

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NEMATİK SIVI KRİSTALLERDE SICAKLIK GRADYANI ve ISIL
YAYINIM KATSAYILARININ NÜMERİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ**

Ahmet YILDIRIM

FİZİK ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2007**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NEMATİK SIVI KRİSTALLERDE SICAKLIK GRADYANI ve ISIL
YAYINIM KATSAYILARININ NÜMERİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ**

Ahmet YILDIRIM

FİZİK ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2007**

Doç. Dr. Süleyman YILMAZ danışmanlığında, Ahmet YILDIRIM'ın hazırladığı “Nematik Sıvı Kristallerde Isı Gradyanı ve Isı Transfer Katsayılarının Nümerik Yöntemle Belirlenmesi” konulu çalışma 15/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Süleyman YILMAZ

Üye : Prof. Dr. Osman ADIGÜZEL

Üye : Doç. Dr. Hüsamettin BULUT

Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim BOLAT
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 747

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirimlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER	
	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	7
3.1. Sıvı Kristaller	7
3.1.1. Sıvı kristallerin temel özellikleri	7
3.1.2. Sıvı kristal fazlar	7
3.1.3. Sıvı kristallerin moleküler düzeni	9
3.1.4. Sıcaklığa bağlı faz dönüşümleri	9
3.1.5. Sıvı kristallerin çeşitleri ve yapıları	10
3.1.5.1. Nematik düzen	10
3.1.5.2. Smektik düzen	11
3.1.5.3. Kolesterik düzen	13
3.1.6. Sıvı kristallerde sıcaklık gradyanının incelenmesi	14
3.2. Isı İletiminde Nümerik Yöntemler	15
3.2.1. Cebirsel denklem sistemlerinin çözüm yöntemleri	16
3.2.1.1. Gauss yok etme yöntemi	16
3.2.1.2. Gauss-Seidel tekrarlama yöntemi	16
3.2.1.3. Lineer denklem sistemlerinin matris yöntemiyle çözümü	17
3.2.2. Sonlu fark yöntemi (Finite Difference Method)	19
3.2.2.1. Sürekli dağılımda ısı iletiminin sonlu fark yöntemiyle analizi	20
3.2.2.2. Süreksiz dağılımda ısı iletiminin sonlu fark yöntemiyle analizi	22
3.2.2.2.1. Açık (Explicit) yöntem	23
3.2.2.2.2. Kapalı (Implicit) yöntem	25
3.2.2.2.3. Crank-Nicolson yöntemi	26
3.2.3. Isı denklemi ve sonlu fark metodunun matris temsili	27
3.3. Deneysel Düzenek ve Sıvı Kristal Hücre Hazırlanması	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	47
EKLER	48
ÖZET	66
SUMMARY	67

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

NEMATİK SIVI KRİSTALLERDE SICAKLIK GRADYANI ve ISIL YAYINIM KATSAYILARININ NÜMERİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ

Ahmet YILDIRIM

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Süleyman YILMAZ
Yıl : 2007, Sayfa : 67

Sıvı kristal malzemeler sergiledikleri ısı ve optik davranışlardan dolayı teknolojide yaygın bir kullanım alanı bulmaktadırlar. Bu malzemelerin ısı iletim ve yayılım problemlerini çözmek için bir çok nümerik yöntem uygulanmakla birlikte, problemin geometrik yapısına ve sahip olduğu özelliklere uygun metodu seçmek oldukça önemlidir. Bu çalışmada, sıvı kristallerin ısı parametrelerini hesaplamak üzere 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB) ve 4'-octyl-4-cyanobiphenyl (8CB) ticari nematik sıvı kristallerinin ısı yayılım katsayıları rasgele dağılımda ileriye doğru sonlu fark metoduyla belirlenmiştir. Hazırlanan deneysel düzenek yardımıyla, sıcaklığın zamana ve konuma bağlı olarak değişimi dört düğüm noktasından seçilerek elde edilmiş ve bu grafiğe ait en uygun eğri fonksiyonu belirlenmiştir. Bu fonksiyonların her biri program kodunda derlenerek ısı yayılım katsayıları hesaplanmıştır. Bu katsayıların, literatürde yapılan çalışmalarla uyum içinde ve beklenen aralıkta olduğu gözlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Nematik Sıvı Kristaller, Isı İletimi, Isı Yayılımı, Sonlu Fark Metodu

ABSTRACT

MSc Thesis

NUMERICAL DETERMINATION OF TEMPERATURE GRADIENT AND THERMAL DIFFUSIVITY COEFFICIENTS IN NEMATIC LIQUID CRYSTALS

Ahmet YILDIRIM

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Suleyman YILMAZ
Year : 2007 , Page : 67**

Liquid crystal materials have a wide range of application in technology due to their thermal and optical behaviours. Although many numerical methods have been applied to solve the problem of heat conduction in liquid crystals, it is significant to choose the optimum method that would fit to the geometry of the problem. In this study, to determine thermal diffusivity parameters of liquid crystals, the finite difference method for forward solutions has been applied to industrial nematic liquid crystals 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB) and 4'-octyl-4-cyanobiphenyl (8CB). In the experimental setup, temperature variation with time and position has been obtained at four different positions and the optimum graph of this variation has been determined. It has been concluded that these coefficients are consistent with the literature values.

KEY WORDS : Nematic Liquid Crystal, Thermal Diffusivity, Finite Difference Method

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin yönetiminde yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Süleyman YILMAZ'a, nümerik analiz kısmındaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Ahmet BOZKURT, Yrd. Doç. Dr. Tanfer TANRIVERDİ ve Yrd. Doç. Dr. Oral OLTULU'ya, deneysel sistemde cihazlarıyla katkıda bulunan Doç. Dr. Hüsamettin BULUT ve Arş. Gör. Yusuf IŐIKER'e, programlama kısmındaki yardımlarından dolayı İTÜ Meteoroloji Mühendisliđi Bölümü Yüksek Lisans öğrencisi İsmail SEZEN'e, birçok konuda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Nuri YORULMAZ ve arkadaşım Ahmed Arif TEK'e, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme ve saygıdeğer amcama içtenlikle teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ	
	Sayfa No
Şekil 3.1. Sıvı kristal ara fazı	7
Şekil 3.2. Sıvı kristal faz yapısı	8
Şekil 3.3. (a) Moleküllerin yönelim düzeni, b) Düzen parametresi sıcaklık grafiği.....	8
Şekil 3.4. Sıvı kristal düzenlerin şematik gösterimi	9
Şekil 3.5. Nematik düzenin şematik görünümü.....	11
Şekil 3.6. Smektik A fazının şematik görünümü.....	12
Şekil 3.7. Smektik C düzeni	12
Şekil 3.8. Kolesterik fazın şematik gösterilmesi	14
Şekil 3.9. Isı gradyanı tablası	15
Şekil 3.10. Türevin sonlu fark yaklaşımı.....	20
Şekil 3.11. L kalınlığındaki levhada bir boyutlu ısı iletiminin sonlu fark denklemi için düğüm noktaları.....	22
Şekil 3.12. Zamana bağlı sonlu fark diyagramı ve düğüm noktaları.....	22
Şekil 3.13. Bir boyutlu katı cisim	25
Şekil 3.14. Geriye doğru fark metodunda adım noktaları	32
Şekil 3.15. İleriye doğru fark metodunda adım noktaları	33
Şekil 3.16. Sıvı kristal hücreye yerleştirilen termoçiftlerin ısı tablası ile beraber şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.17. Isıl iletimi ölçen deney sistemi	37
Şekil 4.1. 5CB için $T_0=26.1$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu.....	39
Şekil 4.2. 5CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimi.....	40
Şekil 4.3. 8CB için $T_0=35.6$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu.....	41
Şekil 4.4. 8CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimi.....	41
Şekil 5.1. 5CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimini gri noktalar dik ve siyah noktalar paralel dağılımdaki yönelimi gösterir. İçi boş yuvarlak kare daireler (Urbach, 1983) datalarıyla oluşturulmuştur (Marinelli, 1998).....	43
Şekil 5.2. 8CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimini gri noktalar dik ve siyah noktalar paralel dağılımdaki yönelimi gösterir. Grafik değerleri (Marinelli, 1996)'dan alınmıştır. İçi boş yuvarlak kare daireler (Akahane, 1987) datalarıyla oluşturulmuştur (Marinelli, 1998).....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ	
	Sayfa No
Çizelge 3.1. Sıcaklığın değişimine göre faz durumları	10
Çizelge 3.2. Parabolik, eliptik ve hiperbolik denklem takımları	28
Çizelge 4.1. 5CB numunesinin gerçek ve hesaplanan değerleri	39
Çizelge 4.2. 8CB numunesinin gerçek ve hesaplanan değerleri	41

SİMGELER DİZİNİ

T	Sıcaklık
A	Alan
Q_x	x yönündeki ısı geçişi
q_x	x yönündeki ısı akısı
\dot{q}	Isı üretimi
h	Isı taşınım katsayısı
ρ	Yoğunluk
α	Isı yayılım katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
c	Özısı
Δx	X yönündeki adım
t	Zaman
g	Üretilen enerji fonksiyonu
V	Hacim
r	Yarıçap
L	Uzunluk
m	Düğüm noktası
i	Zaman artışının adımı
S	Düzen parametresi

1. GİRİŞ

Yeryüzünde doğal olarak bulunan veya kimyasal yolla elde edilen bazı organik maddeler; katı sıvı ve gaz fazının dışında dördüncü bir faz özelliği gösterirler. Bu faz genel olarak katı ve sıvı fazların karışımı bir özellik sergiler. Moleküler yönelim ve yerleşim düzeniyle katılara, akışkanlığı nedeniyle sıvılara benzerler. Sıvı kristal olarak isimlendirilen bu malzemelerde sıcaklık değişimi sonucu ısıl parametrelerinin hesaplanmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmaktadır.

Günümüz teknolojisinde, sıvı kristaller sergiledikleri ısıl ve optik özellikleri nedeniyle yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Sıvı kristaller ile sıcaklık ölçen termometreler, hesap makinaları, saatler, bilgisayar ve televizyon ekranlarında görüntü elde edilmesi ve optikte holografik kayıt gibi çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir. Moleküllerin yönelim ve yerleşim düzeni bu materyallerin sınıflandırılması ve kullanımında belirleyici etkindir. Genel olarak *kolestrik* fazdaki sıvı kristaller sıcaklık ölçülmesinde kullanılırken, *nematik* fazdaki sıvı kristaller elektronik cihazların ekranlarında görüntü elde etmek için kullanılabilmekte olup, özellikle ısıl değişimlere duyarlı olmaları, moleküler değişimler ve optik özelliklerindeki değişimler nedeniyle görüntüleme sistemlerindeki kullanımları önemli ölçüde artmıştır. Böylece sıvı kristallerde ısı iletimi ve akışkanlar mekaniği hesaplamaları gündeme gelmiştir (Eren, 2002).

Son yıllarda çok büyük kapasiteli ve yüksek hızlı bilgisayarların kullanıma girmesiyle araştırmacıların analitik yeteneklerinin yanı sıra, problemin doğal yapısı ve matematik modellemesi çalışılarak geliştirilen paket programlar yardımıyla çok karmaşık problemlerin çözümü kısa zamanda gerçekleştirilebilmektedir. Isı iletimi problemlerini çözmek için bugün birçok nümerik yöntem uygulanmaktadır. İletim problemlerinin nümerik analizinde en çok kullanılan yöntem, sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemidir (Altınışık, 2004).

Bu çalışmada, bazı nematik sıvı kristallerin sıcaklık değişimine bağlı olarak ısıl yayınım katsayılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel olarak uzaysal değişimde her bir numune için ayrı ayrı numune hücresi içinde belirlenen sıcaklık değerleri yardımıyla konuma ve zamana bağlı fonksiyonlar belirlenmiştir. Bu fonksiyonlar ileri doğru fark metodunda (Forward-Difference Method) kullanılarak 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB) ve 4'-octyl-4-cyanobiphenyl (8CB) sıvı kristal numunelerine ait rasgele dağılımda ısıl yayınım katsayıları hesaplanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Rondolez ve ark. (1978) ısı iletim ölçümlerini, güçlü Rayleigh ışık saçılma tekniğiyle, nematik ve smektik fazlarda gerçekleştirmiştir. Bu amaçla çalışmalarında 4'-n-pentyl-4-cyanobiphenyl, . 4'-n-pentyl-4-cyanoterphenyl, 4'-di-n-octyloxy azoxy benzene, di-(4-n-decyloxybenzal)-2-chloro-1-4-phenylcne diamine sıvı kristal numuneler kullanarak numunenin yerleştirildiği indium tin oksit (İTO) kaplanmış cam düzlemlere elektrik alan uygulayıp, açığa bağlı olarak ölçümler yapılmıştır ve her bir numune için ısı yayılımı, moleküler yöneliminin düzleme dik ve paralel olması durumunda incelenmiştir. Isı yayılımının açığa bağlı olarak değişiminin gözlemlenmesi için bu çalışmada nematik ve smektik-c fazlarında ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar ısı iletim anizotropisinin moleküler yönelim ve moleküler şekil anizotropisi tarafından yönetildiğini ama smektik tabakanın düzeninden bağımsız olduğunu göstermiştir.

Zammit ve ark. (1990) ısı iletkenliği, ısı yayılımı ve öz ısı çalışmalarını, farklı nematik çeşitlerle alkylcyanobiphenyl sıvı kristallerde smektik-A-nematik (AN) faz geçişi üzerine eş zamanlı olarak yapmışlardır. Bu çalışmada foto-akustik teknikle $T - T_{AN}$ değişimine karşı ısı iletimi, ısı kapasitesi ve ısı yayılım değişimi incelenmiştir. 7CB, 8CB ve 9CB numunelerinden belli miktarlar alınarak ısı kapasitesi $c = A|t|^{-\alpha} + B + Et$ ifadesiyle hesaplanmıştır. Burada α ısı kapasitesinin üstel değeridir. Bağlıdaki t ifadesi $t = T / T_{Sm-A-N}$ bağıntısıyla elde edilir. Ayrıca ısı yayılımı $D = R|t|^{-b} + S + Ut$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. Burada b ısı yayılımının üstel derecesidir. Isı iletkenlik katsayısı (k), $D = k / \rho c$ ifadesiyle belirlenir. Burada ρ materyalin yoğunluğudur. Bulunan kritik üstel değerler, önceki çalışmalarla karşılaştırılmış ve deneyde kullanılan karışım olarak numune sayısının artırılması çelişkili değerlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

James ve Harrison (1992) sonlu fark metodu, anizotropik materyallerden yapılan karışım materyallerde ısı akısı ve sıcaklık dağılımının hesaplanmasını sağlayan elektriksel analog ile genişletildi. Standart sonlu fark denklemleri düğüm noktalarının tekrar yönelmesiyle anizotropi hesabını kapsayan temel düğümler temelinde şekillendirildi. Sıcaklık dağılımı ve ısı akısı anizotropik termal iletimle iki materyalden yapılan karışım materyali için türetildi.

Ahlers ve ark. (1994) $19^{\circ}C < T < 48^{\circ}C$ aralığında 4-n-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB)'in ısı iletiminin deneysel sonuçlarını araştırmışlardır. İletimler, ısı akımına hem dik hem de paralel manyetik alanlarda ısıtılan sıvının çarprazındaki sıcaklık farkı ölçülerek belirlendi. Alan büyüklüğü Fréedericksz etkisi alanından daha büyüktür. Bu durumda $T < T_{NI}$ için alana paralel oluşan yönelim vektörü (director) ile sağladı. Isı akımına paralel ve dik durum için sırasıyla iletim katsayıları $k_{//}$ ve k_{\perp} değerleri deneysel olarak belirlendi. Dik alanda sıcaklığın artışıyla ısı iletiminin azaldığı, yatay alanda ise ısı iletiminin sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir.

Marinelli ve ark. (1996) octylcyanobiphenyl (8CB)'in smektik-A-nematik faz geçişinde öz ısı, ısı iletimi, ısı yayılımının kritik davranışlarını foto-piro-elektrik teknikle araştırmışlardır. Isı iletimi parametrelerinin değerleri dik ve yatay dizilim için son derece farklıdır, ısı yayılımının kritik davranışının iki durumda da aynı kritik üstellerle karakterize edildiği görülmüştür. Isı yayılım ve ısı iletimi, örneğin smektik A-nematik (AN) ve nematik-izotropik (NI) faz geçişlerinde $29 - 45^{\circ}C$ sıcaklık aralığında ölçülmüştür. Sadece faz geçiş sıcaklığına (T_{AN}) yakın küçük bir artışla ısı iletiminin belirgin bir biçimde aynı kaldığı gözlenmiştir.

Yang ve Chen (1996) iki boyutlu ters ısı iletim problemlerinde sınır koşullarını tahmin etmeye yarayan bir metot geliştirdi. Çalışmanın başlangıcında alan problemini ayrıştırma için sonlu fark metodu kullanıldı ve daha sonra sınır koşullarını belirleyen lineer ters model oluşturuldu. Lineer en küçük kareler metodu, lineer metot için kabul edildi ve böylece tekrarlar (iterasyon) zamanları bir dönme için sınırlandırılabilir ve çözümlerin tekilliği kolayca belirlenebilir. Örnek sonuçları, önerilen metodun etkili ve çok boyutlu ters ısı iletim problemlerinin çözümü için

kabul edilebilir olduğunu doğrulamaktadır. Örnek problemlerde ölçüm metotlarının üç tipi, yüzey sıcaklığını hesaplamak için belirlendi. Sonuç olarak, ölçüm hataları ihmal edildiği zaman yüzey sıcaklığını hesaplamak için sadece birkaç ölçüm noktası yeterlidir. Ölçüm hataları göz önünde bulundurulduğu zaman daha fazla ölçüm noktası gerekmektedir.

Marinelli ve ark. (1998) düzenli nCB ($n= 5, \dots, 9$) örneklerinin ısı iletim ve ısı yayılım katsayılarını foto-piro-elektrik teknikle belirlemişlerdir. Moleküllerin dik yönelimde oldukları zaman n sayısının artışıyla ısı parametrelerinin değiştiği gözlenmiştir. Bunun nedeni, sadece moleküllerin geometrik boyutlarına bağlı olmayıp aynı zamanda moleküllerin simetrisi ve onların ortalama mesafeleriyle ilgilidir.

Ono ve Shibata (2000) sıvı kristallerin anizotropik ısı iletimlerini, foto-termal kendiliğinden kırınım (self-diffracting) tekniğiyle eş zamanlı olarak belirlenmiştir. Gaussian profiliyle tek-mod lazer ışını, homojen dizilimli sıvı kristal filmlerde foto-termal etkiden dolayı yansıma dağılımını hareketlendirir. Sıvı kristallerin ısı iletimlerinden etkilenen yansıma dağılımı Gaussian ışın olayını değiştirir. Sıvı kristallerin ısı iletimleri, Kirchhoff'un kırınım teorisiyle ışın profili karakterize edilerek belirlenir. Bu çalışmada 4'-pentyl-4-biphenylcarbonitrile (5CB) ve nematik karışım incelenmiştir. Bulunan paralel iletim katsayılarının değerleri $k_{//}$, dik iletim katsayılarının k_{\perp} yaklaşık iki katı olduğu belirlenmiştir.

Marinelli ve Mercuri (2000) foto-piro-elektrik teknikle nCB ($n= 5, \dots, 9$) numunelerinin ısı iletim katsayılarının düzen parametresinin değimine bağlı olarak incelemiştir. Isı iletim katsayısının düzen parametresiyle orantılı olarak değiştiği, fakat 5CB, 6CB ve 7CB için NI faz geçişine yakın bölgede elde edilen sonuçlar için bunun geçerli olmadığı görülmüştür.

George ve ark. (2001) sıvı kristallerin ısı yayınımlarının değerlendirilmesi için açık foto-akustik oda tekniğini kullandılar. Sıvı kristallerin ısı davranışında metodun kullanımını göstermek için değişebilir sıcaklıktaki açık foto-akustik oda

yardımıyla 4-cyano-4-octyloxybiphenyl (8OCB) ve 4-cyano-heptyloxybiphenyl (7OCB) sıvı kristallerin değişik ara fazlarında (mezofaz) ısı yayılım değerleri ölçüldü. İki sıvı kristalin ölçülen değerlerinin karşılaştırması, nematik ve izotropik fazlarda 7OCB'nin ısı yayılımının faza bağlı olarak 8OCB'den birazcık az olduğunu gözlediler.

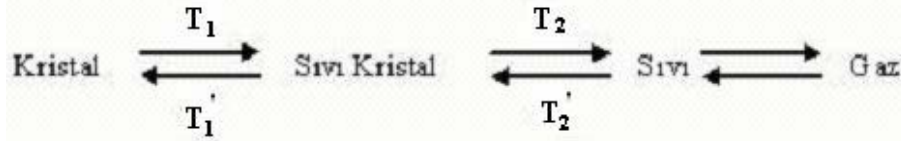
Eren ve ark. (2002) ısı transfer katsayıları bazen karmaşık cihazların kullanılması ile zor ölçümler içeren karışık deneylerle tespit edilir. Böyle kompleks geometrilere veya kompleks akışlarda hassas sıcaklık ölçümü yapmak üstün teknoloji gerektirir. Son yıllarda birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri de görsel sıvı kristal tekniğidir. Bu çalışmada, ısı transferi uygulamalarında sıcaklık değerinin ve ısı transfer karakteristiklerinin tespitinde görsel sıvı kristalin kullanımının uygunluğu araştırılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Sıvı Kristaller

3.1.1. Sıvı kristallerin temel özellikleri

Sıvı kristaller, düzensiz moleküler yapıya sahip olan sıvılar ile düzenli moleküler yapıya sahip olan kristaller arasındaki mezofaz durumundaki malzemelerdir. Bu malzemeler, fiziksel özellik açısından kristallere, organik yapı açısından sıvılara benzerler. Sıcaklığa bağlı değişimler, faz geçişlerine sebep olur. Faz geçişleri sıcaklığa bağlı olarak, tersinden düşünüldüğünde değişim göstermektedir (Şekil 3.1). Sıvı kristallerin ısı geçiş aralığı $T_1 < T_2$ ve $T_2' > T_1'$ ile verilmektedir.



Şekil 3.1. Sıvı kristal ara fazı

T_1 ve T_1' değerleri erime noktaları olarak (mp: erime noktası), T_2 ve T_2' değerleri buharlaşma noktaları olarak adlandırılırlar (cp: buharlaşma noktası). T_1 ve T_2 ile belirtilen sıcaklıklar, T_1' ve T_2' ile belirtilenlerle tam olarak aynı değerlerdir. Aradaki fark $0.5 - 3.0$ °C arasında değişir.

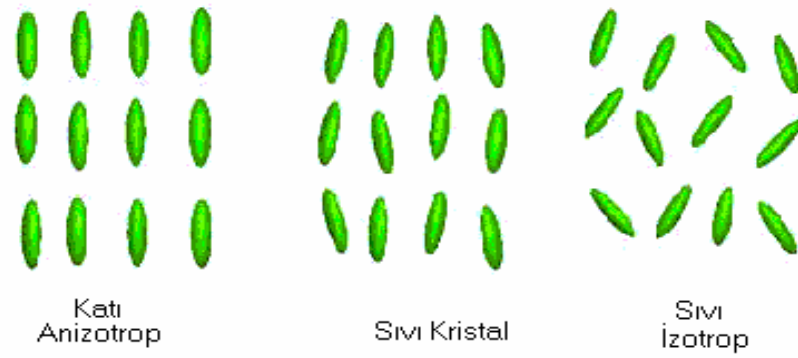
3.1.2. Sıvı kristal fazlar

Sıvı kristallerde moleküllerin özel bir düzeni mevcuttur. Ne kristaller gibi düzenli bir moleküler yapıya, ne de sıvılar gibi tamamen düzensiz bir yapıya sahiptirler (Şekil 3.2). Sıvı kristaller kristal yapıdaki anizotropik düzen (moleküler yönelim her ekseninde farklı olan) ile sıvı yapıdaki izotrop düzen (moleküler yönelim

her ekseninde aynı olan) arasında bir davranış sergiler. Moleküler yönelim ve yerleşimi belirleyen düzen parametresi,

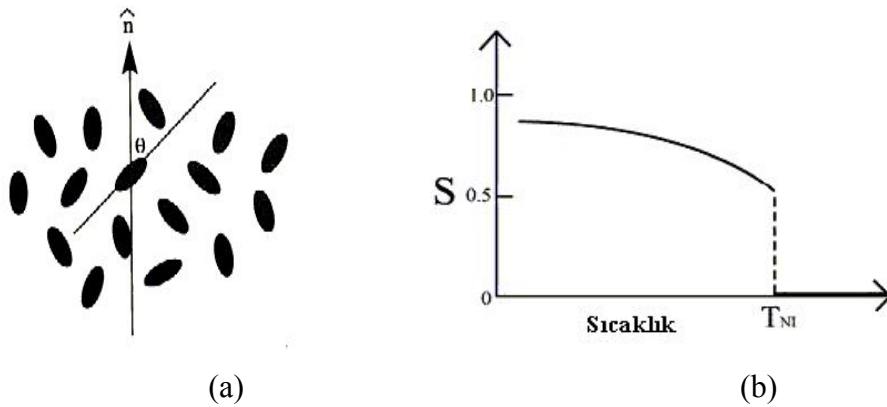
$$S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle \quad (3.1)$$

ile ifade edilir. Burada, θ kristal yönelimi ile moleküler yönelim (director) arasındaki açıdır.



Şekil 3.2. Sıvı kristal faz yapısı

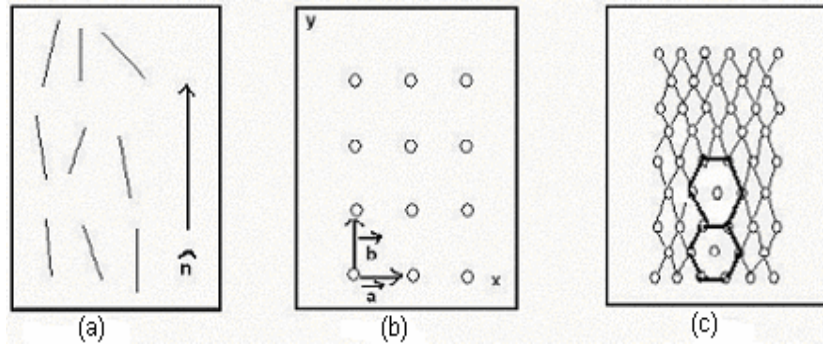
S 'nin değerine göre, pek çok sıvı kristal faz durumu vardır (Gennes,1993). Sıvı kristaller için düzen parametresi, $S \sim 1$ civarında kristal özelliğe, $S \sim 0$ civarında ise sıvı özelliğe daha çok yaklaşır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. a) Moleküllerin yönelim düzeni, b) Düzen parametresi sıcaklık grafiği

3.1.3. Sıvı kristallerin moleküler düzeni

Sıvı kristallerde moleküllerin yerleşim ve yönelimine bağlı olarak üç temel düzen vardır (Şekil 3.4). Bu düzenler sıcaklık değişimi, basınç ve alan etkileriyle değişebilir. Şekil 3.4'te a) Yönelimsel düzeni (OO): yönelim vektörü, (b) 2-D' deki yerleşim düzeni (PO): a ve b ile temsil edilir, c) Bağ yönelim düzeni (BOO): hegzatik smektiklerde gözlenir.



Şekil 3.4. Sıvı kristal düzenlerin şematik gösterimi

3.1.4. Sıcaklığa bağlı faz dönüşümleri

Sıcaklığın değişimine bağlı olarak soğutulma işlemi, sıvı davranış sergileyen izotropik fazdan, daha kararlı bir yapıya sahip olan nematik faza geçiş gözlenir. Moleküler simetrisinin gereği olarak, izotropik fazdan nematik faza geçişte birinci dereceden faz geçişi gözlenir. Bunun nedeni, izotropik ile nematik geçiş sırasında entalpinin yüksek, entropinin düşük olmasıdır (Çizelge 3.1).

İzotropik sıvı ile smektik A fazı arasındaki geçişler yine birinci dereceden geçişlerdir. Nematik fazdan smektik-A fazına geçişte hem birinci dereceden, hem de ikinci dereceden faz geçişleri gözlenir. Bu geçişler, özellikle nematik fazın genişliğine, yönelim düzenine (OO) ve yerleşim düzenine (PO) bağlı geçişlerdir. Sıcaklığın değişimine bağlı olarak smektik fazdan hegzatik faza, hegzatik fazdan kararlı faz olan kristal fazlara geçişler gözlenir (Chandrasekhar, 1992).

Çizelge 3.1. Sıcaklığın değişimine göre faz durumları

Sıcaklık	Faz	Düzen tipi	Sembol
↑ Yüksek sıcaklık Düşük sıcaklık	İzotropik	–	I
	Nematik	OO	N
	Smektik A	PO	SmA
	Hegzatik B	Düzlemde LR ¹ -BOO ve SR ² -PO	HegB
	Kristal B	Düzlemde LR-PO ve SR-BOO	KrB
	Kristal E	Düzlemde LR-PO ve BOO	KrE

3.1.5. Sıvı kristallerin çeşitleri ve yapıları

Sıvı kristaller moleküler düzene göre sınıflandırıldığında, *nematik düzen*, *smektik düzen* ve *kolesterik düzen* olarak üç gruba ayrılır. Bu düzenleri belirleyen moleküler yönelim ve yerleşimde sıcaklık değişimi asıl etkindir.

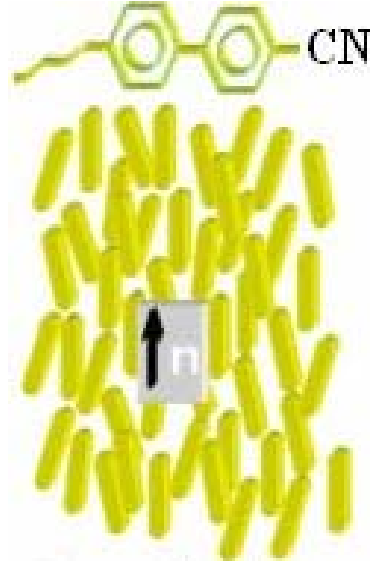
3.1.5.1. Nematik düzen

Nematik sıvı kristallerin molekül düzeninde yapı tabaka halinde olmayıp, moleküllerin ağırlık merkezlerinin sıralanması rasgeledir (Şekil 3.5). Nematik düzeni oluşturan moleküllerin sıralanmasında uzun erimli düzen yoktur. Ancak uzun erimli (LR) düzen, moleküllerin yönelimine yani eksenlerinin sıralanmasına göre gerçekleşir.

Moleküllerin her biri diğerine göre paralel olma eğilimindedir. Nematik sıvı kristaller, optiksel olarak bir eksenli olup, optik eksen \hat{n} yönelim vektörü doğrultusunda yönelmiştir. Nematik sıvı kristal moleküllere, optiksel olarak etkin moleküller eklenerek sarmal (heliks) yapıdaki kolesterik yapıyı oluşturmak mümkündür. Isıl denge durumunda, nematik faz ∞/mm simetriye sahiptir, bundan dolayı tek eksenlidir. Temel eksen olan \hat{n} 'nin yönü de uzayda sabittir.

¹ LR: uzun zincir (erim)

² SR: kısa zincir



Şekil 3.5. Nematik düzenin şematik görünümü

3.1.5.2. Smektik düzen

Smektik sıvı kristaller moleküllerin yönelimine, bazı durumlarda ise bağ yönelimine ek olarak konumlarından dolayı sahip oldukları düzene göre farklılık göstermektedirler. Genel olarak çubuk biçimli molekülleri vardır. Sekiz simetrik fazın deneysel olarak tanımlanmasına (A, B, C, C*, D, E, F, G, H, H*) rağmen, üçü dışında tam olarak karakterize edilmemiştir. Bu fazların molekül düzenlerinin doğasında hala gözle görülür belirsizlik vardır.

En iyi şekilde anlaşılmış, simetrik A, B ve C fazlarında benzer olan özellik, öteleme düzenlerinin bir dereceli olmasıdır. Sözü geçen durum bizi tabakalar halindeki yapıya götürür. Kısmen öteleme düzenleri sonucunda smektik fazlar hem nematik hem de kolesterik fazdan daha fazla viskozdur.

a) Smektik A düzeni: Smektik A mezofazı katmanlı yapı ve iki boyutlu kristallere benzerdir (Şekil 3.6). Moleküllerin ağırlık merkezleri bir tabakada yerleşir, tabakanın kalınlığı yaklaşık olarak moleküllerin uzunluklarına eşittir. Moleküllerin dizilmesini karakterize eden \hat{n} direktör vektörü tabakalara dik olarak yönelmiştir. Smektik A'lar optiksel olarak bir eksenlidir ve optik eksen, tabakalara

dik olarak yönelmiştir. Çok kısa uzaklıklar dışında smektik mezofazının moleküllerinin kütle merkezleri ile ilişkileri yoktur. Böylece tabakalar tek tek sıralanmıştır. Simetrik A fazı, tabaka normaline paralel eksendeki sonsuz katlı dönme simetrisinden dolayı, ısısal denge durumunda optiksel olarak tek eksenlidir.



Şekil 3.6. Smektik A fazının şematik görünümü

b) Smektik B düzeni: Smektik B mezofazında, tabakaların artık akışkan olmadığı, A ve C fazlarının tersine, simetrik B fazının mekanik özelliklerinin üç boyutlu düzene sahip maddelerden beklenenden oldukça farklı olduğu görülür. Smektik B fazının plastik kristal olduğu önerilmiştir. Smektik B fazları sonlu yönelim açısına bağlı olarak iki eksenli ve tek eksenli olabilir.

c) Smektik C düzeni: Smektik C mezofazının düzeni, moleküllerin belli bir açıda yönelimini temsil eder (Şekil 3.7).



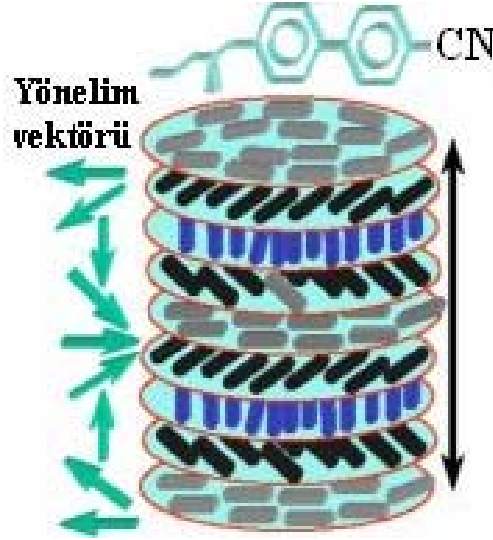
Şekil 3.7. Smektik C düzeni

Smektik C mezofazının, smektik A mezofazı ile oldukça yakın benzerliği vardır. En önemli fark, smektik C moleküllerinin tabaka normallerine göre uzun moleküler eksenle bir θ açısı altında yönelmiş olmasıdır. Moleküllerin ağırlık merkezleri bir tabaka üzerinde yerleşir, tabakaların kalınlığı moleküllerin uzunluğundan azdır. Moleküllerin hareketliliği smektik A fazına benzerdir. Yine de uzun eksenler etrafındaki dönmeler, smektik A fazına göre biraz daha fazla engellenir. Smektik C mezofazı, optiksel olarak iki eksenlidir.

3.1.5.3. Kolesterik düzen

Bu sıvı kristaller, nematiklere göre daha çok moleküler simetriye sahiptir. Şematik yapıları nematiklerin heliks şeklindeki tabakalara yerleşimiyle temsil edilir (Şekil 3.8). Moleküllerin ağırlık merkezlerini ve yönlerini karakterize eden \hat{n} eksen, bir yüzeye yerleşir. Böylece temel eksen \hat{n} direktörünün yönü sabit kalmaz ve yüzeyden yüzeye geçerken değişir ve heliks şeklini oluşturur. Kolesterikler heliks adımı ile karakterize edilir. Bu heliks adımı, hem sola, hem sağa yönelimli olabilir. Heliks adımı sıcaklık, basınç ve alanların etkisiyle değişir. Heliksin eksenine dik yönde ve belli büyüklükte manyetik veya elektrik alan uygulanarak kolesteriğin heliks yapısını bozup, nematik yapılı düzen oluşturmak mümkündür. Sola veya sağa yönelmiş kolesteriğe, belli derişimdeki ters yönelimli kolesterik ekleyerek heliks yapıyı bozmak mümkündür. Bu bozunma yöntemiyle nematik yapı oluşturulur. Optiksel olarak iki eksenlidirler ve optiksel eksen, sarmalın eksenine paralel yöndedir.

Nematik fazda uzun erimli öteleme düzenin eksikliği kolesterik fazda akışkanlığa neden olur. Bu durum, küçük ölçekte nematik ve kolesterik düzenin çok benzer olduğunun kanıtıdır (Helfrich, 1980).

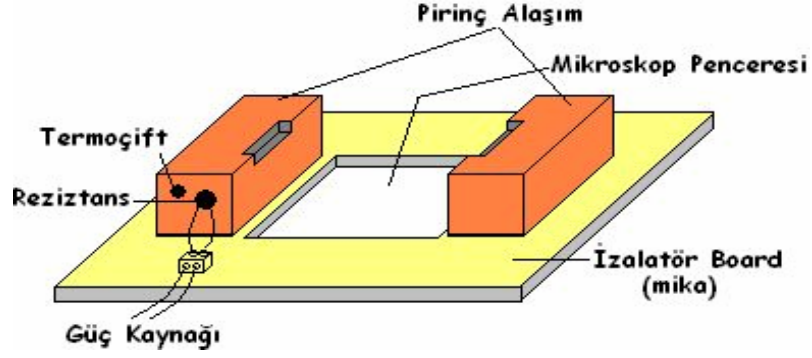


Şekil 3.8. Kolesterik fazın şematik gösterilmesi

Faz değişim bölgesinde, sıvı kristalde \hat{n} yönelim vektörü elektrik alan uygulanmasıyla değiştirilebilir. Kolesterik fazda moleküller, uygulanan alanla kendilerini aynı doğrultuya getirmeye meylederler (Yılmaz ve Koc, 2005). Her bir katmandaki \hat{n} yönelim vektörünün bir dış alan boyunca aynı doğrultuya gelme yeteneği moleküllerin elektriksel doğasıyla ilgilidir. Sıvı kristale bir dış elektrik alan uygulandığı zaman, dipolü oluşturan moleküller uygulanan alanın yönü doğrultusunda kendilerini yönelmeye meylederler. Moleküllerin elektrik alana bağlı yönelmeleri sonucunda, eksene bağlı dielektrik özellikleri değişir. Bu değişim maddenin ışığa karşı etkileşmesini belirleyen optik özelliklerinde değişime neden olur (Barber, 1990).

3.1.6. Sıvı kristallerde sıcaklık gradyanının incelenmesi

Sıvı kristaldeki mezofazları ve aynı fazdaki sıcaklığın uzay ve zaman açısından değişimini eş zamanlı gözleyebilmek için geliştirilen bir uygulamadır. Bu uygulama ile sıvı kristal numunedeki sıcaklık dağılımının uzaysal değişimi incelenir. Kurulan sistem ve hazırlanan hücrenin hassasiyetine göre, sıcaklık değişiminin çok küçük aralıktaki değişimini incelemek mümkündür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Isı gradyanı tablası

Şekil 3.9'daki pirinç alaşımlardan sağdaki referans sıcaklığında (oda sıcaklığı) tutulur, diğeri ise rezistans yardımıyla ısıtılır. Hazırlanan sıvı kristal hücre pirinç alaşım üzerine yerleştirilir. Sıcaklık değişimine göre aynı anda mezofazın pek çoğu mikroskopta gözlemlenebilir. Böylece sıcaklığın numunenin uzunluğuna göre değişim gradyanı belirlenir.

3.2. Isı İletiminde Nümerik Yöntemler

Değişik materyallerin ısı iletim problemlerini çözmek için birçok nümerik yöntem bulunmaktadır. Bunlar materyalin yapısına, lineer, düzlemsel ve hacimsel ısı iletimine göre farklı olarak uygulanır. Bu alanda yaygın olarak *sonlu farklar*, *sonlu elemanlar*, *sınır elemanları* ve *enerji denge metotları* kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen her metodun avantaj ve dezavantajları vardır. Fakat bugün ısı transferi problemlerinin nümerik analizinde en çok kullanılan yöntem, *sonlu farklar* ve *sonlu elemanlar* yöntemidir. Bu çalışmamızda uygulama kolaylığı nedeniyle çeşitli geometrilere sürekli ve süreksiz dağılım için sonlu farklar yöntemi bazı nematik sıvı kristaller için uygulanmıştır. Nematik sıvı kristal olarak oda sıcaklığında, nematik faz aralığına sahip numuneler seçilmiştir. 5CB'nin nematik faz aralığı, 22–35°C 8CB'nin nematik faz aralığı ise, 33.5–40.8°C'dir. Sonlu farklar yöntemine girmeden önce bu yöntemin kullanımında çok yararlı olan cebirsel denklem sistemlerinin çözüm yöntemleri üzerinde kısaca durmak faydalı olacaktır.

3.2.1. Cebirsel denklem sistemlerinin çözüm yöntemleri

Cebirsel denklemlerin çözümünde bilinmeyen sayısı az ise, yok etme yöntemiyle denklem sistemi analitik olarak çözülebilir. Bilinmeyen sayısı fazla olduğu durumda, denklem sistemini bilgisayar yardımıyla çözmek gerekir. Cebirsel denklem sistemlerinin çözümünde birçok yöntem kullanılmaktadır. Burada bu yöntemler içinde Gauss yok etme ile Gauss-Seidel tekraralama yöntemi üzerinde durulacaktır.

3.2.1.1. Gauss yok etme yöntemi

Denklem sisteminde bilinmeyenlerden ilki, daha sonra ikinci, üçüncü ve diğer bilinmeyenler birer birer yok edilerek, bir bilinmeyen diğer bilinmeyen cinsinden ifade edilir. Bu durum devam ettirilerek bilinmeyen sayısı bire kadar indirilir.

3.2.1.2. Gauss-Seidel tekraralama yöntemi

Lineer cebirsel denklem sistemlerinin çözümü için kullanılan en basit tekraralama (iterasyon) yöntemi Gauss-Seidel iterasyon yöntemidir. Birçok problemin çözümünde bu yöntemle hızlı sonuç alınabilir. Fakat bazen de, Gauss-Seidel tekraralama yöntemi ile iyi sonuç almak mümkün olmayabilir. Bu yöntemle sonuca ulaşmak için;

$$x_k = AX_{k-1} + C \quad (3.2)$$

ifadesinde A matrisinin bütün öz-değerlerinin birden küçük olması gerekir.

Gauss-Seidel iterasyon yöntemi uygulanırken aşağıda verilen adımlar izlenir.

1. Cebirsel denklem sisteminde her bilinmeyen diğer bilinmeyenler cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\left. \begin{aligned}
 x_1 &= f(x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \\
 x_2 &= f(x_1, x_3, x_4, \dots, x_n) \\
 x_3 &= f(x_1, x_2, x_4, \dots, x_n) \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 x_n &= f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_{n+1})
 \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

2. Tüm bilinmeyenler için ilk iterasyon olarak bir tahmin yapılır. Genelde sıfırcı iterasyon olarak tanımlamak ve $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0, \dots, x_n = 0$ olarak tahmin yapmak çözümde kolaylık sağlar.
3. İlk iterasyonda bulunan bilinmeyen değerler, 1. iterasyon için tahmin edilen değerler olarak alınıp; (3.3) ifadesinde yerine konularak yeni değerler elde edilir.
4. İterasyon işlemi devam ettirilir.
5. $|X_n^k - X_n^{k-1}| \leq \varepsilon$ yakınsaklık kriteri sağlandığında iterasyon işlemine son verilir. Burada ε kabul edilebilir yakınsaklık katsayısıdır. k ise iterasyon adımını göstermektedir.

3.2.1.3. Lineer denklem sistemlerinin matris yöntemiyle çözümü

Lineer cebirsel denklem sistemlerinin çözümü, nümerik hesaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle iki noktalı sınır değer problemleri, kısmi diferansiyel denklemler, sonlu elemanlar yöntemi, en küçük kareler methoduyla eğri uyarlama ve istatistiksel analizlerde bu yöntem yaygın kullanılmaktadır. Burada sadece sıcaklığa bağlı olarak sonlu fark denklemlerinin çözümünde matris notasyonunun kullanımı verilecektir. Bu amaçla önce n sayıda bilinmeyen sıcaklık ve buna karşı gelen n sayıda sonlu fark lineer denklem takımı elde etmek gerekir. Bu denklem takımı ise aşağıdaki sıralamayla sağlanır.

$$\left. \begin{array}{l} a_{11}T_1 + a_{12}T_2 + a_{13}T_3 + \dots + a_{1n}T_n = C_1 \\ a_{21}T_1 + a_{22}T_2 + a_{23}T_3 + \dots + a_{2n}T_n = C_2 \\ a_{31}T_1 + a_{32}T_2 + a_{33}T_3 + \dots + a_{3n}T_n = C_3 \\ \dots\dots\dots \\ a_{n1}T_1 + a_{n2}T_2 + a_{n3}T_3 + \dots + a_{nn}T_n = C_n \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Burada, $a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, \dots, a_{2n}, a_{31}, a_{32}, a_{33}, \dots, a_{3n}, a_{n1}, a_{n2}, a_{n3}, \dots, a_{nn}$ ve C_1, C_2, \dots, C_n bilinen katsayılarıdır. $\Delta x, k$ ve T_∞ değerlerine bağlı olarak ifade edilir. Bilinmeyen değerler $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ değerleridir. Denklem takımı matris formunda aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\begin{bmatrix} a_{11} + a_{12} + a_{13} + \dots + a_{1n} \\ a_{21} + a_{22} + a_{23} + \dots + a_{2n} \\ a_{31} + a_{32} + a_{33} + \dots + a_{3n} \\ \dots\dots\dots \\ a_{n1} + a_{n2} + a_{n3} + \dots + a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ \cdot \\ T_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \cdot \\ C_n \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Bu matris matematikte yaygın kullanılan dönüşüm matrisi (transition matrix) olup, kısaca

$$[A][T] = [C] \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[A]$ matrisi $n \times n$ boyutunda bir kare matris, $[T]$ ve $[C]$ matrisleri ise, sütun vektörleridir. (3.6) ile verilen ifade,

$$[T] = [A]^{-1}[C] = [B][C] \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. $[B]$ matrisi, elemanları $b_{11}, b_{12}, b_{13}, \dots, b_{1n}, b_{21}, b_{22}, b_{23}, \dots, b_{2n}, b_{31}, b_{32}, b_{33}, \dots, b_{3n}, b_{n1}, b_{n2}, b_{n3}, \dots, b_{nn}$ olan $[A]$ matrisinin tersidir. (3.7) ifadesi açık olarak aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ \cdot \\ T_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} + b_{12} + b_{13} + \dots + b_{1n} \\ b_{21} + b_{22} + b_{23} + \dots + b_{2n} \\ b_{31} + b_{32} + b_{33} + \dots + b_{3n} \\ \dots \\ b_{n1} + b_{n2} + b_{n3} + \dots + b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \cdot \\ C_n \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

[A] matrisi açılarak bulunması gereken sıcaklıklar;

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = b_{11}C_1 + b_{12}C_2 + b_{13}C_3 + \dots + b_{1n}C_n \\ T_2 = b_{21}C_1 + b_{22}C_2 + b_{23}C_3 + \dots + b_{2n}C_n \\ \dots \\ T_n = b_{n1}C_1 + b_{n2}C_2 + b_{n3}C_3 + \dots + b_{nn}C_n \end{array} \right\} \quad (3.9)$$

şeklinde elde edilir. Bu yöntem iki boyutlu problemlerin çözümüne imkan sağlar.

3.2.2. Sonlu fark yöntemi (Finite Difference Method)

Uygulamada kolaylığı nedeniyle çok kullanılan sonlu fark yöntemi, özellikle nümerik çözümler için bir temel teşkil eder. Birçok problem sürekli ve çok değişkenli bir fonksiyon olarak verilebilir veya değişkenlerin belli değerleri için bir fonksiyon oluşturulabilir. Bazı durumlarda fonksiyon bir takım ayrık noktalarda belirlenmiştir. Bu takdirde sonlu farklar matematiği kullanılarak bilinmeyen noktalardaki fonksiyonun değeri için tahmin yapmak mümkündür. Hatta bu kolaylığı nedeniyle, birçok durumda problemin analitik çözümü olduğu halde, problem sonlu farklar yöntemiyle daha basite indirgenir. Sıcaklığın uzaysal dağılımı için bir sistem belirleyelim (Şekil 3.10). Bu sistem için X_m noktasında X 'e bağlı bir $T(x)$ fonksiyonunun türevi

$$\left(\frac{dT}{dx} \right)_{x_m+\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{T_{x_m+\Delta x} - T_x}{\Delta x} \cong \frac{T_{m+1} - T_m}{\Delta x} \quad (3.10)$$

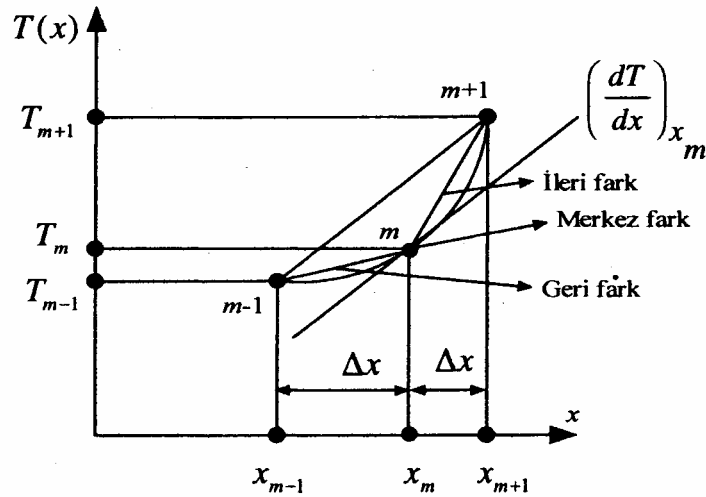
şeklinde yazılabilir. Bu ifade, $T(x)$ fonksiyonunun X_m noktasındaki birinci türevinin ileri fark formudur. Aynı şekilde $T(x)$ fonksiyonunun X_m noktasında geriye doğru türevi ise,

$$\left(\frac{dT}{dx}\right)_{x_m-\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{T_{x_m} - T_{x_m-\Delta x}}{\Delta x} \cong \frac{T_m - T_{m-1}}{\Delta x} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifade birinci türevin geri fark şeklinde yazılımdır. X_m noktası için daha iyi bir yaklaşım olarak,

$$\left(\frac{dT}{dx}\right)_{x_m} = \frac{T_{m+1} - T_{m-1}}{2\Delta x} \quad (3.12)$$

bağıntısını yazmak mümkündür. Bu ifadeye $T(x)$ fonksiyonunun X_m noktasında birinci türevin merkez fark formu adı verilir.



Şekil 3.10. Türevin sonlu fark yaklaşımı

3.2.2.1. Sürekli dağılımda ısı iletiminin sonlu fark yöntemiyle analizi

Sürekli dağılımda ve içinde ısı kaynağı olan L kalınlığında bir levha dikkate alınsın (Şekil 3.11). Bu sistemde x ekseninde bir m noktası $x_m = m\Delta x$ ile

tanımlansın ve sıcaklığı $T_{x_m} = T_m$ olsun. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi m düğüm noktası için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q_{iletim,sol} + q_{iletim,sağ} + \dot{q}dv = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 0 \quad (3.13)$$

$$q_{iletim,sol} = -kA \frac{dT}{dx} = kA \frac{T_{m-1} - T_m}{\Delta x} \quad (3.14)$$

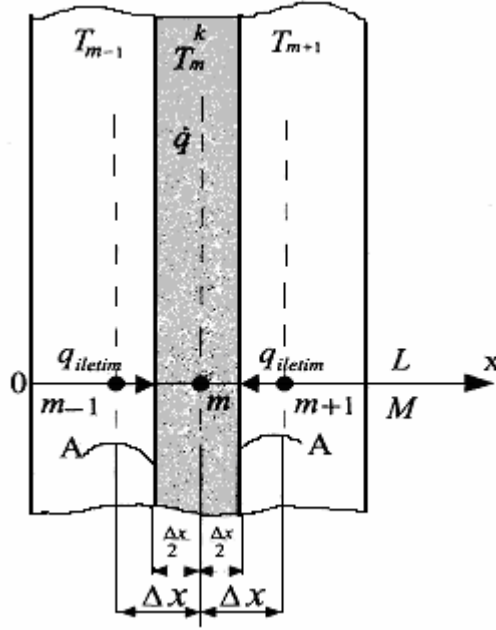
$$q_{iletim,sağ} = -kA \frac{dT}{dx} = kA \frac{T_{m+1} - T_m}{\Delta x} \quad (3.15)$$

$$\dot{q}dv = \dot{q}A\Delta x \quad (3.16)$$

bu değerler (3.13)’te yerine koyulursa,

$$\frac{T_{m-1} + T_{m+1} - 2T_m}{(\Delta x)^2} + \frac{\dot{q}}{k} = 0 \quad (3.17)$$

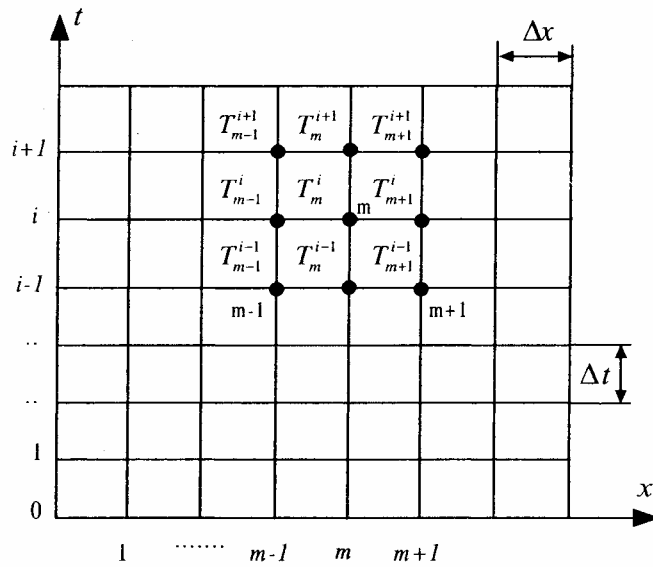
ifadesi elde edilir. Bu ifade, $M - 1$, iç düğüm noktalarının her birine uygulanır. Yüzeyde bulunan düğüm noktalarının sıcaklıklarını bulmak için, sınırdaki düğüm noktalarına enerji dengesi uygulanır.



Şekil 3.11. L kalınlığındaki levhada bir boyutlu ısı iletiminin sonlu fark denklemi için düğüm noktaları

3.2.2.2. Süreksiz dağılımda ısı iletiminin sonlu fark yöntemiyle analizi

Şekil 3.12'de Δt çok küçük zaman aralığı, Δx iki düğüm arasındaki mesafe ve "i" üst indisi, zaman artışının adımını gösterir. Tek boyutlu ısı iletim denklemini açık (explicit) ve kapalı (implicit) yöntem kullanılarak sonlu farklar denklemleri şeklinde yazılabilir.



Şekil 3.12. Zamana bağlı sonlu fark diyagramı ve düğüm noktaları

3.2.2.2.1. Açık (Explicit) yöntem

Bilindiği gibi malzemelerin ısı yayılımı ifade eden difüzyon denklemi,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.18)$$

şeklinde verilmektedir. Burada α ısı yayılım katsayısıdır. Bu ifade açık yöntem kullanılarak sonlu farklar formunda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{m+1}^i + T_{m-1}^i - 2T_m^i}{(\Delta x)^2} \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.20)$$

Bu ifadeler (3.18) ifadesinde yerine koyulursa,

$$\frac{T_{m+1}^i + T_{m-1}^i - 2T_m^i}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.21)$$

veya

$$T_m^{i+1} = F_0 (T_{m+1}^i + T_{m-1}^i) + T_m^i (1 - 2F_0) \quad (3.22)$$

bağıntısı elde edilir. Burada $t + \Delta t$ zamanında m düğüm noktasındaki sıcaklık, T_m^{i+1}

formundadır. $F_0 = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2}$ ifadesinin boyutsuz zaman veya Fourier sayısı olduğu

hatırlanmalıdır. (3.22) bağıntısıyla verilen ifade, açık yöntemle iç düğüm noktalarının sıcaklıklarını verir. Şimdi bir boyutlu katı bir cisim göz önüne alalım (Şekil 3.13). Cismin kalınlığı L , birim hacmindeki ısı üretimi \dot{q} , ısı iletim katsayısı

k , iki düğüm arasındaki uzaklık $\Delta x = \frac{L}{M-1}$ ve iç düğümün hacim elemanı $A\Delta x$ olsun. Burada M düğüm sayısıdır. Termodinamiğin 1.yasası (sistemle çevresinin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji, çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşit olmak zorundadır) bu hacim elemanına uygulanırsa,

$$T_{m+1}^i + T_{m-1}^i - 2T_m^i + \dot{q} \frac{(\Delta x)^2}{k} = \frac{\rho C}{k\Delta t} (\Delta x)^2 (T_m^{i+1} - T_m^i) \quad (3.23)$$

şeklinde yazılabilir. Isı yayılım katsayısının;

$$\alpha = \frac{k}{\rho C} \text{ ve } \frac{(\Delta x)^2}{\alpha \Delta t} = \frac{1}{F_0} \quad (3.24)$$

olduğu dikkate alınırsa (3.23) ifadesi;

$$T_m^{i+1} = F_0 (T_{m+1}^i + T_{m-1}^i) + T_m^i (1 - 2F_0) + \frac{\dot{q}(\Delta x)^2}{k} F_0 \quad (3.25)$$

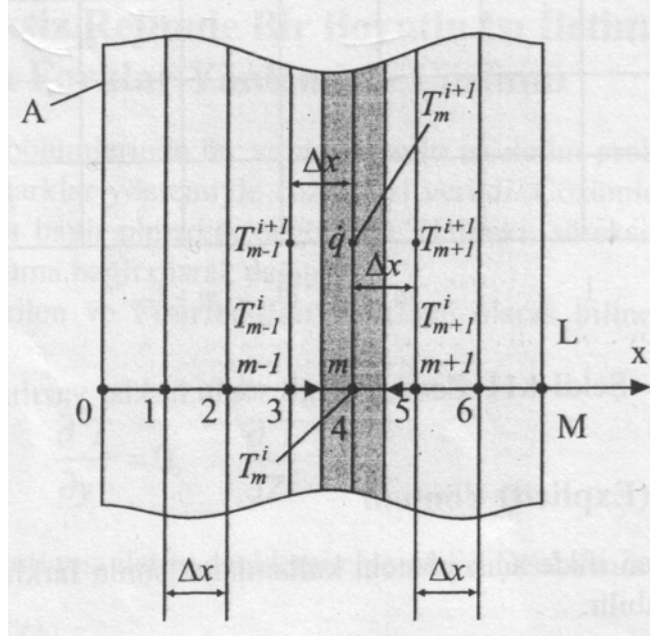
formunda elde edilir. Sistemde ısı üretimi yok ise, $\dot{q} = 0$ olacağından, (3.25) ifadesi;

$$T_m^{i+1} = F_0 (T_{m+1}^i + T_{m-1}^i) + T_m^i (1 - 2F_0) \quad (3.26)$$

formuna dönüşür. Bu bağıntı (3.22) ile verilen ifadeyle aynıdır. Bu ifadede T_m^i 'nin katsayısı Δx ve Δt 'nin değerlerine bağlı olarak sıfır, negatif veya pozitif olabilir. Denklemi çözmek için kararlılık ön koşuldur. (3.26) ile verilen ifadede çözümün kararlı olabilmesi için, bir boyutlu geometride iç düğüm noktalarının yakınsaklık şartı,

$$(1 - 2F_0) \geq 0 \quad (3.27)$$

olmalıdır. Buradan $F_0 \leq \frac{1}{2}$ yazılabilir.



Şekil 3.13. Bir boyutlu katı cisim

3.2.2.2.2. Kapalı (Implicit) yöntem

Açık yöntemde yakınsama şartı sağlansa bile, Δt zaman adımının seçiminde sınırlama söz konusudur. Çözüm için çok sayıda Δt zaman adımı gereklidir. Çünkü seçilen ağ aralığı ve Δt zaman adımı yakınsama şartı ile uyumu gerekir. Çok sayıda Δt zaman adımının olması hesaplamayı çok uzatır. Bu nedenle, açık yöntem yerine kapalı yöntem tercih edilir.

Açık yöntemde T_m^{i+1} ; sadece T_m^i , T_{m+1}^i ve T_{m-1}^i değerlerine bağlıdır. Halbuki T_m^{i+1} 'nin aynı zamanda T_{m+2}^i değerine de bağlı olması gerekir. Sıcaklığın konuma göre ikinci türevi daha önce

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{m+1}^i + T_{m-1}^i - 2T_m^i}{(\Delta x)^2} \quad (3.28)$$

formunda verilmiştir. Sıcaklığın zamana göre değişimi ise,

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.29)$$

şeklinde verilmiştir. (3.28) ifadesinde i yerine $i+1$ yazılır ve ısı iletim denklemindeki değerler yerine koyulursa, kapalı yöntem için

$$\frac{T_{m+1}^{i+1} + T_{m-1}^{i+1} - 2T_m^{i+1}}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.30)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade yeniden düzenlenerek herhangi bir düğüm noktası için,

$$T_m^i = (1 + 2F_0)T_m^{i+1} - F_0 [T_{m+1}^{i+1} + T_{m-1}^{i+1}] \quad (3.31)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer sistem içinde ısı kaynağı var ise (3.31) ifadesi,

$$T_m^i = (1 + 2F_0)T_m^{i+1} - F_0 \left[T_{m+1}^{i+1} + T_{m-1}^{i+1} + \frac{\dot{q}(\Delta x)^2}{k} \right] \quad (3.32)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Kapalı yöntem şartsız olarak yakınsaktır. Bu durum açık yönteme göre önemli bir üstünlüktür. Δt zaman adımının yeterince küçük seçilmesi sonuçların çok hassas bulunmasını sağlar. Fakat büyük seçilse bile, yeterli hassaslık sağlanabilir.

3.2.2.2.3. Crank-Nicolson yöntemi

Bu yöntemde izlenen yol, (3.21) ifadesi ile (3.30) ifadesinin aritmetik ortalamasını almaktır. Açık yöntem için (3.21) ifadesi;

$$\frac{T_{m+1}^i + T_{m-1}^i - 2T_m^i}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.33)$$

ve kapalı yöntem için verilen (3.30) bağıntısı,

$$\frac{T_{m+1}^{i+1} + T_{m-1}^{i+1} - 2T_m^{i+1}}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.34)$$

şeklindedir. Bu iki ifadenin aritmetik ortalaması aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{T_{m+1}^i + T_{m-1}^i - 2T_m^i}{2(\Delta x)^2} + \frac{T_{m+1}^{i+1} + T_{m-1}^{i+1} - 2T_m^{i+1}}{2(\Delta x)^2} = \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\alpha t} \quad (3.35)$$

Bu ifade düzenlenerek yeniden yazılırsa;

$$2T_m^{i+1}(1 + F_0) - F_0(T_{m+1}^{i+1} + T_{m-1}^{i+1}) = F_0(T_{m+1}^i + T_{m-1}^i) + 2T_m^i(1 - F_0) \quad (3.36)$$

bağıntısı elde edilir. Bu eşitlikle bilinmeyenler daha önce verilen yöntemle bulunabilir. Crank-Nicolson yöntemi F_0 'ın bütün değerleri için yakınsak kabul edilir (Altınışik, 2004).

3.2.3. Isı denklemleri ve sonlu fark metodunun matris temsili

Matematikte ikinci dereceden kısmi diferansiyel denklemler,

$$a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2b \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + d \frac{\partial u}{\partial x} + e \frac{\partial u}{\partial y} + fu + g = 0 \quad (3.37)$$

şeklinde ifade edilir. a, b, c, d, e, f ve g hem bağımsız fonksiyonlar (x ve y) hem de bağımlı (u) değişkenler olabilirler. Kısmi diferansiyel denklemler,

$$Z = \begin{bmatrix} a & b \\ b & c \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

matrisinin özelliklerine göre parabolik, eliptik ve hiperbolik olmak üzere üç sınıfa ayrılır. $b^2 - 4ac = 0$ ise parabolik, $b^2 - 4ac < 0$ ise eliptik ve $b^2 - 4ac > 0$ ise hiperboliktir.

Bu denklemlerin en yaygın olanları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Parabolik kısmi diferansiyel denklem ısı veya difüzyon denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x,t) = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x,t), \quad 0 < x < l, \quad t > 0, \quad (3.39)$$

Başlangıç koşulları ise,

$$u(0,t) = 0, \quad u(l,t) = 0, \quad t > 0, \quad u(x,0) = f(x), \quad 0 \leq x \leq l$$

olarak verilmiştir. $m = l/h$ ’ın tam sayı olması koşuluyla iki adım sabiti (h ve k) seçilsin. Bu durum için düğüm noktaları (x_i, t_j) ’dir. Burada $i = 0, 1, \dots, m$ için $x_i = ih$ ve $j = 0, 1, \dots$ için $t_j = jk$ ’dir.

Çizelge 3.2. Parabolik, eliptik ve hiperbolik denklem takımları

Parabolik	$D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial t} = f(x,t)$	Difüzyon denklemi
	$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + i\hbar \frac{\partial u}{\partial t} - U(x)u = 0$	Schrödinger denklemi
Eliptik	$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -\rho(x,y)$	Potansiyel denklemi
	$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{2m}{\hbar^2} U(x)u = 0$	Schrödinger denklemi
Hiperbolik	$\gamma^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = f(x,t)$	Dalga denklemi
	$\gamma^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \eta \frac{\partial u}{\partial t} = f(x,t)$	Hacim başına enerjinin azaldığı dalga denklemi

Fark oranı formuyla t 'de Taylor serisi yardımıyla fark metodu elde edilir.

$$t_{j+1} = jk + k = t_j + k \quad (3.40)$$

$$u(x_i, t_{j+1}) = u(x_i, t_j + k) = u(x_i, t_j) + k \frac{\partial u}{\partial t}(x_i, t_j) + \frac{k^2}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j) \quad (3.41)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x_i, t_j) = \frac{u(x_i, t_j + k) - u(x_i, t_j)}{k} - \frac{k}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j), \quad (3.42)$$

Burada; $\mu_j \in (t_j, t_{j+1})$ olup fark oranı x 'de Taylor serisine açılarak;

$$x_{i+1} = ih + h = x_i + h \quad (3.43)$$

$$x_{i-1} = ih - h = x_i - h \quad (3.44)$$

$$\begin{aligned} u(x_{i+1}, t_j) = u(x_i + h, t_j) = & u(x_i, t_j) + h \frac{\partial u}{\partial x}(x_i, t_j) + \frac{h^2}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, t_j) \\ & + \frac{h^3}{6} \frac{\partial^3 u}{\partial x^3}(x_i, t_j) + \frac{h^4}{24} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi_i, t_j) \end{aligned} \quad (3.45)$$

$$\begin{aligned} u(x_{i-1}, t_j) = u(x_i - h, t_j) = & u(x_i, t_j) - h \frac{\partial u}{\partial x}(x_i, t_j) + \frac{h^2}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, t_j) \\ & - \frac{h^3}{6} \frac{\partial^3 u}{\partial x^3}(x_i, t_j) + \frac{h^4}{24} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi_i, t_j) \end{aligned} \quad (3.46)$$

elde edilir. Burada $\xi_i \in (x_{i-1}, x_{i+1})$ 'dir. Bu iki ifade toplanırsa

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, t_j) = \frac{u(x_i + h, t_j) - 2u(x_i, t_j) + u(x_i - h, t_j)}{h^2} - \frac{h^2}{12} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi_i, t_j) \quad (3.47)$$

elde edilir. (3.39) ifadesindeki kısmi diferansiyel denklem, iç düğüm noktasında (x_i, t_j) için $i = 1, 2, \dots, m-1$ ve $j = 1, 2, \dots$ olduğunu ifade eder. O zaman (3.39) denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x_i, t_j) - \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x_i, t_j) = 0 \quad (3.48)$$

şeklinde yazılabilir. (3.42) ve (3.47) sonlu fark oranları kullanılarak ileri fark ifadesi

$$\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{k} - \alpha \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{h^2} = 0 \quad (3.49)$$

formuyla belirlenir. Burada $T_{i,j} \cong u(x_i, t_j)$ 'dir. Bu fark denklemi için kırpma hatası,

$$\tau_{i,j} = \frac{k}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j) - \alpha \frac{h^2}{12} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi_i, t_j) \quad (3.50)$$

olur. (3.49) ifadesinden $T_{i,j+1}$

$$T_{i,j+1} = \left(1 - \frac{2\alpha^2 k}{h^2}\right) T_{i,j} + \alpha \frac{k}{h^2} (T_{i+1,j} + T_{i-1,j}) \quad (3.51)$$

şeklindedir. Burada $i = 1, 2, \dots, m-1$ ve $j = 1, 2, \dots$ dir. $0 \leq x \leq l$ için $u(x, 0) = f(x)$ başlangıç koşulları, $i = 0, 1, \dots, m$ için $T_{i,0} = f(x_i)$ olduğunu ifade eder. Bu değerler $T_{i,1}$ 'in değerini ($i = 1, 2, \dots, (m-1)$) bulmak için (3.51) ifadesinde kullanılabilir. Diğer koşullar $u(0, t) = 0$ ve $u(l, t) = 0$, $T_{0,1} = T_{m,1} = 0$ olduğunu ifade eder. $T_{i,1}$ 'in tüm değerleri bu şekilde tespit edilebilir. Yine $T_{i,2}, T_{i,3}, \dots, T_{i,m-1}$ ifadeleri benzer şekilde elde edilebilir. (3.51) ifadesi üç köşegen matris (tridiagonal matrix) formunda

$$A = \begin{bmatrix} (1-2\lambda) & \lambda & 0 & \dots & 0 \\ \lambda & (1-2\lambda) & \lambda & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \lambda \\ 0 & \dots & 0 & \lambda & (1-2\lambda) \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\lambda = \alpha(k/h^2)$ 'dir. Eğer $T^{(0)} = (f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_{m-1}))^t$ olursa ve $T^{(j)} = (T_{1,j}, T_{2,j}, \dots, T_{m-1,j})^t$, $j = 1, 2, \dots$, yaklaşık çözüm $T^{(j)} = AT^{(j-1)}$, $j = 1, 2, \dots$ şeklinde olur. Bu ifade ileriye doğru fark metodu (forward-difference method) veya açık fark metodu (explicit-difference method) olarak bilinir. Kısmi diferansiyel denklemin çözümü t 'de iki ve x 'de dört sürekli kısmi türevelere sahipse o zaman (3.50) ifadesi metodun $(k + h^2)$ hatasına sahip olduğunu gösterir.

Koşulsuz olarak kararlı olan bir metod elde etmek için, aşağıdaki formda $(\partial u / \partial t)(x_i, t_j)$ için geriye doğru fark (backward-difference) oranı kullanarak sonuçlanan bir kapalı fark metoduna (implicit-difference method) ait ifadeler sırasıyla

$$t_{j-1} = jk - k = t_j - k \quad (3.53)$$

$$u(x_i, t_{j-1}) = u(x_i, t_j - k) = u(x_i, t_j) - k \frac{\partial u}{\partial t}(x_i, t_j) + \frac{k^2}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j) \quad (3.54)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x_i, t_j) = \frac{u(x_i, t_j) - u(x_i, t_{j-1})}{k} + \frac{k}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j) \quad (3.55)$$

elde edilir. Burada $\mu_j \in (t_{j-1}, t_j)$ 'dir. $\partial^2 u / \partial x^2$ (3.47) ifadesindeki gibidir. O halde kısmi diferansiyel denklem şu hale gelir:

$$\left. \begin{aligned} x_{i+1} &= ih + h = x_i + h \\ x_{i-1} &= ih - h = x_i - h \end{aligned} \right\} \quad (3.56)$$

$\partial^2 u / \partial x^2$ ifadesinin türetilmesinde bu iki denklem kullanılır.

$$\begin{aligned} \frac{u(x_i, t_j) - u(x_i, t_{j-1})}{k} - \alpha \frac{u(x_{i+1}, t_j) - 2u(x_i, t_j) + u(x_{i-1}, t_j))}{h^2} \\ = -\frac{k}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j) - \frac{h^2}{12} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi_i, t_j) \end{aligned} \quad (3.57)$$

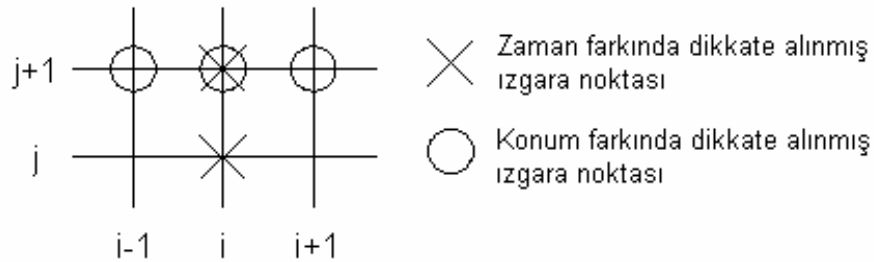
Burada $\xi_i \in (x_{i-1}, x_{i+1})$ 'dir. Geriye doğru fark bağıntısı

$$\frac{T_{i,j} - T_{i,j-1}}{k} - \alpha \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{h^2} = 0 \quad (3.58)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $i = 1, 2, \dots, m-1$ ve $j = 1, 2, \dots$ dir. Geriye doğru fark metodu, tipik adımda aşağıdaki adım noktalarını içerir

$$(x_i, t_j), \quad (x_i, t_{j-1}), \quad (x_{i-1}, t_j) \text{ ve } (x_{i+1}, t_j) \quad (3.59)$$

ve küçük deliklerle Şekil 3.14'te x ile işaretlenmiş noktadaki tahmini değerleri içerir.

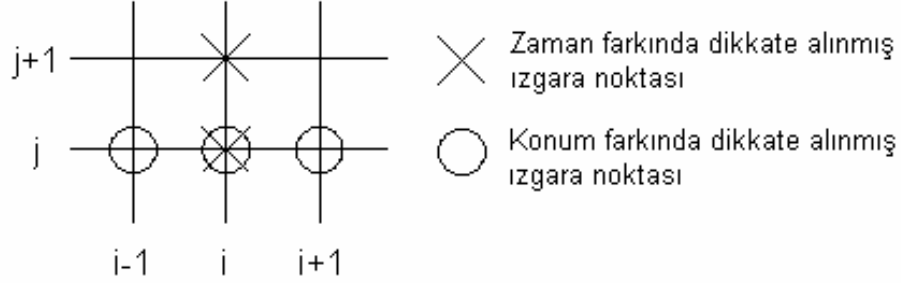


Şekil 3.14. Geriye doğru fark metodunda adım noktaları

Probleme bağlantılı başlangıç ve sınır şartları adım noktalarında bilgi verdiği için Şekil 3.14, (3.58) ifadesinin çözülebilmesi için belirgin bir metodun olmadığını gösterir. İleriye doğru fark metodu için adım noktaları,

$$(x_{i-1}, t_j), \quad (x_i, t_j), \quad (x_i, t_{j+1}) \text{ ve } (x_{i+1}, t_j) \quad (3.60)$$

şeklinde. Bu adım noktalarını tahmini olarak bulmak yine başlangıç ve sınır koşullarına bağlıdır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. İleriye doğru fark metodunda adım noktaları

$\alpha(k/h^2)$ niceliği λ ile gösterilirse geriye doğru fark metodu şu hale döner:

$$(1 + 2\lambda)T_{i,j} - \lambda T_{i+1,j} - \lambda T_{i-1,j} = T_{i,j-1} \quad (3.61)$$

Burada $i = 1, 2, \dots, m-1$ ve $j = 1, 2, \dots$ dir. $i = 1, 2, \dots, (m-1)$ için $T_{i,0} = f(x_i)$ ve $j = 1, 2, \dots$ için $T_{m,j} = T_{0,j} = 0$ bilgileriyle bu fark metodu aşağıdaki matris temsiline sahiptir.

$$\begin{bmatrix} (1+2\lambda) & -\lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & -\lambda \\ 0 & \dots & 0 & -\lambda & (1+2\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{i,j} \\ T_{2,j} \\ \vdots \\ T_{m-1,j-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{i,j-1} \\ T_{2,j-1} \\ \vdots \\ T_{m-1,j-1} \end{bmatrix} \quad (3.62)$$

$AT^{(j)} = T^{(j-1)}$ burada $j = 1, 2, \dots$ dir. $\lambda > 0$ için A matrisi pozitif ve tridiagonal olan baskın köşegenli bir matristir.

Daha iyi sonuçlar veren bir metod t de j . adımda ileriye doğru fark metodunun ortalaması alınarak türetilir.

$$\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{k} - \alpha \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{h^2} = 0 \quad (3.63)$$

Bu denklem için kırpma hatası,

$$\tau_F = \frac{k}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j) - \alpha \frac{h^2}{12} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi_i, t_j) \quad (3.64)$$

şeklindedir. t de $(j+1)$. adımda geriye doğru fark metodu

$$\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{k} - \alpha \frac{T_{i+1,j+1} - 2T_{i,j+1} + T_{i-1,j+1}}{h^2} = 0 \quad (3.65)$$

şeklinde elde edilir. Bu denklem için kırpma hatası,

$$\tau_B = -\frac{k}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x_i, \mu_j) - \frac{h^2}{12} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4}(\xi_i, t_j) \quad (3.66)$$

olur. Bu durumda ortalama fark metodu

$$\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{k} - \frac{\alpha}{2} \left[\frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{h^2} + \frac{T_{i+1,j+1} - 2T_{i,j+1} + T_{i-1,j+1}}{h^2} \right] = 0 \quad (3.67)$$

olarak belirlenir. Cranck-Nicolson metodu olarak bilinen bu metodun matris temsili ise şu şekildedir:

$$AT^{(j+1)} = BT^{(j)}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, \quad (3.68)$$

$$\lambda = \alpha \frac{k}{h^2}, \quad T^{(j)} = (T_{1,j}, T_{2,j}, \dots, T_{m-1,j})^t \quad (3.69)$$

A ve B matrisleri ise,

$$A = \begin{bmatrix} (1+\lambda) & -\frac{\lambda}{2} & 0 & \dots & 0 \\ -\frac{\lambda}{2} & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & -\frac{\lambda}{2} \\ 0 & \dots & 0 & -\frac{\lambda}{2} & (1+\lambda) \end{bmatrix} \quad (3.70)$$

$$B = \begin{bmatrix} (1-\lambda) & \frac{\lambda}{2} & 0 & \dots & 0 \\ \frac{\lambda}{2} & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \frac{\lambda}{2} \\ 0 & \dots & 0 & \frac{\lambda}{2} & (1-\lambda) \end{bmatrix} \quad (3.71)$$

şeklinde gösterilir (Burden ve Faires, 1993).

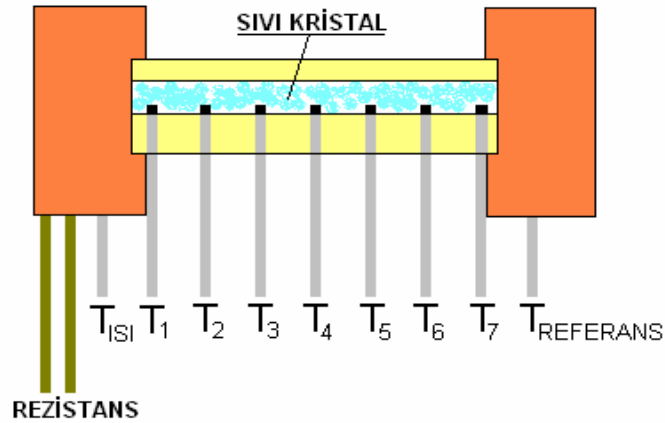
Sonlu farklar yöntemiyle elde edilen çözümler nümerik prosedürün işletilmesi için yapılan matris çözümleri ve iterasyonu ekte verilen programla kontrol edildi. Böylece nümerik iterasyonla ısı yayılım katsayıları elde edildi.

3.3. Deneysel Düzenek ve Sıvı Kristal Hücre Hazırlanması

Her birinin uzunluğu 5 cm ve genişliği 1.25 cm olan iki adet iletken indium tin oksit (ITO) cam önce etanolla temizlenmiştir. Sonra ITO camın birisinin yüzeyinin üzerine bir taraftan başlayarak kalınlığı 60 µm olan ve 0.5 cm genişliğinde 4.4 cm uzunluğunda kesilen boşluk oluşturucu (spacer) yapıştırılmıştır. Aralıkları 0.5 cm olacak şekilde ve termoçiftlerin yeri için 2 mm'lik yerler bırakılarak 7 nokta belirlenmiştir. Hazırlanan hücrenin kalınlığı ölçümlerde önemlidir. Spacer ikiye katlanarak 0.5 cm'lik kesitlere sahip 8 parça kesilmiştir. 6 adet termoçiftlerin ara bölgeleri için ve iki adet ilk ve son uç için kullanılmıştır. ITO

camın yüzeyinin karşı tarafına 4 katlı 0.5 cm genişliğinde 4.4 cm uzunluğunda spacer yapıştırılmıştır. Diğer ITO camın bir kenarına yine 0.5 cm genişliğinde 4.4 cm uzunluğunda spacer yapıştırılarak yapışkan taraf termoçiftlerin yerleştirildiği tarafa gelecek şekilde diğer ITO camın üzerine yerleştirilmiştir. Bu şekilde sıvı kristal hücrede termoçift ile iletken yüzey arasındaki temas yalıtkan bir tabaka ile önlenmiştir. Spacer yapıştırılmayan 0.3 cm'lik kısımlar boşta olacak şekilde bu sıvı kristal hücre hazırlanmıştır. Oluşan bu sıvı kristal hücrenin üzerine yaklaşık olarak 1-2 gün ağırlık konulmuştur. Bu şekilde spacerın daha iyi yapışması sağlanmıştır.

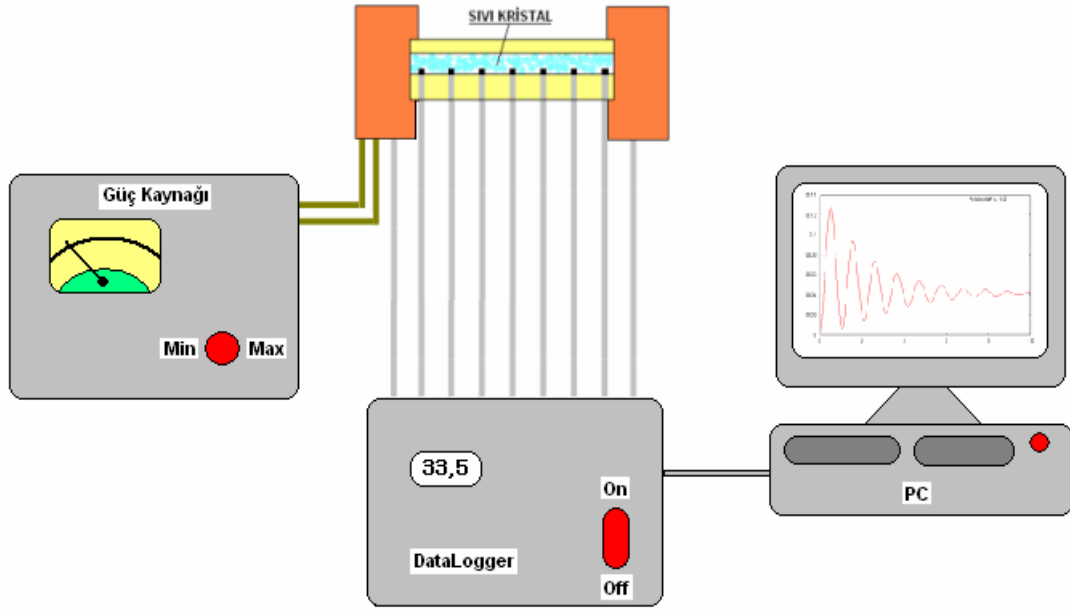
Bu işlemlerden sonra sıvı kristal hücrenin iki tarafına termoçiftlerin yerlerine sızmadan özel yapıştırıcı (epoxy) kullanılmıştır. Yaklaşık 1 saat aradan sonra termoçiftlerin her biri yuvalarına yerleştirilip etraflarına epoxy sürülmüştür. Yapışkan kurduktan sonra oda sıcaklığında sıvı halde bulunan sıvı kristal numuneler ayrı ayrı 5CB ve 8CB enjektörle, kohezyon kuvvetinin etkisiyle yatay olarak yerleştirilen sıvı kristal hücre içine yerleştirilmiştir ve kısa bir süre içinde açık olan iki uç kısımda yapıştırıcı sürülmüştür. Nematik sıvı kristalde yerinde sıcaklık ölçümü yapabilmek için termoçiftler olabildiğince ince hazırlanmıştır ($\approx 100\mu m$). Moleküler yönelim sağlayabilmek için iletken ITO ($30-70\Omega$) lameller kullanıldı. Bu şekilde hazırlanan hücre ısı tablası üzerine yerleştirildi (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Sıvı kristal hücreye yerleştirilen termoçiftlerin ısı tablası ile beraber şematik gösterimi

Düzenek bu şekilde sağlandıktan sonra termoçiftlerin ucu 16 kanallı Consort T851 marka data logger'a bağlanmıştır (Şekil 3.17). Sistemde ısı kaynağı olarak

içine rezistans yerleştirilen pirinç alaşım Leica marka güç kaynağı ile ısıtılmıştır. Ölçüm almadan önce numune 3-4 defa ısıtılıp soğutulmuştur. Isıtma işleminden sonra sıvı kristal hücre bir tarafından ısıtmaya başlanıp, sıcaklığın farklı konumlarda ve farklı zamandaki değişimi data logger ile ölçülüp aynı anda bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 3.17. Isıl iletimi ölçen deney sistemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

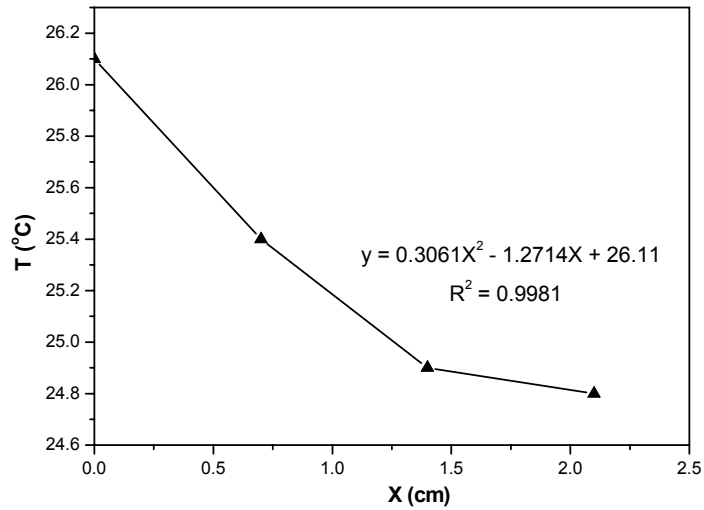
Çalışmamızda, sistemdeki sıvı kristal hücreye yerleştirilen yedi termoçiftten birincisinden elde edilen veriler başlangıç verileri olarak tayin edilmiştir. Her bir termoçiftin bir saniye aralıkla veri almasına ayarlanan data logger ile 5CB numunesinin 25-32 °C aralığında, 8CB numunesinin ise 35-40 °C aralığında ölçümler yapılmıştır. Belirtilen aralıklar her iki numune için nematik faz aralığına karşılık gelmektedir. 5CB için ölçüm yapılırken oda sıcaklığı 25 °C’de, 8CB için ölçüm yapılırken oda sıcaklığı 35 °C’de tutulmuştur.

Kullanılan hesaplama tekniğinde üç noktadan alınan veriler yeterli iken hesaplamaların sağlıklı olması açısından termoçiftin bulunduğu dört düğüm noktasından alınan veriler kullanılmıştır. Hesaplamalarda gerek 5CB nematik sıvı kristal numunesi, gerekse 8CB nematik sıvı kristal numunesinin tekrarlanan pek çok ölçümlerden sonra alınan en uygun verileri hesaplamada kullanılmıştır. Bu verilerden seçilen farklı zaman aralıklarındaki sıcaklığın uzaysal dağılım değerleri, grafiğe aktarılarak bu verileri temsil eden sıcaklığın uzaysal dağılım fonksiyonu eğri uyarlama (regresyon) yöntemiyle belirlenmiştir. Bu eğrilerden elde edilen fonksiyon ileri fark metodu kodunda (EK 2) çalışan C# programına atılıp, yapılan iterasyonlar sonucunda belirlenen sıcaklık noktaları için ısı yayılım değerleri elde edilmiştir.

Hesaplamaların işleyişini kavrayabilmek ve yorumlayabilmek için 5CB ve 8CB numunelerinin farklı sıcaklık anlarında, alınan verilerden elde edilen grafik ve fonksiyon eğrilerinden yalnızca birer örneği kullanılmıştır. İlgilenenler için 5CB ve 8CB numunelerinin deneysel ölçümlerinden elde edilen verileri EK 1’de ve grafikleri ise, EK 3’te verilmiştir.

5CB numunesi için oda sıcaklığının 25 °C’de tutulduğu ortamda başlangıç sıcaklığının $T_0 = 26.1$ °C’de alındığı durumda, belirlenen dört düğüm noktası için uzaysal dağılım Şekil 4.1’de verildi. Sıcaklığın uzaysal dağılım eğrisinin ısı kaynağından itibaren iç bükey bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. Bu eğriye uyarlanan fonksiyon eğrisi elde edilmiştir. Bunun için eğrinin tam çakışması (fit olması) ve en hassas fonksiyonu temsil etmesine özen gösterilmiştir.

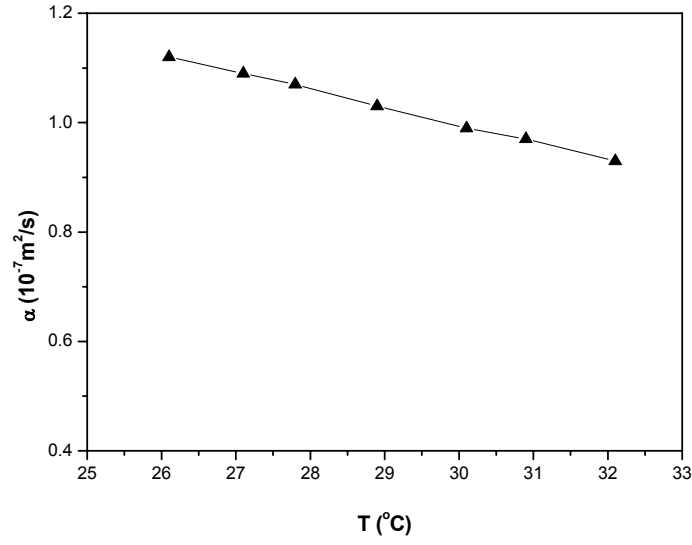
5CB numunesi için elde edilen fonksiyon, sistemimizi en iyi temsil eden ileri farklar metoduna dayanan C# program kodu derlenerek ulaşılan sonuçlar ve belirlenen her bir sıcaklık noktaları için ısı yayılım değerlerini içeren grafik Şekil 4.2’de verilmiştir. 5CB nematik sıvı kristal numunesinin gerçek değerleri ve bu değerlere uyarlanan fonksiyondan elde edilen veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. 5CB için $T_0=26.1$ °C ’de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

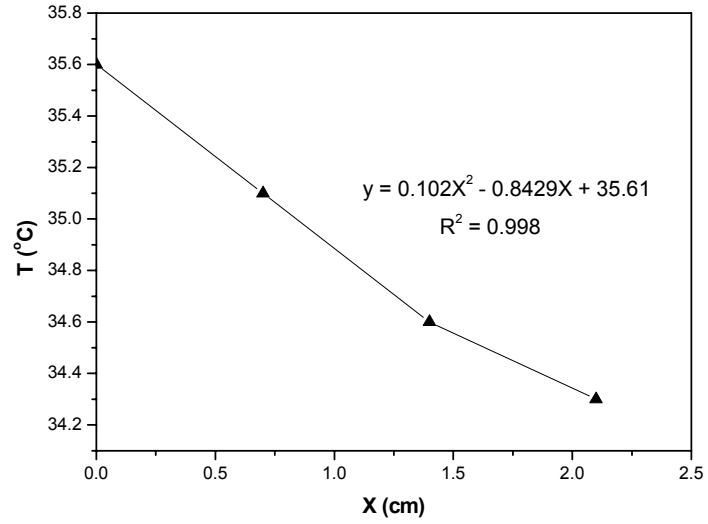
Çizelge 4.1. 5CB numunesinin $T_0=26.1$ °C ’de gerçek ve hesaplanan değerleri

Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			T (°C)		α (cm ² /s)	
I	X (cm)	T (°C)	α (cm ² /s)			
			$\alpha_1=0.0011$	$\alpha_2=0.00111$	$\alpha_3=0.00112$	$\alpha_4=0.0012$
1	0.7	25.4	25.399	25.399	25.400	25.402
2	1.4	24.9	24.957	24.958	24.958	24.960
3	2.1	24.8	24.800	24.800	24.800	24.800

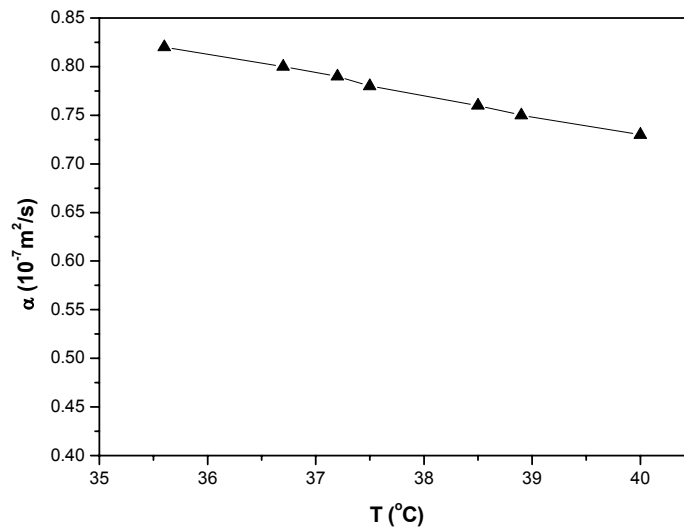


Şekil 4.2. 5CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimi

5CB nematik sıvı kristal numunesi için yapılan işlemler 8CB numunesi için tekrarlanarak oda sıcaklığının 35 °C’de tutulduğu şartlarda başlangıç sıcaklığının $T_0 = 35.6$ °C’de alındığı durumda sıcaklığın dört düğüm noktası için uzaysal dağılımı Şekil 4.3’te verilmiştir. Bu eğriye tam çakışan eğriyi belirlemek oldukça güçlük çıkarmıştır. 8CB için belirlenen fonksiyon yine ileri farklar metodunu temsil eden C# program kodu çalıştırılmak suretiyle, belirlenen her bir sıcaklık noktaları için ısı yayılım değerleri hesaplanmıştır ve grafiği Şekil 4.4’te verilmiştir. 8CB nematik sıvı kristal numunesinin gerçek değerleri ve bu değerlere uyarlanan fonksiyondan elde edilen verileri Çizelge 4.2.’de verildi.

Şekil 4.3. 8CB için $T_0=35.6$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonuÇizelge 4.2. 8CB numunesinin $T_0=35.6$ °C 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			T (°C)			
I	X (cm)	T (°C)	α (cm^2/s)			
			$\alpha_1=0.0008$	$\alpha_2=0.00081$	$\alpha_3=0.00082$	$\alpha_4=0.0009$
1	0.7	35.099	35.099	35.099	35.100	35.103
2	1.4	34.630	34.658	34.658	34.658	34.661
3	2.1	34.317	34.317	34.317	34.317	34.317



Şekil 4.4. 8CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 5CB ve 8CB nematik sıvı kristal numunelerinin sıcaklık gradyanını belirleyen ısı yayılım çalışması yalnızca rasgele (randomly) moleküler yönelim için numune içerisinde (in situ) sıcaklığın uzaysal değişimi incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda;

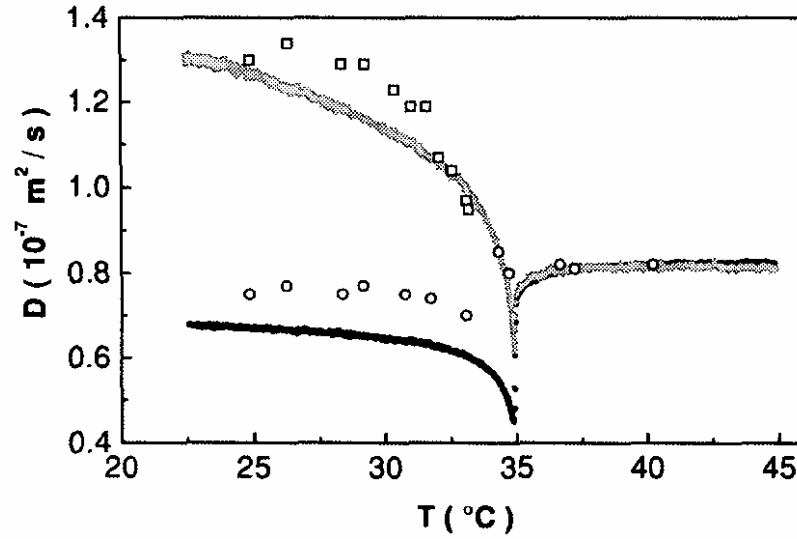
5CB numunesi için moleküllerin ısı yayılım doğrultusuna dik ve paralel moleküler yönelime sahip olan eğriler incelendiğinde (Urbach, 1983; Marinelli, 1998) belirlenen sıcaklık aralığı için moleküler yönelimin paralel olduğu şartlardaki eğri ($0.62 \times 10^{-7} \sim 0.65 \times 10^{-7} m^2 / s$) aralığında değişirken, moleküler yönelimin dik olduğu şartlardaki eğri ($1.10 \times 10^{-7} \sim 1.26 \times 10^{-7} m^2 / s$) aralığında değişim sergilemektedir (Şekil 5.1). Aynı sıcaklık aralığında 5CB numunesi için ısı yayılımı rasgele moleküler yönelimde ($0.90 \times 10^{-7} \sim 1.10 \times 10^{-7} m^2 / s$) aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.2).

8CB numunesi için ısı yayılımı doğrultusuna dik ve paralel moleküler yönelime sahip eğriler (Marinelli, 1998) incelendiğinde, belirlenen sıcaklık aralığı için moleküler yönelimin paralel olduğu şartlardaki eğri ($0.50 \times 10^{-7} \sim 0.57 \times 10^{-7} m^2 / s$) aralığında değişirken, moleküler yönelimin dik olduğu şartlardaki eğri ($0.84 \times 10^{-7} \sim 1.10 \times 10^{-7} m^2 / s$) aralığında değişim sergilemektedir (Şekil 5.2). Aynı sıcaklık aralığında 8CB numunesinin ısı yayılım değerleri rasgele moleküler yönelimde ($0.71 \times 10^{-7} \sim 0.82 \times 10^{-7} m^2 / s$) aralığında belirlenmiştir (Şekil 4.4).

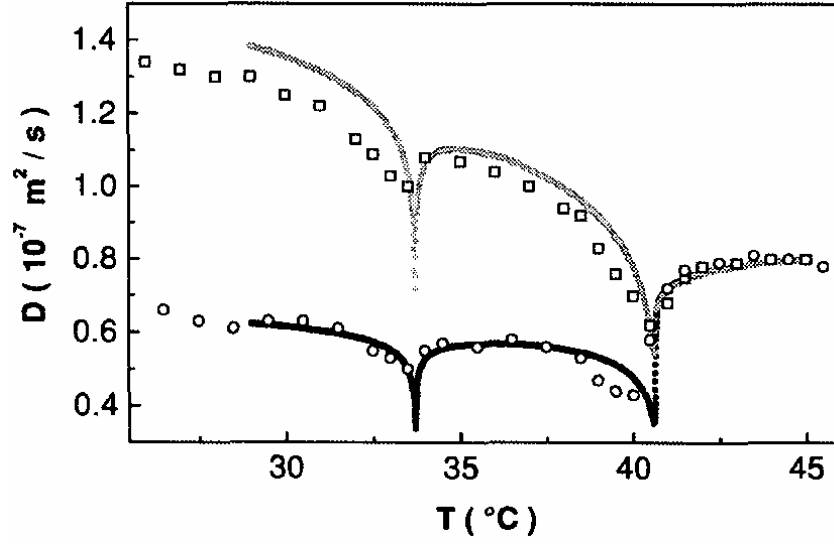
Rasgele moleküler yönelimde gerek 5CB ve gerekse 8CB numunesinin beklenen ısı yayılım aralığının dik ve paralel moleküler yönelimindeki aralıkta olması beklendiğinden sonuçlarımız literatürle uyumaktadır. Yapılan çalışmada ısı yayılımının paralel (planar) veya dik (homeotropic) yönelimi ayrı bir özel teknik gerektirmekte ve bu mevcut teknik laboratuvar şartlarımızda uygulanamamaktadır.

Ayrıca sistemde kullandığımız 16 kanallı Consort T 851 marka data logger mühendislik ölçümlerinde uygun olmakla birlikte hassasiyeti moleküler düzeydeki işlemler için yeterli değildir.

Bu nedenle ileriki çalışmalarda yüksek sıcaklık nematik sıvı kristallerinin incelenmesi düşünülmektedir. Ayrıca moleküler yönelim tekniği uygulanmak suretiyle, sıvı kristallerdeki ısı yayılımının farklı geometrilerde incelenmesi (lineer ve düzlemsel) düşünülmektedir ve nematik faz dışında numunelerin izotropik fazdaki davranışları da ayrı bir çalışma olarak incelenebilir.



Şekil 5.1. 5CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimini gri noktalar dik ve siyah noktalar paralel dağılımdaki yönelimi gösterir. İçi boş yuvarlak kare daireler (Urbach, 1983) datalarıyla oluşturulmuştur (Marinelli, 1998)



Şekil 5.2. 8CB için ısı yayılımının sıcaklığa göre değişimini gri noktalar dik ve siyah noktalar paralel dağılımdaki yönelimi gösterir. Grafik değerleri (Marinelli, 1996)'dan alınmıştır. İçi boş yuvarlak kare daireler (Akahane, 1987) datalarıyla oluşturulmuş (Marinelli, 1998)

KAYNAKLAR

- AHLERS, G., CANNEL, S. D., BERGE, I. L., and SAKURAI, S., 1994. Thermal Conductivity of The Nematic Liquid Crystal 4-n-Pentyl-4' Cyanobiphenyl. *Physical Review E*, 49:545-553.
- AKAHANE, T., KONDOH, M., HASHIMOTO, K., and NAKAGAWA, M., 1987. *Jpn. J. Appl. Phys.* 26, L1000.
- ALTINIŞIK, K., 2004. Uygulamalarla Isı Transferi, Nobel Yayın Dağıtım, 242s.
- BARBER, P. W., 1990. Light Scattering by Small Particles: Computational Methods. *J.Phys*, 2:79-82.
- BURDEN, R. L., and FAIRES, J. D., 1993. Numerical Analysis, PWS Publishing Company, 635s.
- CHANDRASEKHAR, S., 1992. Liquid Crystal. Cambridge University Press, New York, 476s.
- CHAPRA, S. C., ve CANALE, R. P., 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler, Literatür Yayıncılık, 900s.
- EREN, H., CELIK, N., ve BILEN, K., 2002. Sıvı Kristal Tekniğinin Isı Transferi Uygulamalarında Kullanılması. *Mühendis ve Makina*, s, 512.
- GENNES, P. G., and PROST, J., 1993. The Physich of Liquid Crystals. Oxford University Press, New York., 616s.
- GEORGE, N. A., VALLABHAN, C. P. G., NAMPOORI, V. P. N., GEORGE, A. K., and RADHAKRISHNAN, P., 2001. Use of an Open Photoacoustic Cell for The Thermal Characterisation of Liquid Crystals. *Appl. Phys. B*, 73:145–149.
- HELFRICH, W., and HEPPKE, G., 1980. Liquid Crystal of One-and Two-Dimensional Order and Their Applications, Springer Series on Chemical Physics, New York, 268s.
- JAMES, B. W., and HARRISON, P., 1992. Analysis of The Temperature Distribution, Heat Flow and Effective Thermal Conductivity of Homogeneous Composite Materials with Anisotropic Thermal Conductivity. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 25:1298-1303.
- KAKAÇ, S., 1998. Isı Transferine Giriş 1, Tıp&Teknik Yayıncılık, 67s.
- KARAOĞLU, B., 1998. Fizik ve Mühendislikte Matematik Yöntemler, Güven Yayıncılık, 241s.
- KUMAR, S., 2001. Liquid Crystals, Cambridge University Pres, 477p.
- MARINELLI, M., MERCURI, F., FOGLIETTA S., ZAMMIT, U., and SCUDIERI, F., 1996. Anisotropic Heat Transport in The Octylcyanobiphenyl 8CB Liquid Crystal. *Physical Review E*, 54:1604-1609.
- MARINELLI, M., MERCURI, F., ZAMMIT, U., and SCUDIERI, F., 1998. Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of The Cyanobiphenyl *n*CB Homologous Series. *Physical Review E*, 58:5860-5866.

- MARINELLI, M., and MERCURI, F., 2000. Effects of Fluctuations in The Orientational Order Parameter in The Cyanobiphenyl *n*CB Homologous Series. *Physical Review E*, 61:1616-1621.
- ONO, H., and SHIBATA, K., 2000. Simultaneous Determination of Anisotropic Thermal Conductivities of Liquid Crystals by Means of a Photothermal Self-Diffracting Technique. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 33:137–140.
- ÖZİŞİK, M. N., and BAYAZITOĞLU, Y., 1988. *Elements of Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, 182p.
- RONDELEZ, F., URBACH, W., and HERVET, H., 1978. Origin of Thermal Conductivity Anisotropy in Liquid Crystalline Phases. *Physical Review Letters*, 41:1058-1061.
- URBACH, W., HERVET, H., and RONDELEZ, F., 1983. *J. Chem. Phys.* 78, p5113.
- YANG, C., and CHEN, C., 1996. The boundary Estimation in Two-Dimensional Inverse Heat Conduction Problems. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 29:333–339.
- YILMAZ, S., and KOC, H., 2005. Light Scattering by DNA Structure due to Phase Transition. *Molecular Physics*, 103:2633-2637.
- ZAMMIT, U., MARINELLI, M., PIZZOFERRATO, R., SCUDERI, F., and MARTELLUCI, S., 1990. Thermal Conductivity, Diffusivity, and Heat Capacity Studies at The Smectic-A-Nematic Transition in Alkylcyanobiphenyl Liquid Crystals. *Physical Review A*, 41:1153-1155.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Mardin’de doğdu. İlköğretim ve Ortaöğretim eğitimini Mardin’in Kızıltepe ilçesinde tamamladı. 1999 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazanarak 2003 yılında lisans eğitimini tamamladı. Eylül 2005’te Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalında halen devam etmekte olduğu yüksek lisans yapma hakkını kazandı.

EKLER

EK 1. Data Logger'dan Alman Veriler

Ek Çizelge 1.1. 5CB için alınan veriler

No	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)	T ₆ (°C)
1	25	25.1	24.8	24.8	24.4	24.7	23.4
2	25.1	25.1	24.8	24.8	24.4	24.7	23.4
3	25.2	25.1	24.8	24.8	24.4	24.7	23.4
4	25.3	25.1	24.9	24.8	24.4	24.6	23.4
5	25.5	25.2	24.9	24.8	24.4	24.6	23.4
6	25.6	25.3	24.9	24.7	24.3	24.5	23.3
7	25.7	25.3	24.9	24.7	24.3	24.5	23.3
8	25.8	25.3	24.9	24.7	24.3	24.5	23.3
9	25.9	25.3	24.9	24.7	24.3	24.5	23.3
10	26.1	25.4	24.9	24.8	24.3	24.5	23.3
11	26.2	25.4	24.9	24.8	24.2	24.5	23.3
12	26.3	25.5	24.9	24.8	24.2	24.6	23.3
13	26.4	25.6	24.9	24.8	24.3	24.6	23.3
14	26.5	25.6	25	24.8	24.3	24.6	23.3
15	26.6	25.6	25	24.8	24.3	24.5	23.3
16	26.8	25.7	25.1	24.8	24.3	24.5	23.3
17	26.9	25.8	25.1	24.8	24.3	24.5	23.3
18	27	25.8	25.1	24.8	24.3	24.5	23.3
19	27.1	25.9	25.1	24.9	24.4	24.6	23.3
20	27.3	26	25.2	24.9	24.4	24.6	23.3
21	27.5	26.2	25.2	24.9	24.4	24.6	23.3
22	27.6	26.2	25.3	24.9	24.4	24.5	23.3
23	27.7	26.3	25.3	24.9	24.4	24.5	23.3
24	27.8	26.3	25.3	25	24.4	24.6	23.4
25	27.9	26.4	25.4	25	24.4	24.6	23.4
26	28	26.6	25.4	25	24.4	24.6	23.4
27	28.2	26.6	25.4	25	24.4	24.6	23.4
28	28.3	26.6	25.4	25	24.4	24.6	23.4
29	28.5	26.7	25.6	25	24.5	24.7	23.4
30	28.7	26.8	25.7	25.1	24.5	24.7	23.4
31	28.8	26.9	25.7	25.2	24.5	24.7	23.4
32	28.9	27.1	25.8	25.2	24.5	24.7	23.4
33	29	27.1	25.8	25.2	24.5	24.7	23.4
34	29.1	27.2	25.8	25.2	24.5	24.7	23.4
35	29.2	27.2	25.9	25.3	24.6	24.7	23.4
36	29.4	27.4	25.9	25.3	24.6	24.7	23.4
37	29.5	27.4	26	25.3	24.6	24.7	23.4
38	29.6	27.4	26	25.3	24.6	24.7	23.5
39	29.7	27.4	26	25.3	24.6	24.7	23.5
40	29.8	27.4	26	25.3	24.7	24.8	23.5
41	29.9	27.7	26.1	25.4	24.7	24.8	23.5
42	30	27.7	26.2	25.5	24.7	24.8	23.5
43	30.1	27.8	26.2	25.5	24.7	24.9	23.5
44	30.2	27.8	26.3	25.6	24.7	24.9	23.5
45	30.3	28	26.4	25.6	24.7	24.9	23.5
46	30.4	28	26.4	25.6	24.7	24.9	23.5
47	30.5	28.1	26.5	25.6	24.7	24.9	23.5
48	30.6	28.1	26.5	25.7	24.7	24.9	23.5
49	30.7	28.1	26.5	25.7	24.7	24.9	23.5

50	30.8	28.3	26.5	25.7	24.7	24.9	23.5
51	30.9	28.4	26.6	25.7	24.7	24.9	23.5
52	31.1	28.4	26.6	25.7	24.8	24.9	23.5
53	31.2	28.5	26.6	25.8	25	25	23.6
54	31.3	28.7	26.7	25.8	25	25	23.6
55	31.4	28.7	26.7	25.8	25	25	23.6
56	31.5	28.9	27.1	26.2	25.4	25.5	24.1
57	31.7	28.9	27.3	26.4	25.4	25.5	24.1
58	31.8	29	27.3	26.4	25.4	25.5	24.2
59	31.9	29.2	27.4	26.5	25.5	25.6	24.2
60	32	29.3	27.5	26.5	25.5	25.6	24.2
61	32.1	29.4	27.5	26.6	25.6	25.6	24.2
62	32.2	29.5	27.6	26.6	25.6	25.7	24.2

Ek Çizelge 1.2. 8CB için alınan veriler

No	T ₀ (°C)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)	T ₆ (°C)
1	35	34.8	34.3	34.2	34.1	33.6	32.4
2	35.1	34.8	34.3	34.2	34.1	33.6	32.4
3	35.2	34.9	34.4	34.2	34.1	33.9	32.4
4	35.3	35	34.4	34.2	34.1	33.9	32.4
5	35.4	35	34.5	34.2	34.1	33.9	32.5
6	35.5	35	34.5	34.2	34.1	33.9	32.5
7	35.6	35.1	34.6	34.3	34.1	33.9	32.5
8	35.7	35.3	34.6	34.3	34.1	34	32.5
9	35.8	35.2	34.8	34.4	34.1	34	32.6
10	35.9	35.4	35	34.4	34.1	34	32.6
11	36	35.5	35	34.5	34.1	34	32.6
12	36.1	35.5	35.1	34.5	34.1	34	32.6
13	36.2	35.5	35.1	34.6	34.1	34	32.6
14	36.3	35.6	35.1	34.6	34.1	34	32.6
15	36.4	35.6	35.1	34.6	34.1	34	32.6
16	36.5	35.8	35.1	34.7	34.1	34	32.6
17	36.6	35.9	35.2	34.8	34.1	34	32.6
18	36.7	36	35.3	34.8	34.2	34	32.7
19	36.8	36	35.3	34.8	34.2	34	32.7
20	36.9	36	35.4	34.8	34.2	34.1	32.7
21	37	36.1	35.4	34.9	34.2	34.1	32.7
22	37.1	36.1	35.4	35	34.3	34.1	32.8
23	37.2	36.2	35.4	35	34.3	34.1	32.8
24	37.3	36.3	35.5	35	34.4	34.2	32.8
25	37.4	36.3	35.7	35	34.4	34.2	32.8
26	37.5	36.4	35.5	35	34.6	34.3	32.9
27	37.6	36.4	35.5	35	34.7	34.4	32.9
28	37.7	36.5	35.5	35	34.7	34.4	32.9
29	37.8	36.6	35.5	35	34.7	34.4	32.9
30	37.9	36.7	35.6	35	34.8	34.4	32.9
31	38	36.8	35.6	35	34.8	34.5	33
32	38.1	36.8	35.6	35	34.8	34.5	33
33	38.2	36.9	35.7	35.1	34.8	34.5	33
34	38.3	37	35.8	35.1	34.8	34.5	33

35	38.4	37	35.8	35.1	34.8	34.5	33
36	38.5	37	35.8	35.1	34.9	34.5	33.1
37	38.6	37.1	35.8	35.1	34.9	34.5	33.1
38	38.7	37.1	35.9	35.2	35	34.5	33.1
39	38.8	37.1	35.9	35.2	35	34.5	33.1
40	38.9	37.5	36.3	35.5	34.8	34.5	33.2
41	39	37.5	36.3	35.5	34.8	34.5	33.2
42	39.1	37.5	36.3	35.5	34.8	34.5	33.2
43	39.2	37.6	36.4	35.6	34.8	34.5	33.2
44	39.3	37.6	36.4	35.6	34.8	34.5	33.2
45	39.4	37.7	36.4	35.6	34.8	34.5	33.2
46	39.5	37.7	36.4	35.7	34.8	34.5	33.2
47	39.6	37.8	36.4	35.7	34.8	34.5	33.2
48	39.7	37.9	36.5	35.7	34.8	34.6	33.2
49	39.8	37.9	36.6	35.7	34.9	34.6	33.2
50	39.9	38.1	36.6	35.7	34.9	34.6	33.2
51	40	38.1	36.6	35.7	34.9	34.6	33.2
52	40.1	38.2	36.7	35.8	34.9	34.7	33.2

EK 2. İleriye Doğru Fark Metodunun Algoritması

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.Diagnostics;

namespace forward_difference
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            //Programı başlat
            Program app = new Program();
        }

        //Programın giriş noktası
        Program()
        {
            //Değişkenlerin tanımlanması
            bool ok = false; //F fonksiyonun tanımlanıp
tanımlanmadığını belirler
            double[] w = new double[25];
            double[] l = new double[25];
            double[] u = new double[25];
            double[] z = new double[25];
            double ft = 0.0, fx = 0.0, alpha = 0.0, h = 0.0, k =
0.0, vv = 0.0, t = 0.0, x = 0.0; // (x-ekseninde sağdaki nokta), (T
zaman değişkeninin maximum değeri)
            int n = 0, m = 0, m1 = 0, m2 = 0, n1 = 0, flag = 0, i1 =
0, i = 0, j = 0; // (Sabit alfa değeri), (Zaman aralıklarının
sayısı), (x-eksenindeki aralıkların sayısı)
            input(ref ok, ref fx, ref ft, ref alpha, ref n, ref m);
            //Hesaplama kısmı
            if (ok)
            {
                m1 = m - 1;
                m2 = m - 2;
                // n1 = n - 1;
                /* adım 1 */
                h = fx / m;
                k = ft / n;
                vv = alpha * k / (h * h);
                /* adım 2 */
                for (i = 1; i <= m1; i++) w[i - 1] = F(i * h);
                /* adım 3 */
                l[0] = 1.0 - 2.0 * vv;
                u[0] = vv / l[0];
                /* adım 4 */
                for (i = 2; i <= m2; i++)
                {
                    l[i - 1] = 1.0 - 2.0 * vv - vv * u[i - 2];
                    u[i - 1] = vv / l[i - 1];
                }
                /* adım 5 */
                l[m1 - 1] = 1.0 - 2.0 * vv - vv * u[m2 - 1];
                /* adım 6 */
                for (j = 1; j <= n; j++)
                {
                    /* adım 7 */

```



```

        z[0] = w[0] / l[0];
        /* adım 8 */
        for (i = 2; i <= m1; i++)
            z[i - 1] = (w[i - 1] - vv * z[i - 2]) / l[i - 1];
        /* adım 9 */
        w[m1 - 1] = z[m1 - 1];
        /* adım 10 */
        for (i1 = 1; i1 <= m2; i1++)
        {
            i = m2 - i1 + 1;
            w[i - 1] = z[i - 1] - u[i - 1] * w[i];
        }
        /* adım 11 */
        output(ft, x, m1, ref w, h);
    }
}

private double F(double X)
{
    double f;
    f = 0.3061 * X * X - 1.2714 * X + 26.11;
    return f;
}

private void input(ref bool ok, ref double fx, ref double ft,
ref double alpha, ref int n, ref int m)
{
    Console.WriteLine("Bu ısı denklemini için ileriye doğru fark
metodudur.");
    Console.Write("F fonksiyonunu oluşturduğunuz mu? (E/H) : ");
    string sonuc = Console.ReadLine();
    //Fonksiyon tanımlandıysa
    if (sonuc.ToUpper() == "E")
    {
        Console.WriteLine("x-ekseninde soldaki nokta sıfırdır.");
        ok = false;
        while (!ok)
        {
            Console.Write("x-ekseninde sağdaki noktayı giriniz : ");
            fx = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
            if (fx < 0.0)
                Console.WriteLine("Pozitif sayı olmalı.");
            else
                ok = true;
        }
        ok = false;
        while (!ok)
        {
            Console.Write("T zaman değişkeninin maximum
değerini giriniz : ");
            ft = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
            if (ft < 0.0)
                Console.WriteLine("Pozitif sayı olmalı.");
            else
                ok = true;
        }
        Console.Write("Sabit Alfa değerini giriniz : ");
        alpha = Convert.ToDouble(Console.ReadLine());
        Console.WriteLine("tam sayı m = x-eksenindeki
aralıkların sayısını giriniz ");
        Console.WriteLine("ve N = zaman aralıklarının
sayısını giriniz. ");
        Console.WriteLine("Not : m>3 ve n>0 olmalı");
    }
}

```

```

        ok = false;
        while (!ok)
        {
            Console.WriteLine("m (>3) = ");
            m = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
            Console.WriteLine("n (>0) = ");
            n = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
            if (m <= 2 || n <= 0)
        {Console.WriteLine("Sayılar doğru aralıkta olmalıdır.");
        }

            else
            { ok = true;}

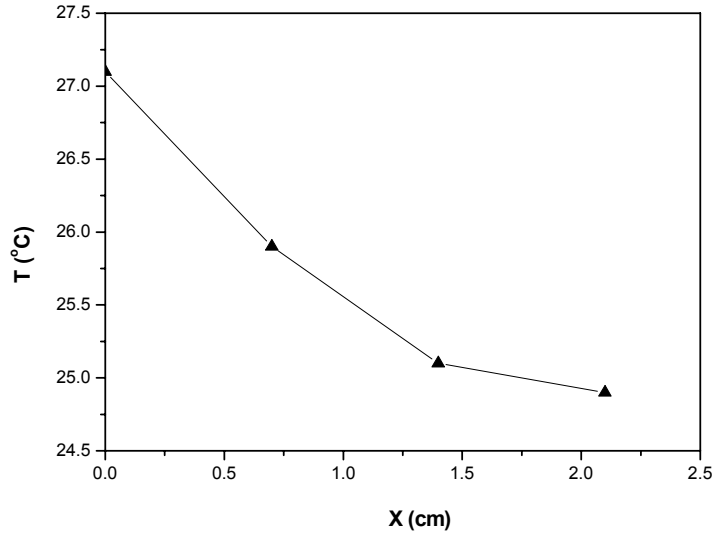
        }
    else
    {
        Console.WriteLine("F fonksiyonunun oluşabilmesi için
program sonlanacaktır");
        ok = false;
    }
}

public void output(double ft, double x, int m1, ref double[]
w, double h)
{
    System.IO.StreamWriter oup;
    System.IO.TextWriter tmp = Console.Out;
    Console.WriteLine("Çıkış işlemini seçiniz.");
    Console.WriteLine("1.Sonuc Ekrana");
    Console.WriteLine("2.Sonuc Dosyaya");
    int flag = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
    if (flag == 2)
    {Console.WriteLine("Formdaki dosya adı girişi - sürücü:NAME.ext");
    Console.WriteLine("Örnek olarak: A:OUTPUT.DTA");
    string name = Console.ReadLine();
    try
    {
        oup = new System.IO.StreamWriter(name);
        Console.SetOut(oup);
        write(ft, x, m1, ref w, h);
        oup.Close();
    }
    catch (System.IO.IOException expc)
    { Console.WriteLine(expc.Message + " dosya açılmıyor.");
    }
    }
    else
    {write(ft, x, m1, ref w, h);
    }
}

private void write(double ft, double x, int m1, ref double[]
w, double h)
{
    Console.WriteLine("Bu ileriye doğru fark metodudur\n");
    Console.WriteLine("I\tX(I)\tW(X(I),{0:#.##})", ft);
    for (int i = 1; i <= m1; i++)
    {
        x = i * h;
        Console.WriteLine("{0:#.##}\t{1:#.###}\t\t{2:#.###}", i,
x, w[i - 1]);
    }
}
}
}
}

```

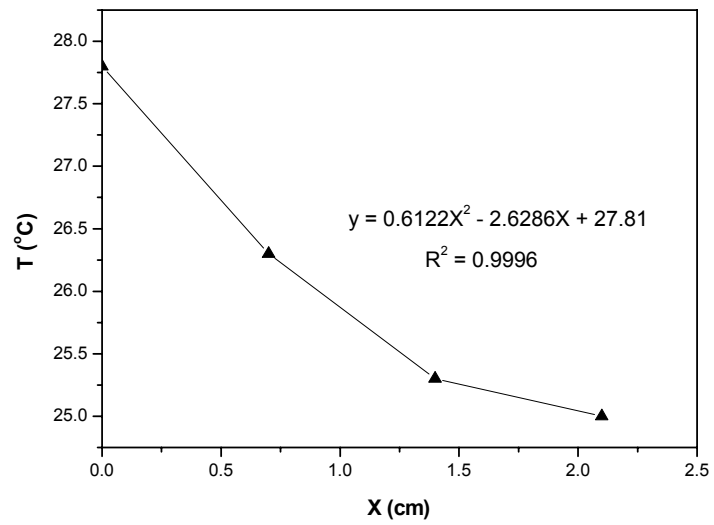
EK 3. İki Farklı Numune İçin Sıcaklığın Konuma Göre Değişim Fonksiyonu



Ek Şekil 3.1. 5CB için $T_0=27.1$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.1. 5CB numunesinin $T_0=27.1$ °C 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

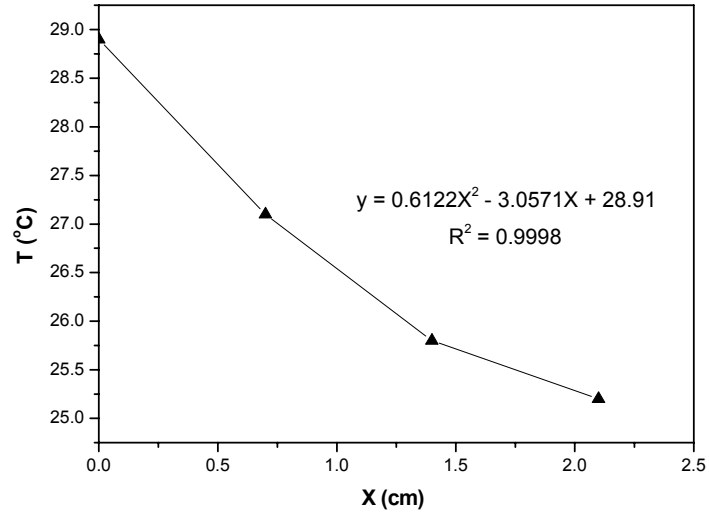
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^{\circ}C)$			
I	X (cm)	T (°C)	α (cm ² /s)			
			$\alpha_1=0.0010$	$\alpha_2=0.00108$	$\alpha_3=0.00109$	$\alpha_4=0.0012$
1	0.7	25.9	25.897	25.899	25.900	25.903
2	1.4	25.1	25.155	25.157	25.157	25.160
3	2.1	24.9	24.900	24.900	24.900	24.900



Ek Şekil 3.2. 5CB için $T_0=27.8$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.2. 5CB numunesinin $T_0=27.8\text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

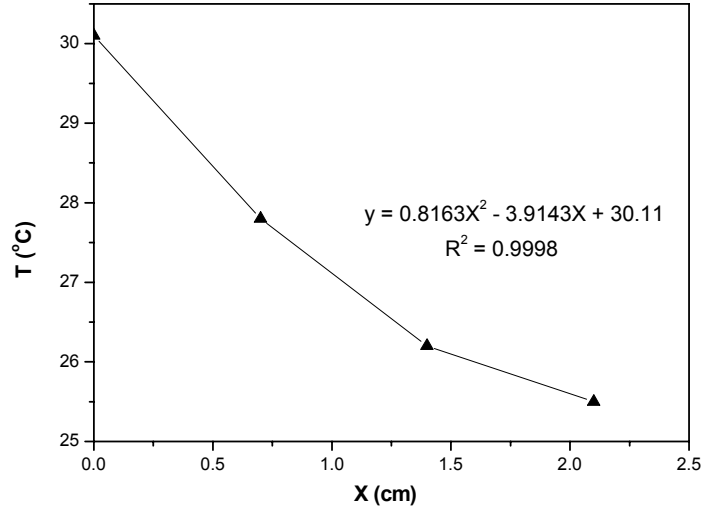
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^\circ\text{C})$			
			$\alpha\text{ (cm}^2\text{/s)}$			
			$\alpha_1=0.0010$	$\alpha_2=0.00106$	$\alpha_3=0.00107$	$\alpha_4=0.0011$
1	0.7	26.3	26.298	26.299	26.300	26.301
2	1.4	25.3	25.355	25.356	25.357	25.357
3	2.1	25.0	25.000	25.000	25.000	25.000



Ek Şekil 3.3. 5CB için $T_0=28.9\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.3. 5CB numunesinin $T_0=28.9\text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

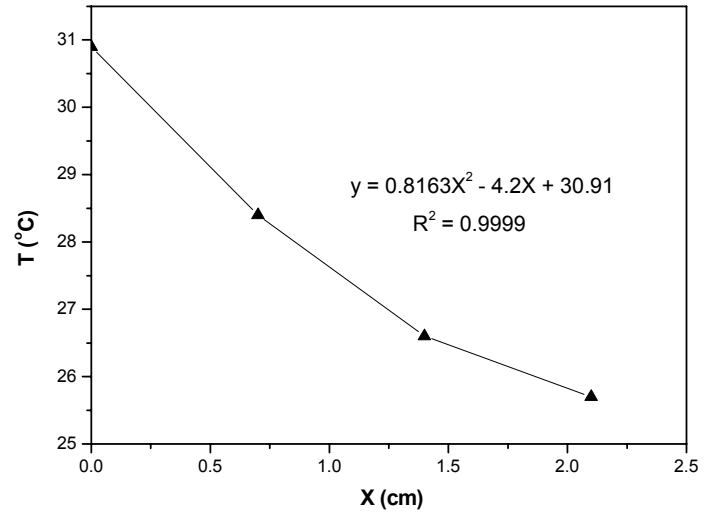
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^\circ\text{C})$			
			$\alpha\text{ (cm}^2\text{/s)}$			
			$\alpha_1=0.0010$	$\alpha_2=0.00102$	$\alpha_3=0.00103$	$\alpha_4=0.0011$
1	0.7	27.1	27.099	27.099	27.100	27.102
2	1.4	25.8	25.855	25.856	25.856	25.858
3	2.1	25.2	25.200	25.200	25.200	25.200



Ek Şekil 3.4. 5CB için $T_0=30.1$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.4. 5CB numunesinin $T_0=30.1$ °C 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

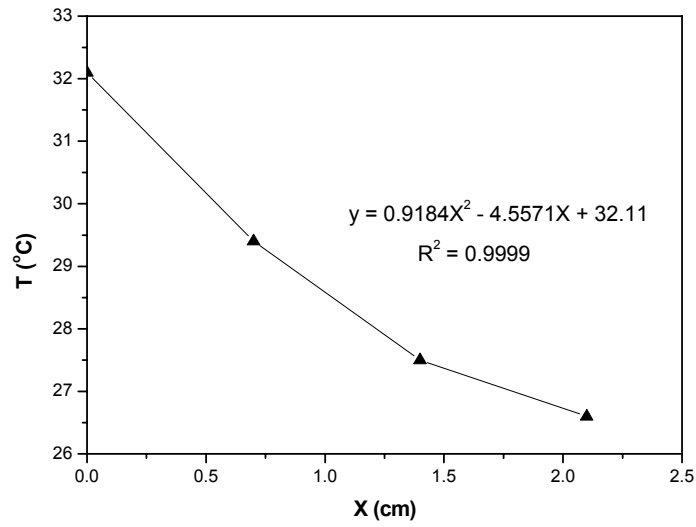
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			T (°C)		α (cm ² /s)	
I	X (cm)	T (°C)	$\alpha_1=0.0009$	$\alpha_2=0.00098$	$\alpha_3=0.00099$	$\alpha_4=0.0011$
1	0.7	27.8	27.797	27.799	27.800	27.803
2	1.4	26.2	26.253	26.255	26.255	26.258
3	2.1	25.5	25.500	25.500	25.500	25.500



Ek Şekil 3.5. 5CB için $T_0=30.9$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.5. 5CB numunesinin $T_0=30.9\text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

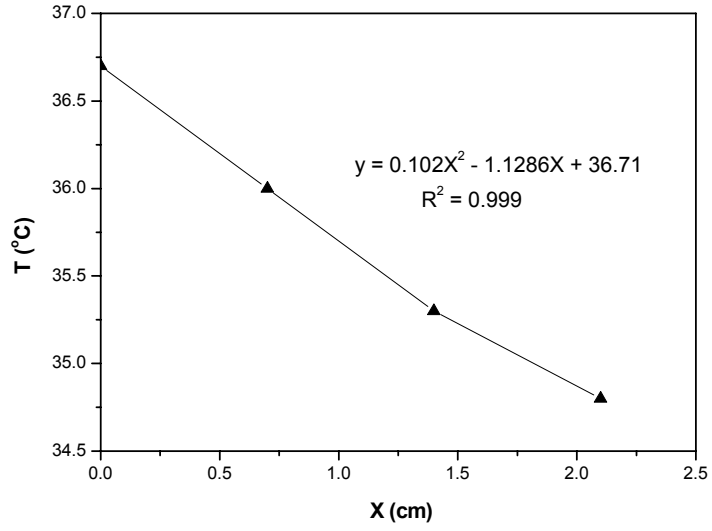
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^\circ\text{C})$			
			$\alpha\text{ (cm}^2/\text{s)}$			
			$\alpha_1=0.0009$	$\alpha_2=0.00096$	$\alpha_3=0.00097$	$\alpha_4=0.0010$
1	0.7	28.4	28.398	28.399	28.400	28.401
2	1.4	26.6	26.653	26.654	26.655	26.655
3	2.1	25.7	25.700	25.700	25.700	25.700



Ek Şekil 3.6. 5CB için $T_0=32.1\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.6. 5CB numunesinin $T_0=32.1\text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

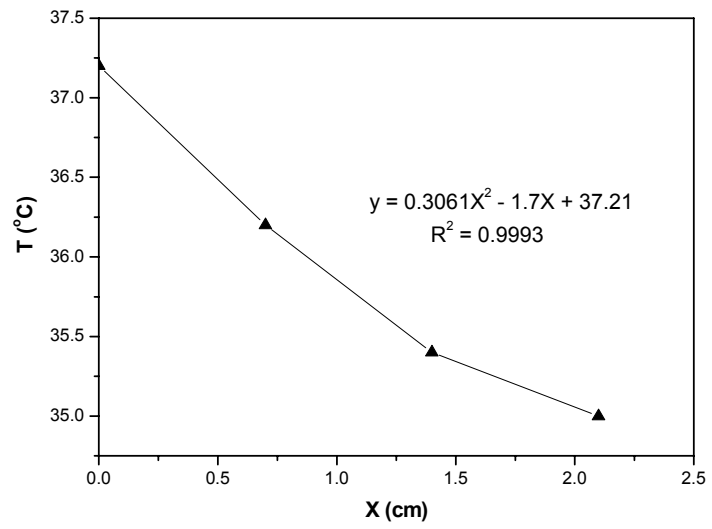
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^\circ\text{C})$			
			$\alpha\text{ (cm}^2/\text{s)}$			
			$\alpha_1=0.0009$	$\alpha_2=0.00092$	$\alpha_3=0.00093$	$\alpha_4=0.0010$
1	0.7	29.4	29.399	29.399	29.400	29.402
2	1.4	27.5	27.554	27.554	27.555	27.556
3	2.1	26.6	26.600	26.600	26.600	26.600



Ek Şekil 3.7. 8CB için $T_0=36.7$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.7. 8CB numunesinin $T_0=36.7$ °C 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

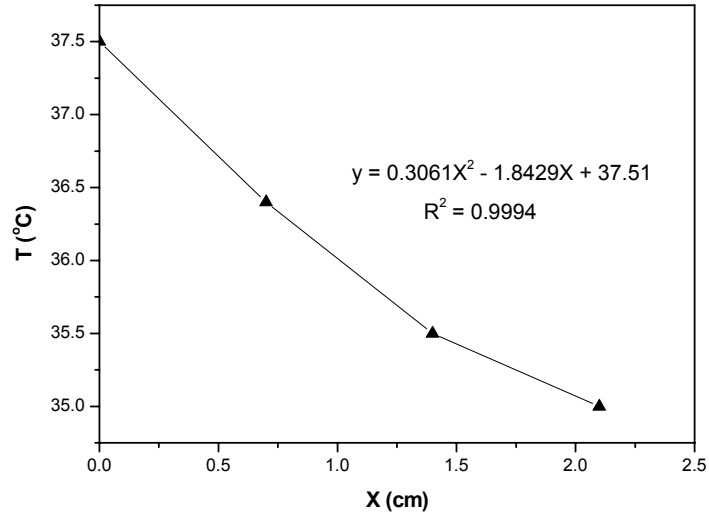
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			T (°C)			
I	X (cm)	T (°C)	α (cm ² /s)			
			$\alpha_1=0.0007$	$\alpha_2=0.00079$	$\alpha_3=0.0008$	$\alpha_4=0.0009$
1	0.7	36.0	35.996	35.999	36.000	29.402
2	1.4	35.3	35.355	35.358	35.358	27.556
3	2.1	34.8	34.800	34.800	34.800	26.600



Ek Şekil 3.8. 8CB için $T_0=37.2$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.8. 8CB numunesinin $T_0=37.2\text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

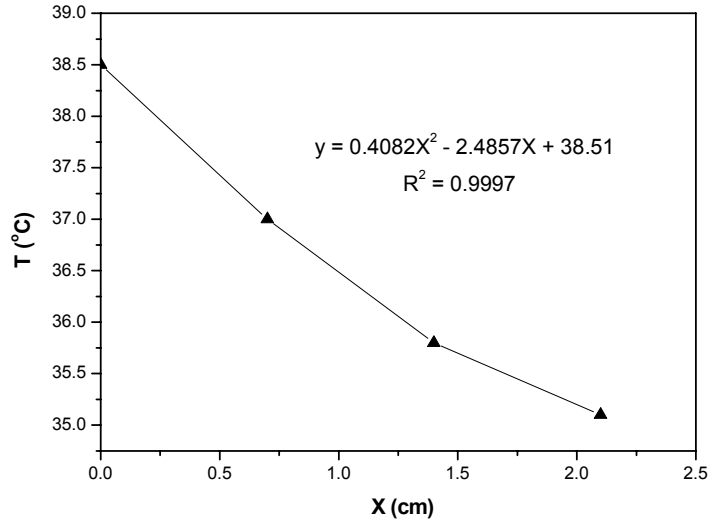
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^\circ\text{C})$			
			$\alpha\text{ (cm}^2/\text{s)}$			
			$\alpha_1=0.0007$	$\alpha_2=0.00078$	$\alpha_3=0.00079$	$\alpha_4=0.0009$
1	0.7	36.2	36.196	36.199	36.200	36.204
2	1.4	35.4	35.430	35.458	35.458	35.462
3	2.1	35.0	35.000	35.000	35.000	35.000



Ek Şekil 3.9. 8CB için $T_0=37.5\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.9. 8CB numunesinin $T_0=37.5\text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

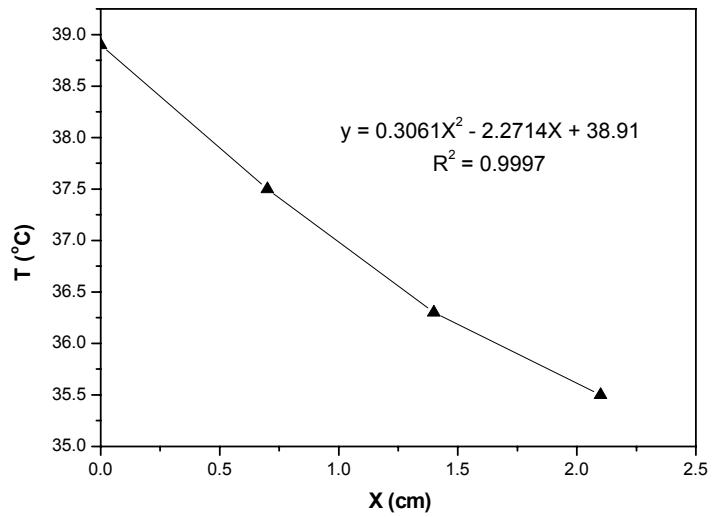
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^\circ\text{C})$			
			$\alpha\text{ (cm}^2/\text{s)}$			
			$\alpha_1=0.0007$	$\alpha_2=0.00077$	$\alpha_3=0.00078$	$\alpha_4=0.0009$
1	0.7	36.4	36.397	36.399	36.400	36.404
2	1.4	35.5	35.555	35.557	35.558	35.562
3	2.1	35.0	35.000	35.000	35.000	35.000



Ek Şekil 3.10. 8CB için $T_0=38.5$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.10. 8CB numunesinin $T_0=38.5$ °C 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

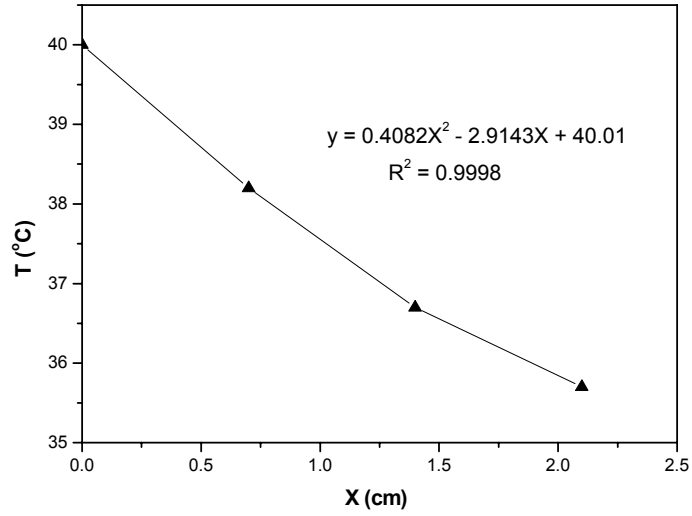
Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			T (°C)			
I	X (cm)	T (°C)	α (cm ² /s)			
			$\alpha_1=0.0007$	$\alpha_2=0.00075$	$\alpha_3=0.00076$	$\alpha_4=0.0008$
1	0.7	37.0	36.997	36.999	37.000	37.001
2	1.4	35.8	35.855	35.857	35.857	35.858
3	2.1	35.1	35.100	35.100	35.100	35.100



Ek Şekil 3.11. 8CB için $T_0=38.9$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.11. 8CB numunesinin $T_0=38.9$ °C 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^{\circ}\text{C})$			
			α (cm ² /s)			
			$\alpha_1=0.0007$	$\alpha_2=0.00074$	$\alpha_3=0.00075$	$\alpha_4=0.0008$
1	0.7	37.5	37.498	37.499	37.500	37.502
2	1.4	36.3	36.355	36.357	36.357	36.359
3	2.1	35.5	35.500	35.500	35.500	35.500



Ek Şekil 3.12. 8CB için $T_0=40$ °C 'de sıcaklığın konuma göre değişim fonksiyonu

Ek Çizelge 3.12. 8CB numunesinin $T_0=40$ °C 'de gerçek ve hesaplanan değerleri

Adım Sayısı	Konum	Gerçek Değerler	Hesaplanan Değerler			
			$T(^{\circ}\text{C})$			
			α (cm ² /s)			
			$\alpha_1=0.0007$	$\alpha_2=0.00072$	$\alpha_3=0.00073$	$\alpha_4=0.0008$
1	0.7	38.2	38.198	38.199	38.200	38.202
2	1.4	36.7	36.755	36.756	36.756	36.759
3	2.1	35.7	35.700	35.700	35.700	35.700

ÖZET

Teknolojide geniş bir kullanım alanına sahip olan sıvı kristallerin moleküler yönelime bağlı olarak ısı parametrelerinin değişmesi onlar üzerinde daha çok çalışma yapılmasına neden olmaktadır. Foto-akustik ve foto-piro-elektrik teknikler bu alanda yapılan en yaygın çalışmalardır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara bağlı olarak sıvı kristallerin teknolojik amaçlı kullanımları da artmaktadır. Hesap makinesi, bilgisayar ve saat ekranları, sıvı kristal renk termometreleri gibi cihazlarda yaygın bir kullanım bulmaktadır. Bugün için elektronik cihazlarda görüntüleme sistemi olarak en çok kullanılan materyal nematik sıvı kristallerdir. Nematiklerin optik ve ısı özelliklerinin uygulanan elektrik veya manyetik alanla yapısal ve fiziksel değişim sergilemesi, bu sıvı kristallerin daha çok kullanımına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, ticari olarak Sigma-Aldrich firmasından elde edilen 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB) ve 4'-octyl-4-cyanobiphenyl (8CB) nematik sıvı kristal malzemelerin, ısı yayılım katsayıları nematik faz aralığında ve rasgele moleküler yönelimde incelenmiştir. Nematik sıvı kristallerin faz aralığı oda sıcaklığına yakın olduğundan çalışmaya kolaylık sağlamıştır. Deneyde sıvı kristal hücrenin içinde belli aralıklarla yerleştirilen termoçiftler ile sıcaklık değerlerinin uzaysal dağılımı dört düğüm noktasından elde edilmiştir. Alınan sıcaklık değerleri grafik programında eğriye dönüştürülmüştür ve bu eğrilere uygun fonksiyonlar belirlenmiştir. Son derece hassas davranılarak belirlenen fonksiyonlar tek tek C# dilinde yazılan ileriye doğru fark metodu kodunda derlenip, her bir eğri için ısı yayılım katsayıları belirlenmiştir. Isı yayılım katsayıları için elde edilen değerler, literatürde moleküler yönelimin paralel ve dik olduğu şartlardaki ısı yayılım aralığındaki beklenen değerlerle uyduğu gözlenmiştir.

SUMMARY

Thermal parameters that change with variation of molecular orientation in liquid crystals have led to studies work on these widely used technological materials. Photoacoustic and photopyroelectric techniques are the most common studies in this field. Based on the results obtained from these studies, technological use of liquid crystals has increased. Liquid Crystal Display (LCD) for calculators, computers, watches and thermometers are common examples for liquid crystal use in technology. Today, liquid crystals that are widely used in electric device market or in LCD technology are mostly nematic liquid crystals. Variation in optical and thermal properties of nematic crystals with the applied electric and magnetic field has caused an increased use of these crystals.

In this study, thermal heat conduction coefficients of commercially available 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl (5CB) and 4'-octyl-4-cyanobiphenyl (8CB) nematic liquid crystals were investigated for nematic phase and randomly molecular orientation. Since these liquid crystals show nematic phase at room temperature, it was easy to work with them. In the experiments, four thermocouples were placed at four different locations in the crystal to determine spatial temperature variation for the sample. The obtained data was graphed and from the graphs the optimum function by fitting was evaluated. Then these functions were solved numerically by forward finite difference method to find the thermal diffusivity coefficients. The program to solve this was written in C# language. The values of thermal diffusivity coefficients obtained in this study were consistent with literature values that were obtained when the molecular orientation was parallel and vertical.