olarak görevine ve yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenimimde değerli görüş ve önerileriyle bana yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Muhsin KILIÇ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Sayın Doç. Dr. Ömer KAYNAKLI'ya katkı ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans çalışmalarım esnasında da sabır gösteren, maddi – manevi yardımlarını esirgemeyen, bana her zaman destek olan aileme en içten şükranlarımı sunarım.