

151577

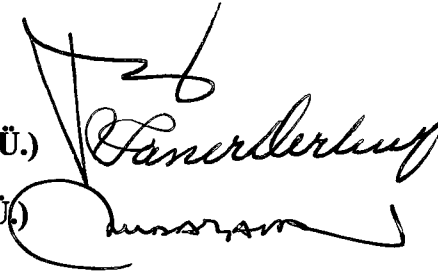
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISI TAŞINIM KATSAYISININ SABİT VEYA SICAKLIĞA
BAĞLI OLMASI DURUMUNDA T ŞEKLİ BİR KANADIN
ISI TRANSFER OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Cem KARABACAKOĞLU
(503011004)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Taner DERBENTLİ (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Murat ÇAKAN (İ.T.Ü.)**



MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, öneri ve olumlu eleştirileriyle beni yönlendiren, çalışmalarına katkısı yadsınamayacak değerli hocam Prof. Dr. Feridun Özgüç'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca benden yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Kemal Taner'e, Sayın Özgür Koçak ve Sayın Asena Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana her zaman ve her konuda yardımcı olan ve kararlarımı destekleyen aileme teşekkür ederim.

İstanbul, Mayıs 2004

Cem KARABACAKOĞLU



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Genişletilmiş Yüzeyle Giriş	1
1.2. Literatür araştırması	2
2. GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLER	6
2.1. Genişletilmiş Yüzeylede Isı Geçiş	6
2.2. Kanatlarda İletimin Genel Çözümlemesi	8
2.3. Sabit Kesit Alanlı Kanatlar	10
2.4. Kanat Etkenliği	15
2.5. Kesit Alanı Değişen Kanatlar	19
2.6. Toplam Yüzey Verimi	21
3. ISI TAŞINIM KATSAYISI SABİT ALINARAK YAPILAN T ŞEKLİ KANADIN GEOMETRİK OPTİMİZASYON	24
3.1 Yapısal Teoriye Giriş	24
3.2 Bir Boyutlu İletim Modeli	26
3.3 Sonuçların Grafiklerle İncelenmesi	28
3.4 Optimal T Şekli Geometri	34
4. ISI TAŞINIM KATSAYISININ SICAKLIĞA BAĞLI ALINMASI DURUMUNDA T ŞEKLİ KANADIN GEOMETRİK OPTİMİZASYONU	37
4.1 Isı Taşınım Katsayısının Değişken Olma Durumu	37
4.2 Kanat Profilinin Matematik Modelinin Kurulması	37
4.3 Global Isı İletim Denklem Sonuçlarının Eğrileri	41
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	48
KAYNAKLAR	50
EK 1	52
ÖZGEÇMİŞ	58

KISALTMALAR

ITK	: Isı taşınım katsayısı
BS	: Biot Sayısı
YM	: Yapısal Metot
SK	: Sınır Koşulları
Gİİ	: Global Isı İletimi



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Çeşitli t_1/t_0 oranı değerlerinde hesaplanmış q_1 değerleri.....	29
Tablo 3.2 Değişik t_1/t_0 oranları için maksimum q_1 'i veren L_1/L_0 oranları.....	30
Tablo 3.3 Çeşitli t_1/t_0 oranlarında maksimum q_1 'e göre L_1/L_0 değişimi.....	31
Tablo 3.4 Optimum t_1/t_0 ve L_1/L_0 'ya göre a ve Φ_1 (f_1) değerleri.....	33
Tablo 3.5 Farklı a ve Φ_1 değerlerine karşılık bulunan t_1/t_0 değerleri.....	33
Tablo 3.6 Farklı a ve Φ_1 değerlerine karşılık bulunan L_1/L_0 değerleri.....	34
Tablo 4.1 Değişik ısı geçiş mekanizmalarına göre h_0 ve m değerleri.....	38
Tablo 4.2 Parametrelerin açıklamaları.....	39
Tablo 4.3 Verilen t_1/t_0 oranlarına göre q_1 değerleri.....	42
Tablo 4.4 Değişik t_1/t_0 oranları için maksimum q_1 'i veren L_1/L_0 oranları.....	43
Tablo 4.5 Optimum t_1/t_0 ve L_1/L_0 'ya göre a ve Φ_1 (f_1) değerleri.....	45
Tablo 4.6 a ve Φ_1 değerlerine karşılık bulunan t_1/t_0 değerleri.....	46
Tablo 4.7 Farklı a ve Φ_1 değerlerine karşılık bulunan L_1/L_0 değerleri.....	46

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Halka şekilli kanatların verimleri ve optimum boyları.....	4
Şekil 1.2	Yapısal teori metoduyla bulunmuş optimum kanal ağı.....	5
Şekil 2.1	Bir yapısal elemanda bileşik iletim ve taşınım[15].....	6
Şekil 2.2	Bir düzlemsel duvardan ısı geçiş arttırılmasında kanat kullanımı (a) çıplak yüzey (b) katlı yüzey[15].....	7
Şekil 2.3	Tipik kanatlı-boru ısı değıştiricileri[15].....	8
Şekil 2.4	Kanat Türleri (a) sabit kesitli düz kanat (b) değışken kesitli düz kanat (c) dairesel kanat (d) iğne kanat[15].....	9
Şekil 2.5	Genişletilmiş yüzeylerde enerji dengesi[15].....	10
Şekil 2.6	Sabit kesitli düz kanatlar (a) dikdörtgen kanat (b) iğne kanat[15].....	11
Şekil 2.7	Sabit kesitli bir kanatta iletim ve taşınım[15].....	14
Şekil 2.8	Dikdörtgen, üçgen ve parabolik profilli düz kanatların verimi[15].....	18
Şekil 2.9	Dikdörtgen profilli dairesel kanatların verimi[15].....	18
Şekil 2.10	Temsili kanat dizileri (a) dikdörtgen kanatlar (b) dairesel kanatlar[15].....	22
Şekil 2.11	Kanat dizisi ve ısı devre (a) dibi ile bütünleşik kanatlar (b) dibe tutturulmuş kanatlar[15].....	23
Şekil 3.1	Plaka kanatların T şeklindeki biçimi.....	25
Şekil 3.2	Çeşitli t_1/t_0 oranı değerlerinde bulunan q_1 eğrileri.....	30
Şekil 3.3	Çeşitli t_1/t_0 oranlarında maksimum q_1 'e göre L_1/L_0 değışimi.....	31
Şekil 3.4	Optimum et kalınlıkları ve boyları ve farklı a ve Φ_1 (f1) değerlerine göre q_1 değışimi.....	32
Şekil 3.5	Farklı kanat parametrelerine göre değışen $(t_1/t_0)_{opt}$	33
Şekil 3.6	Farklı kanat parametrelerine göre değışen $(L_1/L_0)_{opt}$	34
Şekil 3.7	Optimize edilmiş T şekilli kanat profil örnekleri ($\Phi_1=0,086$, a=0,185).....	35
Şekil 4.1	Boyutsuz Q bağıntısının N değeriyle değışimi.....	41
Şekil 4.2	Çeşitli t_1/t_0 oranı değerlerinde bulunan q_1 eğrileri.....	43
Şekil 4.3	Farklı t_1/t_0 değerleri için maksimum q_1 'e göre L_1/L_0 değışimi.....	44
Şekil 4.4	(t_1/t_0 ve L_1/L_0 optimum iken a ve Φ_1 (f1) değerlerine göre q_1 değışimi.....	45
Şekil 4.5	Kanat parametrelerine (a ve Φ_1) göre değışen $(t_1/t_0)_{opt}$	46
Şekil 4.6	Farklı kanat parametrelerine(a ve Φ_1) göre değışen $(t_1/t_0)_{opt}$	47

SEMBOL LİSTESİ

A	: Toplam yüzey alanı
A_r	: Toplam kesit alanı
a	: Boyutsuz parametre
b	: Boyutsuz parametre
f	: Film sıcaklığı parametresi
h	: ITK
I₀	: Birinci dereceden değiştirilmiş Bessel fonksiyonu
K₀	: Birinci dereceden değiştirilmiş Bessel fonksiyonu
L	: Kanat plakasının uzunluğu
m	: Isı transfer şeklini belirleyen parametre
m_r	: Kanat parametresi
P	: Kanat çevresi
η	: Kanat verimi
q	: Isı iletim katsayısı
R	: temas direnci
t	: Kanat plakasının et kalınlığı
T	: Sıcaklık
V	: Hacim
W	: Kanat profilinin genişliği
Y	: Isı transfer türü parametresi
Gr	: Grasshof sayısı
Nu	: Nusselt sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
ε	: Boyutsuz l'den küçük sayı
θ	: Sıcaklık farkları oranı
δ	: Kanat et kalınlığı
Φ	: Kanat hacim parametresi
π	: Pi sayısı
Ψ	: Sıcaklık parametresi
Γ	: Gama fonksiyonu

ISI TAŞINIM KATSAYISININ SABİT VEYA SICAKLIĞA BAĞLI OLMASI DURUMUNDA T ŞEKLİ BİR KANADIN ISI TRANSFER OPTİMİZASYONU

ÖZET

Genişletilmiş yüzeyler ısı akışının söz konusu olduğu hemen her sistemde veya cihazda ısı geçiş performansını en kolay ve hızlı artırabilecek yapılardır. Uzun bir süredir ısı transferi optimize edilmiş kanatlar ısı sistem tasarımcıları ve mühendislik uygulamaları için önemli bir ihtiyaç olmuştur. Dolayısıyla birçok araştırmacı bu konu üzerinde çeşitli çalışmalar yapmış ve incelemesinde kullandığı sisteme göre birtakım sonuçlar elde etmiştir. Sonuçta kimi zaman karmaşık kanat yapıları elde edilmiş, bunların pratik kullanımı imalat güçlüklerinden dolayı pek fazla olamamıştır.

Yapısal metot ilk olarak ısı üreten elektronik aletlerin soğutma uygulamaları ile öne sürülmüştür. Sonlu sistemler için uygulandığında, sistemin içinden geçen akışlara kolayca izin verecek şekilde bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu metodun yüksek iletkenlikli malzeme ile ısı iletiminin göz önüne alındığı ısı transfer mekanizmalarına uygulanmasıyla sistemin ağaç yapısı şeklinde olması gerektiği görülür.

Bu çalışmada yapısal metot kullanılarak ele alınan bir ucu yalıtımlı T şekilli bir kanadın sabit hacimde geometrik optimizasyonu yapılmaya çalışılmıştır. Öncelikle kanatlar hakkında genel bilgiler verilip, verim, kanat etkenliği gibi bazı gerekli terimlerin tanımları yapılmıştır. Daha sonra ITK sabitken sistemin sıcaklık dağılımı çıkarılıp, terimler boyutsuzlaştırılarak, son haline getirilmiş bir boyutlu ısı iletim denklemi elde edilmiştir. Yazılan bir bilgisayar programı sayesinde ulaşılan veriler, grafikler haline getirilip incelenmiştir. Sonuçlar incelenirken kanat profilinin ısı iletimi maksimum yapılmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda kanadı oluşturan plakaların et kalınlıkları ve boylar oranının optimumu bulunmuştur. Bundan sonra ITK sıcaklığa bağlı alınmıştır. Bu koşullar altında son haline getirilen bir boyutlu ısı iletim denkleminin analitik çözümü araştırılmış, bulunan makaleler yardımıyla tam bir çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Denklem bilgisayar programı yardımıyla çözdürülüp sonuçlar grafiklerle incelenmiştir. Her iki durumda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve bu sonuçların doğruluğu kontrol edilmeye çalışılmıştır. Böylece yapısal metodun da güvenilirliği test edilmiştir.

Sonuç olarak malzeme miktarı değiştirilmeden belirli parametreler altında T profile sahip bir kanadın yapısal metot ile optimum geometrisi bulunmuştur. Isı transferi optimize edilmiş kanatlar her zaman bir ihtiyaç olduğu için gelecekte de yapısal metotla veya başka metotlarla geometrik optimizasyon yapılacak ve imalatı kolay maliyeti düşük kanat profilleri elde edilmeye çalışılacaktır.

OPTIMIZATION OF A T SHAPED FIN WITH A CONSTANT HEAT TRANSFER COEFFICIENT AND WITH A TEMPERATURE DEPENDENT HEAT TRANSFER COEFFICIENT

SUMMARY

Extended surfaces are structures used in almost every system or equipment with a heat flow and the increase of heat transfer performance is needed. For a long time fins with optimised heat transfer have been a strong need for thermal system designers and engineering applications. That's why many investigators have made various investigations on this matter and have found some results related with their specific method. Some studies ended with complex shaped fins which have little use in practice due to manufacturing problems.

Constructional method was first used in cooling of electronics. When it is used for finite systems, the system must have the structure to let the flows pass easily from its inside. If this method is applied to highly conductive systems with heat conduction, the system probably will have the tree shaped structure.

In this study, geometric optimisation of a T shaped fin with insulated tip and with constant volume tried to be made by using construction method. Firstly some general information about fins is given. Some terms like fin effectiveness, fin efficiency are defined. After that heat dissipation of the system when heat transfer coefficient is constant, is written. Terms were made to be dimensionless and the equation is brought to its final shape. Results are calculated by writing and using a computer program. Graphs are drawn by the results. While investigating the results, heat conduction is tried to be maximised. By this way optimum wall thicknesses and lengths of the two plates that built the fin was found. Next the heat transfer coefficient is taken to be temperature dependent. An analytic solution for the equation found with these conditions was investigated. It was tried to be reached to a solution by examining articles. After doing this the final equation was solved by a computer program and the results were examined by graphs. The results of both conditions were compared and trueness of the results was tried to be controlled. By this way confidence of the constructional method was also tested.

As a result the optimum geometry of a T shaped fin with constant material and with using some parameters was found. Fins with optimised heat transfer will be a need for everytime. So many geometric optimisation of fins studies will be made by using constructional method or with other methods. And fin profiles with low costs and no manufacturing problems will be tried to be found.

1. GİRİŞ

1.1 Geniştirilmiş Yüzeylere Giriş

Geniştirilmiş yüzeyler, ısı transferinin artırılması istenen yerlerde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Isıl sistem tasarımında bu yüzden önemli bir rol oynarlar. Uzun bir süredir ısı transferinde optimize edilmiş kanatlar tasarımcılar için önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Konu üzerinde geçtiğimiz yüzyıl boyunca çeşitli araştırmacılar çok sayıda araştırma yapmışlardır. Bunların sonucunda dikdörtgensel, dairesel, üçgensel, parabolik ve iğne şekline sahip kanatlarda çeşitli optimize kanat yapıları elde etmişlerdir. Sonuçta elde edilen kanat yapıları çoğunlukla karmaşık bir şekle sahip olmuş, imalat güçlüklerinden dolayı pratik kullanımda çok az yer bulabilmişlerdir. Kanat optimizasyonu yapılırken gerçek hayatta karşılaşılan durumlar göz önünde tutulmalıdır. Bu durumda önemli parametreler aşağıda sıralandığı gibidir:

- Isı akışı süreklidir.
- Kanat malzemesi homojen ve izotropiktir.
- Kanadın içinde ısı kaynağı yoktur.
- Genel olarak taşınım, yüzey sıcaklığı ile onu çevreleyen akışkan arasında gerçekleşir.
- Kanadın ısı iletim katsayısı (k) homojen malzemeden dolayı sabittir.
- Çevreleyen akışkanın sıcaklığı sabittir.
- Kanat tabanında sıcaklık sabittir.
- Doğal taşınımda yerel ısı taşınım katsayısı konuma ve sıcaklığa bağlıdır.
- Kanadın kalınlığı boyuna oranla çok küçüktür. Böylece yüzeye dik olan sıcaklık dağılımları ihmal edilebilir.

Bu çalışmada kanat malzemesinin dolayısıyla ısı iletim katsayısının ve toplam hacmin sabit olduğu varsayılmış, bu durumdaki T profiline sahip kanat tiplerinin ısı iletimini maksimum yapmayı hedefleyen, geometrik (yapısal) optimizasyon metodu kullanılarak optimum geometriye sahip T şekilli kanat bulunmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde kanatlar hakkında genel bilgiler verilmiş, sık kullanılan kanat profillerinden bahsedilmiş. Sabit ve değişken kesit alanlı kanatlarda ısı geçiş sistemleri incelenmiş. Kanat etkenliği ve kanat verimi kısaca anlatılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ısı taşınım katsayısı sabit alınarak, yapısal optimizasyon metodu ile ele alınan kanadın optimum geometrisi bulunmaya çalışılmış. Sistemin matematik modeli kurulduktan sonra sınır koşulları ile denklemler son haline getirilmiş. Hazırlanan bilgisayar programı ile sonuçlar elde edilip grafiklere taşınmıştır. Ardından bu grafikler yorumlanarak, sabit kanat hacmine göre kalınlıklar ve boylar bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılmış benzer bir çalışmayla karşılaştırılarak, doğruluğu test edilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde aynı kanat profili ele alınmış. Ancak burada çözümlemenin gerçek hayata uygunluğu göz önünde tutularak, ısı taşınım katsayısı sıcaklığa bağlı olarak alınmıştır. Bu durumda değişen denklemler, boyutsuz parametreler kullanılmaya çalışılarak üçüncü bölümdekilere benzetilmeye çalışılmıştır. Yeniden hazırlanan bilgisayar programı ile sonuçlar elde edilip, grafikler çıkarılmış. Yeni durumdaki optimum kanat yapısı bulunmaya çalışılmıştır.

Çalışma boyunca elde edilen sonuçlar beşinci bölümde değerlendirilmiş, değişen parametrelere göre ulaşılan sonuçlar birbirleri arasında kıyaslanarak kullanılan metodun performansı ve geçerliliği tartışılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Mühendisler ve araştırmacılar için optimize edilmiş kanat optimizasyonu özellikle yakın tarihte oldukça ilgi çekici bir saha olarak görülmüştür. Kanat optimizasyonu için tanımlanması gereken başlıca parametrelerden biri kanat verimidir. Kanat verimi ise

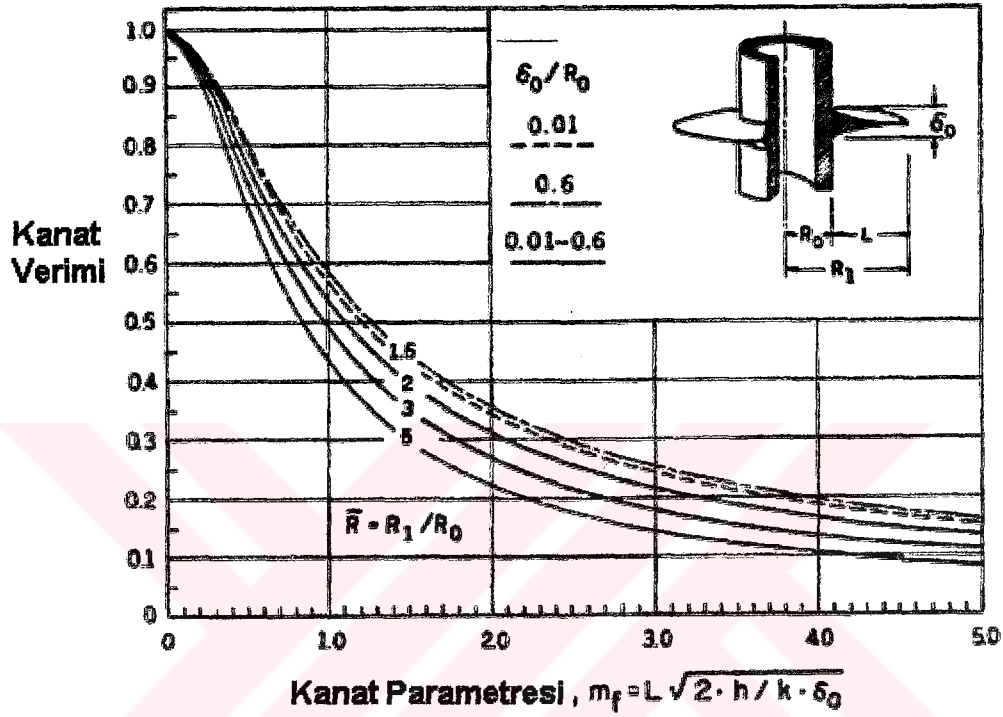
basitçe kanattan çevreye olan ısı geçişinin kanadın tüm yüzeylerinin kanat tabanındaki sıcaklıkta olması durumundaki ısı geçişine oranlanması şeklinde tanımlanabilir. Dolayısıyla verimin yüksek olması için kanat yüzeylerindeki sıcaklıkların kanat tabanındaki sıcaklığa yakın olması gerekir. Bunu sağlamak için de kanat içindeki ısı iletiminin maksimum olması istenir. Optimizasyon yapılırken genelde bu prensip benimsenerek çalışmalar bu eksen çevresinde yapılmıştır.

Ernst Schmidt 1926 yılında yaptığı çalışmada toplam kanat hacmine gelecek maksimum ısı transferi sağlayacak kanat şeklini bulmaya çalışmıştır [1]. Bunu yaparken de toplam ısı transfer alanını değil, kanadı oluşturan birçok ısı borusundan bir tanesinin üzerindeki ısı transferini incelemiştir. Kanat boyunca her bir ısı borusu üzerindeki sıcaklık dağılımının doğrusal olacağını savunmuş, kanat hacmi üzerindeki maksimum ısı geçişini buna bağlı olarak bulmuştur. Ancak daha sonra Schmidt' in ark uzunluğunu ihmal ettiği iddia edilmiş [3]. Bu durumda optimum kanadın Schmidt'in önerdiği yapıdan farklı olacağı öne sürülmüştür. Daha sonra yapılan bir çalışmada ise ark uzunluğu faktörü hesaba katılarak Schmidt' in yaklaşımına geliştirilmiş bir alternatif sunulmuştur [5].

Diğer bir çalışmada içinde ısı üretimi olan ve olmayan kanat için kanat ucundaki sınır koşulunun kanat performansına etkisi incelenmiştir [8]. Kanat ucunun yalıtımlı olması veya kanat ucunda ısı geçişi olması durumunda, sıcaklık dağılımına bağlı ısı taşınım katsayısı kullanılarak analitik olarak incelenmiş, bu koşullara bağlı diferansiyel denklemler çıkarılarak çözümler yapılmıştır. Pratik uygulamalar için önemli bazı koşullardaki ısı akışının determinasyonunda önemli hatalar çıkabileceği bulunmuştur.

Farklı kesit alanlarına sahip halkasal kanat yapılarının verimi ve optimize edilmiş boyutları konusunda yapılan çalışmada, bu tip kanatların yaygın kullanımlarından dolayı optimizasyonlarının önemi vurgulanmış ve diferansiyel denklemleri kurularak çözümleri bulunmuştur. Bu çözümler sonucu çizilen kanat verim grafiklerinin de karşılaştırılmasıyla en ideal kanadın parabolik kesitli halka şekilli kanat olduğu tayin edilmiştir. Bu kanadın verim-kanat parametresi grafiği Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Ancak pratik kullanım söz konusu olduğu için imalat güçlükleri de dikkate alınarak, tasarımcının en doğru kanadı seçerken ekonomiklik beklentisini de göz önüne alması

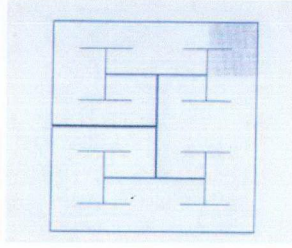
tavsiye edilmiştir [4]. Bu çalışmada tek bir kanat incelenmiştir. Gerçek hayattaki endüstriyel sistemlerde kanatlar arasındaki mesafenin de ısı taşınım katsayısını etkileyeceği göz önünde bulundurulmalı, kanat dizilerinin optimizasyonu bu prensiple yapılmalıdır.



Şekil 1.1 Halka şekilli kanatların verimleri ve optimum boyutları

İçinde ısı üretimi olan bir hacimde soğutma için ısı iletim kanalları ağının yapısal teoriyle tespitinde soğutma kanallarının ideal geometrisi bulunmaya çalışılmıştır. Burada içinde ısı üretimi olan hacmin ısı iletkenliği düşük kabul edilmiş, hacmin soğutulması için yüksek ısı iletkenlikli tel şeklinde kanallar kullanıldığı varsayılmıştır. Bu kanalların belirtilen hacme ve birbirine en ideal montaj şekli yapısal teori denilen metodun kullanılmasıyla yapılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak Şekil 1.2’ de gösterilen ağaç yapısına benzeyen bir geometri bulunmuştur [9]. Ayrıca çalışma sonucunda bu teorinin fizik, biyoloji ve matematikte yaygın bir kullanım alanı olduğu gösterilmiştir.

Başka bir çalışmada ısı taşınım katsayısının sıcaklığa bağlı değişmesi durumunda değişik soğutma kanatlarının performansı ve optimum boyutları incelenmiştir. Burada dikdörtgensel, üçgensel ve parabolik profile sahip; düzlemsel, halkasal ve iğne tipi



Şekil 1.2 Yapısal teori metoduyla bulunmuş optimum kanal ağı

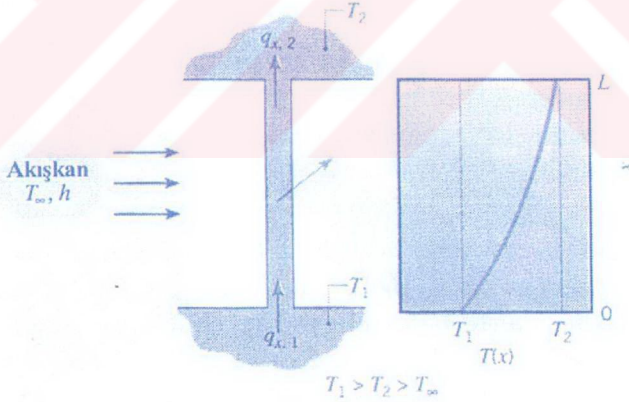
kanatlar incelenmiştir. Isı taşınım katsayısı pratik kullanıma uygun olarak sıcaklığa bağlı kabul edilmiştir. Teorik analizler yapılmış ve ideal kanat çözümlerinin bilinen analitik çözümlere oranlanmalarıyla geliştirilmiş bir metot kullanılarak nümerik olarak çözülmüştür [7]. Aynı metodun ısı taşınım katsayısının konuma bağlı olduğu yerlerde ve karışık mekanizmaların bulunması durumunda uygulanabileceği belirtilmiştir. Karışık mekanizmaların olduğu yerlerde her bir mekanizma ayrıca ele alınarak süperpozisyon prensibi uygulanmalıdır [7].

2. GENİŞLETİLMİŞ YÜZEYLER

2.1. Geniştirilmiş Yüzeylerde Isı Geçişi

Geniştirilmiş yüzeyler tanımı genellikle sınırlar içinde ısı geçişi, sınırlar ile çevresi arasında ise taşınım ve/veya ışıınım ile geçişi olan bir katı için kullanılır. Böyle bir sistem Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmektedir. Farklı sıcaklıklardaki iki duvar arasında destek sağlayacak bir çubuk kullanılmaktadır. X doğrultusundaki sıcaklık gradyanı iletim ile ısı geçişine neden olurken, aynı zamanda yüzeyden taşınım ile ısı geçişi gerçekleşmektedir.

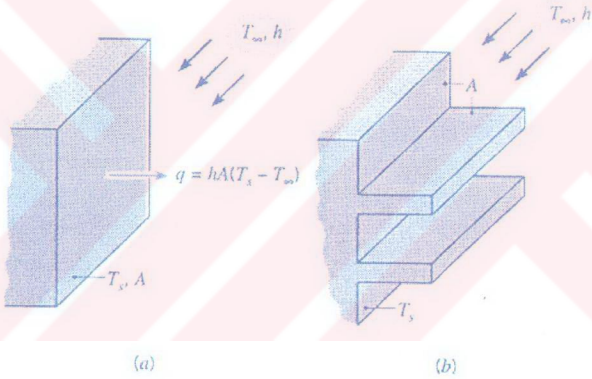
Taşınım ve iletimin birlikte gerçekleştirildiği bir çok farklı durum olmakla birlikte, en sık karşılaşılan uygulamalardan biri katı ve çevresindeki akışkan arasında ısı geçişini arttırmak için kullanılan genişletilmiş yüzeylerdir. Bu tür yüzeylere *kanat* adı verilir.



Şekil 2.1 Bir yapısal elemanda bileşik iletim ve taşınım.

Şekil 2.2 (a)'daki düzlemsel duvar göz önüne alınsın. T_s sabitse, ısı geçişini arttırmanın iki yolu vardır. Akışkan hızı yükseltilerek ısı taşınım katsayısı arttırılabilir ve/veya akışkan sıcaklığı T_∞ azaltılabilir. Bununla beraber, h 'nin en

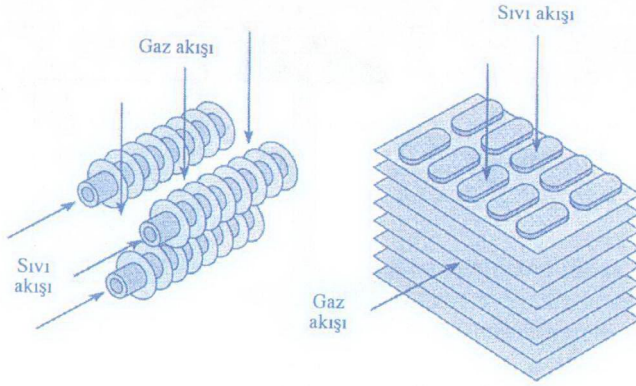
yüksek değere artırılması bile istenen ısı geçişini elde etmeye yeterli olmayabilir veya yüksek maliyetlerle karşılaşılabılır. Bu maliyetler akışkan hareketinin artırılması için gerek duyulan fan veya pompa gücü ile ilgilidir. Bundan başka, T_{∞} sıcaklığının azaltılması seçeneği çoğu kez pratik değildir. Şekil 2.2 (b) incelendiğinde üçüncü bir seçeneğin de olabileceği görülür. Başka bir deyişle ısı geçişi taşınımın gerçekleştiği yüzeylerin artırılması ile artırılabilir. Bu, cidardan etrafındaki akışkan içine genişleyen kanatlar kullanılarak yapılabilir. Kanat malzemesinin ısı iletim katsayısı, kanat boyunca sıcaklık dağılımını etkiler ve bundan ısı geçişi de etkilenir. İdeal olarak, kanat dibinden ucuna kadar sıcaklık değişiminin en az olması için, kanat malzemesi yüksek bir ısı iletim katsayısına sahip olmalıdır. ısı iletim katsayısının sonsuz olması durumunda, tüm kanat yüzey sıcaklığında olacak, en fazla ısı geçiş artışı sağlanacaktır.



Şekil 2.2 Bir düzlemsel duvardan ısı geçiş artırılmasında kanat kullanımı (a) çıplak yüzey (b) kanatlı yüzey.

Çim biçme makinası veya motosiklet motor kafasındaki soğutma düzeneği veya elektrik güç trafosunun soğutucusu kanat olarak düşünülebilir. Bir iklimlendirme cihazında kullanılan akışkan ile hava arasındaki ısı geçişini arttırmak için kullanılan kanatlı borular da örnek verilebilir. Yaygın kullanılan iki kanatlı boru düzeneği Şekil 2.3'de gösterilmektedir.

Farklı kanat çizimleri Şekil 2.4'de görülmektedir. Bir düz kanat, düzlemsel duvara tutturulan herhangi bir genişletilmiş yüzeydir. Kesit alanı sabit olabilir veya

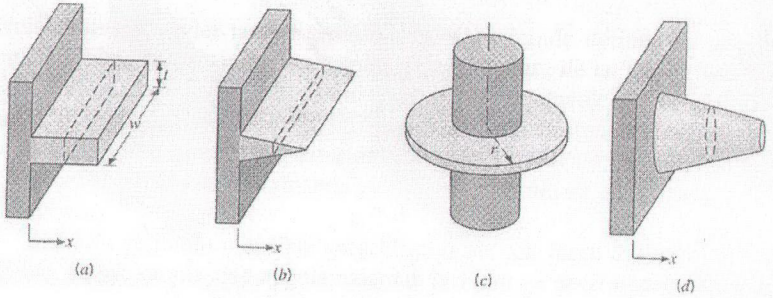


Şekil 2.3 Tipik kanatlı-boru ısı değıştircileri.

değışebilir. Dairesel kanat bir silindir çevresine tutturulmuştur ve kesit alanı silindirin eksenine göre yarıçap ile değışmektedir. Yukarıda sözü geçen kanatlar dikdörtgen kesitli olup alanları düz kanatlar için kanat kalınlığı t ile genişliği w 'nin çarpımı, dairese kanatlar için kanat kalınlığı t ile çevresi $2\pi r$ 'nin çarpımı olarak ifade edilir. Buna karşın iğne kanat veya diken kanat dairese kesitli genişletilmiş bir yüzeydir. İğne kanatlar sabit kesitli olabilir veya olmayabilir. Herhangi bir uygulamada belirli bir kanat türünün seçimi, kanatların ısı taşıyım katsayısını azaltma ve kanat üzerindeki akış için basınç düşüşünü artırma gibi etkenlerin yanında kullanılacak yere, ağırlığa, imalat yöntemine ve maliyete bağılı olabilir.

2.2. Kanatlarda İletimin Genel Çözümlemesi

Öncelikle genişletilmiş yüzey veya kanatların çevrelerindeki akışkana ısı geçişini ne ölçüde iyileştirdikleri bilmek istenir. Bir kanattan olan ısı geçişini belirlemek için, öncelikle kanat boyunca sıcaklık dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Çözümlemeye uygun bir diferansiyel eleman üzerinde enerji dengesi kurularak başlanır. Şekil 2.5'teki genişletilmiş yüzey ele alınsın. Belirli kabuller yapılsa çözüm basitleştirilir. Kanat içerisinde iletim gerçekte iki boyutlu olduğu halde eksenel (x) yönde bir boyutlu kabul edilebilir. Kanat üzerindeki herhangi bir noktada akışkana taşınan enerji dik (y, z) yöndeki iletim ile dengelenmek zorundadır. Ancak uygulamada, kanat incedir ve uzunlamasına sıcaklık değışimi dik yöndekine oranla çok daha



Şekil 2.4 Kanat türleri (a) sabit kesitli düz kanat (b) değişken kesitli düz kanat (c) dairesel kanat (d) iğne kanat.

büyükür. Bu nedenle, ısı iletimi x yönünde bir boyutlu alınabilir. Ayrıca çözümlemede sürekli rejim ele alınacak, ısı iletim katsayısının sabit, yüzey üzerindeki h ısı taşınım katsayısının düzgün dağılımlı olduğu kabul edilecektir.

Şekil 2.5'teki diferansiyel elemana enerji korunum kuralları, uygulanarak

$$q_x = q_{x+dx} + dq_{\text{taşıma}} \quad (2.1)$$

elde edilir. Fourier yasasından

$$q_x = -k A_c \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

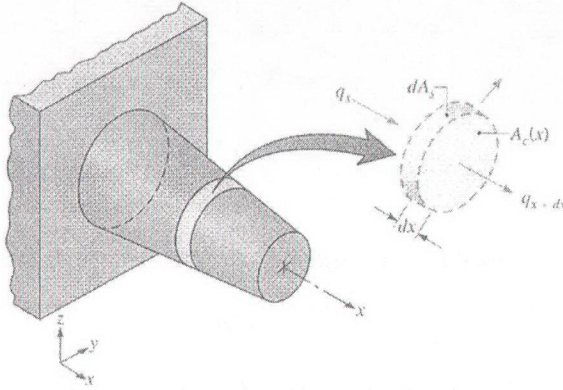
yazılabilir. Burada, A_c , x ile değişebilen kesit alanıdır. $x + dx$ 'te ısı iletimi

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx} dx \quad (2.3)$$

olarak gösterilebilir ve buradan,

$$q_{x+dx} = -k A_c \frac{dT}{dx} - k \frac{d}{dx} (A_c \frac{dT}{dx}) dx \quad (2.4)$$

elde edilir. Taşınım ile geçen ısı,



Şekil 2.5 Genişletilmiş yüzeyde enerji dengesi

$$dq_{\text{ısıtma}} = h d A_s (T - T_{\infty}) \quad (2.5)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Burada, dA_s diferansiyel elemanın yüzey alanıdır. Bu denklemden enerji dengesinde denklem (2.1) yerine konursa,

$$\frac{d^2 T}{dx^2} + \left(\frac{1}{A_c} \frac{dA_c}{dx} \right) \frac{dT}{dx} - \left(\frac{1}{A_c} \frac{h dA_s}{k dx} \right) (T - T_{\infty}) = 0 \quad (2.6)$$

elde edilir. Bu sonuç, genişletilmiş bir yüzeyde, bir boyutlu enerji denkleminin genel gösterimidir. Bu denklemin belirli sınır koşulları için çözümü, sıcaklık dağılımını x 'in bir fonksiyonu olarak verecektir. Bu sıcaklık dağılımı daha sonra denklem (2.2) ile kullanılarak, herhangi bir kesitteki ısı iletimi hesaplanabilir.

2.3. Sabit Kesit Alanlı Kanatlar

Sabit kesit alanlı düz dikdörtgen ve iğne kanatlı en basit durum ile başlanabilir (Şekil 2.6). Her bir kanat $T(0) = T_b$ sıcaklığındaki taban yüzeyine oturtulmuş olup T_{∞} sıcaklığındaki bir akışkan içinde bulunmaktadır.

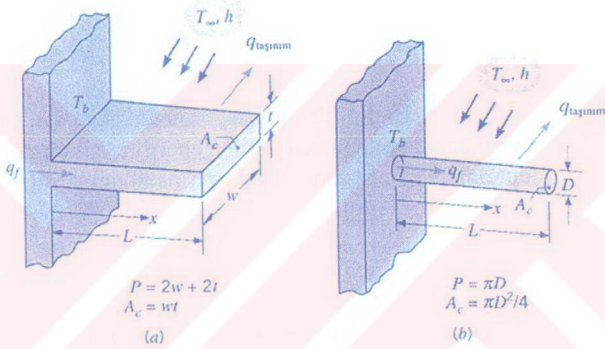
İncelenen kanatlar için, A_c sabit ve $A_s = Px$ olup, A_s tabandan x 'e kadar olan yüzey alanı ve P kanadın çevre uzunluğudur. Buna göre, $dA_c / dx = 0$ ve $dA_s / dx = P$ olmaktadır ve bu durumda aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{d^2 T}{dx} - \frac{hP}{k A_c} (T - T_\infty) = 0 \quad (2.7)$$

Bu denklem bir değişken dönüşümü ile daha da basitleşir. Sıcaklık farkı θ

$$\theta(x) \equiv T(x) - T_\infty \quad (2.8)$$

olarak tanımlansın. Burada, T_∞ sabit olduğundan $d\theta / dx = dT / dx$ olur. Denklem (2.8), denklem (2.7)'de yerine konursa,



Şekil 2.6 Sabit kesitli düz kanatlar, (a) Dikdörtgen kanat. (b) İğne kanat.

$$\frac{d^2 \theta}{dx} - m^2 \theta = 0 \quad (2.9)$$

elde edilir. Bu denklemde,

$$m^2 \equiv \frac{hP}{k A_c} \quad (2.10)$$

olmaktadır.

Denklem (2.9) lineer, homojen ve sabit katsayılı ikinci mertebeden bir diferansiyel denklemdir. Bu denklemin genel çözümü,

$$\theta(x) = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} \quad (2.11)$$

şeklinde. Denklem (2.11)'in denklem (2.9)'un bir çözümü olduğu kolayca sağlanabilir.

Denklem (2.11)'deki entegrasyon sabitlerinin bulunabilmesi için uygun sınır koşullarının tanımlanması gerekir. Bu şartlardan biri kanadın tabanındaki ($x = 0$) sıcaklık olabilir.

$$\theta(0) = T_b - T_\infty = \theta_b \quad (2.12)$$

İkinci sınır koşulu, kanadın ucunda ($x = L$) tanımlanır ve dört ayrı fiziksel durumdan birine karşı gelebilir. Bu dört farklı durum aşağıda A, B, C, D şıkları olarak ele alınmıştır.

İlk şık veya A şıkında, kanadın uçundan taşınım ile ısı geçişi göz önüne alınır. Bu uç etrafında (Şekil 2.7) bir kontrol yüzeyine enerji dengesi uygulanırsa,

$$h A_c [T(L) - T_\infty] = -k A_c \frac{dT}{dx} \Big|_{x=L} \quad (2.13a)$$

veya

$$h\theta(L) = -k \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L} \quad (2.13b)$$

elde edilir. Başka bir deyişle, kanadın uçundan taşınım ile akışkana geçen enerji kanat içinden uca iletilen enerjiye eşit olmalıdır. Denklem (2.11), denklem (2.12) ve denklem (2.13b)'de yerine konursa, sırasıyla

$$\theta_b = C_1 + C_2 \quad (2.14a)$$

ve

$$h(C_1 e^{mL} + C_2 e^{-mL}) = km(C_1 e^{-mL} + C_2 e^{mL}) \quad (2.14b)$$

elde edilir. C_1 ve C_2 bu denklemlerden çözülerek, ara işlemlerden sonra

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-k)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \quad (2.15)$$

olduğu gösterilebilir. Bu sıcaklık dağılımı Şekil 2.7’de grafiksel olarak gösterilmektedir. Sıcaklık gradyanının büyüklüğü x arttıkça azalmaktadır. Bu eğilim, x ’in artması ile ısı geçişindeki azalmanın bir sonucudur.

Kanattan olan toplam ısı geçişi de önemli bir büyüklüktür. Şekil 2.7’den açıkça görüldüğü gibi kanattan geçen ısı, her ikisi de sıcaklık dağılımının kullanılmasını içeren, iki farklı yol ile hesaplanabilir. Kullanılabilecek en basit yol kanat tabanında Fourier yasasının uygulamasıdır.

$$q_f = q_b = -k A_c \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = -k A_c \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=0} \quad (2.16)$$

Buradan, $\theta(x)$ sıcaklık dağılımını kullanarak,

$$q_f = \sqrt{hPk} A_c \theta_b \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL} \quad (2.17)$$

bulunur. Ayrıca, enerji korunumu kanattan taşınım ile geçen ısıның kanat tabanından iletim ile giren ısıya eşit olmasını gerektirir. Buna göre, q_f aşağıda gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$q_f = \int_{A_f} h[T(x) - T_\infty] dA_s \quad (2.18)$$

Burada, A_f uç da içinde olmak üzere toplam kanat yüzey alanıdır. Denklem (2.15)’in, denklem (2.18)’de yerine konması denklem (2.17)’yi verecektir.

İkinci şıkta, kanadın ucu adyabatik varsayılır ve

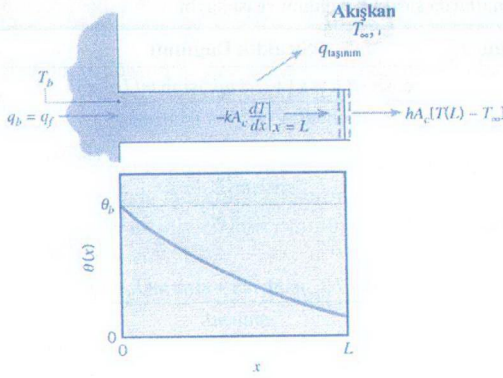
$$\frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=L} = 0 \quad (2.19)$$

yazılabilir. Gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra,

$$C_1 e^{mL} - C_2 e^{-mL} = 0 \quad (2.20)$$

elde edilir. Bu ifadenin denklem (2.14) ile birlikte kullanılmasıyla C_1 ve C_2 çözülür ve bu sonuçların denklem (2.11)’de yerine konmasıyla,

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL} \quad (2.21)$$



Şekil 2.7 Sabit kesitli bir kanatta iletim ve taşınım

bulunur. Bu sıcaklık dağılımının denklem (2.16) ile birlikte kullanılmasından,

$$q_f = \sqrt{hPk} A_c \theta_b \tanh mL \quad (2.22)$$

kanattan geçen ısı miktarı elde edilir.

Kanat ucunda sıcaklığın bilindiği C şıkkı için, sıcaklık dağılımı ve ısı geçişi benzer bir yolla bulunabilir. Bu durumda, ikinci sınır koşulu $\theta(L) = \theta_L$ olup, sonuçlar aşağıda verilmiştir:

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{(\theta_L / \theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL} \quad (2.23)$$

$$q_f = \sqrt{hPk} A_c \theta_b \frac{\cosh mL - \theta_L / \theta_b}{\sinh mL} \quad (2.24)$$

Çok uzun kanat, D şıkkı, incelenen durumların ilginç bir uzantısıdır. Bu durumda, $L \rightarrow \infty$ iken $\theta \rightarrow 0$ olur ve

$$\frac{\theta}{\theta_b} = e^{-mx} \quad (2.25)$$

$$q_f = \sqrt{hPk} A_c \theta_b \quad (2.26)$$

2.4. Kanat Etkenliği

Kanat kullanımı, bir yüzeyden ısı geçişini arttırmak için etkin yüzey alanını arttırmayı amaçlar. Bununla birlikte, kanadın kendisi orijinal yüzeyden ısı geçişine bir iletim direnci gösterir. Bu nedenle, kanat kullanımının ısı geçişini mutlaka arttıracakđ önceden söylenemez. Bu husus kanat etkinliği tanımlanarak değerdendirilebilir. Kanat etkinliği, ϵ_f , kanatlı halde geçen ısının kanatsız halde geçebilecek ısıya oranı olarak tanımlanır. Böylece,

$$\epsilon_f = \frac{q_f}{h A_{c,b} \theta_b} \quad (2.27)$$

olup, $A_{c,b}$ tabandaki kanat kesit alanıdır. Gerçekçi her tasarımda ϵ_f 'nin değeri mümkün olduğunca büyük olmalıdır ve genel olarak, $\epsilon_f \geq 2$ olmadıkça kanat kullanımı uygun değildir.

Göz önüne alınan dört uç sınır koşulundan her hangi biri için sabit kesit alanlı bir kanadın etkinliği, ilgili q_f bağıntısını $h A_{c,b} \theta_b$ ile bölerek elde edilebilir. Kanatların yerleştirme düzeni ısı taşınım katsayısını değıştirebilir. Ancak bu etki genellikle göz ardı edilir. Bu nedenle, kanatlı yüzeyin taşınım katsayısının kanatsız yüzeydekine eşit sayılması, sonsuz kanat yaklaşımı (D ışıkkı) için aşağıdaki sonucu verir.

$$\epsilon_f = \frac{kP}{h A_c} \quad (2.28)$$

Bu sonuçtan çeşitli gözlemler yapılabilir. Kanat etkinliği, yüksek ısı iletim katsayılı malzemelerin seçilmesi ile yükseltilir. Alüminyum alaşımları ve bakır ilk akla gelen malzemelerdir. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksektir, ancak alüminyum alaşımları daha hafif ve ucuzdur, bu nedenle tercih edilir. Kanat etkinliği, çevre uzunluğunun kesit alanına oranının artırılması ile de yükseltilir. Bu nedenle ince, fakat yakın aralıklı kanatlar kullanılır. Kanat aralığının, akışı engelleyecek ölçüde azaltılmaması gerekir.

Denklem (2.28) ayrıca ısı taşınım katsayısının küçük olduğđ durumlarda kanat kullanımının yararını göstermektedir. İlgili tablolarda verilen taşınım katsayıları, akışkan gaz olduğđ zaman ve özellikle yüzeyden ısı geçişi doğal taşınım olduğđunda kanatlara daha çok gerek duyulacağını göstermektedir. Kanatlar bir gaz ile bir sıvıyı

ayırır yüzeyde kullanılacaksa, genellikle düşük ITK' nın bulunduğu taraf olan gaz tarafına yerleştirilir. Bilinen bir örnek, otomobil radyatörünün borularıdır. Kanatlar içinden su akışı olan (büyük h) boruların iç yüzeyine değil, üzerinden ortam havasının aktığı (küçük h) dış yüzeyine uygulanır. $\varepsilon_f > 2$, kanat uygulamasını haklı kılacak bir kıstas olarak kullanılacaksa, $(kP/hA_c) > 4$ olması gerekecektir.

Denklem (2.28), ε_f için, bir üst sınır belirler. Bu sınıra L sonsuza giderken yaklaşır. Bununla beraber, ısı geçişinde maksimum artışı elde etmek için çok uzun kanatların kullanılması elbette şart değildir. Adyabatik uç sınır koşulu göz önüne alındığında kanattan olabilecek en fazla ısı geçişinin %98 kadarının, $m_l=2.3$ olduğu zaman gerçekleşebileceği Denklem (2.22)'de görülmektedir. Bu nedenle kanadın $L=2.3/m'$ den fazla uzun olması anlamsızdır.

Kanat performansı bir ısıl direnç ile de nicelleştirilebilir. Taban ve akışkan sıcaklıkları arasındaki fark potansiyel farkı olarak ele alınırsa, kanat direnci aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$R_{i,f} = \frac{\theta_b}{q_f} \quad (2.29)$$

Bu sonuç, özellikle kanatlı yüzey bir ısıl devre ile gösterildiği zaman son derece yararlıdır.

Kanatsız taban alanındaki taşınım direnci aşağıdaki gibidir:

$$R_{i,f} = \frac{1}{h A_{c,b}} \quad (2.30)$$

gerekli işlemler yapıldıktan sonra buradan denklem (2.31)'e geçilir.

$$\varepsilon_f = \frac{R_{i,b}}{R_{i,f}} \quad (2.31)$$

Bu sonuca göre kanat etkenliği ısıl dirençlerin bir oranı olarak yorumlanabilir ve ε_f ' yi artırmak için kanadın iletim / taşınım direncini azaltmak gerekir. Kanat ısı geçişini arttıracaksa, direnci kanatsız taban alanındaki taşınım direncini aşmamalıdır.

Kanat ısı performansının bir diğer ölçüsü kanat verimi η_f 'dir. Taşınım için en yüksek sıcaklık farkı, dip ($x=0$) ve akışkan arasındaki sıcaklık farkıdır. Bu nedenle bir kanadın yayabileceği enerjinin en yüksek değeri bütün kanat yüzeyi taban sıcaklığında olduğu zaman gerçekleşecektir. Ancak bu ideal bir durumdur ve kanat içinde bir sıcaklık değişimi her zaman vardır. Bu düşünceden yola çıkarak kanat verimi,

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{\max}} = \frac{q_f}{h A_f \theta_b} \quad (2.32)$$

biçiminde tanımlanabilir. Burada A_f kanadın yüzey alanıdır. Adyabatik uçlu ve sabit kesit alanlı düz bir kanat için, denklem (2.22) ve denklem (2. 32),

$$\eta_f = \frac{M \tanh mL}{h^2 L \theta_b} = \frac{\tanh mL}{mL} \quad (2.33)$$

sonucunu verir. Buna göre kanat veriminin en yüksek ve en düşük değerleri olan 1 ve 0 değerlerine, sırasıyla, L uzunluğu 0 ve ∞ 'a yaklaştığında erişeceği görülmektedir.

Ucundan ısı kaybı olan düz dikdörtgen bir kanattan ısı geçişini veren denklem (2.17)'nin kullanımı zordur. Bu denklemi kullanmak yerine, dikdörtgen kanat için $L_c = L + (t/2)$ ve iğne kanat için $L_c = L + (D/4)$ biçiminde düzeltilmiş kanat yüksekliği tanımları yapılarak, adyabatik uç için geçerli olan, denklem (2.22), kullanılabilir. Düzeltme, taşınım uçlu gerçek kanattan ısı geçişi ile adyabatik uçlu daha uzun bir kanadın eşdeğer davranış gösterdiği varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle taşınım uçlu kanatta ısı geçişi

$$q_f = M \tanh mL_c \quad (2.34)$$

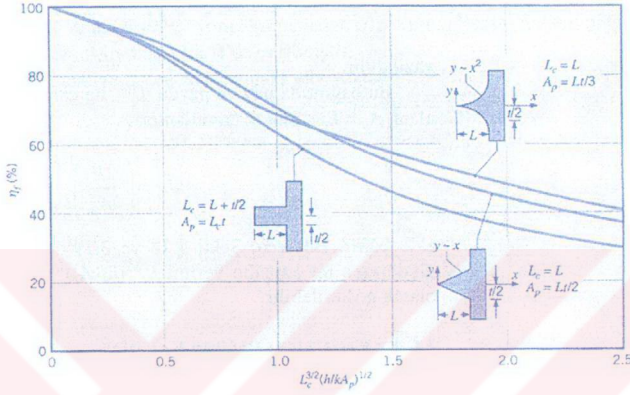
ve verim denklem (2.35)'de gösterildiği gibidir.

$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{m L_c} \quad (2.35)$$

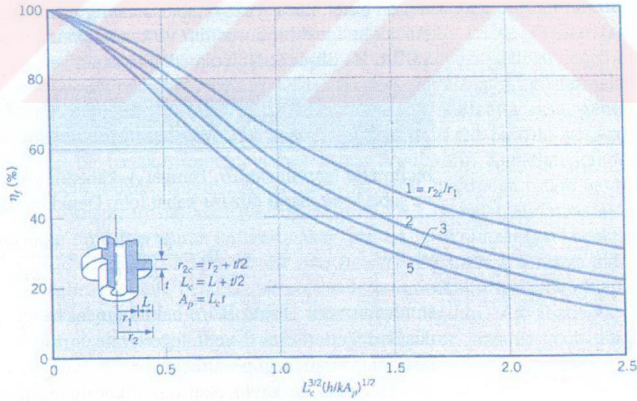
Dikdörtgen bir kanadın genişliği kalınlığından çok daha fazla ise, $w \gg t$, çevresi yaklaşık olarak $P=2w$ alınabilir ve,

$$m L_c = \left(\frac{hP}{k A_c} \right)^{1/2} L_c = \left(\frac{2h}{kt} \right)^{1/2} L_c \quad (2.36)$$

yazılabilir.



Şekil 2.8 Dikdörtgen, üçgen ve parabolik profilli düz kanatların verimi.



Şekil 2.9 Dikdörtgen profilli dairesel kanatların verimi.

Bu bağıntıda pay ve payda $L_c^{1/2}$ ile çarpılır ve düzeltilmiş kanat profili alanı,

$A_p = L_c t$, olarak tanımlanırsa,

$$m L_c = \left(\frac{2h}{k A_p} \right)^{1/2} L_c^{3/2} \quad (2.37)$$

elde edilir. Böylece, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da gösterildiği gibi taşınım uçlu dikdörtgen bir kanadın verimi $L_c^{3/2} (h/k A_p)^{1/2}$ parametresinin bir fonksiyonu olarak gösterilebilir.

2.5. Kesit Alanı Değişen Kanatlar

Kesit alanı uzunluğu boyunca sabit olmayan kanatların ısı davranışlarını incelemek daha karmaşıktır. Böyle durumlarda denklem (2.6)'nın ikinci terimi korunmak zorundadır ve çözümler artık basit hiperbolik veya üssel formda olmayacaktır. Örnek olarak Şekil 2.9'da gösterilen dairesel kanat göz önüne alınsın. Kanat kalınlığı sabit olduğu halde (t , r den bağımsızdır) kesit alanı, $A_c = 2\pi(r^2 - r_1^2)$ olarak gösterilirse, kanat denkleminin genel yazılışı aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} - \frac{2h}{kt} (T - T_\infty) = 0 \quad (2.38)$$

$m^2 = 2h/kt$ ve $\theta \equiv T - T_\infty$ olarak tanımlanırsa denklem,

$$\frac{d^2 \theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} - m^2 \theta = 0 \quad (2.39)$$

biçimini alır. Bu denklem sıfırıncı mertebeden değiştirilmiş bir Bessel denklemdir ve çözümü,

$$\theta(r) = C_1 I_0(mr) + C_2 K_0(mr) \quad (2.40)$$

biçimindedir. Burada, I_0 ve K_0 sırasıyla birinci ve ikinci türden değiştirilmiş sıfırıncı mertebeli Bessel fonksiyonlarıdır. Kanat tabanındaki sıcaklık biliniyorsa, $\theta(r_1) = \theta_b$ ve adyabatik uç varsayımı yapılsa, $d\theta/dr = 0$, C_1 ve C_2 hesaplanabilir ve aşağıda verilen sıcaklık dağılımı elde edilir:

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{I_0(mr) K_1(mr_2) + K_0(mr) I_1(mr_2)}{I_0(mr) K_1(mr_2) + K_0(mr) I_1(mr_2)} \quad (2.41)$$

burada, $I_1(mr) = d[I_0(mr)]/d(mr)$ ve $K_1(mr) = -d[K_0(mr)]/d(mr)$ sırasıyla birinci ve ikinci türden, birinci mertebeden düzeltilmiş Bessel fonksiyonlarıdır. Bessel fonksiyonları birçok kaynaktan verilmektedir.

Kanattan geçen ısı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_f = -k A_{t,b} \frac{dT}{dr} \Big|_{r=r_1} = -k(2\pi r_1 t) \frac{d\theta}{dr} \Big|_{r=r_1} \quad (2.42)$$

Böylece,

$$q_f = 2\pi k r_1 t \theta_b \frac{K_1(mr) I_1(mr_2) + I_1(mr) K_1(mr_2)}{K_0(mr) I_1(mr_2) + I_0(mr) K_1(mr_2)} \quad (2.43)$$

olur ve kanat verimi aşağıdaki biçimi alır:

$$\eta_f = \frac{q_f}{h 2\pi (r_2^2 - r_1^2) \theta_b} = \frac{2 r_1}{m(r_2^2 - r_1^2)} \frac{K_1(mr) I_1(mr_2) + I_1(mr) K_1(mr_2)}{K_0(mr) I_1(mr_2) + I_0(mr) K_1(mr_2)} \quad (2.44)$$

Uç yarıçapı r_2 yerine, düzeltilmiş bir yarıçap $r_{2c} = r_2 + (t/2)$, kullanılırsa bu sonuç ucunda taşınım olan bir kanada uygulanabilir. Sonuçlar Şekil 2.9'da grafiksel olarak gösterilmektedir.

Kanadın ısı veriminden, kanadın ısı direnci hesaplanabilir. Denklem (2.29) ve denklem (2.32) kullanılarak,

$$R_{t,f} = \frac{1}{h A_f \eta_f} \quad (2.45)$$

bulunur. Değişik kanat geometrilerinin yüzey alan ve verimlerini veren bağıntılar tablolarda özetlenmektedir. Sabit kanatlı düz ve dairesel kanatlar için verilen sonuçlar kanat ucunda adyabatik sınır koşulu kabul ederek elde edilmiş olsa da, taşınım sınır koşulu, düzeltilmiş kanat yüksekliği veya yarıçap kullanılarak göz önüne alınabilir. Üçgen ve parabolik kanatlar, kanat ucunda kalınlığı sıfıra inen, sabit kalınlıkta olmayan kanatlardır.

Düz üçgen bir kanat, eşdeğer ısı geçişi için dikdörtgen kanattan daha az hacim (kanat malzemesi) gerektirdiği için incelemeye değerlidir. Parabolik profilli kanat, birim hacim başına yayılan ısı (q / V)_f açısından en iyi kanattır. Ancak parabolik profilin üretimi zordur, bu nedenle ona yakın olan üçgen kanat profili kullanılabilir. Dikdörtgen profilli dairesel kanat genellikle borularda ısı geçişini arttırmak için kullanılır.

2.6. Toplam Yüzey Verimi

Tek bir kanadın ısısal davranışını gösteren kanat verimi η_f yerine, bir kanat dizisi ve üzerine yerleştirildiği yüzeyin ısısal davranışını gösteren toplam yüzey verimi η_o kullanılabilir. Şekil 2.10'da gösterilen örnek kanat dizilerinde S kanat hatvesidir.

Toplam yüzey verimi,

$$\eta_o = \frac{q_i}{q_{\max}} = \frac{q_i}{h A_t \theta_b} \quad (2.46)$$

olarak tanımlanır. Burada, A_t , kanatların ve üzerine yerleştikleri yüzeyin (asal yüzey) toplam alanı, q_i ise kanatlar ve asal yüzeyden olan toplam ısı geçişidir. N adet kanat varsa ve asal yüzey alanı A_b ile gösterilirse, toplam yüzey alanı;

$$A_t = N A_f + A_b \quad (2.47)$$

olur. Olabilecek en fazla ısı geçişi kanat yüzeylerinin ve asal yüzeyin T_b sıcaklığında olmaları durumunda gerçekleşir.

Toplam yüzeyden taşınım ile geçen ısı,

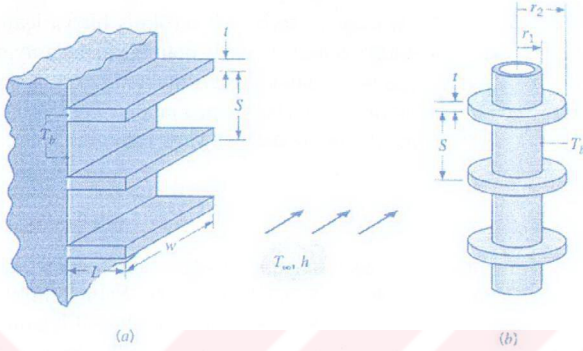
$$q_t = N \eta_f h A_f \theta_b + h A_b \theta_b \quad (2.48)$$

olarak gösterilebilir. Burada, ısı taşınım katsayısı h kanat yüzeylerinde ve asal yüzeyde eşit kabul edilmiş olup, η_f bir kanadın verimidir. Buradan,

$$q_i = h \left[N \eta_f A_f + (A_f - N A_f) \right] \theta_b = h A_t \left[1 - \frac{N A_f}{A_t} (1 - \eta_f) \right] \theta_b \quad (2.49)$$

bulunur. Denklem (2.49) denklem (2.46)'da yerine konursa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\eta_o = 1 - \frac{N A_f}{A_f} (1 - \eta_f) \quad (2.50)$$



Şekil 2.10 Temsili kanat dizileri (a) dikdörtgen kanatlar (b) dairesel kanatlar

η_o , (2.46) numaralı denklemle birlikte kullanarak bir kanat dizisinden geçen toplam ısı hesaplanabilir.

Kanat ısııl direncinin tanımı daha önce yapılmıştı. Denklem (2.47)'den yararlanarak bir kanat dizisinin ısııl direncini veren bağıntı elde edilebilir.

$$R_{t,o} = \frac{\theta_b}{q_t} = \frac{1}{\eta_o h A_t} \quad (2.51)$$

olup $R_{t,0}$ asal yüzeyden taşınılma ve kanatlardan iletim / taşınım ile paralel ısı geçişini göz önüne alan bir toplam dirençtir. Toplam direncin, ısııl devreler yardımıyla bulunması Şekil 2.11a'da açıklanmıştır.

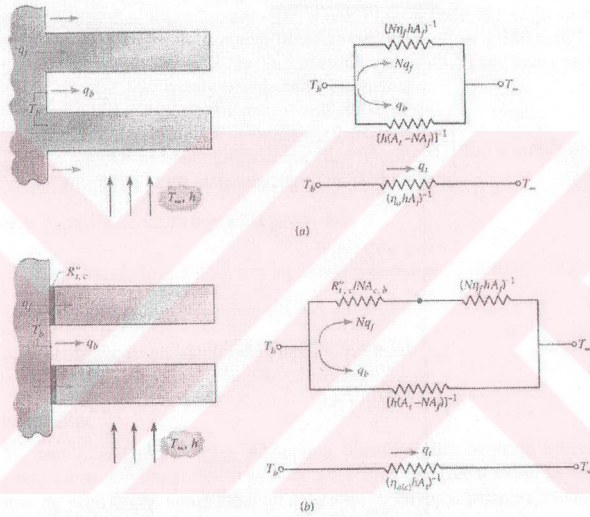
Kanatlar asal yüzeyin bütünlük bir parçası olarak üretilirse, tabanda temas direnci olmayacaktır. Ancak genellikle kanatlar ayrı olarak yapılıp, asal yüzeye metalurjik veya yapışkan bağlayıcı ile tutturulur. Diğer seçenek, kanatların duvar malzemesi üzerinde sıkı geçme ile tutturulmasıdır. Böyle durumlarda (Şekil 2.11b) toplam ısııl performansı ters yönde etkileyebilecek bir ısııl temas direnci $R_{t,c}$, olacaktır.

Temas direncinin göz önüne alınmasıyla toplam direnç yeniden yazılabilir:

$$R_{t,0(c)} = \frac{\theta_b}{q_f} = \frac{1}{\eta_{0(c)} h A_f} \quad (2.52)$$

Bu bağıntıda yer alan düzeltilmiş toplam yüzey verimi aşağıda gösterilmiştir.

$$\eta_{0(c)} = 1 - \frac{N A_f}{A_f} \left(1 - \frac{\eta_f}{C_1} \right) \quad (2.53a)$$



Şekil 2.11 Kanat dizisi ve ısı devre.(a)Dibi ile bütünleşik kanatlar. (b) Dibe tutturulmuş kanatlar.

C_1 şöyle tanımlanmıştır:

$$C_1 = 1 + \eta_f h A_f (R_{t,c} / A_{c,b}) \quad (2.53b)$$

İmalat aşamasında, $R_{t,c} \ll R_{t,f}$ olmasına dikkat etmelidir.

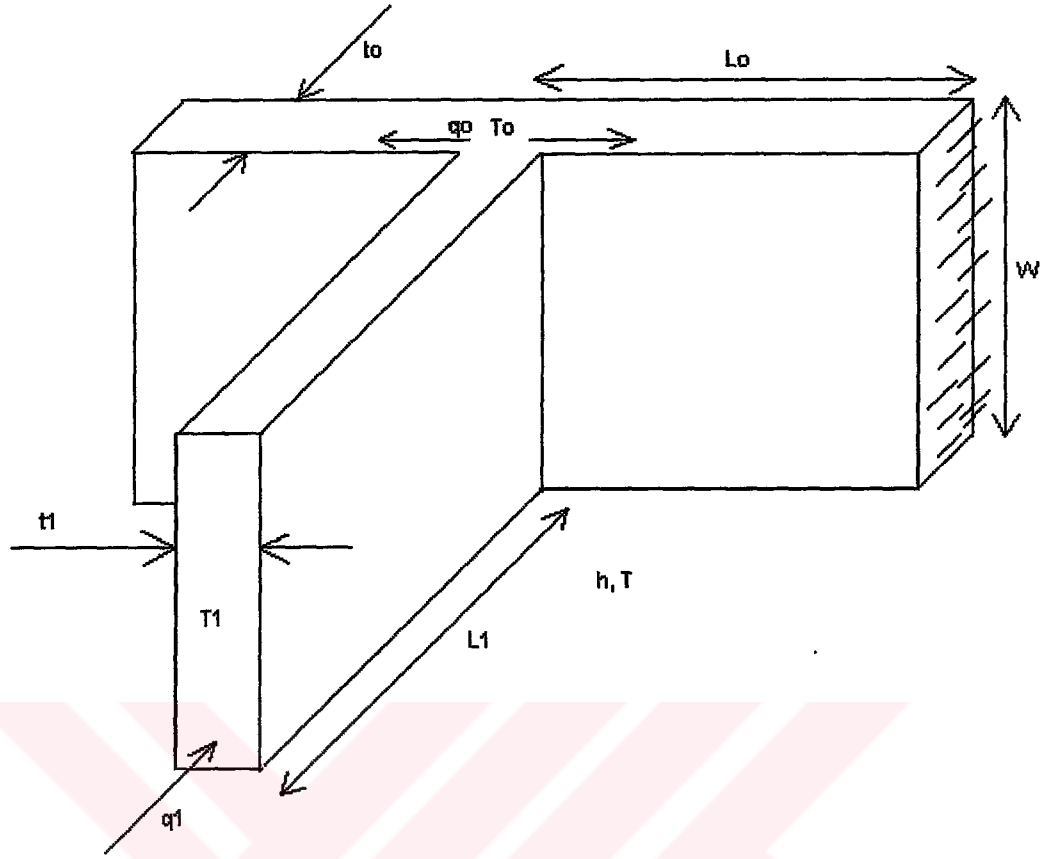
3. ISI TAŞINIM KATSAYISI SABİT ALINARAK YAPILAN T ŞEKLİ KANADIN GEOMETRİK OPTİMİZASYONU

3.1. Yapısal Teoriye Giriş

Yapısal teorinin, doğal akışlı sisteminde görülen ve akışkanlar kanunun temel ilkesinden türetildiği varsayılır. “Yapısal kanun” ilk olarak açık akış sistemleri için ortaya atılmıştır [9]. Zamanla devam eden sonlu sistemler için, içerisinden geçen akışlara kolayca izin verecek şekilde bir yapıya sahip olmalıdır. Bu durumun iki bölümü vardır: İlki, yapısal şekilleri oluşturmak için akışın doğal eğilimini tanır, yani kısıtlı akış sistemler içerisinden optimal giriş yolları. İkinci bölüm, zamanla hizalanan tanımlanabilir bir doğrultuda yollar içinde olan değişimleri hesaba katar.

Yapısal kanunun formülasyonu açık sistem içinden geçen akışa dayanır. Eğer sistem yalıtımlı ve ilk halde iç dengesizlikte ise iç akışlar için optimal geometrik geçişler yaratacaktır. Yapısal kanun, izole edilmiş sistemin seçtiği ve iç yapısını (akış yolları) optimize ederek dengeye ulaşma hızını maksimum yapma halidir. Yapısal kanun, dengeden uzak sistemler için “self organizasyon” ve “self optimizasyon” diye deneysel olarak bilinen milyarlarca doğal yapının saf teorik yolu olarak düşünülürdü [9].

Yapısal metot, tüm sistem hacmi ve hacim sürtünmesinin yüksek iletkenlikli kanallar şartı olduğunda bir hacim ve bir nokta arasındaki termal direnci geometrik olarak nasıl minimuma indireceğimizi gösterir. Saf iletimli sistemlere bu ısı transfer metodunun uygulanması, yüksek iletkenlikli malzeme tarafından oluşturulan, optimize mimaride ağaç yapısı iskelete sahip olunması gerektiğini göstermiştir[9]. Malzemenin gerisi aralıkları doldurur ve verilen hacmin ürettiği ısı akımlarını yakalar ve kök tarafından sistemden dışarı atılmasını sağlar. Ağaç benzeri kanalların aralıkları eşit önemlidir. Her bir optimize hacim elemanında düşük iletkenlikli ve yüksek iletkenlikli malzeme arasında mükemmel bir denge vardır, yani iki akış rejimi arasında mükemmel denge vardır denilebilir.



Şekil 3.1. Plaka kanatların T şeklindeki biçimi

Yapısal ağaç formu tamamen tek prensipten elde edilir. Boyut kısıtlamalarından dolayı olan global direncin minimum olması . Yapısal ağaç formu, iki boyutlu ısı iletimi ve heterojen yapıda gözenekli ortam içinden geçen akışkan akışı için belirlenmiştir.

Bu bölümde yapısal metot, iletim ve taşınımın bir kombinasyonu olan (bir hacim ve bir nokta arasında) ısı iletim sistemi sınıfına genişletilmiştir. Sistem, verilen bir alanda rijit olarak birbirine bağlanmış kanat asamblesinden oluşur ve sabit miktarda kanat malzemesine sahiptir. Isı akımı (giren veya çıkan) taşınım yoluyla hacmin her noktasına temas eder çünkü hacim, sabit akışlı akışkan içinde bulunmaktadır. Bu akım, iletim yoluyla kanat asamblesinin katı bağlantılarına doğru devam eder ve asamblesinin kök kısmı ile temas sağlar.

YM ile ortaya atılan yeni görüş, kanat asamblesi tarafından oluşturulan toplam hacim sabitken tam geometrik optimizasyondur. Bu görüş görünür terimlerle ifade edilmesi

için, yapısal metodu uygulamada sık karşılaşılan en basit kanatlı sistemlere uygulanmıştır.

3.2. Bir Boyutlu İletim Modeli

Şekil 3.1’de verilen T şekilli kanat asamblesini göz önüne alınsın. t_0 kalınlığında ve L_0 uzunluğunda iki elemanlı kanat, gövde kalınlığı t_1 ve uzunluğu L_1 olacak şekilde davranır. Konfigürasyon, yeterince uzun olan (W) üçüncü boyutla karşılaştırıldığında, L_0 ve L_1 olarak iki boyutludur. Isı transfer katsayısı h , ısıya maruz kalan tüm yüzeylerde aynıdır. Kök sıcaklığı(T_1) akışkan sıcaklığı (T_∞) dur. T birleşimindeki sıcaklık (T_0) bilinmeyendir ve kanat asamblesinin geometrisine bağlı olarak değişir. Ayrıca kanadın her iki ucu yalıtılmıştır.

Aşağıdaki analizin amacı, q_1 kök kesiti boyunca olan ısı akımıyken maksimum global ısıl iletkenlik ile karakterize edilen optimal geometriyi (L_1 / L_0 , T_1 / T_0) belirlemektir. Bu optimizasyon iki kısıtlamaya maruzdur. Toplam hacim kısıtı (yani ön alan).

$$A = 2 L_0 L_1 \text{ (sabit)} \quad (3.1)$$

ve kanat malzemesi hacim kısıtı

$$A_f = 2 L_0 t_0 + t_1 L_1 \text{ (sabit)} \quad (3.2)$$

Sonra, sabit ve 1’den küçük olan kanat hacim kesri $\Phi_1 = A_f / A$ olarak ifade edilebilir.

Analiz, global iletkenliği, kanatların L_0 ve L_1 boyunca ısı iletimini ve T şekil birleşimindeki ısı akışını ve sıcaklığın sürekliliğini dikkate alarak kanat asamblesi geometrisinin bir fonksiyonu olarak dağıtır. Her kanat için sonradan geçerliliği test edilecek olan (3.13) ve (3.14) denklemi ile bir boyutlu iletim modelini kullanılacaktır.

İki elemanlı kanat için klasik kabuller kullanılırsa [6,10] ve ucu izole edilmiş kanat boyunca ısı transferi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{q_0}{kW(T_0 - T_\infty)} = a_{t_0}^{1/2} \frac{\sinh(a\tilde{L}_0 / \tilde{t}_0^{1/2})}{\cosh(a\tilde{L}_0 / \tilde{t}_0^{1/2})} \quad (3.3)$$

Burada

$$(L_0, t_0) = \frac{(L_0, t_0)}{A^{1/2}} \quad (3.4)$$

$$a = \left(\frac{2hA^{1/2}}{k} \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

(3.3) denklemi, boyutsuz elemanter iletkenliği $\frac{q_0}{kW(T_0 - T_\infty)}$ etkileyen (a, L_0, t_0)

boyutsuz sayılarının önemini göstermektedir. $A^{1/2}$ 'nin lineer boyutlarda uzunluk boyutunun boyutsuzlaştırılmasında kullanıldığı unutulmamalıdır.

Gövde boyunca $T(x)$ sıcaklık dağılımı kökten ($x=0$), birleşim yerine ($x=L_1$) kadar aşağıdaki şekilde yazılır:

$$T(x) - T_\infty = (T_1 - T_\infty) \cosh(m_1 x) + \left[\frac{T_0 - T_\infty}{\sinh(m_1 L_1)} - (T_1 - T_\infty) \frac{\cosh(m_1 L_1)}{\sinh(m_1 L_1)} \right] \sinh(m_1 x) \quad (3.6)$$

Kanat parametresi

$$m_1 = \left(\frac{2h}{kt_1} \right)^{1/2}, \quad m_1 L_1 = a L_1 / \tilde{t}^{1/2} \quad (3.7)$$

olarak ifade edilebilir.

Sonra, T_0 birleşme noktasındaki ısı akısının sürekliliği için denklemde $T(x)$ kullanılır.

$$-kt_1 \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=L_1} = 2q_0 \quad (3.8)$$

bu aşağıdaki gibi boyutsuz formda düzenlenirse:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2 \left(\frac{\tilde{t}_0}{\tilde{t}_1} \right) \frac{\sinh(a \tilde{L}_0 / \tilde{t}^{1/2})}{\cosh(a \tilde{L} / \tilde{t}^{1/2})} + \frac{\cosh(a \tilde{L}_1 / \tilde{t}_1^{1/2})}{\sinh(a \tilde{L}_1 / \tilde{t}_1^{1/2})}}{\left[\frac{\cosh(a \tilde{L}_1 / \tilde{t}_1^{1/2})}{\sinh(a \tilde{L}_1 / \tilde{t}_1^{1/2})} \right]^2 - \sinh(a \tilde{L}_1 / \tilde{t}_1^{1/2})} \quad (3.9)$$

(3.9) denklemi boyutsuz birleşim sıcaklığını kanat yapısının beş boyutsuz parametrelerinin fonksiyonu olarak verir.

$$\theta = \frac{T_0 - T_\infty}{T_1 - T_\infty} = f(a, L_0, t_0, L_1, t_1) \quad (3.10)$$

Son olarak, kök boyunca ısı akısını bulmak için (3.6) denklemi kullanılarak global termal iletkenlik elde edilir.

$$q_1 = -kt_1 W \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \quad (3.11)$$

Sonuç boyutsuz global iletkenlik olarak ifade edilebilir.

$$\tilde{q}_1 = \frac{q_1}{kw(T_1 - T_\infty)} = a\tilde{t}^{1/2} \frac{\cosh(a\tilde{L}_1/\tilde{t}_1^{1/2}) - \theta}{\sinh(a\tilde{L}_1/\tilde{t}_1^{1/2})} \quad (3.12)$$

Burada θ (3.9) denkleminde bulunur. q_1 iletkenlik a, L_0, t_0, L_1 ve t_1 'in fonksiyonu olarak görülür. Bu parametreler değişimden serbesttir çünkü hacim ve kanat malzeme kısıtlamaları (3.1) ve (3.2) bundan sonra aşağıdaki şekilde okunur.

$$2L_0L_1 = 1 \quad (3.13)$$

$$\phi_1 = 2L_0t_0 + L_1t_1 \quad (3.14)$$

3.3. Sonuçların Grafiklerle İncelenmesi

Denklemler son haline getirildikten sonra Java programlama dili kullanılarak yazılan bir bilgisayar programı ile belli parametreler doğrultusunda sonuçlar hesaplatılmıştır (Ek 1). Optimizasyonda t_1/t_0 ve L_1/L_0 serbestlik derecesi olarak alınır, a değeri seçilerek sabit tutulur. İlk hesaplamada a ve Φ_1 boyutsuz parametresi 0,2 gibi bir değere eşit alınarak, t_1/t_0 oranına ise 2,3,4,5,6 ve 7 gibi değerler verdirilerek q_1 hesaplaması yapılmıştır. İlgili sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1'deki değerler kullanılarak Şekil 3.2'deki grafik çizilmiş, bu grafikteki eğriler yorumlanarak optimum L_1/L_0 oranı bulunmaya çalışılmıştır.

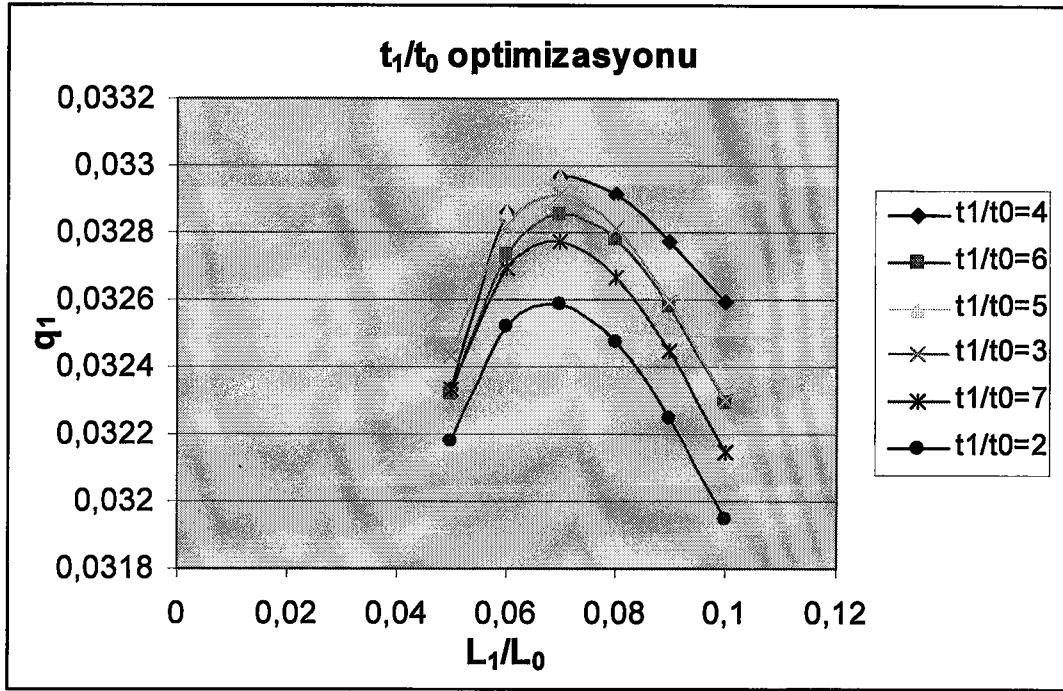
Şekil 3.2'deki eğrilere bakılırsa t_1/t_0 oranının her değeri için q_1 değerini maksimum yapan L_1/L_0 oranının yaklaşık 0,07 gibi bir değer olduğu görülür.

Bundan sonra seçilen t_1/t_0 oranları ele alınarak her birindeki maksimum q_1 değerini veren L_1/L_0 oranları bir tabloda yazılır (Tablo 3.2).

L_1/L_0 optimizasyon grafiği Tablo 3.2'deki sonuçlar kullanılarak elde edilir. Bu tablodan t_1/t_0 oranının optimum değeri yaklaşık olarak 4 gibi bir değer olarak

Tablo 3.1 Çeşitli t_1/t_0 oranı değerlerinde hesaplanmış q_1 değerleri

t_1/t_0	L_1/L_0	q_1
2.0	0,05	0,031775477
2.0	0,06	0,032198011
2.0	0,07	0,032331053
2.0	0,08	0,032270695
2.0	0,09	0,032082811
2.0	0,1	0,031812409
3.0	0,05	0,032319143
3.0	0,06	0,032735218
3.0	0,07	0,032856641
3.0	0,08	0,032781911
3.0	0,09	0,032578382
3.0	0,1	0,032291962
4.0	0,05	0,032460044
4.0	0,06	0,032860306
4.0	0,07	0,032968236
4.0	0,08	0,032882281
4.0	0,09	0,032669507
4.0	0,1	0,03237549
5.0	0,05	0,032436165
5.0	0,06	0,032817241
5.0	0,07	0,032911286
5.0	0,08	0,032815684
5.0	0,09	0,0325965
5.0	0,1	0,032298488
6.0	0,05	0,032331026
6.0	0,06	0,032691665
6.0	0,07	0,03277194
6.0	0,08	0,032667684
6.0	0,09	0,032443628
6.0	0,1	0,032143479
7.0	0,05	0,032181406
7.0	0,06	0,032521281
7.0	0,07	0,032588107
7.0	0,08	0,032475913
7.0	0,09	0,032247934
7.0	0,1	0,031946723



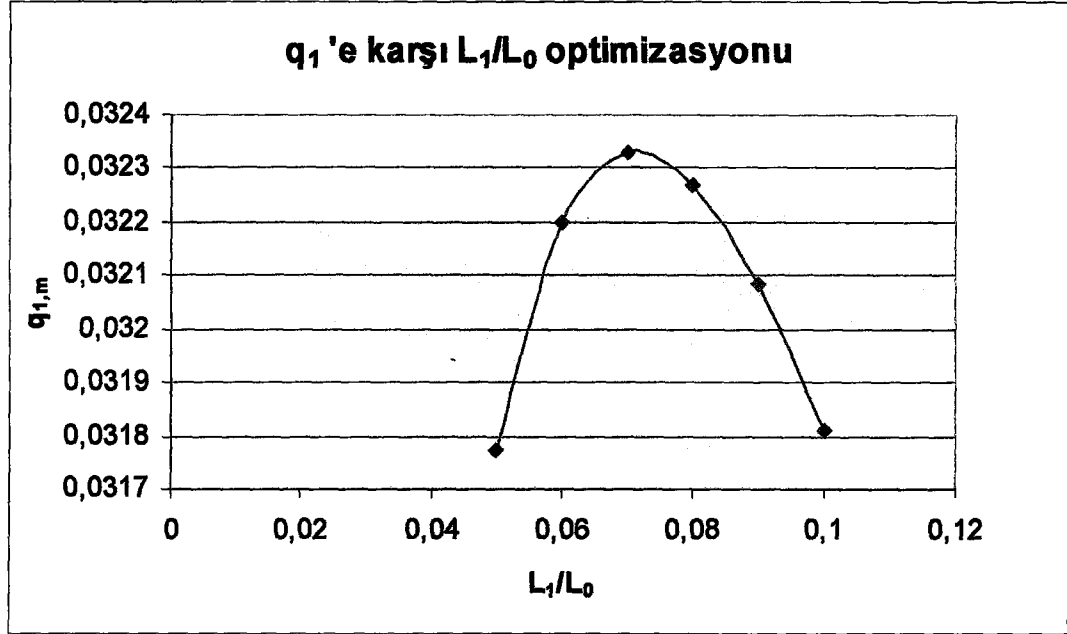
Şekil 3.2 Çeşitli t_1/t_0 oranı değerlerinde bulunan q_1 eğrileri

Tablo 3.2 Değişik t_1/t_0 oranları için maksimum q_1 'i veren L_1/L_0 oranları

t_1/t_0	L_1/L_0	q_1
2.0	0.071	0,032332432
3.0	0.071	0,032856677
4.0	0.07	0,032968236
5.0	0.069	0,032911738
6.0	0.069	0,032773514
7.0	0.068	0,032591551

görülmektedir. İlgili grafik Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Burada da a ve Φ_1 boyutsuz parametresi 0,2'ye eşit olarak alınmıştır.

$q_{1,m}$ yukarıdaki Şekil 3.3'te görülmektedir. Bu işlem t_1 / t_0 'ın diğer değerleri için birçok defa tekrarlanır. Bu işleme $q_{1,m}$ ikinci defa maksimum oluncaya kadar devam edilir.



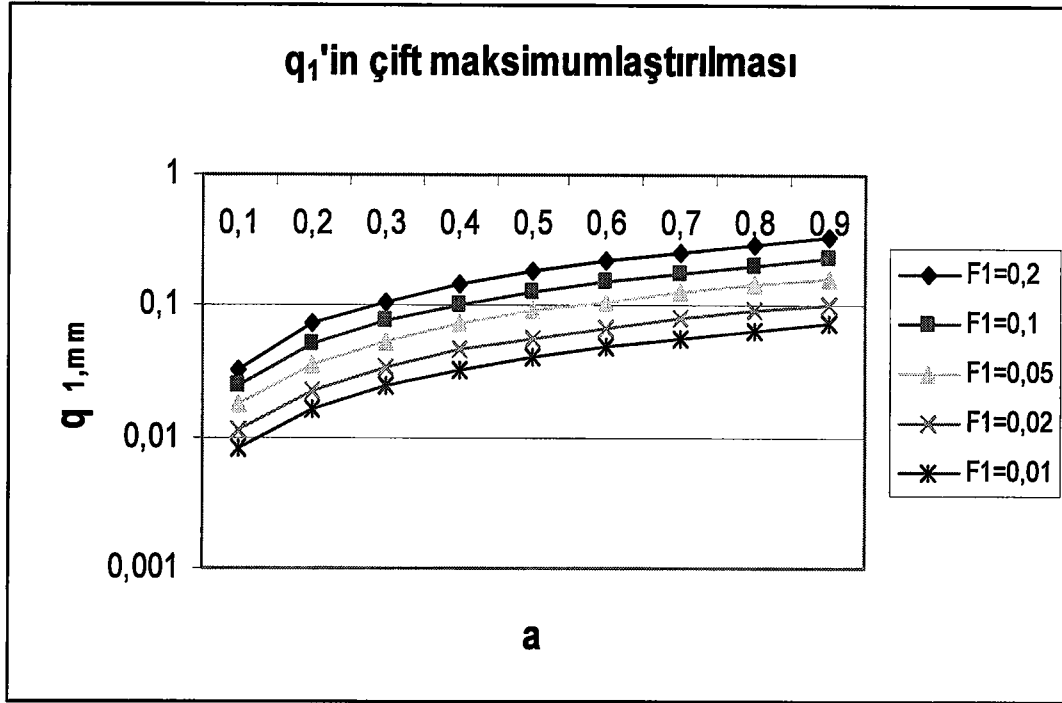
Şekil 3.3 Çeşitli t_1/t_0 oranlarında maksimum q_1 'e göre L_1/L_0 değişimi

Buraya kadar a ve Φ_1 boyutsuz parametresi 0,2'ye eşit alınmıştı. Bundan sonra bulunan optimum t_1/t_0 ve L_1/L_0 değerleri kullanılarak a ve Φ_1 parametrelerinin değişimi incelenmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Optimum t_1/t_0 ve L_1/L_0 'ya göre a ve Φ_1 değerleri

a , $\Phi 1=0,2$	$q_{1,mm}$	a , $\Phi 1=0,02$	$q_{1,mm}$
0,1	0,032968236	0,1	0,011456554
0,2	0,07214493	0,2	0,02291604
0,3	0,108677488	0,3	0,03437406
0,4	0,144932327	0,4	0,04583208
0,5	0,18116712	0,5	0,0572901
0,6	0,217400641	0,6	0,06874812
0,7	0,253634086	0,7	0,080206141
0,8	0,289867527	0,8	0,091664161
0,9	0,326100968	0,9	0,103122181

a , $\Phi 1=0,1$	$q_{1,mm}$	a , $\Phi 1=0,01$	$q_{1,mm}$	a , $\Phi 1=0,05$	$q_{1,mm}$
0,1	0,024947408	0,1	0,008102025	0,1	0,018036232
0,2	0,051223647	0,2	0,016204087	0,2	0,036233082
0,3	0,076862372	0,3	0,024306131	0,3	0,05435016
0,4	0,102483641	0,4	0,032408175	0,4	0,072466882
0,5	0,128104559	0,5	0,040510218	0,5	0,090583602
0,6	0,153725471	0,6	0,048612262	0,6	0,108700323
0,7	0,179346382	0,7	0,056714306	0,7	0,126817043
0,8	0,204967294	0,8	0,06481635	0,8	0,144933764
0,9	0,230588206	0,9	0,072918393	0,9	0,163050484



Şekil 3.4 Optimum et kalınlıkları ve boylara ve farklı a ve $\Phi_1(F1)$ değerlerine göre q_1 değişimi

q_1 'i çift maksimumlaştırmanın sonucunda bulunan $q_{1,mm}$ eğrileri Şekil 3.4'te verilmiştir. Ayrıca burada pratik değerlere uyum gösteren çift maksimumlaştırma işlemi a ve q_1 'in tüm değerleri boyunca tekrar edilmiştir. Örneğin zorlanmış taşınımında h 'ın değeri 10^2 W/m²K iken alüminyum ve bakırın ısı iletkenlik katsayısı 10^2 W/mK değerindedir. Bu değerler $A^{1/2} \sim 1$ olarak (3.5) denkleminde yerlerine konursa $a \sim 10^{-1}$ bulunur.

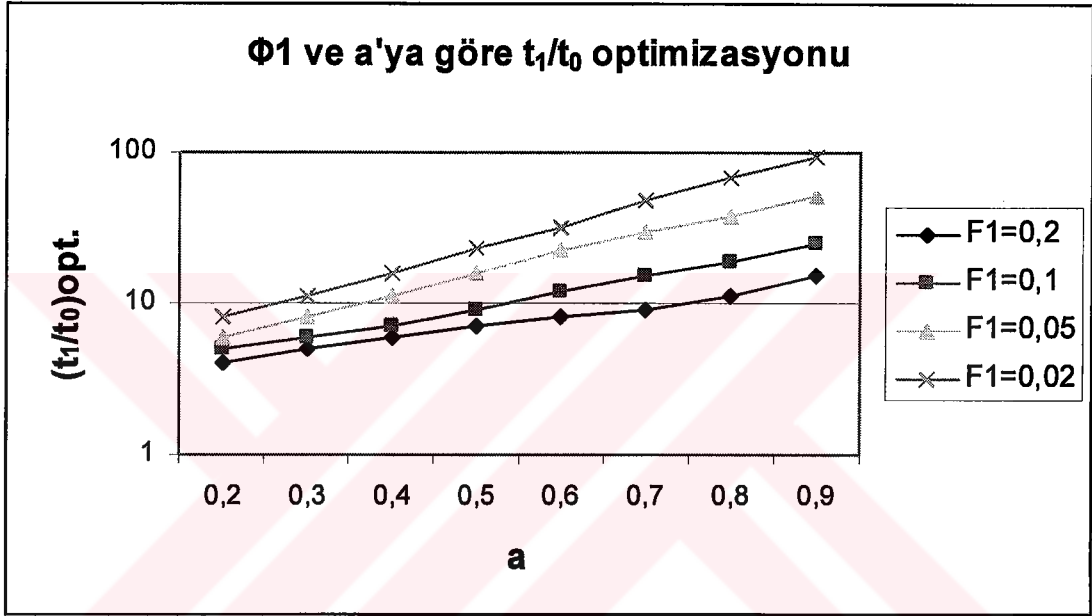
q_1 'in maksimumlaştırma işlemi yapıldıktan sonra bulunan optimum et kalınlıkları ve boylar doğrultusunda boyutsuz kanat parametrelerinin değişimine göre kanadın GII' nin nasıl bir davranış göstereceği incelenir.

Bu durumda ilk olarak a ve Φ_1 değişimlerine göre bulunan t_1/t_0 değerleri Tablo 3.4'te bunların grafik gösterimi de Şekil 3.5'te verilmiştir.

Aynı şekilde a ve Φ_1 parametrelerinin değişimlerine göre bulunan L_1/L_0 değerleri bilgisayar programı vasıtasıyla bulunup Tablo 3.5'te verilmiş ve bu değerlere bağlı grafikler de Şekil 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.4 Farklı a ve Φ_1 değerlerine karşılık bulunan t_1/t_0 değerleri

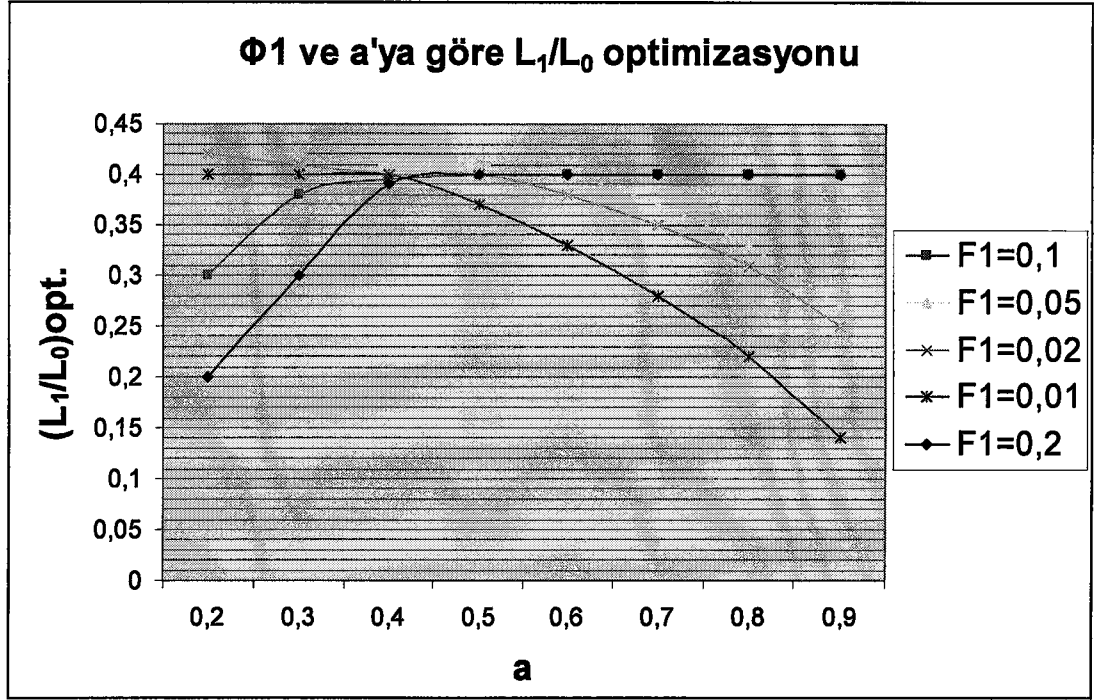
	$\Phi_1=0,2$	$\Phi_1=0,1$	$\Phi_1=0,05$	$\Phi_1=0,02$
a	t_1/t_0	t_1/t_0	t_1/t_0	t_1/t_0
0,2	4	5	6	8
0,3	5	6	8	11
0,4	6	7	11	16
0,5	7	9	16	23
0,6	8	12	22	32
0,7	9	15	29	48
0,8	11	19	38	69
0,9	15	25	51	94



Şekil 3.5 Farklı kanat parametrelerine göre değişen $(t_1/t_0)_{opt}$

Tablo 3.5 Farklı a ve Φ_1 değerlerine karşılık bulunan L_1/L_0 değerleri

	$\Phi_1=0,2$	$\Phi_1=0,1$	$\Phi_1=0,05$	$\Phi_1=0,02$	$\Phi_1=0,01$
a	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0
0,2	0,2	0,3	0,42	0,42	0,4
0,3	0,3	0,38	0,42	0,41	0,4
0,4	0,39	0,395	0,41	0,4	0,4
0,5	0,4	0,4	0,41	0,4	0,37
0,6	0,4	0,4	0,4	0,38	0,33
0,7	0,4	0,4	0,37	0,35	0,28
0,8	0,4	0,4	0,33	0,31	0,22
0,9	0,4	0,4	0,27	0,25	0,14



Şekil 3.6 Farklı kanat parametrelerine göre değişen $(L_1/L_0)_{opt}$

Et kalınlıkları oranı $(t_1 / t_o)_{opt}$, a artar ve Φ_1 azalırken monoton bir artış gösterir. Bununla beraber a azalır Φ_1 artarken bu etkiler zayıftır. Kanat plaka boylarının oranı $(L_1 / L_o)_{opt}$, Φ_1 sabitken daha ilginç bir davranış gösterir. Bu oran a parametresine bağlı olarak maksimum olur. $(L_1 / L_o)_{opt}$ bilinirse bireysel uzunluklar $(L_{1,opt}, L_{o,opt})$ denklem (3.13)'e bağlı olarak bulunurlar.. Benzer şekilde $(t_{1,opt}, t_{o,opt})$ oranı bilinirse bireysel kalınlıklar $(t_{1,opt}, t_{o,opt})$, (3.16) numaralı denkleme bağlı olarak hesaplanabilir.

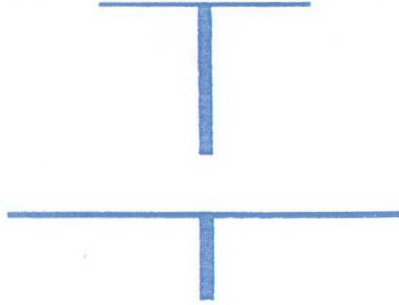
3.4. Optimal T Şekli Geometri

T şeklindeki yapının optimal geometrisi için sonuçlar (a, q_1) 'in daha geniş aralığını kapsayacak şekilde üretilebilir.

Tablo 3.6 Kanat profillerinin optimize edilmiş T şekilli sayısal örnekleri

	L_o	L_1	t_o	t_1	q_1
Yapısal Metot	0,68	0,734	0.020	0.082	0.0517
Kraus[6]	0.71	0.689	0.0191	0.086	0.040

$(\Phi_1 = 0.086, a = 0.185)$



Şekil 3.7 Optimize edilmiş T şekilli kanat profil örnekleri($\Phi_1 = 0.086$, $a = 0.185$)

Bu geliştirilmiş sayısal çalışmada analizin temel alındığı bir boyutlu iletim modelinin geçerlilik aralığına dikkat edilmelidir. Model aşağıdaki gibi BS kriterinde geçerlidir[12].

$$\left(\frac{ht_{0,1}}{k}\right)^{1/2} \ll 1 \quad (3.15)$$

Bu kritere göre iki boyutsuz kalınlık (t_0 , t_1) aşağıdaki formüle göre belli bir değerden küçük olmalıdır;

$$a\left(\frac{t_{0,1}}{2}\right)^{1/2} \ll \epsilon \quad (3.16)$$

Burada ϵ , 1'den küçük bir sayıdır. Buradaki sayısal sonuçlar $\epsilon = 0.1$ ile (3.16) şartını sağlamaktadır.

Bu metotla üretilmiş optimize yapının sayısal bir örneği Tablo 3.6' da sunulmuştur. Bu örnek daha önceden Kraus [6]'un yaptığı bir çalışmaya karşılık gelir. Burada Kraus $k = 200 \text{ W / mK}$, $h = 60 \text{ W / m}^2\text{K}$ toplam ön yüzey alanı $A = 32.4 \text{ cm}^2$ için kanat uzunluğu ve kalınlığı $q_1 = 0.086$ katı hacim kesri değerlerini kullanmıştır. Bu durumda $a = 0.185$ olmaktadır. Yapısal metot ile Kraus'un çalışması sonucu elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucu çıkan T profilleri Şekil 3.2'deki gibi olmaktadır.

Geometrik optimizasyonun güvenilirliği ayrıca yapısal metot [18] ile üretilen kanal kesitli ve diğer ağaç yollu optimize edilmiş yapılarla da anlaşılmıştır.

Bazı sonuçların sağlandığı, örneğın kısıtlı tasarım parametrelerinin bazılarına zayıf olarak bağılı olması, kabul edilen ideal şartlarla ilgilidir. Önemli bir ideal şart ısı transfer katsayısının serbest akış alanı şeklinden bağımsız olduğu kabulüdü. Gelecekteki çalışmalarda T profil yapısının kullanılması, bu kabulün etkisini azaltabilir.

4. ISI TAŞINIM KATSAYISININ SICAKLIĞA BAĞLI ALINMASI DURUMUNDA T ŞEKLİ KANADIN GEOMETRİK OPTİMİZASYONU

4.1. Isı Taşınım Katsayısının Değişken Olma Durumu

Bir önceki bölümde yapılan teorik optimizasyon çalışması ITK'nın sabit olması kabulü ile yapılmıştır. Pratik hayatta böyle bir durumun gerçekleşmesi mümkün değildir. Ancak mühendislikte hesaplamaların kolay yapılması için bu tip kabuller yapılmaktadır. Gerçekte ITK (h), sıcaklığa veya konuma bağlı olarak değişmektedir. Doğal taşınımın olduğu kanatlarda ITK'nın konuma bağlılığı yerçekimi doğrultusundadır. Bu doğrultu genelde kanat boyunca olan ana ısı iletim akışına dik yöndedir. Bu durumda konuma bağımlılık için zorlanmış taşınımda olduğu gibi ortalama bir değer alınır ve ITK'nın sıcaklıkla değiştiği kabul edilir [7].

4.2. Kanat Profilinin Matematik Modelinin Kurulması

Bu bölümde kanat çevresinde doğal taşınım olduğu varsayılacak, sıcaklık dengesi bir boyutlu olarak ve ısı iletim akışının doğrultusu boyunca kurulup incelenecektir.

Ortalama Nusselt sayısı ve buna bağlı olarak ITK aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$Nu_{ort} = c(Gr_f Pr_f)^m \quad (4.1)$$

$$h = a\theta^m \quad (4.2)$$

Burada f , özelliklerin film sıcaklığında belirlendiğini gösterir. m değeri doğal taşınım ve laminar akış göz önünde tutularak Tablo 4.1'den seçilebilir[2].

Sıcaklık dengesi aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi yazılabilir[7].

$$\frac{d}{dx} \left(-kA_n \frac{dT}{dx} \right) + hP \left[\frac{1}{4} \left(\frac{d\delta}{dx} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} (T - T_\infty) = 0 \quad (4.3)$$

Tablo 4.1 Değişik ısı geçiş mekanizmalarına göre h_0 ve m değerleri

Mekanizma	Durum	h_0	m
Doğal Taşınım	Dikey Levha veya silindir		
	Laminer $10^4 < GrPr < 10^9$	$1,42(\theta_0/L)^{1/4}$	1/4
	Türbülans $GrPr > 10^9$	$1,31\theta_0^{1/3}$	1/3
	Yatay Silindir		
	Laminer $10^4 < GrPr < 10^9$	$1,32(\theta_0/\delta)^{1/4}$	1/4
	Türbülans $GrPr > 10^9$	$1,24\theta_0^{1/3}$	1/3
	Yatay Plaka		
	Çeşitli koşullarda	$1,32(\theta_0/L)^{1/4}$	1/4
		$1,52\theta_0^{1/3}$	1/3
		$0,59(\theta_0/L)^{1/4}$	1/4

Denklem (4.3)'te x kanat tabanından başlar. P kanat çevresi A_n ise kanat kesit alanıdır. P ve A_n Tablo 4.2'den alınır[7]. Bu parametreler boyutsuzlaştırılarak denklem (4.8) elde edilir.

$$\bar{A} = A_n / A_{n0} \quad (4.4)$$

$$\bar{\delta} = \delta / \delta_0 \quad (4.5)$$

$$\bar{x} = x / L \quad (4.6)$$

$$\Phi = (T - T_\infty) / (T_0 - T_\infty) \quad (4.7)$$

$$\frac{d^2 \phi}{d\bar{x}^2} - B \frac{d\phi}{d\bar{x}} - C \frac{m_f^2}{(1-\bar{x})^n} \left[\frac{n^2 (1-\bar{x})^{2n-2}}{4} \left(\frac{\delta_0}{L} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} \phi^{m+1} = 0 \quad (4.8)$$

Burada kanat genel parametresi

$$m_f = L \sqrt{(2h_0) / (k\delta_0)} \quad (4.9)$$

olarak tanımlanmıştır.

Denklem (4.8)'deki B ve C parametreleri Tablo 4.2'den bakılarak yerlerine konularak denklem aşağıdaki basit forma getirilir.

Tablo 4.2 Parametrelerin açıklamaları

Kanat	Uzunlamasına	İğnesel	Halkasal
P	$2(Z + \delta)$	$\pi \delta$	$4 \pi(R_0 + x)$
$\bar{A}_n$	$(1 - \bar{x})^n$	$(1 - \bar{x})^{2n}$	$\left(1 + \frac{\bar{x}}{\bar{R}_0}\right) (1 - \bar{x})^n$
B	$\frac{n}{1 - \bar{x}}$	$2 \frac{n}{1 - \bar{x}}$	$\frac{n}{1 - \bar{x}} - \frac{1}{\bar{R}_0 - \bar{x}}$
C	$1 + (1 - \bar{x})^n \frac{\delta}{Z}$	2	1
D	$1 + (1 - \bar{x})^n \frac{\delta}{Z}$	$2(1 - \bar{x})^n$	$\left(1 + \frac{\bar{x}}{\bar{R}_0}\right)$
E	$(1 - \bar{L}_f)^n$	$(1 - \bar{L}_f)^{2n}$	$\left(1 + \frac{\bar{L}_f}{\bar{R}_0}\right) (1 - \bar{L}_f)^n$
J	1	2	1
U	0	0	$\frac{1}{\bar{R}_0}$

$$\frac{d^2 \phi}{dx^2} - N^2 \phi^{m+1} = 0 \quad (4.10)$$

$$N^2 = 2hl^2/tk \quad (4.11)$$

Burada l, kanat uzunluğunu, t ise kanat profilinin et kalınlığını ifade eder.

Kanadın birleşim yerinden ucuna kadar olan kısmı göz önüne alınırsa SK aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$dT/dx_{(x=L_0)} = 0 \quad (4.12)$$

$$x = 0 \Rightarrow T(0) = T_0 \quad (4.13)$$

Yukarıda elde edilen denklem (4.10), ikinci mertebeden non lineer bir diferansiyel denklemdir. Bu denklem daha önce nümerik olarak çözülmüş olsa da kesin bir

analitik çözümü yoktur. Ancak yapılan çalışmalar ile yaklaşık bir analitik çözüm elde edilmeye çalışılmıştır [11]. Bu çalışmalar ışığında aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir.

$$Q = \frac{dT}{dx}(1) = N \left(\frac{2}{m+1} \right)^{1/2} (1 - T_0^{m+1})^{1/2} \quad (4.14)$$

Buradaki T_0 denklem (4.15)'te verilmiştir [11].

$$T_0 = T(0) = \left\{ \frac{N \left(\frac{m+1}{2} \right)^{1/2}}{\psi^{1/2} F \left(\frac{1}{2}, \frac{m+3}{2(m+1)}, \frac{3}{2}, \psi \right)} \right\}^{2/(1-m)} \quad (4.15)$$

Denklem (4.15)'te verilen F fonksiyonu hipergeometrik bir fonksiyondur ve değeri çeşitli matematik el kitaplarından bulunabilir [13].

$$\psi = 1 - T_0^{m+1} \quad (4.16)$$

$$T_0 \sim CN^{-2/(m-1)} \quad (4.17)$$

$$C = \left(\frac{2A^2}{m+1} \right)^{1/(m-1)} \quad (4.18)$$

$$A = F \left(\frac{1}{2}, \frac{m+3}{2(m+1)}, \frac{3}{2}, 1 \right) = \frac{\sqrt{\pi} \Gamma \left[\frac{m-1}{2(m+1)} \right]}{\Gamma \left[\frac{m}{m+1} \right]} \quad (4.19)$$

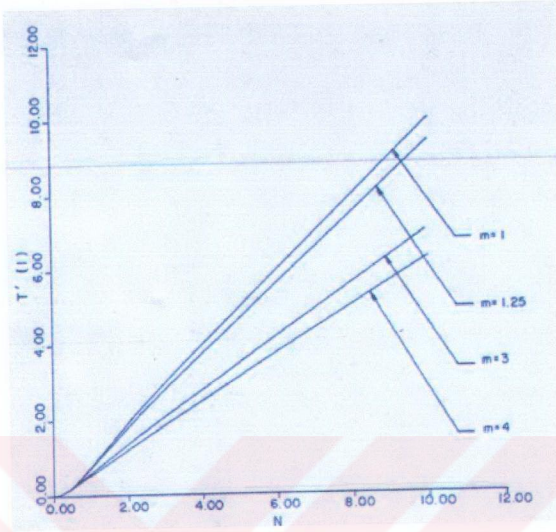
$$(dT_1/dx)A_{I(x=L_1)} = (dT_0/dx)A_0 \quad (4.20)$$

$$x = 0 \Rightarrow T(0) = T_1 \quad (4.21)$$

Kanat tabanına ait sınır koşulları da denklem (4.20) ve denklem (4.21)'de verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Q yaklaşık olarak aşağıdaki gibi bulunur. Ayrıca Şekil 4.1'de denklem (4.22)'nin N 'ye bağlı değişimi bir grafik ile verilmiştir [7].

$$Q \sim \left(\frac{2}{m+1} \right)^{1/2} N \left\{ 1 - \frac{D}{2} t^{\frac{-2(m+1)}{m-1}} - \frac{D^2}{8} t^{\frac{-4(m+1)}{m-1}} - \dots \right\} \quad (4.22)$$

$$t = \left(\frac{m+1}{2} \right)^{1/2} N + \frac{m+1}{m-1} \quad (4.23)$$



Şekil 4.1 Boyutsuz Q bağıntısının N değeriyle değişimi

$$D = A^{\frac{2(m+1)}{m-1}} \quad (4.24)$$

Yukarıdaki denklemlerin doğruluğu denklem (4.25)'teki kritere bağlı olarak tespit edilir[12].

$$\frac{1}{\frac{b}{2}} \gg \left(\frac{2k}{hb} \right)^{1/2} \quad (4.25)$$

Son haline getirilmiş ısı iletim bağıntısı denklem (4.26)'da verilmiştir.

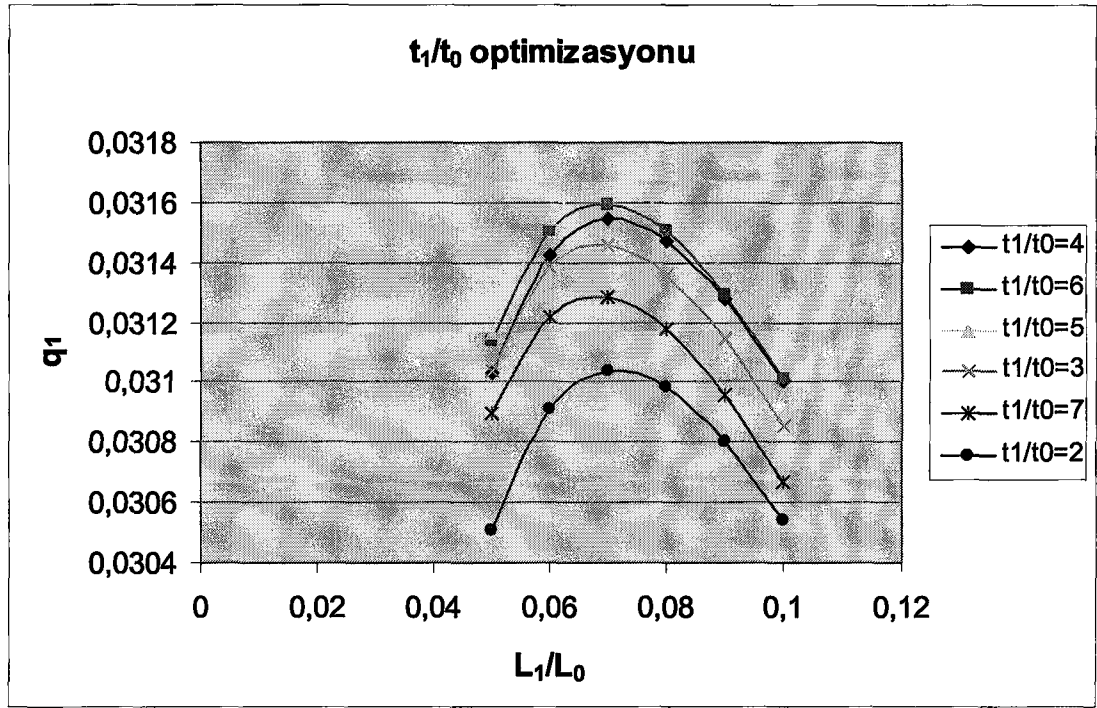
$$Q \cong N^2 \left\{ 1 - \frac{m}{3} N^2 + \frac{1}{15} m(3m-1) N^4 \right\} \quad (4.26)$$

4.3. Gİİ Denklem Sonuçlarının Eğrileri

Denklemlerde gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra Bölüm 3'te yazılan bilgisayar programı, birtakım parametreler değiştirilerek kullanılmıştır. Hesaplamalar karşılaştırılabilmesi açısından Bölüm 3'teki basamak sırasıyla yapılmıştır. İlk etapta a ve Φ_1 boyutsuz parametresi 0,2 değerine eşit alınmıştır. t_1/t_0 oranına çeşitli değerler verilerek q_1 hesaplanmıştır. İlgili sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Verilen t_1/t_0 oranlarına göre q_1 değerleri

t_1/t_0	L_1/L_0	q_1
2.0	0,05	0,030504458
2.0	0,06	0,03091009
2.0	0,07	0,031037811
2.0	0,08	0,030979867
2.0	0,09	0,030799499
2.0	0,1	0,030539912
3.0	0,05	0,031037785
3.0	0,06	0,031383999
3.0	0,07	0,031461062
3.0	0,08	0,031360976
3.0	0,09	0,031145882
3.0	0,1	0,03085774
4.0	0,05	0,031026378
4.0	0,06	0,031425809
4.0	0,07	0,031542375
4.0	0,08	0,031470635
4.0	0,09	0,031275247
4.0	0,1	0,031000283
5.0	0,05	0,031161643
5.0	0,06	0,031545893
5.0	0,07	0,031649507
5.0	0,08	0,03156699
5.0	0,09	0,031362727
5.0	0,1	0,03108047
6.0	0,05	0,031138719
6.0	0,06	0,031504551
6.0	0,07	0,031594834
6.0	0,08	0,031503057
6.0	0,09	0,03129264
6.0	0,1	0,031006549
7.0	0,05	0,03089415
7.0	0,06	0,03122043
7.0	0,07	0,031284582
7.0	0,08	0,031176877
7.0	0,09	0,030958016
7.0	0,1	0,030668854



Şekil 4.2 Çeşitli t_1/t_0 oranı değerlerinde bulunan q_1 eğrileri

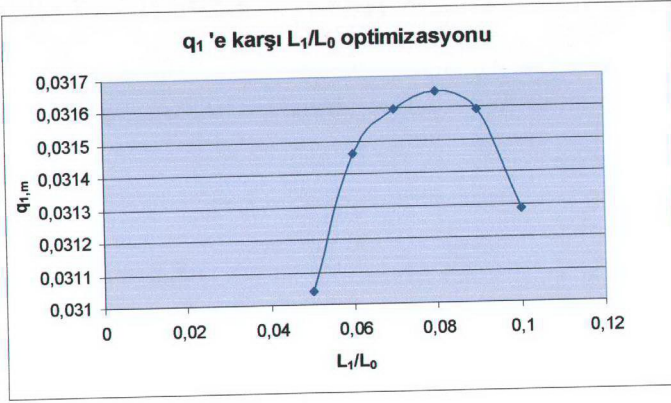
Bulunan q_1 değerleri ile çizilen grafik Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Elde edilen değerlerden her bir t_1/t_0 oranı için q_1 değerini maksimum yapan L_1/L_0 değerleri ayrı bir tabloda belirtilir (Tablo 4.4). Böylece q_1 ’in birinci maksimum grafiği elde edilebilir.

Tablo 4.4 Değişik t_1/t_0 oranları için maksimum q_1 ’i veren L_1/L_0 oranları

t_1/t_0	L_1/L_0	q_1
2.0	0.08	0,031039135
3.0	0.081	0,031462574
4.0	0.079	0,03159905
5.0	0.08	0,031649507
6.0	0.078	0,031595268
7.0	0.079	0,031287889

L_1/L_0 optimizasyon grafiği Tablo 4.4’teki sonuçlar kullanılarak elde edilir. İlgili grafik Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Burada da a ve Φ_1 boyutsuz parametresi 0,2’ye eşit olarak alınmıştır



Şekil 4.3 Farklı t_1/t_0 değerleri için maksimum q_1 'e göre L_1/L_0 değişimi

Bu noktadan sonra bulunan optimum t_1/t_0 ve L_1/L_0 değerleri kullanılarak a ve Φ_1 parametrelerinin değişimi incelenmiştir (Tablo 4.5).

q_1 'in çift maksimumlaştırılması sonucunda bulunan $q_{1,m}$ değerleriyle oluşturulan grafikler Şekil 4.4'te verilmiştir. Ayrıca burada çift maksimumlaştırma işlemi a ve q_1 'in tüm değerleri boyunca tekrar edilmiştir.

Buraya kadar q_1 'in maksimumlaştırma işlemi sabit a ve Φ_1 parametreleri ile yapılarak optimum t_1/t_0 ve L_1/L_0 oranları tayin edilmiş oldu. Bundan sonra ısı iletkenliğinin Φ_1 ve a kanat parametrelerinin değişimine karşı nasıl değişeceği daha önce elde edilen bu oranların bu değişim doğrultusunda nasıl bir davranış göstereceği incelenir.

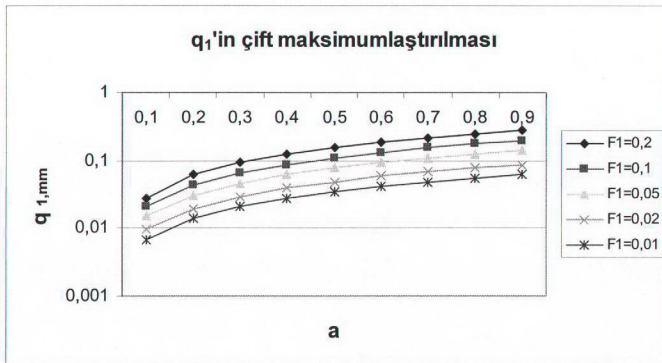
Bölüm 3'teki sırayla gidilirse ilk olarak a ve Φ_1 değişimlerine göre bulunan t_1/t_0 değerleri incelenir. Bu değerler Tablo 4.6'da verilmiştir.

Şekil 4.5'te a yatay eksen olarak alınmış ve her bir Φ_1 değeri için bir eğri çizilerek optimum t_1/t_0 oranları gösterilmiştir.

Aynı şekilde bilgisayar programı vasıtasıyla a ve Φ_1 parametrelerinin değişimlerine göre bulunan L_1/L_0 değerleri Tablo 4.7'de bir liste halinde verilmektedir.

Tablo 4.5 Optimum t_1/t_0 ve L_1/L_0 'ya göre a ve Φ_1 değerleri

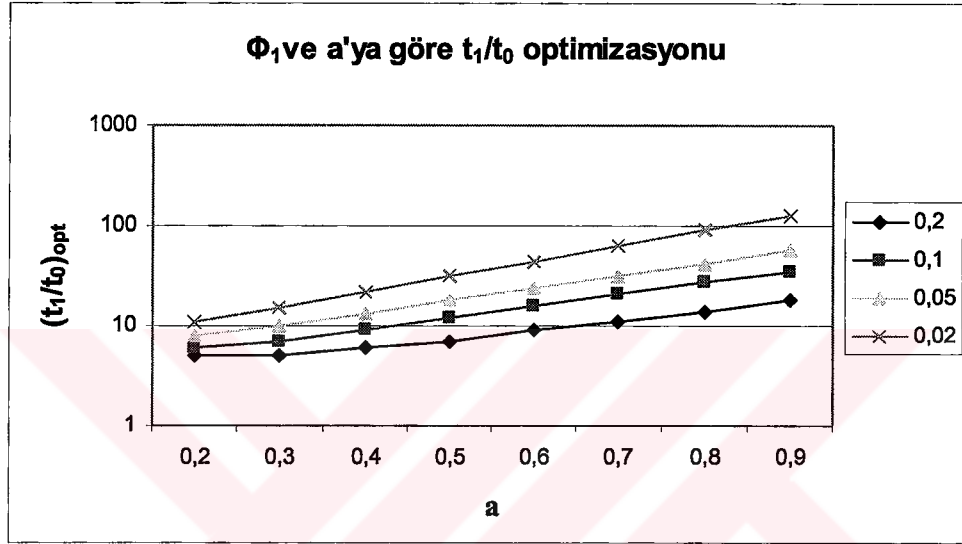
$a, \Phi_1=0,2$	$q_{1,mm}$	$a, \Phi_1=0,02$	$q_{1,mm}$
0,1	0,028023001	0,1	0,009738071
0,2	0,06132319	0,2	0,019478634
0,3	0,092375865	0,3	0,029217951
0,4	0,123192478	0,4	0,038957268
0,5	0,153992052	0,5	0,048696585
0,6	0,184790545	0,6	0,058435902
0,7	0,215588973	0,7	0,068175219
0,8	0,246387398	0,8	0,077914537
0,9	0,277185823	0,9	0,087653854
$a, \Phi_1=0,1$	$q_{1,mm}$	$a, \Phi_1=0,01$	$q_{1,mm}$
0,1	0,021205297	0,1	0,006886721
0,2	0,0435401	0,2	0,013773474
0,3	0,065333016	0,3	0,020660211
0,4	0,087111095	0,4	0,027546949
0,5	0,108888875	0,5	0,034433686
0,6	0,13066665	0,6	0,041320423
0,7	0,152444425	0,7	0,04820716
0,8	0,1742222	0,8	0,055093897
0,9	0,195999975	0,9	0,061980634
$a, \Phi_1=0,05$	$q_{1,mm}$		
0,1	0,015330798		
0,2	0,030798119		
0,3	0,046197636		
0,4	0,06159685		
0,5	0,076996062		
0,6	0,092395274		
0,7	0,107794487		
0,8	0,123193699		
0,9	0,138592912		



Şekil 4.4 t_1/t_0 ve L_1/L_0 optimum iken farklı a ve $\Phi_1(F_1)$ değerlerine göre q_1 değişimi

Tablo 4.6 a ve Φ_1 değişimine karşılık bulunan t_1/t_0 değerleri

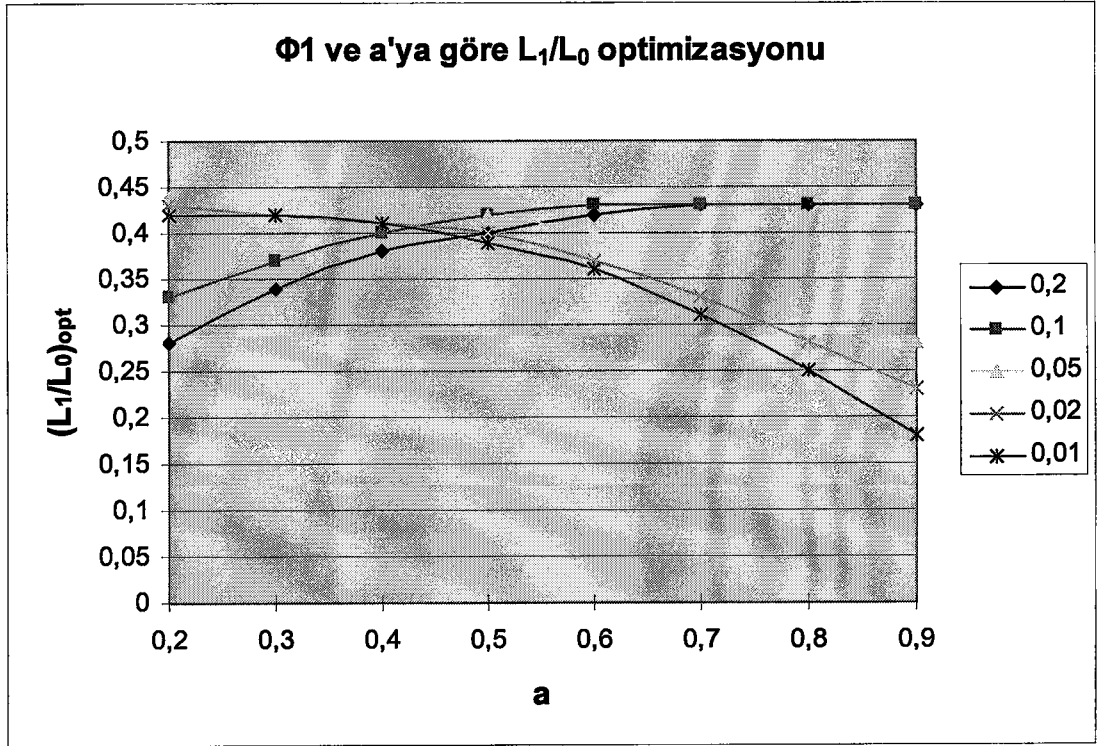
	$\Phi_1=0,2$	$\Phi_1=0,1$	$\Phi_1=0,05$	$\Phi_1=0,02$	$\Phi_1=0,01$
a	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0
0,2	0,28	0,33	0,44	0,43	0,42
0,3	0,34	0,37	0,44	0,42	0,42
0,4	0,38	0,4	0,43	0,41	0,41
0,5	0,4	0,42	0,42	0,4	0,39
0,6	0,42	0,43	0,4	0,37	0,36
0,7	0,43	0,43	0,37	0,33	0,31
0,8	0,43	0,43	0,33	0,28	0,25
0,9	0,43	0,43	0,28	0,23	0,18



Şekil 4.5 Kanat parametrelerine (a ve Φ_1) göre değişen $(t_1/t_0)_{opt}$

Tablo 4.7 Farklı a ve Φ_1 değerlerine karşılık bulunan L_1/L_0 değerleri

	$\Phi_1=0,2$	$\Phi_1=0,1$	$\Phi_1=0,05$	$\Phi_1=0,02$	$\Phi_1=0,01$
a	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0	L_1/L_0
0,2	0,28	0,33	0,44	0,43	0,42
0,3	0,34	0,37	0,44	0,42	0,42
0,4	0,38	0,4	0,43	0,41	0,41
0,5	0,4	0,42	0,42	0,4	0,39
0,6	0,42	0,43	0,4	0,37	0,36
0,7	0,43	0,43	0,37	0,33	0,31
0,8	0,43	0,43	0,33	0,28	0,25
0,9	0,43	0,43	0,28	0,23	0,18



Şekil 4.6 Farklı kanat parametrelerine (a ve Φ_1) göre değişen $(L_1/L_0)_{opt}$

Şekil 4.6'da optimum boylar oranlarının belirtilmiş parametreler doğrultusunda nasıl değiştiği grafikte gösterilmiştir.

Burada da Bölüm 3'te olduğu gibi et kalınlıkları oranı $(t_1 / t_o)_{opt}$, a artar ve Φ_1 azalırken artma eğilimi göstermektedir. Bununla beraber a azalır Φ_1 artarken bu oran azalır. Kanat plaka boylarının oranı $(L_1 / L_o)_{opt}$, Φ_1 sabitken a parametresine bağlı olarak bir maksimum değere ulaşır. $(L_1 / L_o)_{opt}$ bilinirse bireysel uzunluklar $(L_{1,opt}, L_{o,opt})$ Bölüm 3'teki denklem (3.13)'e bağlı olarak bulunurlar.. Benzer şekilde $(t_{1,opt}, t_{o,opt})$ oranı bilinirse et kalınlıkları $(t_{1,opt}, t_{o,opt})$, (3.16) numaralı denkleme bağlı olarak hesaplanabilir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, seçilmiş özel şekilli bir kanat profilinin ısı geçiş performansının geometrik optimizasyonu, yapısal metot adı verilen bir metotla teorik olarak yapılmaya çalışılmıştır. Bu inceleme yapılırken kanattan çevreye doğal taşınım olduğu ve ısı akışının laminar olduğu kabulü yapılmıştır.

Kanatlarda ısı geçiş performans optimizasyonu yapılırken, yapılan çalışmanın gerçek hayatta kullanılabilmesi için en önemli konulardan biri kanat profilinin imalata uygunluğu ve maliyetlerdir. Bu yüzden sanayide ve günlük hayatta sıkça kullanılabilecek şekilde T şekline sahip bir kanat ele alınmıştır.

Optimizasyon yapılırken toplam kanat malzemesinin değişmemesi istenmiş, bu yüzden toplam kanat hacmi sabit alınmıştır. Geometrik olarak T kanadını oluşturacak iki plakanın et kalınlıklarının ve boylarının oranı bulunmaya çalışılmıştır.

Optimizasyon incelemesi yapılmadan önce kanatlar hakkında genel bilgi verilmiş, kanat etkenliği ve veriminden kısaca bahsedilmiştir. Daha sonraki bölümde ITK'nın sabit olduğu kabulüyle YM, sisteme uygulanmış ve bir boyutlu ısı iletim denkleminin genel hali bulunmaya çalışılmıştır. Son haline gelmiş denklem bir bilgisayar programı yardımıyla çözdürülüp birtakım sonuçlar elde edilmiştir. Burada ilk önce a ve ϕ_1 gibi iki özel boyutsuz kanat parametresine sabit bir değer vererek, kanadı oluşturan plakaların et kalınlıkları ve boylar oranı bulunmuştur. Daha sonra bu parametreler değiştirilerek ilgili geometrik boyutların bu değişime cevabı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yapılmış başka bir çalışmayla kontrol edilmiş ve ayrıca parametre değişiminin genel denklem sonucuna etkisi kontrol edilerek edinilen verilerin güvenilirliği test edilmiştir. Denklemin bölüm 3'te belirtilen BS kriterlerinin de sağlanmasıyla doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bundan sonraki bölümde ITK gerçek hayata uygun olarak değişken kabul edilmiştir. Bölüm 4'te ITK'nın sıcaklıkla değiştiği varsayılmış, ucu yalıtımlı T kanat profilinin geometrik optimizasyonu bu kriterler doğrultusunda yapılmıştır. Sıcaklık dağılımının

genel denkleminin bu koşullar altında ikinci mertebeden nonlinear bir diferansiyel denklem oluşturduğu ve literatürde bunun analitik bir çözümü olmadığı görülmüştür. Bu durumda daha önce yapılan çalışmalardan faydalanılarak denkleme yaklaşık bir çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Denklem son haline getirildikten sonra parametreler boyutsuzlaştırılarak bir önceki bölümdekine benzetilmeye çalışılmıştır. Daha sonra bir bilgisayar programı kullanılarak çözdürülmüş ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar tablo ve grafikler haline getirilip Bölüm 3'teki formatla sunulmuştur.

ITK'nın bu iki durumu kıyaslanırsa, q_1 genel ısı akışının ITK'nın sıcaklığa bağlı olmasıyla azaldığı görülür. Kanat veriminin tanımı hatırlanacak olursa, kanadın verimini artırmak için GII denkleminin mümkün olan en büyük değeri alacağı görülür. Bu durumda verimin artması için üzerinden iletim olan alanı büyütmek gerekecektir. Yapılan geometrik optimizasyon çalışmasında ise T profilini oluşturan plakaların et kalınlıkları ve boyları oranının ciddi bir fark olmamakla beraber arttığı görülmüştür.

T tipi bir kanat profili üzerinde en iyi ısı geçiş performansını sağlayacak bu geometrik optimizasyon çalışması, bir nokta ile bir hacim arasındaki ısı direncin minimuma indirilişini gösteren YM'un geçerliliğini de test etmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Schmidt, E., 1926. Die Wärmeübertragung durch Rippen, Z. Ver. Dt. Ing., *Journal of Heat Transfer*, **70**, 947-951.
- [2] Holman, J.P., 1990. Heat Transfer, SI Metric Edition, 46-55, Mc Graw Hill, Inc., New York.
- [3] Duffin, R.J., 1959. A variational problem relating to cooling fins, *Journal of Mathematical Mechanics*, **8**, 47-56.
- [4] Ullmann, A. and Kalman, H., 1989. Efficiency and optimized dimensions of annular fins of different cross-section shapes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **32**, 1105-1110.
- [5] Jany, P. and Bejan, A., 1988. Ernst Schmidt's approach to fin optimization: an extension to fins with variable conductivity and the design of ducts for fluid flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **31**, 1635-1644.
- [6] Kraus, A. D., 1999. Developments in the analysis of finned arrays, *International Journal of Transport Phenomena*, **1**, 141-164.
- [7] Kalman, H. and Laor, K., 1996. Performance and optimum dimensions of different cooling fins with a temperature-dependent heat transfer coefficient, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **39**, 1993-2003.
- [8] Ünal, H.C., 1988. The effect of the boundary condition at a fin tip on the performance of the fin with and without internal heat generation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **31**, 1483-1496.

- [9] **Bejan, A.**, 1997. Constructal-theory network of conducting paths for cooling a heat generating volume, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **40**, 799-816.
- [10] **Gardner, K.A.**, 1945. Efficiency of extended surfaces, *Transactions ASME*, **67**, 621-631.
- [11] **Sen, A.K. and Trinh, S.**, 1986. An exact solution for the rate of heat transfer from a rectangular fin governed by a power law-type temperature dependence, *Journal of Heat Transfer*, **108**, 457-459.
- [12] **Bejan, A.**, 1993. Heat Transfer, 52-65, John Wiley & Sons, Inc., Singapur.
- [13] **Abramowitz, M. and Stegun, I.A.**, 1972. Handbook of Mathematical Functions, 556-565, National Bureau of standards, New York.
- [14] **Almogbel, M. and Bejan, A.**, 2000. Constructal T-shaped fins, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **43**, 2101-2115.
- [15] **Incropera, F.P. and Dewitt, D.P.**, 2001. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, 118-143, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [16] **Kern, D.Q. and Kraus, A.D.**, 1972. Extended Surface Heat Transfer, 184-193, Mc Graw Hill, Inc., New York.
- [17] **Burmeister, L.C.**, 1993. Convective Heat Transfer, 511-530, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [18] **Alebrahim, A. and Bejan, A.**, 1999. Constructal trees of circular fins for conductive and convective heat transfer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **42**, 3585-3597.

EK 1

Java ile hazırlanmış bilgisayar programı

```
import java.util.*;
import java.io.*;
import java.io.IOException;

/**
 * Kanat Isı geçişi optimizasyonu projesi
 * Veri erişim programı
 */

public class kanat {
    private double F1 = 0.2; // 0.1,0.2,0.3
    private double A = 0.1; // 0.1,0.2,0.3 .... 0.9
    private double ET_0; // t1/t0 değeri tamsayı
    private double ET_1;
    private double L0; // L1/L0 değeri
    private double L1;
    public int I_Sensitivity = 1;
    public int J_Sensitivity = 1;
    public boolean writable = true ;
    private Item1 MAX_ITEM ;
    private int k = 200 ; // Isı iletim katsayısı
    private double h = -1; // Isı tasınım katsayısı
    private double Teta = 0.65;
    private double N = 0.0; // kanat parametresi
    private double m = 0.0; //Isi transfer sekli parametresi

    private Item1[] VALUES1;

    public kanat() {}

    public void hesapla_h(){
        this.h = 1.42 * Math.pow(Teta, 0.25);
    }

    public void hesapla_Q1() {
        System.out.println("\n");
        System.out.println("F1=" + F1);
        System.out.println("A=" + A);
    }
}
```

```

if (writable) {
    System.out.println("J(ET_1/ET_0)\tI(L1/L0)\t\tQ1");
    System.out.println("-----");
}
// yeni bir tane Item1 dizisi oluşturuldu
// Item1 dizisi içinde Item1 ler var
// Her Item1 içinde de J, I ve Q değerleri atanmaktadır
VALUES1 = new Item1[ (5 * J_Sensitivity + 1) * (5 * I_Sensitivity + 1)];
int iterator = 0;
for (int j = 2 * J_Sensitivity; j <= 7 * J_Sensitivity; j++) {
    double J = (double) j / J_Sensitivity;
    // Lo: T kanatın bir kenar uzunluğu
    // L1: T kanatın govde uzunluğu
    // ET_0: Kanat keşişme noktası sıcaklığı
    // ET_1: Kanat tabanı sıcaklığı

    for (int i = 5 * I_Sensitivity; i <= 10 * I_Sensitivity; i++) {
        double I = (double) i / (100 * I_Sensitivity);

        L0 = Math.sqrt( (double) (1 / (2 * I)));
        L1 = (double) I * L0;
        ET_0 = F1 / (double) (2 * L0 + J * L1);
        ET_1 = (double) J * ET_0;

        /*Toplam Kanat Alanı*/
        double A = (double)2 * L0 * L1;

        /*h değeri hesaplanır*/
        hesapla_h();

        /*1. Tasarım Parametresi*/
        double a = (double)
            (Math.sqrt(2 * h * Math.sqrt(A) / k) * ET_1 );

        /*N : kanat parametresi*/
        N = (double)(a * Math.sqrt(ET_0)) / (ET_0 * J);

        /*Q1 : Kanattan İletilen Isı*/
        double Q1 = 2 * Math.pow(N,2) *
            (1 - m * Math.pow(N,2) / 3 + (3 * m - 1) * Math.pow(N,4) * m / 15 );

        // Dizi içindeki Item1 içinde de J, I ve Q değerleri atandı
        VALUES1[iterator] = new Item1(J, I, Q1);
        // VALUES dizisinin index değerlerini atar
        iterator++;
        if (writable)
            System.out.println(" " + J + "\t\t" + I + "\t\t\t" + Q1);
    }
}
}

```

```

public int indexOfMaxQ() {
    double maxQ = 0; // max Q değeri değişkeni
    int index = 0; // max Q içeren dizi elemanının index numarası

    // max Q karşılaştırma döngüsü
    for (int i = 0; i < VALUES1.length; i++) {
        // Eğer Sıradaki değer max Q dan büyük ise
        if (VALUES1[i].getQValue() > maxQ) {
            // max Q değerini değiştir
            maxQ = VALUES1[i].getQValue();
            // index numarasını değiştir
            index = i;
        }
    }
    // max Q index değerini geri dondur
    return index;
}

/**
 * Q değerlerinden max Q değeri yazdırma metodu
 */
public void writeMaxValues() {
    int index = indexOfMaxQ();
    Item1 item = VALUES1[index];
    System.out.println("\n");
    System.out.println("J(ET_1/ET_0)\tI(L1/L0)\t\tQ");
    System.out.println("-----");
    System.out.println("'" + item.getJValue() +
        "\t\t" + item.getIValue() +
        "\t\t\t" + item.getQValue());
    MAX_ITEM = item ;
}

public Item1 getItemForJ(double J){
    double maxQ = 0; // max Q değeri değişkeni
    int index = 0; // max Q içeren dizi elemanının index numarası
    for (int i = 0; i < VALUES1.length; i++) {
        if (VALUES1[i].getJValue() == J && VALUES1[i].getQValue() > maxQ)
        {
            maxQ = VALUES1[i].getQValue();
            index = i;
        }
    }
    return VALUES1[index];
}

public void writeMaxQValues() {
    System.out.println("\n");
    System.out.println("J(ET_1/ET_0)\tI(L1/L0)\t\tQ");

```

```

        System.out.println("-----");
        for (int j = 2 * J_Sensitivity; j <= 7 * J_Sensitivity; j++) {
            double J = (double) j / J_Sensitivity;
            Item1 item = getItemForJ(J);
            System.out.println(""+item.getJValue()+
                               "\t\t"+item.getIValue()+
                               "\t\t"+item.getQValue());
        }
    }

    /**
     * Q değerlerinin a ve F1 parametrelerine
     * göre değişimi
     */
    public void hesapla_Q_a_ve_F1_e_gore(){
        double[] FArray = new double[]{0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01};

        for (int f = 0; f < FArray.length; f++) {
            F1 = FArray[f];

            System.out.println("A\tQ\t(F1 = "+F1+"");
            System.out.println("-----");

            for (int s = 1; s <= 9; s++) {
                double A = (double) s / 10;
                double I = MAX_ITEM.getIValue();
                double J = MAX_ITEM.getJValue();
                L0 = Math.sqrt( (double) (1 / (2 * I)));
                L1 = (double) I * L0;
                ET_0 = F1 / (double) (2 * L0 + J * L1);
                ET_1 = (double) J * ET_0;

                /*h değeri hesaplanır*/
                hesapla_h();

                /*1. Tasarım Parametresi*/
                double a = (double)
                    (Math.sqrt(2 * h * Math.sqrt(A) / k) * ET_1 );

                /*N : kanat parametresi*/
                N = (double)(a * Math.sqrt(ET_0)) / (ET_0 * J);

                /*Q1 : Kanattan İletilen Isı*/
                double Q1 = 2 * Math.pow(N,2) *
                    (1 - m * Math.pow(N,2) / 3 + (3 * m -1) * Math.pow(N,4) * m / 15 );

                // Dizi içindeki Item1 içinde de J, I ve Q değerleri atandı
                // VALUES dizisinin index değerlerini atar
                System.out.println(""+ A + "\t" + Q1);
            }
        }
    }

```

```

    }
}

/**
 * Programın çalıştırılması bu metod'tan sağlanıyor
 * - Veri ve Parametre girişi
 * - metodların sırasıyla çağırılması
 * işlemleri yapılmaktadır
 */
public static void main(String[] args) throws IOException {
    kanat k = new kanat();

    InputStreamReader input = new InputStreamReader(System.in, "windows-
1254");

    System.out.print("Ciktilar yazdirilsin mi? (E/H):");
    String yazdir = new BufferedReader(input).readLine();

    System.out.print("J degeri hassasiyeti:");
    k.J_Sensitivity = Integer.parseInt(new BufferedReader(input).readLine());

    System.out.print("I degeri hassasiyeti:");
    k.I_Sensitivity = Integer.parseInt(new BufferedReader(input).readLine());

    System.out.print("Isi transfer sekli parametresini giriniz:");
    k.m = Double.parseDouble(new BufferedReader(
        new InputStreamReader(System.in)).readLine());

    if (yazdir.equals("E")) k.writable = true;
    else k.writable = false;

    // ilk hesaplama işlemi (grafik 1 için)
    k.hesapla_Q1();
    // il hesaplama değerlerine göre max Q değeri olan Item1 yazdırılır
    k.writeMaxValues();
    k.writeMaxQValues();
    k.hesapla_Q_a_ve_F1_e_gore();

}
}
/**
 * Item1 nesnesi J, I ve Q değerlerini depolar
 * ve daha sonraki max Q hesaplamalarında çağırılır.
 */
class Item1 {
    double J_VALUE;
    double I_VALUE;
    double Q_VALUE;

    Item1(double J, double I, double Q) {

```

```
        this.J_VALUE = J;  
        this.I_VALUE = I;  
        this.Q_VALUE = Q;  
    }  
  
    public double getJValue() {  
        return J_VALUE;  
    }  
  
    public double getIValue() {  
        return I_VALUE;  
    }  
  
    public double getQValue() {  
        return Q_VALUE;  
    }  
}
```



ÖZGEÇMİŞ

Cem Karabacakoğlu, 1977 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk öğrenimini Adalet İlkokulu’nda 1988 yılında tamamladı. Orta ve lise öğrenimini 1995 yılında Eskişehir Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1997 yılında İ.T.Ü. Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’ne girdi. Bölümün Tesisat branşından 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Ana Bilim Dalı Enerji Programı’na kabul edilerek yüksek lisans öğrenimine başladı.

