

**ÇOK KATMANLI ELEKTRONİK ELEMANLARDA
ISI İLETİMİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Fatih Nusret DUR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2007
ANKARA**

Fatih Nusret DUR tarafından hazırlanan ÇOK KATMANLI ELETRONİK ELEMANLARDA ISI İLETİMİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Abuzer ÖZSUNAR
Tez Yöneticisi

Bu çalışma jürimiz tarafından oy çokluğu ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Nevzat ONUR

Üye : Doç. Dr. Murat DOĞAN

Üye : Doç. Dr. İrfan AR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Üye : Öğr. Gör. Dr. Abuzer ÖZSUNAR

Tarih :04/05/2007

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatih Nusret DUR

**ÇOK KATMANLI ELEKTRONİK ELEMANLARDA
ISI İLETİMİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fatih Nusret DUR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2007**

ÖZET

Bu çalışmada, elektronik cihazların işlevi açısından hayati önemi haiz olan çiplerdeki ısı iletimi sayısal olarak hem iki boyutlu hem de üç boyutlu incelenmiş ve aktiflik oranına göre 2 W ila 15 W arasında çalışan bir çip için oluşan maksimum sıcaklıklar irdelenmiştir. Ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programları olan Fluent'le zamana bağlı ve yatışmış şartlarda sıcaklıkların değişimi incelenmiş, sıcaklık dağılımları elde edilmiş ve Ansys kullanılarak ısıl gerilme ve gerinme analizi yapılmıştır.

Örnek olarak ele alınan çipin, 2 μm altın ve 0,4 mm silikon olan iki tabakadan oluştuğu ve 1,5 mm x 1,5 mm boyutlarında olduğu düşünülmüştür. Taban sıcaklığının 300 K'de sabit tutulduğu, yan yüzeyler hem yalıtılmış hem de doğal konveksiyon sınır şartlarında, iki farklı durum için inceleme yapılarak sıcaklık dağılımları kontur grafikleri olarak verilmiştir. Sonuçların, malzemenin güvenilirliğini etkileyecek sınırlarda olup olmadığı ortaya konulmuş ve altının ya da silikon malzemenin kalınlığında yapılan değişikliklerin ve altın yerine bakır kullanılmasının sistemde oluşan maksimum sıcaklığa ve dağılıma etkileri araştırılmıştır. Silikon malzemenin kalınlığının artması sonucunda maksimum sıcaklığın arttığı, üst yüzey malzemesi olarak

altın yerine bakır kullanıldığında ise elde edilen maksimum sıcaklıklar çok yakın değerlerde fakat daha yüksek oldukları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların çip üretici firmaların bilgisayarlar için yaptıkları sıcaklık testlerinin sonuçları ile uyduğu gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Çiplerde Isı İletimi, Elektronik Cihazlarda Soğutma
Sayfa Adedi : 150
Tez Yöneticisi : Dr. Abuzer ÖZSUNAR

NUMERICAL ANALYSIS OF CONDUCTION IN MULTI-LAYERED ELECTRONIC EQUIPMENT

(M.Sc. Thesis)

Fatih Nusret DUR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2007

ABSTRACT

In this study, the conduction in the chip, which is the main part of an electronic system, was investigated in both two and three dimensional model and the maximum temperatures were calculated between 2 W and 15 W power due to system activeness. Temperatures are calculated for both steady-state and unsteady conditions using computational fluid dynamics program Fluent and Ansys program is used for deformation, stress and strain analyses.

Sample chip is considered to be composed of two layers; one is 2 μm gold, and the other is 0,4 mm silicon. The chip has 1,5 mm x 1,5 mm dimensions. Two different cases are taken into account for the problem. The first one is the sides are considered to be adiabatic, and bottom face is held at 300 K and the second one is natural convection is considered on the sides and the bottom face is held at 300 K. For both two cases heat distribution is stated as contour graphics. Results were examined if they had an effect on the reliability. The effects of changes in the thicknesses of each layer, and copper usage instead of gold, in the maximum temperatures and also in the distribution is investigated. It is seen that maximum temperature increases due to thicker silicon layer. And for the copper usage instead of gold the maximum

temperature is calculated, just a little bit higher. Compared to the producer test data it was seen that results were compatible.

Science Code : 914.1.065
Key Words : Conduction in Chips, Cooling of Electronic Equipment
Page Number : 150
Adviser : Dr. Abuzer ÖZSUNAR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Dr.Abuzer ÖZSUNAR'a, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU' na, bu çalışmayı yapmak adına gerekli zamanı ayırabilmem için işyerimden izin alma konusunda hiçbir sıkıntı yaşatmadıklarından dolayı değerli yöneticilerim ve mesai arkadaşlarıma, ayrıca mezuniyetimin üzerinden fazlaca vakit geçmiş olması ve mesleğimden uzak olmam nedeniyle zorluk yaşadığım dönemlerde manevi destekleriyle beni hiç yalnız bırakmayan ailem ve yakın arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xx
1. GİRİŞ	1
2. GENEL OLARAK ELEKTRONİK CİHAZLAR	4
2.1. Tarihsel Gelişim	4
2.2. Elektronik Elemanların İmalatı	7
2.2.1. Çip taşıyıcı	7
2.2.2. Anakartlar	9
2.2.3. Elektronik ekipmanlarda muhafaza.....	11
2.3. Elektronik Elemanlarda Soğutma Yüğü	12
2.4. Termal Çevre	15
2.5. Çiplerde Isı İletimi	16
3. PROBLEMİN TANITILMASI VE MATEMATİKSEL FORMÜLASYONU	19
3.1. Boyutlar	19
3.2. Malzeme Özellikleri	20
3.3. Sınır Şartları ve Matematiksel Formülasyon	21

	Sayfa
4. SAYISAL ANALİZ İÇİN MODEL OLUŞTURMA	31
4.1. Genel Olarak Sayısal Analiz	31
4.2. GAMBIT ile Problemin Üç Boyutlu Şeklinin Çizilmesi	33
4.3. FLUENT Programı ile Sıcaklık İncelemesi	40
4.4. ANSYS Programı ile Yapısal Analiz	52
5. SAYISAL ANALİZİN SONUÇLARI	66
5.1. Grid Bağımsızlığının İncelenmesi	66
5.2. Fluent ile İki Boyutlu Çözümde Elde Edilen Maksimum Sıcaklıklar	67
5.3. Fluent ile Üç Boyutlu Çözümde Elde Edilen Maksimum Sıcaklıklar	72
5.3.1. Altın kaplama kalınlığının maksimum sıcaklığa etkileri	73
5.3.2. Silikon kaplama kalınlığının maksimum sıcaklığa etkileri	74
5.3.3. Altın yerine bakır kullanılmasının maksimum sıcaklığa etkileri	75
5.3.4. Gücün maksimum sıcaklığa etkileri	76
5.3.5. Sürekli şartlarda üç boyutlu çözüm ile elde edilen farklı sonuçların görünümü	77
5.3.6. Fluent ile sıcaklığın zamana bağlı olarak incelenmesi	89
5.3.7. Fluent ile adiyabatik sınır şartı kullanılarak elde edilen çözüm	100
5.4. ANSYS Programı İle Elde Edilen Yapısal Analiz Sonuçları	102
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	124
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	130

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Farklı kalınlıktaki altın tabakalar için ısı üretimi(W/mm^3)	21
Çizelge 3.2. Hava boşluğu ısı transfer katsayıları	24
Çizelge 5.1. 0,4 milimetre silikon ve 2 mikrometre altın kaplamadan oluşan çip için farklı mesh yapılarıyla elde edilen maksimum sıcaklıklar	66
Çizelge 5.2. Fluent ile elde edilen sürekli ve süreksiz şartlardaki iki boyutlu çözüm için farklı kalınlıklar, malzeme ve güç için maksimum sıcaklıklar	68
Çizelge 5.3. Problem çözümü için kullanılan farklı boyut ve malzemeler	72
Çizelge 5.4. Fluent ile elde edilen sürekli ve süreksiz şartlardaki üç boyutlu çözüm için farklı kalınlıklar, malzeme ve güç için maksimum sıcaklıklar	73
Çizelge 5.5. 10 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikon tabakadan oluşan çipte 2W için hesaplanan sıcaklıkların hücre sayılarına göre dağılımı	84
Çizelge 5.6. 2 W güç için toplam ısı transferinin yüzeylere göre dağılımı	85
Çizelge 5.7. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakadan oluşan çip için 5 W güç ile zamana bağlı sıcaklık değerleri	90
Çizelge 5.8. Fluentte sürekli ve süreksiz şartlardaki üç boyutlu çözüm ile adiyabatik sınır şartı kullanılarak hesaplanan sıcaklıklar	101
Çizelge 5.9. ANSYS ile elde edilen sürekli şartlardaki üç boyutlu çözüm ile farklı kalınlıklar, malzeme ve güç için maksimum sıcaklıklar	103
Çizelge 5.10. ANSYS ve FLUENT ile sürekli şartlardaki üç boyutlu çözümde elde edilen maksimum sıcaklıklar	107
Çizelge 5.11. 2 mikrometre altın kaplama ve 0,4 milimetre silikon çip için toplam deformasyon, gerilme ve gerinmenin güce bağlı değişimi	112

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 5.12. 5 W güç için farklı kalınlıklar ve malzeme için toplam gerilme, deformasyon, ve gerinmenin değişimi	114
--	-----

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yıllar itibari ile işlemcilerin içerisine yerleştirilen transistörlerin sayısı	5
Şekil 2.2. Sıcaklıkla birlikte dijital cihazlarda hata oranının artışı	6
Şekil 2.3. Çip taşıyıcısının parçaları	7
Şekil 2.4. Yüksek güçle çalışan transistörler için çip taşıyıcısı	8
Şekil 2.5. İletim ile soğutulan bir kartta sıcaklık dağılımı	10
Şekil 2.6. Sisteme giren-çıkan güç ilişkisi	13
Şekil 2.7. Elektronik ekipmanlarda çalışma sıcaklığına ulaşma süreci	14
Şekil 2.8. DIP tipi çip taşıyıcısının iç geometrisi	16
Şekil 2.9. Çiplerde ısı iletim yolları	17
Şekil 3.1. İncelenecek çipin geometrik şekli	19
Şekil 3.2. Isıl gerilmelerin şekilsel ifadesi	27
Şekil 4.1. Koordinat sisteminde nokta oluşturulması	34
Şekil 4.2. Noktaların birleştirilmesi ile çizgilerin oluşturulması	35
Şekil 4.3. Çizgilerin birleştirilmesi ile yüzeylerin oluşturulması	35
Şekil 4.4. Yüzeylerin birleştirilmesi ile hacimlerin oluşturulması	36
Şekil 4.5. Kenar meshlerinin oluşturulması	37
Şekil 4.6. Yüzeyler için sınır koşulunun belirlenmesi	39
Şekil 4.7. Problemin Gambit ile oluşturulan görünümü	40
Şekil 4.8. Fluent programının menü görünümü	40
Şekil 4.9. Fluent ile şeklin okutulması	41
Şekil 4.10. Şeklin metrik sistemde ölçeklendirilmesi	42

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. Model için çözüm seçeneklerinin belirlenmesi.....	43
Şekil 4.12. Enerji denkleminin aktif hale getirilmesi	44
Şekil 4.13. Kullanılacak malzemelerin belirlenmesi	44
Şekil 4.14. Kullanılacak malzemelerin seçimi	45
Şekil 4.15. Sınır şartlarının oluşturulması için yüzey ya da kenar seçimi	46
Şekil 4.16. Sınır şartlarının belirlenmesi.....	47
Şekil 4.17. Çözüm için yakınsama kriterlerinin ve denklemlerin belirlenmesi	48
Şekil 4.18. Sistemin belirlenen sınır şartlarının aktif hale getirilmesi.....	49
Şekil 4.19. İterasyon için hassasiyetin belirlenmesi	49
Şekil 4.20. İterasyon sayısının belirlenmesi	50
Şekil 4.21. Sıcaklık konturlarının genel görünümü	51
Şekil 4.22. Hesaplanan sıcaklıkların seçilen yüzeylerde dağılımı	52
Şekil 4.23. ANSYS programının ana menü görünümü.....	53
Şekil 4.24. ANSYS Analiz yöntemimin belirlenmesi ekranı	53
Şekil 4.25. ANSYS' de modelin yapısal özelliğinin belirlenmesi	54
Şekil 4.26. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi	55
Şekil 4.27. Malzeme özelliklerinin görünümü	56
Şekil 4.28. Koordinat sisteminde noktaların belirlenmesi	56
Şekil 4.29. Hacimlerin birleştirilmesi ve ara yüzey oluşturulması	57
Şekil 4.30. Model için mesh işleminin yapılması	58
Şekil 4.31. Sınır şartlarının girilmesi.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 4.32. ANSYS çözücüsü ile sıcaklık konturlarının genel görünümü	60
Şekil 4.33. ANSYS çözücüsü ile şekil üzerinde sıcaklık değerleri.....	61
Şekil 4.34. ANSYS’de yapısal analiz için eleman tipinin değiştirilmesi	62
Şekil 4.35. ANSYS’de yapısal analiz için sıcaklıkların sisteme yüklenmesi	64
Şekil 4.36. ANSYS’de yapısal analiz sonuç görüntüleme ekranı	65
Şekil 4.37. ANSYS’de yapısal analiz sonucu gerilme genel görünümü	65
Şekil 5.1. Çipin mesh atılmış iki boyutlu görünümü.....	68
Şekil 5.2. 0,4 mm silikon 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çip için iki boyutlu ve üç boyutlu çözüm arasındaki fark.....	69
Şekil 5.3. 0,4 mm silikon 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile iki boyutlu çözümde oluşan sıcaklık konturlarının görünümü	70
Şekil 5.4. 0,4 mm silikon 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile sürekli şartlarda altın tabaka içinde sıcaklık dağılımı	70
Şekil 5.5. 1 mm silikon 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 15 W güç için sürekli şartlarda $x=0,00075$ m ‘de y-ekseni boyunca sıcaklık değişimi.....	71
Şekil 5.6. Altın malzeme kaplama kalınlığının maksimum sıcaklığa etkisi	74
Şekil 5.7. Silikon kaplama kalınlığının artırılması sonucu değişen maksimum sıcaklıklar	75
Şekil 5.8. Altın yerine bakır kullanılmasının maksimum sıcaklığa etkisi	76
Şekil 5.9 Gücün maksimum sıcaklığa etkisi	77
Şekil 5.10. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü	78

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının silikon ön yüzeydeki görünümü	79
Şekil 5.12. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyindeki görünümü	80
Şekil 5.13. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç için oluşan sıcaklık dağılımının altın yüzeylerdeki görünümü	80
Şekil 5.14. 1 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü	81
Şekil 5.15. 1 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyinde görünümü	82
Şekil 5.16. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü	82
Şekil 5.17. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyde görünümü	83
Şekil 5.18. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç için belli sıcaklık aralıklarında yer alan hücre sayıları	84
Şekil 5.19. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 5 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü	86
Şekil 5.20. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 5 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyindeki görünümü	87
Şekil 5.21. 1 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 10 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyindeki görünümü	87
Şekil 5.22. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre bakır tabakalardan oluşan çipte 15 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü	88

Şekil	Sayfa
Şekil 5.23. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 15 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımı altın üst yüzeyde görünümü.....	88
Şekil 5.24. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç için $x=0,00075$ m 'de y-ekseni boyunca sıcaklık değişimi	89
Şekil 5.25. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000001 sn deki sıcaklık konturları	92
Şekil 5.26. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000001 sn deki altın üst yüzeydeki sıcaklık dağılımı.....	93
Şekil 5.27. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000001 sn deki silikon ön yüzeydeki sıcaklık dağılımı.....	93
Şekil 5.28. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000002 s.'deki silikon ön yüzeydeki sıcaklık dağılımı.....	94
Şekil 5.29. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0001 s.'deki sıcaklık konturları	95
Şekil 5.30. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0002 s.' deki sıcaklık konturları	95
Şekil 5.31. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0003 s.' deki sıcaklık konturları	96
Şekil 5.32. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0005 s.' deki sıcaklık konturları	96
Şekil 5.33. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0005 s.' de silikon ön yüzeydeki sıcaklık dağılımı.....	97
Şekil 5.34. 5 W güç ile çalışan çip için 0 – 0,1s. aralığında sıcaklık değişimi	98
Şekil 5.35. 5 W güç ile çalışan çip için 0 – 11 s. aralığında sıcaklık değişimi	98
Şekil 5.36. 2 W güç ile çalışan çip için sürekli şartlarda iterasyon grafiği.....	99
Şekil 5.37. 2 W güç ile çalışan çip için zamana bağlı iterasyon grafiği.....	100
Şekil 5.38. Çipte üst ve yan yüzeyler yalıtıldığında ve doğal konveksiyon durumunda maksimum sıcaklıkların karşılaştırılması	101

Şekil	Sayfa
Şekil 5.39. 2 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda sıcaklık konturları	103
Şekil 5.40. 2 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda ısı akısı	104
Şekil 5.41. 5 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 1 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda vektörel ısı akısı	105
Şekil 5.42. 15 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda sıcaklıklar.....	106
Şekil 5.43. ANSYS ile 2 W güç için zamana bağlı sıcaklık değişimi	106
Şekil 5.44. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte x-ekseni yönündeki deformasyon.....	108
Şekil 5.45. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte y-ekseni yönündeki deformasyon.....	109
Şekil 5.46. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte z-ekseni yönündeki deformasyon.....	110
Şekil 5.47. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte toplam deformasyon	110
Şekil 5.48. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte toplam deformasyonun vektörel görünümü.....	111
Şekil 5.49. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu.....	112
Şekil 5.50. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu.....	113
Şekil 5.51. 5 W güç için farklı malzeme ve boyutların deformasyona etkisi.....	115
Şekil 5.52. 2 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çipte deformasyon ve gerilmenin güce bağlı olarak değişimi.....	115

Şekil	Sayfa
Şekil 5.53. 5 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte vektörel deformasyon	116
Şekil 5.54. 5 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerinme yoğunluğu	117
Şekil 5.55. 5 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu	117
Şekil 5.56. 10 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte deformasyon	118
Şekil 5.57. 10 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu	119
Şekil 5.58. 15 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte deformasyon	119
Şekil 5.59. 5 W güç için 1 milimetre silikon olan çipte deformasyon	120
Şekil 5.60. 5 W güç için 1 milimetre silikon olan çipte gerinme yoğunluğu	121
Şekil 5.61. 5 W güç için 10 mikrometre altın olan çipte vektörel deformasyon	121
Şekil 5.62. 5 W güç için 10 mikrometre altın olan çipte gerilme yoğunluğu	122
Şekil 5.63. 5 W güç için 10 mikrometre bakır olan çipte vektörel deformasyon	123
Şekil 5.64. 5 W güç için 10 mikrometre bakır olan çipte gerinme yoğunluğu	123
Şekil 6.1. Pentium 4. 2.8 Ghz. İşlemcinin bekleme durumu ve yük altında farklı soğutucular ile ulaştıkları maksimum sıcaklıklar	126
Şekil 6.2. Intel LGA 775 soğutucu ile Pentium 4 3.2 Ghz işlemci ve kasa içerisindeki sıcaklık değişimi	127

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

c	Öz ısı (j/kg.K)
E	Elastisite Modülü (GPa)
I	Akım (Amper)
k	İletkenlik (W/cm.K)
K	Sıcaklık (Kelvin)
q	Isı akısı (W/cm ²)
R	Isıl Direnç (K/W)
Re	Reynold Sayısı
W	Güç birimi (Watt)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ε	Gerinme (-)
α	Isıl Genleşme Katsayısı
σ	Gerilme (GPa)

Kısaltmalar

Açıklamalar

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CFD	Computational Fluid Dynamics
DIP	Dual In - line Package
ENIAC	Electronic Numerical Integrator and Comp.
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
SE	Sonlu Elemanlar

1.GİRİŞ

Modern yaşamın her alanında, oyuncaklardan bilgisayarlara kadar elektronik elemanların kullanımı yaygınlaşmıştır. Hepimiz işyerlerimizde, evlerimizde, otomobillerimizde ve benzer birçok alanda elektronik cihazlarla iç içe yaşamaktayız. Çoğu zaman kullanmakta olduğumuz bu cihazların hata vermesi veya çok yavaşlaması gibi nedenlerle sıkıntı yaşadığımızda, bu sistemlerin nasıl çalıştığı ve en çok hatanın neden kaynaklandığı konusunda pek de fazla bilgi sahibi olmadığımızı fark ederiz. Aslında bu hataların birinci nedeni sistemi meydana getiren küçük parçalardaki fazla ısınmadır. İşte bu çalışmada bütün elektronik sistemlerde ana işlevleri yerine getiren çiplerdeki sıcaklık artışları iletim boyutunda ele alınmıştır.

Sistemlerin bütün olarak güvenilir şekilde çalışması, onu meydana getiren her bir parçanın bu koşula uygun olarak çalışmasına bağlıdır. Elektronik elemanlar, elektrik akımının içlerinden geçmesi ile çalışırlar ve böylece potansiyel bir ısı üretici haline gelirler [1]. Akım geçmesinin devam etmesi ile birlikte ısı üretimi de devam eder. Eğer ısı bir geçiş yolu ile ısı kuyusuna atılamazsa sıcaklık giderek artacaktır. Burada ısı geçiş yolu zayıf ise elektronik eleman tahrip olacaktır ve akım duracaktır. Eğer ısı geçiş yolu iyi ise bir ısıl denge oluşuncaya kadar ve cihazdan atılan ısı üretilene eşit olana kadar sıcaklık artmaya devam edecektir.

Yine bu elemanların boyutlarında meydana gelen küçülme birim alandan daha fazla ısı üretimini ortaya çıkarmıştır [2]. Sistemin gücü arttıkça birim alana düşen ısı akısı artacaktır. Giderek boyutları küçülen sistemler için şu an yaygın olarak kullanılmakta olan hava yerine sentetik sıvılar ile soğutma teknolojileri geliştirilmektedir. Eğer doğru tasarım ve kontrol yapılmazsa sıcaklık, elemanların sağlıklı çalışmasını etkileyecek düzeyde artabilir. Bütün bunların ışığında elektronik ekipmanların tasarımı ve çalışmasında sıcaklık kontrolünün önemi ortaya çıkmaktadır [3].

Isı problemi sadece cihaz için bir sıcaklık limiti olmasından dolayı değil aynı zamanda sıcaklık artışının cihazda ortaya çıkabilecek hataları artırmasından dolayı da önemlidir. Bu yüzden paketleme teknolojisinin kullanımı ısı problemi çözümünden sonra olmalıdır [4]. Isı problemleri iki türlü ele alınabilir; birincisi ısıнын uygun bir ısı kuyusuna atılması gereği, ikincisi ise sistem için doğru kritik sıcaklığın belirlenmesidir [5].

Çiplerde güç 100 W'a kadar çıkmış ve paketleme teknolojisi kullanılarak çok katmanlı yapılar üretilmiştir. Bu malzemelerin iletkenlikleri oldukça yüksek olup, silikon ile birlikte kullanımları gereklilik haline gelmiştir [6].

Burada, elektronik cihazlarda bulunan çiplerin çalışmaları sırasında eriştikleri maksimum sıcaklık incelenerek, farklı çalışma şartlarında sıcaklıkların güvenilir seviyede olup olmadıkları araştırılmıştır. Aynı zamanda ısı gerilme analizi de yapılmıştır. Günümüzde kullanılan çip yapılarının iki tabakadan oluştuğu ve silikon bir tabakanın mikron seviyesinde altın ya da bakır ile kaplanmak suretiyle imal edildikleri bilinmektedir. Yine altın ya da bakır kullanımının, tabakaların kalınlıklarındaki artış ya da azalmanın, erişilen maksimum sıcaklığa etkileri de bu çalışmada araştırılmıştır.

Kompozit malzemelerden oluşan elektronik elemanların tasarımı için ısı iletiminin incelenmesinde, analitik çözümler, problemle ilgili olarak derin bir bakış açısı sağlasa da, sayısal çözümler kadar kısa sürede, daha fazla detayın elde edilmesini sağlamaları zordur. Böyle problemlerde sayısal çözümler üç boyutlu analitik çözümlerde zor elde edilebilecek ısı ve sıcaklık dağılımı ile ilgili hızlı bir bakış açısı sağlayabilirler [3].

Elektronik ekipmanların dizaynında yayılım ve emiş dirençlerinin hesaplanması için kapalı form çözümleri çok önemlidir. Bu konudaki analitik çözüm Keneddy tarafından ortaya konulmuştur [7]. Kendisi dairesel kesitli bir silindir için - bir ucu ısıtılan ve diğer ucu ise ısı kuyusu (heat sink) - asimetrik sıcaklık dağılımı elde etmiştir. Daha sonra ısı kuyusunun olduğu bölüme ısı

transfer katsayılarını içeren farklı sınır şartları da eklenerek yeni çalışmalar yapılmıştır [8].

Buna ek olarak araştırmacılar çok katmanlı yapıları incelemeye başlamışlar ve ısı transferini bu yapılarda araştırmışlardır. Burada silindirik yapılardan ziyade dikdörtgen kesitli yapılarda daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edildiği ortaya çıkmıştır. Ortotropik ve dikdörtgen kesitli çok katmanlı malzemelerin kartlarda kullanımının daha verimli olacağı ortaya konulmuştur. Isıtılan yüzeydeki birinci ve ikinci dereceden sınır şartları (sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı) ve ısı kuyusu tarafında ise üçüncü dereceden sınır şartları (çevre sıcaklığı ve konveksiyon ile ısı transferi) ele alınmış ve güç dağılımında birçok ısı akış yolları olduğu ortaya çıkmıştır. Yine bu çalışmada temas direncinin etkisi de dikkate alınmıştır [9]. Böyle bir çalışma mühendislere elektronik soğutmalarda daha doğru hesaplar yapabilme imkânı sağlamış ve daha önce Haji Sheikh ve Beck tarafından çok katmanlı yapılardaki ısı iletim çalışmasını tamamlayıcı olmuştur. Kendileri çok katmanlı elektronik yapılardaki süreksiz şartlarda ısı iletimini incelenmiştir [10]. Yine parametrelerin hesaplanması amacıyla Dowding iki boyutlu iki katmanlı bir malzeme için yüzeylere ısı akısı uygulanan sınır şartları için deneysel ve nümerik bir çalışma yapmıştır [11].

Bu çalışmada ise üst tabakanın altın alt tabakanın silikon olduğu iki katmanlı bir çip için farklı tabaka kalınlıkları ve 2 ila 15 W arasında değişen güç için Fluent Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) programı ile sayısal çözümler elde edilecek ve maksimum sıcaklıklar incelenmiş ve Ansys Programı kullanılarak deformasyon, ısıl gerilme ve gerilme analizi yapılmıştır.

2. GENEL OLARAK ELEKTRONİK CİHAZLAR

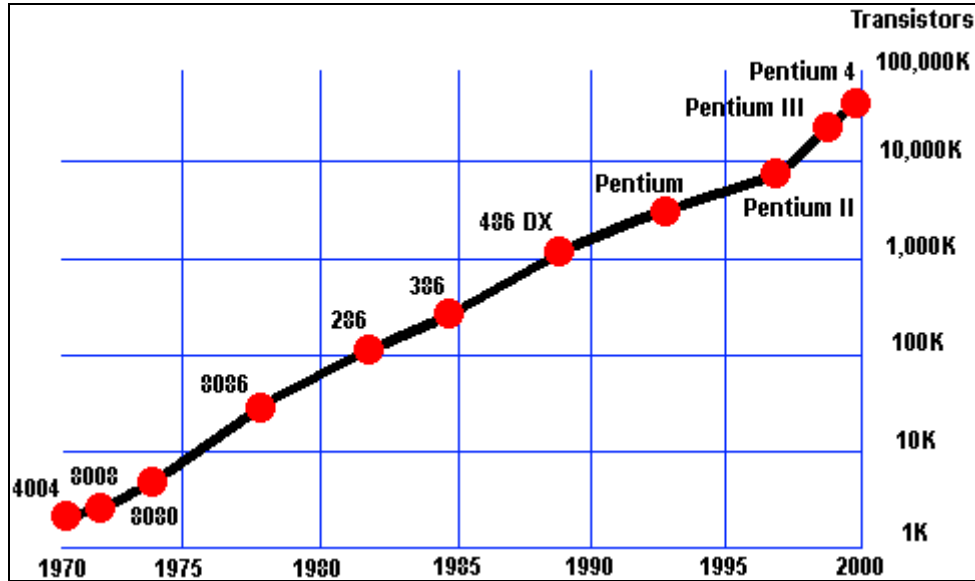
2.1 Tarihsel Gelişim

Bilgisayarlardan tutun cep telefonlarına kadar kullanılan mikro işlemciler dahil hemen bütün elektronik cihazlar ısı üretirler. Yapılan araştırmalar, tecrübe ve fizik kuralları cihazın sıcaklığının performansı ile direk olarak ilgili olduğunu ortaya koymuştur. Matematikçiler her 10 C° artışın hata oranını ikiye katladığını formüle etmişlerdir. Performans ve emniyet elektronik elemanların soğutulması ve bütün olarak sistemin özelliklerinin nasıl korunduğu ile ilgilidir. Bir ürünün yaşam çemberinde yeri ve kaynağı bilinmeyen ısı ana problem olarak karşımıza çıkacaktır [12].

Elektronik, vakum, gaz, ya da yarı iletken içerisinde akım geçen cihazların inşası ve kullanımı ile ilgilenen bir alandır. Mühendisliğin bu alanı 1883'lere kadar dayanır ki Thomas Edison bu tarihte vakum diyotunu bulmuştur. 1950'li yıllara kadar vakum tüpü elektronik endüstrisinin temelini oluşturmuş ve radyonun, televizyonun ve dijital bilgisayarların gelişmesinde ana rol oynamıştır. Bu yüzyılda üretilen elektronik cihazların en bilineni 1946 yılında Pensilvanya'da imal edilen ENIAC'tır (Electronic Numerical Integrator and Computer). ENIAC, 18.000'den fazla vakum tüpü olan, 7m x 14m' lik bir alanı kaplayan, çok büyük bir güç harcayan ve vakum tüplerinin yüksek hata oranlarından dolayı da güvenilirliği düşük olan bir sistemdi [13].

1948 yılında iki kutuplu transistörlerin bulunması ve vakum tüplerinin kullanışsızlığı ile birlikte elektronik alanında yeni bir dönem açılmıştır. Transistor devreleri, vakum tüplerinden daha güvenilir ve aynı fonksiyonu daha rahat yerine getiren, kıyaslandığında daha az yer kaplayan ve güç harcayan sistemler olmuşlardır. İlk transistor germanyum elemanından imal edilmiştir. Belli sıcaklıkların üzerinde hata oranı çok yüksektir. Sonrasında ise daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilen silikon kullanılmıştır.

Bir sonraki dönüm noktası 1959 yılında entegre devrelerin imalı ile olmuştur. Bu sistemde diotlar, transistörler, dirençler ve kondansatörler tek bir çipin içine yerleşmiştir. Bu sistemdeki bileşenlerin sayısı yıllar itibari ile hızlı bir şekilde artış göstermiştir (Şekil 1.1). Elektronik sistemlerin boyutlarında meydana gelen küçülme ile 1960'lı yıllarda 50–1000 ayrı elemanın yer aldığı entegre sistemler ortaya çıkmıştır. Bu sayı gitgide artmış, günümüzde 3cm x 3 cm alanı olan bir sistemde milyonlarca elemanın bulunduğu bir gerçektir. Ayrıca her yıl devre yoğunluklarının % 30 oranında arttığı bilinmektedir [14]. 1965 yılında Intel'in kurucularından Gordon Moore'un ortaya attığı Moore Yasası'na göre işlemcilerdeki transistör sayısı 18 ayda bir ikiye katlanır. Moore, bu yasanın sonraki on yıl boyunca geçerliliğini koruyacağını tahmin etmişti ama Intel bu yasayı günümüze kadar çiğnemediği devam ettirmeyi aşağıdaki grafikte de görebileceğiniz gibi başardı.



Şekil 2.1. Yıllar itibari ile işlemcilerin içine yerleştirilen transistörlerin sayısı

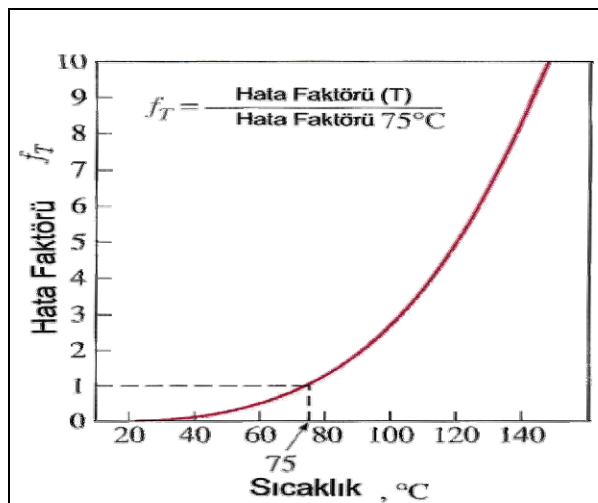
1970 li yıllarda INTEL firmasının mikro işlemcileri ortaya çıkarmasıyla birlikte yeni bir dönem başlamıştır. İnsanlar makul fiyatlara evlerinde, işyerlerinde yüksek kapasiteli bilgisayarları kullanmaya başlamışlardır. Saatlerden ev aletlerine veya otomobil endüstrisine kadar her alanda elektronik sistemler

kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde elektroniğin kullanılmadığı hemen hiçbir alan bulunmamaktadır.

Transistör ilk bulunduğu gazetelerde ısı üretmeyen cihaz olarak anılmıştır. Bir transistör tarafından ortaya çıkarılan ısı geçmişte benzer hiçbir eleman kadar çok olmamasına rağmen milyonlarca parçanın küçük bir hacme konulmasıyla elde edilmiş olan sistemlerde sıcaklık öyle seviyelere çıkmaktadır ki güvenli çalışması için soğutma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır [14].

Direnç gösteren bir elemandan akım geçtiği sürece ısı üretimi söz konusu olacaktır ve bu elemanın bağlı bulunduğu diğer bileşenlerde de sıcaklığın artmasına yol açacaktır ve eğer bu sıcaklık düşürülmezse çalışma duracaktır. Sistemden dışarı atılan ısı üretilen ısıya eşit olursa sıcaklık sabit kalacaktır.

Elektronik elemanların yüksek sıcaklıkta çalışmaları onlardaki hata oranını artırmaktadır. Muhtemel hata sebepleri yarı iletkenlerdeki difüzyon, kimyasal reaksiyonlar ve birleşen parçaların deformasyonu olabilir. Çalışma sıcaklığı ile hata oranı doğru orantılı olarak değişmektedir (Şekil 1.2). Elektronik elemanlarda kural olarak düğüm noktasındaki (junction) her 10 derecelik sıcaklık düşüşü hata oranını yarı yarıya azaltmaktadır [13].



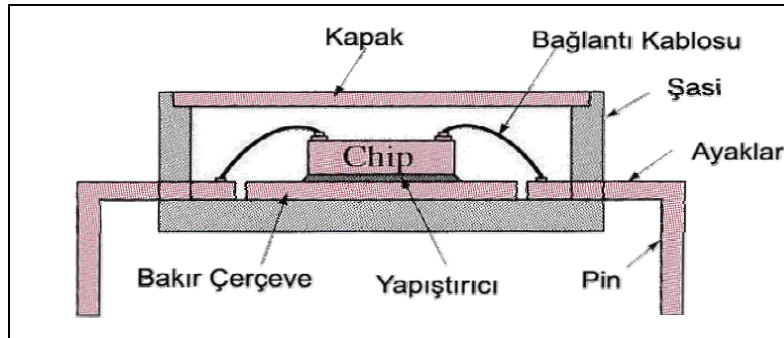
Şekil 2.2. Sıcaklıkla birlikte dijital cihazlarda hata oranının artışı [15]

2.2. Elektronik Elemanların İmalatı

Yarı iletkenlerin her iki bölümünün (p tipi ya da n tipi) birleşme yerindeki dar banda düğüm noktası (junction) denir. Örnek olarak transistörün iki düğüm noktası ve bir diodu vardır ki p-n yapısına sahip en basit yarı iletken olarak bilinir. Isı transferi analizlerinde ısının üretildiği ve elektronların hareket ettiği elektronik eleman devresi için düğüm noktası incelenmesi yapılır. Çünkü düğüm noktaları ısı üretim noktaları olup en sıcak noktalar buralarda oluşmaktadır. Silikon tabanlı yarıiletkenlerde sağlıklı çalışma sıcaklığı sınırlandırılmıştır. Bu yüzden düşük sıcaklıkta muhafaza edilen düğüm noktası sıcaklıkları elemanın ömrü ve çalışma verimliliği açısından önem arz etmektedir. Tipik bir uygulamada bir mikrometreden küçük çok sayıda elektronik eleman, çiplerin içerisine yerleşmiş olan silikon bir yapıdadır [13].

2.2.1. Çip taşıyıcı (chip carrier)

Çipler bir muhafazanın içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2.3). Bu taşıyıcı seramik, plastik ya da camdan yapılmış olup, çevrenin zararlı etkilerinden koruyacak şekilde tasarlanmıştır. Taşıyıcı, çipin imalatı esnasında ambalaj ya da nakliye için sağlam bir yer olanağı sağlar. Çip taşıyıcının tabanına yerleştirilerek korunmuştur. Plastiğin genleşmesi silikona göre 20 kat daha büyüktür. Çipin ısınmasıyla birlikte doğrudan plastiğe tespit edilmiş olan çipin burada meydana getireceği genleşme tamamen güvenilirliği tehlikeye sokacaktır.

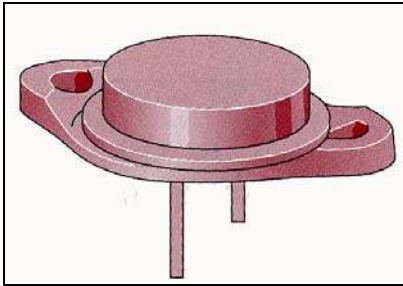


Şekil 2.3. Çip taşıyıcısının parçaları [16]

Bu yüzden çipin plastik ile birleşme yerinde bakırdan yapılmış bir çerçeve kullanılır. Elektronik elemanların sıcaklık kontrolü için ilk basamak çip taşıyıcısının tasarımıdır. Çünkü çip tarafından üretilen ısı ilk önce çip taşıyıcısının çerçevesine iletilmektedir.

Bu transfer iletim, taşınım ve radyasyonun bileşimidir. Çip taşıyıcısının tasarımında sıcaklık kontrolünden çok elektronik açıdan kullanılabilirliği göz önünde tutulmuştur. Öncelikle taşıyıcının boşluğu bir gaz ile doldurulur. Bu gazın ısı iletkenliği çok düşüktür. Ayrıca kullanılan malzeme de iletim açısından zayıftır. Bu nedenle çip ile taşıyıcısı arasındaki sıcaklık farkı yüksek olacaktır. Böyle bir durumda çip ile taşıyıcısı arasındaki ısı dirence “*çip-şasi direnci*” denir. Bu direnç hem çipin hem de taşıyıcının geometrisine, boyutuna bağlı olduğu gibi junctiondaki madde özellikleri de önemlidir. Direnç 10C/W ila 100 C/W arasında değişmektedir.

Taşıyıcı ile çip arasındaki boşluktaki nem istenmeyen bir durumdur çünkü kablo tertibatında korozyona sebep olacaktır. Bu yüzden taşıyıcı malzemenin nem geçirmeyen özellikte olması, hava ve su geçirmeyecek şekilde sımsıkı kapanmış olması gerekmektedir. Bu tür sızdırmazlık gereken durumlarda plastik muhafazalardan ziyade seramik olanların kullanılması gerekmektedir.



Şekil 2.4. Yüksek güçle çalışan transistörler için çip taşıyıcısı [16]

Yüksek güçlü transistörler için taşıyıcılar genellikle Şekil 2.4 de görüldüğü gibidir. Disk şeklindeki bir muhafazanın içerisine yerleştirilmiş bir silikon çip ve I/O pinleri tabandan çıkmış vaziyettedir. Muhafazanın içerisine birden

fazla ip yerleştirilmesi genellikle tercih edilir. Bu oklu ip (multichip) ya da hibrit paket (hybrit package) 'tır. Bu tür yapılar da çeşitli devre elemanları bir taşıyıcının içerisinde birliktedirler. Böylece kablolama masrafı da azaltılmış olacaktır.

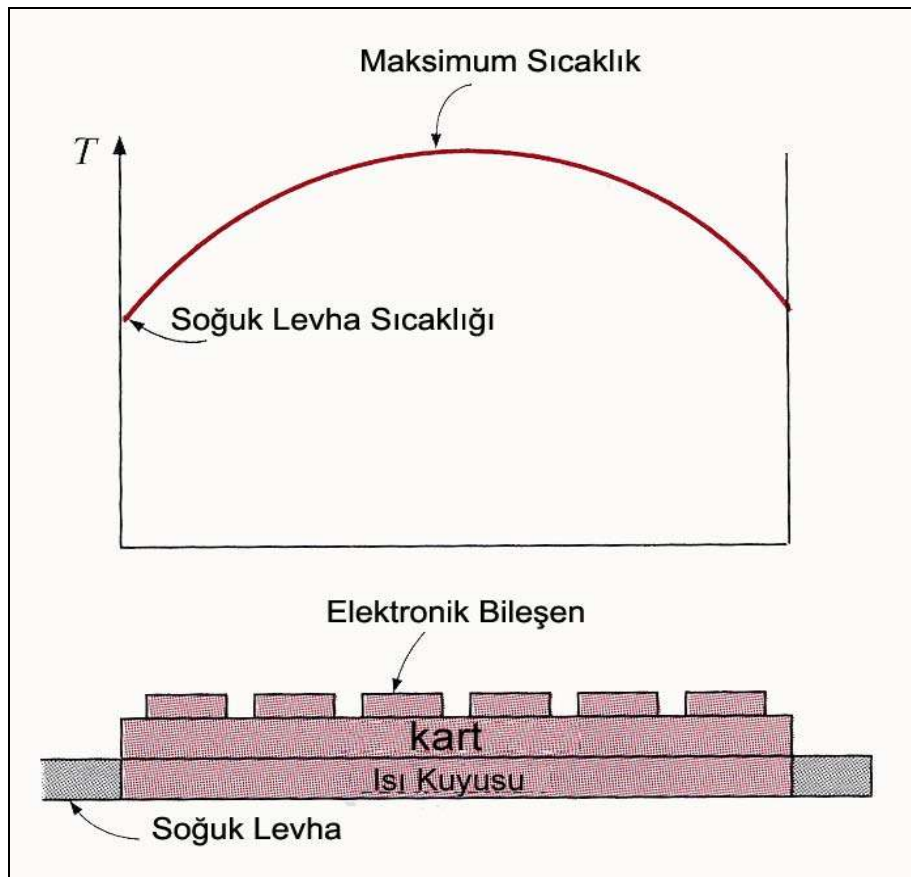
2.2.2. Anakartlar

Ana kartlar, polimer ya da cam-epoksi 'den yapılmış üzerlerinde birçok elektronik eleman ihtiva eden (diotlar, kapasitörler, dirençler, vs.), muntazam olarak kablo tesisatı çekilmiş, kısaca kart olarak da anılan yapılardır. 10 cm x 15 cm boyutlarında pek çok rneği vardır. Çok ince olmalarından dolayı (birkaç mm) ağır elemanlar için kullanışlı değillerdir (Transformatörler gibi). Kartların her iki yüzeyine ya da bir yüzeyine bakır kaplama yapılabilir. 5 W ila 30 W arasında bir g yayarlar. Tipik bir elektronik sistem çeşitli kartlar ihtiva eder. Genellikle kartlar hava gibi bir akışkan ile direkt olarak soğutulurlar. Ama sızdırmaz kapalı bir muhafazanın içerisinde ise soğuk bir levha ile temas ettirilerek de soğutma sağlanabilir. Burada söz konusu olan direnç “*cihaz-kart ısıl direnci*” olarak anılır [13]. Kartın inceliğinden ve malzemenin az iletken özelliğinden dolayı burada söz konusu olan temas direnci 20 ila 60 C/W arasında değişmektedir. Bu tür durumlarda tek taraflı bir bakır kaplama bile bu direnci azaltacağından, ısı transferi artacaktır.

Kartların tasarlanması özellikle yüksek sıcaklıklara dayanıksız olan bileşenlerin üzerinde titizlikle durulması gerekmektedir. rnek olarak yüksek performanslı kapasitörler verilebilir. Bu kartların üzerindeki herhangi bir bileşen arızalandığında kartı tamamen değiştirmek gerekebilir. Kartları üç ayrı grupta inceleyebiliriz; tek taraflı, çift taraflı, çok katmanlı. Her tipin kendine has zayıf ve güçlü tarafları vardır. Tek taraflı kartlar genellikle az bileşenden oluşurlar (10–20 eleman). Çift taraflı kartlar orta yoğunlukta bileşenden oluşan yapılar için uygundur. Çok katmanlı kartlar ise birçok devreyi ihtiva ederler. Bunlar çok yoğun bileşenleri olan sistemler için uygundur ve birkaç kartın sandviç yapıda birleşmiş haline eşdeğerdir.

Tek taraflı kartlar en ucuz olanlarıdır fakat çok yer kaplarlar. Çok katmanlı kartların ise çok sayıda bileşenleri vardır ve az yer kaplarlar. Tamir edilmeleri çok zordur ve maliyeti yüksektir. Sıcaklıklar ise çok katmanlı kartlarda daha yüksektir.

Kritik uygulamalarda elektronik elemanlar karta iletken bir metal vasıtası ile bağlanırlar ve buna ısı çerçevesi (*heat frame*) adı verilir. Bu çerçeve karttan soğuk tabakaya bir iletim hattı oluşturur. Bu tür kartlar iletimle soğutulan kartlar olarak anılırlar. Bu tür durumlarda bileşenlerin kart üzerindeki yerleşim yerleri önemlidir. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi kenarlardaki elemanların sıcaklıkları düşük, ortadaki elemanların yüksek olacaktır.



Şekil 2.5. İletim ile soğutulan bir kartta sıcaklık dağılımı [17]

Kartların imalinde önemli olan hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Elektrik açısından yalıtkan
- 2- Isı açısından iyi iletken
- 3- Dayanıklı, maliyeti düşük
- 4- Bakıra yakın ısı genleşme katsayılı (bakır kaplama ile olan ısı etkileşimi önemli)
- 5- Nem emilişine karşı dayanıklı
- 6- Elektronik uygulamalarda ortaya çıkan sıcaklıklara dayanıklı
- 7- Üretilebilir ve bulunabilir

Fakat bir malzemede bütün bu özelliklerin bir arada olması çok zordur. Cam ve epoksiden ya da polymitten oluşmuş katmanlı kartlar çeşitli örgülü yapıda cam katmanlarla güçlendirilmişlerdir. Polymit olanlar epoksiye oranla daha pahalıdırlar fakat yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdırlar. Yine polymit ya da polymer tabakalar güçlendirme kullanılmadan da esnek kartlar için kullanılırlar.

2.2.3. Elektronik ekipmanlarda muhafaza

Elektronik sistemler; kartları ve diğer bileşenleri içerisinde muhafaza edecek, onları zararlı etkilerden koruyacak ve yerleşmelerini sağlayacak kapalı muhafazalar olmadıkça tam sayılmazlar. Aynı zamanda bu muhafaza onların soğutulması için de gereklidir.

Bilgisayar örneğini ele alacak olursak; metal bir muhafaza ve bir fan kullanılabilirken, yüzlerce kartın yerleştirildiği daha karmaşık sistemlerde elektronik ve ısı tasarımcılarının yardımıyla farklı muhafazalar dizayn edilir. Muhafazalar hem tamir ve değiştirme için parçalara ulaşabilirliği sağlarken hem de yetkili olmayan kişilerin sistemlere zarar vermesini engelleyecek ve kazalara sebebiyet vermeyecek tarzda olmalıdır. Elektronik sistemler genellikle düşük voltaj ile çalışırlar (örneğin 15V), fakat akım yüksektir (birkaç yüz amper gibi). Sistemin güvenilir çalışması sistemi meydana getiren parçaların güvenilir çalışmasına bağlıdır.

Sistemlerde soketli olan kartlar deęiřtirme açısından çok kolaydırlar ve dūřuk gūte çalıřan sistemlerde iře yararlar. Yūksek gūte çalıřan kartlarda ise sistemler sıkıca muhafazaya baęlanmıřlardır. İyi dizayn edilmiř bir muhafazalarda dūęmeler, ıřıklar, mesaj panosu vs. gibi sistemler de vardır.

Būyūk sistemlerde kartlar arka panele baęlantılıdırlar. Arka paneldeki kablolama sistemi sayesinde bir karttan bir karta geçiř saęlanır ve gū de buradan alınır.

2.3. Elektronik Elemanlarda Soęutma Yūkū

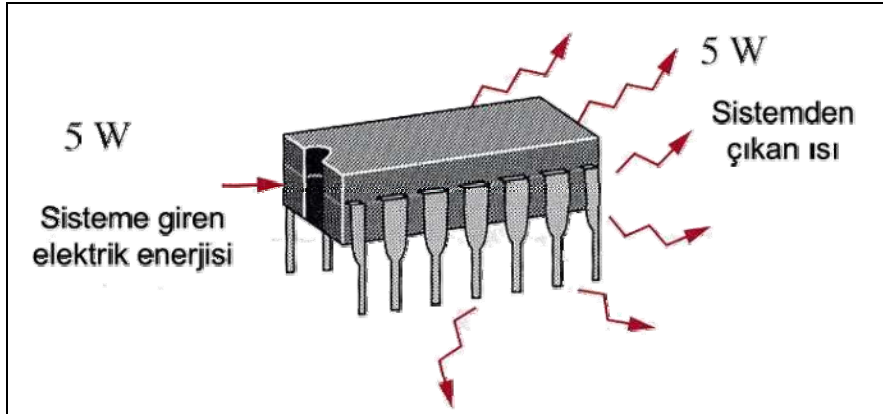
Soęutma sistemlerinin dizaynı ve seçimindeki ilk ařama ısı daęılımının hesaplanmasıdır ve bu da soęutma yūkūnū belirler. Sistemdeki gū daęılımını bulmanın en kolay yolu sisteme tatbik edilen V voltajı ve I akımını bulmaktır. Bunları bulurken sistemdeki maksimum yūkleme yi gūz ardı etmemek gerekir.

Bu durumda; $W = V.I = I^2R$ olacaktır. Burada W sistemin tūkettięi gūcū gōstermektedir. Termodinamięin ilk kuralı sisteme giren enerjinin sūrekli řartlarda çıkan enerjiye eřit olmasıdır.

Eęer istemden çıkan tek enerjinin ısı olduęunu dūřūnūrsek bu durumda sisteme giren enerji ısı yūkūne ya da soęutma yūkūne eřit olacaktır. (řekil 2.6) Fakat bu kuralı ihlal eden tek gerçek bu gūcūn sadece ısı olarak ortaya çıkmamasıdır. Mesela radar, TV veya Radyolardaki emici tūplerin elektro manyetik radyasyonları örnek olarak verilebilir.

Bu durumda ısı yūkū RF nin gū emisyonu ile giren gūcūn farkı kadar olacaktır. Soęutma yūkūnūn hesaplanmasında zor bir metot da sistemdeki her bileřeni tek tek incelemek ve sonra toplamaktır. Fakat bunun gerçekten zor olduęu dūřūnūldūęūnde sistemdeki parçaları tek tek incelemek yerine soęutma yūkūnūn būtūn cihaz için bulunarak incelenmesi daha kolaydır.

Oda sıcaklığında çalışan süper iletkenlerin bulunmasıyla birlikte elektronik ekipmanların soğutma ile ilgili tekniklerinde ve tasarımında büyük değişiklikler olmuştur. Sonuç olarak daha küçük alanlara daha çok bileşen yerleştirilebilmekte, daha hızlı ve güvenilir çalışma elde edilebilmektedir.

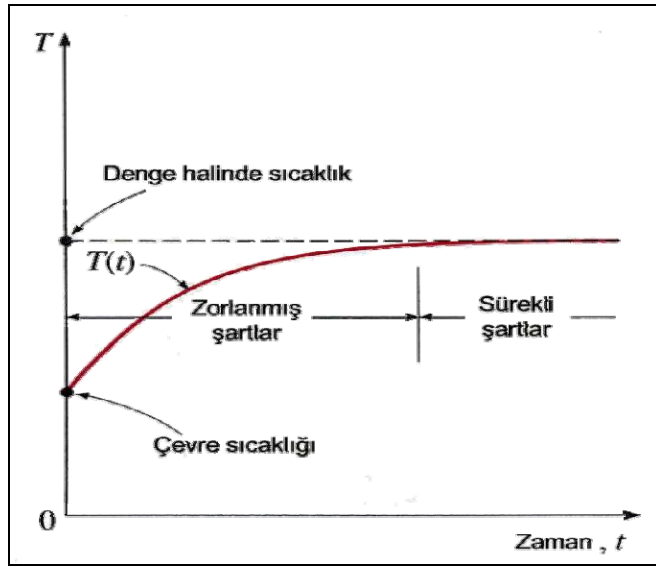


Şekil 2.6. Sisteme giren-çıkan güç ilişkisi (Diğer enerji etkileşimleri ihmal edilmiş.)

Soğutma yükünün hesaplanmasından sonra bir marjın belirlenmesi gerekir. Soğutma amacıyla pahalı ve kompleks sistemler kullanmak yerine eğer yetiyorsa basit ve ucuz sistemlerin kullanılması gerekir. Mesela basit bir fan soğutma amacıyla yeterli ise daha büyüğünü koymanın bir anlamı yoktur. Unutulmamalıdır ki yeterli ise en ucuz sistem doğal konveksiyon ile olan soğutmadır. Gürültü, yer işgali ve maliyet açısından en ideali budur. Soğutma sistemleri tasarlanırken gerçek çalışma koşulları göz önünde bulundurulmalıdır.

Görev çemberi (duty cycle) ise bir başka tasarım kriteridir. Görev çemberine bağlı olarak bir cihazın tükettiği güç hesaplanandan daha az olabilir. Örneğin 5 W lık bir transistör % 40 oranında aktif ise 2 W lık bir güç tüketir. Transistor ün çipi 1,5 mm x 1,5 mm boyutlarında ve 0,1 mm kalınlığında ise çipin üzerinde ısı akısı $2 \text{ W} / (0,15 \times 0,15 \text{ cm})^2 = 89 \text{ W/cm}^2$ olacaktır [13]. Fakat model oluşturulurken ele alacağımız çipte çip ısı üretim yeri olarak ele alınacaktır.

Çalışmayan bir cihaz çevreyle ısı denge halindedir. Sıcaklığı çevre sıcaklığıdır. Çalışmaya başladığında ısı üretiminden dolayı sıcaklığı artmaya başlar ve soğutma sisteminin attığı ısı, üretilen ısıya eşit olduğu zaman sistem ısı dengeye ulaşacaktır ve bu şartlara sürekli çalışma şartları denir. Sıcaklığın arttığı periyot ise zorlanmış (transient) şartlar olarak adlandırılır. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7. Elektronik ekipmanlarda çalışma sıcaklığına ulaşma süreci [18]

Elektronik elemanın güvenilirliğini olumsuz etkileyen bir başka faktör ise sıcaklık çemberinin oluşturduğu ısı stresleridir. Deneysel bir çalışmada sıcaklık çemberinde 20 C lik bir artışın hata oranını 8 kat artırdığı gözlemlenmiştir. Elektronik elemanın tasarım ve imalatında diğer bir husus ise şok ve titreşimdir ki bunlar da güvenilirliği olumsuz etkiler [18].

Birçok elektronik alet uzun zaman çalışır ve bunların soğutma sistemleri sürekli şartlar için tasarlanmıştır. Fakat bazen aletler sürekli şartlara ulaşacak kadar uzun süre işlem yapmayabilirler. Böyle durumlarda sınırlandırılmış bir soğutma tekniği kullanmakta fayda vardır. Örneğin kısa bir süre için ısı depolama veya birini hiç kullanmamak gibi. Zorlanmış şartlardaki cihazın sıcaklığının artış gösterdiği periyotta soğutma tekniği olarak sistemin

muhafazası çift katlı duvar şeklinde yapılabilir. Bu iki duvarın arasına balmumu konulmak suretiyle olur. Balmumumu erimeye başladığında çevre sıcaklığını emecek ve cihazın sıcaklığının belli bir seviyeyi aşması engellenecektir. Cihaz kapatıldığında ise balmumu katılaşacak ve ısını çevreye verecektir.

2.4. Termal Çevre

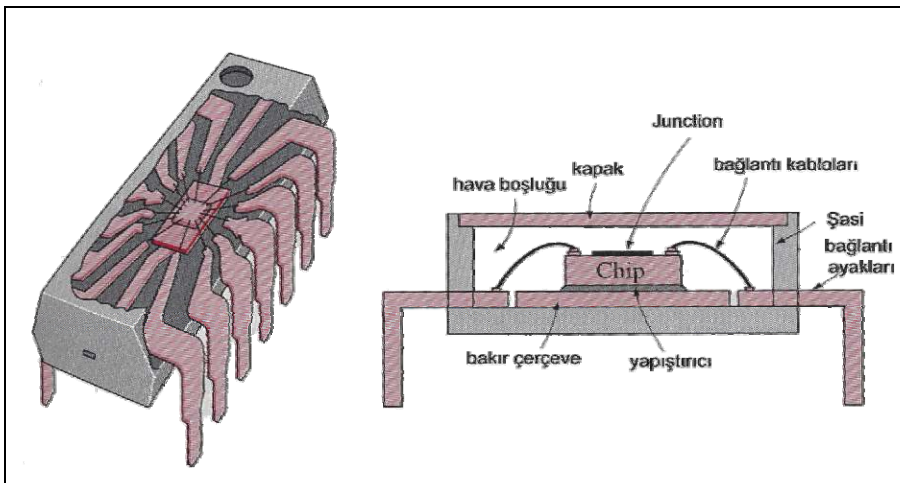
Elektronik ekipmanların soğutma tekniğinin belirlenmesinde cihazın çalıştığı şartları çok iyi bilmek gerekmektedir. Bazı cihazlar için örneğin TV vs. muhafazanın üzerinde bulunan delikler yeterli olabileceği gibi bir bilgisayar için fan kullanılması gerekebilir. Fakat bir uzay mekiğini ele alacak olursanız ve saniye saniye bütün şartların değiştiği göz önünde tutulursa, tasarımcılara daha fazla iş düşmektedir. Çalışma koşullarının zorluğu ve süresi de tasarımcılar için dikkate alınması gereken bir unsundur. Çok kısa sürede işlevini tamamlayan füzeler ile uzun süre görev yapan uçaklar uzay mekikleri için termal kontrolleri açısından farklılık gösterir. Yukarıdaki örneklere kıyasla deniz altılarda ise daha sabit koşullar mevcuttur. Suyun sıcaklığı 0 ila 30 derece arasında değişmektedir. Su burada ısı emici görevini üstlenir. Dışarıdaki diğer uygulamalarda ise ısı emici olan hava, yani atmosferdir. Bu durumda daha farklı bir sıcaklık aralığı mevcuttur. Kutuplarda – 50 C olabileceği gibi çöllerde + 50 C olabilmektedir. Basınç açısından değerlendirildiğinde ise 3.000 m yükseklikte 70 kPa olabileceği gibi 500 m deniz seviyesinin altında 107 kPa olabilir. Taşınım ve radyasyon katsayıları ılık havada 10 W/m² iken rüzgârlı bir havada 80 W/m² (100 km/saat rüzgar hızı) olmaktadır. Yine çalışan bir cihazın güneşe bakan yüzü, açık havada 1000 W/m² lik bir ısı akısına maruz kalabilmektedir [13]. Bazen elektronik ekipmanlar çevresel değişimlerin geniş aralıklarda olmasından dolayı kontrol edilemeyen şartlara maruz kalabilirler. Böyle durumlarda çevre ile ekipman arasında hava, su ya da di-elektrik bir sıvı kullanılır. Havalandırma; tercih edilen bir soğutma ortamıdır, Fakat havanın düşük iletim katsayısından dolayı yüksek güçteki cihazlar için kullanışlı değildir.

2.5. Çiplerde Isı İletimi

Elektronik ekipmanlarda içlerinden geçen akım ile birlikte ısı üretiminden söz edilir. Bu durum cihazın sıcaklığında bir artış meydana getirecektir. Yükselen bu sıcaklık termal direnci az olan geçiş yollarından iletilecektir. Burada sıcaklık artışı, iletilen ısı üretilen ısıya eşit olana kadar devam edecektir. Cihazlarda sıcaklıkların yükselmesini engellemek için verimli ısı geçiş yolları yapılmalı ve bu sayede ısı ısı kuyusuna taşınmalıdır ki bu geçiş ve taşıma yolu genelde havadır. Soğutma sistemi üretilen ısıya miktarına, güvenli çalışma koşullarına, çevresel etkilere ve maliyete bağlıdır. Genellikle ucuz sistemlere ucuz soğutma teknikleri, pahalı sistemlere pahalı soğutma teknikleri kullanılmaktadır.

Bir elektronik sistemin iletim analizi ısıya üretilen yer olan mikroçiplerden başlamaktadır. İletimi çip seviyesinde analiz etmek için bir iki kutuplu (dual in - line package) DIP tip bir çip taşıyıcısını ele alabiliriz. (Şekil 2.8.)

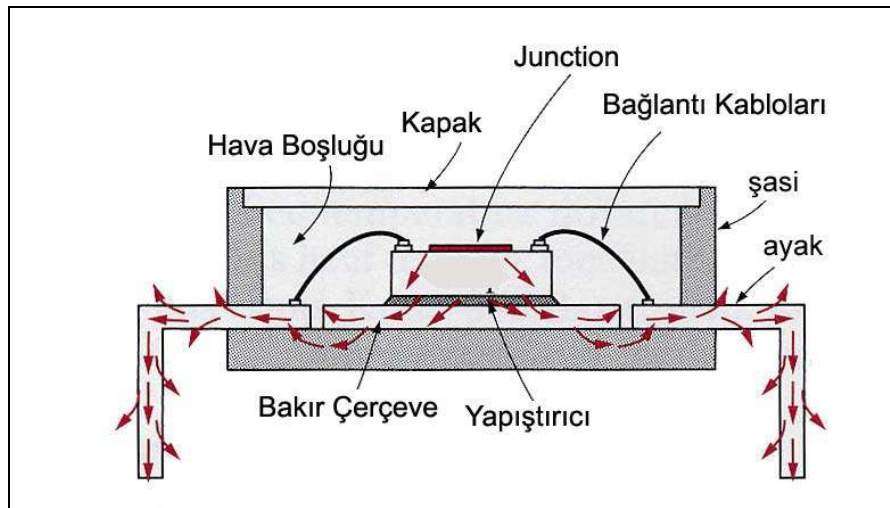
Çipin merkezinde düğüm noktasında (junction) üretilen ısı çip içerisinden geçerek iletilir. Çipin düğüm noktasından çipe dağılan ısı doğal olarak üç boyutludur. Fakat ısı direnç ağına ilave bir direnç “*sınırlayıcı ısı direnç*” (*constriction thermal resistance*) eklenerek bir boyutlu olarak ele alınabilir.



Şekil 2.8. DIP tipi çip taşıyıcısının iç geometrisi [16]

Çip, bakır çerçeveye yüksek iletken bir malzeme ile bağlanmıştır. Bu da ısının az dirençli bir yoldan bakır çerçeveye iletilmesine imkân sağlar. Bağlantı ayakları ile bakır çerçeve arasında metal bir bağlantı yoktur. Çünkü bu kısa devre olmasına neden olurdu. Bu durumda bakır çerçeveden bağlantı ayaklarına olacak olan ısı transferi seramik ya da plastik malzemedan yapılmış ve di-elektrik olan şasi yoluyla olacaktır. Daha sonra ayaklar vasıtasıyla ısı elektronik cihazın dışına atılabilecektir.

Bir ısı transferi problemi çözülürken bazı kabuller yapılarak problem daha basit hale getirilebilir. Bu kabuller ana ısı iletim yolu ve diğer yönlerdeki ısı transferinin büyüklüğü ile ilgilidir. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9. Çiplerde ısı iletim yolları [16]

Burada karşımıza çıkan çip taşıyıcısının direncindeki azalmanın düğüm noktası sıcaklığına çok etki edeceğidir. Bu durumda ilk ele alınması gereken kısım plastik olan kısımdır. Bunun yanında yapıştırıcı ve bakır çerçeve için dirençlerin çok az olmasından dolayı düğüm noktası sıcaklığına olan etkileri ihmal edilebilecek kadar azdır.

Çip-Şasi arasındaki direnç analitik olarak hesaplanması karışık ve zordur. Bu yüzden üreticiler bu direnci deneysel olarak bulurlar ve bunu ürün ile birlikte listelerler.

DIP tipinde bir çip için düğüm noktası ve çevre arasında toplam direnç hava hızı arttıkça ve bağlantı ayaklarının sayısı arttıkça azalmaktadır. Buda düğüm noktası sıcaklığındaki azalma anlamına gelir.

Buradan itibaren çipler ve elektronik elemanlardaki soğutma konularında verilen genel bilgiler sonrası ele aldığımız çipin boyutları, özellikleri ve çözüm ele alınacaktır.

3. PROBLEMİN TANITILMASI VE MATEMATİKSEL FORMÜLASYONU

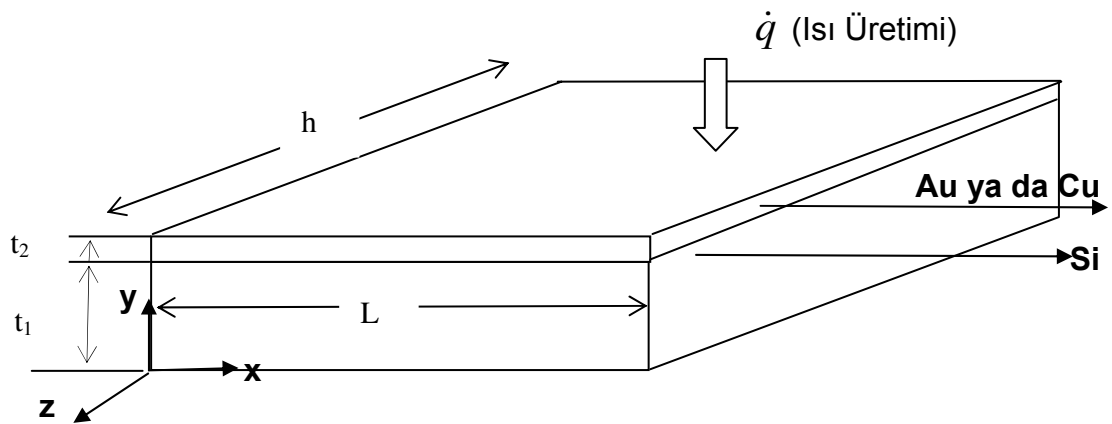
Daha önce de belirtildiği gibi çiplerin düğüm noktası sıcaklıklarının artması sonucu hata oranlarında görülen artış bu konudaki araştırmaları yoğunlaştırmış ve malzeme kalınlıkları, boyutlar ve üretilen güç kontrol altında tutulması gereken önemli faktörler olarak karşımıza çıkmıştır.

Bu çalışmada Şekil 3.1'deki ölçüleri ve sınır şartları verilen çip incelenmiş ve malzeme seçiminin, kalınlıklarının ve gücün oluşan maksimum sıcaklık üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Ayrıca sıcaklık artışının malzeme üzerinde deformasyon, gerilme ve gerinme etkileri de incelenmiştir. Model oluşturulurken sadece çip ele alınmış, çipin içerisinde yer aldığı muhafaza ve kasa gibi ortamlar incelemeye dahil edilmemiştir.

3.1. Boyutlar

L : 1,5 mm h : 1,5 mm t_1 : 0,4 mm t_2 : 0,002 mm

Ayrıca t_2 kalınlığı farklı durumlar için 0,01 mm ve t_1 kalınlığı ise 1 mm olarak değiştirilip sonuç elde edilmiştir.



Şekil 3.1. İncelenecek çipin geometrik şekli

3.2. Malzeme Özellikleri

Literatürde araştırması sonucu çiplerde kullanılan malzemelerin; altın, bakır ve silikondan oluştuğu belirlenmiştir. Çizilen şeklin alt bölümü silikon malzeme ve üst bölümü altın ya da bakır olarak incelenmiştir. Söz konusu malzemelerin kalınlıkları değiştirilerek bu değişikliğin maksimum sıcaklığa ve deformasyon-gerilme-gerinmeye olan etkileri araştırılmıştır.

Altın Malzemenin Özellikleri:

$$\rho = 19.320 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$c_p = 129,81 \text{ J} / \text{kg.K}$$

$$k = 297,73 \text{ W} / \text{m.K}$$

$$\alpha = 14,2 \times 10^{-6} \quad (\text{ısı genleşme katsayısı})$$

$$\nu = 0,33 \quad (\text{Poisson oranı})$$

$$E = 79,87 \text{ GPa} \quad (\text{Elastisite Modülü})$$

Bakır Malzemenin Özellikleri:

$$\rho = 8.978 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$c_p = 381 \text{ J} / \text{kg.K}$$

$$k = 387,6 \text{ W} / \text{m.K}$$

$$\alpha = 17,6 \times 10^{-6} \quad (\text{ısı genleşme katsayısı})$$

$$\nu = 0,33 \quad (\text{Poisson oranı})$$

$$E = 80 \text{ GPa} \quad (\text{Elastisite Modülü})$$

Silikon Malzemenin Özellikleri:

$$\rho = 2.300 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$c_p = 664 \text{ J} / \text{kg.K}$$

$$k = 83,7 \text{ W} / \text{m.K}$$

$$\alpha = 4,2 \times 10^{-6} \quad (\text{ısı genleşme katsayısı})$$

$$\nu = 0,28 \quad (\text{Poisson oranı})$$

$$E = 19,28 \text{ GPa} \quad (\text{Elastisite Modülü})$$

3.3. Sınır Şartları ve Matematiksel Formülasyon

Taban sıcaklığı (silikon bölümde) 27 C° (300 K) sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Bunun nedeni silikon çipin altında bulunan plastik şasinin iletkenliğinin çok düşük olmasından dolayı (1 W/m.K) çip tabanından bu yönde olan ısı transferinin ihmal edilebilecek düzeyde olmasındandır. Çevre sıcaklığının 300 K olduğu varsayılarak tabanın bu sıcaklıkta sabit olduğu varsayılmıştır.

Çiplerin işletim şartlarına göre 2 ila 10 W arasında güç tüketebildikleri varsayıldığında bu aradaki değerler için inceleme yapılabilir. Ayrıca son zamanlarda sıkça kullanılmaya başlanan ve sisteme normalden fazla akım vermek suretiyle hızını artırmayı amaçlayan “hız aşırma” (overclocking) işlemi sonucunda elde edilebilecek maksimum sıcaklıkların hesaplanması için 15 W güç için de çözüm elde edilmiştir. Çalışmada altın tabaka ısı üretim yeri ve işlevi yerine getiren ana parça olarak ele alınmış ve modellenmiştir. Burada sınır şartı yerine altın tabaka için W/m³ cinsinden ısı kaynağı olarak büyüklükler girilmiştir.

Çizelge 3.1 Farklı kalınlıktaki altın tabakalar için ısı üretimi (W/mm³)

Altın Tabaka Kalınlığı	2 W W/mm ³	5 W W/mm ³	10 W W/mm ³	15 W W/mm ³
2 mikrometre	4,44 E+2	1,11E+3	2,22E+3	3,33E+3
5 mikrometre	1,78E+2	4,44E+2	8,89E+2	1,33E+3
10 mikrometre	88,9	2,22E+2	4,44E+2	6,67E+2

Genel ısı iletim eşitliğini yazacak olursak;

$$\nabla^2 T + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.2)$$

Bu denklem Fourier-Biot denklemi olarak adlandırılmaktadır. Burada $\alpha = k/\rho c$ “*termal yayılım*” olarak adlandırılır [19]. Sistemi sürekli şartlarda inceleyeceğimiz zaman sağdaki terimi sıfır olarak kabul etmemiz gerekmektedir. Bu durumda denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = 0 \quad (3.3)$$

Sınır şartlarını yazacak olursak;

Silikon Malzeme için;

$$1- \quad x=0 \text{ için } -k_{si} \frac{dT}{dx} = h_{si} \cdot (T_{si} - T_{\zeta})$$

$$2- \quad x=L \text{ için } -k_{si} \frac{dT}{dx} = h_{si} \cdot (T_{si} - T_{\zeta})$$

$$3- \quad y=0 \text{ için } \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \quad T = 300 \text{ K}$$

$$4- \quad y = t_1 \text{ için (ara yüzeyde) } T_1 = T_2 \text{ ve } k_{si} \frac{\partial T_1}{\partial y} = k_{au} \frac{\partial T_2}{\partial y}$$

$$5- \quad z=0 \text{ için } -k_{si} \frac{dT}{dx} = h_{si} \cdot (T_{si} - T_{\zeta})$$

$$6- \quad z=h \text{ için } -k_{si} \frac{dT}{dx} = h_{si} \cdot (T_{si} - T_{\zeta})$$

Silikon tabaka için herhangi bir ısı üretimi söz konusu olmadığından ısı iletim denklemini aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (3.4)$$

Altın veya Bakır Malzeme için

Altın/bakır tabaka içerisinde ısı üretimi söz konusu olup genel ısı iletim denklemindeki ısı üretim terimi dikkate alınacaktır.

- 1- $x=0$ için $-k_{au} \frac{dT}{dx} = h_{au} \cdot (T_{au} - T_{\varsigma})$
- 2- $x=L$ için $-k_{au} \frac{dT}{dx} = h_{au} \cdot (T_{au} - T_{\varsigma})$
- 3- $y = t_1$ için (ara yüzeyde) $T_1 = T_2$ ve $k_{si} \frac{\partial T_1}{\partial y} = k_{au} \frac{\partial T_2}{\partial y}$
- 4- $y = t_2$ (üst yüzey) $-k_{au} \frac{dT}{dx} = h_{au} \cdot (T_{au} - T_{\varsigma})$
- 5- $z=0$ için $-k_{au} \frac{dT}{dx} = h_{au} \cdot (T_{au} - T_{\varsigma})$
- 6- $z=h$ için $-k_{au} \frac{dT}{dx} = h_{au} \cdot (T_{au} - T_{\varsigma})$

Burada yüzeylerdeki ısı transfer katsayıları (h) yüzeyin şekline, yüzeyin sıcaklığına ve çevre koşullarına bağlı olarak belirlenen bir katsayıdır. Literatür araştırmasında çip içerisinde yer alan boşlukta durağan hava olduğu düşünüldüğünde etrafı kapatılmış bir hava boşluğu içerisinde yer alan elektronik elemanlar için hava boşluğunun boyutlarına ve çiple olan mesafesine göre hesaplanan ısı transfer katsayıları vardır [1]. Bu boşluk çok küçük olduğundan burada taşınım değil iletimden söz etmek gerekir. Fakat

burada eşdeğer bir ısı transfer katsayısı hesaplanması gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılabilir.

$$h_b = \frac{k}{L} \quad (3.5)$$

Burada ise k hava boşluğunun ısı iletim katsayısı, L ise hava boşluğunun genişliğidir. Havanın ısı iletim katsayısı ortalama 315 K sıcaklık için 0,0272 W/m.K olarak belirlenmiştir [2]. Hava boşluğunun genişliği altın tabakanın üst yüzeyinden plastik şasiye olan mesafe 2 mm ve dikey yüzeylerdeki genişlik ise 3 mm olarak ele alınmıştır [2].

Elde edilen ısı transfer katsayıları aşağıda tablo olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2 Hava boşluğu ısı transfer katsayıları

Formül	Altın Dik Yüzey	Altın Yatay Yüzey	Silikon Dik Yüzey
$h_b = \frac{k}{L}$	9,067 W/m ² .K	13,6 W/m ² .K	9,067 W/m ² .K

Bu kapsamda Fluent ile sınır şartlarını yazarken burada hesaplanan ısı transfer katsayıları kullanılacaktır. Ayrıca Fluent ile inceleme yaparken kullanılan ısı iletim denklemi aşağıda verilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho.h) + \nabla(\vec{v}.\rho.h) = \nabla(k.\nabla T) + S_h \quad (3.6)$$

Burada ; ρ yoğunluk, h entalpi, k iletkenlik, S ise ısı üretim terimidir.

Yine ısı transfer katsayılarının düşük olduğu dikkate alınarak çipin yan yüzeyleri yalıtılmış olarak ele alınarak ve ısı üretimi yerine üstten ısı akısı sınır şartı ile maksimum sıcaklıklar yeniden hesaplanmıştır. Bu durumda elde edilen maksimum sıcaklıklar tablo olarak verilmiştir.

Böylece sınır şartları aşağıda yazılı olduğu şekliyle ele alınmıştır.

Silikon Malzeme için;

- 1- $x=0$ için $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
- 2- $x=L$ için $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
- 3- $y=0$ için $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$; $T = 300$ K
- 4- $y = t_1$ için (ara yüzeyde) $T_1 = T_2$ ve $k_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = k_2 \frac{\partial T_2}{\partial y}$
- 5- $z=0$ için $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
- 6- $z=h$ için $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$

Altın ve Bakır Malzeme için

- 1- $x=0$ için $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
- 2- $x=L$ için $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
- 3- $y = t_1$ için (ara yüzeyde) $T_1 = T_2$ ve $k_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = k_2 \frac{\partial T_2}{\partial y}$
- 4- $y = t_2$ (üst yüzey) $k_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = q^*$ burada q sabit ısı akısıdır.
- 5- $z=0$ için $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
- 6- $z=h$ için $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$

Yukarıdaki sınır şartları kullanıldığında yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Gerilme ve gerinme analizi yapabilmek için altın ve silikon için termal özelliklerin yanında elastikiyet katsayıları, ısı genleşme katsayıları ve poisson oranları girilmelidir.

Burada Poisson oranı uygulanan gerilme yönündeki deformasyonun, gerilmeye dik eksenlerdeki deformasyona oranıdır. Poisson oranı teorik olarak -0,1 ile 0,5 arasında değişir.

Bir malzemede sıcaklığın değişmesi malzeme özelliklerine bağlı olarak bazı değişimleri de beraberinde getirir. Bunlar gerilme, gerinme ve deformasyon başlıkları altında incelenebilir.

Deformasyon, malzeme enerjisindeki artışın, atom ve moleküller arasındaki titreşimi artırması ile moleküller arasındaki bağın uzaması anlamına gelmektedir. Buda malzememin boyutlarındaki değişimi ortaya çıkaracaktır. Sıcaklığın azalması ile birlikte durum tam tersidir.

$$\delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (3.7)$$

Burada α ısı genleşme katsayısı, ΔT ise sıcaklık değişimi ve L ise ilk uzunluktur. Söz konusu olan alan ise 2 hacim ise 3 ile çarpılır.

Gerinme ise deformasyonun orijinal ölçüye bölünmesi ile elde edilen birimsiz bir büyüklüktür ve epsilon ile gösterilir.

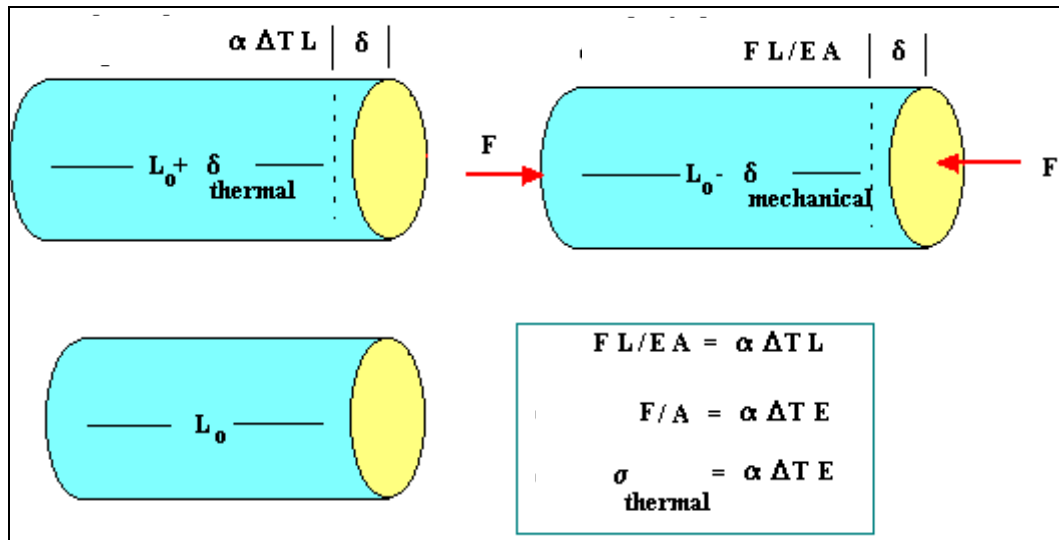
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} = \alpha \cdot \Delta T \quad (3.8)$$

Gerilme ise bir malzemenin bir yüzeyine uygulanan eksenel kuvvetin, dik yüzey alanına bölünmesi ile elde edilen büyüklük olup birimi, Pa, kPa, Gpa olabilir. Gerilmeyi aşağıda görüldüğü gibi ifade etmek mümkündür.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.9)$$

Gerilme ve gerinmeden bahsederken burada bir başka değerde karşımıza çıkmaktadır. Bu “Youngs Modulus” olarak bilinir ve birim deformasyonu ortaya çıkaran güç miktarı olarak tanımlanabilir ve malzeme özelliklerine göre değişir. Bir başka ifade ile gerilmenin gerinmeye bölünmesiyle bulunur. Bu aynı zamanda Hook kuralı olarak da bilinir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.10)$$



Şekil 3.2. Isıl gerilmelerin şekilsel ifadesi

Genel olarak gerilmeyi ifade etmek gerekirse aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\sigma = \varepsilon.E = \alpha.\Delta T.E \quad (3.11)$$

Gerilme ve gerinme analizi yaparken kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = E.\varepsilon^{el} \quad (3.12)$$

Burada; E Youngs Modulus ve σ ise gerilme vektörüdür ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \sigma_{xy} & \sigma_{yz} & \sigma_{xz} \end{bmatrix}^T \quad (3.13)$$

Yine eşitlik 3.12 'de yer alan ε^{el} ise elastik gerinme vektörüdür.

$$\{\varepsilon^{el}\} = \{\varepsilon\} - \{\varepsilon^{th}\} \quad (3.14)$$

Toplam gerinme vektörü;

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \varepsilon_y & \varepsilon_z & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yz} & \varepsilon_{xz} \end{bmatrix}^T \quad (3.15)$$

Isıl gerinme vektörü;

$$\varepsilon^{th} = \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_x^{se} & \alpha_y^{se} & \alpha_z^{se} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3.16)$$

Denklemden yer alan α^{se} ise o koordinat eksenine yönündeki ısı genleşme sekant katsayısıdır.

Gerinme için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$\varepsilon_x = \alpha_x \Delta T + \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\nu_{xy} \sigma_y}{E_x} - \frac{\nu_{xz} \sigma_z}{E_x} \quad (3.17)$$

$$\varepsilon_y = \alpha_y \Delta T + \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\nu_{yx} \sigma_x}{E_y} - \frac{\nu_{yz} \sigma_z}{E_y} \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_z = \alpha_z \Delta T + \frac{\sigma_z}{E_z} - \frac{\nu_{zx} \sigma_x}{E_z} - \frac{\nu_{zy} \sigma_y}{E_z} \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{G_{xy}} \quad (3.20)$$

$$\varepsilon_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{G_{yz}} \quad (3.21)$$

$$\varepsilon_{xz} = \frac{\sigma_{xz}}{G_{xz}} \quad (3.22)$$

Gerilme içinde aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} \sigma_x = & \frac{E_x}{h} \left(1 - (\nu_{yz})^2 \frac{E_z}{E_y} \right) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} (\nu_{xy}) + \nu_{xz} \nu_{yz} \frac{E_z}{E_y} (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \\ & \frac{E_z}{h} (\nu_{xz} + \nu_{yz} \nu_{xy}) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \sigma_y = & \frac{E_y}{h} \left(\nu_{xy} + \nu_{yz} \frac{E_z}{E_y} \right) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} \left(1 - (\nu_{xz})^2 \frac{E_z}{E_x} \right) (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \\ & \frac{E_z}{h} (\nu_{yz} + \nu_{xz} \nu_{xy} \frac{E_y}{E_x}) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \sigma_z = & \frac{E_z}{h} \left(1 - (\nu_{xy})^2 \frac{E_y}{E_x} \right) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) + \frac{E_z}{h} (\nu_{yz} + \nu_{xz} \nu_{yz} \frac{E_y}{E_x}) (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \\ & \frac{E_z}{h} (\nu_{xz} + \nu_{yz} \nu_{xy}) (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \varepsilon_{xy} \quad (3.26)$$

$$\sigma_{yz} = G_{yz} \varepsilon_{yz} \quad (3.27)$$

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \varepsilon_{xz} \quad (3.28)$$

Burada;

$$h = 1 - (\nu_{xy})^2 \frac{E_y}{E_x} - (\nu_{yz})^2 \frac{E_z}{E_y} - (\nu_{xz})^2 \frac{E_z}{E_x} - 2\nu_{xy}\nu_{xz}\nu_{yz} \frac{E_z}{E_x}$$

$$G_{xy} = G_{yz} = G_{xz} = \frac{E_x}{2(1 + \nu_{xy})} \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

4. SAYISAL ANALİZ İÇİN MODEL OLUŞTURMA

4.1. Genel Olarak Sayısal Analiz

Elektronik çiplerin güvenilirliği ve performansı da düğüm noktası sıcaklığı ile alakalıdır. Bu yüzden çip sıcaklığı için bir kriterin belirlenmesi amacıyla her elektronik ekipman iyi bir soğutma yöntemi belirlenerek imal edilmelidir. Tabii ki bunun için deneysel yöntemler kullanılabilir. Bir yönden deneysel çalışmalar doğru ve kullanılabilir sonuçlar vermelerine rağmen sayısal çözümlerle karşılaştırıldığında daha fazla zaman alırlar ve daha az ayrıntı içeren sonuçlar verirler. Bu kapsamda sayısal yöntemler parametrik çalışmalar için oldukça kullanışlıdır [20].

Son 20 yılda elektronik soğutma endüstrisi tasarım için Bilgisayar Destekli Mühendislik CAE teknolojisini yaygın olarak kullanmaya başlamıştır. Hızlı donanım gelişmeleri, daha kısa süreli tasarım aşamaları, maddi anlamda tasarruf ve birim verimliliğin artırılması gibi nedenler CAE' yi son zamanların en hızlı değişen teknolojisi haline getirmiştir. Buna ilave olarak bilgisayarların hızının artması ve hafızalarının artırılması gibi nedenlerle öncekine oranla aynı ya da daha az alandan daha fazla ısının atılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu da tasarımı etkileyecek önemli bir kriterdir.

Genel olarak tüm üretim süreçlerinde tasarımın var olduğunu söyleyebiliriz, özellikle bilgisayar ve bilişim teknolojilerinin imkânları ile birlikte tasarım günümüzde ağırlığını hemen hemen tüm sektörlerde hissettirmeye başlamıştır. Gelecekte bu etkinin bilgisayar ve bilişim teknolojilerinin gelişim hızına paralel olarak artacağı ve hemen her alana gireceği öngörülmektedir. Bu anlamda tasarımı oluşturan alt unsurları şunlardır. Bilgisayar destekli tasarım CAD, Bilgisayar destekli üretim CAM, Bilgisayar destekli mühendislik CAE, Süreç otomasyonu ile geliştirme araçları, yazılım ve yazılım tasarımı teknolojileri.

Tasarım aşamasında ısı ile ilgili problemlerin daha detaylı olarak incelenmesin de Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanılmaktadır. CFD, tasarım, analiz ve mühendislik sistemlerinin optimizasyonu için kullanışlıdır [21]. Mikroelektromagnetik sistemler, elektronik elemanların soğutulması, endüstriyel işlemler, taşıt aerodinamiği vs sistemlerde kullanılmaktadır.

1900' lü yıllara kadar aerodinamik ve akışkanlar dinamiği problemleri deneyler ve teorilerle anlatılmıştır. Çok az araştırmacı sayısal çözümler ile uğraşmış el yordamıyla hesaplamalar yapmışlardır. 1910 yılında Richardson Laplace denkleminin sayısal çözümü ile bir barajdaki stresleri hesaplamıştır. 1928 yılında Courant, Friedrichs ve Lewy hiperbolik kısmi diferansiyel denklemleri için sabitler elde etmişlerdir.

1945 yılında ilk programlanabilir elektronik bilgisayar ortaya çıkmış ve 1955 te Allen ve Southwell bir silindir üzerinden sıkıştırılmaz bir vizkos akışı analitik olarak çözmüşler ve bilgisayarın yaygınlaşmasıyla birlikte birçok sayısal çözüm üzerinde çalışılmış ve CFD tasarım ve imalat aşamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği CFD yazılımıdır. Fluent, genel amaçlı bir CFD yazılımı olarak, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, beyaz eşya endüstrisi, turbomakine (fanlar, kompresörler, pompalar, türbinler v.b.) endüstrisi, kimya endüstrisi, yiyecek endüstrisi gibi birbirinden farklı birçok endüstriye ait akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde kullanıcıya birbirinden farklı birçok probleme aynı ara yüzü kullanarak çözüm alma olanağı sağlar.

Ansys ise sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir başka CFD programıdır. İncelediğimiz çip için sıcaklık ile ilgili çözümlerin yanında bizlere gerinme ve

gerilme incelemesine olanak sağladığından Ansys kullanılarak gerilme-gerinme incelemesi de yapılmıştır.

Bunun için öncelikle Fluent için bir ara yüz programı olan GAMBIT ile problem şekilce modellenecek ve Fluent ile çözüm elde edilmiştir. Daha sonra Ansys programı kullanılarak gerilme ve gerinme incelenmiştir.

4.2. GAMBIT ile Problemin Üç Boyutlu Şeklinin Çizilmesi

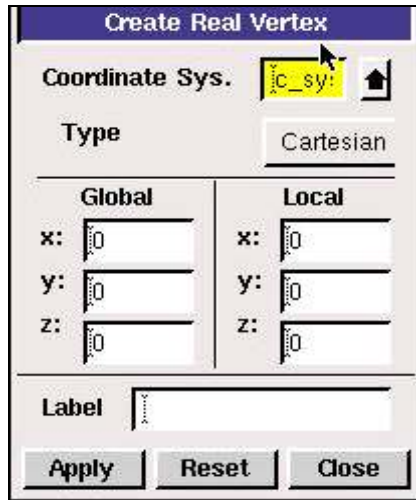
Gambit, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ve Sonlu Elemanlar (SE) analizlerinde kullanılabilen genel amaçlı bir ön işlemcidir. Gambit, HAD ve SE analizlerinin üzerinde en fazla vakit harcanan kısmı olan model hazırlama ve sayısal ağ oluşturma işlemlerini, bünyesinde barındırdığı araçların da yardımıyla, kolaylaştırma ve hızlandırmayı amaçlayan bir yazılımdır. Fluent ile çözüme başlamadan önce ele aldığımız problemi şekil olarak çizmemiz gerekmektedir. Önce noktaların belirlenmesi, noktalardan çizgilerin oluşturulması, çizgilerin birleştirilmesi ile alanların çizilmesi ve son olarak alanların birleştirilmesi ile hacimlerin elde edilmesi işlemleri sırasıyla yapılacaktır. Bu yüzden şekil çizmek için koordinat sisteminde noktaları belirliyoruz.

Operation → Geometry → Vertex → Create Real Vertex

Bu komut kullanılarak ile Şekil 3.2.'deki pencere açılır. Kartezyan koordinat sisteminde;

$(x,y,z) = (0,0,0)$	Apply	$(x,y,z) = (1.5,0,0)$	Apply
$(x,y,z) = (1.5,0.4,0)$	Apply	$(x,y,z) = (0,0.4,0)$	Apply
$(x,y,z) = (1.5,0.4,1.5)$	Apply	$(x,y,z) = (0,0.4,1.5)$	Apply

$(x,y,z) = (0,0,1.5)$ Apply $(x,y,z) = (1.5,0,1.5)$ Apply
 $(x,y,z) = (1.5,0.402,0)$ Apply $(x,y,z) = (1.5,0.402,1.5)$ Apply
 $(x,y,z) = (0,0.402,1.5)$ Apply $(x,y,z) = (0,0.402,0)$ Apply
 komutu ile gereken noktalar oluşturulur.

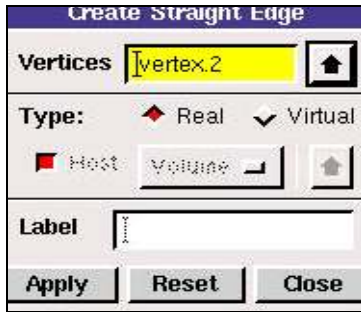


Şekil 4.1. Koordinat sisteminde nokta oluşturulması

Oluşturulan bu noktalar birleştirilerek çizeceğimiz şeklin dış çevresi oluşturulur. Bunun için belirlenen noktalar tek tek seçilmek suretiyle işlem yapılır. Şekil önce boş bir kağıt üzerine el yordamıyla çizilip noktalar numaralandırılırsa birleştirme işlemi daha kolay yapılabilir.

Operation → Geometry → Create Edge → Create Straight Edge

Bu komut ile koordinat sisteminde oluşturulan noktalar ikişerli seçilerek kenarlar çizilir. Şekil 3.3’de “Label” alanına oluşturulan kenarın ismi yazılarak daha sonra yapılacak işlemlerde ve sınır şartlarının verilmesinde kolaylık sağlayacağı göz önünde tutulmalıdır.



Şekil 4.2. Noktaların birleştirilmesi ile çizgilerin oluşturulması

Operation → Geometry → Create Face → Create Face From Wireframe

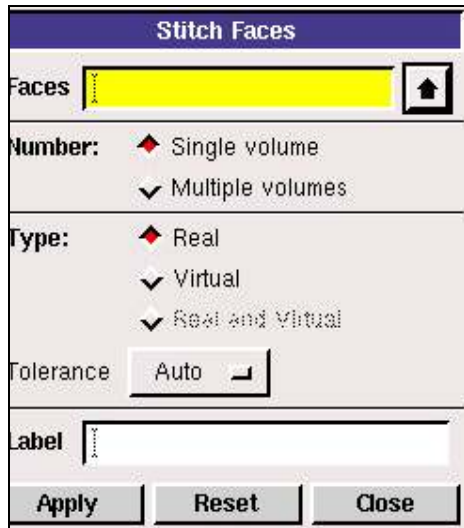
Bu komut kullanılarak belirlenen noktaların birleştirilmesi ile yüzey oluşturulmaktadır. Açılan pencerede (Şekil 3.4) “Type” butonu “real” seçilerek yüzeyin gerçek olması sağlanmaktadır. Ayrıca “label” bölümüne oluşturulan yüzeyler için isim verilmelidir.



Şekil 4.3. Çizgilerin birleştirilmesi ile yüzeylerin oluşturulması

Operation → Geometry → Volume → Stitch Faces

Bu komut oluşturulan yüzeyleri birleştirilerek hacim elde edilmesinde kullanılır. Şekil 3.5’ te yer alan “face” bölümünün karşısında yer alan seçim butonuna basılarak daha önce oluşturulmuş yüzeyler çoklu seçilmek suretiyle, silikon ve altın olmak üzere iki hacim oluştururuz.



Şekil 4.4. Yüzeylerin birleştirilmesi ile hacimlerin oluşturulması

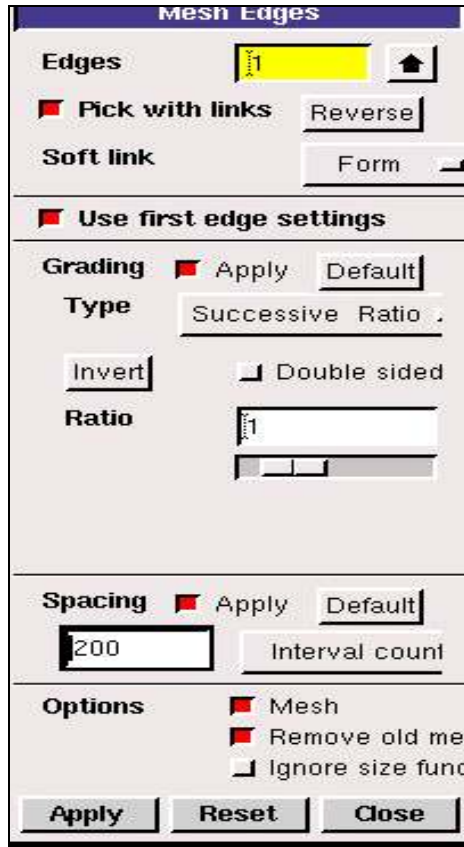
Bu işlemden sonra şeklin kenarları, yüzeyleri ve hacimleri küçük parçalara ayrılmalı ve “mesh” işlemi yapılmalıdır.

Operation → Mesh → Edge → Mesh Edges

Bu komutlar ile önce kenarlar sonra alanlar ve hacimler eşit parçalara bölünmeli ve kafes sistemi oluşturulmalıdır. Shift-klik veya Edge List penceresini çağırarak, 1,5 mm uzunluğunda olan kenarlar 60, 0,4 mm olan kenarlar 20 ve 2 mikrometre uzunluğundaki kenarlar 10 eşit parçaya bölünmelidir. Bunun için Şekil 3,6’da görüldüğü gibi “interval count” seçili olmalıdır.

Bölme sayılarının neden bu değerler seçildiği sonraki bölümlerde anlatılacaktır. Fakat bu sayılar grid bağımsızlığı (grid independency) incelemelerinden sonra belirlenir. Bölüm sayısı artırılarak çözümün bölüm sayısından bağımsız olarak aynı kaldığı nokta tespit edilir ve bu noktadan sonra daha fazla bölme yapılmaz.

Mesh Edges penceresinden aralık sayısı (interval count) sırasıyla 60, 20, 10 olarak girilmekte silikonun ve altının kenarları eşit parçalara bölünmektedir.



Şekil 4.5. Kenar meshlerinin oluşturulması

Bundan sonra yüzey meshleme işlemine geçilmektedir. Yüzey meshi oluşturulduktan sonra ise hacimler eşit parçalara bölünecektir. Ele aldığımız çip için 60 x 60 x 20 (silikon için) ve 60 x 60 x 10 (altın için) farklı bölünmüş hacim vardır. Toplamda 108.000 bölünmüş hacim oluşturulacaktır,

Operation → Mesh → Face → Mesh Faces

Komutuyla “mesh faces” penceresi açılmaktadır. Yüzey meshlemesi yapılırken “spacing” “interval count” olarak işaretlendiğinde otomatik olarak program 10 sayısını verir.

Burada kenarlar için belirlediğiniz bölüm sayıları dikkate alındığından hiçbir değişiklik yapmadan “Apply” butonuna basılırsa girilen değerlere göre bölümlenme tamamlanacaktır.

Operation → Mesh → Volume → Mesh Volumes

Bu komut ile hacimde kenarlarda ve yüzeylerde belirlenen aralıklara uygun olarak bölümlendirme yapılır. Yüzeydeki işlem burada tekrarlanır. Bilgisayarın hızına bağlı olarak uzun sürebilir. Çok sayıda bölüm yapıldığında işlemin gerçekten çok yavaşladığı gözlemlenmiş ve bazen bilgisayarın komutlara cevap veremeyip programı sonlandırdığı da gözlemlenmiştir.

Ayrıca kayıt işlemini yaptıktan sonra eğer yeniden aynı boyutlardaki bir şeklin mesh özelliklerinin değiştirilmesi gerekiyorsa tamamen çıkış yapılmadan sadece mesh menüleri yardımıyla hızlı bir şekilde bölünmüş alan ya da hacim sayıları değiştirilebilir. Bu yapılırken mesh ile ilgili menülerde açılan pencerelerin sağ alt bölümünde yer alan “remove old mesh” seçeneği seçili olmalıdır. Bu sayede daha önce bölüm yapılmış olan hacim alan ya da kenarlar girdiğimiz yeni değere göre tekrar bölümlenecektir. Yine burada kenar mesh işleminden başlamak gerekmektedir.

Operation → Zones → Specify Boundary Types

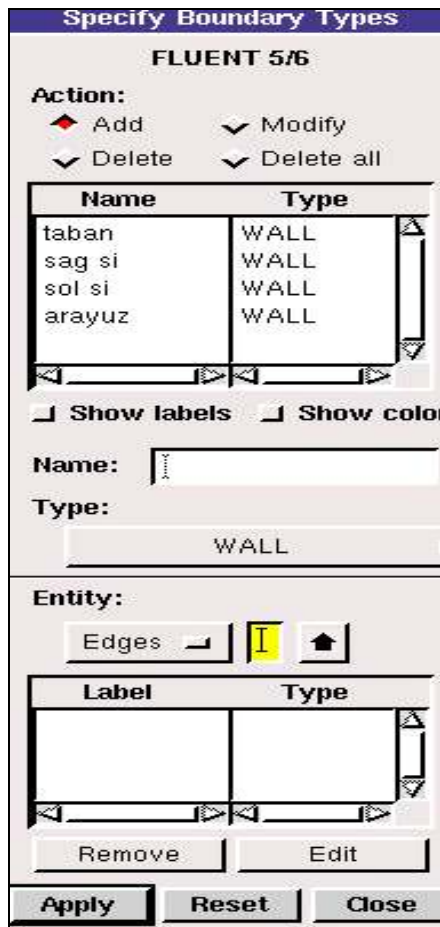
Operasyon panelinde “Specify Boundary Types” (Şekil 3.7) penceresi açılır. Seçilen yüzey “Edges”’in bitişiğindeki sarı kutuda ve “Edges” kutusu altındaki “Label/Type” listesinde gözükmemektedir. Bütün yüzeylerin sınır koşulu “WALL” olarak belirlenmelidir. Her sınır için tek tek koşul yazılır ve “name” bölümüne yüzeyin adı yazılır.

Operation → Zones → Specify Continuum Types

Bu komutla ise hacimlerin katı “SOLID” ya da sıvı “LIQUID” olma özellikleri belirlenir. Burada açılan pencereden silikon ve altın hacimlerin her ikisi için “SOLID” belirlenerek açılan penceredeki “name” bölümüne isimleri yazılır. İsimlerin yazılması FLUENT ile işlem yapılırken sınır şartlarının doğru belirlenmesine yardımcı olacaktır.

Ana Menü → Solver → Fluent 5/6

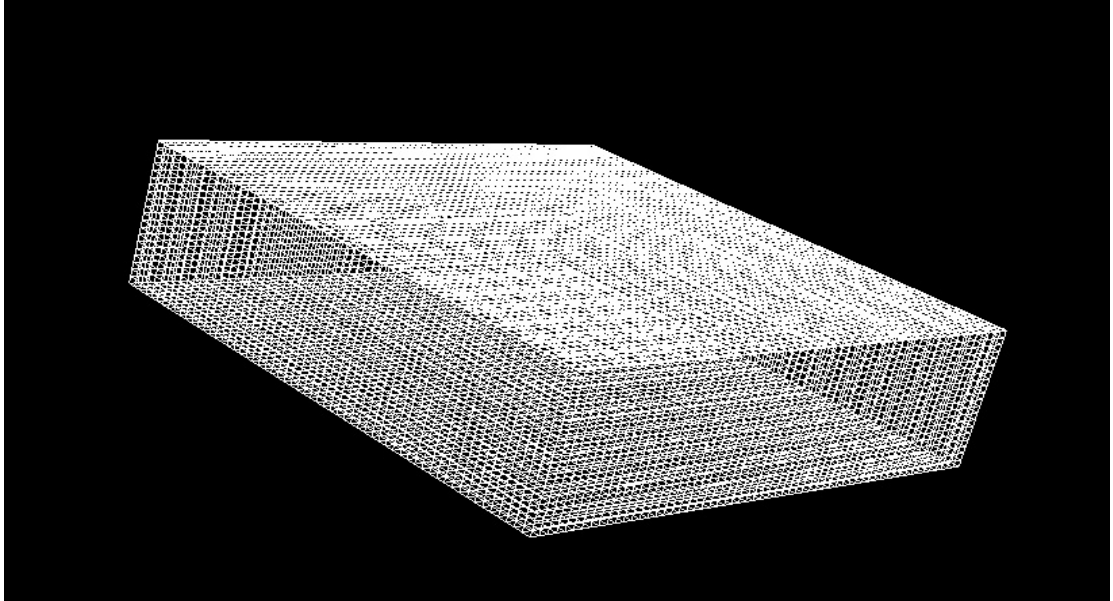
Solver menüsü modelin nümerik olarak çözümünün yapılacağı çözdürücüyü belirler. Fluent 5/6 seçilerek Fluent/Uns ve Rampant programlarının karakteristiklerinin kombinasyonunu içeren bir program seçilmektedir.



Şekil 4.6. Yüzeyler için sınır koşulunun belirlenmesi

Ana Menü → File → Export → Mesh

Komutuyla mesh dosyası kaydedilip (save) Fluent ile açılabilir. Aşağıdaki şekilde geometrimizin son hali görülmektedir. (Şekil 3.8) Dosya ismi olarak incelediğimiz durumu belirten bir ad verilirse Fluent ile çözmek istediğimizde istenen dosyayı daha kolay bulabiliriz.



Şekil 4.7. Problemin Gambit ile oluşturulan görünümü

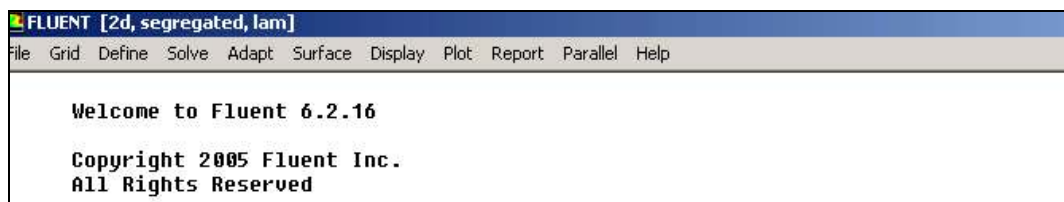
4.3. FLUENT Programı ile Sıcaklık İncelemesi

Gambit'te modelledikten sonra problemin fluent programı ile çözülmesi amacıyla aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilmelidir.

Fluent programını çalıştırmak için masaüstünde bulunan ikonun üzerine tıklanarak kısa yol kullanılmakta veya aşağıdaki uzun yol tercih edilmektedir.

Start → Programs → Fluent Inc → FLUENT 6.2.16

"3d" seçeneği kullanılarak 3-boyutlu, çözücü seçilmektedir. Program ana menüsü Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Fluent programının menü görünümü

File: Mesh, Case, Data dosyalarını okuma (Read), kaydetme (write) işlemlerinin yapıldığı menüdür.

Grid: Meshlenmiş gridin istenirse ebadlarının yeniden ölçeklendirildiği, grid dosyasındaki verilerin doğruluklarının kontrol edildiği menüdür.

Define: Model, Çalışma Koşulları, Sınır Koşullarının tanımlandığı Menüdür.

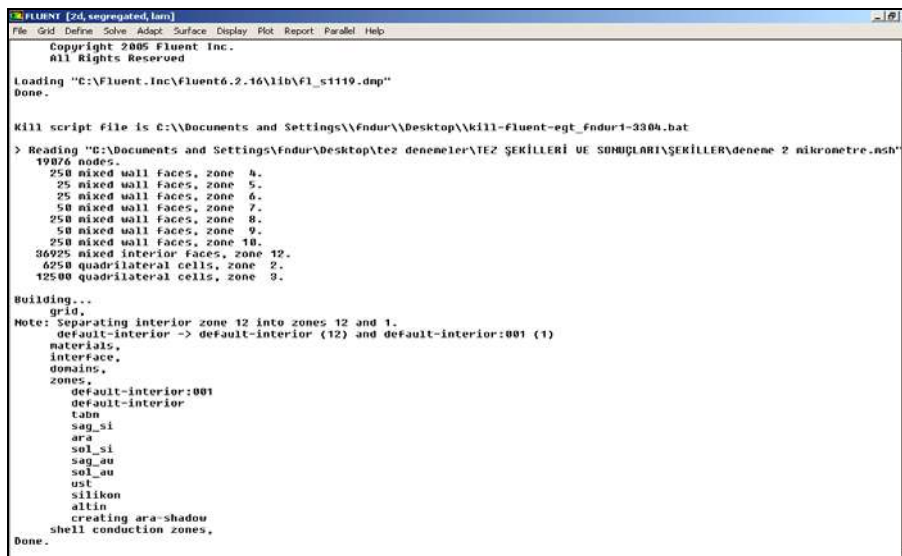
Solve: Oluşturulan modelin çözülmesi koşullarının tanımlandığı menüdür.

Display: Grid, Kontur grafikleri vs'nin görüntülenmesinde kullanılır.

Report: Kütleli debi, ısı transferi vb miktarların yüzey integralleri alınarak hesaplandığı kısımdır.

Ana Menü → File → Read → Case

Bu komut ile açılan menüden GAMBIT programı ile çizdiğimiz şekil Fluent ile okutulur ve pencerede şekil ile ilgili detaylar görünür. (Şekil 4.9)



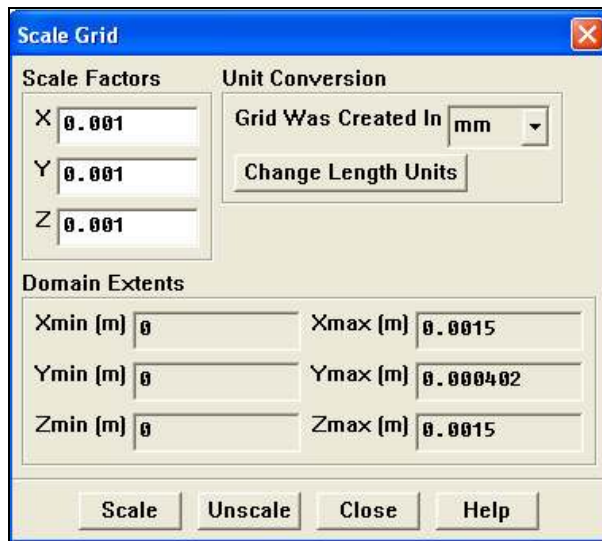
Şekil 4.9. Fluent ile şeklin okutulması

Ana Menü → Grid → Check

Komutuyla şeklin yüzey özellikleri kontrol edilmiş olacaktır. Herhangi bir çözüme başlamadan önce mutlaka yapılmalıdır.

Ana Menü → Grid → Scale

Bu komut ile çizilen şekil için metrik sistemde uzunluk türü belirlenir.(Şekil 4.10) Bizim şeklimiz için “mm” belirlenerek “Scale” butonuna basılır. Eğer yanlışlıkla unutulursa sistem otomatik olarak uzunlukları metre cinsinden hesaplayacak ve sonuçlar farklı çıkacaktır.



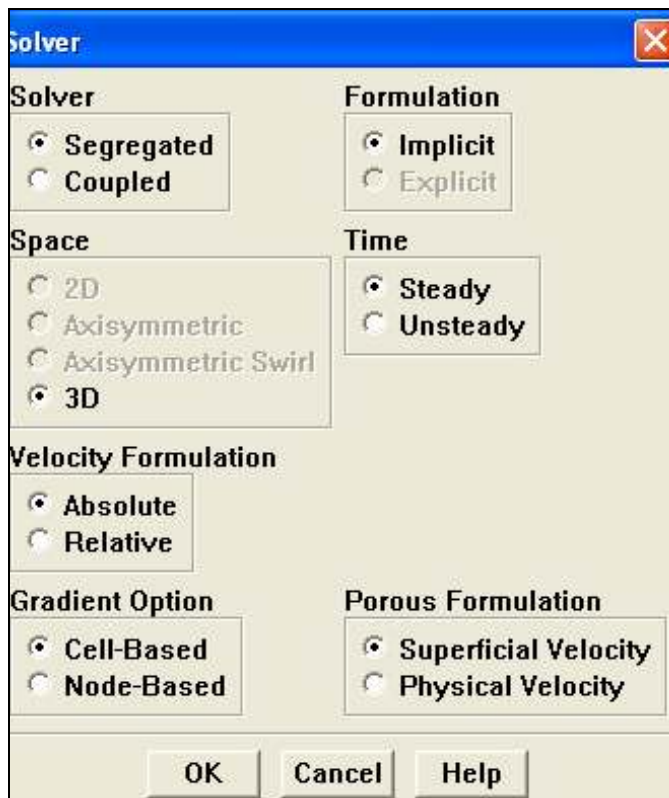
Şekil 4.10. Şeklin metrik sistemde ölçeklendirilmesi

Ana Menü → Define → Models → Solver

Enerji denklemi birlikte çözüleceğinden Şekil 4.11’de görülen “Solver” penceresinden “Segregated” seçilmektedir. Geometrimiz üç boyutlu olduğu için “Solver” penceresinden 3D opsiyonu seçili olmalıdır. Sürekli rejimde çözdürdüğümüz durumlarda “Steady” süreksiz şartlarda çözdürdüğümüz durumlarda “unsteady” opsiyonunu seçmek gerekir. Program eğer bir

değişiklik yapılmaz ise sürekli şartlarda çözüm yapacak ve sonuç elde edecektir. Süreksiz şartlarda yapılan hesaplamalarda zaman aralıkları “Solve” menüsü altında açılan “iteration” seçeneklerinden ayarlanabilir. Bu konu daha sonra detaylı olarak ele alınmıştır.

“Segregated” seçeneği momentum, süreklilik ve enerji denklemlerinin sıra ile çözüldüğü çözüm seçeneğidir. Genellikle sıkıştırılamaz ve yarı-sıkıştırılabilir akışlar için kullanılırken “coupled” seçeneği ise yüksek hızlarda sıkıştırılabilir akışlar için kullanılmaktadır. “Coupled” seçeneğinde denklemler eş zamanlı olarak çözülürler.

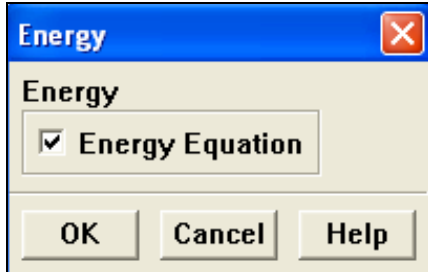


Şekil 4.11. Model için çözüm seçeneklerinin belirlenmesi

Ana Menü → Define → Models → Energy

Sıcaklık dağılımının bulunması istendiğinden enerji denklemi etkin hale getirilmektedir. Bunun için Şekil 4.12’de görülen pencerede “energy equation”

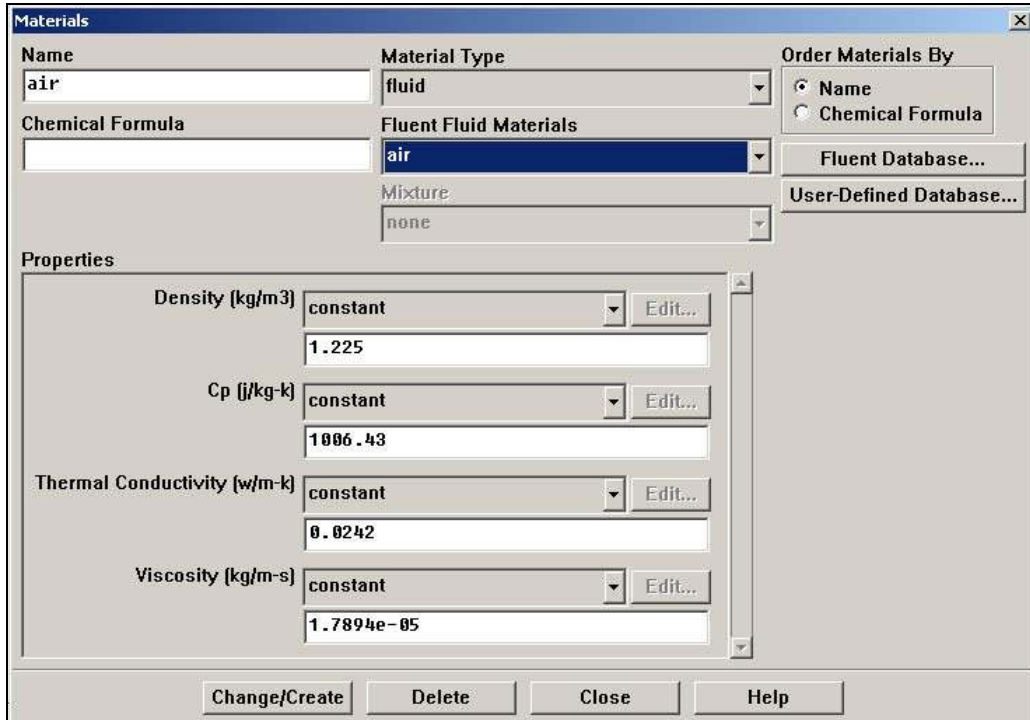
işaretli olmalıdır. Yapılmadığı takdirde malzeme özellikleri girilirken iletim katsayısı gibi bazı alanların aktif olmayacağı bilinmelidir.



Şekil 4.12. Enerji denkleminin aktif hale getirilmesi

Ana Menü → Define → Materials

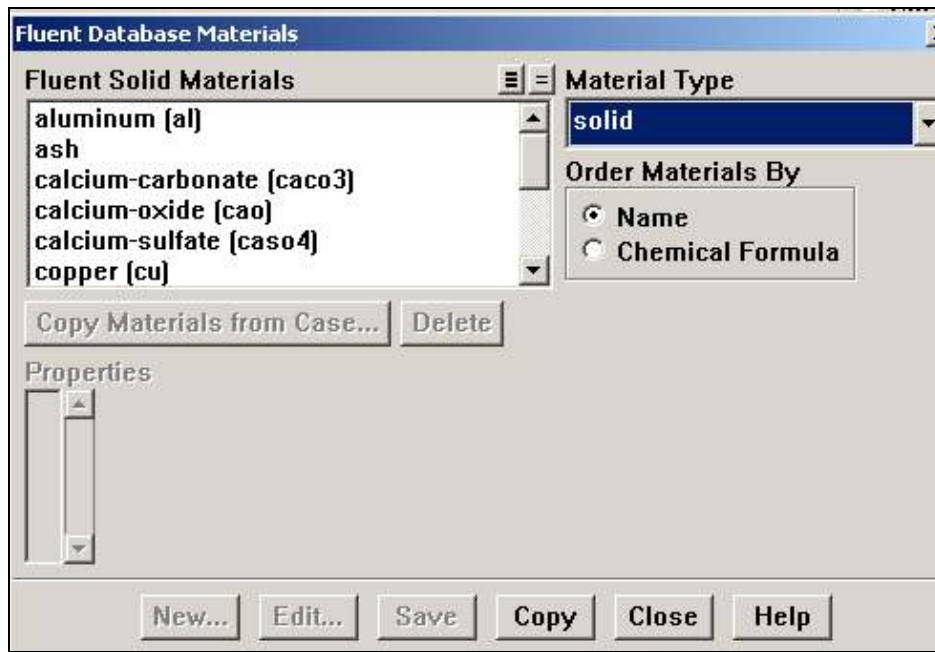
Açılan menüden öncelikle silikon ve altının malzeme özelliklerinin tanımlaması yapılmalıdır. Bunun için açılan pencerenin (Şekil 4.13) sağ tarafında bulunan “Fluent Database” butonuna tıklanır ve Şekil 4.14’te gördüğünüz pencere açılır.



Şekil 4.13. Kullanılacak malzemelerin belirlenmesi

Açılan pencereden “Material Type” “solid” olarak seçilir. Silikon özelliklerini girmek sol tarafta için herhangi bir malzeme üzerine tıklanır ve sırasıyla “copy” ve “close” tuşuna basılır. Böylece Şekil 4.13’de gördüğünüz ekrana dönmüş olur ve ekranda seçilen malzemenin özellikleri görünür. Silikon malzemenin özellikleri ilgili yerlere yazılarak, sol yukarıda bulunan “name” boşluğuna “silikon” chemical Formula boşluğuna “si” yazılır. Bu işlem bitirildikten sonra “change/create” butonuna basılır ve ekrana gelen küçük pencereye “yes” ve “close” tıklanarak silikon malzeme veritabanına kaydedilmiş olur. Altın yada bakır malzeme için veri tabanından “gold” veya “copper” seçilir ve “copy” ve “close” tuşlarına basılarak problemde kullanılacak malzemeler seçilmiş olur.

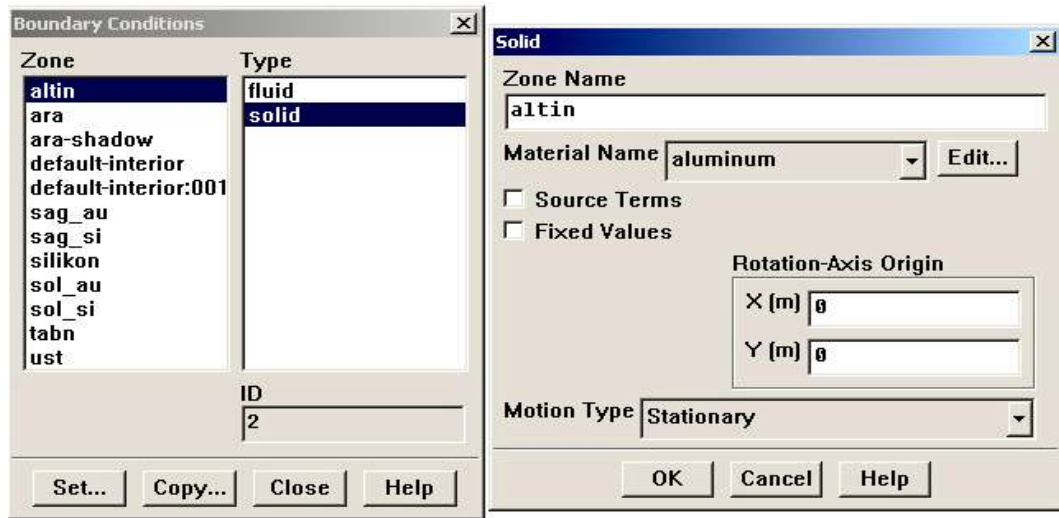
İncelemede her zaman aynı malzemeler kullanılacak ise “user-defined-database” butonu tıklanarak özellikleri girilen malzemeler bilgisayarımızda kayıt altına alınabilir ve daha sonra tekrar aynı problem için çalışmaya başladığınızda malzeme özelliklerini kayıt altına aldığınız veritabanını kullanarak kolayca tanımlayabilirsiniz.



Şekil 4.14. Kullanılacak malzemelerin seçimi

Ana Menü → Define → Boundary Conditions

Tanımlanan sınır koşul tipleri, Boundary Conditions penceresinin solunda “zone” olarak yer almaktadır. (Şekil 4.15) Her bir bölüm için “set” butonuna tıklanarak açılan pencereden “material name” silikon ya da altın olarak belirlenir.



Şekil 4.15 Sınır şartlarının oluşturulması için yüzey ya da kenar seçimi

Şekil 4.16 'de görülen pencereden taban için sınır şartı verilirken “Temperature “ kutucuğu tıklanarak 300 K olarak belirlenmelidir. Diğer yüzeyler için sınır şartı belirlenirken hesaplanan ısı transfer katsayıları girilmelidir. Bu amaçla Şekil 4.16 'da görülen pencereden “thermal conditions” seçeneği altında bulunan “convection” işaretli olmalıdır. Açılan pencereden ısı transfer katsayısı “h” girilerek ve çevre sıcaklığı belirlenerek istenilen sınır şartı sağlanmış olacaktır. Bizim problemimizde ele aldığımız değerler bir önceki bölümde Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Ayrıca ısı transfer katsayılarının ihmal edilmesi halinde sınır şartları girilirken Şekil 4.16 da görülen pencerede “heat flux” sıfır olarak kalmalıdır. Böylece söz konusu kenarda adiyabatik sınır şartları geçerli hale gelecektir. Bu şartlar kullanılarak elde edilecek maksimum sıcaklık değerleri tablo olarak

verilmiştir. Yine altın kaplama ısı üretim yeri olduğundan bunun tanımlanması için Şekil 4.15'te görülen pencereden sağ tarafta yer alan “source terms” seçeneği işaretli olmalıdır. Açılan pencereden her bir çalışma şartı için hesaplanan ısı üretimi W/m^3 cinsinden buraya girilmelidir. Böylece problemin çözümü için ihtiyaç duyulan bütün veriler girilmiş olacaktır. Bu problem için 2 mikrometre altın tabaka ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çipte $0,4433E+12$ W/m^3 ile $3,33E+12$ W/m^3 arasında değerler için çözüm elde edilmiştir. Ayrıca altın tabakanın kalınlığı artırıldığında yeniden ısı üretim miktarı hesaplanmıştır.

Şekil 4.16. Sınır şartlarının belirlenmesi

Ana Menü → Solve → Controls → Solution

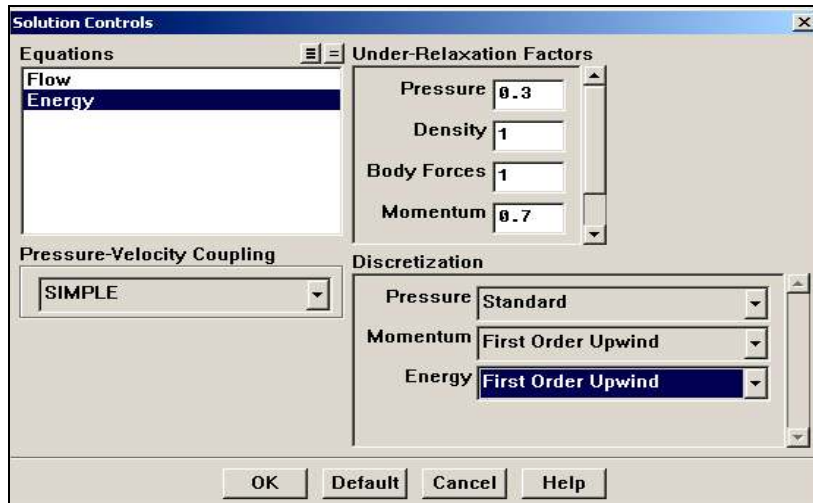
Isı transferi çözüm aşamalarında default çözüm parametrelerini kullanarak birçok ısı transferi problemlerini başarıyla çözmek mümkün olmaktadır fakat aşağıdaki opsiyonları değiştirerek, yakınsamayı hızlandırmak ve/veya çözümün kararlılığını iyileştirmek mümkün olabilir. Bizim problemimiz için pencerenin solunda bulunan “equations” bölümünden sadece “energy” seçilmelidir. Başka bir değişiklik olmadan “Ok” butonuna basılır. Açılan

pencereden (Şekil 4.17) Fluent'in sunduğu bir takım interpolasyon şemaları görülmektedir.

First-Order Upwind Scheme (Birinci Mertebeden Upwind Şeması): Birinci dereceden doğruluk içermektedir ve çok kolay yakınsamaktadır.

Power Law Sheme (Kuvvet Kuralı Şeması): Birinci mertebeye göre $Re_{cell} < 5$ için daha fazla doğruluk göstermektedir.

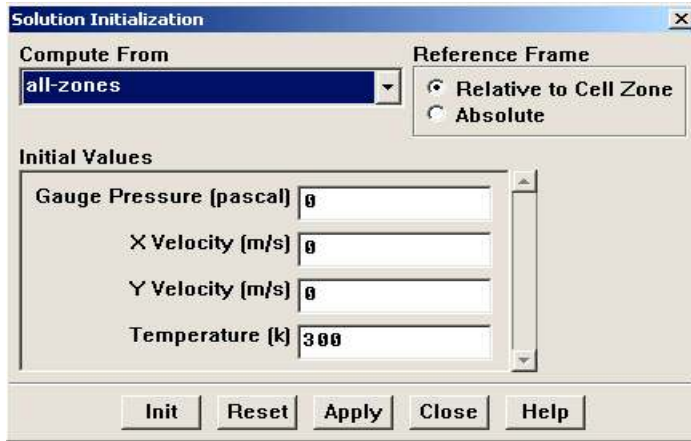
Second-Order Upwind Scheme (İkinci Mertebeden Upwind Şeması): İkinci mertebeden doğruluk içermektedir ve daha yavaş yakınsamaktadır. Ayrıca basınç-hız kuplajı olarak da SIMPLE opsiyonu seçilmektedir.



Şekil 4.17. Çözüm için yakınsama kriterlerinin ve denklemlerin belirlenmesi

Ana Menü → Solve → Initialize → Initialize

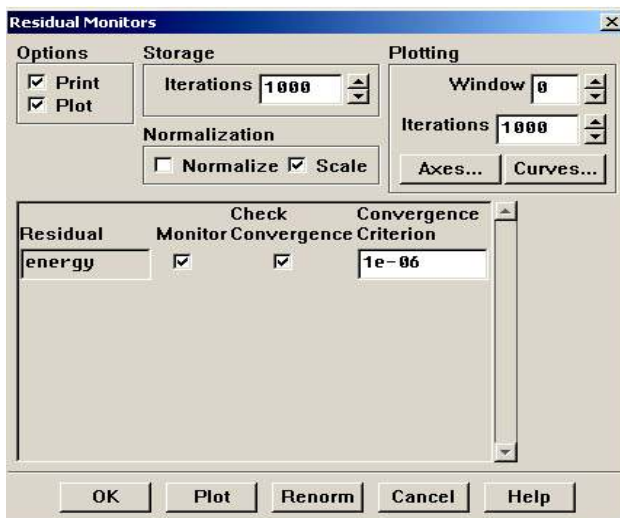
Bu komut kullanılarak sistemin belirlenen sınır şartları aktif hale getirilir. Burada açılan pencereden “Compute From” bölümünden “all zones” seçilerek bütün bölümlerde hesap yapılması sağlanır. “Init” butonuna basılarak giriş sağlanır. Taban için girilen sabit 300 K sıcaklık sınır şartı, Şekil 4.18’de görülen pencerede yer alan “Temperature” karşısında belirecektir.



Şekil 4.18. Sistemin belirlenen sınır şartlarının aktif hale getirilmesi

Ana Menü → Solve → Monitors → Residuals

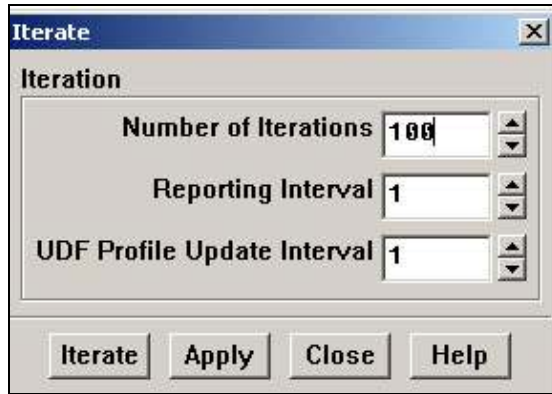
Bu komut ile Şekil 3.20 'de görülen pencereden “Convergence Criterion” altında enerji için rezidü değeri $1e-06$ olarak girilerek yakınsama kriteri belirlenmektedir. Böylece verilen rezidü değerlerinin altına düşünceye kadar iterasyon yapılması istenmektedir. Ayrıca “check convergence” bölümünün altında yer alan çentik kaldırılırsa iterasyonun sonuna kadar devam etmesi sağlanır. Yine “plot” için çentik tıklanmış olduğunda iterasyon sırasında değişim grafiğini de görebilirsiniz.



Şekil 4.19. İterasyon için hassasiyetin belirlenmesi

Ana Menü → Solve → Iterate

Bu komut ile Şekil 4.20’de görülen “iterate” komutu verilmeden önce “number of iterations” bölümüne istenilen iterasyon sayısı girilmelidir. Böylece girilen sayıda iterasyon yapılması sağlanmış olacaktır. “Iterate” butonuna tıklandığında aynı anda ekranda grafiksel değişimde gözlemlenebilir.



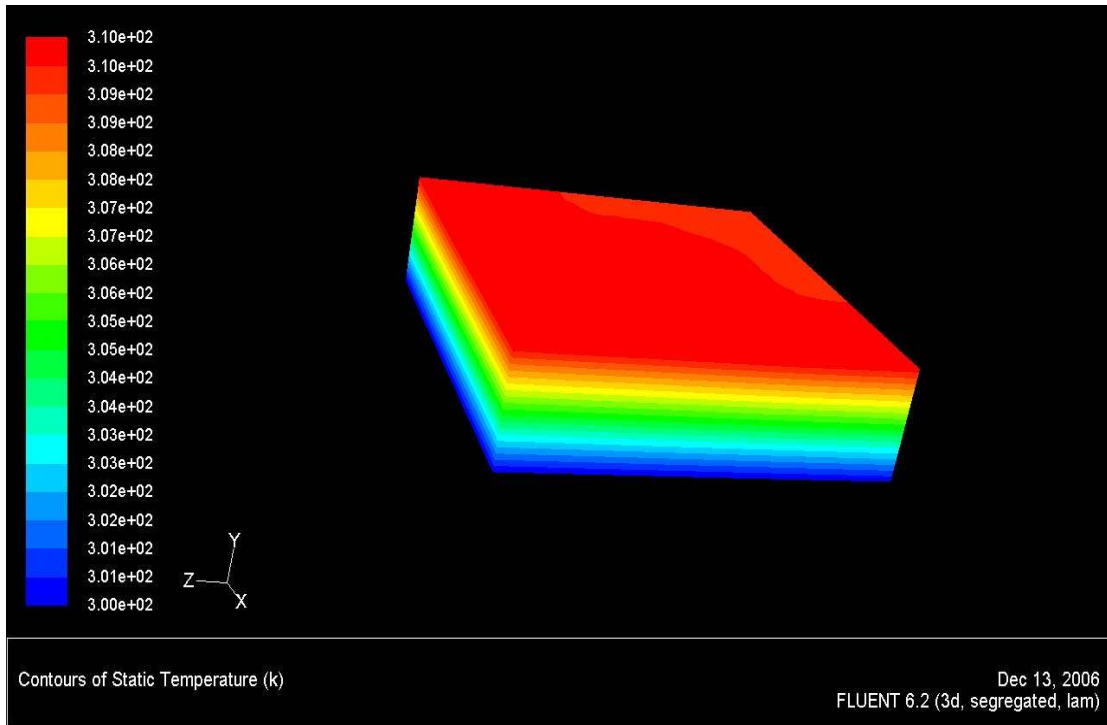
Şekil 4.20. İterasyon sayısının belirlenmesi

Grafik belirli sayıda yapılan iterasyon sonrasında yatay olarak ve verilen iterasyon sayısı kadar ilerleyecektir. Bu ise yakınsama konusunda bize bilgi verir. Tamamen yatay eksene paralel olarak ilerleme varsa çözüm sonuçları arasındaki farkın istenilen düzeyde olduğu anlaşılır.

Ana Menü → Display → Contours

Bu komut kullanılarak Şekil 4.21’deki gibi kontur grafiklerinin görüntülenmesi için “display” butonuna tıklanır. Eksende yer alan değerlerin daha sık aralıklarla değişmesi istenirse “Levels” bölümünde yer alan değer değiştirilebilir.

Böylece elde edilen sıcaklık dağılımı şekil üzerinde renklendirilmiş halde görüntülenebilir. Kırmızı renkler sıcak alanları göstermektedir. Sarı, yeşil ve mavi renkler ise giderek azalan sıcaklık değerlerini göstermektedir.

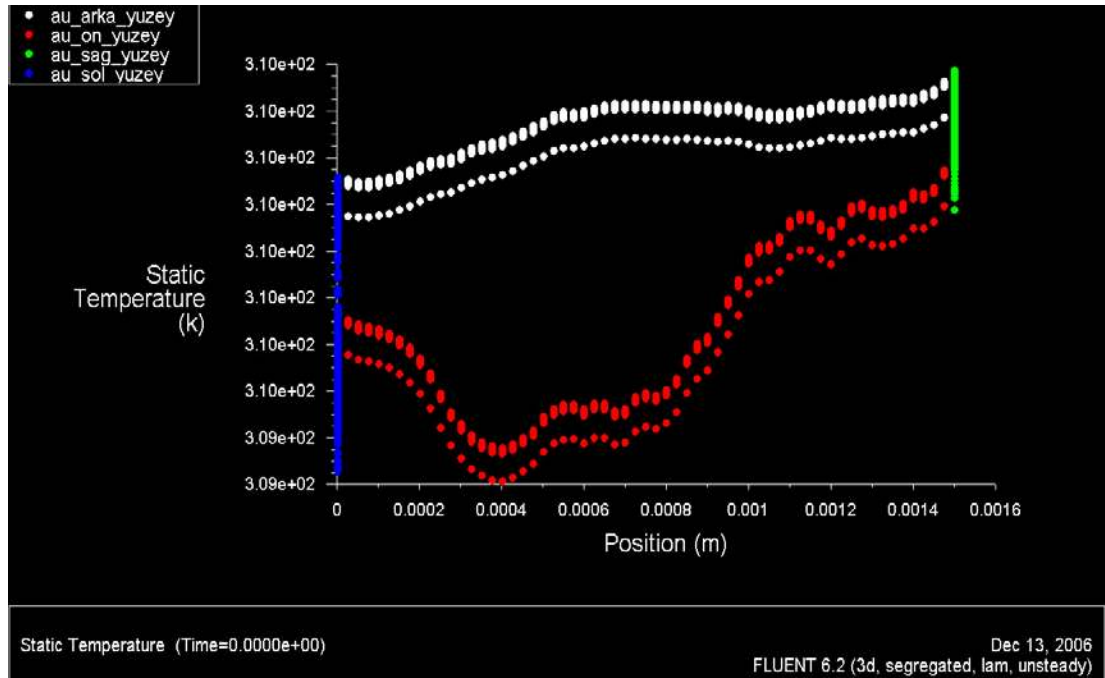


Şekil 4.21. Sıcaklık konturlarının genel görünümü

Herhangi bir noktada daha yakın görüntü elde etmek için farein orta düğmesi basılı tutularak yukarıdan aşağı ve sağa doğru kaydırılır. Tersini için sola doğru kaydırılır. Şekil üzerinde her hangi bir noktaya fare ile tıklandığında Fluent ana penceresinde işaretli alana ait sıcaklık değeri okunacaktır.

Ana Menü → Plot → XY Plot

Bu komut herhangi bir yüzeyde ya da hacimde, sıcaklıkların noktasal dağılımını görebilmek için kullanılır. (Şekil 4.22) Seçilen yüzey üzerindeki sıcaklık değerleri nokta olarak görünür. Birkaç yüzey seçildiğinde sistem otomatik renk ayrımı yapılarak incelemeye kolaylık sağlar. Burada ilk açılan pencereden “axes” seçeneğinde yer alan bazı değişiklikler yapılarak, eksen değerlerinin daha hassas verilmesi veya grafik üzerinde referans çizgilerinin görölmesi sağlanabilir. Sonraki bölümlerde verilen şekiller bu değişiklikler yapılarak elde edilmiştir.



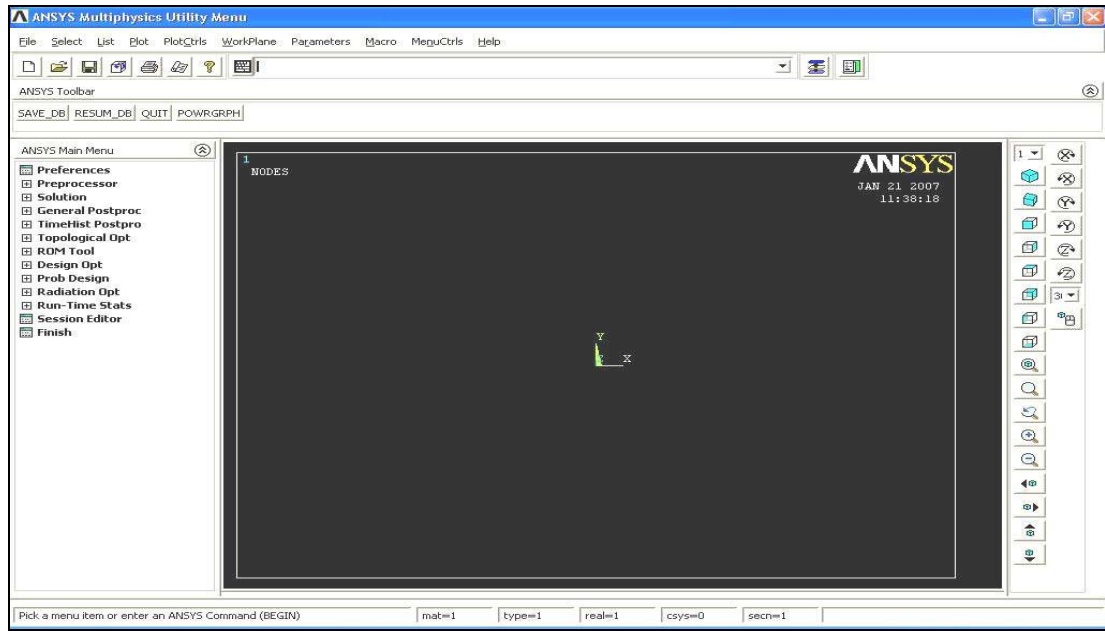
Şekil 4.22. Hesaplanan sıcaklıkların seçilen yüzeylerde dağılımı

4.4. ANSYS Programı ile Yapısal Analiz

Genel olarak FLUENT ile karşılaştırıldığında ANSYS ile yapılan modelleme bir ön işlemciye ihtiyaç duyulmamasından ve şekil çizmek için daha kısa sürelerin yeterli olmasından dolayı daha pratik olarak nitelendirilebilir. Aşağıda ANSYS ile problemimizin şeklinin nasıl oluşturulduğunu görebilirsiniz. Deformasyon, gerilme ve gerimin analizi yapabilmek amacıyla öncelikle sıcaklıklar hesaplatılmalıdır. Bu amaçla hem yapısal hem de ısı analiz yapılmıştır.

Başlat → Programlar → ANSYS

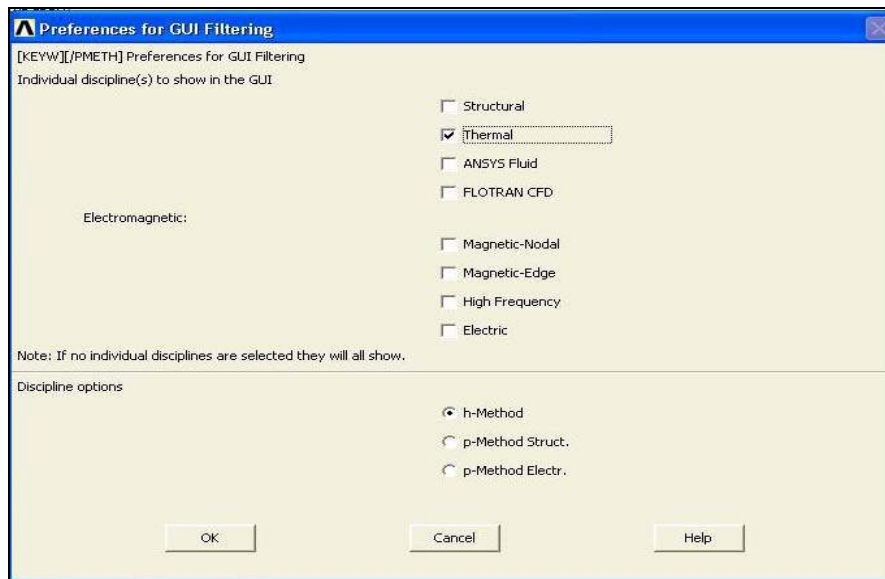
Bu komut ile ANSYS programı çalıştırılır ve Şekil 4.23'de görülen pencere açılır. Açılan pencerenin sol tarafında yapacağımız bütün operasyonel işlemleri yürüteceğimiz menüler bulunmaktadır. Buradan sırasıyla yapacağımız işlemlere göre fare yardımıyla ilgili menüye tıklanarak alt menülerin açılması sağlanır.



Şekil 4.23. ANSYS programının ana menü görünümü

Ana Menü → Preferences

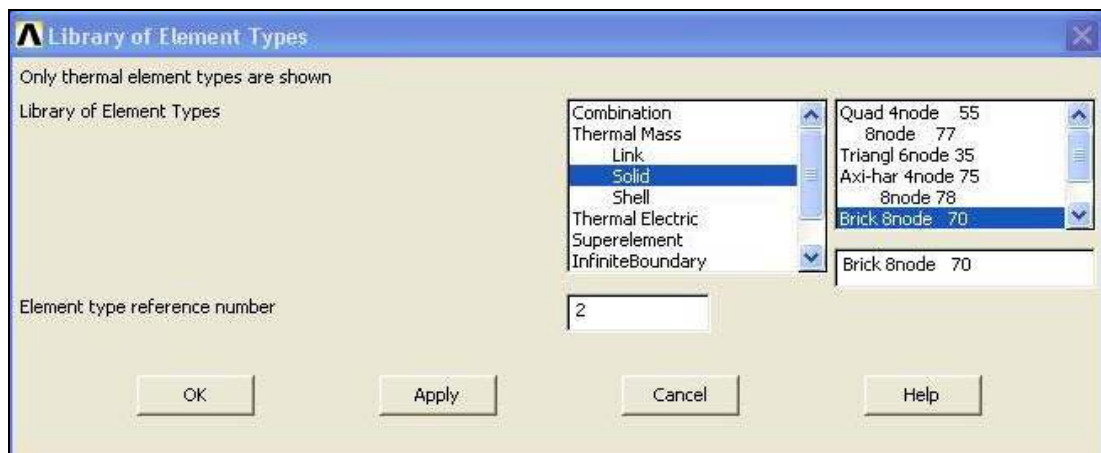
Bu komut ile analizin nasıl yapılacağı belirlenir. Problemimizde ele alınan durum sıcaklık, gerilme ve gerinme ile ilgili olduğundan açılan pencereden (Şekil 4.24) “thermal” ve “structural” seçenekleri aktif hale getirilir.



Şekil 4.24. ANSYS Analiz yönteminin belirlenmesi ekranı

Ana Menü → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete

Pencerenin sol kenarında bulunan menülerden “preprocessor” fare yardımıyla tıklandığında alt menüler açılacak ve yukarıda yazılı menüye girilecek, yeni bir çalışma için sistemin yapısal özelliği belirlenecektir. Burada açılan yeni pencereden (Şekil 4.25) “solid” belirlenir ve sağ tarafta bulunan farklı yapıların içinden “solid-brick node 70” seçilir.

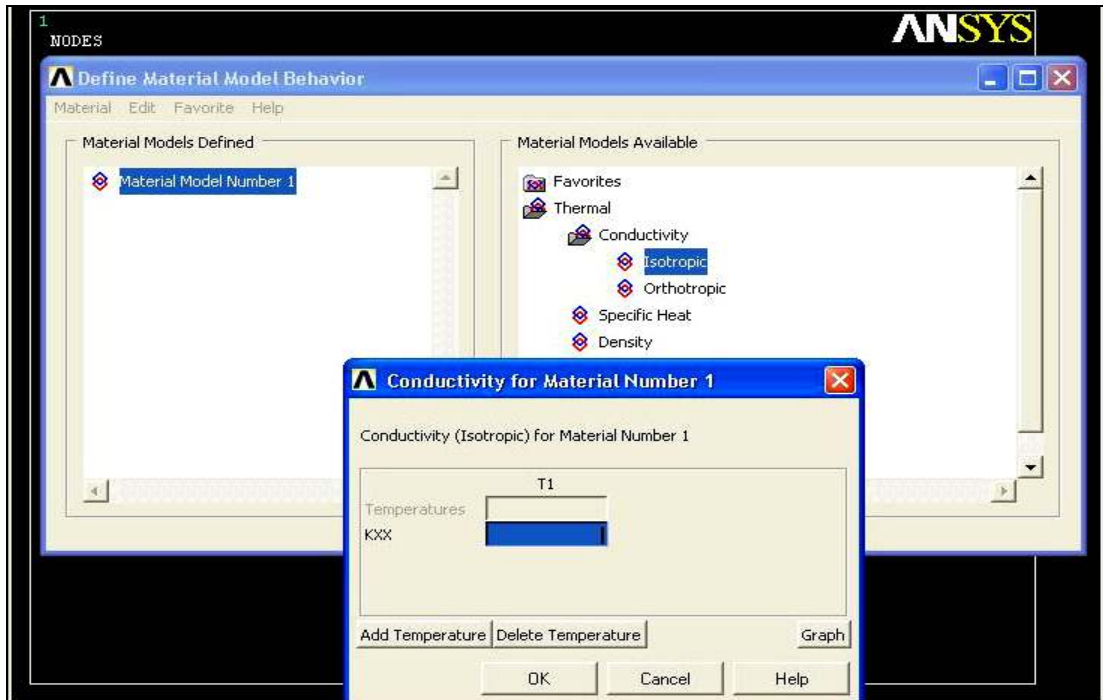


Şekil 4.25. ANSYS’de modelin yapısal özelliğinin belirlenmesi

İki ayrı malzeme kullanıldığından önce “apply” daha sonra da “OK” butonuna tıklanarak iyi ayrı malzeme için yapısal özellik belirlenir. Sistem otomatik olarak katmanlara 1 ve 2 numaralarını verir. İşlem bittikten sonra “close” tuşuna basılarak çıkış yapılır.

Ana Menü → Preprocessor → Material Properties → Material Models

Bu komut ile kullanılacak altın ve silikon için malzeme özellikleri belirlenir. İletkenlik, yoğunluk, öz sıcaklık, elastikiyet, poisson oranı, ısı genleşme katsayısı değerleri burada girilir. Açılan pencerenin (Şekil 4.26) sağ tarafından “thermal” seçilir ve açılan menüden sırasıyla “density”, “conductivity”, “specific heat” değerleri girilir. Önce silikon ve daha sonra altın için söz konusu değerler girilmelidir.

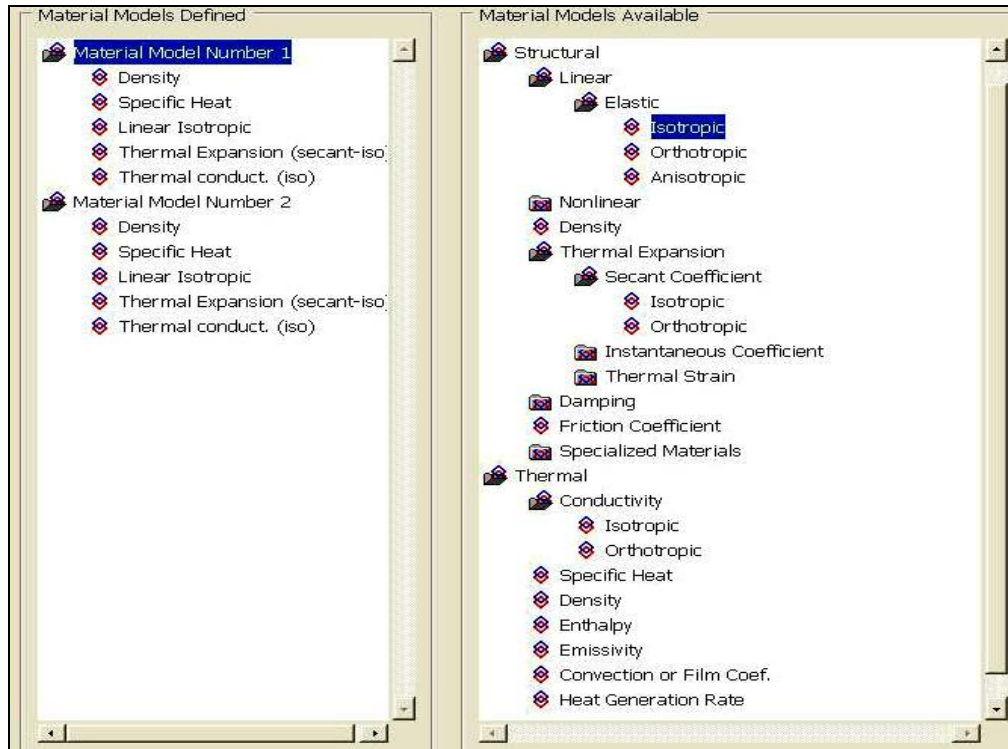


Şekil 4.26. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

“Conductivity” için açılan menüden (Şekil 4.27) “isotropic” seçeneği işaretlenerek malzemenin her yerinde iletkenliğin sabit olduğunu belirleriz. Her belirlenen değer ekranda sol bölüme geçer. Silikon için bu değerler girildikten sonra altın için de aynısı yapılmalıdır. Bunun için pencerenin üstünden “material” oradan da “new model” seçilir ve aynı işlemler tekrarlanır.

Burada yapısal özelliklerin girilmesinde dikkat edilecek bazı hususlar vardır. Öncelikle elastikiyet için verilen “Gpa” birimi “Pa” olarak girilmeli ve örneğin “79,87E9” olarak giriş yapılmalıdır.

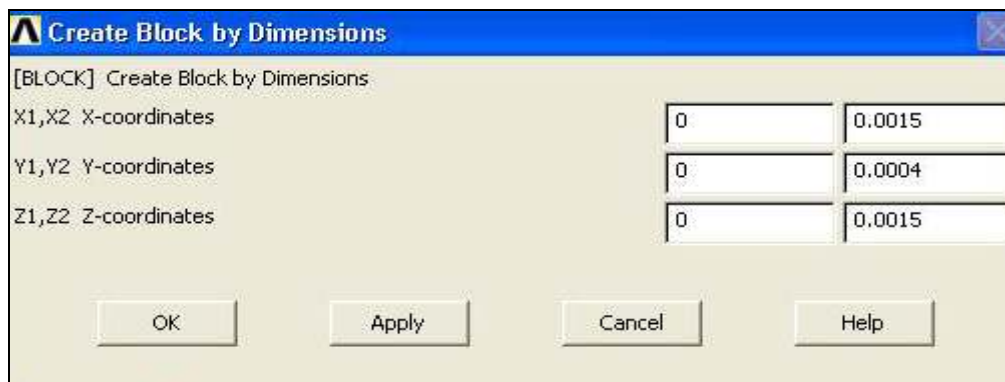
Yine benzer bir şekilde ısı genleşme katsayı için “14,2E-6” olarak giriş yapılmalıdır. Yine başka bir husus ise ondalık ifadelerde giriş için ANSYS programında virgül değil nokta işareti kullanılmalıdır. Virgül kullanıldığında girişi yapılan değerler sadece virgüle kadar dikkate alındığından hesaplamalarda hataya neden olacaktır.



Şekil 4.27. Malzeme özelliklerinin görünümü

Preprocessor → Modelling → Create → Volumes → Block → By dimensions

Bu komut ile koordinat sisteminde istenilen noktalar girilerek iki ayrı hacim oluşturulur. GAMBIT ile yapılan modellemede önce noktalar, sonra çizgiler sonra alan ve hacimler oluşturulurken burada direkt olarak hacim oluşturulabilir.

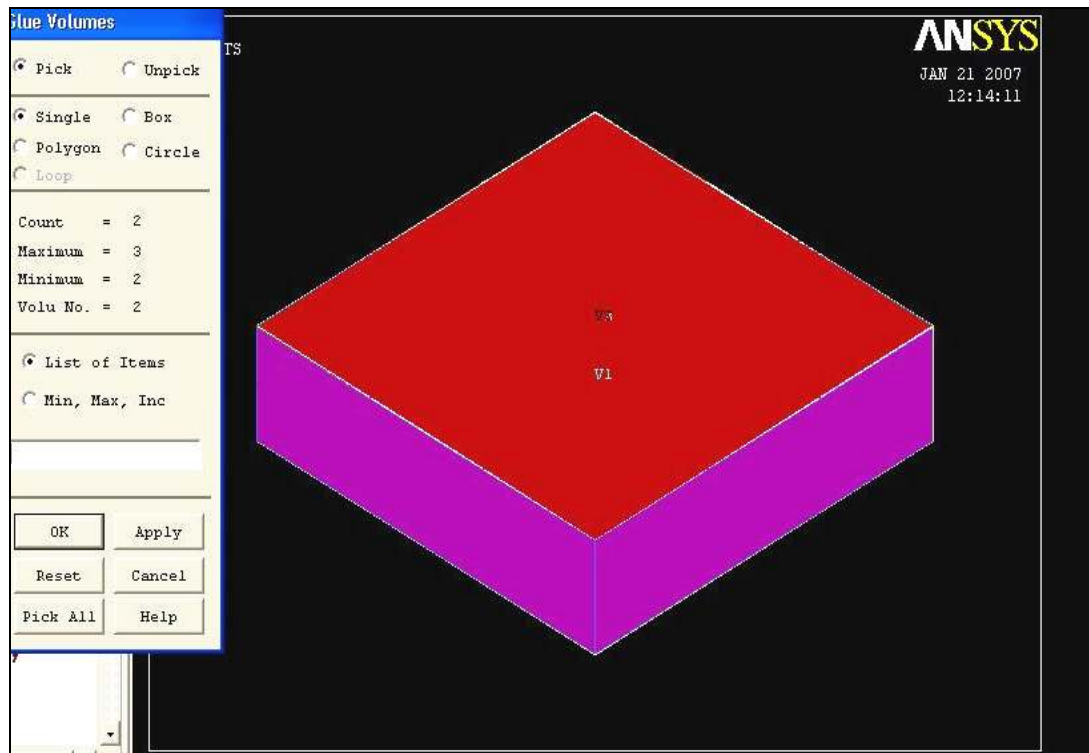


Şekil 4.28. Koordinat sisteminde noktaların belirlenmesi

Önce silikon malzeme daha sonra altın malzeme için noktalar belirlenir. Silikon malzeme için noktalar girildikten sonra “apply” butonuna tıklanır (Şekil 4.28) ve altın malzeme özellikleri girildikten sonra “ok” butonuna tıklanarak iki ayrı hacim oluşturulmuş olur ve ekranda görülebilir. İki ayrı hacmi farklı renkte ve numaralandırılmış görebilmek için ana menü de yer alan “plot ctrl’s” dan “numbering” seçilebilir. Açılan pencereden “volume numbers” bölümüne çentik atılarak numaralandırma ve renklendirme aktif hale getirilir.

Preprocessor → Modelling → Operate → Booleans → Glue → Volumes

Bu komut ile iki ayrı hacmin ortasına tek bir ara yüzey tanımlaması yapılır. Şekil 4.29 ‘da görülen pencereden fare yardımıyla iki hacim arka arkaya seçilir, pencere “count” bölümünde 2 görülmelidir. Bu iki hacmin de seçildiği anlamına gelir. “ok” butonuna basılarak işlem gerçekleştirilir. Böylece ekranda V3 isminde başka bir hacim numarası belirecektir.

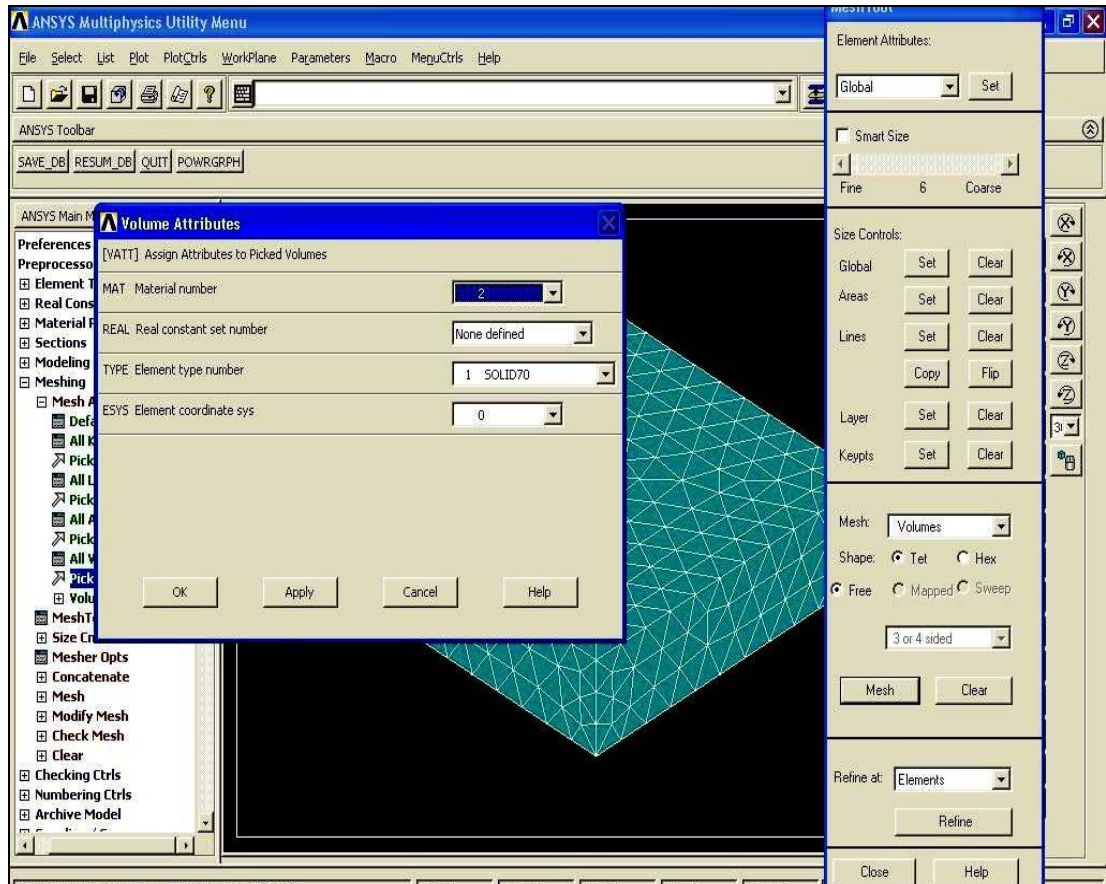


Şekil 4.29. Hacimlerin birleştirilmesi ve ara yüzey oluşturulması

Preprocessor → Meshing → Mesh Attributes → Picked Volumes

Hacimler çizildikten sonra incelemek amacıyla şeklin bölümlere ayrılması yani mesh atılması gerekir. Yukarıdaki komut kullanılarak hacimler ayrı ayrı seçilerek işlem yapılır. Seçilen malzeme yapısı için üçgen mesh uygulanmaktadır.

Mesh işlemi için bir hacim seçildiğinde rengi değişecektir. Sistem size hangi malzeme olduğunu soracaktır. (Şekil 4.30) Altın ve silikon için daha önce girilmiş olan değerler seçiminize göre atanacaktır. Sağ tarafta açılan pencereden “mesh” butonuna tıklandığında hacim fare yardımıyla tekrar seçilir ve mesh araç çubuğunun sağ altında bulunan “mesh” butonuna tıklanarak hacim bölünmüş olur.

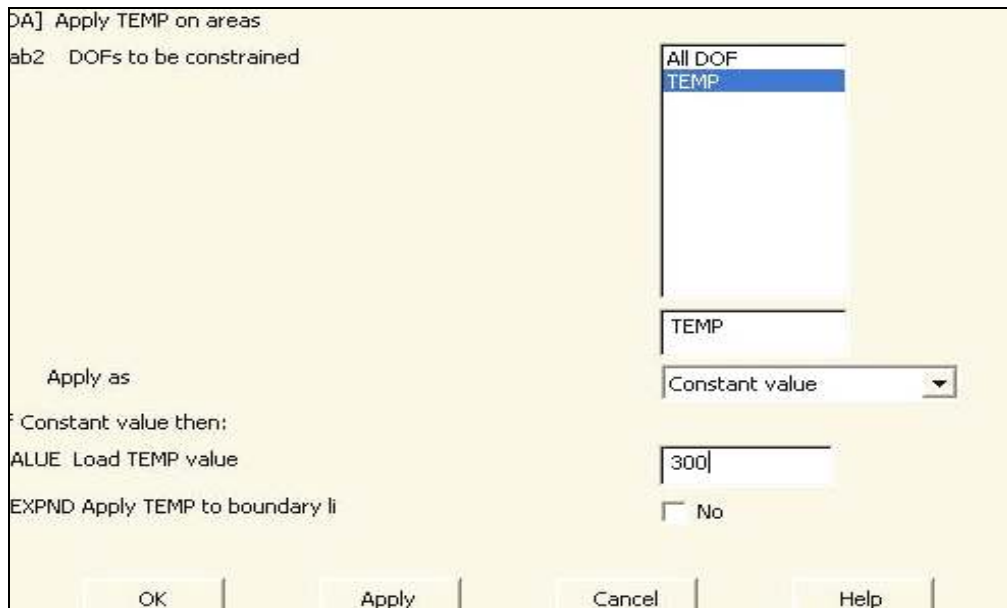


Şekil 4.30. Model için mesh işleminin yapılması

Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Thermal

Bu komut ile açılan pencereden (Şekil 4.31) sınır şartları her bir yüzey için tek tek girilmelidir. Çözümün doğru yapılması için burada hata yapılmaması gerekir.

Tabanda sabit sıcaklık şartını sağlamak için açılan pencereden “Temperature” ve “on areas” seçilir. Fare yardımıyla taban seçilerek “ok” butonuna tıklanır ve sıcaklık değeri için “300” girilir. Burada değer girdiğimiz alanın üzerindeki kutucukta “Constant Value” yazılı olması önemlidir. Bu, sabit değer anlamına gelmektedir. Yukarıda yazılı olan komutun devamında, yan yüzeylere ise hesaplanan ısı transfer katsayılarını girmek için “convection” ve “on areas” seçilerek yüzeyler fare yardımıyla birlikte seçilir ve açılan pencereden “VALUE film coefficient” bölümüne hesaplanan değer yazılır. Ayrıca altın tabakaya ısı üretiminin W/m^3 olarak girilmesi için yukarıda yazan komutun altın açılan menüden “heat generation” ve “on volumes” seçilerek fare yardımıyla üst tabaka seçilir ve açılan pencereye “VALUE Load HGEN value” bölümüne hesaplanan ısı üretimi girişi yapılmalıdır.

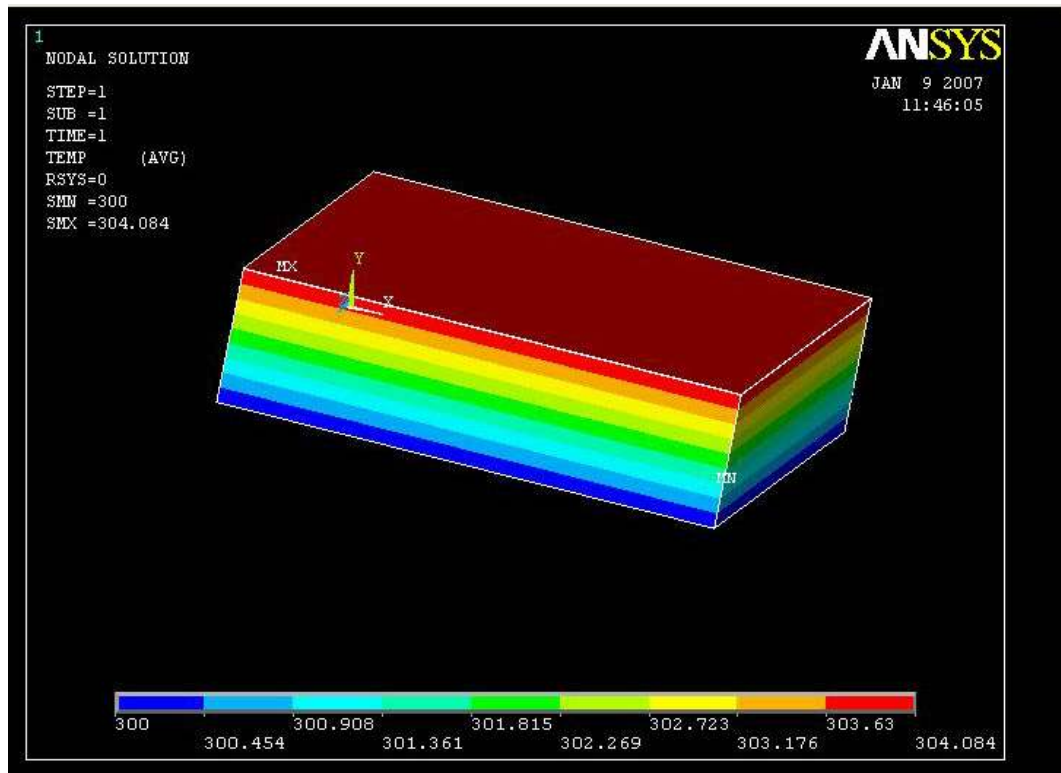


Şekil 4.31. Sınır şartlarının girilmesi

Solution → Solve → Current LS → OK

Bu komut ile girilen sınır şartlarına uygun olarak çözüm elde edilecektir. Çözümün sonuçlarını görebilmek amacıyla ana menüde bulunan “general postproc” ve oradan da “contour plot” ve “nodal solution” seçeneğine tıklanır. Yeni açılan pencereden “DOF Solution “ ve “Temperature” seçenekleri işaretlenirse maksimum sıcaklıklar ve dağılım ekranda görülecektir.

Yine bu menüde “Solution” menüsü kullanılarak sürekli ya da süreksiz şartlarda çözümler elde etmek mümkündür. Ekranın sol tarafında yer alan araç çubuğundan “Solution” seçeneğinin altında yer alan “analysis type” ve “new analysis” seçeneği açıldığında “transient” seçeneği kullanılarak süreksiz şartlarda inceleme yapmak da mümkündür. Fakat sürekli şartlarda çözüm elde etmek istediğimizde sistem kendisi “steady-state” opsiyonu işaretli olarak ele alacak ve bu şekilde çözüm elde edecektir.



Şekil 4.32. ANSYS çözücüsü ile sıcaklık konturlarının genel görünümü

Ana menü → preferences → Structural

Bu komut yardımıyla daha önce Şekil 4.24 'de verilen pencere açılır ve “thermal” seçeneği kaldırılarak sadece “structural” seçeneği işaretlenir. Böylece yapısal analiz yapılacağı komutu verilmiş olur. Bu yapıldığında ekranda mesh atılmış şeklimizin görüntüsünü görebilirsiniz.

Preprocessor → Element Type → Switch Elem Type

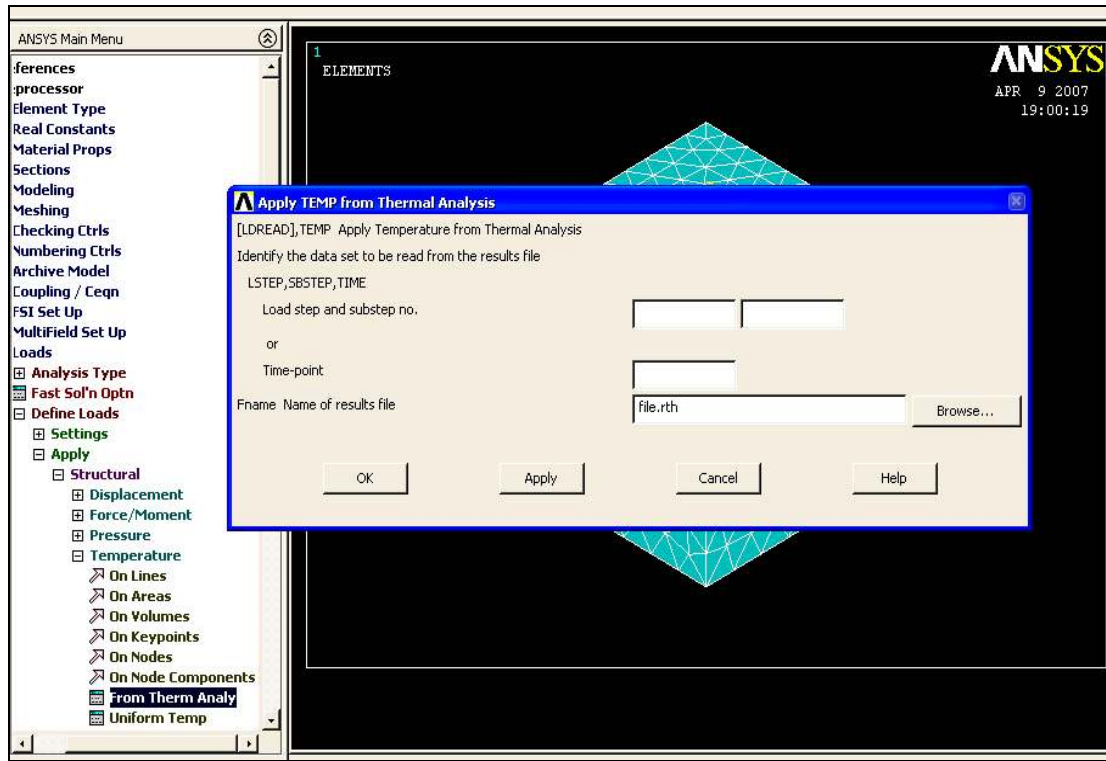
Bu komut kullanılarak yapısal analiz için gerekli dönüşüm yapılır. Açılan menüden “Thermal to Structural” seçilir ve malzeme Solid-45 olarak değişecektir. (Şekil 4.34) Bu aşamadan sonra taban ankastre olarak hareketsiz tanımlanacaktır. Ayrıca sisteme malzemelerin yapısal özelliklerinin de girişi yapılmış olmalıdır.

Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Structural → Displacement

Açılan menüden “on areas” seçilerek tabanın yere sabitlenmesi sağlanmalıdır. Bunun için fare yardımıyla taban alanı seçilir ve “Ok” butonuna basılır. Açılan pencereden “All DOF” seçilerek bütün yönlerde sabitlenmesi sağlanır.

Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Structural → Temperature

Bu komut vasıtasıyla daha önce hesaplanan sıcaklıklar sisteme girilir. Menüden “From Therm Anly” seçilir ve kaydedilen dosya “file.rth” buradan okutulur. (Şekil 4.35) Böylece daha önce yapılan sıcaklık hesaplamaları sisteme aktarılmış olacaktır. Malzeme yapısal özellikleri girilmediyse çözüm elde etmek mümkün olmadığından Şekil 4.27’de görülen pencere açılarak bu özellikler metrik ölçü sistemine göre girilmelidir. Daha öncede belirtildiği gibi sıcaklık değerleri Fluent ile çok yakın olduğundan bu değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.35. ANSYS'de yapısal analiz için sıcaklıkların sisteme yüklenmesi

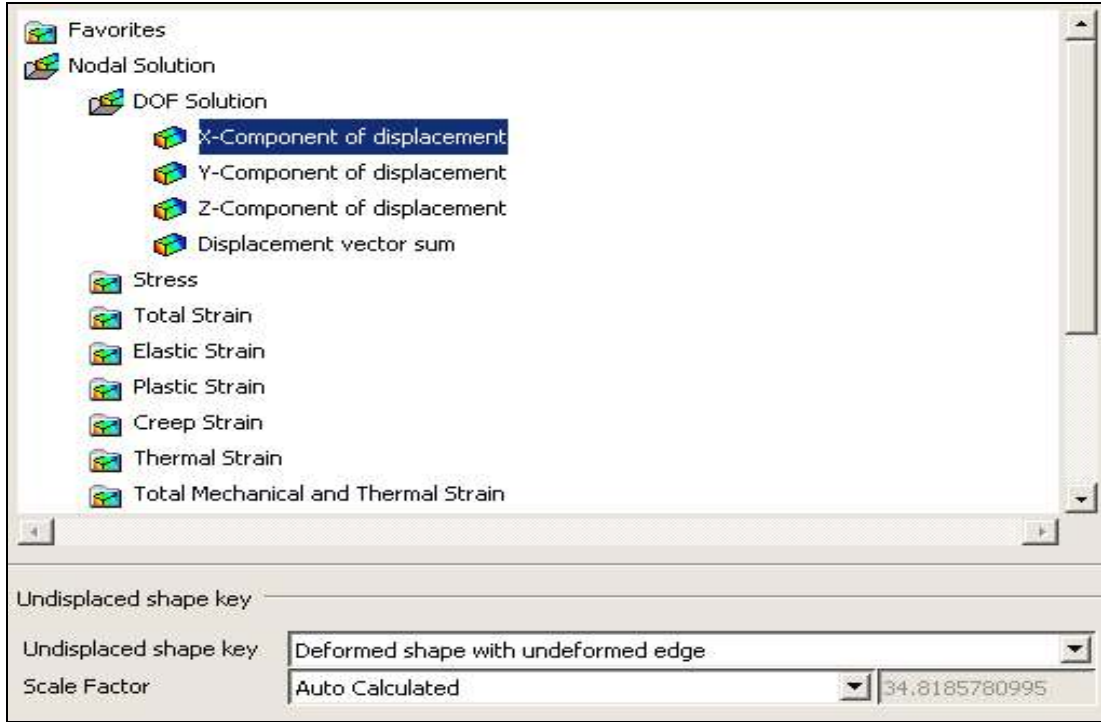
Solution→Solve→Curren LS

Bu komut kullanılarak programın çözüm yapması sağlanır. Sıcaklık analizinde olduğu gibi burada da sürekli ve süreksiz şartlarda analiz yapmak mümkündür. Zaman bağlı olarak yapılan çözümlerde çok küçük zaman aralıkları belirlenerek detaylı inceleme yapılabilir ve değerler elde edilebilir. Çözüm gerçekleştiğinde ekranda “Solution is done” uyarısını görürüz.

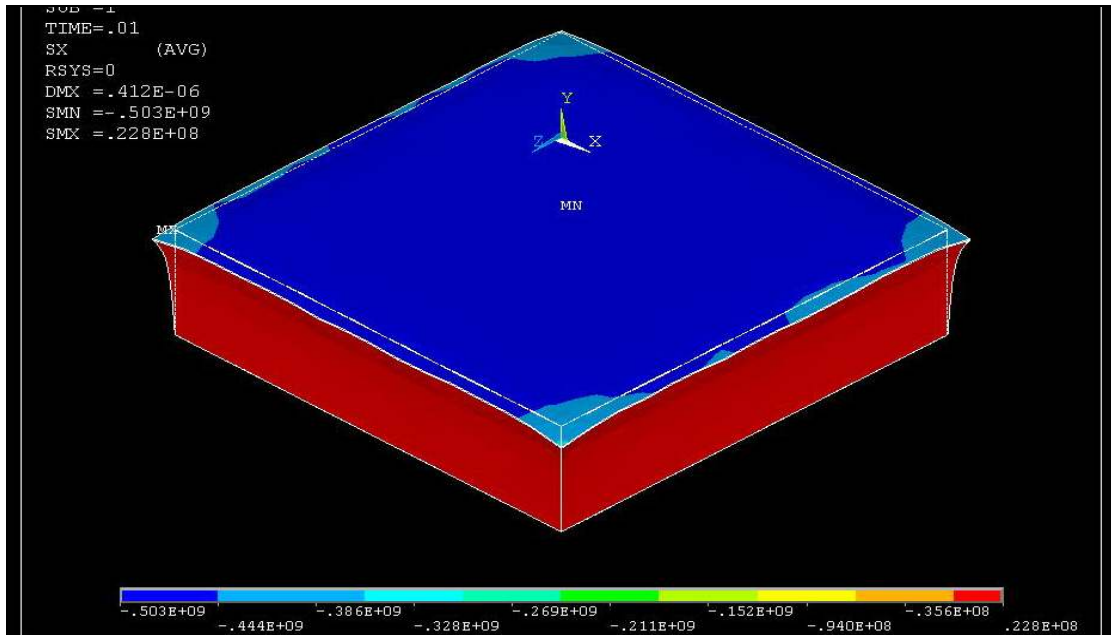
General Postprocs→Plot Results →Contour Plot→Nodal Solution

Bu komut yardımıyla deformasyonu, gerilme ve gerinimleri görmek mümkündür. Açılan pencereden (Şekil 4.36) istenen sonuç ekrana çağırılabilir. Yine ekranın altında yer alan şeklin deforme olmuş ve orijinal halini birlikte görmek için “Deformed Shape with undeformed edge” seçeneği

işaretlenerek modelin iki hali birlikte görüntülenebilir. Buda bize deformasyon ile ilgili bilgi verecektir.



Şekil 4.36. ANSYS'de yapısal analiz sonuç görüntüleme ekranı



Şekil 4.37. ANSYS'de yapısal analiz sonucu gerilme genel görünümü

5. SAYISAL ANALİZİN SONUÇLARI

Daha öncede bahsedildiği gibi öncelikle 0,4 mm. silikon ve 2 μ m. altın tabakadan oluşan çip incelenmiştir. Burada hem silikonun hem de altının kalınlıkları artırılarak ya da ısı üretimleri değiştirilerek farklı sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Yine Ansys kullanılarak sistemde ortaya çıkan deformasyon, gerilme ve gerinme analizi yapılmıştır. Bunun için öncelikle şekiller GAMBIT ile yeniden çizilmiş, daha sonra altın yerine bakır malzeme kullanılmış ve maksimum sıcaklıklar hesaplanmıştır.

Öncelikle sistem Fluent ile iki boyutlu olarak incelenmiştir. Bu durumda ortaya çıkan maksimum sıcaklıklar ve dağılım ile daha sonra elde edilen üç boyutlu çözüm ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.1. Grid Bağımsızlığının İncelenmesi

Herhangi bir çözüme geçmeden önce çizilen şeklin kaç ayrı hacme bölünmesi gerektiği konusunda bu çalışmanın yapılması gerekmektedir. Böylece sistem gereğinden fazla parçaya bölünerek çözüm zorlaştırılmamış olacaktır. Bu amaçla ele aldığımız problem için farklı mesh yapıları incelenmiş ve en uygun olanı belirlenerek mesh işlemi yapılmıştır. Çizelge 5.1 farklı grid sayıları için elde edilen maksimum sıcaklıkları göstermektedir.

Çizelge 5.1. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın kaplamadan oluşan çip için farklı mesh yapılarıyla elde edilen maksimum sıcaklıklar

Mesh Yapısı (x,y,z bölüm sayısı)	Maksimum Sıcaklık Değeri(K)
9 x 3 x 9 (silikon) ve 9 x 2 x 9 (altın)	304,2089
15 x 15 x 5 (silikon) ve 15 x 15 x 3 (altın)	304,2038
30 x 30 x 10 (silikon) ve 30 x 30 x 5 (altın)	304,1174
60 x 60 x 20 (silikon) ve 60 x 60 x 10 (altın)	304,0896
120 x 120 x 40 (silikon) ve 120 x 120 x 20 (altın)	304,0879

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi 60 ve 120 parçaya böldüğümüzde elde edilen maksimum sıcaklıklar birbirine oldukça yakındır. Aslında böyle küçük bir malzeme için çok fazla bölüm oluşturmaya gerek olmadığı ve gereğinden fazla bölümlere yapmanın hem çözümü yavaşlattığı hem de yanlış sonuçlar elde edilmesine sebep olduğu söylenebilir. Problemin incelenmesinde çok az sayıda bölümlere yaparak bazı detayların gözden kaçmasına sebep olmamak amacıyla ve aynı zamanda problemi çözdüğümüz bilgisayar sistemine gereksiz fazla yüklenerek kilitlenme ve hata verme gibi olasılıklardan kaçınmak için 1,5 milimetre uzunluğundaki kenarların 60, 0,4 milimetre uzunluğundaki kenarların 20 ve 2 mikrometre uzunluğundaki kenarların da 10 parçaya bölündüğü bir grid sistemi uygulanmıştır.

Bu mesh yapısıyla elde edilen sonuçlar ve görünümeler sonraki bölümlerde yer almaktadır.

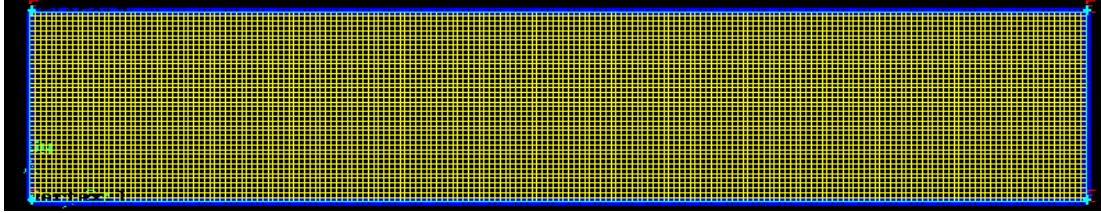
5.2. Fluent ile İki Boyutlu Çözümde Elde Edilen Maksimum Sıcaklıklar

Problem ilk olarak iki boyutlu olarak incelenmiştir. Burada iki boyutlu çözümün verilmesindeki amaç üç boyutlu çözüme göre ulaşılan maksimum sıcaklık değerlerindeki fark fazla olmamasına rağmen iki boyutlu olarak elde edilen bütün çözümlerde sıcaklık dağılımı tamamen uniform bir yapıda ortaya çıkmasıdır. Hâlbuki üç boyutlu çözümler sonrasında bu dağılımın böyle olmadığı ve gerçeği yansıtmaya açısından üç boyutlu çözümün daha kullanışlı olduğu söylenebilir.

Malzemenin hem kalınlıkları hem de güç değiştirilerek maksimum sıcaklıktaki fark gözlemlenmiştir. Ayrıca altın yerine bakır malzeme kullanılması sonucunda hesaplanan sıcaklık değerleri de karşılaştırılabilir.

Bu amaçla önce şekil GAMBIT ile modellenerek Fluent’e aktarılmıştır. Modelleme bir önceki bölümlerde anlatıldığı şekilde altın ve silikon

malzemeden oluşan iki katmanlı bir çip için yapılmıştır. İki boyutlu meshlenmiş görünüm Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Çipin mesh atılmış iki boyutlu görünümü

İki boyutlu çözüm ile elde edilen maksimum sıcaklıklar farklı durumlar için Çizelge 5.2’de yer almaktadır. Burada italik yazılı olan sıcaklıklar çalışmanın güvenilirliğini etkileyecek düzeydedir. Erişilen maksimum sıcaklıktan ziyade 300 K ile arasında oluşan farka dikkat edilerek çözümün söz konusu ısı akısında taban sıcaklığı farklı bile olsa ulaşılabilecek maksimum sıcaklık konusunda bilgi vermesi önemlidir.

Çizelge 5.2. Fluent ile elde edilen sürekli ve süreksiz şartlardaki iki boyutlu çözüm için farklı kalınlıklar, malzeme ve güç için maksimum sıcaklıklar

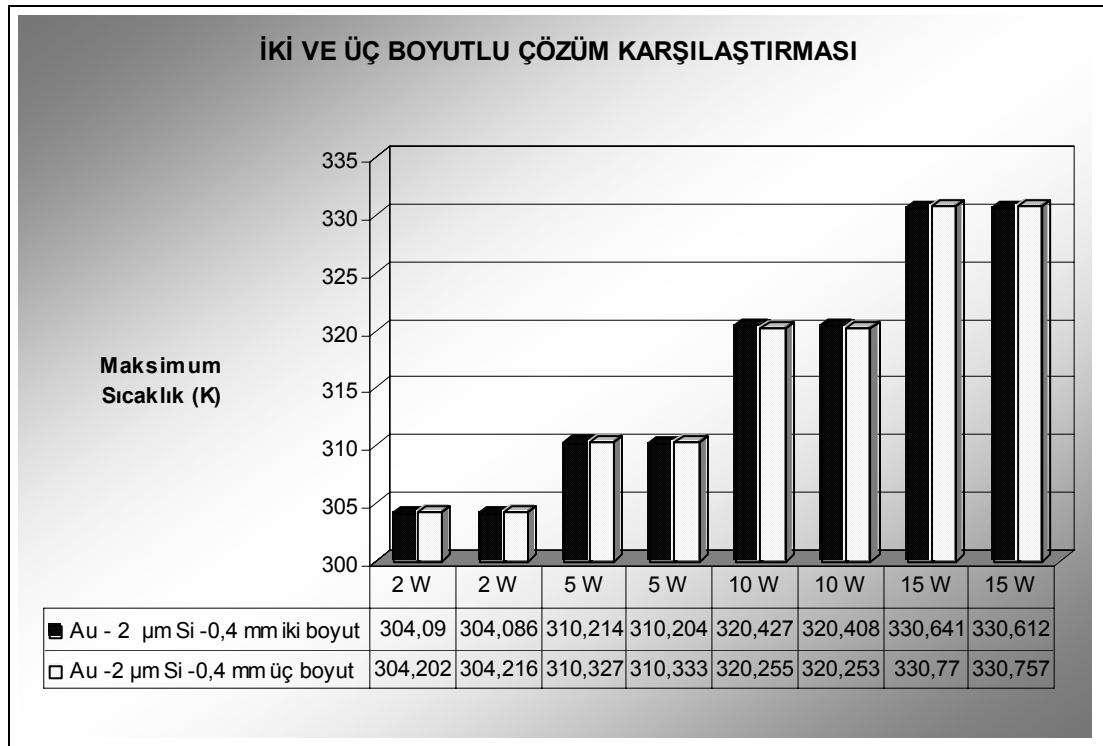
	2 W		5 W		10 W		15 W	
Kalınlık	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz
Au - 2 μ m Si- 0,4 mm	304,0896	304,0857	310,2137	310,2039	320,4274	320,4078	330,6411	330,6117
Au - 5 μ m Si -0,4 mm	304,0941	304,0900	310,2249	310,2148	320,4728	320,4525	330,7053	330,6749
Au - 2 μ m Si -1 mm	310,2181	310,1582	325,5453	325,3955	351,0906	350,7910	376,6359	376,1865
Cu - 2 μ m Si- 0,4 mm	304,0848	304,0808	310,2120	310,2021	320,4239	320,4042	330,6359	330,6063

İki boyutlu analizde dikkati çeken bazı durumlar aşağıda verilmiştir.

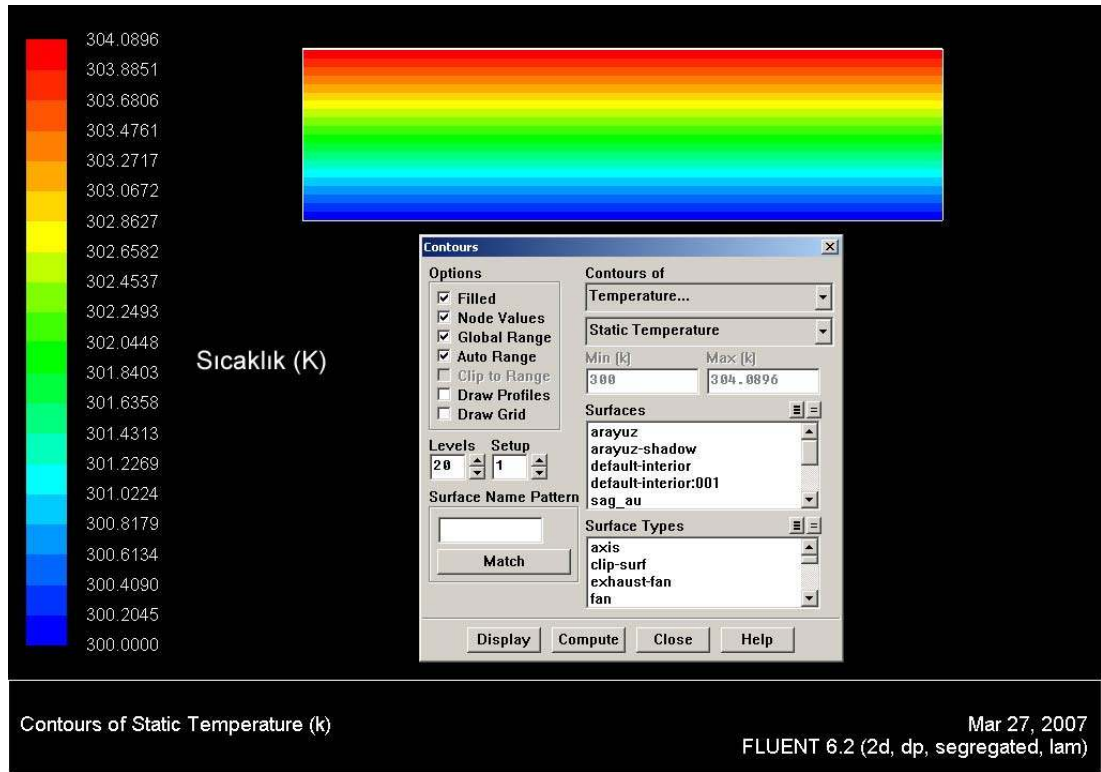
Bunlardan ilki sürekli ve süreksiz çözümler arasındaki fark olmuştur. İki boyutlu analiz sırasında elde edilen çözümlerde süreksiz şartlarda ortaya çıkan maksimum sıcaklıkların sürekli şartlarda elde edilenlere göre az farkla da olsa daha düşük olmasına rağmen, bu durum üç boyutlu analizde tam tersidir.

Gerçek şartlarda, bu gerçeği yansıtmayabilir. Zamana bağlı sıcaklık incelemesinde daha yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Bu da üç boyutlu çözümün daha kullanışlı olabileceği konusunda bize bir ışık tutmaktadır.

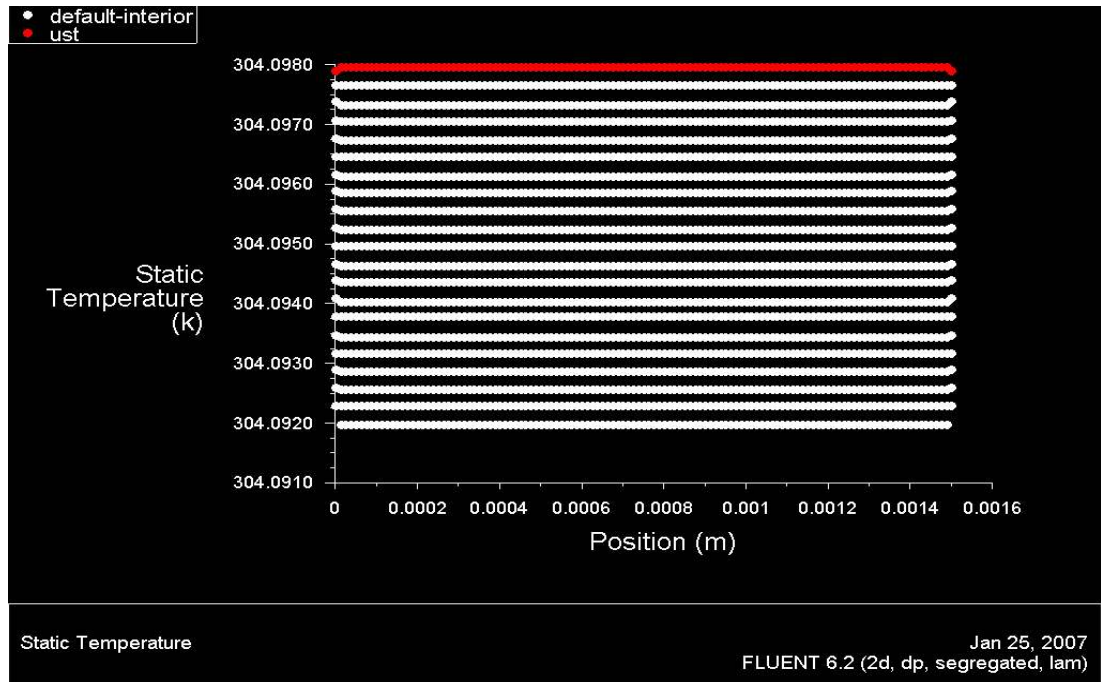
Yine, çipte hesaplanan maksimum sıcaklıklar üç boyutlu çözüm ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Fakat bunlar küçük farklardır. Aşağıda elde edilen çözümlere ilişkin kontur ve sıcaklık dağılımlarını görebilirsiniz.



Şekil 5.2. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakadan oluşan çip için iki boyutlu ve üç boyutlu çözüm arasındaki fark

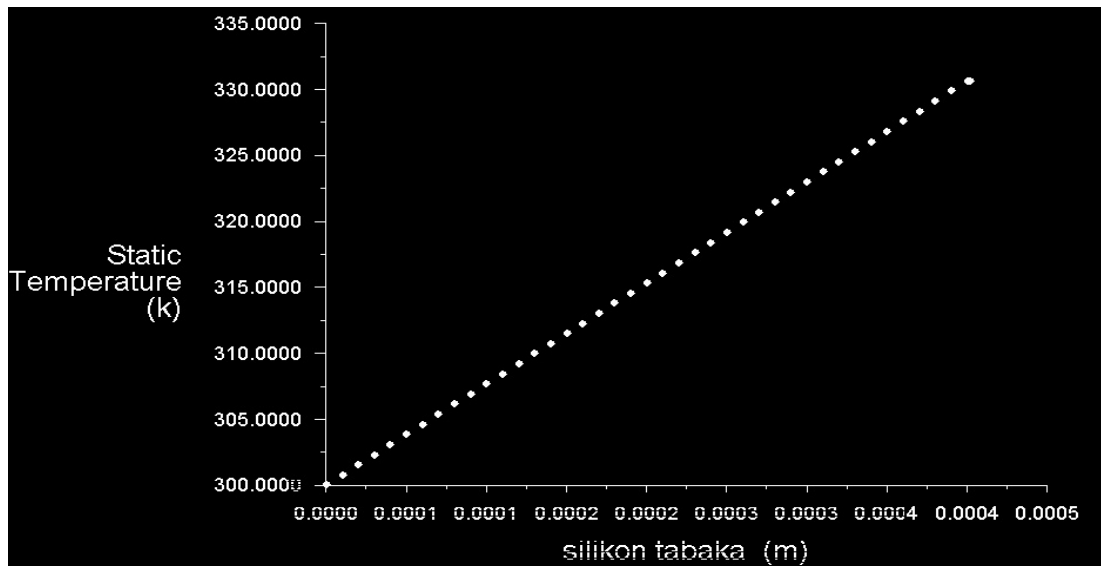


Şekil 5.3. 0,4 mm silikon 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2W güç ile iki boyutlu çözümde oluşan sıcaklık konturlarının görünümü



Şekil 5.4. 0,4 mm silikon 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2W güç ile sürekli şartlarda altın tabaka içinde sıcaklık dağılımı

Şekil 5.4'de açıkça çip üzerinde x-ekseni boyunca sıcaklığın hep aynı değerde kaldığı gözlemlenmektedir. 2 mikrometre kalınlığındaki altın tabaka için üst yüzeye yaklaşıldıkça sıcaklık yine sabit oranlarla artmakta, herhangi bir dağılım farkı gözlemlenmemektedir. Doğal olarak üst yüzey sıcaklıkları en yüksek olanlardır. Üç boyutlu çözüm için elde edilen görünümde iki boyutlu çözümde elde ettiğimiz homojen bir dağılım yerine her noktada değişebilen sıcaklıkları göreceğiz. Ele alınan sistemin boyutları ne olursa olsun bu kadar homojen yapıda bir sıcaklık dağılımı elde etmek zordur, fakat sıcaklık değerleri açısından incelendiğinde her iki çözümde de yaklaşık sonuçların elde edildiğini görmekteyiz. Bu da bize iki boyutlu çözümlerden de elektronik soğutma için faydalanılabileceğimizin göstergesi olabilir. Fakat detaylı incelemeler açısından üç boyutlu çözümler gerçeği yansıtmaya ve tasarım açısından hem maksimum sıcaklıklar hem de sıcaklık dağılımı ile ilgili daha doğru sonuçlar verecektir. Şekil 5.5'de $x=0,00075$ m' de oluşturulmuş yapay yüzeyde tabandan üst yüzeye kadar olan sıcaklık değişimi görülmektedir. Burada yapay yüzey için erişilen maksimum sıcaklık değeri ve tabandan başlayarak üst yüzeye kadar olan mesafede x'in herhangi bir değerindeki sıcaklık değeri aynıdır.



Şekil 5.5. 1 mm silikon 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 15W güç için sürekli şartlarda $x=0,00075$ m' de y-ekseni boyunca sıcaklık değişimi

5.3. Fluent ile Üç Boyutlu Çözümde Elde Edilen Maksimum Sıcaklıklar

Üç boyutlu çözüm için önce bütün değişkenler göz önünde tutularak her bir malzeme kalınlığı değiştiğinde GAMBIT ile şekil yeniden çizilmiş ve her bir durum için problem yeniden Fluent ile modellenerek çözüm elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 de verilen durumlar için altın kaplamanın kalınlığı sonra da silikon malzemenin kalınlığının değiştirilmesi ile hesaplanan sıcaklıklar incelenmiş sonra da altın yerine bakır kullanımının etkileri araştırılmıştır. Öncelikle altın kaplamanın kalınlığı 2 mikrometre iken 10 mikrometreye çıkarılarak yeni değerler elde edilmiştir. Sonrasında ise silikon kalınlığı 0,4 milimetre iken 1 milimetre yapılmış ve yeniden çözüm elde edilmiştir. En son altın yerine bakır malzeme kullanıldığında sonuçların nasıl değişeceği konusu araştırılmıştır. Her bir durum için elde edilen sonuçlar ve karşılaştırmaları bu bölümde verilmiştir. Yine elde edilen sıcaklık konturlarının görünümü ve değişik çözümler için karşılaştırmaları da bu bölümde yer almaktadır.

Çizelge 5.3. Problem çözümü için kullanılan farklı boyut ve malzemeler

İncelenen Durumlar	Kaplama Malzemesi	Kaplama Kalınlığı	Silikon taban kalınlığı
1	Altın	2 μm	0,4 mm
2	Altın	10 μm	0,4 mm
3	Altın	2 μm	1 mm
4	Bakır	10 μm	0,4 mm

Hem sürekli şartlarda hem de zamana bağlı olarak çözümler elde edilmiş olup, Çizelge 5.4 içerisinde koyu, italik olarak belirtilen maksimum sıcaklıklar çip için güvenilirliği azaltan sınırlardadır.

Çizelge 5.4. Fluent ile elde edilen sürekli ve süreksiz şartlardaki üç boyutlu çözüm için farklı kalınlıklar, malzeme ve güç için maksimum sıcaklıklar

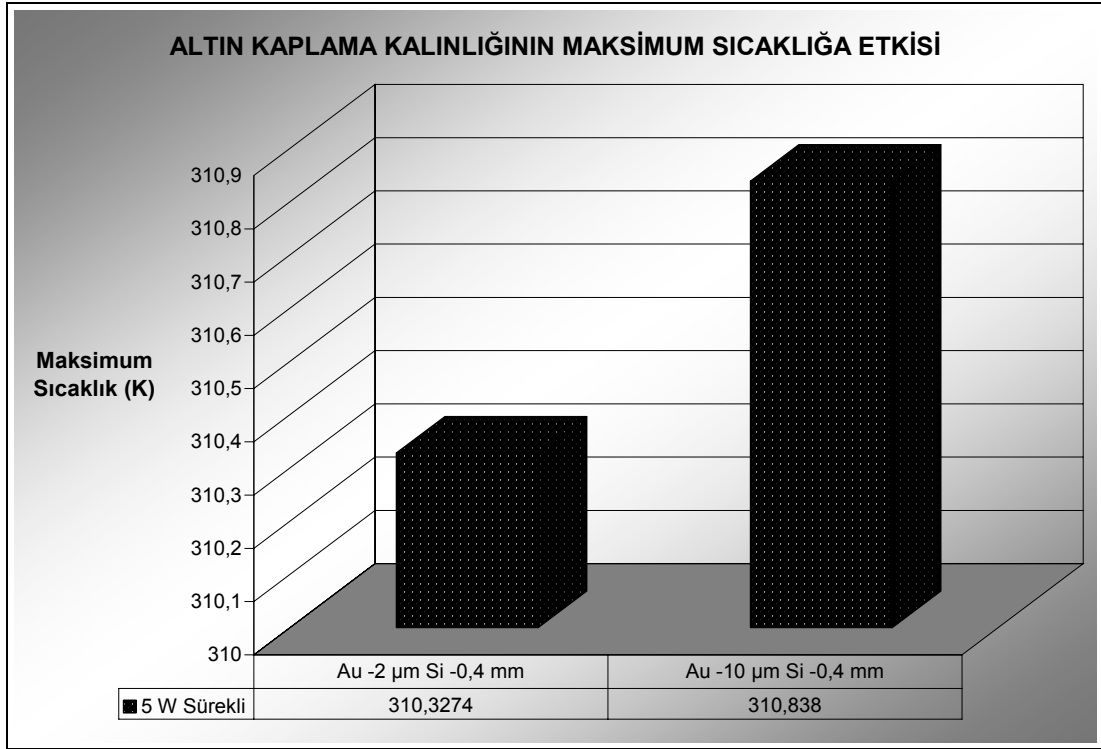
Malzeme ve Kalınlık	2 W		5 W		10 W		15 W	
	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz
Au - 2 μ m Si- 0,4 mm	304,2015	304,2155	310,3274	310,3327	320,2551	320,2527	330,7699	330,7570
Au-10 μ m Si -0,4 mm	304,6870	304,7248	310,8380	310,8726	321,1043	321,1293	331,4137	331,4304
Au - 2 μ m Si -1 mm	310,9092	310,2231	325,6220	325,4486	351,1563	350,8340	376,6902	376,2172
Cu-10 μ m Si- 0,4 mm	304,4679	304,5215	310,6143	310,6621	320,8643	320,9023	331,1575	331,1875

5.3.1 Altın kaplama kalınlığının maksimum sıcaklığa etkileri

Çipin üzerinde yer alan altın malzemenin kalınlığı arttıkça Şekil 5.6'daki gibi maksimum sıcaklık da artıyor. 2 mikrometre olan altın tabakanın kalınlığı 10 mikrometreye çıkarıldığında, 5 W için sürekli şartlarda elde edilen maksimum sıcaklık 310,1772 K' den 311,0361 K' ne yükselmektedir. Bu durum ısı geçiş yolunun uzaması nedeniyle üst tabakada daha fazla ısının muhafaza edilmesi ve sıcaklığın az farkla daha yüksek çıkmasıyla sonuçlanmıştır.

Bu durumda bir genelleme yapacak olursak üst tabaka kalınlığının artırılması sonucunda erişilen sıcaklık düzeyinde de bir artış olmaktadır.

Zaten gelişen teknoloji ile artık mikron seviyesinde yapılan tabakaların nano teknoloji kullanılarak daha da inceltildiği bilinmektedir. Bütün bunların ışığında elde edilen çözümün gerçeği yansıttığını söylemek mümkündür.

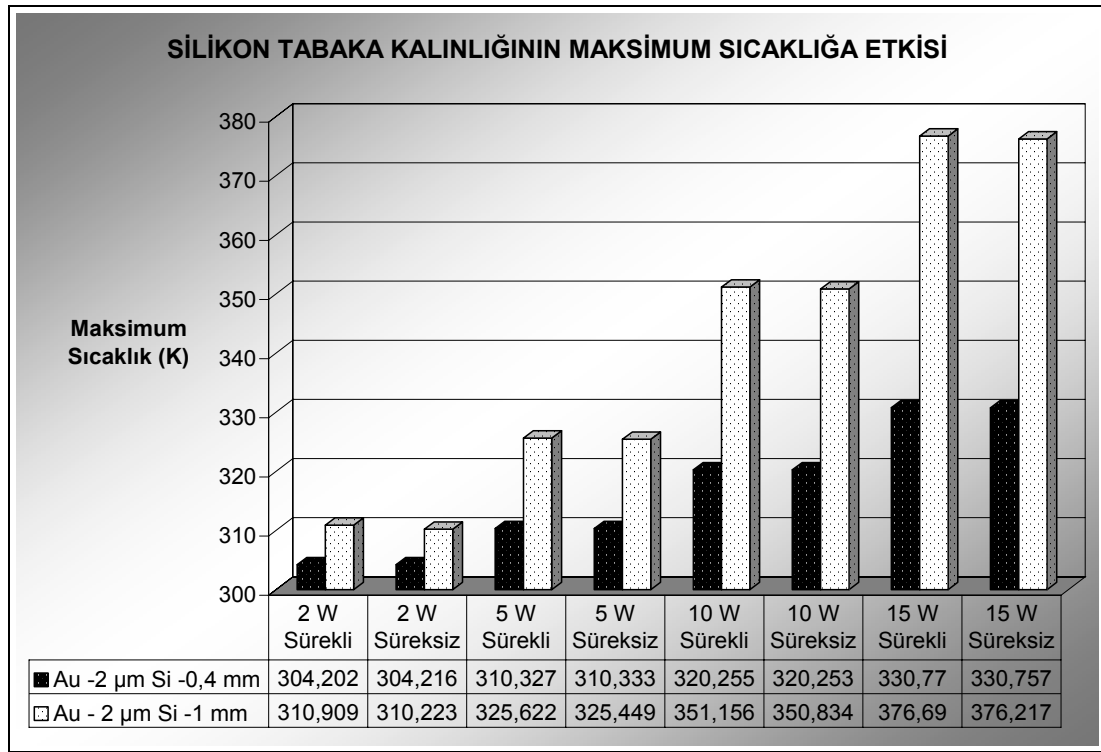


Şekil 5.6. Altın malzeme kaplama kalınlığının maksimum sıcaklığa etkisi

5.3.2. Silikon kaplama kalınlığının maksimum sıcaklığa etkileri

Altın kaplama da olduğu gibi silikon malzemenin kalınlığı artırıldıkça maksimum sıcaklık da artış göstermektedir.

Mesela silikon tabakanın kalınlığı 0,4 mm iken 1 mm yapılırsa bu durumda 5 W güç için sürekli şartlarda elde edilen için maksimum sıcaklık 310,1772 K iken 326,1136 K gibi bir değere yükselmektedir. Altına oranla silikon kalınlığı maksimum sıcaklık üzerinde daha fazla etki göstermektedir. Silikon malzemenin iletkenliğinin altına oranla düşük olması nedeniyle ısı transferine karşı gösterdiği direncin üst yüzeyde görülen maksimum sıcaklık üzerindeki etkileri Şekil 4.7’de görülebilir. Silikon yapı olarak sert bir malzeme olduğundan deformasyona karşı da kullanışlıdır. Artan sıcaklıklar nedeniyle genleşme sisteminde farklı hatalara sebep olacağından çipler silikon bir taban üzerinde yerleştirilirler fakat burada kalınlığın etkisi kesinlikle göz ardı edilmemelidir.

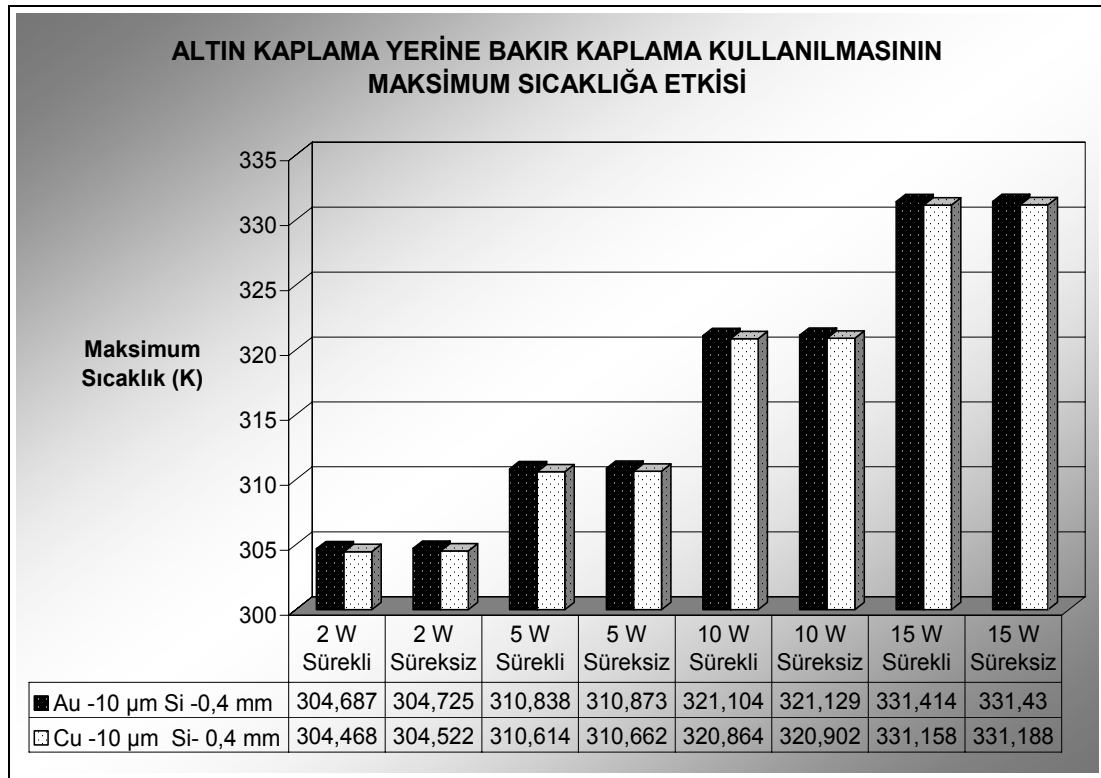


Şekil 5.7. Silikon kaplama kalınlığının artırılması sonucu değişen maksimum sıcaklıklar

5.3.3. Altın yerine bakır kullanılmasının maksimum sıcaklığa etkileri

Malzeme seçimi de sıcaklık dağılımı ve maksimum sıcaklık üzerine etkili olan diğer bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Problemimizin başında altın kaplama kullanılmış ve böylece elde edilen sonuçlar ile kaplamanın bakır olması halinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda bakır malzemenin özelliklerinden kaynaklanan elde edilen maksimum sıcaklığın azaldığı gözlemlenmiştir.

Açıklamak gerekirse; bakır için iletkenlik 387,6 W/m.K iken bu değer altın için 297,73 W/m.K dir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur ki bakır ısıyı daha rahat iletmediği için malzemenin üzerinde oluşan sıcaklık altına göre daha az olacaktır. Malzemenin küçük ve iletkenlik arasındaki farkın fazla olmamasından dolayı iki durum arasındaki sıcaklık artışındaki fark çok yüksek değildir.



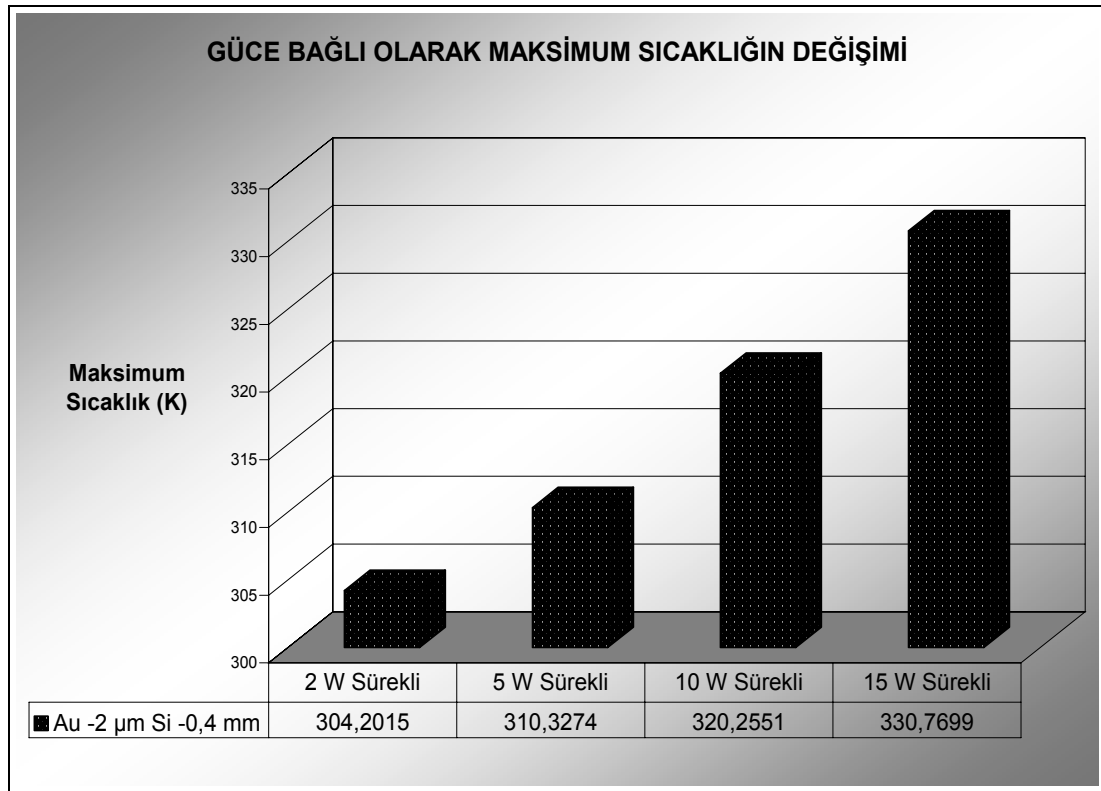
Şekil 5.8. Altın yerine bakır kullanılmasının maksimum sıcaklığa etkisi

5.3.4. Gücün maksimum sıcaklığa etkileri

Problemimizde verilen sabit 300 K taban sıcaklığı şartı ile malzemeye sırasıyla 2, 5, 10, 15 W güç için ısı üretimi uygulanmıştır. Doğal olarak burada ısı üretimi arttıkça maksimum sıcaklık artmıştır. 2 mikrometre altın tabakalı 0,4mm silikon kalınlığı 1,5mm x 1,5mm boyutlarındaki çip için maksimum sıcaklıklar Şekil 5.9'da verilmiştir. Burada önemli olan nokta, bu tür çipler için çalıştıkları ortam sıcaklıkları 30-35 C arasında olduğundan, 25 C'lik bir ısı artışı çipi 60 C gibi sıcaklıklara ulaştıracaktır.

Bilgisayarlarda bazı yazılımlar kullanılmak suretiyle elde edilen maksimum sıcaklıklar incelendiğinde söz konusu derecelerden sonra bilgisayarların kilitlendiği ve hata verdiği konusunda pek çok şikâyet olduğu ortaya çıkacaktır. Bu yüzden 25 C'lik bir artışın sistemde hata olasılığını artıracığı düşünüldükçe bu artış tehlikeli sınır olarak nitelendirilmiştir.

13 W güç civarına söz konusu malzeme ve kalınlıklar ile hata verme ihtimali artmakta ve daha yüksek güçlerin söz konusu olduğu durumlarda hata oranları yükselmektedir.



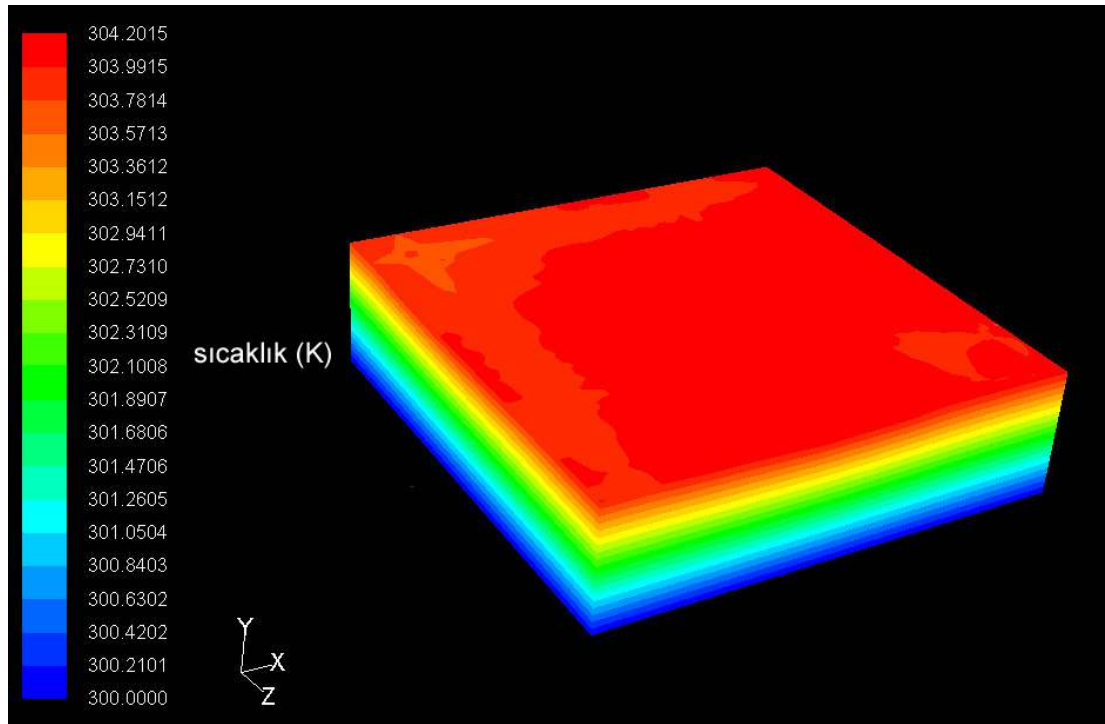
Şekil 5.9. Gücün maksimum sıcaklığa etkisi

5.3.5. Sürekli şartlarda üç boyutlu çözüm ile elde edilen farklı sonuçların görünümü

Bu bölümde Fluent ile çözülmüş olan problemin farklı malzeme ve ısı akıllarında çipteki sıcaklık konturlarının ve yüzey sıcaklık dağılımlarının ve hücrelerdeki sıcaklık yoğunluklarının şekilleri yer almaktadır.

Hem kalınlıkların hem de malzemenin değiştirilmesi sonucunda sıcaklık dağılımları arasındaki fark açıkça gözlemlenebilmektedir. Ayrıca ısı akısının değiştirilmesi ile ortaya çıkan kontur görünümünde yüzeydeki maksimum sıcaklıkların farkı renk ayrımı ile de belli edilmiştir.

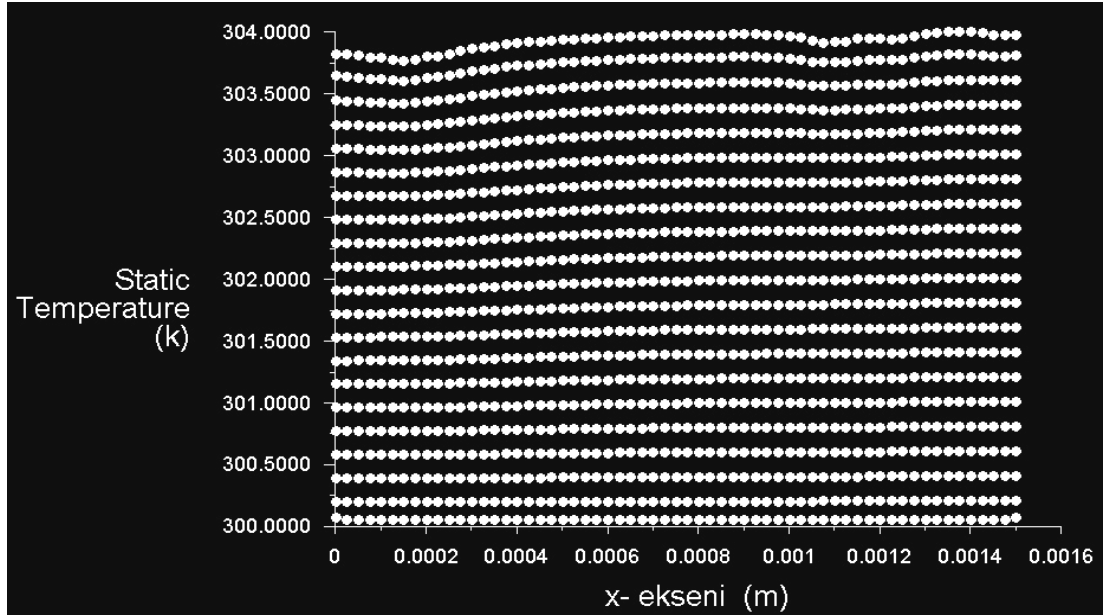
Şekil 5.10'da 2 W güç için 0,4 milimetre silikon tabanlı 2 mikrometre altın kaplamalı bir çipin yüzeyindeki sıcaklık dağılımı renkli bir şekilde görülmektedir. İki boyutlu elde edilen çözüm ile karşılaştırıldığında üst yüzeyde her noktada sıcaklığın aynı olmadığı kırmızı rengin tonları arasındaki farktan da açıkça belli olmaktadır.



Şekil 5.10. 0,4 mm silikon-2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü

Şekil 5.11'de ise silikon tabakanın ön yüzeyinde x-ekseni boyunca gözlemlenen sıcaklık dağılımı verilmiştir. Hatırlanacak olursa iki boyutlu çözüm için elde edilen ön yüzey görünümünde x-ekseni boyunca düz bir çizgi olarak değişmeyen sıcaklıklar burada farklı bir görünüm kazanmışlardır. (0;0;0) noktasından başlayarak (1,5;0,4;0) noktasına kadar sıcaklıklar ortalara doğru biraz azalmış ve kenarlarda yine yükselmeye başlamışlardır. Bu durumda silikon için kenarlarda sıcaklığın daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Burada her bir küçük hacim için elde edilen değer grafiğin üzerinde yer almaktadır. Yani 60 eşit parçaya bölünen silikon malzemenin x-

ekseni yönündeki uzunluğu için 60 ayrı sıcaklık değeri hesaplanmış ve grafiğe aktarılmıştır. Yine y-ekseni yönünde 20 eşit parçaya bölündüğünden bu yönde de 20 ayrı sıcaklık değeri hesaplanmış ve aşağıdaki şekil üzerinde görülmektedir.

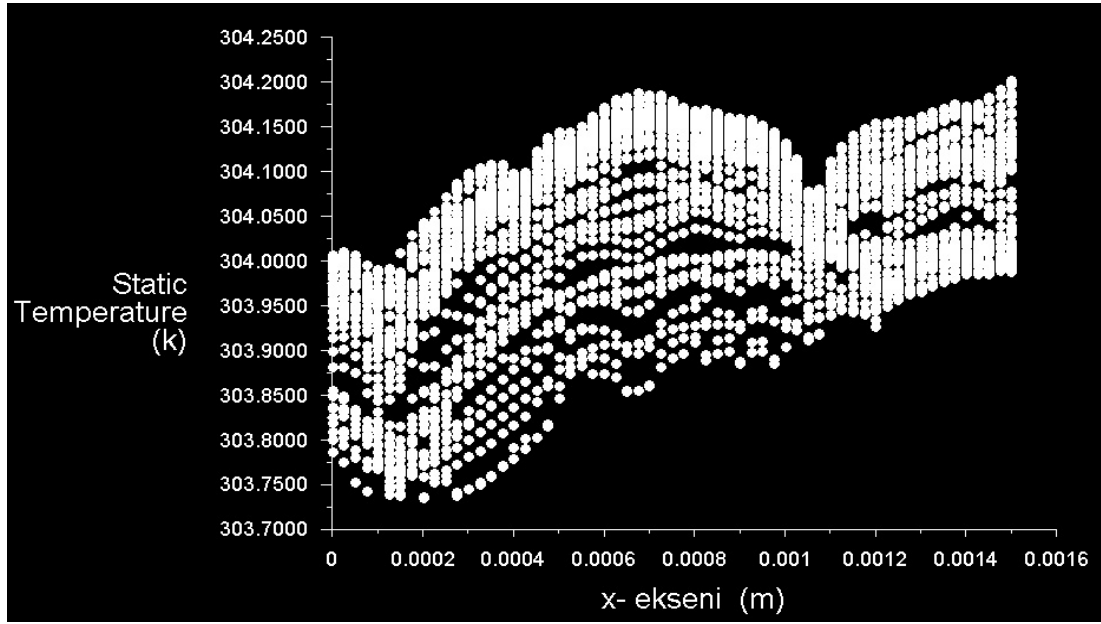


Şekil 5.11. 0,4 mm silikon-2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının silikon ön yüzeydeki görünümü

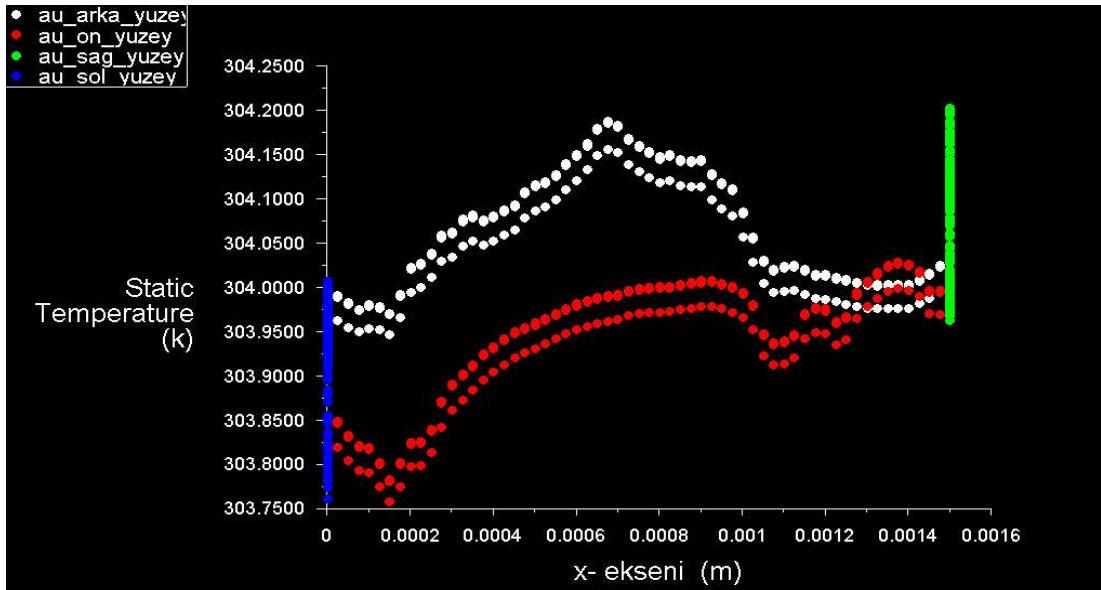
Şekil 5.12 'de ise üst yüzeyde oluşan sıcaklık değerleri görülmektedir. Örneğin aşağıdaki şekilde (0,303) noktasında üst yüzeyde z-ekseni (0;1,5) yönünde okunan sıcaklık değerleri işaretlenmiştir. Z-ekseni yönünde 60 parçaya bölünen model için şekilde y-ekseni boyunca 60 ayrı sıcaklık değeri grilmiş ve bazı değerler aynı olduğundan çakışmış olarak düz bir çizgi halinde görülmektedir. Tam homojen bir dağılım olsaydı burada sadece bir noktanın işaretli olması gerekirdi. Bu da bize açıkça sıcaklık dağılımının iki boyutlu çözümde elde edildiği gibi bir yapıda olmadığını göstermektedir.

Şekil 5.13 altın kaplamanın sağ, sol, arka ve ön yüzeylerindeki sıcaklık değerlerinin işaretlendiği bir grafik. Burada altın kaplamanın ön yüzeyinde okunan sıcaklık değerlerinin arka yüzeye göre daha düşük olduğu

söylenebilir. Fakat bu fark çok azdır ve 0,4 K gibi bir değerdedir. Yine altının sağ yüzeyindeki sıcaklıklar da sol yüzeye oranla daha yüksek hesaplanmıştır.



Şekil 5.12. 0,4 mm silikon-2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyindeki görünümü

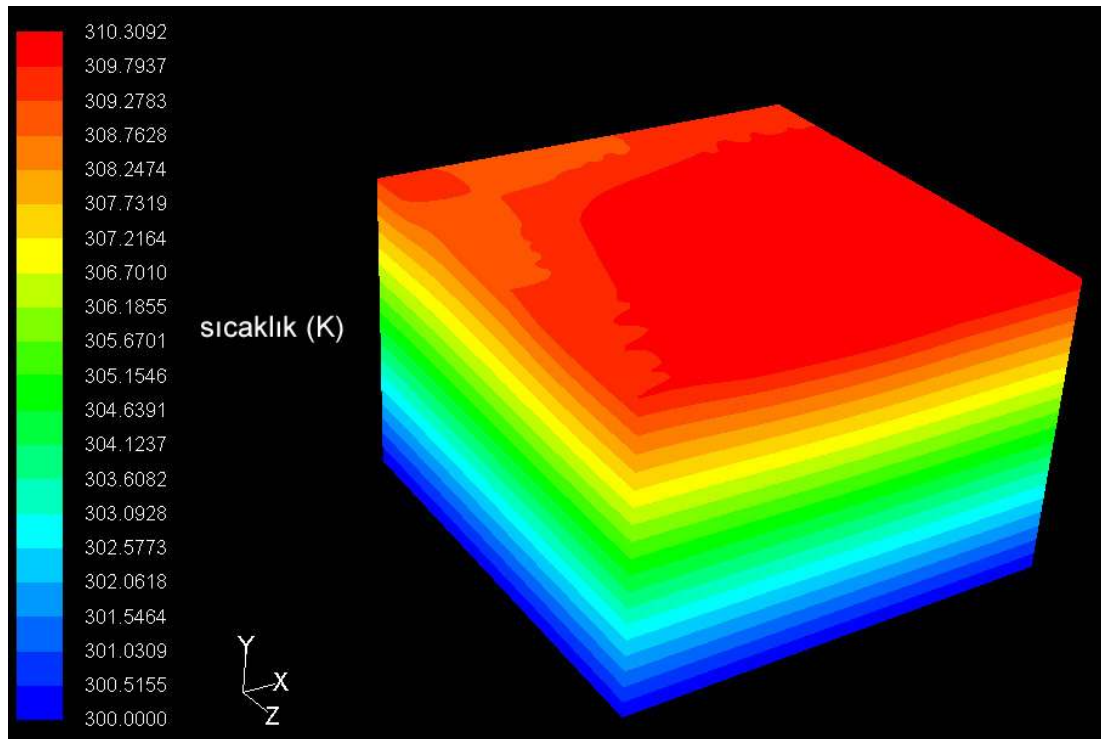


Şekil 5.13. 0,4 mm silikon-2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç için oluşan sıcaklık dağılımının altın yüzeylerdeki görünümü

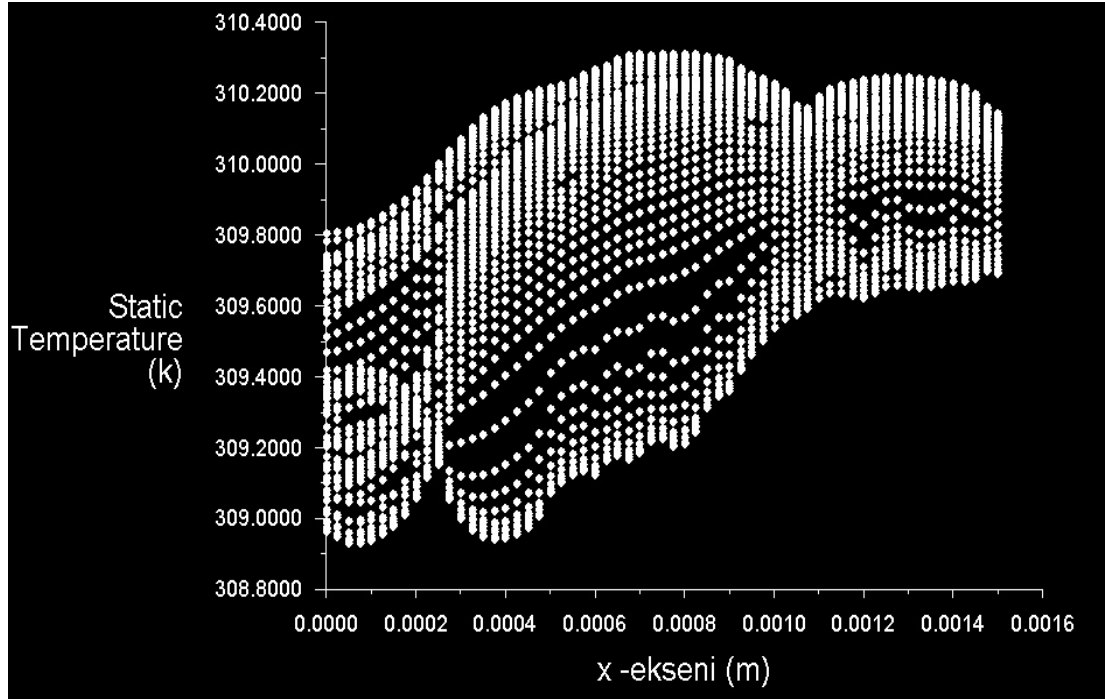
Silikon tabakanın kalınlığının artırılması sonucunda sıcaklık 2W güç için 310K civarında değerlere ulaşmaktadır. Yaklaşık 10K gibi bir sıcaklık farkının olduğu ve bu farkın silikon kalınlığının 0,4 milimetre olduğu durumda 4K gibi bir değer olduğu düşünülürse silikon kalınlığının artırılmasının elde edilen sıcaklık farkı değerlerini büyük ölçüde etkilediği söylenebilir.

Şekil 5.14 üzerindeki kırmızı renk tonlarının Şekil 5.10'a kıyasla daha homojen görünmesi de, sistem bölüm sayısı kadar ince katmanlar halinde incelendiğinde üst yüzeyin aşağıdaki tabakalarla arasındaki sıcaklık farkının daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

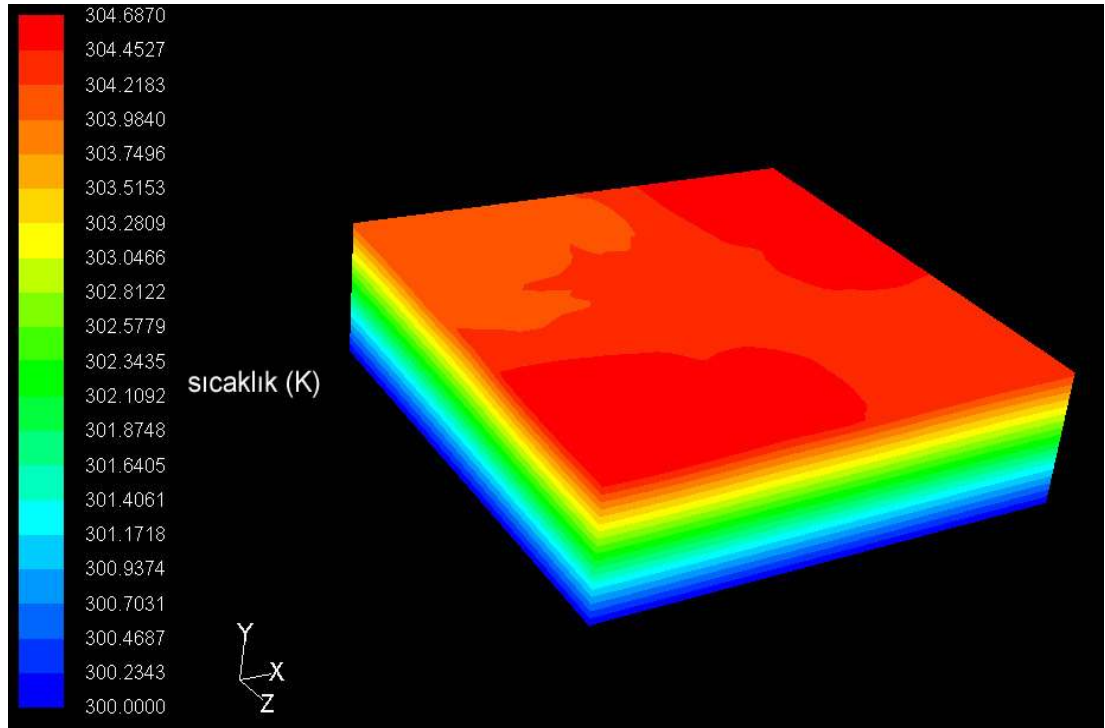
Yine Şekil 5.15'de üst yüzeyde hesaplanan sıcaklık değerlerinin aynı şartlarda silikon kalınlığının 0,4 milimetre olduğu durumdaki inceleme sonuçlarına göre daha geniş bir aralıkta değişmekte olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.14. 1 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü



Şekil 5.15. 1 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyinde görünümü

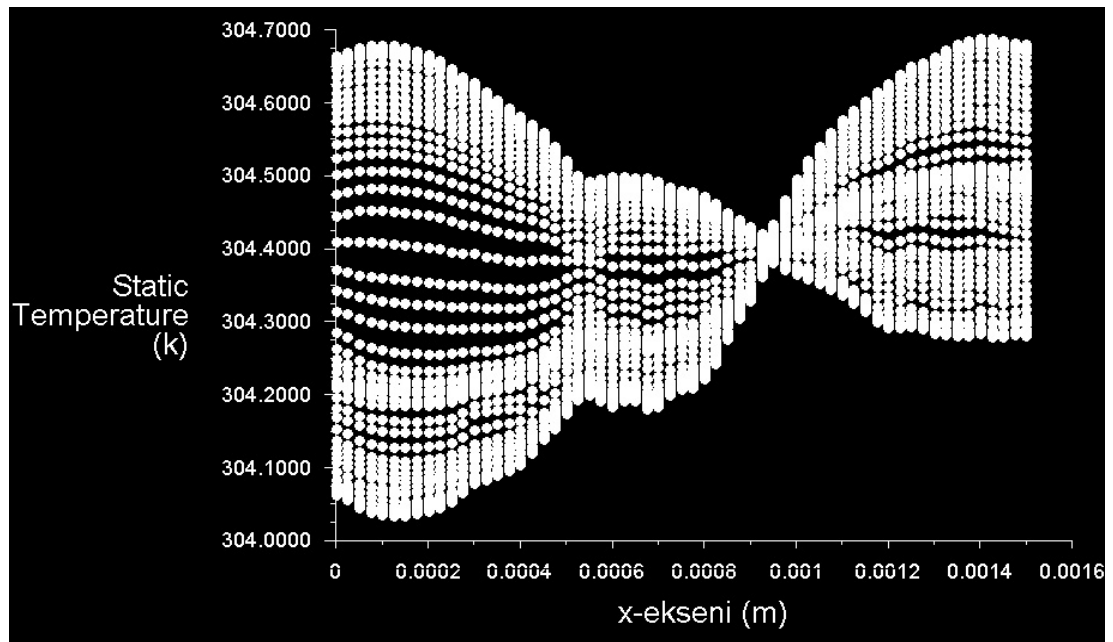


Şekil 5.16. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü

Problemin incelenmesinde kullanılan bir başka parametre ise altın kaplama kalınlığının maksimum sıcaklıklar ve dağılıma etkilerini görmektir. Bu şekilde elde edilen çözüm için konturlar ve üst yüzeydeki sıcaklık değişim aralıkları Şekil 5.16 ve 5.17 de görülmektedir.

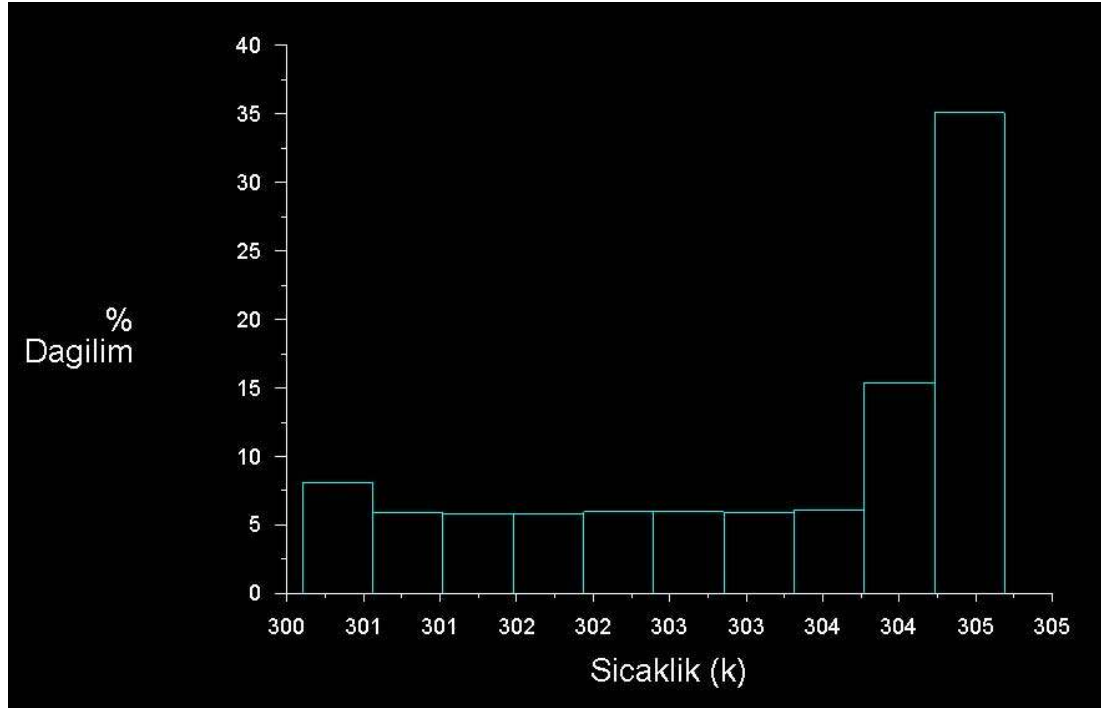
Altın kalınlığının 10 mikrometre olduğu durumda elde edilen sıcaklık değişim aralığı diğerlerine göre farklılık göstermektedir. Burada çipin orta bölümünde, $x=0,001$ 'e kadar sıcaklığın üst yüzeyde z-ekseni yönünde fazla değişmediği gözlemlenmiş ve farklılaşmanın üst yüzeyin kenarlarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen maksimum sıcaklık yaklaşık 1 K daha artmış ve altın kaplamanın kalınlığındaki artışın hem maksimum sıcaklığı artırdığı hem de altın üst yüzeyde oluşan sıcaklığın değişim aralığını farklılaştırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.17 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzey görünümü

$x=0,001$ m de görülen dar değişim ise bize bu bölgede z-ekseni boyunca sıcaklık değerlerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.18. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç için belli sıcaklık aralıklarında yer alan hücre sayıları

Çizelge 5.5. 10 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikon tabakadan oluşan çipte 2 W için hesaplanan sıcaklıkların hücre sayılarına göre dağılımı

Hücre sayısı	Min. Sıcaklık (K)	Max. Sıcaklık (K)	Hücrelerin Sayıca Yüzdesi (%)
6049	300,101159	300,56031	8,0460317
7477	300,56031	301,01903	5,934127
7278	301,01903	301,47775	5,7761905
7297	301,47775	301,93647	5,7912698
7513	301,93647	302,39519	5,9626984
7519	302,39519	302,85391	5,9674603
7455	302,85391	303,31263	5,9166667
7698	303,31263	303,77134	6,1095238
19415	303,77134	304,23006	15,40873
42209	304,23006	304,68878	35,086508
1	304,68878	Daha yüksek	0,00079365079

Çizelge 5.5, Şekil 5.18 için, hangi sıcaklık aralıklarında kaç hücrenin bulunduğunu göstermektedir. Burada çizelgede yer alan değerlere göre sıcaklık değerlerinin %35'i yüksek seviyelerdedir. Malzemenin boyutlarının küçüklüğü ve iletkenlik özellikleri bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

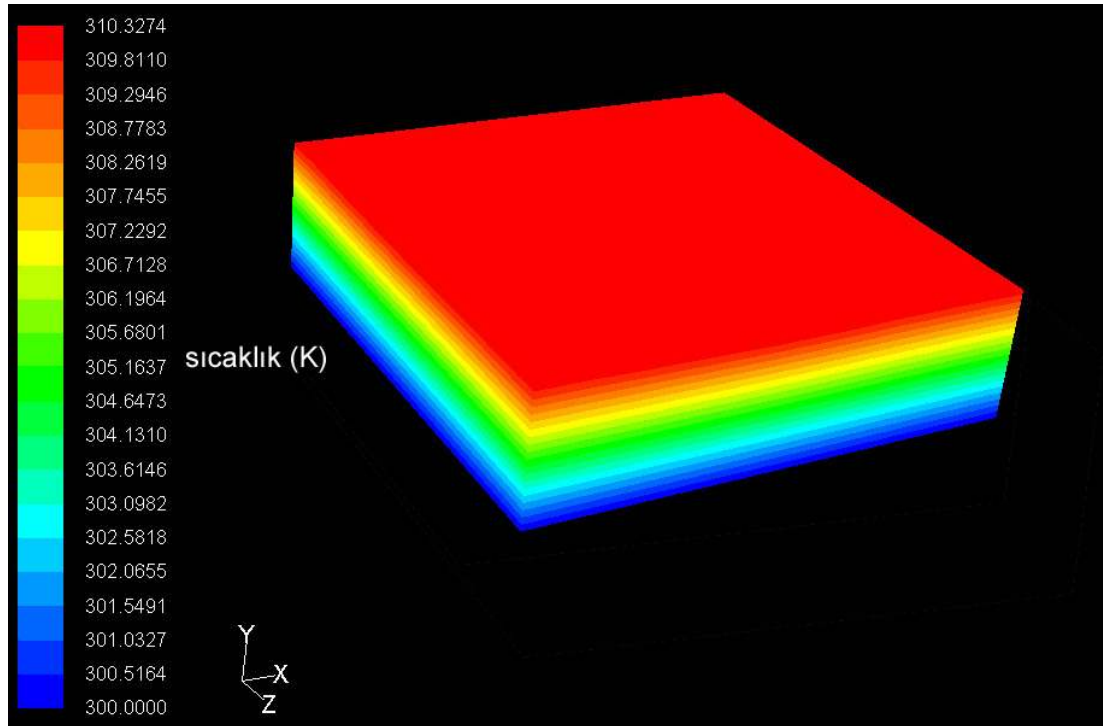
Yine net ısı transferi hesaplatılarak sınır şartlarının ve çözümün doğru yapıldığı yapılmadığı konusunda fikir elde edilebilir. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç ile hesaplanan net ısı transferi çizelge 5.6' da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. 2 W güç için toplam ısı transferinin yüzeylere göre dağılımı

Yüzeyin Adı	Toplam ısı transferi (W)
Üst yüzey	-6,6055 * e-6
Arayüz	-2,1340261
Arayüz-Shadow	2,1339383
Altın arka yüzey	5,4399445 * e-9
Altın ön yüzey	4,1259347 * e-9
Altın sağ yüzey	4,7026161 * e-9
Altın sol yüzey	2,5847484 * e-9
Silikon sağ yüzey	-5,019232 * e-8
Silikon sol yüzey	-1,228957 * e-7
Silikon ön yüzey	-1,1813341 * e-7
Silikon arka yüzey	-5,0412591 * e-8
taban	-2,1340065
Net	-2,1341012

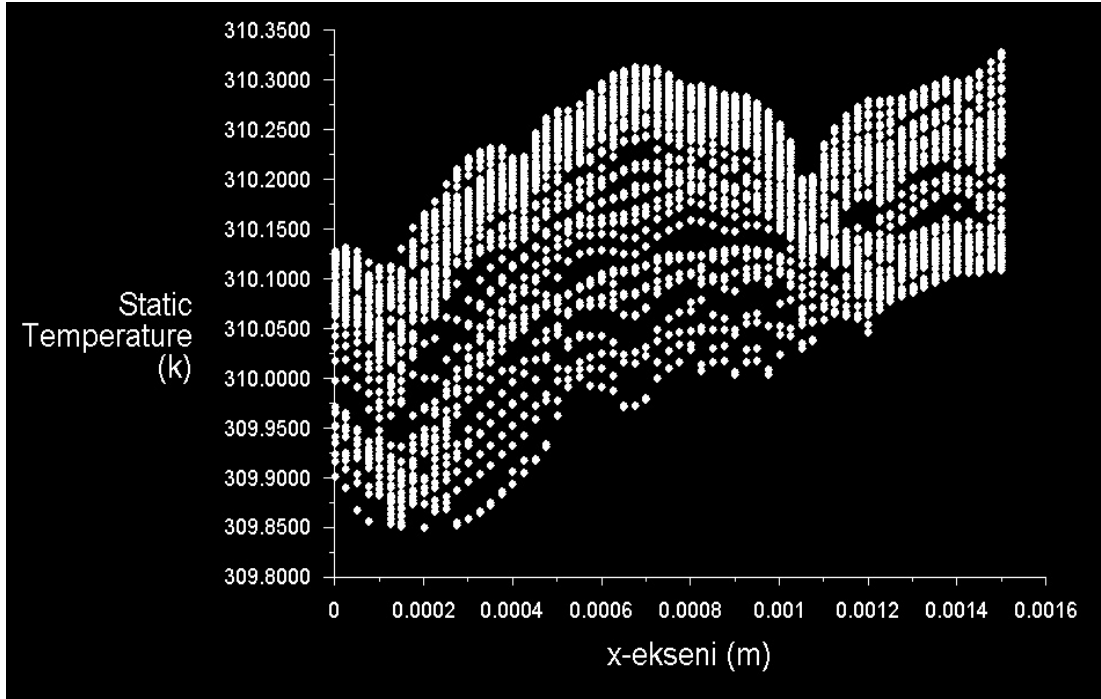
Buradan da anlaşılacağı gibi şekilde yan yüzeylerden küçük miktarlarda bir ısı transferi söz konusudur. Net ısı transferi ise incelen durumla uyumlu olup sadece 2 W olarak hesaplanmıştır.

Aşağıda değişik malzeme ve kalınlıklar için 5 W, 10 W ve 15 W güç ile elde edilen sıcaklık konturlarını ve üst yüzey sıcaklık dağılımlarını görebilirsiniz.

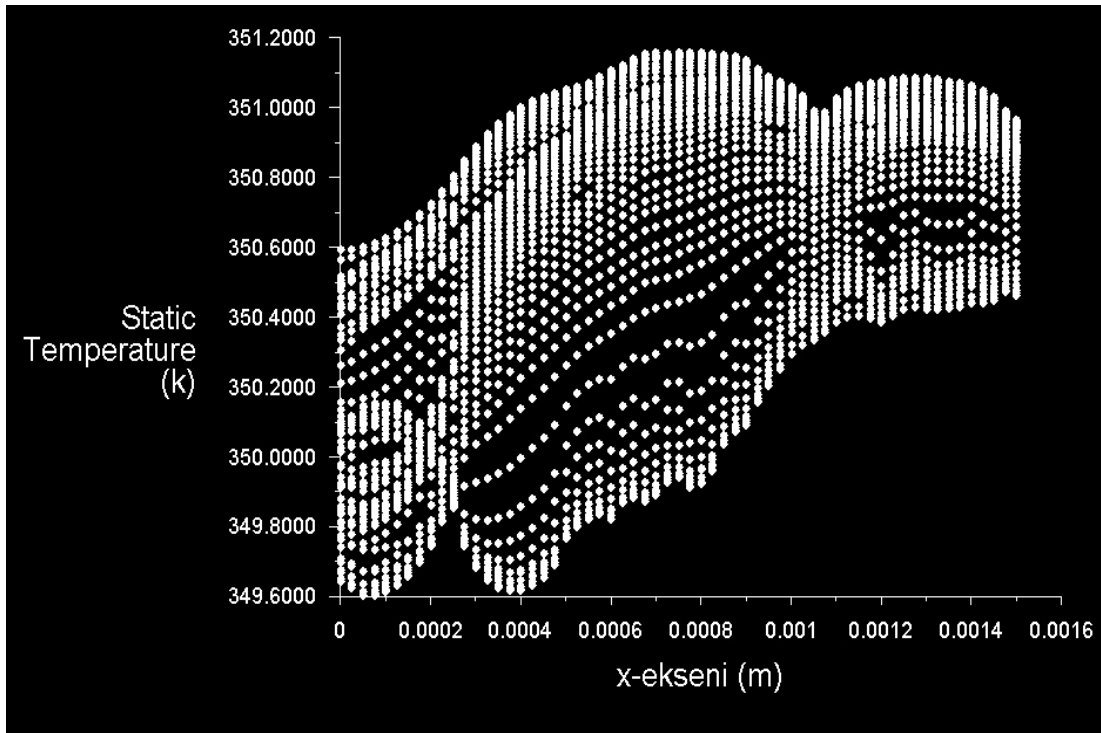


Şekil 5.19. 0,4 mm silikon-2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 5 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü

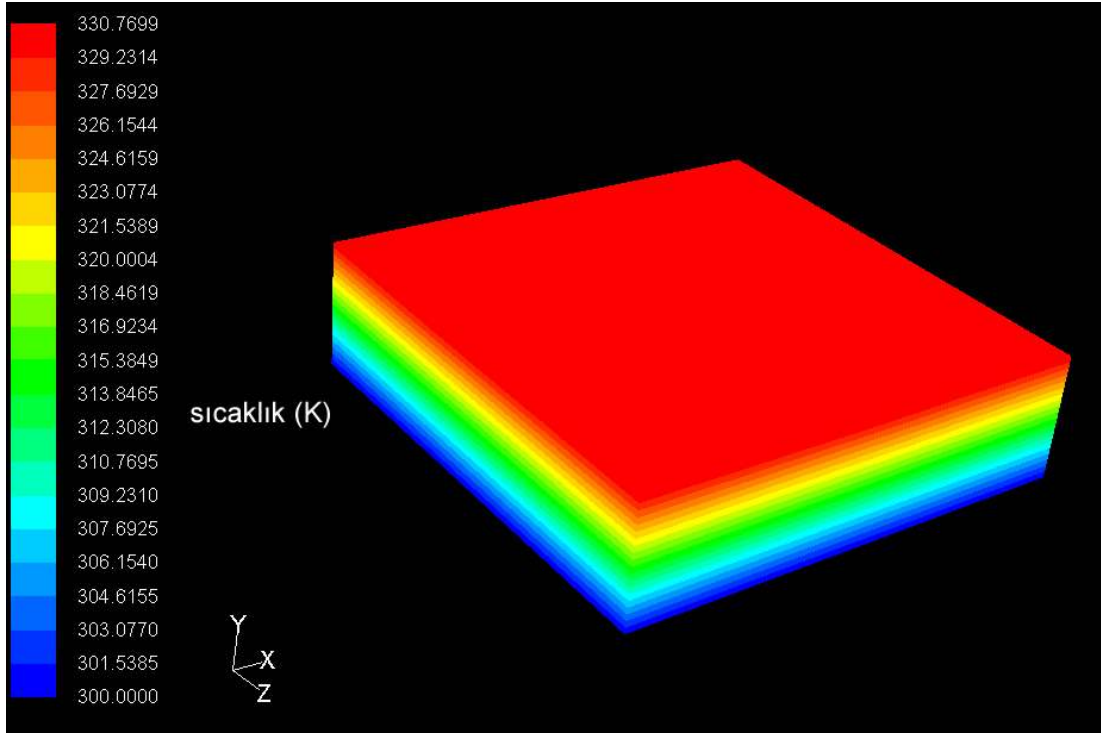
Şekil 5.19 'a dikkat edilirse ısı akısının yükselmesi ile birlikte üst yüzeyde görülen kırmızı rengin homojen olduğu renk farklılığının daha az gözlemlendiği söylenebilir. Daha öncede belirtilen bu durum alt tabakalarla olan sıcaklık farkının yüksek olması ve o seviyede bir sıcaklığın bu yüzeyde bulunamamasındandır. Sıcaklığın artması ile birlikte üst yüzeyden aşağıya doğru gerçekleşen ısınma da renklerin giderek sarı ve yeşile dönüşmesinden de anlaşılabilir. 2 W güç ile çalışan aynı şartlardaki çip için elde edilen sıcaklık konturları ile karşılaştırıldığında burada mavi renkte görünen alanların daha az olduğu görülecektir. (Bkz. Şekil 5.10)



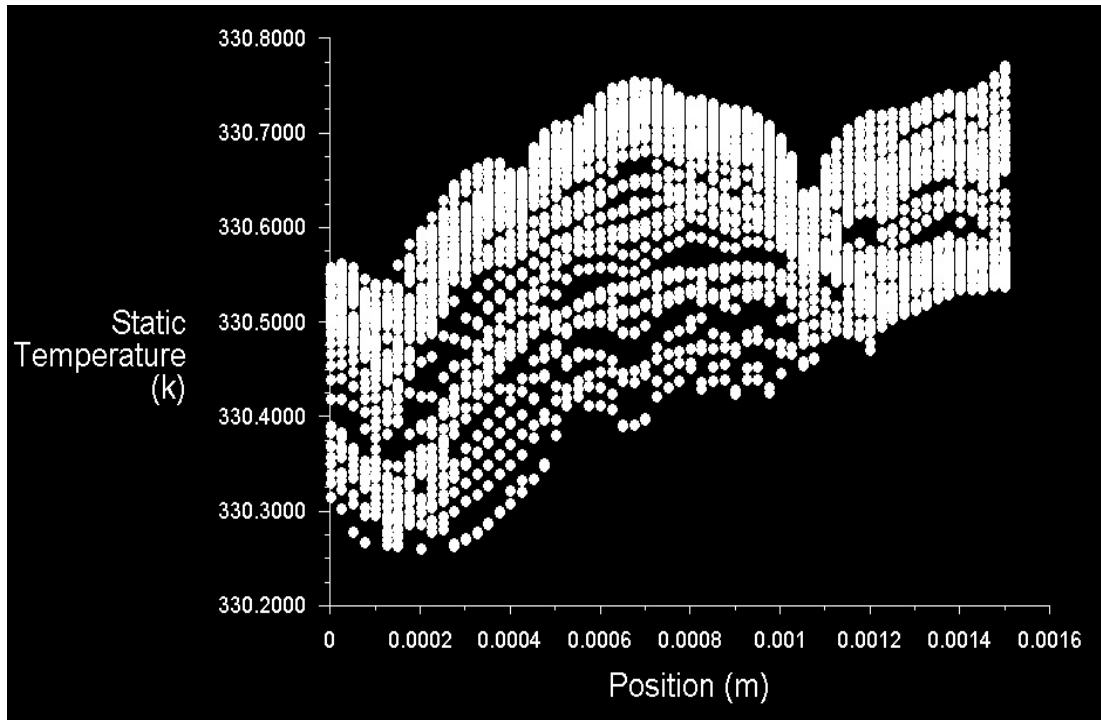
Şekil 5.20. 0,4 mm silikon-2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 5 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyindeki görünümü



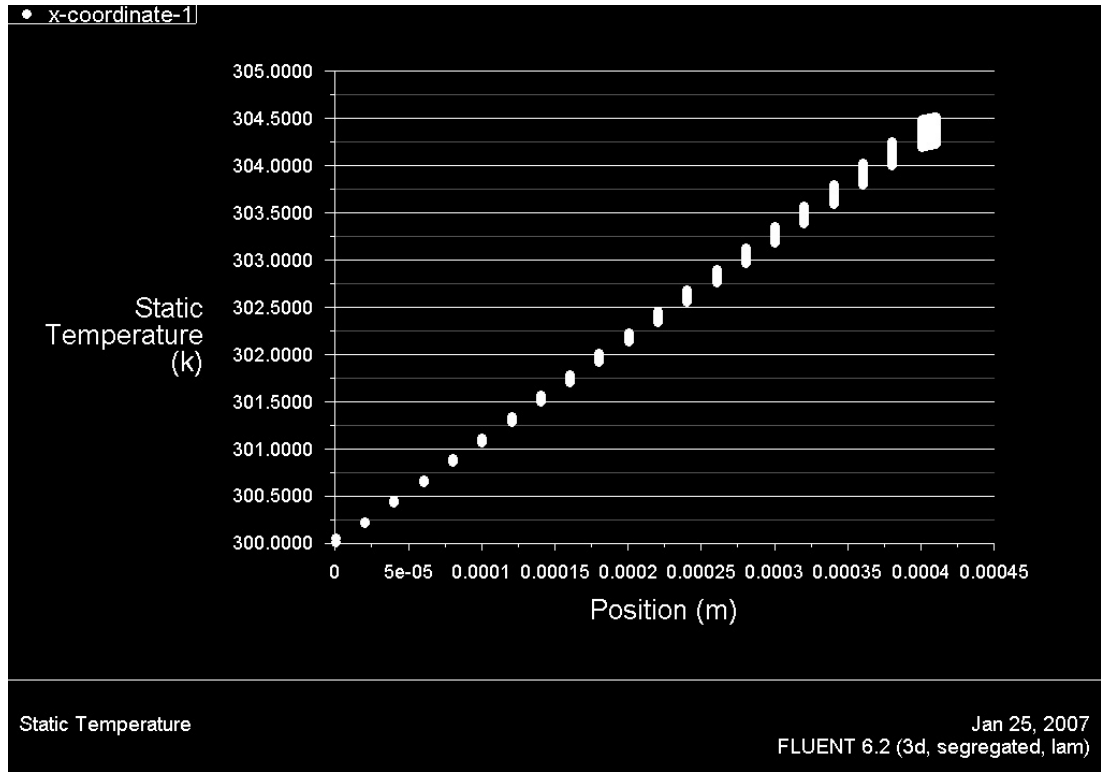
Şekil 5.21. 1 mm silikon-2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 10 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımının altın üst yüzeyindeki görünümü



Şekil 5.22. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 15 W güç ile oluşan sıcaklık konturlarının görünümü



Şekil 5.23. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 15 W güç ile oluşan sıcaklık dağılımı altın üst yüzeyde görünümü



Şekil 5.24. 0,4 mm silikon ve 10 mikrometre altın tabakalardan oluşan çipte 2 W güç için $x=0,00075$ m 'de y-ekseni boyunca sıcaklık değişimi

Şekil 5.24.'de ise altın tabakanın kalınlığının 10 mikrometre yapılması sonucunda elde edilen 2 W için $x=0,00075$ m 'de y-ekseni boyunca hesaplanan sıcaklıklar vardır.

Yukarıdaki şekillerden görüleceği gibi yüzeylerdeki sıcaklık dağılımı farklı parametrelerin değiştirilmesi sonucu her biri için ayrı ayrı çözüm yapılarak elde edilmiştir.

5.3.6. Fluent ile sıcaklığın zamana bağlı olarak incelenmesi

Problemin incelenmesinde ayrıca zamana bağlı olarak sıcaklığın değişimi konusunda bilgi sahibi olmak da bu araştırmada bizlere ışık tutacaktır. Bu amaçla 5 W güç ile çalışan bir çip için belli periyotlarda sıcaklık değişimleri araştırılmıştır. Sınır şartlarında bir değişiklik yapılmadan başlangıç sıcaklığı $T=300$ K olarak alınmıştır. Saniyenin onda biri gibi bir zaman sonrasında

maksimum sıcaklığa erişildiği gözlemlenmiştir. Çizelge 5.7 'de 5 W ile çalışan çip için zamana bağlı olarak elde edilen maksimum sıcaklıklar verilmiştir.

Çizelge 5.7. 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakadan oluşan çip için 5 W güç ile zamana bağlı sıcaklık değerleri

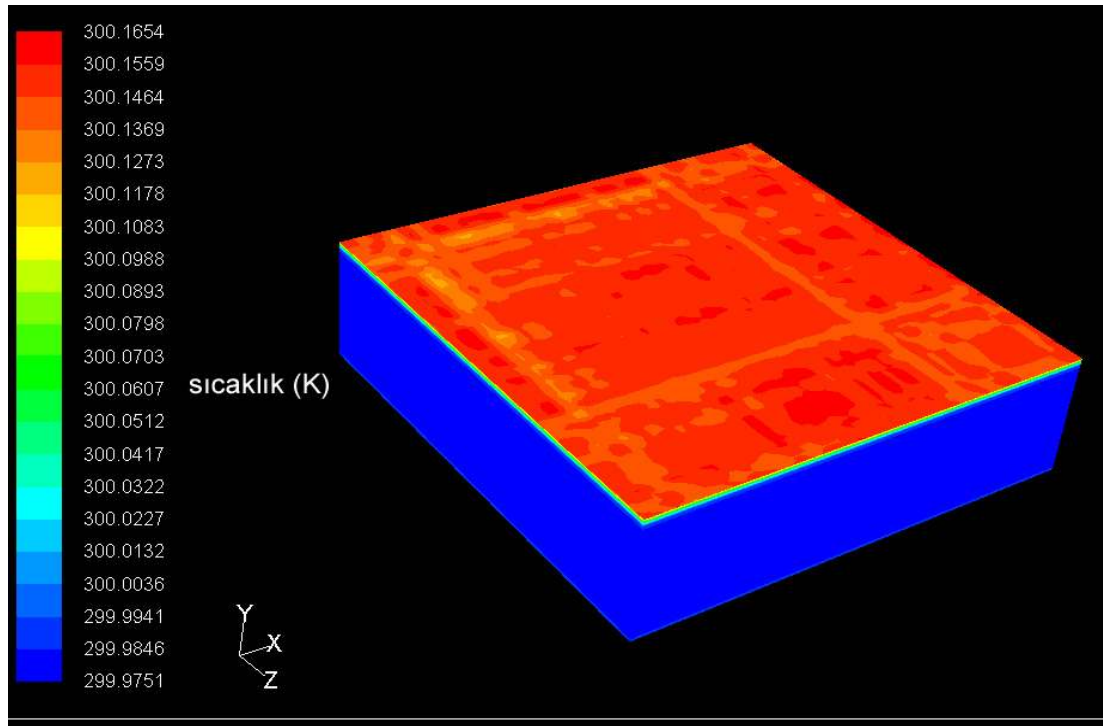
Zaman (sn)	Sıcaklık (K)
0	300,0000
0,000001	300,1654
0,000002	300,2704
0,000003	300,2739
0,000004	300,3601
0,000005	300,3634
0,000006	300,3671
0,000007	300,4524
0,000008	300,4554
0,000009	300,4591
0,00001	300,4665
0,00002	300,8298
0,00003	301,0567
0,00004	301,2491
0,00005	301,4180
0,00006	301,5702
0,00007	301,7101
0,00008	301,8402
0,00009	301,9614
0,00010	302,0757
0,00011	302,1841
0,00021	303,1067
0,00031	303,8279
0,00041	304,4394
0,00051	304,9764
0,00061	305,4551
0,00071	305,8880
0,00081	306,2820
0,00091	306,6426
0,00101	306,9734
0,00111	307,2762
0,00211	308,2110
0,00311	308,8107
0,00411	309,1362
0,00511	309,3134
0,00611	309,4072
0,00711	309,4572
0,00811	309,4836
0,00911	309,4984
0,01011	309,5054

Çizelge 5.7. (Devam) 0,4 mm silikon ve 2 mikrometre altın tabakadan oluşan çip için 5 W güç için zamana bağlı sıcaklık değerleri

Zaman (sn)	Sıcaklık (K)
0,01111	309,5056
0,02111	310,6406
0,03111	310,7398
0,04111	310,7464
0,05111	310,7464
0,06111	310,7464
0,07111	310,7464
0,08111	310,7464
0,09111	310,7464
0,10111	310,7464
0,11111	310,7464
0,21111	310,5008
0,31111	310,5008
0,41111	310,5008
0,51111	310,5008
0,61111	310,5008
0,71111	310,5008
0,81111	310,5008
0,91111	310,5008
1,01111	310,5008
1,11111	310,5008
2,11111	310,4470
3,11111	310,4470
4,11111	310,4470
5,11111	310,4470
6,11111	310,4470
7,11111	310,4470
8,11111	310,4470
9,11111	310,4470
10,11111	310,4470
11,11111	310,4470

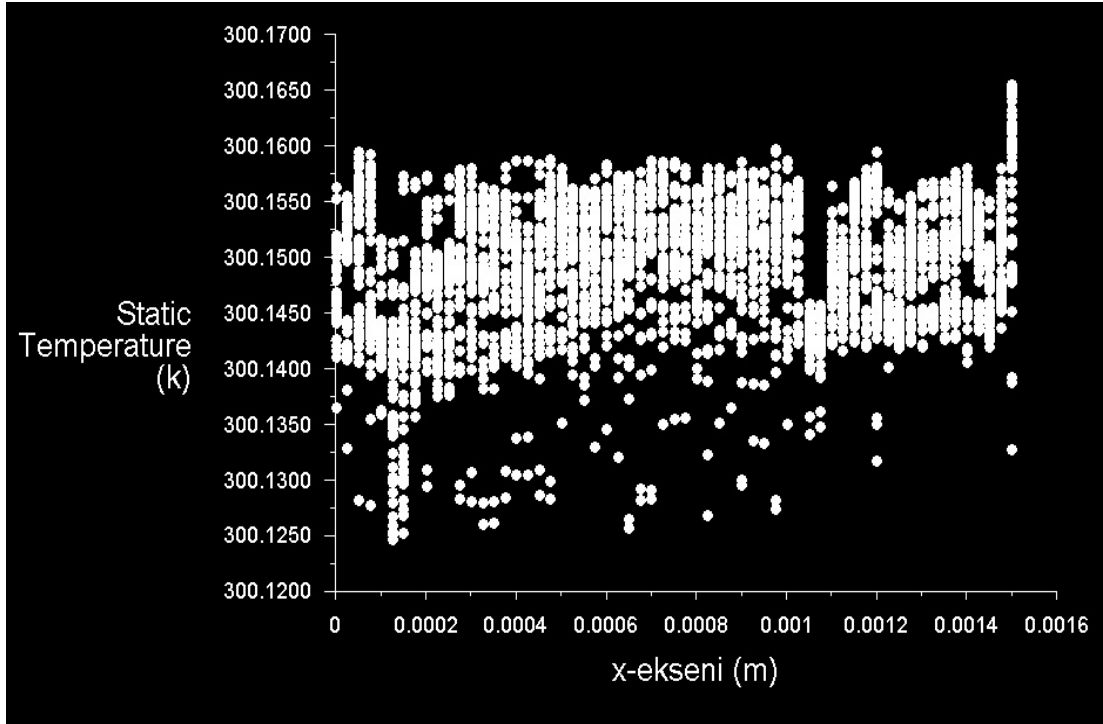
FLUENT ile elde edilen kontur grafiklerine bakılacak olursa burada sıcaklığın üst yüzeyden aşağıya doğru değişimi de gözlemlenebilmektedir. Şekil 5.25'de 0,000001 s. sonrasında elde edilen statik sıcaklıkların kontur görünümü vardır. Buradan silikon bölümün tamamen mavi renkte olduğu ve henüz bir ısınmanın başlamadığı tespit edilebilir. Bu noktada bu kadar kısa sürede bile üst yüzeydeki renk farkının nedeni ise boyutların çok küçük olması ve altının iletkenliği nedeniyle maruz kaldığı ısı akısına gösterdiği direncin azlığı olabilir. Silikon malzemede ise herhangi bir sıcaklık değişimi

gözlenmemiştir. Fakat yine de silikon malzemenin üst yüzeyi altın yüzey ile aynı sıcaklık değerine ulaşmıştır. Altın kaplamanın mikron seviyesinde ince yapılması da bu sonuca götüren etkenlerden biridir. Aşağıda yer alan şekillerde zamana bağlı olarak sıcaklık konturları ve belli yüzeylerdeki sıcaklık dağılımları verilmiştir.

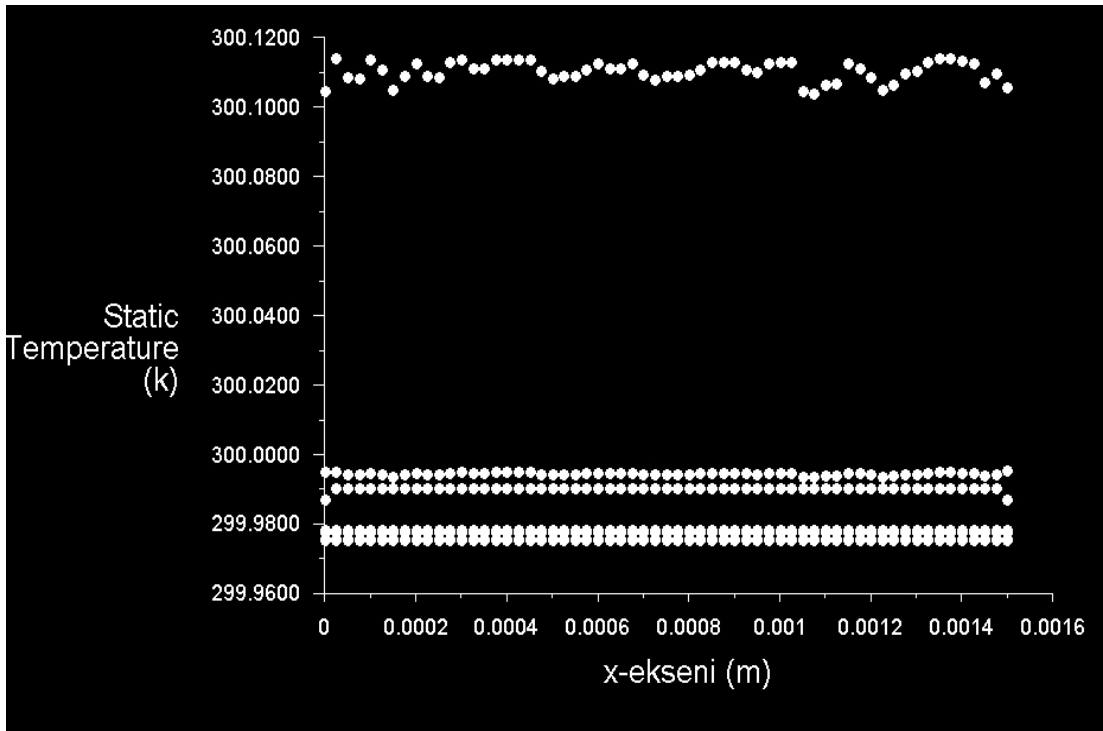


Şekil 5.25. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000001 s. 'deki sıcaklık konturları

Altın üst yüzeyinde bu kadar kısa sürede oluşan sıcaklıkların z-ekseni boyunca elde edilen değerlerini Şekil 5.26'da görebilirsiniz. Şekle bakarak x-ekseni boyunca z-ekseni yönünde okunan sıcaklık değerlerinin farklılık gösterdiğini söylemek mümkündür. Homojen bir dağılım olmadığından z-eksenin üzerinde herhangi bir çizgi boyunca okunan sıcaklık değerleri birbirine yakın olmasına rağmen farklı olduğundan grafikte bulunan y-ekseni boyunca birden fazla nokta işaretlenmiştir. Eğer değerler aynı olsaydı tek bir nokta olarak görünmesi gerekiyordu. Yine burada da iki boyutlu çözümde yer alan homojen bir dağılım yerine sıcaklıkların farklı bölgelerde farklı hesaplandığını söylemek mümkündür.



Şekil 5.26. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000001 s. 'deki altın üst yüzeydeki sıcaklık dağılımı

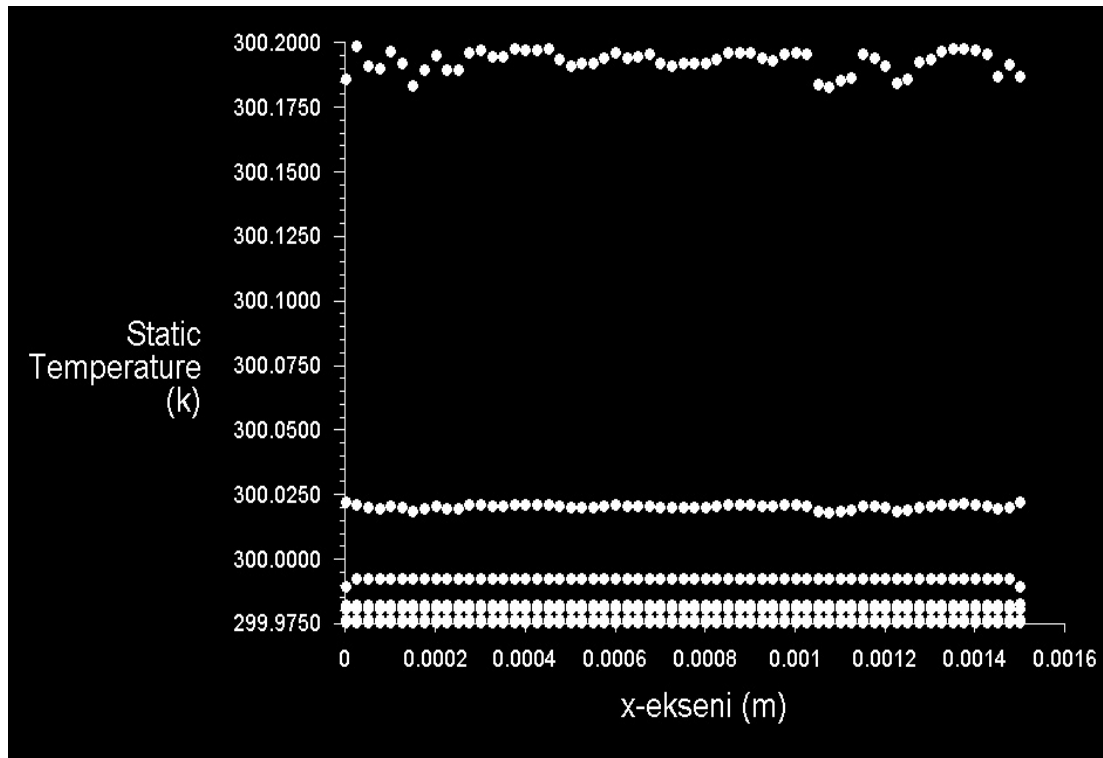


Şekil 5.27. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000001 s. 'deki silikon ön yüzeydeki sıcaklık dağılımı

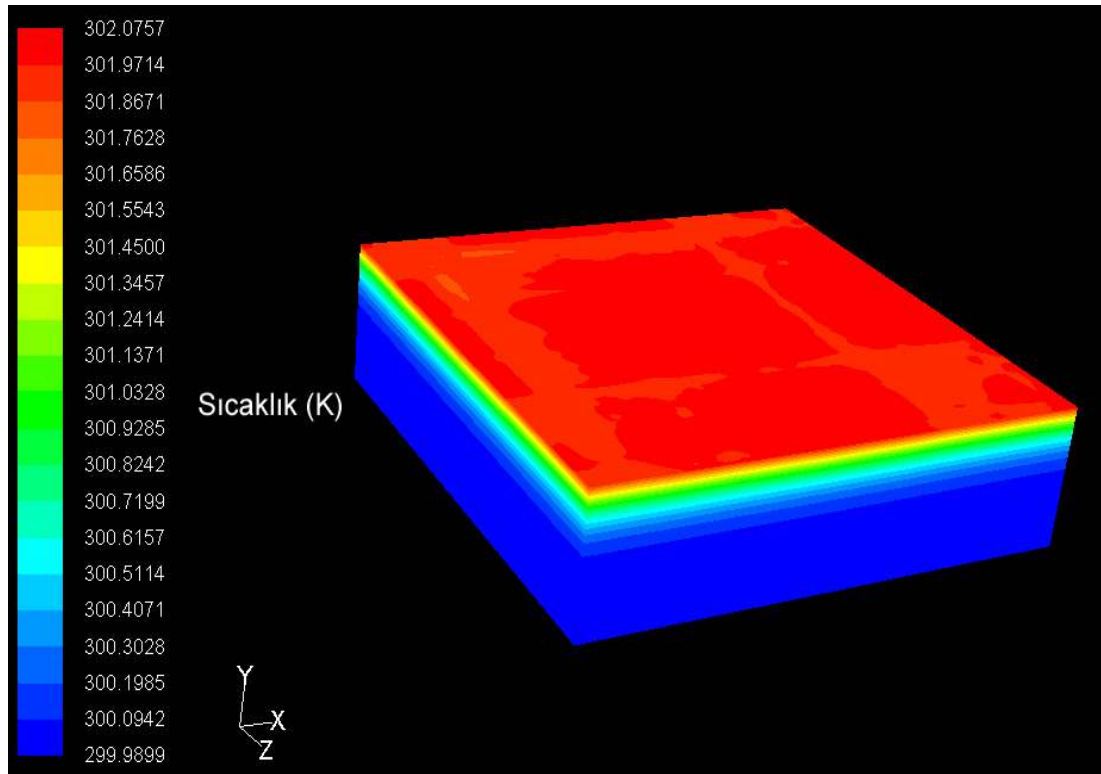
Şekil 5.27’de ise silikon yüzeyde hesaplanan sıcaklıklara bakılacak olursa ara yüzey hariç diğer bölgelerin aynı sıcaklıkta oldukları ve üst yüzeyde ise altın kaplamadaki ısınmanın etkisiyle farklı bir sıcaklık değerinin hesaplandığı gözlenmiştir.

Şekil 5.28’deki silikon için 0,000002 s. sonraki sıcaklık dağılımının görünümüne bakılacak olursa ikinci periyotta silikon malzemedeki sıcaklığın biraz daha arttığı ve farklı bir dağılımın sergilendiği görülmektedir. Yine aşağıdaki şekillerde görüleceği gibi sıcaklığın alt tabakaya doğru (silikon) git gide arttığı mavi rengin giderek sarı ve yeşile dönüştüğü görülebilir.

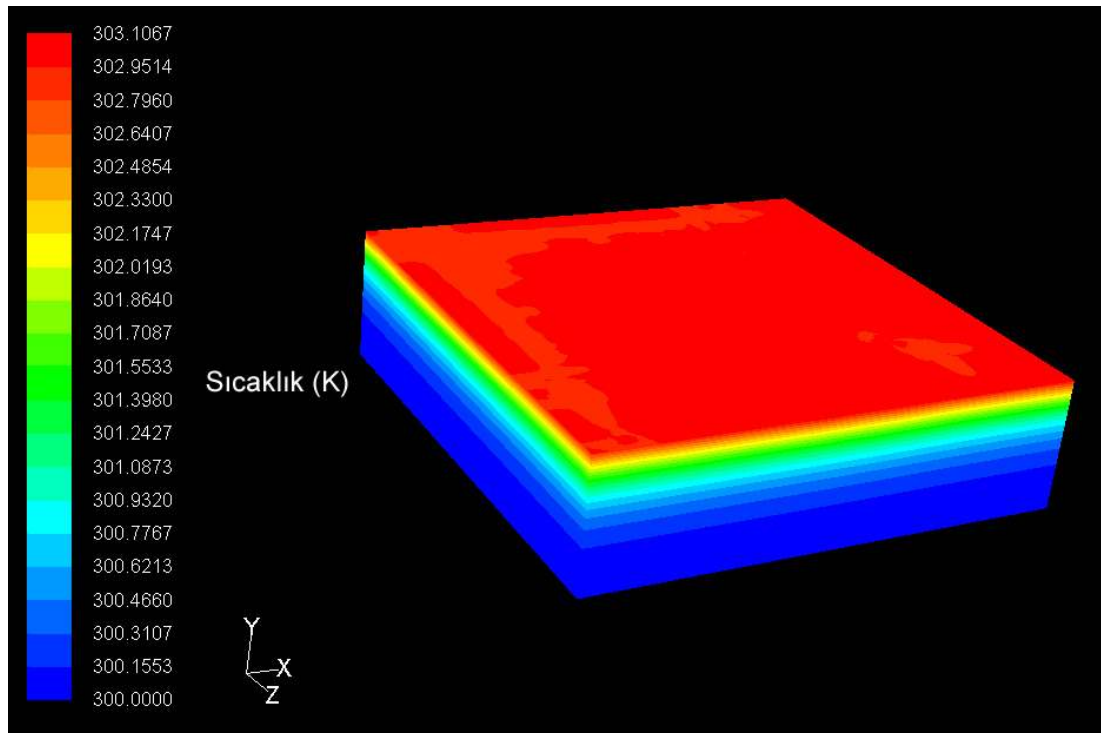
Çok kısa zaman aralıklarında, ortaya çıkan değişimler sayısal çözümler ile hızlı bir şekilde gözlemlenebilmektedir. 0,0001 s. sonunda sıcaklık konturları Şekil 5.29’da görüldüğü gibidir.



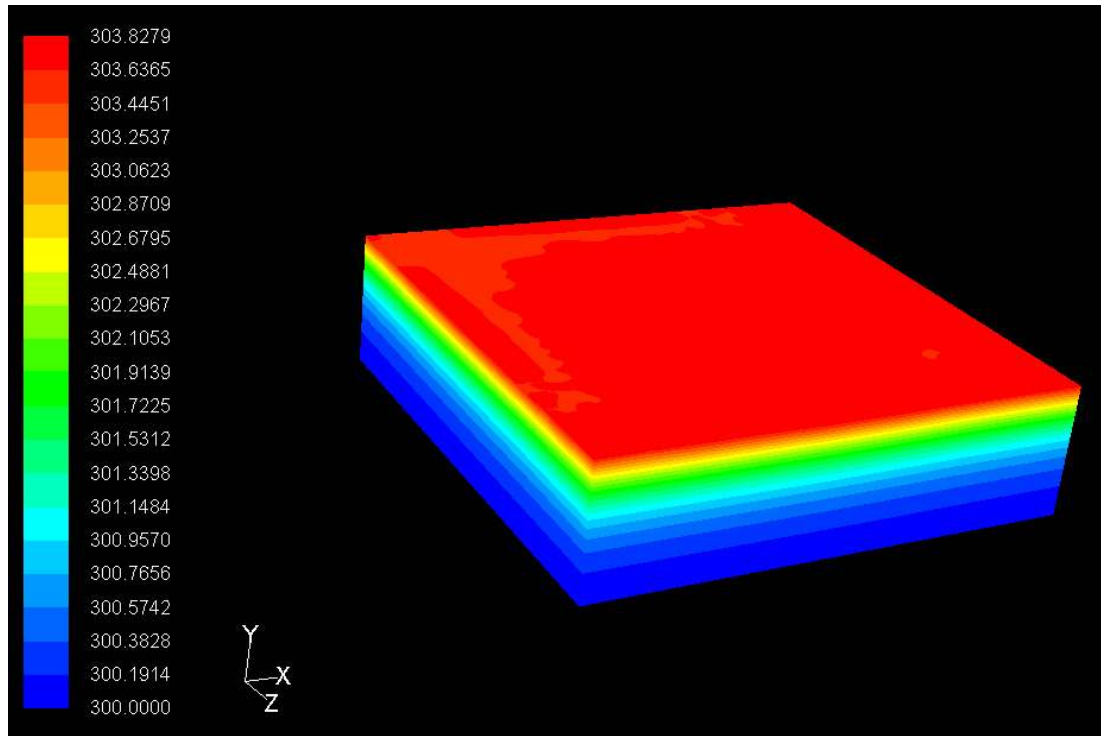
Şekil 5.28. 5 W güç ile çalışan çip için 0,000002 s. 'deki silikon ön yüzeydeki sıcaklık dağılımı



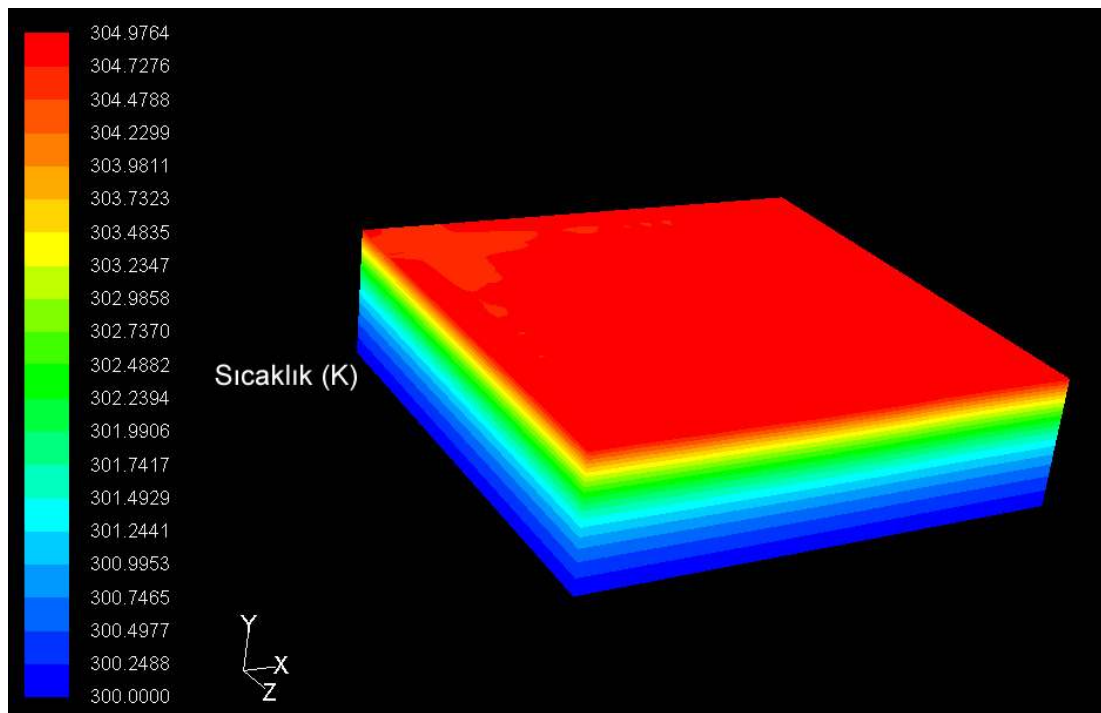
Şekil 5.29. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0001 s. 'deki sıcaklık konturları



Şekil 5.30. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0002 s. 'deki sıcaklık konturları



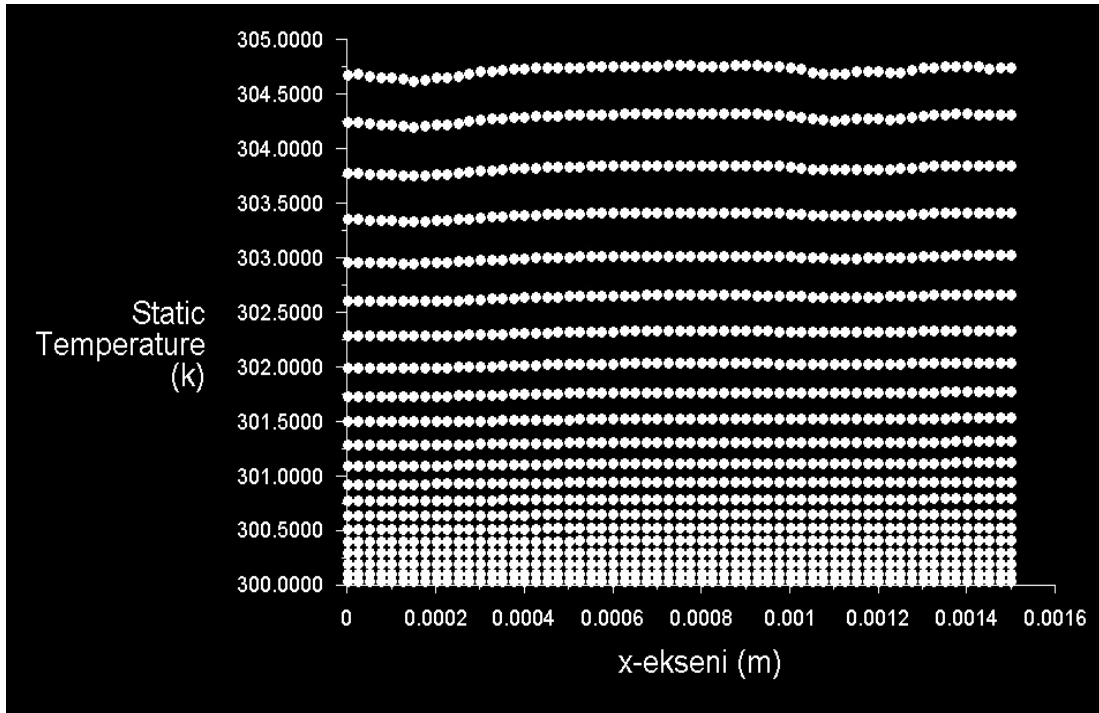
Şekil 5.31. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0003 s. 'deki sıcaklık konturları



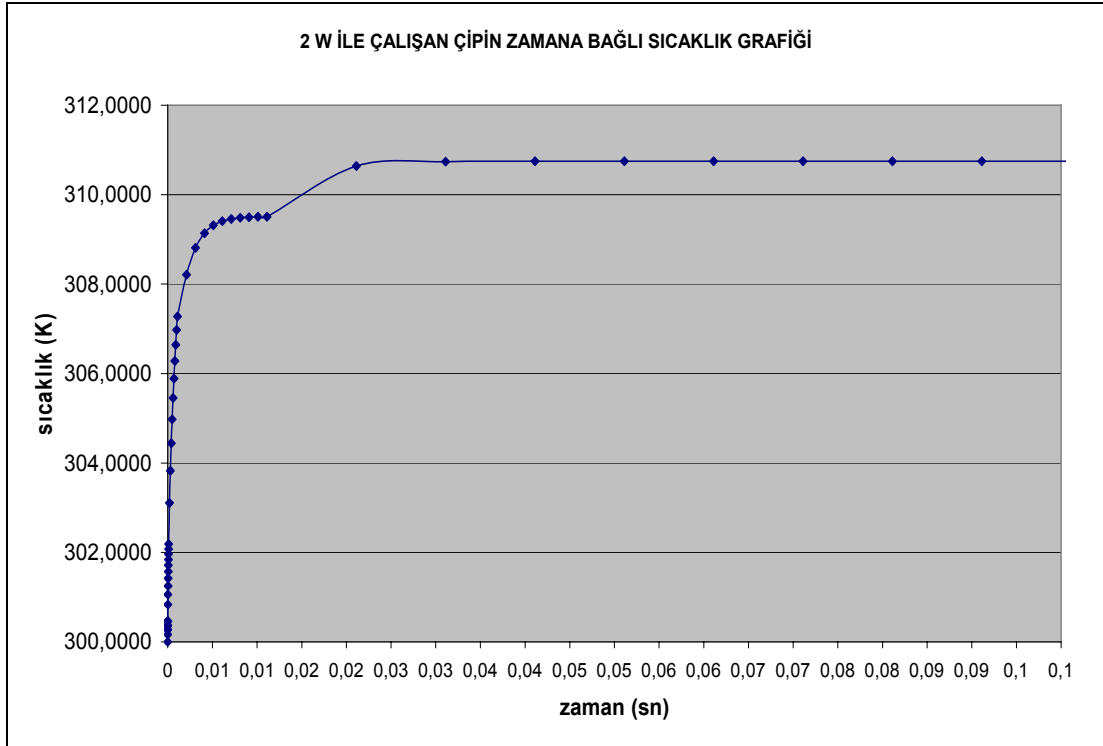
Şekil 5.32. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0005 s. 'deki sıcaklık konturları

Buraya kadar verilen şekillerden açıkça sıcaklığın silikon tabaka içindeki dağılımı renklerin değişiminden görülmektedir. Yine silikon malzeme için ön yüzeyde hesaplanan farklı sıcaklık değerleri de 0,0005 s. için Şekil 5.33'de gösterilmektedir. Sürekli şartlarda yapılan çözümler sonrasında elde edilen silikon yüzeyin ön bölümünde hesaplanmış sıcaklık dağılımının görünümü hatırlanacak olursa raporlamanın ilk alındığı 0,000001 s. zaman sonrasında sadece alt tabanda ve ara yüzeyde bir dağılım elde edilmiş geriye kalan bölümler için taban sıcaklığına yakın değerler hesaplanmış ve bu dağılım giderek sürekli şartlarda elde edilen dağılıma benzemeye başlamıştır. 0,0005 s. sonrasında ise neredeyse benzer bir yapı elde edilmiştir.

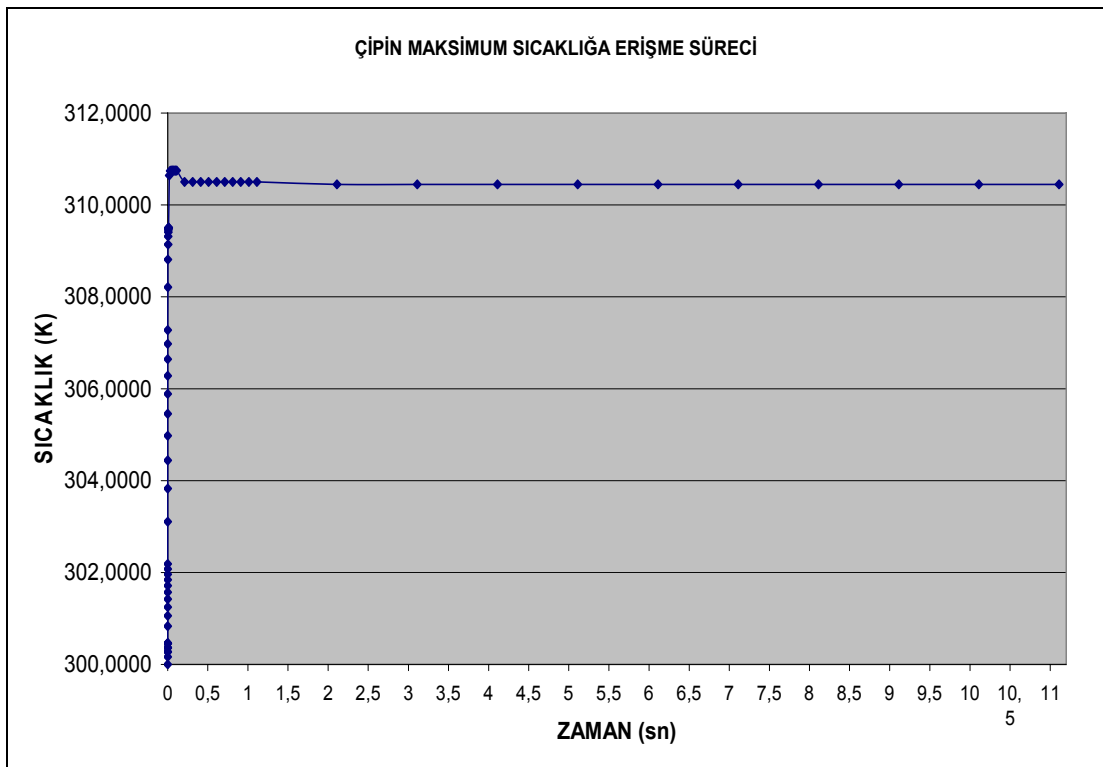
Şekil 2.7'de sistemin dengeye ulaşması için zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin genel hali vardı. Burada ele aldığımız çip için zamana bağlı olarak elde ettiğimiz maksimum sıcaklık değerleri kullanılarak benzer bir grafik elde edilebilir (Şekil 5.34 ve Şekil 5.35).



Şekil 5.33. 5 W güç ile çalışan çip için 0,0005 s. 'de silikon ön yüzeydeki sıcaklık dağılımı



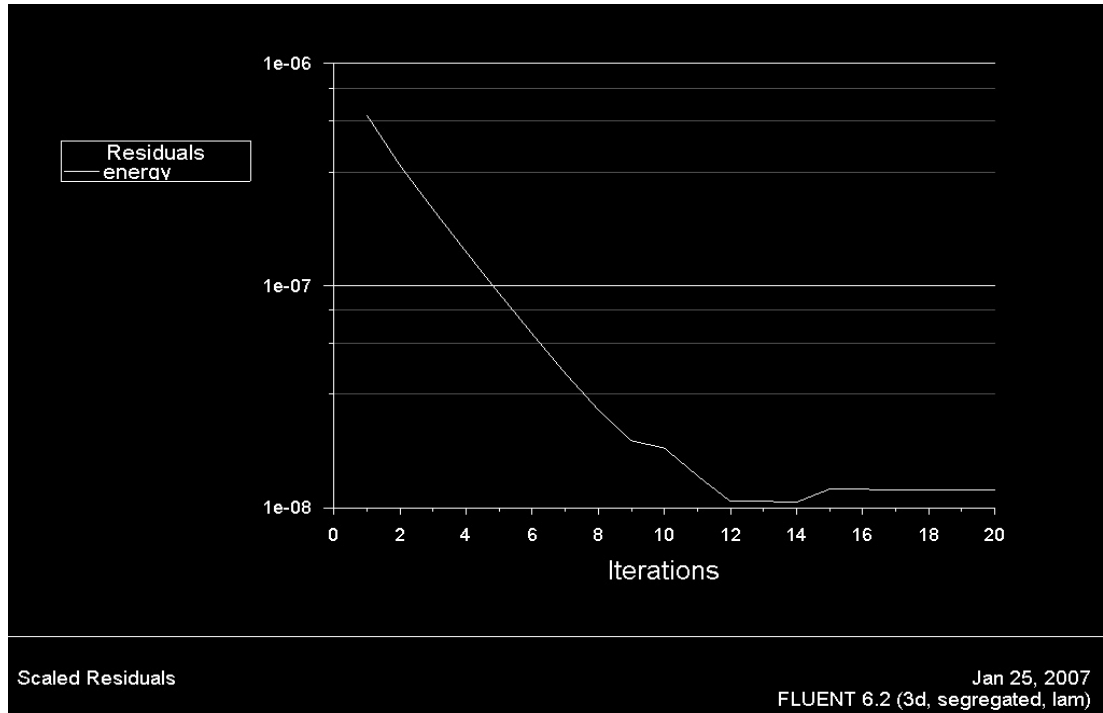
Şekil 5.34. 5 W güç ile çalışan çip için 0 – 0,1 s. aralığında sıcaklık değişimi



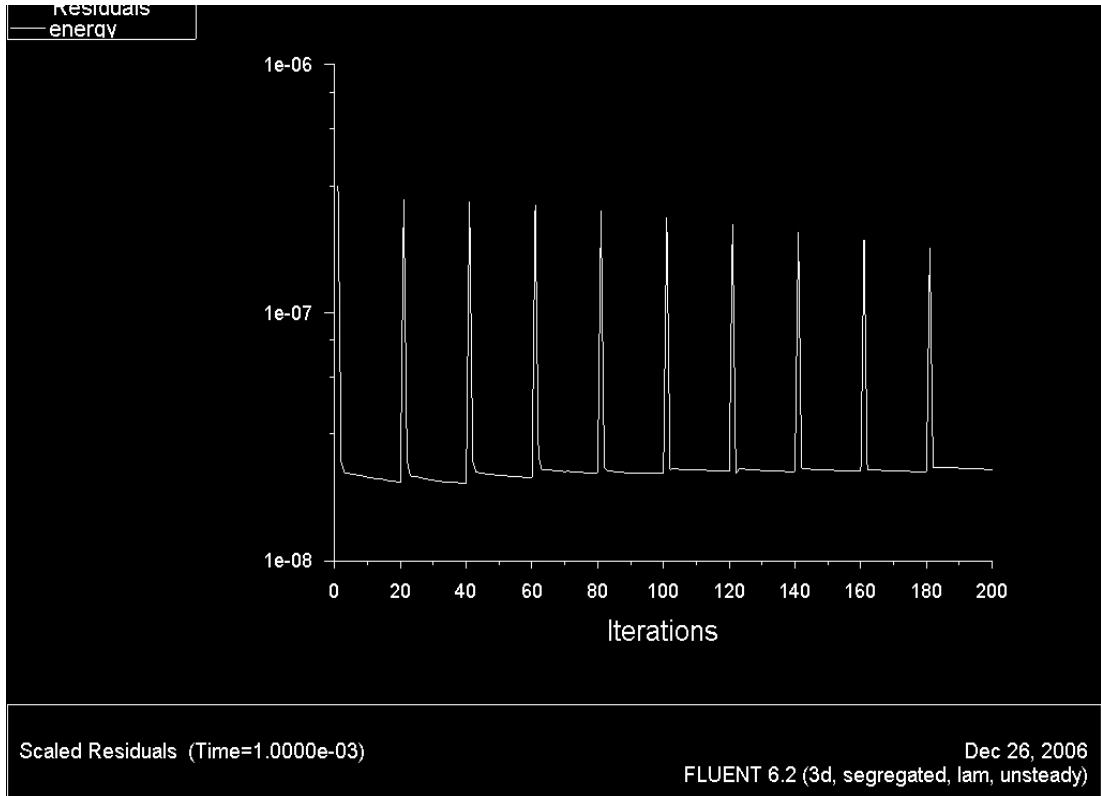
Şekil 5.35. 5 W güç ile çalışan çip için 0 – 11 s. aralığında sıcaklık değişimi

Burada sistemin çok kısa sürede maksimum sıcaklığa ulaştığını ve sonra x-eksenine paralel değerler dizisiyle ilerlediğini söyleyebiliriz. Yukarıda yer alan iki ayrı grafikten de anlaşılacağı üzere mikron seviyesinde bir altın kaplamanın kısa bir sürede dengeye ulaştığını ve ele alınan durumda çip için dengeye ulaşma süresinin 0,1 s. olduğunu söyleyebiliriz.

Fluent ile yapılan hesaplamalarda çözümün az sayıda iterasyon sonrasında yakınsadığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.36). Zamana bağlı olarak yapılan çözümler de ise hem çözüm süresi hem de yakınsama için gereken iterasyon sayısı artmıştır (Şekil 5.37). Analitik olarak yapılacak bir çözümün bu kadar kısa sürede elde edilemeyeceği gerçeğinden yola çıkarak sayısal incelemelerin, kısa zaman aralıklarında gerçekleştirilmesi gereken araştırmalar açısından avantajlı olduğunu söylemek mümkündür. Aşağıda Fluent çözümü sırasında elde edilen iterasyon grafikleri görülebilir. Zaman bağlı olan grafikte her bir adım raporlamanın alındığı periyotları göstermektedir.



Şekil 5.36. 2 W güç ile çalışan çip için sürekli şartlarda iterasyon grafiği



Şekil 5.37. 2 W güç ile çalışan çip için zamana bağlı iterasyon grafiği

5.3.7. Fluent ile adiyabatik sınır şartı kullanılarak elde edilen çözüm

Bundan önceki bölümlerde yan yüzeylerde hesaplamış olduğumuz ısı transfer katsayıları kullanılarak sınır şartları girilmiş ve maksimum sıcaklıklar bu şartlar altında hesaplanmıştı.

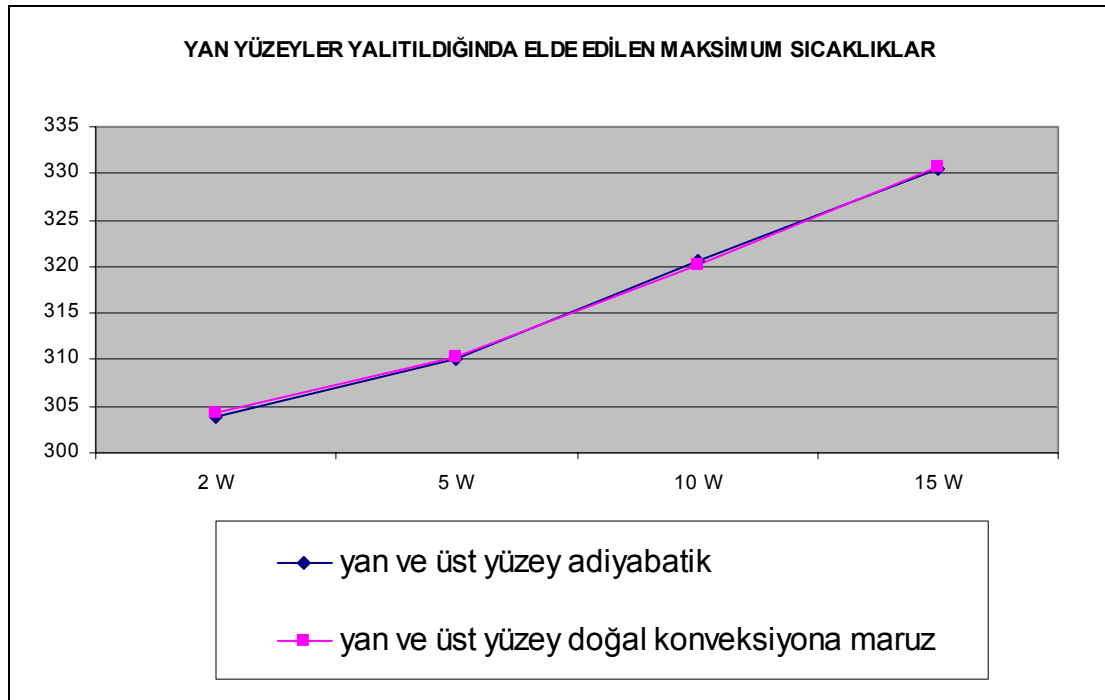
Burada ise yan yüzeyler yalıtılmış olarak ele alınmış ve üst yüzeyden ısı akısı uygulanarak hesaplama yapılmıştır. Bunun için bütün hesaplamalar her model için yeniden sınır şartları girilerek ayrı ayrı yapılmıştır. Çizelge 5.8 'de hesaplanan maksimum sıcaklıklar mevcuttur.

Isı üretimi yerine üst yüzeyden ısı akısı uygulandığında altın tabaka üst yüzeyine gücün alana bölünmesi ile hesaplanan ısı akısı sınır şartı olarak girilmiştir. Sonuçların arasındaki küçük fark yan yüzeylerdeki ısı transfer katsayılarından kaynaklanmıştır.

Çizelge 5.8. Fluentde sürekli ve süreksiz şartlardaki üç boyutlu çözüm ile adiyabatik sınır şartı kullanılarak hesaplanan sıcaklıklar

Malzeme ve Kalınlık	2 W		5 W		10 W		15 W	
	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz	Sürekli	Süreksiz
Au - 2 Mm Si- 0,4 mm	303,9199	303,9329	310,1772	310,1866	320,5380	320,5376	330,4303	330,4199
Au - 10 Mm Si -0,4 mm	304,7244	304,7634	311,0361	311,0720	321,4773	321,5022	331,4559	331,4721
Au - 2 Mm Si -1 mm	310,4725	310,3878	326,1136	325,9497	352,0329	351,7057	376,7861	376,3118
Cu -10 Mm Si- 0,4 mm	304,4853	304,5384	310,7823	310,8297	321,1988	321,2380	331,1526	331,1811

Değerler incelendiğinde iki durum arasındaki farkın küçük olduğu görülebilir bunu bir grafik ile de ifade etmek mümkündür.



Şekil 5.38 Çipte üst ve yan yüzeyler yalıtıldığında ve doğal konveksiyon durumunda maksimum sıcaklıkların karşılaştırması

Daha önce hesaplanan yan yüzeylere ait ısı transferi değerlerine bakılacak olursa (Çizelge 5.6) çok küçük değerler olduğu dikkati çekmektedir. Bu durum bize ihmal edildiğinde sonuçların çok değişmeyeceği konusunda fikir vermişti. Burada hesaplanan değerler incelendiğinde bazı matematiksel modellemeler yapılırken bu tür ihmallerin analitik hesaplamaları kolaylaştıracağı ve işlem adımlarını azaltacağı düşünülmektedir. Sayısal analizlerde ise tam bir inceleme için sınır şartlarının ihmal edilmeden girilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

5.4. Ansys Programı ile Elde Edilen Yapısal Analiz Sonuçları

Buraya kadar yapılan çalışmada problem GAMBIT ile şekillendirildikten sonra FLUENT programı ile çözüm elde edilmişti. Bu bölümde ise farklı bir çözücü program kullanılarak sistemde ortaya çıkan deformasyon, gerilme ve gerinme incelenmiştir. Daha önceki bölümlerde ANSYS ile model oluşturmak ve çözüm için gerekli işlem adımları verilmişti. Burada ise elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

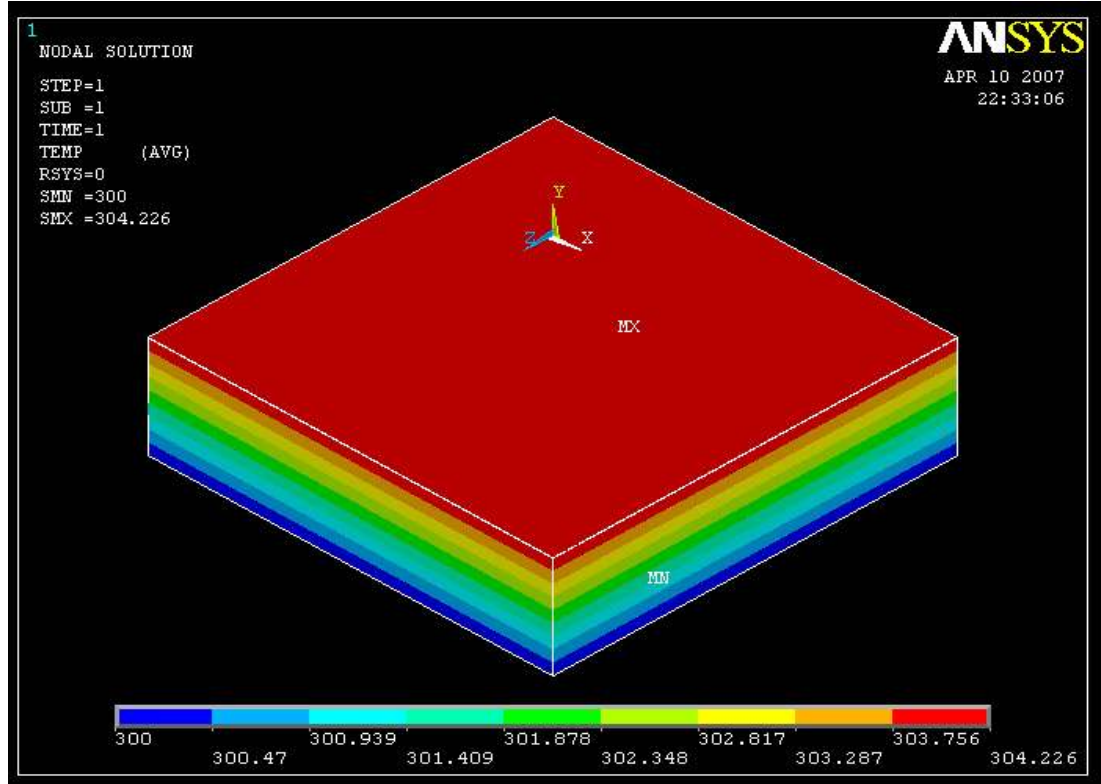
Bunu yapabilmek amacıyla öncelikle sistemde ortaya çıkan maksimum sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Fluent ve Ansys ile elde edilen maksimum sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında farkın çok az olduğu gözlemlenmiştir. Bu da bize Ansys ile elde edilen sıcaklıkların, gerilme için kullanılabileceğini göstermektedir. Sonuçlar çok farklı çıkmış olsaydı aynı şartlarda gerilme analizi yapmak doğru olmazdı. Bu durumda gerilme ve gerinme analizi yapabilmek için Fluent ile elde edilen maksimum sıcaklık değerlerine çok yakın olan Ansys değerleri kullanılmıştır.

Burada da farklı boyutlar ve altın yerine bakır kullanımı sonucunda elde edilen maksimum sıcaklıklar sürekli şartlarda elde edilmiş ve çizelge 5.8'de verilmiştir. Çizelgede yer alan ve Fluent ile elde edilen değerler daha sonra grafik olarak verilecektir.

Çizelge 5.9. ANSYS ile elde edilen sürekli şartlardaki üç boyutlu çözüm ile farklı kalınlıklar, malzeme ve güç için maksimum sıcaklıklar

Malzeme ve Kalınlık	2 W	5 W	10 W	15 W
Au - 2 μ m Si- 0,4 mm	304,225	310,597	321,216	331,835
Au -10 μ m Si -0,4 mm	304,245	301,635	321,293	332,000
Au - 2 μ m Si -1 mm	310,526	326,443	352,971	379,499
Cu -10 μ m Si- 0,4 mm	304,241	310,625	321,273	331,969

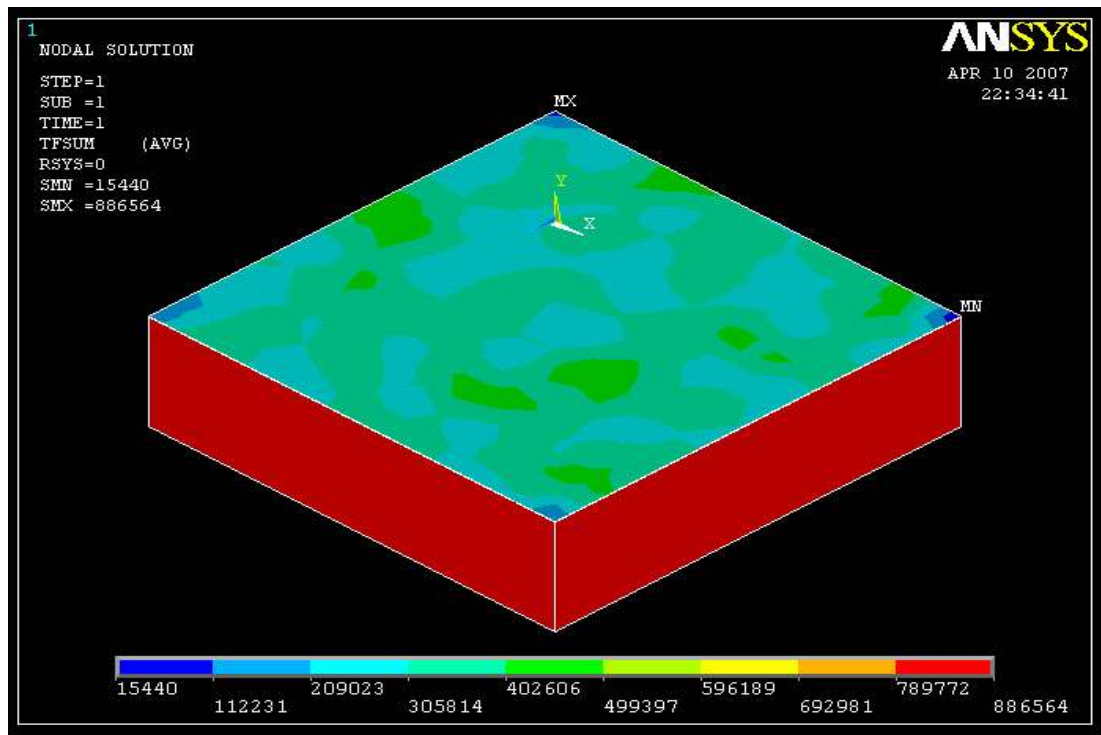
Aşağıda ANSYS ile elde edilen çözümlerden bazıları için sıcaklık konturlarını ve maksimum sıcaklık değerlerini görebilirsiniz.



Şekil 5.39. 2 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda sıcaklık konturları

Şekil 5.39'da görüldüğü gibi sıcak bölgeler kırmızı renkle soğuk bölgeler mavi renkle ve ara bölgeler ise yeşil ve sarı renkle belirtilmişlerdir. Fluent çözümünde aynı şartlar için elde edilen sıcaklık konturlarının görünümü hatırlanacak olursa (Bkz. Şekil 5.10) üst yüzeydeki kırmızı rengin bazı bölgelerde daha açık bazı bölgelerde daha koyu olduğu ve sıcaklık değerlerinin yüzeyde farklılık gösterdiği açıkça görülmektedir. Burada ise renk tamamen aynı görülmektedir.

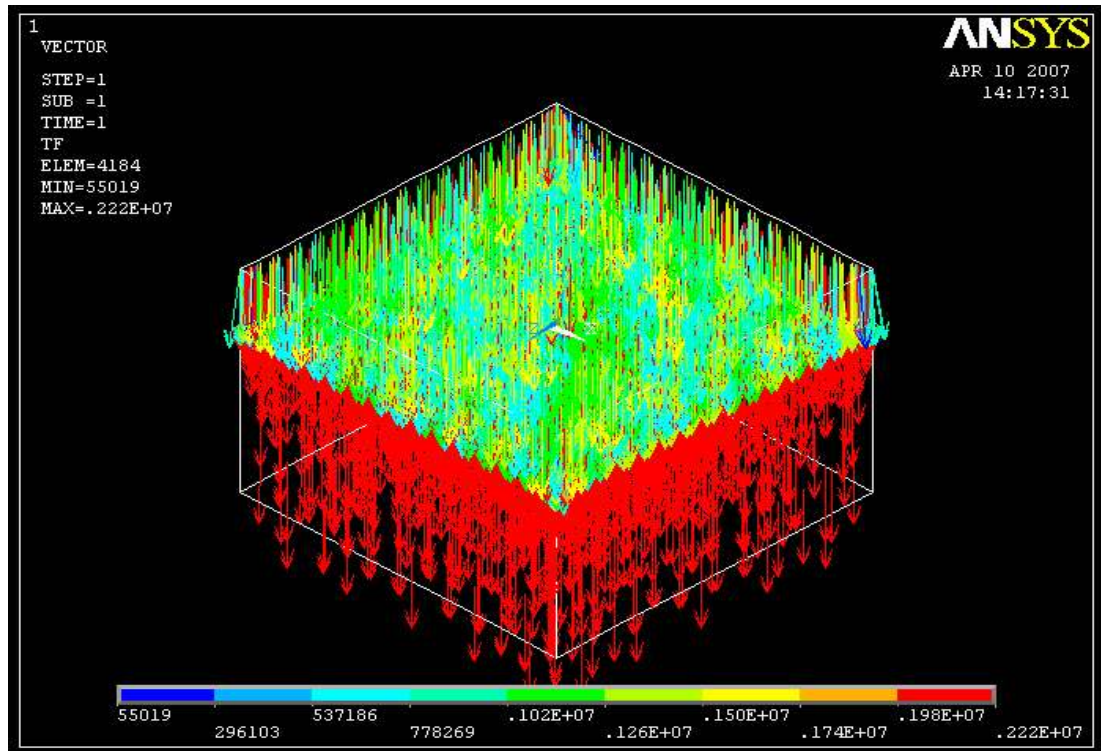
Elde edilen maksimum sıcaklıklara bakılacak olursa Fluent ile hesaplanan değer 304,2015 K iken burada 304,225 K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.40. 2 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda ısı akısı

Hesaplanan ısı akısına ve şekline bakılacak olursa (Şekil 5.40) yan yüzeylerden ve diğer yüzeylerden verilen ısı transfer katsayıları uyarınca ısı geçişlerinin olduğunu ve bize verilen sınır şartlarına uygun bir çözümün yapıldığı konusunda fikir verdiğini söyleyebiliriz. Fakat ısı transfer katsayıları

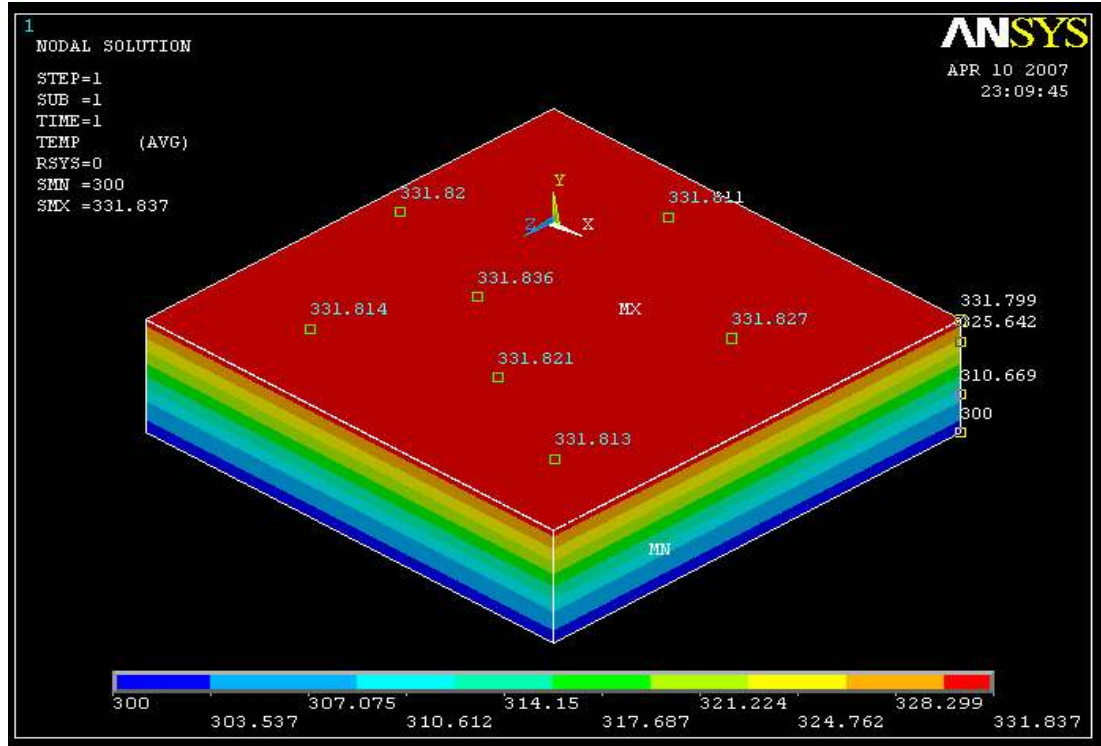
düşük olduğu için Fluent'te olduğu gibi burada da yan yüzeylerdeki ısı geçişi küçük değerlerde olup ihmal edildiğinde sonuçları Fluent ile hesaplandığı gibi fazla etkilemeyeceği düşünülmektedir. Hesaplanan değerin 886564 W/m^2 olduğu görülmektedir. 2 W ile çalışan bir çipin altın üst yüzeyinin alanına bölünmesi ile elde edilen değer de aynıdır.



Şekil 5.41. 5 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 1 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda vektörel ısı akısı

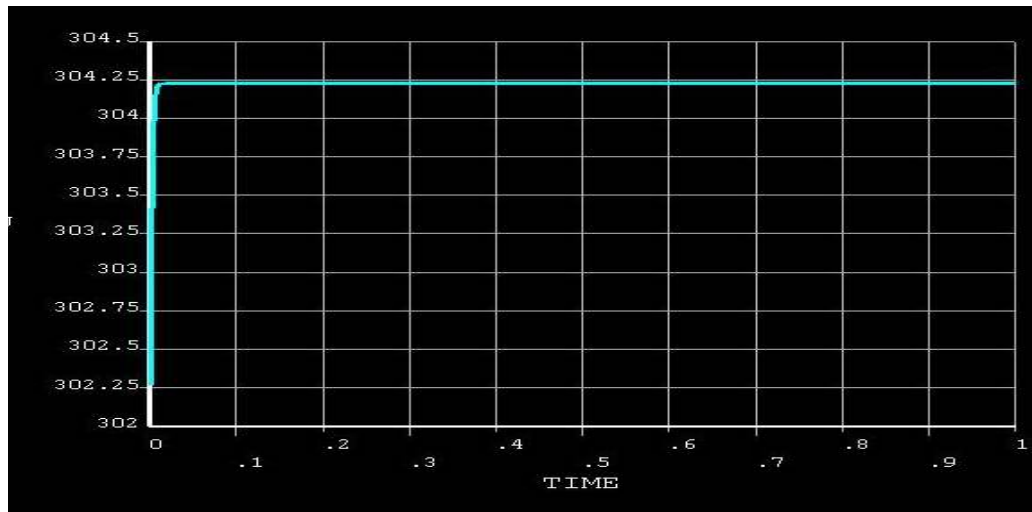
Şekil 5.41'de 5 W güç için 1 milimetre silikon tabaka ve 2 mikrometre altın kaplama hesaplanan vektörel ısı akısı görünümü vardır. Maksimum sıcaklık değeri 326,443 K olarak hesaplanmış olup aynı şartlardaki Fluent çözümü sonucunda bu değer 325,622 K olarak hesaplanmıştır.

Burada gerçekten iki değer de birbirine çok yakın olduğu açıktır. Vektörel görünümünden de anlaşılacağı gibi altın tabakada üretilen ısı silikon tabakaya doğru iletilmiştir. Yine üst ve yan yüzeylerden küçük değerlerde ısı transferi de mevcuttur.



Şekil 5.42. 15 W güç ile çalışan 2 mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çip için sürekli şartlarda sıcaklıklar

Yine üst yüzeyde hesaplanan sıcaklık değerlerine dikkat edilirse renk olarak bir ayrım olmasa da dağılımın homojen olmadığı ve her bir grid için yakın fakat farklı değerlerin hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 5.43. ANSYS ile 2 W güç için zamana bağlı sıcaklık değişimi

Zamana bağılı olarak yapılan ANSYS çözümü sonucunda bir grid noktası için yukarıdaki değişim elde edilmiştir. Çok kısa bir zaman için saniyenin onda biri gibi bir sürede bu noktada sıcaklık değişimi durmuştur.

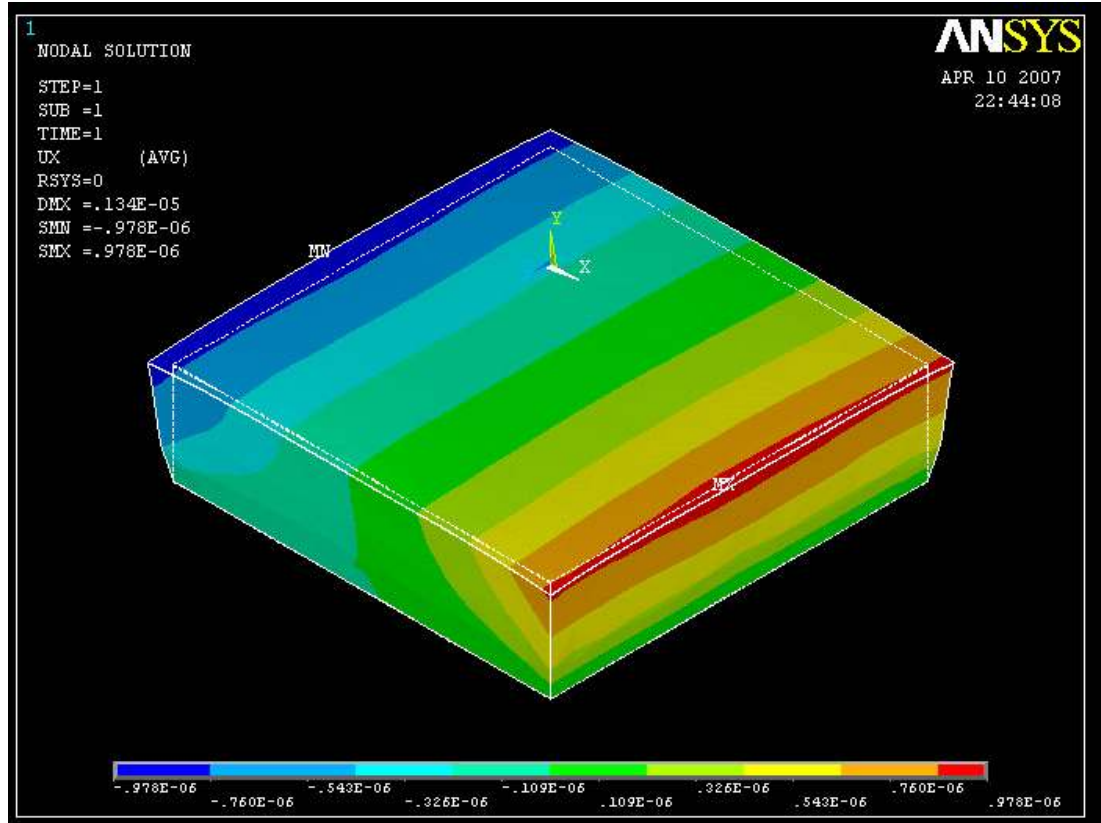
Çizelge 5.10.ANSYS ve FLUENT ile sürekli şartlardaki üç boyutlu çözümde elde edilen maksimum sıcaklıklar

Malzeme ve Kalınlık	CFD	2 W	5 W	10 W	15 W
Au - 2 μ m Si- 0,4 mm	ANSYS	304,225	310,597	321,216	331,835
Au - 2 μ m Si- 0,4 mm	FLUENT	304,2015	310,3274	320,2551	330,7699
Au -10 μ m Si -0,4 mm	ANSYS	304,245	310,635	321,293	332,000
Au -10 μ m - Si -0,4 mm	FLUENT	304,687	310,838	321,1043	331,4137
Au - 2 μ m Si -1 mm	ANSYS	310,526	326,443	352,971	379,499
Au - 2 μ m Si -1 mm	FLUENT	310,3092	325,622	351,1563	376,6902
Cu -10 μ m Si- 0,4 mm	ANSYS	304,241	310,625	321,273	331,969
Cu -10 μ m Si- 0,4 mm	FLUENT	304,4669	310,6143	320,8643	331,1575

Yapısal analiz yapabilmek için Fluent ile elde edilen sıcaklıkların kullanılması gerekmektedir. Ansys ile yapılan çözüm sonrasında bulunan sıcaklık değerlerinin Fluent ile elde edilenlere çok yakın olmasından dolayı gerilme ve gerinme analizi yapabilmek için bu değerlerin kullanılmasında bir sakınca yoktur. Yukarıda verilen sıcaklık değerleri ve şekillerden de anlaşılacağı gibi hem sıcaklık dağılımı hem de sıcaklık değerleri itibari ile bu sonuçlar yapısal analizde kullanılabilir.

Yapısal analizinin nasıl yapılacağı konusu daha önceki bölümlerde detaylı olarak verildiğinden burada tekrar anlatılmayacaktır. Yapısal analiz sonrasında elde edilen gerilme ve gerinme şekilleri farklı güç ve katman kalınlıkları hem çizelge olarak hem de şekil olarak aşağıda verilmiştir.

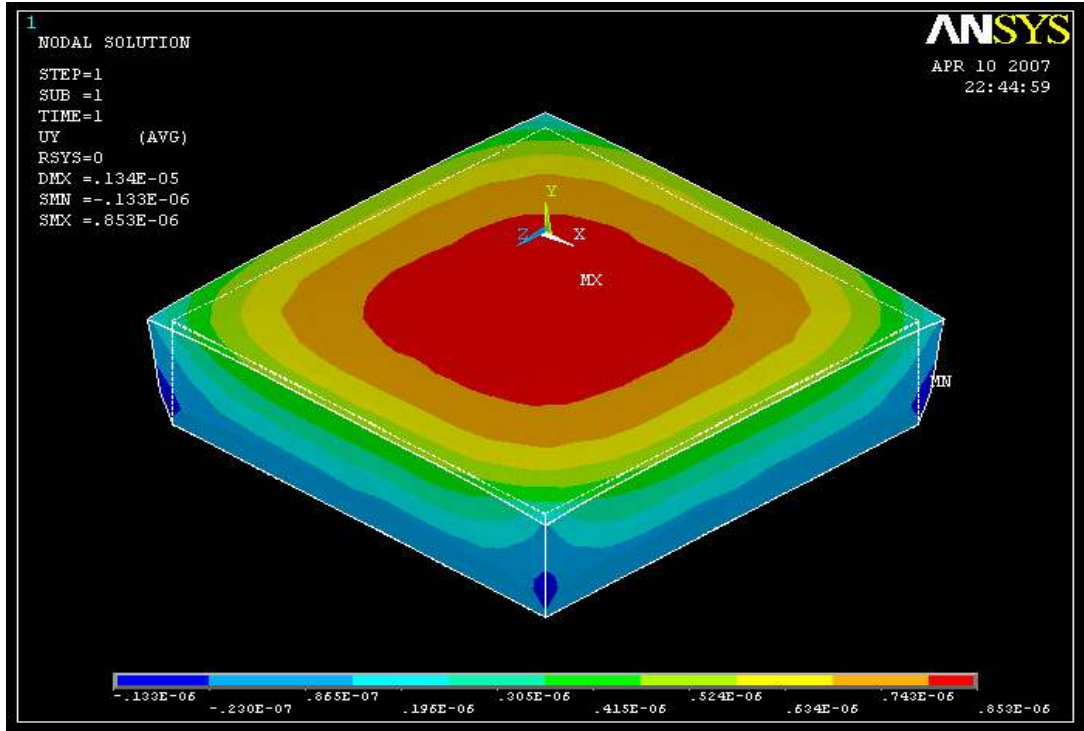
Şekil 5.44 malzemede 2 W güç ile hesaplanan x-yönündeki deformasyonu metre cinsinden göstermektedir. Burada altın kaplama üzerinde x-yönünde hesaplanan değer $0,978 \text{ E-6}$ 'dır. Malzeme boyutunun küçük olduğu düşünüldüğünde bu değer de küçük olması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.44. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte x-ekseni yönündeki deformasyon

Şekil 5.45 ise y-ekseni yönündeki deformasyonu göstermektedir. Burada hesaplanan değer $0,853 \text{ E-6}$ 'dır ve x-ekseni ile kıyaslandığında daha düşüktür.

Malzemenin şekli ve sıcaklık dağılımı dikkate alındığında x-ekseni yönünde böyle bir deformasyonun hesaplanması doğaldır. Isı üretim yeri olan altın kaplamanın orta bölümünde diğer bölgelere göre daha yüksek değerlerde deformasyon ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni ise yine bu bölgede ortaya çıkan sıcaklığın daha yüksek olmasındandır.

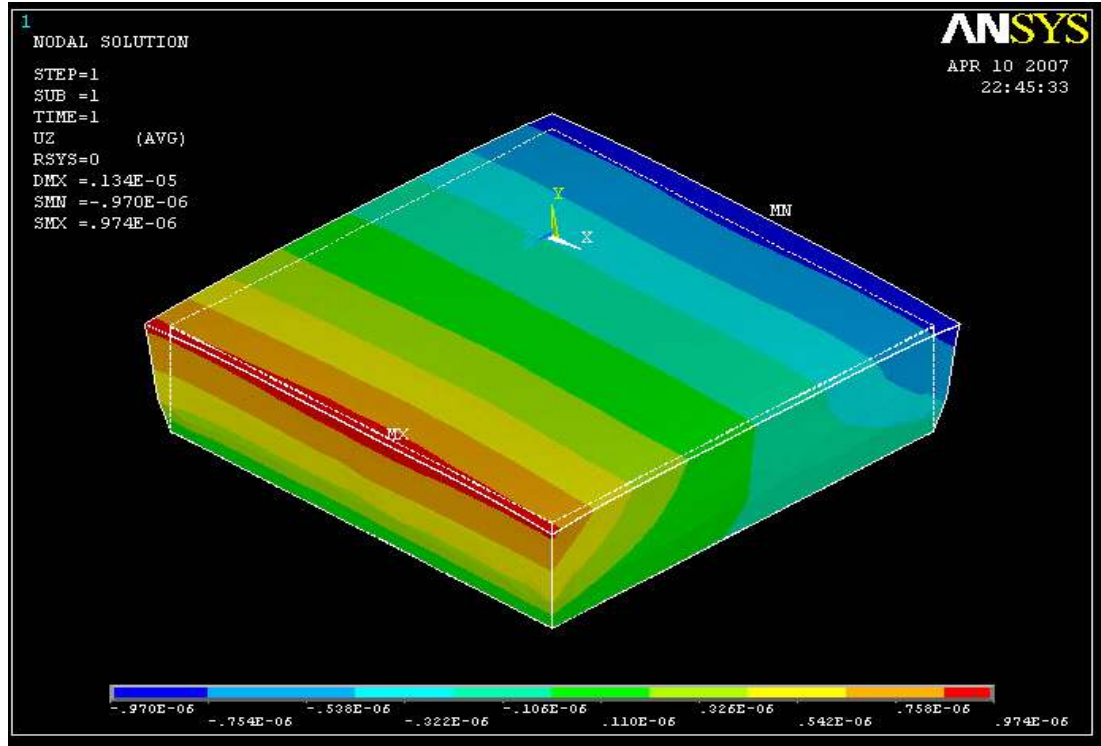


Şekil 5.45. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte y-ekseni yönündeki deformasyon

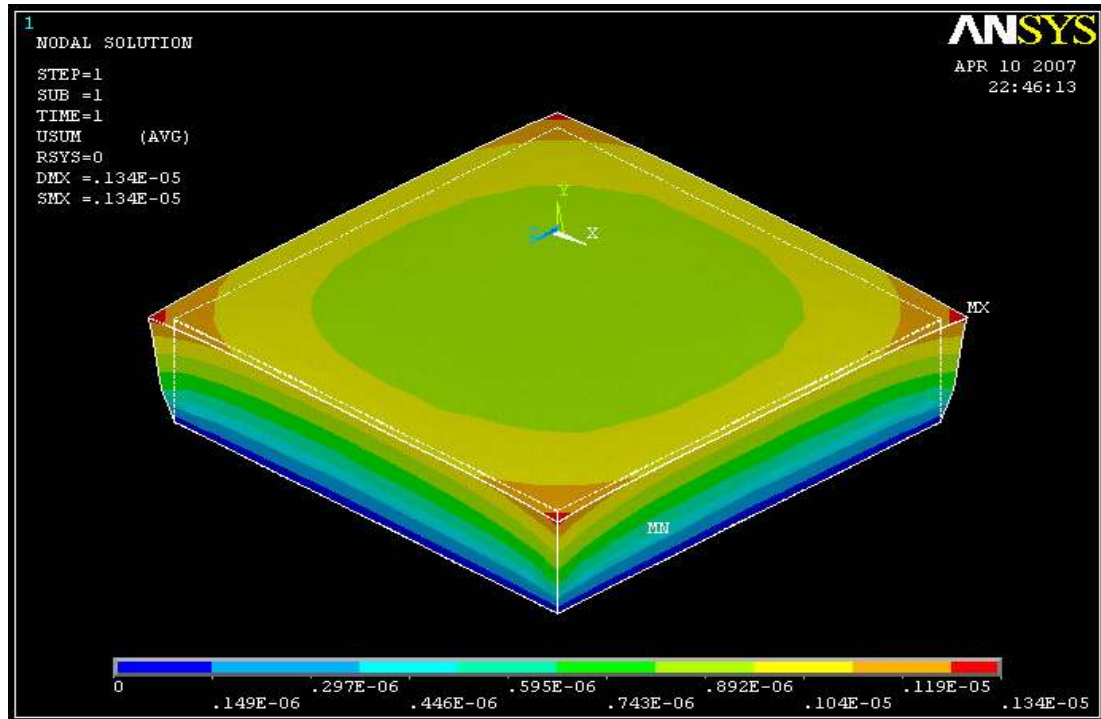
Şekil 5.46'da çipin orta bölümünde z-ekseni yönünde elde edilen deformasyon giderek artmıştır. Burada hesaplanan en yüksek değer $0,974 \text{ E-6}$ 'dır. Diğer koordinatlarla kıyasladığında x-eksenine yakın ve y-eksenine göre yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

Hesaplanan toplam deformasyon tek bir şekil üzerinde de görülebilir. Bunun için sonuç görüntüleme seçeneklerinden "total displacement" seçilmelidir.

Şekil 5.47 çip üzerinde ortaya çıkan toplam deformasyonu göstermektedir. Kenarlarda diğer bölgelere göre nispeten daha yüksek deformasyon hesaplanmıştır. En yüksek değer $0,134 \text{ E-5}$ yaklaşık metrenin milyonda biri olarak hesaplanmıştır.

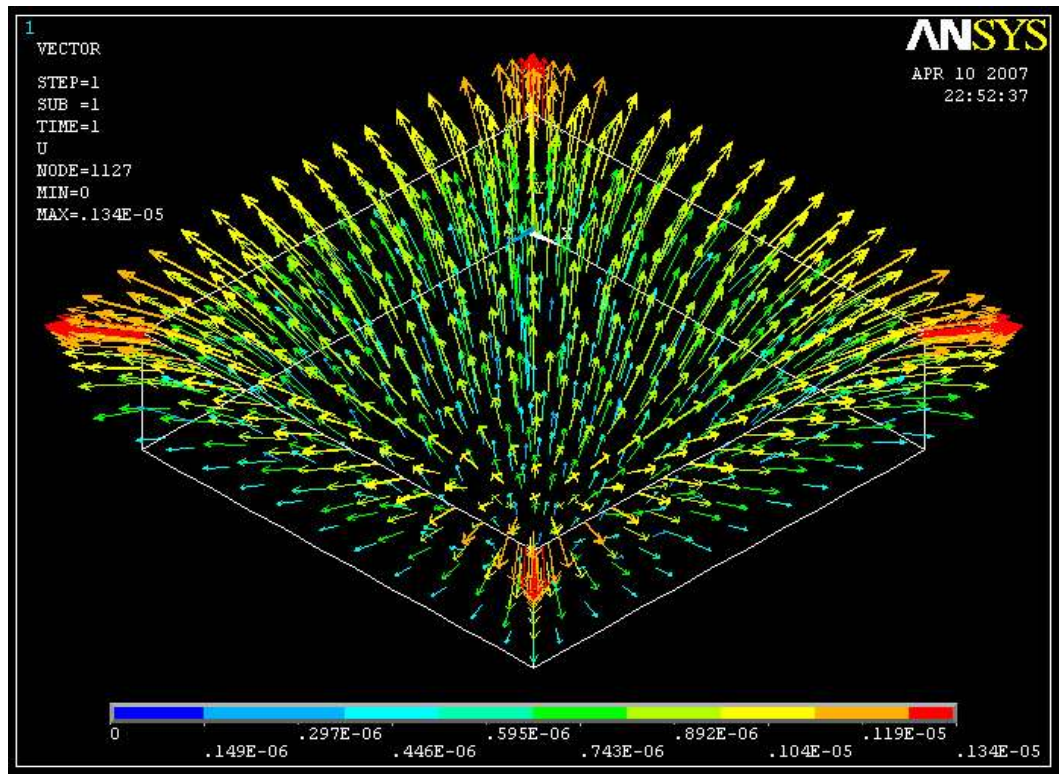


Şekil 5.46 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte z-ekseni yönündeki deformasyon



Şekil 5.47 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte toplam deformasyon

Genel olarak sıcaklık artışı sonucunda ortaya çıkan deformasyon ihmal edilebilecek düzeyde çıktığından çok yüksek sıcaklıkların söz konusu olmadığı durumlarda inceleme yapılmasına gerek olmayabilir fakat malzeme boyutunun küçük olması nedeniyle, ortaya çıkacak küçük deformasyonlar da sistemin çalışmasını etkileyecek düzeyde olabilir. Bunun için ise malzeme özellikleri önem arz etmekte ve malzeme seçiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Yapısal olarak bakıldığında ele alınan çip için çip muhafazasının içerisinde yer alan boşluklar dikkate alındığında (2 mm ila 3 mm) hesaplanan deformasyon değerlerinin yüksek olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.48. 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte toplam deformasyonun vektörel görünümü

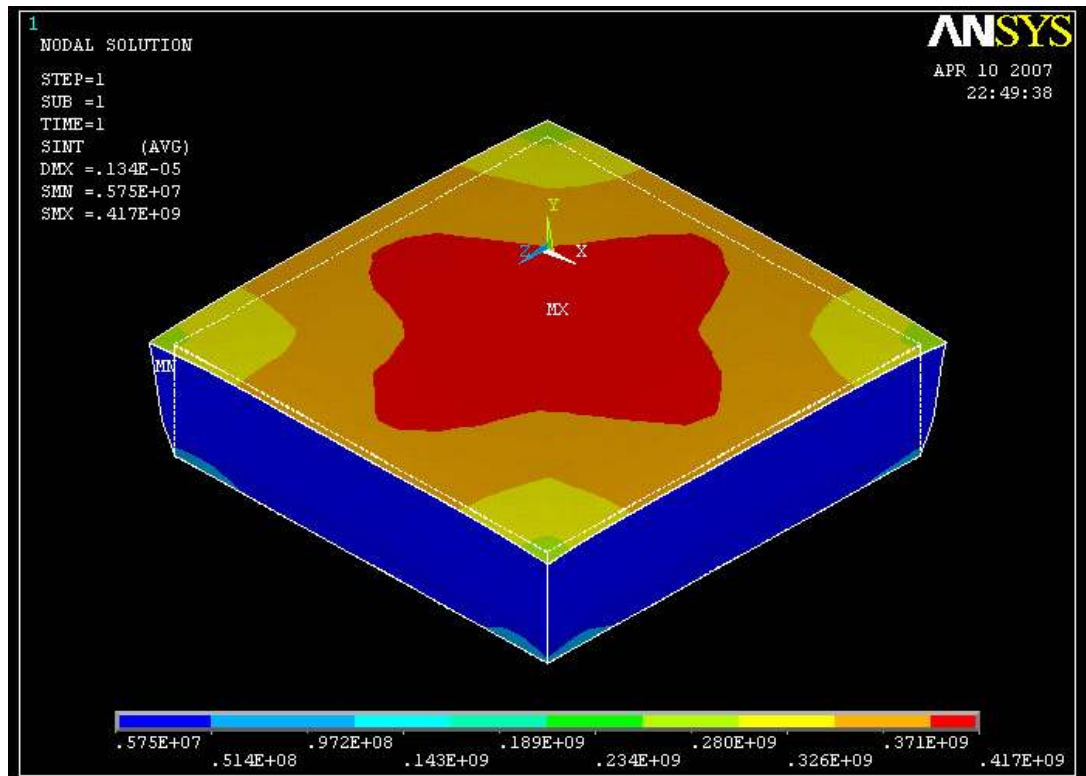
Elektronik elemanların imalatında özellikle çipler için sert malzeme kullanılması gereği de bu yüzdendir. Ana ısı üretim yeri olan çipler için kablo tesisatının bağlı olduğu ve akımın geçmesine müsaade edilen altın ya da bakır bir kaplama her zaman sert bir malzeme ile birlikte kullanılarak ki genellikle bu silikon bir yapıdır, şekilsel deformasyonlar açısından güvenilirlik

sağlanmış olur. Aşağıda güce bağlı olarak deformasyon, gerilme ve gerinmelerin değişimi çizelge olarak verilmektedir.

Çizelge 5.11. 2 mikrometre altın kaplama ve 0,4 milimetre silikon çip için deformasyon, gerilme ve gerinmenin güce bağlı değişimi

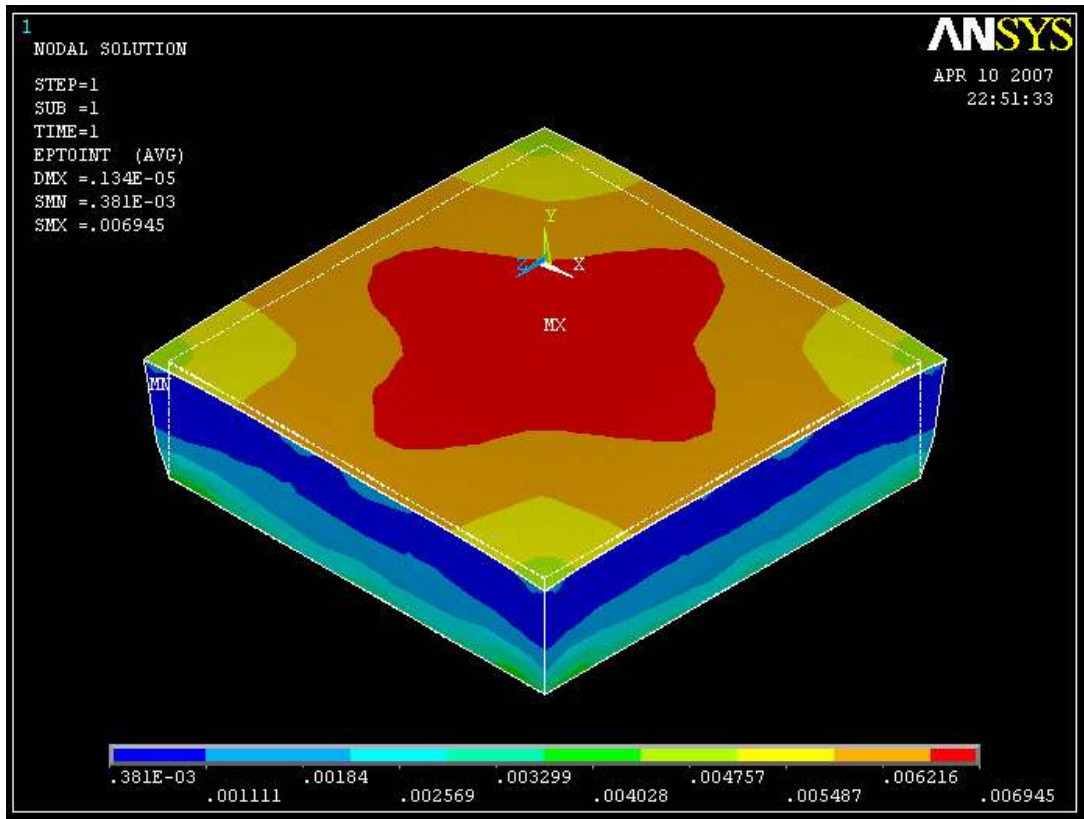
2 μm Altın Kaplama	2 W	5 W	10 W	15 W
Deformasyon (m)	0,134 E-5	0,136 E-5	0,140 E-5	0,144 E-5
Gerilme (Pa)	0,417 E9	0,426 E9	0,442 E9	0,458 E9
Gerinme (-)	0,006945	0,007101	0,00736	0,00762

Çizelge 5.11'de yer alan değerlere bakıldığında gücün artmasıyla birlikte hesaplanan deformasyon, gerilme ve gerinmelerin arttığını söyleyebiliriz. Bu sıcaklıkların artması nedeniyle ortaya çıkan bir durum olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 5.49 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu

Şekil 5.49’ da gerilme yoğunluğunu görebilirsiniz. Buradan anlaşılacağı gibi malzemenin üst yüzeyinde ki özellikle orta bölümde yani $x=L/2$ ve $z=H/2$ de daha yüksek gerilmelerin olduğu açıkça görülebilir. Bunun yanında çipin 4 köşesinde elde edilen gerilmeler yine silikon bölüme oranla daha yüksektir. Silikon bölümde sıcaklığı daha düşük olmasından kaynaklanan daha düşük gerilmeler hesaplanmıştır. Burada siklon tabanın ankastre olarak sabitlenmesi nedeniyle köşelerde diğer bölgelere oranla gerilmeler daha yüksektir.



Şekil 5.50 2 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu

Çizelge 5.12’de 5 W güç için farklı kalınlıklar ve malzeme kullanımı sonucunda ortaya çıkan deformasyon, gerilme ve gerinim değerleri vardır. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi malzeme kalınlığı arttıkça hesaplanan deformasyon ve gerilme değerleri artmaktadır

Çizelge 5.12 5 W güç için farklı kalınlıklar ve malzeme için toplam gerilme, deformasyon, ve gerinmenin değişimi

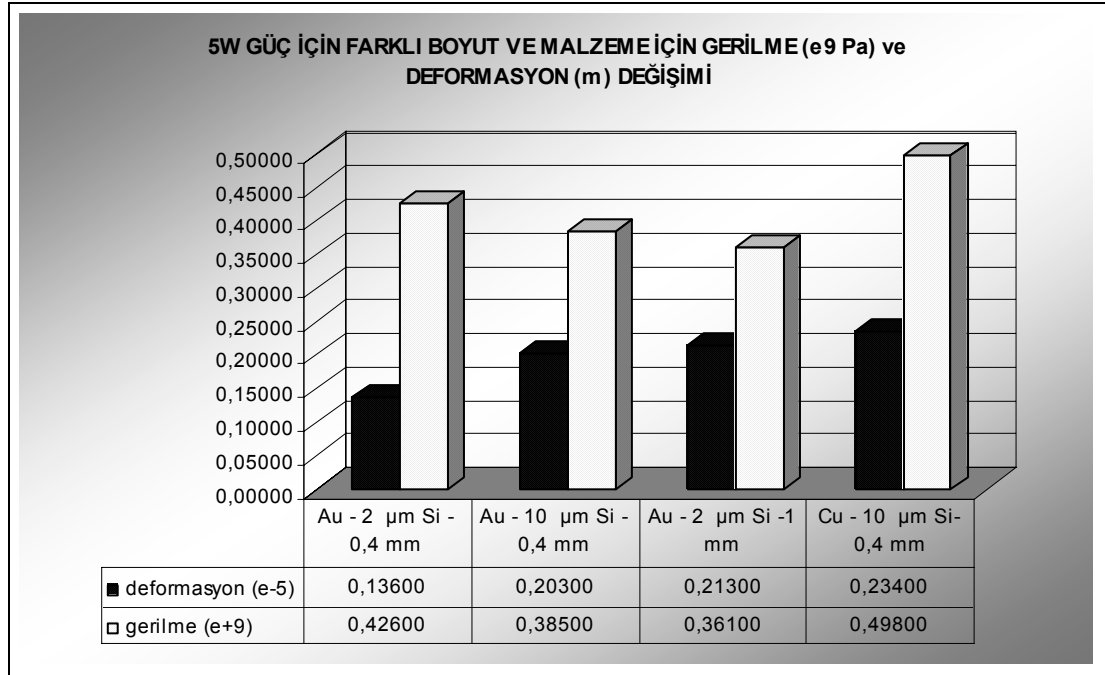
5 W	2 μm Altın kaplama ve 0,4 mm silikon	10 μm Altın kaplama ve 0,4 mm silikon	2 μm Altın kaplama ve 1 mm silikon	10 μm Bakır kaplama ve 0,4 mm silikon
Deformasyon (m)	0,136 E-5	0,203 E-5	0,213 E-5	0,234 E-5
Gerilme (Pa)	0,426 E9	0,385 E9	0,361 E9	0,498 E9
Gerinme (-)	0,007101	0,006411	0,006013	0,008273

Fakat gerilme değerlerinde azalma ortaya çıkmış ve sadece bakır kullanımda artış gözlemlenmiştir. Bu durum altın kullanıldığındaki değerler dikkate alındığında hem malzemenin kalınlığının artması nedeniyle rigid yapısının bozulması hem de sıcaklıklar da giderek arttığından deformasyonun ve buna bağlı olarak gerinmenin artması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Gerilme değerleri de aynı nedenlerden dolayı azalmıştır. Fakat bakır kullanımındaki farklı durum hem altına oranla nispeten daha düşük sıcaklık değerleri hem de bakırın yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

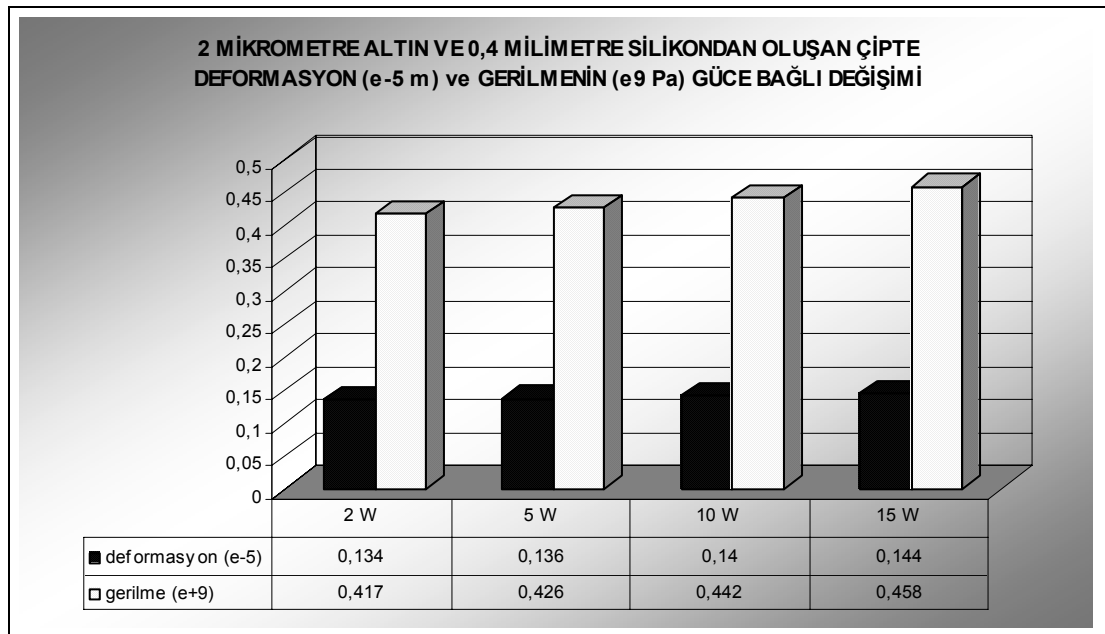
Bu durumları bir grafik olarak da görmek mümkündür. Şekil 5.51'den anlaşılacağı gibi malzeme kalınlığının artmasıyla birlikte deformasyon artmış ve gerilme azalmıştır. Hesaplanan maksimum deformasyon değeri metre cinsinden verilmiştir. Yine gerilme değişimini de görmek mümkündür. Şekil 5.52'de ise güce bağlı olarak 2 mikrometre altın tabaka ve 0,4 milimetre silikon tabakan oluşan çipte 2 ila 15 W arasında deformasyon ve gerilme değişimi görülmektedir.

Sıcaklık artışının, deformasyonu ve gerilmeyi artırması doğal bir sonuçtur. Fakat elde edilen değerler incelendiğinde malzemede bir hata ortaya çıkarıp

çıkarmayacağı konusunda çipin yerleştirildiği boşluğun boyutlarına bağlı olarak yorum yapmak mümkündür.

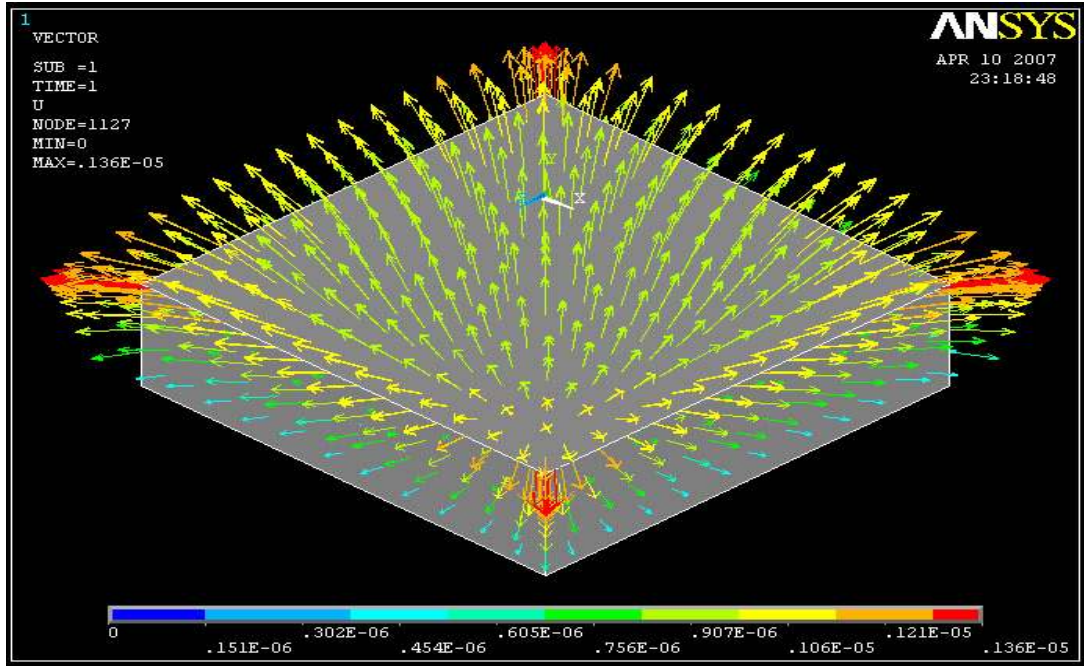


Şekil 5.51 5 W güç için farklı malzeme ve boyutların deformasyona etkisi



Şekil 5.52 2 Mikrometre altın ve 0,4 milimetre silikondan oluşan çipte deformasyon ve gerilmenin güce bağlı olarak değişimi

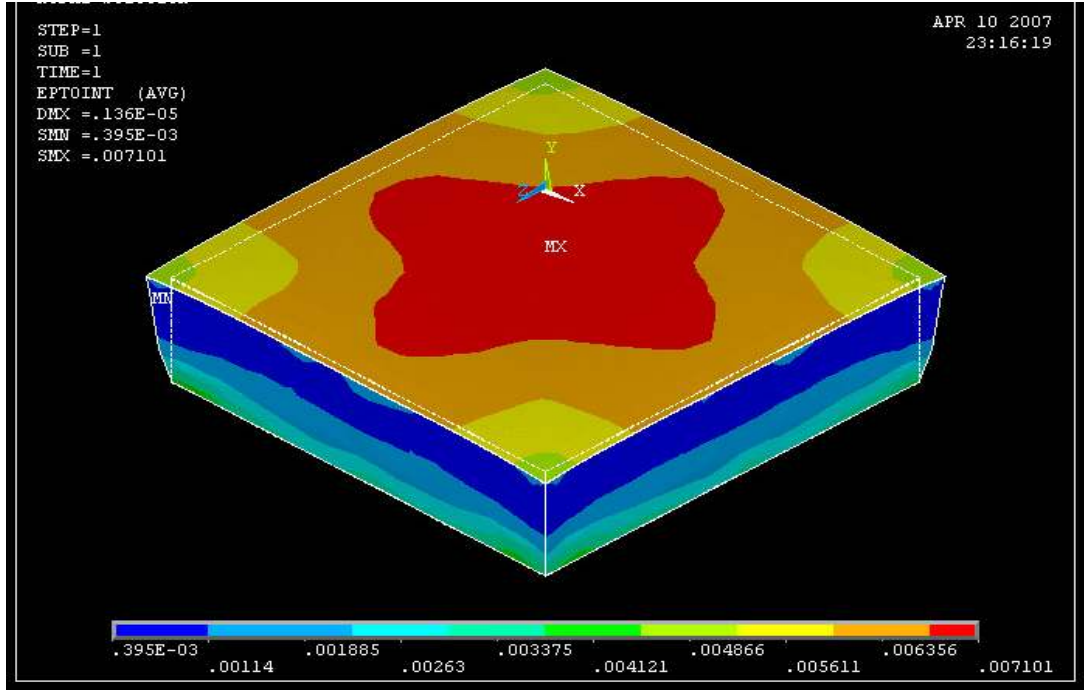
Aşağıda farklı durumlar için hesaplanmış deformasyon, gerilme ve gerinimleri gösteren şekiller vardır.



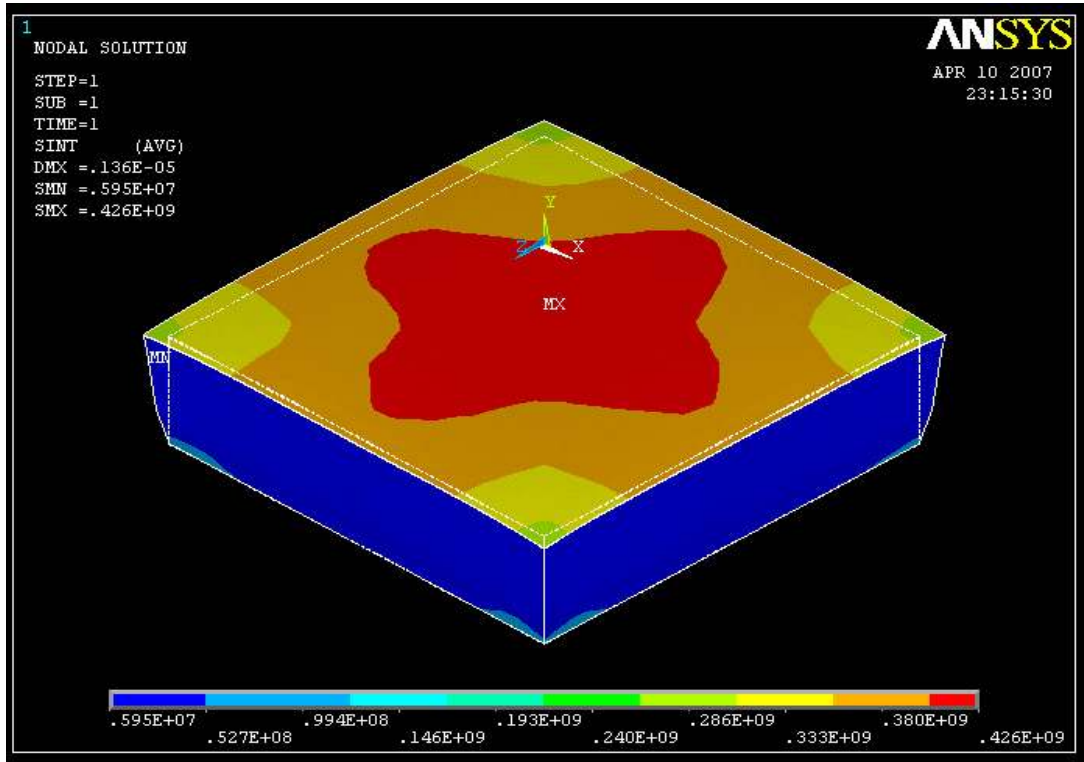
Şekil 5.53 5 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte vektörel deformasyon

Şekil 5.53'ten de anlaşılacağı gibi vektörel deformasyona bakılacak olursa köşelerde hesaplanan değer diğer tüm noktalara göre daha büyüktür. Vektör çizgilerinin uzunluğu bize hesaplanan değer konusunda fikir vermektedir. Bu anlamda alt yüzeyler mavi renkte ve kısa çizgilerle gösterildiğinden daha düşük değerler olduğu anlaşılmaktadır. Yine üst yüzeyde orta bölümde gösterilen vektörler sarı renkte ve daha uzun çizgilerle gösterildiğinden daha yüksek değerlerin hesaplandığı anlaşılmaktadır.

Şekil 5.54 bize 5 W güç için çipteki gerinmenin yoğunluğunu göstermektedir. Burada sıcaklık değerlerinin üst yüzeyde yüksek olduğu düşünüldüğünde hesaplanan değerlerin çipin altın tabakada ve orta kısmında daha yüksek olması beklenen bir durumdur. En yüksek sıcaklık değerleri de bu tabakada hesaplanan değerlerdir.

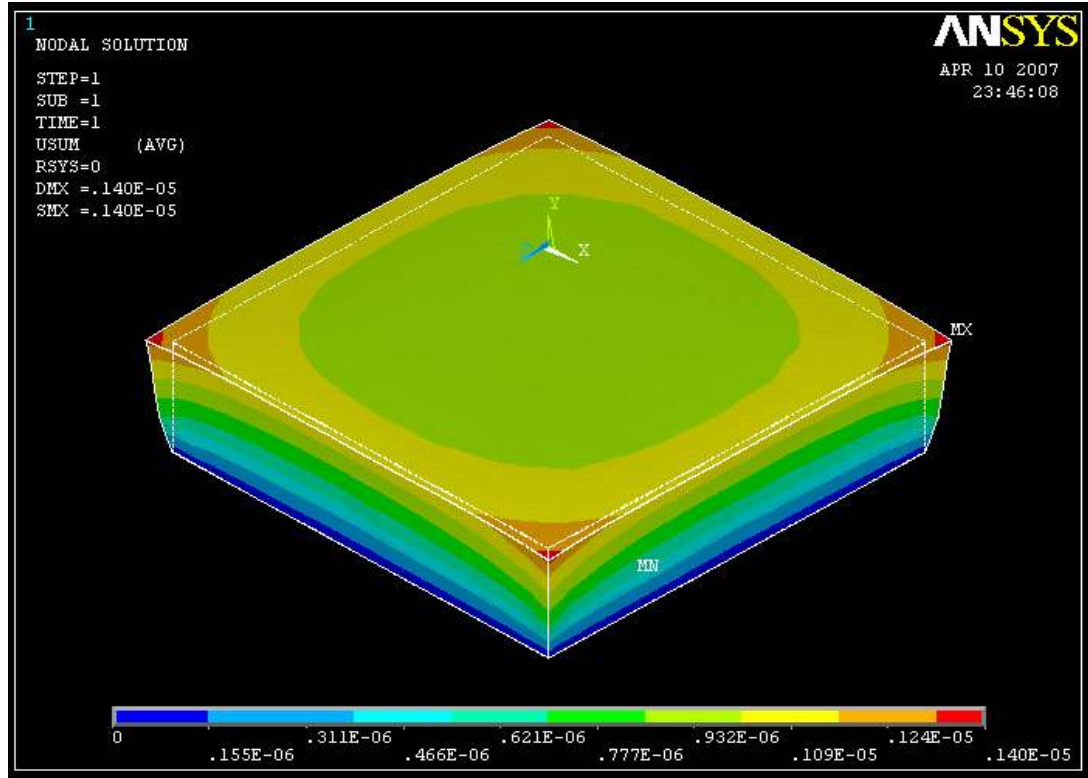


Şekil 5.54 5 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerinme yoğunluğu



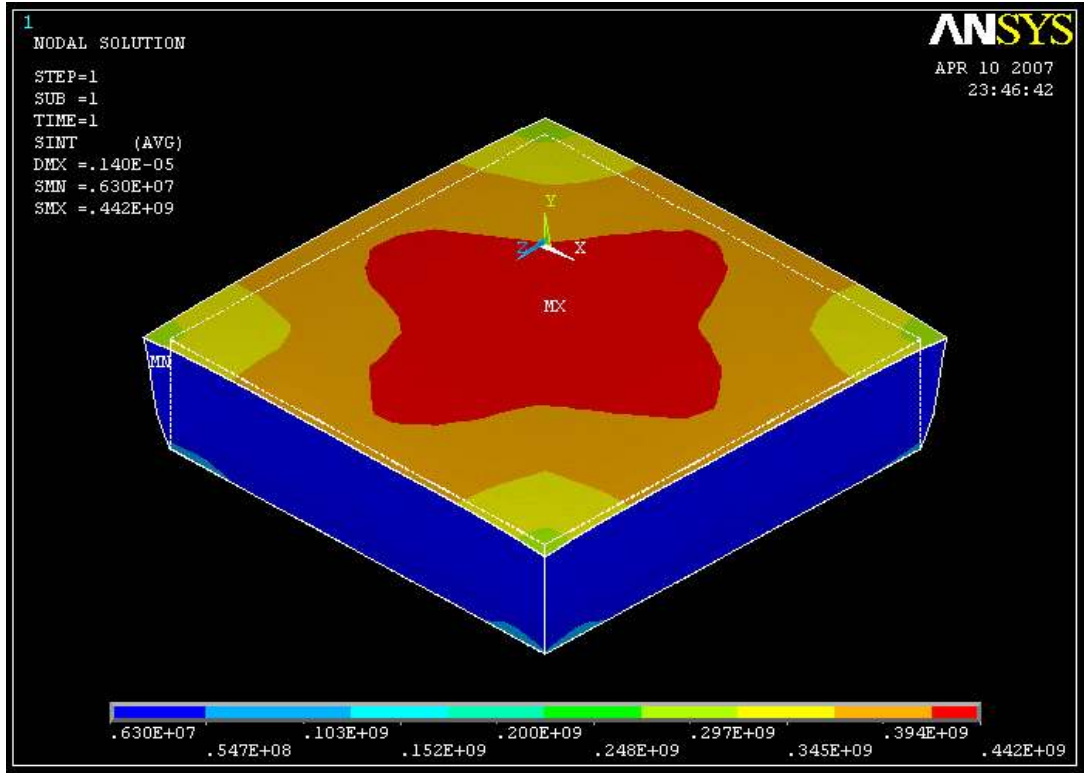
Şekil 5.55 5 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu

Şekil 5.55 'te görüldüğü gibi 5 W güç için gerilme yoğunluğuna benzer bir yapıda gerilme yoğunluğu vardır. Sıcaklık değerlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuçlar, bize diğer durumlara benzer bir gerilme yoğunluğunun ortaya çıktığını göstermektedir.

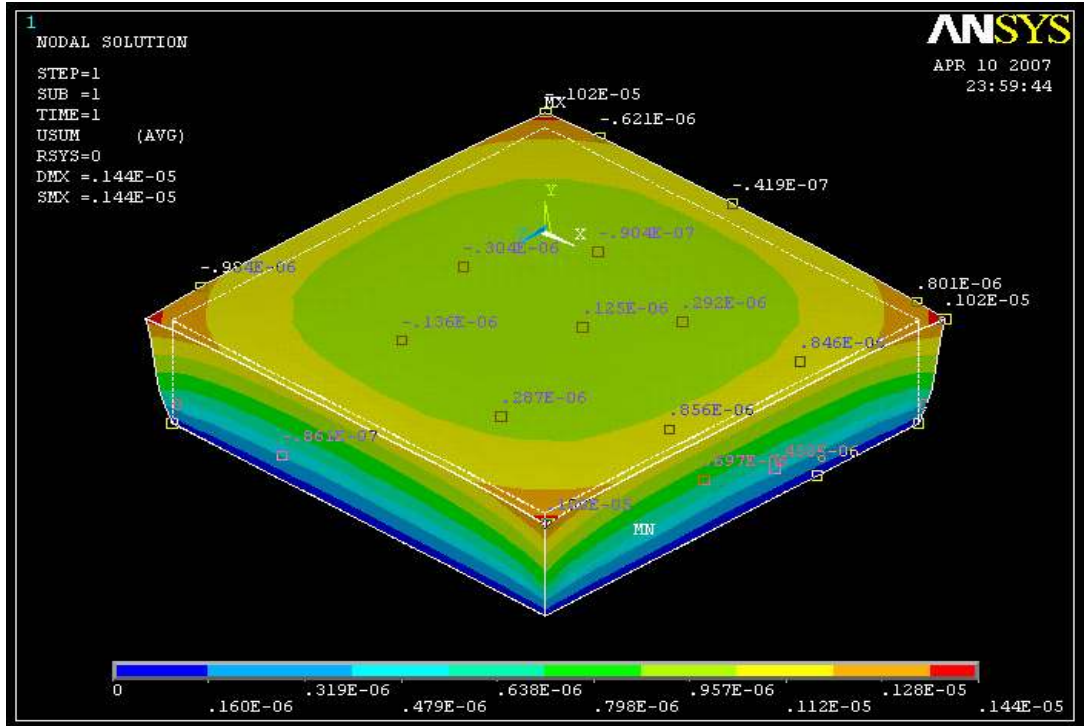


Şekil 5.56 10 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte deformasyon

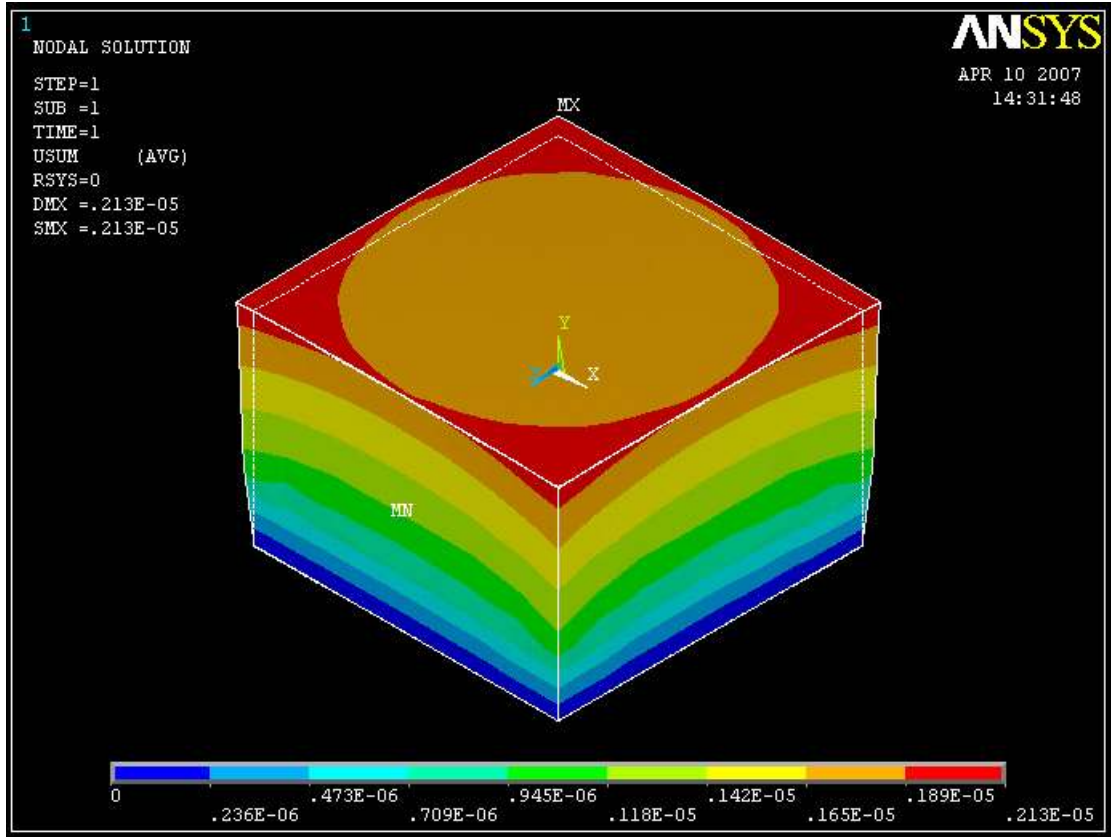
Şekil 5.56 bize 10 W güç için hesaplanan deformasyonu ve dağılımını göstermektedir. Burada da kenarlarda diğer durumlarda olduğu gibi daha yüksek deformasyon değerleri hesaplanmıştır. 2 W güç için maksimum deformasyon $0,134 \text{ E-}5 \text{ m}$ iken 5 W güç için $0,136 \text{ E-}5 \text{ m}$ ve 10 W güç için bu değer $0,14 \text{ E-}5 \text{ m}$ olarak hesaplanmıştır. Değer olarak bir artış gözlemlenmesine rağmen dağılım açısından bakıldığında bir fark görülememektedir. Bütün bunların ışığında hem gerilme, gerilme hem de deformasyon açısından ele aldığımız çipte gücün artması ve buna bağlı olarak hesaplanan sıcaklıkların artmasına rağmen yapısal dağılımın değişmediğini söylemek mümkündür.



Şekil 5.57 10 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte gerilme yoğunluğu



Şekil 5.58 15 W güç için 2 mikrometre altın kaplama olan çipte deformasyon

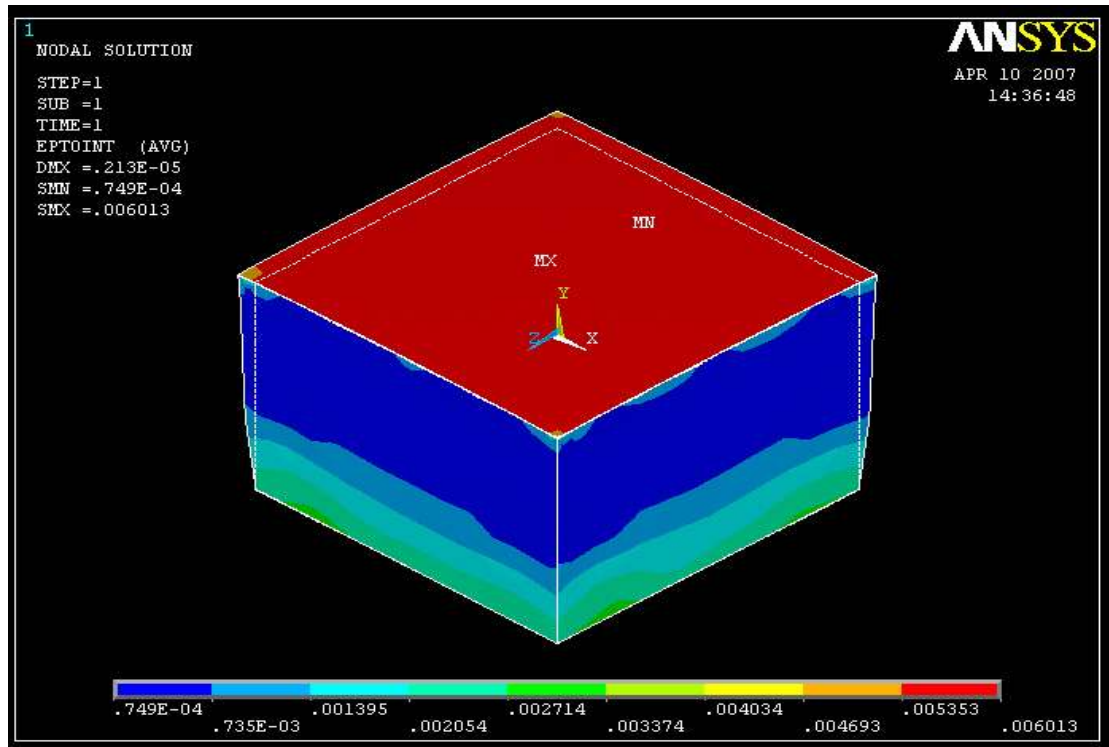


Şekil 5.59 5 W güç için 1 milimetre silikon olan çipte deformasyon

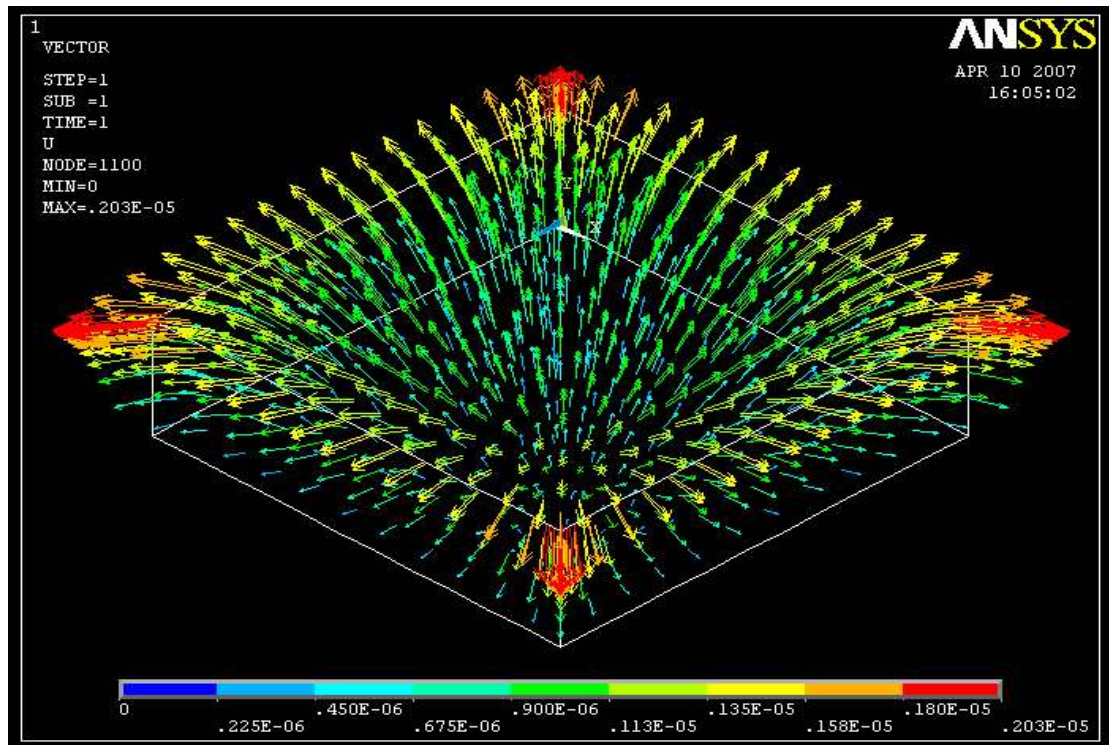
Şekil 5.59 bize 5 W güç için silikon tabakanın kalınlığının artması sonucunda hesaplanan deformasyonu ve dağılımını göstermektedir. Burada farklı bir deformasyon dağılımı ortaya çıkmıştır. 0,4 milimetre silikon kaplamanın olduğu durumda köşelerde küçük bir kırmızı bölge varken burada köşelerden içe doğru yayılan daha büyük bir alan mevcuttur.

Bunun sebebinin bu durumda hesaplanan maksimum sıcaklıklara ve sıcaklık dağılımına bağlı olduğu söylenebilir. Silikon tabakanın kalınlığının artmasıyla birlikte hesaplanan maksimum sıcaklık 310 K 'den 325 K gibi bir değere yükselmiştir. Bu da dağılımda farklılığa neden olmuştur.

Şekil 5.60 da ise aynı durum için hesaplanan gerinme değerlerini ve dağılımını görmek mümkündür. Altın tabaka içerisinde hesaplanan değerler diğer bölgelere göre daha yüksektir.

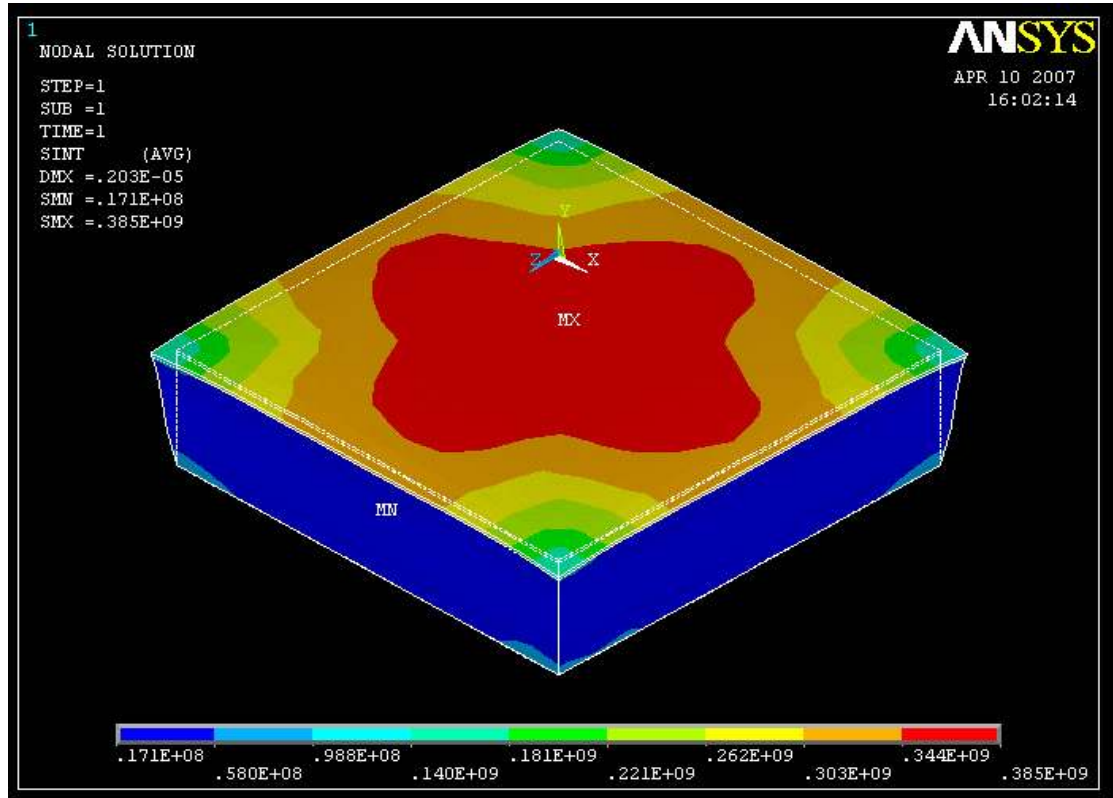


Şekil 5.60 5 W güç için 1 milimetre silikon olan çipte gerinme yoğunluğu



Şekil 5.61 5 W güç için 10 mikrometre altın olan çipte vektörel deformasyon

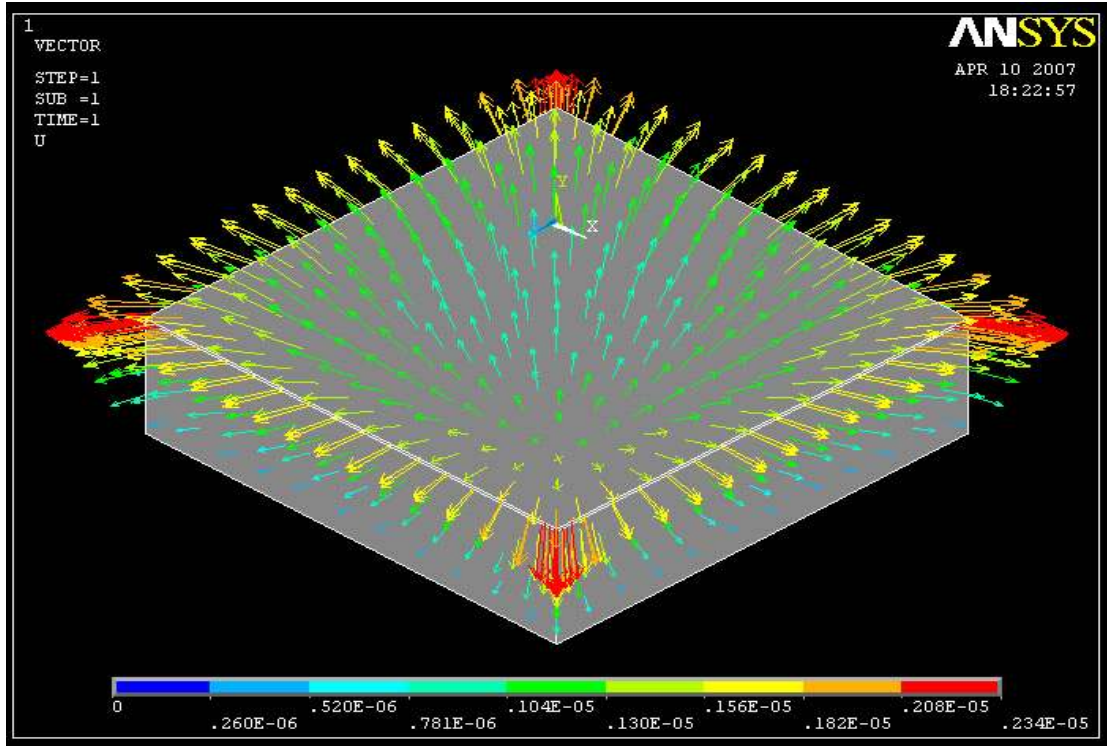
Şekil 5.61 ise 5 W güç için 10 mikrometre altın tabakası olan çipteki vektörel deformasyonu göstermektedir. Altın veya silikon tabakaların kalınlığı artırıldığında hesaplanan deformasyonun da arttığı gözlenmiştir.



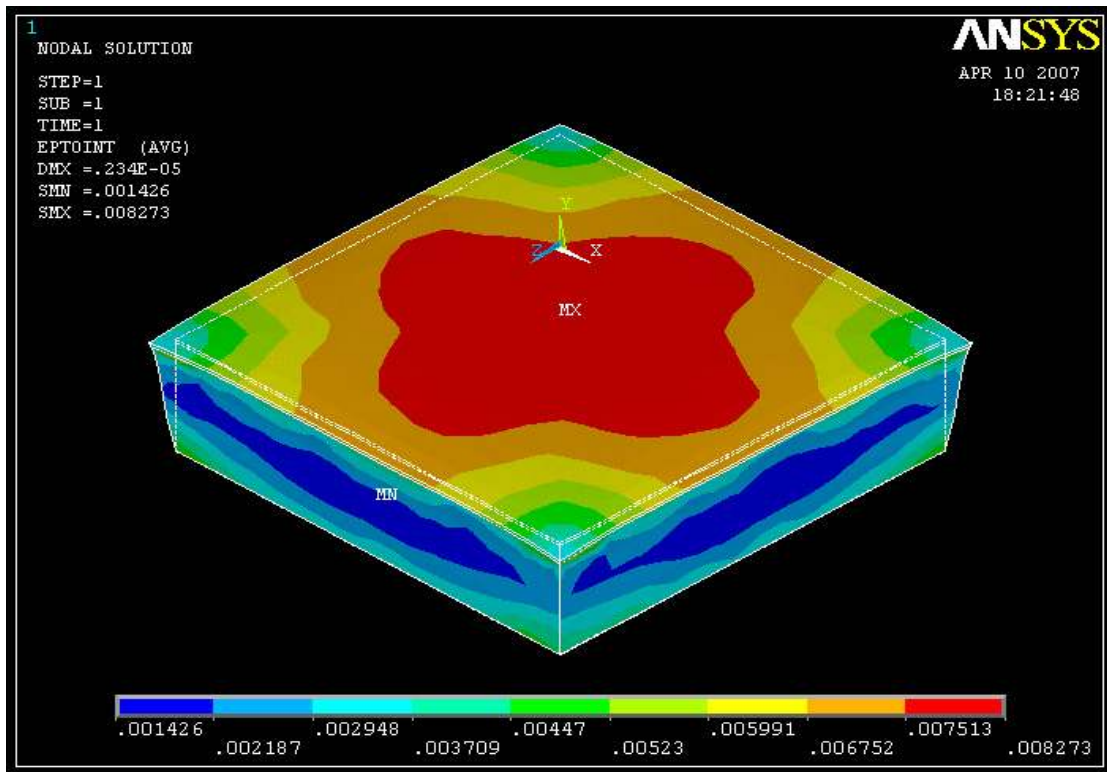
Şekil 5.62 5 W güç için 10 mikrometre altın olan çipte gerilme yoğunluğu

Şekil 5.62 5 W güç için 10 mikrometre altın tabakası olan çipteki gerilme yoğunluğunu göstermektedir. Buradaki dağılım 2 mikrometre altın tabakası olan çipe benzer bir yapıdadır. Farklılık hesaplanan değer daha düşük olmasındandır. Burada gerilme 0,385 E9 Pa iken 2 mikrometre altın tabaka olan durumda 0,426 E Pa olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.63 ise 5 W güç için 10 mikrometre bakır tabakası olan çipteki vektörel deformasyonu göstermektedir. Altın kullanıldığında hesaplanan maksimum değer 0,203 E-5 m iken burada 0,234 E-5 m olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.64'te ise aynı durum için gerilme yoğunluğunu görmek mümkündür.



Şekil 5.63 5 W güç için 10 mikrometre bakır olan çipte vektörel deformasyon



Şekil 5.64 5 W güç için 10 mikrometre bakır olan çipte gerinme yoğunluğu

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen altın ve silikon malzemeden yapılan bir çipte farklı güç ve malzeme kalınlıkları kullanılarak sıcaklık, deformasyon, gerilme ve gerinme değerleri elde edilmiştir. Öncelikle 2 W için maksimum sıcaklıklar hesaplanmıştır. Çiplerin genellikle 2 ila 10 W arasında çalıştıkları bilinmektedir. Ayrıca sistemin aktiflik derecesine göre 5 W ile çalışan bir çip % 40 oranında aktif ise 2 W için hesaplanacak olan ısı üretimi kullanılarak modelleme yapılmış ve sistem 2 ila 15 W arasında incelenmiştir.

Ayrıca son zamanlarda sıkça kullanılmaya başlanan ve sisteme normalden fazla akım vermek suretiyle hızını artırmayı amaçlayan “hız aşırma” (overclocking) işlemi sonucunda elde edilebilecek maksimum sıcaklıkların hesaplanması için 15 W güç içinde çözüm elde edilmiştir. Bu durumda sistem normalden fazla yük altında kalacaktır. Ve sistemin bu duruma verdiği termal cevap güvenilirlik açısından da önem arz etmektedir.

Öncelikle çipte Fluent çözücüsü ile hesaplanan maksimum sıcaklıklar hem yüzeylerde ısı transfer katsayısı kullanılarak hem de yalıtılmış olarak incelenmiş, farklı durumlar için 304 ila 379 K arasında sıcaklık değerleri elde edilmiştir. İhmal edilen yan ve üst yüzey ısı transferinin sonuçlara etkisi de ortaya konulmuştur. 25 K civarında hesaplanan artışların çipte hata oranını artırdığı (tam yük altında işlemci sıcaklıklarının artışına istinaden) bu durumun ise ancak fazla güç ile çalışma yapan ya da silikon tabaka kalınlığı fazla olan çiplerde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Altın tabaka kalınlığının ise sıcaklıklara aynı oranda etki etmediği fakat deformasyonu, gerilmeyi ve gerinmeyi artırdığı gözlemlenmiştir (0,136 E-5 m’ den 0,203 E-5 m’ ye). Bakır kullanımı sonucunda sıcaklığın altın kullanımına oranla daha düşük hesaplanmasının ise bakırın iletkenliğinin altına göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Fakat deformasyon, gerilme ve gerinme altına nispeten daha yüksek hesaplanmıştır.

Daha sonra Ansys'de Fluent ile elde edilen sıcaklık değerleri kullanılarak bu şartlar altında ortaya çıkan deformasyon, gerilme ve gerinme değerlerinin hesaplandığı yapısal analiz yapılmış ve sonuçlar hem şekil olarak hem de tablo olarak verilmiştir. Bunun için öncelikle Ansys ile termal inceleme yapılmış ve hesaplanan sıcaklıkların ve dağılımının Fluent ile çok yakın ve uyumlu olduğu dikkate alınarak bu incelemenin sonuçları yapısal analizde kullanılmıştır. Elde edilen maksimum deformasyon, gerilme ve gerinme sonuçları şekil ve tablo olarak verilmiş ve çipin yerleştirildiği muhafazada güvenilirliği etkilemediği (deformasyonun 2 mm ve 3 mm boşluğun içinde kalması nedeni ile) ortaya çıkmıştır. Deformasyonun $0,134E-5$ m ile $0,144E-5$ m arasında, gerilme değerinin ise $0,417E9$ Pa ile $0,458E9$ Pa arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

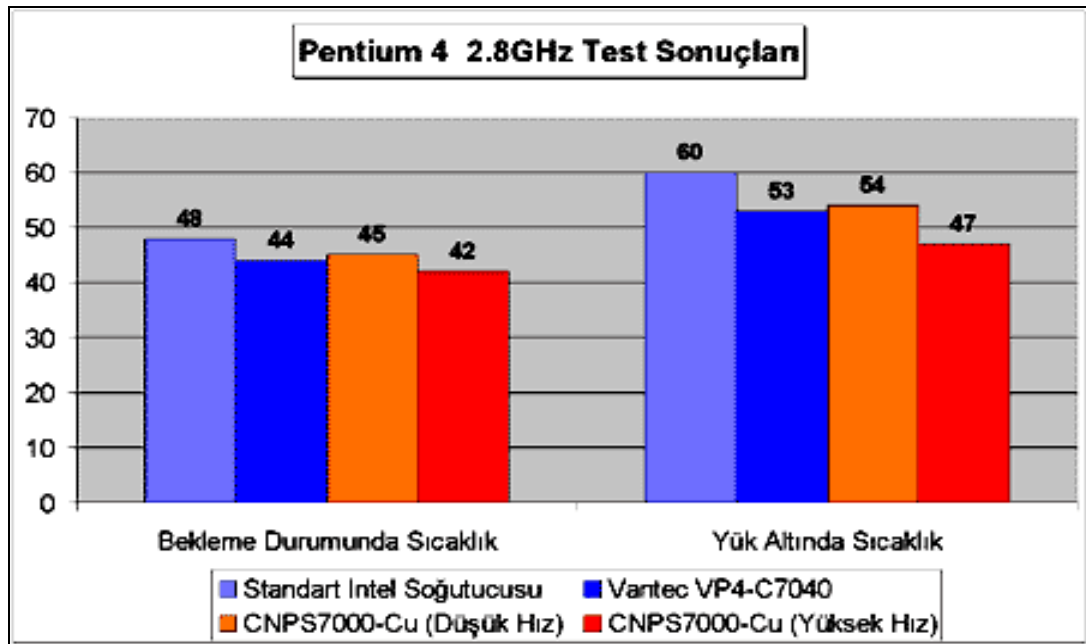
Günümüzde yeni teknolojiler kullanılmak suretiyle daha az kalınlıkta kaplamalar yapılmaya başlanmıştır. Sonuçlar da bize kaplamanın ya da silikon kalınlığının artmasıyla sıcaklıklarda artış olduğunu gösterdiğinden kaplamadaki ya da çipteki incelmenin daha düşük sıcaklıkların elde edilmesine katkı sağlayacağı açıktır. Artık kaplamalar mikron seviyesinden ziyade nano teknoloji kullanılarak metrenin milyarda biri kalınlıklarda yapılmaktadır.

Literatürde soğutma üzerine yapılan çalışmaların birçoğu, kasaların içerisindeki soğutmayı ve ısı transferini incelemiştir. Bu bize, fan kullanımı kasa tasarımı, fan ebatları vb. konularda bakış açısı sağlamaktadır. Sistemler bütün olarak ele alınmış ve özellikle kasa içerisindeki ya da işlemcinin üzerindeki sıcaklık dağılımları incelenmiştir.

Sistemi oluşturan her bir parça soğutma açısından önem arz ettiğinden ana işlevi yerine getiren çiplerdeki sıcaklıkların incelenmesi bize elektronik soğutma ile ilgili farklı bir bakış açısı sağlayacaktır.

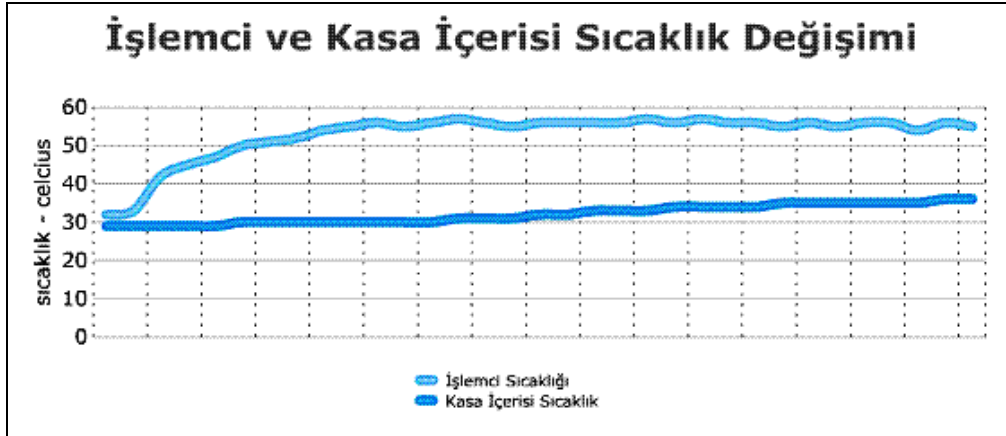
Mühendislikte artık sayısal çözümlerin bu tür incelemelerde kolaylık sağladıkları da bir gerçektir. Üretim öncesi modelleme yapılarak sistemin belirli yükler altındaki davranışlarının analiz edilerek tasarıma yön vermesi, hem zamandan tasarruf, hem de maliyetlerin düşmesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Deneysel çalışmaların yerini almaya başlayan sayısal çözümler ve modeller, hemen bütün mühendislik problemlerinde kullanılabilmektedir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, bilgisayarlarda yapılan sıcaklık testleri ile karşılaştırıldıklarında yakın sonuçların elde edildiği görülecektir.



Şekil 6.1. Pentium 4. 2.8 Ghz. İşlemcinin bekleme durumu ve yük altında farklı soğutucular ile ulaştıkları maksimum sıcaklıklar

Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı gibi sayısal çözümler ile elde ettiğimiz sonuçlar yaklaşık aynı aralıklarda değişmektedir. 300 K taban sıcaklığından başlayarak ele aldığımız malzeme kalınlıkları ve ısı akılarına göre 5 ile 20 K arasında değişen sıcaklık artışları bulunmuştur. Hatta silikon malzemenin kalınlığı artırıldığında bu sıcaklık artışı 70 K' ye kadar yükselmekteydi.



Şekil 6.2. Intel LGA 775 soğutucu ile Pentium 4 3.2 Ghz işlemci ve kasa içerisindeki sıcaklık değişimi

Şekil 6.2 'de de bilgisayar içerisindeki ve işlemcisindeki sıcaklığın zamanla değişimini gösteren bir grafik verilmiştir. Burada da aradaki farkın 25-30 C' lere kadar çıktığı görülmektedir.

Bütün bunların ışığında sayısal analizlerin birçok mühendislik problemlerinde kullanılabileceğini, eğer yüzey ve hacim meshleri doğru oluşturulur ve sınır şartları uygun verilirse gerçeğe yakın sonuçlar verebileceğini, zaman tasarrufu açısından büyük avantaj sağladığını ve böylece maliyetler açısından da fayda sağladığı söylenebilir.

Her denemeden sonra bir prototip üretmenin hem zaman hem de para kaybına neden olacağını, her uygulama için ki özellikle uzay teknolojilerinde test ve prototip uygulamasının yapılamayacağını söylersek, sayısal çözümlerin günden güne yaygınlaştığını ve bu çalışmanın da sistemin en küçük parçalarından olan çipler konusunda yapılan araştırmaların ilkleri arasında yer aldığını söyleyebiliriz.

Çalışmanın devamı olarak analitik çözüm elde edilerek, sayısal analiz ile karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Steinberg D. S., "Cooling Techniques for Electronic Equipment 2nd ed.", **John Wiley&Sons Inc.**, USA, 1-288 (1991)
2. Remsburg R., "Thermal Design of Electronic Equipment", Jerry C. Whitaker, **Morgan Hill**, California, 1-363 (2001)
3. Wang H.Y., Saulnier J.B., "A Sensitive Study of Material Properties for Coupled Convective-Conductive Heat Transfer Generated in an Electronic Equipment", **Int.J.Heat and Mass Transfer**, 36(15): 3831-3839 (1993)
4. Honnor F. ve Thomas M.A., "Packaging and Cooling Problems Associated With Microelectronic Equipment" **Micro Electronics and Reliability**, 8:331–337 (1969)
5. Bar-Cohen A., "Thermal Packaging for the 21st Century Challenges and Options", **5th Thermnic Invited Talk International Workshop Thermal Investigations of IC's and Systems**, 10:3-6 (1999)
6. Wilson J., Guenin B., "Cooling Solutions in the Past Decade", **Electronics Cooling**, 3(2): 2 (1997)
7. Haji-Sheikh A., Beck J.V., Agonafer D., "Steady State Heat Conduction in Multi-layer Bodies", **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 46:2363-2379 (2003)
8. Keneddy D.P., "Spreading Resistance in Cylindrical Semi-conductor Devices", **J.Appl. Phys.**, 31:1490-1497 (1960)
9. Yovanovich M.M., " General Solution of Constriction Resistance Within a Compound Disc", **Heat Transfer, Thermal Control and Heat Pipes Progress in Astronautics and Aeronautics**, 70:5-10 (1970)
10. Haji-Sheikh A., Beck J.V., Agonafer D., "Temperature Solution in Multi-layer Bodies", **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 45: 1865-1877 (2002)
11. Dowding K.J., Beck J.V., "Estimation of Directional Dependent Thermal Properties in Carbon Carbon Composite", **Int J.of Heat and Mass Transfer**, 39: 3157-3164 (1996)
12. Lee S. Early M., Pellilo M., "Thermal Interface Material Performance in Microelectronics Packaging Applications", **Microelectronics Journal**, 28: 13-20 (1997)

13. Çengel Y. A., "Cooling of Electronic Equipment", Heat Transfer A practical Approach International Edition, Jack P. Holman, John R. Lloyd, **Mc Graw Hill**, Reno, 863-944 (1998)
14. E.P. Black , E.M.Daley, "Thermal Design Consideration for Electronic Components", **ASME**, 70:17-25 (1970)
15. Peterson G.P., " Thermal Control of Electronic Equipment and Device" Advances in Heat Transfer, 20, **Academic Press Inc.** USA, 181-313 (1990)
16. J.W. Dally, "Packaging of Electronic Systems", **Mc.Graw Hill**, Newyork, 1-423 (1990)
17. G.M. Grover , T.P. Cotter, G.F.Ericson, "Structures of Very High Thermal Conductivity", **J. of Applied Physics**, 35:1190-1191 (1964)
18. W.F. Hillbert, F.H.Kube, "Effects on Electronic Equipment Reliability of Temperature Cycling in Equipment", **Grumman Aircraft Engineering Corporation**, NY., 69-400 (1969)
19. Kakaç S., Yener Y, "Steady Two and Three Dimensional Heat Conduction Solutions with Separation of Variables", Heat Conduction Third Edition, **Taylor and Francis**, USA, 129-166 (1993)
20. Lasance C.J.M., " The Need for a Change in Thermal Cooling Design", **Electronic Cooling**, 1(2): 24-26 (1995)
21. Tucker P.G., "CFD Applied to Electronic Systems: A Review", **IEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology**, 20(4): 518-529 (1997)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : Fatih Nusret DUR
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.04.1977, Ankara
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 357 04 38
 Faks : 0 (312) 341 30 67
 e-mail : fndur@ziraatbank.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Müh.	1999
Lise	Ankara Atatürk Anadolu Lis.	1994
Lise	TED. Ankara Koleji	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003	T.C.Ziraat Bankası A.Ş.	Uzman
2002	172.Zrh.Tg.Komutanlığı	Asteğmen
2001	T.C.Z.B Antalya Şb.	Uzman Yrd.
2000	UPEKS Dış Ticaret A.Ş.	Satış ve Servis Müh.

Yabancı Dil

İngilizce KPDS (B)

Hobiler

Halk Müziği, Yüzme, Futbol, Voleybol, Masa Tenisi, Amatör Balık Avcılığı,
 Bağlama Çalmak