

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAREKETLİ ISI KAYNAĞINA BAĞLI OLARAK LEVHADA MEYDANA GELEN SICAKLIK
DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER YAZAR

**KASIM 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAREKETLİ ISI KAYNAĞINA BAĞLI OLARAK LEVHADA MEYDANA GELEN
SICAKLIK DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Ömer YAZAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 20 / 11 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU

Trabzon 2019

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Ömer YAZAR tarafından hazırlanan

HAREKETLİ ISI KAYNAĞINA BAĞLI OLARAK LEVHADA MEYDANA GELEN
SICAKLIK DAĞILIMININ İNCELENMESİ




başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25 / 06 / 2019 gün ve 1808 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU

Üye : Prof. Dr. Ahmet ÜNAL

Üye : Doç. Dr. Lütfü NAMLI

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada hareketli ısı kaynağına bağlı olarak levhada meydana gelen sıcaklık dağılımı sayısal olarak incelenmiştir. Öncelikle bu çalışmam esnasında ilgisini esirgemeyen, bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU'na teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Eğitim hayatımın süresince bana emeği geçen bütün öğretmenlerime de bu vesileyle teşekkür ederim.

Son olarak, hep yanımda olan, benden maddi-manevi desteğini esirgemeyen, güvenlerini her fırsatta gösteren aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ömer YAZAR

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hareketli Isı Kaynağına Bağlı Olarak Levhada Meydana Gelen Sıcaklık Dağılımının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/11/2019



Ömer YAZAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Isı Transferi.....	1
1.2.1. İletim (Kondüksiyon).....	2
1.2.2. Taşınım (Konveksiyon)	4
1.2.3. Işınım (Radyasyon).....	4
1.3. Sınır Koşulları ve Başlangıç Koşulu.....	5
1.4. Literatür Araştırması.....	7
2. ISI KAYNAKLARI VE MODELLERİ	10
2.1. Hareketli Isı Kaynakları.....	10
2.2. Isı Kaynağı Modelleri	13
2.2.1. Rosenthal'ın Analitik Modeli	15
2.2.2. Yüzeysel Isı Kaynağı Modelleri	16
2.2.2.1. Gauss Isı Akısı Dağılım Modeli	16
2.2.3. Hacimsel Isı Kaynağı Modelleri.....	20
2.2.3.1. Yarım Küresel Güç Yoğunluğu Kaynağı Modeli.....	20
2.2.3.2. Goldak Dağılım Modelleri.....	21
2.2.3.2.1. Yarı Elipsoidal Dağılım Modeli	21
2.2.3.2.2. Çift Elipsoidal Dağılım Modeli	23
2.3. Isı Dağılım Parametreleri.....	24
3. ÇALIŞILAN PROBLEM VE SAYISAL YÖNTEM.....	26
3.1. Çalışılan Problemin Tanıtımı.....	26

3.2.	Sayısal Yöntem.....	27
3.2.1.	ANSYS'e Giriş	27
3.2.2.	Kullanılan Yöntemin Doğrulanması.....	27
3.3.	Modelin Oluşturulması	29
3.3.1.	ANSYS Programının Açılıp Analiz ve Eleman Tipinin Seçilmesi	29
3.3.2.	İş Parçasının Seçimi ve Isıl Özelliklerin Belirlenmesi	31
3.3.3.	Geometri ve Ağ (Mesh) Oluşturulması	32
3.3.4.	Model Parametreleri ve Fonksiyonun Oluşturulması.....	34
3.3.5.	Sınır Şartlarının Girilmesi	37
3.3.5.1.	Başlangıç Sıcaklığının Girilmesi	37
3.3.5.2.	Isı Akısı Tanımlama	38
3.3.5.3.	Taşınım Sınır Şartının Girilmesi.....	39
3.3.5.4.	İşinim Sınır Şartı.....	39
3.4.	Programın Çalıştırılması.....	40
4.	BULGULAR.....	41
4.1.	Analiz Sonuçları	41
4.2.	Farklı Zamanlarda Levhada Meydana Gelen Sıcaklık Dağılımları.....	48
4.3.	Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması	50
4.4.	Farklı Parametreler Kullanılarak Kıyaslama Yapılması.....	53
4.4.1.	Isı Kaynağı Hızının Etkisi	54
4.4.2.	Isı Kaynak Yarıçapının Etkisi.....	54
5.	SONUÇLAR.....	56
6.	ÖNERİLER.....	57
7.	KAYNAKLAR	58
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

HAREKETLİ ISI KAYNAĞINA BAĞLI OLARAK LEVHADA MEYDANA GELEN
SICAKLIK DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Ömer YAZAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU
2019, 60 Sayfa

Kaynak, taşlama, delme gibi birçok mühendislik uygulamasında hareketli ısı kaynağı ile karşılaşmaktadır. Isı kaynağının hareketli olması malzeme içerisinde zaman bağımlı ısı iletimi problemine neden olmaktadır. Sıcaklık dağılımı sonucu malzeme içerisinde ısıl gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle malzeme içerisindeki sıcaklık dağılımının bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada doğrusal hareketli ısı kaynağına bağlı olarak bir levhada zamana bağlı olarak meydana gelen sıcaklık dağılımı sayısal olarak incelenmiştir. Kartezyen koordinat sistemindeki üç boyutlu ısı yayılım denkleminin çözümünde ANSYS paket program kullanılmıştır. Değişik ısı kaynağı şiddeti, değişik kaynak ilerleme hızı ve değişik kaynak yarıçapının levhada oluşan sıcaklık dağılımına etkileri araştırılmıştır. Kaynak şiddetinin (ısı akısının) artması, kaynak çapının küçülmesi ve kaynak ilerleme hızının azalması ile levhada meydana gelen maksimum sıcaklığın arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: ANSYS, Hareketli ısı kaynağı, Sıcaklık dağılımı, Kaynak modelleme

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A PLATE BASED ON
MOVING HEAT SOURCE

Ömer YAZAR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Department
Supervisor: Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU
2019, 60 pages

In many engineering applications such as welding, grinding and drilling, moving heat sources are experienced. If the heat source is moving, an unsteady heat conduction problem in the material occurs. As a result of temperature distribution, thermal stresses occur in the material. Therefore, it is important to know the temperature distribution in the material. In this study, the unsteady temperature distribution in a plate due to moving heat source is investigated numerically. ANSYS package program was used to solve the three-dimensional heat diffusion equation in the Cartesian coordinate system. In this study the effects of welding intensity (heat flux), welding velocity, welding radius on the temperature distribution in the plate are investigated. It is observed that the maximum temperature of the plate increases with the increasing welding intensity, decreasing the welding diameter and decreasing the welding velocity.

Key Words: ANSYS, Moving heat source, Temperature distribution, Welding simulation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Isı iletimi.....	2
Şekil 1.2.	Bir düzlem duvarın her iki yüzeyinde tanımlı sıcaklık sınır şartı.....	6
Şekil 1.3.	Bir düzlem duvarın her iki yüzeyinde tanımlı ısı akısı sınır şartı.....	6
Şekil 1.4.	Bir düzlem duvarın her iki yüzeyinde taşınım sınır şartı.....	6
Şekil 1.5.	Bir düzlem duvarın her iki yüzeyinde ışıınım sınır şartı	6
Şekil 2.1.	Hareketli ısı kaynağının gösterimi.....	11
Şekil 2.2.	Hareketli ısı kaynağı ve plakadaki etkisi	11
Şekil 2.3.	Sürtünme karıştırma kaynak modeli.....	12
Şekil 2.4.	Lazer kaynak modeli.....	12
Şekil 2.5.	Tek adımda üretilen enerjinin, kaynak bölgesindeki kesik koni biçimli eş sıcaklık eğrileri	13
Şekil 2.6.	Tek adımda üretilen enerjinin, kaynak bölgesindeki kum saati görünümlü eş sıcaklık eğrileri	14
Şekil 2.7.	Hareketli ısı kaynağının oluşturduğu eş sıcaklık eğrileri	14
Şekil 2.8.	Dairesel diskli ısı kaynağı.....	16
Şekil 2.9.	Pavelic disk modeli.....	17
Şekil 2.10.	Isı kaynağı yoğunluğunun radyal dağılımı	17
Şekil 2.11.	Gauss dağılımı	18
Şekil 2.12.	Yarı sonsuz bir plakanın yüzeyinde hareket eden Gauss dağılımlı ısı kaynağı	18
Şekil 2.13.	Disk modelin FEM analizi için kullanılan koordinat sistemi	19
Şekil 2.14.	Isı kaynağı yoğunluğunun yarım küresel dağılımı	21
Şekil 2.15.	Yarım elipsoidal dağılım sergileyen ısı kaynağı	22
Şekil 2.16.	Çift elipsoidal dağılım sergileyen ısı kaynağı	23
Şekil 3.1.	Levha geometrisi	26
Şekil 3.2.	ANSYS APDL uygulamasındaki menülerin gösterimi	29
Şekil 3.3.	ANSYS preferences menüsünden termal analizin seçilmesi.....	30
Şekil 3.4.	ANSYS eleman tipinin seçilmesi	30
Şekil 3.5.	Malzeme özelliklerinin programa girilmesi.....	32
Şekil 3.6.	Oluşturulacak model geometrisinin ölçüleri.....	33
Şekil 3.7.	ANSYS programında geometrinin oluşturulması.....	33

Şekil 3.8. Ağ (mesh) detayı.....	34
Şekil 3.9. İki boyutlu Gauss ısı kaynağının şematik görünümü	35
Şekil 3.10. Isı dağılımı için fonksiyonun tanımlanması	36
Şekil 3.11. Fonksiyonda tanımlı sabit değerlerin girilmesi	37
Şekil 3.12. Başlangıç sıcaklığının girilmesi.....	38
Şekil 3.13. Isı akısı uygulanacak yüzeyin seçilmesi	38
Şekil 3.14. Isı taşınım katsayısının girilmesi	39
Şekil 3.15. Programın çalıştırılması ve programın iterasyona başlaması	40
Şekil 4.1. İstenilen zamandaki sıcaklık dağılımının seçilmesi	42
Şekil 4.2. Sıcaklık sonuçlarının seçilmesi.....	42
Şekil 4.3. Levhada 31.446. saniyede oluşan sıcaklık dağılımı	43
Şekil 4.4. Levhada 34.446. saniyede oluşan sıcaklık dağılımının detaylı görünümü.....	43
Şekil 4.5. Levha üzerinde C noktasındaki node numarasının belirlenmesi	44
Şekil 4.6. Levha üzerinde C noktasının node numarası.....	45
Şekil 4.7. C noktasının node numarasının girilmesi	45
Şekil 4.8. C noktası sıcaklığının zamanla değişimi	46
Şekil 4.9. C noktası sıcaklığının 1000 saniye süredeki değişimi.....	46
Şekil 4.10. C noktası sıcaklığının 100 saniye süredeki değişimi.....	47
Şekil 4.11. C noktası sıcaklığının 100 saniye süredeki değişimi.....	47
Şekil 4.12. 31.446. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı.....	48
Şekil 4.13. 0.786. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı.....	49
Şekil 4.14. 44.025. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı.....	49
Şekil 4.15. 100. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı.....	50
Şekil 4.16. Levha üzerinde farklı noktaların gösterimi.....	51
Şekil 4.17. C, B ve A noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişimleri	52
Şekil 4.18. C, D ve E noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişimleri	52
Şekil 4.19. F, C ve G noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişimleri	53
Şekil 4.20. Farklı kaynak hızlarında C noktasındaki sıcaklığın zamanla değişimi	54
Şekil 4.21. Farklı ısı kaynağı yarıçapları için C noktasındaki sıcaklığın zamanla değişimi	55

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Bazı kaynak yöntemlerindeki ısı akısı değerleri.....	10
Tablo 2.2. Isı dağılım profili için parametre sayıları	25
Tablo 3.1. Inconel 718 malzemesinin ısı ve mekanik özellikleri.....	31
Tablo 3.2. Hareketli ısı kaynağı modelinde kullanılan parametreler	35



SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Alan (m^2)
c	: Rosenthal analitik modeldeki karakteristik yarıçap (m)
C	: Özgül ısı ($J/kg.K$)
E_b	: Siyah cisim için yayma gücü (W/m^2)
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
H	: Levha kalınlığı (m)
K	: Dağılım genişlik katsayısı (m^{-2})
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
I	: Kaynak akımı (A)
L	: Levha uzunluğu (m)
T_f	: Akışkan sıcaklığı ($^{\circ}C$ veya K)
T_s	: Yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$ veya K)
v	: Isı kaynağı hızı (m/s)
V	: Kaynak gerilimi (Volt)
W	: Levha genişliği (m)
Q	: Kaynak ark gücü (W)
Q_r	: Rosenthal'in analitik modelindeki kaynak enerjisi (J)
q''_m	: Arkta meydana gelen maksimum ısı akısı (W/m^2)
q''	: Isı akısı (W/m^2)
q, q_x	: Isı gücü (W)
\dot{q}	: Hacimsel ısı üretimi (W/m^3)
η	: Kaynak ark verimi
ΔT	: Sıcaklık farkı ($^{\circ}C$ veya K)
Δx	: Kalınlık (m)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3), yansıma katsayısı
α	: Isıl yayılım katsayısı ($m^2.s^{-1}$), yutma katsayısı
τ	: Gecikme faktörü (s), geçirme katsayısı
ε	: Yüzeyin yayma oranı
ζ	: Rosenthal'in analitik modelindeki hareketli eksen

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde birçok mühendislik uygulamalarında malzemelerin ısı ile şekillendirildiğini görmekteyiz. Talaş kaldırma, kesme, delme, kaynak işlemleri, taşlama operasyonları vb. birçok endüstriyel uygulamalar bu ısıl işlemlere örnek verilebilir.

Birçok malzeme yüksek sıcaklığa maruz kaldığında mekanik ve ısıl özelliklerinin, malzeme iç yapısının değiştiğini görmekteyiz. Örneğin sıcaklığın artması ile atomların daha fazla titreşmesinden dolayı malzemelerin boyutlarında bir büyüme (genleşme) söz konusu olmaktadır. Bir çelik ısıl işlem esnasında yüksek sıcaklığa maruz kaldığında, sıcaklık nedeni ile akma sınırının düşmesi ve çekme dayanımının azalması şeklinde malzeme özellikleri etkilenmektedir.

Yukarıda anlatılan proseslerin fiziğini anlamak ve süreç parametrelerinin optimizasyonu için bu süreçlerin modellenmesi önem taşımaktadır. Isı transferi açısından bakıldığında böyle bir problem, içerisinde ısı kaynağı terimi olan bir ısı iletimi problemi. Isı kaynağı çözüm alanında sabit olabileceği gibi birçok üretim prosesinde olduğu gibi hareketli de olabilir. Malzeme özelliklerinin sabit olduğu sıcaklık aralıklarında doğrusal bir ısı iletimi denklemi söz konusu olduğunda değişkenlerin ayırımı, integral dönüşümü veya Green fonksiyonu gibi analitik yöntemlerle modelleme yapmak mümkün olmaktadır. Malzeme özelliklerinin sıcaklığın fonksiyonu olduğu durumlarda ise analitik yöntemlerden ziyade sayısal yöntemler bir çözüm aracı olarak ön plana çıkmaktadır [1].

Bu çalışmada hareketli ısı kaynağının bir levhada meydana getirdiği sıcaklık dağılımları ANSYS paket programı kullanılarak sayısal olarak elde edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

1.2. Isı Transferi

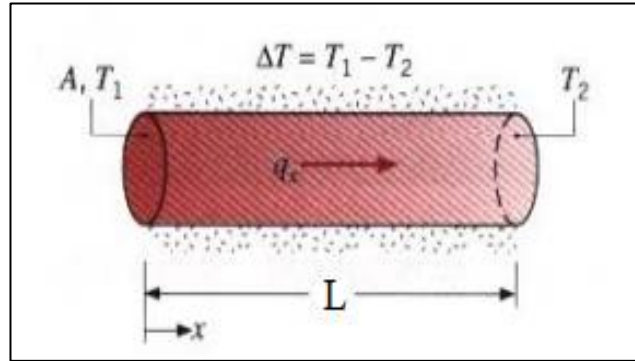
Termodinamiğin 2. yasasına göre, iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa, ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama geçer. Isının geçişi, ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar, ortam ve yüzeylerinin özelliklerine de bağlıdır. Bu sebeple ısı transferi sistemi birbirinden farklı üç başlık altında incelenebilir.

1. İletim (kondüksiyon)
2. Taşınım (konveksiyon)
3. Işınım (radyasyon)

1.2.1. İletim (Kondüksiyon)

Bir cismin farklı sıcaklıktaki bölgeleri arasında, birbirleriyle temas halindeki parçacıklardan, yüksek enerji seviyesinde bulunanlardan, düşük enerji seviyesinde bulunanlara doğru geçen enerji, iletimle ısı geçişi olarak ifade edilir. İletimle ısı geçişi katı, sıvı ve gaz ortamında gerçekleşebilir.

Fourier denklemi; katı bir ortamdan birim zamanda geçen ısı miktarını verir. Fourier denklemi doğada gözlenen olaylardan geliştirilmiştir. Fourier denklemine daha çok deneysel verilere dayanan bir genelleştirme olarak bakılmalıdır. Bu kanuna göre bir yönde transfer olan ısı miktarı, sıcaklık değişim miktarı (ΔT) ve ısı geçiş yönüne dik alan (A) ile orantılıdır.



Şekil 1.1. Isı iletimi

Yukarıdaki şekilde, A silindirin kesit alanı, T_1 ve T_2 silindir yüzey sıcaklıkları ($T_1 > T_2$) olsun. Isı geçişi, T_1 yüzeyinden T_2 yüzeyine doğru olacaktır. Sıcaklık sürekli rejimde zamanla değişmemektedir. Deneyler x yönündeki ısı geçişinin,

$$q = -kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (1.1)$$

şeklinde olduğunu göstermiştir. Burada k malzemenin bir özelliği olup, ısı iletim katsayısı olarak tanımlanır. Termodinamiğin 2. yasası gereği ısı iletimi sıcaklığın azaldığı yönde

olacaktır. Bu nedenle sıcaklık farkı ile ısı akısı ters işaretlidir. Pozitif yönde ısı geçişi elde etmek için, yukarıdaki ifadenin önüne (-) işareti konulmuştur. Formüldeki k ısı iletim katsayısının birimi W/mK'dir. Isı iletimi genellenirse

$$q_x = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1.2)$$

şeklinde yazılır. Burada A ısı geçişine dik alan ve dT/dx sıcaklık gradyanını göstermektedir. Isı akısı ise aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (1.3)$$

Bir ortamdaki ısı iletimi, sıcaklık zaman içerisinde değişmiyorsa sürekli rejimde, değişiyorsa geçici rejimde ısı iletimi olarak adlandırılır. Bir ortamdaki ısı iletimi yalnızca bir boyutta önemliyse ve diğer iki boyutta ihmal edilebilir ise o ortamdaki ısı iletimi, bir boyutlu ısı iletimi olarak adlandırılır. Eğer ısı iletimi iki boyutta önemli, üçüncü boyutta ihmal edilebilir ise iki boyutlu, üç boyutta da önemliyse üç boyutlu ısı iletimi olarak adlandırılır. Isı transferi analizinde; elektriksel, kimyasal veya nükleer enerjinin ısıya (veya ısı enerjisi) dönüşümü ısı üretimi olarak belirtilir.

Isı iletimi denklemi diferansiyel bir kontrol hacminde enerji dengesinin uygulanmasıyla elde edilebilir. Sabit ısı iletim katsayısı için bir boyutlu ısı iletiminin sırasıyla Kartezyen, silindirik ve küresel koordinatlardaki ifadesi aşağıda verildiği gibidir:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.4)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.5)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.6)$$

Yukarıda verilen denklemlerde yer alan α , malzemenin ısı yayılım katsayısıdır.

Bir ısı iletimi probleminin çözümü, yüzeydeki koşullara bağlıdır. Sınırdaki ısı koşulların matematiksel ifadeleri sınır koşulları olarak adlandırılır. Zamana bağlı ısı iletim problemleri aynı zamanda ortamın ısı iletim işleminin başındaki durumuna da bağlıdır. Genellikle $t=0$ zamanı için ifade edilen koşul, başlangıç koşulu olarak adlandırılır. Bu

koşul ortamdaki ilk sıcaklık dağılımının matematiksel ifadesidir. Bir ısı iletim probleminin matematiksel olarak tam tanımlanması için ısı iletiminin önemli olduğu her boyut için iki sınır koşuluna, eğer problem zamana bağlıysa (geçici durum) bir de başlangıç koşuluna gereksinim vardır. En yaygın sınır koşulları; yüzeyde sabit sıcaklık, yüzeyde sabit ısı akısı, taşınım ve ışıınım sınır koşullarıdır. Bir sınır yüzeyi en genel haliyle aynı anda belli bir ısı akısı, taşınım ve ışıınım koşullarını içerebilir.

1.2.2. Taşınım (Konveksiyon)

Katı bir yüzeyle onun temas ettiği akışkan bir ortam arasında gerçekleşen ısı geçiştir. İletimin ve akışkan hareketinin ortak sonucu olarak gerçekleşir. Akışkan hareketi daha hızlı olduğu zaman taşınım ile ısı geçişi de daha yüksek değer alır. Akışkan eğer hareketsizse, bu durumda katı yüzeyle temas ettiği akışkan arasında sadece iletimle ısı geçişi olur. Akışkan hareketinin varlığı ısı geçişini artıran bir etkidir, fakat aynı zamanda ısı geçişinin hesaplanmasını zorlaştırır.

Newton katı bir yüzeyle temasta olan hareketli bir akışkan arasındaki ısı geçişini,

$$q_{\text{taşınım}} = h A (T_s - T_f) \quad (1.7)$$

$$q'' = h(T_s - T_f) \quad (1.8)$$

bağıntısıyla vermiştir. Burada T_s yüzey sıcaklığını, T_f sınır tabaka dışındaki akışkan sıcaklığını, h ısı taşınım katsayısını (W/m^2K) ve A ısı geçişinin olduğu yüzey alanını göstermektedir. Bu ifade Newton'un soğuma yasası olarak adlandırılır.

1.2.3. Işınım (Radyasyon)

Işınım, maddenin atom veya moleküllerinin elektron düzeninde olan değişmeler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar aracılığı ile gerçekleşen enerji aktarımıdır. İletim ve taşınımından farklı olarak, ışıınım ile ısı geçişi cisimler arasında boşluk olması durumunda da vardır.

Tüm cisimler (katı, sıvı, gaz) yüksek sıcaklıklarda elektromanyetik dalgalar şeklinde enerjiyi hem yayar hem de yutarlar. Yüzeye gelen ışıınımın bir kısmı geri yansır, bir kısmı cisim tarafından soğurulur ve geri kalan kısmı ise yüzeyden geçer. Yüzeyi geçen ışıınım

çok kısa bir kalınlıkta yutulur. Yutulan ışınım iç enerjiye dönüşürse böyle yüzeyler opak (donuk) yüzey adını alırlar. Donuk yüzeyler arasındaki ışınım, yüzey ışınımı adı verilir. Yüzeğe gelen ışınımın yansıyan kısmı (reflektiviti) yansımaya katsayısı ρ , yutulan kısmı, (absorbtiviti) yutma katsayısı α ve geçen kısmı (transmissiviti) geçirme katsayısı τ ile verilir.

Gelen ışınım 1 birim ise $\rho + \alpha + \tau = 1$ yazılabilir. Opak cisimler için $\tau = 0$ dır. Siyah bir cisim için $\alpha = 1$ alınır. Siyah cisme en yakın yüzeyler siyah karbon ve siyah platindir.

Bir yüzeyin birim alanından birim zamanda ışınım yayma gücü, yüzeyin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Bu ifade,

$$E_b = \sigma T^4 \quad (1.9)$$

$$q_{\text{ışınım}} = \varepsilon \sigma A (T_S^4 - T_{\text{çevre}}^4) \quad (1.10)$$

şeklinde verilir. 1879 yılında Stefan tarafından verilen ve 1884 yılında Boltzmann tarafından teorik olarak elde edilen bağıntı Stefan-Boltzmann yasası olarak adlandırılır. Burada σ Stefan-Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, T_S yüzey sıcaklığı, $T_{\text{çevre}}$ çevre sıcaklığı, ε yüzeyin yayma oranı, A yüzey alanı ve E_b siyah cisim için yayma gücüdür. SI birim sisteminde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ şeklindedir.

1.3. Sınır Koşulları ve Başlangıç Koşulu

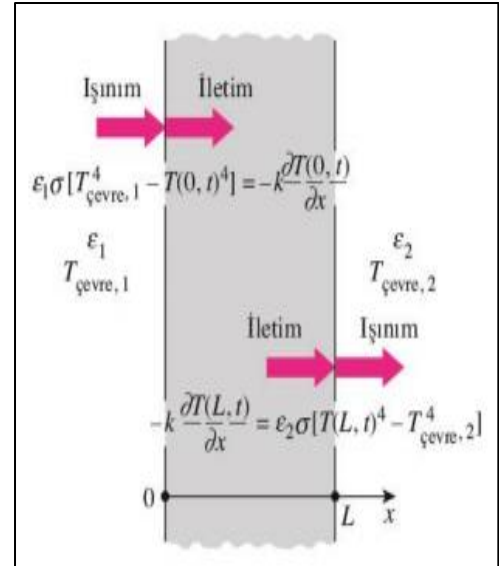
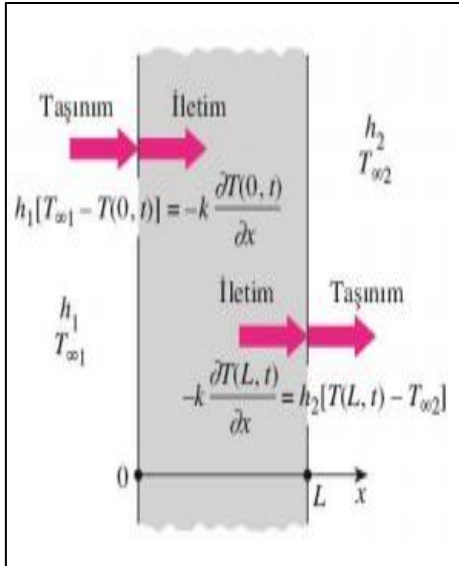
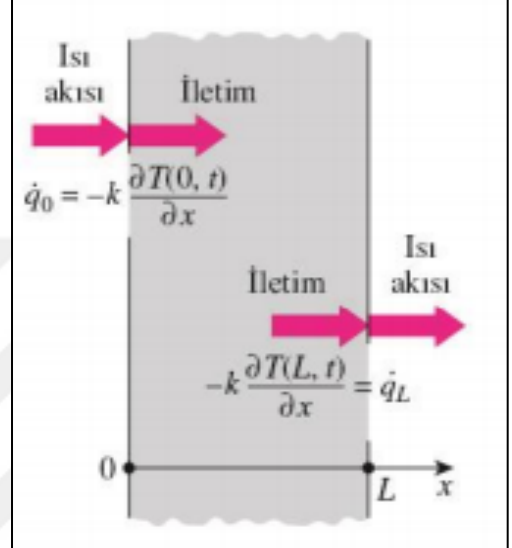
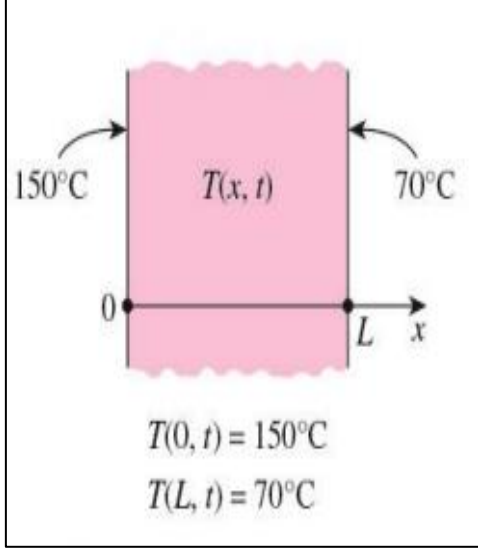
Ortamdaki ısı akısının ve sıcaklık dağılımının yüzeydeki şartlara bağlı olduğu bilinmektedir ve bir ortamdaki ısı transfer probleminin tanımı, ortamı sınırlayan yüzeylerdeki ısı şartları tam olarak tarif edilmeden tamamlanamaz. Sınırlardaki ısı şartlarının matematik ifadeleri sınır koşulları olarak adlandırılır.

Belirli bir anda duvardaki herhangi bir noktada sıcaklık, ısı iletim işleminin başlangıcında duvar şartına bağlıdır. Genellikle $t = 0$ anında tanımlı böylesi bir şart, ortamın başlangıçtaki sıcaklık dağılımının matematik ifadesidir ve başlangıç şartı olarak adlandırılır.

Bir ısı transferi problemini bütünüyle tanımlamak için ısı transferinin önemli olduğu her bir doğrultuda iki sınır şartı verilmelidir. Sınır şartları genel olarak aşağıdaki gibi dört başlık altında toplanabilir,

- 1-Tanımlı sıcaklık sınır şartı
- 2-Tanımlı ısı akısı sınır şartı
- 3-Taşınım sınır şartı
- 4-Işınım sınır şartı

Sınır şartları aşağıda resimlerde gösterilmiştir.



1.4. Literatür Araştırması

Hareketli ısı kaynağı analizleri yapılırken genellikle kaynak modelleri oluşturulup, bu modellerle sıcaklık ve gerilim analizleri yapılmaktadır. Bu çalışmada kaynak modelleri esas alınarak hareketli ısı kaynağına bağlı oluşan sıcaklık dağılımları incelenmiştir.

Rosenthal [3], iki ve üç boyutlu kaynaklar için, kaynak sırasında oluşan ısı akışı için analitik bir çözüm geliştiren ilk araştırmacılar arasındadır. Rosenthal, Fourier kısmi diferansiyel denklemini kullanarak, noktasal ve çizgisel ısı kaynakları için çözümler geliştirmek üzere hareketli koordinat sistemini kullanmış ve bunu çeşitli kaynak problemlerini çözmek için başarıyla uygulamıştır. Rosenthal, ısı iletimine ilişkin analitik çözümleri, ilk defa akım, voltaj, kaynak hızı ve kaynak geometrisi gibi kaynak parametreleri ile ilişkilendirmiştir [4].

Rosenthal'ın öncü çalışmalarından sonra, kaynağın ısı etkileri üzerine Kamala ve Goldak [5], Nguyen vd. [6] gibi araştırmacılar da benzer çalışmalar ortaya koymuşlardır.

Kaynak termal analizi için gerekli olan en kritik giriş verileri, ark kaynağından gelen ısı girişini tanımlamak için gerekli parametrelerdir. Goldak, Chakravarti ve Bibby [7], Gaussian güç yoğunluğu dağılımına dayanan ısı kaynağı için matematiksel bir model türetmişlerdir. Isı kaynak banyosunun boyutunu ve şeklini tanımlayan çift elipsoidal dağılım sergileyen ısı kaynak modeli geliştirmişlerdir. Benzer şekilde, Kraus [8], Tekriwal ve Mazumder [9] ve Yeung ve Thorthon [10] gibi araştırmacılar da, bir metalin sıcaklık dağılımını araştırmak için termal sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir.

Geçen kırk yılda, kaynak işlemleri nedeniyle bozulma ve artık gerilmeleri tahmin etmek amacıyla sonlu elemanlar yöntemi, Friedman [11], Michaleris ve Debicari [12] ve Taylor vd. [13] tarafından yapılan çalışmalarda yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Friedman [11] tarafından yapılan karmaşık kaynak işlemlerini modellemek için kullanılan sonlu elemanlar yöntemi çalışmaları, Taylor vd. [13] tarafından yapılan çalışmalar ile desteklenmiştir.

Friedman [11] tarafından yapılan iki boyutlu analiz çalışmalarının, daha sonra Taylor vd. [13] tarafından üç boyutlu yapmış olduğu analiz çalışmaları ile başarılı bir uyum içinde olduğu kanıtlanmıştır.

Geçmişteki kaynak araştırmalarının çoğu, artık gerilmelerin dağılımını ve kaynaklı metalin çarpıklığını incelemek için yapılmıştır. Örneğin Mandal ve Sundar [14] tarafından yapılan çalışma, kaynaklı bir alın ek yerindeki kaynak büzülmesini matematiksel bir model

kullanarak tahmin etmektedir. Michaleris ve Debiccari [12], kaynak çarpıklığını öngörmek için kaynak modellemesi ile termo-elasto-plastik sonlu elemanlar analizi gerçekleştirmiştir. Yaptıkları çalışmalarda, yaklaşımlarının deneysel verilere uygun olduğunu kanıtlamışlardır. Puchaicela [15] makalesinde, çarpıklığın kontrolü ve azaltılması için pratik bir rehber sağlama çabası içinde, çeşitli formülleri incelemiş ve analiz etmiştir.

Kaynak işlemi ile ilgili yapılan çalışmalar deneysel ve analitik yöntemler şeklinde olabileceği gibi sonlu farklar metodu(FDM), sonlu elemanlar metodu(FEM) ve sonlu hacim metodunun(FVM) kullanıldığı sayısal yöntemler şeklinde de olabilir. Analitik yöntemleri kapsayan çalışmalar 1930-1970 yılları arasında yoğun bir şekilde yapılmıştır. Bu yıllardan sonra sayısal yöntemlere dayanan çözümler araştırılmıştır [16].

Aşağıda bu sayısal yöntemleri kullanarak kaynak işlemindeki ısı geçişini analiz etmek için yapılan bazı çalışmalar verilmiştir.

Pavelic vd. [17], iki boyutlu bir plakadaki sıcaklık dağılımını, sonlu farklar metodunu kullanarak çizgisel ısı kaynağı için belirlemiştir. Eriyik havuzunun şekli kaynak değişkenleriyle ilişkilendirilip sabit sıcaklık sınır koşulları olarak kullanılmıştır.

Robert [18], otojen ark kaynağının bir levhada oluşturduğu geçici rejimdeki üç boyutlu ısı iletimi hesaplamaları için yeni teknik geliştirmiştir. Isı denklemi, toplam düğüm sayılarını en aza indirmek için, ark yakınındaki eşit olmayan aralıklı ağ(mesh) sıklığı, yarı ayırık verimli bir teknik kullanılarak çözülmüştür.

Friedman ve Glickstien [19], geçici ısı iletimi için, arkdan gelen ısı girişinin büyüklüğü, ısı girişinin kaynak yüzeyi üzerindeki dağılımı gibi bir dizi kaynak parametresinin etkisini araştırmak için bir FEM analizi kullanmıştır. Yapmış oldukları çalışmalarda ısı girişi, kaynak boncuk şekli ve penetrasyon derinliği parametrelerinin, kaynak analizi için optimum bilinmesi gereken değerler olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kurtz ve Segerlind [20], kaynak eklemi dayanımı için, istenen belirli bir metalurjik yapı elde edildiğinde, kaynak parametrelerini optimize etmek, için doğrusal olmayan bir sonlu eleman modeli kullanmışlardır.

Goldak, Chakravarthi ve Bibby [21], Gauss güç yoğunluğu dağılımı kaynaklı ısı kaynağı için, matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Kaynağın malzemede meydana getirdiği gerilmelerin analizi için doğrusal olmayan, geçici bir FEM ısı akışı modeli oluşturulmuştur. Kalın plakalardaki toz altı ark kaynağı için sıcaklık dağılımları elde edilmiş ve Christensen, Davies ve Gjermundsen [22]'in deneysel değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Tekriwal ve Mazumder [9], FEM yazılımı; ABAQUS kullanarak, ark kaynağı için geçici rejimde üç boyutlu ısı iletim modeli geliştirmiştir. Kaynak havuzunun ve ısıdan etkilenen bölgenin, sayısal olarak belirlenmiş büyüklüklerini, ABD Ordusu İnşaat Araştırma Laboratuvarı tarafından elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırılan sonuçların iyi bir uyum sağladığı görülmüştür.

Bonifaz [23], ark tarafından sağlanan enerjiyi ölçmek için ısı veriminin kullanıldığı 2-D, FEM tabanlı bir model oluşturmuştur. Yapısal Araştırma ve Analiz Şirketi tarafından üretilen FEM tabanlı yazılım olan COSMOS kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları, Christensen vd. [22]'nin yapmış olduğu deneysel çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Yine aynı çalışma, Kurtz ve Segerlind [20]'in ve Goldak, Chakravarthi, ve Bibby [21]'nin yapmış olduğu çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Han ve Liou [24], lazer kaynağının malzemeye olan etkilerini incelemek için matematiksel bir model geliştirmiştir.

Zohu, Tsai ve Wang [25], lazer kaynağında meydana gelen ısı transferini ve sıvı akışını araştırmak için sayısal bir çalışma yürütmüştür. Modelde, ergime ve katılaşma işlemleri sırasında katı faz, sıvı faz ve ısıdan etkilenen bölgeyi incelemek için süreklilik bağıntısı kullanılmıştır. Gizli ısıyı ifade etmek için entalpi yöntemi kullanılmıştır.

Wang, Shi ve Gong [26], lazer kaynak havuzundaki hız vektörlerini hesaplamak için simülasyonlar yapmıştır. Çalışmaları, kaldırma kuvvetlerinin etkilerini de içermektedir.

Wang vd. [27], hacimsel ısı kaynağı uygulamasını, kontrol hacmi esaslı yöntem kullanarak sayısal olarak modellemiştir. Geliştirilen model kullanılarak FLUENT programıyla kütle, momentum ve enerji denklemleri çözülmüştür.

2. ISI KAYNAKLARI VE MODELLERİ

2.1. Hareketli Isı Kaynakları

Isı üretiminin, levhaya uygulanan kaynak nedeniyle oluştuğu kabul edilmektedir ve değişik kaynak türleri için levhaya uygulanacak ısı akı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1. Bazı kaynak yöntemlerindeki ısı akısı değerleri [28]

Kaynak Yöntemi	W / mm ²
Oksi Yanıcı Gaz Kaynağı	10
Ark Kaynağı	50
Direnç Kaynağı	1000
Lazer Işın Kaynağı	9000
Elektron Işın Kaynağı	10000

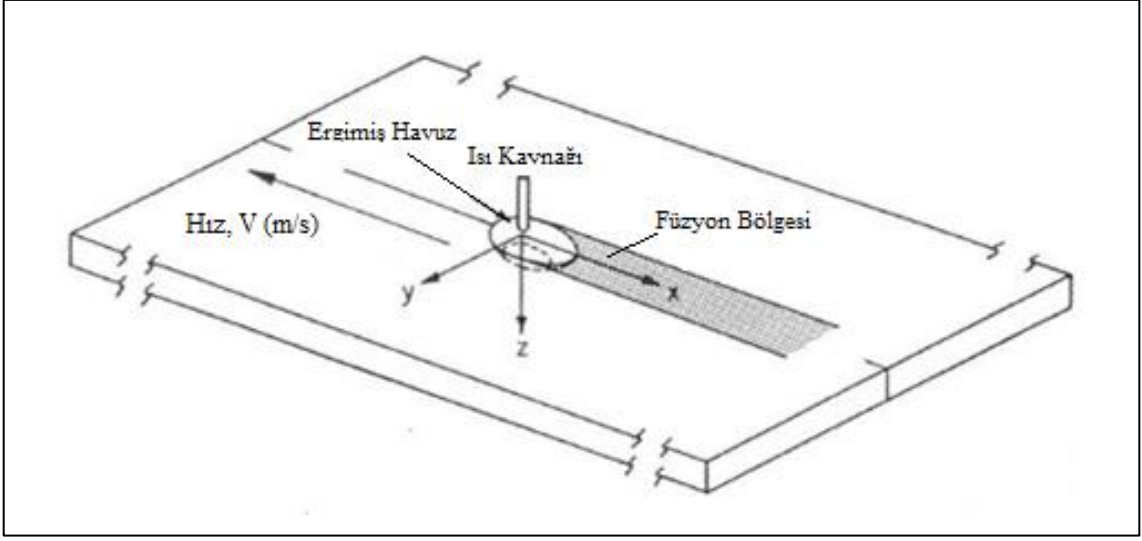
Kaynak yapılırken genellikle elektrik enerjisi kullanıldığı için, kaynak bölgesine uygulanacak enerji de gerilim ve akım şiddeti değerleriyle ifade edilmektedir.

Bir kaynağa sağlanan ısı güç aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$Q = V \cdot I \cdot \eta \quad (2.1)$$

Burada Q kaynak esnasında kullanılan ark ısısını, I kaynak akımını, V kaynak gerilimini ve η ark verimini ifade etmektedir.

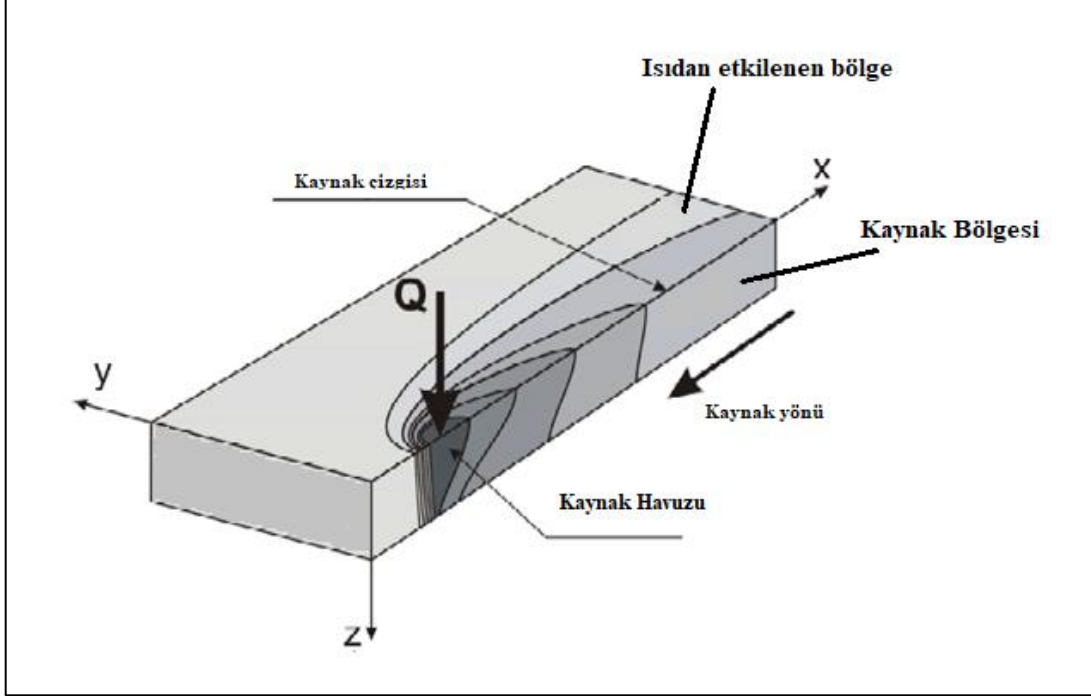
Hareketli ısı kaynağı örnekleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te görülüşü gibi bu örnekleri çoğaltmak mümkündür. Bu şekillerde gösterilen her bir hareketli ısı kaynağı farklı parametreler değerlendirilerek, farklı şekillerde modellenmektedir.



Şekil 2.1. Hareketli ısı kaynağının gösterimi

Şekil 2.1 ısı kaynağının hareketi sırasında oluşan füzyon bölgesinin tesir alanını göstermektedir. Ayrıca erimiş kaynak banyosu da Şekil 2.1’de görülmektedir.

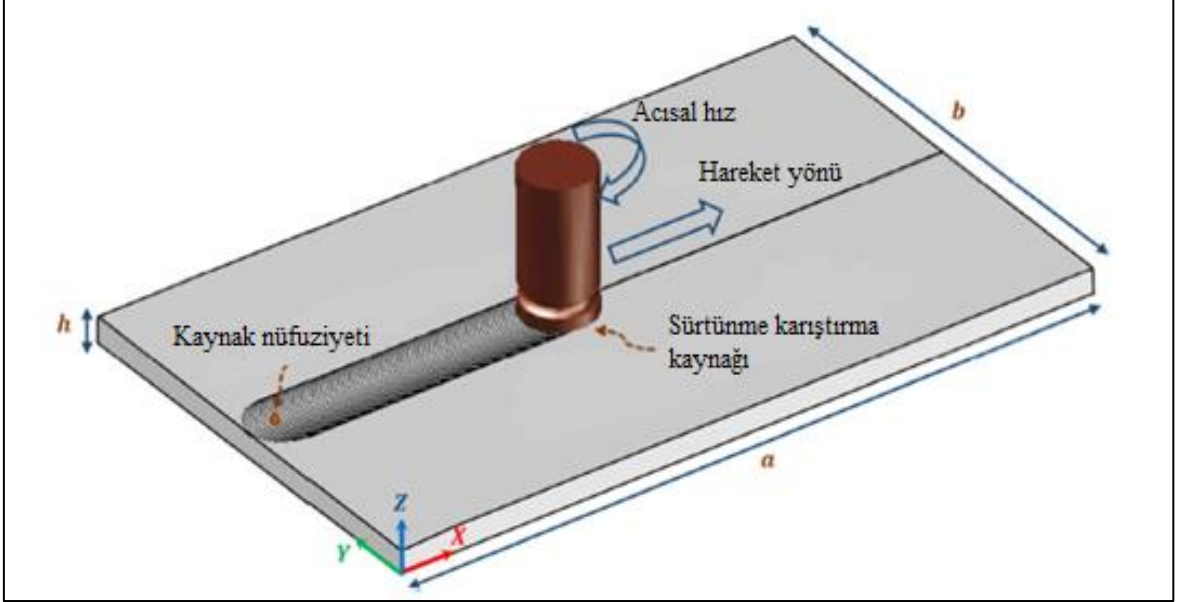
Şekil 2.2’de ise ısıdan etkilenen bölge ve kaynak havuzunun şekli verilmektedir.



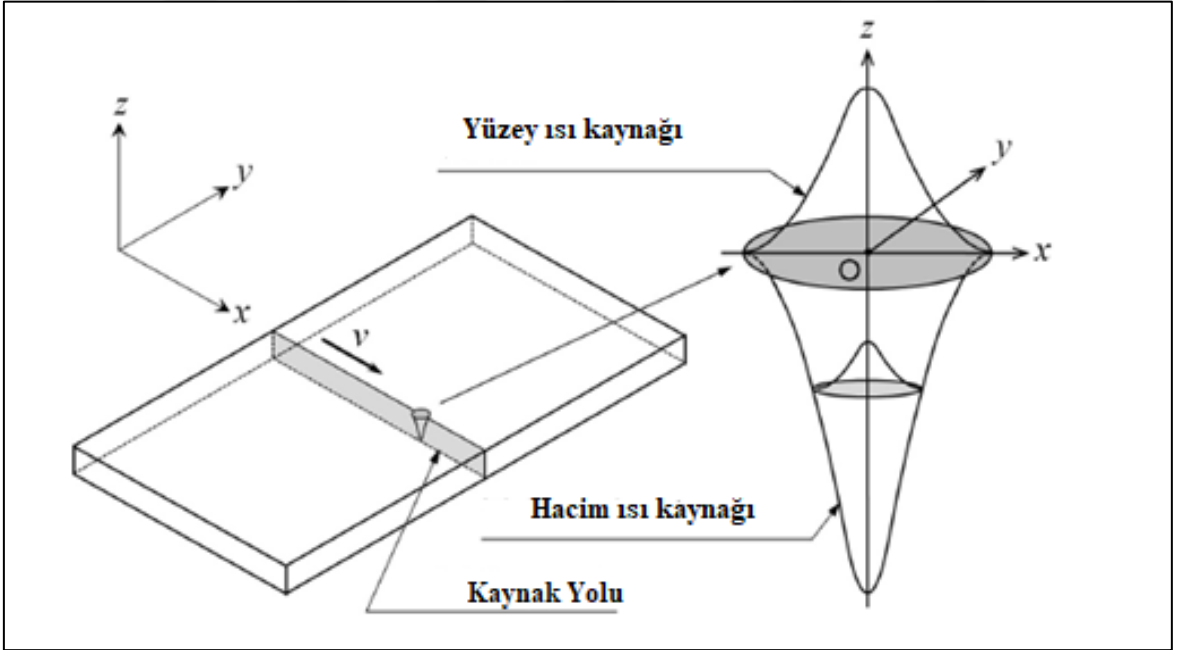
Şekil 2.2. Hareketli ısı kaynağı ve plakadaki etkisi [29]

Şekil 2.3’te sürtünme-karıştırma kaynağı gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere birbirine kaynak olacak 2 iş parçası elektrik enerjisi veya dışardan ısı girdisi sağlanarak

değil de, parça üzerinde açısal hız ile dönen parçanın, iş parçalarına sürterek açığa çıkan enerji ile birbirlerine kaynaması sağlanmaktadır.



Şekil 2.3. Sürtünme karıştırma kaynak modeli [30]



Şekil 2.4. Lazer kaynak modeli [31]

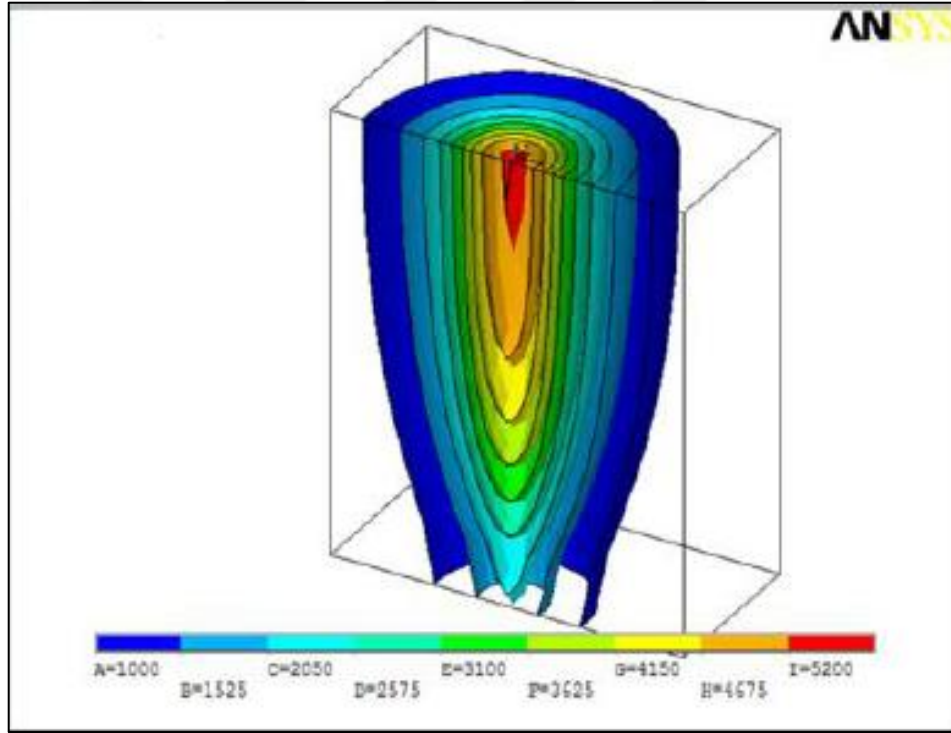
Şekil 2.4 lazer kaynak modelini temsil etmektedir. Bu modelleri çeşitlendirmek mümkündür. Bu şekilde görüldüğü gibi lazer kaynağında parça yoğun ısı akısına maruz

kaldığı için, iş parçası üzerinde derin bir nüfuziyete sahiptir. Dolayısı ile lazer kaynağında nüfuziyet derinliği önemli bir parametredir. Bu nedenle modelleme yapılırken genellikle, ısı nüfuziyet derinliği de dikkate alınarak üç boyutlu modelleme yapılır.

2.2. Isı Kaynağı Modelleri

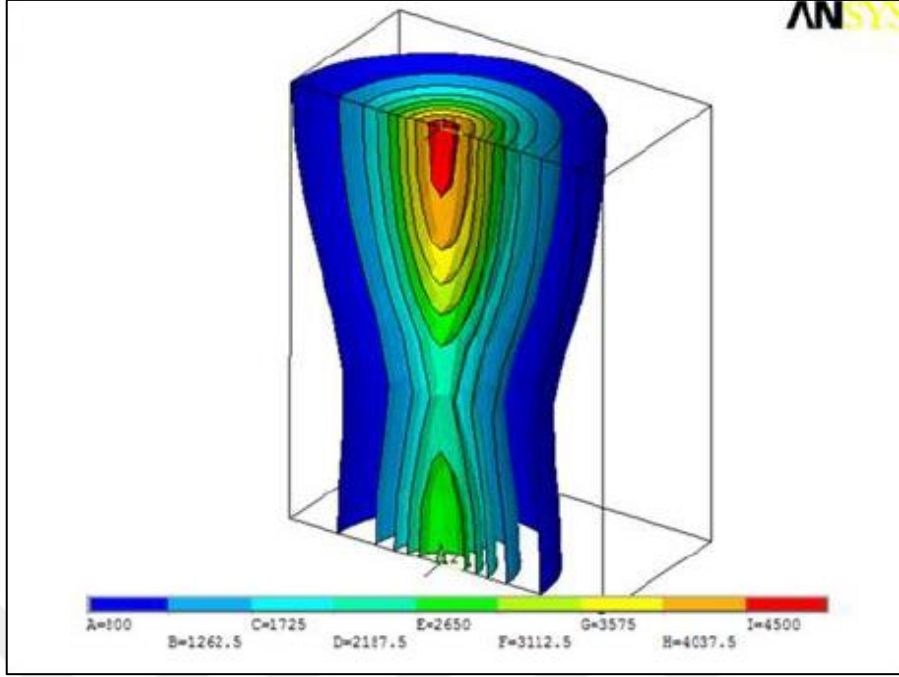
Isı kaynağında oluşturulan ark karmaşık bir yapıya sahiptir ve kaynak esnasında oluşan ısının dağılımı ve iş parçasına nüfuziyeti değişik şekillerde modellenmektedir. Isı kaynağının hareketli olup olmaması, sınır koşulları ve kullanılan modele bağlı olarak farklı sıcaklık dağılımları elde edilmektedir.

Örnek olarak, ısı kaynaklarının modellemesi sonucu elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de verilmiştir.



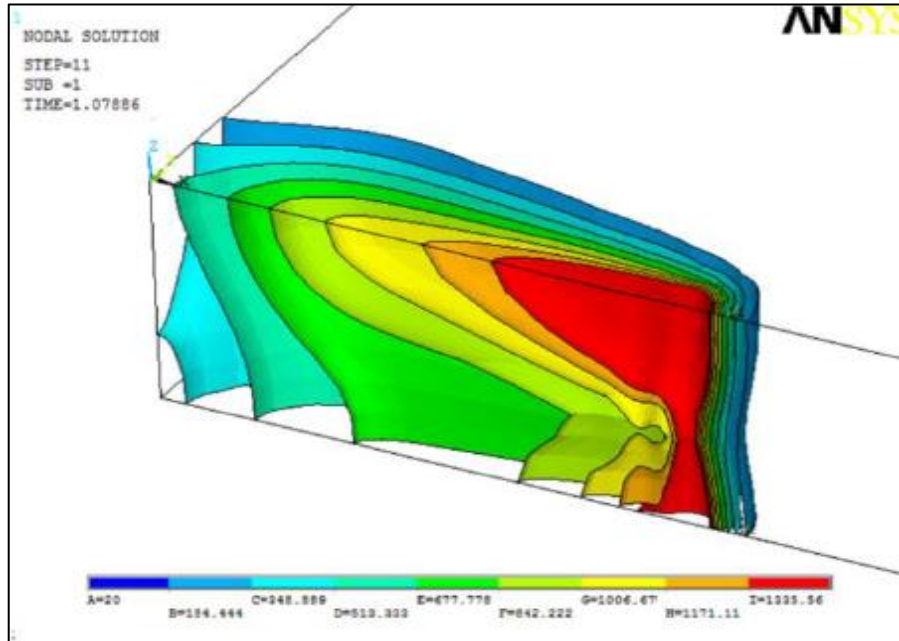
Şekil 2.5. Tek adımda üretilen enerjinin, kaynak bölgesindeki kesik koni biçimli eş sıcaklık eğrileri [32]

Şekil 2.5 incelendiğinde ısının derinlemesine nüfuz ettiği görülmektedir. Isı kaynağı hareketsiz olduğu için şekilden de anlaşılacağı üzere sıcaklık değeri 5000 °C civarlarındadır. Şeklin lazer kaynağını temsil ettiği düşünülebilir.



Şekil 2.6. Tek adımda üretilen enerjinin, kaynak bölgesindeki kum saati görünümü eş sıcaklık eğrileri [32]

Cismin üst yüzey ile alt yüzey arasındaki farklı ısı taşınım değeri nedeni ile Şekil 2.6'daki sıcaklık dağılımının oluştuğu düşünülebilir. Isı taşınım katsayılarının farklı olması şekilden de anlaşılacağı üzere eş sıcaklık eğrilerinin kum saati şeklinde oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 2.7. Hareketli ısı kaynağının oluşturduğu eş sıcaklık eğrileri [32]

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi hareketli ısı kaynağı nedeni ile önceden ısınmış olan bölgelerin neden olduğu eş sıcaklık eğrileri eliptik geometri oluşturmuştur.

Yukarıdaki şekillerden görüldüğü üzere kaynak havuzları farklı geometride oluşmuştur. Bu farklılığa sınır şartlarının farklı olması, kaynağın hareketli veya hareketsiz olması, hareketli ısı kaynağının iş parçası ile yapmış olduğu açılı vb. parametreler neden olmaktadır. Aşağıda farklı araştırmacılar tarafından oluşturulan ısı kaynağı modelleri verilmiştir.

2.2.1. Rosenthal’in Analitik Modeli

Rosenthal [33], yapmış olduğu çalışmalarında, hareketli bir kaynağın neden olduğu sıcaklık alanının modellenmesini gerçekleştirmiştir. Kaynak nedeniyle oluşan ısıyı, kaynağın kalınlığı, şekli ve ebatlarına göre noktasal, çizgisel ve alan tipi olmak üzere üç değişik şekilde sınıflandırmıştır.

Sıcaklık alanının analitik tarifinde, diferansiyel ısı iletim denkleminin çözümü yaygın olarak kullanılır [34].

$$\alpha \nabla^2 T(r, t) = \frac{\partial T(r, t)}{\partial t} - \frac{Q}{c \cdot \rho} \quad (2.2)$$

Burada, r yarıçap (m), T sıcaklık (K), t zaman (s), α ısı yayılım katsayısı ($m^2 \cdot s^{-1}$), C özgül ısı (J/kg.K), ρ yoğunluk (kg/m^3), Q_r ısı enerjisidir (J).

Sonsuz cisim için bir nokta kaynağı durumunda, denklem (2.2) aşağıdaki şeklini alır:

$$T(r, t) - T_0 = \frac{Q_r}{c \cdot \rho (4\pi \alpha t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right) \quad (2.3)$$

Burada r sıcaklığı belirlenecek noktanın kaynaktan olan uzaklığıdır.

$r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ şeklinde ifade edilir.

Yarı sonsuz cisim için:

$$T(r, t) - T_0 = \frac{2Q_r}{c \cdot \rho (4\pi \alpha t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right)$$

$$T(x, y, z, t) - T_0 = \frac{2Q_r}{c \cdot \rho (4\pi \alpha t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2}{4\alpha t}\right) \quad (2.4)$$

Burada x', y' kaynağın konumu, x, y, x ise bulunmak istenen sıcaklık değerinin konumu ifade eder.

Rosenthal'ın [3] analitik çözümü, konsantrasyon ısı kaynağına dayanmaktadır. Ancak burada sıcaklık, faz değişimi ve gizli ısı ile malzeme özelliklerinde meydana gelen değişiklikler dikkate alınmamıştır. Bu nedenle, ısı etki alanındaki sonuçlardaki sapma nispeten büyüktür. Bununla birlikte, düşük sıcaklık bölgesindeki kabul edilebilir doğruluğu ve sadeliği nedeniyle, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

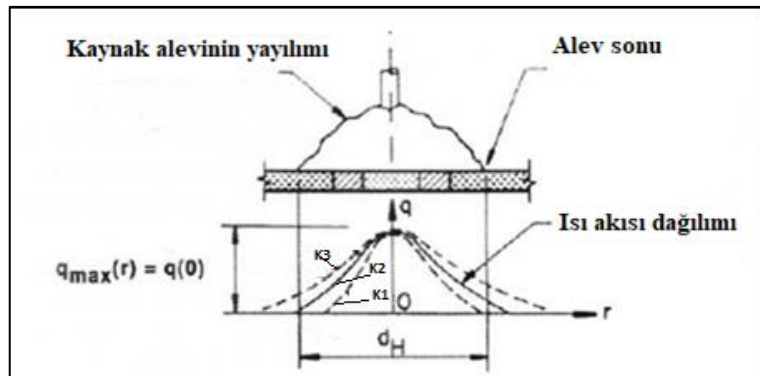
2.2.2. Yüzeysel Isı Kaynağı Modelleri

2.2.2.1. Gauss Isı Akısı Dağılımı Modeli

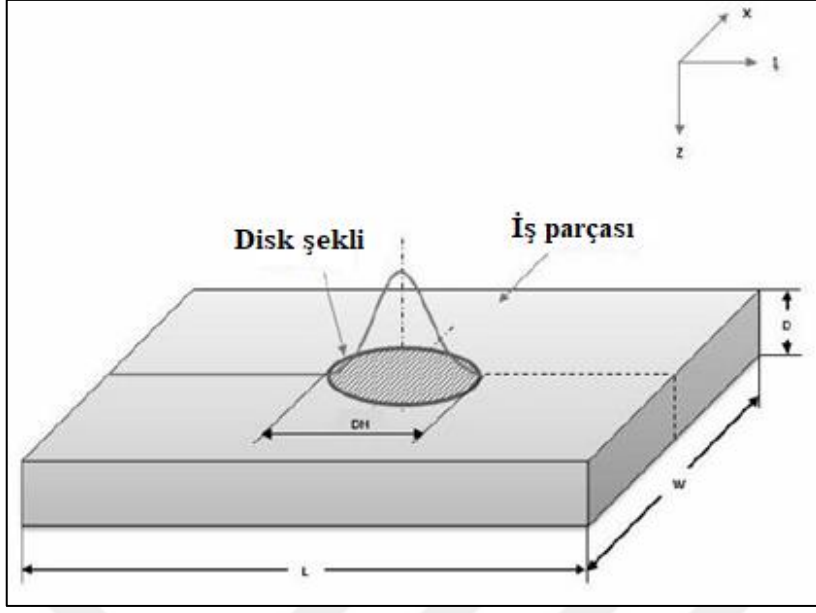
Pavelic vd. [17] önerdiği dairesel disk modelinde; düzlemdeki ısı akısı, Gauss veya normal dağılım sergilemektedir. Isı akısı, Şekil 2.9'da gösterildiği gibi Z-Z düzlemi boyunca bir Gauss dağılımına sahiptir. Bu model için matematiksel ifade aşağıdaki gibidir:

$$q''(r) = q''(0) e^{-Kr^2} \quad (2.5)$$

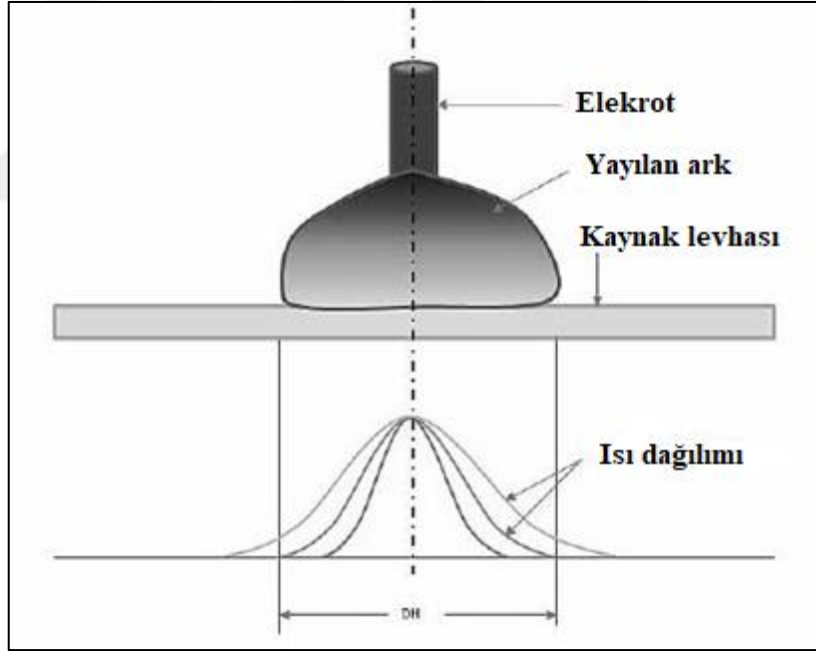
Burada, $q''(r)$ yarıçap r 'deki yüzey ısı akısı (W/m^2), $q''(0)$ ısı kaynağının merkezindeki maksimum akı (W/m^2), K dağılım genişlik katsayısı (m^{-2}), r ısı kaynağının merkezinden olan radyal mesafe (m)'dir. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi dağılım genişlik katsayısı K 'nın artması ısıya etkilediği alanı azaltmaktadır. Şekil 2.8'de dağılım genişlik katsayısı; $K_1 > K_2 > K_3$ şeklindedir. Aynı şekilde dağılım genişlik katsayısına (K) bağlı olarak akısı dağılımı Şekil 2.10'da da gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Dairesel diskli ısı kaynağı [17]



Şekil 2.9. Pavelic disk modeli [16]

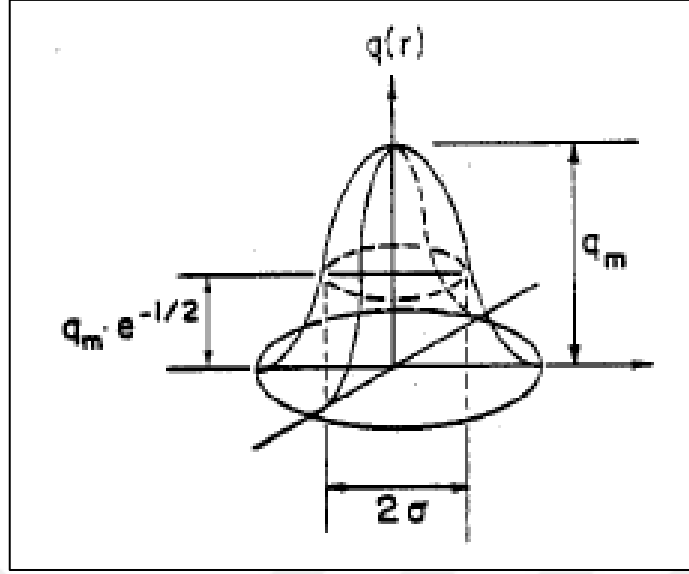


Şekil 2.10. Isı kaynağı yoğunluğunun radyal dağılımı [16]

Yine, plakalara dik ısı kaynağını dikkate alan Gauss ısı akısı dağılımı eşitlik (2.5)'den aşağıdaki şekilde tanımlanabilir [17]:

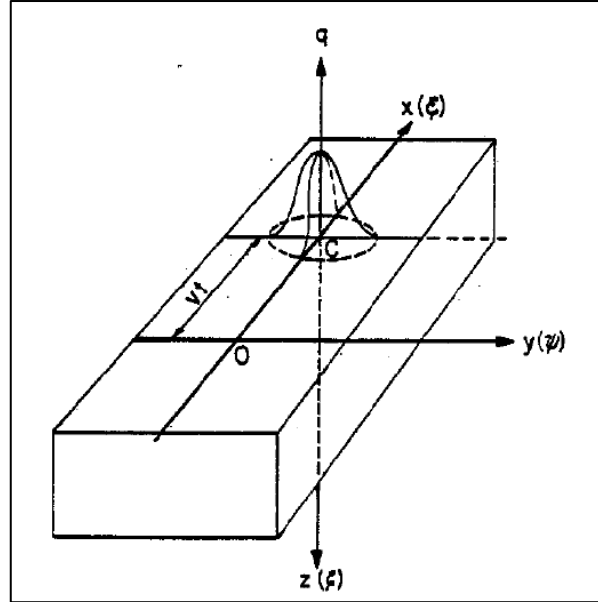
$$q''(r) = q_m'' e^{-r^2/2\sigma^2} \quad (2.6)$$

$q_m'' = \frac{q}{2\pi\sigma^2}$ yerine yazılırsa, eşitlik (2.7) oluşturulmuş olur.



Şekil 2.11. Gauss dağılımı [35]

Gauss ısı dağılımı Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Burada, görüldüğü gibi Gauss fonksiyonu standart sapmasına (σ) göre ısı dağılımı sergilenmektedir. Aynı şekilde hareketli ısı kaynağına bağlı olarak, hareket eden Gauss dağılımlı ısı kaynağı Şekil 2.12’de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Yarı sonsuz bir plakanın yüzeyinde hareket eden Gauss dağılımlı ısı kaynağı [35]

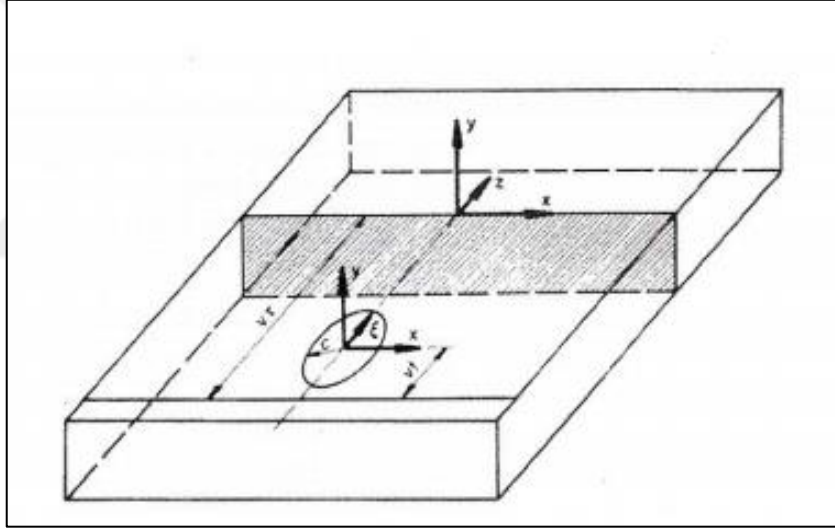
$$q''(x,y) = \frac{q}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.7)'de; $q''(x,y)$ ısı akısı fonksiyonu (W/m^2), q ısı gücü (W), σ Gauss fonksiyonunun standart sapmasıdır (m), uzunluk boyutlarına sahiptir ve arkın yarım genişliği olarak düşünülebilir.

Friedman [11] ve Krutz ve Segerland [20], Pavelic vd. [17] yapmış olduğu disk modeli için alternatif bir form önermişlerdir. Şekil 2.13'de gösterildiği gibi ısı kaynağıyla birlikte hareket eden bir koordinat sistemi kullanılmıştır.

$$q''(x, \zeta) = \frac{3Q}{\pi c^2} e^{-3x^2/c^2} e^{-3\zeta^2/c^2} \quad (2.8)$$

Burada; Q kaynak gücü (W), c ısı akısı dağılımının karakteristik yarıçapı (m), ζ kaynağın hareket ettiği yöndeki hareketli eksendir.



Şekil 2.13. Disk modelin FEM analizi için kullanılan koordinat sistemi [20]

İş parçasına sabitlenmiş bir (x, y, z) koordinat sistemi tanımlanmalıdır. Ek olarak $t = 0$ anında kaynağın konumunu tanımlamak için bir gecikme faktörü (τ) tanımlamak gereklidir. Böylece Şekil 2.13'te görüldüğü gibi sabit (x, y, z) koordinat sistemi, hareketli (x, y, ζ) koordinat sistemine dönüşmüş olur.

$$\zeta = z + v(\tau - t) \quad (2.9)$$

Burada; τ hareketli ısı kaynağı için gecikme faktörü (s), v kaynak hızı (m/s)'dir. Eşitlik (2.8)'de ζ yerine eşitlik (2.9) yazılırsa formül, eşitlik (2.10)'a dönüşür.

$$q''(x, y, t) = \frac{3Q}{\pi c^2} e^{-3x^2/c^2} e^{-3[z+v(\tau-t)]^2/c^2} \quad (2.10)$$

$$(x^2 + \zeta^2 < c^2, x^2 + \zeta^2 > c^2, q(x, \zeta, t) = 0)$$

2.2.3. Hacimsel Isı Kaynağı Modelleri

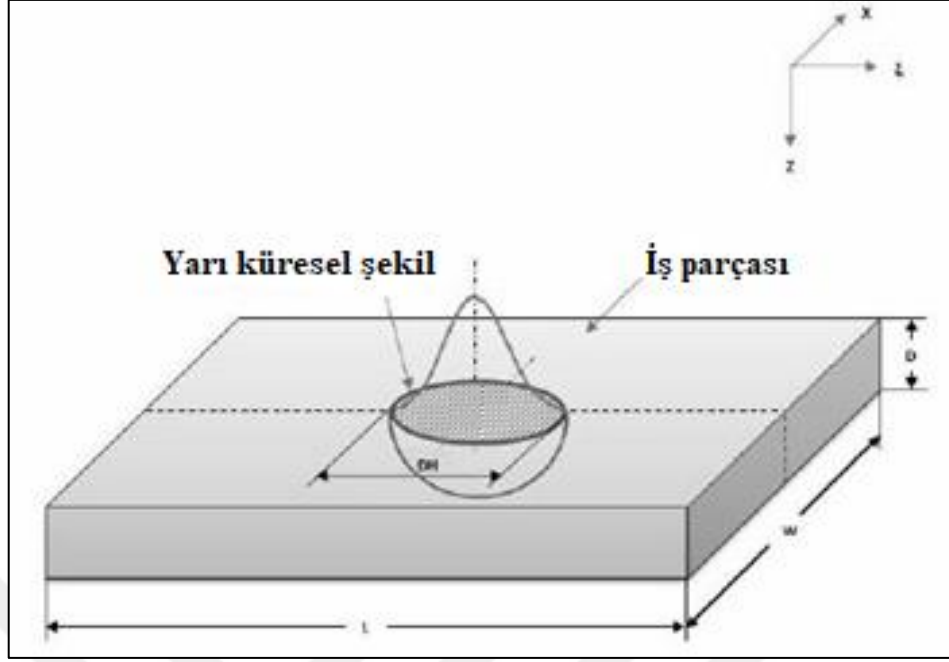
Kaynakta etkili penetrasyon derinliği küçük olduğunda, Pavelic vd. [17]'nin oluşturduğu yüzeysel ısı kaynağı modeli başarılı olmuştur. Bununla birlikte, yüksek güç yoğunluğuna sahip kaynaklar için arkın aşındırma hareketi göz ardı edilmiştir. Bu gibi durumlarda Gauss dağılımına dayanan hacimsel ısı kaynağı modelleri ortaya konmuştur. Aşağıdaki bölümde farklı hacimsel ısı kaynağı modelleri ele alınmıştır.

2.2.3.1. Yarım Küresel Güç Yoğunluğu Kaynağı Modeli

İlk hacimsel ısı kaynağı modeli yarım küresel güç yoğunluğu kaynağı modelidir. Şekil 2.14'de gösterildiği gibi, DH çapına sahip bir yarım küre içindeki ısı dağılımını dikkate alır. Bu dağılım hareketli bir koordinat sisteminde aşağıdaki gibi belirtilebilir:

$$q''(x, \zeta, z) = \frac{3Q}{\pi r_h^2} \cdot e^{-3x^2/r_h^2} \cdot e^{-3\zeta^2/r_h^2} \cdot e^{-3z^2/r_h^2} \quad (2.11)$$

Burada; r_h küre yarıçapı (m) ve Q ise kaynak gücüdür (W). Yarım küresel ısı kaynağının, bazı sınırlamaları olan bir disk modelden daha iyi bir ark modellemesi olduğu umulur. Fakat birçok kaynakta bulunan erimiş kaynak havuzu şekil olarak küresel olmaktan uzaktır. Şerit elektrotlar veya derin penetrasyon uygulamaları durumunda, küresel olarak simetrik olmadıkları için, yarım küresel bir kaynak modeli uygun değildir. Bu kısıtlamaları kaldırmak ve formülasyonu daha doğru hale getirmek için elipsoidal bir hacimsel kaynak modeli ortaya koyulmuştur.



Şekil 2.14. Isı kaynağı yoğunluğunun yarım küresel dağılımı [16]

2.2.3.2. Goldak Dağılım Modelleri

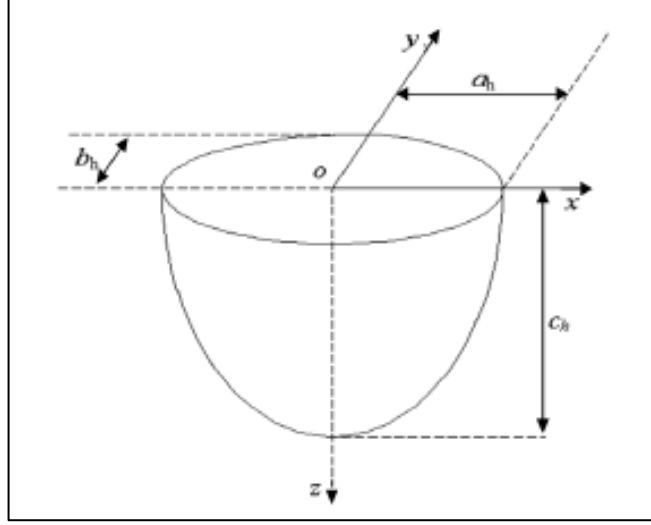
2.2.3.2.1. Yarı Elipsoidal Dağılım Modeli

Daha önceden de bahsedildiği üzere, yüksek yoğunluklu ısı kaynağında, kaynak veya ark derinliği önem kazanmaktadır. Bu durumu dikkate alarak Goldak vd. [36] başlangıçta, ısı akısının, ısı kaynağının hacmi içerisinde Gauss tarzında dağıldığı yarı elipsoidal bir ısı kaynağı modeli oluşturmuşlardır.

Şekil 2.15'de görüldüğü gibi, elipsoidin yarı eksenleri a_h , b_h , c_h ' dir. Isı akısı dağılımı eşitlik (2.12) ile verilmiştir ve ısı akısı, kaynağın merkezinde maksimum değer almaktadır.

$$\dot{q}(x, y, z) = \dot{q}_{max} \cdot \exp(-Ax^2 - BY^2 - CZ^2) \quad (2.12)$$

Burada; A , B , C ısı akısı dağılım katsayılarıdır. \dot{q}_{max} maksimum hacimsel ısı üretimidir (W/m^3).



Şekil 2.15. Yarım elipsoidal dağılım sergileyen ısı kaynağı [4]

Isı akışı, kaynak yüzeyindeki yarı elipsoidin içinde dağıldığı için, ısı akışı şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned}
 Q &= \eta IV = 4 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \dot{q}(x, y, z) dx dy dz & (2.13) \\
 &= 4\dot{q}_{max} \int_0^\infty \exp(-Ax^2) dx \int_0^\infty \exp(-By^2) dx \int_0^\infty \exp(-Cz^2) dx \\
 &= 4\dot{q}_{max} \left(\frac{1}{\sqrt{A}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{B}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{C}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \right) \\
 &= \frac{\dot{q}_{max} \pi \sqrt{\pi}}{2\sqrt{ABC}}
 \end{aligned}$$

Burada;

$$\dot{q}_{max} = \frac{2Q\sqrt{ABC}}{\pi\sqrt{\pi}} \quad (2.14)$$

Isı enerjisinin % 95'inin yarı elipsoidin içinde ürettiğini varsayımı yapılmıştır;

$$\dot{q}(a_h, 0, 0) = \dot{q}_{max} \exp(-Aa_h^2) = 0.05 \dot{q}_{max}$$

Böylece,

$$A = \frac{3}{a_h^2}, \quad B = \frac{3}{B_h^2}, \quad C = \frac{3}{c_h^2} \quad (2.15)$$

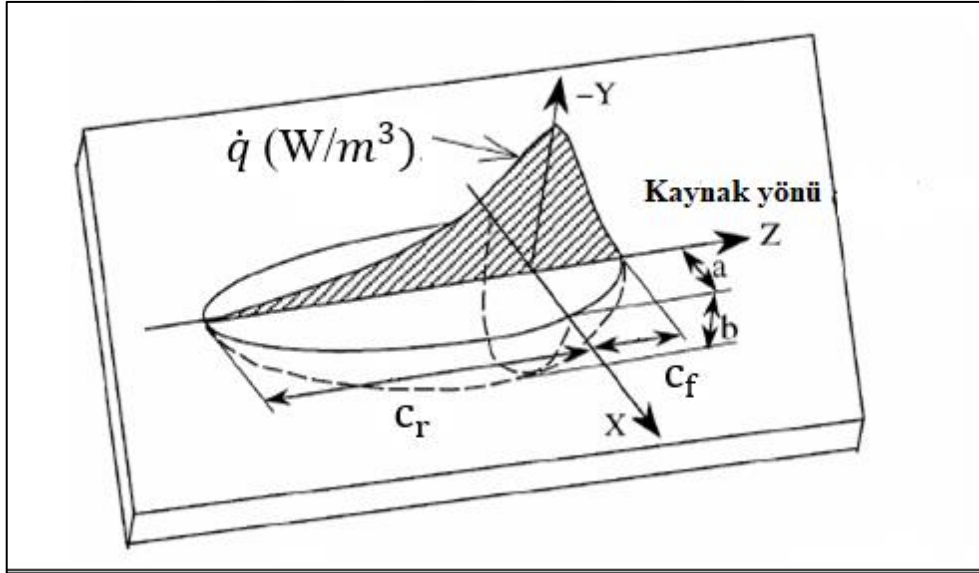
Eşitlik (2.14) ve eşitlik (2.15), eşitlik (2.12)'de yerine yazılırsa;

$$\dot{q}(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}Q}{a_h b_h c_h \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a_h^2} - \frac{3y^2}{b_h^2} - \frac{3z^2}{c_h^2}\right) \quad (2.16)$$

Yarı elipsoid dağılım sergileyen ısı akı fonksiyonu bulunmuş olur.

2.2.3.2.2. Çift Elipsoidal Dağılım Modeli

Ark kaynağı ile ilgili yapılan deneyler, arkın önünde öngörülen sıcaklık gradyanlarının deneysel olarak ölçülenlerden daha küçük ve arkın arkasında öngörülen sıcaklık gradyanlarının deneysel ölçümlerden daha büyük olduğunu göstermiştir. Bu problemi çözmek için iki yarı elipsoid birleştirilip Şekil 2.16'da gösterildiği gibi çift elipsoidal ısı kaynağı adı verilen yeni bir ısı kaynağı oluşturulmuştur.



Şekil 2.16. Çift elipsoidal dağılım sergileyen ısı kaynağı [4]

Yeni ısı kaynağını oluşturmak için iki farklı yarı elipsoid birleştirildiği için, her yarı elipsoidin içindeki ısı akışı farklı denklemlerle açıklanmaktadır.

Kaynak arkının önünde bulunan ilk yarı elipsoid içindeki bir nokta için, ısı akışı denklemini şöyle tanımlanır:

$$\dot{q}_f(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}(f_f Q)}{abc_f \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2} - \frac{3y^2}{b^2} - \frac{3z^2}{c_f^2}\right), x \geq 0 \quad (2.17)$$

Isı girişi şuna eşittir:

$$2 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty q_f(x, y, z) dx dy dz = \frac{1}{2}(f_f Q) \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{6\sqrt{3} f_f Q}{abc_f \pi \sqrt{\pi}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2}\right) dx \int_0^\infty \exp\left(-\frac{3y^2}{b^2}\right) dy \int_0^\infty \exp\left(-\frac{3z^2}{c_f^2}\right) dz \\ &= \frac{6\sqrt{3} f_f Q}{abc_f \pi \sqrt{\pi}} \frac{a}{\sqrt{3}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{b}{\sqrt{3}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{c_f}{\sqrt{3}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} = \frac{1}{2}(f_f Q) \end{aligned} \quad (2.19)$$

İkinci yarı elipsoidin içindeki (x, y, z) noktalar için, arkın arka kısmını kapsayan, ısı akısı denklemi şöyle tanımlanır;

$$q_r(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}(f_r Q)}{abc_r \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2} - \frac{3y^2}{b^2} - \frac{3z^2}{c_r^2}\right), \quad x < 0 \quad (2.20)$$

Burada f_r arka kısımdaki ısı giriş oranı ve f_f ön kısımdaki ısı giriş oranıdır. Bu parametreler kaynak tarafından üretilen toplam ısının ne oranda ön ve arka elipsoidlere gittiğini belirtir.

Ayrıca,

$$\begin{aligned} 2 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty q_r(x, y, z) dx dy dz &= \frac{1}{2}(f_r Q) \\ \eta IU = Q &= \frac{1}{2}(f_f Q) + \frac{1}{2}(f_r Q) = \frac{1}{2}Q(f_f + f_r) \\ f_f + f_r &= 2 \end{aligned} \quad (2.21)$$

Eşitlik (2.17) ve eşitlik (2.20)'deki fonksiyonlar kullanılarak, çift elipsoid ısı akısı dağılımı oluşturularak analiz gerçekleştirilir. Eşitliklerden de görüldüğü üzere birden fazla parametrenin veya fonksiyon sabitlerinin, önceden bilinmesi gerekmektedir.

2.3. Isı Dağılım Parametreleri

Model oluşturulurken ısı akısının uygulamasının yapılabilmesi için gereken parametrelerin listesi Tablo 2.2'de verilmiştir. Yapılacak olan analiz tipine göre bu

parametrelerin baştan bilinmesi gerekmektedir. Tablo 2.2’de görüldüğü üzere Gauss profili kullanılarak yapılan çalışmalar da bir parametrenin bilinmesi analiz için yeterli olmaktadır.

Tablo 2.2. Isı dağılım profili için parametre sayıları

Isı Dağılım Profili	Parametre Sayısı	Gerekli Parametre
Gauss Profili	1	<ul style="list-style-type: none"> • Yarıçap
Silindirik ve 3 Boyutlu Gauss Profili	2	<ul style="list-style-type: none"> • Yarıçap • Nüfuziyet Derinliği
İç Isı Kaynağı	2	<ul style="list-style-type: none"> • Yarıçap • Emilim Katsayısı
Açısal Hıza Sahip Gauss Profili	3	<ul style="list-style-type: none"> • Yarıçap, • Nüfuziyet Derinliği • Döner Kaynağın İş Parçası İçindeki Yarıçapı
Çift Elipsoid Model	4+	<ul style="list-style-type: none"> • c_f, c_r, a, b

3. ÇALIŞILAN PROBLEM VE SAYISAL YÖNTEM

3.1. Çalışılan Problemin Tanıtımı

Çalışmada hareketli ısı kaynağına bağlı olarak bir levhada meydana gelen sıcaklık dağılımı sayısal olarak incelenmiştir. Kalınlığı diğer boyutlarıyla kıyaslandığında çok küçük olan kare şeklindeki bir levha ele alınmıştır. Levha geometrisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. İçerisinde ısı üretimi olmayan, bunun yerine üst yüzeyinde hareketli bir ısı kaynağı olan levha için ısı yayılım denklemi, başlangıç koşulu ve sınır koşulları aşağıda verilmiştir.

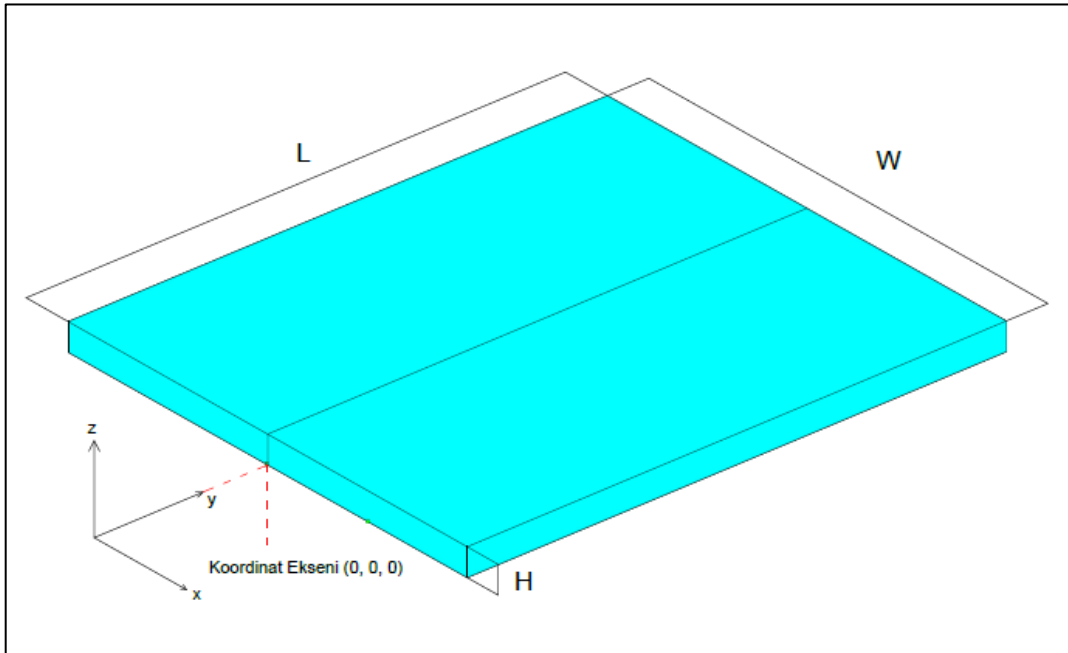
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.1)$$

Başlangıç koşulu: $t=0$ 'da $-W/2 \leq x \leq W/2$, $0 \leq y \leq L$ ve $0 \leq z \leq H$ için, $T(x,y,z,0)=30^\circ\text{C}$

Sınır koşulları: Tüm yüzeyler için: $-k \frac{\partial T}{\partial x} = h(T - T_\infty) + \varepsilon \sigma (T^4 - T_\infty^4)$

$t > 0$ için ve $(0, vt, H)$ da $-k \frac{\partial T}{\partial x} = q''$

Burada v kaynağın ilerleme hızını ve t ise zamanı göstermektedir.



Şekil 3.1 Levha geometrisi

3.2. Sayısal Yöntem

Yüksek hızlı bilgisayarların ortaya çıkmasıyla sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sonlu hacim yöntemleri gibi teknikler kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çözümler önem kazanmaya başlamıştır. Problem için geçerli olan denklemler başlangıç ve sınır koşullarında çözülürler. Düzensiz geometrilere analitik yöntemlerden ziyade, sayısal yöntemler kullanılır. Bu çalışmada incelenen geçici rejimdeki ısı iletimi probleminin çözümünde ANSYS programı kullanılmıştır.

3.2.1. ANSYS'e Giriş

ANSYS, bilgisayar destekli olarak mühendislik çalışmalarında analiz ve modellemelerin yapılabildiği bir bilgisayar destekli mühendislik programıdır. Mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi farklı disiplinlerde çalışmalara olanak verir.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok kullanılan CAE (bilgisayar destekli mühendislik) programlarının başında gelen ANSYS programı sonlu elemanlar yöntemini kullanmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile tek parça halinde analizi çok zor olan karmaşık geometrideki cisimlerin küçük ve çok sayıda parçalara bölünerek ayrı ayrı analizi gerçekleştirilir. Sonlu sayıdaki elemanın analizi sonucu elde edilen sonuçlar birleştirilerek tek ve tutarlı bir analiz sonucu elde edilir.

3.2.2. Kullanılan Yöntemin Doğrulanması

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğunu göstermek için Deshpande vd. [37] tarafından yapılan benzer çalışma esas alınmıştır ve aynı parametreler için sonuçlar elde edilmiştir.

Nottingham, üniversitesinde yapılan bu çalışmada SYWELD ve ABAQUS programı kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

ANSYS programı kullanılarak yapılan çalışmada, ısı akısı dağılımı için değişik matematiksel modeller kullanılabilir. Bu yüzden model tanımlanabilmesi için ANSYS programının APDL ara yüzü kullanılacaktır. Günümüzde ANSYS Workbench ara yüzü sık

kullanılsa da, klasik ANSYS olarak bilinen, ANSYS APDL özellikle zaman bağımlı termal analizlerde sıkça tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, iki boyutlu Gauss ısı dağılım modeli kullanılmıştır. Kullanılan model daha önce eşitlik (2.6)'da verilmiştir. Pavelic vd. [17] geliştirdiği bu eşitlik aşağıda tekrardan ifade edilmiştir:

$$q''(r) = q_m'' e^{-r^2/2\sigma^2}$$

$q_m'' = \frac{q}{2\pi\sigma^2}$ yerine yazılırsa, eşitlik (2.7) oluşmuş olur. Aşağıda tekrardan verilirse:

$$q''(x, y) = \frac{q}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

Burada; q'' ısı akısı (W/m^2), σ gauss fonksiyonunun standart sapmasıdır. σ uzunluk boyutlarına sahiptir ve arın yarı genişliği olarak düşünülebilir.

Burada dikkat edilmesi gereken konu karşılaştırma yapılan çalışmada [37] ısı akısı için bağıntı şu şekilde verilmiştir:

$$q''(x, y) = q_m'' e^{-(x^2+y^2)/R^2} \quad (3.2)$$

Eşitlik (2.7)'de standart sapma “ σ ” parametresi kullanılmış. Bu çalışmada kullanılan formülde “ R “ yani yarıçap parametresi vardır. Eşitlik (3.2)'yi, eşitlik (2.7)'ye dönüştürmek için ;

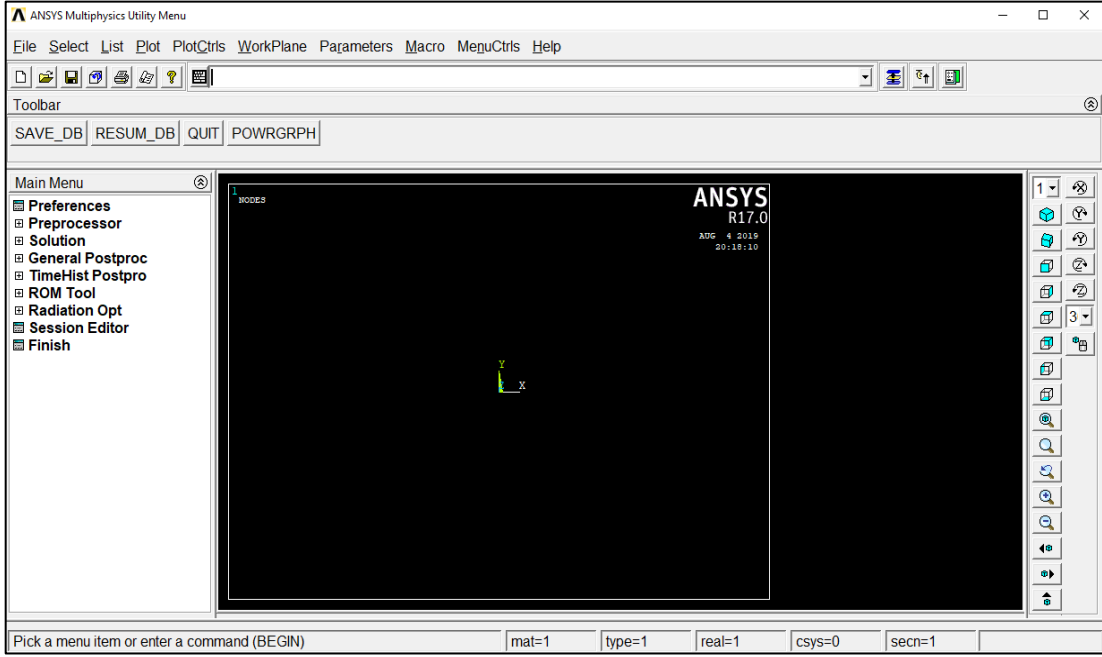
$$2\sigma^2 = R^2$$

dönüşümü yapılmalıdır. Böylece bu çalışmada kullanılan fonksiyon önceden yapılan çalışmalarda türetilen fonksiyona benzer duruma gelir. Aslında fonksiyon olarak bir farklılığı yoktur. Daha önceden de belirtildiği üzere, ısı akısının etkidiği yüzeydeki alanı bulmak için eşitlik (2.7)'de Gauss dağılımında kullanılan standart sapma parametresi kullanılmış, eşitlik (3.2)'de ise ısı akısının iş parçası üzerinde tesir ettiği bölgenin yarı çapı bilindiği için, eşitlik (3.2)'de verilen parametre yarıçap (R) olmuştur.

3.3. Modelin Oluşturulması

3.3.1. ANSYS Programının Açılıp Analiz ve Eleman Tipinin Seçilmesi

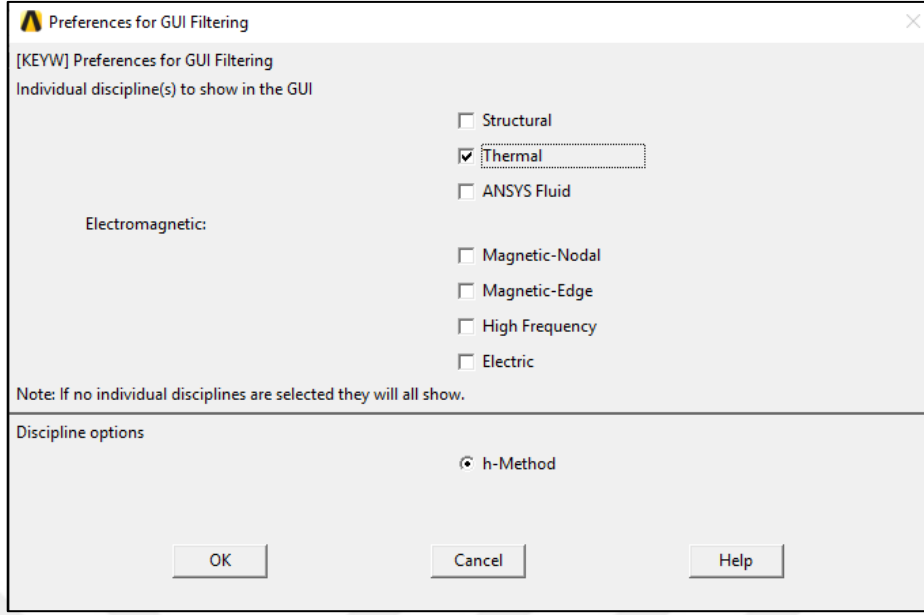
ANSYS programında analiz gerçekleştirilebilmesi için ANSYS'in arayüzü olan APDL uygulamasının çalıştırılması gerekmektedir. ANSYS APDL uygulaması ilk çalıştırıldığı zaman Şekil 3.2'de gösterilen sayfa belirmektedir.



Şekil 3.2. ANSYS APDL uygulamasındaki menülerin gösterimi

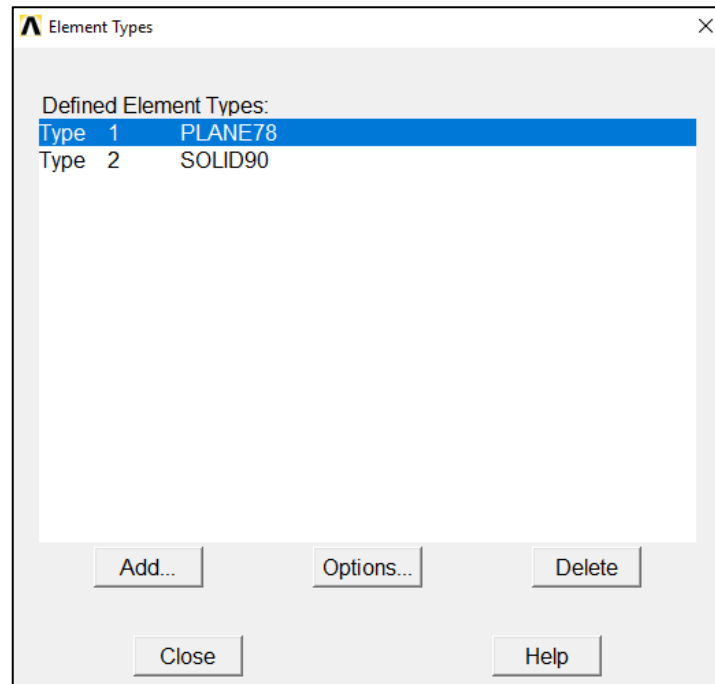
Yukarıda gösterilen şekilde ANSYS APDL uygulaması çalıştırıldığında Şekil 3.2'den görülebileceği gibi sol tarafta bulunan menüler çıkmaktadır. Burada “Main Menu” kısmında bulunan “Preferences” menüsüne girildiğinde ANSYS uygulamasının sahip olduğu mevcut analiz çözümleri bulunmaktadır. Bu menü açıldığı zaman Şekil 3.3'te görülen menü elde edilmektedir. Bu kısımda yapısal, termal, akış, elektromanyetik vb. analiz menüsü görülmektedir. Hangi tür analiz yapılacaksa bu menüden seçim yapılmalıdır. Bu tezde yapılacak analiz ısı analiz olduğu için “Thermal Analiz” seçilmiştir.

Ayrıca yapılacak analize isim verilmesi gerekmektedir. Bunun için ANSYS APDL ara yüzünde bulunan “File” menüsünden, “Change Jopname” sekmesine tıklanarak analize isim verilir. Yapılacak bu analizin ismi “analiz1” olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.3. ANSYS preferences menüsünden termal analizin seçilmesi

Termal analiz seçildikten sonra Şekil 3.4'te görüleceği üzere modelde kullanılacak eleman tipi veya tiplerinin seçilmesi gerekmektedir. “Preprocessor” menüsüne girildiği zaman, “Element Type” sekmesine tıklanarak, modelde kullanılacak elemanların tipi seçilmelidir. Bu çalışmada modelin yüzeyinde kullanılacak eleman tipi, PLANE 78 ve hacminde kullanılacak eleman tipi ise, SOLID 90’dır.



Şekil 3.4. ANSYS eleman tipinin seçilmesi

3.3.2. İş Parçasının Seçimi ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi

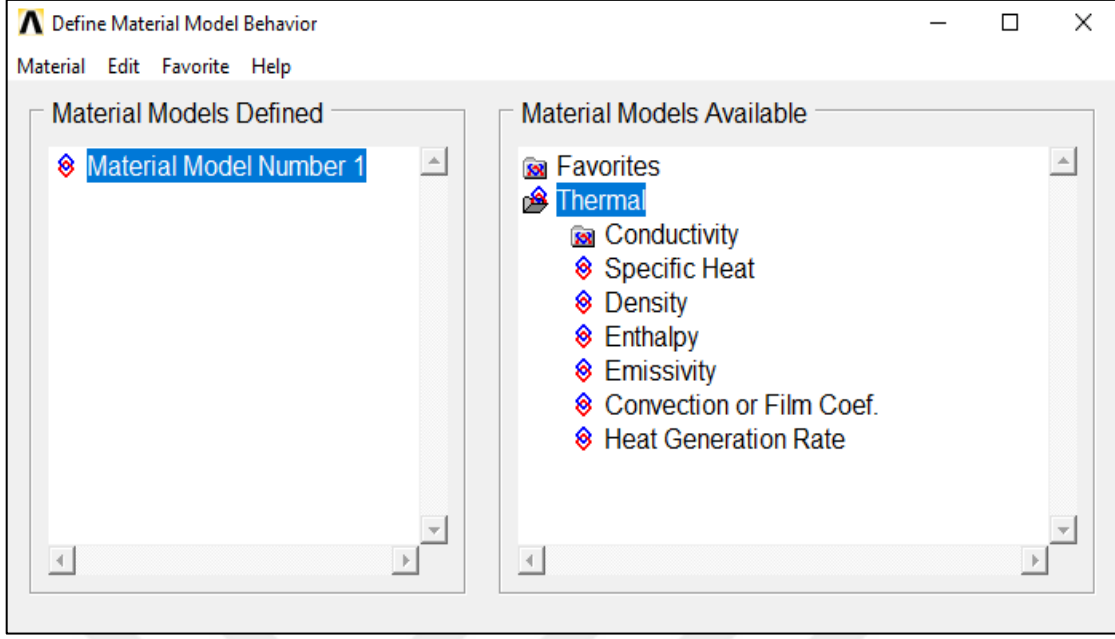
Isı iletimi problemlerinin analizinde çözümü kolaylaştırmak için malzeme özelliklerinin sıcaklıkla değişmediği kabul edilmektedir. Gerçekte malzemenin termal ve fiziksel özellikleri sıcaklıkla değişmektedir. Bu çalışmada da analizi gerçekleştirilecek olan levhanın ısı özelliklerinin sıcaklıkla değiştiği dikkate alınmıştır. Sıcaklık dağılımının incelendiği malzeme olarak “Inconel 718” seçilmiştir. Yoğunluğu 7980 kg/m^3 olarak sabit alınan bu malzemenin ısı ve mekanik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Inconel 718 malzemesinin ısı ve mekanik özellikleri [38]

Kimyasal Bileşimi (%)

Ni	Co	Cr	Mo	Fe	Si	Mn	C	Al	Ti	Cu	P	B	S	Nb+Tb
52,5	1	19	3,05	17	0,35	0,35	0,08	0,6	0,9	0,3	0,015	0,006	0,015	5,125
Sıcaklık (°C)	Isıl İletkenlik W/(m°C)	Özgül Isı (J/kg°C)	Elastik Modülü (GPa)	Isıl Genleşme Katsayısı (°C ⁻¹) x 10 ⁻⁶	Akma Gerilmesi (MPa)									
0	10	400	200	12,5	300									
100	13	420	200	13	300									
200	15	440	200	13,5	300									
300	17	460	200	14	300									
400	18	480	200	14,5	300									
500	19	490	200	15	295									
600	21	510	195	15,5	290									
700	23	550	190	16	275									
800	24	600	175	16,5	250									
900	25	610	125	17	175									
1000	26	620	110	17,5	95									
1100	28	625	100	18	50									
1200	30	625	90	18,2	35									
1300	30,5	625	90	17,5	30									
1400	30,7	625	90	16	30									
1500	31	625	90	14,5	30									

Tablo 3.1’de sıcaklığa bağlı olarak verilen özelliklerin programa girilmesi için, “Preprocessor” başlığı altındaki “Material Props” sekmesinin altında bulunan, “Material Models” sekmesi açılmalıdır ve Şekil 3.5’te gösterilen menüye, sıcaklıkla değişen malzeme özellikleri girilmelidir.

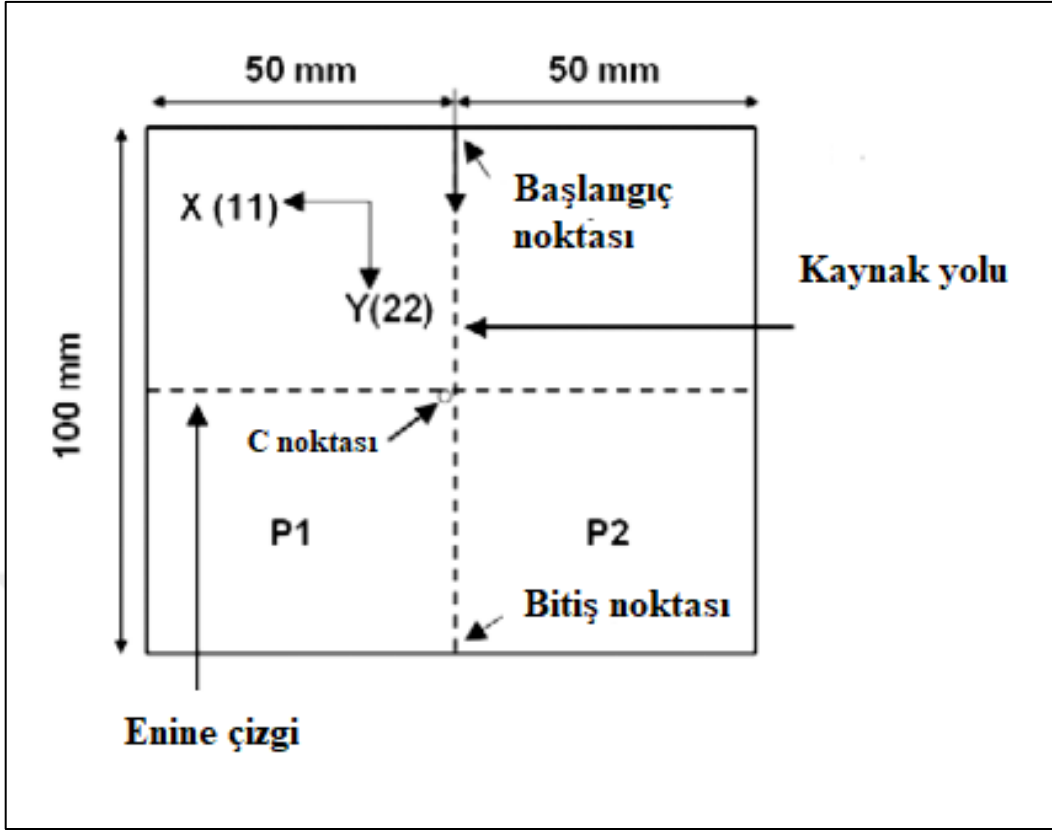


Şekil 3.5. Malzeme özelliklerinin programa girilmesi

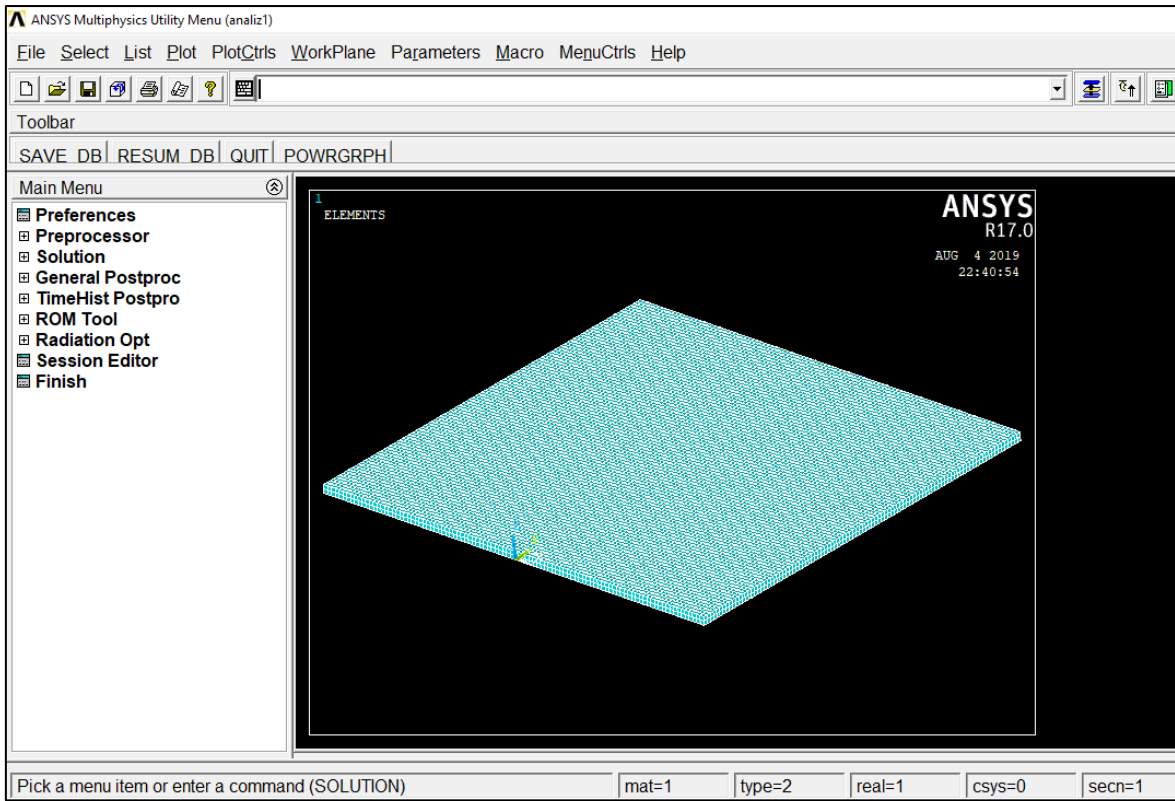
Bu çalışmada ısı analiz yapılacağı için malzemeye sadece ısı özellikler tanımlanmıştır. Gerilim analizlerinde; çekme gerilmesi, akma gerilmesi, poisson oranı vb. mekanik özelliklerin yanı sıra farklı analizler için, diğer malzeme özellikleri girilerek istenilen özellikte malzeme oluşturulabilir.

3.3.3. Geometri ve Ağ (Mesh) Oluşturulması

ANSYS APDL ara yüzünde “Preprocessor” başlığı altındaki “Modeling” sekmesinden, analizi gerçekleştirilecek parçanın uzunluk, genişlik ve yüksekliği tanımlanarak geometri oluşturulmalıdır. Yapılacak bu analizde parçanın ölçüleri, 100 x 100 x 2 mm olarak alınmıştır ve oluşturulacak parçanın ölçüleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Geometrinin programda oluşturulmuş hali ise, Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Oluşturulacak model geometrisinin ölçüleri [37]



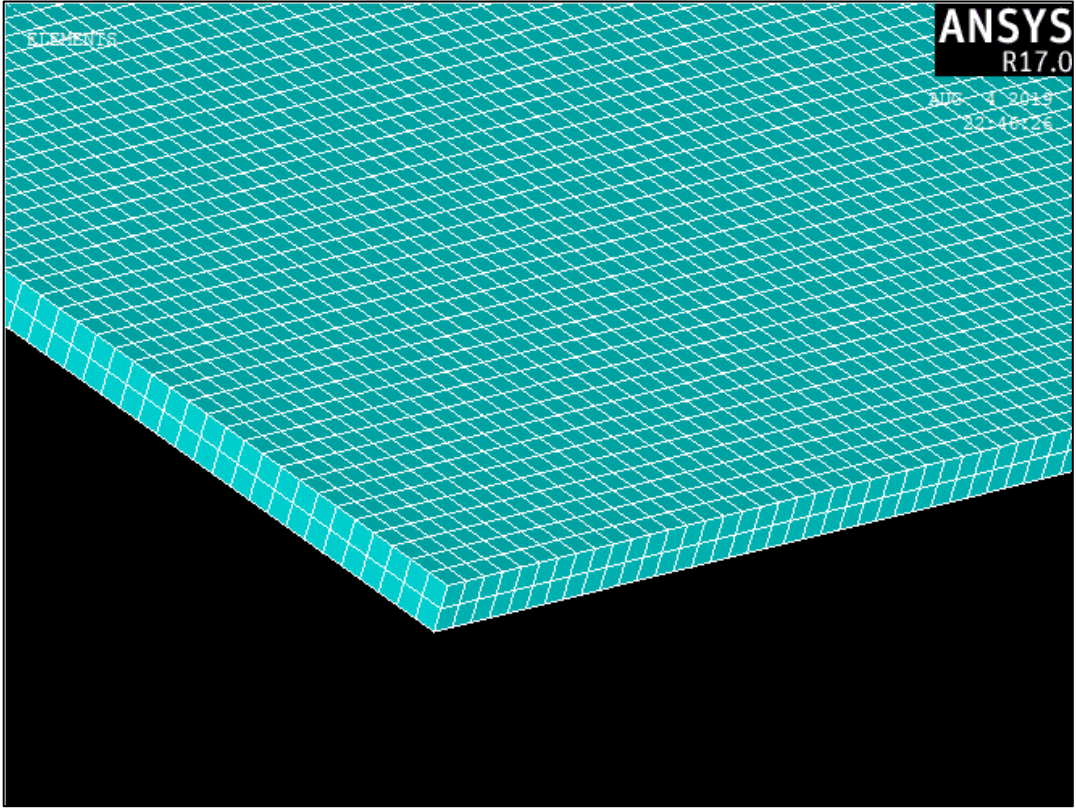
Şekil 3.7. ANSYS programında geometrinin oluşturulması

Geometri oluşturulduktan sonra, oluşturulan geometri ağlara(mesh) bölünmelidir. Ağlara bölme, fiziksel bir tanım aralığını daha küçük tanım aralıklarına (elemanlara) bölme işlemi olarak tanımlanabilir.

İş parçasında oluşturulan ağın detaylı görünümü Şekil 3.8’de verilmektedir. Burada ağ boyutu ve çeşidi istenilen şekillerde ayarlanabilir. Analiz edilecek parça düz olduğu için eşit aralıklı ağlara bölünmüştür.

Ağ boyutunu küçültmek, daha hassas sonuçların elde edilmesini sağlar fakat analiz süresini uzatması ve analiz yapılan bilgisayarın sistem özelliklerinin daha fazla işlem gücüne sahip olmasını gerektirdiğinden, optimum ağ kalitesi oluşturulmalıdır.

Oluşturulan geometri 1 mm genişliğinde ağlara bölünmüştür ve parça ince olduğu için yükseklik 2 parçaya bölünmüştür.



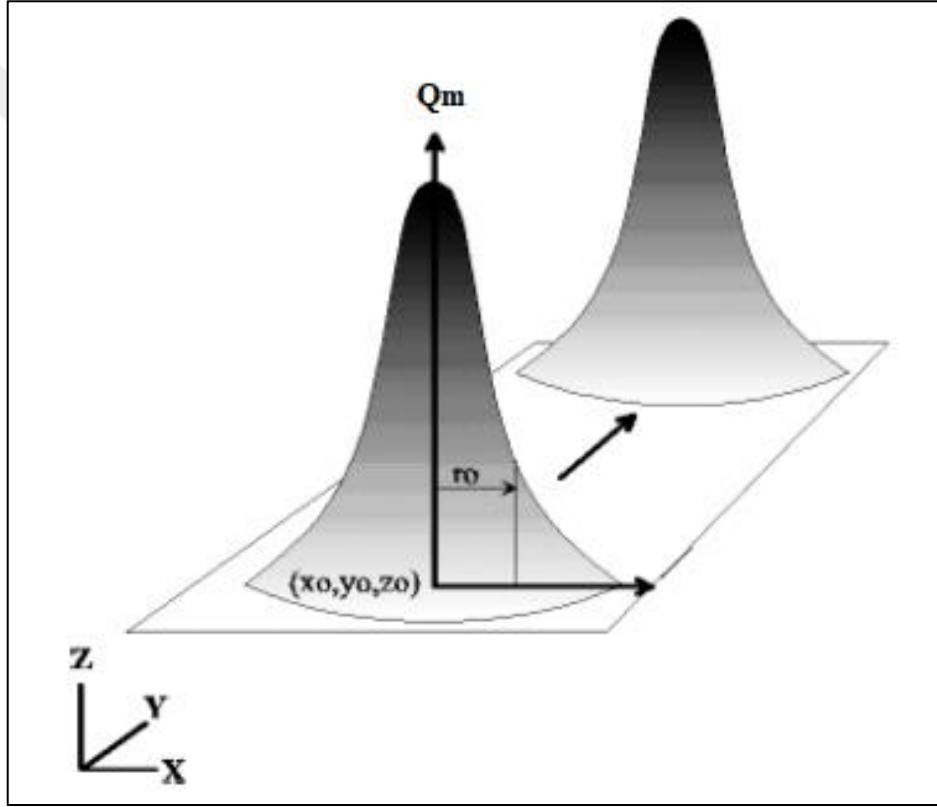
Şekil 3.8. Ağ (mesh) detayı

3.3.4. Model Parametreleri ve Fonksiyonun Oluşturulması

Yapılan analizde iki boyutlu Gauss yüzey dağılım fonksiyonu kullanılarak, ısı dağılımı fonksiyonu tanımlanmıştır ve kullanılan parametreler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Hareketli ısı kaynağı modelinde kullanılan parametreler [37]

Parametreler	Değer
Gerçek Güç $Q = \eta \cdot V \cdot I$	350 (W)
q''_m (Maksimum Isı Akısı)	6.963 (W/mm^2)
R (Yarıçap)	4 (mm)
Isı Kaynağı Açısı (Kaynak Çubuğu İçin)	0 °
v : Isı Kaynak Hızı	1.59 (mm/s)



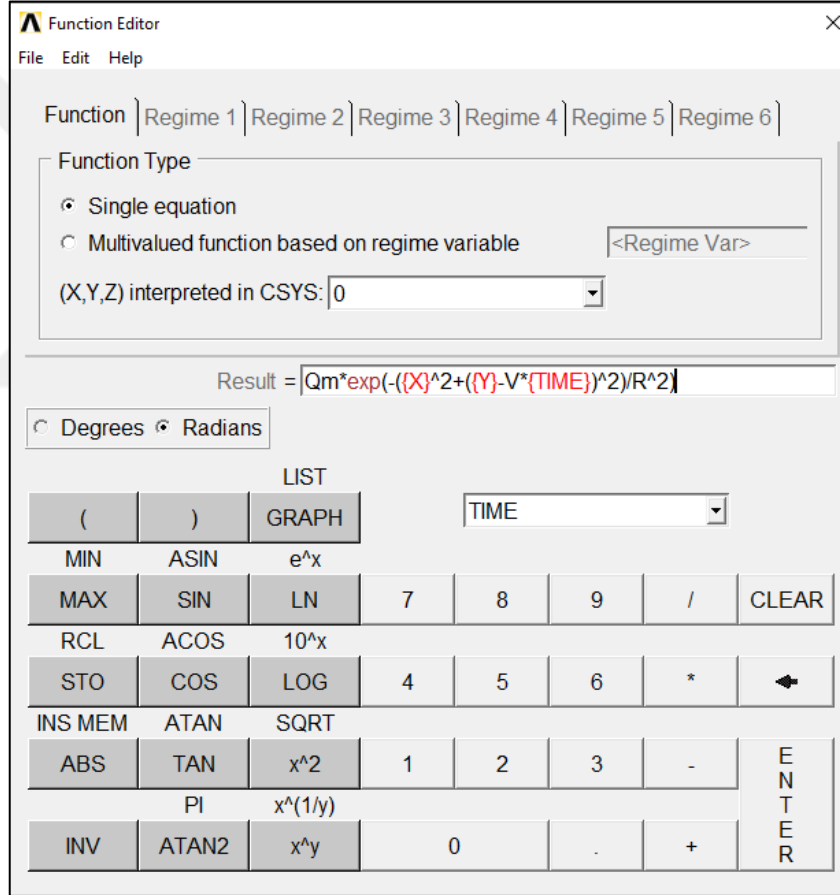
Şekil 3.9. İki boyutlu Gauss ısı kaynağının şematik görünümü [37]

Şekil 3.9'da hareketli ısı kaynağından kaynaklanan ısı dağılımı gösterilmektedir. Şekil 3.9'dan anlaşılacağı üzere, ısıнын Gauss dağılımı sergilendiği varsayılarak model oluşturulmuştur. Bu modelde ısı akısı için dağılım, eşitlik (3.2) ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$q''(x, y) = q''_m \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{R^2}\right)$$

Eşitlik (3.2) ile verilen ifade ANSYS programına tanımlanmalıdır. Bu yüzden ilk olarak, ANSYS APDL ara yüzünün üst menüsünde bulunan *Parameters* sekmesine girilip, *Functions* tıklandıktan sonra, *Define/Edit* bölümü seçilip fonksiyon sayfası açılır. Daha sonra fonksiyon tanımlandıktan sonra kaydedilir. Böylece hareketli ısı kaynağı için ısı dağılım fonksiyonunu tanımlanmış olur. Şekil 3.10’da fonksiyon tanımlama ekranı gösterilmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus, kaynak “y” eksenini yönünde hareket ettiği için ve zaman bağımlı analiz yapıldığı için, eşitlik (3.2)’de bulunan y^2 ifadesi, $(y - vt)^2$ şeklinde tanımlanmalıdır. Burada v hız, t ise zamandır.



Şekil 3.10. Isı dağılımı için fonksiyonun tanımlanması

Şekil 3.10’da oluşturulan fonksiyon görülmektedir. Oluşturulan bu fonksiyon kaydedildikten sonra, oluşturulan modele uygulanması için açılır. Açıldığı zaman Şekil 3.11’de belirtilen ekran çıkmaktadır. Fonksiyonda belirtilen sabit değerler ve oluşturulan fonksiyon adı buraya girilmelidir.

Function Loader

Comments

Table parameter name
GAUSS

Local coordinate system id for (x, y, x) interpretation
0

Function

Equation
Result = Qm*exp(-((X)^2+{(Y)-V*(TIME))^2)/R^2)

Constant Values

Qm	Qm
V	V
R	R

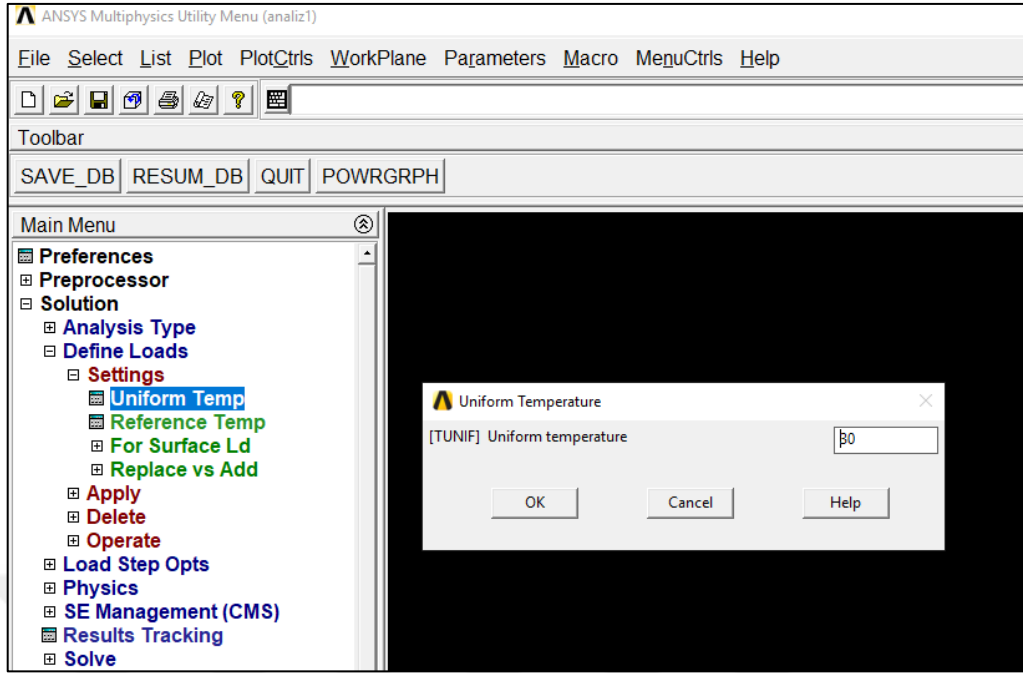
OK Cancel Help

Şekil 3.11. Fonksiyonda tanımlı sabit değerlerin girilmesi

3.3.5. Sınır Şartlarının Girilmesi

3.3.5.1. Başlangıç Sıcaklığının Girilmesi

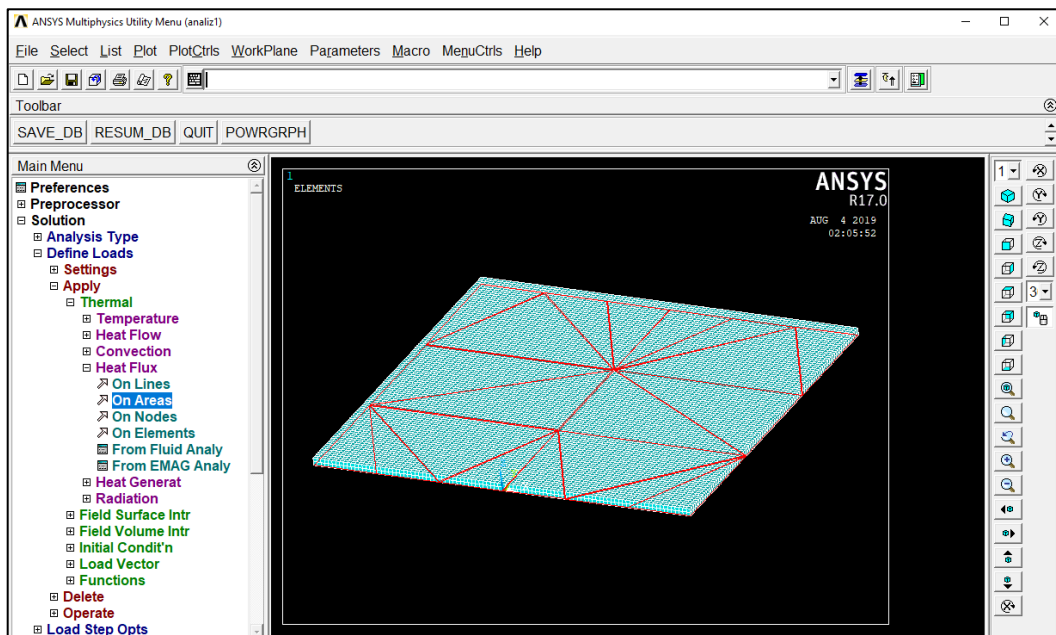
Fonksiyon atama işlemi yapıldıktan sonra, analiz için sınır şartları belirlenmelidir. İlk olarak parçaya başlangıç sıcaklığı atanır. Bu işlem için “Solution” sekmesi altında bulunan “Define Loads” sekmesinden, “Uniform Temp” başlığına tıklanarak yapılır. Yapılan analizde başlangıç sıcaklığı, 30°C olarak alınmıştır.



Şekil 3.12. Başlangıç sıcaklığının girilmesi

3.3.5.2. Isı Akısı Tanımlama

Isı akısı değeri için daha önceden fonksiyon oluşturulmuştu. Oluşturulan bu fonksiyon için değerler de programa girilmişti. Burada, ısı akısının hangi yüzeylere uygulanacağı seçilmelidir. Bunun için Şekil 3.13'te gösterilen adımlar takip edilmelidir.



Şekil 3.13. Isı akısı uygulanacak yüzeyin seçilmesi

3.3.5.3. Taşınım Sınır Şartının Girilmesi

Sıcaklık dağılımının incelendiği levhanın tüm yüzeyleri için ısı taşınım katsayısı 25 W/m^2K olarak alınmıştır. Yine taşınım ile ısı transferinin olduğu yüzeyler Şekil 3.13'te gösterilen menüden "Convection" sekmesine gelinerek, ısı transferinin olduğu yüzeyler seçilir. Isı taşınım katsayısının sıcaklıkla değişmediği kabul edilmiştir. Şekil 3.14'te bulunan menüye taşınım katsayısı girilir.

Apply CONV on areas	
[SFA] Apply Film Coef on areas	Constant value
If Constant value then:	
VAL1 Film coefficient	25
[SFA] Apply Bulk Temp on areas	Constant value
If Constant value then:	
VAL2 Bulk temperature	
LKEY Load key, usually face no.	
(required only for shell elements)	
OK	Cancel
Help	

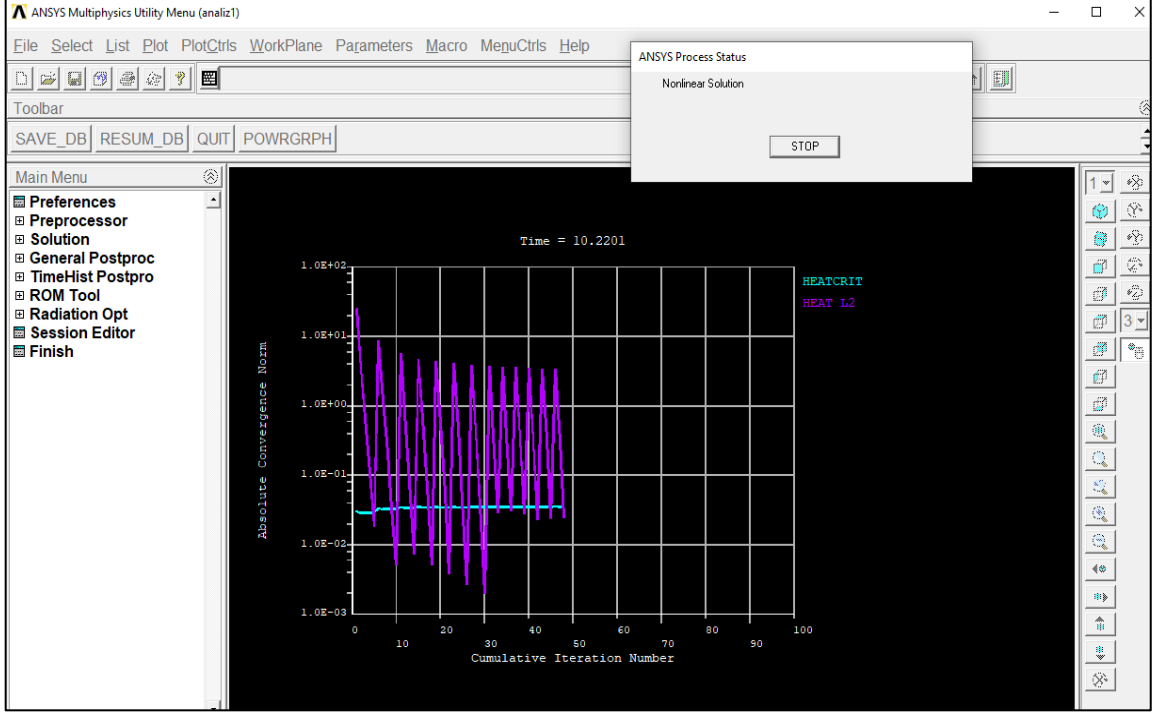
Şekil 3.14. Isı taşınım katsayısının girilmesi

3.3.5.4. Işınım Sınır Şartı

Yapılan analizde iş parçası yüksek sıcaklığa maruz kaldığı için bölgesel ergime meydana gelmektedir. Bu yüksek sıcaklıktan dolayı iş parçasından çevreye bir ışıma olmaktadır. Kıyaslama yapılan analizde ışıma katsayısı 0.8 seçilmiştir. Işınım katsayısının girilmesi için yine, Şekil 3.13'te görülen sekmelerden "Radiation" sekmesine tıklanıp radyasyonun olacağı yüzeyler ve değeri girilerek radyasyon sınır şartı oluşturulmuş olur.

3.4. Programın Çalıştırılması

Programda zaman adımları ve analiz süresi belirlendikten sonra program çalıştırılır. Şekil 3.15'te görüldüğü gibi programa iterasyon yaptırılarak, istenilen sonuçların elde edilmesi sağlanır.



Şekil 3.15. Programın çalıştırılması ve programın iterasyona başlaması

4. BULGULAR

4.1. Analiz Sonuçları

Bu çalışmada elde edilen sonuçların doğruluğunu göstermek için Deshpande vd. [37]'nin çalışmasında verilen malzeme özellikleri ve parametreler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu bölümde karşılaştırılmıştır. Kaynak [37]'de sıcaklığın zamanla değişimi, Şekil 3.6'da gösterilen levhanın orta noktasında, yani C noktası için elde edilmiştir.

Her iki çalışmada da hareketli ısı kaynağının y yönündeki hızı $v=1.59$ m/s olarak alınmıştır. Kare şeklindeki levhanın kenar uzunluğu 100 mm olduğundan, ısı kaynağının C noktasına gelme süresi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

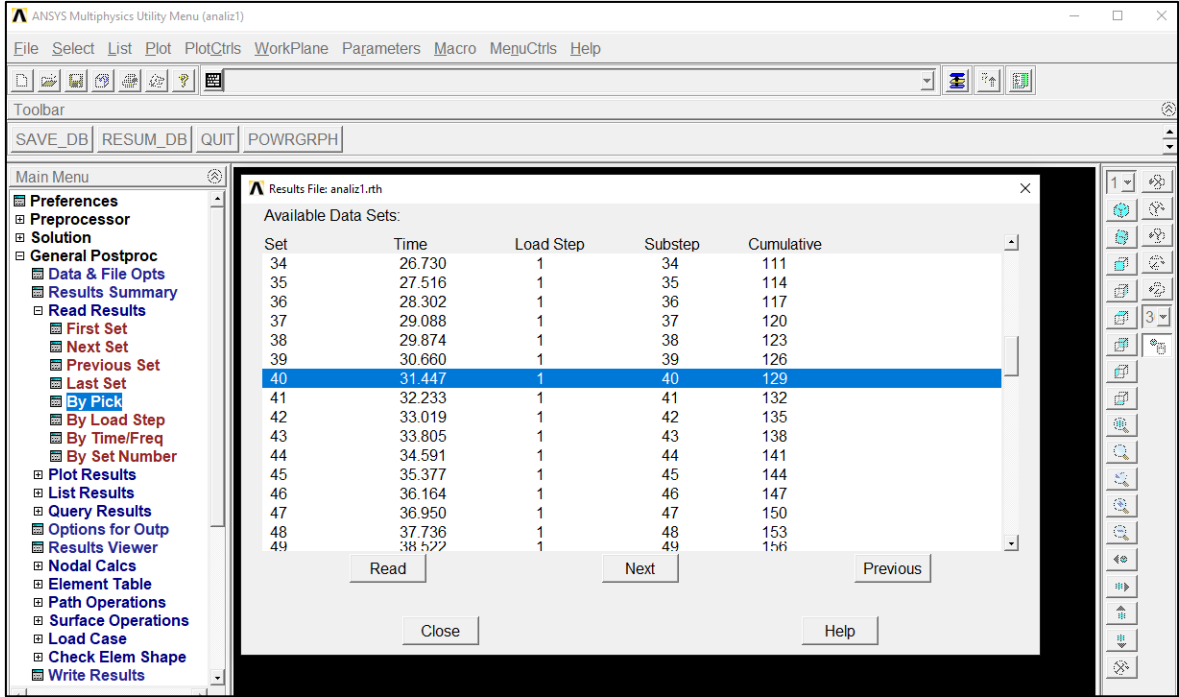
$$t = \frac{50}{1.59} = 31.44 \text{ s.}$$

Hareketli ısı kaynağına bağlı olarak 31.44. saniyede yani ısı kaynağının C noktasında yer alması durumunda levhada meydana gelen sıcaklık dağılımı elde edilerek daha önce yapılan çalışma [37] ile karşılaştırılmıştır.

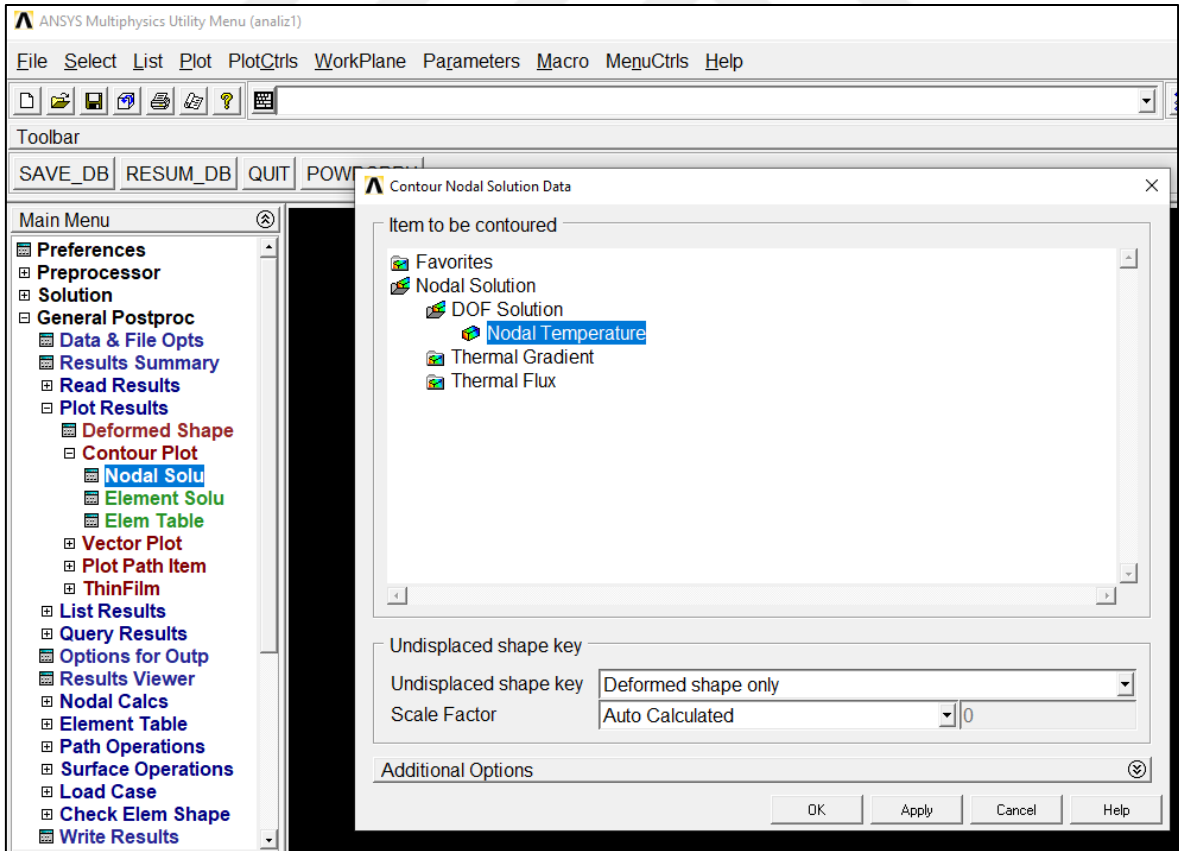
Mevcut çalışmada, hareketli ısı kaynağının 31.44. saniyede levha üzerinde oluşturduğu sıcaklık dağılımı şu şekilde elde edilir:

ANSYS “Main Menu” sekmesindeki başlıklardan “General Postproc” sekmesinin altında bulunan “Read Results” sekmesi tıklanır. Buradan da “By Pick” sekmesi tıklanarak, Şekil 4.1’ de gösterildiği gibi 31.44. saniye seçilir.

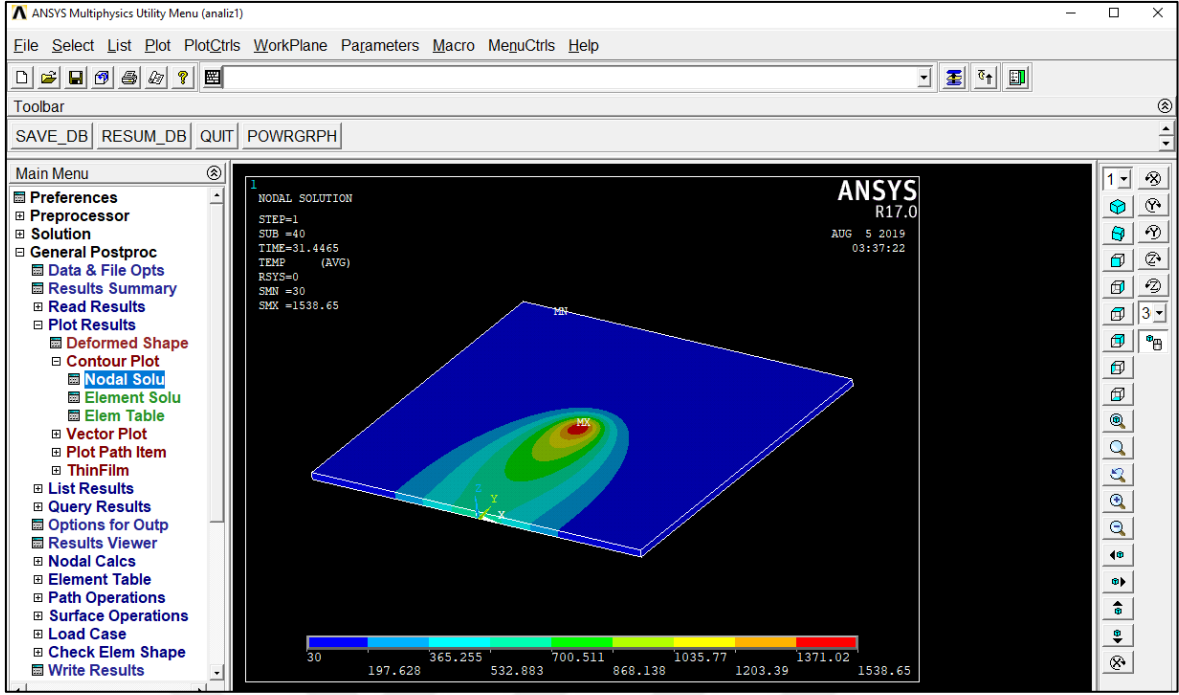
Daha sonra “Read Results” sekmesi altında bulunan “Plot Results” sekmesi tıklanır. Buradan görmek istenilen değerler seçilir. Kıyaslama yapılacak değer sıcaklık olduğu için Şekil 4.2’den “Nodal temperature” seçilmelidir.



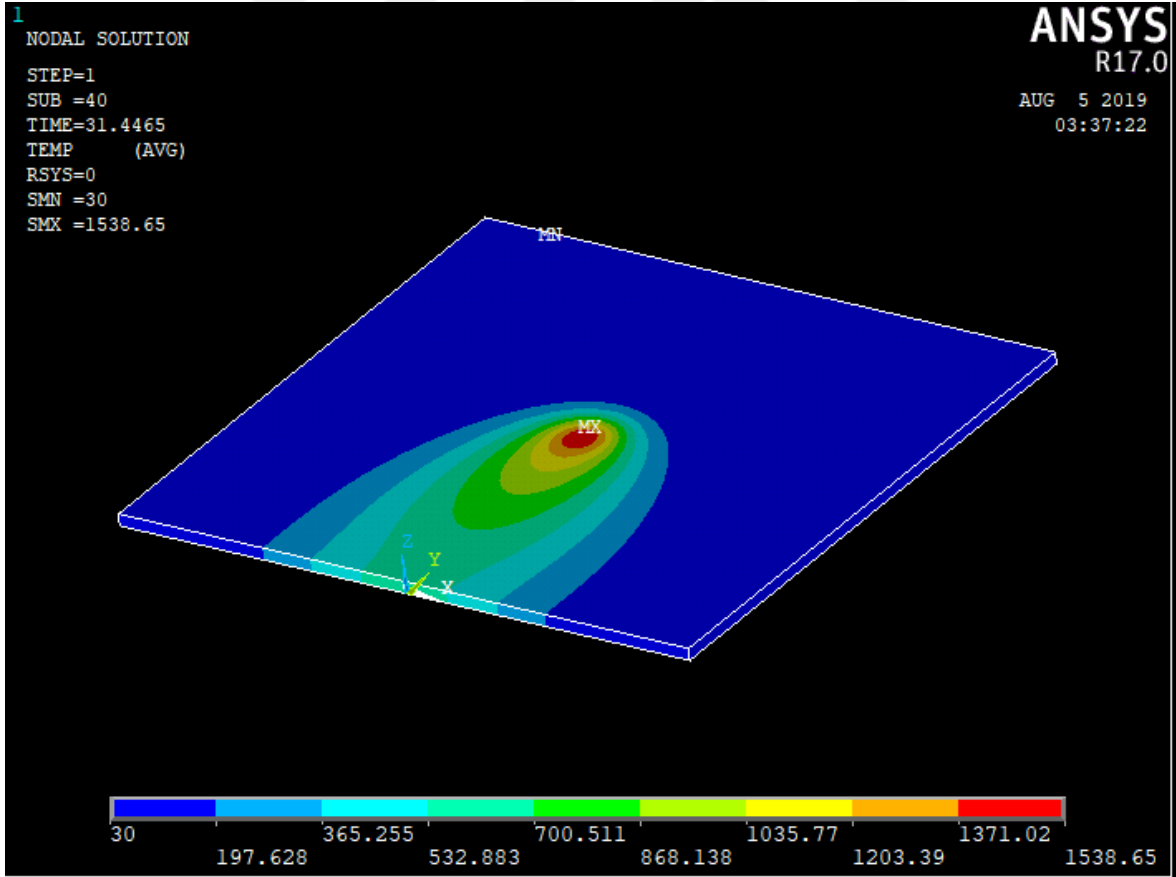
Şekil 4.1. İstenilen zamandaki sıcaklık dağılımının seçilmesi



Şekil 4.2. Sıcaklık sonuçlarının seçilmesi

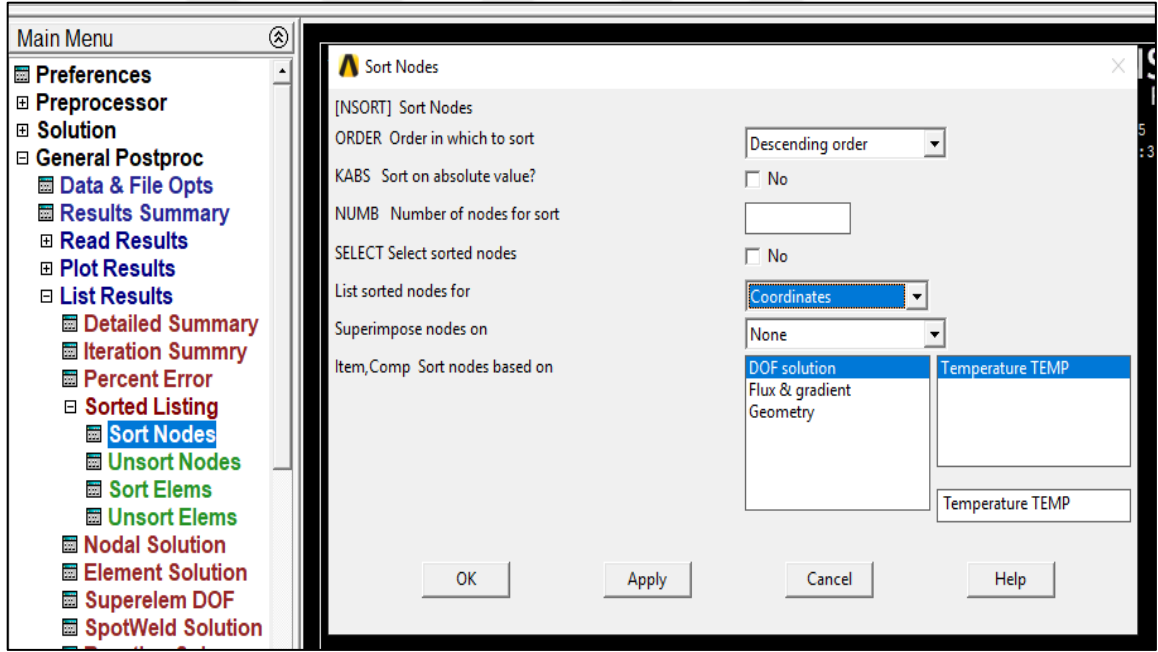


Şekil 4.3. Levhada 31.446. saniyede oluşan sıcaklık dağılımı



Şekil 4.4. Levhada 34.446. saniyede oluşan sıcaklık dağılımının detaylı görünümü

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te 31.446. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi 31.446. saniyede levhadaki en yüksek sıcaklık 1538.65 °C'dir. Bu noktadaki, sıcaklığın zamanla değişim grafiği aşağıdaki gibi belirlenir. Yine "Main Menu" sekmesi altındaki, "TimeHist Postpro" sekmesine tıklanır. Burada " C " noktasına karşılık gelen node (düğüm noktası) numarası belirlenir. Bunun için, Şekil 4.5'te gösterilen ara yüz açılır. Bunun için "Sort Nodes" kısmına tıklanmalıdır. Açılan arayüzde koordinat sistemi seçilerek bütün nodelerin bulunduğu koordinat listesi karşımıza çıkar. C noktasının koordinatları metre cinsinden; $(x, y, z = 0, 0.05, 0.002)$ olmalıdır. Bu koordinatlara karşılık gelen node numarası Şekil 4.6'dan da anlaşılacağı üzere "30517" dir. Bu değer "TimeHist Postpro" sekmesine tıklanıp açılan ara yüze girilmelidir. "TimeHist Postpro" menüsüne girildiği zaman karşımıza Şekil 4.7'deki görüntü çıkmaktadır. Bu noktanın grafiği çizdirildiği zaman Şekil 4.8'de görülen grafik elde edilmektedir.



Şekil 4.5. Levha üzerinde C noktasındaki node numarasının belirlenmesi

NLIST Command

File

30505	0.0000	0.44000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30506	0.0000	0.44500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30507	0.0000	0.45000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30508	0.0000	0.45500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30509	0.0000	0.46000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30510	0.0000	0.46500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30511	0.0000	0.47000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30512	0.0000	0.47500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30513	0.0000	0.48000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30514	0.0000	0.48500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30515	0.0000	0.49000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30516	0.0000	0.49500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30517	0.0000	0.50000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30518	0.0000	0.50500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30519	0.0000	0.51000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30520	0.0000	0.51500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
NODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THZX
30521	0.0000	0.52000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30522	0.0000	0.52500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30523	0.0000	0.53000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30524	0.0000	0.53500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30525	0.0000	0.54000E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00
30526	0.0000	0.54500E-001	0.20000E-002	0.00	0.00	0.00

Şekil 4.6. Levha üzerinde C noktasının node numarası

Time History Variables - \analiz1.rth

File Help

None Real

Variable List

Name	Element	Node	Result Item	Minimum	Maximum
TIME			Time	0.786164	1000
TEMP_2		30517	Nodal Temperature	30	1540.93

Calculator

TEMP_2 = insol(30517,TEMP,)

()

MIN CONJ e^x

MAX a+ib LN 7 8 9 / CLEAR

RCL

STO RESP LOG 4 5 6 * ←

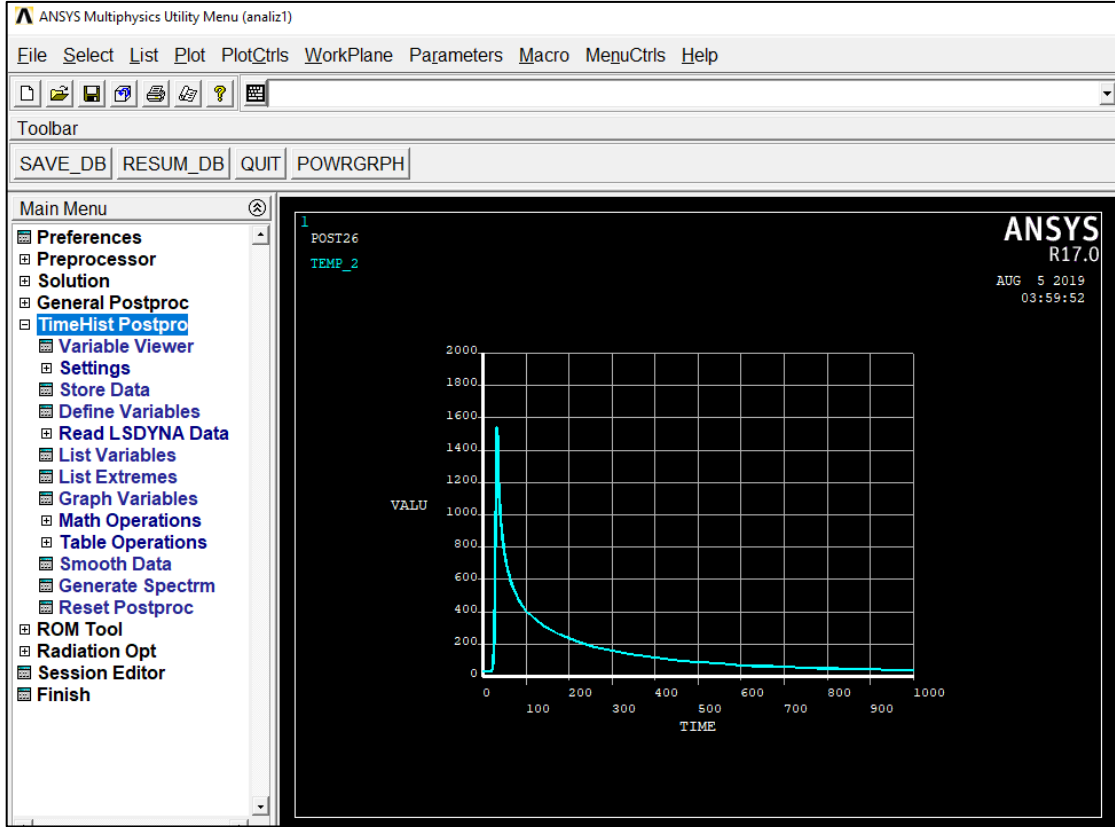
INS MEM SQRT

ABS ATAN x² 1 2 3 - ENTER

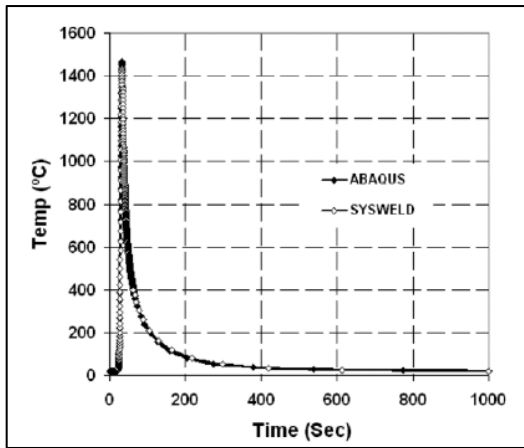
INT1 IMAG

INV DERIV REAL 0 . +

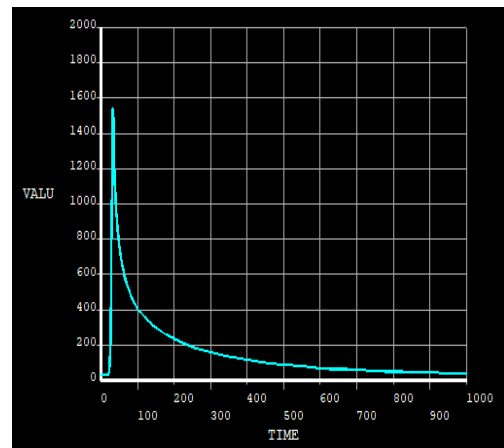
Şekil 4.7. C noktasının node numarasının girilmesi



Şekil 4.8. C noktası sıcaklığının zamanla değişimi



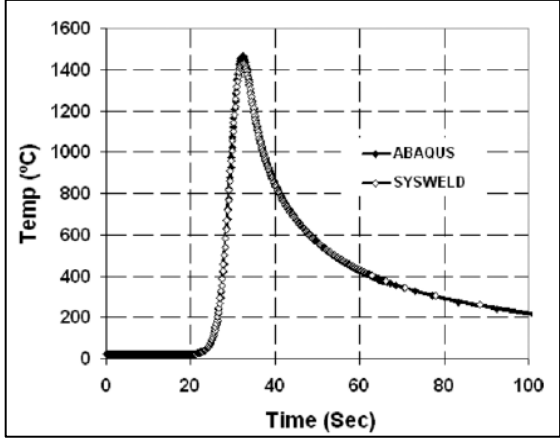
(a)



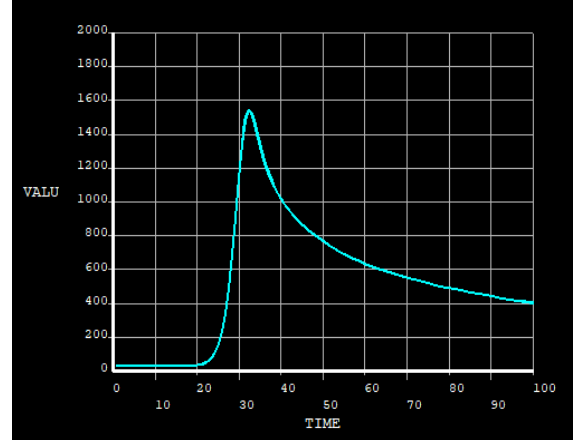
(b)

Şekil 4.9. C noktası sıcaklığının 1000 saniye süredeki değişimi

(a) Önceki çalışma [37], (b) Bu çalışma



(a)

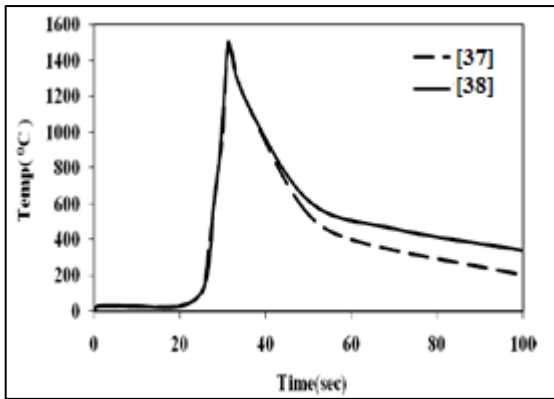


(b)

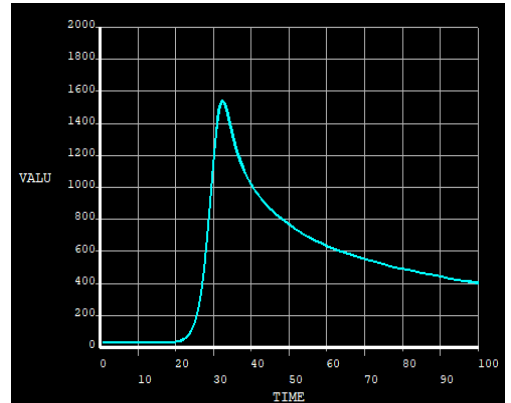
Şekil 4.10. C noktası sıcaklığının 100 saniye süredeki değişimi
(a) Önceki çalışma [37], (b) Bu çalışma

Levha üzerinde C noktasındaki sıcaklığın zamanla değişimi, daha önce yapılan çalışmada [37] elde edilen sonuçlarla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da karşılaştırılmıştır. Bu şekiller incelendiğinde bu çalışmada elde edilen sıcaklık dağılımı, daha önce yapılan çalışma ile benzer sıcaklık dağılımı gösterdiği görülmektedir.

Ayrıca farklı bir Gauss fonksiyonu kullanarak yapılan bir çalışmadaki [38] benzer parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4.11'de karşılaştırılmıştır.



(a)

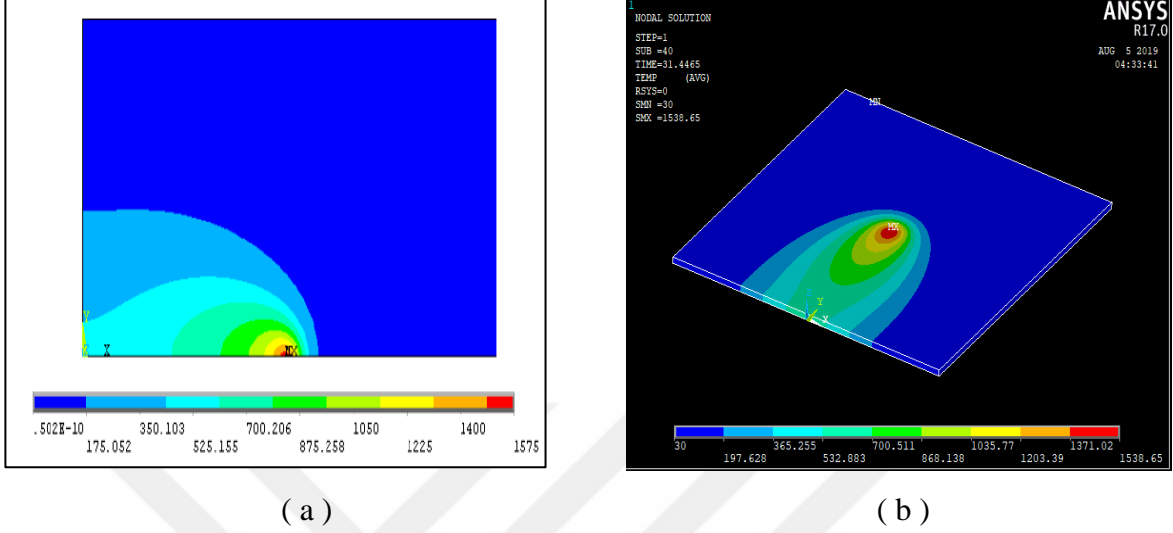


(b)

Şekil 4.11. C noktası sıcaklığının 100 saniye süredeki değişimi
(a) Önceki çalışma [38], (b) Bu çalışma

Şekil 4.11'den de görüldüğü gibi her iki çalışmada sonuçlar yüksek oranda örtüşmektedir ve C noktasında, 100. saniyedeki sıcaklık her iki şekilde de 400 °C

civarlarındadır. Yine her iki çalışmada da C noktasında elde edilen maksimum sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



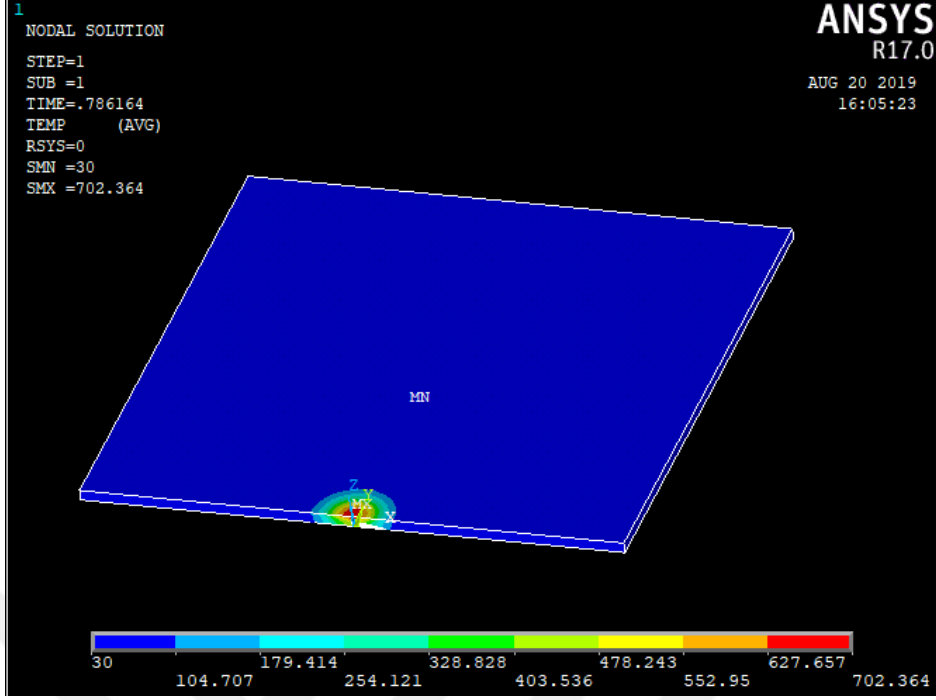
Şekil 4.12. 31.446. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı
(a) Önceki çalışma [38], (b) Bu çalışma

Şekil 4.12’de ise 31.446. saniyede levhada meydana gelen sıcaklık dağılımı daha önceki çalışma [38] ile karşılaştırılmıştır. Daha önceki çalışmada [38] C noktasındaki maksimum sıcaklık değeri 1575 °C olarak elde edilirken bu çalışmada ise 1538 °C olarak elde edilmiştir.

Küçük sıcaklık farklılıklarının olması normal karşılanabilir. Çünkü kullanılan programın farklı olması, seçilen ağ (mesh) kalitesi, malzeme özelliklerinin sıcaklıkla değiştiği veya değişmediği varsayımının yapılması gibi parametreler bu küçük farklılıklara yol açmaktadır.

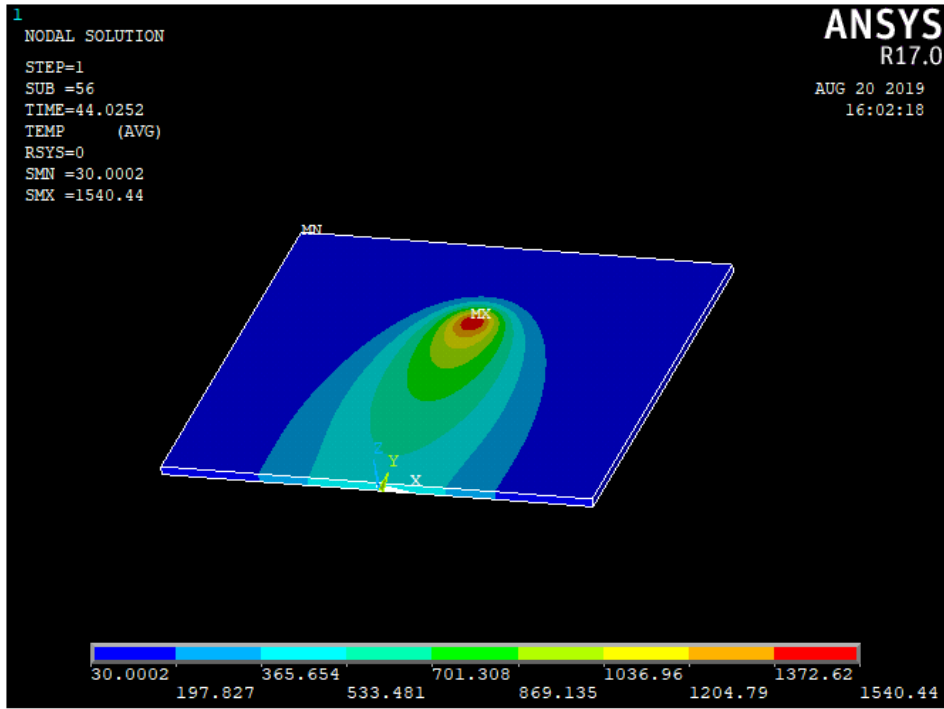
4.2. Farklı Zamanlarda Levhada Meydana Gelen Sıcaklık Dağılımları

Daha önce yapılan çalışmalarda uyumlu sonuçlar edildikten sonra değişik zaman dilimindeki sonuçlar Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’te verilmiştir. Bu şekillerde ısı kaynağının harekete başlamasından sonra geçen süre sırasıyla; 0.786 s, 44.025 s, ve 100 saniyedir.



Şekil 4.13. 0.786. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı

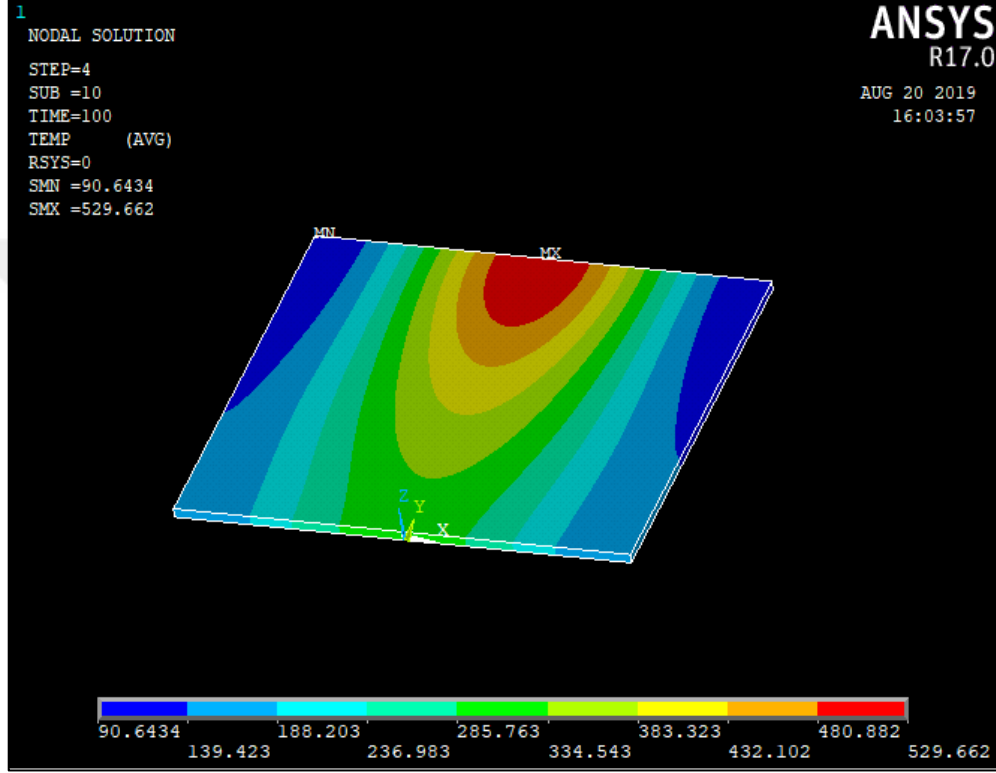
Şekil 4.13'e bakıldığında hareketli ısı kaynağı 0.786. saniyede levha üzerinde fazla ısıl etki oluşturamamıştır ve bu anda levhada oluşan maksimum sıcaklık 702 °C'dir. Belirtilen süre içerisinde ısı kaynağı levhada dar bir alana etki etmiştir.



Şekil 4.14. 44.025. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı

Şekil 4.14'ten görüldüğü gibi 44.025. saniyedeki levha üzerindeki maksimum sıcaklık değeri 1540 °C civarlarındadır. Daha önceden 31.446. saniyede C noktasında meydana gelen maksimum sıcaklık değeri de 1538 °C olarak elde edilmişti.

Değişik zamanlarda meydana gelen maksimum sıcaklıkların aynı olması ve benzer sıcaklık dağılımlarının elde edilmesi beklenen bir durumdur.



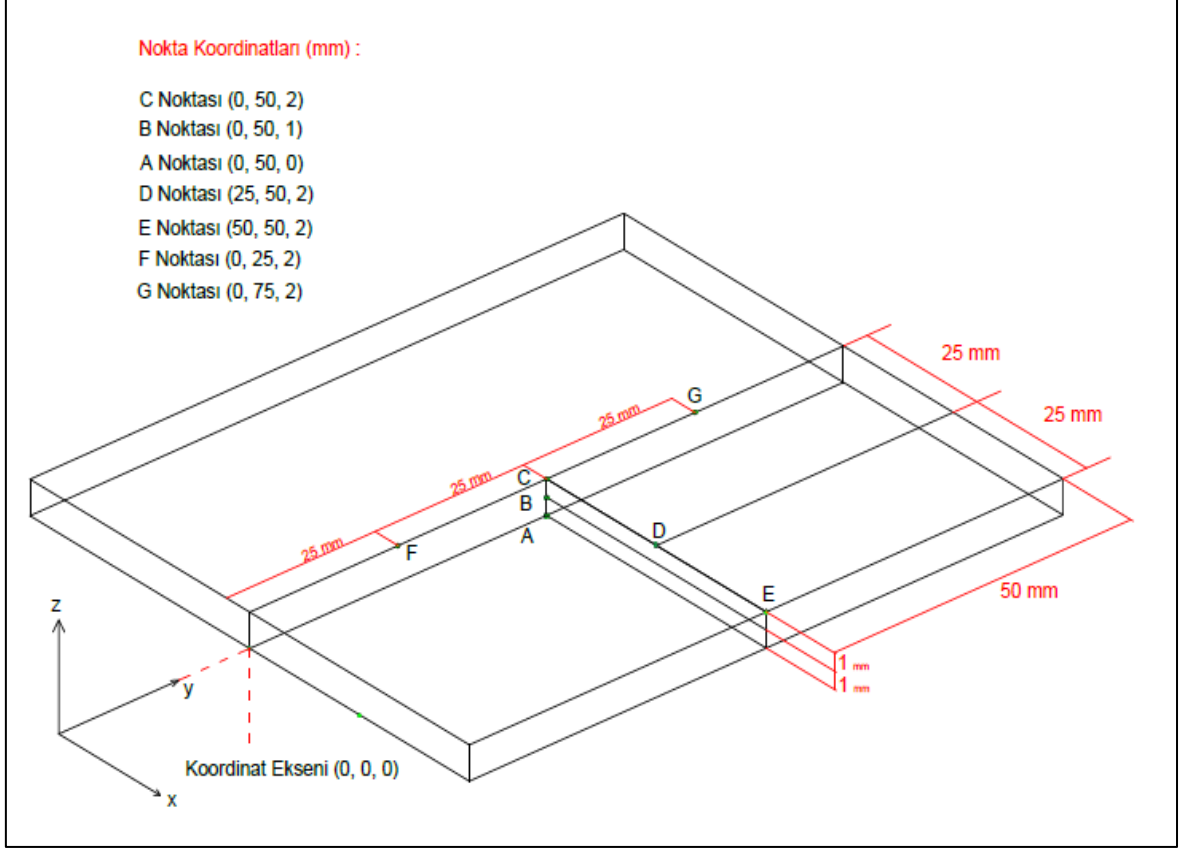
Şekil 4.15. 100. saniyede levhada oluşan sıcaklık dağılımı

Hareketli ısı kaynağı levha üzerindeki hareketini yaklaşık 62.89 saniyede tamamlar. Daha sonra levha üzerine uygulanan ısı akısı kesileceği için levha soğumaya başlayacaktır. 100 saniye sonra levha üzerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 4.15'te gösterilmiştir. 100 saniye sonra levha üzerindeki maksimum sıcaklık değeri 530 °C civarlarındadır. Ayrıca 100 saniye sonunda ısının, levhanın hemen hemen tüm yüzeyine etki ettiği yine şekilden anlaşılmaktadır.

4.3. Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması

Şimdiye kadar yapılan çalışmada model de belirtilen C noktasındaki sıcaklık dağılımları baz alınarak kıyaslama yapılmıştır. Bu başlıkta ise, levhada farklı noktalardaki

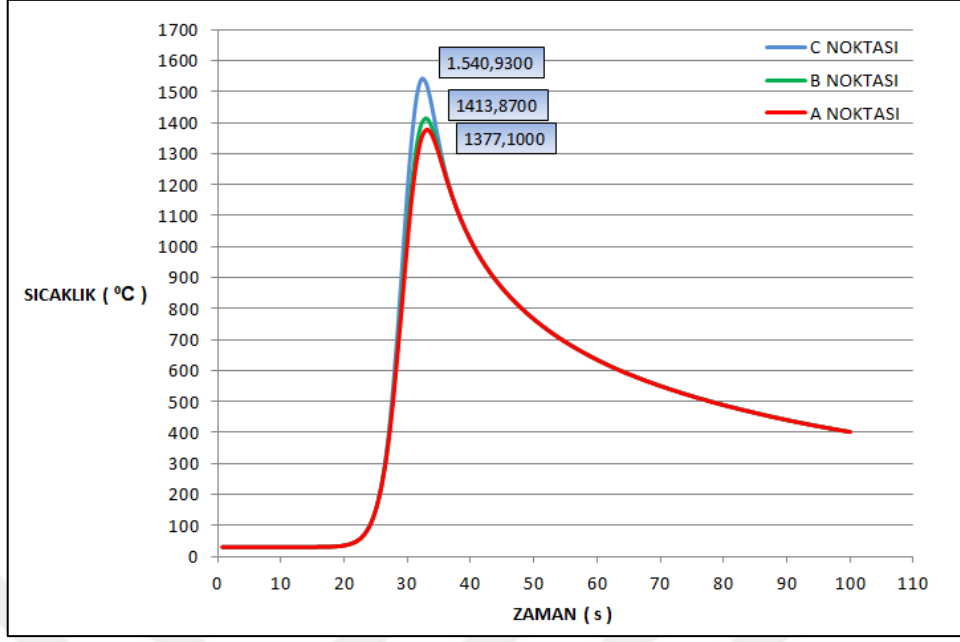
sıcaklıkların zamanla değişimleri incelenmiştir. Noktaların konumları ve koordinatları Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Levha üzerinde farklı noktaların gösterimi

Şekil 4.16’da plaka üzerinde düşey yönde konumlandırılmış C, B ve A noktaları, x yönünde enine konumlandırılmış C, D ve E noktaları ve hareketli ısı kaynağının ilerleme doğrultusunda y ekseninde konumlandırılmış F, C ve G noktaları görülmektedir.

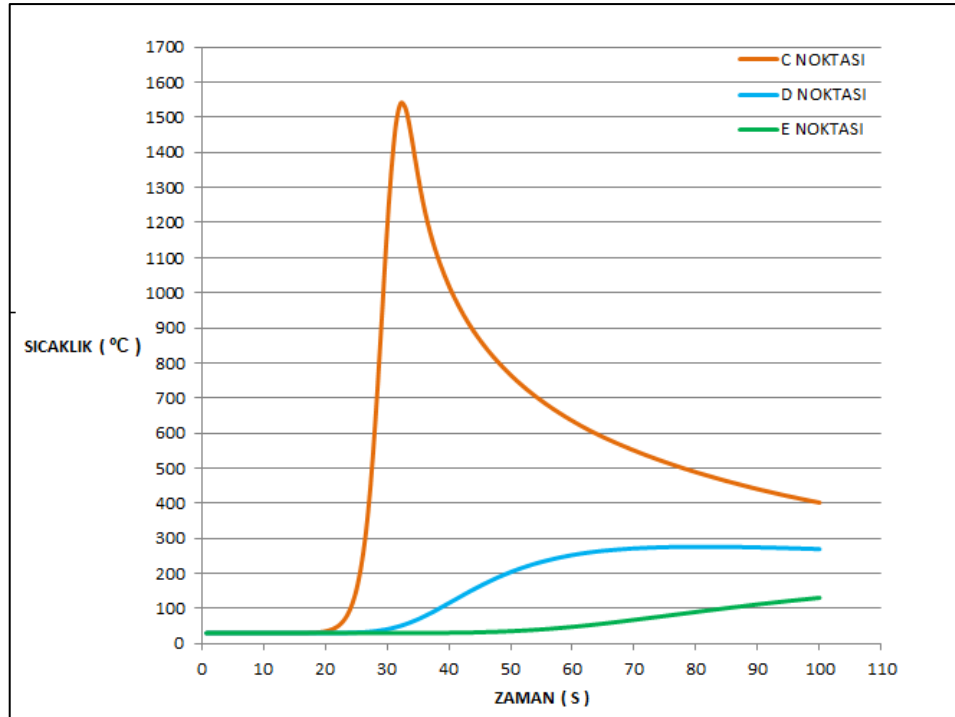
Levha üzerinde düşey konumlandırılmış C, B ve A noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişimleri, Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. C, B ve A noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişimleri

Şekil 4.17'den de anlaşılacağı üzere, plakanın kalınlığının ince olması nedeni ile C, B ve A noktaları arasında ciddi sıcaklık farkı oluşmamıştır.

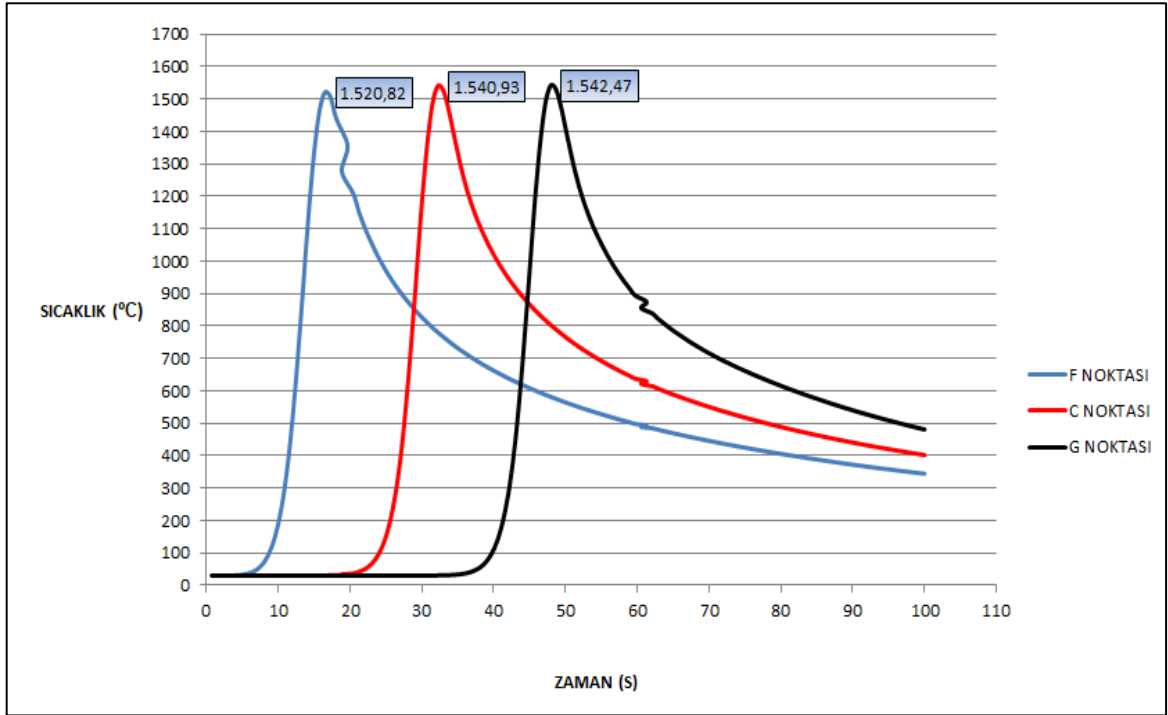
Enine konumlandırılmış C, D ve E noktalarındaki sıcaklığın zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. C, D ve E noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişimleri

Şekil 4.18'den görüleceği gibi, ısı kaynağından uzakta bulunan D ve E noktalarında daha küçük sıcaklık değerleri elde edilmektedir. Isı kaynağı yolu üzerinde bulunan C noktasında sıcaklık belirgin bir maksimum değere ulaşırken, D ve E noktalarında sıcaklıklar zamanla sürekli artmaktadır.

Hareketli ısı kaynağının ilerleme doğrultusunda, y eksenini boyunca levha üzerine konumlandırılmış F, C ve G noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişim grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. F, C ve G noktalarındaki sıcaklıkların zamanla değişimleri

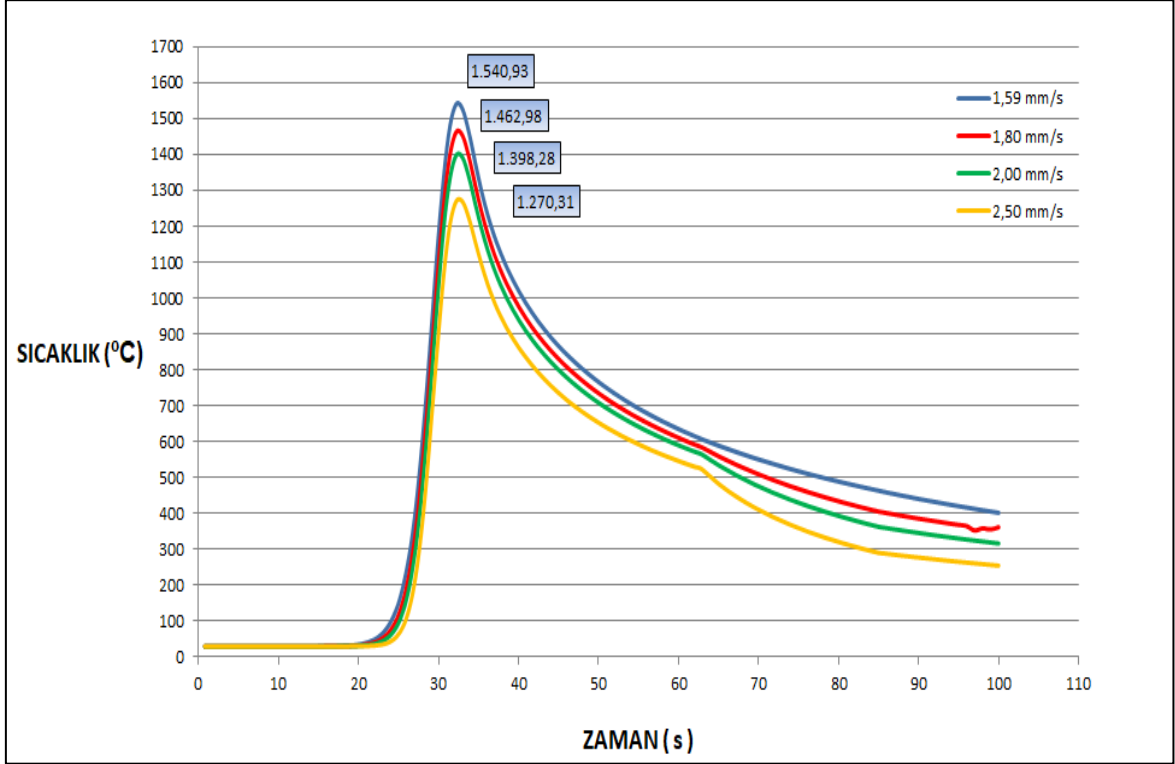
Şekil 4.19'a bakıldığı zaman, levhanın üst yüzeyinde y eksenini boyunca bulunan F, C ve G noktalarında beklendiği gibi maksimum sıcaklıklar hemen hemen aynıdır. Isı kaynağının bu noktalara gelme süresine bağlı olarak benzer sıcaklık değişimleri oluşmaktadır.

4.4. Farklı Parametreler Kullanılarak Kıyaslama Yapılması

Bu bölümde değişken ısı kaynak hızı değerleri ve değişken ısı kaynağı yarıçapı değerleri için C noktasındaki sıcaklığın zamanla değişimi incelenmiştir.

4.4.1. Isı Kaynağı Hızının Etkisi

Daha önceki çözümde 1.59 mm/s olarak alınan ısı kaynağı hızı değeri bu bölümde, 1.80 mm/s, 2 mm/s ve 2.5 mm/s alınarak elde edilen C noktasındaki sıcaklık değişimi Şekil 4.20’de verilmiştir.

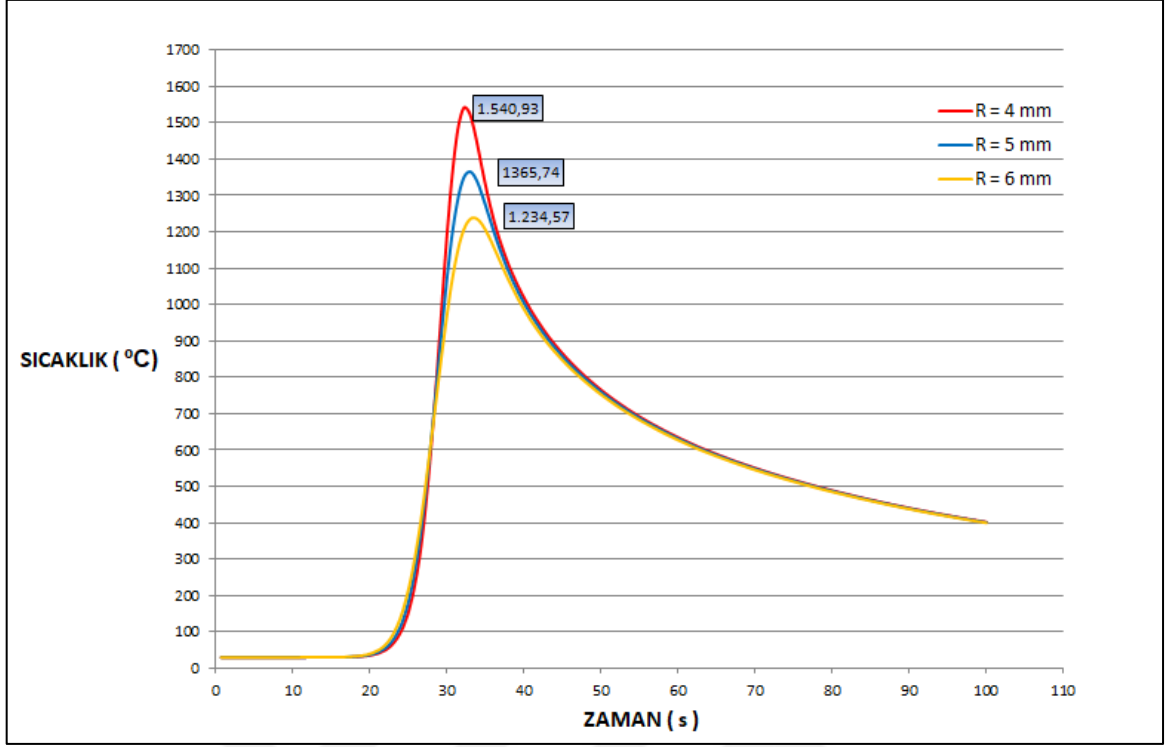


Şekil 4.20. Farklı kaynak hızlarında C noktasındaki sıcaklığın zamanla değişimi

Şekil 4.20’den görülebileceği gibi ısı kaynağı hızının artması C noktasında meydana gelen maksimum sıcaklık değerini azaltmaktadır. Bu durum artan hıza bağlı olarak ısı kaynağının belirli bir noktaya etki etme süresini azaltmasından kaynaklanmaktadır.

4.4.2. Isı Kaynak Yarıçapının Etkisi

Bu kısımda ısı akısının, levha üzerinde etkideği yarıçap değiştirilerek, levhada ne gibi değişiklik oluşturduğu incelenmiştir ve referans noktası C noktası alınmıştır.



Şekil 4.21. Farklı ısı kaynağı yarıçapları için C noktasındaki sıcaklığın zamanla değişimi

Şekil 4.21'den görülebileceği gibi hareketli ısı kaynağı yarıçapının artması levhada meydana gelen sıcaklık değerlerini azaltmaktadır. Bu sıcaklık değerlerinin düşüşü maksimum sıcaklık değerlerinden anlaşılmaktadır. Yarıçapın 4 mm değeri için maksimum sıcaklık yaklaşık 1541 °C olurken, yarıçapın 6 mm değeri için maksimum sıcaklık yaklaşık 1235 °C'ye düşmektedir. Bunun nedeni, kaynak gücünün sabit tutulması nedeniyle ısı akısının azalmasıdır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada hareketli bir ısı kaynağına bağlı olarak bir levhada meydana gelen zaman bağımlı sıcaklık dağılımı sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada sonlu elemanlar yöntemine dayanan ANSYS paket programı kullanılmıştır. Değişik durumlar için elde edilen sonuçlar şu şekilde verilebilir:

1. Maksimum sıcaklıklar ısı kaynağı yönünde ve üst yüzeyde oluşmaktadır.
2. Isı kaynağı yönündeki noktalarda gecikmeli olarak benzer sıcaklık değişimleri elde edilmektedir.
3. Isı kaynağı hızı arttığında levhada oluşan maksimum sıcaklık değerleri azalmaktadır.
4. Aynı kaynak gücü için ısı kaynağının yarıçapı arttığında levhada oluşan maksimum sıcaklık değerleri azalmaktadır.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada model oluşturması adına kaynak işlemleri referans alınmıştır. Bununla birlikte makina mühendisliği ve diğer mühendislik dallarında da sıklıkla hareket halindeki ısı kaynakları karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma, kullanılan farklı hareketli ısı kaynaklarına model oluşturabilir. Bu çalışmada yapılan kabul ve değerlendirmeler referans alınıp, yeni çalışmalarda sınır şartları, malzeme özellikleri, tasarım özellikleri değiştirilerek, farklı türdeki hareketli ısı kaynakları modellenip analizleri gerçekleştirilebilir.

Yine yapılan bu çalışmada ısı kaynağı için Gauss dağılımı modeli esas alınmıştır. Fakat farklı ısı dağılımı sergileyen, farklı modeller oluşturulup, bu çalışmadan çıkan elde edilen sonuçlar ile mukayese edilebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Çetin, B., Kuşçu, Y., Atay, A. ve Çetin, B., Isı Kaynağı İçeren Isı İletimi Problemleri İçin Alternatif Yaklaşımlar, 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 13-16 Eylül 2017, Çorum, Bildiriler Kitabı, 774-781.
2. Çengel, Y., Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım, Çeviri Editörü; Tanyıldızı, V., 3. Baskı, Güven Bilimsel, İzmir, 2011.
3. Rosenthal, D., The Theory of Moving Sources of Heat and Its Application to Metal Treatments, Trans. A.S.M.E., 68 (1946) 849-866.
4. Chen, B., Prediction of Heating Induced Temperature Fields and Distortions in Steel Plates, Dissertation to obtain the degree of Master in, Instituto Superior Tecnico, Universidade Tecnica de Lisboa, Lisbon, December 2011.
5. Kamala, V. ve Goldak, J., Error Due to Two Dimensional Approximation in Heat Transfer Analysis of Welds, Welding Research Supplement, (1993) 440-446.
6. Nguyen, N., Ohta, A., Matsuoka, K., Suzuki, N. ve Maeda, Y., Analytic Solutions for Transient Temperature of Semi-Infinite Body Subjected to 3-D Moving Heat Sources, Welding Research Supplement, (1999) 265-274.
7. Goldak, J., Chakravarti, A. ve Bibby, M., A New Finite Element Model for Welding Heat Sources, Metallurgical Transactions B, 15 (1984) 229-305.
8. Kraus, H., Thermal Finite Element Formulation and Solution Versus Experimental Results for Thin-Plate GTA Welding, J.Heat Transfer, 108 (1986) 591-596.
9. Tekriwal, P. ve Mazumder, J., Finite Element Analysis of Three-Dimensional Transient Heat Transfer in GMA Welding, Welding Research Supplement, 67, 7 (1988) 150-156.
10. Yeung, K. ve Thornton, P., Transient Thermal Analysis of Spot Welding Electrodes, Welding Research Supplement, (1999) 1-6.
11. Friedman, E., Thermomechanical Analysis of the Welding Process Using the Finite Element Method, Trans. A.S.M.E. J. Pressure Vessel Tech, 77, 3 (1975) 206-213.
12. Michaleris, P. ve DeBiccari, A., Prediction of Welding Distortion, Welding Journal, 76, 4 (1997) 172-181.
13. Taylor, G., Hughes, M., Strusevich, N. ve Pericleous, K., Finite Volume Methods Applied to the Computational Modeling of Welding Phenomena, Applied Mathematical Modelling, 26, 2 (2002) 311-322.

14. Mandal, N. ve Sundar, C., Analysis of Welding Shrinkage, Welding Research Supplement, (1997) 233-238.
15. Puchaicela, J., Control of Distortion of Welded Steel Structures, Welding Journal, 77, 9 (1998) 49-52.
16. Parre, M., Heat and Fluid Flow Modeling in Twin-Wire Welding, The Degree of Master of Technology, Indian Institute of Technology, Hyderabad, July 2011.
17. Pavelic, R., Tanbakuchi, R., Uyehara, O. ve Myers, P., Experimental and Computed Temperature Histories in Gas Tungsten Arc Welding in Thin Plates, Welding Journal, 48, 7 (1969) 295-304.
18. Robert, L., A New Technique for 3-Dimensional Transient Heat Transfer Computations of Autogeneous Arc Welding, Metallurgical Transactions B, 21, 6 (1990) 1033–1047.
19. Friedman, E. ve Glickstein, S., An Investigation of the Thermal Response of Stationary Gas Tungsten Arc Welds, Welding Journal, 55 (1976) 408–420.
20. Kurtz, G. ve Segerlind, L., Finite Element Analysis of Welded Structure, Welding Journal, 57, 7 (1978) 211–216.
21. Goldak, J., Chakravarthi, A. ve Bibby, M., A New Finite Element Model for Welding Heat Sources, Metallurgical and Materials Transactions, 15 (1984) 299-305.
22. Christensen, N., Davies, N. ve Gjermundsen, K., Distribution of Temperature in ArcWelding, British Welding Journal, 12 (1965) 54–75.
23. Bonifaz, E., Finite Element Analysis of Heat Flow In Single-Pass Arc Welds, Welding Journal, 59 (2000) 121–125.
24. Han, L. ve Liou, F., Numerical Investigation of the Influence of Laser Beam Mode on Melt Pool, International Journal of Heat and Mass Transfer, 47 (2004) 4385–4402.
25. Zohu, J., Tsai, H. ve Wang, P., Transport Phenomena and Keyhole Dynamics during Pulsed Laser Welding, Journal of Heat Transfer, 128 (2006) 680–690.
26. Wang, H., Shi, Y. ve Gong, S., Effect of Pressure Gradient Driven Convection in the Molten Pool During the Deep Penetration Laser Welding, Journal of Materials Processing Technology, 184 (2006) 386–392.

27. Wang, H., Shi, Y., Gong, S. ve Duian, A., Effect of Assist Gas Flow on the Gas Shielding During Laser Deep Penetration Welding, Journal of Materials Processing Technology, 184 (2007) 379–385.
28. Groover, M., Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, McDonald, M., Fourth Edition, 701, John Wiley & Sons, Inc., United States of America, 2010.
29. Piekarska, W., Kubiak, M. ve Saternus, Z., Application of Abaqus to Analysis of the Temperature Field in Elements Heated by Moving Heat Sources, The Organ of the Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences, 10 (2010) 177-182.
30. Salimi, S., Bahemmat, P. ve Haghpanahi, M., Analytical Model for the Temperature Field Around a Nonuniform Three-dimensional Moving Heat Source: Friction Stir Welding Modelling, J Eng Math, 98, 1 (2016) 71-91.
31. Ismail, M., Okamoto, Y. ve Okada, A., Thermo-Mechanical Analysis on Thermal Deformation of Thin Stainless Steel in Laser Micro-Welding, International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering, 6, 2 (2016) 51-66.
32. Casalino, G., Contuzzi, N., Minutolo, F. ve Mortello, M., Finite Element Model for Laser Welding of Titanium, Procedia CIRP, 33 (2015) 434-439.
33. Rosenthal, D., Mathematical Theory of Heat Distribution During Welding and Cutting, Welding Journal, 20 (1941) 220-234.
34. Carslaw, H. ve Jaeger, J., Conduction of Heat in Solids, Second Edition, Clarendon Press, London, 1996.
35. Eagar, T. ve Tsai, N., Temperature Fields Produced by Traveling Distributed Heat Sources, Welding Research Supplement, (1983) 346-355.
36. Goldak, J., Chakravarti, A. ve Bibby, M., A Double Ellipsoid Finite Element Model for Welding and Heat Sources, IIW, 212-603-85 (1985).
37. Deshpande, A., Tanner, D., Sun, W. ve McCartney, G., Combined Butt Joint Welding and Post Weld Heat Treatment Simulation Using Sysweld and Abaqus, Proc. IMechE Vol. 225 Part L: J. Materials: Design and Applications, 225 (2010) 1-10.
38. Jeyakumar, M., Christoper, T., Narayanan, R. ve Rao, B., Residual Stress Evaluation in Butt-welded IN718 Palates, Canadian Journal of Basic and Applied Sciences, 1, 2 (2013) 88-89.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer YAZAR 1991'de Artvin'de doğdu. İlk öğrenimini Artvin Vakıfbank İlköğretim Okulunda, orta öğrenimini ise Artvin Lisesinde tamamladı. 2010'da başlamış olduğu Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı, yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

