

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

SİALON ESASLI SERAMİK KESİCİ UÇLARIN
ISIL İLETKENLİĞİNİN SICAKLIĞA BAĞLI ANALİZİ

BATTAL DOĞAN

OCAK 2010

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürünün onayı.

06/01/2010

Doç.Dr. Burak BİRGÖREN

Müdür

Bu tezin Doktora tezi olarak Makine Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr.Ali ERİŞEN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve Doktora tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr.İbrahim UZUN

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof.Dr.İbrahim UZUN

Prof.Dr.Nevzat ONUR

Prof.Dr.Veli ÇELİK

Doç.Dr. Yahya DOĞU

Doç.Dr.M.Hüsnü DİRİKOLU

ÖZET

SİALON ESASLI SERAMİK KESİCİ UÇLARIN ISIL İLETKENLİĞİNİN SICAKLIĞA BAĞLI ANALİZİ

DOĞAN, Battal

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman : Prof. Dr. İbrahim UZUN

Ocak 2009, 126 sayfa

Bu çalışmada Sialon esaslı kesici uçların ısı iletkenliği analitik, sayısal ve deneysel olarak hesaplanmıştır. Analitik hesaplamalar yapılırken literatürdeki mevcut ampirik ifadeler değişik hacimsel oranlar kullanılarak sıcaklığa bağlı olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda sıvı ile yer değişim yöntemi ile yoğunluk (ρ) ölçümü, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) sistemi kullanılarak özgül ısı (c) ölçümü ve zamana bağlı ısı iletimi esasına dayanan Laser Flash teknolojisi ile ısı yayılım katsayısı (α) ölçümü yapılmıştır. Isı yayılım Netzsch LFA457 cihazı ile ölçülmüş olup bu deneysel sonuçlardan ısı iletkenlik (k) bulunmuştur.

Sayısal çözümlere ulaşmak için birkaç aşamanın malzemeye uygulanması gerekmektedir. İlk olarak malzeme yüzeyinin kimyasallarla temizlenmesi ve parlatılması işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemlerin devamında işleme hatalarının

giderilmesi ve görüntünün net alınabilmesi için yüzeyin kimyasallarla dağlaması yapılmıştır. Dağlama sonunda malzeme yüzeyinin fotoğrafı Taramalı Elektron Mikroskopunda alınmıştır. Alınan görüntüler farklı büyütme oranlarında 25000,30000 ve 50000 olarak seçilmiştir. Son olarak bu görüntüler Autocad® programı kullanılarak ana ve ara faz ayrımları geometrik olarak belirlenmiş ve sonlu eleman esaslı bir yazılım olan Ansys® için hazır hale getirilmiştir.

Sonlu eleman çözümleri değişik alan oranları ve düğüm sayıları için tekrarlanmıştır. Alan oranları ve düğüm sayıları sonlu eleman modelinin yapısına göre değişimler gösterebildiğinden incelenen modeller ilerleyen sayfalarda tablo ve grafiklerle verilmiştir.

Sialon esaslı seramik kesici uçların sinterlenmesi esnasında ana faz denilen ana yapının yanında ara faz denilen tane sınır faz olarak camsı yapı oluşmaktadır. Bu yapı malzeme fotoğraflarında ve sayısal analiz modellerinde açıkça görülebilmektedir.

Sayısal çözümlemede bu fotoğrafla iki boyutlu bir düzlem şeklinde ele alınarak sabit yüzey sıcaklığı sınır şartları altında ana faz ve ara fazın iletkenliklerinin bilinmesine bağlı olarak efektif ısı iletkenlik Ansys ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar analitik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Sonuçların karşılaştırılmasında kesici uçların veya buna benzer iki faz yapısı olan malzemelerin ısı iletkenliklerinin analitik ve deneysel ölçümleri yanında sayısal hesaplamalarda da oldukça iyi belirlenebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı İletkenlik, Sialon, Kesici Uç, SEM.

ABSTRACT

TEMPERATURE DEPENDENT ANALYSIS OF THERMAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS

DOĞAN, Battal

Kırıkkale University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine, PhD Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim UZUN

January 2010, 126 pages

In this study, Thermal conductivity of Sialon based cutter edges are calculated as theoretical, numerical and experimental. At analytical computation, current empirical evidences at literature are calculated dependent on temperature as using different volume rates. At experimental studies, density (ρ) is measured with replace method, specific heat (c) is measured with differential scanned calorimeter (DSC) and heat expansion coefficient (α) is measured with Laser Flash Technology. Heat expansion is measured with Netzsch LFA457 device. Heat conductivity is obtained from these experimental results.

Some stage is supposed to apply to material for obtained numerical solution. First, material surface is cleaned and shined with chemicals. Then material surface is cauterized with chemicals. Image of material surface is taken from Scanning Electron Microscope at the end of cauterization. Images are selected different enlargement rate as 25000, 30000 and 50000. Finally, the anaphase and intermediate phase distinction

of these images are designated as geometrically by using the AutoCAD. Then images are transferred to Ansys.

Finite element solutions are repeated for different area rates and knot numbers. Area rates and knot numbers are varied according to structure of finite element model. For this reason models are showed with table and graphic at the next pages.

The intermediate phase is occurred near the anaphase during the Sialon based ceramic cutter edges sintering. This structure can be seen clearly from materials structure images and numerical analysis models.

At numerical solution, effective heat conductivity is calculated with Ansys by using constant surface temperature boundary conditions. Images are assumed as two dimensional. Theoretical, experimental and numerical results are compared.

Finally numerical model shows close results with analytical and experimental results at measured heat conductivity of cutting edges which composed of intermediate phase and anaphase.

Key Words: Thermal Conductivity, Sialon, Cutting Edge, SEM

TEŐEKKÖR

Tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. İbrahim UZUN'a tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Prof. Dr. Nevzat ONUR'a, akademik hayata başlamama ve devam etmeme vesile olan Sayın Prof.Dr. İbrahim ŞAHİN'e, bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen eşime ve moral kaynağım Alperene teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER DİZİNİ.....	xiv
KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Karma Malzemeler	4
1.1.1. Karma Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
1.1.2. Seramik Malzemeler	7
1.1.3. Seramik Kesici Uçlar	10
1.1.3.1. Sialon Seramikleri	16
1.1.4. Isıl İletkenlik	18
1.2. Kaynak Özetleri	20
2. MATERYAL VE YÖNTEM	27
2.1. Analitik Yöntemler	27
2.2. Deneysel Ölçümler	30
2.2.1. Numune Hazırlama	31

2.2.2. Dağlama	34
2.2.3. Görüntü Alma.....	37
2.2.4. Yoğunluk Ölçümü	40
2.2.5. Özgül Isı Ölçümü	42
2.2.6. Isıl Yayılım Katsayısı Ölçümü.....	46
2.2.7. Element Analizi (EDS).....	50
2.3. Isıl İletkenliğin Sayısal Hesaplama	52
2.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Adımları.....	55
2.3.2. Ansys Programı	57
2.3.3. Çözüm	70
2.3.4. Karma Malzemelerin İçyapı Geometrisinin Isı İletim Katsayısına Etkisi	76
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	81
3.1. Analitik Yöntemlerden Elde Edilen Bulgular.....	81
3.2. Elektron Mikroskop Görüntüleri (SEM) Bulguları	83
3.3. Element Analizi (EDS) Bulguları.....	88
3.4. Özgül Isı, Yoğunluk, Isıl Yayılım Katsayısı Ölçümlerinden Elde Edilen Bulgular	95
3.5. Isıl İletkenlik Ölçümü Bulguları.....	97
3.6. Sayısal Hesaplama Bulguları.....	99

4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	114
4.1. Analitik Sonuçların Değerlendirilmesi.....	114
4.2. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi	115
4.3. Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi.....	116
4.4. Analitik, Sayısal ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması	121
5. KAYNAKLAR.....	123
ÖZGEÇMİŞ.....	126

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

1.1. Çalışmada Kullanılan Numuneler ve Özellikleri.....	15
1.2. Sialon Seramiklerinin Özellikleri	17
2.1. Çalışmada İlk Yapılan Dağlama İşlemi	36
2.2. Çalışmada Yapılan İkinci Dağlama İşlemi	36
2.3. Ana Faz Malzemesi İçin Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi	53
2.4. Ara Faz Malzemesi İçin Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi Varsayımı için Öngörülen Değerler	54
2.5. Bir boyutlu (x) doğrultusu için sonuçların karşılaştırılması	54
2.6. Bir boyutlu (x) doğrultusu için sınır şartları ve sonuçlar.....	73
2.7. Bir boyutlu (y) doğrultusu için sınır şartları ve sonuçlar.....	73
2.8. İki Boyutlu (x) Doğrultusu İçin Sınır Şartları ve Sonuçlar.....	75
2.9. İki Boyutlu (y) Doğrultusu İçin Sınır Şartları ve Sonuçlar.....	75
2.10. Havanın Değişik Sıcaklık Değerlerindeki Isıl İletkenliği.....	77
2.11. Gazbetonun Çeşitli Birim Ağırlıkları İçin Porozitesi	79
2.12. Gazbetonun Çeşitli Birim Ağırlıkları İçin Isıl İletkenlik Değerleri.....	79
3.1. Analitik Çözümde Elde Edilen Sonuçlar	81
3.2. Sıcaklığa Bağlı Analitik Çözümler	82
3.3. Sem Görüntüleri Alınan Numuneler ve Özellikleri.....	84
3.4. SiAlON Bileşiklerin Bağ Karakterleri.....	88

3.5. (1) Numaralı Numunelerin Element Analizi Sonuçları	89
3.6. Si ₃ N ₄ Bileşiklerin Bağ Karakterleri.....	91
3.7. (6) Numaralı Numunenin Element Analizi Sonuçları	92
3.8. Alüminyum Oksit Esaslı Deney Numunelerinin Bağ Karakterleri	93
3.9. (4) Numaralı Numunenin EDS Analizi Sonuçları	94
3.10. Bazı Deney Numunelerin Özgül Isı Değerleri.....	95
3.11. Yoğunluk Ölçüm Sonucu	96
4.1. Büyütme Oranlarına Göre Alan Oranlarının Gösterilmesi.....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

1.1. Sialon Esaslı Bir Karma Malzemenin İç Yapı Fotoğrafı.....	1
1.2. Elyaf ve Parçacık Takviyeli Karma Malzeme	6
1.3. Katmanlı Karma Malzeme.....	7
1.4. Kesici Uç Fotoğraflar	14
1.5. Kesici Uç Tanımlamada Kullanılan İşaretler	16
1.6. Normal Şartlarda Maddenin Değişik Halleri için Isıl İletkenlik	18
1.7. Katıların Isıl İletkenlik Değerinin Sıcaklıkla Değişimi	19
2.1. Deneysel Ölçümlerin Akış Şeması	31
2.2. Taramalı Elektron Mikroskopunun Şematik Yapısı.....	38
2.3. Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı	40
2.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı	41
2.5. DSC Eğrisi	43
2.6. DSC Düzeneği	45
2.7. Netzsch Marka Cihazın Fotoğrafı.....	46
2.8. Laser Flash Metodu İle Numune Üzerindeki İşlemlerin Gösterimi	47
2.9. Sıcaklık Artışı ve Çeşitli Deneysel Şartlar	48
2.10. Isıl Yayılım Katsayısı Ölçüm Cihazı Şematik Gösterimi.....	49
2.11. Numunelerin Cihaza Yerleştirilmesi	50
2.12. Sayısal Çözümleme İçin Akış Şeması	52
2.13. Çözüm Bölgesinin Üçgen Elemanlara Bölünmesi	56

2.14. Ana ve Ara Fazdan Oluşan Numunenin SEM görüntüsü.....	58
2.15. SEM Görüntüsünün Çizim Programında Oluşturulan Geometrik Modeli	59
2.16. Ansys Programında Oluşturulan Çizgiler.....	60
2.17. Ansys Programında Oluşturulan Alanlar.....	61
2.18. Düğüm Noktalarının Görüntüsü	62
2.19. Yerel Olarak Alınan Çizgi ve Düğüm Noktalarının Görüntüsü.....	62
2.20. Bölgesel Olarak Alınan Düğüm Görüntüsü.....	63
2.21. Mesh Yapılan Bölgelerdeki Düğüm Noktalarının Gösterimi.....	64
2.22. Düğüm Noktalarının Özellik Gösterimi	65
2.23. Düğüm Noktalarının Özellik Gösterimi	66
2.24. Çözüm Düzleminde Sınır Şartları ve Isı Akış Yönleri.....	67
2.25. Fiziksel Sistemin İki Boyutlu Modellenmesi	69
2.26. Bir Boyutlu Hesaplamalar İçin Sınır Şartları	72
2.27. İki Boyutlu Hesaplamalar İçin Sınır Şartları	74
2.28. Kare Elemanlardan Oluşan Geometrik Yapı	77
2.29. Dikdörtgen Elemanlardan Oluşan Geometrik Yapı.....	78
2.30. Dairesel Elemanlardan Oluşan Geometrik Yapı.....	78
2.31. Gazbetonun Sayısal Modeli İle Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	80
3.1. (1) Numaralı Numuneye Ait Büyütme Oranı (2000)'deki SEM Görüntüsü .	85
3.2. (1) Numaralı Numuneye Ait Büyütme Oranı (5000)'deki SEM Görüntüsü .	86

3.3. (1) Numaralı Numuneye Ait Büyütme Oranı (10000)'deki SEM Görüntüsü.	87
3.4. (1) Numaralı Numuneye Ait Büyütme Oranı (20000)'deki SEM Görüntüsü.	87
3.5. (1) Numaralı Numunenin EDS Grafiği.....	89
3.6. Sialon Esaslı Karma Malzemenin Atomik Yapısı	90
3.7. (6) Numaralı Numunenin EDS Grafiği.....	91
3.8. S3N4 Esaslı Karma Malzemenin Atomik Yapısı	92
3.9. (4) Numaralı Numunenin EDS Grafiği.....	94
3.10. Kesici Uç Numunesinin Özgül Isısının Sıcaklıkla Değişimi.....	95
3.11. Kesici Uç Numunesinin Isıl Yayılım Katsayısının Sıcaklıkla Değişimi	96
3.12. Kesici Uç Numunesinin Isıl İletkenliğinin Deneysel Sonuçları	97
3.13. Bir Boyutlu Değişken Özellikte Çözüm İçin Sıcaklık Dağılımı	
Sonuçları (x)	100
3.14. Bir Boyutlu Değişken Özellikte Çözüm İçin Sıcaklık Dağılımı	
Sonuçları (y)	100
3.15. Bir Boyutlu Değişken Özellikte (x) Doğrultusu İçin Sıcaklık	
Gradyenleri	101
3.16. İki Boyutlu Çözüm İçin Sıcaklık Dağılımı Sonuçları	102
3.17. İki Boyutlu Çözüm İçin Sıcaklık Gradyenleri.....	102
3.18. Tek Boyutlu Sabit Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik.....	103
3.19. Tek Boyutlu Değişken Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik.	104

3.20. Tek Boyutlu Sabit Özellikte (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik.....	106
3.21. Tek Boyutlu Değişken Özellikte (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik.	107
3.22. İki Boyutlu Sabit Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik.....	108
3.23. İki Boyutlu Sabit Özellikte (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik.....	108
3.24. İki Boyutlu Değişken Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik..	109
3.25. İki Boyutlu Değişken Özellikte (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik..	110
3.26. Tek Boyutlu (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi.....	111
3.27. Tek Boyutlu (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi.....	111
3.28. İki Boyutlu (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi.....	112
3.29. İki Boyutlu (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi.....	113
4.1. Analitik Sonuçların Karşılaştırılması	114
4.2. Isıl İletkenlik İle Büyütme Oranlarının İlişkisi.....	116
4.3. Tek Boyutlu Değişken Özellikli (x) Doğrultusundaki Sonuçların Karşılaştırılması.....	118
4.4. Tek Boyutlu Değişken Özellikli (y) Doğrultusundaki Sonuçların	

Karşılaştırılması.....	119
4.5. İki Boyutlu Değişken Özellikli (x) Doğrultusundaki Sonuçların	
Karşılaştırılması.....	120
4.6. İki Boyutlu Değişken Özellikli (y) Doğrultusundaki Sonuçların	
Karşılaştırılması.....	120
4.7. Ölçülen ve Hesaplanan Isıl İletkenliklerin Karşılaştırılması	121

SİMGELER DİZİNİ

A	Alan (m^2)
L	Uzunluk (m)
P	Basınç (Pa)
d	Tam Diferansiyel
m	Kütle (kg)
t	Zaman (s)
r	Yarıçap (m)
k	Isıl İletkenlik (W/m.K)
k_e	Efektif Isıl İletkenlik (W/m.K)
k_f	Anafaz malzemesinin Isıl İletkenliği (W/m.K)
k_m	Arafaz malzemesinin Isıl İletkenliği (W/m.K)
ϕ	Hacimsel Oran
T	Sıcaklık (K, $^{\circ}C$)
k_{ex}, k_{ey}	Boyuta Bağlı Isıl İletkenlik (W/m.K)
α	Isıl Yayılım Katsayısı (m^2/s)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
q	Isıl Akısı (W/m^2)

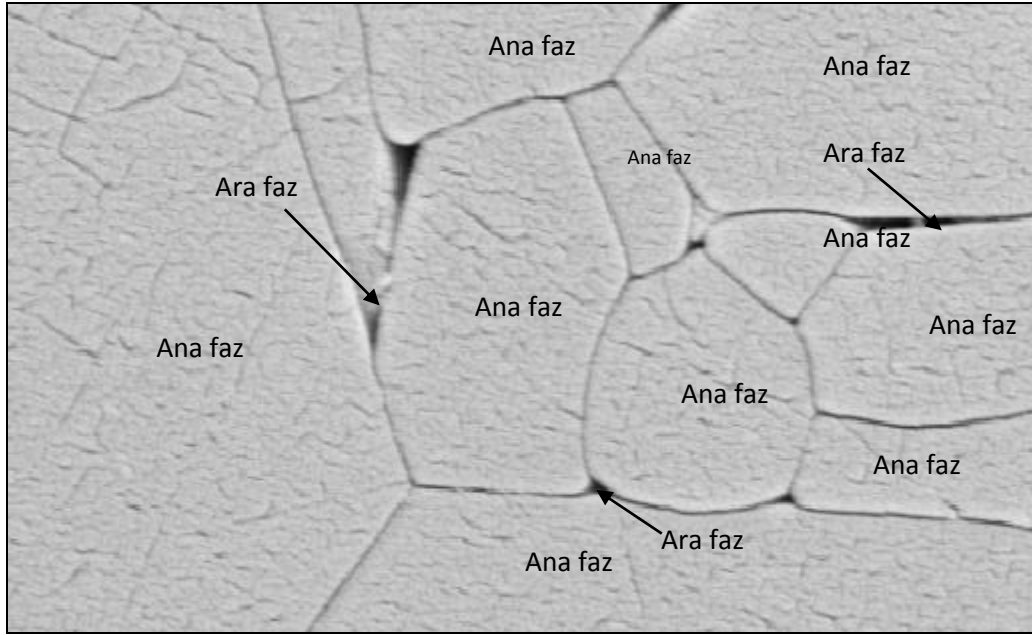
γ	Büyütme Faktörü (Büyütme oranı /50.000)
q	Isıl Güç (W)
c	Özgül Isı (J/kg.K)
v	Hacim (m ³)
(x,y)	Koordinat Eksenleri

KISALTMALAR

SEM	Taramalı Elektron Mikroskop Görüntüsü
DSC	Özgül Isı Ölçümü Yapan Cihaz
EDS	Karma malzemelerde Element Analizi
TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskop Görüntüsü

1. GİRİŞ

Karma malzeme, iki veya daha fazla sayıda, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla oluşturulan malzemelerdir. Bir karma malzeme, çoğu zaman Şekil 1.1'de gösterildiği gibi takviye elemanı olarak bilinen ara malzeme ve bunun etrafını çevreleyen ana (matriks) malzemedeki meydana gelmektedir. Karma malzemelerin üretiminde ana malzeme olarak tüm mühendislik malzemeleri kullanılabilir. Takviye malzemeleri araştırmalar sonucunda veya denenerek bulunabilir.



Şekil 1.1. Sialon esaslı bir karma malzemenin iç yapı fotoğrafı

Ana malzemenin en önemli görevi takviye elemanını bir arada tutmak malzemeye gelen darbeleri veya yükleri takviye elemanlarına aktarmak, kırılma tokluğunu iyileştirmek, takviye elemanı ile uyum sağlamak, takviye elemanlarını

aşınmaya veya korozyona karşı korumaktır. Karma malzemelerde hangi özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanıyorsa o doğrultuda ilave katkılar yapılmaktadır. Elbette bu katkılar bütün oranlarda olumlu sonuçlar vermeyebilir. Ancak hacimsel olarak fazla olan malzeme özelliklerinin etkin olacağı söylenebilir.

Karma malzemelerin ısı davranışlarını belirleyen en önemli parametre ısı iletkenliktir. Literatürde karma malzemelerin ısı iletkenliğini saptamak için geliştirilmiş bir çok teorik ve ampirik model bulunmaktadır, ancak bu modellerin hiç biri tek başına her durumda ısı iletkenliğinin belirlenmesinde yeterli değildir. Karma malzemelerde efektif ısı iletkenliği katkı malzemelerinin ısı iletkenliklerinin, hacimsel oranlarının ve geometrik şekillerinin bir ifadesidir.

Bu çalışmada, karma malzemelerin ısı iletkenlik değerinin doğrudan veya dolaylı olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bütün karma malzemelerin ısı özellikleri katkı maddeleriyle değişmektedir. Bu çalışmada bu değişimin katkı malzemelerinin miktarı ve ana malzeme içerisindeki dağılımına bağlı olarak malzemenin ısı özelliklerini nasıl etkilediği analitik, deneysel ve sayısal olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Analitik hesaplamalar yapılırken değişik analitik modellere ait ampirik ifadeler kullanılarak malzemenin efektif ısı iletkenliği belirlenmiştir. Analitik çalışmalar düzgün içyapı geometrisine sahip malzemelerde doğru sonuçlar vermektedir. İçyapı geometrisinin düzgün olmadığı malzemelerde sayısal ve deneysel sonuçlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada analitik çalışmaların yetersiz kaldığı veya yapılamadığı karmaşık iç geometrisine sahip yapıdaki malzeme kullanıldığından dolayı öncelikle sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Analitik çözümler karşılaştırma unsuru olarak kullanılmıştır.

Isıl iletkenliğin sayısal hesaplanmasında sonlu eleman esaslı bir paket program olan ANSYS® kullanılarak karma malzemenin mikro yapıları, değişik katkı konsantrasyonları ve değişik (k_{anafaz}/k_{arafaz}) oranları için modellenerek, ısıl analiz yapılmıştır. Malzemelerin büyütülerek elde edilen iç doku desenleri veya fotoğrafları bilgisayarda işlenerek sayısal modeli oluşturulup efektif ısıl iletkenlik sayısal olarak hesaplanmıştır. Sayısal çözümler yapılırken sabit yüzey sıcaklık sınır şartı kullanılmıştır. Önce bir boyutlu ısı geçişi olarak ele alınan problem daha sonra iki boyutlu olarak çözülmüştür.

Bu çalışmada karma malzemelerin içyapı geometrilerinin efektif ısıl iletkenliği etkileyip etkilemediği incelenmiştir. Farklı geometrilere sahip ana faz ve ara faz malzemeleri modellenerek karma malzeme için efektif ısıl iletkenlik bulunmuştur. Bu incelemeler neticesinde sayısal modelleme için malzemenin içyapı görüntülerinin ne kadar önemli olduğu gösterilmiştir.

Deneysel olarak yapılan çalışmalarda öncelikle malzemenin yoğunluğu (ρ) ölçüldükten sonra diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) sistemi ile özgül ısı (c) belirlenmiştir. Isıl yayılım katsayısı (α) Laser Flash teknolojisi kullanılan Netsch marka LFA 457 model cihazla ölçülmüştür. Deneysel olarak malzemelerin efektif ısıl iletkenliği ısı yayılım katsayısı olarak bilinen ve $(\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c})$ ifadesi ile verilen temel eşitlikten hareketle hesaplanmıştır. Ölçülen özgül ısı, yoğunluk ve ısıl yayılım katsayısından hareketle ısıl iletkenlik belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlar bölümünde analitik yöntemlerle bulunan sonuçlar deneysel ölçümler ve sayısal hesaplamalar karşılaştırılmıştır.

1.1. Karma Malzemeler

Karma malzemeler yıllardır kullanılmaktadır. Mısırda M.Ö 2800 yıllarında kullanıldığı varsayılan tahta tabakalar arkeologlar tarafından bulunmuştur. Yine çok eski yıllarda ok yaylarının eğilme dayanımı artırmak için üst üste konulan takviyelerle karma malzemeler elde edilmiştir. Bina yapımında kullanılan çamur içine karıştırılan saman çöpleriyle elde edilen kerpiç de bir karma malzemedir. Çok eski dönemlerde savaş aleti olarak kullanılan ok yaylarının tasarımında karma malzemeler kullanılmıştır. Herkes tarafından bilinen tahta, ahşap ve kemik doğal karma malzemedir⁽¹⁾.

Modern karma malzemeler ise II. Dünya savaşında başlamış ve askeri kullanım amaçları için geliştirilmiştir. Cam, beton ve metal alaşımları karma malzeme olarak adlandırılmaktadır. Bu malzemeler mühendislik uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır⁽²⁾. Özellikle son yıllarda başta askeri amaçlı kullanımlar olmak üzere günümüz malzemelerinin büyük bir çoğunluğu karma veya katkı malzemelerden oluşmaktadır

Karma malzemelerle ilk uygulamalara cam takviyeli plastik (CTP) esaslı karma malzemelerden radar kuppeleri yapılarak başlanmıştır. Gemi yapımında karma malzemeler 1942 yılında kullanılmıştır. 1950'li yıllarda uçak pervaneleri karma malzemelerden yapılmaya başlanmıştır. Karbon elyaf takviyeli karma malzemenin direksiyon mili 1981 yılında incelenmiştir. Aynı yıllarda Ford şirketi tarafından araba yapımında karbon elyaf kullanılmıştır. Karma malzeme kullanılarak 1700 kg olan arabada 600 kg ağırlık azalması sağlanmıştır. 1986 yılında uçak kanatları uçak ön gövdesi gibi parçaları karma malzemelerden üretilmeye başlanmıştır. Metal ana fazlı

karma malzemeler otomotiv sanayinde yaygın olarak spor malzemeleri, ev aletleri, elektronik sanayi ve yapı malzemelerinde kullanılmaktadır. Günümüzde artık her türlü sanayi dalında karma malzemeler kullanılmaktadır. Karma malzemelerle ilgili geliştirme çalışmaları bundan sonraki yıllarda da yoğun bir şekilde devam edecek gibi görünmektedir⁽¹⁾.

Karma malzemelerin saf metal ve diğer metal dışı malzemelere alternatif hale gelmesinin en önemli nedeni aynı ağırlıktaki metallere oranla mukavemetlerinin çok fazla olmalarıdır. Karma malzemeler yeni tasarım esneklikleri sunmaları, düşük ısı geçirgenlikleri, korozyona ve aşınmaya karşı dirençleri gibi nedenlerden dolayı ilgi çekmektedir. Bu avantajlarının yanında karma malzemenin mantığı gereği eğer her türlü bileşenin olumsuz özellikleri mevcutsa bu özellik son karma malzemeye yansır. Örneğin karma malzemeyi oluşturan ana malzeme organik çözücülere karşı dayanıksızsa onun oluşturduğu karma malzemeye bu olumsuzluk yansır. Karma malzemenin tasarım parametreleri uygun yapılmamışsa yüksek verimlilik elde edilemez. Üretim ve işlenmeleri güç olup üretim maliyetleri yüksektir.

1.1.1. Karma Malzemelerin Sınıflandırılması

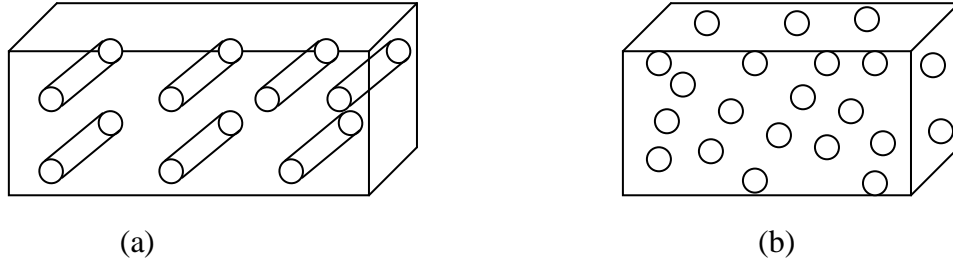
Karma malzemelerden en uygun özellikler elde etmek için bir malzemenin diğer malzeme içerisinde kontrollü şekilde dağılmasıyla yeni bir malzeme oluşturulmalıdır. Takviye elemanına göre karma malzemeler üç gruba ayrılır.

1) Elyaf takviyeli karma malzemeler

2) Parçacık takviyeli karma malzemeler

3) Tabakalı karma malzemeler

Bu üç tip takviye elemanlı karma malzeme plastik, metal veya seramik ana malzeme içerisinde olabilir. Şekil 1.2.a'da verilen elyaf takviyeli karma malzemelerde yumuşak ve sünek ana malzeme içerisinde sert, dayanıklı ve elastikliği yüksek elyaflar ilave edilir. Bu durumda çekme, yorulma ve özgül dayanım özellikleri iyileştirilir. Elyaf uygulanan yükün çoğunluğunu taşır. Beton yapılarda çelik tel çubuğun girmesi, polimer ana malzeme içerisinde katılan cam elyaflı karma malzemeler ulaşım ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır.

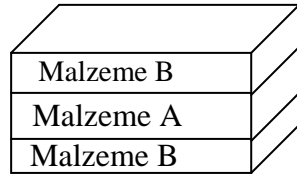


Şekil 1.2. Elyaf ve Parçacık Takviyeli Karma Malzeme

Parçacık takviyeli karma malzemelerde en çok kullanılan parçacıklar Al_2O_3 ve SiC'den oluşan seramiklerdir. Şekil 1.2.b'de gösterildiği gibi yük elyaf ve ana malzeme tarafından birlikte taşınır. Sert metal uçlar ve beton parçacık takviyeli karma malzemelere örnek olarak verilebilir. Parçacık takviyeli karma malzemenin özellikleri karma malzemeyi oluşturan bileşenlerin özelliklerine ve oranlarına bağlıdır.

Tabakalı karma malzemeler, Şekil 1.3'de verildiği gibi temel malzeme eksenleri doğrultusunda tabaka ve katmanların üst üste konulmasıyla elde edilir. Çok ince kaplamalar, kalın koruyucu yüzeyler, giydirmeler, ikili metaller gibi

katmanlardan meydana gelmektedir. Katmanlar organik bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış malzeme tabakalarıdır. En yaygın tabakalı karma malzeme ağaç kaplama katmanlarının dizildiği kotraplaktır. Katmanlı karma malzemelerin katmanlar boyunca bazı özellikleri karışım kuralıyla tahmin edilebilir. Yoğunluk, elektrik iletkenliği, ısı iletkenlik ve elastikiyet modülü küçük bir hatayla hesaplanabilmektedir.



Şekil 1.3. Katmanlı Karma Malzeme

1.1.2. Seramik Malzemeler

Seramik malzemeler metal ve metal olmayan elementlerin birbirlerine birinci derecede iyonik veya ortaklaşım bağıyla bağlandığı inorganik metal dışı malzemelerdir. Seramik malzemelerin kimyasal bileşimi basit bileşiklerden karmaşık fazlara kadar geniş bir aralıkta değişir. Seramik malzemelerin özellikleri atomlar arası bağlarına göre değişir. Seramik malzemeler genel olarak düşük tokluk ve süneklikte olup sert ve kırılğandır. Seramik malzemeler elektrik ve ısıyı iyi yalıtlar. Yüksek erime sıcaklığına sahiptirler. Bu özellikleri birçok mühendislik tasarımında seramikleri vazgeçilmez kılar⁽³⁾.

Seramikler çoğunlukla geleneksel seramikler ve mühendislik seramikleri olarak ikiye ayrılırlar. Geleneksel seramikler üç temel bileşenden oluşur. Bunlar kil,

silika (çakmak taşı), feldispattır. Geleneksel seramiklere örnek olarak inşaat sektöründe kullanılan tuğla ve fayans, elektrik endüstrisinde kullanılan elektro porseleni gösterebiliriz. Mühendislik seramikleri saf ve safa çok yakın olan Aliminyum oksit (Al_2O_3), Silisyum karbür (SiC) ve Silisyum nitrür (Si_2N_4) gibi bileşiklerden oluşur. Mühendislik seramikleri imalat sanayi, otomotiv sanayi ve uzay sanayinde kullanılmaktadır⁽¹⁾.

Geleneksel seramiklerde bulunan kilin ana maddesi aliminyum silikatlarıdır (Al_2O_3 , SiO_2 , H_2O). Geleneksel seramiklerde kil pişirmeyle sertleşmeden önceki işlenebilirliği sağlar ve ana malzemedir. Çakmak taşı veya kuvars diye adlandırılan silika (SiO_2) yüksek erime sıcaklığına sahiptir ve seramiklerin ısıya karşı dayanımını artırır. Feldispat düşük erime sıcaklığına sahiptir seramik karışım pişirildiğinde camlaşarak bileşenleri bağlar. İnşaat tuğlası, kiremit, atık su borusu, yer ve duvar karosu, temel bileşenlerin üçünüde içeren doğal kilden yapılmıştır. Beyaz eşya denen elektroporselen, sofraya eşyası, sağlık gereçleri gibi ürünler belirli bileşimdeki kil, silika ve feldispat'tan yapılır⁽⁴⁾.

Başlıca bileşeni kil olan geleneksel seramiklerin tersine mühendislik seramikleri veya teknik seramikler başlıca saf oksitlerin karbürlerin ve nitrürlerin bileşenleridir. Bazı önemli mühendislik seramikleri (Al_2O_3), silisyum nitrür (Si_3N_4), silisyum karbür (SiC) ve zirkonyadır (ZrO_2)'dir. Alümina (Al_2O_3) başlangıçta yüksek sıcaklıkta kızıl sertliği yüksek malzeme, boru ve yüksek saflıkta pota üretiminde kullanılmıştır. Aliminyum oksit genellikle magnezyum oksitle etkileşerek soğuk preslenerek ve daha sonra sinterlenerek elde edilir⁽⁴⁾.

Silisyum Nitrür (Si_3N_4) mühendislik seramikleri içinde dayanım, kırılma tokluğu gibi özellikler için en iyi bileşime sahiptir. Silisyum nitrür $1800\text{ }^{\circ}C$ 'nin

üstünde önemli derecede ayrışır bu yüzden sinterlenemez. Sinterlemeyi kolaylaştırmak için çeşitli miktarlarda oksitler katılır. Bir başka silisyum nitrür asıllı seramik olan Sialon, silisyum nitrür ve alüminyum oksitinin bir katı çözelti alaşımıdır. Silisyum nitrür asıllı seramikler kesme takımı malzemelerinde, bilyalı yataklarda, kıvılcım ateşlemeli motorlarda ve dizel motorlarda kullanılır.

Silisyum Karbür (SiC) yüksek sıcaklığa dayanıklı, çok sert ve aşınmaya karşı dirençlidir. Kırılgan ve düşük kırılma tokluğuna sahip olup ince taneli yoğun seramik malzeme olarak üretilmesi zordur. Zirkonya (ZrO_2) çok yapıldır ve $1170\text{ }^{\circ}C$ civarında bir hacim genişmesiyle çatlamaya maruz kalır. Seramik malzemeler pek çok elektrik ve elektronik uygulamasında yer almaktadır. Pek çok seramik yüksek veya düşük gerilim elektrik akımında yalıtkan olarak uygulanır. Pizoelektrik seramik diye adlandırılan bir grup seramik zayıf basınç sinyallerini elektrik sinyaline çevirebilmekte ve tersini yapabilmektedir.

Bütün seramik malzemeler nispeten kırılgandır. Seramik malzemelerin çekme ve basma dayanımları arasında büyük fark vardır. Basma dayanımları çekme dayanımlarından 5 ile 10 kat daha büyüktür. Çoğu serttir ve darbe dayanımları düşüktür. Çoğu seramik malzeme güçlü iyonik-ortaklaşım bağlar nedeniyle genellikle düşük ısı iletkenliğe sahiptir ve ısı yalıtandır. Yüksek ısı dirençleri nedeniyle seramik malzemeler sıvı ve gaz sıcak ortamlardaki etkilere dayanan malzeme olarak kullanılır⁽³⁾.

Alüminyum oksit ve magnezyum oksit gibi yüksek erime sıcaklığına sahip pek çok saf seramik malzeme endüstriyel ısıya dayanıklı malzeme olarak kullanılabilir, fakat pahalıdır ve şekillendirilmesi zordur. Seramik ısıya dayanıklı malzemelerin önemli özellikleri düşük ve yüksek sıcaklıktaki dayanım, kütle

yoğunluğu ve gözenekliliğidir. Düşük gözeneklilikteki yoğun ısıya dayanıklı malzemeler aşınmaya karşı dirençlidir. Bununla birlikte yalıtım malzemeleri için yüksek miktarda gözeneklilik istenir⁽³⁾.

1.1.3. Seramik Kesici Uçlar

Talaşlı imalatta kesici takımların yüksek kesme hızlarında daha uzun takım ömrü ile daha fazla üretim artışı sağlama gereksinimi seramik kesicilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Seramik kesici uçlar 1930'lu yılların başlarından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Ancak teknolojik alt yapının yetersizliğinden dolayı bu kesiciler tam olarak kullanılmadığından gelişmelerin yavaşlatılmasına sebep olmuştur. Kesme seramikleri İkinci dünya savaşı sırasında kullanılmaya başlanmış ve sert metallere önemli rakip olmuştur. Son yıllarda bu kesicilerde yapılan iyileştirmeler çok iyi noktalara ulaşmıştır.⁽¹⁾

Makine imalat sanayinde değişik fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemelerin verimli bir şekilde işlenebilmesi her zaman sorun olmuştur. Seri imalatın yapıldığı otomotiv, uçak gibi endüstrilerde kır dökme demir, yüksek alaşımli ve nikel alaşımli çeliklerin mevcut kesicilerle zor işlenmesi veya hiç işlenememesi gibi nedenler üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir.

Günümüzde imalatın yüksek kesme parametreleriyle yapılabilirliği önemlidir. Kesme parametrelerinden en çok kesme hızının artırılması önemlidir. Çünkü kesicinin kullanılma süresini kesme hızı doğrudan etkilemektedir. Yüksek kesme hızları kesici ile talaş yüzeyi arasında yüksek sıcaklıklar oluşturmaktadır. Bu durum yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruyan ve ısıl şoklara karşı iyi direnç

gösteren dolayısıyla da iyi mekanik özellikleri içeren malzemeleri gerektirmektedir. Yüksek sıcaklıklara dayanma direnci dikkate alındığında seramikler çok daha iyi performans göstermektedirler. Yüksek sertlik özelliği gösteren seramik kesici uçlar yüksek sıcaklıklarda sertliklerini koruyabildikleri gibi iş parçasıyla da reaksiyona girmezler. Yüksek kesme hızlarına dayanma ömürleri yüksektir.

Seramik kesiciler sert metallerde olduğu gibi presleme ve sinterleme (toz halindeki malzemenin erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine değdikleri noktalardan başlayarak kaynaşmasına denir.) ile elde edilirler. Geçen zaman içerisinde seramik malzemelerde çok önemli gelişmeler olmuştur. Günümüzde seramik kesici uçların kullanım oranı çok yüksektir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerin işlenmesinde seramik kesici takımların geliştirilmesi çok isabetli olmuştur. Seramik kesici uçların performanslarının tam olarak ortaya çıkarılması için işlem koşullarının ve parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekir.

Seramik takımlar doğru kullanıldığında çok avantaj sağlarlar. Seramik kesici takımlar ile yüksek kesme hızları ile çalışmak mümkün olduğundan işleme zamanı kısalmır. Büyük kesme derinliği ve ilerleme değerleri sağlanır. Uygun koşullarda kullanılırsa ömürleri sert metal takımların ömrünün 3 ila 10 katıdır. Mukavemetlerini ve sertliklerini yüksek sıcaklıklarda korurlar. Aşınma mukavemeti yüksek olduğundan iş parçaları üzerinde dar toleranslarla çalışmak mümkündür. Seramik kesici takımlarla yapılan işlemlerde daha düzgün yüzeyler elde edilir.

Yukarıdaki avantajlarına rağmen bazı dezavantajları vardır. Kırılmaya eğilimleri vardır. Kesikli kesmeler için yalnızca ideal koşullarda tatmin edici

sonuçlar verirler. Üretim maliyeti sert metallere göre %40-%200 daha yüksektir. Bu uçların kullanıldıkları tezgâhlar daha sabit ve titreşimsiz olmalıdır.

Seramik kesicilerin dar olan kullanım alanları seramik-ana malzemeli karma malzemelerin ortaya çıkmasından sonra artmaya başlamıştır. Seramik kesicilerin esasını Aliminyum Oksit (Al_2O_3) oluşturmaktadır. Bunun yanında Magnezyum Oksit (MgO), Zirkonyum Oksit (ZrO) gibi malzemeler farklı özellikteki seramiklerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Seramik kesici uçlar üç grupta incelenir.

- 1) Alüminyum oksit esaslı seramik uçlar (Al_2O_3)
- 2) Silisyum nitrür esaslı seramik uçlar (Si_3N_4)
- 3) Kaplamalı Seramikler

Seramik kesiciler değişik oranlarda karıştırılan tozların belli basınç altında çok çeşitli şekillerde kalıplanarak sinterlenmesi ile elde edilmektedir. Sinterleme işlemi soğuk kalıplanmış tozların ısıtılmasıyla veya kalıplama işlemiyle ısıtılma aynı anda yapılarak gerçekleştirilmektedir. Sıcak kalıplamayla meydana gelen yapı daha ince taneli ve daha sık dokuludur. Dolayısıyla kırılma tokluğu soğuk preslemeye göre daha iyidir. Günümüzde seramik kesicilerin preslenerek kalıplanmasında dört teknik vardır. Sıcak presleme, soğuk presleme, sıcak izostatik presleme ve Kimyasal bağ oluşturma⁽³⁾.

Alüminyum oksit esaslı kesiciler yüksek aşınma dayanımları özellikleri nedeniyle yüzey kalitesi gerektiren işlemlerde çok iyi sonuç verirler. Soğuk ve sıcak presleme olmak üzere iki şekilde üretilirler. Soğuk preslemede kimyasal ve ısı işlemlerle alüminyum tozlarının ayrıştırılması ile saf alümina (Al_2O_3) tozları elde edilir. %90 saflıkta elde edilen alümina tozları çok ince tane boyutunda olacak

şekilde öğütülür. Öğütülen bu tozlar yıkama işleminden sonra kurutulur ve geçici bağlayıcılık görevini üstlenecek olan balmumuyla karıştırılır. Sıcak presleme yapmadan önce şekillenen bu tozlar ön sinterleme işlemine tabi tutulur. Daha sonra sıcak presleme ve sinterleme işlemi bir arada yapılır. Elde edilen uçlar soğumaya bırakılır⁽¹⁾.

Sıcak izostatik preslemede sıcak presleme tekniğinden daha fazla kullanılır. Bu tip kesici seramikler “Alumina” seramik kesiciler olarak adlandırılır. Bu tip kesicilere tokluğunu artırmak için belli oranda Zirkonyum (Zr) ilave edilir. Alumina seramik kesiciler metalik bağdan ziyade iyonik bağ yapısına sahiptirler. Bu özellikler onları düşük ısı iletkenlik gösteren yalıtkan kesiciler yapmaktadır. Isıl şoklara duyarlılığından dolayı talaşlı işlemlerde soğutma sıvısı kullanılmamaktadır.

Bu seramik kesici uçların üretilmesinde sıcak presleme tekniği kullanılmaktadır. Bu seramikler tek fazlı Al_2O_3 'den daha yüksek sertlik ve tokluk göstermektedir. Hem esmer dökme demir hem de alaşımlı çeliklerin işlenmesinde oldukça kararlı performans göstermektedir. Son yıllarda ortaya çıkan Whisker takviyeli seramik kesiciler Al_2O_3 ana malzeme içerisine gömülen Whisker kılcal kristallerinden sıcak presleme tekniğiyle üretilmiştir. Yüksek sıcaklıklara ve ısıl uzamalara karşı Whiskerlerle takviyelendirilmiş kesici takımlardan düz alumina'ya göre daha iyi özellikler elde edilir⁽²⁾.

Silisyum nitrür esaslı seramik uçlar ısıl şoklara direnci ve sünekliği nedeniyle alüminyum oksit esaslı seramiklere göre üstünlükleri olan malzemedir. Bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda sertliklerini korurlar ve sünektirler. Silisyum nitrür esaslı malzeme iki fazlıdır. Üretimleri soğuk presleme sinterleme yâda sıcak presleme yoluyla gerçekleşir. Bu kesici malzemeler 1970'li yılların sonlarına doğru

geliştirilmiştir. Motorlarda yüksek zorlanmaya maruz parçaların imalinde de kullanılmıştır. Takım ve iş parçası arasında oluşan kimyasal etkileşimleri elimine etmek amacıyla seramik kesici ana malzemesi üzerine ince bir tabaka kaplanır. Bu gibi kaplamalı seramiklerle çelikler ve diğer malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi mümkün ve diğerleriyle rekabet halinde olup ihtiyaca göre kullanılabilir. Bunlarla ilgili deneysel çalışmalar halen devam etmektedir.

Çalışmada iki çeşit uç numunesi kullanılmıştır. Kennemetal ve Ssangyoung marka endüstriyel kullanım için yapılmış uçlar DPT projesi kapsamında temin edilmiştir. Ayrıca Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında üretilen sialon esaslı seramik kesici uçlarda kullanılmıştır. Uçlar kare, dikdörtgen ve dairesel kesitli olup fotoğrafları Şekil 1.4’de verilmiştir.



Şekil 1.4. Kesici Uç Fotoğrafları

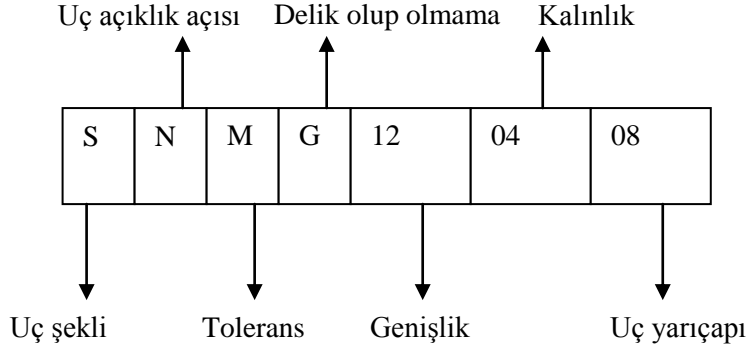
Kesici uçların özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan seramik uç numuneleri çoğunlukla sialon kalitesindedir. Çizelge 1.1 incelendiğinde bazı uçlarda kaplama olduğu görülmektedir. Kaplamalı uçlarda yüzey işlemleri yapılması güçlüğünden dolayı SEM görüntüleri alınamamaktadır. Bazı deney numunelerinin boyutları ısı yayılım katsayısı ölçümü yapan Netsch marka cihaz için uygun değildir. Bu nedenle ölçümleri yapılamamıştır.

Çizelge 1.1. Çalışmada Kullanılan Numuneler ve Özellikleri

No	Uç Markası	Katalog numarası	Uç modeli	Uç Özellikleri	
1	Kennametal	SNGN120408	KY2000	Sialon	
2			KY1310		
3			KY1540		
4			KY1615	Al ₂ O ₃ +TiC	
5			K090		
6			KY3500		Si ₃ N ₄
7			KY4400		Alüminyum oksit ve titanyum karbo
8			KY3400		Saf Silikon nitrür CVD kaplamalı
9			KY4300		Al ₂ O ₃ +SiC matrisli seramik
10	Ssangyong	LNJ6688	SN300	Si ₃ N ₄	
11			SN26		
12		RNGN120400	SN500		
13		RNGN250700	SN26		
14			SN300		
15		LNJ6688	ST300	Al ₂ O ₃ +TiC	
16			ST100		
17		RNGN120400	SD200		
18		RNGN250700	ST300		
19			ST100		
20		RNGN250700	SZ200	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	
21		LNJ6688	SZ200		
22		RNGN120400	SN700	Si ₃ N ₄ +TiN	

Çalışmada kullanılan kesici uçlar uluslararası standartlarda üretilmiştir. Kataloglarda tanımlanan bir uca ait numaralandırma Şekil 1.5’de verilmiştir. Bir uç tanımlanırken en az dört harf ve üç sayı kullanılmaktadır. Örneğin bir kesici uç (S N M G 12 04 08) şeklinde yazılabilir. Burada ilk harf şekli temsil etmektedir. Örneğin S harfi ucun kare olduğunu gösterirken O sekiz köşeli olduğunu gösterir. İkinci harf uç açıklık açısını göstermektedir. Örneğin N harfi 0° göstermektedir. Üçüncü harf toleransları dördüncü harf uç üzerinde delik olup olmama durumunu ifade etmektedir. İlk verilen sayı genişlik, ikinci verilen sayı kalınlık üçüncü verilen sayı

uç yarıçapını göstermektedir. Daha detaylı bilgiler kesici uç kataloglarında bulunmaktadır.



Şekil 1.5. Kesici Uç Tanımlamada Kullanılan İşaretler

1.1.3.1. Sialon Seramikleri

Sialon seramikleri 1970'li yılların başında keşfedilmiştir. Bu seramikler Si_3N_4 yapısı içerisinde silisyum ve azot ile oksijen ve alüminyumun kısmi yer değiştirmesi sonucu oluşmaktadır. Bu yer değiştirme sonucu ilk olarak $\beta\text{-SiAlON}$ ($\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$) elde edilmiştir. 1978 yılında Hampshire ve arkadaşları yeni bir tür SiAlON tipi olan $\alpha\text{-SiAlON}$ 'u bulmuşlardır. $\alpha\text{-Sialon}$ 'nun genel formülü $\text{Me}_{m/z}\text{Si}_{12-(m+n)}\text{Al}_{m+n}\text{O}_n\text{N}_{16-n}$ olup Me bir metal atomunu, z bu atomun valans değerini, m ve n ise yer değiştirme katsayılarını göstermektedir. Hem α hemde β Sialon seramikler yüksek sertlik yüksek kırılma tokluğu yüksek mukavemet yüksek kimyasal direnç ve yüksek aşınma direnci göstermektedir.

Çizelge 1.2’de Sialon seramiklerinin diğer mühendislik seramikleriyle karşılaştırılması verilmiştir. Tabloda (E) ile Elastisite (β) ısıl genleşme katsayısını (K) ısıl iletkenliği göstermektedir. Tablodan anlaşılacağı üzere β -Sialon özellikleri Si_3N_4 ile büyük benzerlik göstermektedir. Fark en çok ısı iletkenlikte görünmektedir. α -Sialon seramiklerinin dezavantajları ise düşük ısıl iletkenlik ve kısmen düşük tokluktur.

Çizelge 1.2. Sialon Seramiklerinin Özellikleri⁽⁵⁾

	Al_2O_3	ZrO_2	SiC	AlN	Si_3N_4	α -SiAlON	β -SiAlON
E(Gpa)	4-5	4-10	4-12	2.7	3.4-8.2	3.7-7	2.5-10
$\beta(\text{K}^{-1})$	$7.8 \cdot 10^{-6}$	$9-11 \cdot 10^{-6}$	$4-4.7 \cdot 10^{-6}$	$4.8 \cdot 10^{-6}$	$2.5 \cdot 10^{-6}$	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$3-5.5 \cdot 10^{-6}$
K(W/m.K)	30	2.5	45-150	200	10-162	7-9	7-25

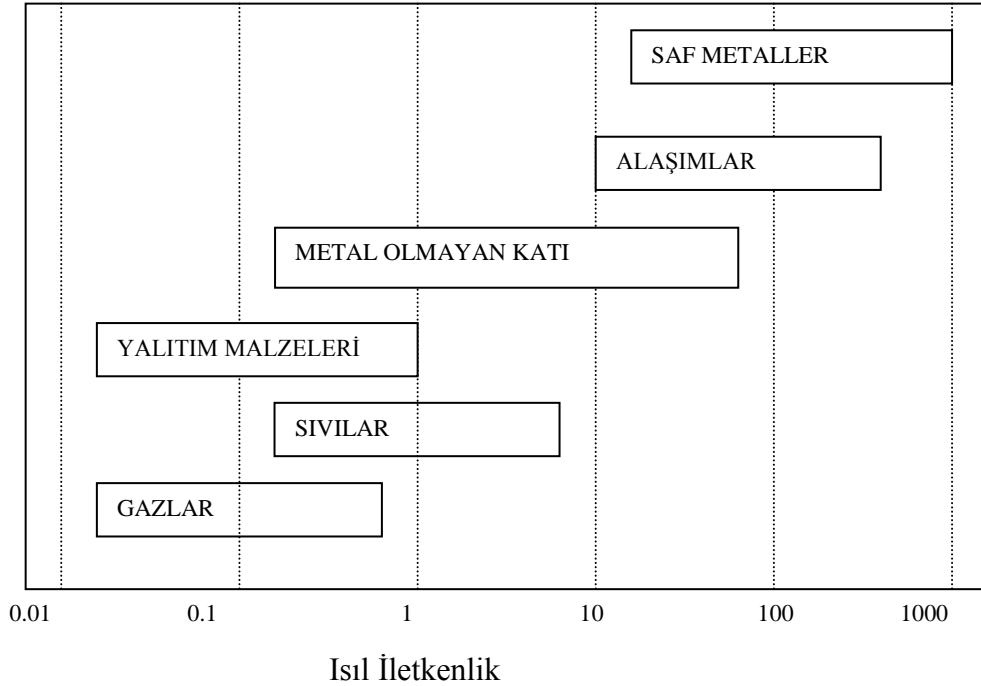
Sialon seramiklerinin hazırlanması kolaydır. Daha düşük sinterleme sıcaklığı gerektirirler. Daha yüksek kimyasal direnç ve oksidasyon direnci sağlarlar. Günümüzde bu seramikler çok kullanılmaktadır. Birçok otomobil motor parçalarında ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Sialon seramikleri gaz türbin motorlarında kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklığa dayanımlarının iyi olması ve karmaşık şekil almalarından dolayı gaz türbini motorlarında tercih edilmektedirler.

Sialon seramikleri çeliklerin ve süper alaşımların işlenmesinde kobalt bağlı tungsten karbür ve alumina uçlara göre daha yüksek performans sergilemektedir. Yüksek işleme sıcaklıklarına dayanıklı olmaları tercih nedenidir. Sialon seramiklerinin metalik parçalarla temas halindeyken yağlayıcısız kullanılabilmesi ve

yüksek sıcaklıklardaki dayanıklılığı bu malzemeyi imalat sanayinde aşındırıcı ortamlarda vazgeçilmez kılmaktadır.

1.1.4. Isıl İletkenlik

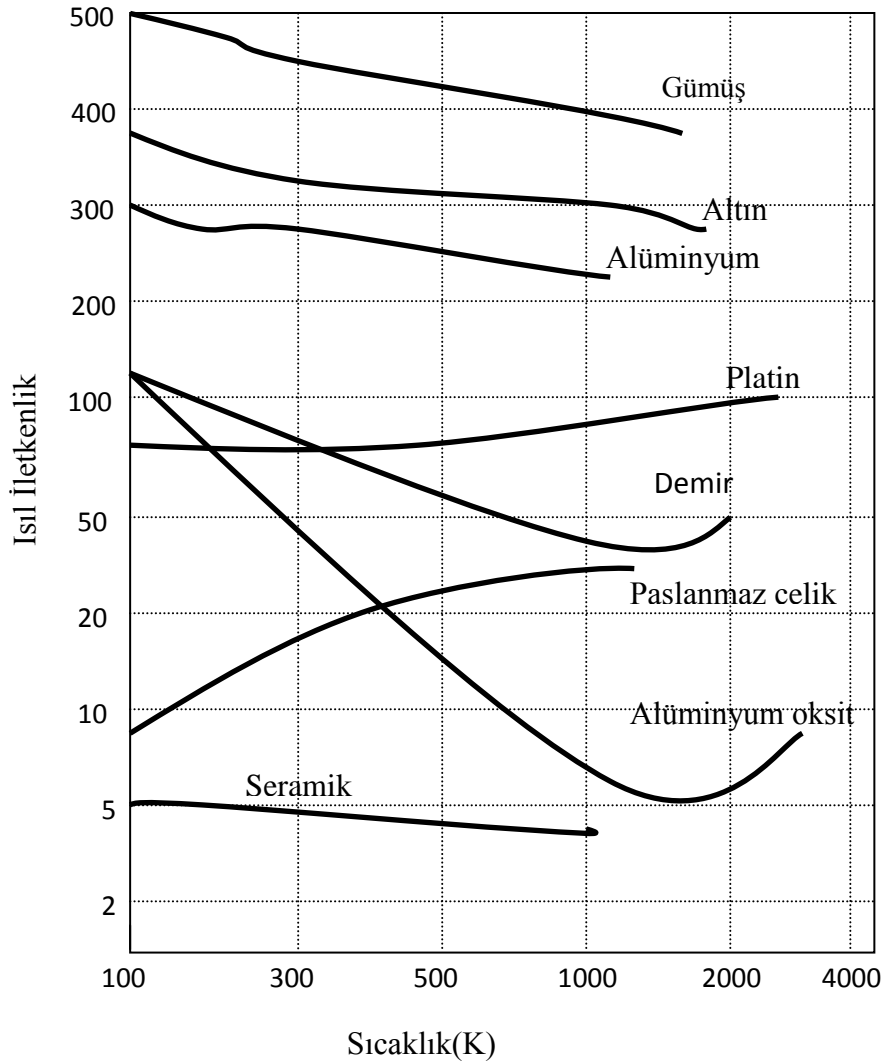
Isıl iletkenlik birim kalınlıktaki bir cismin birim yüzeyinden birim zamanda cismin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olması halinde geçen ısı miktarıdır. Isıl iletkenlik her madde için farklı değerdedir. Maddenin değişik halleri için ısıl iletkenlik değerleri Şekil 1.6'da verilmiştir. Katıların ısıl iletkenliği sıvı ve gazlardan daha yüksektir.



Şekil 1.6. Normal Şartlarda Maddenin Değişik Halleri İçin Isıl İletkenlik⁽⁶⁾

Isıl iletkenlik sıcaklığa, malzemenin bileşimine, malzemenin gözenekli olup olmamasına, malzemenin içindeki neme, ısının geçtiği yöne fiziksel ve metalürjik

özelliğe bağlı olarak değişmektedir. Isıl iletkenlik cismin içinde her yönde aynı olduğu cisimlere izotrop cisim denir⁽⁶⁾. Metal ve metal olmayan katıları temsil eden malzemeler için sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değerleri Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Katıların Isıl İletkenlik Değerinin Sıcaklıkla Değişimi⁽⁶⁾

Isıl iletkenlik arttıkça ısı geçişi artmaktadır. Isı geçişinin iyi olmasının istendiği durumlarda ısı iletkenlik değeri yüksek malzemeler, ısı geçişinin azaltılması istenildiği durumlarda ise ısı iletkenlik değeri küçük olan ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır.

Katılarda ısı iletimi moleküllerin titreşmesi sonucunda meydana gelmektedir. Genellikle sıcaklık artışı ile katıların ısıl iletkenlik değeri düşmektedir. Katı malzemede malzemeyi çevreleyen veya içinde bulunan hava katı bir matris oluşturur. Havanın bu şekilde hücrelere hapsedilmesi hücresel yalıtım olarak bilinir. Bütün yalıtım sistemlerinde aradaki havanın boşaltılması sistemin efektif ısıl iletkenlik değerini azaltır.

Bir gazın ısıl iletkenlik değerine sıcaklık, basınç ve kimyasal türünün etkisi, gazların kinetik teorisiyle açıklanabilir. Isıl iletkenlik basınçtan bağımsızdır. Bir gazın ısıl iletkenliği sıcaklık artışı ile artmaktadır. Katı haline oranla akışkan halinde moleküller arası mesafe daha büyük ve moleküllerin hareketleri daha rastgele olduğundan ısıl enerji geçişi daha azdır. Bu nedenle sıvıların ısıl iletkenlikleri genellikle katılardan daha düşüktür. Sıvı hali ile ilgili moleküler koşullar daha zor tanımlanır. Bu nedenle sıvılar için ısıl iletkenliği tanımlayan fiziksel mekanizma iyi bilinmemektedir. Isıl iletkenlik değerleri doymuş sıvılar için genellikle sıcaklığın fonksiyonu olarak verilir. Sıvı metaller nükleer güç tesislerinde olduğu gibi yüksek ısı akısı uygulamalarında kullanılır.⁽⁶⁾

1.2. Kaynak Özetleri

Karma malzemelerin ısıl iletkenliğini belirlemek için Rayleigh ve Maxwell⁽⁷⁾'in araştırmalarını temel kabul eden çalışmalar günümüze kadar birçok model ortaya koymuştur. Bu konuda pek çok analitik, deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalar genellikle deneysel ağırlıktadır.

Casto v.d.⁽⁸⁾ metal kesiciler tezgâhlarda kullanılırken sıcaklık dağılımını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Kesici uç tasarımında sıcaklık dağılımının ve ısı iletkenliğin önemi büyüktür. Bu çalışmada kesici uçların sıcaklık dağılımı belirlenerek buradan hareketle ısı iletkenlik hesaplanmıştır. Sıcaklık dağılımı termal kameralarla yapılmıştır. Dong-Sheng Yan⁽⁹⁾ çalışmasında Nitrit metallerin kimyasal yapılarını incelemiştir. Kompleks Si-Al-Y-N-O kimyasal yapısı ele alınarak bu malzemelerdeki temel problemler üzerinde durulmuştur. Sialon seramiklerinde temelini oluşturan bu yapı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada TEM görüntüleri kullanılarak kimyasal yapının ısı iletkenliğe etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Liu v.d.⁽¹⁰⁾ seramik kesici uçların yüzeyindeki sıcaklık dağılımının bilgisayar simülasyonu kullanarak yapmışlardır. Kesicilerin yüzey sıcaklıklarını ısı görüntü sistemi kullanarak ölçmüşlerdir. İmalat sanayinde kullanılan kesici uçların termal kameralarla elde edilen görüntülerinden ısı iletkenlik değeri hesaplanmıştır. Hui v.d.⁽¹¹⁾ seramik malzemelerin ısı iletkenlikleri için sonlu elemanlar çözümünü kullanarak sayısal bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada seramik malzemelerin ısı iletkenliğinin hesaplanmak için iki metot kullanılmıştır. Birinci metot direkt olarak sıcaklık dağılımından hareket ederken ikinci metot efektif çevre yaklaşımını kullanmaktadır. Hui v.d.⁽¹²⁾ karma malzemelerin ısı iletkenliğini sayısal olarak incelemiştir. İki değişik çözüm metodu ile sıcaklık dağılımı ve ısı iletkenlik belirlenmiştir. Birinci metotla yüzeyin sıcaklık dağılımı bulunarak ısı akısı hesaplanmış, ısı akısı belirlenen yüzeyde Fourier denklemi kullanılarak ısı iletkenlik hesaplanmıştır. İkinci yaklaşım ise sıcaklık gradyeni kullanılarak ısı iletkenlik belirlenmesidir. Çalışmanın sonunda her iki metotla bulunan ısı iletkenlik değeri karşılaştırılmıştır.

Chen v.d.⁽¹³⁾ Sialon seramiklerinin Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) görüntülerini kullanarak içyapısını belirlemişlerdir. Isıl iletkenliği sayısal olarak üçlü nokta yaklaşımı ile hesaplamışlardır. Kullanılan yaklaşım metotlarından elde edilen sonuçlar deneysel olarak ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Kolar D.⁽¹⁴⁾ ileri mühendislik seramiklerinin yüksek sıcaklık işlemlerindeki kimyasal davranışlarını araştırmıştır. Kimyasal yapıda meydana gelen değişiklikler ve yapı problemleri üzerinde durulmuştur. Yüksek sıcaklık işlemleri için kullanılan katkı malzemeleri ve bu katkı malzemelerin karma malzemeye etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Baysal⁽¹⁵⁾ silindirik elyaf ve tanecik katkılı karma malzemelerin efektif ısı iletkenliğini analitik olarak tespit etmiştir. Çalışmada matris ve takviye elemanın farklı oranları için analitik modelleme yapılarak çözümler elde edilmiştir. İki boyutlu analitik çözümler yapılırken ampirik ifadeler kullanılmıştır.

R. G. Munro⁽¹⁶⁾ ileri mühendislik seramiklerinin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Değişik sıcaklıklarda mühendislik seramiklerinin ısı iletkenliğini ve oksijen oranının yapıya etkisi belirlenmiştir. Oksijenin katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda yapısal değişiklikler ele alınmıştır.

Sullins ve Daryabeigi ⁽¹⁷⁾ yüksek oranda gözenekli nikel köpüklerin efektif ısı iletkenliğini belirleyen deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu köpük malzemeler için geniş sıcaklık ve basınç aralıklarında sürekli şartlarda ölçümler yapılmıştır. Değişik kalınlık ve gözenek yoğunlukları için malzemenin ısı iletkenliği laser flash teknolojisi kullanan cihazlarla belirlenmiştir. Lu v.d.⁽¹⁸⁾ ısı iletkenliği ve özgül ısı değerlerini sayısal bir modelle bulmuşlardır. Özgül ısı değerleri laboratuvar ortamında cihazlarla ölçülmüş ve ısı iletkenlik hesaplamalarında kullanılmıştır.

Chung⁽¹⁹⁾ katı maddelerin ısı iletkenliklerinin hesaplama yöntemlerini detaylı olarak incelemiştir. Isıl iletkenlik hesaplamalarında analitik modeller ve deneysel çalışmalar arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sonuç olarak analitik modellerin karmaşık yapılarda sapmalar gösterdiğini belirtmişlerdir. Tavman v.d.⁽²⁰⁾ fiber ve tane katkılı karma malzemelerin ısı iletkenliklerini sonlu eleman esaslı bir programla iki ve üç boyutlu olarak sayısal olarak incelemiştir. Sonlu eleman esaslı bir program olan Ansys kullanılarak karma malzemenin ısı iletkenliği belirlenmiştir. Kazuyoshi Tatsumi⁽²¹⁾ SiAlON malzemelerin kimyasal yapısını analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Değişik enerji kaynakları altında malzeme davranışını deneysel olarak inceleyerek analitik çözümlerle karşılaştırmalı olarak vermiştir.

Misha Zenotckine, Joo-Sun Kim⁽²²⁾ α -SiAlON ve β -SiAlON yapılarının mekanik ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. SEM görüntüleri kullanılarak yapısal araştırmalar yapılmış ve bunun mekanik özellikler üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Kimyasal yapı malzeme özellikleri bağlantısı gösterilmiştir. Yamada v.d.⁽²³⁾ sinterlenmiş SiC karma malzemelerin ısı iletkenliğini sayısal ve deneysel olarak incelenmişlerdir. SiC karma malzemesinin katkı oranları ve bağ yapıları dikkate alınarak deneysel ölçümler yapılmıştır. Sayısal çözümler yapılırken ampirik ifadeler kullanılarak geliştirilen bilgisayar programları kullanılmıştır. Yang ve Chen⁽²⁴⁾ Karma malzemelerin ısı iletkenliğini iki boyutlu modelleyerek sayısal olarak çözmüştür. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmemiştir.

Nakano v.d.⁽²⁵⁾ SiC seramiklerin mikro yapıda ısı iletkenliğini deneysel olarak incelemiştir. SEM görüntüleri kullanılarak mikroyapı belirlenmiştir. Yeung ve Lam⁽²⁶⁾ karma malzemelerin ısı iletkenlik değerlerini iki boyutlu olarak

çözmüşlerdir. Sonlu farklar metodu kullanılarak yapılan çözümlerde anisotropik yapılar kullanılmıştır. Anisotropik yapılar için sayısal hesaplamalarda sonlu elemanlar ve sonlu farklar metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çözümlemede diferansiyel denklemler sonlu farklar metodu ile çözülmüştür.

Santos v.d.⁽²⁷⁾ polimerlerin ısı iletkenliğini Laser Flash teknolojisiyle incelemiştir. Laser Flash teknolojisiyle çalışan bir ölçüm düzeneği ile ısı yayılım katsayısı belirlenmiştir. Ölçümler yapılırken 300 K ile 1000 K sıcaklık aralığında ısı yayılım katsayısı belirlenmiştir. Dr Karl B.⁽²⁸⁾ Silicon nitrit yapı ı seramikleri incelemiştir. Bu seramiklerin üretim şekilleri ve uygulama alanları verilmiştir. Üretim aşamasında içyapı geometrisini etkileyen değişkenler incelenmiştir. Seramiklerin üretim aşamasında içerisine eklenen katkı malzemelerinin oranlarının ısı iletkenlik değerine etkisi belirlenmiştir. Basu ve diğerleri ⁽²⁹⁾ Sialon seramiklerinin ısı davranışlarını deneysel olarak belirlemiştir. Değişik sıcaklıklarda ısı özelliklerin değişimini ve hesaplamalarını yapmışlardır. Deneysel olarak ısı iletkenlik belirlenmeden önce yoğunluk ve özgül ısı ölçümü yapılmıştır. Isı yayılım katsayısı laser flash teknolojisi ile ölçülmüştür.

Pakdemirli ve Şahin⁽³⁰⁾ katılarda ısı iletkenliği sayısal ve teorik olarak belirlemiştir. Teorik hesaplamalar yapılırken malzemenin içyapı geometrisinin düzgün olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca ısı iletkenlik belirlenirken bir boyutlu ısı kabulünü kullanmışlardır. Yapılan kabuller gerçek çözümden uzaklaşmaya neden olmuştur. Çalışmanın sonunda hata analizleri ile bu durum gösterilmiştir. Gu ve Hunt⁽³¹⁾ iki boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak katılarda ısı iletkenlik değerini hesaplamıştır. Malzemenin ısı özellikleri belirlenirken anisotropik yapılarda kullanılan denklemlerle işlemler yapılmıştır.

Yiğit⁽³²⁾ seramik malzemelerin ısı iletkenlik değerini tek boyutlu ısı iletimi kabullerini kullanarak sayısal olarak çözmüştür. Çalışmada sonlu farklar metodu kullanılarak tek boyutlu çözümler yapılmıştır. İki boyutlu analizlerin yapılmamış olması çalışmanın eksiğidir. Kurama⁽³³⁾ Sialon seramiklerinde ısı akışını deneysel olarak hesaplamıştır. Mikro yapının ısı iletkenliğe etkisini araştırmıştır. Çalışmada SEM görüntüleri kullanılmış ve bu görüntülerden elde edilen verilerle sonuca gidilmiştir. Biterlich v.d⁽³⁴⁾ Sialon tabanlı seramik kesiciler yapısal analizlerini yapmıştır. Mikro yapının kesme parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Kesme parametreleri içersinde en önemli özellik olan ısı iletkenlik ve sıcaklık dağılımı belirlenmiştir.

1.2.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada Taramalı Elektron Mikroskop görüntüleri (SEM) kullanılarak ısı iletkenlik belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürdeki çalışmaların büyük bir bölümünde SEM görüntüleri malzeme faz yapısının incelenmesinde kullanılmıştır. Isı iletkenliğin görüntüler kullanılarak çözüldüğü çalışmalara incelenen literatürde rastlanmamıştır. Aynı bileşene sahip malzemeler bile imalat esnasındaki değişikliklerden dolayı farklı ısı özellikler gösterebilmektedir. Bu nedenle görüntülerle ısı özelliklerin belirlenmesi daha pratik bir çözüm gibi görünmektedir.

Literatürde sayısal çalışmalarda sonlu farklar metodu kullanılarak sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Çalışmada sonlu eleman esaslı sayısal çözümler kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda sabit yüzey sıcaklığı ve sabit ısı akısı sınır şartları kullanılmıştır. Çalışmada sabit yüzey sıcaklık sınır şartı kullanılarak ısı akısı

hesaplanarak ısı iletkenliğe gidilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda malzemeyi oluşturan ana yapının diğ er bir deyiş le ana fazın sıcaklığ a bağı lı olarak ısı iletkenlik analizi yapılmadı ğ ı görölmektedir.

Ana faz ve ara faz ısı iletkenlik ağı sından birbirlerinden oldukça farklılık göstermektedir. Ana faz malzemeyi oluşturan ağı rlıklı yapı olduğ undan hacimsel olarak sürekli ara fazdan yüksektir. Bu nedenle malzemenin efektif ısı iletkenliği ana faz ısı iletkenliği ile daha çok ilgilidir. Literatürde ana faz ısı iletkenliğ inin sıcaklıkla değı şimi bulunmakla birlikte ara faz için sıcaklıkla değı şim değ erlerine rastlanmamıştır. Ayrıca her bir farklı malzeme için bunların değı şebilir olduğ unda unutulmamalıdır.

Analitik çalışmalarda literatürde kullanılan ampirik ifadelerle çözümler yapılmıştır. Ancak çalışmada SEM görüntüleri üzerinden hacimsel oranlar belirlenmiştir. Böylelikle sayısal ve analitik sonuçlara aynı geometri üzerinde değ erlendirilmiştir. Deneysel çalışmalarda literatürde kullanılan yöntemlerle ölçümler yapılmıştır. Deneysel ölçümler karşılaştırma unsuru olarak kullanılmış tır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Isıl iletkenlik sıcaklığa, malzemenin bileşimine, malzemenin gözenekli olup olmamasına, malzemenin içindeki neme, ısının geçtiği yöne fiziksel ve metalürjik özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Isıl iletkenlik cismin içinde her yönde aynı olduğu cisimlere izotrop cisim denir. Isıl iletkenlik arttıkça ısı geçişi artmaktadır. Isı geçişinin iyi olmasının istendiği durumlarda ısı iletkenliği yüksek malzemeler, ısı geçişinin azaltılması istenildiği durumlarda ise ısı iletkenliği küçük olan ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır.⁽⁶⁾

Çalışmada sialon esaslı seramik kesici uçların ısı iletkenliği hesaplanırken analitik, deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Analitik yöntemde ampirik ifadelerle çözüm yapılmıştır. Laboratuvar ortamında yoğunluk, ısı yayılım katsayısı ve özgül ısı ölçülerek ısı iletkenlik belirlenmiştir. Sayısal hesaplamalarda ise SEM görüntüleri kullanılarak çözümler elde edilmiştir.

2.1. Analitik Yöntemler

Literatürde karma malzemelerin ısı iletkenliğini saptamak için geliştirilmiş bir çok teorik ve ampirik model bulunmaktadır, ancak bu modellerin hiç biri tek başına her durumda ısı iletkenliği belirlemek için yeterli değildir.⁽²⁰⁾ Karma malzemelerde efektif ısı iletkenlik katkı malzemelerinin ısı iletkenliklerinin, hacimsel oranlarının ve geometrik şekillerinin bir ifadesidir. Bu nedenle analitik yöntemlerle çözüm yapılırken bu değişkenler dikkate alınmalıdır.

Analitik çözümler genellikle düzgün içyapılı (isotropik) karma malzemelerde doğru sonuçlar vermektedir. Düzgün içyapılı olmayan (anisotropik) ortamlarda analitik çözümlerde kullanılan denklemler çok karmaşıktır. Bu denklemlerin analitik çözümünü ancak geometri üzerinde belli kabullerle yapılabilmektedir. Yapılan kabullerle elde edilen sonuçlar gerçek çözümden uzaklaşmaktadır. Bu nedenle anisotropik ortamlarda deneysel veya sayısal çözümler yapılması uygun olmaktadır.⁽²⁰⁾

Analitik çalışmalarda kullanılan bütün ampirik denklemler katkı oranları ve karma malzemenin geometrisini ifade eden büyüklüklere göre değişmektedir. Eşitlik 2.1'de ısı iletkenliğinin ifade edildiği ısı iletimi denklemi gösterilmektedir. Bu eşitlik sürekli rejim şartlarında içerisinde ısı üretimi olmayan sistemlere ait iki boyutlu ısı iletim bir başka deyişle sıcaklık dağılımının bulunduğu denklemdir. Bu eşitlik düzgün dizilmiş karma malzemeler için bir yere kadar kullanılabilir. Ancak iç içe düzgün olmayan karma malzemeler için efektif ısı iletkenliği sadece bir doğrultuda bulmak mümkün gözükmemektedir. Çünkü sınırlarda sıcaklık gradyanları yaklaşık hesaplanabilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(kA \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.1)$$

Literatürde karma malzemelerin ısı iletkenliğini belirlemek için birçok model kullanılmaktadır. Bu modeller arasında seri ve paralel modeller ısı iletkenlik değerinin alt ve üst sınırını oluşturmaktadır.

$$\text{Seri model;} \quad \frac{1}{k_e} = \frac{(1-\phi)}{k_m} + \frac{\phi}{k_f} \quad (2.2)$$

$$\text{Paralel model;} \quad k_e = (1-\phi).k_m + \phi.k_f \quad (2.3)$$

$$\text{Geometrik ortalama modeli;} \quad k_e = k_m^{(1-\phi)} + k_f^\phi \quad (2.4)$$

Burada (k_e) karma malzemenin efektif ısı iletkenliğini, (k_f) ara faz malzemesinin ısı iletkenliğini, (k_m) ana faz malzemesinin ısı iletkenliğini ve (ϕ) hacimsel oranları göstermektedir. Maxwell potansiyel teoriiyi kullanarak homojen ve sürekli bir ortamdaki rastgele dağılmış birbirleriyle etkileşimsiz ara ve ana fazdan oluşan bir karma malzemenin ısı iletkenliğini Eşitlik 2.5 ile hesaplanmasını önermiştir.

$$k_e = k_m \frac{k_f + 2.k_m + 2.\phi.(k_f - k_m)}{k_f + 2.k_m - \phi.(k_f - k_m)} \quad (2.5)$$

Bu model düşük hacim oranlarında iyi sonuç vermezken yüksek hacim oranlarında ise fazların birbirleriyle temas etmeye başlaması ve ısı geçişi yönünde iletken zincirler oluşması nedeniyle daha düzgün değerler vermektedir.

Lewis ve Nielsen modeli iki fazlı sistemlerde taneciklerin geometrik şekil ve oryantasyonunu da içerecek şekilde Eşitlik 2.6'daki denklemlerle düzenlemişlerdir.

$$k_e = k_m \cdot \frac{1 + A.\phi.B}{1 - \phi.\psi.B} \quad B = \frac{\frac{k_f}{k_m} - 1}{\frac{k_f}{k_m} + A} \quad \psi = 1 + \frac{1 - \phi_m}{\phi_m^2} \phi \quad (2.6)$$

A ve ϕ_m değerleri çeşitli geometrik şekil ve durumlar için literatürdeki çalışmalarda⁽¹⁴⁾ verilmiştir. Katkı malzemesi küre şeklinde ve malzeme içerisinde gelişigüzel olarak dağılmış ise $A=1,5$ $\phi_m = 0,637$; katkı malzemesi küre kümeleri şeklinde ve malzeme içerisinde gelişigüzel dağılmamış durumda ise $A=3$ ve $\phi_m = 0,637$ değerlerini alır.

İki fazın izotropik ve katkı malzemesinin küresel parçacıklar olması durumunda Baschirow-Selenew analitik bir model geliştirmiştir. Eşitlik 2.7.a ve 2.7.b'deki denklemler bu modelin ampirik ifadeleridir.

$$\frac{k_e}{k_m} = 1 - \frac{a^2 \cdot \pi}{4} + \frac{a \cdot \pi \cdot p}{2} \left[1 - \frac{p}{a} \ln\left(1 + \frac{a}{p}\right) \right] \quad (2.7a)$$

$$p = \frac{k_f}{k_m - k_f} \quad a = \left(\frac{6 \cdot \phi}{\pi} \right)^{1/3} \quad (2.7b)$$

2.2. Deneysel Ölçümler

Isıl iletkenlik ölçme yöntemleri numune içindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimine bağlı olarak ikiye ayrılırlar

- Statik Yöntemler
- Dinamik yöntemler

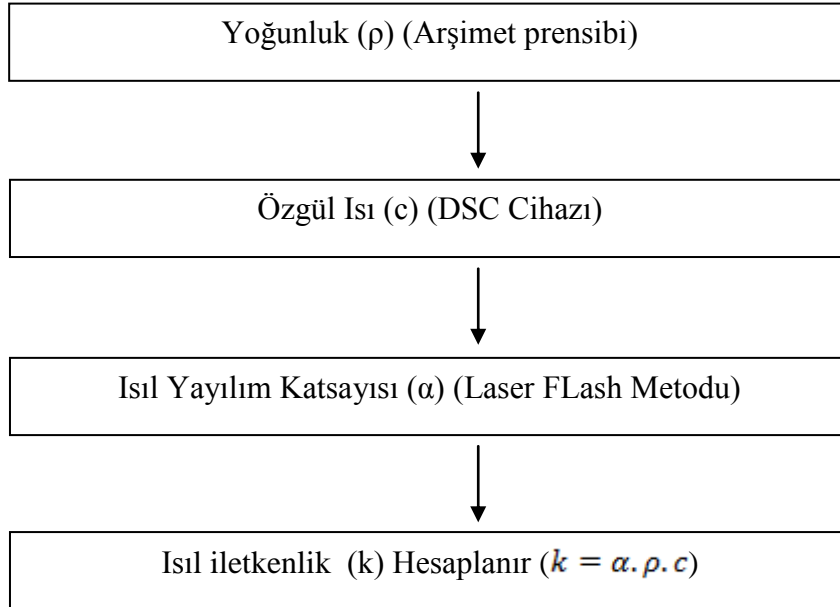
Statik ölçme yönteminde Fourier'in ısı iletim yasası olarak bilinen Eşitlik 2.8.a ve 2.8.b kullanılır. Bu ifade bilindiği üzere bütün doğrultular için ayrı ayrı yazılabilir. Bu yöntemle esas olan transfer edilen ısı miktarının ve sıcaklık dağılımının belirlenmesidir.

$$q_x'' = -k_x \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.8a)$$

$$q_y'' = -k_y \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2.8b)$$

Dinamik yöntemlerde zamana bağlı diferansiyel $[\frac{dE}{dt} = -k \cdot \frac{dT}{dn}]$ ifade

kullanılır. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda sıcaklığın belirli bir mesafeye kadar yayılması için geçen zaman ölçülür ve ısı yayılım katsayısı (α) belirlenir. Dinamik yöntemlerde ısı iletkenliğinin belirlenebilmesi için özgül ısı (c) ve yoğunluğun (ρ) bilinmesi gerekir. Ölçme yönteminin seçimi elde edilecek ısı iletkenlik değerinin büyüklüğüne çalışılan sıcaklık aralığına ve numune boyutlarına bağlıdır. Deneysel olarak ısı iletkenlik tayin edilirken Şekil 2.1'deki akış şeması kullanılır.



Şekil 2.1. Deneysel Ölçümlerin Akış Şeması

2.2.1 Numune Hazırlama

Seramik kesici uçların deneysel ve sayısal olarak ısı iletkenliklerinin hesaplanmasında numune hazırlama en önemli aşamadır. Hazırlık aşamasında

numune seçimi, numune alma, zımparalama, parlatma, dağlama ve yıkama işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınabilir. Deneysel ölçümler için yüzey işlemlerine genellikle gerek kalmamaktadır. Ancak bazı durumlarda yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Deneysel incelemenin esası ve başarısı uygun numunenin alınmasına bağlıdır. Numune alınması bilgi-görgü işi olmakla beraber, incelenecek numunelerin tarihçesinin bilinmesi çok önemlidir. Bu noktada, yapılacak araştırmanın taleplerinin ne olduğu tam olarak anlaşılmalıdır. Aksi takdirde, çok güzel hazırlanmış bir numune amaca hizmet edemez veya istenilen parametreleri analiz etmek için uygun olmaz. İncelemelerde kullanılacak numune elle tutulamayacak kadar küçükse veya düz bir zeminde stabil halde duramayacak bir şekle sahipse bu durumda numuneler kalıplanır.

Mikroskop altında incelenecek numune yüzeyinin kalıplanmasından sonra belirli bir yüzey pürüzlüğüne ulaşması gerekmektedir. Bu amaçtan hareketle numune yüzeyleri zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirilir. Böylece yüzeyin oluşturduğu deformasyon ve çizik miktarı minimuma iner. Zımparalama ve parlatma işlemleri için genellikle üzerinde birkaç tane disk bulunan otomatik cihazlar kullanılmaktadır. Elle zımparalama ve parlatma yapılabilmektedir ancak günümüzde pek yaygın olarak kullanılmamaktadır. Her zımparalama ve parlatma aşamasında bir üst kademeye geçmeden önce numuneler yıkanmalıdır.

Sialon esaslı kesici uçların SEM görüntülerini almak için çeşitli işlemler yapılmıştır. SEM’de incelenen numuneler iletken olan ve iletken olmayanları iki farklı işlemde geçirilmektedir. SEM görüntüsü alınacak numuneler hazırlanırken aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

1. Numunenin büyüklüğü, numunenin konulacağı veya tutulacağı yere uygun olmalıdır. Gerekirse ölçülere uyması için küçültülmelidir. Çalışmada kullanılan kesici uçların boyutları Taramalı Elektron Mikroskop için uygun olduğu için herhangi bir küçültme işlemi yapılmamıştır.
2. Görüntüsü alınacak madde SEM içindeki yüksek vakuma karşı koyabilmelidir. Madde şekil değiştirmemeli veya fazla gaz çıkarmamalıdır. Bunun için soğuk hazne yardımcı olabilir. Görüntüsü alınan numunelerde vakuma karşı dayanıklı olmalarına rağmen bütün ihtimaller dikkate alınarak soğuk hazne kullanılmıştır.
3. Numune temiz, tozsuz, lekesiz ve yağsız olmalıdır. Bu durumların olması yük birikimi ve kirlenme etkilerine yol açabilir. Bu nedenle görüntü alınacak numunelerin yüzey temizliği yapılmıştır.
4. Numunenin altınla kaplanması görüntü kalitesini etkilemektedir. Bir adet deney numunesi görüntü kalitesini arttırmak için altınla kaplanmıştır. Ama görüntü kalitesi değişmemiştir.
5. SEM görüntüsü alınması için yapılan yüzey işlemlerinden (parlatma dağlama v.s) dolayı yüzey yapının herhangi bir zarar görmesi görüntü kalitesini olumsuz etkiler. Bu işlemler yapılırken özen gösterilmeli ve yüzeye en az zarar verme yolları denenmelidir.
6. Ortaya çıkan sonucun hazırlama işleminden dolayı olduğundan şüpheleniliyorsa kontrol denemeleri yapılmalıdır. Laboratuvar şartlarında dağlama reaktifleri ve yüzey işlemleri deneme yanılma yöntemiyle sürekli araştırılmalıdır.

7. Numunenin yer potansiyeli iyi bir elektrik temasında olmalıdır. Numuneye iletken boyalar sürülür ve numune kaplanırsa sonuç daha iyi olur.
8. Numune, numune tutucusuna iliştirilmeli; böylelikle elektron ışımına maruz bırakıldığında hareket etmez.
9. Numunenin döndürülmesi ve bütün yüzeylerinin çalışabilmesi için tutucuya bağlanmalıdır.

SEM görüntülerinin alınmasından önce hazırlık aşamasından geçirilen numunelerden laboratuvar ortamında şartlar değiştirilmeden tek seferde görüntüler alınır. Bu çalışmada yukarıdaki hususlar dikkate alınarak görüntü alma işlemleri denenmiştir.

2.2.2. Dağlama

Parlatılmış fakat henüz dağlanmış yüzeylerden istisnai durumlar dışında mikroskop altında görüntü almak olanaksızdır. Parlatma sonrasında numune yüzeyi oldukça düzdür ve yüzeye düşen ışık demetleri eşit şekilde yansydıklarından, numuneden bu haliyle görüntü alınamaz. Bu nedenle yapıda kontrast oluşturulması gerekir. Bunun için uygulanan yöntemle dağlama denir. Dağlama fiziksel ve kimyasal dağlama olarak ikiye ayrılır. Fiziksel dağlamada belirli bir enerji uygulanarak (ısı veya yüksek voltaj) yüzeyden atom tabakaları atılır. Kimyasal dağlamada ise numune kimyasal maddelerle reaksiyona sokulur.⁽⁴⁰⁾

Dağlama uygulama amacına göre makro ve mikro olmak üzere iki kısımda değerlendirilir. Büyük yapılardaki kaba katılma yapıları, deformasyon akış izleri ve kaynaklı yapılardan görüntü çıkarma işlemi makro dağlama ile yapılır. Makro

dağlamada önce zımpara ile yüzey parlatılır. Makro dağlama reaktifleri genellikle HCl, H₂SO₄ gibi kuvvetli asitleri ihtiva eder ve çok tesirlidirler. Bu nedenle yüksek zımparalama ve parlatma gerekmez. Mikro dağlama ise tane dağılımı ve faz dağılımı görüntülerini çıkarmak için kullanılır. Çalışmadaki deneylerde mikro dağlama kullanılmıştır.

Mikro dağlamada numune yüzeylerinin dağlanarak görüntünün alınmasında hazırlanan dağlama reaktifinin yüzeyden iç kısımlara doğru tesir etmesi başarılı dağlama işlemini mümkün kılar. Numune yüzeyinin yeteri derecede dağlanmasından sonra yüzeyin reaktifle ilişkisi kesilir ve numune yıkanır. Reaktifin sıcaklığı ve uygulama sürecinde oldukça önemlidir. Malzemenin cinsine ve reaktifin içeriğine göre uygulama süresi ve sıcaklık farklılık gösterir. Dağlama esnasında numune yüzeyindeki parlaklığın kaybolup ilk matlaşmanın başladığı süre dağlama süresi için yeterlidir. Dağlama sıcaklığı seçilen reaktifin içeriğine göre değişir⁽³⁴⁾.

Seramik kesici uç numuneleri için yapılan dağlama işlemleri için kullanılan reaktif ve aşamalar Çizelge 2.1’de verilmiştir. Dağlama yapılırken sıcak dağlama işlemi uygulanmıştır. Sıcak dağlama yöntemi için kimyasal olarak %80’lik H₃PO₄ çözeltisi kullanılmıştır. İlk dağlama işlemi aşağıdaki aşamalarda yapılmıştır;

1. 200 ml %80’lik H₃PO₄ çözeltisi 250 °C’ye kadar ısıtılmış ve içerisindeki su dışarı çıkana kadar asit kaynatılmıştır.
2. 250 °C sıcaklığa ulaşıldıktan sonra kesici uç yaklaşık 5 dakika çözeltilde bırakılmıştır.
3. Çözelti içerisinde 5 dakika bekletilen numune çözeltilen çıkarılıp su ile soğutulmuştur.

Çizelge 2.1. Çalışmada İlk Yapılan Dağlama İşlemi

Dağlama Reaktifi	Miktar	Uygulama sıcaklığı	Uygulama süresi
%80'lik H ₃ PO ₄ çözeltisi	200 ml	250 °C	5 dak.

İlk olarak yapılan dağlama işleminden sonra taramalı elektron mikroskopunda denemeler yapılmış ancak istenen SEM görüntüsü alınamamıştır. Bu sebeple dağlama reaktifi ve dağlama sistemi değiştirilmiştir. Bu çalışmada farklı bir yüzey ve dağlama işlemi de uygulanmıştır. Seramik numunelerin görüntüye hazırlanmasında gözenekler problem teşkil etmektedir. Bu nedenle dağlama işlemi yapılmadan önce numunelere 320 numara zımpara ile ıslak zımparalama ve daha sonra ince zımparalama yapılmıştır. Otomatik parlatma cihazında elmas pasta ile parlatma uygulanmış ve parlatmadan sonra su ile yıkanmıştır. Bu dönemde dağlama için kullanılan reaktif ve aşamalar Çizelge 2.2'de verilmiştir. Çalışmada yapılan ikinci dağlama işlemi aşağıdaki aşamalarda yapılmıştır;

1. 100 ml çözeltisi 80 °C'ye kadar ısıtılmıştır
2. 80 °C sıcaklık elde edildikten sonra 3 adet kesici uç 10,15 ve 20 dakikalık sürelerde çözeltide bırakılmıştır.
3. Çözelti içerisinde 10,15 ve 20 dakika bekletilen uçlar çözeltiden çıkarılıp su ile soğutulmuştur.

Çizelge 2.2. Çalışmada Yapılan İkinci Dağlama İşlemi

Dağlama Reaktifi	Miktar	Uygulama sıcaklığı	Uygulama süresi
%40'lık Hidroflorik asit ve saf su çözeltisi	100 ml	80 °C	10-20 dak.

2.2.3. Görüntü Alma

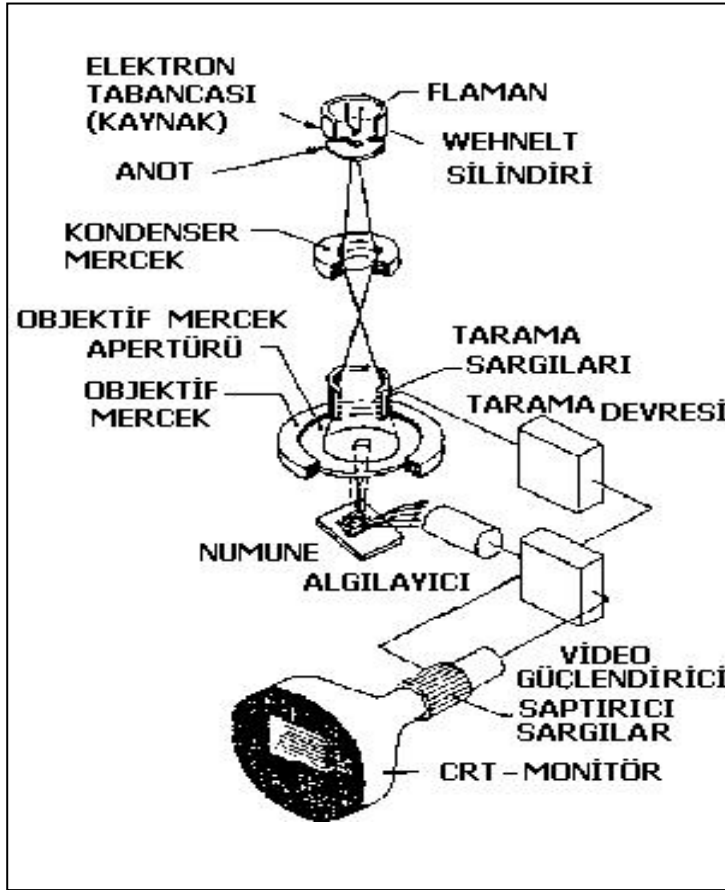
Numune hazırlama aşamaları ne kadar mükemmel yapılırsa yapılsın eğer uygun olmayan mikroskop düzenekleri kullanılıyorsa sonuç alınamaz. Mikroskoplar elektron ve optik olarak ikiye ayrılır. Elektron mikroskopları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) olmak üzere iki çeşittir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü değişik aşamalardan sonra elde edilir. İlk olarak yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması yapılır. Daha sonra bu etkilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda sıvı olmayan ve sıvı özellik taşımayan her türlü iletken olan veya olmayan numune incelenebilir. Her çeşit metaller, seramikler, fiberler, plastikler polimerler, parçacıklar (kum, çakıl, polen..vs)..vs incelenebilir. İletken olmayan numuneler çok ince iletken malzemeyle kaplanarak incelenebilir hale getirilir. SEM günümüzde yaygın olarak kullanılan bir görüntüleme yöntemidir.

Bir taramalı elektron mikroskobunun şematik gösterimi Şekil 2.2'de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde bir taramalı elektron mikroskobunun Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan meydana geldiği görülecektir. Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek

gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için kondenser mercekleri vardır. Ayrıca elektron demetini numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır.



Şekil 2.2. Taramalı Elektron Mikroskopunun Şematik Yapısı

Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10^{-4} Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır. Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışınları toplayan dedektörler, bunların sinyal

çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır.

Tozların, seramik ve diğer malzemelerin yüzey ve kesitlerinin, yüksek büyütmelerde (100.000 katın üstünde) morfolojik ve kimyasal analizi için kullanılmaktadır. Malzeme yüzeyi ve kesitinde bulunan her türlü hatalar (örneğin sır yüzeyinde bulunan siyah nokta, pinhole ve diğer hatalar) rahatlıkla incelenebilir ve mikron boyutunda bölgelerin kimyasal analizleri, faz haritalaması, renkli kompozisyon görüntülemesi vb. yapılabilir.

Bu çalışmada Ssangyoung ve Kennemetal marka uçların SEM görüntüsü almak için Şekil 2.3 gösterilen Kırıkkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Elektron Mikroskop laboratuvarında ve Ankara Üniversitesi Metalurji laboratuvarında bulunan JSM5600 30kV Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Ancak İstenilen görüntüler alınamamıştır. Görüntüleri alınan numuneler de Anadolu Üniversitesi üretilen seramik kesici uçlardır. Sialon esaslı kesici uç için Anadolu Üniversitesinde SEM görüntüleri alınmıştır. Bu görüntülerin elde edilmesi için aşağıdaki işlemler yapılmıştır

1. Hazırlık aşamalarından geçirilen numune yıkanır.
2. Numunenin yapısına göre değişmekte olan vakum süresi beklenir; bu süre ortalama 30dk.'dır.
3. Numune tutucuya yerleştirilir.
4. Yüzeyden SEM görüntüsü alınır.



Şekil 2.3. Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı

2.2.4. Yoğunluk Ölçümü

Karma malzemelerin mekanik özelliklerini ve ısı iletkenliğini gözeneklilik miktarı belirlemektedir. Dolayısıyla farklı malzemelerin iletkenliklerinin karşılaştırılması için hazırlanan numunelerin tam yoğun olması gerekmektedir. Bu amaçla numunelerin yığınsal yoğunluk ölçümleri gerekmektedir.

Bir maddenin bir sıvı içindeki ağırlığının, o maddenin kuru ağırlığı ile batmaya karşı gösterdiği direnç kuvvetinin farkına (ya da yer değiştiren sıvı miktarına) eşit olduğu ilkesinden hareket eden bu yöntem ASTM standartlarında C373 olarak geçmektedir. Yoğunluk ölçümleri için üç adet ağırlık ölçülmektedir. Bunlar kuru ağırlık, yaş ağırlık ve askıda ağırlık. Hesaplama ise Eşitlik 2.10'da verilmiştir.

$$\text{Yığınsal Yoğunluk} = (\text{Numune Kütlesi}) / (\text{Yığınsal Hacim}) \quad (2.9)$$

$$\text{Yığınsal Yoğunluk} = (\text{Kuru Numune Ağırlığı}) / (\text{Yaş Ağırlık} - \text{Askıda Ağırlık}) \quad (2.10)$$

Bu çalışmada numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet, su ile yer değiştirme, prensibine göre çalışan Şekil 2.4 verilen Ultracycnometer marka 1000P model cihazla yapılmıştır. Yoğunluk ölçümleri aşağıdaki aşamalarda yapılmıştır;

1. Sialon esaslı kesici uç numunesi kuru ağırlığı ölçülür,
2. Dereceli silindire bir miktar sıvı eklenir ve yüksekliği okunur,
3. Numune dinamometreye asılır ve değer okunur
4. Dinamometre ucundaki numune su içine gömülene kadar silindir içerisine indirilir. Ağırlık değeri ve yükseklik okunur.



Şekil 2.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

2.2.5 Özgül Isı Ölçümü

Sialon esaslı kesici uçların özgül ısısı ölçmek için Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı kullanılır. Termal analiz, materyale ait bir fiziksel özelliğin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak veya bir tepkimede alınan ya da açığa çıkan ısının izlendiği yöntemleri içerir. Bu yöntemlerin başlıcaları termogravimetre (TG), diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)'dir.

Isıl analizler, genellikle sabit basınç altında yürüdüğünden, geçerli olan termodinamik Eşitlik 2.11'deki Gibbs-Hemholtz ifadesidir.

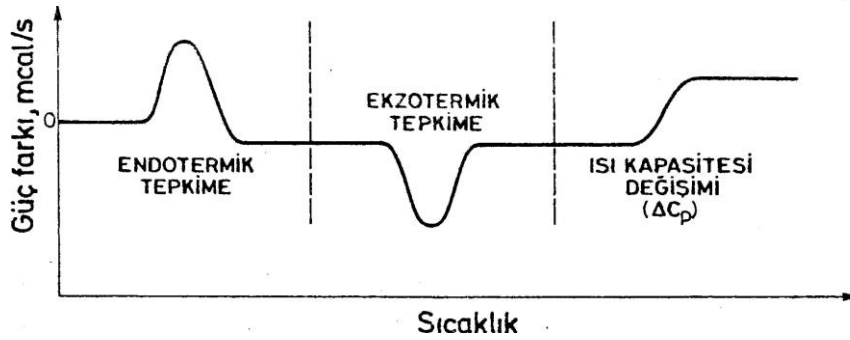
$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (2.11)$$

Burada, G sistemin serbest enerjisi, H sistemin entalpisi, S sistemin entropisi ve T'de sistemin Kelvin sıcaklığıdır. Genel bir kimyasal tepkime için: $\Delta G < 0$ ise, tepkime yazıldığı şekilde kendiliğinden olur, $\Delta G = 0$ ise, sistem dengededir ve $\Delta G > 0$ ise, tepkime olmayacaktır. Isıl analiz, kendiliğinden olan ($\Delta G < 0$) tepkimelerin incelenmesini içerir.

Sıcaklığın bağımsız değişken olduğu yöntemler olan DTA ve DSC için (ΔS), (T) önemlidir. Gibbs-Hemholtz denkleminin sıcaklığa göre türevi alınırsa Eşitlik 2.12 elde edilir. Bu denklem, tepkimenin olmadığı bir durumdan ($\Delta G > 0$), tepkimenin olacağı bir duruma ($\Delta G < 0$) nasıl geçebileceğini gösterir. Eğer ΔS pozitif ise sıcaklığın artması, ΔS negatif ise sıcaklığın azalması ile ΔG negatif olur ve kendiliğinden olan bir tepkime elde edilir. Tepkime bir kere başladıktan sonra, olayı izlemek için uygun yöntemlerden biri kullanılabilir⁽⁴¹⁾.

$$\frac{d(\Delta G)}{dT} = -\Delta S \quad (2.12)$$

DSC yönteminde malzeme ve referans maddesine aynı sıcaklık programı uygulanırken malzemede bir değişiklik olması halinde, malzemeye veya referansa bir elektrik devre yardımı ile dışarıdan ısı eklenerek her ikisinin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. DSC eğrileri eklenen ısının sıcaklığa karşı çizilen grafikleridir. Şekil 2.5’de görülen pikin altında kalan alan tepkimede emilen veya açığa çıkan ısı ile pik yüksekliklerde tepkime hızı ile doğrudan orantılıdır. ΔH pozitif ise (endotermik), malzeme ısıtıcısına ısı eklenir. ΔH negatif ise (ekzotermik), referans ısıtıcısına ısı eklenir.⁽⁴¹⁾



Şekil 2.5. DSC eğrisi⁽⁴¹⁾

DSC yalnız entalpi değişiminin olduğu olaylara karşı değil aynı zamanda malzeme ile referansın ısı kapasiteleri arasındaki farka karşıda çok duyarlıdır. Bu yöntemde malzeme ve referans maddesi birbirinden yalıtılmış ayrı kaplara yerleştirilir. Isıtıcılar malzeme ve referans hücrelerine mümkün olduğu kadar yakın konur. Termoçift, bir sıcaklık farkı gösterdiğinde, soğuk olan tarafa sıcaklık

eşitleninceye kadar ısı eklenir. Sıcaklıkları eşit tutabilmek için uygulanan ısıtma hızı, malzeme sıcaklığının fonksiyonu olarak kaydedilir.

Bilimin birçok alanında DTA ve DSC bilimsel araştırmalarda, materyal teknolojisinde ve mühendislikte çözümlü zor problemlerde kullanılmaktadır. DSC, basit veya karmaşık materyallerin kalite kontrollerinde, doğal veya üretilmiş maddelerin bileşimlerinin belirlenmesinde, silikatlar, ferritler, oksitler, seramikler ve camlar gibi inorganik maddelerin ısıl davranışlarında faz diyagramlarının oluşturulması ve faz geçişlerinin incelenmesinde kullanılır. Organik bileşiklerin erime, kaynama ve ayrışma noktalarının kolay ve kesin saptanmasında, kinetik analizleri, petrol, polimer, yağ ve balmumu gibi malzemelerin oksit kararlılığında, eczacılıkta ilaç örneklerinin saflığının araştırılmasında, katı reaksiyonlarda örneğin fişekçilikte, yüksek patlayıcıların karakteristik ayrışmalarında yaygın olarak kullanılır.

Kırıkkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi metalurji laboratuvarlarında Şekil 2.6' da gösterilen Perkin Elmer marka Diamond DSC cihazı ile 7 adet, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında NETZSH marka cihazla 1 adet kesici uç numunesi için yapılan ölçümler sonucunda özgül ısı değerleri ölçülmüştür. DSC cihazlarında aşağıdaki aşamalarda sonuçlar alınır;

1. Materyal homojen ince toz haline getirildikten sonra küçük bir kaba yerleştirilir. Bu kap genellikle platin veya kullanılan materyale bağlı olarak alimüna, alüminyum gibi kaplar olabilir.

2. Bu kabın hemen yanına alüminyum oksit gibi ekzotermik veya endotermik pik göstermeyen bir referans toz numune içeren aynı cins ikinci bir kap konulur.
3. Termoçiftler bu iki kaba tutturulmuş ve elektromotor güç kaynağına ters bağlanmıştır. Her iki kap özel bir programa göre (sabit oranda) ısıtılır.
4. Referans maddeye ve örnek maddeye ısı akışı farklı olduğundan, örnek ile referans madde arasındaki sıcaklık farkı, numunede bir kimyasal reaksiyon, faz değişimi veya yapısal değişim gibi bir olay gerçekleştiği zaman gözlemlenecektir.
5. Isı akışı (mJ/sn cinsinden) bu sıcaklık farkının ölçülmesi ile dolaylı olarak elde edilir.



Şekil 2.6. DSC Düzenegi (Perkin Elmer)

2.2.6. Isıl Yayılım Katsayısı Ölçümü

Isı geçişi çözümlmelerinde ısıl iletkenliğin ısıl kapasitesine oranı önemli bir özellik olup ısıl yayılım katsayısı (α) olarak adlandırılır ve (m^2/s) birimindedir. Isıl yayılım katsayısı bir malzemede kararlı olmayan şartlar altındaki ısı akış hızının ölçümüdür. Isıl iletkenliğin belirlenebilmesi için ısıl yayılım katsayısının ölçülmesi gerekir.

Isıl yayılım katsayısı ölçümünde laser flash metodu çok popüler bir yöntemdir. Bu metotta ölçüm sonuçlarında doğruluk ve hassasiyet oldukça iyidir. Bu metotta sıcaklığın belirli bir mesafeye kadar yayılması için geçen zaman ölçülür ve ısıl yayılım katsayısı belirlenir. Laser flash metodu ile metaller, seramikler, polimerler ve karma malzemelerin ısıl yayılım katsayısını ölçülmektedir. Bu çalışmada Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan ve Şekil 2.7'de gösterilen Netzsch marka LFA 457 model cihaz kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Netzsch Marka Cihazın Fotoğrafı

Isıl yayılım katsayısı ölçüm aleti aşağıdaki ekipmanlardan oluşmaktadır.

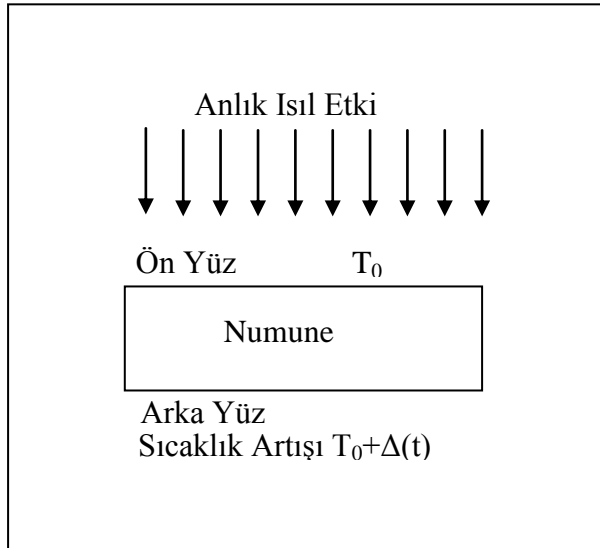
-Xenon ışın yayıcı (radiator)

-Vakum Pompası

-Numune Tutucu

-Numunenin arka yüzeyinin sıcaklığının ölçümü için pirometre

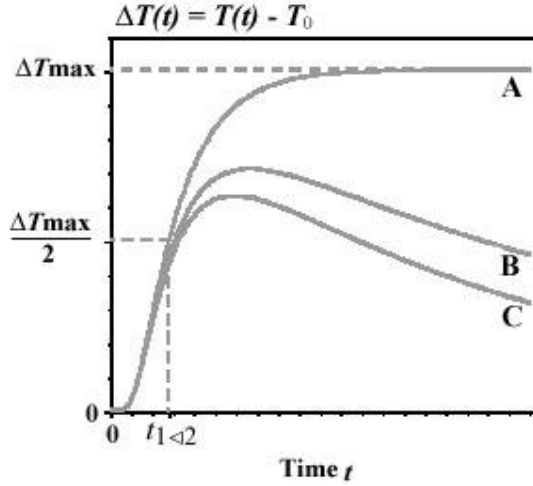
-Cihazın kontrolü ve ölçüm sonuçlarını değerlendiren bilgisayar.



Şekil 2.8. Laser Flash Metodu İle Numune Üzerindeki İşlemlerin Gösterimi

Bir numunede laser flash metoduyla ölçüm Şekil 2.8 'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu metotla ölçüm yapılırken önce numune sabit bir başlangıç (T_0) sıcaklığında tutulur. Ön yüzey anlık bir enerji (genellikle laser) depolar ve belli bir zaman aralığında arka yüzeydeki sıcaklık artışı zamanın fonksiyonu olarak

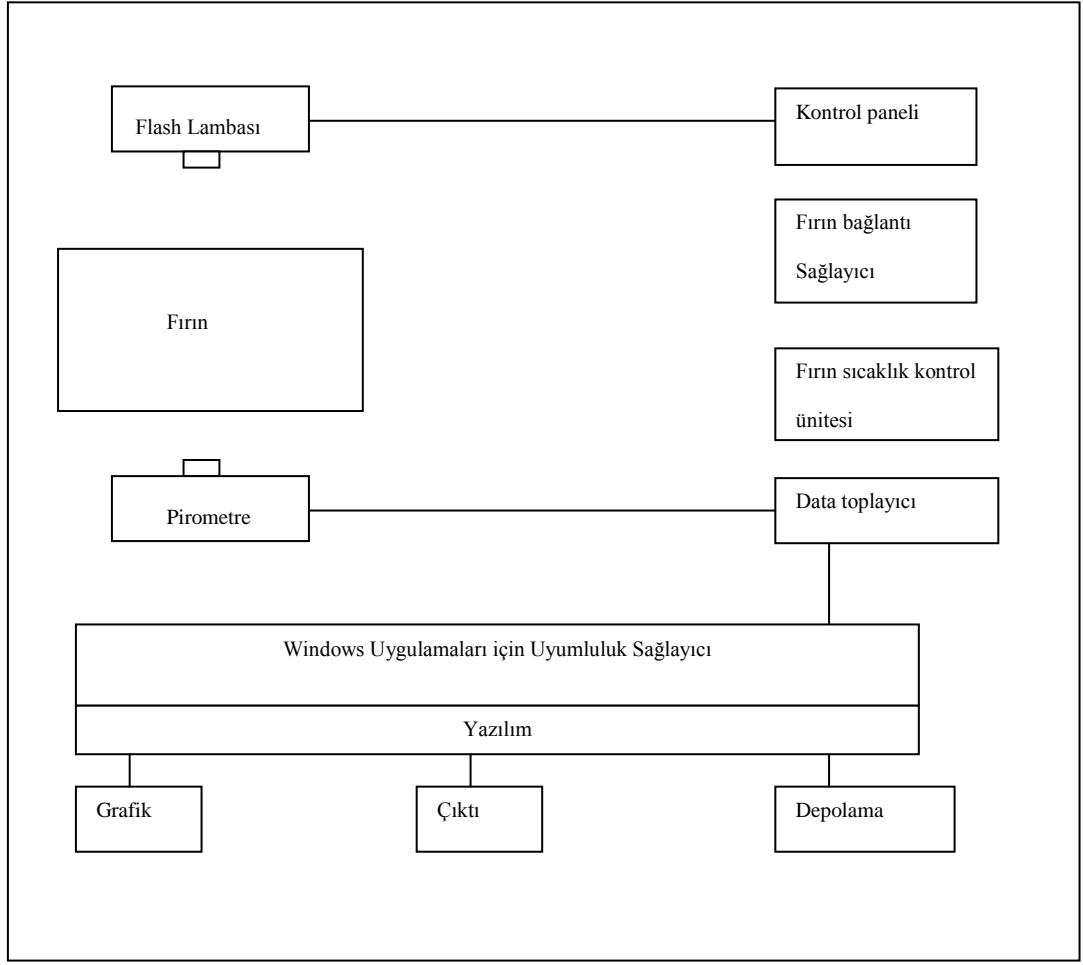
kaydedilir. Bu şekilde ısı yayılım belirlenir. Bununla ilgili olarak Şekil 2.9'da grafikler verilmiştir. Ön yüzeyde herhangi bir kayıp olmaması durumunda A eğrisi meydana gelir. Ancak ısı kayıpları ve ön yüzeydeki sıcaklık dereceleri nedeniyle B ve C eğrileri oluşabilir.



Şekil 2.9. Sıcaklık Artışı ve Çeşitli Deneysel Şartlar

Cihaz öncelikle bir başlangıç ısı yayılım katsayısı değeri belirlemekte ve Eşitlik 2.13 kullanılarak hesaplama yapmaktadır. Bu eşitlikte (L) kalınlık ve ($t_{1/2}$) yarılanma süresini göstermektedir. Numunenin arka yüzeyinin maksimum sıcaklığa ulaşması için geçen yarı zamana ($t_{1/2}$) bağlı olarak ölçümler yapılmaktadır. Burada önemli bir unsurda kalınlık (L) etkisidir. Ölçümler sırasında bir düzeltme yapılmaktadır. Bu düzeltmenin nedeni Eşitlik 2.13'ün ampirik ve tam anlamıyla doğru olmadığından dolayı yapılmaktadır⁽²⁷⁾. Şekil 2.10'da ısı yayılım katsayısı ölçüm cihazının şematik gösterimi bulunmaktadır.

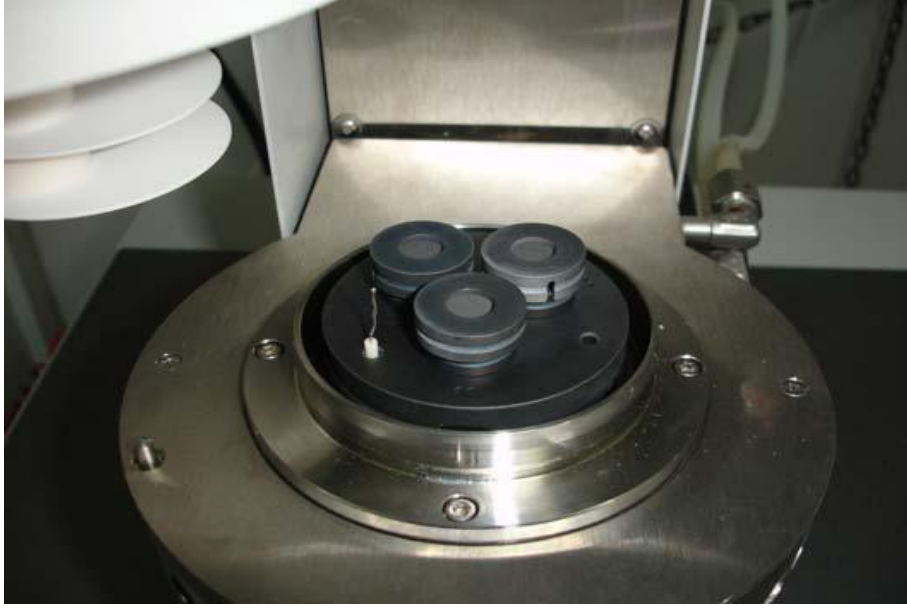
$$\alpha = 0.1388 \frac{L^2}{t_{1/2}} \quad (2.13)$$



Şekil 2.10. Isıl Yayılım Katsayısı Ölçüm Cihazı Şematik Gösterimi

Bu çalışmada ısı yayılım katsayısı aşağıdaki işlemler yapılarak ölçülmüştür;

- 1- Numuneler Şekil 2.11’de gösterildiği gibi önce cihaza yerleştirilir,
- 2- Ölçüm için numune kalınlığı ve ölçüm periyodu bilgileri girilir
- 3- Numunelerin istenilen sıcaklığa gelmesi için fırın derecesi ayarlanır
- 4- Fırında numunelerin istenilen sıcaklıkta kararlı duruma geçmesi için belirli süre beklenir
- 5- Sonuçlar bilgisayar ekranında alınır.



Şekil 2.11. Numunelerin Cihaza Yerleştirilmesi

2.2.7. Element Analizi (EDS)

Numunelerin element analizi Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS) sistemi ile yapılmaktadır. EDS sistemi taramalı elektron mikroskopunun elektron kolonuna bağlanan ve SEM ile birleşik çalışan bir analiz ekipmanıdır. EDS her elementi karakteristik X-ışını spektrumlarına göre tanıyarak, onların numune içindeki oranlarını yüzde olarak belirleyen bir analiz cihazıdır. Bir EDS sistemi yüksek enerjili bir radyasyon kaynağı (genellikle elektronlar), numune, katı hal detektörü ve sinyal işleme ünitelerinden oluşur. EDS spektrometreleri genellikle elektron kolonuna sahip cihazlara bağlanmış şekilde bulunur.

EDS sisteminde incelenen numune örneği üzerine elektron ışınları yollanır, bu ışınlar numune içinde bulunan elementlerle etkileşime girer ve her element için farklı olan enerji düzeylerinde geri doğru yansıtılırlar. Malzeme içindeki atomlar

yüksek enerjili radyasyonla iyonize edildiklerinde karakteristik x ışını oluştururlar. Dedektör tarafından algılanan x ışınları sinyal haline dönüştürülerek belirli şiddetlere sahip piklerden oluşan x ışını enerji histogramı haline dönüştürülür. Bu yansımalar her elementin numune içinde bulunma miktarına bağlı olarak farklı bir şiddettedir. EDS analiz cihazı da geri doğru yansıyan bu şiddetleri yüzdeye çevirerek her bir elementin doku içinde bulunma miktarını yüzde olarak göstermektedir.

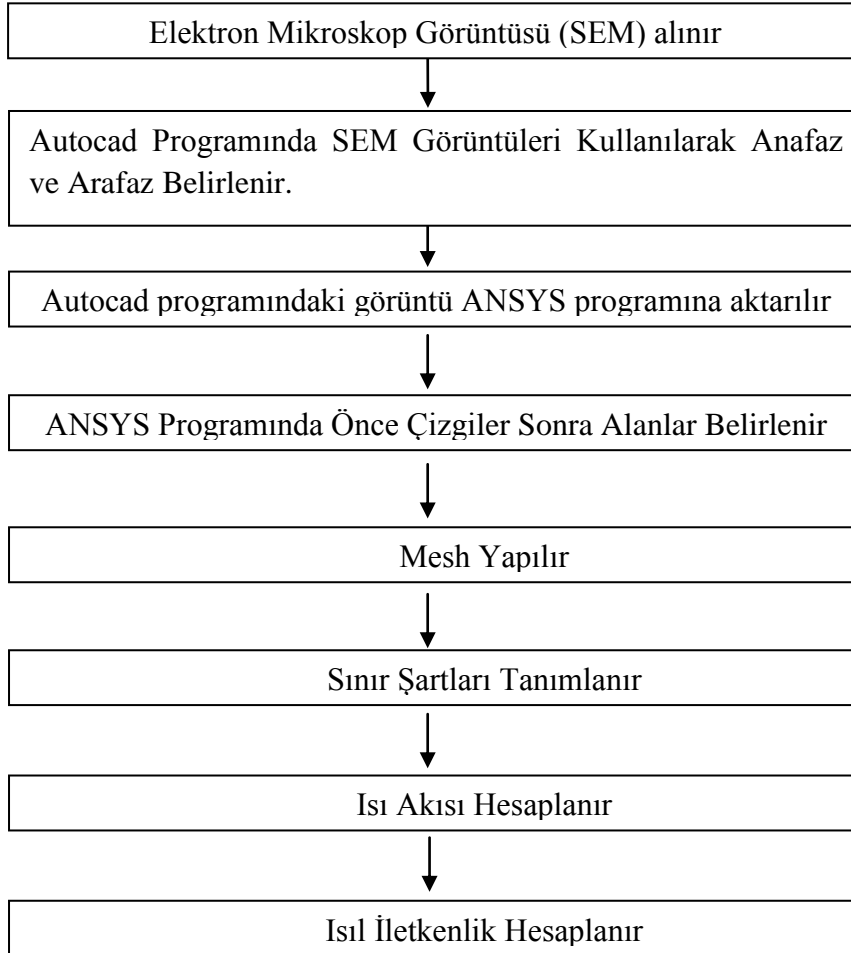
Çalışmada kullanılan numuneleri numunelerinin element analizleri Kırıkkale Üniversitesi Elektron Mikroskop Laboratuvarında EDS sistemi kullanılarak yapılmıştır. 20 kV enerji verilerek 17 adet deney numunesinin element analizleri yapılmış, 5 adet deney numunesinin analizleri yapılamamıştır. Bunun nedeni deney numunelerinin kompozit yapısının karmaşıklığı ve EDS sisteminden kaynaklanan hatalardır.

Element analizleri yapılırken laboratuardaki taramalı elektron mikroskop olan (JSM5600 Scanning Electron Microscopy) cihazı kullanılmıştır. 30 kV'a kadar enerji verebilen bu cihazda numunelere 20 kV'lık enerji verilmiştir. X-ışınları prensibine göre analiz yapabilen cihazda karbon miktarı tespit edilememektedir. EDS analizleri aşağıdaki aşamalarda yapılmıştır;

1. Numune EDS ekipmanına yerleştirilir
2. Belirli bir süre yaklaşık 10 dakika beklenir
3. Sistem karalı hale geldikten sonra numuneye elektron ışınları yollanır
4. Numune içerisindeki elementlerin miktarı grafik olarak EDS sisteminden alınır

2.3. Isıl İletkenliğin Sayısal Hesaplanması

Isı transferinde birçok problemin çözümünde sayısal metotlarla çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar metodu sayısal çözümlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı iletimi problemlerinde çözüm alanında farklı sınır şartları kullanılarak değişik noktalarda sıcaklık veya ısı akısı sayısal olarak hesaplanabilir. Bu sıcaklık ve akı değerleri kullanılarak istenen özellik bulunur. Bu çalışmada Şekil 2.12’de verilen akış şeması kullanılarak sialon esaslı kesici uçların efektif ısıl iletkenlik bir boyutlu ve iki boyutlu olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.12. Sayısal Çözümleme İçin Akış Şeması

Sayısal modelleme yapılırken SEM görüntülerinden yararlanılmıştır. Elektron mikroskopla elde edilen SEM görüntülerinin sonlu eleman esaslı bir programla modellenmesi yapılmış ara faz ve ana faz için iki farklı ısı iletkenlik değeri kullanılmıştır. Sonuçta karma malzemenin bütününe ifade eden efektif ısı iletkenlik değeri hesaplanmıştır. Yapılan modelde ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sabit olması ve sıcaklıkla değişmesi durumu dikkate alınmıştır.

Ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin değiştiği durumda Çizelge 2.3'deki değerler kullanılmıştır. Bu değerler Sialon malzemesi için laboratuvar şartlarında ölçülmüştür. Isı iletkenliğinin değişmediği durum için ortalama ısı iletkenlik değeri 10,765 W/m.K değeri alınmıştır. Her iki çözüm yapılırken de ara faz ısı iletkenlik değeri 0,65 W/m.K alınmıştır⁽⁴²⁾. Ara faz malzemesi kesici uç içerisinde bulunan elementlerin birleştirilmesi sırasında oluşan camsı bir yapıdır. Bu yapıya ait ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi literatürde yapılan çalışmalarda ve laboratuvar ortamında tespit edilememiştir. Seramik kesici uçlarda ara fazın hacimsel oranının az olduğu durumlarda ısı iletkenlik üzerinde tane boyutu, ana fazın ısı iletkenliği ve yapısal hatalar önem kazanmaktadır⁽²⁾.

Çizelge 2.3. Ana Faz Malzemesi İçin Isı İletkenliğinin Sıcaklıkla Değişimi

Sıcaklık(K)	298	373	473	573	673	773	873	973	1073	1273
k (W/m.K)	21,26	15,48	13,75	12,41	11,15	10,26	9,66	8,95	8,14	6,87

Ara faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimine ilişkin incelenen literatürde herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Ancak ara fazın ısı

iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi dikkate alınmasının olayın fiziğine uygun bilimsel açıklama ve sonuçta hesaplanacak efektif ısı iletkenlik sayısına etkisini değerlendirmek açısından Çizelge 2.4'deki değerler kullanılabilir. Çalışmada ara faz malzemesinin ısı iletkenlik değerinin sıcaklıkla değişimine ilişkin olarak bazı değerler kabul edilerek bu değişimin sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Bu durumda hem ana fazın hemde ara fazın ısı iletkenliği sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 2.4. Ara Faz Malzemesi İçin Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi Varsayımı için Öngörülen Değerler

Sıcaklık(K)	298	373	473	573	673	773	873	973	1073	1273
k (W/m.K)	0,95	0,86	0,8	0,76	0,72	0,67	0,61	0,57	0,52	0,32

Ana ve ara fazın ısı iletkenliğinin değişken olduğu bir boyutlu (x) doğrultusu için yapılan hesaplamalara ait sonuçlar Çizelge 2.5'de verilmiştir. Bu tablo büyütme oranları ve düğüm sayıları dikkate alınarak incelendiğinde ara faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sabit ve değişken olduğu iki farklı durum dikkat çekmektedir. Her iki durumda da ana fazın ısı iletkenliği değişkendir.

Çizelge 2.5. Bir boyutlu (x) doğrultusu için sonuçların karşılaştırılması

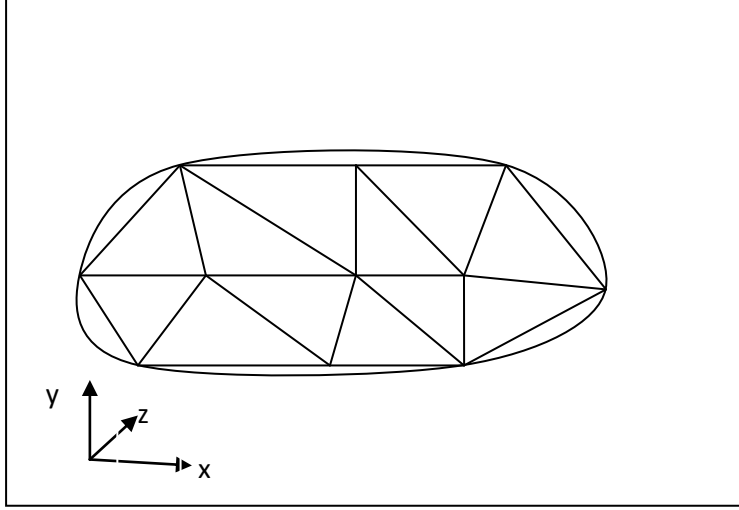
Büyütme Oranı	Düğüm sayısı	Arafaz Isıl İletkenliği Sabit k_x (W/m.K)	Ara faz Isıl İletkenliği Değişken k_x (W/m.K)	Hata Oranı
25000	16236	5,42	5,64	%3.9
30000	90931	3,88	4,07	%4.6
50000	59880	7,23	7,52	%3.8

Çizelge 2.5 incelendiğinde ara fazın ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmesi durumu için varsayıma dayalı değerler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda efektif ısı iletkenlik değeri %4-5 değişmektedir. Bu nedenle çalışmada ara faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi çözümlerde ihmal edilmiştir.

2.3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Adımları

Sonlu Elemanlar Yöntemi (The Finite Element Method) mühendislik problemlerine yaklaşık çözüm sağlayan sayısal bir tekniktir. Sonlu elemanlar metodu ile bir ısı transferi problemi sonlu sayıda küçük elemana bölünerek çözülür. Bu çalışmada seramik uç numunesinden alınan SEM görüntüsü, düğüm noktalarından birbirine bağlı sonlu sayıda küçük elemana bölünür. Seçilen birim eleman, geometrik bir şekildir. Bunun amacı, geometrik yapısını bilinen küçük elemanlar üzerinde inceleme ve çözüm yapılmasının kolay olmasıdır. Birim eleman boyunun küçülmesi, daha hassas çözüm yapılmasını sağlarken, denklem sayısını arttırdığı için işlem süresini uzatır. Sonlu elemanlar metoduyla çözüm yapılırken izlenmesi gereken yol aşağıda verilmiştir;

1. Yapıyı ya da sürekli elemanı Şekil 2.13'de gösterildiği gibi birim elemanlara bölmek. Bu yapılırken birim elemanın boyutunu ve şeklini, malzemenin fiziki özelliklerine göre seçmek gerekir.
2. Sonlu elemanlar birbirine düğüm noktalarından bağlanmış kabul edilirler. Bu düğüm noktalarının yer değiştirmeleri, basit yapıların analizlerinde olduğu gibi, problemin bilinmeyen ana parametreleridir.



Şekil 2.13. Çözüm Bölgesinin Üçgen Elemanlara Bölünmesi

3. Her bir sonlu elemanın yer değişimini tanımlamak için düğüm noktalarının yer değişimleri cinsinden fonksiyon seçilir. Bu fonksiyon genelde bir polinomdur, polinomun derecesi birim elemanın düğüm sayısına bağlıdır.
4. Elemanla yer değiştirme fonksiyonları seçildikten sonra her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri oluşturulur. Bunun için dört yaklaşımdan biri kullanılır. Bu yaklaşımlar;
 - I. Direkt Yaklaşım
 - II. Varyasyonel Yaklaşım
 - III. Ölçülmüş Kalıcı Yaklaşım
 - IV. Enerji Dengesi Yaklaşımı
5. Elemanlara bölünen sistemin özelliklerini toplamak gerekir. Bunu da elemanların matris denklemlerini birleştirerek sistemin davranışını ifade eden matris denklemleri oluşturmakla yapabilir. Sistemin matris denklemleri bir elemanın matris denklemleriyle aynı formdadır. Fakat sistemde denklemlerin terim sayısı fazladır.

2.3.2. Ansys® Programı

Ansys genel amaçlı bir sonlu elemanlar analiz programıdır. Ele alınan bir problemin sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi, çözümlenmesi ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi üç ayrı modülde gerçekleştirilmektedir. Genel olarak bu aşamalar program menülerinde iç içe farklı sayıda alt işlemlerle gerçekleştirilmektedir.

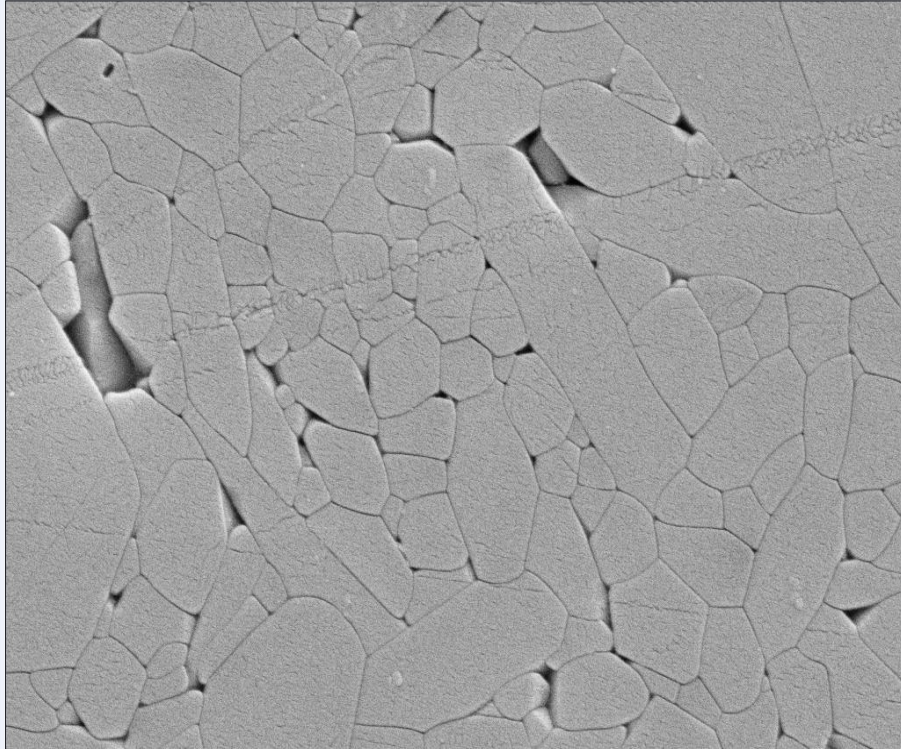
Giriş modülü eleman tipleri, eleman sabitleri, elemanların özellikleri, modelin geometrisi, eleman büyüklüğünün belirlenerek ağ yapısının oluşturulmasında kullanılır. Bir başka deyişle fiziksel düzlemin sayısal çözüm düzlemine dönüştürülmesi işlemleri bu modülde gerçekleştirilir.

Hesap modülünde sınır şartları, yüklemeler belirtilerek çözüm veya analiz yapılır. Çözüm düzlemindeki her bir çözüm noktası için sonuçlar üretilir düğüm noktalarında tutulur. Çıkış modülünde ise elde edilen sonuçların görüntülerini, grafiklerin üretilmesi ve raporlamaya ilişkin detaylar yer almaktadır.

Problem karmaşık geometriye sahip ise bu durumda hiyerarşik modelleme yapılmaktadır. Bu durumda önce köşe noktalar oluşturulmakta, bu noktalar birbirlerine çizgilerle bağlanmakta ve nihayet dört çizginin uygun tertibiyle dörtgen bir bölge elde edilmektedir. Böylece karmaşık problem geometrisi çok sayıda basit geometrik şekillerin topluluğu olarak ifade edilmektedir. Eğer geometrik şekil çok karmaşık ise diğer çizim programlarında (Autocad v.s) şekiller oluşturulup Ansys programına aktarılabilir. Bu çalışmada numunelerin SEM görüntüleri karmaşık olduğundan dolayı Autocad programında oluşturulan çizgiler Ansys programında kullanılmıştır. SEM görüntülerinin programa aktarılmasında çok basit bir yaklaşımla önce noktalar sonra doğrular ve en sonunda alanlar oluşturulur.

Geometrik modelin kenarlarına elaman sayı ve dağılımını belirleyen parametreler tatbik edilerek problemin sonlu eleman modeli elde edilmektedir. Problemin fiziksel davranışını, geometrisini ve sınır şartlarını doğru temsil eden bir modeli tesis etmekle analizde analitik ve deneysel çözüme tatminkar yaklaşım sağlanabilir.

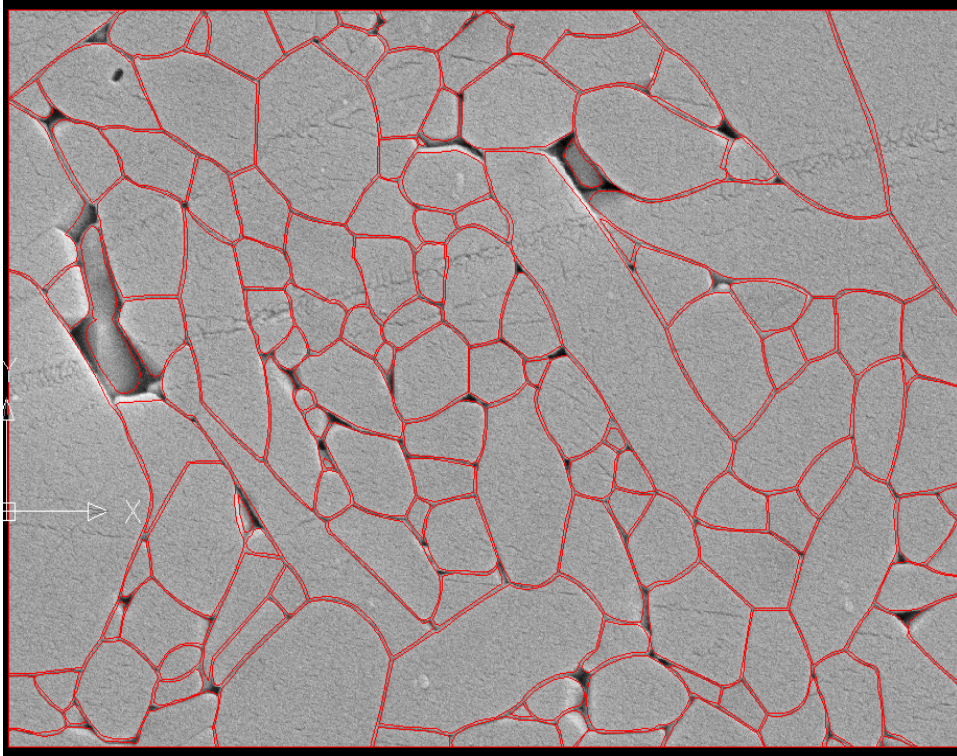
Sayısal model oluşturulurken Şekil 2.12’de verilen akış şeması kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanarak ısı iletkenliği hesaplanacak sialon esaslı kesici uç malzemenin önce geometrik modeli çıkarılır. Mikro fotoğrafı Şekil 2.14’de gösterilen malzemenin Autocad çizim programında ana faz ve ara faz sınırları çizilir.



Şekil 2.14. Ana ve Ara Fazdan Oluşan Numunenin SEM Görüntüsü

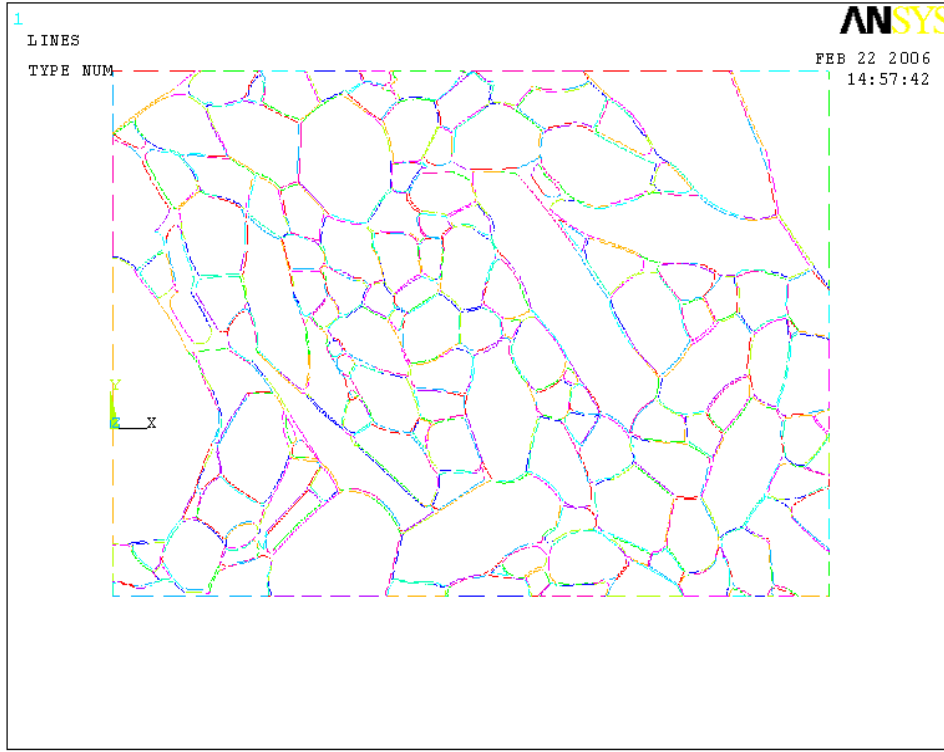
Çizim programında orijinaline mümkün olduğunca uyularak ana faz ve ara faz sınırları kesin çizgilerle çizilir. Ancak SEM görüntü ve fotoğraflarından

anlaşılacağı gibi iki faz arasındaki çizgiler net sınırlar değildir. Bunların sayısal modele dönüştürülmesinde tam temas noktaları belirlenerek çizgilere esas olacak anahtar noktalar belirlenmeye çalışılır. Şekil 2.15’de çizim programında oluşturulan model gösterilmektedir. Noktalar arası birleştirmeler eğri uydurarak bazı durumlarda doğru yerine eğrilerle birleştirmelerde yapılmıştır.



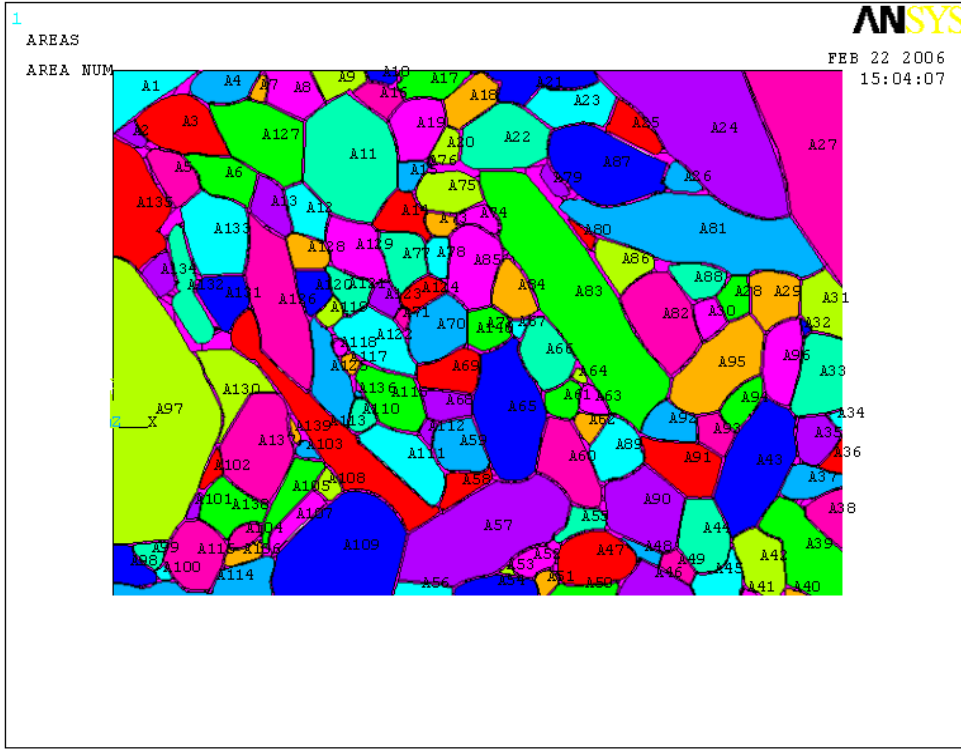
Şekil 2.15. SEM Görüntüsünün Çizim Programında Oluşturulan Geometrik Modeli

Gerçek fotoğrafta gri tonlarda gözükten ana faz ve sınır faz alanları çizim programında net olarak oluşturularak Ansys programına aktarılmıştır. Şekil 2.16’da çizim programından Ansys aktarılan geometrik model verilmektedir.



Şekil 2.16. Ansys Programında Oluşturulan Çizgiler

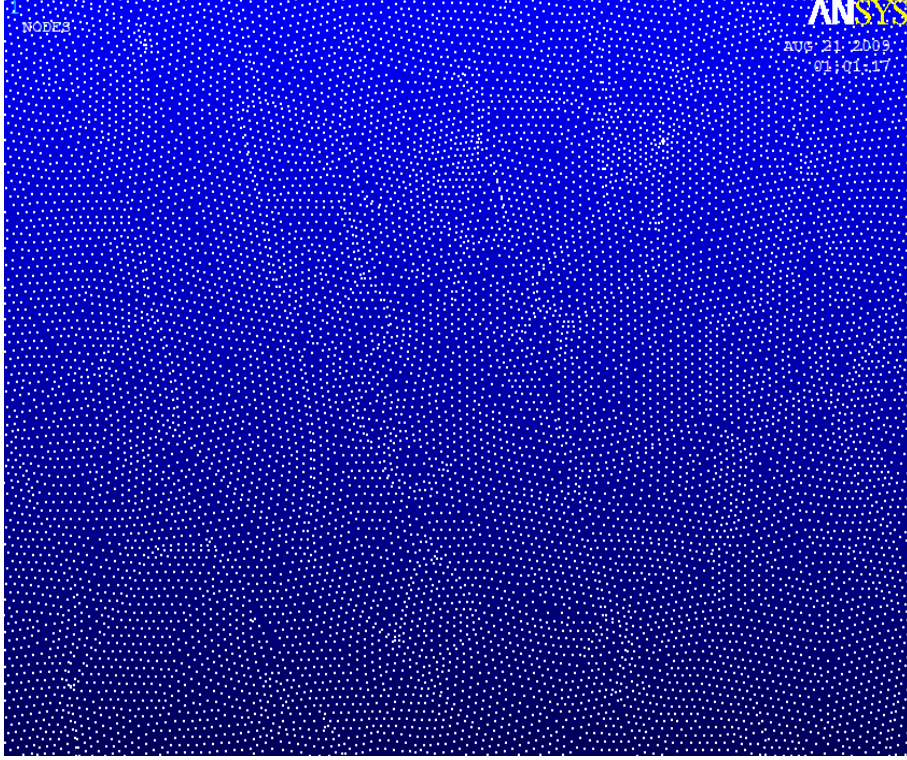
Ansys programda çizgiler ana faz ve ara faz malzemeleri birbirinden ayırmaktadır. Bu çizgiler kullanılarak oluşturulan alanlar Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Artık belirlenen bu alanlar ayrı ayrı fiziksel özelliklere bağlı iki farklı malzeme gibi düşünülebilir. Bu farklı özellikteki alanların ısı iletkenlikleri ve bunların sıcaklığa bağlı değişim fonksiyonları tanımlanır. Bu durumda problem iki boyutlu kararlı rejimde ısı iletimi problemidir. İstenilen sınır şartları altında çözüm gerçekleştirilebilir.



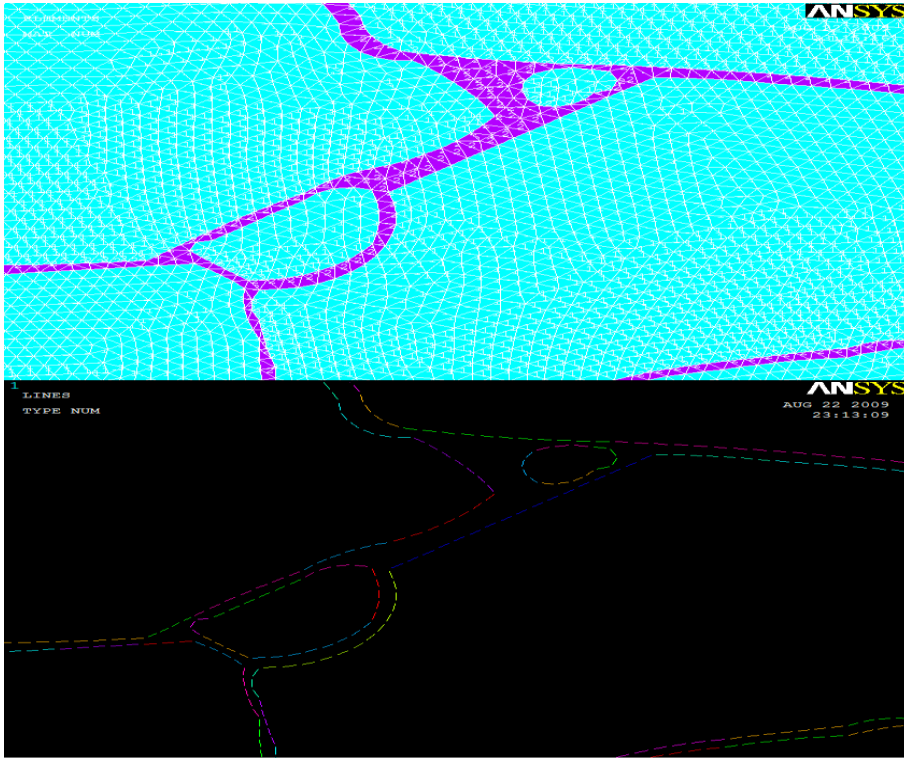
Şekil 2.17. Ansys Programında Oluşturulan Alanlar

Bu alanlara ait fiziksel özelliklerin tanımlanmasından sonra mesh yapılır. Çözüm için kullanılacak düğüm sayısını mesh belirlemektedir. Düğüm sayısının artırılması için mesh büyüklüğü küçük seçilmelidir. Mesh büyüklüğü büyük seçildiği zaman düğüm sayısı doğal olarak az olacaktır. Şekil 2.18’de malzemenin mesh yapıldıktan sonra oluşturulan düğümleri gösterilmektedir.

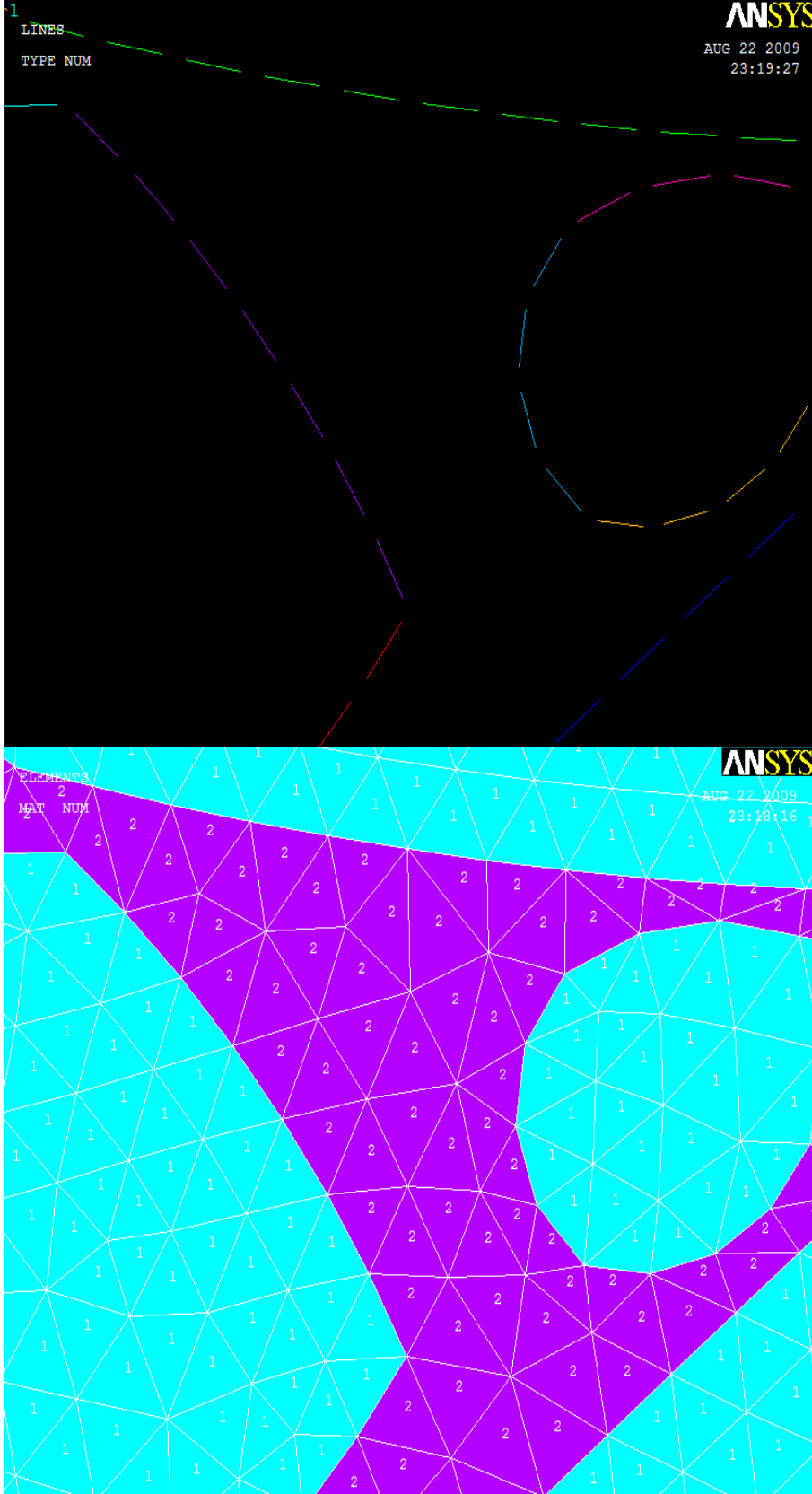
Şekil 2.19 ve 2.20 50000 büyütme oranına sahip görüntü üzerinde büyütme yapılmış bir bölgenin çizgilerini ve mesh yapıldıktan sonraki geometrisini göstermektedir. Şekiller üzerinde (1) ve (2) sırasıyla ana faz ve ara faz malzeme özelliklerinin tanımlandığı bölgeleri göstermektedir.



Şekil 2.18. Düğüm Noktalarının Görüntüsü

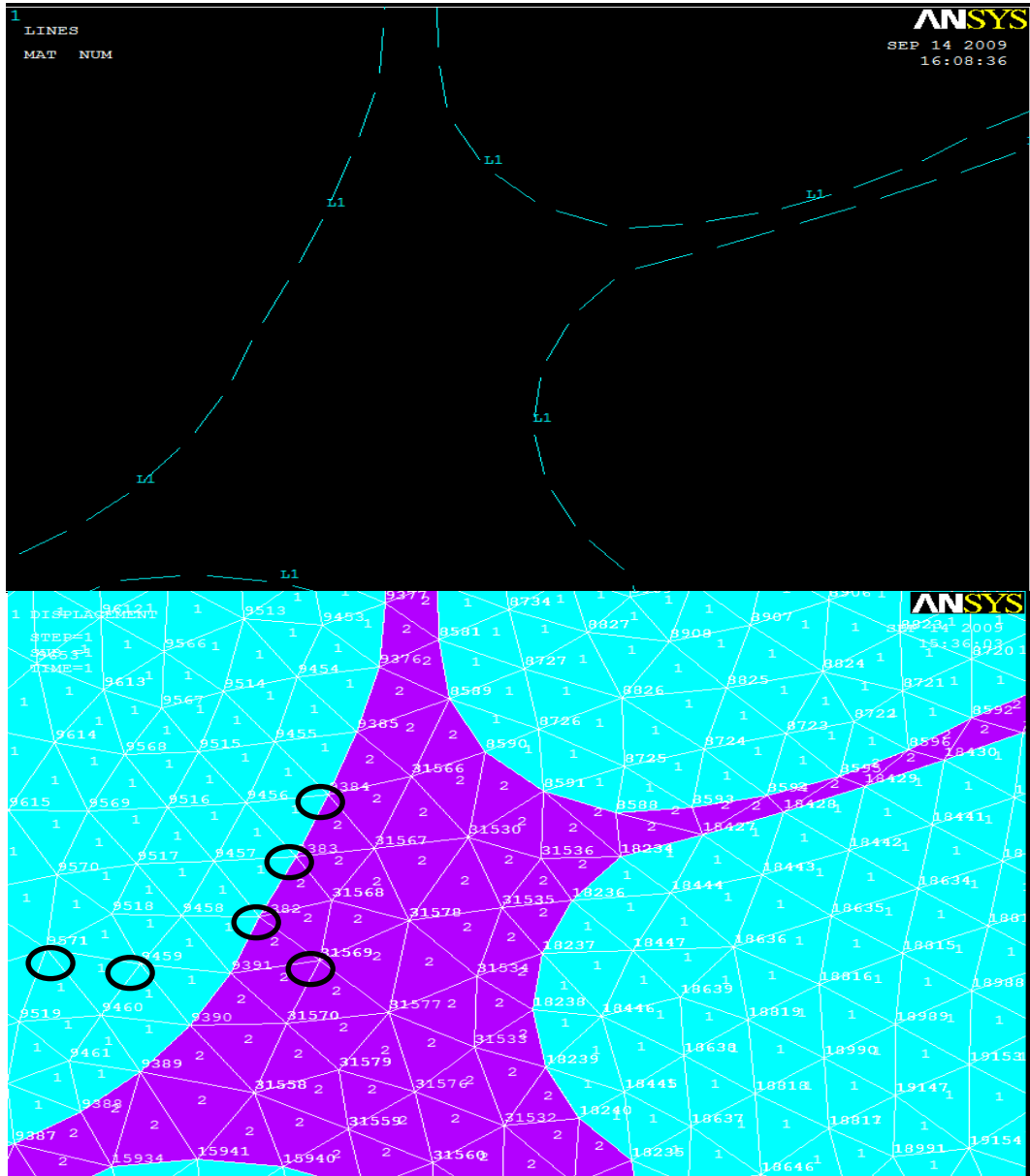


Şekil 2.19. Yerel Olarak Alınan Çizgi ve Düğüm Noktalarının Görüntüsü



Şekil 2.20. Bölgesel Olarak Alınan Düğüm Görüntüsü

Ana faz ile ara faz kesişim noktalarındaki düğümler özellikle ara faz özellikli tanımlanarak düğüm azlığı giderilmeye çalışılmıştır. Mesh yapıldıktan sonra malzeme üzerinde düğüm noktalarının bölgesel olarak tanımlaması Şekil 2.21’de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde ana faz ve ara faz malzemelerinin kesişim noktalarında malzeme özelliği olarak ara faz malzemesinin özelliklerini kullanmaktadır.

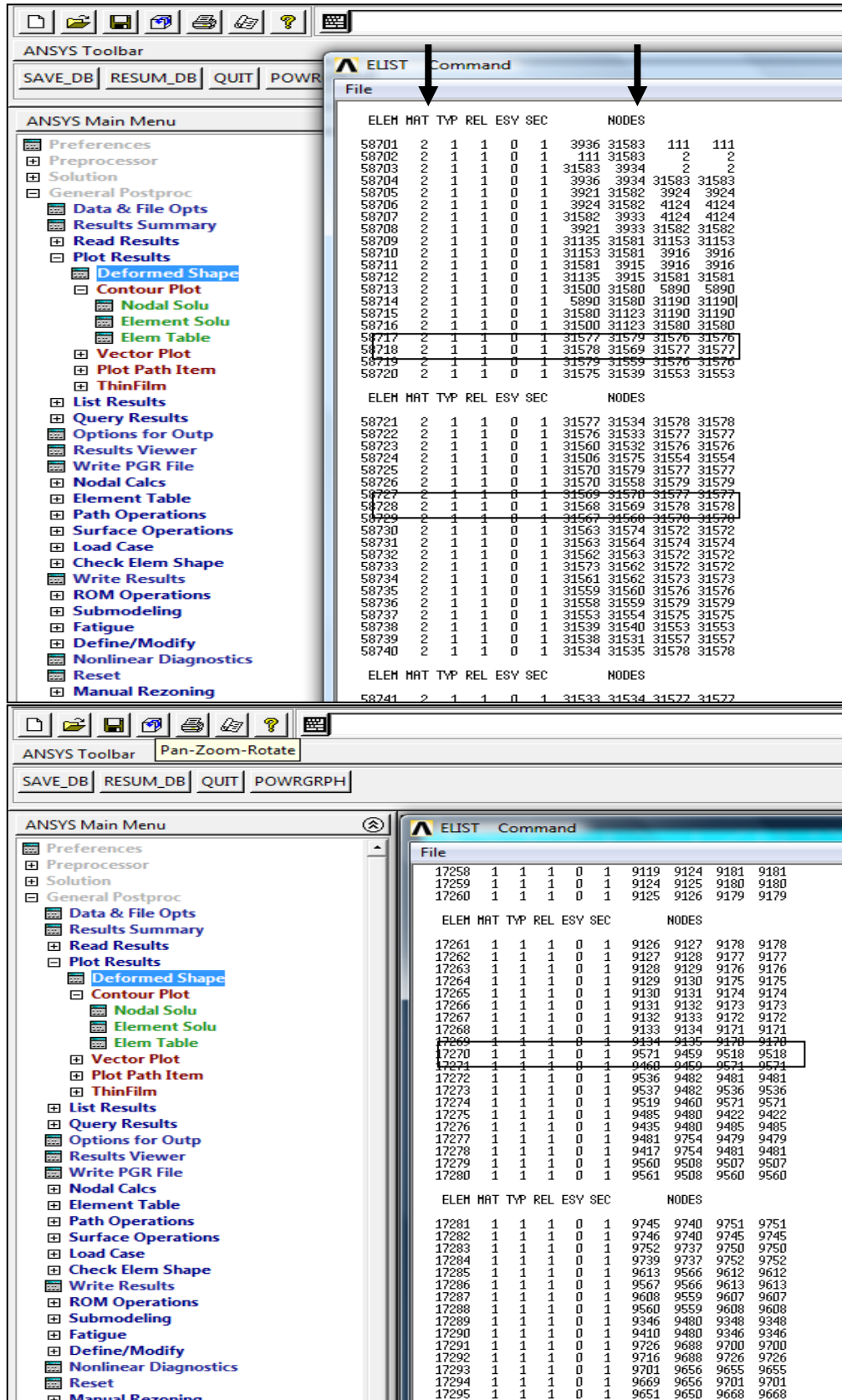


Şekil 2.21. Mesh Yapılan Bölgelerdeki Düğüm Noktalarının Gösterimi

Şekil 2.22 ve 2.23’de Ansys programında mesh yapıldıktan sonra anafaz ile ara faz malzemesinin kesişim bölgelerindeki düğüm noktalarının hangi elemana ait olduğu gösterilmektedir. Ansys programından alınan listede (Mat) kısaltması ile düğüm noktasının ana faz veya ara faz malzemesinden hangisinin özelliklerine ait olduğu gösterilmektedir. Şekil 2.22 ve 2.23’de düğüm noktasının karşısında (Mat=1) olduğu durumda ana faz (Mat=2) olduğunda ara faz malzemesinin özellikleri tanımlanmaktadır.

ELEM	MAT	TYP	REL	ESY	SEC	NODES
59061	2	1	1	0	1	17843 17844 27448 27448
59062	2	1	1	0	1	9404 9403 16067 16067
59063	2	1	1	0	1	9405 9404 16076 16076
59064	2	1	1	0	1	9406 9405 16075 16075
59065	2	1	1	0	1	9407 9406 16074 16074
59066	2	1	1	0	1	9408 9407 16073 16073
59067	2	1	1	0	1	9409 9408 16072 16072
59068	2	1	1	0	1	9392 9409 16071 16071
59069	2	1	1	0	1	9393 9392 15923 15923
59070	2	1	1	0	1	9394 9393 15925 15925
59071	2	1	1	0	1	9395 9394 15926 15926
59072	2	1	1	0	1	9386 9402 15935 15935
59073	2	1	1	0	1	9387 9386 15936 15936
59074	2	1	1	0	1	9388 9387 15934 15934
59075	2	1	1	0	1	9389 9388 15934 15934
59076	2	1	1	0	1	9390 9389 31558 31558
59077	2	1	1	0	1	9391 9390 31570 31570
59078	2	1	1	0	1	9382 9391 31569 31569
59079	2	1	1	0	1	9383 9382 31568 31568
59080	2	1	1	0	1	9384 9383 31567 31567
59081	2	1	1	0	1	9385 9384 31566 31566
59082	2	1	1	0	1	9376 9385 8589 8589
59083	2	1	1	0	1	9374 9373 8578 8578
59084	2	1	1	0	1	9375 9374 8579 8579
59085	2	1	1	0	1	9362 9361 8566 8566
59086	2	1	1	0	1	9349 9138 9348 9348
59087	2	1	1	0	1	9349 9350 9138 9138
59088	2	1	1	0	1	17798 9410 17799 17799
59089	2	1	1	0	1	9411 9410 17798 17798
59090	2	1	1	0	1	17797 9411 17798 17798
59091	2	1	1	0	1	17797 9412 9411 9411
59092	2	1	1	0	1	17796 9412 17797 17797
59093	2	1	1	0	1	17796 9413 9412 9412
59094	2	1	1	0	1	17795 9413 17796 17796
59095	2	1	1	0	1	17795 9414 9413 9413
59096	2	1	1	0	1	17794 9414 17795 17795
59097	2	1	1	0	1	17794 9415 9414 9414
59098	2	1	1	0	1	17793 9415 17794 17794
59099	2	1	1	0	1	17793 9416 9415 9415

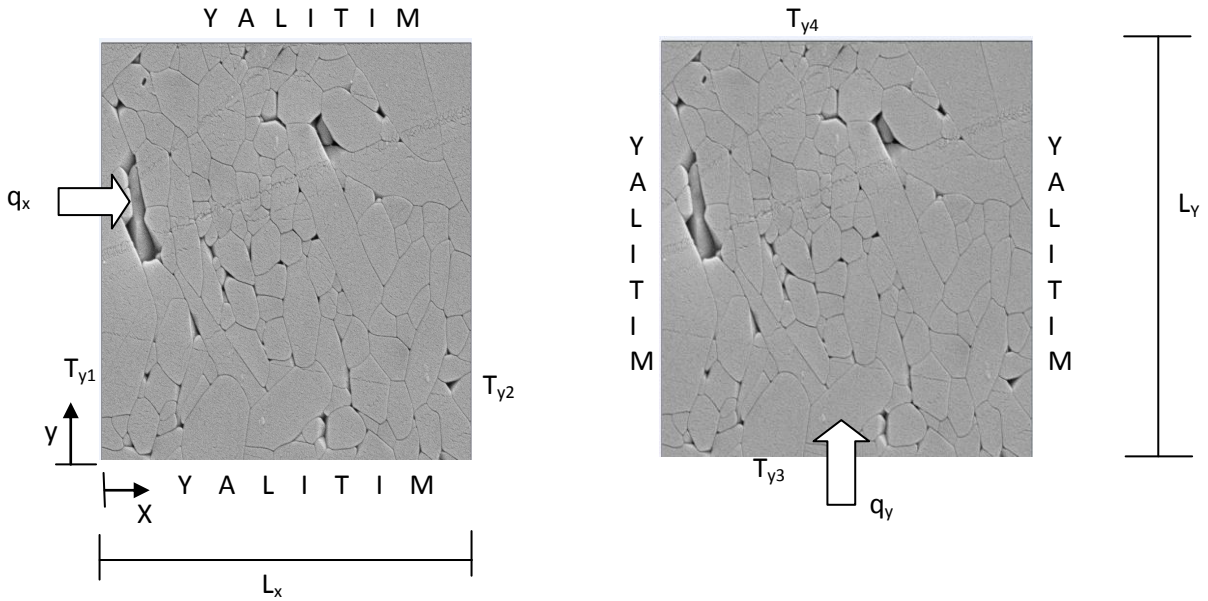
Şekil 2.22. Düğüm Noktalarının Özellik Gösterimi



Şekil 2.23. Düğüm Noktalarının Özellik Gösterimi

Sürekli rejimde sıcaklık ve ısı akısının tek bir konum değişkenine bağlı olduğu sistemlerde bir boyutlu ısı iletimi gerçekleşir. Bu durumda Fourierin ısı iletimi denklemi sınır şartları dikkate alınarak çözülür ve ısı akısı hesaplanır. Isı akısından hareketle efektif ısı iletkenlik bulunur.

Şekil 2.24’de verilen karma malzemenin efektif ısı iletkenliğinin çözümü bir boyutlu ısı iletimi kabulleri ışığı altında yapılabilir. İki boyutlu ve kararlı rejimdeki ısı iletimi probleminde sıcaklık dağılımının elde edilebilmesi için malzemenin efektif ısı iletkenliği bilinmediğinden sınır şartları olarak sabit duvar sıcaklığı veya sabit ısı akısı sınır şartlarından biri verilerek çözüm yapılmalıdır.



Şekil 2.24. Çözüm Düzleminde Sınır Şartları ve Isı Akış Yönleri

İki boyutlu problem çözüm yapılırken yatay doğru (x) için hesaplanan ısı iletkenlik (k_x) ve dikey doğru (y) için hesaplanan ısı iletkenlik (k_y)’dir. Dikey doğrultuda (y) ısı geçişi yok varsayılarak tek boyutlu bir ısı geçiş problemine göre

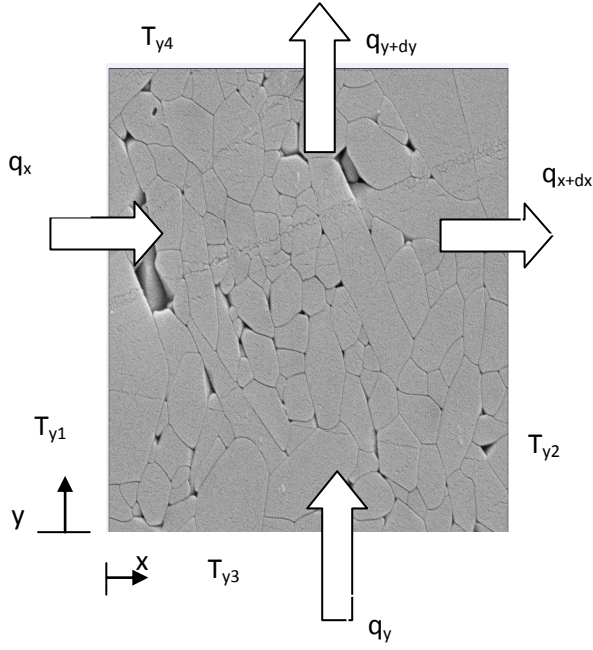
çözüm yapılabilir. Bu durumda ısı geçişi sadece yatay doğrultuda (x) gerçekleşip (dT/dn) ifadesi (dT/dx) şeklinde gösterilebilir. Problemin çözümü için sabit duvar sıcaklığı sınır şartları ($T = T_{x=0}$ ve $T = T_{x=L}$) seçilmiştir. Bir boyutlu (x) doğrultusu için ısı iletkenlik değerini (k_x) hesaplamak için aşağıdaki sınır şartlarında çözümler yapılmıştır.

$$\begin{array}{cccc}
 x=0 & T=T_{y1} & x=L_x & T=T_{y2} \\
 y=0 & dT/dy=0 & y=L_y & dT/dy=0
 \end{array}$$

Dikey doğrultuda ısı iletkenliği (k_y) hesaplamak için yatay doğrultuda (x) ısı geçişi yok varsayılarak tek boyutlu ısı geçiş problemi çözümü yapılır. Bu durumda ısı geçişi sadece dikey doğrultuda (y) gerçekleşip (dT/dn) ifadesi (dT/dy) şeklinde gösterilebilir. Problemin çözümü için sabit duvar sıcaklığı sınır şartları ($T = T_{y=0}$ ve $T = T_{y=L}$) seçilmiştir. Bir boyutlu (y) doğrultusu için ısı iletkenlik değerini (k_y) hesaplamak için aşağıdaki sınır şartlarında çözümler yapılmıştır.

$$\begin{array}{cccc}
 x=0 & dT/dx=0 & x=L_x & dT/dx=0 \\
 y=0 & T=T_{y3} & y=L_y & T=T_{y4}
 \end{array}$$

Sıcaklığın ve enerji transferinin sadece tek bir konum koordinatının fonksiyonu olduğu sistemler ele alınarak çözümler yapılabilir. Ancak endüstride ve pratikte kullanılan karma malzemelerde geometrinin karışık olması ya da sınır şartlarının tanımlanma şekli iki ya da üç konum koordinatının kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle sialon esaslı seramik kesici uçlar için iki boyutlu çözümler yapılmıştır. Sialon esaslı seramik malzemenin iki boyutlu çözümleri yapılırken Şekil 2.25'de verilen sınır şartları kullanılmaktadır.



Şekil 2.25. Fiziksel Sistemin İki Boyutlu Modellenmesi

Herhangi bir ısı iletimi probleminde iki önemli amaç vardır bunlar ısı akısını veya sıcaklık dağılımını belirlemektir. İki boyutlu çözümler yapılırken sabit yüzey sıcaklık sınır şartı kullanılarak çözüm düzleminde ısı akısı hesaplanmaktadır. Isı akısı kullanılarak (x) ve (y) doğrultusu için ısı iletkenlik bulunabilmektedir. Doğrultuya bağlı olarak efektif ısı iletkenlik (k_x, k_y) farklı değerler olmaktadır. Bunun nedeni ısı iletkenlik doğrultuya bağlı olarak değişmesidir. İki boyutlu ısı iletkenlik değerlerini hesaplamak için aşağıdaki sınır şartlarında çözümler yapılmıştır.

$$\begin{array}{llll}
 x=0 & T=T_{y1} & x=L_x & T=T_{y2} \\
 y=0 & T=T_{y3} & y=L_y & T=T_{y4}
 \end{array}$$

2.3.3. Çözüm

Bir boyutlu çözümler yapılırken (x) ve (y) boyutlarından birisi yalıtımlı yüzey olarak kabul edilerek işlemler yapılmaktadır. Bir boyutlu ısı iletimi problemi temel varsayımı ısı akısının sabit olmasıdır. Bu nedenle bir yüzeydeki ısı akısı belirlendikten sonra Fourierin ısı iletimi denklemi kullanılarak ısıl iletkenlik değeri hesaplanır.

İki boyutlu efektif ısıl iletkenliği belirlerken enerjinin korunumu yasası kullanılarak çözümler yapılır. Enerjinin korunumu yasası Eşitlik 2.14'de verilmiştir. Sonsuz küçük bir kontrol hacmi (dx.dy) olarak tanımlanarak kararlı rejimde ve ısı üretilmemiş durum uygulanırsa Eşitlik 2.15 elde edilir.

$$\dot{E}_i - \dot{E}_o + \dot{E}_g = \dot{E}_s \quad (2.14)$$

$$\dot{E}_i - \dot{E}_o = 0 \quad (2.15)$$

Fourierin ısı iletimi yasası (x) ve (y) doğrultusu için yazılırsa Eşitlik 2.16 ve 2.17 elde edilir.

$$q_x = -k_x d_{xy} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.16)$$

$$q_y = -k_y d_y \frac{\partial T}{\partial y} \quad (2.17)$$

(x), (y) eksenleri üzerindeki kontrol yüzeylerinin her birisine dik ısı iletimi sırasıyla (q_x), (q_y) terimleri ile gösterilir. Karşı yüzeylerdeki ısı iletimi ise Eşitlik 2.18 ve 2.19'de gösterildiği gibi yüksek mertebeden terimlerin atıldığı bir Taylor seri açılımı ile ifade edilebilir.

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \quad (2.18)$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \quad (2.19)$$

Bulunan denklemler eşitlik 2.17'de yerine yazılırsa Eşitlik 2.20 ve 2.21 elde edilir.

$$q_x + q_y - q_{x+dx} - q_{y+dy} = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0 \quad (2.21)$$

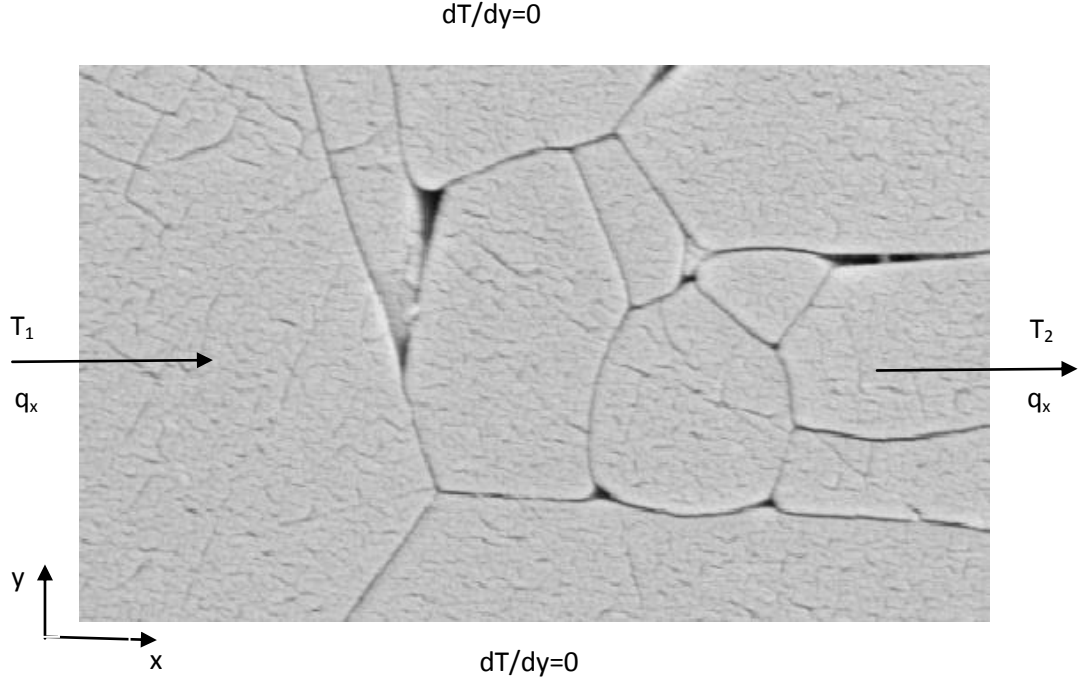
Isı denklemleri olarak bilinen Eşitlik 2.21'deki ifade ısı iletiminin çözümlenmesinin temel aracıdır. Bu denklemin çözümünden sıcaklık dağılımı bulunur. Eşitlik 2.21'den 2.22 ve 2.23 elde edilerek (x) ve (y) doğrultusundaki ısı iletkenlik değerleri hesaplanır.

$$q_x - q_{x+dx} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \quad (2.22)$$

$$q_y - q_{y+dy} = \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) dy \quad (2.23)$$

Bu iki doğrultudaki sıcaklık dağılımları ve buna bağlı olarak (k_x) ve (k_y) aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır. Yönlerdeki ısı iletkenlik ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Bir boyutlu (x) doğrultusundaki hesaplamalar yapılırken sınır şartları çözüm düzleminde gösterimi Şekil 2.26' da verilmiştir. Dikey doğrultu içinde sınır şartları çözüm düzleminde oluşturularak çözümler yapılmıştır.



Şekil 2.26. Bir boyutlu hesaplamalar için sınır şartları

Sadece (x) doğrultusunda ısı akışı söz konusu olduğunda bu yöndeki ısı iletkenlik değeri farklı büyütmeler için Çizelge 2.6'da verilmiştir. Hesaplama aşamaları aşağıda verildiği gibi uygulanmıştır.

1. Ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmesi durumunda Çizelge 2.3'den değerler alınır. Ana faz malzemesinin ısı iletkenliği sıcaklıkla sabit kabul edilirse 10,765 W/m.K değeri alınır. Her iki durumda da ara faz malzemesinin ısı iletkenliği 0,65 W/m.K alınır.
2. Mesh yapılır. Düğüm sayısı belirlenir.
3. Sabit yüzey sıcaklık sınır şartları olarak $T_1=298$ K, $T_2= 1273$ K alınır. Diğer boyut yalıtımlı olarak kabul edilir.

4. $x=0$ yüzeyindeki ısı akısı değeri Ansys programından hesaplanır.

5. $q = k_x \cdot \frac{dT}{dx}$ eşitliğinden (k_x) hesaplanır.

Çizelge 2.6. Bir boyutlu (x) doğrultusu için sınır şartları ve sonuçlar

Büyütme Oranı	Düğüm sayısı	L_x (mm)	T_1 (K)	T_2 (K)	ΔT (K)	q_x (W/mm ²)	k_x (W/m.K)
25000	91761	421,31	298	1273	975	$14 \cdot 10^{-3}$	6,05
30000	90931	626,24	298	1273	975	$6,04 \cdot 10^{-3}$	3,88
50000	91650	1342,02	298	1273	975	$5,29 \cdot 10^{-3}$	7,29

Bir boyutlu çözümler yapılırken (y) doğrultusu için hesaplanan efektif ısı iletkenliğe ait sonuçlar Çizelge 2.7’de verilmiştir.

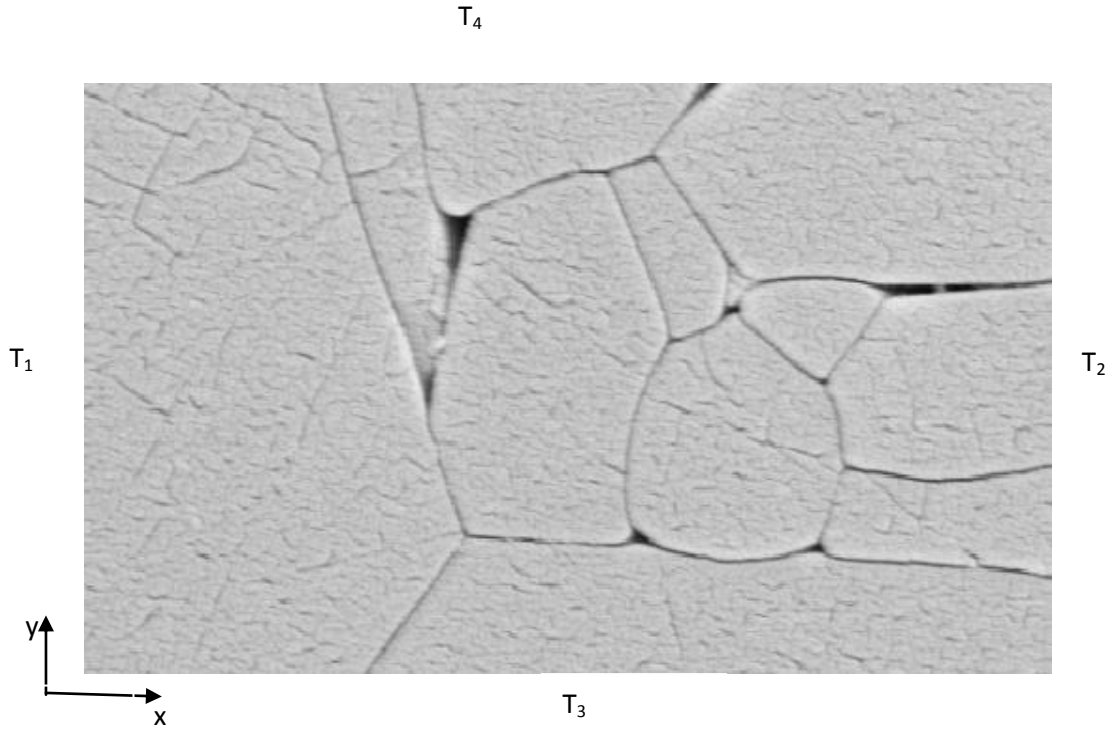
Çizelge 2.7. Bir boyutlu (y) doğrultusu için sınır şartları ve sonuçlar

Büyütme Oranı	Düğüm sayısı	L_y (mm)	T_3 (K)	T_4 (K)	ΔT (K)	q_y (W/mm ²)	k_y (W/m.K)
25000	91761	294,66	298	1273	975	$14,8 \cdot 10^{-3}$	4,50
30000	90931	434,93	298	1273	975	$9,23 \cdot 10^{-3}$	4,12
50000	91650	918,48	298	1273	975	$5,89 \cdot 10^{-3}$	5,55

İki boyutlu hesaplamalar yapılırken Şekil 2.27’deki sınır şartları kullanılmıştır. Hesaplamalar sonunda (x) yönündeki efektif ısı iletkenlik (k_x) Çizelge 2.8 ve (y) yönü efektif ısı iletkenlik (k_y) Çizelge 2.9’da verilmiştir. Hesaplamalar aşağıda verilen aşamalar uygulanarak yapılmıştır.

1. Ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmesi durumunda Çizelge 2.3’den değerler alınır. Ana faz malzemesinin ısı iletkenliği sabit kabul edilirse 10,765 W/m.K değeri alınır. Her iki durumda ara faz malzemesinin ısı iletkenliği 0,65 W/m.K alınır.

2. Mesh yapılır. Düğüm sayısı belirlenir.
3. Sınır şartları $T_1=298$ K, $T_2= 1273$ K, $T_3=298$ K ve $T_4=1273$ K alınır.
4. $x=0$, $x=L_x$, $y=0$ ve $y=L_y$ yüzeylerindeki ısı akısı değerleri sayısal olarak programdan hesaplanır.
5. $q_{fark,x} = (q_{x=0}) - (q_{x=L_x})$ ve $q_{fark,y} = (q_{y=0}) - (q_{y=L_y})$ akı farkları hesaplanır
6. $q_{fark,x} = k_x \cdot \frac{\Delta T}{L_x}$ ve $q_{fark,y} = k_y \cdot \frac{\Delta T}{L_y}$ eşitliklerinden sırasıyla (k_x) ve (k_y) hesaplanır.



Şekil 2.27. İki Boyutlu Hesaplamalar İçin Sınır Şartları

Çizelge 2.8. İki Boyutlu (x) Doğrultusu İçin Sınır Şartları ve Sonuçlar

Büyütme Oranı	Düğüm sayısı	L_x (mm)	L_y (mm)	$T_1=T_3$ (K)	$T_2=T_4$ (K)	ΔT (K)	q_{fx} (W/mm ²)	k_x (W/m.K)
25000	91761	421,31	294,66	298 K	1273 K	975 K	$22,21 \cdot 10^{-3}$	9,6
30000	90931	626,24	434,93	298 K	1273 K	975 K	$11,36 \cdot 10^{-3}$	7,3
50000	91650	1342,02	918,48	298 K	1273 K	975 K	$7,99 \cdot 10^{-3}$	11

Çizelge 2.9. İki Boyutlu (y) Doğrultusu İçin Sınır Şartları ve Sonuçlar

Büyütme Oranı	Düğüm sayısı	L_x (mm)	L_y (mm)	$T_1=T_3$ (K)	$T_2=T_4$ (K)	ΔT (K)	q_{fy} (W/mm ²)	k_y (W/m.K)
25000	91761	421,31	294,66	298 K	1273 K	975 K	$19,5 \cdot 10^{-3}$	5,92
30000	90931	626,24	434,93	298 K	1273 K	975 K	$12,5 \cdot 10^{-3}$	5,6
50000	91650	1342,02	918,48	298 K	1273 K	975 K	$7,21 \cdot 10^{-3}$	6,8

Tek boyutlu veya çok boyutlu çözümlerde elde edilen sonuçlara bakıldığında birbirlerinden aşırı uzak değerler olmadığı görülebilir. Ancak değerlerin birbirlerine oranları dikkate alındığında büyük sapmaların olduğu da gözden kaçmamalıdır. Bu durumda malzeme iç dokusuna bağlı olarak ısı geçiş yönüne ve malzemenin konumuna göre ısı iletkenlik değişmektedir. Bu malzemenin bütünü temsil edebilecek bir görüntü ancak en iyi sayısal sonuç olarak değerlendirilebilir. Bu da daha küçük büyütme oranları ve alan oranlarının neredeyse sabitlendiği noktalar olarak gösterilebilir. Büyütme oranı 25000 ele alınarak bir inceleme yapıldığında ara faz ısı iletkenliğinin değişken olduğu durumda bir boyutlu (k_x) = 6,05 ve (k_y) = 4,5 olurken iki boyutlu durumda (k_x) = 9,6 ve (k_y) = 5,92 olmaktadır. Bu değerler karşılaştırıldığında bir ve iki boyutlu çözümlerden elde edilen sonuçlar birbirinden farklı çıkmaktadır. Bu beklenen bir durumdur.

2.3.4. Karma Malzemelerin İçyapı Geometrisinin Isıl İletkenliğe Etkisi

Karma malzemelerin ısı iletkenliğini belirlemek için geliştirilen sayısal model kullanılarak içyapı geometrisi ve alan oranlarının efektif ısı iletkenliğe etkisi incelenmiştir. Gazbeton hava ve kuvarsitten oluşan karma bir malzemedir. Bu çalışmada değişik hava kuvarsit konsantrasyonları ve değişik geometriler için çözümler yapılmıştır.

Karma malzemelerin içyapı geometrilerinin ısı iletkenliğe etkisi literatürde bazı çalışmalarda değerlendirilmiştir. M. Qin⁽³⁵⁾ ve arkadaşları gözenekli bina malzemelerindeki geçici ısı ve nem transferinin değerlendirilmesiyle ilgili dinamik bir model sunmuşlardır. Sunulan bu modelle malzemelerdeki ısı ve nem içeriği dağılımının kolayca elde edilebildiği görülmüştür. Deneysel ölçümler yapılmış ve gazbetonun içyapısının ısı iletkenliğe etkisi gösterilmiştir.

A. Bouguerra⁽³⁶⁾ ve arkadaşları yüksek gözenekli bina malzemelerin termal geçirgenliği, termal yayılma kuvveti ve ısı kapasitesi değerlerinin deneysel olarak ölçümlerini yapmışlar ve bunları teorik değerlerle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak mukayese iyi bir uyum göstermiştir. E. G. Toprak⁽³⁷⁾, gazbeton malzemesinden elde edilen ısı yalıtım malzemesinin özelliklerinin araştırılması ve yapı kabuğunda kullanım olanakları üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Yalıtım malzemesinin SEM görüntüleri kullanılarak içyapının ısı iletkenlik değerine etkisi gösterilmiştir.

Sayısal olarak ısı iletkenliği hesaplamak için sayısal model geliştirilmiştir. Gazbetonun içerisindeki kuvarsit ara faz, hava ana faz alınarak çözümleme yapılmıştır. Gazbeton üretiminde kuvarsit SiO₂ miktarı en az % 90, Fe miktarı en çok

% 2 olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle gazbeton içerisindeki kuvarsit için ısı iletkenliğin sıcaklıkla değişmediği kabulü yapılarak⁽³⁸⁾ ($k_1=3$ W/m.K) değeri alınmıştır. Havanın ısı iletkenliğinin (k_2) sıcaklıkla değiştiği kabulü yapılarak izelge 2.10'daki değerler kullanılmıştır.

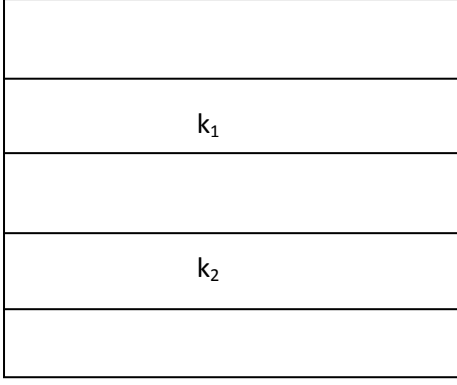
Çizelge 2.10. Havanın Değişik Sıcaklık Değerlerindeki Isıl İletkenliği

Sıcaklık (°C)	100	200	400	500	600	700	800	900	1000
($k \cdot 10^{-3}$) (W/m.K)	9.34	18.1	33.8	40.7	46.9	52.4	57.3	62	66.7

Karma malzemenin efektif ısı iletkenliği hesaplanırken bir boyutlu ısı geçişi kabulleri yapılarak sabit yüzey sıcaklık sınır şartı kullanılmıştır. Isı akısı hesaplamalarında (x) doğrultusu kullanılmıştır. özümelerde kullanılan karma malzeme (gazbeton) için üç değişik içyapı geometrisi oluşturulmuştur. şekil 2.28'de kare geometriden oluşan ana ve ara faz malzemeler değişik hacim oranlarında kullanılmıştır. şekil 2.29'da dikdörtgen elemanlardan oluşan geometri kullanılmıştır. Kare elemanlarda olduğu gibi dikdörtgen elemanlarda da değişik alan oranları kullanılmıştır.

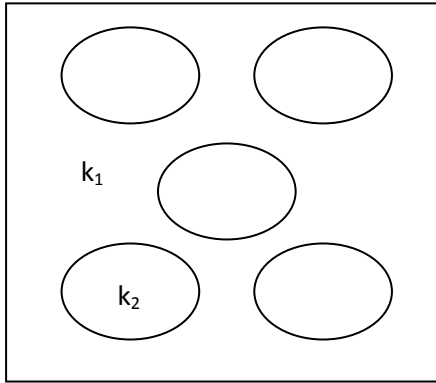
k_1				
			k_2	

şekil 2.28. Kare Elemanlardan Oluşan Geometrik Yapı



Şekil 2.29. Dikdörtgen Elemanlardan Oluşan Geometrik Yapı

Şekil 2.30'da dairesel elemanlardan oluşan geometrik yapı kullanılmıştır. Dairesel elemanlardan oluşan geometri gazbeton malzemesi için en uygun çözümler olmaktadır. Gazbeton malzemesinin mikro yapı (SEM) görüntüleri incelendiğinde karma malzeme içerisindeki hava dairesel geometriye uygundur. Dairesel geometriye sahip hava kuvarsit içerisinde değişik oranlarda bulunmaktadır. Bu oranlar kullanılarak karma malzemenin efektif ısı iletkenlik hesaplanmıştır.



Şekil 2.30. Dairesel Elemanlardan Oluşan Geometrik Yapı

Karma malzemenin geometrisine ait çözümler yapıldıktan sonra ara faz ve ana faz malzemelerin alan oranlarından porozite değeri belirlenir. Bu belirlenen

porozite oranlarından birim hacim ağırlığı tespit edilir. Porozite oranlarından birim hacim ağırlığının belirlenmesi için Çizelge 2.11'deki değerler kullanılır.

Çizelge 2.11. Gazbetonun Çeşitli Birim Ağırlıkları İçin Porozitesi⁽³⁷⁾

Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Porozite (%)
310 – 400	85 – 88
410 - 500	81 – 85
510 – 600	77 – 81
610 – 700	73 – 77
710 – 800	69 – 73

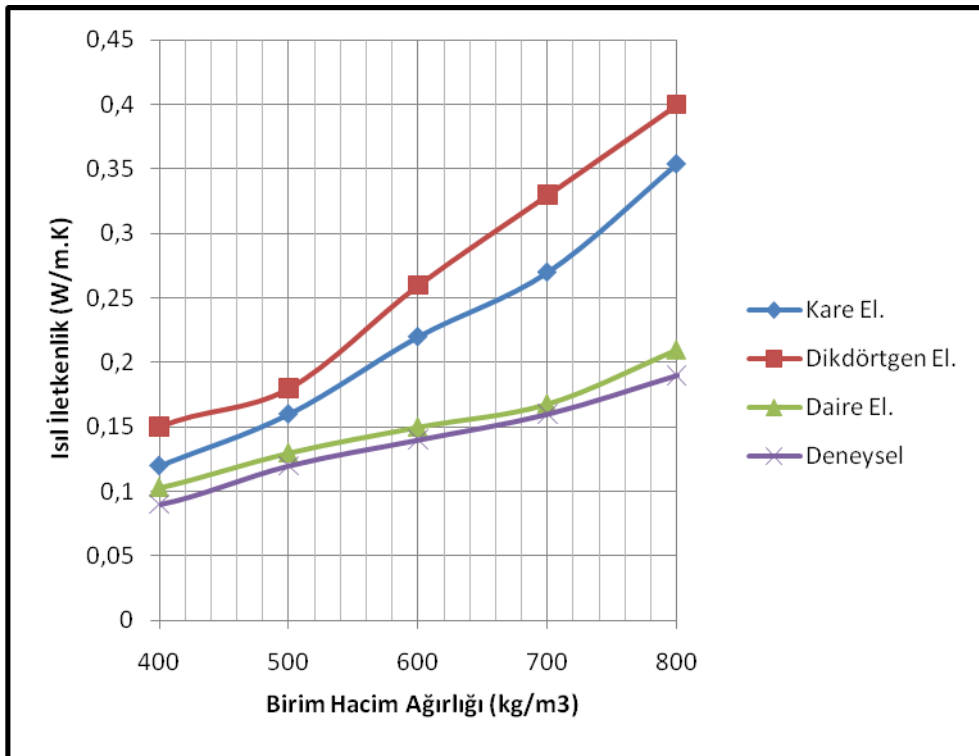
Bulunan birim hacim ağırlığı değerlerine karşılık gelen ısı iletkenlik değerleri Çizelge 2.12'de verilmiştir. Çizelge 2.12'de kare, dikdörtgen ve dairesel geometrilerden elde edilen değerler gazbeton malzemesinin deneysel sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Dairesel elemanlarla yapılan çözümler deneysel sonuçlara yakın değerler vermektedir. Değişik geometrilerde (kare, dikdörtgen) ısı iletkenliklerde sapmalar olmaktadır.

Çizelge 2.12. Gazbetonun Çeşitli Birim Ağırlıkları İçin Isıl İletkenlik Değerleri

Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	k(W/m.K) Kare Eleman	k(W/m.K) Dikdörtgen Eleman	k(W/m.K) Daire Eleman	k(W/m.K) Deneysel ölçüm ⁽³⁷⁾
300	0,08	0.09	0.085	0,08
400	0.12	0.15	0.103	0,09
500	0.16	0.18	0.13	0.12
600	0.22	0.26	0.15	0,14
700	0.27	0.33	0.168	0,16
800	0.354	0.4	0.21	0,19

Şekil 2.31’de değişik iç yapı geometrilerinde yapılan sayısal çözümler ile deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Kare ve dikdörtgen içyapılı malzemeler porozite değeri arttıkça sayısal çözümlerdeki hatalar artmaktadır. Dairesel geometrili içyapıya sahip karma malzemenin ısı iletkenlik değeri deneysel değere yakın sonuçlar vermektedir.

İçyapı geometrisinin yanlış seçilmesi durumunda bu çalışmada geliştirilen sayısal model hatalı sonuçlar vermektedir. Geliştirilen modelde geometri uygun seçildiğinde sonuçlar düzgün çıkmaktadır. Bu nedenle ısı iletkenliği belirleyen sayısal model için SEM görüntüleri çok önemlidir. Eğer SEM görüntüleri uygun olmasa sayısal çözümlemede hatalar oluşmaktadır.



Şekil 2.31. Gazbetonun Sayısal Modeli ile Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Analitik Yöntemlerden Elde Edilen Bulgular

Analitik çözümler elde edilirken ampirik ifadeler kullanılmış ve sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelgedeki değerler elde edilirken ana faz ısı iletkenliği sabit 10,765 W/m.K, ara faz ısı iletkenliği 0,65 W/m.K alınarak değişik büyütme oranları için efektif ısı iletkenlik elde edilmiştir. Değişik büyütme oranlarındaki hesaplamaların nedeni sayısal değerlerle karşılaştırmada kolaylık sağlamaktır. Çizelge (3.1)'de verilen değerlere bakıldığında seri ve paralel model alt ve üst ısı iletkenlik değerlerini vermektedir.

Çizelge 3.1. Analitik Çözümde Elde Edilen Sonuçlar

Büyütme Oranı	Hacimsel Oran (ϕ)	Efektif Isıl İletkenlik (k_e)			
		Seri Model	Paralel Model	Maxwell	Geometrik Ort.
25000	0,918	4,31	10,325	9,93	9,88
30000	0,911	4,62	10,43	9,96	10
50000	0,951	6,25	10,86	10	10,97

Kesici uç numunesinin sıcaklığa bağlı olarak analitik yöntemlerle yapılan çözümlerinde Çizelge 3.2'deki değerler elde edilmiştir. Çözümler yapılırken ana faz malzemesinin Çizelge 2.3'deki sıcaklığa bağlı ısı iletkenliği değerleri ara faz için ısı iletkenlik sabit 0,65 W/m.K değeri alınmıştır. Ana faz ve ara fazın karma malzeme içerisindeki bulunma oranları hacim oranı olarak kullanılır.

Çizelge 3.2. Sıcaklığa Bağlı Analitik Çözümler

Sıcaklık (K)	Efektif Isıl İletkenlik (W/m.K)			
	Geometrik Model	Seri Model	Paralel Model	Maxwell Modeli
298	17,11	5,56	19,40	10,26
373	13,06	5,11	14,14	8,66
473	11,82	4,92	12,57	8,08
573	10,88	4,76	11,35	7,59
673	9,94	4,58	10,20	7,09
773	9,28	4,43	9,39	6,71
873	8,84	4,33	8,85	6,44
973	8,31	4,19	8,20	6,11
1073	7,70	4,02	7,47	5,71
1273	6,74	3,71	6,31	5,05

Bazı analitik metotların çözümlerinin sonuçları gerçek değerden uzaktır. Çünkü analitik çözümler düzgün içyapılı malzemelerde doğru sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada kullanılan kesici uçlar karmaşık içyapıya sahip oldukları için bazı analitik modellerin sonuçları deneysel ölçümlerden ve sayısal hesaplamalardan uzaktır

Baysal⁽¹⁵⁾ doktora çalışmasında silindirik elyaf ve tanecik katkılı karma malzemelerin efektif ısı iletkenliklerini analitik olarak hesaplamıştır. Ana ve ara fazdan oluşan karma malzemelerin değişik geometriler için analitik çözümleri ampirik ifadeler kullanılarak yapılmıştır. Ana faz ve ara faz malzemesinin katkı oranlarını değiştirilerek analitik çözümler elde edilmiştir. Baysal⁽¹⁵⁾ alan oranları (0,20)- (0,55) aralığında değişen karma malzemeler kullanmıştır. Bu çalışmada alan oranları (0,9)-(0,98) aralığında değişmektedir. Karma malzemelerde ısı iletkenlik değeri iç yapı kompozisyonun, katkı oranlarının değişiminin ve ana faz

malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmesi dikkate alınarak hesaplanmaktadır. İç doku yapısının ve tane boyutlarının ısı iletkenliğe etkisi iki çalışmada ortak olarak dile getirilmiştir. Baysal⁽¹⁵⁾ sadece analitik çözümlerle ısı iletkenliği farklı katkı oranları kullanarak araştırmıştır.

Pakdemirli ve Şahin⁽³⁰⁾ katılarda ısı iletkenlik sayısal ve analitik olarak belirlemişlerdir. Analitik hesaplamalar yapılırken bir boyutlu ısı iletimi kabullerini ve sabit sıcaklık sınır şartını kullanmışlardır. Katı içyapısı düzgün dağılımlı kabul edilen bir malzeme için Fourierin ısı iletimi ifadesi kullanılarak analitik çözümler elde edilmiştir. Sayısal çözümlerde sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Doktora çalışmasında içyapısı düzgün dağılımlı olmayan bir malzeme için sabit sıcaklık sınır şartı kullanılarak bir boyutlu ısı iletkenlik hesaplamaları yapılmıştır. Pakdemirli ve Şahin⁽³⁰⁾ çalışmasında malzeme iç dağılımını düzgün kabul ederek sonuçlara ulaşmışlardır. Karma malzemenin içyapı geometrileri için belirli kabuller yapıldığı zaman analitik çözümler yapılabilmektedir.

3.2. Elektron Mikroskop Görüntüleri (SEM) Bulguları

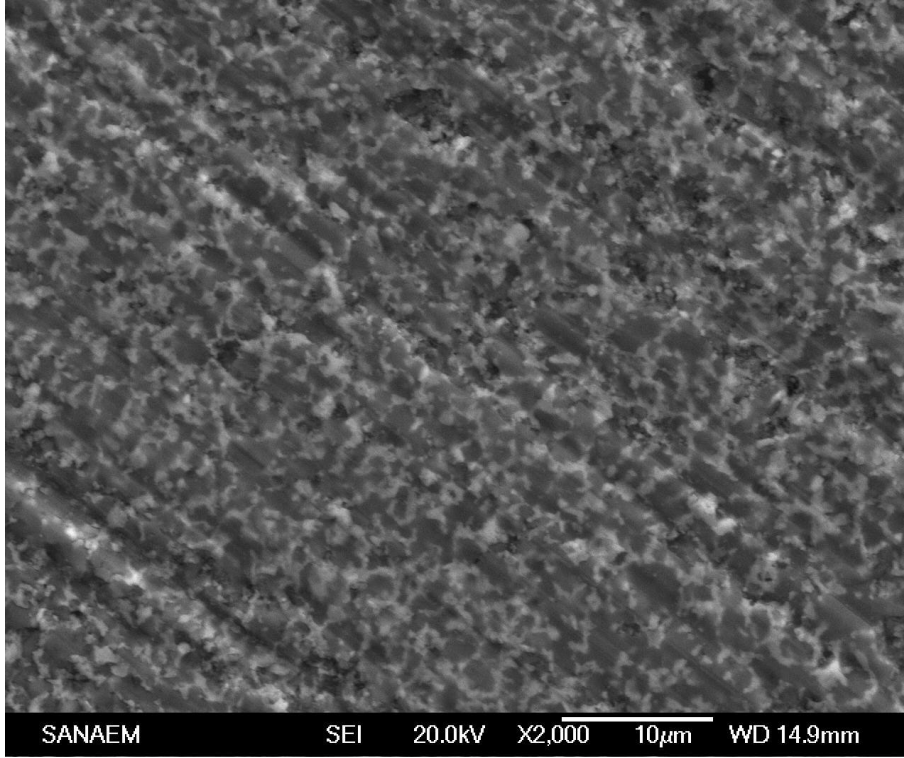
Çalışmada kullanılmak üzere 21 adet numune temin edilmiştir. Bu numunelerden dört tanesinin yüzey dağılması yapılmış ve SEM görüntüleri alınmıştır. Çizelge 3.3'de SEM görüntüleri alınan numuneler ve bunların temel özellikleri verilmiştir. Anadolu Üniversitesi tarafından üretilen seramik uç numunesi içinde SEM görüntüleri aynı üniversitenin Elektron Mikroskop Laboratuvarında alınmıştır.

Literatürde karma malzemelerin iç yapı fotoğraflarını almak için dağlama ve parlatma gibi hazırlama işlemleri genellikle deneme yanılma metodu ile yapılmaktadır. Görüntü alınacak malzemenin hazırlama işlemleri içeriğindeki katkı malzemeleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu hazırlık işlemlerinin süre ve şekli genellikle laboratuvar ortamında deneme yanılma metodu ile yapılmaktadır.

Çizelge 3.3. Sem Görüntüleri Alınan Numuneler ve Özellikleri

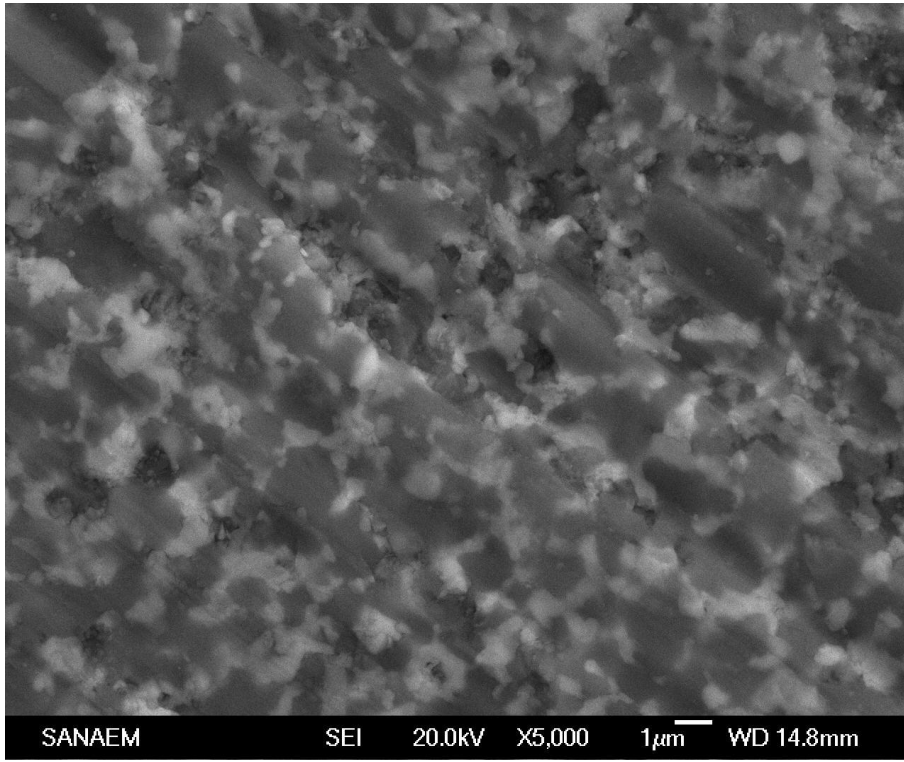
No	Uç Markası	Katalog numarası	Uç modeli	Uç temel özellikleri
1	Kennametal	SNGN120408	KY2000	Sialon
2			KY1310	
3			KY1540	
4			KY161	Al ₂ O ₃ +TiC
5	Anadolu Üniversitesinde Üretilen Uç			Sialon esaslı kesici uç

Dağlama işlemleri yapıldıktan sonra numuneler elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu kullanılarak değişik büyütme oranları için SEM görüntüleri elde edilmiştir. İlk olarak (1) numaralı numuneden (2000) büyütme oranında Şekil 3.1’de verilen SEM görüntüsü alınmıştır. Bu büyütme oranında elde edilen SEM görüntüleri ana ve ara faza ait hiçbir bilgi vermemektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda 2000 büyütme oranında malzemenin içyapısına ait detaylı görüntüler elde edilmiştir. Bu çalışmada alınan görüntü içyapıya ait bir bilgi vermemektedir.



Şekil 3.1. (1) Numaralı Numuneye Ait Büyütme Oranı (2000) Olan Görüntüsü

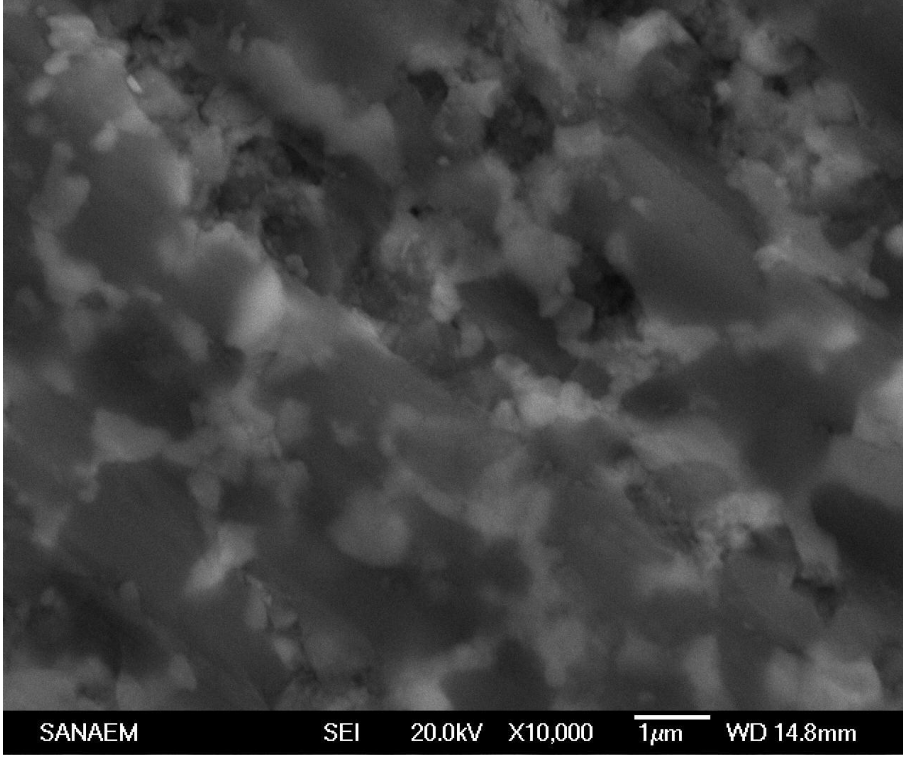
Söz konusu numunenin (5000) büyütme oranındaki SEM görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir. Bu büyütme oranında görüntü alınmadan önce yüzey üzerinde temizleme ve parlatma yapılmıştır. Numune yüzeyindeki pürüzler yansıyan ışıkta görüntü kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle objektifin önüne halka disk şeklinde “faz geçirme” halkaları konmuştur. Bu metotla genellikle mikro yapı görüntüleri elde edilmektedir.



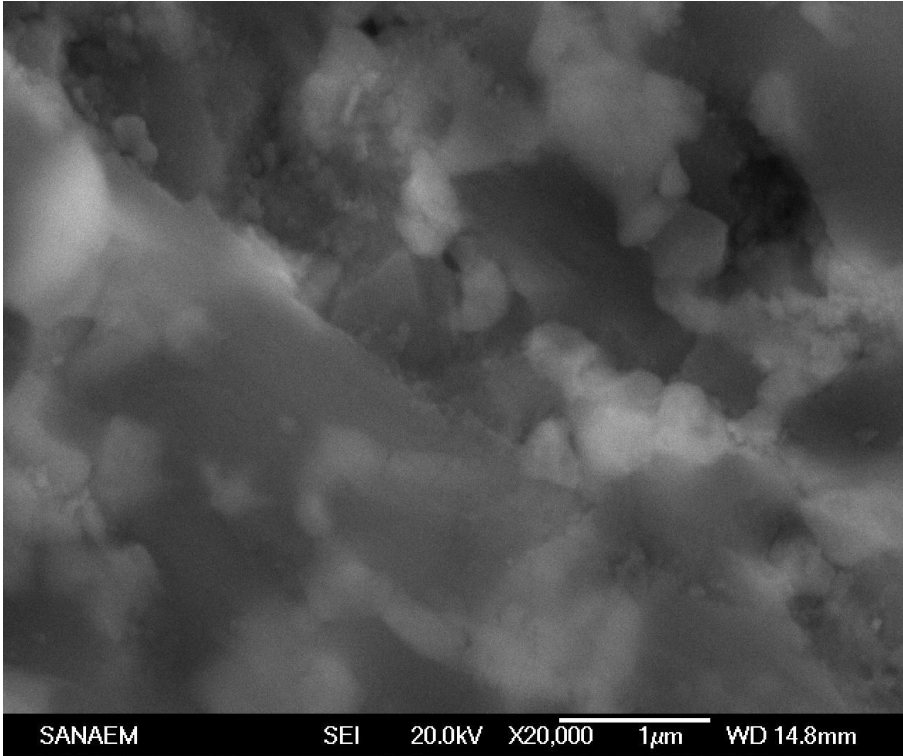
Şekil 3.2. (1) Numaralı Numunenin Büyüme Oranı (5000)'deki Görüntüsü

Sadece mükemmel parlatılmış numune yüzeylerinden sağlıklı görüntüler almak mümkün değildir. Dağlanmış numune yüzeylerinde durum farklıdır. Büyütme oranları arttıkça daha detaylı fotoğrafların alınabilmesi için dağlama işleminin düzgün ve hassas yapılması gerekmektedir. (1) numaralı numunenin SEM görüntülerinin büyüme oranları (10000) ve (20000) olarak artırılmıştır. Bu büyüme oranlarında elde edilen görüntüler sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir. Büyütme oranlarının artırılmasına rağmen ana faz ve arafaza ait detaylı fotoğraflar alınamıştır.

Bu çalışmanın temel amacını teşkil eden ucun görüntülerinden ısı iletkenliğinin hesaplanabilmesi olduğundan numunelerin daha başkalarında görüntü alma işlemi zorlanmamıştır. Dağlama ve parlatma işlemleri değişik zaman ve kimyasallarla denenerek görüntü alınabilirliği açıktır.



Şekil 3.3. (1) Numaralı Numunenin Büyütme Oranı (10000)'deki Görüntüsü



Şekil 3.4. (1) Numaralı Numunenin Büyütme Oranı (20000)'deki Görüntüsü

3.3. Element Analizi (EDS) Bulguları

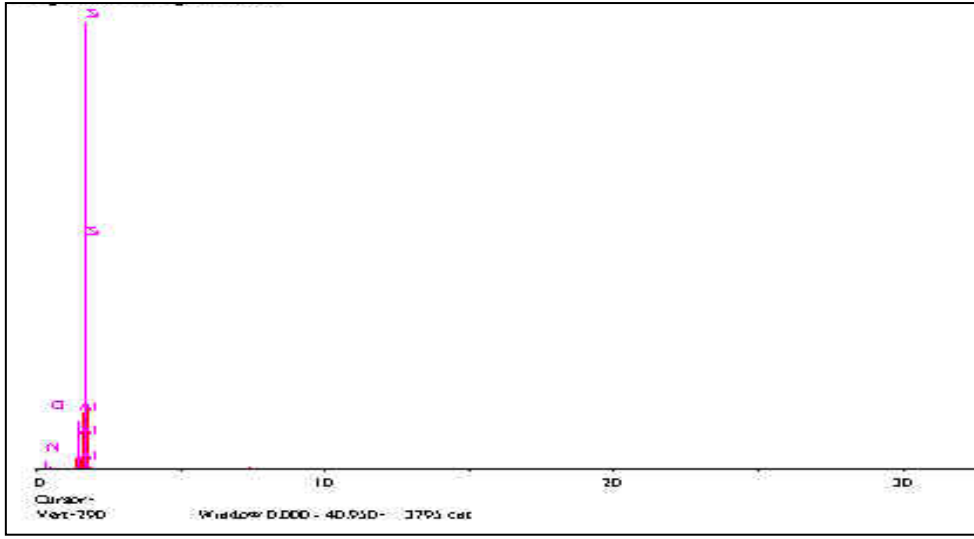
Çalışmada Sialon esaslı, silisyum nitrür esaslı ve alüminyum oksit esaslı uçlara ait element analizi sonuçları elde edilmiştir. Silisyum nitrür esaslı seramik olan Sialon, silisyum nitrür ve alüminyum oksitin bir katı çözeltili alaşımıdır. Sialon esaslı seramik kesici uçlara ait bağ karakterleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Bu malzemeler iyonik ve kovalent karakterde bağ yapabilirler. Seramiklerde atomlar arasındaki iyonik bağ veya ortaklaşım bağ yüzdeleri önemlidir. Bu yüzdeler ne tür bir kristal yapı olacağını büyük ölçüde belirler.

Çizelge 3.4. SiAlON Bileşiklerin Bağ Karakterleri⁽²⁹⁾

Seramik	Bağ Yapan Atomlar	Elektronegativite Farkı	% İyonik Karakter	% Kovalent Karakter
SiAlON	Si-Al-O-N	1,7	45	55

Sialon esaslı olan (1) numaralı deney numunesine ait element analizi grafiği Şekil 3.5’de verilmiştir. EDS sistemi tarafından maximum 20 kV’luk enerji verilmesi sonucunda numuneden yansıyan elektronlardan elde edilen sonuçların grafiğe aktarılmış hali ve numunenin içeriğinde bulunan elementler grafikte değişik büyüklükte gösterilmiştir. Grafikte (x) eksenine numuneye verilen enerji miktarını (y) eksenine ise elementin bulunma yüzdesini göstermektedir. Numuneye EDS sistemi tarafından enerji verilmeye başladığı anda ilk yansıyan element azottur. Enerji miktarı arttıkça diğer elementler yansımaktadır.

Şekil 3.5’de verilen grafiğin incelenmesi durumunda (1) numaralı numuneye ait elementlerin yüzdelik oranları ise Çizelge 3.5’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde numune içerisinde Sialon yapısında bulunan silisyum, alüminyum oksijen ve azot miktarları görülmektedir. Bu element oranları incelenerek kesici uç numunesine ait kimyasal yapı rahatça belirlenebilir. Silisyum elementinin oransal olarak büyüklüğü kimyasal yapının kovalent karakterde bağ oranını artırmaktadır.

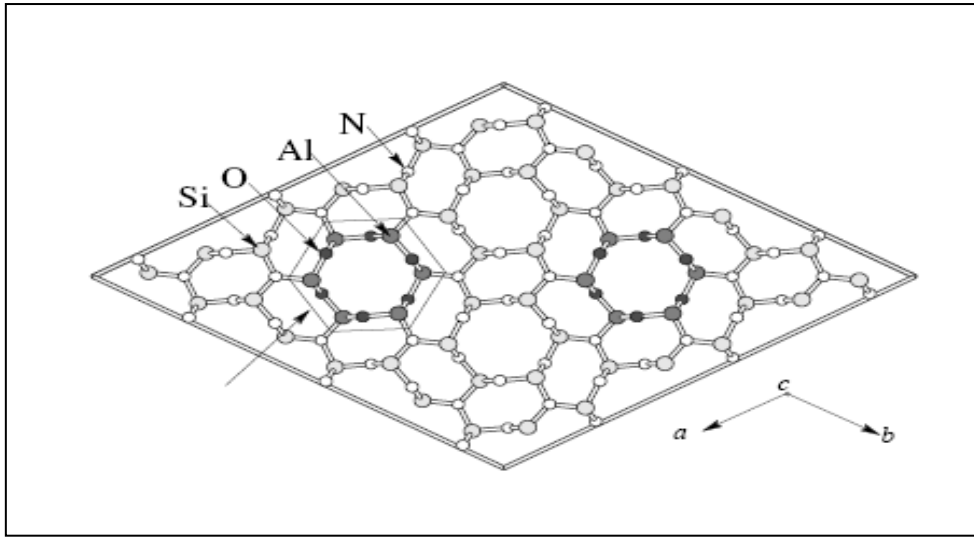


Şekil 3.5. (1) Numaralı Numunenin EDS Grafiği

Çizelge 3.5. (1) Numaralı Numunelerin Element Analizi Sonuçları

Element	Bulunma oranı (%)
Karbon (C)	0
Azot (N)	0,005
Oksijen (O)	0,006
Alüminyum (Al)	9,265
Silisyum (Si)	90,724
Titanyum	0

Sialon esaslı karma malzemeler için atomik yapı Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.6 incelendiğinde silisyum atomlarının miktar olarak çokluğu ve meydana getirdiği bağların alüminyum ve azota göre daha fazla olduğu görülmektedir. Silisyum alaşımlarda kimyasal tepkilere karşı dayanımlı olduğundan dolayı karma malzemelerin dayanımını ve elastikiyetini artırır. Bu numune içerisinde Silisyum elementinin fazla olması ve meydana getirdiği bağların güçlü olmasından dolayı dayanım üst derecededir.



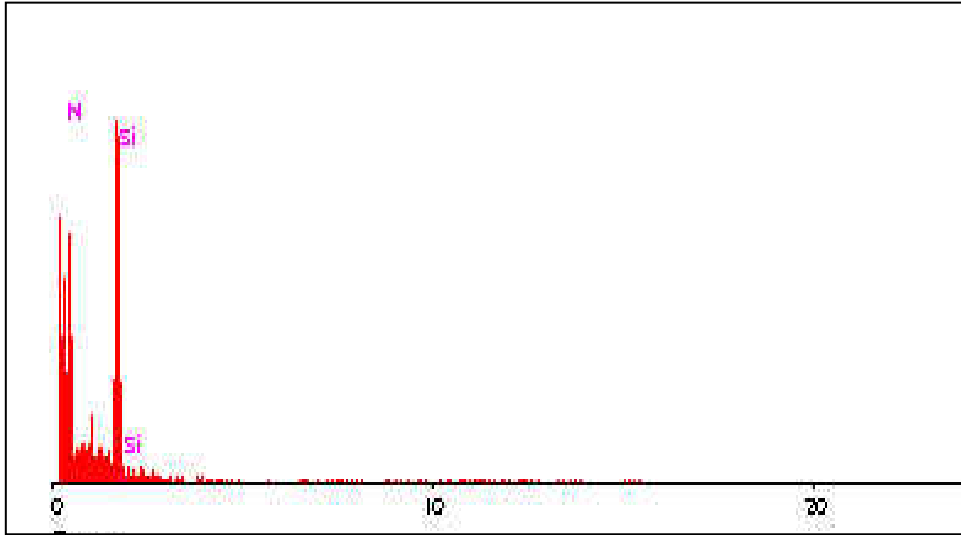
Şekil 3.6. Sialon Esaslı Karma Malzemenin Atomik Yapısı

Silisyum nitrür mühendislik seramikleri içinde özellikler açısından beklide en iyi bileşime sahip olanıdır. Silisyum nitrür 1800 °C'ın üstünde önemli ölçüde ayrışır ve bu nedenle doğrudan sinterlenemez. Fakat son yıllarda Silisyum nitrür esaslı seramiklerde bu sinterleme problemleri çözülmüştür. Çizelge 3.6'da Si_3N_4 bileşiklerin bağ karakterleri verilmiştir. Kovalent (ortaklaşım) bağı yapma yüzdesi fazladır. Seramik kesici uçlarda da bu bağ yapma karakteri vardır.

Çizelge 3.6. Si₃N₄ Bileşiklerin Bağ Karakterleri⁽²⁹⁾

Seramik	Bağ Yapan Atomlar	Elektronegativite Farkı	% İyonik Karakter	% Kovalent Karakter
Silisyum nitrür	Si-N	1,2	30	70

Silisyum Nitrür (Si₃N₄) esaslı (6) numaralı numuneye ait element analizi Şekil 3.7’de verilmiştir. Silisyum nitrür esaslı numuneler içerisinde bulunan silisyum ve azot miktarları EDS sistemi ile tespit edilmiştir. Bu numunenin içerisinde alüminyum ve diğer elementlerin bulunmaması kovalent karakterde ağ yaptığını gösterir. Elementsel dağılım Çizelge 3.7’de gösterilmektedir.



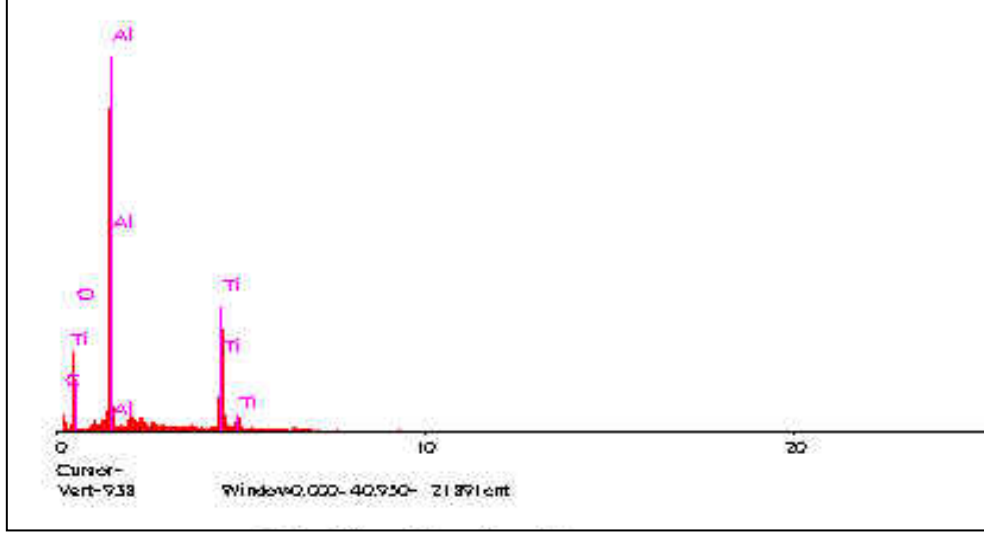
Şekil 3.7. (6) Numaralı Numunenin EDS Grafiği

Alüminyum oksit (Alümina) esaslı seramik kesici uçlara ait bağ karakterleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Alüminada elektonegatiflik farkı yüksek olduğu için iyonik bağ yapmaya uygundur. Kullanılan alüminyum oksit esaslı deney numuneleri titanyum karbür (TiC) ve zirkonya (ZnO) ile takviyeli olarak üretilmiştir. EDS sistemi tarafında zirkonya miktarı tespit edilememektedir. Bu nedenle bu deney numuneleri için EDS sonuçları verilememiştir. Karmaşık oksit yapılarda kübik sistem esastır.

Çizelge 3.8. Alüminyum Oksit Esaslı Deney Numunelerinin Bağ Karakterleri⁽³⁰⁾

Seramik	Bağ Yapan Atomlar	Elektronegativite Farkı	% İyonik Karakter	% Kovalent Karakter
Alüminyum oksit	Al-O	2,0	63	37

Al₂O₃-TiC esaslı (4) numaralı numunenin EDS sistemi element analizi sonuçlarına ait grafik Şekil 3.9’da verilmiştir. Karbon miktarı grafikte gösterilmemiştir. Laboratuarda kullanılan EDS sistemi karbon miktarını ölçmemektedir. Bu nedenle sonuçlar grafikte gösterilmemiştir. Grafik incelendiğinde Alüminyum ve titanyum elementleri yapı içerisinde ağırlıklı olarak yer almaktadır. Titanyum meydana getirdiği alaşımlarda alüminyum elementi gibi tane küçültücü etkiye sahiptir. Al₂O₃-TiC esaslı numunelerin SEM görüntüleri incelendiği zaman küçük taneli bir mikro yapı ile karşılaşılmaktadır.



Şekil 3.9. (4) Numaralı Numunenin EDS Grafiği

Al_2O_3 -TiC esaslı (4) numaralı numunenin EDS analizlerinden elde edilen element analizi sonuçları Çizelge 3.9’da verilmiştir. Karbon miktarı bulunurken Alüminyum, oksijen, titanyum miktarlarının toplamdan çıkarılması ile tespit yapılmıştır.

Çizelge 3.9. (4) Numaralı Numunenin EDS Analizi Sonuçları

Element	Bulunma oranı (%)
Karbon (C)	1,24
Azot (N)	0
Oksijen (O)	5,06
Alüminyum (Al)	65,10
Silisyum (Si)	0
Titanyum	28,6

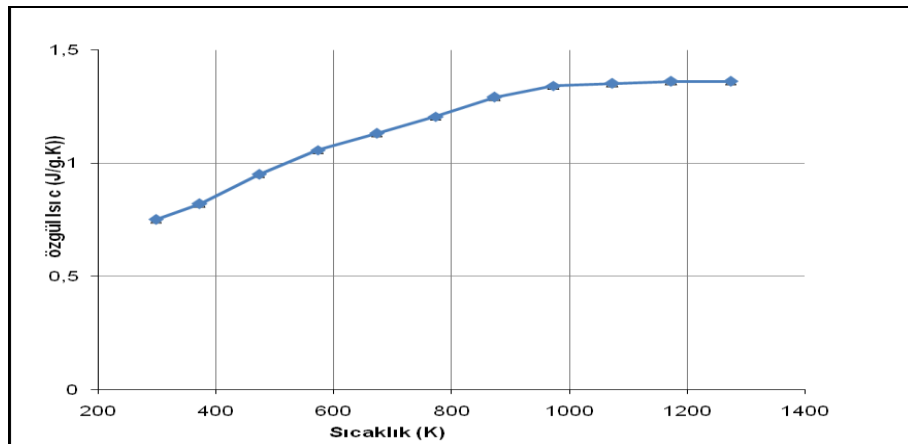
3.4. Özgül Isı, Yoğunluk, Isıl Yayımlım Katsayısı Ölçümleri

Çalışmada diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı ile 8 adet numune için özgül ısı ölçümü yapılmıştır. Bu numunelerin özgül ısı değerleri 1000 K sıcaklıkta ölçülmüştür. Bu numunelere ait sonuçlara Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Bazı Deneysel Numunelerin Özgül Isı Değerleri

No	Uç modeli	Özgül ısı Değeri (J/kg °C)	Uç Özellikleri
1	KY2000	63	Alüminyum oksit-nitrür
2	KY3500	8.77	Saf silikon nitrür
3	KY1310	238	Sialon
4	K090	48	Silikon nitrür
5	KY3400	11	CVD kaplamalı saf silikon nitrür kalitesi
6	KY4400	23	Alüminyum oksit ve titanyum karbo-nitrür seramik üzerine A PVD TiN kaplama
7	KY1540	42	Sialon

Sialon esaslı seramik kesici uç için Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında elde edilen sıcaklığa bağlı özgül ısı değerleri Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekil 3.10'daki grafik incelendiğinde 1000 K sıcaklıktan sonra özgül ısı değişmemektedir.



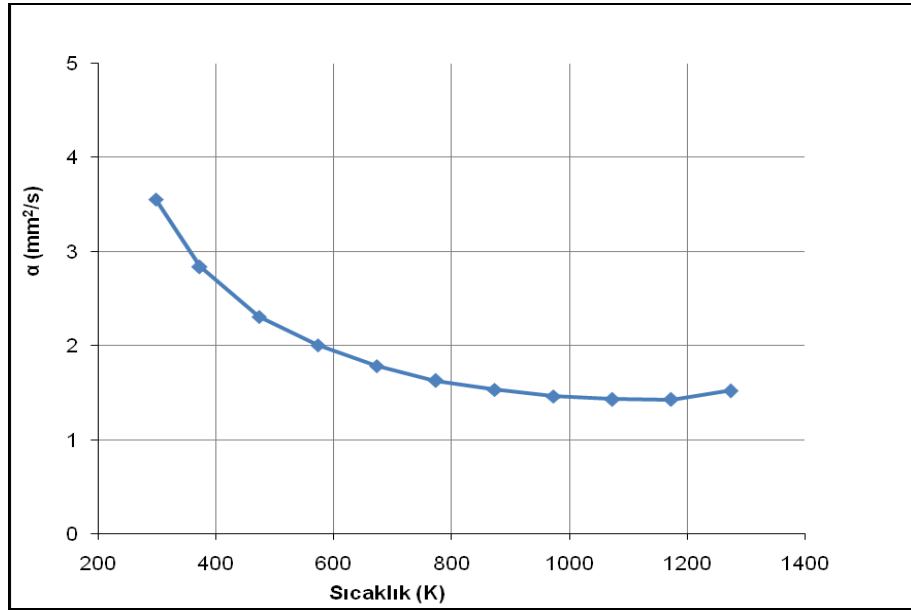
Şekil 3.10. Kesici Uç Numunesinin Özgül Isının Sıcaklıkla Değişimi

Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında üretilen numune için yoğunluk ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuç Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Yoğunluk Ölçüm Sonucu

No	Uç modeli	Yoğunluk Ölçüm Değeri (g/cm ³)	Uç Özellikleri
1	Sialon esaslı	3.37	Sialon esaslı seramik kesici uç

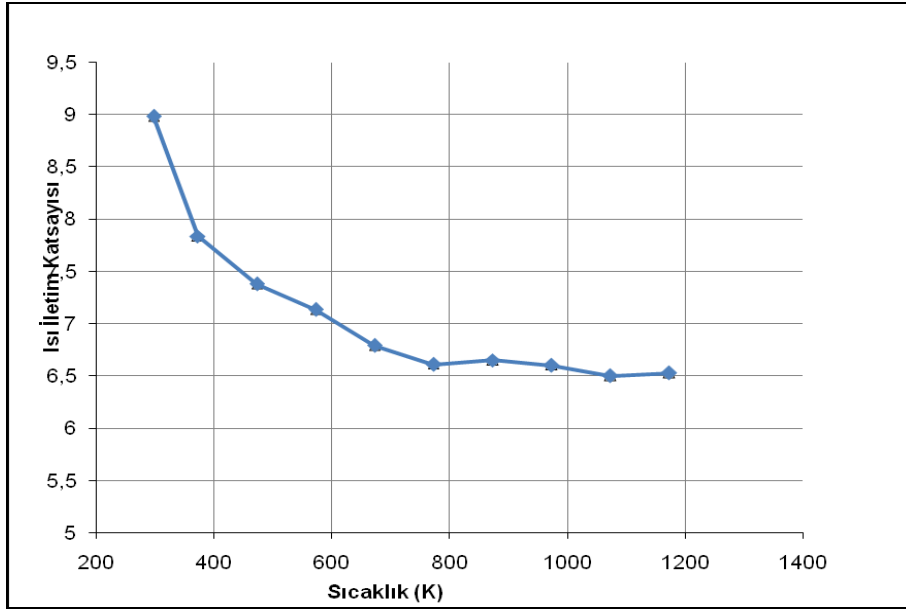
Anadolu Üniversitesinde üretilen Sialon esaslı seramik kesici uç için aynı üniversitede yapılan ısı yayılım katsayısı Netsch Marka LFA 457 model cihazla ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 3.11’de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde ısı yayılım katsayısının sıcaklıkla azaldığı görülmektedir. Sıcaklık değeri 1000 K geçtikten sonra ısı yayılım katsayısı fazla değişmemektedir.



Şekil 3.11. Kesici Uç Numunesinin Isıl Yayılım Katsayısının Sıcaklıkla Değişimi

3.5. Isıl İletkenlik Bulguları

DeneySEL ölçümler Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Bu ölçümlerden alınan sonuçlar Şekil 3.12’de verilmiştir. Şekil 3.12 incelendiğinde 300K ile 400K sıcaklık aralığında efektif ısı iletkenlik çok hızlı değişmektedir. 400 K ile 1200 K aralığında ısı iletkenlik azalmaktadır. Sıcaklık arttıkça karma malzemenin efektif ısı iletkenliği azalmaktadır. Ana faz malzemesinin ısı iletkenlik değeri de sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 3.12. Kesici Uç Numunesinin Isıl İletkenliğinin DeneySEL Sonuçları

Karma malzemelerin efektif ısı iletkenliğinin deneySEL olarak belirlenmesi için literatürde çok değişik çalışmalar yapılmıştır. Kazuyoshi Tatsumi⁽²¹⁾ Sialon malzemelerin kimyasal yapısını, ısı iletkenliklerini analitik ve deneySEL olarak

incelemiştir. Değişik enerji kaynakları altında farklı sıcaklıklarda malzemenin ısı yayılım katsayısını ve özgül ısı değerini belirlemişlerdir. Malzemenin en önemli ısı özelliği olan ısı iletkenlik farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar analitik çözümlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karma malzemenin efektif ısı iletkenliği ana faz malzemesinin ısı iletkenliğiyle değişmektedir. Çalışmada da ısı iletkenlik farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür. Karma malzemenin efektif ısı iletkenliği ana faz malzemesinin ısı iletkenliği ile orantılı olarak azalıp artmaktadır.

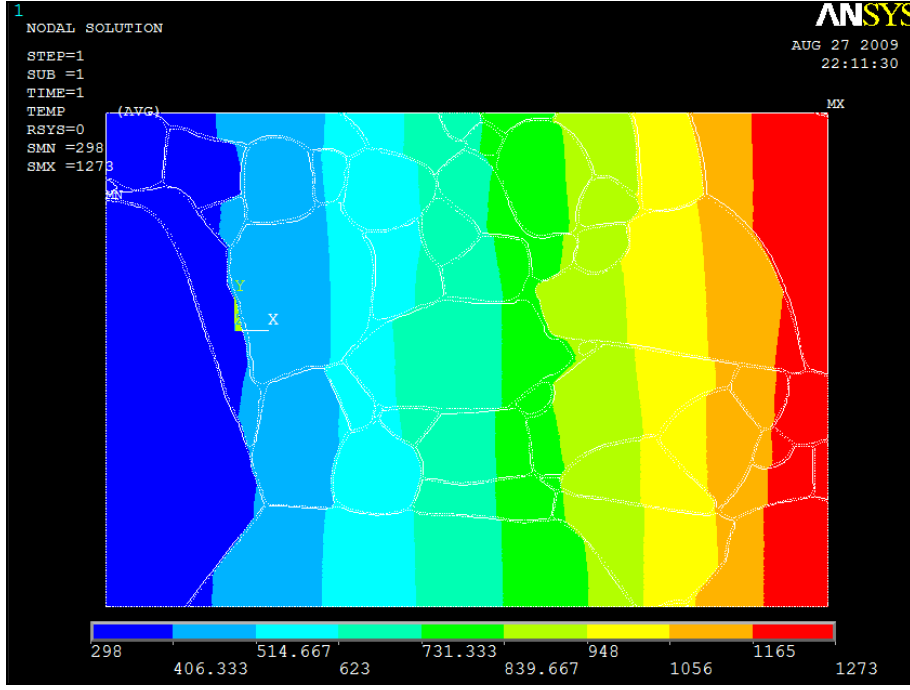
Paula ve arkadaşları⁽²⁷⁾ seramik malzemelerin ısı iletkenliğini laser flash teknolojisi kullanarak hesaplamışlardır. Alümina başta olmak üzere 5 değişik seramik malzemenin ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Değişik sıcaklık değerleri için ısı yayılım katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Alüminanın ısı iletkenliği belirlenirken ısı yayılım katsayısı, yoğunluk ve özgül ısı ölçümleri çalışmada kullanılan metotlarla aynıdır.

Kurama⁽³³⁾ Sialon seramiklerinde ısı transferini deneysel olarak incelemiş ve mikro yapının ısı iletkenliğe etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışmada mikro yapı değişimi ile ısı iletkenliğin değiştiği deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. SEM görüntüleri kullanılarak belirlenen içyapı geometrisine göre ana faz malzemesinin katkı oranlarının artışı karma malzemenin ısı özelliklerini ana faz malzemesine yaklaştırmaktadır. Çalışmada da aynı durum gerçekleşmiştir.

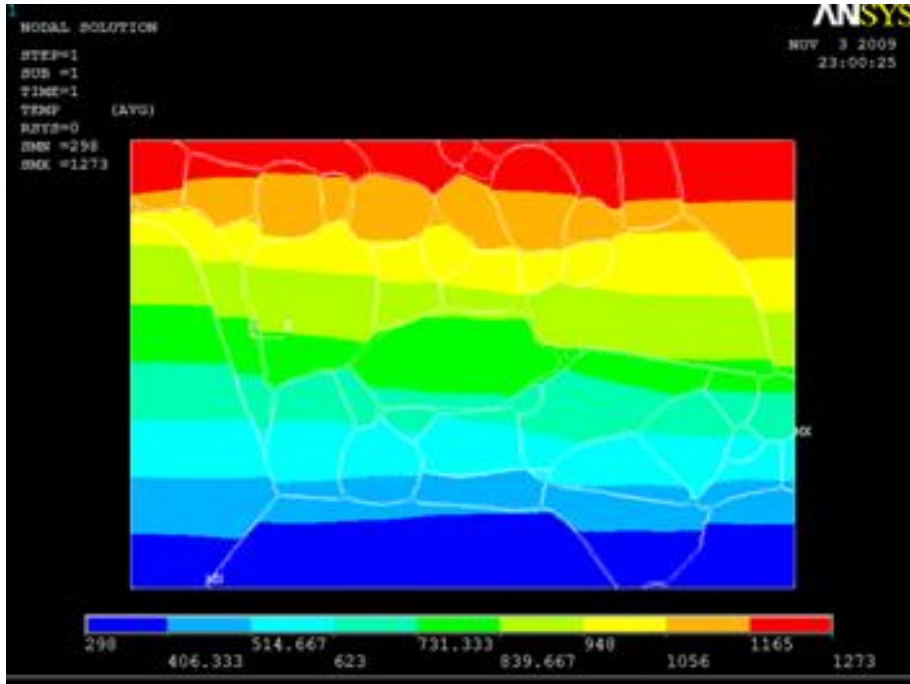
3.6. Sayısal Hesaplama Bulguları

Karma malzemelere ait sayısal çözümler sonlu eleman esaslı bir program aracılığıyla yapılmıştır. Analiz programında SEM görüntüleri kullanılarak sabit yüzey sıcaklık sınır şartı için üç aşamada çözümler yapılmıştır. İlk aşamada sabit yüzey sıcaklık sınır şartı kullanılarak tek boyutlu (x) doğrultusunda malzeme üzerindeki efektif ısı iletkenlik (k_x) hesaplanmıştır. İkinci aşamada sabit yüzey sıcaklığı sınır şartı kullanılarak tek boyutlu ısı geçişi kabulleri yapılarak (y) doğrultusunda (k_y) hesaplanmıştır. Üçüncü aşamada iki boyutlu ısı geçişi kabulleri kullanılarak (x) ve (y) doğrultusunda sabit yüzey sıcaklık sınır şartında çözümler yapılmıştır.

Şekil 3.13 ve 3.14'de sialon esaslı seramik kesici uç numunesine ait bir boyutlu x ve y doğrultularındaki sıcaklık dağılımı verilmiştir. Eş sıcaklık bölgelerine bakıldığında bölge sınırlarında dalgalanma ve düzgün olmayan kenarlar söz konusudur. Bunun nedeni açıkça homojen olmayan iki farklı malzeme bir başka deyişle iki farklı ısı iletkenliğe sahip faz bulunmamasından ve bunların düzgün olmayan bir dağılım göstermemesindedir. Düzgün dağılım olsaydı bölge sınırlarında düzgün olacaktı.

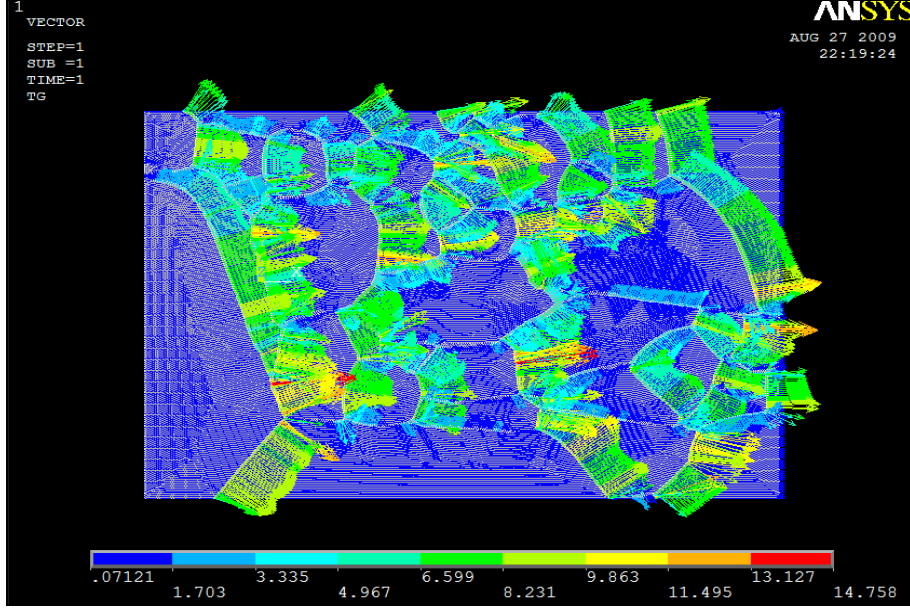


Şekil 3.13. Bir Boyutlu Değişken Özellikte Çözüm İçin Sıcaklık Dağılımı Sonuçları (x doğrultusu)



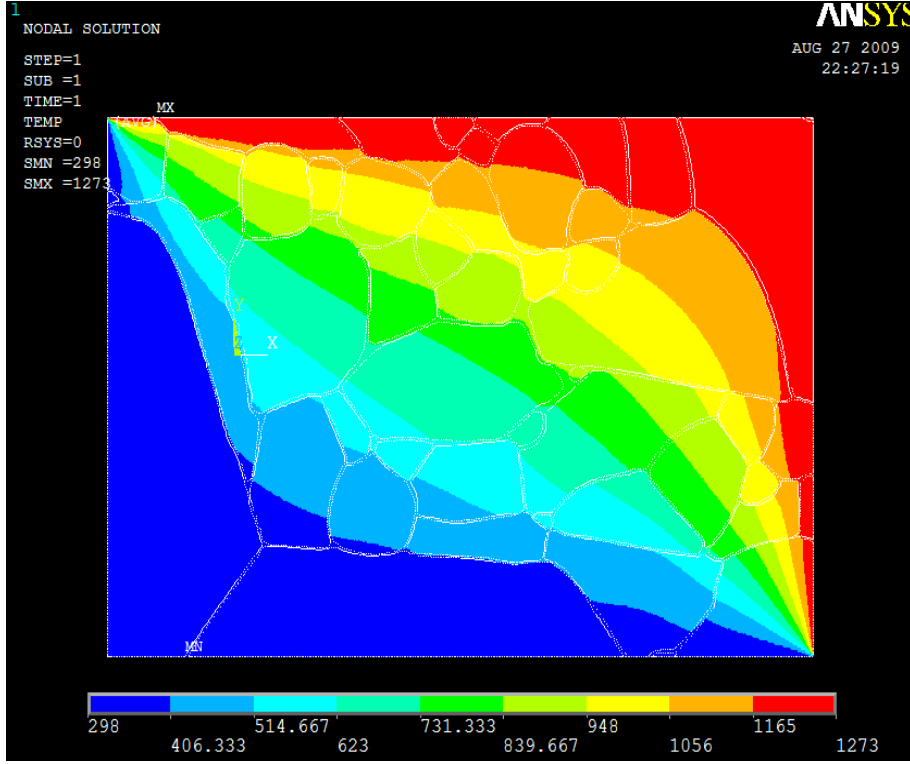
Şekil 3.14. Bir Boyutlu Değişken Özellikte Çözüm İçin Sıcaklık Dağılımı Sonuçları (y doğrultusu)

Şekil 3.15’de bir boyutlu x doğrultusu için çözümlerden elde edilen sıcaklık gradyenleri gösterilmektedir. En yüksek sıcaklık gradyenleri ana faz ve ara faz malzemelerinin birleşim noktalarında olmaktadır.

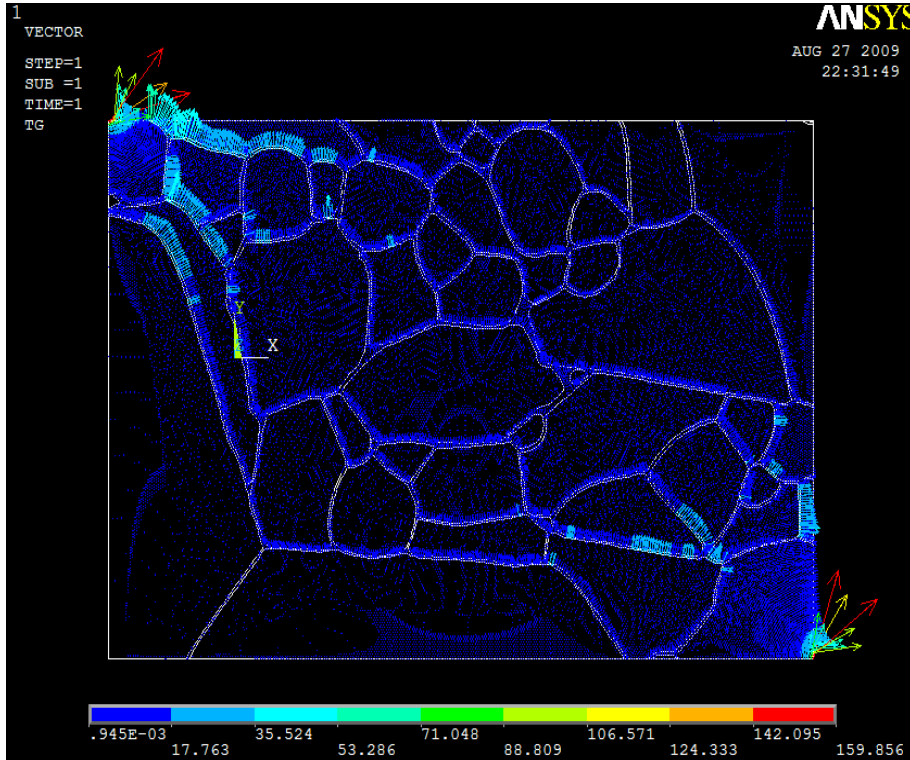


Şekil 3.15. Bir Boyutlu Değişken Özellikte (x) doğrultusu İçin Sıcaklık Gradyenleri

İki boyutlu 50000 büyütme oranında ara faz malzemesinin ısı iletkenliğinin değişken olduğu durumda yapılan çözümlere ait sıcaklık dağılımı şekil 3.16’da, sıcaklık gradyenleri Şekil 3.17’de verilmiştir. Sıcaklık dağılımı incelendiğinde ara faz malzemesinin yoğun olduğu bölgelerde sıcaklık değişimlerinin çok yavaş olduğu görülmektedir. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde sıcaklık değişimi yavaş olmaktadır. Bunun nedeni ısı iletkenlik yüksek sıcaklıkta azalmaktadır.

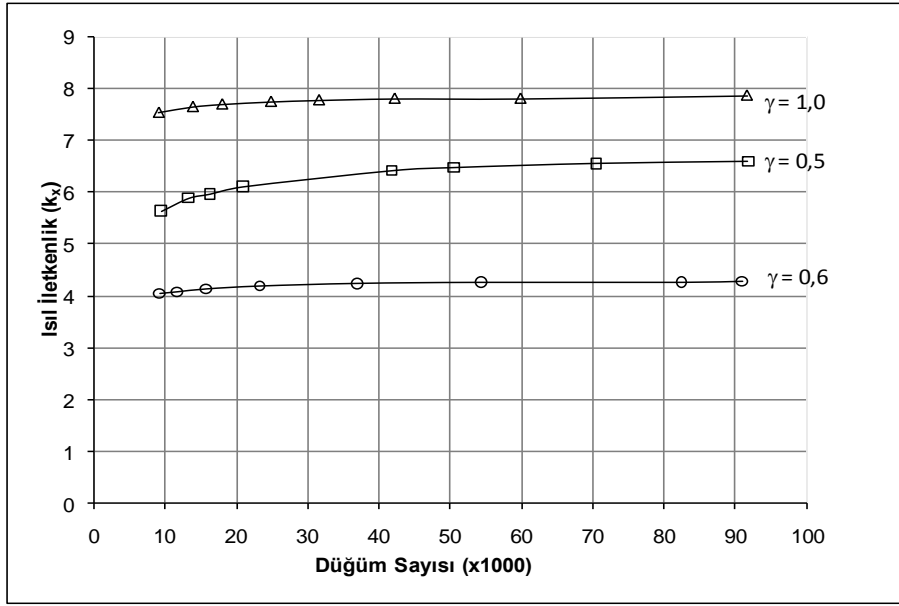


Şekil 3.16. İki Boyutlu Çözüm İçin Sıcaklık Dağılımı Sonuçları



Şekil 3.17. İki Boyutlu Çözüm İçin Sıcaklık Gradyenleri

Tek boyutlu x doğrultusu için sıcaklık dağılımının ana faz ısı iletkenliğinin sabit ve değişken olduğu durumlar için elde edilen efektif ısı iletkenlik değerleri sırasıyla Şekil 3.18 ve 3.19’da verilmiştir. Bu şekilde büyütme oranlarına bağlı olarak üç farklı büyütme ($\gamma=0,5$), ($\gamma=0,6$) ve ($\gamma=1$) için ısı iletkenlik değeri gösterilmiştir.

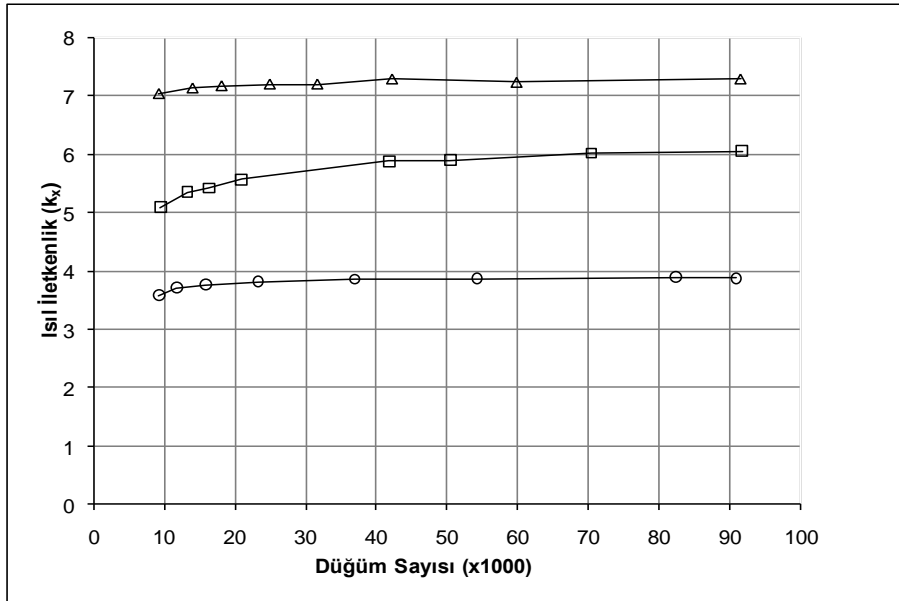


Şekil 3.18. Tek Boyutlu Sabit Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif ısı iletkenlik

Sayısal çözümlerde ister alan oranlarının isterse de büyütme oranlarının farklı durumlarında düğüm sayısının etkisi küçük değerlerde gözlemlenmektedir. Değişken veya sabit özellikli çözümlerin her ikisinde de düğüm sayısı ile ısı iletkenlik değişimi 40×10^3 civarında sabitlenmektedir. Düğüm sayısı 40×10^3 sayısından sonra yaklaşık iki katına çıkarıldığında bile ısı iletkenlik değişmemektedir. Düğüm sayılarının artırılmasında veya azaltılmasında element büyüklükleri bir başka deyişle iki düğüm arasındaki mesafenin değiştirilmesi kullanılmıştır.

Bu değişim bir başka deyişle büyütme oranlarının artması her zaman alan oranlarının artmadığını göstermektedir. Bu durumu da ($\gamma=0,6$) büyütme oranı göstermektedir.

Ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmesi durumunda literatürdeki değerler kullanılarak çözüm yapılmıştır. Bu çözümlere ait sonuçlar Şekil 3.19'da verilmiştir. Düğüm sayısı (5000) ile (30000) arasında değiştii durumlarda karma malzemenin efektif ısı iletkenliği değişim göstermektedir. Düğüm sayısının artması durumunda çözüm sonuçları kararlı hale gelmekte ve fazla değişmemektedir.



Şekil 3.19. Tek Boyutlu Değişken Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif Isı İletkenlik

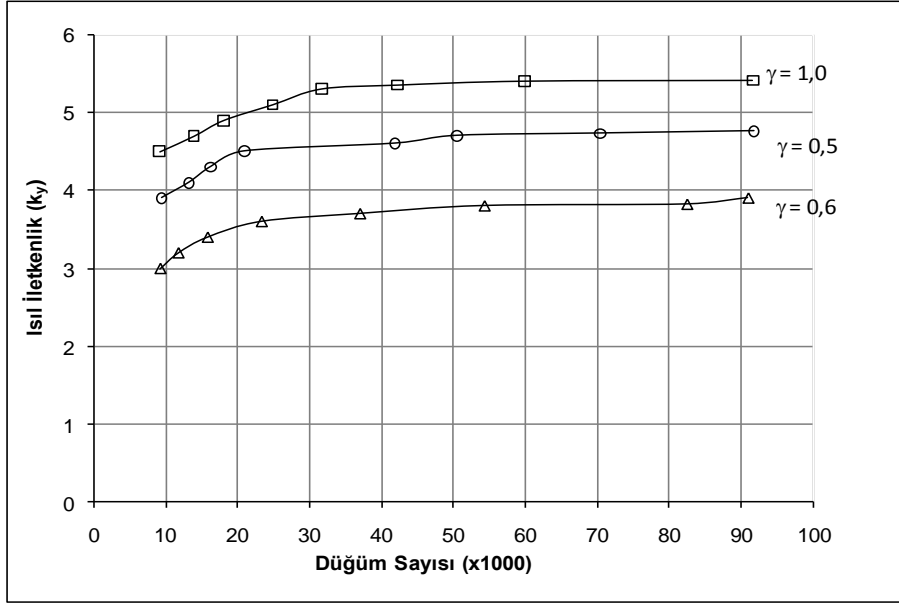
Sonlu eleman esaslı bilgisayar programında ısı özellikler tanımlanırken bu özelliklerin sıcaklıkla değişimi dikkate alınmıştır. Anisotropik ortam için geçerli olan kabuller yapılarak çözümler elde edilmiştir. Ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değiştii durumda yapılan bir boyutlu çözümlerden elde edilen sonuçlar

Şekil 3.19'da verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde (x) doğrultusunda hesaplanan efektif ısı iletkenlik büyütme faktörü ile değişmektedir. Ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi durumundaki değerler sıcaklıkla değişmemesi durumundaki değerlerden daha gerçekçidir. Çünkü uygulamada karma malzeme için sıcaklık ısı iletkenliği etkilemektedir.

Karma malzemelerin ısı iletkenliğinin sayısal olarak hesaplanması ile ilgili çalışmalar son yıllarda oldukça yaygındır. Hui ve diğerleri⁽¹¹⁾ karma malzemelerin ısı iletkenliklerini için sonlu elemanlar çözümünü kullanarak sayısal bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada karma malzemelerin tabakalarının sıcaklık dağılımı ve ısı iletkenlik tanımlayan iki model kullanılmıştır. Birinci metot direkt olarak sıcaklık dağılımından hareket ederken ikinci metot efektif çevre yaklaşımını kullanmaktadır. Malzemenin efektif ısı iletkenliği bir boyutlu olarak hesaplanan sıcaklık dağılımı kullanarak bulunmuştur. Çalışmada sıcaklık dağılımı yerine ısı akısı hesaplanarak ısı iletkenlik bulunmuştur.

Tavman ve arkadaşları⁽²⁰⁾ Karma malzemelerin ısı davranışlarını sonlu eleman esaslı bir program kullanarak iki ve üç boyutlu olarak incelemişlerdir. Fiber ve tane katkılı karma malzemelerin ısı iletkenlikleri sayısal olarak araştırılmıştır. Malzemelerin ısı iletkenlik değeri bulunurken sonlu eleman esaslı bilgisayar programı ile modelleme yapılmıştır. Çalışmada da sonlu eleman esaslı bir programla bir ve iki boyutlu analizler yapılmıştır. İki çalışmada da sıcaklığa bağlı olarak efektif ısı iletkenlik değişimi modellenmiştir. Sayısal model oluşturulduktan sonra düğüm sayısının değişimi ile elde edilen sonuçların değişimi gösterilmiştir.

Bir boyutlu (y) doğrultusu için ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değiştiği durum için farklı alan oranlarında düğüm sayısı ile efektif ısı iletkenlik değişimleri Şekil 3.20 ve 3.21'de verilmiştir.

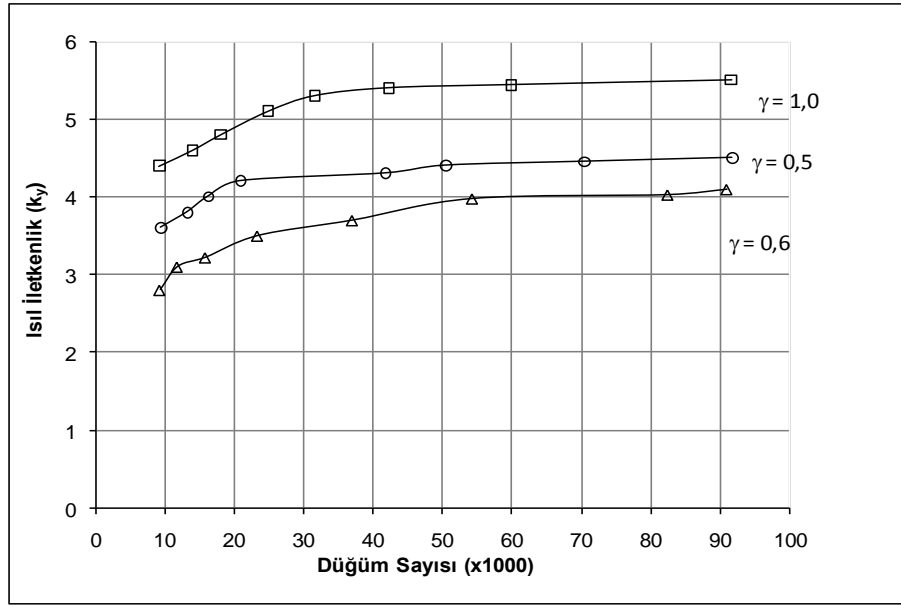


Şekil 3.20. Tek Boyutlu Sabit Özellikte (γ) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik

İster sabit isterse de değişken özellikteki grafikler beraber incelendiğinde yatay doğrultuda hesaplanan değerlerin dikey doğrultuda hesaplanan değerlere göre yüksek olduğu görülür. Bunun nedeni malzeme iç dokusundaki yapıya bağlı olarak alınan görüntüsüdür. Bu görüntü yada malzeme konumu değiştirilerek işlemler yapılsaydı bu sefer sonuçlar aynı olacak ancak yatay yerine dikey doğrultudaki değerler yüksek çıkacaktı. Buradan ısı akışı yönüne bağlı olarak ısı iletkenlik literatürden de görüleceği gibi değişebilmektedir. İster deneysel ister sayısal çözüm sonuçları olsun incelenen malzemenin konumu ısı iletkenlik üzerinde etkilidir. Elbette bu etki incelenen deneysel ve sayısal yöntemle de ilişkilidir.

Farklı yönlerde farklı ısı iletkenliklerin elde edilmesinde hangisinin kullanılacağı veya hangisinin doğru olduğu hep tartışılmakta gelen bir konudur. Doğru olan elbette her iki değer arasında bir sonuç değeridir. Ancak bu değer nasıl bulunulacaktır. Sorun bu noktadadır. Deneysel çalışmalarda ve bu çalışmanın

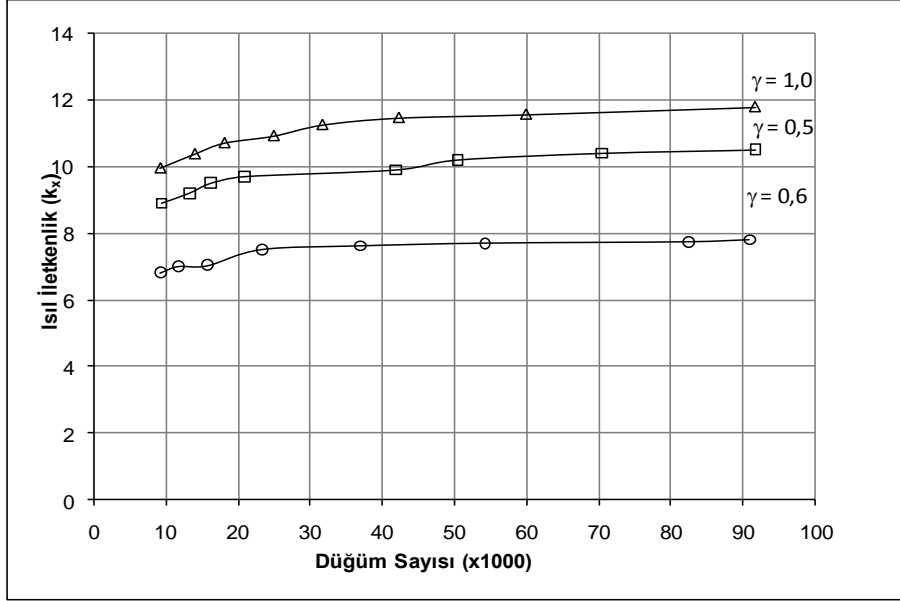
deneysel kısmında da dahil olmak üzere malzeme deney numunesi boyutları milimetre ile ölçülen büyüklüklerdedir. Sayısal hesaplamalarda dikkate alınan büyüklükler gerçekte mikronlar düzeyindedir. Bu nedenle deneysel sonuçlar için konum değişimiyle sonuçların değişimi oldukça sınırlı olmaktadır. Çünkü karmaşık geometri çok sayıda tekrarlandığında her iki yön ısı dirençleri birbirine yaklaşmaktadır. Ancak sayısal çözümlerde çok küçük büyütme oranlarında binlerce küçük ana ve ara faz yapısında oluşan bir fotoğrafın incelenmesi zorluğu ortadadır. Sayısal çözümlerde küçük büyütme oranlarındaki sonuçlar her zaman büyük büyütme oranlarındaki değerlere göre daha gerçekçidir.



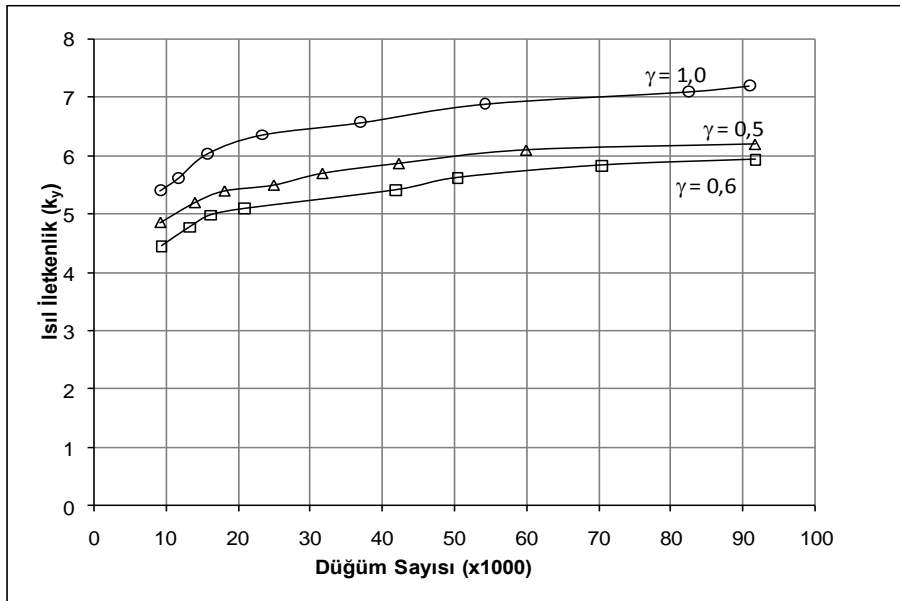
Şekil 3.21. Tek Boyutlu Değişken Özellikte (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik

Çalışmada kullanılan karma malzemelerin efektif ısı iletkenliği belirlenirken iki boyutlu ısı geçişi dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmediği durum dikkate alındığında

Şekil 3.22 ve 3.23, ana faz malzemesinin ısı iletkenliğin sıcaklıkla değişmesi durumunda Şekil 3.24 ve 3.25'deki sonuçlar elde edilmiştir. Her iki durumda da düğüm sayısı belli bir değeri geçtikten sonra karma malzemenin efektif ısı iletkenlik değişmemektedir.



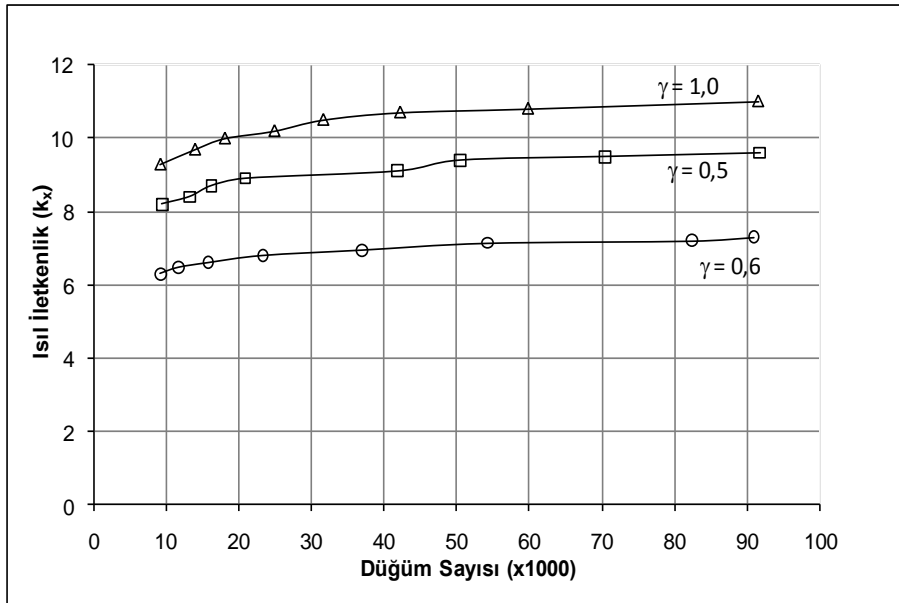
Şekil 3.22. İki Boyutlu Sabit Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif ısı İletkenlik



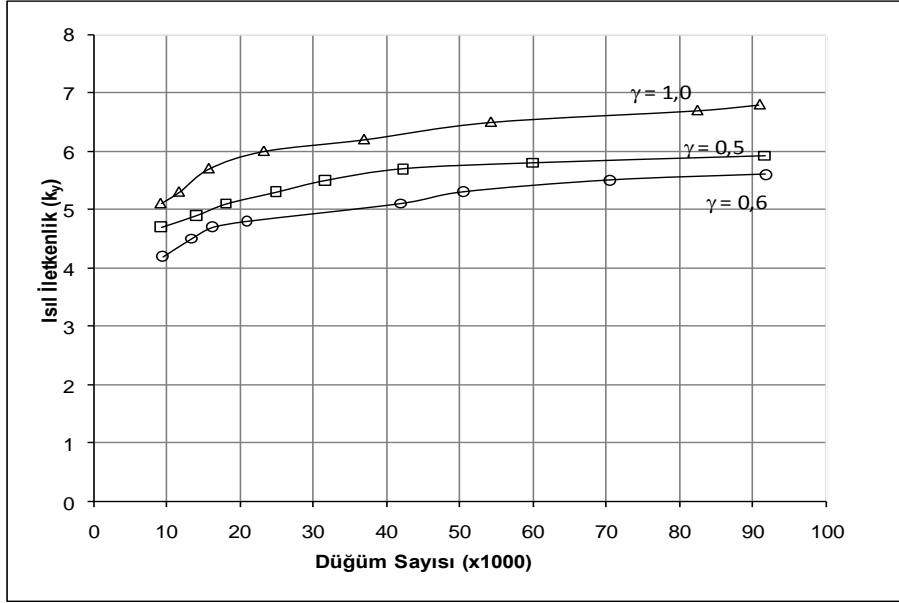
Şekil 3.23. İki Boyutlu Sabit Özellikte (y) Doğrultusundaki Efektif ısı İletkenlik

Sayısal çözümler yapılırken bir boyutlu veya iki boyutlu çözümlerde düğüm sayısı belli bir değeri geçtikten sonra efektif ısı iletkenlik değişmemekte ve bir değerde sabitlenmektedir. Bu nedenle düğüm sayısı artışı efektif ısı iletkenlik çözümlerinde önemli olmaktadır. Bütün incelemeler beraber değerlendirildiğinde (50×10^3) civarında düğüm sayısında ısı iletkenliğinin değişmediği sonucuna varılmaktadır.

Sayısal çözümlerde bu sonucu her zaman bu şekilde söylemek mümkün değildir. Şekillerin karmaşıklığı, sınırların geometrisi ve kontak noktaları bu durumu değiştirebilir. Bu çalışmada incelenen geometri için bu değerleri söylemek mümkündür. Aynı malzeme için farklı bir noktanın geometrisi incelendiğinde düğüm sayıları azda olsa bir değişiklik göstermesi olasıdır. Düğüm sayılarında incelenen sayısal düzlemin ana boyutlarının da önemli olduğu unutulmamalıdır.



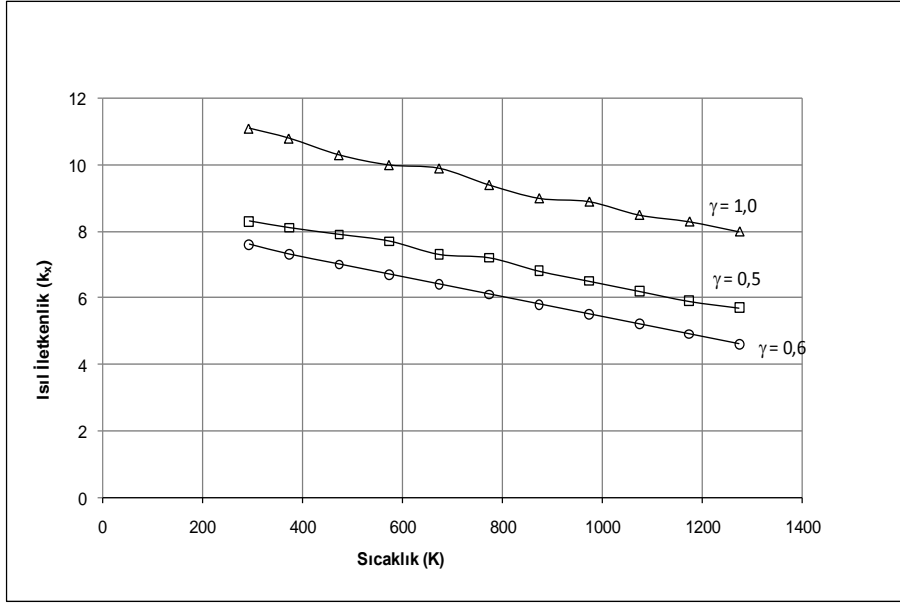
Şekil 3.24. İki Boyutlu Değişken Özellikte (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik



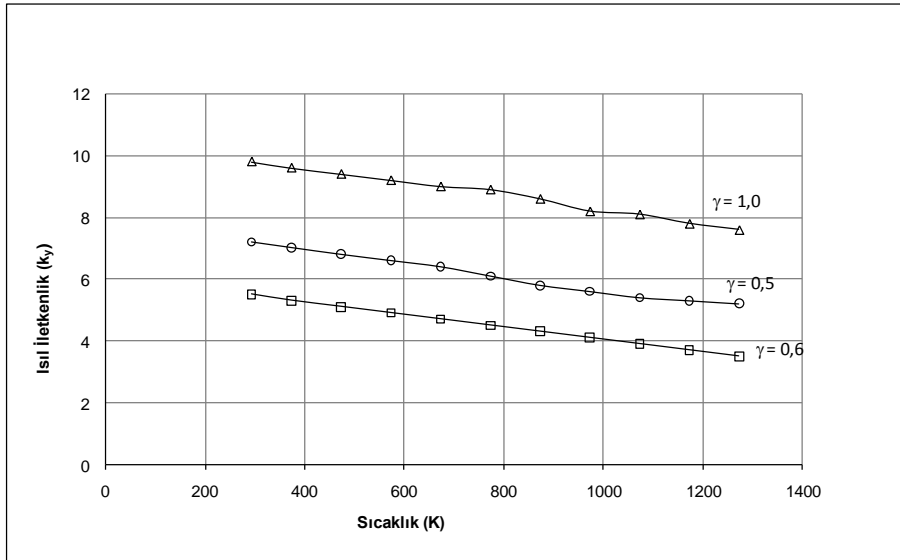
Şekil 3.25. İki Boyutlu Değişken Özellikte (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenlik

Sialon esaslı kesici uçların efektif ısı iletkenliğinin sıcaklığa bağlı sayısal çözümleri bölüm 2.3’de verilen yöntemlerle bir ve iki boyutlu olarak yapılmıştır. Bir boyutlu yapılan hesaplamalarda (x) doğrultusu için (x=0) yüzeyinde sabit bir sıcaklık değeri tanımlanır. (x=L_x)’de bu sıcaklık değerlerine çok yakın bir sabit değer verilerek en uygun ΔT aralığı belirlenmiştir. Örneğin 25000 büyütme oranı için (x=0) yüzeyindeki sıcaklık 373K (x=L_x) yüzeyi için 374K, 375K ve 376K değerleri verilerek uygun bir ΔT değerine karşılık sabit bir ısı iletkenlik hesaplanmıştır. Bir boyutlu (y) doğrultusu ve iki boyutlu sayısal çözümlerde aynı yöntemle yapılmıştır.

Bir boyutlu ısı iletimi kabulleri ışığında yapılan çözümlerde kesici uç numunelerinin farklı büyütme oranları için sıcaklığa bağlı efektif ısı iletkenlikleri değişimi Şekil 3.26 ve 3.27’de verilmiştir. Şekil 3.26 (x) doğrultusundaki 3.27 (y) doğrultusundaki sonuçları vermektedir.

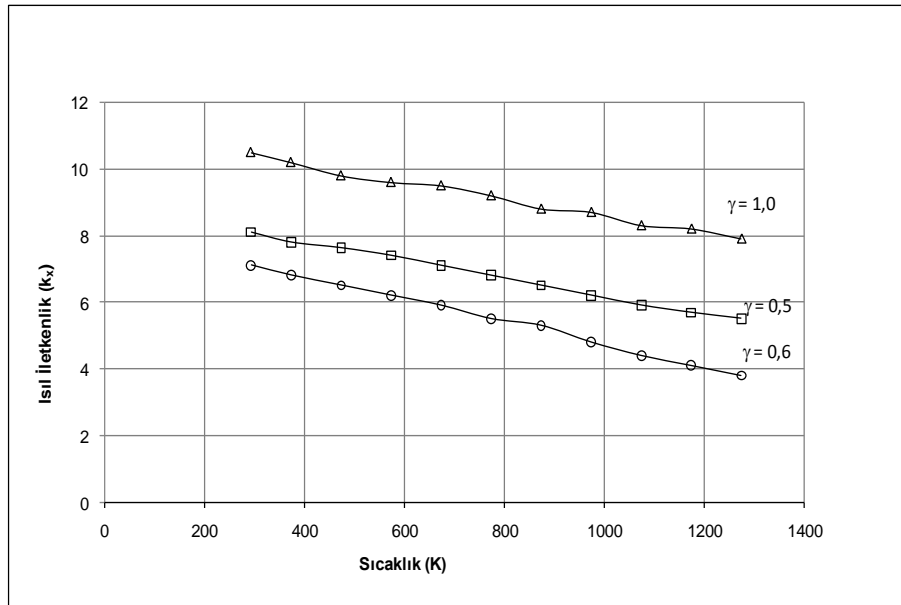


Şekil 3.26. Tek Boyutlu (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi

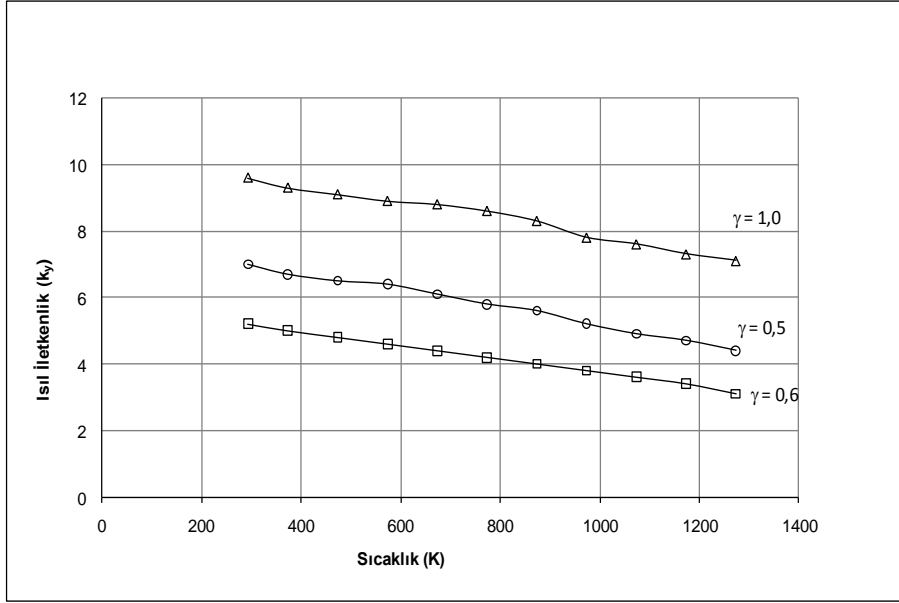


Şekil 3.27. Tek Boyutlu (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi

Kesici uç numunesinin farklı büyütme oranlarında her iki doğrultudaki efektif ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimleri hesaplanarak sonuçlar (x) ve (y) doğrultuları için sırasıyla Şekil 3.28 ve 3.29'da verilmiştir. Ana malzemenin ısı iletkenliği azaldıkça karma malzemenin efektif ısı iletkenliğinin de azaldığı burada da gözlemlenmektedir. Bu incelemelerde de diğer incelemelerde olduğu gibi ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değiştiği ancak ara faz malzemesinin ısı iletkenliğinin sabit kaldığı durum incelenmiştir. Bu durumda elde edilen sonuçlara bakıldığında ana faz malzemesinin ısıl özellikleri karma malzeme üzerinde etkin olmaktadır. Bunun nedeni alansal olarak baskın malzeme olmasıdır.



Şekil 3.28. İki Boyutlu (x) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi



Şekil 3.29. İki Boyutlu (y) Doğrultusundaki Efektif Isıl İletkenliğin Sıcaklıkla Değişimi

Santos ve arkadaşları⁽²⁷⁾ alüminanın efektif ısıl iletkenliği katkı malzemeleri ile değişimini incelemiştir. Alüminaya ilave edilen katkı malzemelerinin katkı oranların ve sıcaklığın karma malzemenin efektif ısıl iletkenliğe etkisini incelemiştir. Çalışmada SEM görüntüleri ile ara faz ve ana faz malzemelerinin oranları hesaplanmaktadır.

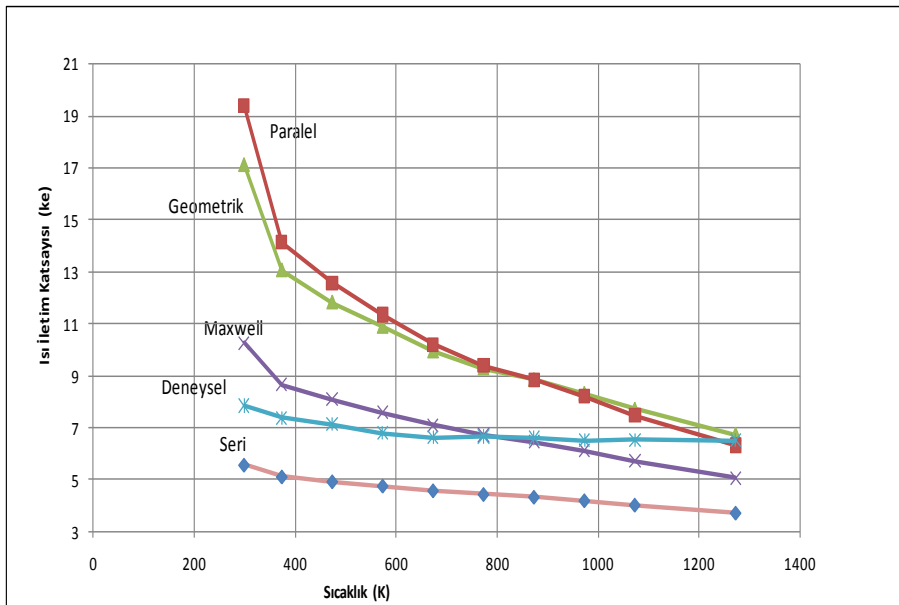
V.V.Rao ve arkadaşları⁽³⁸⁾ alüminyum oksit ana fazlı karma malzemelerin efektif ısıl iletkenliği sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Alüminyum oksit ana fazlı karma malzemenin efektif ısıl iletkenliği artan sıcaklıkla azalmaktadır. Deneysel sonuçlar sayısal sonuçlarla örtüşmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada karma malzeme olan sialon esaslı seramik kesici uçlara ait ısı iletkenlik çözümleri analitik, deneysel ve sayısal olarak yapılmıştır. Deneysel ölçümler ve analitik hesaplamalar sayısal çözümlerle karşılaştırmak için yapılmıştır.

4.1. Analitik Sonuçların Değerlendirilmesi

Analitik metotlarla yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de verilmektedir. Şekil 4.1 incelendiğinde seri modelden elde edilen sonuçlar alt sınırı paralel model üst sınırı belirlemektedir. Sialon esaslı kesici uç için analitik yöntemlerle çözüm yapılırken maxwell modeli deneysel metotlara en yakın çözümleri vermektedir.



Şekil 4.1. Analitik Sonuçların Karşılaştırılması

4.2. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi

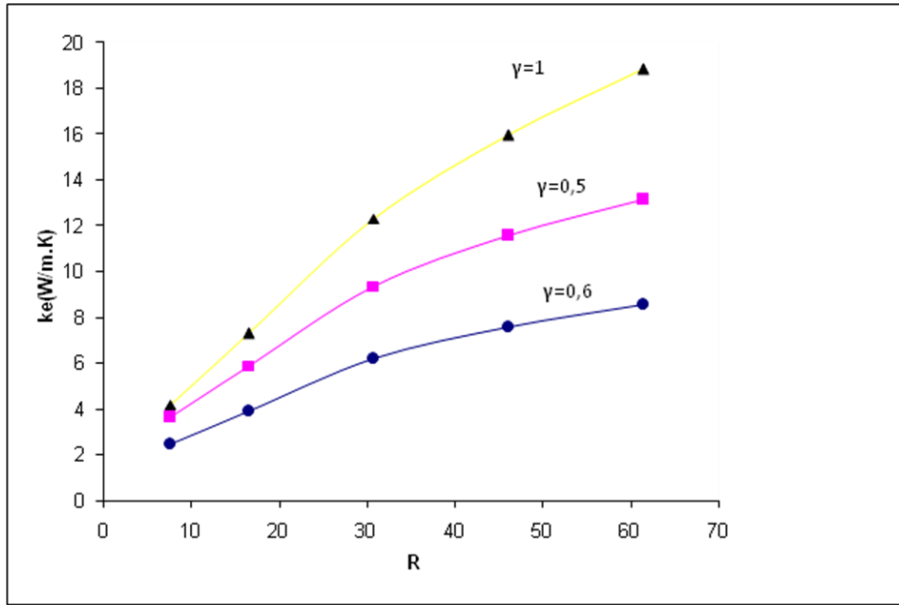
Ankara Üniversitesi Elektron Mikroskop laboratuvarında dört adet numuneden SEM görüntüsü alınmıştır. Alınan görüntüler detaylı şekilde incelendiğinde numunenin içyapısını gösteren ana ve ara faza ait detaylar görünmemektedir. Sayısal çözümlerde kullanılan sonlu eleman esaslı program olan Ansys'de ana ve ara faz malzemeleri kullanılarak çözümler yapılmaktadır. Bu detaylar olmadığı takdirde çözüm yapmak ve sonuçlandırmak imkânsızdır. Alınan görüntüler metalografi bilimi açısından oldukça önemli detayları içermektedir ancak bu çalışmasının sayısal çözümlerinde kullanılacak özellikte değildir. Sayısal çözümlerde numunelerin SEM görüntüleri ısı iletkenlik hesaplamaları için kullanmakta ve başka analizleri içeriğinde barındırmamaktadır. Elde edilen görüntüler numunenin başka analizlerinde kullanılabilir ancak sayısal çözümler için yetersizdir.

İstenilen görüntülerin alınamamasının üç nedeni olabilir. Literatürde SEM görüntülerinden mikro yapılara ait fotoğrafların alınması için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda yüksek sıcaklık sinterlemesi yapılarak mikro yapı fotoğrafları elde edilmiştir. Bu çalışmada sinterleme yapılamamıştır. Kullanılan deney numuneleri ticari amaçlar için üretilmiştir. Bu nedenle uçların yüzeyine uygulanan bazı işlemler görüntü almayı engellemektedir. Numunelerden istenilen görüntülerin alınamamasının bir başka sebebi de yüzey işlemlerinin yetersiz olmasıdır.

Anadolu Üniversitesi tarafından üretilen sialon esaslı seramik kesici uç numunesi için SEM görüntüleri (25000) , (30000) ve (50000) büyütme oranlarında aynı üniversitenin elektron mikroskop laboratuvarında alınmıştır. Çalışmada bu görüntüler kullanılarak çözümler yapılmıştır.

4.3. Sayısal Sonuçların Değerlendirilmesi

Ana faz malzemenin ısı iletkenliği (k_1), ara faz malzemenin ısı iletkenliği (k_2) ve karma malzemenin iletkenlik oranı R ($R=k_1/k_2$) olarak tanımlanabilir. Bu oranlamada (k_2) sabit bir değer olarak alınıp (k_1) değiştirildiğinde Şekil 4.2'deki grafik elde edilir. Bir karma malzeme için R artırılırsa malzemenin efektif ısı iletkenlik değeri ana faz malzemenin ısı iletkenlik değerine yakın olacaktır.



Şekil 4.2. Isıl İletkenlik Oranı İle Büyütme Oranlarının İlişkisi

Sayısal olarak ısı iletkenlik hesaplarında oluşturulan modelde (25000),(30000) ve (50000) büyüme oranlı SEM görüntüleri kullanılmıştır. Sayısal sonuçlara bakıldığında büyüme oranı ile ısı iletkenlik arasındaki ilişki açıklanamamaktadır. Ana faz malzemesine ait alanların karma malzeme içerisindeki toplam alanı (A_1), ara fazın toplamları (A_2) olması durumunda (A_K) alan oranı ($A_K=A_1/A_2$) tanımlanabilir.

Aynı malzeme için farklı büyütme oranları için alan oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Alan oranları arttıkça karma malzemenin efektif ısı iletkenlik değeri deneysel olarak ölçülen ısı iletkenlik değerine yaklaşmaktadır. Bu nedenle alan oranı düştükçe sayısal model deneysel ölçümlere yaklaşmaktadır.

Sialon esaslı kesici uçlarda içyapı olarak efektif ısı iletkenlik incelendiği zaman ara faz malzemesinin etkisi daha net anlaşılmaktadır. Sistemde ısı iletkenlik değeri düşük olan ara fazın miktarı azalmasıyla, karışım kuralına bağlı olarak da sistemin efektif ısı iletkenliği artmaktadır.

$$\frac{\text{ana faz}}{\text{ara faz}} \uparrow \quad \text{İletkenlik} \uparrow$$

Ancak ara faz miktarının azalmasıyla birlikte efektif ısı iletkenlik beklenen oranda artmamaktadır. Bunun nedeni hacimsel olarak daha yoğun olan ana faz malzemesinin tane boyutunun büyüklüğünün etkisi ve yapısal hatalardır

Ana faza ait tane boyutlarının küçülmesi durumunda efektif ısı iletkenlik azalacaktır. Bunun nedeni tane boyutu artan ana fazın efektif ısı iletkenliğe etkisi daha çok olacaktır.

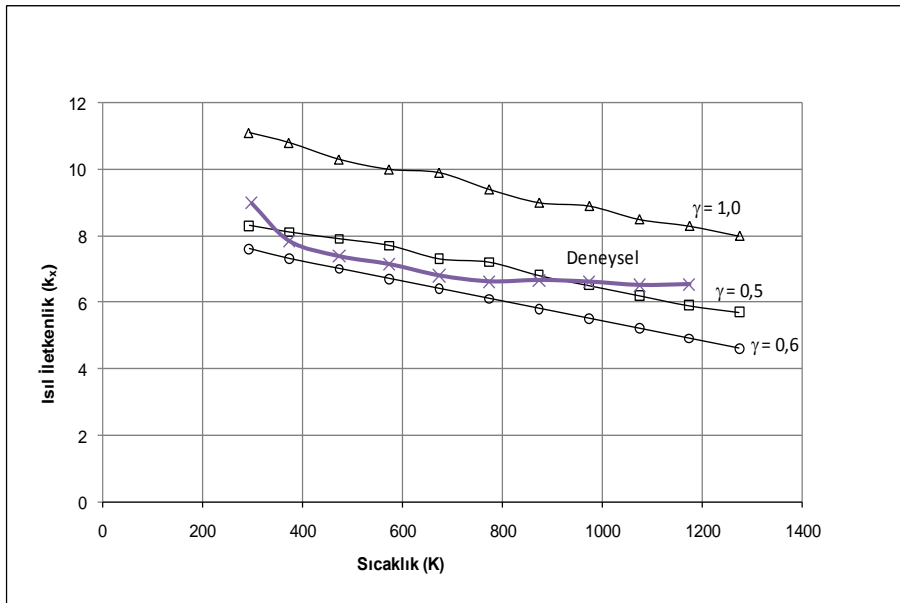
$$\text{Tane boyutu} \uparrow \quad \text{difüzyivite} \downarrow$$

Çizelge 4.1. Büyütme Oranlarına Göre Alan Oranlarının Gösterilmesi

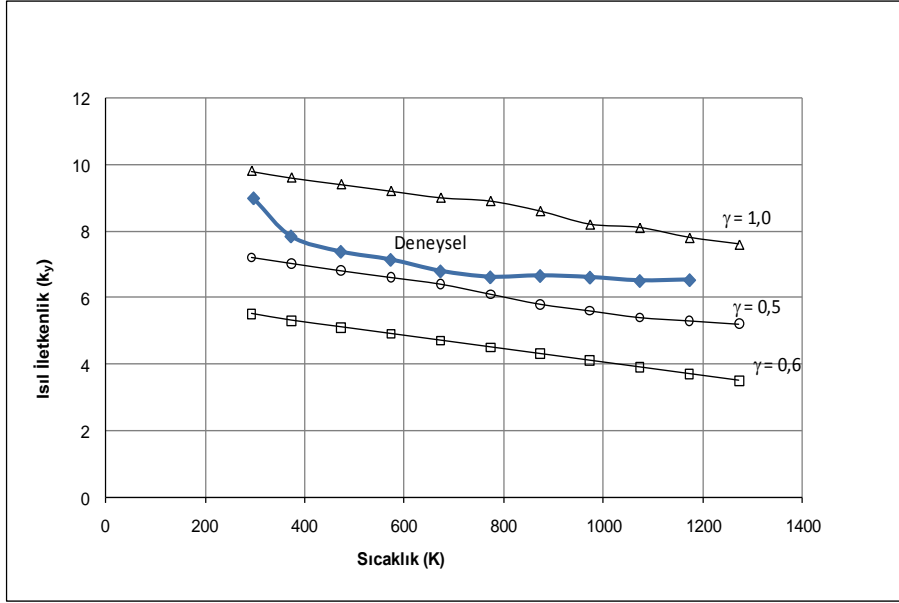
Büyütme Oranı	Alan oranı (A _K)
25000	11.31
30000	10.20
50000	19.58

Karma malzeme için sayısal modelleme yapılırken ANSYS programında farklı mesh yapılarak değişik eleman sayısında çözümler yapılmıştır. Eleman sayısı (50000) değerini geçtikten sonra efektif ısı iletkenlik değişmemektedir.

Şekil 4.3 ve 4.4'de bir boyutlu anafaz malzemesinin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişmesi durumunda değişik büyütme oranlarındaki x ve y doğrultularındaki sonuçların deneysel ölçümlerle karşılaştırılması verilmiştir. Doğrultuya göre ısı iletkenlik değeri değişmektedir.

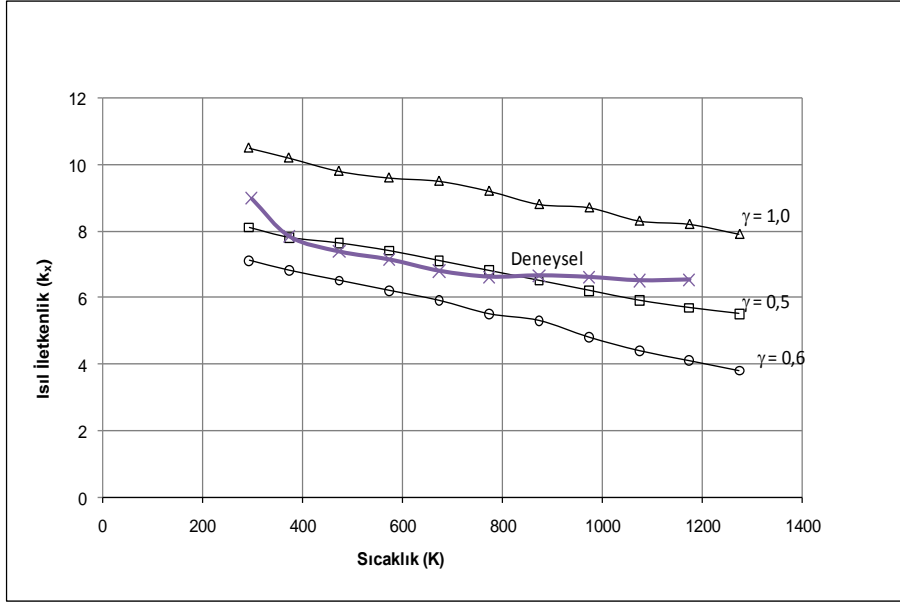


Şekil 4.3. Bir Boyutlu Değişken Özellikli (x) Doğrultusundaki Sonuçların Karşılaştırılması

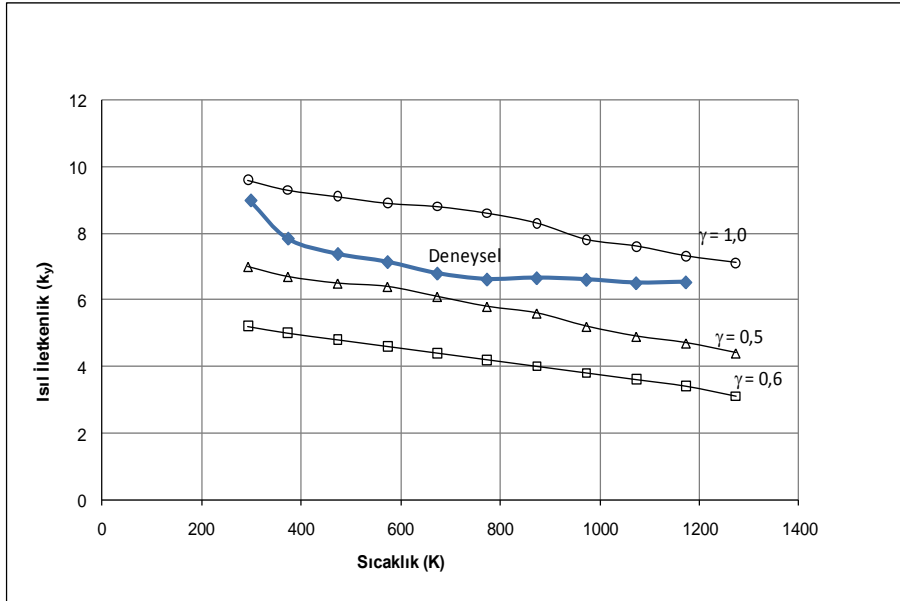


Şekil 4.4. Bir Boyutlu Değişken Özellikli (y) Doğrultusundaki Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 4.5 ve 4.6'da iki boyutlu ana faz malzemesinin ısıl iletkenliğinin sıcaklıkla değişmesi durumunda değişik büyütme oranlarındaki (x) ve (y) doğrultularındaki sonuçların deneysel ölçümlerle karşılaştırılması verilmiştir. Bir boyutlu ve iki boyutlu çözümler incelendiğinde büyütme oranı küçüldükçe sayısal sonuçlar deneysel sonuçlara yaklaşmaktadır. Hem (x) hemde (y) doğrultusu dikkate alındığında büyütme oranı 25000 olan çözümler en ideal sayısal çözüm olmaktadır. Büyütme oranları küçüldükçe ara faz ve ana faza ait alanlar daha gerçekçi olacaktır. Ancak alan sayısı arttıkça çizim ve analiz programında çözüm zorlaşacaktır.



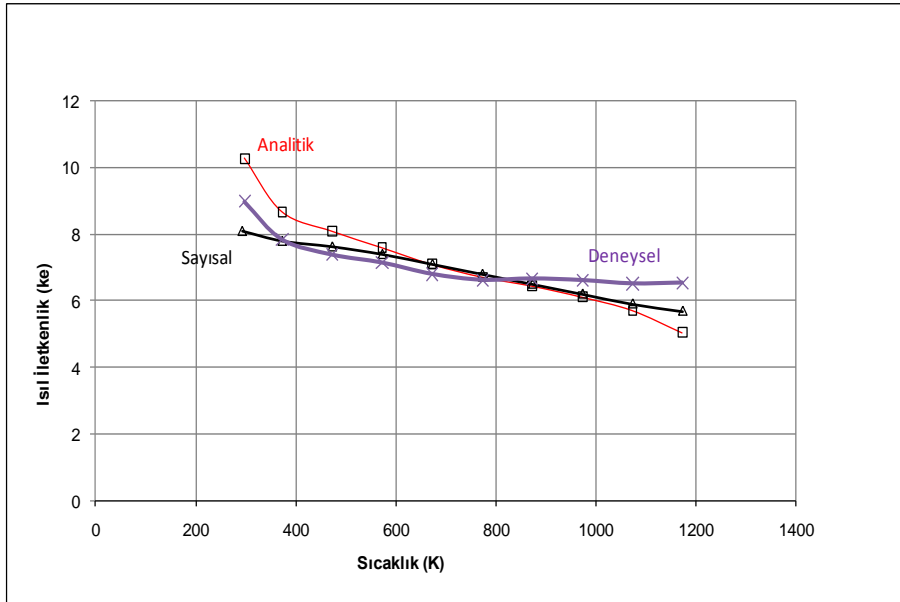
Şekil 4.5. İki Boyutlu Değişken Özellikli (x) Doğrultusundaki Sonuçların Karşılaştırılması



Şekil 4.6. İki Boyutlu Değişken Özellikli (y) Doğrultusundaki Sonuçların Karşılaştırılması

4.4. Analitik, Sayısal ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Bu çalışmada Sialon esaslı kesici uç malzemesinin analitik sayısal ve deneysel olarak efektif ısı iletkenlik hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 4.7’de verilmiştir. Analitik sonuçlar için maxwell tarafından geliştirilen ampirik ifadeler kullanılmıştır. Sayısal çözümler için en ideal durum olan ana faz malzemesinin ısı iletkenliğinin değişken olduğu iki boyutlu (x) doğrultusundaki (25000) büyütme oranındaki sonuçlar kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Hesaplanan ve Ölçülen Isı İletkenliklerinin Karşılaştırılması

Malzemelerin ısı iletkenliğinin iki doğrultuda birbirinden farklı olduğu ve büyütme oranlarına göre değiştiği net olarak görülmektedir. Ancak büyütme oranları küçüldükçe bu iki doğrultudaki ısı iletkenliğinin birbirine yaklaşacağı açık olarak söylenebilir. Bunun nedeni büyütme oranları düştüğünde malzemenin bütününe ait ana ve ara faz yapısı rastgele dağılımdan dolayı birbirini tamamlamaktadır. Sayısal

sonuçlarla deneysel sonuçların ısı akış yönüne göre farklılıkları açıklaması yukarıdaki tespitler yanında deneysel ölümün nasıl yapıldığıyla da ilgilidir. Malzemelerin ısı iletkenliği verilirken yn faktörü dikkate alınmamasının nedeni makro düzeyde her iki doğrultuda homojen yapı gibi davranmasıdır. Değilse malzeme mikro düzeye indikçe fazlardan birisi ağırlıklı yapı olarak ön plana çıkmaktadır.

Kesici uçlar imal edilirken i dokunun bir yöne doğru paralel bir yapı oluşturup oluşturmadığı ısı iletkenlikle çok ilgilidir. Bu malzemenin üretim tekniği malzeme dokusunun bir başka deyişle ana faz ve ara fazın birbirine paralellik arz edecek şekilde oluşturuyorsa ısı iletkenlik yöne doğru kesinlikle büyük fark gösterir. Ancak sinterleme gibi tekniklerde malzeme dokusu rastgelelik arz ettiğinden konularla ilgili bir şey söylemek zordur.

5. KAYNAKLAR

1. Y.Şahin, Talaş Kaldırma Prensipleri, Nobel Yayınları, İstanbul, 2001.
2. Ş.R.Kuşhan, Sialon Seramiklerinde Isıl İletkenliğin İncelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, 2006.
3. S. William, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001.
4. A. Donald, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayınları, Cilt 1, İstanbul, 1998.
5. A. Donald, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayınları Cilt 2, İstanbul, 1998.
6. F.P.Incopera,D.P.Dewitt, Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001.
7. J.C.Maxwell, Oxford University Press.,**3**, 1,(1873).
8. S.Lo Casto, E.Lo Vqalovo, F.Micari, Journal of Mechanical Working Technology, **20**, 35-46, (1989).
9. Dong-Sheng Yan, Pure &App. Chem., **66**,1629-1640, (1994).
10. You-Rong Liu, Jia-Jun Liu, Bao-Liang Zhu, Zhen-Bi Luo, He-Zhuo Miao, Elsevier, **10**,39-44, (1997).
11. Hui,C.Hesieh, Heat and Mass Transfer, **40**,943-949, (1998).
12. P.M.Hui, X.Zhang, A.J. Markworth, D.Stroud, Journal of Materials Science, **34**,5497-5503, (1999).
13. Y.Chen, H.Xu, K.A.Kibble, R.Hall, Materials and Desing, **21**,453-459, (2000).
14. D. Kolar, Pure Appl. Chem., **72**,425–1448, (2000).

15. M.S.S.Baysal, Silindirik Elyaf ve Tanecik Katkılı Karma Malzemelerin Efektif Isı İletim Katsayısı, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, 2001.
16. R. G. Munro, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, **106**, 9-15, (2001).
17. K.Daryabeigi, AIAA, **35**, 424-431,(2001).
18. L.Lu,W.Yi,D.L.Zhang, Review of Scientific Instruments, **72**, (2001).
19. D.D.L.Chung, Applied Thermal Engineering, **21**,1593-1605, (2002).
20. İ.Tavman, D.Kumlutaş, E.Girgin, R.Klavuz, 9. Denizli Sempozyumu. Denizli, (2002).
21. Kazuyoshi Tatsumi, Isao Tanaka, Hirohiko Adachi and Masato Yoshiya, Physical Review, **66**,165-175, (2002).
22. Misha Zenotchkin, Joo-Sun Kim, Department of Materials Science & Engineering, **42**,123-129, (2002).
23. R.Yamada, N.Igawa, T.Taguchi, S.Jitsukawa, Journal of Nuclear Materials, **307**,1215-1220, (2002),
24. R.Yang, G.Chen, Physical Review, **69**, 334-339, (2004).
25. H.Nakano, K. Watari, Y. Kinemuchi, K. Ishizaki, K.Urabe, Journal of the European Ceramic Society, **24**,3685-3690, (2004).
26. Wing K., Yeung and Tung T.Lam, 37th AIAA Thermophysics Conference, (2004).
27. W.Santos, P.Mummery, A.Wallwork, Elsevier, **21**,1-7, (2005)
28. Dr B. Karl, P. Torsten, S. Jürgen, Seminar Costing Techniques may 9-11 ,(2005).
29. B.Basu, J.Vleugels, M. Klain, Van Der Biest, Journal of Materials Science, **44**, 1-6, (2005).

30. M.Pakdemirli, A.Z.Şahin, *Mathematical and Computational Applications*, **11**, 25-30, (2006).
31. Gu Hongmei, John F. Hunt, *Wood and Fiber Science*, **39**, 159-166, (2007).
32. Faruk Yiğit, *Applied Thermal Engineering*, **23**,121-126, (2007).
33. S.Kurama, *Materials Science and Engineering*, **487**, 278-288, (2008).
34. Bernd Bitterlich, Sebastian Bitsch, Kilian Friederich, *Journal of the European Ceramic Society*, **28**, 989-994, (2008).
35. Menghao Qin, Rafik Belarbi, Abdelkarim Ait-Mokhtar, Alain Seigneurin, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **33**, 39– 48, (2008).
36. A. Bouguerra, A. Ait-Mokhtar, O. Amiri, M. B. Diop, *Int. Comm Heat Mass Transfer*, **28**, 1065-1078, (2008).
37. E. G. Toprak, *Gazbetondan Elde Edilen Isı Yalıtım Malzemesinin Özellikleri ve Yapı Kabuğunda Kullanım Olanaklarının Saptanması Üzerine Deneysel Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.*
38. V.V. Rao, M.V. Krishna Murthy, J. Nagaraju, *Elsevier*, **69**, 2459-2469, (2008).
39. Branko Matovic and Snezana Boskovic, *Elsevier*, **69**, 2448-2453, (2008).
40. S.Salman, Ö.Gülsoy, *Metalografi Bilimi*, Nobel Yayınları, İstanbul, 2004.
41. A. Yıldız ve Ö. Genç, *Enstrümental Analiz*, Hacettepe Üniversitesi Yayınları,1993.
42. M.Necati Özışık, *Heat Conduction*, Wilwy-Interscience Publications, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

Battal DOĞAN 1974 yılında Kaman'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Kırıkkale'de tamamladı. 1996 yılında lisans eğitimine başladığı Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2000 yılında mezun oldu. 2000 yılında Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak akademik hayata başladı. 2000-2002 yıllarında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak yüksek mühendis unvanını aldı. Aynı yıl doktora eğitimine başladı. 2007 yılında Ulaştırma Bakanlığına Mühendis olarak geçiş yaptı. Evli bir çocuk babasıdır.