

46736

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK BİR KOMPONENTİN SOĞUTULMASI
SÜRECİNİN DENEYSEL VE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Mutlu TUNÇ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. C. Ruhi KAYKAYOĞLU

Aralık 1995

ÖNSÖZ

Günümüzde, elektronik teknolojisi büyük bir hızla gelişmekte ve bu gelişimi doğrultusunda diğer mühendislik dalları ile ortak çalışma alanları gün geçtikçe artmaktadır. Makina mühendisliği konularının elektronik içerisinde uygulamalarını kapsayan mekatronik uygulamalar da her geçen gün daha önem kazanan bir çalışma alanı olmaktadır.

Elektronik devrelerdeki bazı elemanların soğutulması problemi, yukarıda sözü geçen mekatronik uygulamalardan bir tanesidir.

Bu çalışmada, televizyon baskı devre kartında yer alan transistörün soğutulması için kullanılan bir soğutma plakası, deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenerek, üzerindeki sıcaklık dağılımı tespit edilmiş ve elde edilen veriler ışığında yeni bir soğutma plakası konfigürasyonu dizayn edilmiştir.

Yüksek lisans tezimin danışmanlığını yapan ve çalışmam boyunca değerli bilgileri ile beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. C. Ruhi Kaykayoğlu'na, tezin sayısal yaklaşım kısmında değerli katkılarını esirgemeyen Sayın Y. Müh. Orhan Gökçöl'e, endüstriyel bir problem üzerindeki deneysel çalışmaya imkan sağlayan Sayın Dr. Mustafa Gevrek, Sayın Y.Müh. Emin İlkmen şahsında BEKOTEKNİK A.Ş.'ye ve deney aşamasındaki değerli yardımlarından ötürü Sayın Bülent Acet'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZ / ABSTRACT	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
I.GİRİŞ	1
1.1. Isı Geçişinin Esasları	2
1.1.1 Isı İletimi	2
1.1.2 Isı Taşınımı	5
1.1.3 Isı Işınımı	6
1.2 Problemin Tanımı	7
1.3 Termokapıl Bağlantıları	8
1.3.1 Termokapıl İle Ölçüm Teknikleri	8
1.3.2 Demir Konstantan Termokapılın Özellikleri	9
1.3.3 Sıcaklık Ölçümleri	9
II. DENEYSEL MODELLEME	11
III. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATEMATİKSEL MODEL	13
3.1. Enerji Denklemi	13
3.2 Plaka Etrafındaki Akışta “h, Isı Taşınım Katsayısı” Hesabı	14
3.3 Bilgisayar Destekli Çözüm ve Sonlu Farklar Yöntemi	15
3.3.1 Drihlet Tipi Sınır Şartı	16
3.3.2 Neuman Tipi Sınır Şartı	16
3.3.3 Karışık Tip Sınır Şartı	17
3.3.4 Yakınsama	19
3.3.5 Uyumluluk	19
3.3.6 Kararlılık	19
3.3.7 Thomas Yöntemi	21
3.3.8 Üçlü Köşegen Matris Sistemi	21
3.3.9 Değişken Doğrultulu İmplicit Yöntem	22
3.4 Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Kurulurken Kullanılan Sınır Şartları	22
3.5 Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Kurulurken Yapılan Kabuller	23
3.6 Enerji Denklemine ADI İle Ayrıklaştırılması	24

IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	25
V. ÖZET	35
SUMMARY	36
VI. KAYNAKLAR	37
VII. EKLER	39
VIII. ÖZGEÇMİŞ	49



ÖZ

**ELEKTRONİK BİR KOMPONENTİN SOĞUTULMASI
SÜRECİNİN DENEYSEL VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ**

Bu çalışmada, televizyonlar içerisinde transistör soğutması için kullanılan plaka üzerindeki sıcaklık dağılımı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Giriş bölümünde, ısı transferinin temelleri, problem fiziğinin tanıtımı, deneysel modelleme, ikinci bölümde sayısal modelleme açıklanmış sonuçlar ve tartışma bölümünde, deneysel ve sayısal sonuçlar tartışılmıştır.

ABSTRACT

**ANALYSIS of an ELECTRONIC DEVICE COOLING PROCESS
USING EXPERIMENTAL and NUMERICAL METHODS**

In this thesis, the temperature distribution over the cooling plate on a TV board which is used to cool a transistor has been investigated using experimental and numerical methods. At the introduction, fundamentals of heat transfer, definition of problem's physics and experimental modeling were explained, at the second chapter, numerical modeling was explained and at the results and discussion chapter, experimental and numerical results were discussed.

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	Birim Hacimdeki Isı Dengesi	1
Şekil 1.2	Problemin Tanıtımı	7
Şekil 1.3	Soğutma Plakası Geometrisi	8
Şekil 2.1.a	Deney Düzenegi	12
Şekil 2.1.b	Ölçüm Noktaları	12
Şekil 3.2	Dirichlet Tipi Sınır Şartı	16
Şekil 3.3	Neuman Tipi Sınır Şartı	16
Şekil 3.4	Karışık Tip Sınır Şartı	17
Şekil 3.5	Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Kurulurken Yapılan Kabuller	23
Şekil 4.1	Deney Sonuçlarının Üç Boyutlu Gösterimi	26
Şekil 4.2	Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Sonuçları	27
Şekil 4.3	Taş Direncin Soğutma Plakasına Göre Konumu	28
Şekil 4.4	Taş Direnç Etkisinin Eklendiği Matematiksel Modelin Verdiği Sonuçlar	29
Şekil 4.5	Yeni Soğutma Plakası Konfigürasyonu	31
Şekil 4.6	Yeni Konfigürasyona Ait Deney Sonuçlarının Üç Boyutlu Gösterimi	32
Şekil 4.7	Yeni Konfigürasyona Ait Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Sonuçları	33

I. GİRİŞ

Televizyon; elektronik devre elemanları, baskı devre kartı ve komponent teknolojileri ile oluşturulmuştur. Televizyon üretimi daha çok elektronik teknoloji ağırlıklı bir alan gibi görünmekle beraber mekatronik uygulamalar üretimde önemli bir yer tutmaktadır [1],[2].

Elektronik devre elemanlarının yüklenmeler sonucu ısınmasını önlemek için değişik soğutma teknolojileri oluşturulmuştur. Bu teknolojilerden bazıları çok karmaşık yöntemleri esas alırken, daha basit çözümler de kullanılmaktadır. Bu çözümlerden en önemlisi devre elemanının bir plakaya tutturularak plakanın soğutucu kanat (fin) görevini yerine getirmesidir. Devre elemanında oluşan ısının daha geniş bir yüzeye iletim (Conduction) yolu ile geçirilmesi ve daha sonra da doğal taşınım (Natural Convection) yolu ile ortama atılması yöntemin temelidir [1],[3],[4].

Halen kullanılmakta olan televizyonlarda en çok elektrik enerjisi çeken ve soğutulma ihtiyacı gösteren elemanlardan bir tanesi de transistörlerdir [Dr. Mustafa Gevrek, BEKOTEKNİK A.Ş. Beylikdüzü, İST., şahsi görüşme] . Transistör soğutulması çoğunlukla ucuz ve iyi ısı iletim özellikleri gösteren bir malzeme olan alüminyumdan yapılmış soğutma plakaları ile gerçekleştirilmektedir. Soğutma plakaları, uygulamanın sınırlarına bağlı olarak, çeşitli büyüklüklerde, kanatlı-kanatsız, siyah veya kendi renginde olmak üzere çeşitli özelliklerde imal edilmektedirler. [3]

Aşağıdaki bölümlerde sırası ile; ısı geçişinin esasları ve incelenmekte olan problemin tanıtımı yapılmıştır.

1.1 Isı Geçişinin Esasları

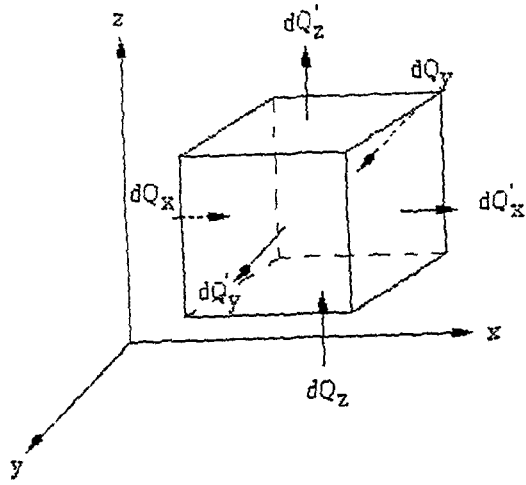
Bu bölümde, tez içerisinde devamlılığı sağlamak açısından ısı geçişinin esasları kısaca özetlenmiştir. Detaylı bilgi [3] numaralı referanstan elde edilebilir.

Isı geçişi, sıcaklıkları farklı iki ortam arasındaki enerji alışverişidir [5]. Isı geçişi, iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere üç temel yolla veya bunların beraber etkin olduğu karma modlarla gerçekleşir.

Madde içerisinde ısı enerjisinin bir molekülden diğerine aktarılması ile gerçekleşen ısı geçiş şekline iletim yolu ile ısı geçişi (heat conduction) denilir. İletim modu, katı maddelerdeki ısı geçişinin temelidir. Gaz veya sıvı akışkanlarda moleküllerin makroskobik hareketleri sonucu oluşan ikinci bir ısı geçiş şekline ise ısı taşınımı (heat convection) adı verilmektedir. Katı ve/veya akışkanların, ışığın dalga boylarında daha büyük olan elektromanyetik dalgalar şeklinde yayınladıkları veya yuttukları ısı geçiş şekline de ısı ışınımı (radiation) adı verilmektedir [5].

1.1.1 Isı İletimi

Üç boyutlu ısı iletiminin genel ifadesi, boyutları dx, dy, dz olan birim hacimde, ısı dengesi yazılarak bulunur [5]. Birim hacimde dikkate alınması gereken ısılar, giren, çıkan, üretilen ve depo edilen ısı, şeklinde tanımlanabilir. Şekil 1.1' de sözü edilen birim hacim ve birim hacime giren ve çıkan ısı miktarları diferansiyel formda gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Birim Hacimdeki Isı Dengesi

Yukarıdaki şekilden görüleceği gibi, $dV=dx.dy.dz$ hacim elemanında en genel halde ısı dengesi;

$$\text{Giren Isı} + \text{Üretilen Isı} = \text{Çıkan Isı} + \text{Depolanan Isı} \quad (1.1)$$

şeklindedir. Yani,

$$dQ_g + dQ_u = dQ_c + dQ_d \quad (1.2)$$

Giren ve çıkan ısılar için Fourier Kanunu'na göre [2],[3];

$$dQ_x = -kdydz \frac{\partial T}{\partial x} dt \quad (1.3)$$

$$dQ_y = -kdx dz \frac{\partial T}{\partial y} dt \quad (1.4)$$

$$dQ_z = -k dx dy \frac{\partial T}{\partial z} dt \quad (1.5)$$

$$dQ'_x = dQ_x - k dy dz \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dt \quad (1.6)$$

$$dQ'_y = dQ_y - k dx dz \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dy dt \quad (1.7)$$

$$dQ'_z = dQ_z - k dx dy \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} dz dt \quad (1.8)$$

şeklinde yazılabilir.

dV hacmi içerisinde q ısı kaynağı bulunması halinde üretilen ısı;

$$dQ_a = \dot{q} dx dy dz dt \quad (1.9)$$

olacaktır. Sıcaklık artması nedeniyle depo edilen ısı:

$$dQ_d = \rho c dx dy dz \frac{\partial T}{\partial t} dt \quad (1.10)$$

Şeklinde ifade edilir.

3-10 denklemleri 2'de yerine konular ve gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q} \quad (1.11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{\rho c} \quad (1.12)$$

elde edilir. ($k/\rho c = \alpha$, difüzyon katsayısı)

(1.12) numaralı denklem, zamana bağlı, üç boyutlu ve birim hacimde q kadar ısı üretilen bir madde içerisindeki ısı dağılımını veren, ikinci dereceden parabolik, sabit özellik taşıyan bir kısmi diferansiyel denklemdir.

1.1.2 Isı Taşınımı

Gaz veya sıvı haldeki akışkanlar ile, akışkanın temas ettiği yüzey arasındaki moleküllerin makroskopik hareketleri ile meydana gelen ısı geçiş şekline ısı taşınımı denildiği daha önce belirtilmiş idi [3].

Akışkan hareketi, dışarıdan bir enerji harcaması ile sağlanıyorsa, zorlanmış taşınım adını alır. Eğer akışkan hareketi, sıcaklık farkı nedeni ile özgül ağırlıktaki değişimlerden meydana geliyorsa, akışkanın temasta bulunduğu yüzeylerle arasında meydana gelen ısı geçiş şekline doğal taşınım denilmektedir [5].

Bir yüzeyden taşınım yolu ile ortama atılan ısı miktarı:

$$Q = h A \Delta T \text{ formülü ile verilmektedir (Newton Soğutma İfadesi [3])} \quad (1.13)$$

Q: Geçen ısı miktarı

ΔT : Sıcaklık farkı

h: Isı taşınım katsayısı

Isı taşınımı problemlerinde, akış ve ısı geçişinin karakterini belirleyen birtakım boyutsuz sayının tanımları aşağıda kısaca verilmiştir [3].

- Nusselt Sayısı, Nu ;

$$Nu = \frac{hx}{k} = \frac{x}{h/k} \quad \text{veya} \quad Nu = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/x} \quad (1.14)$$

- Prandtl Sayısı, Pr;

$$Pr = \frac{\mu / \rho}{k / \rho c_p} = \frac{\mu c_p}{k} \quad (1.15)$$

- Grashof Sayısı, Gr;

$$Gr_x = \frac{g\beta\theta x^3}{\nu^2} \quad (1.16)$$

1.1.3 Isı Işınımı

Katılar, sıvılar ve bazı gazlar, ışıınım yolu ile de ısı alışverişi yaparlar. Modern fiziğe göre ışıınım iki karakter gösterir. Maxwell, yayınan ısı ışıınımlarının, ışığın dalga boyundan daha büyük dalga boylarında elektromagnetik dalgalar şeklinde olduğunu söyler. Diğer yandan ısı ışıınımı, çeşitli fiziksel veya kimyasal olaylar sonunda atom veya moleküllerden foton denilen doğrusal ve ışık hızı ile hareket eden tanecikler ile yayıldığı, bu fotonların çarptıkları diğer katı veya akışkan ortamlar tarafından yutuldukları veya yansıtıldıkları söylenir [6].

İki yüzey arasında ışıınımla geçen ısı miktarı:

$$Q = \frac{C_1 C_2}{C_s} F_{12} A_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (1.17)$$

ifadesi ile verilmektedir.

F_{12} : Şekil faktörü

A_1 : Isı yayan cismin alanı

C_1, C_2 : Isı ışıınım katsayısı

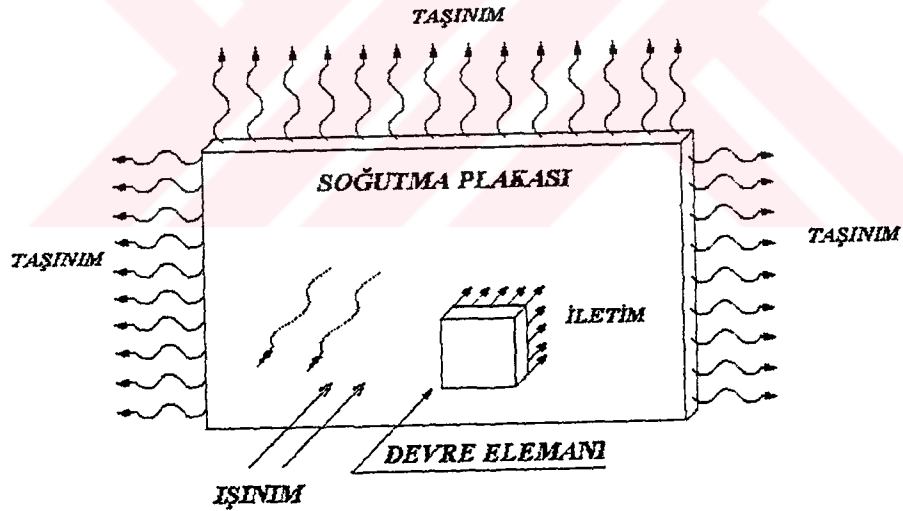
T_1, T_2 : Sıcaklık

C_s : Siyah cismin ısı ışıınım katsayısı

Q : Geçen ısı miktarı

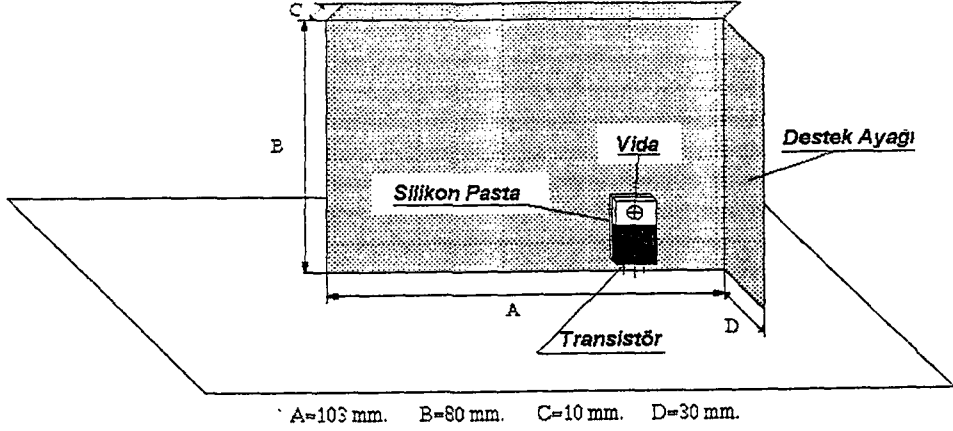
1.2 Problemin Tanıtımı

Elektronik devre elemanlarında soğutma işlemi pek çok değişik yöntemle gerçekleştirilir [8]. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı soğutma plakalarıdır. Soğutma plakalarının çalışma esasını, ısınan devre elemanının daha büyük bir yüzeye temas ettirilmesi ve ürettiği ısının bir kısmını iletim yolu ile bu yüzeye aktarması ve bu yüzeyden de taşınım yolu ile ortama atılması oluşturmaktadır. Aşağıdaki şekilde, bir devre elemanının plaka ile soğutulması işlemini şematik olarak gösterilmiştir. [2]



Şekil 1.2 Soğutma Plakasının Çalışma Prensibi

Bu çalışmada, bir televizyonun içerisinde bulunan bir transistörün soğutulması için kullanılan bir plaka modeli uygulama için seçilmiş “gerçek” bir plakanın davranışı deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan soğutma plakası geometrisi Şekil 1.3 ' te görülmektedir.



Şekil 1.3 Soğutma Plakası Geometrisi

Transistör, soğutma plakası üzerine vida ile tutturulmuş ve transistörden plakaya ısı iletimini iyileştirmek amacıyla aralarına silikon pasta sürülmüştür.

Plakanın sağ tarafındaki kısım, bağlantı mukavemetini artıran destek ayağı görevini görmektedir. Plaka üzerindeki eğim ise, soğutma plakası televizyon tüpüne yakın olduğu için, tüple geometrik uyum sağlamak amacı ile yapılmıştır. Soğutma plakası ısınım yolu ile ısı kaybını artırmak amacı ile eloksana batırılarak siyaha boyanmıştır.

Televizyon içerisindeki bu transistör elemanının sağlıklı çalışması için önceden belirlenmiş sıcaklık limiti bulunmaktadır. Transistörün bu limiti aşması halinde, elektronik devre içerisindeki işlevini yerine getiremeyecektir. Bu nedenle, transistörün soğutulup belirli bir sıcaklık aralığında kalması istenir. Bu soğutma işlemi de daha önce belirtildiği gibi soğutma plakası ile yapılır. Devre çalıştığında, güç altında ısınmaya başlayan devre elemanı ve plakanın sıcaklıkları, tam yük oluşana kadar gözlenerek deneyler yapılmıştır.

1.3 Termokup Bağlantıları

1.3.1 Termokup İle Ölçüm Teknikleri

İki farklı metalin birleştirilmesi ile meydana gelen bir devrede, birleşme noktaları farklı sıcaklıklara maruz bırakıldığında, devrede bir elektromotor kuvvet meydana gelir [7].

Tablo 1. Çeşitli Termokapıların Kullanım Özellikleri

	Kullanım Aralığı	Maksimum Sıcaklık
Demir-Konstantan	-200,750 °C	1000 °C
Bakır-Konstantan	-200,350 °C	600 °C
Kromel-Alumel	-200,1200 °C	1350 °C
Platin-Platin+Rodyum	0,1450 °C	1700 °C

1.2.2 Demir - Konstantan Termokapının Özellikleri

Diğer esas tiplere göre yüksek bir emk. verir. Geniş bir sıcaklık aralığında da üniform artan emk.-sıcaklık karakteristiğine sahiptir. Ayrıca demir ve konstantan, mekanik etkilere karşı dayanıklı olduklarından montaj kolaylığı sağlanır.

Bu termokapılar daha çok 760 °C 'ın altındaki sıcaklık ölçümlerinde kullanılırlar. Kullanıldığı sıcaklık aralığı -200,750 °C 'tır. -200,0 °C aralığında ortalama olarak 4.2 µV/°C, 0,200 °C aralığında ortalama 55 µV/°C'lik emk üretmektedir. Aşınmalardan uygun bir şekilde korunmuş ise daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Bu sıcaklıklar erime sıcaklığı ve sağladığı hassasiyet ile sınırlanır. Çıplak teller halinde 600 °C 'ın üzerinde kullanılamaz.

Demir-Konstantan termokapılar, kalibrasyon sonucunda stabil olmamakta ve 10 °C 'lık sıcaklık artışına karşılık gelen emk. artan özellikte olup, bu artma düzgün değildir [8].

1.3.3 Sıcaklık Ölçümleri:

Sıcaklık, uzunluk, zaman, kütle gibi büyüklüklerin tersine, bazı malzemelerin sıcaklıkla değişen özellikleri yardımı ile ölçülür.

Sıvı hacmi değişimi,
Çubuk boyu deęiřimi,
Telin elektriksel direncinin deęiřimi,
Sabit hacimde gazların basınçlarının değişimi,
Lamba flamentinin renginin deęiřimi [7].



II. DENEYSEL MODELLEME

Deneysel çalışmanın esasını, soğutma plakası üzerindeki sıcaklık dağılımının, çevre elektronik mimarisinin elverdiği yeterli sayıdaki noktada, televizyonun aşırı yüklü çalışma şartlarında ve soğutma plakası üzerindeki sıcaklıkların yaklaşık olarak daimi rejime ulaştığı üç saat boyunca termokapıl ile ölçümler yapmak oluşturmaktadır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan düzenek, BEKOTEKNİK A.Ş.'nin İstanbul Beylikdüzü'ndeki televizyon fabrikasında kurulmuştur.

Deney düzeneği, bir adet BEKO marka televizyon, 20 adet J tipi termokapıl, bir adet veri toplama cihazı ve bir adet PC' den oluşmaktadır.

Deney modeli kurulurken dikkat edilen nokta, deney şartlarının olabildiğince gerçeğe yakın olmasıdır. Bu nedenle, söz konusu soğutma plakasının televizyon dışarısında kurulacak bir düzenekle deneylere tabi tutulmasının, televizyon içerisindeki son derece karışık mimarinin ve geometrilerin etkisini canlandıramayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle deneyler televizyonun içerisinde yapılmıştır.

Termokapıl bağlantılarının, doğru değerlerin ölçülmesi açısından önemi büyüktür. Bunun için termokapıllar, soğutma plakasına açılan deliklere, plaka ile aynı malzemeden yapılmış (Alüminyum) vidalar ile tutturulmuş ve termokup başları, temas problemini azaltmak amacı ile iyi ısı iletim özellikleri gösteren silikon pasta ile kaplanmıştır.

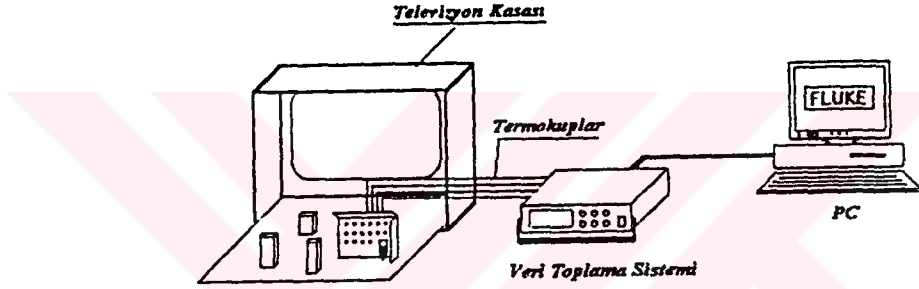
Soğutma plakası üzerinde sıcaklık ölçümü yapılacak noktaların tespitinde şu noktalara dikkat edilmiştir:

1) Termokapılar, soğutma plakası üzerine açılan deliklere vidalandıkları için, delikler arasında yeterli uzaklığın olması,

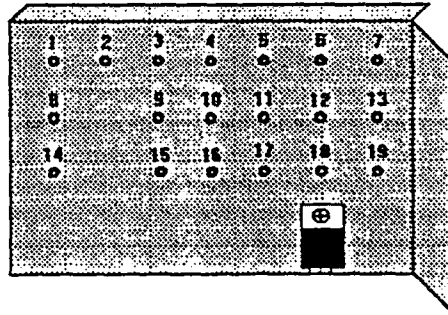
2) Deneysel sonuçların rahat incelenebilmesi için, deliklerin düzgün şekilde dağıtılması,

3) Soğutma plakasının çevresindeki diğer devre elemanlarının getirdiği fiziksel sınırlar.

Şekil 2.1.a'da deney düzeneği ve Şekil 2.1.b'de ise, üzerinde ölçüm yapılması uygun görülen noktalar görülmektedir.



Şekil 2.1.a Deney Düzeneği



Şekil 2.1.b Ölçüm Noktaları

III. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MATEMATİKSEL MODEL

3.1 Enerji Denklemleri

Bilgisayar desteğinde çözülecek olan model denklemlerin çıkartılması için basit fakat olay fiziğini temsil eden bir yaklaşımla matematiksel model kurulmuştur. Bu modelin kuruluşu aşağıda adım adım gösterilmiştir.

Üç boyutlu ısı iletimi denklemi;

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\dot{q}}{\rho c} \quad (3.1)$$

şeklinde çıkartılmış idi.

İki boyutlu çalışma alanları için bu denklem;

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\dot{q}}{\rho c} \quad (3.2)$$

şeklini almaktadır.

Üzerinde inceleme yapılan fiziksel model, iletimle ısı yayılmasının yanısıra, çevredeki sıcak elemanlardan soğutma plakasına ışınlama ile ısı kazancı ve doğal taşınım ile ortama ısı kaybını da içermektedir. Bu çalışmada, soğutma plakası iki boyutlu ancak kalınlığı diğer boyutlarına göre küçük olduğu için bu yönde sıcaklığın değişmediği ancak her iki yüzeyinden taşınım kaybı olduğu varsayılmıştır. Bu durumda (3.2) nolu denklem şu şekilde

yazılır;

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - Q_t + Q_u + Q_r \quad (3.3)$$

Burada, Q_t , taşınım ısı kaybı, Q_u , üretilen ısı, Q_r , radyasyonla geçen ısı miktarı olup,

$$Q_t = 2 \frac{1}{\rho c} h(T - T_\infty) \quad (3.4)$$

$$Q_u = \frac{\dot{q}}{\rho c} \quad (3.5)$$

$$Q_r = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_s} \cdot F_{12} \cdot A_1 \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{aış}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] \quad (3.6)$$

şeklindedir.

Bu denklemdaki ilave terim ısı kaybını ifade ettiği için işareti “-” dir. Soğutma plakasının her iki yüzeyinden de taşınım ısı kaybı gerçekleştiği için terim hesaplara iki ile çarpılarak katılmıştır.

3.2 Plaka Etrafındaki Akışta “h, Isı Taşınım Katsayısı” Hesabı

Devre elemanının ısınması ile birlikte plakanın ısınması ve onunla temas eden havanın oluşturacağı doğal hareket sonucunda plakadan havaya ısı kaybı olacaktır. Bu kayıp “h” katsayısı ile orantılıdır. “h” nın belirlenmesi, hava hareketinin karakterine bağlıdır. Bu çalışmada, soğutma plakası üzerinde laminer bir sınır tabaka akışının olacağı varsayılmış ve “h” buna göre tespit edilmiştir.

Soğutma plakası etrafında laminer doğal taşınım olduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşımla bulunan Nu ifadesi:

$$Nu_x = \frac{hx}{k} = \left(\frac{Gr_x}{4} \right)^{1/4} g(Pr) \quad 'dır. \quad (3.7)$$

$g(Pr)$, Prandtl sayısının bir fonksiyonu olup;

$$g(Pr) = \frac{0.75Pr^{1/2}}{(0.609 + 1.221Pr^{1/2} + 1.238Pr)^{1/4}} \quad (3.8)$$

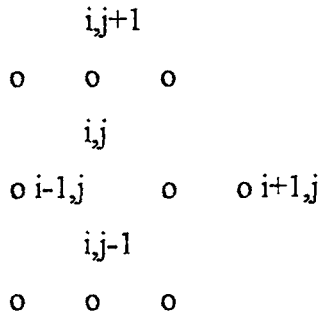
şeklindedir.

$$Gr_x = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)x^3}{\nu^2} \quad (3.9)$$

olarak tanımlanmaktadır [5] .

3.3 Bilgisayar Destekli Çözüm ve Sonlu Farklar Yöntemi

Sonlu Farklar, fiziksel bir olayı yöneten denklemlerdeki diferansiyel ve integrallerinin, ayrık noktadaki değerleri cinsinden ifadesi temeline dayanan sayısal yaklaşık bir yöntemdir [9]. Üzerinde çalışılan kısmi diferansiyel denklemin sonlu farklar yöntemi ile incelenmesi için yapılması gereken ilk şey, çalışma alanının belirlenecek bir ağ yapısı içerisinde sonlu sayıda gride ayrılmasıdır. Tipik bir ağ yapısı şekilde gösterilmiştir.



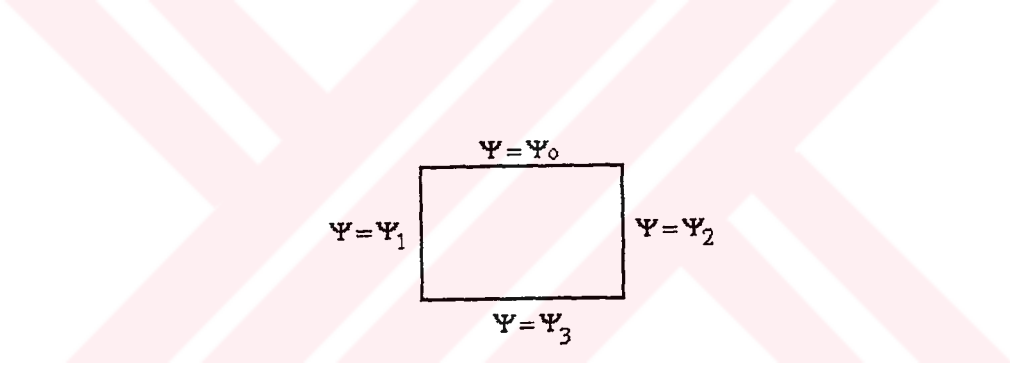
Şekil 3.1 Sonlu Farklar Ağ Yapısı

Denklemin sonlu farklar ayrıklaştırmasına geçmeden önce yapılması gereken diğer bir adım ise, problemin çözümünde kullanılacak sınır şartlarının belirlenmesidir. Hesaplamalı yöntemlerde temel olarak üç çeşit sınır şartı ile karşılaşılabilir.

1. Drihlet tipi sınır şartı,
2. Neuman tipi sınır şartı,
3. Karışık tip sınır şartı.

3.3.1 Drihlet Tipi Sınır Şartı

Hesap alanının sınırlarındaki grid noktalarında, alan değişkeninin sabit bir değeri vardır.



Şekil 3.2 Drihlet Tipi Sınır Şartı

3.3.2 Neuman Tipi Sınır Şartları

Hesap alanının sınırlarındaki grid noktalarında, türev tipi sınır şartları mevcuttur.

$$\begin{array}{c}
 \frac{\partial \Psi}{\partial y} = 0 \\
 \frac{\partial \Psi}{\partial x} = a \quad \square \quad \frac{\partial \Psi}{\partial x} = 0 \\
 \frac{\partial \Psi}{\partial y} = b
 \end{array}$$

Şekil 3.3 Neuman Tipi Sınır Şartı

3.3.3 Karışık Tip Sınır Şartı

Hesap alanının sınırlarındaki grid noktalarında, hem Dirichlet, hem de Neuman tipi sınır şartlarının bulunması halidir.

$$\begin{array}{c}
 \Psi = \Psi_0 \\
 \Psi = \Psi_1 \quad \square \quad \frac{\partial \Psi}{\partial x} = 0 \\
 \frac{\partial \Psi}{\partial y} = b
 \end{array}$$

Şekil 3.4. Karışık Tip Sınır Şartı

Bir sonraki adım, çözüm alanındaki her noktada, alan büyüklüğünün başlangıç anındaki değerinin bilinmesidir.

Başlangıç şartlarının verilmesinden sonra, yapılması gereken, üzerinde uğraşılacak kısmi diferansiyel denklemin ayrıklaştırılması işlemidir. Ayrıklaştırma, denklem içerisindeki çeşitli mertebeden kısmi türevlerin nokta ve komşularındaki değerleri cinsinden yazılması esasına

dayanır. Bu temele dayalı en çok kullanılan ayrıklaştırmalar aşağıda verilmiştir [9].

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{u(x_o + \Delta x, y_o) - u(x_o, y_o)}{\Delta x} \quad (3.10)$$

olarak ifade edilebilir.

$u(x_o + \Delta x, y_o)$ ifadesini Taylor Serisi'ne açarsak;

$$u(x_o + \Delta x, y_o) = u(x_o, y_o) + \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_o \Delta x + \left. \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right|_o \frac{\Delta x^2}{2!} + \dots + \left. \frac{\partial^n u}{\partial x^n} \right|_o \frac{(\Delta x)^n}{n!} \quad (3.11)$$

olur. $x_o \leq \xi \leq x_o + \Delta x$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{u(x_o + \Delta x, y_o) - u(x_o, y_o)}{\Delta x} - \left. \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right|_o \frac{\Delta x}{2!} - \dots \quad (3.12)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{\Delta x} + \text{Kesme Hatası} \quad (3.13)$$

olarak ifade edilebilir. Böylece ilk ayrıklaştırma şekli olan İleri Farklar Ayrıklaştırması elde edilmiş olmaktadır. Seri açılımlarından benzer şekilde $O(\Delta x)$ kesme hatası terimi olmak üzere;

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{\Delta x} + o(\Delta x) \quad \text{Geri Farklar} \quad (3.14)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x} + o(\Delta x)^2 \quad \text{Merkezselsel Farklar} \quad (3.15)$$

açılımları da elde edilebilir.

İkinci mertebeden türevler ise;

$$\left. \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} + o(\Delta x)^2 \quad (3.16)$$

şeklinde açılmaktadır. Denklemlerdeki kısmi türevler, yukarıda belirtilen yöntemlerden bir veya birkaçı ile ayrıklaştırılabilir.

Sonlu farklar yöntemi ile yapılacak herhangi bir kısmi diferansiyel denklemin çözümü işleminde, yöntemin sayısal yaklaşık özelliği nedeni ile akla bazı sorular gelebilir. Bunlardan bazıları, elde edilen deklemlerin yakınsayıp yakınsamadıkları, fiziksel olaya uyumlu olup olmadıkları veya kullanılan yöntemin kararlı olup olmadığı gibi sorulardır.

3.3.4 Yakınsama

Yakınsama özelliğine sahip bir yöntemde, fiziksel bir olayı temsil eden kısmi diferansiyel denklemin, sonlu farklar yöntemi ile ayrıklaştırılması ile elde edilen denklem sisteminin her grid noktasındaki çözümü, gridler arasındaki mesafe sıfıra giderken, analitik çözümün sonuçlarına ulaşıyordur. Kesin çözüm ile tam gerçek çözüm arasında her zaman bir miktar fark olmaktadır. Bu farkın nedenleri, ayrıklaştırma sırasında kısmi türevlerin yaklaşık temsil edilebilmesi, bilgisayar donanımından kaynaklanan yuvarlatma hataları ve kesme hatalarıdır.

3.3.5 Uyumluluk

Cebirsel denklem sistemi ile kısmi diferansiyel denklem sistemi, limitte ağ noktaları arasındaki uzaklık sıfırlanırken birbiri ile eş değer ise, cebirsel denklem sistemi ile kısmi diferansiyel denklem sistemi uyumludur denilir.

3.3.6 Kararlılık

Cebirsel denklem sisteminin çözümü sırasında oluşacak hataların çözüm sırasında büyümesi veya giderek azalarak ihmal edilebilecek düzeylere kadar inmesi kararlılık

kavramını oluşturmaktadır. Cebirsel denklem takımının çözümü sırasında oluşan kesme hatalarının yeteri kadar büyümeyip sınırlı kalması o yöntemin kararlı olduğunu göstermektedir.

Ancak, yukarıda belirtilen nedenlerle, özellikle iki boyutlu, zamana bağlı denklemlerin çözümlerinde daha güvenilir yöntemler geliştirilmiştir.[9] n adet simultane denklem sistemini en genel halde yazarsak;

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned}
 \tag{3.17}$$

formu elde edilir. Bu denklem sisteminin bilinmeyenleri, x_1, x_2, \dots, x_n 'dir. Denklem sisteminin çözümünün olması için, sistem determinantının sıfırdan farklı ve en azından bir adet b sabitinin sıfırdan farklı olması gerekecektir.

$$\begin{bmatrix}
 a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\
 a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 x_1 \\
 x_2 \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 x_n
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 b_1 \\
 b_2 \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 b_n
 \end{bmatrix}
 \tag{3.18}$$

Çözüm, sistem determinantı D ve katsayı determinantı B'nin aldığı değerlere göre sınıflandırılır.

- 1) $D \neq 0$ $B \neq 0$ ise, tek çözüm,
- 2) $D \neq 0$ $B = 0$ ise, sıfır çözüm,
- 3) $D = 0$ $B = 0$ ise, sonsuz çok çözüm,
- 4) $D = 0$ $B \neq 0$ ise, çözümsüz.

Bu şekilde tanımlanan denklem takımının çözümü için kullanılan yöntemlerden bir tanesi Thomas Yöntemidir.

3.3.7 Thomas Yöntemi

Ayrıklaştırma sırasında kullanılan üç noktalı sonlu farklar formülasyonu veya sonlu elemanlar yönteminde yapılan enterpolasyon sonrasında elde edilen lineer cebirsel denklemler, A matrisinin üçlü köşegen (tridiagonal system) formunda sonuçlanmasını sağlayacaktır. Bu tür matris denklemlerinin çözülmesi için yaygın olarak kullanılan yöntem, Thomas Algoritması Yöntemidir.

3.3.8 Üçlü Köşegen Matris Sistemi

Ayrıklaştırma sonucu elde edilmiş tipik bir üçlü köşegen sistem aşağıda gösterimiştir. Bu sistemde, a_{ii} , b_i ve c_i , merkezsiz fark operatörü kullanılarak ayrıklaştırılmış taşınım-difüzyon tipi denklemdeki grid noktalarındaki katsayıları göstermektedir. d_i ise kaynak terimleri veya sınır değerler olarak denklemin sağ tarafına gelen terimlerdir.

$$\begin{bmatrix} b_1 & c_1 & & & & \\ a_2 & b_2 & c_2 & & & \\ & a_3 & b_3 & c_3 & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \cdot \\ d_n \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

3.3.9 Değişken Doğrultulu İmplicit Yöntem

Enerji denklemi, her zaman adımında çözüm alanındaki bütün sonlu farklar ağ noktalarında çözülmelidir.

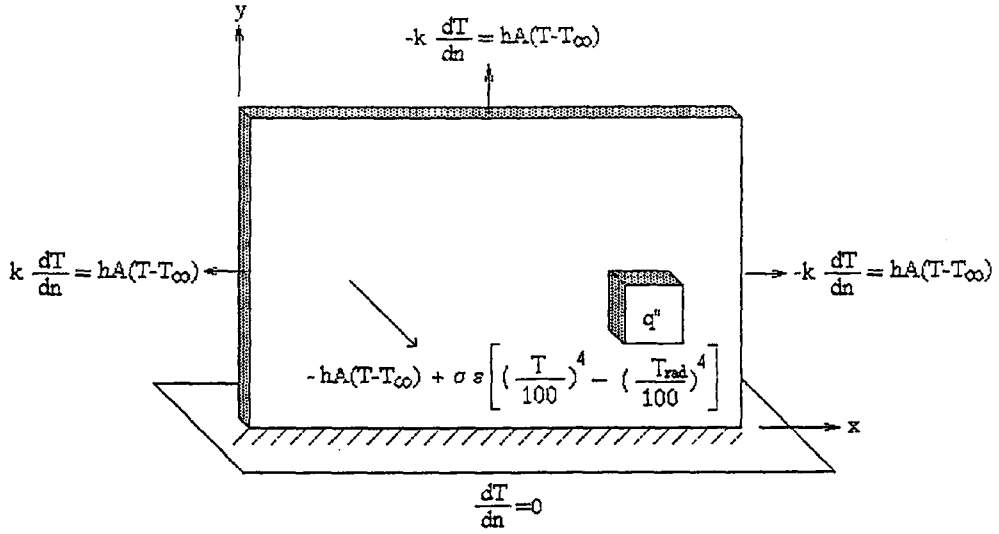
Bu çalışmada, Enerji Denklemleri, Değişken Doğrultulu İmplicit (DDİ, Alternating Directional Implicit, ADI) yöntemi ile çözülmüştür [9].

ADI yöntemi, klasik yaklaşımda, bir t anındaki alan değişkeninin değerini, 2 boyutlu problemlerde 2 adımda bulur. Eğer zaman adımımız Δt ise, ilk $\Delta t / 2$ adımda y yönünde; ikinci $\Delta t / 2$ adımda ise x yönünde alan değişkeninin değişimlerinin lineerleştirilmesi sonucu (bir önceki adımda bulunan değerlerin kullanılması) $t + \Delta t$ zamanında tüm noktalardaki sıcaklık değerleri bulunur.

3.4 Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Kurulurken Kullanılan Sınır Şartları:

Bilgisayar Destekli Matematiksel Modelin basitliği açısından, fiziksel modeldeki 3. boyut, yani plakanın kalınlığı ihmal edilmiştir. Ancak model oluşturulurken kullanılan sınır şartları, enerji denklemini sağlayacak şekilde seçilmiştir.

x - y düzleminde, plakanın sağ, sol ve üst sınırlarında, plakadan taşınım ile ortama ısı geçişi olduğu düşünülmüştür. Plakanın alt sınırı, ısı iletim özellikleri son derece kötü olan baskı devre kartı ile temas ettiği için burada yalıtım sınır şartı kullanılmıştır. Plakanın yüzeyinden ortama geçen ve soğutma işleminin temelini oluşturan ısı taşınım kaybı ise, her noktada taşınım kaybı 2 ile çarpılarak hesaba katılması ile modele konulmuştur.



Şekil 3.5 Bilgisayar Destekli Matematiksel Modelde Kullanılan Sınır Şartları

3.5 Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Kurulurken Yapılan Kabuller:

1. Plaka üzerindeki sıcaklık dağılımı zamana bağlı ve 2 boyutludur
2. Plaka, her iki yüzünden dış atmosfere ısı kaybetmektedir (3. boyut ile kuple $(-2h(T - T_{\infty}))$)
3. Plaka üzerinde elektronik bileşenin bulunduğu bölgede bir q'' ısı üretimi olduğu ve ısı üretiminin, plaka üzerinde üniform bir dağılım gösterdiği varsayılmıştır.
4. Plaka ilk anda $T = T_0$ sıcaklığındadır.

Kenarlarda, plaka içinden iletimle gelen ısı, taşınım ile dış ortama geçmektedir.

$$\left(-k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_{\infty})\right), \text{ iletim} = \text{taşınım}, n : \text{plaka kenarlarına dik doğrultü}$$

3.6 Enerji Denkleminin ADI ile Ayrıklaştırılması

x yönünde :

$$\begin{aligned} \frac{T_{i,j}^* - T_{i,j}^n}{\Delta t / 2} = \alpha \left[\frac{T_{i-1,j}^* - 2T_{i,j}^* + T_{i+1,j}^*}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j-1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j+1}^n}{\Delta y^2} \right] - \frac{2hA}{\rho c} [T_{i,j}^n - T_\infty] \\ - \frac{[q^n]_{i,j}}{\rho c} \cdot \delta(x - x_{i,j}) \cdot \delta(y - y_{i,j}) + \sum_{k=1}^N \frac{C_1 \cdot C_2}{C_S} \varphi_{12} A \left[\left(\frac{T_k}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{i,j}}{100} \right)^4 \right] \end{aligned} \quad (3.20)$$

(T^* , $t + 1 / 2$.ci zaman adımındaki ara sıcaklık değerleridir).

y yönünde :

$$\begin{aligned} \frac{T_{i,j}^{n-1} - T_{i,j}^*}{\Delta t / 2} = \alpha \left[\frac{T_{i-1,j}^* - 2T_{i,j}^* + T_{i+1,j}^*}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j-1}^{n-1} - 2T_{i,j}^{n-1} + T_{i,j+1}^{n-1}}{\Delta y^2} \right] - \frac{2hA}{\rho c} [T_{i,j}^n - T_\infty] \\ - \frac{[q^n]_{i,j}}{\rho c} \cdot \delta(x - x_{i,j}) \cdot \delta(y - y_{i,j}) + \sum_{k=1}^N \frac{C_1 \cdot C_2}{C_S} \varphi_{12} A \left[\left(\frac{T_k}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{i,j}}{100} \right)^4 \right] \end{aligned} \quad (3.21)$$

(T^{n-1} , $t + 1$.ci zaman adımındaki ara sıcaklık değerleridir).

(3.20) ve (3.21) denklemlerinin Sonlu Farklar ağ noktalarında yazılması sonucu, $n=M \times N$ tane noktada çözüm yapıyorsak, n bilinmeyenli bir lineer deklemler sistemi ile karşılaşırız. Ancak, ADI yönteminin özelliğinden dolayı, bir yönde denklemler çözülürken sadece x, ya da y boyunca değişim alınıp diğer yöndeki değişim ihmal edildiğinden, oluşan denklemler sisteminin katsayılar matrisinin sadece köşegen, köşegen altı ve köşegen üstü elemanları sıfırdan farklı; diğerleri ise sıfır olacaktır. Bu tip denklemler sistemini çözmeye klasik yöntemler yerine özel geliştirilmiş çok hızlı ve efektif bir yol olan Thomas Yöntemi (3 Bant Matris Çözücü) kullanılmıştır [9].

IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, önceki iki bölümde temelleri açıklanmış olan deneysel ve sayısal yaklaşımlar ile elde edilen sonuçlar verilerek her iki yöntemden elde edilen bu sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İlk olarak yapılan deney sonuçları, hemen ardından ise deneyde kullanılan plaka konfigürasyonu için bilgisayar destekli matematiksel modelden elde edilen sıcaklık dağılımları verilecektir. Bölümün sonunda, deneysel ve sayısal yöntemlerle elde edilen tüm sonuçlar ışığında soğutma plakasının özellikleri tartışılacaktır.

Daha önce belirtilmiş olduğu gibi, soğutma plakası üzerindeki deneyler, televizyonun aşırı yüklü çalışma şartlarında (Ekranda karlı görüntünün bulunduğu ve tüm ayarlarının açık olduğu hal) , plaka üzerindeki sıcaklıkların yaklaşık olarak daimi rejime ulaştığı üç saat boyunca yapılmıştır.

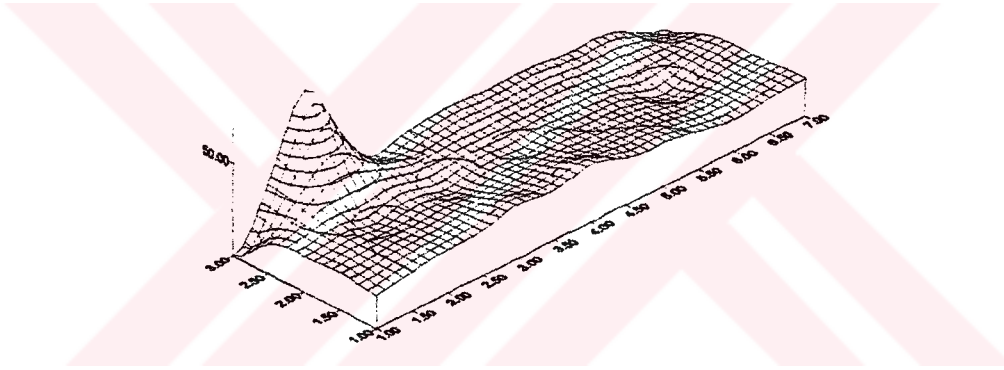
Deneysel çalışmanın ilk adımını, halen kullanılmakta olan soğutma plakası üzerindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi oluşturmaktadır. Bu dağılımın belirlenmesi, sadece var olan fiziksel durumu belirlemek açısından değil, aynı zamanda geliştirilen matematiksel modelin güvenilirliğini kontrol etmek açısından da büyük önem taşımaktadır.

Yukarıda belirtilen amaçlarla, deney düzeneğine bağlanan soğutma plakası üzerinde ilk deneyler yapılmıştır. Tablo 4.1 ve Şekil 4.1’de , daimi haldeki deney sonuçları tablo ve üç boyutlu grafik olarak verilmiştir;

Tablo 4.1 Deney Sonuçları

Nokta	Sıcaklık
1	45.6
2	51.9
3	47.1
4	47.7
5	47.7
6	47.5
7	46.3
8	47.3
9	47.2
10	47.4

Nokta	Sıcaklık
11	47.4
12	46.6
13	47.3
14	47.2
15	48.2
16	48.4
17	47.7
18	47.1
19	47.4

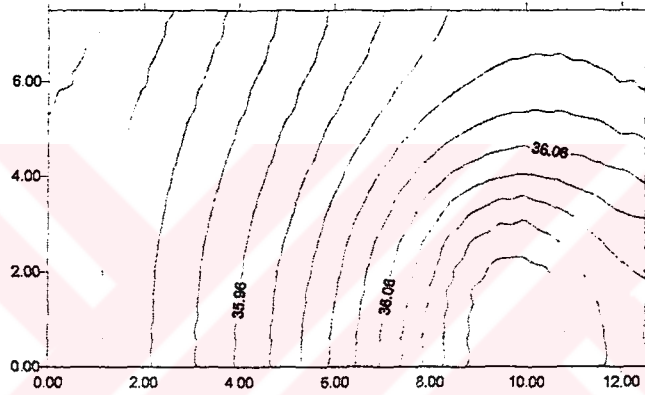


Şekil 4.1 Deney Sonuçlarının Üç Boyutlu Gösterimi

Deney sonucunda elde edilecek sıcaklık dağılımının, plaka üzerinde bulunan ısı kaynağı (transistör) civarında yüksek, ısı kaynağından uzaklaştıkça ise düzgün bir şekilde azalacağı tahmin edilmiştir. Ancak soğutma plakasının üzerinde ölçülen sıcaklık dağılımı incelendiğinde, umulandan daha değişik bir durumla karşılaşıldığı görülmektedir. Soğutma plakası üzerinde sola doğru transistörden uzaklaştıkça sıcaklıklarda belirgin bir artma olduğu görülmektedir. Benzer bir artışa plakanın üst ve sağ noktalarına gidildikçe de rastlanmaktadır.

Soğutma plakası üzerinde bu şekildeki bir sıcaklık dağılımının oluşması, olayda transistör dışında başka ısı kaynaklarının da etkin olabileceğini göstermektedir.

Deneyle eş zamanlı olarak bilgisayar destekli matematiksel model sonuçları elde edilmiştir. Bilgisayar destekli matematiksel model sonuçları , fiziksel olarak beklendiği gibi sonuçlar vermiş ve transistör bölgesinde en yüksek, transistörden uzaklaştıkça düzgün şekilde azalan sıcaklıklar elde edilmiştir. Bilgisayar destekli matematiksel model sonuçları aşağıda kontur gösterimi ile verilmiştir:

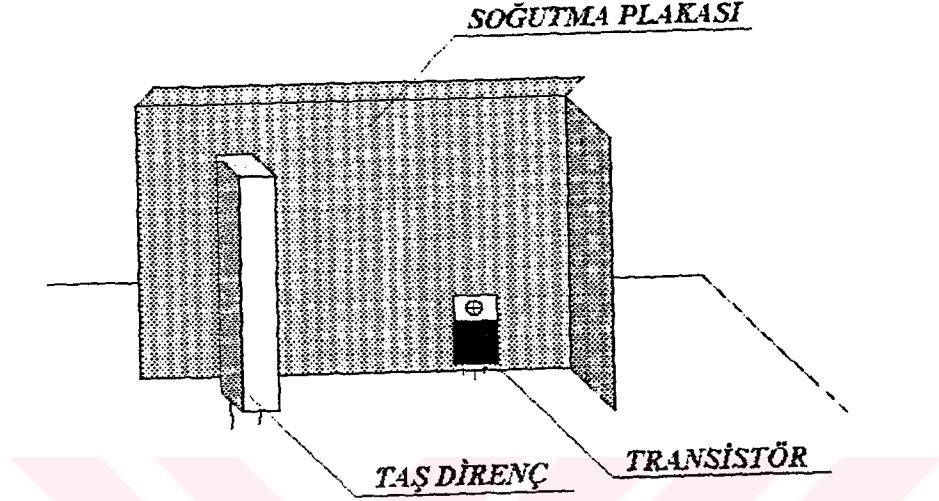


Şekil 4.2 Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Sonuçları

Çalışmanın bu aşamasında, deneysel ve sayısal yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak model hakkında yorum yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları mertebe olarak benzeşmekte, dağılım olarak ise farklılıklar göstermektedir. Bu farklılığın nedeninin bulunduktan sonra modele eklenerek daha doğru sonuçlar elde edilebileceği açıktır.

Soğutma plakası üzerindeki sıcaklık dağılımını bir anlamda bozan ısı kaynağını bulmak üzere, plaka civarındaki diğer elektronik devre elemanları incelenmiştir.

Bu incelemenin sonucunda, şekil 4.3'te görülen, soğutma plakasına son derece yakın konumlandırılmış ve taş direnç adı verilen devre elemanının önemli bir ısı kaynağı olduğu ve plaka üzerindeki sıcaklık dağılımını olumsuz etkileyebileceği görülmüştür.

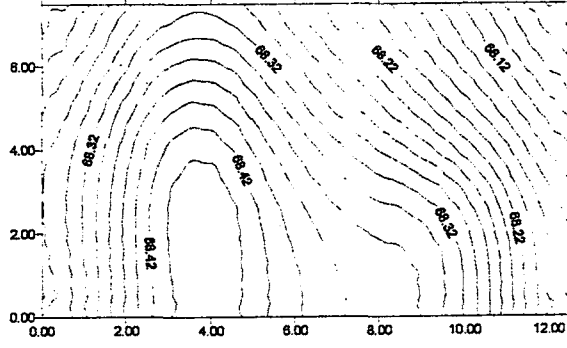


Şekil 4.3 Taş Direncin Soğutma Plakasına Göre Konumu

Soğutma plakasının sol tarafındaki sıcaklıkların artması, yukarıda bahsedilen taş direnç nedeni ile olduğu tahmin edilmiştir. Ancak plakanın üst ve sağ taraflarındaki sıcaklık artmalarına neden olacak bir dış etki bulunamamıştır. Bu bölgelerdeki, taş direnç etkisine göre daha düşük olan sıcaklık artışlarının nedeni ise plaka geometrisinin incelenmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu sıcaklık artışlarının nedeni, soğutma plakasının üst kısmının, televizyon tüpü ile geometrik uyum sağlamak amacı ile eğimli imal edilmesi ve bu nedenle plakanın alt kısmından ısınarak yükselen havanın üst kısımda akışının bozularak doğal taşınımının kötüleşmesidir. Sağ tarafta bağlantı mukavemetini artırmak amacı ile yapılmış destek ayağı ise bir köşe boyunca akış durumu oluşturmakta ve taşınım ile ısı kaybı kötüleşerek bu bölgede sıcaklık değerleri bir miktar artmaktadır.

Bu deneysel veriler ışığında, bilgisayar destekli matematiksel modele taş direnç etkisinin katılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, soğutma plakası ile taş direncin

konumları baskı devre kartı üzerinden ölçülerek, plaka üzerinde, taş direncin karşısına gelen noktalara birer kaynak terimi konulmuştur. Bu ek yapıldıktan sonra elde edilen model sonuçları Şekil 4.4'te kontur gösterimi ile verilmiştir.



Şekil 4.4 Taş Direnç Etkisinin Eklendiği Matematiksel Modelin Verdiği Sonuçlar

Taş direncin etkisinin temsili olarak modele eklenmesi ile gerçeğe daha yakın bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Böylece, deneysel yöntemle sayısal yöntem arasında paralellik kurulmuştur.

Deneysel verilerden elde edilen ve daha sonra da sayısal yöntemle desteklenen bir gerçek, plaka üzerinde transistör bölgesi dışında sıcaklık artışı olan bölgelerin bulunmasıdır. Isı, düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa dışarıdan müdahale edilmedikçe geçmeyeceği için, sıcaklık artışı olan kısımlar, transistör soğutmasına katılmamakta, hatta soğutma işlemini olumsuz yönde etkilemektedirler. Bu düşünce ile çalışmaya yeni bir soğutma plakası konfigürasyonu ile devam edilmesi mümkün olmuştur.

Plaka üzerindeki transistörden sola doğru gidildikçe sıcaklık artması görülen, yani soğutma işlemine katılmayan kısımlar atılarak plakanın boyu kısaltılmıştır.

Plakanın üzerindeki eğimli kısım sıcaklık dağılımını bozarak, üst kısmın soğutma

etkisini ortadan kaldırdığı için kesilmiştir.

Plakanın sağındaki destek ayağı, bağlantı mukavemetini sağlayan önemli bir parça olduğu için değiştirilmesi düşünülmemiştir.

Böylece yeni bir soğutma plakası geometrisine ulaşılmıştır. Ancak, soğutma plakasının geometri dışındaki bir diğer önemli özelliği ise rengidir. Soğutma plakaları, ışınlama ısı kaybını artırmak amacı ile eloksana batırılarak siyaha boyanmakta ve bu işlem plaka maliyetini önemli miktarda artırmaktadır. Bununla beraber, transistörün ürettiği ısı yanında ışınlama ısı kaybı çok küçük bir değer almaktadır.

Teorik olarak bilinen bu gerçeği deneysel olarak da kanıtlamak için soğutma plakası siyaha boyanmamışken televizyona monte edilmiş ve ilk deney tekrarlanmıştır. Aşağıdaki tabloda soğutma plakasının siyah veya gri olması durumlarında elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

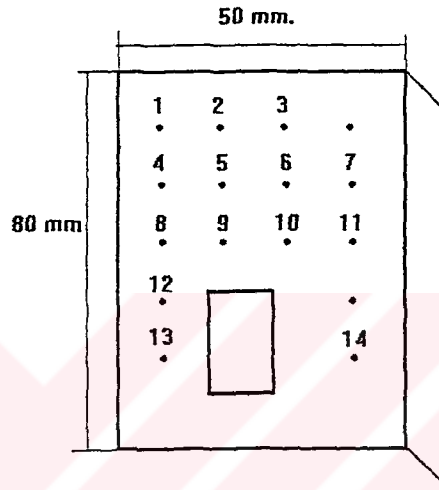
Tablo 4.2 Soğutma Plakasının Renginin Siyah ve Gri Olması Hallerinde Elde Edilen Deneysel Sıcaklık Dağılımı

	Gri	Siyah	Fark	Gri	Siyah	Fark	Gri	Siyah	Fark
	60'	60'		120'	120'		180'	180'	
1	53.0	48.1	4.9	55.0	49.1	5.9	56.3	51.1	5.2
2	52.5	48.1	4.4	56.4	51.3	5.1	56.8	51.6	5.2
3	51.7	48.6	3.1	55.6	50.3	5.3	56.5	51.4	5.1
4	53.9	49.6	4.3	56.3	51.6	4.7	57.5	52.3	5.2
5	52.5	47.9	4.6	56.2	51.3	4.9	57.2	52.4	4.8
6	53.2	49.2	4.0	55.8	51.0	4.8	56.7	52.0	4.7
7	53.6	47.5	6.1	56.1	49.4	6.7	57.4	51.3	6.1
8	53.1	49.7	3.4	55.9	51.8	4.1	57.4	52.5	4.9
9	54.2	49.4	4.8	57.2	51.4	5.8	57.5	51.9	5.6
10	53.8	48.7	5.1	56.1	50.3	5.8	57.6	51.8	5.8
11	53.8	48.4	5.4	56.2	51.0	5.2	57.9	52.0	5.9
12	54.2	50.1	4.1	57.8	51.3	6.5	58.1	53.2	4.9
13	54.7	51.3	3.4	58.2	52.1	6.1	59.0	53.6	5.4
14	53.3	49.2	4.1	56.8	50.9	5.9	57.4	52.7	4.7

Tablodan görüldüğü üzere, iki hal arasında, aynı ölçüm noktalarındaki sıcaklıklar 3-5 °C farklı çıkmaktadır ve bu fark mertebe olarak prosesi olumsuz yönde etkilememektedir.

Yukarıda açıklanan nedenlerle yeni konfigürasyondaki plakanın orjinal renginde (Gri) olması uygun görülmüştür.

Elde edilen yeni konfigürasyondaki soğutma plakası şekil 4.5' te görülmektedir.



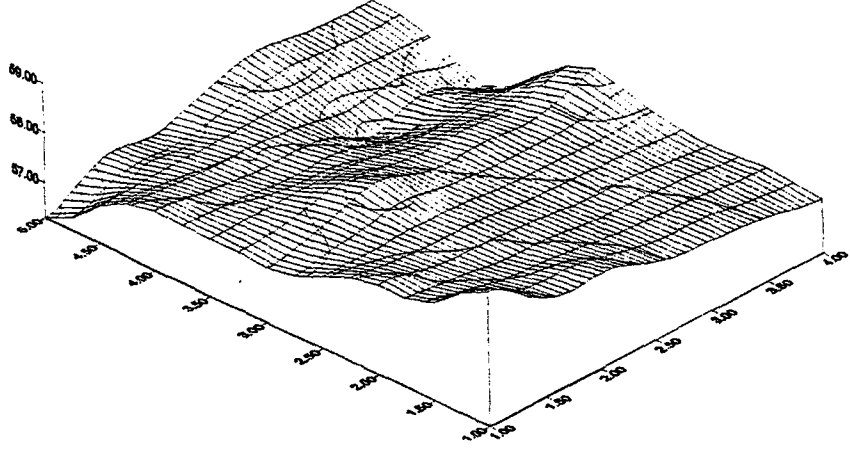
Şekil 4.5 Yeni Soğutma Plakası Konfigürasyonu

Yeni konfigürasyondaki plakaya da, önceki plakaya uygulanan deneysel prosedür uygulanmıştır. Yapılan deney sonuçları aşağıda tablo ve üç boyutlu sütun grafiği olarak verilmiştir;

Tablo 4.3 Yeni Konfigürasyondaki Soğutma Plasına Ait Deney Sonuçları

Nokta	Sıcaklık
1	56.3
2	56.8
3	57.4
4	57.5
5	57.2
6	56.7
7	56.5
8	57.4
9	57.5
10	57.6

Nokta	Sıcaklık
11	57.9
12	58.1
13	59.0
14	57.4



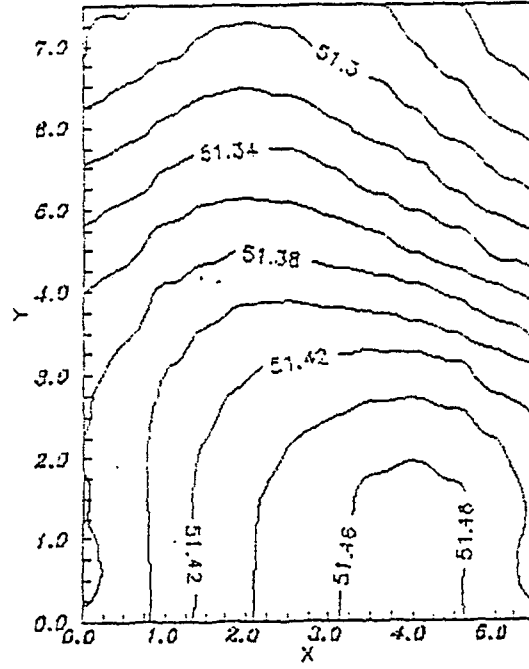
Şekil 4.6 Yeni Konfigürasyona Ait Deney Sonuçlarının Üç Boyutlu Gösterimi

Üç boyutlu grafikten görüldüğü gibi, plakanın üzerindeki eğimin atılması sonuç vermiş ve düşey doğrultudaki sıcaklıkların, plakanın üst noktalarına doğru düzgün bir şekilde azalması sağlanmıştır.

Plakanın sol tarafı (Taş dirence bakan kısım) atılmış olmasına rağmen, ilk plakadaki kadar yüksek olmamakla beraber, yeni plakanın sol taraflarında hala bir sıcaklık artışı görülmektedir. Bu sıcaklık artışının nedeni, daimi halde yaklaşık 90 °C yüzey sıcaklığına ulaşan taş direncin ortam havasını ısıtarak doğal taşınımı kötüleşirmesidir.

Plakanın sağ tarafındaki destek ayağı bağlantı mukavemeti açısından önemli olduğu için atılmamış ve bu nedenle de sağ taraftaki küçük sıcaklık artışları giderilememiştir. Bu artışın giderilmesi için, devre kartının üzerine, destek ayağının iç köşesine denk gelecek şekilde bir delik açılarak baca etkisinin sağlanması mümkün görülmüştür.

Yeni konfigürasyona ait bilgisayar destekli matematiksel model sonuçları ise Şekil 4.7'de görülmektedir;



Şekil 4.7 Yeni Konfigürasyona Ait Bilgisayar Destekli Matematiksel Model Sonuçları

DeneySEL ve bilgisayar destekli matematiksel model sonuçları karşılaştırıldığında, iki yöntemin merteye ve dağılım olarak birbirini desteklediği görülmüştür. Sonuçlar arasındaki farklılığın nedenleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Çevredeki diğer elektronik elemanların etkilerinin bilgisayar destekli matematiksel modele tam olarak katılamaması,
- 2) Soğutma plakası etrafındaki ısı geçişini tanımlayan ısı taşınım katsayısının belirlenmesinde yapılan kabuller.

Bu çalışmada, televizyon içerisinde kullanılan bir elektronik devre elemanının soğutulma işleminde kullanılan alüminyum soğutma plakası, deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir.

Çalışmanın akışı esnasında deneysel yaklaşıma ağırlık verilmiş, bilgisayar destekli matematiksel model de, modellenen ortamın komplikeliğine ve etkin parametrelerin çokluğuna rağmen, deneysel sonuçlarla belirli ölçüler içerisinde uyum gösteren sonuçlar vermiştir.

Deneysel ve sayısal yaklaşımlar, yeni bir soğutma plakası modeli için aynı sonuçları göstermiş ve bu bilgiler ışığında daha küçük, daha basit ve daha ucuz bir plaka konfigürasyonuna ulaşılmıştır. Söz konusu plakalar 1996 yılı başından itibaren BEKO marka televizyonlarda kullanılmaya başlanacaktır.

Çalışmanın ileri aşaması olarak, televizyon devre kartı üzerindeki ısı kaynaklarının daha iyi tanınması ile modelin geliştirilmesi ve böylece herhangi bir elektronik devre üzerinde yapılacak dizayn çalışmasının ısı etkileşimler bölümünün direkt olarak bu modelle gerçekleştirilmesi düşünülebilir.



V. ÖZET

ELEKTRONİK BİR KOMPONENTİN SOĞUTULMASI SÜRECİNİN DENEYSEL ve BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Elektronik devrelerde kullanılan ekipmanların ömrünü etkileyen önemli bir faktör bu ekipmanların gerektiği kadar soğutulması problemi olup, Makina Mühendisliği araştırma alanlarından bir tanesidir. Özellikle mekatronik uygulamalarda rastlanan bu konu tezin temasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, televizyon içerisindeki özel seçilmiş transistör soğutulması için kullanılan soğutma plakasının davranışı deneysel ve bilgisayar destekli sayısal yöntemlerle incelenmiştir.

Televizyon içerisinde yapılan deneylerin verileri ışığında, geliştirilen bilgisayar destekli matematiksel model sonuçları değerlendirilerek modelin güvenilirliği sağlanmış ve daha sonra plaka üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir.

Deney düzeneği, zamana bağlı olarak soğutma plakası üzerindeki sıcaklıkların termokup ile algılanması ve bir veri toplama düzeneği ile bilgisayarda değerlendirilmesi üzerine kurulmuştur. Bilgisayar modeli ise, sonlu farklar yöntemi esaslı DDI (Değişken Doğrultulu İmplicit, ADI - Alternating Directional Implicit -) yaklaşımı ile enerji denkleminin çözümünden ibarettir.

Sıcaklık dağılımına etki eden dış faktörler ve plaka geometrisi irdelenerek, aynı işlevi yerine getirecek daha küçük, daha basit ve daha ucuz bir soğutma plakası dizayn edilmiş ve kullanıma sunulmuştur.

SUMMARY

ANALYSIS of An ELECTRONIC DEVICE COOLING PROCESS USING EXPERIMENTAL and NUMERICAL METHODS

A very important factor which effects the using time of an electronic device on an electronic board, is to cool it as far as needed and this process is one of the research areas of mechanical engineering. This subject which is obtained especially in mechatronic applications is the theme of the thesis.

In this study, the act of a chosen cooling plate which is used to cool a transistor, is investigated using experimental and computer aided numerical methods.

In light of the results of experiments which were done in the television, the mathematical model's reliability was checked by comparing with the model results and than the temperature distribution on the cooling plate was examined.

Experimental set up was established on gathering the temperatures on the cooling plate by thermocouples and utilising on a computer by a data acquisition system. As for computer aided model consists of solution of energy equation using Finite Difference Method based ADI (Alternating Directional Implicit) approach.

Considering the outer influences which effect the temperature distribution and the cooling plate geometry, a new cooling plate was designed and offered to use which is smaller, simpler and cheaper then the older one.

VI. KAYNAKLAR

1. NAKAYAMA, W., (1986) : Thermal Management of Electronic Equipment : A Review of Technology and Research Topic, Applied Mechanics Review, Vol. 39, No. 12, pp. 1847-1868.
2. TUNÇ, M., KAYKAYOĞLU, C.R., GÖKÇÖL, O., (1995) : Televizyonlarda Kullanılan Bir Elektronik Devre Elemanının Soğutulması Probleminin Deneysel İncelenmesi ve Bilgisayar Destekli Modellenmesi, IX. Ulusal Mekanik Kongresi, Tebliğ, (Basılacak).
3. HOLMAN, J.P., (1989) : Heat Transfer, Seventh Edition, ISBN 0-07-100487-4, McGraw-Hill Book Co., U.S.A.
4. BAR-COHEN, A., (1983) : Thermal Design of Immersion Cooling Modules for Electronic Components, Heat Transfer Engineering, Vol. 4, pp. 35-50.
5. INCROPERA, F.P., De WITT, D.P., (1985) : Introduction to Heat Transfer, John Wiley & Sons Inc., U.S.A.
6. McADAMS W.H., (1990) : Heat Transmission, Third Edition, ISBN 0-07-Y854831-1, McGraw-Hill Book Co., U.S.A.
7. DALLY, J.W., RILEY, W.F., McCONNEL, G.K. (1993) : Instrumentation for Engineering Measurements, Second Edition, John Wiley & Sons Inc., U.S.A.
8. YAMAN, Y., (1985) : Termokupl ve Termokupl Tekniği, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Otomatik Kontrol Kürsüsü Ders Notu, İ.T.Ü., İstanbul.

9. KAYKAYOĞLU, C.R., (1994) : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Giriş, CFD Yaz Okulu, CFD 101 Ders Notları, Y.T.Ü., İstanbul.

10. ANDERSON, D.A., TANNEHILL, J.C., PLETCHER, R.H., (1984) : Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, ISBN 0-89116-471-5, Hemisphere Publishing Co., U.S.A.



VII. EKLER

FORTRAN PROGRAMI



```
Real Qr(110,110),R(110,110)
Real X(110,110),Y(110,110),Z(110,110),FI12(110,110)
Real Rad(100,100),Beta1(100,100),Beta2(100,100),Der(100,100)

Real Aa(60),Bb(60),Cc(60),Dd(60),Temp(60,60),Temp1(60,60),T(60)
Real k,Q(60,60),Temp2(60,60),hall(60,60),Nu,Nu2,k_air
Common /AConst/Aa,Bb,Cc,Dd,T
```

```
Call Clear_Screen@
Alpha = 68.2E-6 !0.08418
Delta = 0.005
Xl = 0.13
Yl = 0.08
xsc = 1 ! plaka uzunlugu = xsc*Xl
ysc = 1 ! plaka genisligi= ysc*Yl
Xl = Xl*xsc
Yl = Yl*ysc
```

```
: Plakanın Konumu
```

```
HPL=YL ! Plakanın Yüksekli°i
XPL1=0.5 ! 1:Plakanın Sol Alt Köfesi
YPL1=0.5 !
ZPL1=0.0 !
XPL2=0.5 ! 2:Plakanın Sa° Alt Köfesi
YPL2=0.68 !
ZPL2=0.0 !
XPL3=0.5 ! 3:Plakanın Sa° Üst Köfesi
YPL3=0.68 !
ZPL3=YL !
XPL4=0.5 ! 4:Plakanın Sol Üst Köfesi
YPL4=0.5 !
ZPL4=YL !
HTD=0.015
```

```
: Taf Direncin Konumu
```

```
HTD=0.055 ! Taf Direncin Yüksekli°i
XTD1=0.51 ! 1:Taf Direncin Sol Alt Köfesi
YTD1=0.5 !
ZTD1=0 !
XTD2=0.51 ! 2:Taf Direncin Sa° Alt Köfesi
YTD2=0.515 !
ZTD2=0 !
XTD3=0.51 ! 3:Taf Direncin Sa° Üst Köfesi
YTD3=0.515 !
ZTD3=HTD !
XTD4=0.51 ! 4:Taf Direncin Sol Üst Köfesi
YTD4=0.5 !
ZTD4=HTD !
```

```
: Taf Direncin Merkezi
```

```
XTDMER=(XTD1+XTD2)/2
YTDMER=(YTD1+YTD2)/2
ZTDMER=HTD/2
```

```
: Taf Direncin Merkezindeki Sıcaklık
TTD=100
```

Taf Direncin Alanı

```
A1=SQRT((XTD1-XTD2)**2+(YTD1-YTD2)**2)
Write(*,*) A1
ALANTD=HTD*A1
```

```
Qq      = 110000      ! heat flux on electronic component (W/m^2)
Qqtas   = 1.1*Qq      ! heat flux on tas direnc
hscale= 1.0
hparam  = 0.0002
hparam0 = 0.0002
TempLast = 34.0      ! Son ortam sicakligi
```

```
C1=0.186      ! TD'ŸN
C2=0.186      ! PLAKANIN
CS=5.0        ! SŸYAH CŸSMŸN
```

```
icheck= 1      ! 0 if BCs are fixed
iheat  = 1      ! 0 if no heat flux on chip region
itas   = 0      ! 0 if tas direnc does not exist
```

```
Dx      = Delta
Dy      = Delta
Nx      = Nint(Xl/Dx)
Ny      = NInt(Yl/Dy)
```

```
Plakanın Alanı
PLALAN=XL*YL
Plaka Üzerindeki Birim Alan
BIRAL=DX*DY
```

```
T0init= 19.5
Tinit  = 20      ! plaka ilk sicakligi
k      = 168
k_air  = 0.03003
rc     = 2790*883
Area   = Dx*Dy
Dx2    = Dx*Dx
Dy2    = Dy*Dy
Dt     = 5      !in seconds
TLast  = 180    !in minutes
Nend   = NInt(TLast*60/Dt)
nfile  = 20
nWrite = Int(Float(Nend)/Float(nfile))
tempfc = (TempLast-T0init)/10800
```

```
h_init= 6
h0     = 6
```

```
Nu      = 17.95E-6
Nu2     = Nu*Nu
Bet     = 3.12E-3
Pr      = 0.7
Sta     = Alpha*Dt/Dx2
```

```
Write(*,68) Dt,Dx,Dy,Nx,Ny,Sta,TLast*60,TLast*60/nfile
```

```
8 Format('Dt =',F8.5,4x,'Dx=',F8.5,2x,'Dy=',F8.5,/,
& 'Nx =',I3,2x,'Ny=',I3,2x,'Alpha*Dt/Dx^2 =',F8.5,/,
& 'Total Time =',F9.3,' seconds;',2x,
```

```
& 'Results will be stored in',F8.3,' seconds.'//)
```

```
GPr=Find_GPr(Pr)
```

```
a11=-1          !!! a11*(dT/dx) = a12*T + a13 !!!  
a12=-h_init/k  
a13= h_init*T0/k  
f11=a11/Dx + a12  
f12=a11/Dx  
f13=a13
```

```
a21=-1          !!! a21*(dT/dy) = a22*T + a23 !!!  
a22=-h_init/k  
a23= h_init*T0/k  
f21=a21/Dy + a22  
f22=a21/Dy  
f23=a23
```

```
a31=-1          !!! a31*(dT/dx) = a32*T + a33 !!!  
a32=-h_init/k  
a33= h_init*T0/k  
f31=a31/Dx + a32  
f32=a31/Dx  
f33=a33
```

```
a41=-1          !!! a41*(dT/dy) = a42*T + a43 !!!  
a42=-h_init/k  
a43= h_init*T0/k  
f41=a41/Dy + a42  
f42=a41/Dy  
f43=a43
```

```
Open (Unit=10,File='M.Dat',Status='Unknown')  
Open (Unit=11,File='M1.Dat',Status='Unknown')
```

Initial temperature distribution

```
Write(10,*) Nend,nWrite,Nx,Ny,Xl,Yl  
Write(10,*) 0.0  
Do i=1,Nx  
  xx=(i-1)*Dx  
  Do j=1,Ny  
    yy=(j-1)*Dy  
    Q(i,j)=0.0  
    Temp(i,j)=Tinit  
    Temp1(i,j)=Temp(i,j)  
    hall(i,j)=0.0  
    Write(10,100) xx,yy,Temp(i,j)  
  End Do  
End Do
```

Heat sources in the chip region.....

```
If (iheat.Eq.1) Call Compute_Chip(Q,Dx,Dy,Xl,Yl,Qq)  
If (itas.Eq.1) Call Compute_Tas(Q,Dx,Dy,Xl,Yl,Qqtas)  
T0=T0init  
Do ii=1,Nend  
  T0 = T0init + Dt*(ii-1)*tempfc          ! Dis ortam sicakligi  
  If (ii*Dt.Gt.7200) hparam=hparam0/5  
  hscale=hscale+hparam
```


Q1=ALANTD*0.186*0.186/5

Gridlerin Koordinatları:

I1=0

DO 40 I=2,NX-1

I2=1

I1=I1+1

DO 41 J=2,NY-1

X(I,J)=XPL1

Y(I,J)=YPL1+I1*DX

Z(I,J)=I2*DY

I2=I2+1

CONTINUE

CONTINUE

DO 50 I=2,NX-1

DO 50 J=2,NY-1

R(I,J)=SQRT((XTDMER-X(I,J))**2+(YTDMER-Y(I,J))**2+

& (ZTDMER-Z(I,J))**2)

CONTINUE

DO 55 I=2,NX-1

DO 55 J=2,NY-1

RAD(I,J)=(SQRT(((X(I,J)-XTDMER)**2)+((Z(I,J)-ZTDMER)**2)))/

& ABS(Y(I,J)-YTDMER)

BETA1(I,J)=ATAN(RAD(I,J))

BETA2(I,J)=1.57-BETA1(I,J)

FI12(I,J)=((COS(BETA1(I,J))*COS(BETA2(I,J)))*BIRAL)/

& (3.14*(R(I,J)**2))

Write(*,*) FI12(I,J)

CONTINUE

DO 56 I=2,NX-1

DO 56 J=2,NY-1

QR(I,J)=Q1*FI12(I,J)*(((TTD+273)/100)**4-((TEMP(I,J)+273)

& /100)**4)

CONTINUE

x- sweep

Do j=2,Ny-1

yy=(j-1)*Dy

Do i=2,Nx-1

xx=(i-1)*Dx

If (icheck.Eq.1) Then

Gr=9.81*Bet*(Temp(i,j)-T0)*yy*yy*yy/Nu2

hh=Find_h(k_air,yy,Gr,GPr)

hh=hh*hscale

Else

hh=h0

End If

hall(i,j)=hh

Aa(i-1)=-Alpha*Dt/Dx2

```

      Bb(i-1)=Aa(i-1)
      Dd(i-1)=1 + 2*Alpha*Dt/Dx2
      ty=(Temp(i,j-1)-2*Temp(i,j)+Temp(i,j+1))/Dy2
      xek=(2*hh*Dt/rc)*(Temp(i,j)-T0)
      Cc(i-1) = Temp(i,j) + Alpha*Dt*ty - xek
&          + Dt*Q(i,j)/rc + Dt*QR(I,J)/rc

```

```

End Do

```

```

*
* Modify equation for the points adjacent to the boundaries
*

```

```

If (icheck.Eq.1) Then
  a12=-hall(2,j)*1.5/k
  a32=-hall(Nx-1,j)*1.5/k
  f11=a11/Dx + a12
  f31=a31/Dx + a32

```

```

End If

```

```

Dd(1)      = Dd(1) + Bb(1)*f12/f11
Cc(1)      = Cc(1) + Bb(1)*f13/f11
Dd(Nx-2)   = Dd(Nx-2) + Aa(Nx-2)*f32/f31
Cc(Nx-2)   = Cc(Nx-2) + Aa(Nx-2)*f33/f31

```

```

Call Solve_Trid(Nx-2)

```

```

Do i=1,Nx-2
  Temp1(i+1,j)=T(i)

```

```

End Do

```

```

End Do

```

```

*
* y- sweep
*

```

```

Do i=2,Nx-1
  Do j=2,Ny-1
    Aa(j-1)=-Alpha*Dt/Dy2
    Bb(j-1)=Aa(j-1)
    Dd(j-1)=1 + 2*Alpha*Dt/Dy2

    ty = (Temp(i,j+1)-2*Temp(i,j)+Temp(i,j-1))/Dy2

    Cc(j-1) = Temp1(i,j) - Alpha*Dt*ty
  
```

```

End Do

```

```

*
* Modify equation for the points adjacent to the boundaries
*

```

```

If (icheck.Eq.1) Then
  a22=-hall(i,2)/k
  a22= 0          !! bottom side is insulated !!
  a42=-hall(i,Ny-1)/k
  f21=a21/Dy + a22
  f41=a41/Dy + a42

```

```

End If

```

```

Dd(1)      = Dd(1) + Bb(1)*f22/f21
Cc(1)      = Cc(1) + Bb(1)*f23/f21
Dd(Ny-2)   = Dd(Ny-2) + Aa(Ny-2)*f42/f41
Cc(Ny-2)   = Cc(Ny-2) + Aa(Ny-2)*f43/f41

```

```

Call Solve_Trid(Ny-2)

```

```

    Do j=1,Ny-2
        Temp2(i,j+1)=T(j)
    End Do
End Do

```

```

*
* Update inner point temperatures
*

```

```

    Do i=2,Nx-1
        Do j=2,Ny-1
            Temp(i,j)=Temp2(i,j)
        End Do
    End Do

```

```

*
* Update boundaries
*

```

```

    Do i=1,Nx

        If (icheck.Eq.1) Then
            a22=-hall(i,2)/k
            a22=0
            a42=-hall(i,Ny-1)/k
            f21=a21/Dx + a22
            f41=a41/Dx + a42
        End If

        Temp(i,1) =f22*Temp(i,2)/f21 - f23/f11
        Temp(i,Ny) =f42*Temp(i,Ny-1)/f41 - f43/f41
    End Do

```

```

End Do

```

```

    Do j=1,Ny

        If (icheck.Eq.1) Then
            a12=-hall(2,j)/k
            a32=-hall(Nx-1,j)/k
            f11=a11/Dx + a12
            f31=a31/Dx + a32
        End If

        Temp(1,j) =f12*Temp(2,j)/f11 - f13/f11
        Temp(Nx,j) =f32*Temp(Nx-1,j)/f31 - f33/f31
    End Do

```

```

End Do

```

```

If (Mod(ii,nwrite).Eq.0) Then
    Write(10,*) ii*Dt
    xmax=-1E6
    xmin=1E6
    xav=0.0
    Do i=1,Nx
        xx=(i-1)*Dx
        Do j=1,Ny
            yy=(j-1)*Dy
            Write(10,100) xx,yy,Temp(i,j)
            If (Temp(i,j).Gt.xmax) xmax=Temp(i,j)
            If (Temp(i,j).Lt.xmin) xmin=Temp(i,j)
            xav=xav+Temp(i,j)
        End Do
    End Do
    xT=Temp((Nx+1)/2,(Ny+1)/2)

```

```

      xav=xav/Float(Nx*Ny)
      Write(*,89) ii*Dt,T0,xmax,xmin,xav,xT
      Format ('Time is :',F9.3,' sec.','T_out is:',F9.3/,
&          'Tmax=',F8.4,3x,'Tmin=',
&          F8.4,3x,'Ave.Tmp. =',F8.4,3x,'Mid Point Tmp. =',F8.4)
      End If
      End Do
      Write(10,*) -1.00

      Do i=1,Nx
        xx=(i-1)*Dx
        Do j=1,Ny
          yy=(j-1)*Dy
          Write(11,100) xx*100,yy*100,Temp(i,j)
        End Do
      End Do
100  Format (F6.3,3x,F6.3,5x,F10.5)
      Stop
      End

```

* Chip-in olduğu bölgede ISI kaynağının şiddeti merkezden
* itibaren radyal doğrultuda lineer azalıyor.

```

Subroutine Compute_Chip(Q,Dx,Dy,X1,Y1,Qq)
Integer*2 kget
Real Q(60,60)
nx1=NInt(0.5+0.675*X1/Dx)
nx2=nx1 + NInt(0.5 + 0.015/Dx) ! chip width = 0.015m
ny1=NInt(0.5 + 0.10*Y1/Dy)
ny2=ny1 + NInt(0.5 + 0.0225/Dy) + 1 ! chip height= 0.0225m
If (ny1.Eq.1) Then
  ny1=2
  ny2=ny2+1
End If
Write(*,10) nx1,nx2,ny1,ny2
Call Get_Key@(kget)
If (kget.Eq.27) Stop
0  Format ('Chip Region Boundary--> x:',2(I3,2x),3x,'y:',2(I3,2x)/)
x1=Dx*(nx1-1)
x2=Dx*(nx2-1)
y1=Dy*(ny1-1)
y2=Dy*(ny2-1)
R=Sqrt((x1-x2)**2 + (y1-y2)**2)
x0=(x1+x2)/2
y0=(y1+y2)/2
Do i=nx1,nx2
  x=Dx*(i-1)
  Do j=ny1,ny2
    y=Dy*(j-1)
    rr=Sqrt((x-x0)**2 + (y-y0)**2)
    Qxy=Qq*(1-(rr/R))
    Q(i,j)=Qxy
  End Do
End Do
Return
End

```

Tas direncin olduğu bölgede ISI kaynağının şiddeti merkezden
itibaren radyal doğrultuda lineer azalıyor.

```

*
Subroutine Compute_Tas(Q,Dx,Dy,X1,Y1,Qqtas)
Real Q(60,60)
nxt1=Nint(0.5+0.2*X1/Dx)
nxt2=nxt1 + Nint(0.5+0.015/Dx)      ! tas direnc genisligi = 0.015m
nyt1=Nint(0.5+0.05*Y1/Dy)
nyt2=nyt1 + Nint(0.5+0.055/Dy)    ! tas direnc yuksekligi= 0.055m
If (nxt1.Eq.1) Then
  nxt1=2
  nxt2=nxt2+1
End If
If (nyt1.Eq.1) Then
  nyt1=2
  nyt2=nyt2+1
End If
x1=Dx*(nxt1-1)
x2=Dx*(nxt2-1)
y1=Dy*(nyt1-1)
y2=Dy*(nyt2-1)
R=Sqrt((x1-x2)**2 + (y1-y2)**2)
x0=(x1+x2)/2
y0=(y1+y2)/2
  Do i=nxt1,nxt2
    x=Dx*(i-1)
    Do j=nyt1,nyt2
      y=Dy*(j-1)
      rr=Sqrt((x-x0)**2 + (y-y0)**2)
      Qxy=Qqtas*(1-(rr/R))
      Q(i,j)=Qxy
    End Do
  End Do
End Do
Return
End

```

```

*
*
*
Subroutine Solve_Trid(N)      !!!! Thomas Algorithm
Common /AConst/Aa,Bb,Cc,Dd,T
Real Aa(60),Bb(60),Cc(60),Dd(60),T(60)
Do i=2,N
  R=Bb(i)/Dd(i-1)
  Dd(i)=Dd(i)-R*Aa(i-1)
  Cc(i)=Cc(i)-R*Cc(i-1)
End Do
Cc(N)=Cc(N)/Dd(N)
Do i=2,N
  j=N-i+1
  Cc(j)=(Cc(j)-Aa(j)*Cc(j+1))/Dd(j)
End Do
Do i=1,N
  T(i)=Cc(i)
End Do
Return
End

```

```

t
t g(pr)
t

```

```

Function Find_GPr(Pr)
a1=0.75*Sqrt(Pr)

```

```
a2=(0.609 + 1.221*Sqrt(Pr) + 1.238*Pr)**0.25
Find_GPr=a1/a2
Return
End
```

```
*
*
*
```

```
Function Find_h(k,x,Gr,GPr)
Real k
Find_h=((Gr/4)**0.25)*GPr*k/x
Return
End
```



VIII. ÖZGEÇMİŞ

Mutlu Tunç, 1971 yılında İstanbul'da doğmuştur. 1988 yılında Terakki Vakfı Özel Şişli Terakki Lisesi'ni bitirerek orta öğrenimini tamamlamış ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümüne girmiştir. Haziran 1993' te bu bölümden mezun olan Tunç, Şubat 1994' te İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programında Yüksek Lisans çalışmasına başlamıştır. Yine Şubat 1994' te İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü' nde araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır ve halen bu bölümde görev yapmaktadır.