

ISIL YAZICI BAŞLIKLARIN OPTİMİZASYONU

Celeleddin ŞENÇİMEN

Yüksek Lisans Tezi

MATEMATİK ANABİLİM DALI

Isparta, 2004

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL YAZICI BAŞLIKLARIN OPTİMİZASYONU

Celeddin ŞENÇİMEN

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. Ramazan UYHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MATEMATİK ANABİLİM DALI

ISPARTA, 2004

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MATEMATİK ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Suna SALTAN
Üye : Yrd. Doç. Dr. Simten UYHAN
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ramazan UYHAN

ONAY

Bu tez 17 / 08 / 2004 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

... / ... /2004

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	<i>i</i>
ÖZET.....	<i>ii</i>
ABSTRACT.....	<i>iii</i>
TEŞEKKÜR.....	<i>iv</i>
SİMGELER DİZİNİ.....	<i>v</i>
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	<i>viii</i>
TABLolar DİZİNİ.....	<i>ix</i>
GRAFİKLER DİZİNİ.....	<i>x</i>
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	3
2.1 Isıl Yazıcılar.....	3
2.2 Isıl Yazıcı Başlığın Yapısı.....	6
3. ISIL YAZICI BAŞLIKLARIN OPTİMİZASYONU.....	9
3.1 Connolly'nin 1-Boyutlu Isıl Modeli.....	9
3.2 Connolly'nin Isı Problemi.....	10
3.3 Basitleştirilmiş Connolly Modeli.....	14
3.4 Arayüz Sıcaklığını Belirlemek İçin Laplace Dönüşümü Metodu.....	20
3.5 Enerji Minimizasyonu Problemi.....	31
4. SONUÇ.....	34
5. FORTRAN PROGRAMLARI.....	36
6.KAYNAKLAR.....	49
7.ÖZGEÇMİŞ.....	51

ÖZET

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde konunun tarihsel gelişimine yer verilmiştir.

İkinci bölümde ısı yazıcıların kullanım alanlarına ve bir ısı yazıcı başlığın genel yapısına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, 1994 yılında Eastman Kodak Company ile çalışan D. Connolly'nin tanımladığı Bir Boyutlu Isıl Modelin özellikleri ve bu modelin Isı Problemi verilmiştir. Daha sonra Basitleştirilmiş Connolly Modeli ele alınmış ve bu modelin ısı denklemlerinin çözümleri yapılarak sonuçlar grafikler yardımıyla sunulmuştur. Ayrıca Connolly'nin yaptığı çalışmaya ek olarak bir enerji minimizasyonu problemi üzerinde çalışılmıştır.

Dördüncü bölümde, yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçların özeti ve konuyu geliştirebilecek ileriye dönük farklı çalışma tiplerine yer verilmiştir.

Beşinci ve son bölümde, grafiklerin oluşturulmasında gerekli olan dataların elde edilmesinde kullanılan Fortran programları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl yazıcı başlık, ısı yalıtkan tabaka kalınlığı, boya tabakası/alıcı tabaka arayüz sıcaklığı, sabit durum sıcaklığı, ısıtma süresi, karşılık verme süresi, sıcaklık anındaki süre, enerji minimizasyonu.

ABSTRACT

This thesis consists of five chapters.

In the first chapter the historical background of the subject was considered.

In the second chapter the uses of thermal printers and the general structure of a thermal printer head were considered.

In the third chapter the properties and the thermal problem of the One Dimensional Thermal Model which was defined by D. Connolly who studied with Eastman Kodak Company in 1994 were considered. Next, Simplified Connolly Model was given and the heat equations of this model were solved and the results were given by graphs. In addition, an energy minimization problem which is supplementary to Connolly's work was studied.

In the fourth chapter a summary of the results of the thesis and further work to improve this study were considered.

In the final chapter the Fortran programs which were used to get the data for drawing the graphs were given.

Keywords: Thermal printer head, the thickness of the thermal insulator layer, the temperature of the dye layer/receiver layer interface, steady state temperature, heating time, response time, the time at temperature, energy minimization.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın belirlenmesi ve yşrştşlmesi sşrecinde ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli danıőmanım **Yrd. Doç. Dr. Ramazan UYHAN**'a teőekkřrlerimi sunarım.

SİMGELER DİZİNİ -1-

Simge	Sayısal Değer	Açıklama
H_1		Isıl yalıtkan tabaka
h_1	$10 - 100\mu\text{m}$	Isıl yalıtkan tabaka kalınlığı
H_2		Kapak
h_2	$113\mu\text{m}$	Birleştirilmiş kapak/boya tabakası/alıcı tabaka kalınlığı
d	$13\mu\text{m}$	Birleştirilmiş kapak ve boya tabakası kalınlığı
H_3		Boya tabakası
H_4		Alıcı tabaka
ω	$16\pi \times 10^3\text{s}^{-1}$	Boya tabakasındaki sıcaklık salınımlarının frekansı
$(\rho c)_1$	$1.86 \times 10^6\text{J/m}^3$	Yalıtkan tabaka için yoğunluk \times özgül ısı=ısı kapasitesi
$(\rho c)_2$	$0.82 \times 10^6\text{J/m}^3$	Birleştirilmiş kapak/boya tabakası/alıcı tabaka için yoğunluk \times özgül ısı=ısı kapasitesi
k_1	$1.0\text{W/m}^\circ\text{C}$	Yalıtkan tabakanın ısıl iletkenliği
k_2	$0.09\text{W/m}^\circ\text{C}$	Birleştirilmiş kapak/boya tabakası/alıcı tabakanın ısıl iletkenliği
α_1	$5.3 \times 10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$	Yalıtkan tabakanın ısıl dağılım katsayısı
α_2	$1.1 \times 10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$	Birleştirilmiş kapak/boya tabakası/alıcı tabakanın ısıl dağılım katsayısı
α_3	$8.5 \times 10^{-8}\text{m}^2/\text{s}$	Boya tabakasının ısıl dağılım katsayısı
α	$3.2 \times 10^{-8}\text{m}^2/\text{s}$	Melineks için tipik bir ısıl dağılım katsayısı
t_h	32 ms	Isıtma süresi
t_r		Karşılık verme süresi
t_{temp}		Sıcaklık anındaki süre
t		Süre
τ		$\alpha_2 t / h_2^2$ (Boyutsuz parametre)

SİMGELER DİZİNİ -2-

Simge	Sayısal Değer	Açıklama
τ_h		$\alpha_2 t_h / h_2^2$
τ_r	0.072 (minimum)	Sıcaklığın $175^\circ C$ yükselmesi için gereken süre (boyutsuz)
$T_d(t)$	$^\circ C$	Boya tabakası/alıcı tabaka arayüz sıcaklığı
T_c	Genel olarak $200^\circ C$	Boya tabakası/alıcı tabaka arayüz sıcaklığı kritik değeri
$T_d(\infty) = T_s$	Genel olarak $225^\circ C$	Sabit durum sıcaklığı
T_1		Yalıtkan tabakanın zamana ve kalınlığa bağlı sıcaklık fonksiyonu
T_2		Birleştirilmiş kapak/boya tabakası/alıcı tabakanın zamana ve kalınlığa bağlı sıcaklık fonksiyonu
T_A	$25^\circ C$	Başlangıç sıcaklığı
ΔT_s	Genel olarak $200^\circ C$	Sıcaklık farkı ($T_s - T_A$)
θ_1		Boyutsuz parametre (sıcaklık fonk.)
θ_2		Boyutsuz parametre (sıcaklık fonk.)
$\bar{\theta}_1(x_1, p)$		θ_1 in Laplace Dönüşümü
$\bar{\theta}_2(x_2, p)$		θ_2 nin Laplace Dönüşümü
Q	Ortalama $3.22 \times 10^6 W/m^2$	Birim alana düşen ısıtma miktarı
\hat{Q}	$1.29 \times 10^7 W/m^2$	Isıtma miktarı için maksimum değer
E		Sistemi işler hale getiren toplam enerji
$D(T)$	$1.25 \times 10^{-10} \exp\left(\frac{T}{50}\right) m^2/s$	Copolimer için sıcaklığa bağlı dağılım katsayısı
β		$\frac{h_1}{h_2} \sqrt{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}}$ (Boyutsuz parametre)

SİMGELER DİZİNİ -3-

Simge	Sayısal Değer	Açıklama
δ		$\frac{h_1 k_2}{h_2 k_1}$ (Boyutsuz parametre)
μ	0.115	d/h_2 (Boyutsuz parametre)
γ	0.19	$\frac{k_2}{k_1} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}}$ (Boyutsuz parametre)
f_∞		Transfer edilen boyanın son parçası

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1 Tipik bir geometrik düzenleme. Altın iletkenler yardımıyla başlığa akım sağlanmaktadır.....	4
2.2 Isıl yazıcı başlıkların (B) ve altın iletkenlerin (İ) geometrik dizilişi.....	5
2.3 Tipik bir lazer sistemi.....	6
2.4 Özel olarak başlığın yapısını da gösteren bir ısıl yazıcı sisteminin geometrik yapısı.....	7
3.1 Bir yazıcı sisteminin geometrik yapısı (Connolly, 1994).....	11
3.2 Bir yazıcı sistemindeki farklı tabakaların basitleştirilmiş geometrik yapısı.....	14
3.3 Yazıcı sistemindeki basitleştirilmiş iki tabakalı modelin geometrik yapısı.....	15

TABLULAR DİZİNİ

3.1 Connolly'nin problemindeki değişik fiziksel parametrelerin değerleri.....11

GRAFİKLER DİZİNİ

3.1	32 ms lik raster satır boyunca, 256 PCM itme için direnç düzlemi ve arayüzün geçiş sıcaklığı.....	12
3.2	h_1/k_1 ve Q arasındaki ilişki.....	18
3.3	$t_h = 32$ ms iken boya tabakası /alıcı tabaka arayüzündeki sıcaklığın zamana bağlı değişimi.....	26
3.4	$h_1 = 30\mu\text{m}$, $h_1 = 50\mu\text{m}$ ve $h_1 = 70\mu\text{m}$ için boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki sıcaklığın zamana bağlı değişimi.....	27
3.5	β ya bağlı bir fonksiyon olarak 200°C ye ulaşmak için gereken sürenin grafiği.....	28
3.6	$t_{temp} = 10, 15$ ve 20 ms için toplam enerjinin β ya bağlı fonksiyonu.....	33

1. GİRİŞ

Isıl yazıcılar ilk olarak 1960 lı yılların sonunda, siyah-beyaz görüntü elde etmek amacıyla faks makinelerinde ve gazete basımında kullanılmıştır. Isıl yazıcılar elektronik olarak kaydedilen görüntülerin yüksek kaliteli çıktılara dönüştürmesini sağlarlar. Isıl yazıcı başlıklarında bulunan verici ve alıcılardaki sıcaklık dağılımının modellenmesi ve ölçümü birçok kez çalışılmıştır.

İlk olarak 1967 de, W. H. Puterbaugh ve S. P. Emmons, "A New Printing Principle" adlı çalışmalarında bir ısıl yazıcının daha hızlı yazım yapabilmesi için ne gibi bir düzenleme yapılabileceğini göstermişlerdir. Isıl yazıcı başlığının kütlelerinin küçük olması durumunda sistemin hızlı bir şekilde ısınıp soğuyacağını düşünerek silikon teknolojisi yardımıyla sistemin basitleştirilebileceğini öne sürmüşlerdir (Uyhan, 2000).

1973 te T. R. Payne ve H. R. Plumlee katı durumlu ısıl yazıcıların kullanımıyla karakter yazım metodu önermişlerdir. Bu sistemde her bir nokta, her biri $50 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$ boyutlarındaki silikon parçalar tarafından ayrı ayrı üretiliyordu. Sistemde silikonun pozitif sıcaklık katsayısına ve düşük dirence sahip olması avantajından yararlanılmıştır fakat bu sistemin dezavantajı çok yüksek sıcaklıkların silikon yapısına zarar vermesidir.

1976 da S. Shibata, K. Murasugi ve K. Kaminishi yeni bir ısıl yazıcı başlığı tanımlamışlardır. Bu sistemde silikon yerine bundan daha ince olan Ta_2N (tantal nitrit) kullanılmış ve bu tabaka $\text{SiO}_2 - \text{Ta}_2\text{O}_5$ (silikon dioksit-tantal oksit) ile kaplanmıştır. Kaplamanın amacı kağıdın yol açtığı aşınmayı önlemektir. Ayrıca bu yapı ile başlığın boyutları küçülmüş ve daha yüksek çözünürlük elde edilmiştir.

Shibata, yazım süresinin soğuma süresi tarafından kontrol edildiğini öne sürmüş ve başlık yapısını optimize edebilecek farklı maddeler ve bunların kalınlıkları üzerinde çalışmıştır.

1984 te S. Shibata, M. Ito ve K. Nihei bir ısıl yazıcının daha yüksek çözünürlüğe sahip olabilmesi için gerekli olan şartlar üzerine detaylı bir çalışma yayımlamışlar, ısıtma etkisini artırmak için direncin yapısı üzerine önerilerde bulunmuşlardır.

1990 da Eastman Kodak Company ile çalışan M. D. Fiscella, S. A. Brownstein ve D. A. Johnson, başlık sürücü metodunun çıktının kalitesini etkilediğini öne sürerek açma-kapama ayarlı başlık sürücü metodunun sıcaklığı kontrol altında tutarak yüksek yoğunluklu, renkli ve kaliteli çıktılar alınabilmesini sağladığını belirtmişlerdir.

Yine 1990 da R. A. Hann ve N. C. Beck, yüksek kalitede renkli çıktı alınmasını sağlayan boya dağılımlı ısı transfer modeli üzerinde çalışmışlardır.

1991 de I. M. Hodge ve D. S. Ross, bir verici tabakadan alıcı tabakaya boya dağılımını içeren ve direnç gösteren bir ısı yazıcı başlığı modeli üzerinde çalışmışlar ve cam geçiş sıcaklığına bağlı olarak difüzyon denklemlerini çözmüşlerdir.

Yine 1991 de P. W. Webb ve R. A. Hann bir ısı yazıcı başlığındaki sıcaklık dağılımları üzerine çalışmışlar ve ısı zaman sabiti ile normal enerji verme süresi arasında karşılaştırma yapmışlardır.

1992 de R. A. Hann, "Thermal Dye Diffusion Printing-How Does It Work?" adlı çalışmasında ısı yazımın süblimleşme sürecinden daha çok bir difüzyon süreci olduğunu öne sürmüştür.

1994 yılında Eastman Kodak Company ile çalışan D. Connolly, bir ısı yazıcı düzenleyicisine kılavuz niteliğinde olabilecek bir çalışma yayımlamıştır. Bu çalışmada bir ısı yazıcı başlığının yalıtkan tabaka kalınlığı ve ısı iletkenliğinden kaynaklanan sınırlamalara, özel olarak cam geçiş sıcaklığının alt sınırı ve alıcı tabakanın bozulma sıcaklığı üst sınırına, güç girdisine ve satır yazım süresine değinilmiştir.

2000 yılında R. Uyhan, Basitleştirilmiş Bir Boyutlu Connolly Modeli kullanarak minimum enerji yoluyla boya transferi yapabilecek bir ısı yazıcı başlığının optimizasyonu üzerinde çalışmış ve birtakım farklı sonuçlar elde etmiştir.

Bu çalışmada ise R. Uyhan'ın yaptığı çalışma baz alınarak bir ısı yazıcı başlığını optimize edebilecek yalıtkan tabaka kalınlığı varyasyonları ve enerji minimizasyonu incelenmiştir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

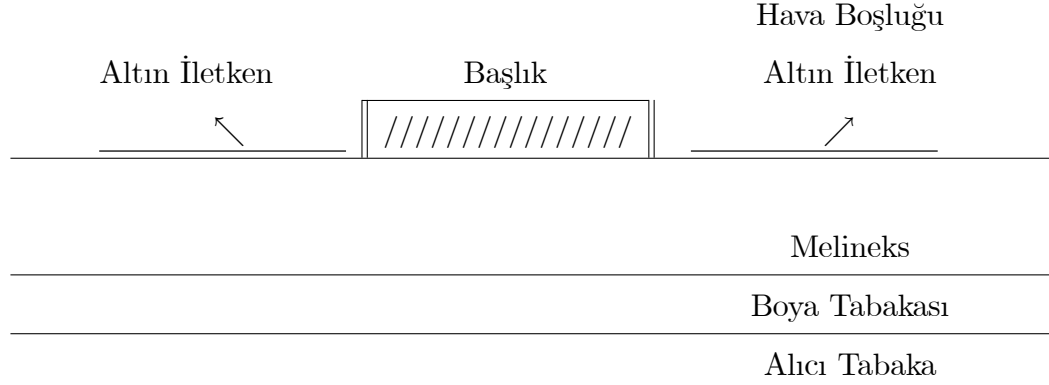
Bu bölümde ısı yazıcıların kullanım alanlarına ve bir ısı yazıcı başlığının genel yapısına yer verilecektir.

2.1 Isıl Yazıcılar

Elektronik olarak kaydedilen görüntülerin çıktılarının alınmasını sağlayan bir ısı yazıcı birçok yönden avantajlıdır. Mürekkep, şerit veya kokulu kimyasal madde kullanımı gerektirmez. Tek tek karakter yazımı tekniği ile işler, böylelikle yazılan son karakter hemen görülebilir. Ayrıca çok az mekanik parça gerektirdiği için düzenlenmesi kolaydır.

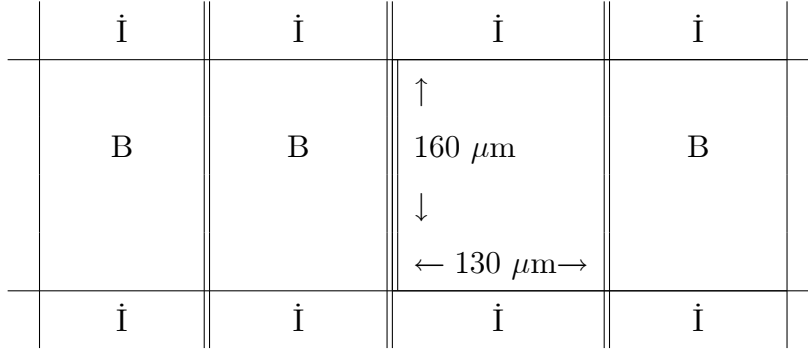
Son yıllarda bu teknolojide daha yüksek çözünürlük, daha hızlı yazım ve renkli görüntüleme gibi konularda ilerleme kaydedilmiştir. Elektronik olarak kaydedilen görüntüler fotoğraf kalitesine yakın çıktılara dönüştürülebilmektedir. Ayrıca tıbbi görüntüleme ve kredi kartı sistemlerinde de ısı yazıcılardan yararlanılmaktadır.

ICI (Imperial Chemical Industry) Imagedata D2T2 sisteminde olduğu gibi; tipik bir yazıcı sisteminde $2 \mu\text{m}$ kalınlığındaki bir boya tabakası, $8 \mu\text{m}$ lik bir melineks ve $150 \mu\text{m}$ lik bir alıcı tabaka arasına yerleştirilmiştir. Tabakalardan oluşan bu sisteme ısı, bir ısı yazıcı başlığı tarafından sağlanmaktadır. Bu başlık melineksin üst yüzeyine doğru bastırılmış durumdadır. D2T2 sisteminde kullanılan başlığın yapısı Shibata (1976)'nın tanımladığı başlık yapısına çok benzemektedir. Sistemin yapısı Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Tipik bir geometrik düzenleme. Altın iletkenler yardımıyla başlığa akım sağlanmaktadır.

Birleştirilmiş melineks ve boya tabakasına kısaca “şerit” adı verilir. Isıl başlık açıldığında ısı, tabakalı sistem boyunca iletilir. Boya tabakası yeterince yüksek bir sıcaklığa ulaştığında (tipik olarak $250^{\circ}C$) boya molekülleri melineks ve alıcı tabakaya doğru dağılmaya başlar. Deneysel sonuçlar bu sürecin süblimleşmeden daha çok bir dağılım süreci olduğunu göstermiştir (Hann, 1992). Boya tabakası ve alıcı tabaka arasında hava boşluğu yoktur. Fakat son yıllarda hava boşluğu bulunduran farklı bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde boya molekülleri önce buharlaşmakta daha sonra alıcı tabaka yüzeyi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Melineks ve alıcı tabaka için farklılık gösteren dağılım katsayısı deneysel olarak ölçülmüş ve sıcaklığa bağlı bir fonksiyon olduğu görülmüştür. Isıl başlık kapatıldıktan sonra sistem hızla soğur ve alıcı tabakaya bir noktasal boya bırakılır. Renkli yazımda bu süreç farklı renkte (siyan, sarı ve morumsu kırmızı) şeritlerle tekrarlanır. Alıcı tabakadaki son görüntü birçok nokta tarafından oluşturulur. Bir ısıl yazıcı için inç başına düşen nokta sayısı tipik olarak 250 dir. Her bir nokta tek bir yazıcı başlığı tarafından diğerlerinden bağımsız olarak üretilir. Bu başlıklar geometrik olarak birbirinin aynısıdır ve düz bir sıra boyunca dizilmişlerdir (Şekil 2.2). Başlık sayısı genellikle 1700 dür.



Şekil 2.2 : Isıl yazıcı başlıkların (B) ve altın iletkenlerin (İ) geometrik dizilişi. Bir yazıcı başlığı $160 \mu\text{m} \times 130 \mu\text{m}$ boyutlarındadır (Şekil ölçülü değildir).

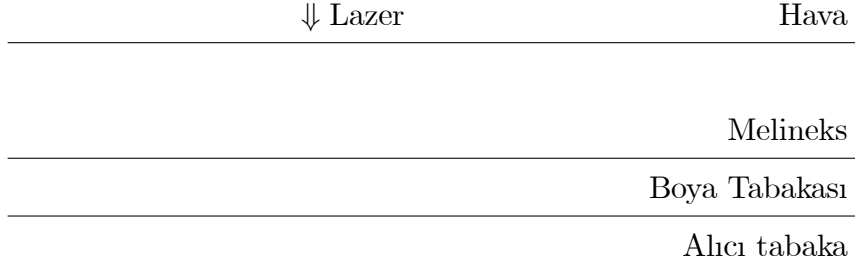
Alıcı tabakaya transfer edilen her bir noktadaki boya miktarı tüm başlıklar için aynı olan belirli bir voltaj altında, ısıtma süresinin değiştirilmesiyle kontrol edilmektedir. Üretilen çıktının kalitesi inç başına düşen nokta sayısına, her bir noktadaki boya miktarına ve noktanın büyüklüğüne bağlıdır.

Bu süreç sonunda her ne kadar yüksek kalitede çıktılar elde ediliyor olsa da bir takım dezavantajlar da vardır:

1) Yazım sürecinin hızı kısmen de olsa ısının melineks tabakasına iletilmesi ve boya tabakası sıcaklığını 250°C ye yükseltmesi için gereken süre tarafından kontrol edilir. Bu sorun daha ince bir melineks tabakası kullanılarak azaltılabilir. Fakat bu durum şeritte aşınmaya yol açar çünkü pratikte şerit başlığa doğru sürüklenir (Hann, 1992).

2) Belirgin bir boya dağılımı ortaya çıkmadan önce boya tabakasının 250°C den daha yüksek bir sıcaklığa ulaşması gerekiyorsa bu durumda başlığın çok daha yüksek sıcaklıklara (tipik olarak 350°C) ulaşması gerekir. Bu tür yüksek sıcaklıklarda başlığa bitişik olan melineks erir ve başlığa yapışmaya başlar.

Geçtiğimiz onbeş yıllık sürede ICI Imagedata tarafından L2T2 adlı bir lazer sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde boya tabakası içine düzgün dağılımlı, kızılötesi ışınları soğuran bir madde yerleştirilir ve $100 \mu\text{s}$ lik bir süreyle sisteme lazer ışınlanır. Bu sistem Şekil 2.3 te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Tipik bir lazer sistemi. Isı boya tabakasında üretilir.

Bu sistemin avantajı ısının boya tabakasına direkt sağlanması ve böylece hızlı boya dağılımını sağlayabilecek en yüksek sıcaklığa ulaşılabilmesidir. Sıcaklık ve dağılım problemi ilk olarak R. Fielding (1996) tarafından çalışılmıştır. Bu sistemde küçük çapta bir lazer kullanılarak, tipik olarak 30 μm çaplı daha küçük noktalar üretilebilir. Isıl yazıcı başlığının ürettiği noktalar ise 70 μm çapındadır. Lazer sisteminde inç başına düşen nokta sayısı artırılarak daha iyi çözünürlük sağlanabilir. Isıl yazıcı başlığına verilen ısının büyük bir kısmı kayba uğrarken lazer sisteminde ısı daha verimli bir şekilde kullanılmaktadır(Uyhan, 2000).

2.2 Isıl Yazıcı Başlığın Yapısı

ICI tarafından kullanılan tipik bir ısıl yazıcı başlığı sisteminin geometrik yapısı Şekil 2.4 te gösterilmiştir. Sisteme gerekli olan ısı altın iletkenler yardımıyla sağlanmaktadır. Öte yandan bu iletkenler boyunca ısı kaybı da olmaktadır. Şekil 2.4 te görüldüğü gibi başlık; alüminyum, cam, silikon dioksit, tantal oksit gibi farklı fiziksel özelliklere sahip tabakalardan oluşmaktadır. Direnç ise tantal nitritten yapılmıştır.

T=T _A	Alüminyum	Cam	Altın İletken	SiO ₂ ve Ta ₂ O ₅	Plastik	Boya Tbk	Alıcı Tbk
		Direnç →					
	700μm	45μm	Altın İletken 2μm	3μm	8μm	2μm	150μm

Şekil 2.4 : Özel olarak başlığın yapısını da gösteren bir ısı yazıcı sisteminin geometrik yapısı (ölçülü değildir).

Başlığın düzenlenmesini birçok faktör belirler:

- 1) Boya tabakası sıcaklığının mümkün olduğunca kısa bir sürede 250°C ye ulaşması ve akım kesilince sistemin hızla soğuması gerekliliği.
- 2) Kısa bir sürede ortaya çıkan hızlı sıcaklık salınımlarına karşı koyabilmek için başlığın mekanik özelliklerinin dikkatli seçilmesi, alıcı tabakanın başlığa doğru çekilmesi durumunda direncin aşınmaya karşı korunması.

Kalın bir alüminyum tabaka, başlıktaki direncin ürettiği ısı için bir ısı kanalı görevi üstlenir. Akım kesildiğinde başlığın hızla soğuması gerekir çünkü akım tekrar açıldığında bir sonraki noktanın üretilebilmesi için sistemin başlangıç sıcaklığına yakın olması gerekmektedir. Bu olmazsa başlığa her defasında aynı miktarda enerji verilse bile noktaların büyüklüğü artacaktır. Pratikte birçok ısı başlıktan oluşan sistem birkaç saat çalıştırılırsa alüminyum tabakanın sol tarafına yerleştirilen soğutucu fanların kullanımına rağmen tabakanın sıcaklığı aşama aşama artacaktır.

Şekil 2.4 te görüldüğü gibi ısıtıcı başlık ile alüminyum tabaka arasında bir cam tabaka vardır. Bu maddenin ve kalınlığının seçimi sistemin işleyişinde önem taşır.

Bu tabaka çok kalın veya düşük ısı iletkenliğe sahipse dirençten plastik tabakaya daha çok ısı geçişi olur ve bu durum yüksek sıcaklıklara yol açar. Öte yandan akım kesildiğinde sistem hızlı bir şekilde soğumaz.

Cam tabaka çok ince ise plastik tabakaya çok az ısı geçişi olur. Bu da boyanın dağılım süresini artırarak yazım sürecinin yavaşlamasına neden olur. Bu tabakanın kalınlığını ve ısı iletkenliğini optimize problemi Connolly tarafından çalışılmıştır(1994). Bu tezde bu problem daha detaylı bir şekilde çalışılacaktır.

Isıtıcı başlık ise yüksek ısı iletkenliğe sahip ince tabakalardan oluşmaktadır. Isıtıcı eleman (direnç) Ta_2N (tantal nitrit) den, koruyucu tabakalar ise SiO_2 (silikon dioksit) ve Ta_2O_5 (tantal oksit) ten yapılmıştır. Bu maddeler plastik tabakanın başlığa doğru çekilmesi durumunda aşınmaya karşı koyabilmek için özel olarak seçilmiştir.

ICI sisteminde Ta_2O_5 şeridi SiO_2 tabakasına göre çok daha ince olduğundan bu tezdeki modellerde bu tabaka dikkate alınmamıştır.

Daha önce de bahsedildiği gibi yazım sürecinin hızını etkileyen faktörlerden biri boya tabakası sıcaklığının en az $250^\circ C$ ye ulaşması için gereken süredir. Melineks tabakası için tipik bir ısı dağılım katsayısı $\alpha = 3.2 \times 10^{-8} m^2/s$ dir. Melineks tabakasının kalınlığı $8 \mu m$ ise ısının bu tabaka boyunca iletilmesi için gereken karakteristik süre 2 ms civarındadır. Bu nedenle boya dağılımı ısıtıcı açıldıktan çok daha sonra başlar.

Pratikte alıcı tabaka ve renkli şerit ısı yazıcı başlığı sistemlerine doğru çekilir. Bu sistemler birçok ısı başlıktan oluşur. Hann ve Beck (1990)'in çalıştığı renkli yazım sisteminde başlığın altına silindirel bir platin yerleştirilmiştir. Alıcı kağıt, platinin etrafında döner. Tüm kağıda önce sarı boya tabakası daha sonra morumsu kırmızı tabaka ve son olarak siyan tabaka ile basım yapılır. Böylelikle son görüntü bu üç temel rengin kombinasyonundan oluşur. Bu süreçte toplam boya miktarının %15 inin kaybolduğu görülmüştür (Hann, 1992).

3. ISIL YAZICI BAŞLIKLARIN OPTİMİZASYONU

3.1 Connolly'nin Bir Boyutlu Isıl Modeli

Bu çalışma ilk defa 1994 yılında, Eastman Kodak Company ile çalışan Connolly tarafından gerçekleştirilmiştir. Connolly'nin kullandığı yazıcı başlığı sistemi Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Bir ısıl yazıcının çalışmasında; alıcı tabakaya transfer edilen boya miktarı belirli bir voltaj altında, ısıtma süresinin değiştirilmesi ile kontrol edilmektedir. Öte yandan Connolly'nin de belirttiği üzere, ısıl yalıtkan tabakanın kalınlığı (h_1) üzerinde de kontrol sahibi olunabilir. Bu anahtar tabaka Şekil 3.1 de H_1 olarak belirtilmiştir. Burada sistemi optimize edebilecek h_1 kalınlığı belirlenmeye çalışılacaktır.

Connolly'nin düşüncesi şudur: Isıtma süresi olan t_h (tipik olarak 32ms), t_r ve t_{temp} terimlerinin toplamı olarak $t_h = t_r + t_{temp}$ şeklinde düşünülebilir.

Burada, t_r =Karşılık verme (tepki) süresi (Boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki $T_d(t)$ sıcaklığının, verilen bir yüksek T_c sıcaklığına ulaşması için geçen süre) ve $t_{temp} = t_h - t_r$ ise “Sıcaklık anındaki süre (Boyanın dağılmaya başladığı andan itibaren 32 ms in sonuna kadar geçen süre)” dir.

Connolly'nin sisteminde $T_d(t)$, sabit durum sıcaklığına, yani $T_d(\infty) = T_s$ ye ulaşır, böylece $T_c \leq T_d(t) < T_s$ olur. Connolly transfer edilen boya miktarının temel olarak t_{temp} tarafından kontrol edildiğini kabul eder çünkü yayılma katsayısı sıcaklığa bağlı bir fonksiyondur ve yüksek sıcaklıklarda en büyüktür.

Connolly basit bir $1 - B$ (1-boyutlu) ısıl model kullanarak nümerik olarak şunu göstermiştir: Yalıtkan tabakanın kalınlığını (h_1) azaltınca, karşılık verme (tepki) süresi olan t_r de azalmaktadır. Böylelikle aynı miktarda boya daha az toplam ısıtma süresi (t_h) ile transfer edilebilir ve bu yolla saniyede daha çok nokta yazılabilir. Ayrıca sistemin sıcaklığı bir sonraki nokta yazılmadan önce başlangıç (ortam) sıcaklığına geri dönmelidir. t_r değerindeki azalma, ısınma ve soğuma sürelerini azaltır.

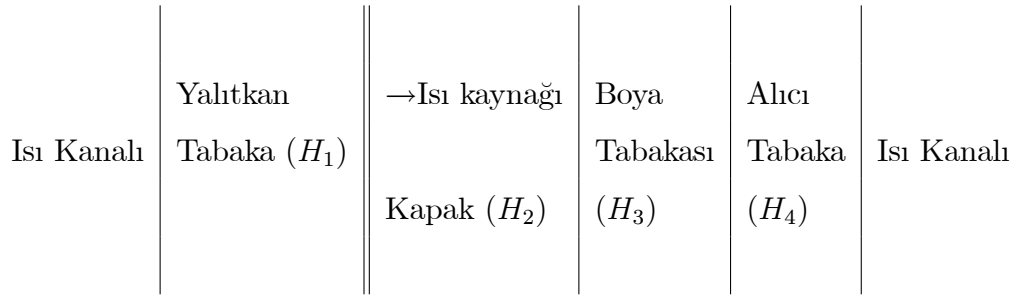
Öte yandan h_1 değerinin küçültülmesi durumunda yalıtkan tabaka boyunca daha çok enerji kaybı olacaktır. Böylece uygulanan Q voltajı yüksek sıcaklığı sürdürmek için artırılmalıdır, yani T_s değişmeden kalmalıdır. Connolly bu iki etki arasında bir denge olması gerektiğini düşünmüştür. Çünkü amaç hem tepki süresini hem de toplam enerji gereksinimini minimuma indirmektir. Öte yandan voltajdaki yükselme sistemde istenmeyen yüksek akım dalgalanmalarına yol açabilir. Connolly bir minimizasyon problemini formüle etmek için herhangi bir girişimde bulunmamış ve boya dağılımını gözönüne almamıştır. Sadece bir ısı problemi üzerinde çalışmıştır.

Bu bölümde Connolly'nin modelinin basitleştirilmiş bir versiyonu kullanılarak bir enerji minimizasyonu problemi formüle edilip çözülecektir. Yalıtkan tabakanın ısı özelliklerinin verildiği kabul edilerek sadece h_1 kalınlığının değiştirilmesinin etkileri çalışılacaktır.

3.2 Connolly'nin Isı Problemi

Connolly her biri kendine özgü ısı özellikleri bulunan dört tabaka arasında ısı iletimini içeren $1 - B$ (bir boyutlu) sabit olmayan bir modeli gözönüne almıştır. Bu model Şekil 3.1 de gösterilmiş olup, şu an ICI Imagedata tarafından kullanılmakta olan daha karmaşık yazıcı başlığıyla karşılaştırılabilir (Şekil 2.4). Şekil 3.1 de görülen sol taraftaki ısı kanalının kalınlığı genellikle $400 \mu\text{m}$ dir ve alüminyum gibi iyi bir iletkenle yapılmıştır. Bu tabakanın görevi özellikle soğuma periyodu süresince ısıyı verimli bir şekilde iletmek ve hareket ettirmektir. Sağ taraftaki ısı kanalı ise alıcı tabakanın metal destekleyicisi durumundadır. Kanalların ısı kapasitelerinin son derece yüksek olduğu varsayılmıştır, böylelikle bunların sıcaklığı genellikle başlangıç sıcaklığı olan 25°C de sabit kalır.

Yazıcı başlığındaki dirence gelen akım hızlı bir şekilde 32 ms için 8 ms (%25 görev döngüsü ile), yani periyodun 1/4 ü kadar bir süre için sağlanır (açılır ve kapatılır). Bu hızlı periyodik tavrı, ısıtma periyodunun iyi ayarlanmasını sağlar. Isıtmanın ortalama değeri $Q = 3.22 \times 10^6 \text{W/m}^2$ ve maksimum değeri $Q_{\max} = 1.29 \times 10^7 \text{W/m}^2$ dir.



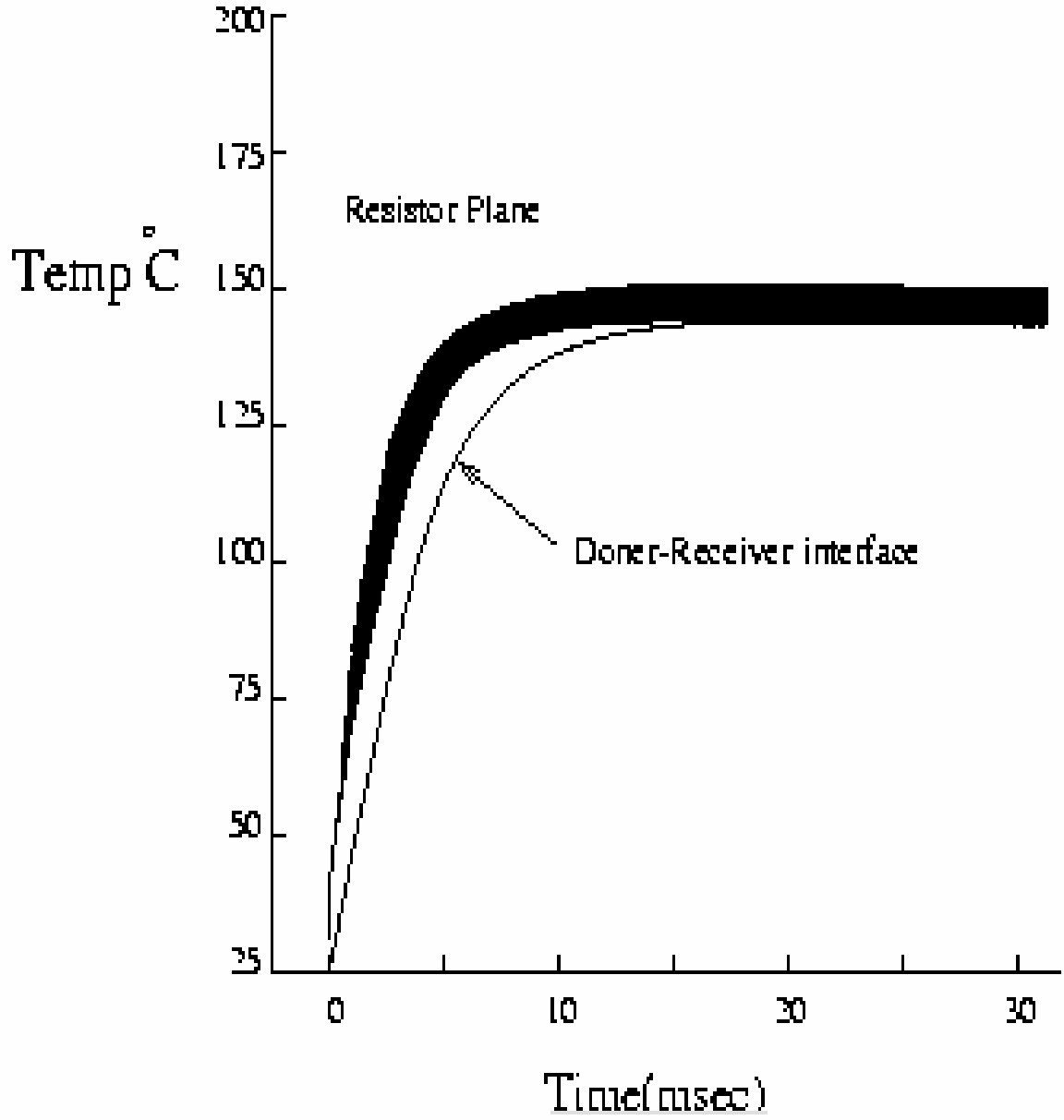
Şekil 3.1 : Bir yazıcı sisteminin geometrik yapısı, ölçüleri değildir (Connolly, 1994).

Şekil 3.1 deki dört tabakanın ısı özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir:

Tabaka	Kalınlık (μm)	Isıl İletkenlik ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	Isı Kapasitesi(J/m^3)
Yalıtkan (H_1)	10-100	0.3-2.0	1.86×10^6
Kapak (H_2)	6	2.0	1.94×10^6
Boya (H_3)	7	0.15	1.76×10^6
Alıcı (H_4)	100	0.09	0.82×10^6

Tablo 3.1 : Connolly'nin problemindeki değişik fiziksel parametrelerin değerleri.

Connolly nümerik bir metod kullanarak sabit olmayan bir lineer ısı iletim denklemini çözmüş fakat daha çok, zamanla değişen boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki $T_d(t)$ sıcaklık değişimi üzerinde durmuştur. Connolly'ye göre $T_d(t)$, boyanın dağılımı için anahtar bir değişkendir. Isı kaynağındaki sıcaklığın periyodik bir bileşeni vardır fakat Connolly'nin nümerik sonuçlarına göre ısı kaynağından uzaklaştıkça sıcaklık salınımlarının genliği hızlı bir şekilde kaybolur ve $T_d(t)$ sıcaklığı ihmal edilebilir bir salınım sergiler. Bu durum Grafik 3.1 de gösterilmiştir.



Grafik 3.1: 32 ms lik raster satır boyunca, 256 PCM itme için direnç düzlemi ve arayüzün geçiş sıcaklığı

Bunun temel sebebi, boya tabakasındaki ω frekanslı sıcaklık salınımlarının genliğinin $\sqrt{\alpha_3/\omega} = 1.3 \mu\text{m}$ uzunluk ölçüsü üzerinde kaybolmasıdır. Burada α_3 ısı dağılım katsayısını göstermektedir.

$\alpha_3 = 8.5 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$ ve $\omega = 16\pi \times 10^3 \text{s}^{-1}$ dir. Bu uzunluk boya tabakasının kalınlığı ($7 \mu\text{m}$) ile karşılaştırıldığında kısadır. Böylelikle direnç düzlemindeki ısı kaynağı tarafından üretilen sıcaklık salınımları boya tabakası/alıcı tabaka arayüzünün ucunda ortadan kaybolur. Boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki sıcaklık salınımlarının genliğinin 1°C den çok daha az olduğu görülmüştür.

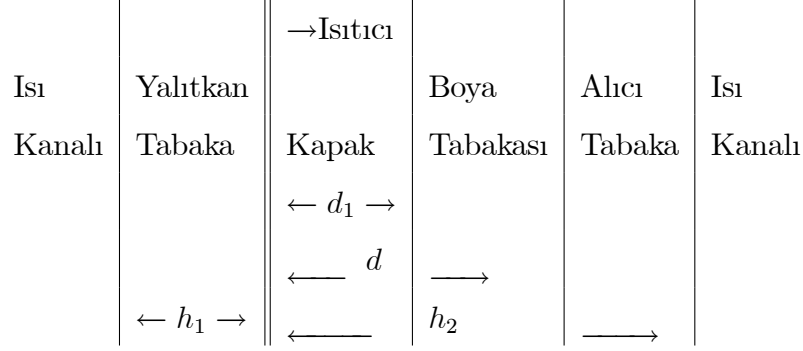
Connolly'nin ısı iletim denklemi lineerdir ve böylece boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki sıcaklık değişiklikleri ortalama ısıtma miktarı Q tarafından belirlenir. Connolly $T_d(t)$ sıcaklığını zamana bağlı ve nümerik katsayılı iki üstel ifadenin toplamı olarak düşünmüştür.

Connolly'nin temel varsayımı, uzun bir süre sonunda transfer edilen boya miktarının arayüzde elde edilen en yüksek sıcaklıkla yakından ilişkili olup “sıcaklık anındaki süre” tarafından kontrol edilmesidir. “Sıcaklık anındaki süre”de $T_d(t)$ kritik bir sıcaklığın üzerinde olur. İCI deneylerinin sonuçlarına göre sıcaklıkla birlikte boya dağılım katsayısında meydana gelen hızlı artış, boyanın ulaştığı en yüksek sıcaklığın belirgin bir değer alacağını göstermiştir. Connolly'nin diğer bir varsayımı, alıcı tabakaya zarar gelmesini önlemek için alıcı tabaka sıcaklığının $T_s = 225^\circ\text{C}$ yi aşmaması ve bu sıcaklığın arayüzdeki sabit durum sıcaklığı olarak değerlendirilmesidir. $T = T_c$ sıcaklığının üzerinde hızlı bir boya dağılımı başlar ve bunu tanımlamak daha da zordur. Connolly bunun cam geçiş sıcaklığı olan 125°C olduğunu belirtmiştir fakat ulaşılan en yüksek $T = T_s$ sıcaklığında dağılım katsayısının karakteristik sıcaklık bağımlılığı baz alınarak daha realist bir seçim yapılabilir.

Connolly'nin modeli Laplace dönüşümleri yoluyla analitik olarak çözülebilir fakat sonuçlar cebirsel olarak çok karışıktır çünkü modelde dört tabaka vardır.

Öte yandan alıcı tabaka; kapak ve boya tabakasından çok daha kalın olduğu için alıcı tabakanın ısı özelliklerinin daha önemli olduğu düşünülebilir.

Bundan dolayı bu çalışmada basit bir 2-tabakalı model gözönüne alınmıştır. Bu modelde tipik değeri 32 ms olan belli bir ısıtma süresi t_h için sabit bir oranda ısı sağlanır. Bu durum Şekil 3.2 de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Bir yazıcı sistemindeki farklı tabakaların basitleştirilmiş geometrik yapısı, ölçülü değildir (Birleştirilmiş tabaka: Kapak/Boya Tabakası/Alıcı Tabaka).

3.3 Basitleştirilmiş Connolly Modeli

Basitleştirilmiş modelin fiziksel özellikleri Şekil 3.3 te gösterilmiştir. Bu modelde;

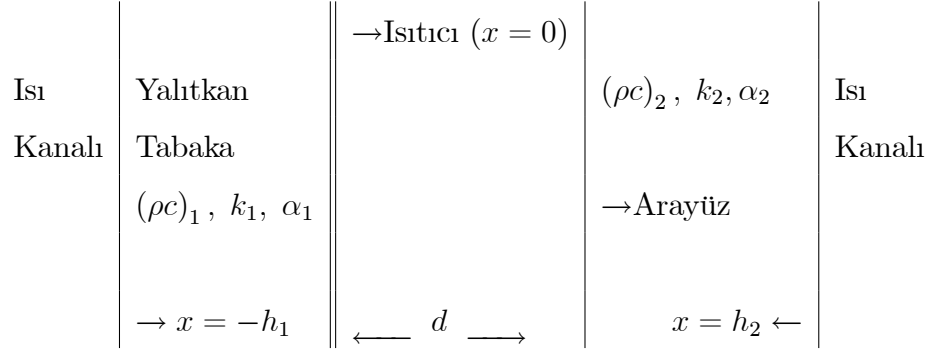
$$\text{Isı kapasiteleri} \quad : \quad (\rho c)_1 = 1.86 \times 10^6 \text{ ve } (\rho c)_2 = 0.82 \times 10^6$$

$$\text{İletkenlikler} \quad : \quad k_1 = 1.0 \quad \text{ve} \quad k_2 = 0.09$$

$$\text{Isıl dağılım katsayıları} \quad : \quad \alpha_1 = 5.3 \times 10^{-7} \quad \text{ve} \quad \alpha_2 = 1.1 \times 10^{-7}$$

şeklindedir.

Birleştirilmiş tabakanın kalınlığı olan $h_2 = 113 \mu\text{m}$ sabit olup, yalıtkan tabaka kalınlığı h_1 değişkendir. Pratikte h_1 için tipik bir değer $40 \mu\text{m}$ dir. Burada $x = d = 13 \mu\text{m}$ uzaklığındaki sıcaklık değişimleri ile ilgilenilecektir.



Şekil 3.3 : Yazıcı sistemindeki basitleştirilmiş iki tabakalı modelin geometrik yapısı, ölçülü değildir (Birleştirilmiş tabaka: $0 < x \leq h_2$).

Sistemin ısı iletim denklemleri

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = \alpha_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, \quad -h_1 \leq x < 0 \quad (3.3.1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \alpha_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \quad 0 < x \leq h_2 \quad (3.3.2)$$

şeklindedir.

Sınır değerleri;

$$\begin{aligned} x &= -h_1 \text{ için } T_1 = T_A \text{ ve} \\ x &= h_2 \text{ için } T_2 = T_A \text{ dır.} \end{aligned}$$

Burada T_A , başlangıç sıcaklığı olup $25^\circ C$ dir.

$x = 0$ arayüzünde (direnç düzleminde) t_h lik bir sürede sabit oranda Q ısı sağlanır. Böylelikle ;

$$k_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} - k_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \begin{cases} Q, & 0 \leq t < t_h \\ 0, & t > t_h \end{cases} \quad (3.3.3)$$

denklemi geçerli olup $x = 0$ da her t için $T_1 = T_2$ dir. Bu basitleştirilmiş modelde direnç tabakasının ısı kapasitesi ihmal edilmiştir. $-h_1 \leq x \leq h_2$ için başlangıç şartı $T = T_A$ dır.

O halde A_1 ve B_1 reel sabitler olmak üzere,

$$T_1 - T_A = A_1(x + h_1) \quad (3.3.4)$$

$$T_2 - T_A = B_1(h_2 - x) \quad (3.3.5)$$

yazılabilir.

$x = 0$ da $T_1 = T_2$ olduğundan

$$A_1 h_1 = B_1 h_2 \quad (3.3.6)$$

olur.

$0 \leq t < t_h$ için

$$k_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} - k_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = Q \quad (3.3.7)$$

olduğundan

$$A_1 k_1 + B_1 k_2 = Q \quad (3.3.8)$$

bulunur. Buradan

$$A_1 = \frac{Q - B_1 k_2}{k_1} \quad (3.3.9)$$

elde edilir. Bu değer (3.3.6) eşitliğinde yerine yazılırsa

$$B_1 = \frac{Q h_1}{h_2 k_1 + k_2 h_1} \quad (3.3.10)$$

bulunur.

$x = d$ uzaklığında, $t_h = \infty$ iken sabit durum sıcaklığı $T_d(\infty) = T$ ile gösterilirse

$$T - T_A = B_1(h_2 - d) \quad (3.3.11)$$

eşitliğinden

$$T_d(\infty) - T_A = \frac{Q(1 - d/h_2)}{\left(\frac{k_1}{h_1} + \frac{k_2}{h_2}\right)} \quad (3.3.12)$$

bulunur.

Burada $T_d(\infty) = T_2(d, \infty)$ olup $T_d(\infty)$ nin h_1/k_1 e bağılı bir fonksiyon olduğu görülmektedir.

Connolly alıcı tabakaya zarar gelmemesi için $x = d$ uzaklığında sıcaklığın $T_s = 225^\circ C$ yi aşmaması gerektiğini düşünmüştür. Hızlı boya dağılımı için $x = d$ uzaklığında mümkün oldukça yüksek bir sıcaklık gerekir. Bu noktada Connolly sabit durumda

$$T_d(\infty) = T_s \quad (3.3.13)$$

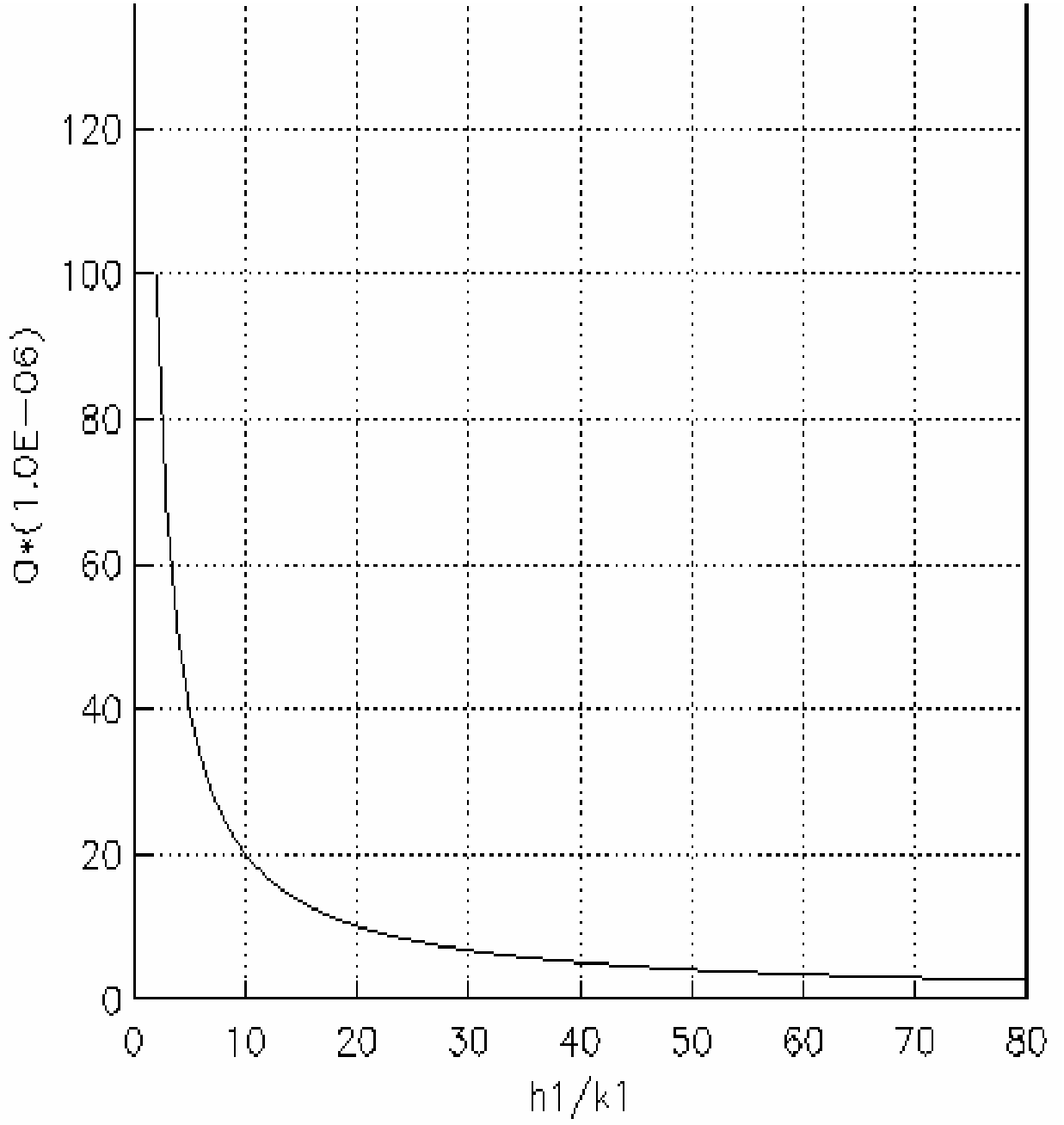
olduğunu kabul eder ($T_s = 225^\circ C$). Grafik 3.2 bu durumda Q ve h_1/k_1 arasındaki ilişkiyi (3.3.12) yardımıyla göstermektedir. $h_1 \rightarrow 0$ iken $Q \rightarrow \infty$ olduğu görülebilir.

Connolly'nin nümerik sonuçlarına göre, h_1 değeri küçüldüğünde sıcaklık $x = d$ uzaklığında sabit durum değerine daha hızlı ulaşmaktadır. t_r (karşılık verme süresi) değeri “verilen bir değere ulaşma süresi” (örneğin, $T_c = 200^\circ C$ gibi) olarak tanımlansın. Bu durumda $t_r < t < t_h$ için $x = d$ uzaklığındaki sıcaklık, T_c ve $225^\circ C$ arasında yüksek bir değerde olacaktır. Böylelikle “sıcaklık anındaki süre”, $t_h - t_r = t_{temp}$ olacaktır. t_{temp} süresindeki artma boya dağılımında bir artışa neden olacaktır. Böylece h_1 değerini küçültme yoluyla t_r süresini azaltmak mümkünse, ısıtma süresini (t_h) azaltarak aynı miktar boya transferi gerçekleştirilebilir. Bu durumda gereken toplam enerji

$$E = Qt_h = Q(t_r + t_{temp}) \quad (3.3.14)$$

olur.

h_1 değerinin küçülmesi durumunda t_r değeri azalır fakat Q artar. Böylece t_{temp} in sabit bir değeri için h_1 in özel bir değer alması durumunda E nin minimum bir değere ulaşması beklenir. Bu, Connolly'nin sözünü ettiği optimum durumdur. Burada E nin minimizasyonu probleminin h_1 için realistik değerler verdiği gösterilmeye çalışılacaktır. Ayrıca alıcı tabakadaki son boya miktarı temelde t_{temp} süresine bağlıdır ve çoğu zaman da h_1 değeri ile ilgili değildir.



Grafik 3.2: h_1/k_1 ve Q arasındaki ilişki

Bu tasarıda toplam enerji E nin minimum olabilmesi için h_1 değerinin uygun seçimi önem taşır. Öte yandan başlıktan aşırı akım geçişinden uzak durmak için Q nun özel bir \hat{Q} değerini aşmaması sıkıntı oluşturabilir.

(3.3.12) denkleminde bu durum

$$\frac{h_1}{k_1} \geq \left(-\frac{k_2}{h_2} + \frac{\hat{Q}(1 - d/h_2)}{\Delta T_s} \right)^{-1} \quad (3.3.15)$$

$$(\Delta T_s = T_s - T_A = 200^\circ C)$$

şeklinde özetlenebilir. h_1/k_1 ifadesinin minimum değerini aldığı kabul edilirse, t_r değerinin minimize olabilmesi için h_1 ve k_1 değerlerinin ayrı ayrı uygun seçimlerinin mümkün olup olmadığı araştırılabilir. Fakat bu problem burada gözönüne alınmamıştır.

Connolly tarafından kullanılan kopolimer (copolymer) üzerinde yapılan bir çalışmanın sonuçlarına göre $140^\circ C$ nin üzerinde dağılım katsayısı

$$D(T) = 1.25 \times 10^{-10} \exp\left(\frac{T}{50}\right) \text{ m}^2/\text{s} \quad (3.3.16)$$

dir. Burada T , $^\circ C$ olarak düşünülmüştür. $T = T_s$ değerinin yakınında $D(T)$ değerinin T değeri ile ne kadarlık bir değişime uğradığına bakılmak istendiğinde, eğer $(T_s - T)/50$ değeri yeterince küçük ise

$$\frac{D(T_s)}{D(T)} \simeq 1 + \frac{T_s - T}{50} \quad (3.3.17)$$

olduğu görülebilir.

Böylelikle T_s ye yakın değerlerde $D(T)$, $50^\circ C$ ye kadar değişiklik gösterir.

$T_c = 200^\circ C$ alınırsa $T_s - T_c = 25^\circ C$ olur.

Connolly'nin modelinde olduğu gibi T_c nin doğru değerinin seçimi problemi sadece ısıl bir modelde çözülemez çünkü boya dağılımının gözönüne alınması gerekir.

Fakat $T_c \simeq 200^\circ C$ seçilmesi durumunda ısıl model kullanılarak mantıklı sonuçlar alınabilir.

Yukarıda belirtilen optimizasyon problemini çözebilmek için, boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki $T_d(t)$ sıcaklığını bulmak gerekir. Böylelikle t_r değeri de bulunmuş olur ve $T_d(t_r) = T_c$ olur. Bu bir sonraki kısımda gözönüne alınacaktır.

Özet olarak, boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki sabit durum sıcaklığının daha önce belirlenmiş bir sabit durum değeri olan $T_s = 225^\circ C$ ye en kısa sürede ulaşması ve enerjinin t_{temp} in verilen bir değerine göre minimum olması için gerekli optimum h_1 ve Q değerleri araştırılacaktır.

Öte yandan Connolly'nin probleminin ve yukarıda formüle edilen matematiksel problemin potansiyel olarak tatmin edici olmayan bir özelliği vardır: h_1 in optimal değeri t_{temp} in değeri ile değişim gösterir ve böylelikle alıcı tabakadaki son boya oranı ile de değişir. Yazım esnasında h_1 değeri sabit olduğu halde başlığın küçük ve büyük miktarlarda boya içeren noktalar üretmesi gerekecektir. Eğer optimizasyon probleminin pratikte bir önemi varsa, h_1 in optimal değeri t_{temp} e bağlı olarak belirgin bir şekilde değişmemelidir. Bu daha sonra tartışılacaktır.

3.4 Arayüz Sıcaklığını Belirlemek İçin Laplace Dönüşümü Metodu

$\theta_1, \theta_2, x_1, x_2$ ve τ boyutsuz değişkenleri,

$$\theta_1 = \frac{(T_1 - T_A) k_1}{h_1 Q} \quad (3.4.1)$$

$$\theta_2 = \frac{(T_2 - T_A) k_1}{h_1 Q} \quad (3.4.2)$$

$$x_1 = \frac{x}{h_1}, \quad -h_1 < x < 0 \quad (3.4.3)$$

$$x_2 = \frac{x}{h_2}, \quad 0 < x < h_2 \quad (3.4.4)$$

$$\tau = \frac{\alpha_2 t}{h_2^2} \quad (3.4.5)$$

şeklinde tanımlansın.

Böylelikle (3.3.1) ve (3.3.2) denklemleri

$$\beta^2 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x_1^2}, \quad -1 \leq x_1 \leq 0 \quad (3.4.6)$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial x_2^2}, \quad 0 \leq x_2 \leq 1 \quad (3.4.7)$$

biçimine dönüştür.

$x_1 = x_2 = 0$ arayüzünde $\theta_1 = \theta_2$ dir ve (3.3.3) denklemi

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial x_1} - \delta \frac{\partial \theta_2}{\partial x_2} = \begin{cases} 1, & 0 < \tau < \tau_h \\ 0, & \tau > \tau_h \end{cases} \quad (3.4.8)$$

biçimine dönüştür.

Sınır değerleri $x_1 = -1$ için $\theta_1 = 0$ ve $x_2 = 1$ için $\theta_2 = 0$ dir.

$\tau = 0$ için başlangıç şartı $\theta_1 = \theta_2 = 0$ dir.

Boyutsuz parametreler olan β , δ ve τ_h değerleri

$$\beta = \frac{h_1}{h_2} \sqrt{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}}, \quad \delta = \frac{h_1 k_2}{h_2 k_1} \quad \text{ve} \quad \tau_h = \frac{\alpha_2 t_h}{h_2^2} \quad (3.4.9)$$

şeklindedir.

Laplace Dönüşümü,

$$\bar{\theta}_1(x_1, p) = \int_0^{\infty} \theta_1(x_1, \tau) e^{-p\tau} d\tau \quad (3.4.10)$$

$$\bar{\theta}_2(x_2, p) = \int_0^{\infty} \theta_2(x_2, \tau) e^{-p\tau} d\tau \quad (3.4.11)$$

biçiminde tanımlansın.

(3.4.6) eşitliğinin her iki tarafına Laplace Dönüşümü uygulanırsa,

$$L \left\{ \beta^2 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} \right\} = L \left\{ \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x_1^2} \right\} \quad (3.4.12)$$

eşitliğinin sol tarafından

$$L \left\{ \beta^2 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} \right\} = \beta^2 \int_0^{\infty} \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} e^{-p\tau} d\tau \quad (3.4.13)$$

$$= \beta^2 \lim_{a \rightarrow \infty} \int_0^a e^{-p\tau} \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} d\tau \quad (3.4.14)$$

$$= \beta^2 \lim_{a \rightarrow \infty} \left[e^{-p\tau} \theta_1(x_1, \tau) \Big|_0^a + p \int_0^a \theta_1(x_1, \tau) e^{-p\tau} d\tau \right] \quad (3.4.15)$$

$$= \beta^2 \lim_{a \rightarrow \infty} \left[e^{-pa} \theta_1(x_1, a) - \theta_1(x_1, 0) + p \int_0^a \theta_1(x_1, \tau) e^{-p\tau} d\tau \right] \quad (3.4.16)$$

$$= \beta^2 \left[\underbrace{-\theta_1(x_1, 0)}_0 + p \underbrace{\int_0^{\infty} \theta_1(x_1, \tau) e^{-p\tau} d\tau}_{\bar{\theta}_1(x_1, p)} \right] \quad (3.4.17)$$

$$= \beta^2 p \bar{\theta}_1(x_1, p) \quad (3.4.18)$$

elde edilir. (3.4.12) eşitliğinin sağ tarafından

$$L \left\{ \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x_1^2} \right\} = \int_0^{\infty} e^{-p\tau} \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x_1^2} d\tau \quad (3.4.19)$$

$$= \frac{d^2}{dx_1^2} \underbrace{\int_0^{\infty} e^{-p\tau} \theta_1 d\tau}_{\bar{\theta}_1(x_1, p)} = \frac{d^2 \bar{\theta}_1(x_1, p)}{dx_1^2} \quad (3.4.20)$$

bulunur. (3.4.12), (3.4.18) ve (3.4.20) birlikte gözönüne alındığında

$$\beta^2 p \bar{\theta}_1 = \frac{d^2 \bar{\theta}_1}{dx_1^2} \quad (3.4.21)$$

yazılabilir.

Benzer düşünce ile (3.4.7) ve (3.4.8) eşitliklerine Laplace Dönüşümü uygulanırsa

$$p\bar{\theta}_2 = \frac{d^2\bar{\theta}_2}{dx_2^2} \quad (3.4.22)$$

ve

$$\frac{d\bar{\theta}_1}{dx_1} - \delta \frac{d\bar{\theta}_2}{dx_2} = \frac{1}{p}(1 - e^{-p\tau_h}) \quad (3.4.23)$$

elde edilir. $\tau_h \rightarrow \infty$ için $1 - e^{-p\tau_h} \rightarrow 1$ dir.

(3.4.21) eşitliğinden

$$\bar{\theta}_1 = C(p)e^{\beta\sqrt{p}x_1} + D(p)e^{-\beta\sqrt{p}x_1} \quad (3.4.24)$$

$$\bar{\theta}_1 = A(p) \cosh \beta\sqrt{p}x_1 + B(p) \sinh \beta\sqrt{p}x_1 \quad (3.4.25)$$

bulunur.

$x_1 = -1$ için $\bar{\theta}_1 = 0$ olduğundan, (3.4.25) yardımıyla

$$B(p) = A(p) \coth \beta\sqrt{p} \quad (3.4.26)$$

bulunur.

(3.4.22) eşitliğinden

$$\bar{\theta}_2 = E(p)e^{\sqrt{p}x_2} + F(p)e^{-\sqrt{p}x_2} \quad (3.4.27)$$

$$\bar{\theta}_2 = A_1(p) \cosh \sqrt{p}x_2 + B_1(p) \sinh \sqrt{p}x_2 \quad (3.4.28)$$

elde edilir. $x_2 = 1$ için $\bar{\theta}_2 = 0$ olduğundan, (3.4.28) yardımıyla

$$B_1(p) = -A_1(p) \coth \sqrt{p} \quad (3.4.29)$$

bulunur.

(3.4.25) ve (3.4.28) yardımıyla (3.4.23) eşitliği çözümlerse

$$\begin{aligned} & A(p)\beta\sqrt{p} \sinh \beta\sqrt{p}x_1 + B(p)\beta\sqrt{p} \cosh \beta\sqrt{p}x_1 \\ & -\delta [A_1(p)\sqrt{p} \sinh \sqrt{p}x_2 + B_1(p)\sqrt{p} \cosh \sqrt{p}x_2] = \frac{1}{p}(1 - e^{-p\tau_h}) \end{aligned} \quad (3.4.30)$$

bulunur.

$x_1 = x_2 = 0$ için (3.4.30) denkleminde

$$B(p)\beta\sqrt{p} - \delta B_1(p)\sqrt{p} = \frac{1}{p}(1 - e^{-p\tau_h}) \quad (3.4.31)$$

elde edilir. (3.4.26), (3.4.29) ve (3.4.31) birlikte çözümlerse

$$A(p)\beta\sqrt{p} \coth \beta\sqrt{p} + \delta A_1(p)\sqrt{p} \coth \sqrt{p} = \frac{1}{p}(1 - e^{-p\tau_h}) \quad (3.4.32)$$

bulunur. $x_1 = x_2 = 0$ da $A(p) = A_1(p)$ olduğundan, (3.4.32) yardımıyla

$$A(p) = \frac{1 - e^{-p\tau_h}}{\beta p^{3/2}(\coth \beta\sqrt{p} + \gamma \coth \sqrt{p})} \quad (3.4.33)$$

elde edilir. Burada

$$\beta = \frac{h_1}{h_2} \sqrt{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}} \quad \text{ve} \quad \gamma = \frac{k_2}{k_1} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \frac{\delta}{\beta} \quad (3.4.34)$$

şeklindedir.

(3.4.28), (3.4.29) ve (3.4.33) yardımıyla $x_2 = \mu$, $\mu = d/h_2$ için $x = d$ uzaklığında sıcaklığın boyutsuz Laplace Dönüşümü

$$\bar{\theta}_2(\mu, p) = \frac{A(p) \sinh(1 - \mu)\sqrt{p}}{\sinh \sqrt{p}} \quad (3.4.35)$$

bulunur.

Dikkat edilecek olursa β , h_1 ile orantılı iken γ , h_1 den bağımsızdır. (3.4.33) denklemindeki $(1 - e^{-p\tau_h})$ çarpanı $\tau_h \rightarrow \infty$ iken 1 e yakınsadığından dolayı $\theta_2(\mu, \tau)$, $0 < \tau < \tau_h$ için $f(\mu, \tau)$ formunda ifade edilebilir.

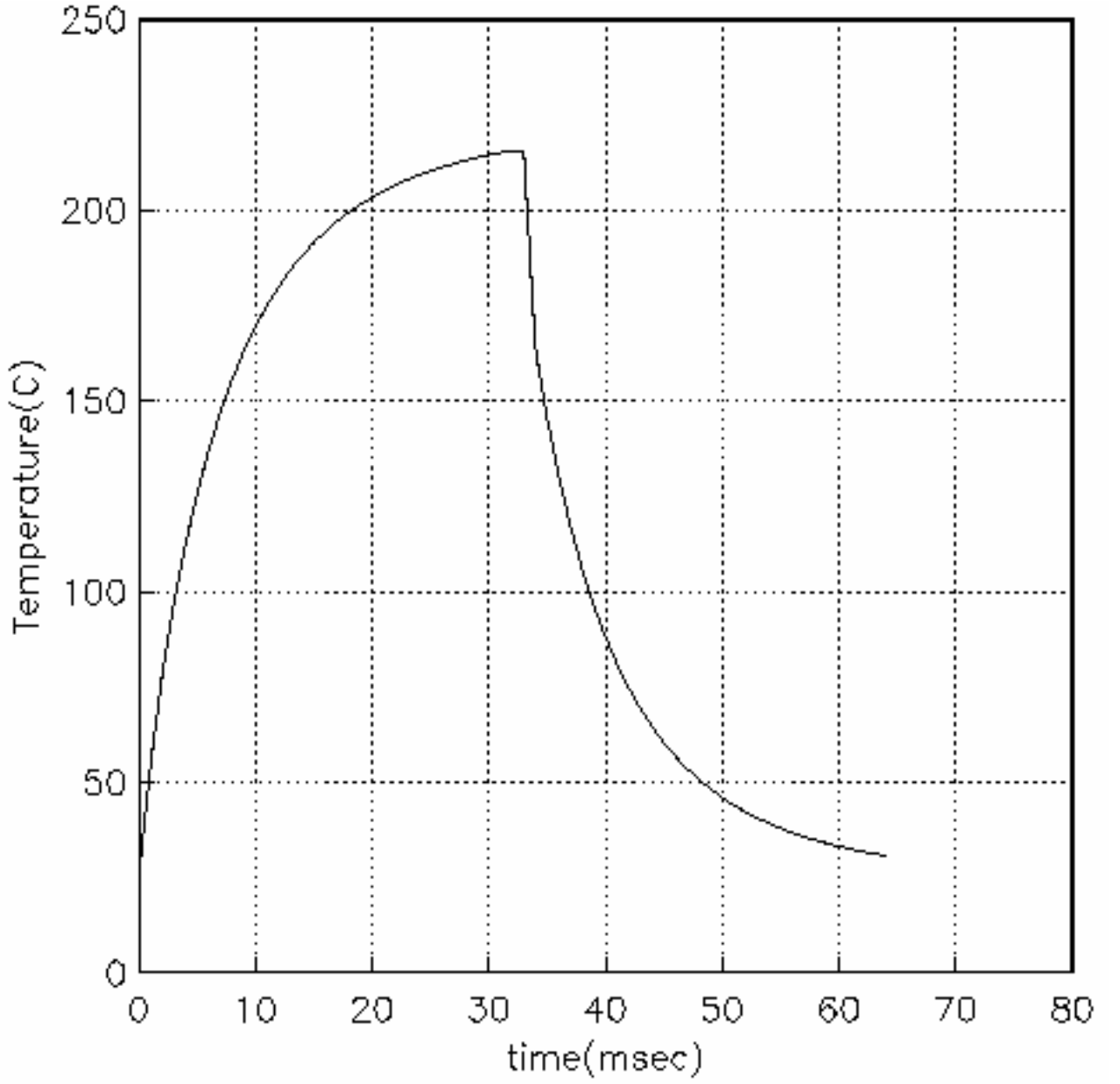
$\tau = \tau_h$ için θ_2 kendi sabit değerine yakınsıyorsa; arayüzdeki sıcaklığın $175^\circ C$ yükselmesi için gereken zaman, ısıtma işlemi tamamlandığında sıcaklığın $175^\circ C$ düşmesi için gereken zamanla yaklaşık olarak aynıdır. Yani τ_r minimize edilirse sistemin başlangıç statüsüne ulaşması için gereken zaman da minimize edilmiş olur.

Grafik 3.3 te, sıcaklığın $25^{\circ}C$ den $200^{\circ}C$ ye yükselmesi için 18 ms gerektiği, $215^{\circ}C$ den $40^{\circ}C$ ye düşmesi için de yaklaşık 18 ms gerektiği görülmektedir. Bu değerler $h_1 = 60\mu m$ seçilerek elde edilmiştir.

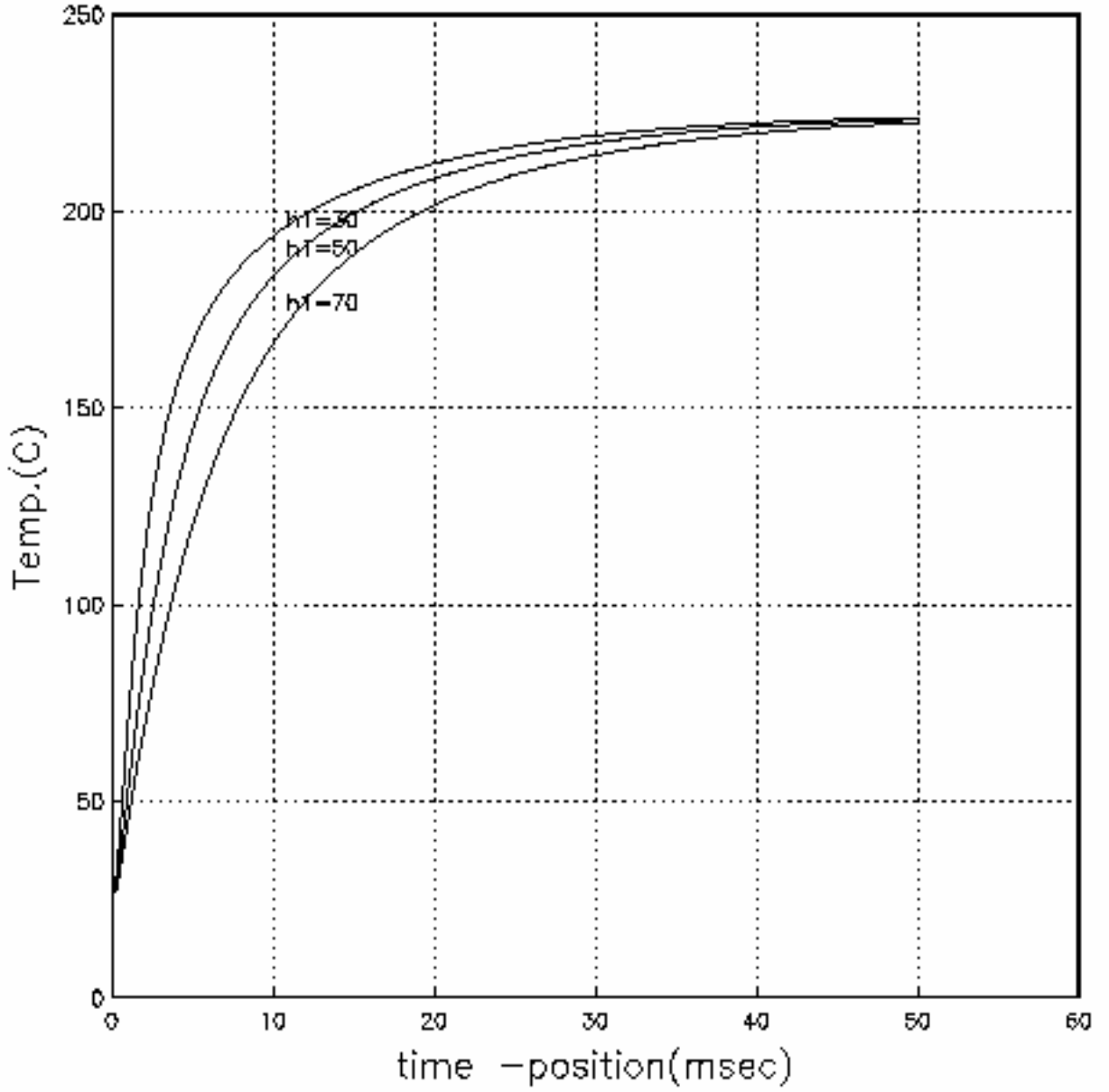
Hata fonksiyonu, Bromwich İntegrali gibi genelleştirilmiş integrallerin nümerik değerlerinin hesaplanmasında kolaylık sağlayan NAG Fortran Library Routine Document C06LBF programı kullanılarak (3.4.35) eşitliğinin Ters Laplace Dönüşümü nümerik olarak değerlendirilmiş ve boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki boyutsal sıcaklığın boyutsal zamana bağlı çözümü Grafik 3.3 te gösterilmiştir.

Isıtıcı kapatılmamış iken h_1 in üç farklı değeri için $T_d(t)$ nin değişimi Grafik 3.4 te gösterilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi h_1 in küçük değerleri için sabit duruma daha çabuk ulaşılmaktadır. Connolly de buna benzer sonuçlar elde etmiştir.

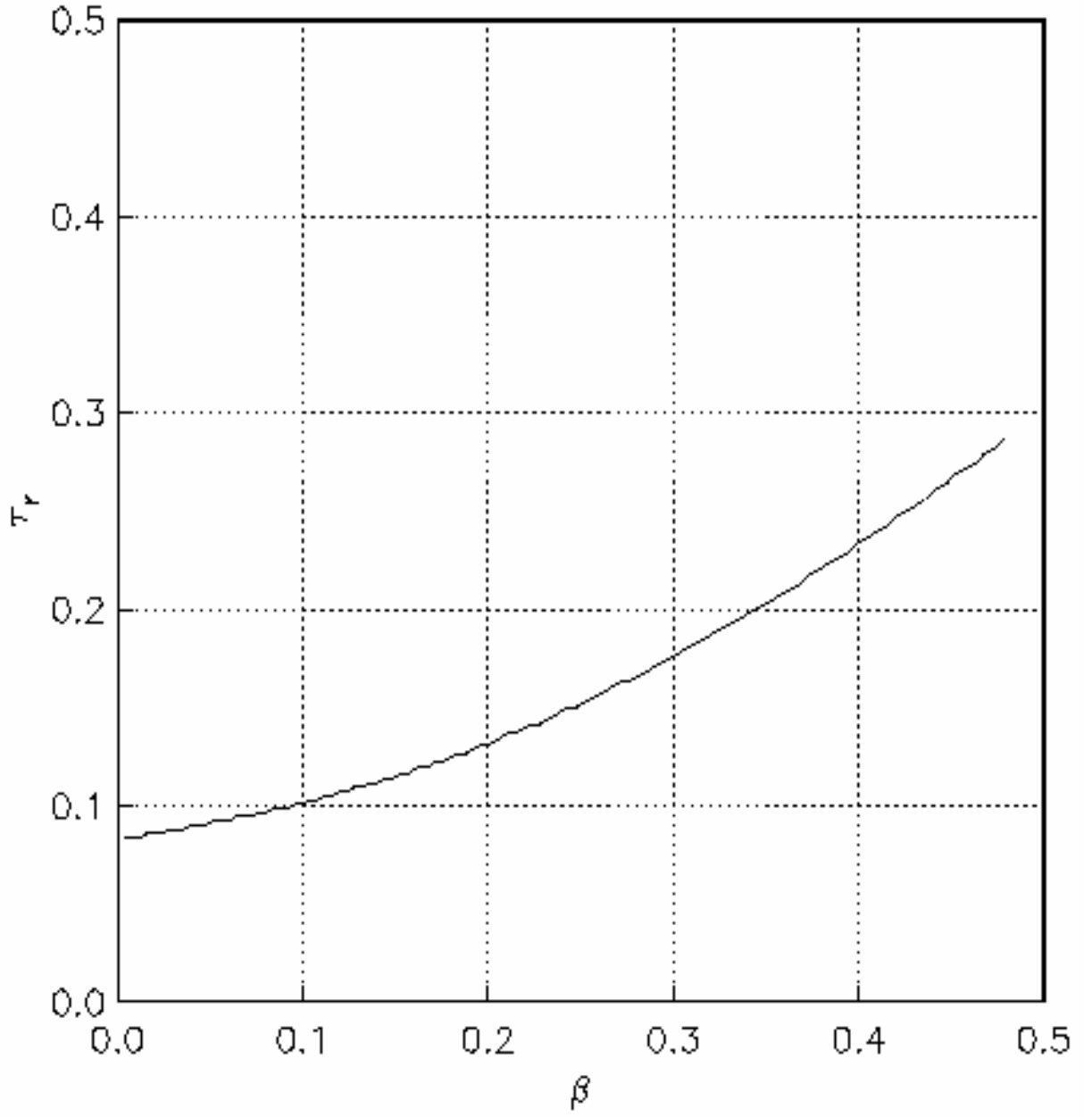
Öte yandan verilen bir sıcaklığa (örneğin $200^{\circ}C$) ulaşmak için gereken süre, h_1 değerinin azalmasıyla düşmeye devam etmemektedir. Bu durum Grafik 3.5 te gösterilmiştir. Bu grafikte β ya bağlı bir fonksiyon olarak boyutsuz karşılık verme süresi $\tau_r = t_r \alpha_2 / h_2^2$ görülmektedir. β ise h_1 ile orantılıdır. Bu, $T_d(t_r) = T_c$ denkleminin boyutsuz formunun çözümü ile elde edilmiştir. $\beta \rightarrow 0$ iken, $\tau_r \rightarrow 0.084$ sabit değerine yakınsar. Bu değer analitik olarak Bromwich integrali yardımıyla hesaplanabilir.



Grafik 3.3 : $t_h = 32$ ms için boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki sıcaklığın zamana bağlı değişimi



Grafik 3.4: $h_1 = 30 \mu\text{m}$, $h_1 = 50 \mu\text{m}$ ve $h_1 = 70 \mu\text{m}$ için boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki sıcaklığın zamana bağlı değişimi



Grafik 3.5: β ya bağlı bir fonksiyon olarak 200°C ye ulaşmak için gereken surenin grafiği

$\bar{\theta}_2(\mu, p)$ nin Ters Laplace dönüşümü Bromwich integrali ile elde edilir:

$$\theta_2(\mu, \tau) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \bar{\theta}_2(\mu, p) e^{p\tau} dp \quad (3.4.36)$$

dir. Buradaki c reel sabiti $\bar{\theta}_2(\mu, p)$ nin kompleks p -düzlemindeki bütün singüleritelerinin sağ tarafına düşer.

(3.4.36) denklemi

$$\theta_2(\mu, \tau) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \frac{f(p)}{g(p)} e^{p\tau} dp \quad (3.4.37)$$

formunda yazılabilir. Burada

$$f(p) = \frac{\sinh(1-\mu)\sqrt{p}}{\beta p^{3/2} \sinh \sqrt{p}} \quad (3.4.38)$$

ve

$$g(p) = \coth \beta \sqrt{p} + \gamma \coth \sqrt{p} \quad (3.4.39)$$

şeklinindedir. Bu durumda $n = 1, 2, 3, \dots$ değerleri için $\frac{f(p)}{g(p)} e^{p\tau}$ nin $p = 0$ ve $p = -\sigma_n^2$ olmak üzere basit kutupları vardır. Rezidü Teoremi yardımıyla

$$\theta_2(\mu, \tau) = \underbrace{\frac{1-\mu}{1+\beta\gamma}}_{p=0 \text{ daki rezidü}} + \underbrace{\sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-\sigma_n^2 \tau}}_{\text{diğer köklerdeki rezidü}} \quad (3.4.40)$$

elde edilir. Burada

$$C_n = \frac{f(-\sigma_n^2)}{g'(-\sigma_n^2)} \quad (3.4.41)$$

olup

$$\sigma_n, \cot \beta \sigma_n + \gamma \cot \sigma_n = 0 \quad (3.4.42)$$

denkleminin bir köküdür.

(3.4.40) eşitliğinin sağ tarafındaki ilk terim, (3.3.12) eşitliğinde verilen sabit durumun boyutsuz formudur.

Burada daha çok h_1 değerinin küçük olması durumunda, yani $\beta \rightarrow 0$ iken sabit duruma yaklaşma ile ilgilenilecektir.

$\beta \rightarrow 0$ olması durumunda

$$\frac{f(p)}{g(p)} = \frac{\sinh(1-\mu)\sqrt{p}}{p \sinh \sqrt{p}} \quad (3.4.43)$$

ve $\sigma_n = n\pi$ olmak üzere,

$$C_n = \frac{2 \sin [n\pi (1-\mu)]}{(n\pi) \cos n\pi} \quad (3.4.44)$$

olur.

Özel olarak, yaklaşık sabit durum sıcaklığı

$$\theta_2(\mu, \tau) = 1 - \mu - \frac{2}{\pi} \sin(\mu\pi) e^{-\pi^2\tau} - \frac{1}{\pi} \sin(2\pi\mu) e^{-4\pi^2\tau} \quad (3.4.45)$$

şeklindedir.

Sıcaklığın $175^\circ C$ yükselmesi için gereken süre olan τ_r nin sabit durum değeri yaklaşık olarak

$$e^{\pi^2\tau_r} = \frac{2 \sin(\mu\pi)}{0.125\pi(1-\mu)} = 2.03 \quad (3.4.46)$$

eşitliğinden elde edilir. Burada (3.4.45) denklemindeki $e^{-4\pi^2\tau}$ ifadesini içeren terim ihmal edilmiştir. $\mu = 0.115$ alınması durumunda $\tau_r = 0.072$ olur. Bu değer τ_r için mümkün olabilecek en küçük değerdir. Bu değer γ dan bağımsız olup sadece μ değerine bağlıdır. τ_r için yapılan bu analitik tahmin 0.084 nümerik sonucundan biraz küçüktür. Daha yaklaşık bir sonuç elde etmek için (3.4.45) denklemindeki $e^{-4\pi^2\tau}$ ifadesini içeren terim ihmal edilmezse, yaklaşık olarak $\tau_r = 0.084$ bulunur.

3.5 Enerji Minimizasyonu Problemi

Enerji minimizasyonunda temel varsayımlar şunlardır:

(i) Arayüzdeki sabit durum sıcaklığı $225^{\circ}C$ kabul edilir. Bu, ısıtma oranı Q ile yalıtkan tabaka kalınlığı h_1 arasındaki bir ilişkiye öncülük eder. Bu durum Grafik 3.2 de görülebilir ($h_1 \rightarrow 0, Q \rightarrow \infty$).

(ii) Arayüzdeki $T_d(t)$ sıcaklığı Laplace Dönüşüm metodu kullanılarak, 1-boyutlu ısı iletim denkleminin analitik çözümüyle bulunmuştur. Bu, karşılık verme süresi olan t_r yi bulmada kullanılmıştır. Bu süre, verilen bir yüksek sıcaklığa ($T_c = 200^{\circ}C$) ulaşmak için gereken süredir. Dağılım katsayısı, $200^{\circ}C$ ile $225^{\circ}C$ arasında, $e^{1/2}$ çarpanıyla değişim göstermektedir. Boyutsuz karşılık verme süresi (τ_r) ile β arasındaki ilişki Grafik 3.5 te gösterilmiştir (β, h_1 ile orantılıdır).

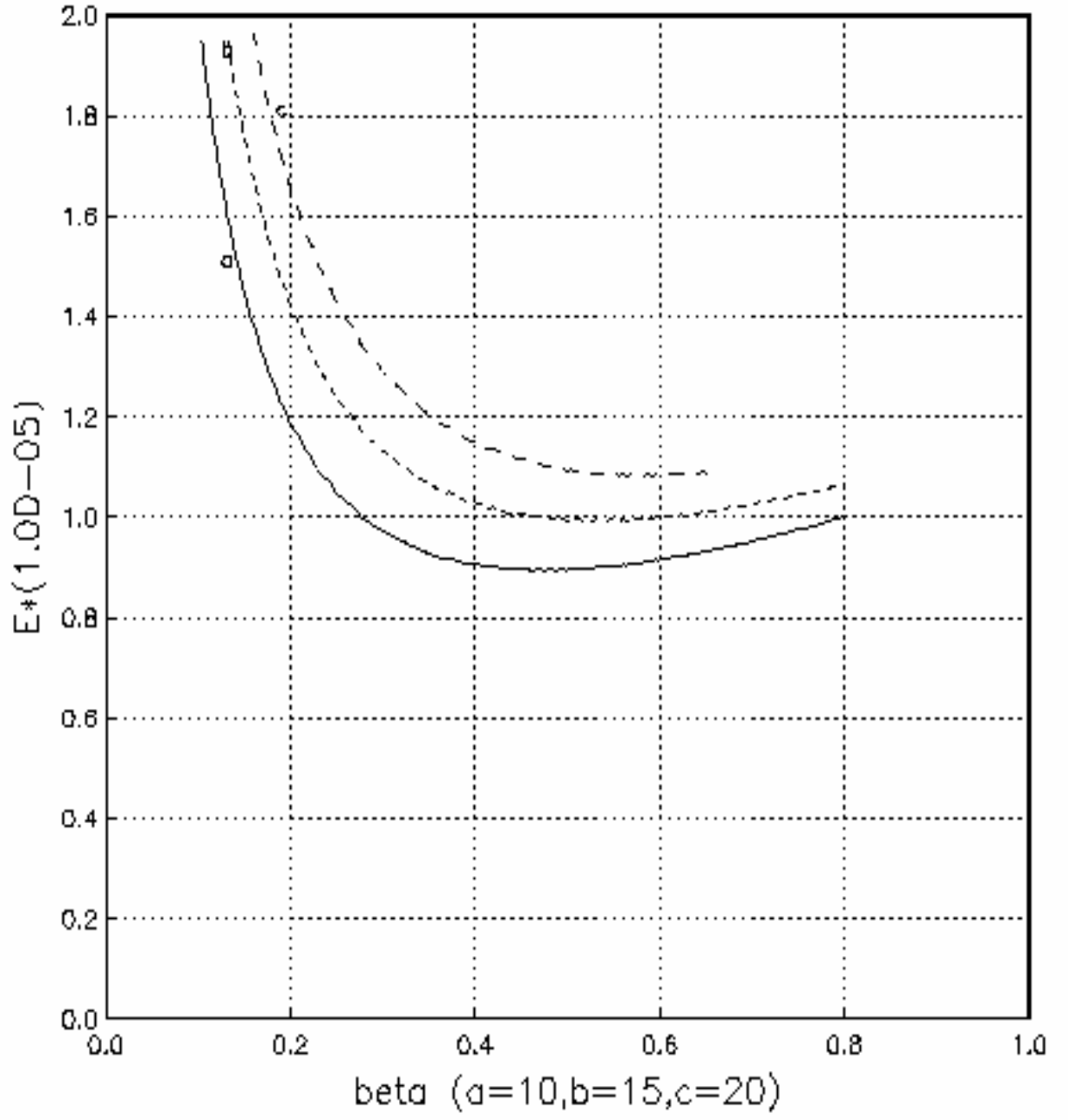
(iii) t_h ısıtma süresi olmak üzere, kullanılan toplam enerji

$$E(h_1) = Q(h_1)t_h = Q(h_1)(t_r + t_{temp}) \quad (3.5.1)$$

biçimindedir. Burada t_{temp} = “sıcaklık anındaki süre” dir. Yani $T_2(d)$ nin $200^{\circ}C$ ile $225^{\circ}C$ arasında değiştiği zaman periyodudur. Eğer t_{temp} için özel değerler seçilirse, E yi h_1 e bağlı bir fonksiyon olarak bulmak için (i) ve (ii) de belirtilen ilişki kullanılabilir. Bu da, $t_{temp} = 10, 15$ ve 20 ms için Grafik 3.6 yı verir. E nin $\beta = 0.35$ ile $\beta = 0.55$ arasında minimum bir değere ulaştığı görülebilir. Bunlara karşılık gelen h_1 değerleri ise yaklaşık olarak $40 \mu m$ ve $60 \mu m$ dir. Bu hesaplamalara göre t_{temp} için tipik değerler seçilmesi durumunda h_1 in realistik değerleri için enerji minimize olmaktadır.

Connolly'nin kullandığı başlıkta $h_1 = 40 \mu m$ dir. Pratik uygulamalarda h_1 in değeri sabittir ve transfer edilen boya miktarı belirli bir voltaj için toplam ısıtma süresi olan t_h değerini ayarlayarak değiştirilebilir. Sistem küçük veya büyük miktarlarda boya dağıtım kapasitesine sahip olmalıdır. Bu genellikle $t_h \leq 32$ ms limitine kadardır. Connolly problemi transfer edilen boyanın son miktarı olan f_{∞} in t_{temp} e güçlü bir şekilde bağlı olması ve f_{∞} in geniş bir aralıktaki değerlerinde h_1

değerine zayıf bir şekilde bağlı olması durumunda daha çok önem kazanmaktadır. Bu ancak dağılım denkleminin çözümüyle yorumlanabilir. Fakat bu çalışmada dağılım problemine değinilmeyecektir.



Grafik 3.6: $t_{temp} = 10, 15$ ve 20 ms için toplam enerjinin β ya bağlı fonksiyonu

4. SONUÇ

Bu tezde çok basit bir ısı başlık yapısı kullanılarak bir optimizasyon problemi çalışılmıştır. Isıl yalıtkan tabakanın fiziksel özellikleri gözönüne alınarak bu tabakanın kalınlığı olan h_1 değeri varyasyonları ele alınmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır:

(1) Boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki sıcaklığın sabit durum değerinin $T_s = 225^\circ C$ de tutulması durumunda; h_1 değerinin küçültülmesi halinde uygulanan Q voltajının artırılması gerekir. Bu ilişki Grafik 3.2 de gösterilmiştir.

(2) Boya tabakası/alıcı tabaka arayüzündeki $T_d(t)$ sıcaklığı, sabit olmayan 1-Boyutlu modelin ısı denklemlerinin Laplace Dönüşümü yoluyla ve sonrasında bunların ters dönüşümlerinin nümerik olarak çözülmesiyle hesaplanmıştır.

$T_d(t_r) = T_c(200^\circ C)$ olması nedeniyle karşılık verme süresi olan t_r nin değerini hesaplamak mümkün olmuştur. t_r ve h_1 arasındaki boyutsuz terimlerle ifade edilen ilişki Grafik 3.5 te gösterilmiştir. Bu grafikten de görüleceği üzere $h_1 \rightarrow 0$ iken t_r nin değeri sıfırdan farklı ve analitik olarak tahmin edilebilir bir sayıya yakınsar. Bu nedenle h_1 değeri küçültülmeye devam edilse bile t_r nin değeri belli bir kritik değerin altına düşürülemez.

(3) Kullanılan toplam enerji

$$E(h_1) = Q(h_1)t_h = Q(h_1)\{t_r(h_1) + t_{temp}\} \quad (4.1)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. Buradaki $Q(h_1)$ ifadesi Grafik 3.2 yardımıyla, $t_r(h_1)$ ifadesi Grafik 3.5 yardımıyla yorumlanabilir. Grafik 3.6 da, $E(h_1)$ in, t_{temp} in üç farklı değeri için değişimi görülmektedir. Bu grafikten de görüleceği üzere $40\mu m < h_1 < 60\mu m$ aralığında $E(h_1)$ minimum değerini alır. Bu aralık Connolly başlığının da aralığıdır.

(4) Connolly'nin de belirttiği üzere transfer edilen boyanın son parçası olan f_∞ temel olarak t_{temp} e bağlıdır ve h_1 in değiştirilmesinden fazla etkilenmez. Bu durum $t_h \gg t_r$ olması durumunda olasıdır.

Öte yandan $t_h < t_r$ ise küçük miktarda boya transferi olur fakat bu durum diğere göre daha az belirgindir. Böyle bir durumda ısıtma süresi boyunca $T_d(t)$ değeri $T_c(200^\circ C)$ ye ulaşamaz ve $t_{temp} = t_h - t_r$ değeri negatif olur. Bunu daha detaylı görebilmek için 1-Boyutlu dağılım hesaplamaları yapılabilir. Fakat bu çalışmada dağılım problemine değinilmemiştir.

Optimizasyon problemi üzerinde daha detaylı çalışmalar yapılabilir. Örneğin f_∞ in sabit bir değeri için $E(h_1)$ ile h_1 arasındaki ilişki belirlenebilir. Eğer $h_1 = h_1(min)$ iken $E(h_1)$ minimum değerini alıyorsa $h_1(min)$ ile f_∞ in nasıl bir ilişkiye sahip olduğu çalışılabilir. Pratikte ise f_∞ in değişik değerler almasına karşılık ortalama bir $h_1(min)$ değeri seçmek uygun olabilir.

Bu çalışmadaki varsayım $E(h_1)$ in minimize edilmesidir. Pratikte bu tam anlamıyla sağlanamayabilir fakat h_1 için ortalama $54\mu m$ değerinin seçilmesi t_r , $Q(h_1)$ ve $E(h_1)$ değerlerinin belli kritik değerlerin altında kalmasını sağlayabilir.

5. FORTRAN PROGRAMLARI

Bu bölümde, grafiklerin oluşturulmasında gerekli olan dataların elde edilmesinde kullanılan Fortran programları verilecektir.

5. 1 Grafik 3. 2 Programı

```
PROGRAM Connolly
!1-D model for cep 64. f90
IMPLICIT NONE
INTEGER i
DOUBLE PRECISION h2, k2,k1
DOUBLE PRECISION TA, Ts
DOUBLE PRECISION h1(200), Q(200)
open (10, file='cep 64. dat1a')
Q=322.0D+04
k1=1.0
k2=0.09
h2=113.0D-06
TA=25.0
Ts=225.0
    DO i=1, 100
        h1(i)=i*(1.0D-06)

        Q(i)=(Ts-Ta)*((k1/h1(i))+k2/h2))

WRITE(10, 21) h1(i)*(1.0D+06), Q(i)*(1. 0D-06)
21 Format (2(2x, E18.10))
    END DO
END PROGRAM Connolly
```

5. 2 Grafik 3. 3 Programı

* cep 62.f finding time and temperature

* C06LBF Example Program Text

* Mark 14 Release. NAG Copyright 1989.

* . . Parameters . .

implicit none

INTEGER MMAX

PARAMETER (MMAX=1024)

INTEGER NOUT

PARAMETER (NOUT=7)

* . . Local Scalars . .

DOUBLE PRECISION B, EPSTOL, FINV, SIGMA, SIGMA0, T

DOUBLE PRECISION TS, TA, Q, h1, h2, k1, k2, al1, al2, PI

DOUBLE PRECISION rc1, rc2, d, lam, bet, mu

INTEGER IFAIL, M, p, J

DOUBLE PRECISION ACOEF(MMAX), ERRVEC(8)

double precision tt(500), bbet(500), hh1(500)

double precision tstar(500), time(500), Temp(500)

* . . External Subroutines . .

external s18def

EXTERNAL C06LBF, C06LCF

* . . External Functions . .

COMPLEX*16 F

EXTERNAL F

* . . Intrinsic Functions . .

INTRINSIC ABS, EXP, DBLE, SINH

COMMON/jkh/lam, bet, mu

open(7, file='cep61fdat3')

* . . Executable Statements . .

```
PI=4*ATAN(1.0D0)
k1=1.0
d=13.0D-06
Ts=225.0
Ta=25.0
DO 19 p=70, 70
    hh1(p)=p*(1.0D-06)
    h1=hh1(p)
h2=113.0D-06
mu=d/h2
rc1=1.86D+06
rc2=0.82D+06
k2=0.09
Q=((Ts-Ta)*((k1/h1)+(k2/h2)))/(1-mu)
print*, Q
print*,k1
al2=k2/rc2
al1=k1/rc1
lam=(k2/k1)*sqrt(al1/al2)
bbet(p)=(h1/h2)*sqrt(al2/al1)
bet=bbet(p)
SIGMA0=0.0D0
EPSTOL=0.000001D0
SIGMA=0.0D0
B=0.0D0

IFAIL=-1
*
```

```

*Compute inverse transform
CALL C06LBF(F, SIGMA0, SIGMA, B, EPSTOL, MMAX, M, ACOEF, ERRVEC, IFAIL)
WRITE (NOUT, 99999) 'No. of coefficients returned by C06LBF=' , M
*Evaluate inverse transform for different values of t
DO 20 j=1, 200
    time(j)=j*(0.25D-03)
    tt(j)=time(j)*(a12/(h2*h2))
    t=tt(j)
    CALL C06LCF(T, SIGMA, B, M, ACOEF, ERRVEC, FINV, IFAIL)
    Temp(j)=Ta+finv*(Q*h2/k2)
write(nout, 999) time (j)*(1.0D+03), temp(j)
20 CONTINUE
19 CONTINUE
STOP
999 format (2f12.4)
99999 FORMAT (1X, A, I6)
99998 FORMAT (1X, 1P, D10.2, 2D15.4, D12.1)
END
*
*
COMPLEX*16    FUNCTION F(s)
* . . Scalar Arguments . .
COMPLEX*16 q, s, q1, e1, e2, d0
COMPLEX*16 d11, d1, d2, d3, f1, f2, f3
double precision lam, bet, mu
COMMON/jkh/lam, bet, mu
q=sqrt(s)
q1=s*q
e1=exp((1-mu)*q)
e2=1/e1

```



```

d0=exp(q)
d11=exp(-q)
d1=bet*q
d2=exp(d1)
d3=exp(-d1)
f1=(d2-d3) / (d2+d3)
f2=(d0-d11) / (d0+d11)
f3=(e1-e2)/(d0-d11)
F=f3*((f1*f2)/(q1*(lam*f2+f1)))
RETURN
END

```

5.3 Grafik 3.4 Programı

```

* cep 63.f finding time and temperature
* C06LBF Example Program Text
* Mark 14 Release. NAG Copyright 1989.
* . . Parameters . .
implicit none
INTEGER      MMAX
PARAMETER (MMAX=2048)
INTEGER      NOUT
PARAMETER (NOUT=7)
* . . Local Scalars . .
DOUBLE PRECISION B, EPSTOL, FINV, SIGMA, SIGMA0, T
DOUBLE PRECISION TS, TA, Q, h1, h2, k1, k2, al1, al2, PI
DOUBLE PRECISION rc1, rc2, d, lam, bet, mu, tattemp
INTEGER      IFAIL, M, p, J

DOUBLE PRECISION ACOEF(MMAX), ERRVEC(8)
double precision      tt(500), bbet(500), hh1(500)

```

double precision tstar(500), time(500), Temp(500)

* . . External Subroutines . .

external s18def

EXTERNAL C06LBF, C06LCF

* . . External Functions . .

COMPLEX*16 F

EXTERNAL F

* . . Intrinsic Functions . .

INTRINSIC ABS, EXP, DBLE, SINH

COMMON/jkh/lam, bet, mu

open(7, file='cep61fdat3c')

* . . Executable Statements . .

PI=4*ATAN(1.0D0)

k1=1.0

d=13.0D-06

Ts=225.0

Ta=25.0

DO 19 p=20, 200

 hh1(p)=p*(1.0D-06)

 h1=hh1(p)

h2=113.0D-06

mu=d/h2

rc1=1.86D+06

rc2=0.82D+06

k2=0.09

Q=((Ts-Ta)*((k1/h1)+(k2/h2)))/(1-mu)

print*, Q

print*,k1

al2=k2/rc2

```

al1=k1/rc1
lam=(k2/k1)*sqrt(al1/al2)
bbet(p)=(h1/h2)*sqrt(al2/al1)
bet=bbet(p)
tattemp=20.0D-03
SIGMA0=0.0D0
EPSTOL=0.0000001D0
SIGMA=0.0D0
B=0.0D0

IFAIL=-1
*
*Compute inverse transform
CALL C06LBF(F, SIGMA0, SIGMA, B, EPSTOL, MMAX, M, ACOEF, ERRVEC, IFAIL)
WRITE (NOUT, 99999) 'No. of coefficients returned by C06LBF=' , M
*Evaluate inverse transform for different values of t
j=0
8888 j=j+1
DO 21 J=1, 100
    time(j)=j*(0.25D-03)
    tt(j)=time(j)*(al2/(h2*h2))
    t=tt(j)
    CALL C06LCF(T, SIGMA, B, M, ACOEF, ERRVEC, FINV, IFAIL)
    Temp(j)=Ta+finv*(Q*h2/k2)
write(nout, 999) eps(p), Temp(j)
IF (Temp (j) . gt. 200. 0) THEN
    tstar(p)=Time(j)
go to 7777
END IF
IF (j. lt. 400. 0) go to 8888

```

```

21 CONTINUE
7777 write(nout, 999) bbet(p), Q*(tstar(p)+tattemp)*(1. 0D-05)
19 CONTINUE
STOP
999 format (2f12.4)
99999 FORMAT (1X, A, I6)
99998 FORMAT (1X, 1P, D10.2, 2D15.4, D12.1)
END
COMPLEX*16    FUNCTION F(s)
* . . Scalar Arguments . .
COMPLEX*16 q, s, q1, e1, e2, d0
COMPLEX*16 d11, d1, d2, d3, f1, f2, f3
double precision lam, bet, mu
COMMON/jkh/lam, bet, mu
q=sqrt(s)
q1=s*q
e1=exp((1-mu)*q)
e2=1/e1
d0=exp(q)
d11=exp(-q)
d1=bet*q
d2=exp(d1)
d3=exp(-d1)
f1=(d2-d3) / (d2+d3)
f2=(d0-d11) / (d0+d11)
f3=(e1-e2)/(d0-d11)
F=f3*((f1*f2)/(q1*(lam*f2+f1)))
RETURN
END

```

5.4 Grafik 3.5 Programı

```
PROGRAM CEP 699
IMPLICIT NONE
INTEGER j, i
DOUBLE PRECISION lamda, beta, h1max, r1, r2, h1, h2, k1, k2, PI, rhocp1
DOUBLE PRECISION, DIMENSION (100) : : V

OPEN (10, file="c699. dat1")

h1max=1. 0D-06
r2=5. 3D-07
h2=6. 0D-06
k1=1. 0
k2=2. 0
rhocp1=1. 86D+06
r1=k1/rhocp1
PI=4*ATAN(1. 0D0)
lamda=(k1/k2)*SQRT(r2/r1)
write(*, *) lamda

DO j=10, 100
  h1=j*h1max
  DO i=1, 100
    beta=(h1/h2)*SQRT(r2/r1)
    V(i)=i*PI/200. 0D0
    write(10, 10) beta, V(i), V0(lamda, beta, i)
  END DO
END DO
10 Format (3(2X, E15. 6))
CONTAINS
```

```

FUNCTION V0(lamda1, beta1, ii)
IMPLICIT NONE
INTEGER :: ii
DOUBLE PRECISION :: lamda1, beta1, V0
    V0=lamda1*(cos(beta1*V(ii))/(sin(beta1*V(ii))))+cos(V(ii))/(sin(V(ii)))
END FUNCTION V0
END PROGRAM CEP699

```

5. 5 Grafik 3. 6 Programı

```

* cep 61.f (Beta ile E)
* C06LBF Example Program Text
* Mark 14 Release. NAG Copyright 1989.
* . . Parameters . .
implicit none
INTEGER    MMAX
PARAMETER (MMAX=1024)
INTEGER    NOUT
PARAMETER (NOUT=7)
* . . Local Scalars . .
DOUBLE PRECISION B, EPSTOL, FINV, SIGMA, SIGMA0, T
DOUBLE PRECISION TS, TA, Q, h1, h2, k1, k2, al1, al2, PI
DOUBLE PRECISION rc1, rc2, d, lam, bet, mu
INTEGER          IFAIL, M, p, J

DOUBLE PRECISION ACOEF(MMAX), ERRVEC(8)
double precision    tt(500), bbet(500), hh1(500)
double precision    tstar(500), time(500), Temp(500)
* . . External Subroutines . .
external s18def

```

```

EXTERNAL          C06LBF, C06LCF
* . . External Functions . .
COMPLEX*16      F
EXTERNAL        F
* . . Intrinsic Functions . .
INTRINSIC      ABS, EXP, DBLE, SINH
COMMON/jkh/lam, bet, mu
open(7, file='cep61fdat')
* . . Executable Statements . .

PI=4*ATAN(1.0D0)
k1=1.0
d=13.0D-06
Ts=225.0
Ta=25.0
DO 19 p=1, 120
    hh1(p)=p*(1.0D-06)
    h1=hh1(p)
h2=113.0D-06
mu=d/h2
rc1=1.86D+06
rc2=0.82D+06
k2=0.09
Q=((Ts-Ta)*((k1/h1)+(k2/h2)))/(1-mu)
print*, Q
print*,k1
al2=k2/rc2
al1=k1/rc1
lam=(k2/k1)*sqrt(al1/al2)
bbet(p)=(h1/h2)*sqrt(al2/al1)

```

```
bet=bbet(p)
```

```
SIGMA0=0.0D0
```

```
EPSTOL=0.0000001D0
```

```
SIGMA=0.0D0
```

```
B=0.0D0
```

```
IFAIL=-1
```

```
*
```

```
*Compute inverse transform
```

```
CALL C06LBF(F, SIGMA0, SIGMA, B, EPSTOL, MMAX, M, ACOEF, ERRVEC, IFAIL)
```

```
WRITE (NOUT, 99999) 'No. of coefficients returned by C06LBF=' , M
```

```
*Evaluate inverse transform for different values of t
```

```
j=0
```

```
8888 j=j+1
```

```
DO 21 J=1, 100
```

```
    time(j)=j*(0.25D-03)
```

```
    tt(j)=time(j)*(al2/(h2*h2))
```

```
    t=tt(j)
```

```
    CALL C06LCF(T, SIGMA, B, M, ACOEF, ERRVEC, FINV, IFAIL)
```

```
    Temp(j)=Ta+finv*(Q*h2/k2)
```

```
write(nout, 999) eps(p), Temp(j)
```

```
IF (Temp (j) . gt. 200. 0) THEN
```

```
    tstar(p)=tt(j)
```

```
go to 7777
```

```
END IF
```

```
IF (j. lt. 200. 0) go to 8888
```

```
21 CONTINUE
```

```
7777 write(nout, 999) bbet(p), tstar(p)
```

```
19 CONTINUE
```



```

STOP
999 format (2f12.4)
99999 FORMAT (1X, A, I6)
99998 FORMAT (1X, 1P, D10.2, 2D15.4, D12.1)
END
*
*
COMPLEX*16    FUNCTION F(s)
* . . Scalar Arguments . .
COMPLEX*16 q, s, q1, e1, e2, d0
COMPLEX*16 d11, d1, d2, d3, f1, f2, f3
double precision lam, bet, mu
COMMON/jkh/lam, bet, mu
q=sqrt(s)
q1=s*q
e1=exp((1-mu)*q)
e2=1/e1
d0=exp(q)
d11=exp(-q)
d1=bet*q
d2=exp(d1)
d3=exp(-d1)
f1=(d2-d3) / (d2+d3)
f2=(d0-d11) / (d0+d11)
f3=(e1-e2)/(d0-d11)
F=f3*((f1*f2)/(q1*(lam*f2+f1)))
RETURN
END

```

6. KAYNAKLAR

- Connolly, D. , 1994, *Optimization of the Thermal Performance of a Printhead Structure for Pulse-Count-Modulated Dye Diffusion Thermal Printing*, IS and T, 38, 371-377.
- Fiscella, M. D. ; Brownstein, S. A. ; Johnson, D. A. , 1990, *Pulse Count Modulation: A Novel Head Drive Method for Thermal Printing*, Hard Copy and Printing Technologies, SPIE Vol. 1252, 156-157.
- Hann, R. A. ; Beck, N. C. , 1990, *Dye Diffusion Thermal Transfer (D2T2) Colour Printing*, Journal of Imaging Technology, 16, 238-241.
- Hann, R. A. , 1992, *Thermal Dye Diffusion Printing-How Does It Work*, IS&T Eighth Int. Congr. on Adv. in Non-Impact Printing Tech. , 361-363.
- Hodge, I. M. ; Ross, D. S. , 1991, *Mass Diffusion in Resistive Head Thermal Printing*, IS and T Seventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, 226-231.
- Payne, T. R. ; Plumlee, H. R. , 1973, *Thermal Printer*, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. Sc-8, 1, 71-78.
- Shibata, S. ; Murasugi, K. ; Kaminishi, K. , 1976, *New Type Thermal Printing Head Using Thin Film*, IEEE Transactions on P. H. P. , Vol. PHP-12, 3, 223-230.
- Shibata, S. ; Ito, M. ; Nihei, K. , 1984, *Development of 16 dots/mm Thermal Printing Head*, IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol. CHMT-7, 3, 294-298.

Uyhan, R. , 2000, *Mathematical Modelling of Laser and Thermal Printers*,
PhD Thesis, University of Manchester.

Webb, P. W. ; Hann, R. A. , 1991, *Measurement of Temperature Distributions
and Thermal Transients on a Thermal Print Head Used for Dye Diffusion
Colour Printing*, 214-219.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Celaleddin ŞENÇİMEN
Doğum Yeri : ISPARTA
Doğum Yılı : 1977
Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise : 1991-1995 Gönen Anadolu Öğretmen Lisesi
Lisans : 1995-1999 Boğaziçi Üniversitesi Eğt. Fak. Mat. Öğr.

Yabancı Dili : İngilizce

İş Deneyimi :

1999-2000 Isparta Özel Büyük Başarı Dershaneleri, Matematik Öğr.
2000-2001 Özel Isparta Dershaneleri, Matematik Öğr.
2001-2004 Isparta-Yalvaç İMKB İlköğretim Okulu, Matematik Öğr.
2004-... SDÜ Fen Bil. Enst. Matematik Anabilim Dalı Arş. Gör.