

**DOĞAL SERAMİK HAMMADDELERDEN  
PORSELEN DİS YAPIMI VE METAL-SERAMİK  
ARAYÜZEY KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ser. Müh. Aysen KILIÇ**

**Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : SERAMİK**

**OCAK 2003**

**DOĞAL SERAMİK HAMMADDELERDEN  
PORSELEN DİS YAPIMI VE METAL-SERAMİK  
ARAYÜZEYİNİN KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ser. Müh. Aysen KILIÇ  
506001360**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002  
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ocak 2003**

**Tez Danismanı : Prof. Dr. Okan ADDEMİR  
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Onuralp YÜCEL (İ.T.Ü.)  
Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KARAKAS (S.Ü.)**

**OCAK 2003**

## ÖNSÖZ

Bu çalismanın yürütülmesi ve sonuçlandırilmasında degerli fikir ve tecrübeleriyle bana yol gösteren saygideger hocam Sayın Prof. Dr. Okan ADDEMİR' e tesekkür ederim.

Teze basladigim günden itibaren çalismalarimin her asamasıyla yakından ilgilenen, fikir ve elestirileriyle bana yol gösteren, en zorlandigim zamanlarda manevi destegiyle hep yanimda olan hocam Sayın Ar. Gör. Tahsin BOYRAZ' a çok tesekkür ederim.

Tezin laboratuvar asamasında bana saglamis olduklari imkanlardan ve de degerli tavsiyelerinden dolayi Sayın Yrd. Doç. Dr. Yilmaz KARAKAS' a tesekkür ederim.

Çalismalarimin bir bölümünü yürüttüğüm Istanbul Üniversitesi Dis Hekimligi Fakültesi' nden Sayın Prof. Dr. Çetin SEVÜK' e ve Ar. Gör. Biriz. BASARAN' A tesekkür ederim. Laboratuvar çalismalarimin büyük bir kismini yürütebilmem için olanak saglayan Celal Dis Protez Laboratuvari' ndan Sayın Celal Tasbilek' e ve diger çalismanlara yardım ve anlayislarindan dolayi tesekkür ederim.

Adnan Tekin Ileri Teknoloji Seramikleri ve Kompozitleri Arastirma Merkezinde analiz çalismalarimda bana yardımcı olan Sayın Hüseyin SEZER' e ve deneysel çalismalarimin bir kisminde yardımcı olan ITÜ KOSGEB Seramik Laboratuvarindan Sayın Ahmet KOÇ' a tesekkür ederim.

Tez çalismalarimin basından sonuna kadar deneysel çalismalarimdaki yardımlari ve anlayislarindan dolayi Metalurji ve Malzeme Mühendisligi' nden Ar. Gör. Gökhan BASMAN, Ar. Gör. Ahmet ÖZTÜRK, Ar. Gör. Murat BAYDOGAN, Ar. Gör. M. Ali AKOY' a ve Kimya Mühendisligi' nden Didem ÖZÇİMEN, Melek EROL ile Abdullah CEYHAN' a tesekkür ederim.

Tez çalismamda yardım ve desteklerinden dolayi Ar. Gör. Esra ALVEROGLU, Ar. Gör. Murat DURUCU, Ar. Gör. Akin ODABASI, Ar. Gör. Cenk ÖZTÜRK' e ve Didem ALP ile Burcu ERTUG' a tesekkür ederim.

Yanımında olamasada uzaklardan bana hep destek olan canım dostum Özlem' e, hayatım boyunca her zaman manevi olarak yanımında olan, sevgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme tesekkür ederim.

Ocak, 2003

Aysen KILIÇ

## **İÇİNDEKİLER**

<b>KISALTMALAR</b>	<b>vi</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>SEKİL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>x</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. SERAMİK</b>	<b>3</b>
2. 1. Giriş	3
2. 2. Seramik Ürünler	4
2. 2. 1. Seramik Ürünlerin Sınıflandırılması	4
2. 2. 2. Seramik Ürünlerin Kullanım Alanları	5
2. 2. 3. Seramik Ürünlerin Özellikleri	6
2. 3. Seramik Prosesler	7
2. 3. 1. Seramik Hammaddeleri	7
2. 3. 1. 1. Kil ve Kaolen	7
2. 3. 1. 2. Feldspat	10
2. 3. 1. 3. Kuvars	11
2. 3. 1. 4. Diğer Hammaddeler	11
2. 3. 2. Hammadde Seçimi	13
2. 3. 3. Hammaddelerin Öğütülmesi	13
2. 3. 4. Sekillendirme Yöntemleri	14
2. 3. 5. Kurutma	16
2. 3. 6. Pisirme (Sinterleme)	17
<b>3. DİŞ MORFOLOJİSİ</b>	<b>18</b>
<b>4. BİYOMALZEMELER</b>	<b>21</b>
4. 1. Giriş	21
4. 2. Seramik Biyomalzemeler	22
4. 3. Dental Biyomalzemeler	23
<b>5. DİŞ HEKİMLİĞİ MALZEMELERİ</b>	<b>25</b>
5. 1. Alçı	25
5. 2. Mumlar	25

5. 3. Revetman	26
5. 4. Plastikler	26
5. 5. Porselenler	27
5. 6. Metal ve Alasimlar	27
5. 7. Diger Malzemeler	29
6. DIS HEKIMLIGINDE PORSELEN	32
6. 1. Porselenin Dis Hekimligindeki Yeri	32
6. 2. Dis Hekimliginde Porselenin Tarihçesi	33
6. 3. Dis Porseleninin Yapisi	34
6. 4. Dis Porseleninde Gelismeler	37
6. 5. Günümüzde Seramik Disler	39
7. PORSELEN DISLERDE METAL- SERAMIK ILISKISI	42
7. 1. Metal- Seramik Iliskisi	42
7. 2. Porselen Dislerde Metal- Porselen Iliskisi	42
7. 3. Metal- Porselen Baglanma Mekanizmalari	44
7. 3. 1. Fiziksel Baglanma	45
7. 3. 2. Kimyasal Baglanma	45
7. 3. 3. Mekanik Baglanma	48
7. 3. 4. Basma Kuvveti	48
7. 3. 5. Difüzyon Baglanma	49
7. 3. 5. 1. Mekanizma	49
7. 3. 5. 2. Arayüzey Olusumu	50
7. 3. 5. 3. Kimyasal Reaksiyonlar	53
7. 4. Difüzyon (Atomsal Yayinim) Çifti	55
7. 5. Metal- Porselen Bag Dayanimi	58
7. 5. 1. Bag Dayanimini Etkileyen Faktörler	58
7. 5. 1. 1. Kimyasal Bag	60
7. 5. 1. 2. Mekanik Bag	60
7. 5. 1. 3. Isil Genlesme Katsayisi	61
7. 5. 1. 4. Kumlamanin Etkisi	62
7. 5. 1. 5. Oksidasyon	63
7. 5. 1. 6. Yüzey Sartlandiricisi Kullanimi	64
7. 5. 1. 7. Metal ve Seramik Yapısında Yüksek Miktardaki Elementlerin (Cr, Ni, Si, Al Gibi) Baglanmaya Etkisi	64
7. 5. 1. 8. Islatma Kabiliyeti	65
7. 5. 1. 9. Porselenin Etkisi	66
7. 5. 1. 10. Metalin Etkisi	67
7. 6. Metal Üzerine Porselen Ergitme Sisteminde Arayüzeyin Mikroyapisal Analizi	68

7. 7. Metal- Seramik Sistemlerde Kullanılan Alasim ve Seramiklerden Beklenenler ve Bunlara Iliskin Yapilan Testler	73
<b>8. DENEYSEL ÇALISMALAR</b>	<b>77</b>
8. 1. Iskelet Protez Yapimi	77
8. 2. Porselen Dis Yapimi	80
8. 3. Tamamen Seramik (Inceram) Dis Yapimi	83
8. 4. Dis Porselen Tozu Üretimi, Üretilen Tozdan Dis Yapimi ve Metal- Seramik Arayüzey Karakterizasyonu	86
<b>9. SONUÇLAR</b>	<b>92</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>95</b>
<b>EKLER</b>	<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİS</b>	<b>119</b>

## **KISALTMALAR**

<b>HB</b>	: Hacimce Büyüme
<b>EPMA</b>	: Elektron Prob Mikro Analizörü
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>SIMS</b>	: İkincil İyon Kütle Spektrometresi
<b>EDS</b>	: Enerji Difraksiyon Spektroskopisi
<b>WDS</b>	: Dalgaboyu Difraksiyon Spektroskopisi
<b>HIP</b>	: Sıcak İzostatik Pres
<b>ISO</b>	: Uluslar Arası Standartlar

## TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 2. 1.</b> Günümüzde Seramiklerin Kullanıldığı Yerler	5
<b>Tablo 3. 1.</b> Bazı Dislerin Ortalama Uzunlukları	20
<b>Tablo 4. 1.</b> Biyomalzemelerin ve Dokuların Özelliklerinin Karşılaştırılması	23
<b>Tablo 7. 1.</b> Difüzyon Bağlanmada Madde Tasnininin Kaynağı, Akisin Son Bulduğu Bölge	51
<b>Tablo 8. 1.</b> Metal- Porselen Protezlerde Kullanılan Bazı Alasimlara Ait Bileşimler	79
<b>Tablo 8. 2.</b> Üretilen Opak, Dentin ve Seffaf Tozlara Ait Hammadde Listesi (% Ag. ça)	86
<b>Tablo 8. 3.</b> Metal- Porselen Numunelere Ait Pisirme Rejimleri	88
<b>Tablo 8. 4.</b> Metal- Seramik Sisteminde Kullanılan Metal Alasimlarının Elementel Analizi	89
<b>Tablo 8. 5.</b> Ni ve Cr' un Porselendeki Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Değerleri	91
<b>Tablo A.1.</b> 905 °C' de Ni' in zamana bağlı difüzyonu	113
<b>Tablo A.2.</b> 930 °C' de Ni' in zamana bağlı difüzyonu	113
<b>Tablo A.3.</b> 955 °C' de Ni' in zamana bağlı difüzyonu	113
<b>Tablo A.4.</b> 30 s' de Ni' in sıcaklığa bağlı difüzyonu	114
<b>Tablo A.5.</b> 60 s' de Ni' in sıcaklığa bağlı difüzyonu	114
<b>Tablo A.6.</b> 90 s' de Ni' in sıcaklığa bağlı difüzyonu	114
<b>Tablo A.7.</b> 905 °C' de Cr' un zamana bağlı difüzyonu	115
<b>Tablo A.8.</b> 930 °C' de Cr' un zamana bağlı difüzyonu	115
<b>Tablo A.9.</b> 955 °C' de Cr' un zamana bağlı difüzyonu	115
<b>Tablo A.10.</b> 30 s' de Cr' un sıcaklığa bağlı difüzyonu	116
<b>Tablo A.11.</b> 60 s' de Cr' un sıcaklığa bağlı difüzyonu	116
<b>Tablo A.12.</b> 90 s' de Cr' un sıcaklığa bağlı difüzyonu	116
<b>Tablo A.13.</b> 905 °C' de Ti' nin zamana bağlı difüzyonu	117
<b>Tablo A.14.</b> 930 °C' de Ti' nin zamana bağlı difüzyonu	117
<b>Tablo A.15.</b> 955 °C' de Ti' nin zamana bağlı difüzyonu	117
<b>Tablo A.16.</b> 30 s' de Ti' nin sıcaklığa bağlı difüzyonu	118
<b>Tablo A.17.</b> 60 s' de Ti' nin sıcaklığa bağlı difüzyonu	118
<b>Tablo A.18.</b> 90 s' de Ti' nin sıcaklığa bağlı difüzyonu	118



## SEKIL LISTESİ

	Sayfa No
<b>Sekil 2. 1</b> : Silikanin modifikasyonlari	11
<b>Sekil 2. 2</b> : Yas Yöntem ile Sekillendirme Kademeleri	15
<b>Sekil 3. 1</b> : Bir Disin Boyuna Kesiti	18
<b>Sekil 3. 2</b> : Süt Dislerin ve Sürekli Dislerin Sematik Gösterimi	20
<b>Sekil 6. 1</b> : $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 - 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 - SiO_2$ faz diyagrami	34
<b>Sekil 6. 2</b> : Bazı Seramik Ürünlerin Üçlü Faz Diyagramında Gösterimi	35
<b>Sekil 6. 3</b> : Tamamen Seramik Dis Sisteminin Yandan Kesiti	40
<b>Sekil 7. 1</b> : Metal, metal oksit ve alümina silikatlar arasında pisme süresince meydana gelen kimyasal bağlanma mekanizması	45
<b>Sekil 7. 2</b> : Metal- porselen arayüzeyinde meydana gelebilecek bozunum türleri	46
<b>Sekil 7. 3</b> : Metal- Seramik Difüzyon Bağlanma Esnasında Meydana Gelen Olusumların Sıralaması	50
<b>Sekil 7. 4</b> : Difüzyon Bağlanmada Madde Tasnininin Kaynağı, Akisin Son Bulduğu Bölge, İzlediği Yol	51
<b>Sekil 7. 5</b> : Metal- Seramik Arayüzey Enerjisi ve Termodinamik Olarak Adezyonun Sağlanması için Yapılması Gereken Isı ile Gözlenen Bağ Mukavemeti Arasındaki İlişkisi	54
<b>Sekil 7. 6</b> : Bosluk Difüzyonu ve Arayer Difüzyonuna Ait Sematik Gösterim	56
<b>Sekil 7. 7</b> : Difüzyon Çifti	56
<b>Sekil 7. 8</b> : Kimyasal Profil	56
<b>Sekil 7. 9</b> : Konsantrasyonun Mesafeye Bağlı Olarak Değişiminin Sematik Gösterimi	58
<b>Sekil 7.10</b> : Bir Sivinin İslatma Açısına Ait Gösterim	66
<b>Sekil 7.11</b> : SEM' in Sematik Yapısı	69
<b>Sekil 7.12</b> : Numune Yüzeyine Gönderilen Birincil İyon Demetinin Saçılımı	72
<b>Sekil 8. 1</b> : Metal Altlık Yapımı Akis Seması	77
<b>Sekil 8. 2</b> : Ölçü Alındıktan Sonra Çıkarılmış Alçı Kalıp, Mum Modelajı Yapılmış Alçı Kalıp, Alçı Model Üzerinde Metal İskelet Görünümü, Dis Dizimi Yapılmış Kullanıma Hazır Protezler	79
<b>Sekil 8. 3</b> : Porselen Dis Akis Seması	80
<b>Sekil 8. 4</b> : Dökülmüş Metalin Kuşlama Öncesi Görünümü	81
<b>Sekil 8. 5</b> : 900 °C' de Oksidasyon Sonrası Görünüm	81
<b>Sekil 8. 6</b> : Opak Uygulaması	82
<b>Sekil 8. 7</b> : Opagin Pisme Sonrası Görünümü	82
<b>Sekil 8. 8</b> : Dentin İle Dis Seklinin Sağlanması	82
<b>Sekil 8. 9</b> : Mine Yığmak Amacıyla Dentinde Oluk Açılması	82
<b>Sekil 8.10</b> : Mine Yığılması	82

<b>Sekil 8.11</b>	: Mine Yigilmasından Sonraki Görünüm	82
<b>Sekil 8.12</b>	: Bitmiş Kuronun Glazür Öncesi Görünümü	83
<b>Sekil 8.13</b>	: Glazür Sonrası Görünüm	83
<b>Sekil 8.14</b>	: Porselen Disin Kesiti	83
<b>Sekil 8.15</b>	: Porselen Dis Pisirme Firini	83
<b>Sekil 8.16</b>	: Tamamen Seramik Dis Sistemine Ait Sematik Gösterim	84
<b>Sekil 8.17</b>	: Zirkonya İnceram Üretim Akis Semasi	85
<b>Sekil 8.18</b>	: Dis Porselen Tozu Üretimi Akis Semasi	86
<b>Sekil 8.19</b>	: Üretilen Porselen Tozun Görünümü	87
<b>Sekil 8.20</b>	: Üretilen Tozdan Yapılan Porselen Dis	87
<b>Sekil 8.21</b>	: Metal- Porselen Numunelerin Sematik Görünümü	89
<b>Sekil A.1</b>	: Alümina İnceram Üretim Akis Semasi	102
<b>Sekil A.2</b>	: Spinel İnceram Üretim Akis Semasi	103
<b>Sekil B.1</b>	: 905 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 30 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	104
<b>Sekil B.2</b>	: 905 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 60 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	105
<b>Sekil B.3</b>	: 905 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 90 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	106
<b>Sekil B.4</b>	: 930 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 30 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	107
<b>Sekil B.5</b>	: 930 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 60 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	108
<b>Sekil B.6</b>	: 930 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 90 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	109
<b>Sekil B.7</b>	: 955 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 30 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	110
<b>Sekil B.8</b>	: 955 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 60 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	111
<b>Sekil B.9</b>	: 955 °C' de Pisirilmiş Vakumsuz 90 s Bekletilmiş Metal- Porselen Numuneye Ait EPMA Analizi	112
<b>Sekil C.1</b>	: 905 °C' de Ni' in zamana bağlı difüzyonu	113
<b>Sekil C.2</b>	: 930 °C' de Ni' in zamana bağlı difüzyonu	113
<b>Sekil C.3</b>	: 955 °C' de Ni' in zamana bağlı difüzyonu	113
<b>Sekil C.4</b>	: 30 s' de Ni' in sıcaklığa bağlı difüzyonu	114
<b>Sekil C.5</b>	: 60 s' de Ni' in sıcaklığa bağlı difüzyonu	114
<b>Sekil C.6</b>	: 90 s' de Ni' in sıcaklığa bağlı difüzyonu	114
<b>Sekil C.7</b>	: 905 °C' de Cr' un zamana bağlı difüzyonu	115
<b>Sekil C.8</b>	: 930 °C' de Cr' un zamana bağlı difüzyonu	115
<b>Sekil C.9</b>	: 955 °C' de Cr' un zamana bağlı difüzyonu	115
<b>Sekil C.10</b>	: 30 s' de Cr' un sıcaklığa bağlı difüzyonu	116
<b>Sekil C.11</b>	: 60 s' de Cr' un sıcaklığa bağlı difüzyonu	116
<b>Sekil C.12</b>	: 90 s' de Cr' un sıcaklığa bağlı difüzyonu	116
<b>Sekil C.13</b>	: 905 °C' de Ti' nin zamana bağlı difüzyonu	117
<b>Sekil C.14</b>	: 930 °C' de Ti' nin zamana bağlı difüzyonu	117
<b>Sekil C.15</b>	: 955 °C' de Ti' nin zamana bağlı difüzyonu	117
<b>Sekil C.16</b>	: 30 s' de Ti' nin sıcaklığa bağlı difüzyonu	118
<b>Sekil C.17</b>	: 60 s' de Ti' nin sıcaklığa bağlı difüzyonu	118
<b>Sekil C.18</b>	: 90 s' de Ti' nin sıcaklığa bağlı difüzyonu	118

## SEMBOL LİSTESİ

<b>g</b>	: Yüzey Enerjisi
<b>W</b>	: Yapılan İş
<b>P</b>	: Gerilim
<b>R</b>	: Yarıçap
<b>S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub></b>	: 1. ve 2. Kati Yüzeyleri
<b>J</b>	: Atomal Yayınım Akisi (atom/ m <sup>2</sup> s)
<b>N</b>	: Atom Sayısı
<b>A</b>	: Alan (m <sup>2</sup> )
<b>t</b>	: Zaman (t)
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>D</b>	: Difüzyon Katsayısı (m <sup>2</sup> s)
<b>Q</b>	: Aktivasyon Enerjisi (kal/mol)
<b>R</b>	: Gaz Sabiti
<b>x</b>	: Mesafe (µm)
<b>C</b>	: Konsantrasyon
<b><u>dc</u></b>	: x Noktasındaki Konsantrasyon Gradyanı
<b><u>dx</u></b>	
<b><u>dc</u></b>	: C Konsantrasyonunun Zamanla Değişme Hızı
<b><u>dt</u></b>	
<b>q</b>	: İki Yüzey Arasındaki Temas Açısı
<b>g<sub>k</sub></b>	: Kati Yüzeyin Enerjisi
<b>g<sub>s</sub></b>	: Sivi Yüzeyin Enerjisi
<b>g<sub>sk</sub></b>	: Sivi- Kati Arayüzey Enerjisi
<b>m</b>	: Kütle
<b>z</b>	: Yük
<b>a</b>	: İsisal Genleşme Katsayısı

## **DOGAL SERAMİK HAMMADDELERDEN PORSELEN DIS YAPIMI VE METAL- SERAMİK ARAYÜZEYİNİN KARAKTERİZASYONU**

### **ÖZET**

Bu çalışmada, porselen dis yapımı ile seramik hammaddelerinden dis porselen tozlarının üretimi incelenmiştir. Metal çekirdek üzerine hazır toz karışımları kullanılarak opak, dentin ve seffaf çalışmaları yapılmış ve porselen dis yapımı incelenmiştir.

Kaolen, feldspat, kuvars ve diğer seramik hammaddeleri kullanılarak opak, dentin ve seffaf olmak üzere farklı karışımlarda tozlar üretildi. Bu üretilen tozlar, 1200 °C' de 2 saat frit eritmeye tabi tutuldu. Buradan elde edilen kati eriyik kırma, öğütme ve eleme işlemlerinden geçirilerek dis porselen tozları üretildi.

Üretilen bu tozlardan porselen bir dis yapıldı. Toz, likit yardımıyla pismeden önce metal üzerine rahatça uygulanacak plastiklikte bir kıvama getirildi. Sivi, plastik bu porselen tanecikleri mümkün olduğunca kompaktlanması toz taneciklerinin tam olarak yerleşebilmesi için titreşim uygulandı. İyi kompaktlanmış kuru, vakum altında pisirilmek üzere elektrikli fırına yerleştirildi. 600 °C' de kurutulduktan sonra belirlediğimiz pisirme rejimine bağlı kalarak pisirme işlemi gerçekleştirildi. Porselen dislerde opak, dentin ve seffaf tabakalar sırayla ayrı ayrı pisirildi. Bir tabaka pisirilip sogutulduktan sonra diğeri uygulandı.

Sonuçta, doğal seramik hammaddeleri ile piyasada kullanılmakta olan orijinal dis tozlarının üretilebildiği görüldü. Üretilen tozların tane boyut analizi yapıldı.

Bu çalışmada yer alan diğeri bir konu da, porselen dislerde sıcaklığa maruz kaldığında oluşan metal- porselen difüzyon çiftinin arayüzeyinin özelliklerinin karakterizasyonudur.

Yıllar içinde metal- seramik kompozit yapıların dışçilikte kullanımının artışı ile bu yapıların pisirme sonrası aralarında oluşan bağlanma mekanizmaları ve bağ dayanımı konularına da ilgi artmıştır.

Metal- porselen arayüzeyinde güçlü bir bağın oluşması beklenir. Geçiş bölgesi bir denge içinde olmalıdır böylece metalik ve de kovalent- iyonik bağlar bir arada oluşabilir. Metal üzerine porselen ergitme esnasında yeni fazlar oluşturan arayüzey reaksiyonları böyle bir dengenin göstergesi olmasa da kararsızlığın göstergesidir. Sonuçta elde edilen faz istenen özellikleri taşıyor olabilir. Bu nedenle arayüzeydeki oluşumları anlamak önemlidir.

Metalin seramiğe bağlanması çeşitli mekanizmalarla ifade edilebilir. Bu bağlar; arayüzeyde tanelerin atomik difüzyonu ile, metal- seramik atomları arası kimyasal bağ ile, arayüzeyde oluşan kimyasal reaksiyonlar ile ve de iki yüzeyin mekanik olarak bağlanması ile meydana gelebilir. Bunların hepsinin birleşimi kesintisiz bir arayüzey bölgesinin oluşumunu sağlar. Yüksek bir bağ mukavemeti için kritik ihtiyaç, güçlü bir difüzyondur. Difüzyon bağlanmayı yük ve kütle transferi sağlar.

Çalışmanın bu aşamasında, metal- seramik difüzyon çiftinin arayüzeyindeki oluşumları, bunlara vakum altında pişirme sıcaklığının ve de fırından çıkarmadan önceki vakumsuz olarak bekletilme süresinin etkisini görmek için 3 farklı sıcaklık (905 °C, 930 °C, 955 °C) ve 3 farklı süre (30 s, 60 s, 90 s)' ye sahip 9 numune hazırlandı. Sinterleşme süreci boyunca numunelere vakum uygulandı. Fırın porselenin pişme sıcaklığına ulaştığında vakum kesildi ve bu şartlarda 30, 60, 90 s bekletildi. Bu numunelerin yüzeyleri EPMA' da incelenmek için hazırlandı.

Sonuçta metal- seramik difüzyon çifti ısıya maruz kaldığında, aralarında bir etkileşimin, difüzyonun meydana geldiği, atomlar arasında bir geçiş olduğu görüldü.

# **THE PRODUCTION OF PORCELAIN TEETH FROM CERAMIC RAW MATERIALS AND THE CHARACTERISATION OF METAL- CERAMIC INTERFACES**

## **SUMMARY**

In this study, production of porcelain tooth and the production of porcelain tooth powders from ceramic raw materials were investigated. By using the powders opaque, dentin and enamel studies were done on metal crown and production of porcelain tooth was investigated.

Opaque, dentin and enamel powders were prepared from different mixtures of kaolin, feldspar, quartz and other raw materials. The powders are not just mixtures of the various ingredients. During manufacture, the constituents are mixed together and these powders were melted at 1200 °C for 2 hours to form a frit. The solid melt obtained from this sintering process, was crushed, grounded and classified.

From these prepared fine powders, a porcelain tooth was produced. The porcelain powders are mixed with water to produce a plastic mass of material which can be moulded and carved before firing. The aqueous plastic mass of porcelain particles is compacted as much as possible. The moulded crown was lightly vibrated, thus helping to settle the powder particles. This well- compacted crown was placed into electrical porcelain furnace which allows firing under vacuum. It' s firstly dried in 600 °C. Then by using the general firing procedure of VITA (dental firm), a firing chart was adapted. According to this chart, by consequently opaque, dentin and enamel layers were fired one by one.

As a result, it was seen that the original powders could be achieved by using ceramic raw materials. Particle distribution and sizes in these powders were obtained by a particle size analyzer.

The other study is the characterisation of the interface properties between metal- porcelain diffusion couple in porcelain teeth.

As the use of porcelain- metal composite structures in dentistry is increasing rapidly, there has been considerable interest in the nature and the strength of the junction formed between porcelain baked onto metals.

The porcelain- metal interface must be strongly bonded. The transition zone should be in local equilibrium so that metallic bonds and covalent- ionic bonds can both be present. Interface reactions developing new phases during porcelainization are not indicative of such equilibrium but indicate instability, and the resulting phase may not have desirable properties. Consequently, understanding the reactions at the interface is useful.

Bonding of metal to ceramic at the interface can be recognized in different levels. These bonds may be due to atomic diffusion of the species across the interface, chemical bond between metal and ceramic atoms, chemical reactions that occur at the interface and mechanical interlocking of two parts. The sum of these contributions constitutes the interfacial integrity. A strong diffusion is a critical requirement for a high strength at the metal- ceramic interface. Both mass transport and charge transfer contribute to diffusion bonding.

There have been many efforts to obtain a good adherence at dental porcelain- metal interface for dental restoration. One of the most important factors for producing good metal- ceramic bonding is to control chemical reactions between metal and ceramic. Chemical equilibrium must be maintained at the interface. The manufacturing is generally achieved by fusing porcelain on the metal surface. It was postulated that a good continuity at the interface could be carried out when there is a good adherent thin oxide layer on the metal surface. The oxide layer can be dispersed by diffusion in to porcelain.

In this study, to examine the occurrence at the interface of the metal- ceramic diffusion couple and the effects of the firing temperature and vacuum- less waiting time, 9 samples were prepared by 3 different firing temperatures (905 °C, 930 °C, 955 °C) and 3 different times (30 s, 60 s, 90 s) in a vacuum-less condition. During the sintering process, the samples were exposed to vacuum. When the furnace heated to the sintering temperature, vacuum was turned off and they waited in this condition at 30 s, 60 s and 90 s.

The samples' surfaces were prepared for the EPMA investigation. As a result it was seen that, when this metal- ceramic composite was exposed to heat, an atomic diffusion became between them.

## 1. GIRIS

Son yıllarda ÷lkemizde de sıkça araştırma konusu olarak gündeme gelen dis seramikleri konusunun gelişimine bir katkıda bulunabilmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

Dis seramikleri konusuna girmeden önce ilk olarak seramikler, seramik hammaddeleri ve seramik üretim süreçleri hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Kullanılan seramik türünün dis seramigi olması sebebiyle dis morfolojisi hakkında da kısa bir özet yapılarak bilgi verilmeye çalışılmıştır. Genel olarak biyomalzemeler ile dis malzemelerine değinilmiştir.

Dis seramikleri konusu dis porselenleri üzerine yoğunlaştırıldığı için genel olarak porselen ile ilgili bir bilgi verilmeye çalışılmıştır. Porselenin hammaddeleri, yapısı, tarihçesi ve dislerde kullanımına dair özet bir bilgi verilmiştir. Porselen hammaddelerinden ana hammadde olarak; kil ve kaolen, kuvars ve feldspat ile diğer hammaddelere değinilmiştir.

Porselen dislerin kullanımı ÷lkemizde yaygınlaşmasına karşın yapımında kullanılan ve yurtdisinden ithal edilen porselen tozlarının üretimine yönelik herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla ÷lke ekonomisi açısından büyük yük haline gelmiştir. Bu konuda bir gelişme kat etmek amacıyla ithal edilen porselen tozunun doğal seramik hammaddelerinden üretimi konusunda bir çalışma yapılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada öncelikli olarak piyasada kullanılmakta olan porselen tozlarına analiz yapılip elde edilen kimyasal bileşim değerlerine göre hammadde reçetesi hazırlanmıştır. Hammaddeler, gerekli saflık ve kaliteye getirilerek reçetede ki değerlerine göre tartilip harmanlanmış ve üretim prosesleri gözönüne alınarak opak,



dentin ve seffaf olmak üzere 3 tür porselen tozun üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu üretilen tozlardan faydalanarak porselen bir diş yapılmıştır.

Ayrıca diğer bir çalışmada da, piyasada sıkça kullanılmakta olan metal üzerine porselen ergitme yöntemiyle elde edilmiş porselen dişlerde metal- seramik arayüzey etkilesiminin gözlemlenebilmesi için plaka metal- seramik numuneler hazırlanmıştır. Metal plaka üzerine metali kapatmak için uygulanan ilk toz katman olarak opak tabaka uygulanmıştır. Metal ve seramik arayüzeyinde meydana gelen etkilesime pisme sıcaklığının ve bu sıcaklıkta bekletme süresinin etkisini görebilmek için 3 değişik sıcaklık ile 3 değişik zaman parametre olarak alınmıştır.

Numunelerin arayüzeylerinde meydana gelen etkilesimler yüksek çözünürlüklü EPMA cihazı ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## **2. SERAMİK**

### **2. 1. Giriş**

Anorganik maddelerin oluşturdugu bilesimlerin, herhangi bir yöntem ile sekillendirilip, sirli veya sirsiz olarak, istenen dayanikliliğa ulasana kadar pisirilmesi bilim ve teknolojisidir. Meydana gelen ürünlere ise seramik ürün denir [1].

Insanoglu tas devrinden hemen sonra kili tanimis ve ona sekil verebilecegini kesfetmistir. Kilin plastiklik özelliginden faydalanarak ham kilden hemen kirilip dagilmayan bazi kaplar ve depo görevi görecek çukurlar yapmislardir. Fakat bunlarin ömrü fazla olmamistir. Bu malzemelerin ateste pisirilerek sertlesmesinin kesfiyle ilk seramik ürünler de ortaya çikmaya baslamistir. İlk pismis seramikler tugla ve plaka seklinde olup Misir ve Isviçre’de su kenarinda yasayan insanların bulunduğu bölgelerde rastlanmistir. Misirdan Mezopotamya, Orta Asya, Iran ve Anadolu’ya yayilmis ve ilk çanak çömlek tipi seramiklerin M. Ö. 6000 yillarinda Anadolu’da ve yine ilk sirli seramiklerin de M. Ö. 4000 yillarinda Misirda yapildigi tespit edilmistir.

Gelisen seramik buralardan Avrupa’ya aktarilmistir. Seramik ürünlerin teknik yönden en gelismis olani porselen ise M. S. ilk çağlarda Çinliler tarafından yapilmaya baslanmistir. Porselen Avrupa’da 10. yüzyildan beri taninmasına ragmen ancak 17. yüzyilda arastirilmaya baslanmistir. İlk porselen fabrikasi Fransa’nin Sevr sehrinde kurulmustur. Bundan sonra seramik ve porselen gerek teknik kalite, gerek estetik deger ve üretim teknolojisi yönünden çok süratli gelismeler göstererek günümüze gelmistir [2, 3].

Anadolu çeşitli kültürlerin yasadigi bir bölge olması nedeniyle her dönemden seramik eserlere rastlanmaktadır. En önemli seramikler M. Ö. 3500 Kalkolitik devir, M.Ö. 2500-1000 Truva, M.Ö. 2500- 1000 Hitit, M.S. 11. ve 13. asirlarda Selçuklular

zamanlarından kalan seramiklerdir. 10. yüzyılda Anadolu'ya giren Osmanlılar, Selçuklulardan kalan seramik kültürünü sürdürmüş ve 15. yüzyılda kendi ekolünü oluşturmıştır. 16. ve 17. yüzyıllarda özellikle Iznik' te dünyaca ünlü çini eserler verilmiştir. Osmanlı döneminde daha ziyade saraylar, camiler, medrese ve türbeler için üretilen seramikler 17. yüzyıldan sonra yozlaşmaya başlamış. Cumhuriyet dönemine kadar Kütahya, Çanakkale seramikleri ve Fransa' dan çamuru getirilerek yapılan Yıldız porselenleri görülmektedir. 19. yüzyılın sonlarına doğru çanak, çömlek, harman tuğlası gibi seramiklerin dışında hiçbir şey üretilemez hale gelmiştir. Kiremit ihtiyacı dahi İtalya'dan Marsilya kiremitleri adı altında ithal edilerek karşılanmıştır. Cumhuriyetten sonra ilk seramik üretim girişimi 1942 yılında Kartal'da Eczacıbaşı tarafından kahve fincanı üretimi ile başlar. 1950' de başlatılan sanayileşme girişimine paralel olarak 1958' de ilk modern seramik fabrikası sofras ve süs eşyası üretmek üzere yine Eczacıbaşı tarafından Kartal'da kurulmuştur. 1960' dan sonra ise seramik sanayi büyük bir hızla gelişmiştir [1, 2, 3].

## **2. 2. Seramik Ürünler**

### **2. 2. 1. Seramik Ürünlerin Sınıflandırılması**

Seramik ürünler, bünye yapısına göre boşluklu, yarı boşluklu ve boşluksuz olarak sınıflandırılır [1, 4, 6].

Bosluklu seramikler, kullanılan kilin camlaşma derecesinden daha düşük bir sıcaklıkta piserildiğinden gözenekli bir yapıya sahiptirler. Isı geçirme kabiliyetleri diğer seramiklere göre daha azdır. Su emmeleri yüksek, sertlikleri azdır. Tuğla-kiremit, taşıyıcı döşeme malzemesi, dekoratif malzeme, ates tuğlası, silika ve bazik tuğla, SiC, oksit refrakterler ile karo ve sihi tesisat fayanslar örnek verilebilir.

Yarı boşluklu seramiklerde ise boşluk oranları % 3- 4 civarındadır. Sertlikleri boşluklu malzemelere göre daha yüksektir. Kaplama ve sihi tesisat malzemesi olarak kullanılırlar. Bosluksuz seramikler, bünyesindeki kilin camlaşma derecesinde piserildiği için camsi yapıdadırlar. Su emmeleri pratik olarak % 0' dir. Bosluklu seramiklerden (atese dayanıklı olanlar hariç) daha sert ve isiya dayanıklıdırlar.

Seramikler kalitatif olarak sınıflandırıldığında; Kaba Seramikler (900- 1050 °C): Tuğla ve Kiremit, Çömlekçi Seramikler, Akçini (980- 1100 °C): Süs Eşyası, İç Mekan Sanatsal Seramikler, Sert Çini (1100- 1200 °C): Yer ve Duvar Karoları, Dis Mekan Sanatsal Seramikleri, Süs ve Sofra Seramikleri, Vitrikiye Seramik (1240- 1290 °C): Sağlık Gereçleri, Porselen (1250- 1420 °C): Sofra ve Süs Eşyası, Sigorta Parçaları, Bujiler, Yüksek Gerilim İzolatörleri, Biyoseramikler, Laboratuvar Porselenleri, Refrakterler (1350- 1700 °C): Endüstriyel Fırın Malzemeleri, Isıtıcılar, Uzak Araçları Kilifleri, Isı İzolasyonu Refrakterleri, Teknik Seramik (1500- 2000 °C): Oksit Seramikler ve Asindiriciler [1- 4].

## 2. 2. 2. Seramik Ürünlerin Kullanım Alanları [2, 4- 6]

Tablo 2.1: Günümüzde seramiklerin kullanıldığı yerler

<b>Kullanım Alanları</b>	<b>Örnekler</b>
Yapı Seramikleri	Tuğla ve Kiremit Duvar ve Yer Kaplama Plakaları Sağlık Gereçleri (Lavabo, Klozet, v.s.)
Ev Eşyası Seramikleri	Saksi, Çanak, Çömlek Süs Eşyası (Vazo, Biblo, Heykel) Sofra Seramiği (Tabak, Fincan, v.s.) Ateşe Dayanıklı Pisirme Kapları
Ser-Met' ler	Seramik Metal Karışımı Parçaları
Elektrik Seramikleri	Salter ve Sigorta Parçaları Alçak ve Yüksek Gerilim İzolatörleri Yalıtım Seramikleri
Elektronik Seramikler	Dielektrik Seramikler Piezoelektrik Seramikler Varistörler
Refrakter Seramikler	Ateş Tuğlası, Grafit ve SiC Silika, Bazık ve Karbon Tuğla Oksit Refrakterler Seramik Elyafı
Asindirici Seramikler	Zimpara Taşları ve Tozları Sentetik Elmas
Biyoseramikler	Seramik Kemik, Protez, Dis Seramik İmplantlar
Nükleer Seramikler	Nükleer Yakıt Sistem Seramikleri Radyasyona Karşı Ağır Betonlar
Mekanik Seramikler	Piston, Yatak Motor Gövdesi
Uzak Araçları Seramikleri	Isı ve Sürtünmeye Dayanıklı Kilifler Uçuş Pist Platformları
Süper İletken Seramikler	Enerji İletim Sistemleri

Günümüzde seramik ailesi, klasik seramiklerin niteliklerini taşımakla birlikte yeni mekanik yetenekler edinmiş olan teknik seramikleri de kapsamına alarak genişlemiştir. Seramik ürünlerin kullanımı oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir.

### 2. 2. 3. Seramik Ürünlerin Özellikleri

Günümüzde seramik malzemelere ilginin artmasının baslica nedenleri;

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Kimyasal kararlılığın yüksek olması
- Çok sert olmaları
- Metallerden hafif olmaları (özgül ağırlıkları düşük)
- Hammaddenin bol ve ucuz olması
- Erozyon ve aşınmaya karşı dayanım
- Oksidasyon direncinin yüksek olması
- Sürtünme katsayısının düşük olması
- Basma kuvvetinin yüksek olması' dir [7].

Kimyasal dayanım özellikleri genelde iyidir. Asitlerden (HF hariç), alkalilerden, bazlardan ve korozyondan etkilenmezler. Mikro yapısında cam fazı yüksek olan porselen gibi seramikler yarı saydamlık kazanmışlardır. Sağlık ve estetikle ilgili seramiklerin kullanılan yüzeyleri sir denilen camsı bir tabaka ile kaplanmıştır. Sirli yüzeyler parlaktır. Gözeneksiz olup kir tutmaz. Mikrop ve bakteri barındırmaz.

Fiziksel özellikleri incelendiğinde; sert malzemeler oldukları için kolay çizilme ve aşınmanın olmadığı görülür. Asındırıcı amaçla üretilmiş seramikler diğer metal ve malzemeleri asındırma ve kesmede kullanılacak kadar sert özelliğe sahiptirler (korund, SiC, TiC, WC, sentetik elmas vb.). Mekanik dayanıklılıkları fazla değildir. Basınç mukavemeti yüksek olmakla beraber çekme mukavemeti düşüktür. Gevrek olduklarından çekme etkisinde kolay kırılır. Darbelere karşı kırılındır.

Elektriksel açıdan genellikle yalıtkan özellik gösterirler. Bu özelliği nedeniyle alçak ve yüksek gerilim izolatörlerinde kullanılır. Buna karşın fırınlar için özel direnç malzemeleri olarak kullanılan iletken seramikler de vardır (SiC, MoS<sub>2</sub> gibi). Elektrigi iletmez fakat elektrik alanına tepki gösterirler. Elektriksel alan etkisinde oluşan kutuplaşma nedeni ile yüzeylerinde büyük ölçüde elektron depo edilebilir. Yüksek dielektrik özelliğe sahip seramikler kapasitör üretiminde kullanılır.

Özel olarak üretilen yüksek poroziteli seramikler isi izolasyon malzemesi olarak kullanilir. Isiyi iyi iletmesi için üretilen seramikler, firinlarda ve metal ergitme kaplarında kullanılmaktadır (SiC, grafit). Isiya dayanikli malzemelerdir. Isil sok dayanimi yüksektir. Soba, firin, sömine, sanayi firinlarında kullanılan tek malzeme seramiktir. Kuru, yari yas ve sulu olmak üzere çok çeşitli metotlar ile sekillenebilme özelligine sahiptir [1, 2, 8].

## **2. 3. Seramik Prosesler**

### **2. 3. 1. Seramik Hammaddeleri**

Seramik hammaddeleri özlü ve özsüz hammaddeler olmak üzere 2 gruba ayrilir.

Özlü seramik hammaddeleri; su ile yogrulabilen, dagilmadan kolaylikla sekillendirilebilen, kurduklari zaman verilen sekli muhafaza eden hammaddelerdir. Kendi aralarında özlülük derecelerine göre siralanirlar. Bu siralamada, olusum kosullarina göre içerdikleri tane irilikleri ve yogrulmalari için alabildikleri su miktarı etkendir. En özlü hammadde olarak; bentonit, daha az özlü olarak çeşitli grupsal yapılarla sahip killer ve sonuncu olarak kaolenler siralanabilir [1].

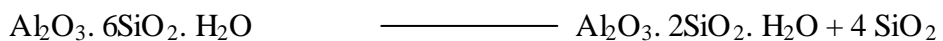
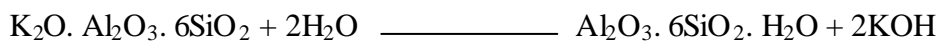
Özsüz seramik hammaddeleri; çok ince öğütülebilirler bile, su ile kolayca sekil verilemeyen, sekil verilebilse bile bir dis etken ile seklini kaybedip dagilan hammaddelerdir.

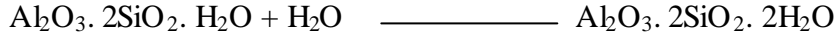
#### **2. 3. 1. 1. Kil ve Kaolen**

Kilin anaç kayasi jeolojik devirlerde olusmus bulunan feldspatlardir. Feldspat kayalar çeşitli jeolojik devirlerde jeolojik ve fiziki sartların etkisiyle yer yer degisime ugramistir.

Olusan kaolinit, zaman içinde yagmur ve sel gibi doga sartları ile karsilasınca tanecikler su ile tasınarak arazi içindeki çukurluklara dolar ve buralarda zamanla çökerek kil yataklarını olustururlar. Bu killere sedimenter killer denir [4, 9, 10].

Feldspat (  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  )' nin kaolizasyon olayi:





Kil, kaolenle aynı kimyasal yapıya sahip bir kaolinittir. Kaolenden ayrılan taneler su ile sürüklenip toplanırken taneler incelendiği için kil, kaolene göre plastiklik kazanır. Killer, tanelerinin inceliği oranında plastiklik kazanırlar. Plastik özelliğinden seramik ürünlerin şekillendirilmesinde yararlanılır.

Kil yatakları, uzun zaman içinde çeşitli aralıklardaki sürüklenme ve tasınmayla oluştuğundan birbirinden farklı tabakalar halinde üst üste veya çeşitli kalınlıklar halinde bulunurlar. Tasıma sırasında geçtikleri yollar ve yataklardaki anorganik ve bitkisel maddeleri birlikte sürükleyerek taşırlar. Böylece bünyesine, metal oksitler, Ca, Mg, karbonatlar, sülfatlar, kömür, humus gibi yabancı maddeler karışır. Genellikle bu yabancı maddeler kilin saflığını, kalitesini ve beyazlığını olumsuz etkiler. Metal oksitler, karışma oranına göre killerin ham ve pismis renklerini değiştirir. Madensel tuzlar, kilin reolojik özelliklerini bozarlar. Sülfatlar pisme sırasında özellikle sirda olumsuz etkiye sebep olur. Kömür ve organik diğer karışımlar fazla olmadığı takdirde killerin döküm özelliklerini olumlu yönde etkilerler [2, 11- 14].

Dogadaki killer, değişik zaman ve yerlerde oluştuğu için birbirlerine göre çok farklılıklar içerir. Çeşitli yabancı maddeler ile beraber çöktükleri için klasik kaolinit formülü olan  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  şeklinde kile rastlamak imkansızdır. Genellikle kimyasal formülünde metal oksitler, alkaliler,  $\text{SiO}_2$  görülür ve formüldeki  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  oranları da değişmiş olur. Yine kil özelliğinde olan fakat oluşumları nedeni ile yapıları değişik olan mineraller;

Montmorillonit :  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$

Halloysit :  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Nakrit, kaolinit :  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Anoksit :  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Bünyesinde bu minerallerden çok fazla bulunan killere bentonit adı verilir. Bu killer bünyelerinde çok fazla su tutarlar. Bu yüzden kuruma sırasında küçülme çok olur.

Kil minerallerini meydana getiren taneler ince altıgen plaklar şeklindedir. Sulandırılmış kilin çökmesi, plakların yüzmesi ve negatif elektrik yüklü olması

nedeni ile birbirlerini itme özelliklerinden dolayı çok yavaş olur. Killer bu özelliği ile sulu seramik çamurlarında süspansiyon malzeme görevi de görür. Kendileri yavaş çökerken diğer kolay çöken ağır malzemeleri de taşıyarak karışımın çökmesini geciktirirler [9, 10, 13].

Killerin isiya dayanıklılığı da bünyesine karışan organik, metal oksit, ve diğer anorganiklerin miktarlarına bağlı olarak değişir. Metal oksit, karbonat, sülfat ve feldspat içeriği arttıkça isi dayanımı azalır ve ergime sıcaklığı düşer.  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  miktarı arttıkça isi dayanımı artar. Bu tip killerin pisme renkleri de daha beyaz olur. Bunlara refrakter killeri ve sıferton adı verilir. Bol miktarda  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$  içeren ve ince taneli olan killere çömlekçi kili denir. Bunlar düşük sıcaklıkta sinterleşir. Pisme renkleri kahverengi veya kırmızı tonlardadır [4, 10, 14].

Ülkemizde kil minerali çoktur, ancak yabancı madde içerdikleri ve pisme renkleri koyu olduğu için kaliteli ürün elde etmek zordur. Bunların bir kısmı renkli olmasına rağmen pisme özellikleri iyidir. Bu killerden tuğla, kiremit ve çanak çömlek üretilir. Kaliteli killer olarak nitelediğimiz killerden halen işletilen ocaklar; İstanbul (Beykoz Sile, Ayazaga, Sarıyer, Kilyos, Arnavutköy, Bogazköy), Söğüt (Kureköy, Çaltı, Inhisar).

Seramik sanayinin ihtiyacına cevap verebilecek başka kil ocakları bulunmadığı için kuruluşlar kil ihtiyaçları yönünden sıkıntıya girmişlerdir. Bu nedenle kil ve kaolen zenginleştirme tesislerinde bünyesinde  $SiO_2$  miktarı çok olan kil ocakları zenginleştirilerek kullanılabilir hale getirilir. Bazı durumlarda yurt dışından, özellikle İngiltere'den kil ve kaolen ithal edilmektedir [1, 2].

Kaolen, kile göre daha saf bir kaolinittir. Killerden daha az yabancı organik ve inorganik maddeler içerdiği için isi dayanımı yüksektir. Pisme renkleri daha beyazdır. Kaolenler de suda açılmasına rağmen killer kadar plastik olmayıp özsüzdürler. Ülkemiz kaolenleri, Avrupa kaolenleri gibi suda kolay açılan cinsten olmayıp serttir. Kaolinit ihtiyacı daima ürünün özelliğine göre kil ve kaolenin çeşitli oranlarda karışımı ile elde edilir.

Ülkemizde kaolen ocakları daha ziyade Batı ve Karadeniz Bölgesindedir. Diğer iller; Balıkesir (Mustafa Kemalpaşa), Çanakkale (Biga, Çan, Bayramiç), Eskisehir



(Mihaliççik), Bilecik (Deresakari), Istanbul (Arnavutköy), Nevşehir (Avanos), Ordu (Ünye), Uşak ve Bursa' dir. Kullanılan kaolen ocakları büyük rezervli olmayıp, oluşumları ile de aynı ocakta çeşitli özellikler göstermektedirler [1, 2, 10, 11].

### 2. 3. 1. 2. Feldspat

Kil ve kaolenlerin anaç kayası olan feldspat, bünyesindeki alkaliler ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) ile kil ve kaolenlere göre ergime derecesi düşük olan bir seramik hammaddesidir. Seramik ürünlerin oluşumunda, feldspat bünyesindeki alkali oranına bağlı olarak sinterleşme ve camlaşmayı sağlar. Feldspatlar, sert mineraller olup üretim süreci içinde öğütülmeleri gerekir. Kimyasal olarak alkali alümina silikatlarıdır. Jeolojik oluşumlardan meydana gelen püskürük kütleler içinde saf halde veya granit, porfir, syanit gibi kayalar ile beraber damarlar halinde bulunur. Seramik sanayinde ortaklaşa ve albit tercih edilmektedir [9, 10, 11].

K- Feldspat (Ortoklas)	: $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
Na- Feldspat (Albit)	: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
Ca- Feldspat (Anortit)	: $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
Ba- Feldspat (Celsian)	: $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

Feldspatlar, saf olarak az bulunur. Potasyum feldspatlarda bir miktar sodyum, sodyum feldspatlarda bir miktar potasyum bulunur. Ayrıca feldspatlar içinde bir miktar kuvars ve kaolen de bulunmaktadır. Aynı şekilde kaolen ve killerin içinde de çeşitli oranlarda feldspat bulunur [2, 12-14].

Potasyum feldspatların sinterleşme sıcaklık aralığı sodyum feldspatlara göre daha geniştir. Yumuşama sıcaklığı yaklaşık  $1150\text{ }^\circ\text{C}$ , ergime ise  $1280\text{ }^\circ\text{C}$ ' dir.  $130\text{ }^\circ\text{C}$ ' lik bu fark nedeni ile porselen gibi deforme olma noktasına kadar pisirilip camlaşan seramik ürünlerde potasyum feldspat tercih edilir. Tabiiatta %50' ye kadar kuvars ile karışık olan feldspatlara pegmatit, fiziki şartlar ile ufalanıp kum şekline gelmiş feldspatlara feldspat kumu adı verilmektedir.

Ülkemiz feldspat yönünden zengin ocaklara sahiptir. Ülkemizdeki feldspat ocakları; Kütahya (Simav, Emet), Çanakkale (Biga, Çan), Aydın (Çine), Manisa (Demirci), Bilecik (Pegmatit)' dir. Bünyesinde Fe, Ti ve mika bulunan büyük stoklu sodyum ve potasyum feldspat temizleme işlemleri uygulanarak zenginleştirilir [1, 2, 5].

### 2. 3. 1. 3. Kuvars

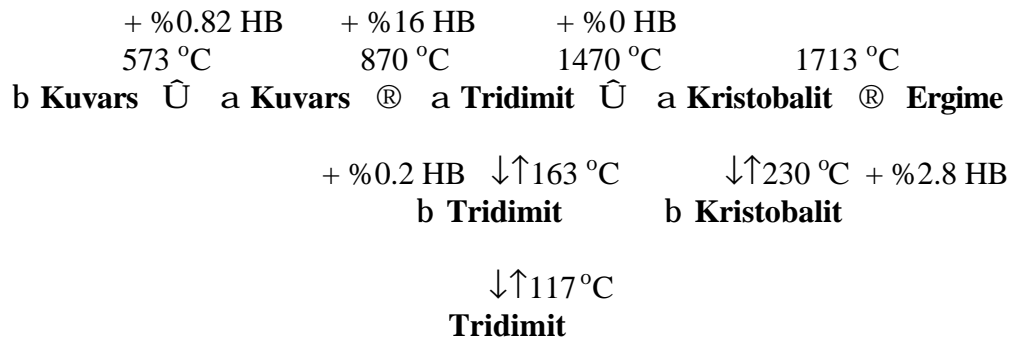
Diger seramik hammaddelerine göre tabiatta daha saf bulunan kuvars, %99.5 SiO<sub>2</sub>, % 0.5 Fe ve Ti ile karisik bulunur. Kuvars (SiO<sub>2</sub>) tabiatta kristal ve amorf haldedir.

Kuvars dogada 2 sekilde bulunur:

Kristal Kuvars: Ametist, Topaz, Neceftasi, Kuvars Kumu

Amorf Kuvars: Sileks, Flint, Kiselgur, Diatomit

Kuvars tabiatta ve ÷lkemizde en yaygin bulunan seramik hammaddelerinden biridir. Sert bir mineral oldugu için ögüt÷lerek kullanilir. Ekonomik olmasi sebebiyle kuvars kumu tercih edilmektedir. Kuvars kristalleri tabiatta kuvars, kristobalit ve tridimit seklinde bulunmaktadir. Bu üç kristal sekli, isi degisimlerinde birbirlerine ve yine kendi aralarinda daha farkli olan kristal yapilarina dönüsürler.



Sekil 2.1: Silikanin modifikasyonlari (HB: Hacimce Büyüme) [1, 9, 14]

Seramik hammaddelerinin hepsi isi karsisinda hacimce küç÷lürken kuvarsin bu kristal degisimleri, hacimce büyümesine neden olur. Bu özellik, sir ve hammaddelerinin % 95' i kuvars olan silika tuğlalarin pisirilmesi sirasinda ve ani yüksek isi degisimleri karsisinda özel dikkat gerektirmektedir. Eger kritik olan bu geçis sicakliklari yeterli hizda geçilmezse sir ve massede çatlama ve parçalanmalar meydana gelir [2, 9, 10, 12-14].

Ülkemizdeki kuvars ocaklari, kuvars, kaya ve kum seklinde Trakya (Podima, Kabakça, Çatalca), Çanakkale (Kemer), Bilecik ve Kütahya'da bulunmaktadir.

### 2. 3. 1. 4. Diger Hammaddeler

**Kalker :** Dogada sik rastlanan kalker kristal hali ile kireçtasi, mermer, kalsit, amorf hali ile tebesir olarak bulunur. Kalker (CaCO<sub>3</sub>, kalsiyum karbonat) 2700 °C gibi

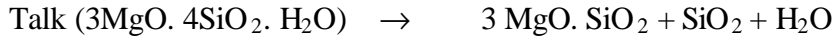
oldukça yüksek bir ergime sıcaklığına sahiptir. Ancak pisme sırasında başka bir malzeme ile etkileşimi sonucu ergime sıcaklığı düşebilir. Ülkemizde kalker ocakları bol miktarda bulunur. Tercih edilen bölgeler, Marmara adası ve Biga'dır [1, 2, 3].

**Magnezit** : Ergime sıcaklığı 2000 °C civarındadır. MgCO<sub>3</sub>, genellikle kalsine edildikten sonra yüksek isili metalurji fırınları için magnezit tuğla yapımında kullanılır. Pisme ile MgCO<sub>3</sub> → MgO + CO<sub>2</sub> (900 °C) bünyesindeki CO<sub>2</sub> açığa çıkar ve MgO halini alır. Magnezyum oksit isil soka dayanımı arttırdığı için laboratuvar kaplarında, isi çubuklarında ve elektrik soku olan alanlardaki özel seramiklerde kullanılmaktadır. Eskisehir civarında magnezit ocakları bulunmaktadır [2, 12].

**Dolomit (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>)** : Seramik çamur ve sirlarında hem CaO hem de MgO ihtiyacı olması halinde dolomit tercih edilir. Doğada kaya ve kum şeklinde bulunup Karadeniz ve Kütahya civarındaki ocaklardan elde edilmektedir [4, 9, 12, 13].

**Talk** : Steatit olarak bilinen elektrik malzemesi, sert değirmen taşları ve isil sok dayanımının yüksek olması istenen mutfak seramiklerinde kullanılır.

900 °C



Magnezyum silikat ve amorf SiO<sub>2</sub> kristobalit kristali haline geçer. Talk katılmış ürünlerin, amorf SiO<sub>2</sub> nedeni ile talk oranına göre küçülmeleri azalır ya da tamamen yok olabilir. Talk, plaka halinde bir kristal yapıdadır [1, 2, 4, 11, 12].

**Boksit** : Bünyesinde kristal su bulunan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' dir. Üç çeşit boksit cevheri vardır: (Diasporit: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. H<sub>2</sub>O, Böhmit: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. H<sub>2</sub>O, Gibsit: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 3H<sub>2</sub>O). Alümina eldesinde kullanılır. Boksitten elde edilen alümina, seramik sanayinde ergime sıcaklığını yükseltmek amacıyla doğrudan kullanıldığı gibi 2000 °C' lik ark fırınlarında eritilerek çok sert olan korundun elde edilmesinde de kullanılabilir. Korund ile yüksek isiyeye dayanıklı refrakter malzemeler, reaksiyon kapları ve zimpara taşları üretilmektedir. En zengin boksit yatakları Konya civarındadır [1, 12, 13].

**Zirkonyum Silikat (Zirkon, ZrSiO<sub>4</sub>)** : Doğada kum halinde bulunan zirkon, bazı özel seramik çamurlarında ve çok ince öğütülmesi halinde seramik sirlarında opaklık elde etmek için kullanılmaktadır. Ülkemizde henüz rastlanmamıştır. Dünyada en

fazla çıkarıldığı yer Avustralya' dir. Zirkonyumun bulunduğu bir diğer hammadde zirkonya ( $ZrO_2$ ) dir. Zirkonun kullanıldığı yerlerde aynı amaçla kullanılır [2, 12-14].

### **2. 3. 2. Hammadde Seçimi**

Seramik üretiminde kullanılan hammaddeler dört kategoriye ayrılmıştır:

- Doğal yataklardan alınıp işlenmemiş ve homojen olmayan hammaddeler,
- Mineral saflığını ve fiziksel homojenliğini önemli ölçüde arttırmak için rafine edilmiş hammaddeler,
- Kimyasal süreçler yolu ile kimyasal saflık ve fiziksel özellikleri önemli ölçüde iyileştirilmiş hammaddeler,
- Özel kimyasal yöntemlerle elde edilmiş inorganik tozlar

Seramik üretiminde kullanılmak üzere bu gruplardan seçilerek hammaddeler belirlenir. Seçimde etkisi olan faktörler; hammadde fiyatı, piyasa faktörleri, süreç maliyeti, teknik üretim etkenleri ve istenen ürün performansı' dir.

Seçilen hammadde tozlarından beklenen özellikler; % 100' e yakın saflık, tane boyutunun genelde 10  $\mu m$ ' dan az olması ki bu çoğunlukla uygulamaya göre değisebilir. Vitrifiye seramiklerde 10  $\mu m$  civarındayken ileri teknoloji seramiklerinde  $\mu m$ ' dan da az olması uygundur. Bunların yani sıra boyut dağılımının genellikle geniş olması istenir çünkü bu durumda paketlenme daha kolay olur. Tane şeklinin küresel olması daha iyi bir kompakt elde etmeyi sağlar. Ayrıca birden fazla bileşikten oluşan malzemelerde kimyasal ve fiziksel olarak homojenlik istenir [8].

### **2. 3. 3. Hammaddelerin Öğütölmesi**

Hammadde reçetesi doğrultusunda tartılıp harman haline getirilen karışım, bilyeli değirmende sulu veya susuz öğütmeye tabi tutulup homojen hale getirilir. Bileşenlerin birbirleriyle en iyi şekilde etkileşimi sağlanmış olur. Öğütme, bilye yüzeylerine tanelerin çarpması ve bilye yüzeyi üzerinde kayması işlemidir. İyi bir öğütme için bilye boyutunun toz boyutuna oranının % 25 olması istenir. Değirmen hacminin % 50' si bilyedir. Kuru öğütmede toz, değirmen hacminin % 25' i, yas öğütmede hacmin % 30-40' dir. Genellikle kullanılan bilye alümina esaslıdır. Ama

en uygunu öğütülecek malzeme ile kullanılan bilyenin aynı malzemeden olmasıdır. Böylece karışımın kirliliği önlenmiş olur.

Bilyeli değirmende öğütme kademeleri; hafif öğütme sonucu aglomera ve agregaların kırılması, partiküllerin kırılması, oluşan ince tanelerin tekrar aglomerasyonu' dur. Partiküllerin kırılarak öğütülmeleri, partikül- bilye çarpışmalarının frekansı ve enerjisi ile partiküllerin kırılma direnci aracılığıyla kontrol edilir. Bilyeli değirmenler, yüksek kapasiteli öğütmelerde ve geniş tane boyut dağılımının tanelere minimum zarar verecek şekilde yapılmasının gerekli olduğu durumda kullanılır. Bununla birlikte titreşimli değirmenler, atritor ve sivi enerji değirmenleri de öğütme için kullanılır. Titreşimli ve atritor değirmenler, dar tane boyut dağılımına sahip tozları hızlı şekilde öğütmek üzere kullanılır [8].

### **2. 3. 4. Sekillendirme Yöntemleri**

Seramik tozların şekillendirilmesi için kullanılan genel yöntemler; kuru veya yarı kuru preslemenin uygulandığı kuru ve soğuk izostatik presleme, konsantre süspansiyon veya çamur dökümünün uygulandığı serit ve yas döküm, plastik şekillendirmenin uygulandığı ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplamadır.

**Kuru Yöntem İle Sekillendirme:** Basit ve ucuz bir yöntem olan kuru preslemede toz veya serbest haldeki granül malzemeler kullanılarak basit şekilli parçalar elde edilir. Kuru presle şekillendirmede bir miktar rutubete ihtiyaç vardır [15, 16].

Toz haline getirilmiş bulunan toz halindeki hamur, çelik kalıplı hidrolik veya mekanik preslerde preslenerek şekillendirilebilir. Bu metotla yer ve duvar kaplama, elektro porselen, ufak boyutlarda kullanıma ve süs esyasi seramikleri üretilmektedir. Rutubetlendirme %5-8 katkı ile yapılmaktadır. Sekillendirme suyunun azlığı nedeni ile kuru küçülmeleri çok az olur. Bu da toplu küçülmeyi etkilediğinden, üretilen parçaların mümkün olduğu kadar istenen boyutlarda fırından çıkması sağlanır. Ayrıca kurutma süresi ve kurutma hataları da azalır [17, 18].

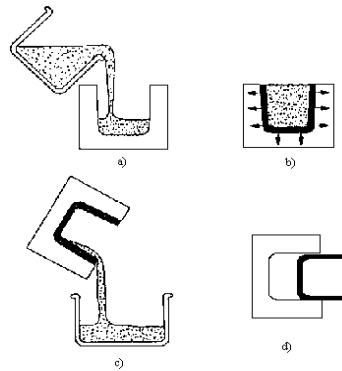
**Soguk Izostatik Presleme:** Bu yöntemle şekillendirilecek tozlar kırılğan granüller halindedir. Büyük hacimli ve karmaşık şekilli parçaların şekillendirilmesinde yaygın

olarak kullanılmaktadır. Hızlı ve ucuz bir yöntem olup yüksek yoğunlukta ve kalitede ürün elde edilir [15, 19].

Sivilerin kendilerine yapılan basıncı, her tarafa aynı şekilde iletmesi prensibinden yararlanır. Basınç, çamurun her tarafına eşit uygulandığından ürün hatasız olur. Toz malzemeler, elastik kap içerisine yerleştirilip basınç kabini içindeki sıvı ortama daldırılır. Uygulanan yüksek basınç sıvı yardımıyla tozlara iletilip sıkışmayı sağlar. Sıvı ortam olarak su, yağ veya gaz kullanılabilir. Bu yöntemde sürtünme olmadığından bir bağlayıcı veya yağlayıcı ilavesine gerek yoktur [18].

**Sıcak İzostatik Presleme:** Yüksek sıcaklıklarda bir toz kütle veya ön şekil verilmiş bir parçaya yüksek izostatik basınçlar uygulamak suretiyle gerçekleştirilen bir malzeme hazırlama yöntemidir. Yoğunlaşma büyük ölçüde atomların yayılmasıyla değil toz malzemenin hareketi ile gerçekleşir. Bunun sonucu olarak düşük sıcaklıklarda ve/veya daha kısa sürede maksimum yoğunluğa ulaşılır. Böylece hem zaman hem de enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. İşlem sıcaklığı 1200-2000 °C aralığındadır. Yoğun kaplamalarda ve altlığı daha yüksek tutunma için uygulanan işlemlerde kullanılır [20].

**Yas Yöntem ile Şekillendirme:** Yas döküm yoluyla şekillendirilecek malzeme az bağlayıcı içeren akışkan bir çamurdur. Yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemde ince karmaşık şekiller üretilir. [7, 21, 22].



Sekil 2. 2: Yas yöntem ile şekillendirme kademeleri [18]

Yas yöntem ile şekillendirmede kalıp olarak alçı kalıplar kullanılır. Gözenekli kalibin su emme yeteneği sayesinde döküm çamurunun suyunu emmesiyle şekillendirme gerçekleşir. Şekillendirme için gerekli kalınlık sağlandığı zaman, kalıp içindeki

çamur geri bosaltılır ve kalınlık alma işlemi durmuş olur. Şekillendirilen parça bir süre sonra kalıptan alınacak kadar sertleşir [20].

**Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi:** Şekillendirilecek malzeme granüle edilmiş toz karışımı ve kati bağlayıcıdan ibarettir. Temel prensip, ergitilmiş polimerik malzemeler içerisinde homojen şekilde dağıtılmış seramik partiküllerinin basınç altında istenen şekildeki kalıp boşluğu içine doldurulması ve sonra soğumaya başlayarak dişi ve erkek tarafların oluşturduğu katılaştırılmış polimer-seramik karışımından polimerin kontrollü şartlar altında uzaklaştırılması ile sinterlenmeye hazır, nihai şekilli parçalar elde edilmesidir [23, 24].

Yöntemin dezavantajları, şekillendirilmeyi sağlayan bağlayıcıların yapıdan uzaklaştırılması, kalıp ve makine maliyetlerinin çok yüksek olması, pahalı elektronik sistem ihtiyacı ve çevre şartlarına hassasiyetidir. Avantajı ise hızlı üretim kapasitelerine olan uygunludur Enjeksiyon kalıplama ile küçük, karmaşık şekiller elde edilir [20].

**Serit Döküm:** Serit dökümde şekillendirilecek malzeme yüksek bağlayıcı içeren akışkan bir süspansiyondur. Bu yöntem ile ince ve plaka şekilli ürünler elde edilir [25, 26].

**Ekstrüzyon:** Ekstrüzyon yolu ile şekillendirilecek malzeme yeterli plastisiteyi sağlayacak bağlayıcı ile karıştırılmış toz karışımıdır. Bu yöntemde rutubet en etkin parametre olarak göze çarpmaktadır. Bu yöntem düzgün kesitli tüp, çubuk gibi ürünlerin üretimi için uygundur [27, 28].

**Basıncsız Sıcak Şekillendirme:** Bu yöntem, çeşitli toz hazırlama yöntemleri ile hazırlanmış seramik tozlarının uygun bir bağlayıcı sistemiyle karıştırılarak sıcak olarak döküm yoluyla şekillendirilmesi esasına dayanır. Bağlayıcı sistemi temel bağlayıcı ve yüzey işlemci olmak üzere iki bileşenden oluşur. Maliyeti düşük ve daha kolay bir üretim prosesine sahiptir. Bu yöntemde bağlayıcı kullanılması ve bağlayıcı uzaklaştırma işleminin yapılması ise dezavantaj sayılabilir [29, 30].

### **2. 3. 5. Kurutma**

Kurutma, poroz bir malzemeden sıvının buharlaştırılarak uzaklaştırılmasıdır. Proses sıvılarının buharlaştırılması enerji yoğun olduğu için, kurutma verimi önemli bir

faktördür. Aynı zamanda, değişken büzülme ve buharlaşmadan dolayı gaz basıncı üründe hatalara yol açabileceğinden kurutma çok dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

Yas granüler malzemenin sabit bir ortam içinde (nem miktarı ve sıcaklık sabit) kuruması iki ya da üç kademede meydana gelir. İlk kademede buharlaşma oranı sabittir. Ancak kurutmanın ileri aşamasında yani su uzaklaştıkça belli bir noktadan sonra kurutma oranı düşer ve buharlaşmanın sonuna kadar da düşmeye devam eder. Taneler arası su uzaklaştıkça, taneler birbirine daha çok yaklaştığı için boyutsal büzülme görülür. Büzülme miktarı, az sivi içeren parça üretilerek azaltılabilir [8].

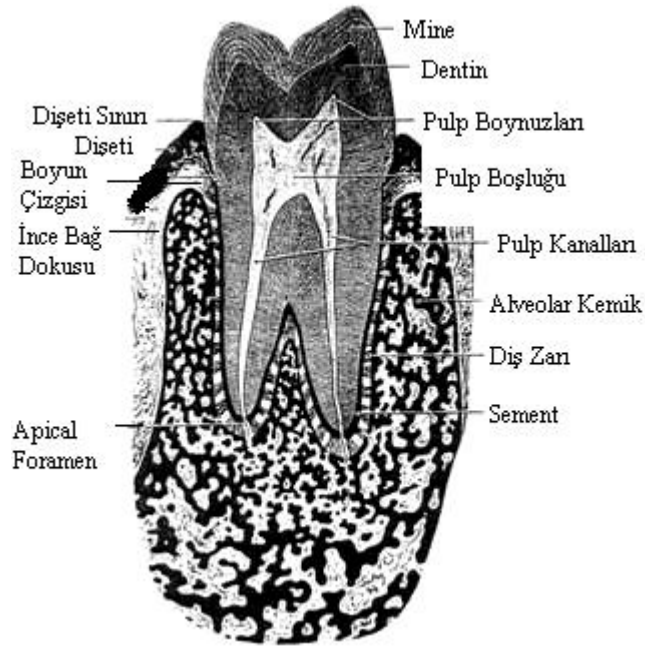
### **2. 3. 6. Pisirme (Sinterleme)**

Sinterleme, tozları oluşturan temel fazın ergime sıcaklığının altında tozların kati bir maddeye dönüşümüdür. Temelde poroz bir yapıdan porların uzaklaştırılması ve aynı zamanda taneler arasında güçlü kati bir bağın oluşması olarak ta ifade edilebilir. Genelde bu esnada çekilme meydana gelir. Sinterleme için gerekli itici güç, yüzey enerjisinin giderilmesidir. Sinterleme de önemli parametreler; tane boyutu, viskozite ve yüzey enerjisi' dir. Tane boyutu ne kadar küçükse sinterleşme zamanı o kadar kısaldır [8].



### 3. DIS MORFOLOJISI

Sekilleri yerine göre farklı olmakla beraber dişlerin genel yapıları birbirine benzerdir. Dişin çeşitli tabakalarında görülen doku kemik dokusu değil, değişikliğe uğramış “Epitel Doku”dur. Şekil 3. 1’ de bir dişin kesiti verilmektedir.



Şekil 3.1 : Bir dişin boyuna kesiti [31, 32]

Şekilde görüldüğü gibi dişin kök üstünde görülen kısmi “Mine” isimli çok sert nitelikte ayrı bir tabaka ile örtülmüştür. Bu tabakada sinir uçları olmadığı için hassasiyet yoktur. Minenin altında, dişin tüm gövdesini oluşturan ve kök kısmında da devam eden “Dentin” tabakası bulunmaktadır. Çok ince kanallar içinde sinir uçları bu tabakanın içine uzanmıştır. Diş etkenlere karşı duyarlıdır.

Dentinin içinde, dişin tüm boyutu boyunca “Pulpa Yuvası” bulunur. Bu yuva, dişin kök ucunda kök ucu deliği ile sona erer. Dişi besleyen damarlar ve duyarlılığı sağlayan sinirler pulpa yuvasını doldurur. Dişin kök kısmına isabet

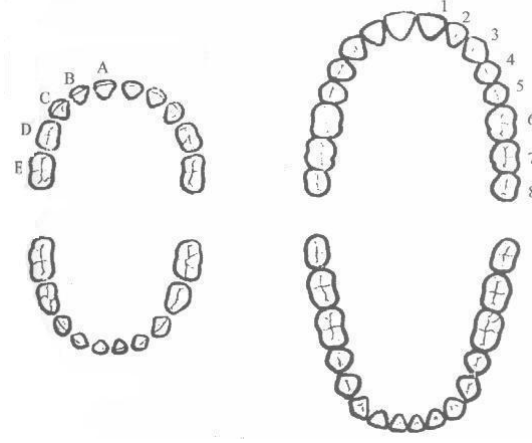
eden dentin kısmının dış yüzeyi “Sement” isimli yumuşak ve duyarlı bir tabaka ile örtülüdür. Bu tabaka bir çeşit kemik zarıdır ve aynı özelliktedir. Disin kök kısmı, Alveol isimli çukurluk içindedir. Sement ile çukurluk arasında “Periodonsiyum” denilen lifli tabaka bulunmaktadır. Liflerin bir ucu sement tabakasına, diğer ucu alveol duvarına bağlıdır. Bu tabaka, dıştan gelen basıncı bu duvara yansımaları önler. Bir çeşit hidrolik basınç alanı gibi dıştan gelen basıncı karşılar ve kuvvetli basınçta gözle fark edilmesi güç bir miktarda esner. Bu tampon bölge dokusu canlıdır. Disin kök üstünde kalan ve ağızda görünen kısmına “Kuron (Mine)” denir. Alveol içinde kalan ve normalde ağız içinde gözle görülmeyen kısmına ise “Kök” denilmektedir [14, 31, 33- 35].

Süt dişleri yaklaşık 6 aylıktan başlar, 3 yaşına kadar tamamlanır. Yedi yaşından itibaren 13 yaşına kadar ise sıra ile dökülerek kaybolurlar. 20 disten ibarettir. Üst ve altta dörder kesici diş, ikiser köpek dişi ve dörder azı dişi ile tamamlanır. Süt dişlerinde küçük azı yoktur.

Sürekli dişler yetişkin insanda 32 tanedir. Yaklaşık 6 yaşından itibaren görülmeye başlar ve yaklaşık 20- 25 yaşlarında tamamlanır. Üst ve alt çenenin iki tarafında simetrik olarak alveol kavisi üzerinde dizilirler [33, 36, 37].

Üst ve alt çenenin bütün dişlerinin ayrı şekilleri vardır. Sadece çenenin sağ ve sol tarafındaki dişler, birbirlerinin simetrisi durumundadırlar. Dişlerin boyutları kişiye veya cinsiyete göre değişmekle birlikte bu boyutların birbirine oranları (özellikle aynı kökenden gelen topluluklarda) fazla değişmemektedir. Kuron veya köprü yapımında diş modelajı yapacak veya hareketli bir proteze yine modelajla diş ekleyecek teknisyenin bu boyutları göz önüne alması gerekmektedir. Fakat bu boyutların bilinmesi, ağızdaki özel duruma uyulmasını engellemez. Örneğin bir ön kesicinin simetrisi olan gerçek diste ön yüz asınması veya yüzeysel mine şekillenmesi varsa, eksik olan diğer ön kesicinin, simetrisi olan gerçek dişe benzetilmesi gerekmektedir. Eksik bir küçük azının yerine işlenmesi sırasında bunun simetrisi olan disin oklüzal yüzü asınmısa, işlenecek disin de ona benzetilmesi gereklidir. Hatta iki tarafta da aynı küçük azılar eksik olsa, yenilerinin komşu küçük azı ile uyum içinde olmasına özen gösterilmelidir. Özel durumlar dışında dişlerin

boyutlari konusunda yapilan incelemelerden çikan sonuçlara bakilarak fikir edinmek mümkündür [14, 38].



Sekil 3. 2: Süt disleri (solda) ve sürekli dislerin (sagda) sematik gösterimi. A, B, 1 ve 2 kesici disler, C ve 3 köpek disleri, D, 4 ve 5 küçük azi disleri ve de E, 6, 7 ve 8 büyük azi disleridir [14, 35].

Tablo 3.1: Bazi dislerin ortalama uzunluklari [39]

Üst Çene Disleri	Ortalama Uzunluk (mm)	Alt Çene Disleri	Ortalama Uzunluk (mm)
Üst Orta Kesici	22.5	Alt orta kesici	20.7
Üst Yan Kesici	22.0	Alt yan kesici	21.1
Üst Köpek	26.5	Alt köpek	25.6
Üst 1. Küçük Azi	20.6	Alt 1. Küçük Azi	21.6
Üst 2. Küçük Azi	21.5	Alt 2. Küçük Azi	22.3
Üst 1. Büyük Azi	20.8	Alt 1. Büyük Azi	21.0
Üst 2. Büyük Azi	20.0	Alt 2. Büyük Azi	19.8
Üst 3. Büyük Azi	17.1	Alt 3. Büyük Azi	18.5

## 4. BIYOMALZEMELER

### 4. 1. Giriş

Biyomalzemeler genellikle 3 tür olarak yaygın kullanıma sahiptir. Bunlar;

**Metalik Biyomalzemeler:** Ni, Cr, Co, Mo, Ti, Fe ve C gibi bir çok metal, implant yapımında vücudun çeşitli yerlerinde kullanılmaktadır. Havada ve vücuttaki korozyon ortamlarında oksidasyona uğrarlar.



Metallerin bu özelliği vücuda yerleştirilen implantın gücünü azaltarak istenmeyen doku reaksiyonlarına ve dolayısıyla da bölgesel korozyona sebep olur. Bu bakımdan kullanımları sınırlıdır. Özel yöntemlerle yüzey işlemleri yapılarak kullanımları mümkün hale gelebilir. Bazı metalik biyomalzemeler; 316 L paslanmaz çelik, Co-Cr- Mo, Ni- Cr- Mo, Ti alaşımları ile Co- Cr- Mo- Ni- Fe alaşımları' dir [40, 41].

**Polimerik Biyomalzemeler:** Hidrojen ve karbon atomlarından oluşan polimerler biyomalzeme olarak sıkça kullanılır. Hemen hemen tüm ticari polimerler biyomalzeme olarak uygundur. Bağ dokusu liflerinin yapısını oluşturan ana protein olan ve suda kaynatıldığında jelatine dönüşen kollajen gibi doğal doku bileşimini andıran polimerler dokularla direkt bağ yapmaya uygundur. Deride veya herhangi bir organda dış etkiyle meydana gelen ezik, kesik ve yırtılma gibi yaraların kapanması veya ortopedik implantların ek yerlerini birleştirmede polimerlerden faydalanılır. Kullanılan bazı polimerik malzemeler; polietilen, polipropilen, akrilik polimer, silikon ve poliüretan kauçuk'tur [42].

**Seramik Biyomalzemeler:** Geleneksel olarak yıllarca tıpta ve dişilikte protez ya da onarım amacıyla metal ve polimerler kullanılmış olmasına karşın son zamanlarda implant malzeme olmaya aday pek çok seramik malzeme geliştirilmiştir. Üstün

asinma, erozyon direnci ve de yüksek mukavemet gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Korozyona karsi direnci ile diger malzemelere karsi üstündür.

#### 4. 2. Seramik Biyomalzemeler

Ortopedik cerrahide, fonksiyonunu yitirmis kemigin, seramik implant ile degistirilmesinin asinma, erozyon, mukavemet, özgül agirlik gibi bazi özelliklerinin iyilesmesinin yani sira pek çok avantajı vardır. Kemik implanti olarak kullanımında seramik malzeme, kontrollü olarak sinterlenerek yapısında bir miktar porozite bırakılır ve bu sayede dogal kemik poroziteye dogru nüfuz ederek kaynasma sağlanır. Dişçilikte ise seramikler, yüksek basma mukavemeti, estetik görünüm ve doku uyumu gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır.

Biyomalzemede aranan önemli bir baska özellik doku uyumudur. Vücut tarafından kabul edilmesi için implantın vücutta bulunan Ca, K, Mg, Na, P gibi iyonları içermesi tercih edilir [41, 43].

Bazi seramik implantlar;  $Al_2O_3$ ,  $S_3N_4$ , cam seramikler, hidroksiapatit,  $TiO_2$ ,  $BaTiO_3$ ,  $CaO.Al_2O_3$ ' dir.

Implant olabilecek biyoseramiklerden beklenen özellikler [42, 44];

- Zehirleyici ve kanserojen olmamalı
- Alerjik özelliği olmamalı
- Vücuda uyumlu olmalı ve iltihaplanmaya sebep olmamalı
- Yapımı kolay ve ucuz olmalı
- Vücut sıvıları tarafından fiziksel değişimlere uğramamalı
- Vücutta kaldığı sürece vücut fonksiyonlarına uyumlu olmalı.

Absorbe edilemeyen veya nispeten biyoinert biyoseramiklerden bazıları alümina, yoğun ve porozsuz  $Al_2O_3$ , porozlu  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , kalsiyum alüminat' tir.

Kullanım Alanları [40, 42]:

- Kemik vidası ve kalça kemigi boşlukları
- Orta kulak kemigi olarak
- Göz çukuru kenarlarında
- Kalp kapakçıkları

- Metal protez kaplanmasında
- Dis bozukluklarında
- Kemik kayıplarında ve kemik vidasi olarak
- Orta kulak kemigi olarak

Tablo 4.1 : Biyomalzemelerin ve dokuların özelliklerinin karşılaştırılması [40]

Malzemeler	Modül (Mpa)	Kırılma Mukavemeti (Mpa)	Kırılma Gerilimi (%)	Yogunluk (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Polimerler</b>				
Silikon kauçuk	1-10	6-7	350-600	1.1-1.23
Poliamid	2800	76	90	1.14
Polietilen	1500	34	200-250	0.93-0.94
Akrilik	3000	60	1-3	1.1-1.23
<b>Metaller</b>				
316L paslanmaz çelik	200000	540-620	55-60	7.9
Co-Cr alasi mi	230000	900	60	9.2
Ti-6Al-4V alasi mi	110000	900	10	4.5
<b>Seramikler</b>				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	363000	490	<1	3.9
Hidroksiapatit	120000	150	<1	3.2
<b>Dokular</b>				
Aort	0.1/2	1.1	77	1.0
Kemik (uy luk)	17200	121	1	2.0
Dis (dentin)	13800	138	<1	1.9

### 4. 3. Dental Biyomalzemeler

Dişçilikte günümüze kadar kullanılmış olan biyomalzemeler, polimer, metal ve seramik olmuştur. Dişçiliğin tarihsel gelişim sürecinde zaman zaman bu üç tür ana malzeme birbiriyle geçiş halinde bulunmuştur. Her biri ayrı ayrı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Dişçilikte kullanılan polimer biyomalzeme genellikle akrilik polimerdir. Günümüzde de halen belli bir kesimin kullanımına sunulmakta olan akrilik dişler, ekonomik olmasının haricinde pek bir avantaja sahip değildir. Alerjik etkiye sahip olduğu için herkese aynı güvenle uygulanamaz. Dokuya zararlı olabilir. En iyi cins akrilige bile şeffaflık yeterince verilemediği için estetik olarak gerçek bir diş görünümü elde etmek mümkün değildir. Zamanla değişik nedenlerle renk değişimi gerçekleşir. Eğer metal- akrilik protez uygulanıyorsa bu durumda da akriligin metale iyice

baglanamamasından dogan bosluga agiz sivisi girebilir. Bu nedenle alerjik reaksiyonlar meydana gelip hasta açısından sakıncalıdır. Mekanik özelliklerinin düşük olması nedeniyle de kısa zamanda asınma görülebilir. Bu sistem günümüzde geliştirilme aşamasındadır [14].

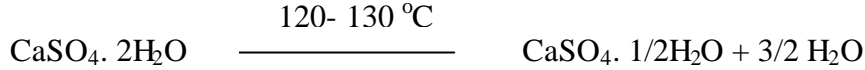
Dis hekimliğinin her çalışma alanında metallerin önemli yeri bulunmaktadır. Tedavide kullanılan amalgam ve inley dolgu maddeleri, ortodontide kullanılan bağlar ve birçok örnek için metallerden yararlanır. Saf yerine genelde alasim halinde kullanılır. Çünkü yapılacak disin uygulandığı konum açısından darbe ve basınca yeterince dayanıklı olması, çiğneme fonksiyonu esnasında zarar görmemesi için yeterli sertlikte olması istenir. Kullanılan metaller de yeterli sertlik elde etmek üzere alasimlendirilerek tercih edilir. Çoğunlukla tercih edilen alasimler; Ni- Cr- Mo, Co- Cr- Mo, Ag- Pd, Ti esaslı alasimler ile Au esaslı alasimler' dir.

Son yıllarda Co- Cr- Mo alasimi ile Ti esaslı alasimler yoğun olarak araştırmalara tabi tutulmakta, özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Dünyada bu alasimler tercih edilmektedir. Ülkemizde ise halen ekonomik olduğu için yaygın olarak kullanılmakta olan Ni- Cr- Mo alasimleri alerjik olduğu için dünyada popülerliğini kaybetmektedir. Bu alasimin özelliklerinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Metal alasiminin kullanımına karşılık insan sağlığı için her şekilde zararı olduğundan dolayı artık seramik protezler tercih edilmektedir. Seramik metale ve tabi ki akrilike göre hem estetik hem klinik olarak pek çok avantaja sahiptir. Seramik dis dişilikte porselen dis olarak ifade edilmektedir. Çünkü geleneksel seramik bileşiminden farklı bir bileşime sahiptir. Protezin doğal dis gibi seffaf olması ve uygulandığında yanındaki dişlerle uyum içinde olması istenir. Feldspatik porselen,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ , Spinel gibi bazı seramikler dis protezlerinde kullanılır. Bu seramiklerin kimi tamamen porselen protezlerde kimisi de metal- porselen protezlerde kullanılmaktadır. Doku uyumu, seffaflığı, estetik, renk değiştirmemesi gibi sebeplerden dolayı günümüzde polimer ve metal protezlere tercih edilmektedir. Metal- porselen arası bağ güçlü olduğu için boşluk kalmaz ve ağız sivisi ile metal reaksiyona girmez. İstenmeyen alerjik reaksiyonlar oluşmadığından hastalar güvenle bu protezi kullanabilir. Tüm olumlu özelliklerine rağmen özel çalistirma gerektirmesi ve çalışma süresinin uzun olması dezavantajlarıdır.

## 5. DIS HEKIMLIGI MALZEMELERİ

### 5. 1. Alçı



Alçının doğada bulunan mineraline “jips” denir. Reaksiyon sonucunda kalsiyum sülfat hemihidrat yapıda alçı tozu ortaya çıkar [4, 45].

Dis hekimliğinde alçı, ağızdan ölçü almada, model hazırlamada, modeli artikülatöre takmada, protezi muflaya almada kullanılır. Alçı hamuru lastik kaptaki hazırlanır. Karıştırma ve kullanma sırasında kütlenin içinde hava kabarcıkları kalmamasına özen gösterilir. Hazırlanan alçının ağırlıkça su/ toz oranı önceden saptanmalı ve lastik kaba doğru ölçülerde konmalıdır. Karıştırma aynı yönde olmalıdır ve karistirmaya başladıktan sonra su veya toz eklenmemelidir. İstenmeyen reaksiyon oluşumlarına sebep olur. Alçı uygulandıktan sonra yaklaşık 30-60 dakikada sertleşir. Model çevresindeki ısı 110 °C' ye yaklaşmamalıdır. Aksi halde reaksiyon ters yönde gelişip hemihidratın alçıya dönüşmesine neden olabilir [32, 45, 46].

### 5. 2. Mumlar

Protetik çalışmaların temel maddesi mumlardır. Metal döküm olarak elde edilmesi istenen korozyon- köprü çalışmalarında, akrilik esaslı protez çalışmalarında, iskelet protezlerin yapımında, protezlerin çeşitli safhalarındaki ağız içi provalarında mumlardan yararlanılır. Daha sonra mum maketler amaca yönelik olarak metal veya akrilığe çevrilir. Mumlar, plastik ve elastik özelliklerinden dolayı kesilme veya eklemede kolaylık sağlarlar. Termoplastik malzemelerdir. Kullanıldıkları yerin özelliğine uygun olarak değişik fiziksel özellikler gösterirler [43, 47, 48].

Madensel kaynaklı mumlar (Parafin), petrol ürünlerinden veya petrol yatakları yakınlarından elde edilirler. 50-90 °C de erirler. Hayvansal kaynaklı mumlardan



balmumu, aridan elde edilir. Ergime sicakligi 40- 60 °C arasındadır. Ergime derecesinin ağız isisine çok yakın olması nedeniyle ölçü mumlarının temel maddesi olarak tercih edilir. Bitkisel kaynaklı mumlara, ağaç ürünü olan karnoba mumu tipik bir örnektir. Ergime sicakligi yüksektir ve diğer mumlari sertleştirici katkı maddesi olarak kullanılır. Sentetik mumlarda, mum bileşimlerine katkı maddesi olarak girerler [33, 45, 46].

Ağız isisinde taban ergime sicakligi ile suyun kaynama noktasında tavan ergime sicakliklari arasında maddelerdir. Isı karşısında genleşme özellikleri sakıncalı olduğundan karışımlar halinde kullanılarak giderilebilmektedir. Ergimedenden önce yumuşama ve basınçla şekil değiştirebilme özelliği vardır. Isı etkisiyle ergime noktasında akışkanlık kazanır. Yandığında artık madde bırakmaz [45, 47, 48].

### **5. 3. Revetman**

Metal dökümlerinde kalıp maddesi olarak ısıya dayanıklı bir madde kullanmak gerekmektedir. Çünkü kullanılan metaller arasında ergime derecesi 600 °C' nin altında bulunan yoktur. Bu amaçla hazırlanmış olan kalıp materyaline “revetman” denir. Ağız protezlerinin dökümü hassas olarak yapılmalıdır. Hazırlanan mum modelin tamamen şeklini koruyarak metale dönüşmesi gerekmektedir. Dökülen metal veya alüminin döküm sırasında yapısının ve şeklinin değişmemesi sağlanmalıdır.

Revetmanın ısıya dayanıklı olması, ısınmada ayrılarak gaz çıkartmaması, dökümde metal veya alümin ile kimyasal reaksiyona girmemesi, dökümde santrifüjün etkisiyle parçalanmaması, dökümden sonra kolayca kırılması ve dökümden sonra yapışmaması gibi özelliklerinin bulunması beklenmektedir [33].

Ergime sicakliklari farklı olduğundan altın için kullanılan revetmanlar (800-1000 °C) ile Cr, Ni, Co ve Mo gibi maddelerin ve paslanmaz çeligin dökülmesinde kullanılan revetmanlar (1300- 1700 °C) farklı bileşimdedir [48].

### **5. 4. Plastikler**

Dünya plastik endüstrisinin gelişmesi diş hekimliğini de önemli ölçüde etkilemiş, özellikle protez tekniginde önemli değişikliklere neden olmuştur. Genellikle “reçine”

olarak isimlendirilen bu plastikler, polimer yapıya sahip, özel yöntemlerle endüstrinin her alanında istenen şekil verilebilen ve her madde yerine kullanılabilen, genellikle ucuza mal olan, yapısının ana elementi karbon olan organik bileşiklerdir. Reçinelere, molekül büyüklükleri aynı olmadığı için kesin formül verebilmek mümkün olamamaktadır [33].

### **5. 5. Porselenler**

Seramik, ana maddesi kil cevheri olan ve pisirerek şekil verilmiş materyalin sertleştirilmesi ve sirlanıp kullanılması ile sonuçlanan çalışmanın ürünüdür. Testiler, fayanslar, mozaikler, mutfak esyasi ve sihi tesisat malzemeleri gibi birçok türleri bulunmaktadır. Dis hekimliğinde kullanılan tür ise tüm bu türlerden farklıdır. Çok geniş anlam içerdigi için “seramik” sözcüğü yerine dis hekimliğinde “porselen” veya “dis porseleni” denilmektedir [49].

Tüm porselenler üç ana maddeden oluşur; Kil cevheri ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), Feldspat ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  ve  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ), Kuvars ( $SiO_2$ ).

Dis hekimliğinde kullanılan porselen, aslında porselen hammadde karışımının ergitilerek “frit” yapılmasından elde edilir. Porseleni meydana getiren üç hammadde önce saflastırılır, sonra değirmenlerde kuru ortamda öğütülür. Elde edilen toz karışımı  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ’de 2 saat kadar ergitilir, soğutulur. Elde edilen bu madde “frit” tir. Frit değirmende 20 - 30 saat öğütülerek çok ince (mikron boyutta) toz haline getirilir. İçine renk verici pigmentler katılarak dis hekimliğinde kullanılmaya hazır hale getirilir [50, 51].

Maliyetinin yüksek olması ve üretim güçlüğü gibi dezavantajlarına rağmen porselen tercih edilmektedir. Çünkü doku uyumu, su emme özelliğinin düşük olması, hijyenik olması ve doğal dişlere benzerliği gibi avantajlara sahiptir. Gerekli destek kurallarına uyarak kırılma mukavemeti artırılabilir [33, 50, 52].

### **5. 6. Metal ve Alasimler**

Dis hekimliğinin her çalışma alanında metallerin önemli yeri bulunmaktadır. Dis hekimliğinde kullanılan pek çok araç metallerden üretilmiştir. Cerrahide kullanılan

igneler, teller, tedavide kullanılan amalgam ve inley dolgu maddeleri, ortodontide kullanılan bağlar ve birçok örnekler metal yapısına sahiptirler.

**Platin**, dis hekimliğinde başlangıçta porselenin altlık metali olarak kullanılmıştır. Genleşme katsayısı porseleninkine yakındır. Porselenle organik bağlantı denilebilecek bir tutunma sağlama özelliği vardır. Günümüzde yumusaklığı nedeniyle sadece alâsım halinde kullanılması tercih edilmektedir. Ergime sıcaklığı 1755 °C' dir. Asit ve bazdan etkilenmez, okside olmaz [33, 43].

**Paladyum**, ergime sıcaklığı 1557 °C' dir. Çok sert olduğu için tel ve levha haline gelmesi zordur. Dis hekimliğinde alâsımları sertleştirme maddesi olarak kullanılır.

Gümüş, ergime sıcaklığı 960 °C dir. Doğada oldukça bol bulunduğu için kıymetli metallere kıymetsiz metallere arasında bir yerdedir. Oksidasyon dayanımı olmasına karşın her türlü kükürtlü karışıma veya gazlara karşı hassastır [47, 52].

**Altın Esaslı Alâsımlar:** Altın, fiyatının yeterince düşük olduğu bir dönemde kullanılmış sonradan ekonomik nedenle ucuz metallere tercih edilmiştir. Altın, saf olarak veya tüm kıymetli alâsımların bileşimine girerek kullanılır. Ergime sıcaklığı 1063 °C' dir. Akiskanlığı yüksektir. Yumusaktır ve kolaylıkla tel, levha haline gelebilir. En az reaktif metallere dendir. Oksidasyona ve korozyona uğramaz. Dis hekimliğinde saf olarak kullanılmaz. Az da olsa sertleştirici başka metal karıştırma zorunluluğu vardır [46, 48, 49, 52].

Ergime sıcaklığındaki artış Pd ve Pt ilavesiyle ve sertlik Fe ilavesiyle elde edilmiştir. In ve Sn gibi eser metallere porselen için geliştirmek için katılmıştır. Fiyatı düşürmek için Au oranı düşürülebilir [53].

**Pd- Ag Alâsımı:** Altındaki fiyat artışı yeni alâsımlar aramaya yönlendirmiştir. Pd- Ag alâsımında altın tamamen elimine edilmiştir. Yüksek Ag içeriği, porselenin istenmeyen ve yeşilimsi sarı görünme olasılığını artırır. Renklenme, yüksek Na içeriği olan porselende daha yoğun görülür çünkü K da içerdiğinden Ag hızlı bir şekilde Na' lu seramikte difüze olur. Bu davranış metal- seramik protezde kullanımını sınırlamıştır. Au- Pd alâsımı bu zorluğun üstesinden gelmek için önerilebilir fakat çok kırılabilirler ve döküm yapılırken kırılabilir. Pd- Ag, Au- Ag- Pd alâsımları, porselen için açısından yüksek Au alâsımlarına benzer davranış gösterir [53].

**Ni- Cr Alasimi:** Ekonomik sebeplerden dolayı tercih edilir, yaygın kullanılırlar. Diğer alasımlara nazaran ayrıcalıklı özellikler gösterir. Yüksek Au içerikli alasımlardan daha yüksek elastisite modülüne (120-240 GPa) ve aynı elastik limite sahiptir. Böylece bir köprü protez çalışmasında kalınlık daha ince metal yapı kullanılarak sağlanabilir ve porselen kaplama uygulamak için daha fazla boşluk elde edilmiş olur.

Dezavantajları; dökülebilirliğin zayıf olması, asiri sertlik, porselen ve oksit tabaka arası bağın zayıf olması, dökümün uygun olmaması, alerjik olması' dir. Bir diğer problem de Ni- Cr alasimi kompozisyonunun geniş bir çeşitlilik göstermesiyle oluşur. İlk Ni- Cr alasımların içerdiği kanserojen Be günümüzde kullanılan alasımlarda giderilmiştir [53].

**Co- Cr- Mo Alasimi:** Diş hekimliğinde çok yaygın olarak kullanılan bir alasimdir. Ni' li alasımların alerjik etkisine karşın Co' li alasim tercih edilmektedir. Alasimin temel iki elementi Co ve Cr olmakla beraber Mo, döküm sonrası yüksek mukavemet sağlayan ince tanelerin üretimi için yapıya ilave edilir. Korozyon direnci çok yüksektir. Mukavemeti yüksektir. Elastisite modülü, maksimum çekme mukavemeti değişiminden etkilenmez. Diğer malzemelere örneğin paslanmaz çelığe oranla değerleri yüksektir (220- 234 GPa) [42].

**Ti ve Alasımları:** Co- Cr- Mo alasimi ile aynı etkiye sahip bir metaldir. İçerdiği safsızlığa göre derecelere ayrılır ve mekanik özellikleri değişiklik gösterir. Oksijen, nitrojen, demire dikkat edilmelidir. Co' li ve Ni' li alasımlardan daha hafif oluşu ve oldukça iyi mekanik ve kimyasal özelliklerinden dolayı son yılların gözde alasımlarındandır. Elastisite modülü Co- Cr alasiminin yarısı kadardır. Alasimin saflığı arttıkça mukavemeti artar, elastisitesi düşer. Korozyon direnci kati oksit tabakası oluşumuna bağlı olarak değişir. Çekme mukavemeti zayıftır. Kemik vidası ve benzer uygulamalarda kullanılmaz. Ortodontide Ni- Ti alasımları kullanılır [42].

## **5. 7. Diğer Malzemeler**

**Asındırma ve Cila Maddeleri:** Ağız protezlerinin, hassas ağız dokusunu tahris etmemesi, yiyecek artıklarını ve diğer birikintilerini tutmaması ve bunlara

yapismaması, çok estetik bir görünüme sahip olması için, pürüzsüz ve iyi cilalanmış olması gerekir. Bu, asindirici ve cilalayıcı bazı gereçlerle sağlanır.

Asındırma ile modelaj sırasında bırakılan fazlalıklar, genleşme payları ve asirlikler, ortadan kaldırılır, gerekli estetik düzeltmeler yapılır. Asindirilmiş bir yüzey pürüzlüdür ve tutucu özelliği bulunmaktadır. Asindirici tanelerin aynı kuvvetle esit derinlikte asındırma sağlaması beklenir. Asindiricinin sertliği, uygulama hızı ve basıncı sonuca etki eder. Sürtünme ve ısınmayı azaltıcı olarak su kullanılmalıdır. Sık kullanılan asindiriciler; elmas, WC, korundum, zımpara taşı, kum [33, 46].

Asındırma işlemini cilalama izlemelidir. Cila işlemi sırasında asindirilmiş yüzeyin girinti ve çikintileri kopar ve kısmen dolar. Gerçek bir pürüzsüz yüzey elde edilerek estetik yapı sağlanmış olur. Cilalama maddeleri, yumuşak ve pürüzsüzdür. Açık yapan uçlara ve keskinliğe sahip değildir. Her yüzeye esit uygulanmalıdır. Sık kullanılan cila maddeleri, tebesir tozu ve krom oksittir [14, 46, 48].

**Yalıtkan Maddeler:** Kullanılan bir malzemenin diğer bir malzeme ile ilişkisinde yapışmasını veya kaynamasını önler. Alçı ölçünün dökümünde ve akriliklerin alçı kalıp içinde kullanılmasında yalıtkan kullanılması zorunludur. Bilinen belli basılı yalıtkanlar; lak, su camı, ince metal yapraklar, talk, sıvı veya kalın yağlar [14, 33].

**Ölçü Maddeleri:** Termoplastik; ısı ile şekil değiştirir ve soğuyunca son şekli muhafaza ederler. Hassas ölçü için kullanılamaz. Ağız dokusunda bir süre yumuşaklığını koruyabilen türleri sonra alınacak fonksiyonel ölçüyü kolaylaştırır [33, 54, 55].

Hidrokolloidler; ısı etkisiyle jel halinden sol haline geçen ve soğuyunca eski durumuna dönen geri dönüşebilen hidrokolloidler ile kimyasal reaksiyonla sol halden jel haline geçen ve eski haline dönemeyen geri dönüşemeyen hidrokolloidler olarak iki gruptur [46, 47, 56].

Çinko Oksit- Öjenol Pati; dayanikli olmaması, bazı kimselerin kokusuna tahammül edememesi ve alerjik etkiye sahip olması kullanım alanını sınırlar. Kullanılma endikasyonu bulunan durumda ise diğer ölçü maddelerine tercih edilir [33, 45, 47].

Kauçuk Esaslı; iki bileşenden oluşurlar. Bileşenlerin reaktifle polimerize edilmeleriyle elde edilir. Elastik yapıdadır. Genellikle 'elastomer' adı verilir.

Paris Alçisi; ilk kullanılan ölçü maddelerinden olduğu halde en iyi ölçü maddesi olma özelliğini korumaktadır. Montajı zordur fakat hastanın ağız dokusuna zarar vermez. Ağızdaki en küçük detayların net ölçüsünü verir. Sertleşme süresi kısadır. Kirildiğinde parçalar bozulma olmadan yerine monte edilebilir. Basıncısız ölçü almada idealdir [46, 47, 57].

## 6. DIS HEKIMLIGINDE PORSELEN

### 6. 1. Porselenin Dis Hekimligindeki Yeri

Ön dislerden bir yada birkaçının eksikliği, herhangi bir nedenle renk değişikliği, büyük çürükler ya da dislerin kırılması gibi estetik ve çiğneme fonksiyonu kaybında dis hekimi tarafından konan doğru teşhis ile kurallara uygun olarak restorasyon uygulanır. Başarı durumu kullanılan malzemenin türüne göre değişir. Malzemenin en iyisini seçip kullanabilmek için tüm malzemeler hakkında iyi bir bilgi birikimine sahip olunmalıdır [50].

3 ayrı malzeme ile kuron ya da köprü protezi uygulanabilir.

**Metal kuronlar yada metal köprü:** Günümüzde estetik nedenlerden dolayı kullanılmamaktadır.

**Akrilik jaket kuronlar yada metal- akrilik köprü:** Doğal dislerde eksiklik yoksa, her dis için kurallara uygun iyi cins bir akrilden jaket kuron uygulanabilir. Dislerden bazıları kaybedilirse metal- akrilik köprüler uygulanır. Estetik kısa süre için sağlanır. Akrilik alerjik bir madde olduğundan herkese aynı güvenle uygulanamaz. Dokuya zararlı olabilir [33, 45]. Doğal dis seffaflığı verilemediğinden renk uyumu sağlanamaz. Metal- akrilik protezlerde genellikle arayüzeyde boşluk, kaynasmazlık görülür. Akrilik kolayca metalden ayrılabilir. Aralıktan giren ağız mukozası burada korozyon renklenmesine sebep olur. Akriligin yumuşaklığı ve sürtünme direncinin düşük olması da dezavantajdır. Koparma ve öğütme işlemlerinde akrilik dislerde aşınma olur, bu nedenle boyları kısaldır [50].

**Porselen jaket kuronlar yada metal porselen köprü:** Ön dislerde sadece madde kaybı varsa, tamamen porselen jaket kuronlar uygulanabilir. Doku ile uyum içindedir. Renk değiştirmez. Seffaflığı nedeniyle doğal disle en yakın sonucu verir. Yüksek düzeyde estetik sağlanır. Metal-porselen tutunma şekli akrilikten farklı olduğundan 2 malzeme arasında boşluk bulunmaz. Bu nedenle renk değiştirme söz konusu değildir. Tüm bu avantajlarının yanı sıra bazı olumsuz yanları vardır.

Porselen, akrilikten daha az elastik olduğu için kırılma, çatlama görülebilir. Kurallara göre hazırlanarak kırılma mukavemeti artırılabilir. Dezavantajları; ekonomik olmaması, çalışma süresinin uzunluğu ve özel çalışma gerektirmesidir.

Doku uyumu yüksek olan porselen, gösterdiği üstün özelliklerinden dolayı diş hekimliği malzemeleri içinde en iyi olanıdır [33, 45].

## **6. 2. Diş Hekimliğinde Porselenin Tarihçesi**

Porselen diş hekimliğinde ilk olarak, 1774 yılında bir eczacı tarafından kullanılmıştır. Meslek gereği tatmak zorunda olduğu kimyasal maddeler, kemik yada fildisinden yapılmış protezini bozduğu için bir tür yumuşak porselen protezle değiştirmek istemiş ve diş hekimleriyle ortak çalışmaları sonucu başarılı olmuştur.

İlk kişisel porselen dişler, 1808 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu dişlerin arkasına yerleştirilen platin kramponlar metalik bir dayanaga lehimlenebilme kolaylığı sağlamıştır. 1885' te ilk kez platin armatür üstüne piserilmiş porselenli bir protezin yapım metodu açıklanmıştır. Aynı yüzyılın sonuna doğru porselen, diş hekimliğinin değişik alanlarında uygulamaya çalışılmıştır. 1837' lerde eritilmiş camdan kesici dişler yapılmış fakat estetik açıdan sonuç olumsuz olduğundan seramik, cama tercih edilmiştir [43, 50, 58].

Porselen tozlarının geliştirilmesi ve piserme fırınlarında pirometrelerin kullanılmasına bağlı olarak gelişmeler gerçekleşmiştir. Bunzen beki, gaz ve alkolle piserme yapılırken elektrikli fırının bulunmasıyla yüksek derecede pisen porselenlerin kullanımı da sağlanmıştır. Daha sağlam ve seffaf porselen üretilmiştir. 1886'da altın yaprak üzerine, 1888'de de platin yaprak üzerine porselen fırınlama çalışmaları başarılı olmuştur. Piserme sonucunda porselende oluşan porozitenin tamamıyla giderilmesi ise 1949'lu yılları bulmuştur. Değişik teknikler ile ilk olarak vakumda suni porselen dişi elde etmek mümkün olmuştur. Vakumda piserilen porselen dişler atmosferde piserilene oranla % 20 daha fazla dirençlidir. Porozite, yok denecek kadar azalarak toplam hacmin % 0,1' ini kapsarken normal atmosferde pisenlerde bu oran % 4,5 gibi büyük bir orandır. Vakumda piserilen porselende porozitenin azlığı nedeniyle seffalık fazla olduğundan estetik büyük ölçüde artar. Ancak günümüzde porselen türlerinde ve piserme fırınlarında gelişmeler ile atmosfer

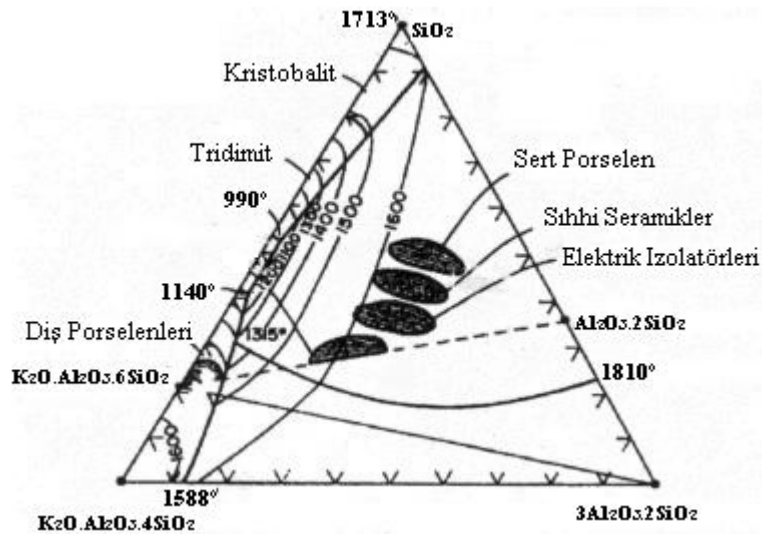


ve vakumda pisirilen porselen arasında yukarıda belirtilen büyük farklar tamamiyla ortadan kaldırılmıştır.

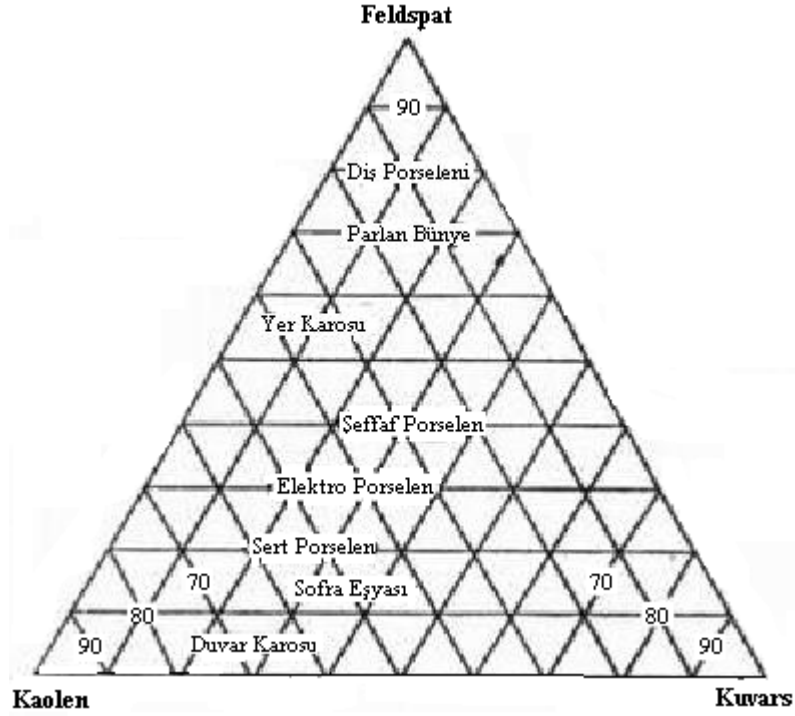
Ön dişlerde uygulanan tamamen porselen jaket kuronları çigneme basıncının fazla olması nedeniyle küçük ve büyük ağız dişlerinde uygulama olanakları yoktur. Ancak metal üzerine porselen pisirilmesi ile bu sağlanabilir. Bu çalışmalar iyi sonuç verdiği için porselen, tek diş protezinden çok köprü protezlerinde kullanım imkanı bulmuştur. Metal-porselen çalışmalarının başarılı olmasına karşın malzemenin pahalı olması ve çalışma süresinin uzunluğu kullanım alanını daraltmaktadır [43, 50, 58].

### 6. 3. Diş Porselenlerinin Yapısı

Diş hekimliğinde kullanılan porselen, yapı olarak seramikçilerin kullandığı sert porselene çok yakındır. Çoğunlukla silikat yapılı olan seramik, bir ya da birden fazla metalin, metal olmayan bir elementle genellikle oksijenle yaptığı bir kombinasyondur. Büyük olan oksijen atomları bir matris gibi görev yaparak, daha küçük metal atomlarını ve yarı metal silikon atomları arasına sıkıştırmıştır. Seramik kristalindeki atomik bağlar, hem iyonik hem de kovalent yapıdadır. Bu güçlü bağlar seramiklerde kararlılık, sertlik, ısı ve kimyasallara karşı direnç gibi özellikler sağlar. Aynı yapı seramige kırılma kazandırdığından dolayı sakıncalı bir durum ortaya çıkabilir. Tüm porselen türlerinin birlikte gösterildiği faz diyagramları Şekil 6. 1 ve 6. 2' de verilmiştir.



Şekil 6. 1 :  $K_2O.Al_2O_3.4SiO_2- 3Al_2O_3.2SiO_2- SiO_2$  faz diyagramı [47, 53, 59]



Sekil 6. 2 : Bazı seramik ürünlerin üçlü faz diyagramında gösterimi [6]

Tüm porselenlerin temel yapısı üç esas maddeden oluşur.

**Kil:** Bir alüminyum hidrat silikati olan kil, kaolen, kaolinit ya da Çin kili adı verilen saf kaolenin formülü  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ 'dür. Killerin içinde  $1800\text{ }^\circ\text{C}$  civarında ergimesi nedeniyle ısıya en dayanıklı olanıdır. Porselene belirli bir renk donukluğu verir. Suyu karıştırıldığında yapışkan bir kıvam alarak, seramik hamurunun modelaj çalışmasını kolaylaştırır.

**Feldspat:** Potasyum feldspat (ortoklas) ya da sodyum feldspat (albit) silikati ve ayrıca doğal bir mineral olan feldspattir. Kristal bir yapıya sahip olan ortoklas, seramige albitten daha çok şeffaflık kazandırır. Ortoklas  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ , albit ise  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ 'dir. Feldspat  $1100\text{-}1300\text{ }^\circ\text{C}$  arasında ergir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip bileşenlere akışkanlık kazandırır. Porselene şeffaflık verir ve ısıya dayanıklı bileşenleri tutan, bağlayan, camlaşmış bir yapıştırıcı görevi görür.

**Kuvars:** Tamamen silis ( $SiO_2$ )'ten oluşur. Kuvars bazı kayalardan, deniz kumu ve çakıllarından elde edilir. Porselen kitlesine destek görevi yapan ve pisme sonucu meydana gelen büzülme önleyen kuvars  $1700\text{ }^\circ\text{C}$  civarında ergir.

Porselenler temel bileşimlerin yanında boraks, sodyum karbonat, potasyum ya da kalsiyum gibi bazı ergiticileri de kapsarlar. Ergime sıcaklığı 1100 °C' den düşük porselen tozlarının bu ergiticileri kapsamaları gereklidir. Ayrıca diğer porselenleri renklendirici olarak metal ve metal oksitlerini de içerirler [50, 54].

Porselen tozları ergime sıcaklıklarına göre üç gruba ayrılır:

**Yüksek isi porseleni** (1290- 1370 °C): % 4 Kaolin, % 81 Feldspat, % 15 Silis yapısına sahiptir. Ergitici katılmamıştır. Çok homojen bir yapı gösterir ve % 15 oranında büzölmeye uğrarlar. Yüksek isi porselenleri, şeffaflığı, sağlamlığı ve pisme süresince modeli bütün detayları ile korunması nedeniyle önemli yapılarda tercih edilir. Inley, jaket kuron ve köprü protezlerinde başarıyla kullanılır.

**Orta isi porseleni** (1090- 1260 °C): % 61 Feldspat, % 29 Silis, % 2 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, % 1 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, % 5 CaCO<sub>3</sub>, % 2 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yapısına sahiptir. İçerisinde kaolen bulunmayan ancak ergitici madde içeren bu tür porselenler daha düşük sıcaklıkta ergirler. Inley, jaket kuron ve köprü protezlerinde kullanılır.

**Düşük isi porseleni** (870- 1060 °C): Pisirme süresi çok kısadır. % 30-35 oranlarında büzölme gösterir. Pistikten sonra porozlu bir yapıda olduğundan ağız sıvısında bozulur, rengi değişir ve gri bir renk alır. Pisirmeden sonra kırılğan bir hal olduğundan önemli yapılarda kullanılmaması gerekir [50, 57, 60].

**Diş Porselen Tozunun Hazırlanması ve Uygulanması:** Porselen tozlarında tüm bileşenlerin kaliteli ve saf olmasına dikkat edilmektedir. Hazırlanan homojen karışım frit ergitmeye tabi tutulup oluşan porselen kitle çok ince toz haline gelinceye kadar bilyeli değirmende öğütölür. Öğütmeden sonra renk vericiler katılarak istenen renkte toz elde edilir. Hazırlanan bu tozlar; opak, mine ve dentin tozları ile renk değiştirici tozlardır. Tozun uygulanması ise belli bir kıvama gelinceye kadar saf su yada alkolle karıştırılmasıyla mümkündür. Uygulama esnasında oluşan hava kabarcıkları çeşitli yoğunlaştırma işlemleri ile giderilmelidir.

Porselenin kurutulması ve pisirilmesi çok önemlidir. Opak, dentin ve mine tabakaları ayrı ayrı pisirilir. Pisirme işlemi, rejimleri üretici firma kataloglarında belirtilmiş olan özel elektrikli fırınlar (Vita ile Biodent firmasına ait) ile yapılır. 400 °C' de organik katkıları yanarken 600 °C' nin üstünde şekil değiştirme safhası başlar.

Birbirlerine yapışan parçacıklar hep beraber piserler. Bosluklar, pisme aşamasında malzemenin sivilasarak akması ile dolar. Sıcaklık artışı ile yüzeyde normal glazür meydana gelirken istenen şeffaflığın elde edilmesi için fırında bekletme süresi ayarlanır. 960-980 °C' ye gelindiğinde işlem tamamlanmış olur. Pıştırma işleminde ani sıcaklık artışından kaçınılmalıdır. Aksi takdirde yüzeyde çatlak oluşur ve içerideki hava kabarcıkları dışarı çıkamaz. Porselende mümkün olan en yüksek homojenlik sağlanmalıdır. İçeride kalmış hava kabarcıklarının çıkarılması için basınç altında yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmamıştır. Basınç altında porselenin içinde sıkıştırılan hava kabarcıklarının sonradan ortam ısısının etkisiyle yeniden genişmesi ve hacim büyümesi porselende olumsuz sonuçlara sebep olur. Vakumda pıştırma işleminde, fırın içindeki havanın boşaltılması sonucu porselen parçacıklarının arasındaki havanın da boşaltılmasıyla boşluklara sıvı porselen akarak camlaşır. En iyi yöntem vakumda pıştırma [11, 14, 61].

#### **6. 4. Dis Porseleninde Gelişmeler**

Metal- porselen ve tamamen porselen dişlerin uygulamalarının büyük ölçüde artmasına karşın ekonomikliği nedeniyle halen bir kesim tarafından tercih edilen ve yıllardan beri kullanılan akrilik dişlerin sahip olduğu olumsuz özellikler iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Özellikle akriligin yumuşaklığını ve dolayısıyla fonksiyonel dezavantajlarını gidermek üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Bu doğrultuda sertlik dereceleri normal akrilige oranla %50 daha fazla olan sert akrilikler geliştirilme aşamasındadır. Sertlik yönünden normal akriliklerle porselenler arasında geçiş olarak kabul edilir [45, 50].

Metal- porselen protezlere olan ilgiyle birlikte porselen tozları da gelişmiştir. Genellikle metal alâsımı hazırlayan kuruluş kendi alâsımına uygun porselen tozunu da hazırlayarak iyi bir sonuç için iki malzemenin bir arada kullanılmasını önermektedir.

Metal seramik protezin başarısını arttırmak için her geçen gün yeni bir ürün piyasaya tanıtılmakta ve gerek içerik, gerekse uygulama biçimi yönünden birtakım avantajlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Geleneksel seramik malzemelerden sonra kullanıma sunulan düşük ısı porselenleri de bu yeniliklerden bir tanesidir. Düşük sıcaklık porseleni, geleneksel porselen sistemlerinden 200 °C daha düşük sıcaklığı ile hem ısı

genleşme katsayıları, hem de düşük pisme sıcaklığı ile pek çok metal- seramik sistemi için iyi bir bağ dayanımı sağlar. Ayrıca bu porselenlerin, porselen- metal arayüzündeki kimyasal içeriği fazlaca değiştirilmeden pisme sırasında metalde oluşabilecek distorsiyonları önlediği de görülmüştür [62- 65].

İlk kez 1976'da Karino [64] tarafından 800-850 °C' de düşük sıcaklık mine porseleni için patent çıkarılmıştır. Düşük sıcaklıkta eriyen mine porselen sistemlerinin gelişmesiyle, oksit oluşumunun daha iyi kontrol edilebilmesi ve arayüzdeki kimyasal reaksiyondan kaynaklanabilecek bağlantı başarısızlıklarının azalması hedeflenmiştir [63].

Geleneksel porselen sistemlerine alternatif olarak sunulan düşük ısı porselenleri, pisme küçülmesi, bükülme direnci, kimyasal çözünürlük [66], lekelenmeye [67], asınmaya [68, 69] ve topikal flor uygulamalarına [70] karşı dirençleri gibi birçok açıdan değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Lössit içeriği az olduğu ve partikül boyutu küçük olduğu için karsit doğal dislerde daha az asınmaya neden olur. Düşük sıcaklık porseleni geleneksel göre klinik olarak kabul edilebilir düzeyde özellikler sergilemiştir. Çalışma kolaylığı, pek çok alarım grubu ile ısı genleşme uyumu, kolay cilalanabilme, karsit çenedeki disler için düşük asindirici etki ve mükemmel estetik sonuç gibi pek çok avantajlara sahiptir [68, 69, 71].

Tamamen porselen olan jaket kuronlarda kullanılan alçak yada yüksek sıcaklıklarda pisen porselenin kırılma direnci ve çekme kuvvetlerine karşı direncinin zayıf olması bilim adamlarını yeni çalışmalara yönlendirmiştir. McLean, alümina porselen üzerine bir çalışma yapmıştır. Alümina porselenler 800- 960 °C arasında piserler. Yapı bakımından % 40-50 oranında alümina, feldspat ile kuvarstan oluşur. Pisirme sıcaklığı yönünden düşük sıcaklık porselenlerine benzeyen alümina porselenleri bu porselenlerden daha az büzölmeye uğrarlar.

McLean, sertlik cetvelinde elmasın sonraki sırayı alan  $Al_2O_3$ ' ü normal porselen tozuyla % 40- 50 oranlarında karıştırarak normal porselenden % 30 daha fazla dirençli ve dayanıklı yeni bir porselen türü geliştirmiştir. Basınca karşı direnci arttıran alümina, porselenle kimyasal olarak birleşir. Porselende başlayan çatlakları alümina kristalleri çok sert olduğu için önler ve yapı direnç bakımından büyük avantaja sahip olur. Bundan sonra gelen çalışmalar günümüzde kullanılan alümina

porcelain türlerini sergilemiştir. Değişik yönlerden normal porcelenlere oranla farklı olan alümina porcelenler, metal-porcelen ve tamamen porcelen çalışmalarında ayrıcalıklar gösterir.

Alüminanın seffaflığı ortadan kaldırarak opaklaşmaya sebep olmasını önlemek için % 40-50 alümina içeren alümina porcelenlerle yapılan jaket kuronlarda önce matris üzerine bir kapsül ya da alt yapı hazırlanmakta bunun üzerine de kole ve kesici kenar (gingival, insizal) porcelenleri eklenerek opak porcelenin yüzü seffaf porcelenle kaplanmaktadır. Kapsül, basınçlara karşı dirençli olduğundan dayanıklılık bakımından metal-porcelen çalışmalarındaki metal alt yapıya benzetilebilir. Normal porcelen jaketlere oranla % 50 direnç artışı olduğu gözlemlenmiştir [11, 14].

## **6. 5. Günümüzde Seramik Disler**

Seramik malzemeler, çok iyi estetik ve mükemmel biyouyumluluğa sahiptir. Seramikler, metal iyon renklenmesini meydana getirmez. Metal altlıkların korozyonu ve potansiyel oksidasyonu engellenmiş olur. Fakat bu avantajlarına karşın düşük mukavemet ve kırılma tokluğundan dolayı ve kritik çatlak büyümesi eğilimli olmaları nedeniyle çalışmalar sınırlıdır. Yorulma davranışı, mukavemet ve kritik çatlak büyümesi parametrelerine bağlıdır. Bu nedenle uzun ve kısa dönem uygulamalarda seramik dislerin mukavemeti önem kazanmıştır.

Geleneksel alümina kuron yerine metal bazlı porcelen protezler kullanılarak kırılma dayanımı artırılmaya çalışılmış fakat estetik açıdan doğal dişe daha yakın olarak tam seramik disler daha uygun bulunmuştur. Bu nedenle çalışmalar bu dislerin mukavemetini arttırmak üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu tür dezavantajların üstesinden gelebilmek için giderek artan gelişmiş teknoloji kullanımı ya da yöntem ve malzemelerin basitleştirilmesi çalışmaları arttırılmıştır. Desteksiz seramik malzemeler gerilim ile kırılmaya eğimli oldukları için kullanılan metal döküm altyapılar iyi birer destek görevi görmesine karşın estetik olmadıklarından dolayı “inceram” lar eksikleri giderilerek geliştirilmektedir. ‘Inceram’ larda metal yerine seramik altlık kullanılarak tamamen seramikten meydana gelen bir dis yapılmaktadır.

Alümina inceramalar mükemmel fiziksel özelliklere sahiptir. Kirilma mukavemeti, 3 nokta egme mukavemeti, darbe direnci gibi özelliklerinin mükemmelliği ile diğer seramik malzemelerden ayrılırlar. Klinik olarak mükemmel güvenilirliği vardır. Kimyasal dayanımının yüksek olması nedeniyle uzun süre rahatça kullanılabilir.

Inceram çalışmalar, zirkonya ve spinel seramikler üzerinde de denenmekte ve çok iyi sonuçlar alınmaktadır.

Zirkonya, sert bir malzeme olması sebebi ile metalin problem olduğu uygulamalara alternatiftir. Stabilize edilerek kullanılan zirkonya malzemelerin kirilma mukavemeti ve tokluğu oldukça yüksektir.

Malzemenin blok formda kullanımı, makine işleminin mükemmel kombinasyonuna izin verir ve yüksek mukavemetini sağlar.  $ZrO_2$  partikülleri sayesinde kirilma tokluğu ve bükülme mukavemeti değerleri diğer alternatif malzemelerden yüksektir. Kirilma yayılmasına karşı direnç anlamında kullanılan kirilma tokluğu genel olarak seramiklerde düşük olmasına karşın zirkonyum oksit, seramik malzemeler arasında en yüksek kirilma tokluğuna sahiptir. Kuvvetlendirme mekanizması, yarı kararlı tetragonal zirkonyum oksit partiküllerinin %3-5 hacim artışıyla monoklinik formlarına dönüşümü ile açıklanır. Bu prosese göre enerji çatlaklardan geri alınır ve bu olay eşzamanlıdır [72].



Şekil 6. 3: Tamamen seramik diş sisteminin yandan kesiti [14, 72]

Zirkonya inceramların avantajları; estetiklik ve mükemmel biyouyumluluk, yüksek sıcaklıkta sağlamlık, mükemmel fiziksel özellikler, gerilme dayanımı, termal sok dayanımı, vücut tarafından kabul edilebilirliği, optimum fiyat/ kar oranı, yüksek kalitede alarım kullanımı gibi ek masraf gerektirmemesi' dir.

Spinel, mükemmel özelliklere sahip olduğu için inceram teknolojisinde kullanılabilir bir malzemedir. Yüksek ergime sıcaklığı (2135 °C), normal ve yüksek sıcaklıkta yüksek mukavemet, kimyasal kararlılık, iyi ısı geçirgenliği ve düşük elektrik geçirgenliği gibi özelliklere sahiptir.

Alümina, zirkonya ve spinel malzemelere gerilme testi uygulandığında test esnasında aradaki bağların kaldığı, yüzeyin zarar görmediği fakat seramik çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir. Termal genleşme katsayılarının eşleşmelerinin başarısı malzemenin termal soka olan direnciyle ispat edilmiştir. Metal- seramik sistemleri kadar iyi bir sonuç göstermektedir [72].



## **7. PORSELEN DISLERDE METAL- SERAMİK İLİSKİSİ**

### **7. 1. Metal- Seramik İlişkisi**

Metal- seramik sistemlerin uygulamalarının artması nedeniyle bu sistemlerin arayüzlerinin üretim yöntemleri, yapı ve özellikleri arası ilişkinin anlaşılması günden güne önem kazanmaktadır. Metal- seramik kompozitlerin tüm özellikleri, arayüzey özelliklerine dayalıdır. Uygulamaları, elektronik cihazlardan uzay parçalarına kadar çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Metal- seramik sistemlerin önemli bir kullanım alanı da porselen dişlerdir.

Metal ve seramik gibi iki farklı malzemenin birbiriyle kompozit oluşturmada önemli bir faktör, ısıl genleşmelerinin farklılığıdır. Isıl genleşme katsayıları farklı olduğunda aradaki bağ dayanımı tehlikeye girer ve arayüzeyde kopmalar, zayıf tutunma gibi bozukluklar meydana gelir. Bu sorunların önüne geçmek için genleşme katsayıları birbirine oldukça yakın ve de özellikle metalinkinin biraz daha fazla olması istenir.

Sistemdeki kimyasal bağ, kimyasal reaksiyon, bağlanma koşulları ve kırılma mekanizması, makroskobik kırılma özellikleriyle ilişkili olabilir. Etkileşim halindeki metal ve seramik malzemelerin arayüzeyinde kütle transferinden çok yük transferinin olması kimyasal bağlanma olarak ifade edilir. Bazı kaynaklarda bu, aynı zamanda fiziksel bağlanma olarak da ifade edilir.

### **7. 2. Porselen Dişlerde Metal- Porselen İlişkisi**

Dişilikte porselen, estetik ihtiyaçtan dolayı kullanılmaktadır. Fakat tamamen porselen olan kuronların kırılma eğilimi olduğundan metal üzerine porselen ergitilerek estetik ve mukavemeti yüksek bir protez elde edilmektedir. Dişin zarar görmüş kuronal kısmının morfolojisi ve fonksiyonunun restore edilmesi, sert doku üzerine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Eğer diş eksikse, fonksiyonun

düzelmesi ve karsit disin bosluga girmesini önlemek için bitisik disle ayni hizada bir dis takviyesi yapilmaktadir. Estetik olarak uygun oldugu takdirde restorasyon köprü olarak ta yapılabilir.

Hastalar tarafından agzin ön kısmında yer alan, dogal disin estetik görünümüne benzeyen ve metal alt yapıları maskeleyen sabit protezlerin daha fazla tercih edilmesi, metal destekli protezlerde porselenlerin kullanımını arttırmıştır [73]. Estetik yönden memnuniyet verici olmalarına rağmen, dogal dislere karşılık gelen porselen protezler, mine yüzeylerinin asınması üzerinde farklı sonuçlar doğurmaktadır [74]. Asınma özelliği daha az olan porselen malzemelerin kullanımı karsit dogal dislerin asınmasını azaltmakla kalmayıp, daha mükemmel estetik sonuçlar ortaya koyarak, hekimlerin malzeme tercihinde katkıda bulunmaktadır [69]. Buna karsin kırılma özelliği ve düşük gerilme dayanımları, porselen protezleri çigneme sırasında kırılmaya yatkın hale getirmektedir. Porselen başarısızlığı “çatlak oluşumu” ile açıklanmakta, malzemenin çatlak oluşumuna karşı direnci ise kırılma tokluğu ile belirlenmektedir.

Tamamen porselen olan sistemin mekanik yük altında kırılma dayanımını arttırmak için yapıya alümina mikro kristalleri ilave edilse de bu protezin hazırlanmasındaki güçlük, hekimleri metal-seramik sistemi kullanımına yönlendirmiştir. 1960 yılında yeni bir metot olarak metal üzerine porselen ergitme ile elde edilen protezler kullanılmaya başlanmış, bu şekilde hem mukavemeti yüksek hem de estetik bir yapı elde edilmiştir.

Metal- seramik protezler asınma dayanımları, renk degistirmemeleri, ağız sivasında dayanımı ve mükemmel estetik özelliği ile uzun yıllardan beri kullanan, köprü yapımında başarı ile kullanılmaktadır [61, 75- 77]. Ancak iki farklı malzeme arasındaki bağlantı, her zaman araştırmacılar ve üreticilerin ilgi odağı olmuş ve metal- seramik protezlerin başarısında önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmiştir [53, 65, 78- 81].

Bu sistemde kullanılan metal için ihtiyaç duyulan temel konular şunlardır:

1. 1100 °C altında erimezdir.

2. 960- 980 °C de pisen dis porseleni ile uyumlu bir isisal genlesme degerine sahip olmalidir.

$$a_{\text{metal}} = 12,7 - 14,8. 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$a_{\text{porselen}} = 10,8 - 14,6. 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

3. Sürünme ve pisme süresince meydana gelebilecek egilme ve bükülme minimum olmalidir.

4. Porselen, metali iyice islatmalidir. Porselenin islatma kabiliyeti, ön oksidasyon islemi ile yüzeyde oksit tabakasinin olusumu ile artar. Bu oksitler, metal- porselen bagi için gereklidir [53].

Protezin porselen yüzeyinin dayanimi, iç gerilimden ve de porselende etki altında aniden ilerleyebilecek ince çatlaklardan etkilenir. Porselen yüzeyin metale baglanması, metal altlıktaki yüzey kirliligi veya arayüzeyde olusan gaz kabarcıkları tarafından bölgesel olarak kesintiye ugrayabilir ve böylece bagın dayanimi düşer. Ön oksidasyon yada bazı Ni- Cr alasimlarda sıkça görülen kalın oksit tabakasi olusumu, kimyasal bag olusumunu önemli oranda degistirir [53].

Bu tür protezde ana problem; isisal genlesme farklıligi ve zaman zaman güçlü bir bag olusturamamaktır. Isisal genlesme katsayisi, soguma esnasında iç gerilmelerin neden olabilecegi pullanma ve kirilmaları engelleyecek şekilde ayarlanmalıdır. Metal alt yapının ergime sicakliginin, porselenin pisme sicakliginin altında olmamasına ve bu sicakliga dayanabilecek metalin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Metal, opak porselen tabaka ile tamamen örtülmelidir. Üzerine dentin ve seffaf uygulanarak dogal disin renk ve saydamligi saglanmalıdır [53].

Metal ile porselen arasındaki bagın derecesi; alasimin içeriği, yüzeyinin hazırlanma şartları ve porselen- alasim uyumlulugu ile ilgilidir. Protezin basarisi, her iki malzemenin fiziksel özelliklerine bagli olduğu kadar, aralarındaki etkilesime de baglidir. Bu tip çalışmalarda, porselen uygulamadan önce metal yüzeyine oksidasyon islemi uygulayarak yüksek basari saglanmaktadır [62, 77].

### **7. 3. Metal- Porselen Baglanması Mekanizmaları**

Porselen- metal protezde metal altlığın hazırlanmasında ilk olarak artık organik malzemeler temizlenerek 10 dakika kadar düşük basınç altında 960- 980 °C' de oksidasyon (gaz giderme) yapılmaktadır. Bu isil islem boyunca, yapıdaki temel

metaller alarim yuzeyine g eder ve oksitlenir. Döküm süresince metal yapısında kalan gazlar, alarimin dis yüzeyinden giderilir. Bu oksitler porselenin alarimini iletmesini sağlar. Dogru bir porselen- metal arayüzeyine bu şekilde ulaşılmış olur. Metal ile porselen arayüzeyinde bes esit bağlantidan bahsedilebilir [61, 75].

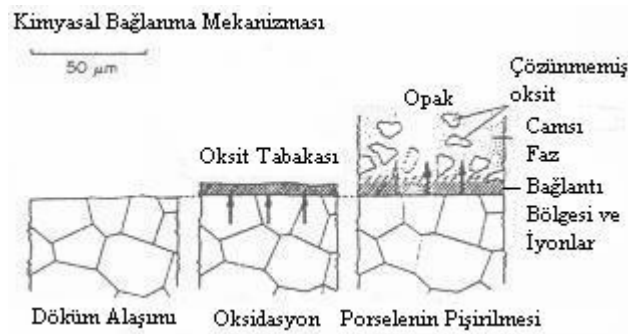
- Fiziksel bağlanma kuvveti,
- Kimyasal bağlanma kuvveti,
- Mekaniksel bağlanma kuvveti,
- Basma kuvveti,
- Difüzyon bağlanma.

### 7. 3. 1. Fiziksel Bağlanma

Fiziksel bağlanma kuvvetleri, Van der Waals kuvvetleri olarak ta adlandırılır. Moleküler çekime bağlı olan bu bağlanma, bir alan içinde birbirlerine yaklaşan iki atom arasındaki karşılıklı elektrostatik reaksiyon nedeniyle olan bağlantidir [77]. İki atom, aralarında kimyasal bağ oluşmayacak kadar birbirlerine yakınlastıklarında, elektrostatik reaksiyon sonucu bu bağ oluşur. Kimyasal bağdan daha zayıftır. Kimyasal bağ oluşumu sadece, Van der Waals kuvvetleri neticesinde metal ve porselen birbirine yakınlastığında görüldüğünden, bu bağ oluşumu da dolaylı olarak kimyasal bağlanmaya etkide bulunmaktadır [82].

### 7. 3. 2. Kimyasal Bağlanma

Metal ve porselenin birlesiminde yüzeylerinde gerçeklesen elektron transferine bağlıdır. Bu alisveris metal alarimdeki okside olabilen iyonlar ile ergimis porselenin oksijen atomları arasında gerçekleşir [75, 77].

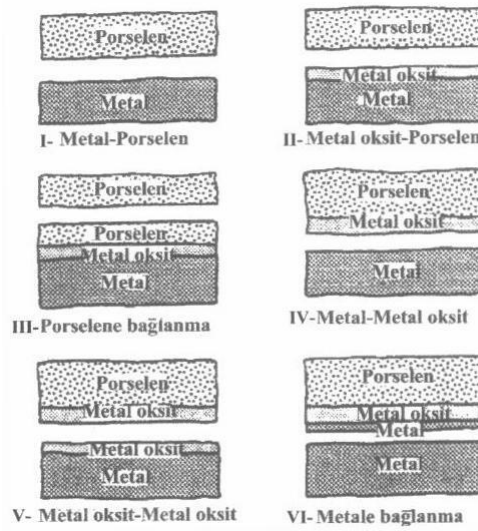


Sekil 7. 1: Metal, metal oksit ve alümina silikatlar arasında pisme süresince meydana gelen kimyasal bağlanma mekanizması [53].

Sekil 7.1' de kimyasal bag olusumuna neden olan mekanizma gösterilmistir. Bu tür baglantida metalin oksidasyon kabiliyeti büyük önem tasimaktadır. Oksidasyon islemi ile alasim yüzeyinde temel metallerin oksitleri olusur. Bu oksit tabaka üzerine opak porselen isitilince temel oksitler porselen sivi fazi içine difüze olur. Kesintisiz bir kati olusur. Bu, metal, metal oksit ve feldispatik porselenin alümina silikatları arasında bir kimyasal bag sayesinde olur.

Pask ve Cascone (1977)'e göre yüzeysel oksitler, porselen tarafından çözünür ve metal, minimum moleküler oksit tabakası ile porselen arasında arayüzeysel reaksiyonlar olusur. Porselen, çözülen oksitlerle doymus hale gelir. Dogru bir kimyasal bag olusturmak için arayüzeyde kararlı kimyasal dengeye ulasilmalidir. Metalin en düşük degerlikli oksiti ile arayüzeyde metal ve porselenin doyması ile bu denge saglanabilir ve redox reaksiyonları ile de olur. Örneğin, yüksek Au içerikli kompozitlerde oksit tabakası SnO' dur. Reaksiyon;  $In^+ + Sn^+ \rightarrow In^{+3} + Sn^{+2}$  [53].

Arayüzeyde dogru bir kimyasal bag olustugunda kompozitin bozunumu porselende olur. Bag dayanımı porseleninkinden daha yüksektir. 6 tip bozunum olur (Sekil 7.2):



Sekil 7. 2: Metal- porselen arayüzeyinde meydana gelebilecek bozunum türleri [53]

- a- Metal- Porselen (Au içeriği yüksek olan alasim)
- b- Metal Oksit- Porselen
- c- Porselende Kohezyon (Au içeriği yüksek olan alasim)
- d- Metal- Metal Oksit (Ni içerikli)

e- Metal Oksit- Metal Oksit (Ni içerikli)

f- Metalde Kohezyon

Soy olmayan alasimler, içerdikleri nikel, krom gibi elementlere bagli olarak oksidasyon islemleri neticesinde oksit tabakasi olustururlar [76, 78]. Oksidasyon islemi ayni zamanda sikismis gazlarin uzaklastirilmesi, yüzey kirliliginin ortadan kaldirilmesi, metalde olusan gerilimlerin açiga çikmasi ve metal yapinin distorsiyonuna neden olabilir [78]. Ancak oksit tabakasi da porselen gibi kirilgan bir yapıya sahiptir [80]. Bu nedenle kalinliginin artisi bag dayaniminda dezavantaj yaratir [61, 62, 80]. Yüksek derecedeki isil islemler soy olmayan metal alasimlarinda oksit tabakasinin kalinlasmasına neden olur. Bunu önlemek için soy olmayan alasimler daha düşük sicakliklarda ve kısa araliklarla isitilmalidirler [79].

Metal ve porselenin birbiri ile arayüzeyde yayinmasi esnasinda ortaklasa tuttuklari elektronlar neticesinde kimyasal baglanma olusmaktadır. Porselen içindeki ana bileşen olan  $\text{SiO}_2$ , merkezde silisyum atomlari ve etrafında oksijen atomlari ile çevrelenmiş olarak tetrahedral yapıda bulunur. Bu tetrahedral yapı, üç boyutlu uzayda, birbirine ortaklasa paylastiklari oksijen atomu ile baglanır. Eger metal oksit, porselen fazi içinde çözünürse ag yapisi içine ilave bir oksit olarak katilir. Porselen yapısındaki silisyumun etrafındaki oksijen atomunun koordinasyon sayisi ancak 4 olabilecegi için, yüzeyde olusan oksit tabakasinin yapı içine girmesi silisyum ile karsilikli bag yapmayan oksijen atomu sayisi azalacaktır. Bu, ag yapisinin gevsemesine ve iç enerjisinin düşmesine neden olacaktır. Ergimis halde bulunan bu düşük enerjili faz nedeniyle ag yapisini olusturan oksijen atomu baglari kopar ve serbest radikaller artar. Ortaya çikan bu serbest radikal oksijenler, metal yüzeyinde yer almak istediginden metal ile porselen arasında bir kimyasal bag olusur ve arada rahatlıkla baglanma meydana gelir. Kuvvetli bir bag olusumu, porselen- metal arayüzeyinde kesintisiz bir elektron yapisi olustugu takdirde ve arayüzeyde ergimis porselen içerisinde metal oksitin çözünerek doymus hale gelmesiyle, oksijenin serbest radikallerinin en üst seviyeye ulasmasiyla elde edilir [82].

Porselen içinde daha önceden çözünmüş olan metal oksitler, metal yüzeyinde olusan metal oksitler kadar etkilidir. Bu amaçla soy metal- seramik sistemlerinde kolay okside olabilen Sn, In ve Fe gibi temel metal elementleri sisteme eklenerek ön isitma islemi ile oksit tabakanin olusmasi saglanır [78, 79]. Bu elementler gaz giderme

islemi sirasinda seçimli olarak okside olur. Metal yüzeyinde olusan  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  gibi oksitler yukaridaki mekanizmaya göre hareket ederler. Porselendeki silika ve metal oksitler, birbirleri içinde çözünerek, oksijen atomlari arasinda bag olustururlar [82].

### **7. 3. 3. Mekanik Baglanma**

Mekanik baglanma, metal yüzeyinde kumlama ve asindiricilar ile meydana getirilen pürüzlü yüzey ile saglanir. Olusan bag, metal ve porselen arasinda tutucu ve kilitleyici yapidadir. Kumlama veya zimparalama neticesinde olusan pürüzlü yüzeyler, fiziksel yapılarından dolayi tutucu davranis gösterir ve metal yüzeyinin bag kuvvetini arttirir. Bu sekilde olusan baglar nispeten kuvvetlidirler. Uygulanan makroskobik yüzey islemleri, pürüzlülük, metal yüzeyinde meydana gelen oksidasyon, ergimis porselenin metal yüzeyinde olusturdugu elektrokimyasal korozyon, tane sinirlarinda olusan seçimli oksidasyon, daglama ve porselende bulunan metal oksitlerin redüksiyonu ile olusan dendritik kristaller mekanik baglanmaya etki eden diger faktörleri olustururlar [83].

Metal oksitlerin redüksiyonu ile olusan dendritik kristaller, metalden porselene dogru geliserek her iki fazi da tutar ve baglanmayi az da olsa etkiler. Bu sekilde olusan baglanmaya dendritik baglanma denir. Metal- seramik sistemlerde göz ardi edilecek kadar az etkiye sahiptir.

Porselenin metal yüzeyinde olusturdugu korozyon; elektrokimyasal seride daha soy olan metalin, çözeltide kendinden daha az soy olan metal ile yer degistirmesi ile olur. Porselen- metal yüzeyi elektron mikroskobu altında incelenmesi için HF ile çözüldüğünde, pisirme sirasinda metal yüzeyinin tane sinirlarini tahrip ettigi ve 0.1-1  $\mu\text{m}$  boyutlarında düzensizlik içeren kristal yüzeyi olusturdugu gözlenmistir [82].

### **7. 3. 4. Basma kuvveti**

Metal ile porselenin isisal genlesme katsayilarından ve metal alt yapı tasarimından etkilenen bir baglanma kuvvetidir. Bu nedenle metal ile porselen arasindaki isisal genlesme katsayilari uyumlu olmalidir [61].

### 7. 3. 5. Difüzyon bağlanma

Düz yüzeye sahip iki malzemenin uygun bir sıcaklıkta (minimum refrakter ergime sıcaklığının %60' nin üzerinde bir deger) arada bir bağ oluşuncaya kadar birleştirilmesi ile oluşur. Bu proses, benzer 2 malzemenin birleşmesinde basit olmakla beraber farklı 2 malzeme birleştiğinde bazı karmaşık durumlar ortaya çıkar. Metallerin difüzyon bağlanması eskiye dayanır fakat metal ve seramik difüzyon bağlanma yeni yeni gelişen bir tekniktir. Ayrıca seramik- seramik difüzyon bağlanması da mümkündür. Difüzyon bağlanma, bir katı hal prosesidir ve bağ yapan bileşenlerdeki herhangi bir deformasyon yalnızca yüzeye yakın bölgede gerçekleşir. Tüm bileşenler katıdır ve böylece arayüzey oluşumu için itici güç, birbirine tutunma için yapılan iş olarak ifade edilebilir [83].

$$W_{ad} = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (7. 1)$$

$$\gamma_1 = S_1 \text{ katisinin enerjisi}, \quad \gamma_2 = S_2 \text{ katisinin enerjisi}$$

Burada vakum ile serbest katı yüzeyi sağlanmıştır. Tutunmak için yapılan işin değerinin düşük olması, difüzyon bağlama yöntemi ile metal – seramik arasında iyi bir bağlanmanın oluşumuna neden olur. Ayrıca difüzyon bağlanma, malzemeyi ince seritler halinde üst üste dizerek ve sistemi bağlanma ortamı şartlarına zorlayarak karmaşık bağ konfigürasyonunda aynı zamanda pek çok bağın üretilmesine izin verir. Bu yaklaşım, metal- seramik bağlantısındaki ısıl genleşme probleminin azaltılmasına imkan verir.

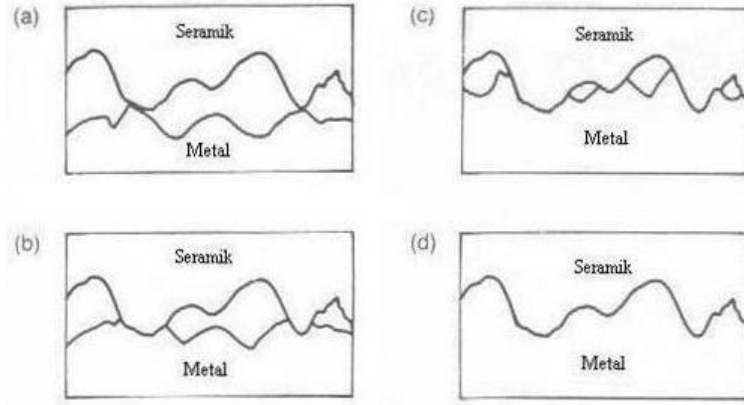
Difüzyon bağlanma, etkileşim halindeki yüzeyler arasında olacağı için bu yüzeylerin uyumlu olması gerekir. Bu da yüzeylerin standart bir düzgünlüğe gelinceye kadar asındırılması ile elde edilir. Yüzey şartları önemli bir degiskendir. Yüzey temizliğine dikkat edilmelidir. Yüzey pürüzlülüğü önemli bir parametre olmakla birlikte bağlanma hızını belirleme de sıcaklık ve basınç ta önemlidir [83].

#### 7. 3. 5. 1. Mekanizma

Difüzyon bağlanmada mekanizmayı ve itici güçleri anlamak için bağ mikroyapısı iyi bilinmelidir. Bağlanmadan önce standart düzlükte 2 yüzey tamamiyle etkileşim haline getirilir. Etkileşimin gerçek boyutları yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Bu da uygulanan son yüzey işlemine dayanır.



Baglanma prosesi 2 asamada incelenebilir. Ilki, özellikleri uygun 2 yüzeyin etkilesimi sonunda olan geçişlerdir. Bu şekilde iyi özellikli bir kontak elde edilir. Bu geçiş işlemi, madde tasiniimi ile arayüzeyde olusabilecek bosluklarin giderilmesini de kapsar. Diger asama da, arayüzey fazina mukavemet kazandiracak tutunma prosesinin gerçekleşmesidir. Bir de kimyasal reaksiyon ile sınırdaki üçüncü bir faz olusabilir ki bunun kimi zaman bag dayanimi açısından olumsuz sonuçları da olabilir.



Sekil 7. 3: Metal-seramik difüzyon baglanma esnasında meydana gelen olusumların siralaması a) sert seramik ile esnek metalin yüzeydeki çıkıntılarının etkilesimi, b) yoğun bir bölgesel gerilim altında seramik yüzey çıkıntılarının plastik davranan metal yüzeyinde oyuntu olusturması, c) metalde deformasyonun devami ve de arayüzeyde bosluk azalmasına neden olacak difüzyonal madde tasiniimi, d) sonuç olarak güçlü bir bağın olusumu [83].

İki farklı malzemenin etkilesiminde bosluk giderme hizi, arayüzeyin termodinamik ve kimyasal özellikleri önemlidir. Seramik- metalin ilk etkilesimi denge halinde olmayıp prosesin dengeye gelmesi zaman almaktadır. Tutunma reaksiyonları metal-seramik için çok önemlidir ve tam anlamıyla irdelenmesi gerekmektedir [82].

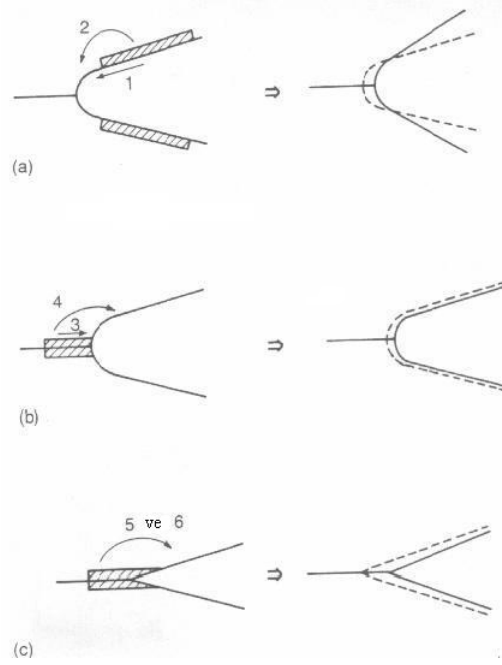
### 7. 3. 5. 2. Arayüzey Olusumu

Bag olusumu, bir miktar difüzyon ve sürünme mekanizmalarının olusturduğu arayüzey bosluklarınınin giderilmesiyle olur. Bu bosluklarınin giderilmesi bazı mekanizmalarla olur.

Tablo 7.1 ve Sekil 7.4' te bu mekanizmalar verilmistir.

Tablo 7. 1: Difüzyon bağlanmada madde tasiminin kaynagi, akisin son buldugu bölge

Difüzyon Mekanizmasi	Kaynak	Hedef Nokta
Yüzey Difüzyonu	Yüzey	Boyun
Yiginsal Difüzyon	Yüzey	Boyun
Buhar Transferi	Yüzey	Boyun
Arayüzey Difüzyonu	Baglanma Arayüzeyi	Boyun
Yiginsal Difüzyon	Baglanma Arayüzeyi	Boyun
Plastik Akma	Genel Asperity Deformasyonu	-
Sürünme	Genel Asperity Deformasyonu	-



Sekil 7. 4: Difüzyon bağlanmada madde tasiminin kaynagi, akisin son buldugu bölge, izledigi yol. a) yüzey kaynagından arayüzey boyuna, b) bağlantı arayüzeyinden boyuna, c) sürünme boyunca plastik akis nedeniyle yiginsal deformasyon. Farkli malzemeler birlestiginde arayüzeyin her iki tarafında da bu difüzyon mekanizmalarinin oranlari farkli olacaktır [83].

Farkli malzemeler arasındaki bağlar, karmaşık bağlanma mekanizmalarına sahiptir. Bosluk giderme mekanizmaları aynıdır fakat daha fazla difüzyon yolları oluşur. Ayrıca tek bileşenli difüzyon sistemi ile çok bileşenli arayüzey kimyası birleştiğinde bunların göreceli oranları, kinetik olarak dengesiz bir yapıya neden olacaktır. Çözünme ve malzeme transferi kinetiği, bağlanma koşullarına ve bağlanma sıcaklığından soğuma hızına bağlı olan bir arayüzey yapısıyla sonuçlanır. Bu noktada

difüzyon bağlanma mekanizmalarının diğer bölgesel madde transferi etkilerinden ayırt edilmesi gerekir.

Arayüzey oluşumu ilk etkileşimde oluşan boşlukların kapatılması ve giderilmesi aşamalarının birleşimi ile olur. Burada itici güç, metallerdeki difüzyon bağlanmaya sebep olan şeyle aynıdır. Boşluk giderme, birleşecek iki yüzey için net bir yaklaşımla sonuçlanır. Bu da bağlanma basıncı ile mekanik bir çalışmaya imkan verir. Boşluk hacmindeki azalma, bir diğer itici güç olan boşluk yüzey enerjisinin azalması ile olur. Eğer silindirik bir arayüzey boşluğu düşünürsek bu Gibbs-Thomson tarafından tanımlanan giderme stresi için bir deneyim olacaktır.

$$P = \gamma / r \quad (7.2)$$

$\gamma$  = boşluk yüzey enerjisi,  $r$  = verilen noktadan itibaren yarıçap

Metal ve seramik gibi değişik malzemelerin bağlanması sırasında başka mekanizmalar da oluşur. Bunlar, arayüzeyin başlangıçtaki dengesizliğinden kaynaklanır. Bu mekanizmalar, yeni bir denge arayüzeyi oluşana kadar kısa bir süre işler. Eğer iki yüzey arasında kimyasal reaksiyon varsa bir denge elde edilemez ve yerine kapsamlı arayüzeyel reaksiyonlar oluşur.

Farklı sistemler arasındaki difüzyon mekanizmaları bozuk bir yapı oluşturabilir. Örneğin arayüzeyin her iki tarafında da önemli oranda değişik difüzyon oranları varsa, Kirkendall porozitesi oluşabilir. Burada arayüzeye malzeme transferi  $S_1'$  den  $S_2'$  ye,  $S_2'$  den  $S_1'$  e olduğundan daha hızlıdır. Malzemeyi korumak için arayüzey, net akışı sağlayarak hareket etmelidir. Böylece arayüzey, bağlanma boyunca hızlı difüzyon yolu ile boşlukları izole ederek onlardan uzaklaşır. Bu tür bir bağlanmama mekanizması (yüzey eğrilğinde bölgesel farklılıklardan dolayı boşluk yüzeyi boyunca gerçekleşen difüzyon) metal difüzyon bağlarında da oluşabilir. Bu tür bir yüzey madde transferi, bağlanma bölgesinin genişlemesini sağlar fakat boşluk hacminde bir azalma olmaz. Ayrıca, arayüzeydeki yüzey eğriligi azalır ve böylece de diğer bağlanma mekanizmaları için itici güç azalmış olur.

Metal- seramik difüzyon bağlanmayı açıkça doğru bir şekilde modellemek oldukça karmaşık bir iştir. Tüm etkileşimleri gösteren tam bir model, analitik olarak mümkün olmayabilir. Fakat basit modeller (örneğin; Al-  $Al_2O_3$  boşluk giderme işlemi için)

uygulamak mümkündür. Metal- seramik arayüzeyinde madde tasiniimiyla ilgili yeterince bilgi olmadigi için daha çok çalisma yapilmalidir [83].

### 7. 3. 5. 3. Kimyasal Reaksiyonlar

Yüksek sicaklikta, 2 farkli malzeme etkilesime maruz kaldiginda pek çok kimyasal olusum meydana gelir. Bir malzeme digerini çözeltili içine alabilir, üçüncü bir faz olusturmak için reaksiyon meydana gelebilir yada çevre de dahil olmak üzere bir reaksiyon olusabilir. Metal- seramik baginda durum biraz daha karmasiktir. Çünkü seramik büyük olasilikla en az 2 kimyasal tür içermektedir.

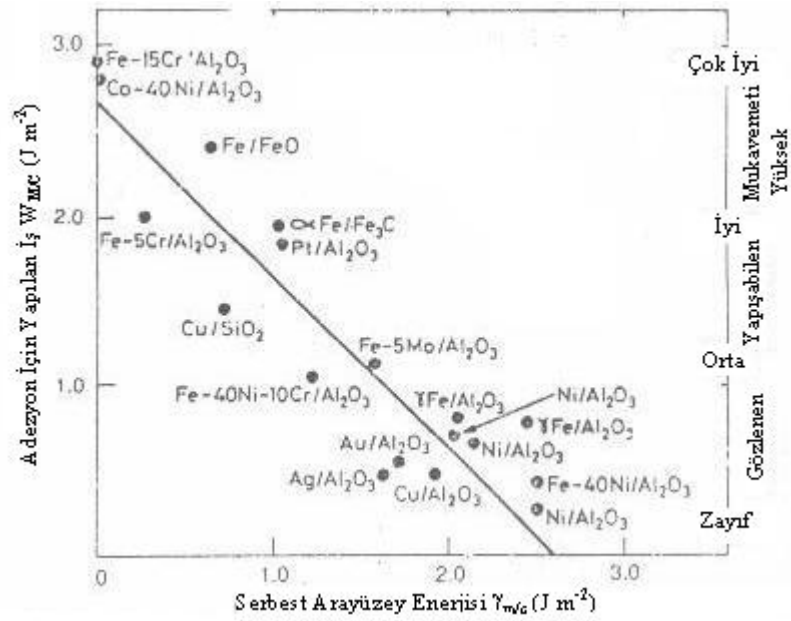
Saf metal (M) ve basit oksit (AO) arasinda arayüzeyde olusabilecek reaksiyonlar;  
( köseli parantezler çözeltili anlaminda kullanilmistir.)

$M/ AO \rightarrow M/ ([M] + AO)$	AO içinde M çözeltilisi
$M/ AO \rightarrow ([A] + [O] + M) / AO$	AO'nun çözülmesi ve M içinde A ve O çözeltileri
$M/ AO \rightarrow ([A]/ M/ MO) / AO$	Metal tarafından oksitin indirgenmesi ve M ve MO'da A çözeltilisinin olusmasi
$M/ AO \rightarrow M/ AM/ AO + O \uparrow$	İçmetalik olusumu ve oksijen olusumu
$M/ AO + O \downarrow \rightarrow M/ MAO_2 / AO$	Oksitle karisik ara ürün eldesi için atmosfer ile reaksiyon

Metal- seramik çiftinde baglanma süresince olusan ve gözlemlenebilen sadece birkaç olasi reaksiyon vardir. Eger metal yada seramik önemli oranda alayim yada tane siniri bileseni içeriyorsa olasi etki, bu maddelerin arayüzeyden segregasyonu yada arayüzeye birikmesidir.

Baglanmanın gerçektestigi atmosfer, metal ve seramik arasi bag mukavemeti üzerinde etkilidir. Oksitleyici atmosferin baglanmayı arttirdigi ve güçlü bir bag olusumuna neden oldugu bilinmektedir (özellikle oksit seramik- Au arasinda). Pt ve Pd oksit seramiklere indirgeyici atmosfer altında iyi baglanmaktadır. Pt grubu metallerle oksit seramikler arasi reaksiyona oksijen çözeltilisi olusturmak için oksitin ve ayrıca platinyumdaki metal bilesenin indirgenmesinin neden oldugu düşünölmektedir. Buna benzer bir reaksiyon vakum altında etkilesime birakilan

$Al_2O_3$  ve niyobyum arasında görülmektedir. Oksitleyici atmosferde Ni,  $Al_2O_3$  ile bağlandığında spinel yapıda oksit karışımı ara ürünü oluşur fakat bunlar vakum altında yada indirgeyici ortamda etkileşime girerse spinel oluşmaz ve daha güçlü bir bağ elde edilir. Normal atmosfer şartlarında etkileşen niyobyum ve  $Al_2O_3$  arasında bir ara reaksiyon tabakası görülmüş fakat vakum altında bağlandıklarında net bir arayüzey ve güçlü bir bağ gözlenmiştir. Benzer bir durum  $ZrO_2$ - Ni arasında da görülmüştür. Bu gözlemler sonucunda 2 malzemenin tutunmak için yaptığı işin, metalin oksidasyonunun serbest enerjisi ile doğrusal ilişki içinde olduğu görülmüştür [83].



Sekil 7. 5: Metal-seramik arayüzey enerjisi ve termodinamik olarak adezyonun sağlanması için yapılması gereken iş ile gözlenen bağ mukavemeti arasındaki ilişki. Burada, adezyonun sağlanması için yapılan iş arttıkça bağ mukavemetinin de arttığı görülmüştür [83].

Genelde, eğer bir ara reaksiyon fazi oluşursa bazı bölgesel hacim değişimleri gerçekleşir. Bu hacim değişimi, bağlanmanın ardından arayüzey kalıntı gerilmeleri oluşturacak ve bu tür gerilmeler, reaksiyonun kritik bir noktasından itibaren bağ için zararlı etki gösterecektir. Bağlanma 2 grupta olabilir; bir bölümünde tutunma için kimyasal reaksiyon gereklidir, diğerinde ise bağlanma içte olur ve ayrıca çevrenin neden olduğu kimyasal reaksiyonlar, kalıntı gerilmelerinden dolayı mukavemette düşüğe sebep olabilir. Bir bağın iç mukavemeti tutunma için yapılan işle ilişkilidir ve bu ilişki Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Bu şekilde anlaşılabileceği gibi kompozisyondaki küçük bir değişiklik bağlanma davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

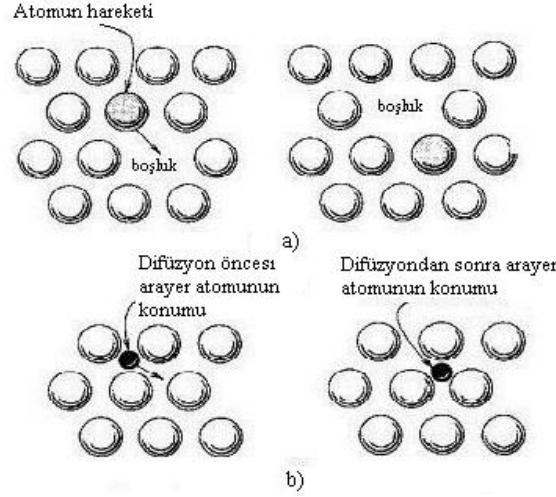
Difüzyon bağlamalı sistemin toklugunun genelde düşük olduğu fakat diğer yöntemlerle elde edilen sisteminkinden kötü olmadığı görülmüştür. Kırılma mekanizmaları tam olarak anlaşılamamıştır [83].

#### **7. 4. Difüzyon (Atomsal Yayınım) Çifti**

Sıcaklık yükseldikçe atomların ısı titreşimleri artar ve bir kısmı içinde bulunduğu yapıda bir konumdan diğer konuma atlayarak yer değiştirir. Atomsal yayınım yada difüzyon denilen bu olayda önce atomun çevresi ile bağları kopar, sonra atomlar arası boşluklardan geçer ve yeni konumda tekrar çevresi ile bağ kurar. Bütün bunlar için gerekli aktivasyon enerjisi yayınım sisteminin bir özelliğidir ve deneysel olarak ölçülebilir [84].

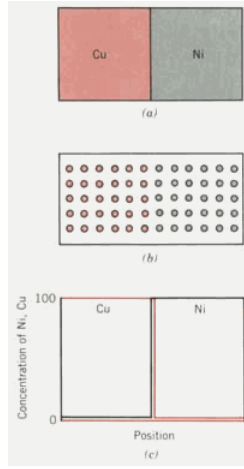
Yayınım tek tür atom içeren arı metallerde de oluşur, buna öz yayınım denir. Arı metallerde radyoaktif izleme yöntemi atomların hareketi deneysel olarak gözlenebilir. Alasimlarda ise konsantrasyon farklı olduğu zaman iç yapı değişikliği kolayca izlenebilir. Genellikle atomlar yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru yayındıklarından belirli bir yerde birim hacimdeki sayılarında zamanla net bir fark oluşur.

Atomların kütle içinde yayınımları üç yöntemle oluşur. Birinci yöntem boş kafes kösesi yayınımları olup nispeten düşük bir enerjiyi gerektirir. Bir kristal kafesinde varolan bir boş kafes kösesinin çevresindeki komşu atomların bu boş köseye atlama olasılıkları aynıdır. Eğer boş kösenin solundaki atom buraya atarsa atlayan atomun ilk konumu boş kafes kösesi olur. Böylece atom soldan sağa hareket ederken boş kafes kösesi de sağdan sola hareket etmiş olur. Bu şekilde sürekli yer değiştiren boş kafes kösesi kristalin yüzeyine kadar çıkabilir. İkinci yöntem ara yer atomunun kafeste mevcut atomlar arasından geçerek oluşturduğu harekettir. Buna arayer yayınımları denir ve oldukça yüksek enerji gerektirir. Halka yayınımları denen üçüncü sürecin oluşma olasılığı düşük olmakla beraber oldukça ilginçtir. Birbirine değerek bir halka halinde bulunan atomlar aynı anda ve aynı yönde hareket ederek birbirlerinin yerini alabilirler. Bu tür yayınım çok büyük enerji gerektirdiğinden ancak ergime sıcaklığına yakın bölgelerde oluşabilir [84].

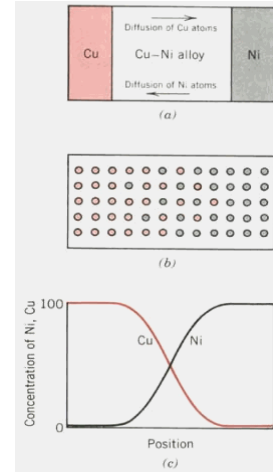


Sekil 7. 6: a) Bosluk difüzyonu ve b) Arayer difüzyonu' na ait sematik gösterim [85]

Bir yayinim sistemi genellikle bir ana faz (eriten sistem) ile o fazin yapısında hareket eden yabancı atomlardan (eriyen sistem) oluşur. Örneğin Cu kafesinde yayinan Ni atomları gibi. Ni kaplanmış bir bakır kristali gözönüne alındığında;



Sekil 7. 7: Difüzyon Çifti



Sekil 7. 8: Kimyasal Profil [86]

Baslangıçta yüzeydeki tüm atomlar Ni' dir. Yüksek sıcaklıkta bir süre sonra istatistiksel kurallara göre, çizgi ile gösterilen arayüzeyden yayinim sonucu soldan sağa geçen Ni atomları ile sağdan sola geçen Cu atomlarının sayısı eşittir. Bu süreç sonunda Ni atomlarının C konsantrasyonunun kristalin yüzeyinden itibaren x derinliği ile değişimi azalan bir eğri şeklinde olacaktır. Ara düzlemdeki konsantrasyon gradyanı  $dC/dx$  eksi işaretli olmasına karşın Ni atomlarının net yayinimi soldan sağa yani artı işaretli yöndedir. Sonsuz süre sonunda Ni, Cu içinde

homojen olarak yayilir ve  $C_1$  konsantrasyonu bütün kütle boyunca sabit, dolayisiyla gradyani sifir olur. Ni atomlarının C konsantrasyonu birim hacimde yer alan Ni atomunun sayisi olarak belirtilir (atom sayisi/  $m^3$ ) [86, 87].

Kristalin yüzeyinden x kadar derinlikte ve yüzeye paralel A  $m^2$  alandan t saniye içinde N adet Ni atomunun geçtiği varsayilsin. Atomsal yayinim akisi J:

$$J = N / A * t \text{ (atom/ } m^2 \text{ sn)} \quad (7. 3)$$

1. Fick yayinim kuralina göre atomsal yayinim akisi o noktadaki konsantrasyon gradyani  $dC/ dx$  ile orantilidir.

$$J = -D * dC/ dx \quad (7. 4)$$

Burada D' ye difüzyon (yayinim) katsayisi denir ve birimi ( $m^2/ sn$ ) dir. Yayinimin yönü  $dC/ dx$ ' in isaretinin tersi yönünde olduğu için eksi isareti konmudur.

D yayinim katsayisi sicakliga, yayinim sisteminin türüne ve yapısına baglidir. Boltzmann D' nin sicakliga bagliligi Arrhenius tipindeki denklemlerle verilmistir.

$$D = D_0 * e^{-Q/RT} \quad (7. 5)$$

Burada  $D_0$  ( $m^2/ sn$ ) yayinim sabiti, Q aktivasyon enerjisi (kal/mol), R gaz sabiti ve T Kelvin derecesi olarak sicaklikdir.  $D_0$  ve Q yayinim sistemine bagli sabitler olup deneysel yolla ölçülebilirler [88].

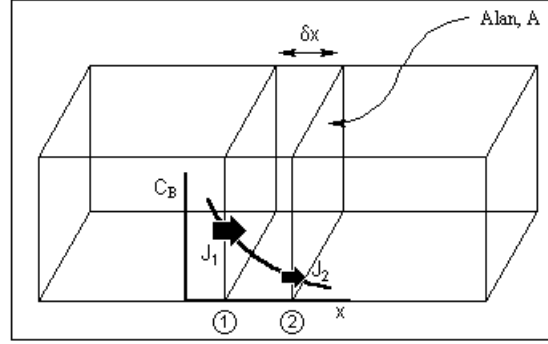
Yayinim sabitlerinin yayinim sisteminin türü ve yapısına bagliligi su sekilde açıklanabilir;

- küçük atomlar daha kolay yayinir,
- belirli bir atom ergime sicakligi düşük, dolayisiyla atomlar arasi bagi daha zayif olan ortamda daha kolay yayinir,
- atomsal dolgu faktörü düşük ortamlarda yayinim daha az enerjiyi gerektirir,
- düzensiz yapıya sahip ve atom sikligi tanelere göre daha az olan tane sınırları boyunca yayinim daha kolay olur. Bu nedenle faz dönüşümleri ve korozyon olayları tane sınırlarında baslar ve daha hızlı olur [84].



2. Fick yayinim kurali, x derinliginde C(x) konsantrasyonunun zamanla degisme hizi  $dC/ dx$  konsantrasyon gradyaninin 2. türevi ile orantilidir:

$$dC/ dt = D* d^2C/ dx^2 \quad (7. 6)$$



Sekil 7. 9: Konsantrasyonun mesafeye bagli olarak degisiminin sematik gösterimi [89]

Denklemin fiziksel anlamina göre, yayinim baslangiçta çok hizlidir, zamanla konsantrasyon gradyani azaldigindan hiz düşer ve tam homojen yapı için sonsuz süreye gerek vardır [89, 90].

## 7. 5. Metal- Porselen Bag Dayanimi

Hemen hemen tüm diş teknisyenleri profesyonel hayatlarının bir noktasında seramik-metal bag problemi yaşamıştır. Metal- seramik bag dayanimini ölçme metodu, güvenlik ve kalite için diş üreticileri, teknisyenler ve hastaların beklentilerini karşılamalıdır. Metal- seramik bag mukavemetini sadece kalitatif olarak değil aynı zamanda metal/ seramik birlesimine ve alasiimin yüzey şartlarına bagli olarak kantitatif olarak ta belirleme imkani veren metotlar tanımlanmıştır. Bag mukavemeti, porselenin alasiim üzerine ergitilmesinin ardından metal ile seramik arasında gelisen bagin dayanimidir. Porselen, alasiimla birlestiginde (kesme) bag mukavemeti porselen alasiimine ve hazirlanma sekline bagli olarak 25 ila 55 MPa arasında degismektedir [91].

### 7. 5. 1. Bag Dayanimini Etkileyen Faktörler

Diş hekimliginde kullanılan seramigin gerilme kuvvetlerine karsi kirlilma direncini arttirmek için metal- seramik sistemler geliştirilmiştir. Günümüzde diş hekimligi alanında en çok kullanılan protez tipidir [75, 92].

Metal ve porselenin birbirlerine bakan yüzeylerinde kimyasal bir bağlanma kuvveti oluşturmak için, metal alasimindeki okside olabilen iyonlarla erimis porselenin oksijen atomları arasında yaygın bir elektron transferi gereklidir [61, 93, 94]. Metal seramik bağlantısı arada oksit tabakası oluşumu ilişkilidir [95]. Bu oksit tabakasının kalınlığı ve kompozisyonu kullanılan alasimin içeriğine bağlı olarak değişir. Kalın oksit tabakası, ince oksit tabakasına göre dayanıksız olduğundan aradaki bağ mukavemeti düşer. Oksit tabakasının varlığı, daha zayıf Van der Waals bağlantısına sebep olmaktadır [76, 95]. İlk kez Shell ve Nilsen [96] metal ve porselen arasındaki bağlanma için Van der Waals kuvvetleri ve oksitlerin önemine değinmiştir. Metal-seramik arasındaki bu karmaşık etkileşim porselenin yoğunlaşma tekniği, içerisindeki gözenekli yapının miktarı ve dağılımı, yüzeyinin hazırlanma şartları, porselenin tipi, porselenin firinlama sıcaklığı, metal ve porselenin söğuma hızı, porselen- alasim uyumluluğu ile alasim bileşimi gibi bazı faktörlere bağlıdır [62, 76, 97, 98]. Direnci arttırmak için metal yüzeyine bağlayıcı ajan ilavesi tavsiye edilse de temelde mukavemet alasim- porselen uyumuna bağlıdır [62, 76, 77, 99, 100]. Metal-porselen kuronların klinik başarısı, önemli oranda porselen- alasim bağı dayanımına bağlıdır [101- 103].

Metal ile porselen arasındaki bağlanmanın oluşabilmesi için metal yüzey üzerinde oksit tabakasının oluşması gerekmektedir. Oksit tabakası metal ile porseleni atomik teması geçirecek yeterlilikte ince bir tabaka olmalıdır ve metal ile çok ince bir yapıya göstermelidir. Porselenin ısıl genişlemesini, direncini, renk ve opaklığını etkilemeyecek şekilde reaksiyona girmelidir [104]. Temel metal alasimleri, ısıtılmaları sırasında içerdikleri Ni ve Cr' a bağlı olarak kendiliğinden oksit tabakası oluştururlar. McLean [61] nikel oksit ve krom oksitin kalın olması nedeni ile bağ dayanımının azaldığını belirtmiştir. Soy olmayan metaller düşük ısılarda ve kısa aralıklarla ısıtılmalıdır. Temiz ve homojen bir döküm yüzeyi başarılı bir bağlanmanın temini için şarttır [105]. Baran [106], soy olmayan metal alasimi ile porselen arayüzündeki faz değişikliklerini incelemiş, faz değişiminin oksidasyon işlemi ve porselen pürme sırasında oluştuğunu ve bunun bağlanma ve kullanım performansı etkileyeceğini bildirmiştir.

Dent [77], 1982 yılında seramik ile soy metal arasındaki bağlanma dayanıklılığında, oksidasyonu inceledikleri çalışmalarında metal yüzeyindeki oksit tabakasının

ulusmasının porselen ve metal arasındaki bağlanma dayanıklılığının gelişmesi için önemli bir etken olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca oksidasyon döngüsünün gazın serbest bırakılması ile porselende oluşabilecek baloncukları ortaya çıkarabilecek tüm organik malzemelerin ortadan kalkmasını, revetmanın düzensiz soğutulması ile oluşabilecek kuvvetleri ortadan kaldırarak, metalin boyutlarının sabitlenmesini ve bağlanmaya yardımcı olan bir oksit tabakanın oluşmasını sağladığını belirtmişlerdir [75, 105, 107, 108].

### **7. 5. 1. 1. Kimyasal Bağ**

Alasimdeki kıymetsiz elementler, alasim yüzeyinde metal oksitler oluşturur ve bunlar porselenle kimyasal bağ yapar. Düzgün bir bağ oluşturmak için kalınlık ve kompozisyon olarak değişmez bir oksit tabakasına ihtiyaç vardır fakat yüzeydeki oksit tabakası kalınsa bağ zayıf olmaktadır. Bu nedenle oksidasyonu takiben  $Al_2O_3$  ile alasim yüzeyi kaplanmalıdır.

Yüksek Pd içeren alasimler, karbon kirliliği açısından çok hassastır. Karbon oksijenle reaksiyona girerek karbon monoksit ve/veya karbon dioksit meydana getirebilir ki bu da seramikte balon oluşumuna neden olur. Opak ve alasim arasındaki arayüzeydeki bu hava baloncukları bağ mukavemetini düşürür. Artan karbon içeriği, grafit pota kullanımından kaynaklanabilir [91].

### **7. 5. 1. 2. Mekanik Bağ**

Metal- seramik restorasyonun iyi bir klinik performans göstermesi açısından mekanik bağ çok önemlidir. Döküm oksitlerini oluşturmak ve özellikle alasimi 100-150 mikronluk  $Al_2O_3$  ile kaplanması mekanik bağın oluşmasına yardımcı olur. Kaplama, porselenin tutunması ve bozunmaması için iyi bir yüzey sağlamada rol oynar [91].

Mekanik bağlanma, porselen ile pürüzlü metal yüzeyi arasındaki kilitleme ile oluşmaktadır. Yüzeydeki pürüzler makroskobik ve mikroskobik olmaktadır. Makroskobik olanlar yüzey işlemleri neticesinde, mikroskobik olanlar ise yüzey oksitlenmesi, elektrokimyasal korozyon ve asidik dahlama ile oluşmaktadır.

Seramigin pürüzlü metal ile difüzyonu sonucunda yaptigi bag, seramigin pürüzsüz cilali metal yüzeyi üzerinde yaptigi baglanmadan daha yüksek degerdedir. Pürüzlü yüzey bag mukavemetini arttirdigindan dolayi porselene baglanacak metale ayrica bir yüzey islemi uygulamak gereksizdir. Yüzey pürüzlerini arttirmek, lokal baglanma kuvvetini arttiracagindan genel baglanmada artacaktır.

Yüzey pürüzlülüğünü arttirmek için yapılan islemler asiri olduğu durumda, istenmeyen gerilmelerin baglanti bölgelerinde artmasına veya baglanma mukavemetinin, arayüzeyde kabarciklar olusturarak düşmesine neden olur. Arada sikisip kalan gaz, sivi porselenin metal içinde derinlere difüze olmasini engelleyecektir.

Sivi porselenin metali islatma kabiliyetinin yüksek olduğu durumda, sivi porselen metal içinde çok daha derinlere nüfuz edebilecektir. Bu, mekanik baglanma kuvvetinin artmasına neden olur. Sivi porselenin islatma kabiliyeti mekanik baglanmayi etkiledigi gibi, ara yüzeyde olusan kabarciklar ve kimyasal baglanma da bag mukavemetini etkileyecektir [82].

### **7. 5. 1. 3. Isil Genlesme Katsayisi**

Metal porselen restorasyonlarda baglanti dayanikliliği her iki malzemenin isisal genlesme katsayilarinin uyumu ile yakindan ilgilidir. Homojen oksit tabakasi saglamak için ince taneli alasinim kullanarak yeterli bag mukavemeti elde edilebilir. Güçlü bir mekanik bag elde etmek için 100- 150 mikronluk  $Al_2O_3$  kullanilrsa bile eger metalle porselenin isil genlesme katsayilari uyumlu degilse bag dayanimi düşük olur. Porselenin çekme gerilimine dayanimi düşük olduğu için basma gerilimi altında bulunmak durumundadir. Bu, eger soguma süresince metal porselenden daha fazla büzülürse saglanabilir. Bu nedenle, metalin isisal genlesmesinin porseleninkinden büyük olması istenir. Porselenin metale göre daha düşük genlesme katsayisina sahip olmasının baglanti üzerinde pozitif etkisi olduğu düşünülür. Böylece porselen metal üzerinde baski stresleri ile de tutunur. Porselenin sogumaya bagli olarak yüzey sikistirmasi olusturabilmesi için metalden biraz daha düşük bir isisal genlesme katsayisina sahip olmalıdır [91].

Her iki malzeme arasindaki kabul edilebilen termal genlesme katsayisi farki  $0.5 \times 10^{-6}$  °C dir. Isisal genlesme katsayilarindaki büyük uyumsuzluklar; metal ile porselen

arasında artık baskı gerilimine dolayısıyla başarısızlıklara neden olacaktır [64]. Porselenin ısıl genleşme katsayısı bileşiminde bulunan K yada Na gibi alkali oksitlerin miktarına bağlıdır. Fakat tekrarlayan firinlamalar ve/veya firinlama ısileri de bu faktör üzerine etkilidir. Çünkü bu durumda ortaya çıkan ısıl genleşme katsayısındaki artışın lösit kristallerinin oluşumu ile ilgili olduğu düşünülür. Lösit yapay bir feldispatik kristaldir [63, 64]. Geleneksel dis porseleni, cam oluşturuca matris görevi yapan silikadan oluşan camsi seramiktir. Silikanın erime derecesi yüksektir ve alkali metal oksitler ilave edilerek, silikon ve oksijen arasındaki bağ miktarı azaltılır ve porselenin firinlama derecesi düşürülmektedir. Ancak bu metal oksitlerin porselene çok fazla miktarlarda ilave edilmesi devitrifikasyon problemine yol açtığından, bu işlemin pratik açıdan sınırlamaları vardır [68, 71].

Porselenin ısıl genleşme katsayısını dolayısıyla sertlik ve füzyonunu arttırmak için yapısında lösit kristalleri kullanılır. Dis porselenlerin çoğunda özel bir ısıl işlemle lösit kristali oluşturulur. Lösit, ısıl olarak metalle uyumlu ve kimyasal olarak dayanıklı bir porselen elde edilmesini sağlar. Düşük sıcaklık porselenlerinde ise lösit miktarı ve partikül boyutu küçültülerek, ısıl genleşme katsayısı ve füzyon sıcaklığı düşürülerek, malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri de iyileştirilmeye çalışılmıştır [65].

#### **7. 5. 1. 4. Kumlanmanın etkisi**

Yapılan çalışmalarda 100- 150  $\mu\text{m}$ ' luk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kullanılarak mekanik bağ ve dolayısıyla bağ mukavemetinin artırılabilirdiği görülmüştür. Alümina asindirici malzeme olarak yüzey temizliğinde kullanılır. Deneyler sonucunda 50  $\mu\text{m}$ ' luk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ile kabul edilebilir ve en iyi sonucun alındığı görülmüştür. 150  $\mu\text{m}$  üzerine çıkıldığında metal yüzeyi çok kaba hale gelir ve gerekenden fazla kısım zarar görebilir. Metal- seramik bağ dayanımı, metal altlığın yüzey hazırlama şartlarından etkilenir. Yüzeyin kumlanması, yüksek bağ dayanımı açısından özellikle önemli bir aşamadır. Ayrıca kullanılan alarim ve porselene bağlı olarak ta değişiklik gösterir.

Basarılı ve güvenilir bir protezin 50-55 MPa değerinde mukavemete sahip olması istenir. Yüksek bağ dayanımı, metal yüzeyinin kumlanması, oksitlenmesi ve tekrar kumlanması ile elde edilmektedir. Kumlanmanın olumlu etkisi, seramığın metal

yüzeyle kilitlenmesi ile açıklanabilir ki bu, oksitlerin neden olduğu kimyasal bağdan daha güçlüdür [91].

### 7. 5. 1. 5. Oksidasyon

Metal alasi- seramik malzeme arasındaki bağ bölgesi, stresin metale aktarılmasında en zayıf yerdir [107]. Dayanıklılığı yüksek, güvenilir bir bağ için istenilen temel özellik, alasi ile seramik arasındaki arayüzeyde birleşme ve yapışmanın geliştirilmesidir [108]. Metal-seramik bağ dayanımı ve bütünlüğü, metal yüzeyinde ince bir bağlayıcı oksidin gelişimine ve bu ince oksidin seramik bileşimi ile arasındaki kimyasal reaksiyona dayandırılmaktadır [75, 77, 99, 110- 112].

Oksidasyon işlemi;

- Gazların açığı çıkması ile porselen içerisindeki hava kabarcıklarına yol açacak tüm organik materyallerin uzaklaştırılmasına,
- Revetmanın düzensiz soğutulmasından kaynaklanan streslerin uzaklaştırılması ile metalin boyutsal kararlılığının sağlanmasına,
- Porselenin pürümlenmesi esnasında oluşan düzensiz metal sertliklerinin metalurjik olarak düzenlenmesine,
- Seramometal bağlantıya yardımcı olan oksit tabakasının oluşmasına neden olur [61, 75- 76].

Metal-seramik arayüzeyinde meydana gelen oksit tabakasının, indirgenmeyecek cinsten olması gerekir. Bunun aksi olursa bağ kuvveti, oksit tabakası olmadan yapılan metal-seramik çalışmalarındaki bağlantıdan da zayıf olur. Oksit tabakası kırılabilir olduğundan yüksek oksidasyon, oksit tabakasının yüzeye tutunmamasına ve kendi içinde kırılmasına izin vererek, bağlanma kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır [93, 104, 105]. Bu eğilim özellikle, ana bileşimleri kolaylıkla okside olan kıymetsiz metal alasi- malzemelerinde dikkat çekicidir. Kıymetsiz alasi- malzemelerin temel problemlerinden biri, ısıtma ve soğutma sırasında alasi yüzeyinde oluşan oksidasyonun daima kontrol altına alınmamasıdır [113]. Özellikle kromun neden olduğu krom oksit oluşumu soy olmayan alasi- malzemelerde bazen sorunlara neden olmaktadır. Potansiyel biyolojik zararları, laboratuvar uygulamalarının zorluğu, fırınlama esnasında kontrol edilemeyen oksit oluşumları soy olmayan alasi- malzemelerin kullanımını sınırlamaktadır [114]. McLean, çatlakların kıymetsiz alasi- malzemelerde oksit

tabakasinda meydana gelirken diger alasimlarda seramikte meydana geldigini belirtmektedir [61].

Kiyetli alasimlar için; oksit tabakasi siklikla alasim içindeki eser elementlerin optimal miktarlarda ilavesiyle kontrol edilir. Ancak ekonomik nedenler ve fiziksel özelliklerinin yetersiz olusu nedeniyle soy metal alasim kullanimi da giderek azalmaktadır [76, 79, 81, 114].

#### **7. 5. 1. 6. Yüzey Sartlandiricisi Kullanimi**

Metal-seramik bag dayanimi ve bütünlüğünü arttirmek için seramigin uygulanmasindan önce alasim yüzeyine sartlandirici malzeme ilavesi mümkündür [115]. Metal sartlandiricilar veya baglanti malzemeleri, alasim yüzeyinde olusan asiri oksitleri absorbe edici ve/ veya firinlama esnasinda seramikle bag kurmak için uygun kararli oksitlerin sekillenmesi için okside olan elementleri saglayici etki yapmaktadır. Bununla birlikte mekanizmalari tamamen aydinlanmamistir.

Carter, metal sartlandiricilarin ek oksitler olusturdugunu ve bu nedenle baglantiyi dolayli olarak arttirdiklarini bildirirken Goeller, baglantiyi zayıflattigini bildirmektedir [116, 117].

Yapilan çalismalarda, metal alasimin yüzeyinde kalay varligi ve kalinligi, oksit tabakasinin kalinligi ve içeriği, alasimin oksidasyon hizi ve seramigin vitrifikasyon hizinin metal- seramik bag kuvvetini etkiledigi, basarili bir baglanti için; alasimin oksidasyon hizi- seramigin vitrifikasyon hizi- seramik ile reaksiyona giren metal iyonlarinin seramik içindeki difüzyon hizlari arasinda bir dengenin bulunmasi gerektiği tespit edilmistir. Metal alasimin oksidasyon hizi  $\cong$  seramigin vitrifikasyon hizi  $>$  metal elementlerinin difüzyon hizi iliskisi mevcut olduğu zaman metal alasimi ile seramik malzeme arasinda ideal baglanti saglanabilmektedir [91].

#### **7. 5. 1. 7. Metal ve Seramik Yapısında Yüksek Miktardaki Elementlerin (Cr, Ni, Si, Al gibi) Baglanmaya Etkisi**

Seramik pisirme islemi esnasinda sivi haldedir ve kati metal yüzeyini islatir, aralara difüze olur. Seramiklerin iyonik ve kovalent yapıları metalde mevcut olan yerlesik bag elektronlari yönünden eksiktir ve bundan dolayi seramik- metal arayüzeyi

elektronik süreksizlige sahiptir ve seramiklerin metal tarafından islatılması zordur. Teknik olarak önemli olan ve alümina, zirkonya içeren pek çok seramik, temel kaynak alarimlari olan gümüş, altın ve bakır tarafından islatilamazlar. Bu yüzden islanmama özelliği seramik- metal arayüzeyin temel kimyasal karakteristikleriyle ilişkili olduğundan islatmanın alarimin seramik yüzey kimyasini değistirmesi durumunda mümkün olacağı düşünülebilir. Titanyum gibi bazı aktif elementler metalin seramigi islatabilirliginin geliştirilmesi için bazı sistemlerde aktif metal katkisi olarak çalışılmıştır (örn; Cu/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Fakat bu çalışmada istenmeyen bazı oluşumlar görülmüştür. Arayüzeyde alümina miktarı azalmış ve TiO<sub>2</sub> oluşmuştur. Bu nedenle uygulamada kimyasal reaksiyon meydana getirilmeden islatma özelliğinin geliştirilebileceği katkıları kullanılmalıdır. Bazı deneylerde Cr' un seramikte herhangi bir kimyasal saldırı meydana getirilmeden alüminanın bağ mukavemetini arttırdığı görülmüştür. Fakat Cr ile arayüzeyin özelliklerini geliştirme çalışmaları halen açık değildir.

Alümina altlık üzerine Ni- Cr alarim yada sadece Ni, bunun da üzerine Cu uygulanarak elde edilen 2 numuneye yapılan deneylerde Ni üzerine alümina uygulamasında 4 nokta egme testi sonucu arayüzey boyunca çatlak ilerlemesi görülürken Ni- Cr alarima alümina uygulamasında çatlak bölge bölge olduğu ve yoğunlukla seramik kısımda meydana geldiği görülmüş. Böylece Ni- Cr alarimli birleşimin sadece Ni' li olana göre daha yüksek egme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Cr' un yapıyı güçlendirdiği söylenebilir. Ni- Cr' dan gelen Cr' un alümina altlık üzerinde Cu' ca zengin sıvının kontakt açısını düşürdüğü görülmüştür. Böylece bağ oluşum sıcaklığında sıvının dağılımı için itici güç artmıştır. Cr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile reaksiyona girmemektedir. Bağın güçlü olmasında olumlu etkisi olan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' ün oluşmasında atmosfer, oksijen kaynağı olarak rol oynamaktadır. Cu- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arayüzeyinde Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' ün olması Cu' nun islatma özelliğini arttırmıştır [118].

### **7. 5. 1. 8. Islatma Kabiliyeti**

Bir su damlasının parafin üzerine konulduğunda neredeyse küresel bir şekil aldığı gözlenir. Cam tabaka üzerinde ise aynı su damlası film şeklinde davranmak isteyecektir. Bu prensipten yola çıkarak, ergimis porselenin metali islatma kabiliyetinin olmaması, suyun parafin üzerinde davrandığı gibi davranmasına neden olacak ve porselen- metal arası bağlanmanın olmasını engelleyecektir. Eğer ergimis



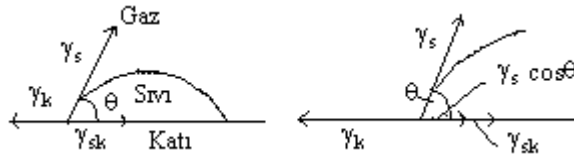
perselen, metal üzerinde islatabilir olursa birbiri ile iyi temas edeceklerdir. Bu sayede eriyik perselen metal yüzeyinde akabilecektir. Katılma sonucunda ise metal-perselen arasında kuvvetli bir mekanik kilitlenme mekanizması olacaktır.

Metal ve perselen arası mesafe, moleküler hareketin olabileceği kadar yakınlaştığı zaman metal ve perselen arasında elektron paylaşımıyla meydana gelen kuvvetli bir kimyasal bağ oluşacaktır. Bu ancak metal yüzeyi perselen tarafından iyi ıslatıldığı zaman oluşacaktır. Buna göre ıslatma kabiliyeti, bağ mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir. ıslatma kabiliyetini etkileyecek faktörler ise perselen ve metal için ayrı ve bağımsız olarak incelenmelidir [82].

### 7. 5. 1. 9. Perselenin Etkisi

Sıvı perselen damlası, kati yüzeyine damlatıldığında bir denge haline ulaşacaktır. Sıvı ile kati yüzeyi arasında kalan  $\theta$  açısına “temas açısı” denilmektedir. ıslatma kabiliyeti, bu açının büyüklüğü ile ifade edilmektedir.  $\theta$  açısı büyüdükçe, ıslatma da o kadar azalacaktır.

Eğer bir sıvı perselen damlası, düz ve pürüzsüz bir metal yüzeyine konacak olursa aşağıdaki şekilde belirtilen denge haline ulaşacaktır.



Sekil 7. 10: Bir sıvının ıslatma açısına ait gösterim [82].

Buna göre kati yüzeyinde oluşacak gerilim;

$$\gamma_k = \gamma_s \cos\theta + \gamma_{sk} \quad (7. 7)$$

şeklinde ifade edilecektir. Sıvıyı temas ettiği her  $\text{cm}^2$  kati yüzeyinden ayırmak için yapılması gereken ise, kati-sıvı arayüzeyi ve yeni oluşacak kati-gaz, sıvı-gaz arayüzeyleri etkilemektedir.

Is (W), kati ve sıvı arayüzeyinde oluşan gerilmenin, sıvı ve kati yüzeylerinin  $\text{cm}^2$  lerinde oluşan yüzey gerilimlerinden çıkarılmasıyla bulunmaktadır.

$$W = \gamma_k - \gamma_s - \gamma_{ks} \quad (7. 8)$$

W, kati ve sivinin birbirleri ile yapisik halde bulunmalarini saglayan enerjiye denilmektedir. 1 ve 2 no' lu denklemlerin yeniden düzenlenmesi ile asagidaki denklem elde edilir.

$$W = \gamma_s (1 + \cos \theta) \quad (7. 9)$$

Temas açisi küçüldükçe, islatma daha iyilesir. 3. denklemden temas açisinin küçülmesiyle yapılan isin arttigi görülmüştür. Bu sonuca göre, metal yüzeyi porselen tarafından iyi islatildiği takdirde bağ mukavemeti de artacaktır.

Temas açisinin sıfır (0) olduğu durumda, maksimum degerde W elde edilecektir. Yani, sıvı porselen metal yüzeyine, porselenin yapacağı yapışmaya eşit veya daha büyük bir kuvvetle bağlanacaktır. Eğer temas açisi 180 °C ise, metal ve sıvı porselen arasında hiçbir moleküler faaliyet görülmeyecektir. Bu da  $W = 0$  olması demektir. Ayrıca bu metal yüzeyinin porselen tarafından hiç ıslatılmadığı anlamına gelmektedir. Bu tür bir örneğe gerçekte pek rastlanılmayacaktır. Metal- seramik sistemlerinde, sıvı porselenin yüzey geriliminin varlığı ve sıvı porselen- metal arasındaki temas açisi, yapılan isin hesaplanmasını sağlayacaktır [82].

### **7. 5. 1. 10. Metalin Etkisi**

Metal-seramik sistemlerde metal alt yapıda kullanılan döküm metal alaşımları kıymetli ve kıymetsiz alaşımlar olmak üzere iki ana sınıfta toplanmaktadır [93, 107, 119, 120]. Dis hekimliği uygulamalarında ekonomik nedenlerle artan kıymetsiz metal alaşımı kullanımı, beraberinde birtakım problemler getirmektedir. Potansiyel biyolojik zararları, laboratuvar uygulamalarını zorluğu, fırınlama esnasında kontrol edilemeyen ve düşük bağlantı dayanıklılığına neden olan oksit oluşumları başlıca dezavantajlarıdır [100]. Ancak ekonomik avantajlarına ek olarak yüksek deformasyon ve akma direnci, yüksek rijitlik ve yüksek elastik modülü gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle, çok üyeli uzun köprülerde veya metal tasarımının ince olmasını gerektiren durumlarda soy olmayan alaşımlar geniş bir uygulama alanı bulurlar [75, 107, 111, 114, 119, 120].

Genellikle porselenin ana bileşeni olarak bulunan metal oksitler kimyasal olarak kararlı ve metalde zor çözünen yapıdadırlar. Bu yüzden ıslatma kabiliyetleri ve bağ mukavemetleri oldukça düşüktür. Ancak metal yüzeyinde, gaz giderme işlemi sırasında oluşan oksitler ıslatma kabiliyetini arttırmaktadır. ıslatma, alarım yüzeyinde oksidasyon derecesinin artışı ile artar.

Yapılan araştırmalarda, porselendeki iyon çapı, metal iyonunkinden büyük olduğu takdirde porselen yüzünün tümünün negatif olduğu saptanmıştır. Negatif olan bu yüzey, elektronların metal yüzeyinden savrulmasına ve de ıslatma kabiliyetinin düşmesine neden olmaktadır. Eger arayüzeyde metal oksitler bulunursa bu, ıslatma kabiliyetinin artması ile oluşacak termodinamik bir denge oluşturacaktır. Oksitlenmemiş bir metal yüzeyinde temas açısının, oksitlenmiş yüzeydekine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, yüzey oksitlerinin porselen içinde çözünerek metal yüzeyinden azalmalarıdır [9].

Sonuç olarak, ıslatma, porselende bulunan metal oksit içeriğine ve metal yüzeyinde bulunan oksit tabakasına bağlıdır ve bağ mukavemetini etkilemektedir. Metal yüzeyinde oluşan temel metal oksitlerin porselen ile ıslanmayı ilerletmesi, porselenle kimyasal olarak birleşmeleri ve böylece mekanik bağlanmayı kuvvetlendirmeleri iyi bir bağ mukavemeti açısından vazgeçilmezdir.

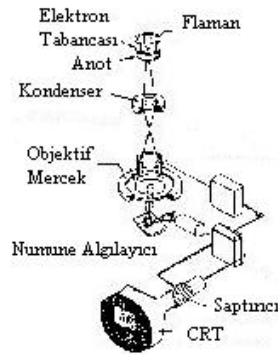
## **7. 6. Metal Üzerine Porselen Ergitme Sisteminde Arayüzeyin Mikroyapısal**

### **Analizi**

Bu konuyla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Metal ve porselen arasında bağlanmayı sağlayan ana faktörler; mekanik bağlanma, kimyasal bağlanma ve basma kuvvetleri'dir. Her birinin etkileşimi farklıdır. Mekanik bağlanma söz konusu olduğunda, etkileşim bölgesi arayüzey yapısının morfolojisi ile değişir. Basma kuvvetleri mikron seviyede etki gösterir. Diğer yandan kimyasal bağlanma, atomik seviyede bir etkileşim göstermektedir. Yüzeydeki oksit tabakası, sağlam bir seramik- metal bağı için önemli bir rol oynar. Oksit tabakasının doğası metalin kıymetli yada kıymetsiz olmasından etkilenir çünkü bu iyonizasyon eğilimi ile yakından ilişkilidir. Bu bölge için mikron ölçekte analiz yapmak iyi sonuç verir. [121].

Hem metal hem de seramik bileşenler içeren kompozit, kaplama ve katalistler gibi yapısal, elektronik ve fonksiyonel malzemelerde heterojen metal- seramik arayüzeyi sistemin tüm özellikleri üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Metal- seramik arasındaki bağlanmanın doğasını belirlemek, sistemi anlamak açısından önemlidir. Arayüzeyde doğrudan kimyasal bir bağlanmanın olup olmadığı, kimyasal bir reaksiyon ve sonrasında da arayüzeye madde transferinin söz konusu olup olmadığının tespiti ile bu mümkün olabilir. Açıkça bunlar atomik boyutta görünür olabilen etkilerdir. Sonuç olarak bunların yüksek çözünürlüklü cihazlarla yapılması iyi sonuç alınmasını kolaylaştıracaktır. Numune hazırlarken arayüzeyin yapısının ve kimyasının değişikliğe uğramamasına dikkat edilmelidir [122].

**SEM:** Taramalı elektron mikroskopunda görüntü, 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 ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot isinleri tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. SEM; optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon ve numune,  $10^{-4}$  Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır.



Sekil 7. 11: SEM' in sematik yapısı

Yüksek enerjili elektronlar, numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi sağlar ve Auger Spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan

veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektron olarak tanımlanır. İkincil elektronlar sintilatörde toplanarak sinyale çevrilir. İkincil elektronlar, numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır.

Numune üzerine odaklanan elektron demeti, numune atomları ile ayrıca elastik girişimlerde de bulunabilir. Bu girişimlerde demet elektronları, numune atomlarının çekirdeğinin çekim kuvveti ile saptırılarak numune yüzeyinden geri saçılmaktadır. Bu elektronlar geri saçılmış elektronlar olarak tanımlanır ve objektif merceğin altında yer alan özel üç adet silikon dedektörde toplanarak görüntü oluşumunda kullanılır. Böyle bir görüntü geri saçılmış elektron görüntüsü olarak tanımlanır. Geri saçılmış elektron miktarı, numunenin atom numarasıyla orantılıdır. Bu nedenle geri saçılmış elektron görüntüsü özellikle çok fazlı sistemlerde atom numarası farkına dayanan kontrast içerir. Geri saçılmış elektronlar, ikincil elektronlara göre numune yüzeyinin daha derin bölgesinden geldiği için görüntünün ayırım gücü düşük olmaktadır. Bu nedenle geri saçılmış elektron görüntüleri en fazla  $\times 2000$  büyütme kadar olan incelemelerde kullanılmaktadır.

Mikroskopta bir seferde 10 mm yüksekliğinde 9 mm çapında 4 adet numune incelenebilmektedir. Numuneler genellikle inorganik ve organik olarak iki grupta toplanabilir. Ayrıca inorganik numuneler de metal ve metal olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılabilir. Metal numuneler iletken oldukları için yüzeyleri kaplama yapılmadan incelenebilir. Ancak metal olmayan yalıtkan numunelerin yüzeyleri en fazla 20 nm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbon ile kaplanması gerekmektedir. Karbon kaplama genellikle X-ışınları ile yapılacak analizlerde uygulanır. Yüksek çözünürlüğe ve kontrasta sahip numune görüntüsü elde etmek için, incelenecek numuneler metal olsa bile yüzeylerine altın kaplama işlemi uygulanmaktadır. Organik numunelerin incelenebilmesi için numunelerin yüksek vakuma dayanıklı olması gerekmektedir. Organik numuneler kurutulduktan ve altın kaplandıktan sonra düşük voltaj altında incelenebilir [123].

**EPMA:** Elektron Prob Mikro Analizörü, çok küçük kati malzemelerin kimyasal kompozisyonunu belirlemek için ilk olarak 1950 yılında icat edilmiş, ticari olarak kullanımı 1960 yılını bulmuştur. EPMA, geleneksel SEM' in elektron optik tekniğine

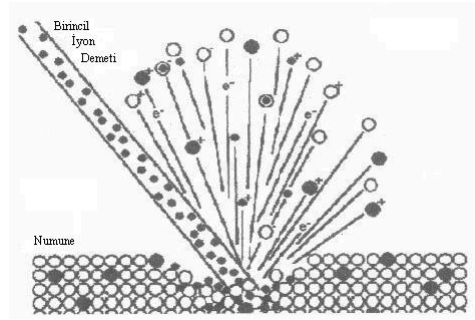
dayanir fakat ayni zamanda kati malzemenin kantitatif kimyasal analizinin spesifik tasarimini da kapsar. EPMA ve SEM, normal sartlarda gözle görülemeyen çözünürlükte görüntü ve analiz veren mikro analitik tekniklerdir. Optik mikroskoptan çok daha iyi bir görüntü elde edilir ve numuneyi olusturan elementlerin kimyasal analizi yapılabilir. EPMA, 5  $\mu\text{m}$ ' luk bir numunenin analizini yapabilirken sadece numunede mevcut elementleri tespit etmekle kalmayip onlari çok az hata ile ölçebilmektedir. Dezavantaj olarak EPMA' da yüksek vakumdan dolayi her türlü malzeme incelenememektedir. Ayrica, atom numarası 8' den küçük olan elementleri ölçemez ve 100 ppm' in altındaki elementlere karsi hassas degildir. SEM' de oldugu gibi birincil elektron demeti araciligıyla sinyal alimi söz konusudur. Farkli olarak ta avantajı, elektron demetini hareketsiz spot olarak uygulayabilmesi, otomatik olarak monitörleme ve akim regülasyonu imkani vermesidir. EPMA bulk analiz yerine küçük alanların analizi için tercih edilir.

Kimyasal analiz, birincil elektronların bombardimani ile numunenin atomları arasında olusan elektron geçişleri tarafından üretilen florasan X- isinlerinin tespiti ve sayimi ile yapılmaktadır. Elektromanyetik radyasyonun bir sekli olarak X- isinlari, hem tane hem de dalga özellikleri gösterir. Bu da iki tespit yöntemine neden olur. EDS ve WDS. Genel olarak daha yüksek çözünürlüğe sahip oldugu için WDS kullanılmaktadır. Fakat uzun zaman alması bir dezavantajdır. WDS, bir prizmanın beyaz isigi bileşenlerine ayırarak gösteriyor olması gibi düzenli periyodik katılardan difraksiyona uğrayan X- isinlerini çözmektedir. EDS' e göre daha kantitatif sonuç alınabilir. Bragg geometrisi esasına dayanır. EPMA, metaller, alaslmlar, camlar, mineraller, tek kristaller, ince kaplamalar ve seramikleri içine alan iletken ve iletken olmayan katıların kantitatif kimyasal analizini yapmaktadır. Tam bir analiz için genellikle numune yüzeyi 1/10  $\mu\text{m}$  elmas yada 1/20  $\mu\text{m}$  koloidal silika ile cilalanır. Numuneler genelde 25 mm ince kesitler halinde dairesel yada dikdörtgensel olarak hazırlanmaktadır.

EPMA ile kimyasal analiz yapılabildiği gibi kompleks kati malzemedeki kompozisyon heterojenliği, çok bileşenli ince taneli malzemede tek fazların kompozisyonu yada büyük sürekli tanelerde kimyasal heterojenlik karakterize edilmektedir. Ayrica SEM' de kullanılan ikincil elektron görüntü modu ile topografik karakterizasyon almak mümkündür [124, 125].

**SIMS:** İkincil İyon Kütle Spektrometresi, yüzey ve yüzeye yakın bölgelerin karakterizasyonunda kullanılan yüksek hassasiyete sahip analitik bir tekniktir. Yüksek vakum altındaki numuneye nötr yada yüklü iyonlar (birincil iyonlar) gönderilir ve ikincil iyonlar numuneden kopar. Bu iyonlar malzemedeki elementlerin tanımlanmasına imkan veren kütle/ yük (m/z) oranını belirleyen bir spektrometre ile analiz edilir.

İlk SIMS cihazı 1960' ların başında NASA tarafından icat edilmiş ve ay kayalarının analizinde kullanılmıştır. İyi sonuçlar alınması üzerine kullanımı yaygınlaştırılmış, malzeme bilimi, jeoloji, fizik ve diğer bilim dallarının yararına sunulmuştur. SIMS tekniği, numune yüzeyi üzerindeki elementleri belirleme veya yüzeyin 20- 2000 nm altında bir derinlik profili oluşturmak üzere iyon saçılımı prensibine dayanır. SIMS' in en güçlü olduğu nokta, yüksek analiz hassasiyeti ile kantitatif derinlik profili ve derinlik çözünürlüğüne sahip olmasıdır. Enerji yüklü taneler numune yüzeyine bombardıman edildiğinde atomik türler kopar ve iyon saçılımı meydana gelir. Numune atomik seviyede dağılmış yada aşınmış olur. Yoğun şekilde enerji yüklü parçacıkların akışına imkan verdiği için iyon demeti kullanılır ve 25- 250 mm çaplı demete odaklanır. Uygulamaya bağlı olarak reaktif ve de inert gibi değişik iyonlar kullanılabilir. Bu iyonlar; (reaktifler)  $Cs^+$ ,  $O_2^+$ ,  $O^-$  ile (inertler)  $Ar^+$ ,  $He^+$ ,  $Ne^+$  dir.



Şekil 7. 12: Numune yüzeyine gönderilen birincil iyon demetinin saçılımı [126]

Birincil iyonlar numuneye çarptığında hedef atoma bir momentum transferi olur. Bu, birincil iyonun numune yüzeyine sızması, numunede belli bir mesafe gitmesi ve hedef atoma çarpması nedeniyle olur. Çarpışma, enerji transferinin bir başka atomu yerinden oynatamamasına kadar tekrarlanır. Momentum transferinin çoğu yüzeye yönlendirildiğinden hedef atomlarda saçılmalar olur. Bu nedenle SIMS, bir

yüzeysel analitik teknigidir. Bazı birincil iyonlar yüzeye gömülürken, bir kısmı ikincil olarak yansır.

Sekilde görüldüğü gibi yüzeyden kopan türler; monoatomik, poliatomik veya çoklu bileşen olabilir. Bunlar pozitif yada negatif yüklü olabildiği gibi, nötr de olabilir. İkincil iyon akisi, başlangıçtaki birincil iyonlara karşı yüzeyden kopan pozitif, negatif veya moleküler iyonların sayısı ile tanımlanır.

SIMS, kati numunelerin (numune yapısına ve kullanılan cihaza bağlı olarak) değişik derinlik çözünürlükleriyle karakterizasyonunu sağlar. Kimyasal analiz yapılamaz fakat stokiyometrisi ve matris yapısı bilinen numune hakkında önemli bilgiler elde etmek için kullanılır. Eğer numunede hangi elementler olduğu bilinmezse faydalı olamaz. SIMS sadece kati analizi yapmaya müsaittir. Kristal, kristalin olmayan veya ince kaplama yapılmış bir altlık numune olabilir. Düz yüzeyler tercihtir, toz numune pelet olarak basılır. Mikroyapı veya eser element bilgisi almak için numune yüzeyi asindirilir. Tipik numune boyutları 1cm x 1cm x 1cm' dir. Organik, biyolojik malzemeler dikkat gerektirir. Numuneler, sıvı nitrojen ile soğutulmuş olarak hazırlanır [126].

#### **7.7. Metal- Seramik Sistemlerde Kullanılan Alasim ve Seramiklerden Beklenenler ve Bunlara İlişkin Yapılan Testler**

Ekonomik sebeplerden dolayı metal- seramik sistemlerde altının yerini kıymetsiz metallere bırakması beraberinde bazı problemler getirmiştir. Bu alasimlerin döküm koşullarına yabancı olmasının sonucunda döküm hatalarıyla sıkça karşılaşmak, yeni alasim türünün ısıl genleşme katsayısının farklı olması sebebiyle kullanılmakta olan porselenle uyumsuzluk, doku uyumsuzluğu, renklenme ve metal kuronda korozyon gibi problemler ortaya çıkmıştır. Bir noktada problem ortaya çıktığında tüm sistemin sorgulanması gerekmektedir. Problem ancak sebep- sonuç ilişkisi ile tespit edilerek giderilebilir. İyi bir dis restorasyonu için en önemli konular:

- 1- Biyouyumluluk (kimyasal kararlılık ve doku uyumluluğu)
- 2- Fonksiyonu
- 3- Kararlı yüksek mukavemet
- 4- Estetik



Laboratuvar açisından porselen dis tozundan beklenen özellikler;

- metal ve seramik isil genlesme katsayisi uyumu
- dekoratif, estetik amaçli kullanılabilirlik
- dogal efekt üretebilme
- düşük ergime sicakligi (böylece metal distorsiyonu önlenmis olur)
- seramigin asinma, parlatma özelliklerinin iyi olması
- çalisma prosedüründe esneklik

Disçilik açisından beklenen özellikler;

- homojen, yogun bir yüzey
- düşük kimyasal çözünürlük (böylece plak olusumu önlenir)
- optimum termal sok dayanimi ve böylece optimum seramik- metal bagi
- kirlenme mukavemetinin yüksek olması
- geçirgenlik, dogal dise benzerligi yakalayabilmek için ince taneli olması

Biyouyum problemi, yüksek korozyon miktarlari ve klinik sorunlari getirir. Estetik, gri alasilarda fazlasiyla kaygılanilan bir durum olmustur fakat altin sarisi alasilarda sonuçlar mükemmeldir.

Dünyada 92 elementin 80'i dogal halde metalik yapıda bulunuyor. Kıymetli metaller disinda çogü dogal kosullarda olusur ve kimyasal olarak inert olduklarından kimyasal reaksiyona neden olmazlar. Bu da metal oksit (örn.  $Al_2O_3$ ) içerikli seramik malzemelerin mükemmel biyouyumluluk göstermesinin sebebidir. Saf metaller dogal olusan metal bileşenleri ve oksitlerinden çıkartilir böylece özelliklerinden teknik olarak faydalanilir. Sonra bu metaller atmosferde ya da agiz gibi sulu ortamlarda çözünmeye çalisir, korozyona ugrar. Vücutta, proteinlere kimyasal olarak bağlanmanın yararlı ve de zararlı etkileri olabilir [127].

Yüksek konsantrasyonda tüm metaller zararlıdır. Metalde korozyon ve renklenme görülebilir. Bölgesel toksik reaksiyonlar olabilir. Riskin azaltılabilmesi için metal restorasyonun korozyon direncinin yüksek olması istenir. Düşük konsantrasyonda (ppm veya ppb mertebesinde) gerekli ve gereksiz olanlar arası fark far edilebilir.

Eser elementlere korozyon testi yapmada amaç, bunların kimyasal çözünürlüğünün kalitatif ve kantitatif olarak belirlenmesidir. Laboratuarda agiz ortamı yaratılarak yapılmaktadır. Tipik yüzey karakteristigine sahip metal numuneler belli süre bu yapay ortamda bekletildiginde zamanla doğru orantili olarak korozyonda artmıştır.

Tüm diş seramikleri gibi metal seramikleri de kristalden oluşan cam matris içerir. Feldispatik matris ve lösit kristallerinin birlikte iken ısıl genleşme katsayılarının farklı olması önemli bir problemdir. 25-600 °C de  $\alpha_{\text{feldispat}} = 7,7 \cdot 10^{-6} / \text{K}$  ve  $\alpha_{\text{lösit}} = 20-25 \cdot 10^{-6} / \text{K}$  dir. Bu nedenle lösitin feldispatik matriste bulunması sistemin ısıl genleşme katsayısını artırır. Geleneksel metal- seramik alarimlarının ısıl genleşme katsayısı  $13,5-15,5 \cdot 10^{-6} / \text{K}$  dir. Seramigin ısıl genleşme katsayısının  $12-13,5 \cdot 10^{-6} / \text{K}$  e ayarlanabilmesi için camın %20-30' luk kısmi lösit kristaline ergitilmesi gerekmektedir. Alarimin  $\alpha = 14,5 \cdot 10^{-6} / \text{K}$  ise seramigin  $\alpha = 13,5 \cdot 10^{-6} / \text{K}$  olmalıdır.

Lösit tane boyutu küçüldükçe etrafında oluşabilecek çatlaklar engellenmiş olur. Bu metal- seramiklerle, sinterleşme sıcaklığı alarimin katılma sıcaklığından 150 °C aşağı çekilebilir. Ayrıca seramigin camlaşma sıcaklığı (600-650 °C) altına kadar pisirildikten sonraki ısıl genleşmesi veya soğuması esnasında büzülmesi, metal alarimin büzülme miktarında %10 azaltılabilir [127].

Metalsiz seramik restorasyonlarda lösit kristallerinin tane boyutu küçüldükçe ve de taneler yapı içinde homojen bir şekilde yayıldıklarında mukavemetin yükseltilebildiği görülmüştür. Tanelerin küçük olması ile çatlak oluşumu azaltılabilir. Eğer taneler büyük ise veya yığılmalar varsa bu yığıntılar etrafında çatlaklar oluşabilir. Homojen dağılım olmadığı için cam fazın büyük bölümü kristalsiz kalır.

Metal- seramik sistemlere yapılan testler;

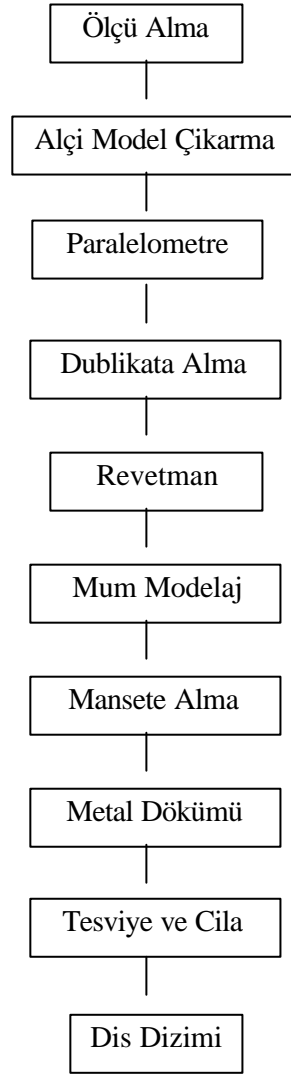
- Kimyasal Çözünürlük: ISO 6872' ye göre test edilir (16 saat 80 °C de % 4 asetik asit içinde). Madde kaybı max.100  $\mu\text{g} / \text{cm}^2$  olmalı. Bu miktara geldiği takdirde mikroskobik kusurlar ve pürüzlü yüzeyler oluşur.
- Bağ Mukavemeti: ISO 9693' e göre test edilir. Seramik blok ince metal numunenin ortasına pisirilir. Kontrollü yük uygulamada seramigin koştığı kritik

yük, N cinsinden belirlenir. Bag mukavemetinin bir göstergesi olarak max. Kesme gerilimi  $N/mm^2$  ya da MPa olarak hesaplanır [127].

- Biyouyumluluk: Biyouyum, canlı dokuların diğer maddeleri tolere edebilme yeteneğidir. Bir diğer deyişle, dış etkenle (saf metal, alaşım, seramik, polimer gibi) etkileşim halindeyken canlı hücrenin reaksiyona girme ölçüsüdür.
- Korozyon Direnci: Korozyon, metal ya da alaşımın yüzeyinin kimyasal ve/veya elektriksel olarak bozunuma uğramasıdır. Bir alaşımın yapay ağız sıvısında elektrokimyasal davranışı, ağız içindeki davranışı hakkında yeterli bilgi vermektedir.
- Kullanım Kolaylığı: Buna ilişkin 4 tane test vardır [128].
  - 1- Ergime Aralığı Testi: Termal analizle tespit edilir. Alaşımın katılastığı sıcaklık ile sıvılastığı sıcaklık arası bölgedir.
  - 2- Ergime Testi: Alaşımın ergime boyunca davranışına ve alaşım, pota türü ve ergitme yöntemi arası uyumluluğun tespitine ilişkin bir testtir.
  - 3- Dökülebilirlik Testi
  - 4- Cila-zımpara Testi: Yüzey işleminin kolaylığını, çalışma süresini ve parlaklığı tespit eder.
- İşleme Toleransı:
  - Porozite
  - Döküm
  - Mikroyapı analizi için değişik ergime ve dökme testleri
  - İsisal genleşme katsayısı tespiti
  - Bag dayanımı testi (ISO 9693)
  - İsisal karalılık tespiti
- Mekanik [128]:
  - Gerilim testi (ISO1562) ve Sertlik testi (ISO 6507)

## 8. DENEYSEL ÇALISIMALAR

### 8. 1. Iskelet Protez Yapimi



Sekil 8.1 : Metal protez yapimi akis semasi [14]

Metal protez hazirlanirken tüm islemler titiz bir çalisma ile yapilmaktadir. Hasta agzindan ölçü alindiktan sonra ölçü üzerinden alçi model çikartilir. Alçi kalip üzerine mumlama yapilarak protezin agza tam olarak oturmasi ve akriligin

metali daha iyi kavrayabilmesi amaçlanır. Fakat son akrilik çalısmasında bu mumlu model değil alçı model referans alınır. Dublikat model çıkarılırken alinin dublikatin suyunu emmesine engel olmak için mumlanan alçı model 10 dakika suda bekletilir.

Dublikatin ergime sıcaklığı 100 °C civarındadır. 40- 45 °C' de hala akiskandır. Dublikat, bu sıcaklıkta mumlu alçı model üzerine dökülür ve sogumaya bırakılır. Dublikat model üzerinden metal döküm için kullanılacak revetman model çıkarılır. Revetman model çıkarmanın amacı, revetmanın yüksek ergime sıcaklığına dayanıklı olmasıdır. Revetman vakum altında uygulanır, böylece hava kabarcıkları önlenmiş olur. Bu model üzerine döküm ağı bırakılır. Sertleştikten sonra dublikat kesilip alınır, revetman model fırına konur. Fırından sonra 150 °C' ye ısıtılmış reçine içinde bekletilir ve yüzeyde sert bir tabaka oluşur. Sonra revetman model üzerine dökülecek metalin mum modelajı yapılır. Bu aşamadan sonra model mantsete alınır. Yani mum modelaj üzerine tekrar revetman dökülür. Fırına verilir. 250 °C' de ön ısıtma yapıp 900- 1050 °C' de 30-60 dakika bekletilir. Mum ergir ve geriye metalin döküleceği boşluk kalır. Revetman suyunu atar, gaz ıkışları da tamamlanmış olur. Bu arada metal ergitilecek potada aynı anda ısıtılır.

Yaklaşık 1000 °C' de fırından çıkarılan mantset ve pota, potanın içine metal konularak santrifüj makinesine yerleştirilir ve merkezkaç kuvveti yardımı ile döküm yapılır. Döküm bittikten sonra mantset sogutulur ve revetman kırılarak metal çıkarılır ve temizlenir. Döküm yolları kesilerek tesviye ve cila yapılır. Mekanik olarak temizlenemeyen yerlerin temizliği için asit kullanılır. Metal kısım hazırlandıktan sonra hasta ağına provaya gönderilir.

Tekrar metalle ölçü alınır. Disler metal üzerine mum desteği ile dizilir. Hasta ağından kapanis alınır. Muflaya alınıp üstüne alçı dökülür. Alçı modelin mumları alınır, kaynar suya atılıp bekletilir, mum ergir ve disler üstteki alıda kalır. Aliyi dökmede önce esas modelin üstüne yapışmayı önlemek amacıyla lak sürülür. Altta asıl modelin üzerinde metal ve üstte alçıya batmış iki dis arasına aradaki mumlar temizlendikten sonra akrilik hazırlanıp doldurulur. Alt ve üst kalıp kapatılıp muflada preslenir. Bundan sonra akrilikli disin alçıdan temizlenmesi gerekir, dislerin alçıdan ayrılması özenle yapılmalıdır. Fazla akrilikler kesilip düzeltilir ve daha sonra tesviye ve cilası yapılır [14].

Dökümde kullanılan çok çeşitli metal alaslmlari vardır. Bunların döküm şekli ve yöntemleri firmalar tarafından verilir.

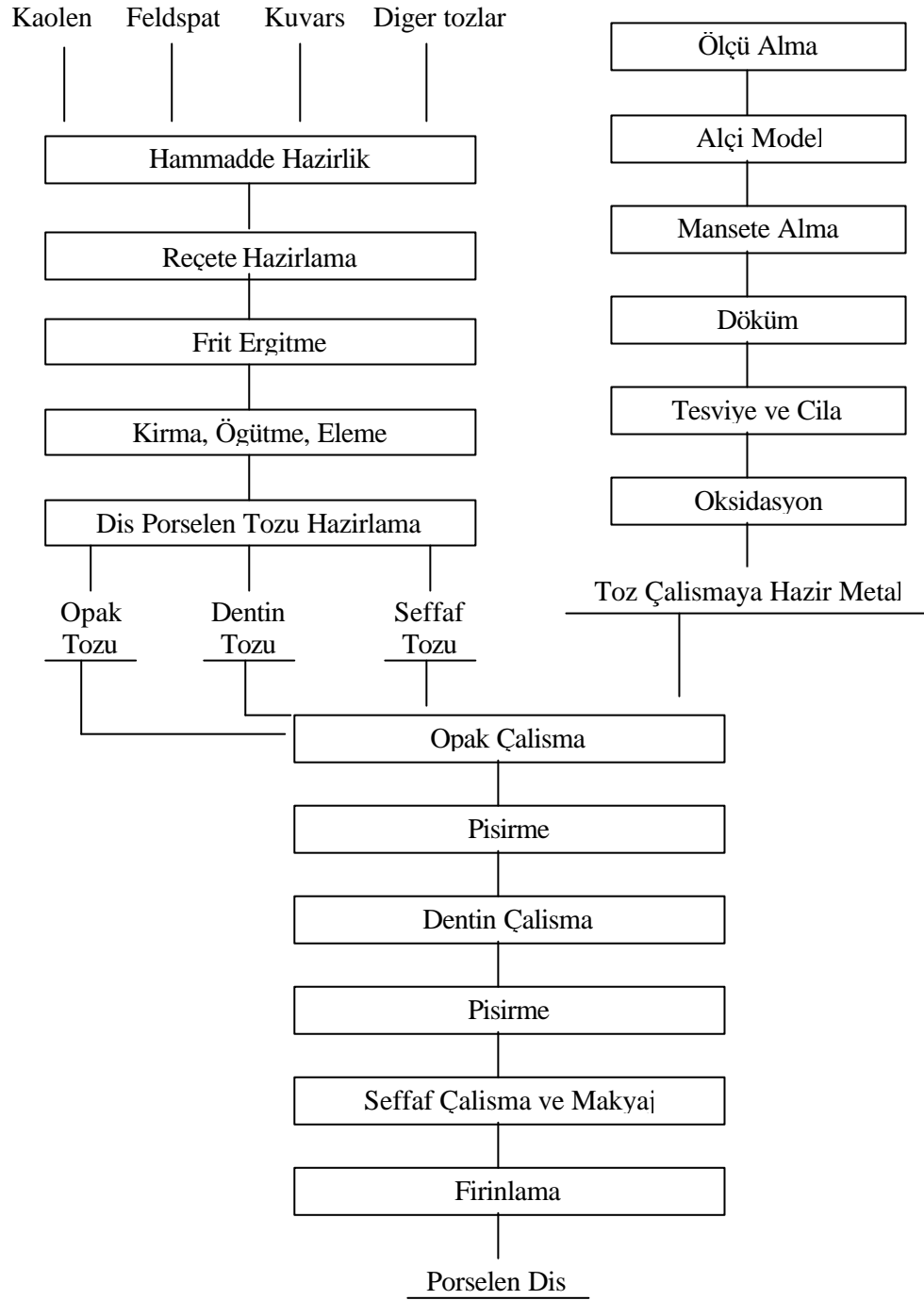
Tablo 8.1 : Metal- porselen protezlerde kullanılan bazı alaslmlara ait bileşimler [129, 130]

Bileşim %		Wirobond® C	Wiron® NT	Wiron® 99	Wiron® 88	Wironit	Unitech FS
Nikel	Ni	-	61,4	65	64	64	61,2
Kobalt	Co	61	-	-	-	-	-
Krom	Cr	26	22,9	22,5	24	28,5	24
Molibden	Mo	6	8,8	9,5	10	5	11
Tungsten	W	5	-	-	-	-	-
Silisyum	Si	1	-	1	1,5	1	1,75
Niyobyum	Ni	-	3,9	1	-	-	-
Demir	Fe	0,5	2,5	0,5	-	-	1,5
Mangan	Mn	-	0,4	-	-	1	-
Titanyum	Ti	-	0,1	-	-	-	-
Seryum	Ce	0,5	-	0,5	0,5	-	0,6
Karbon	C	Max. 0,02	-	max. 0,02	0,02	0,5	0,4



Şekil 8. 2: Ölçü alındıktan sonra çıkartılmış alçı kalıp, mum modelajı yapılmış alçı kalıp, alçı model üzerinde metal iskelet görünümü ve diş dizimi yapılmış kullanıma hazır protezler [14]

## 8. 2. Porselen Dis Yapimi



Sekil 8. 7 : Porselen dis akis semasi [14, 131]

Metal- porselen dis yapiminda, hasta agzindan ölçü alınarak alçı kalip çıkartilir. Daha sonra modelaj, mansete alma ve metal döküm yapilir. Tesviye ve ciladan sonra hasta agzina provaya gönderilir. Üretici firmanin talimatina göre dökümü yapılan metal,  $Al_2O_3$  taslarla tesviye edilir ve 50-100  $\mu m$ ' luk beyaz  $Al_2O_3$  ile kumlanir.

Kumlamadan sonra metal, kaynar suyla, buhar makinesiyle, ultrasonik temizleyici veya etil-asetat ile temizlenip iyice kurulanir ve porselen alısmaya baslanir. Temiz metalin üzerine porselen, direk olarak alısidigi gibi opakla metalin kaynasmasini arttirabilmek için metal oksidasyona tabi tutulabilir. Oksidasyon, dökümde yapilmis hatalarin telafi edilmesine olanak tanir. Metalde olusmus i stresi yok eder ve döküm esnasinda metalin içinde sikismis gazların disari ikmasini saglar. Oksidasyondan sonra metalin renginin açık gri olması normaldir. Eger renk koyu ise yüzeydeki fazla oksit tabakası 50  $\mu\text{m}$ ' luk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ile kumlanir. Daha sonra metal tekrar temizlenerek opak sürülebilir.

Metal yaklaşık 900  $^\circ\text{C}$ ' de 9 dakikası vakum altında olmak üzere 10 dakika bekletilir. Metal kendiliginden soguduktan sonra opak alışilir.

Opak alışması: 550  $^\circ\text{C}$ ' de 6 dakika kurutulur ve dakikada 80  $^\circ\text{C}$  artırılarak 960  $^\circ\text{C}$ ' ye kadar pisirilir. 600- 960  $^\circ\text{C}$  arasında vakum uygulanir. 960  $^\circ\text{C}$ ' de 1 dakika vakumsuz bekletilir ve soguyunca firından ikartilir.

Dentin alışması: 580  $^\circ\text{C}$  de 6 dakika kurutulduktan sonra dakikada 45-60  $^\circ\text{C}$  artısla vakumlu ortamda 930  $^\circ\text{C}$ 'ye kadar ikilir. Bir dakika bekletilip ikarilir.

Glaze ve makyaj : 600  $^\circ\text{C}$  de 2 dakika kurutulduktan sonra dakikada 60  $^\circ\text{C}$  artısla vakumsuz ortamda 910  $^\circ\text{C}$ 'ye kadar ikilir. 1-2 dakika bekletilip ikarilir.

Opak, dentin ve seffaf porselen tabakalarına ait pisirme rejimleri, VITA Metal-Seramik Disler Katalogunda tavsiye edilen degerlerdir [132].

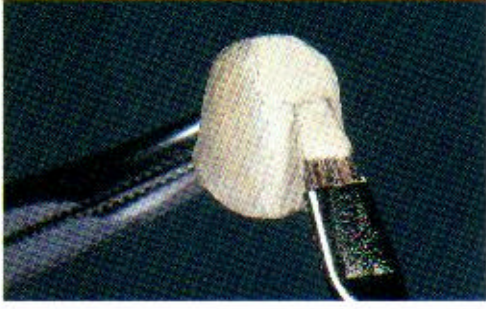


Sekil 8. 8: Dklms metalin kumlama öncesi görünümü

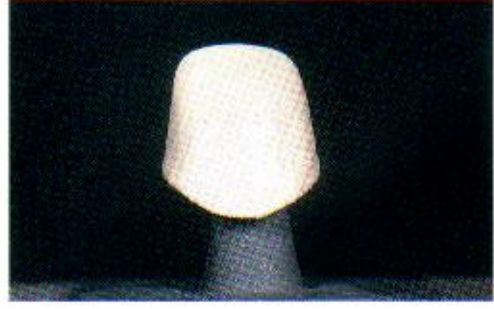


Sekil 8. 9: 900  $^\circ\text{C}$ ' de oksidasyon sonrası görünüm





Sekil 8. 6: Opak uygulaması



Sekil 8. 7: Opagin pisme sonrası görünümü



Sekil 8. 8: Dentin ile diş şeklinin sağlanması



Sekil 8. 9: Mine yigmak amacıyla dentinde oluk açılması



Sekil 8. 10: Mine yigilmesi



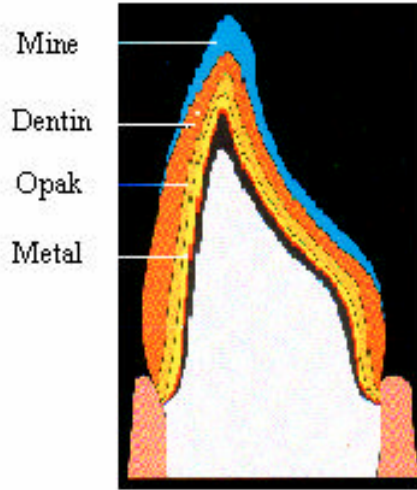
Sekil 8. 11: Mine yigilmesinden sonraki görünüm



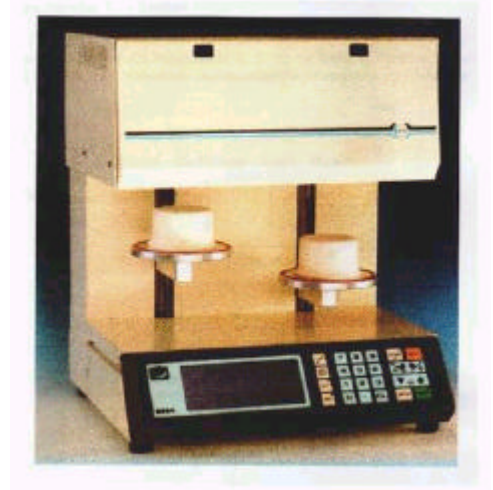
Sekil 8. 12: Bitmiş kuronun glazür öncesi görünümü



Sekil 8. 13: Glazür sonrası görünüm [14, 132 ]



Sekil 8. 14: Porselen disin kesiti [132]

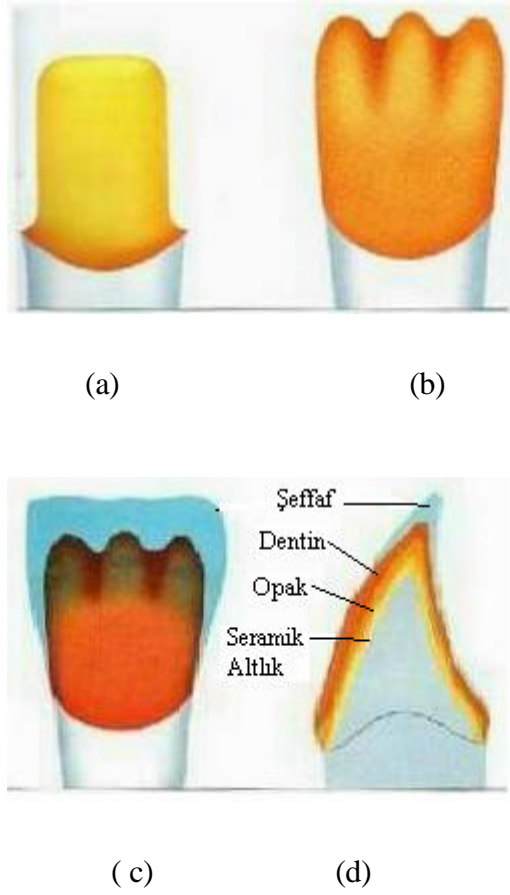


Sekil 8. 15: Porselen dis pisirme firini [14]

### 8. 3. Tamamen Seramik (Inceram) Dis Yapimi

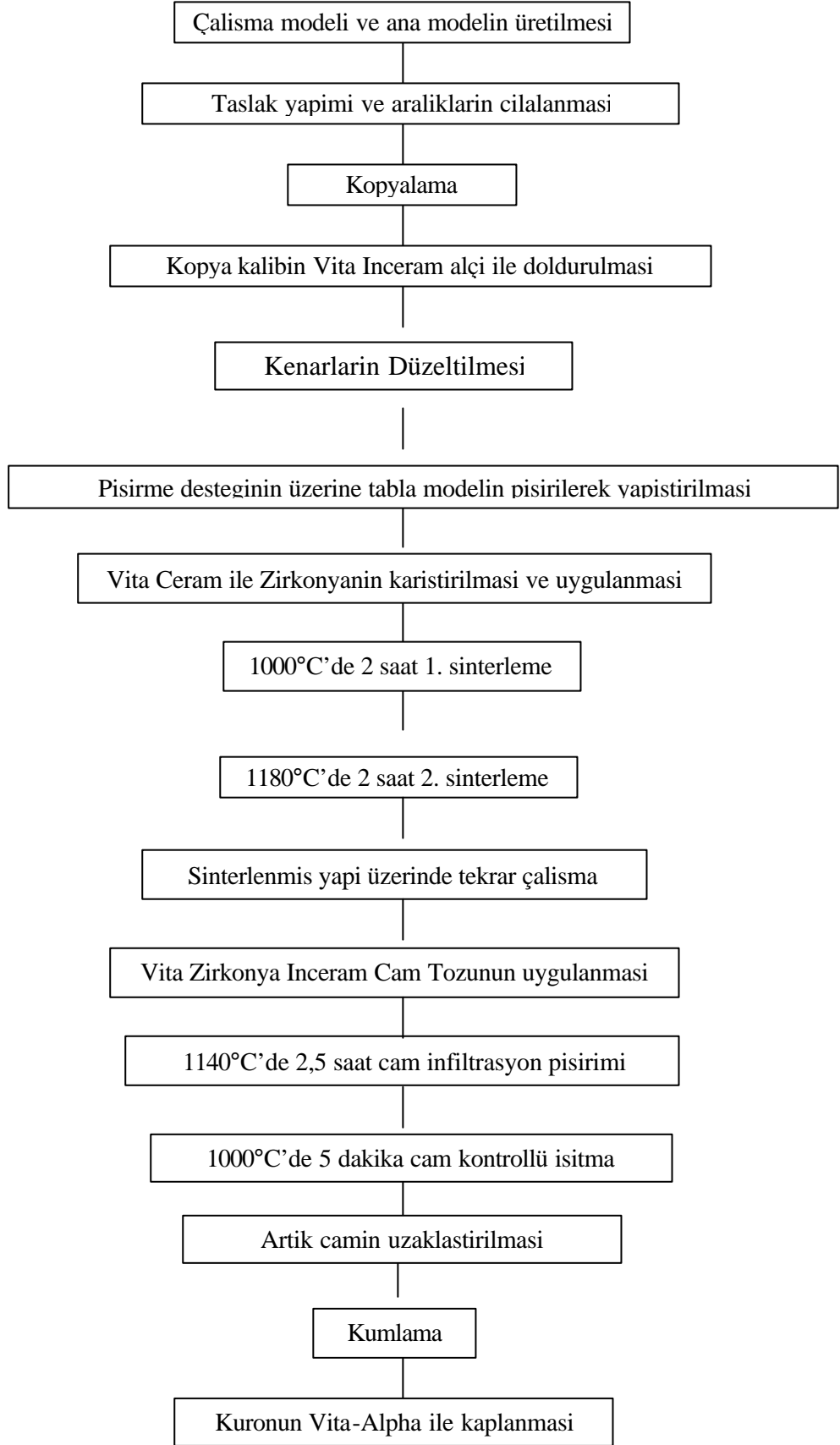
Seramik malzemeler, çok iyi estetik ve mükemmel biyoyumluluğa sahiptir. Fakat, düşük mukavemet, düşük kırılma tokluğu ve kritik çatlak büyümesi eğilimi nedeniyle çalışmalar sınırlıdır.

Kirilma dayanımı yüksek olan metal üzerine porselen ergitilmiş protezler estetik olmadığı için tam seramik dişler tercih edilir. Çalışmalar bu dişlerin mukavemetini arttırmak üzerine yoğunlaşmıştır. Bu amaçla gelişmiş teknoloji kullanımı yada yöntem ve malzemelerin basitleştirilmesi çalışmaları yapılmıştır. İnceram teknolojisi ile mekanik ve estetik özellikleri iyi porselen diş elde etmek mümkündür. İnceram çalışmaları; zirkonya, alümina ve spinel seramiklerle yapılmaktadır. Malzemeye bağlı olarak üretim akisi de değişiklik gösterir.



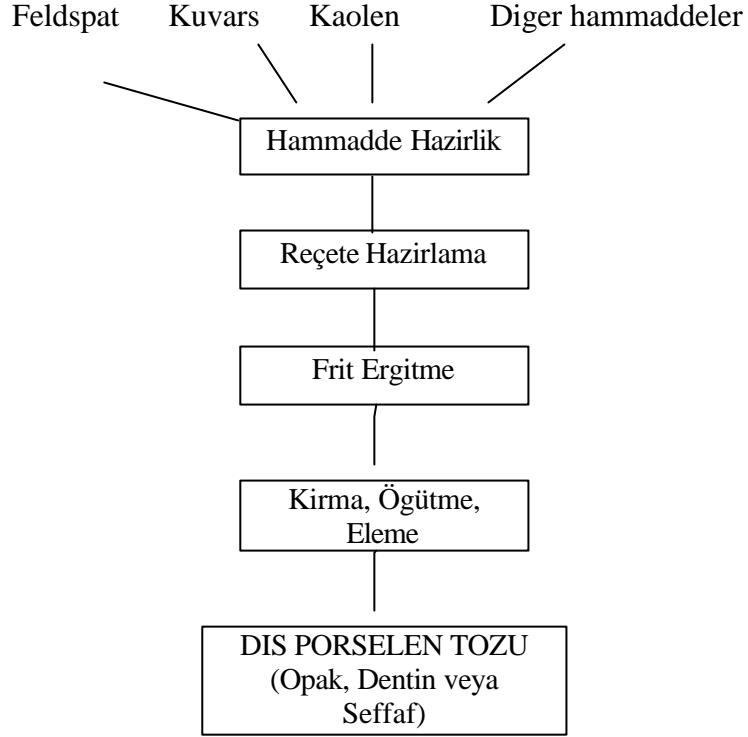
Sekil 8. 16: Tamamen seramik diş sistemine ait sematik gösterim, a) Opak tabakanın islenmiş hali, b) Opak üzerine dentin katmanının islenmiş görünümü, c) Glazür tabakanın görünümü, d) Opak, dentin, glazür tabakalarının yandan kesiti [14, 69]

Zirkonya inceramalara ait üretim akisi seması Sekil 8. 13' te verilmektedir. Bunun haricinde spinel inceram ile yaygın üretimi olan alümina incerama ait akisi semaları Ek A' da verilmektedir.



Sekil 8. 17: Zirkonya inceram üretim akis semasi [72, 133]

## 8. 4. Dis Porselen Tozu Üretimi, Üretilen Tozdan Dis Yapımı ve Metal-Seramik Arayüzey Karakterizasyonu



Sekil 8. 18: Dis porselen tozu üretimi akis semasi [14]

Tablo 8. 2: Üretilen opak, dentin ve seffaf tozlara ait hammadde listesi (% ag. ça)

HAMMADDE	OPAK	DENTIN	SEFFAF
Opak Frit	6,48	4,37	-
Transparan Frit	-	-	3,74
Kalsit	3,83	0,84	0,97
Albit	37,30	26,70	23,74
Potas	13,17	17,80	17,03
Kuvars	9,10	28,18	32,67
Kaolen	21,39	21,76	21,85
Zirkonya	8,73	0,35	-
Toplam	100,00	100,00	100,00

Tablo 8. 2' de verilen oranlarda hammaddeler hazırlandıktan sonra homojen bir karışım sağlanacak şekilde iyice karıştırılmıştır. Ergitme, zirkon potalarda yapılmıştır. 1200 °C de 2 saat bekletilerek yapılan ergitmeden sonra kırma, öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Öğütme, alümina bilyeli değirmende susuz olarak yapılmıştır. Elemeler değişik mes'teki eleklerde yapılmış mikron altı tane

boyutlarında diş porselen tozu hazırlanmıştır. rettigimiz tozların tane boyutları 6- 8 µm arasındadır. Orijinal porselen toz boyutu olan 2- 3 µm değerine ulaşmak için ergitme işleminin ardından toplam 20 saat kadar öğütmek yeterli olacaktır.



Sekil 8. 19: Üretilen porselen tozun görünümü

Bu hazırlanan tozların uygulanması aşağıda verilen pisme rejimleri kullanılarak yapılmıştır.

Önceden hazırlanmış metal çekirdek üzerine ilk olarak opak çalışması yapılmıştır. Opak 600 °C de 6 dakika kurutulduktan sonra dakikada 80 °C arttırılarak 960 °C ye çıkılıp 1 dakika bekletildikten sonra fırından çıkarılmıştır.

Daha sonra dentin çalışması yapılmıştır. 600 °C de 5 dakika kurutulduktan sonra dakikada 80 °C arttırılarak 930 °C ye çıkılıp 1 dakika bekletilerek fırından çıkarılmıştır.

Seffaf çalışma ise 600 °C de 3 dakika kurutulduktan sonra dakikada 80 °C arttırılarak 900 °C ye çıkılmıştır. 1 dakika bekletildikten sonra fırından çıkarılmıştır.



Sekil 8. 20: Üretilen toz ile yapılmış porselen dişin görünümü

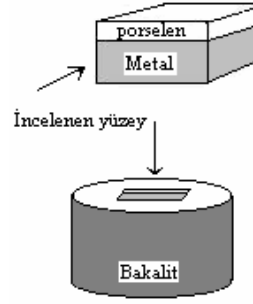
Metal- seramik dislerde metal üzerine ilk olarak uygulanan porselen tabaka, metali tamamen örtmesi amaçlandığı için opaklığı yüksek olan opak tabakadır. Pisirme işlemi ardından metal altlık ile opak porselen tabaka arasında bazı etkileşimler meydana gelir. Bu etkileşimlerin neler olduğunun anlaşılabilmesi ve pisirme sıcaklığı ile pisirme sıcaklığında vakumsuz olarak bekletme süresinin difüzyona etkisinin görülebilmesi için metal- seramik numuneler hazırlanmıştır. 1 cm x 1cm x 2mm metal plaka üzerine 1 mm kalınlıkta VITA VMK 95 opak porselen tozu likit yardımıyla kivama getirilerek uygulanmıştır. Uygulama, 3 farklı sıcaklık ve 3 farklı bekletme zamanı için yapılmış, 9 numune elde edilmiştir. VITA standart opak pisirme rejimine göre;

Opak tabaka, 600 °C de 6 dakika kurutulduktan sonra vakumlu ortamda sıcaklık dakikada 60 °C artırılarak 930 °C' de pisirilmştir. Bu sıcaklıkta 1 dakika vakumsuz bekletildikten sonra fırından çıkarılmıştır.

Pisirme sıcaklığı ve vakumsuz bekletme zamanının arayüzey etkileşimine etkisini görebilmek için normal pisirme rejiminden farklı 8 numune daha hazırlanmıştır.

Tablo 8. 3: Metal- porselen plaka numunelere ait pisirme rejimleri

Numune No	Ortam Sıcaklığı	Kurutma	Vakum Başlangıç Sıcaklığı	Pisirme Hızı (vakumlu)	Son Sıcaklık	Son sıcaklıkta vakumsuz bekletme süresi
1	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	930 °C	1 dak.
2	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	930 °C	0,5 dak.
3	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	930 °C	1,5 dak.
4	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	905 °C	1 dak.
5	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	905 °C	0,5 dak.
6	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	905 °C	1,5 dak.
7	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	955 °C	1 dak.
8	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	955 °C	0,5 dak.
9	150 °C	6 dak.	600 °C	55 °C/ dak.	955 °C	1,5 dak.



Sekil 8. 21: Metal- porcelen numunelerin sematik görünümü

Metal- porcelen numuneler, Celal Dis Protez Laboratuvarında hazırlanmıştır. Metal protezin hazırlanması ve porcelen tozu uygulanmasında metal- porcelen dis üretim prosedürü kullanılmıştır. Metal eritme için Infratherm- IIA firini ile döküm için Rotaks santrifüj cihazı kullanılmış, metal üzerine porcelenin uygulanmasından sonra pürme işlemi Commodore II VPF porcelen firini kullanılmıştır.

Elde edilen numunelere arayüzey karakterizasyonu yapmak amacıyla Prof. Dr. Adnan Tekin İleri teknoloji Seramik ve Kompozitleri Arastırma Merkezinde bulunan EPMA cihazı kullanılmıştır.

EPMA tekniginde oldukça kararlı (akım yoğunluğu, hizlandırma voltajı ve demet çapı sabit) bir elektron demetinin numuneye gönderilmesi sonucunda meydana gelen demet-numune etkileşimiyle açığa çıkan karakteristik X-ışınlarının dalga boylarına sınıflandırılmasıyla elementel analiz yapılır. EDS teknigine göre çok daha yüksek hassasiyette tam kantitatif analiz olanıgi mevcuttur. Hazırlanan numunelerin karakterizasyon çalışmalarında CAMECA SX-100 Elektron Prob Mikro Analizörü (EPMA) kullanılarak metal ve seramik arayüzeyinde meydana gelen etkileşimler incelenmiştir.

Tablo 8. 4: Metal- seramik sisteminde kullanılan metal alaşımlarının elementel analizi

Unitech	Ni	Cr	Fe	Si
1	69,747	27,413	1,4855	1,1906
2	70,346	26,864	1,5048	1,0242
3	69,556	26,547	1,3724	2,0874
4	70,346	26,725	1,504	1,231
5	69,737	27,098	1,361	1,6043
6	70,663	26,272	1,3146	1,4341
7	69,668	26,944	1,4057	1,6936
8	69,192	27,853	1,5045	1,1555
9	70,892	27,044	1,3928	0,4671



EPMA analizi sonucunda elde edilen konsantrasyon profilleri ekler kısmında verilmiştir.

Ek B' de verilmiş olan grafiklerde metaldeki Cr, Ni' in seramige ve seramikteki Si, Al, Na, K, Ca, Ti' nin herbirinin metale geçişi gösterilmiştir. İncelemeler, daha çok difüze olan Ni, Cr, ve Ti üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Arayüzeydeki etkilesimin daha iyi anlaşılması için arayüzey bölgesine odaklanılarak Ek C' deki tablo ve grafikler elde edildi. Bu grafiklerde her 9 numune için de Ni, Cr ve Ti' un yayınının sıcaklık ve zamana bağlı olarak etkilesimi görülmektedir.

Difüzyon mekanizmasında sıcaklık arttıkça difüzyonun artması beklenir. Bizim çalışmamızda alınan sonuçlara göre;

Ni için 60 s bekleme süresinde sıcaklık 905 °C' den 955 °C' e doğru arttıkça difüzyonun arttığı görüldü. 30 s süre ile bekletildiğinde ise 955 °C ile 930 °C' lerde birbirine çok yakın değerler elde edildi.

Cr için 30 s' de sıcaklık artışıyla difüzyonun arttığı, 60 s' de ise 905 °C ile 930 °C değerlerinin birbirine çok yakın olduğu fakat 955 °C' den daha düşük oldukları görüldü.

Ti için 30 s' lik numune ile 90 s' lik numunede sıcaklıkla difüzyon doğru orantili olarak etkileşim göstermiştir. 60 s' lik numunede ise Cr' da olduğu gibi 930 °C ve 905 °C' nin değerlerinin yakın olduğu ve 955 °C' dekinden düşük olduğu görüldü.

Difüzyon mekanizmasında difüzyonun zaman ile ters orantili olarak etkileşimde olması beklenir.

Bizim çalışmamızda ise;

Ni için 905 °C' de 30 s' deki difüzyonun 60 s ile 90 s' dekinden daha yüksek olduğu görüldü. 930 °C ve 955 °C' de de aynı etkileşim görüldü.

Cr için istenen sonuç elde edilmemiştir.

Ti için çok yakın degerler bulundugundan tam bir karsilastirma yapmak mümkün olmamistir.

Tüm numuneler için EPMA verilerinden yola çıkarak difüzyon katsayilari ve aktivasyon enerjileri hesaplanmistir.

Difüzyon katsayilarinin hesaplanmasinda,

$$x = 2 (Dt / \pi)^{1/2} \quad (8. 1)$$

formülünden yararlanildi. Burada, x mesafe ( $\mu\text{m}$ ), D difüzyon katsayisi ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ve t (s) zamani simgelemektedir.

Aktivasyon enerjisinin hesaplanmasi için ise,

$$D = D_0 * e^{-Q/RT} \quad (8. 2)$$

formülü kullanildi. Her bir numune için Ni ve Cr' un porselen içindeki difüzyon katsayilari ve aktivasyon enerjileri hesaplandi ve Tablo 8. 5' te verildi.

Aktivasyon enerjilerinin hesaplanmasinda difüzyon katsayisinin logaritmik degerleri ile sicaklik degerlerinin tersi alinarak egimden faydalanilmistir.

Tablo 8. 5: Ni ve Cr' un porselendeki difüzyon katsayisi ve aktivasyon enerjisi degerleri

	Ni		Cr	
	D ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Q (kJ / mol)	D ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Q (kJ / mol)
905 °C –30 s	3,2. 10 <sup>-9</sup>	34,985	6,7. 10 <sup>-10</sup>	33,382
905 °C –60 s	1,17. 10 <sup>-9</sup>	90,308	2,21. 10 <sup>-10</sup>	48,870
905 °C –90 s	0,78. 10 <sup>-9</sup>	114,864	1,47. 10 <sup>-10</sup>	70,761
930 °C –30 s	3,5. 10 <sup>-9</sup>	34,985	7. 10 <sup>-10</sup>	33,382
930 °C –60 s	1,6. 10 <sup>-9</sup>	90,308	2,94. 10 <sup>-10</sup>	48,870
930 °C –90 s	0,85. 10 <sup>-9</sup>	114,864	1,7. 10 <sup>-10</sup>	70,761
955 °C –30 s	3,78. 10 <sup>-9</sup>	34,985	7,7. 10 <sup>-10</sup>	33,382
955 °C –60 s	1,7. 10 <sup>-9</sup>	90,308	2,96. 10 <sup>-10</sup>	48,870
955 °C –90 s	1,26. 10 <sup>-9</sup>	114,864	1,8. 10 <sup>-10</sup>	70,761

## 9. SONUÇLAR

Dis atölyelerinde porselen tozlardan dis yapiminda 4 basamakta islem uygulanir. Daha önce dökülmüş metal çekirdek, porselen tozuyla daha iyi bir metal- porselen iliskisi için oksitlendirilir. Üzerine sirayla opak, dentin, seffaf porselen tozlari ayri ayri çalışılarak firinlanir. Son olarak makyaj niteliginde glazür tabaka da uygulanabilir.

Metal altlik tesviye isleminden sonra 50 µm' luk alümina ile kumlandi. Temiz ve çok az pürüzlü bir yüzey elde edilmiş oldu.

Kumlama isleminden sonraki asama oksidasyondur. Bu islem günümüzde sıkça kullanılmamaktadır. Seramik- metal bagini güçlendirdigi için metal yüzeyinde ince bir oksit tabaka olusturmak üzere metal altlik oksidasyona ugratılabilir.

Oksidasyon süresi ve sicakligi, istenen oksit tabakasinin kalinligini etkiler. Oksidasyon sicakligi yüksekse veya uzun süre oksidasyona maruz birakilirsa, yüzeyde kalın bir tabaka olur ve bu da baglanmayi arttirmak yerine metalle seramigin baglanmasini engelleyici etken haline gelir. Bu nedenle oksidasyon uygulanacak ise çok dikkatli yapılmalıdır.

Çalışmalar sırasında oksidasyon sicakligini süresini arttirdigimizda elde ettigimin metalin yüzeyinde çok koyu renkte bir oksit tabakasi gözlendi. Bu metale porselen uygulayip pisirildiginde sonuç basarisiz oldu. Kalın oksit tabakasından dolayi bag olusmadi, tabaka yalitkan görevi gördü.

Oksidasyon ile yapılmak istenen sey günümüzde metalin yüzeyini baglanmaya hazır hale getirecek yüzey sartlandirici görevi gören "bonding agent" olarak adlandırılan yüzey sartlandiricisi olarak islev gören bir baska porselen tozu ile saglanmaktadır. Böylece oksit tabakanin neden olabilecegi olumsuzluklar da ortadan kalkmistir. Bu tozun uygulanmasi da diger tabakalarda olduğu gibidir. Diger tozlardan bagimsiz olarak bir pisirme rejimi vardır. Bu çalışmalarda da oksidasyon islemi yerine

“bonding agent” kullanildi. Böylece oksidasyonun meydana getirebilecegi dezavantajlar engellenmis oldu. Bu dezavantajlar sunlar olabilmektedir:

- Yüzeyde kalın oksit tabakasi, baglanti kopuklugu, arayüzeyde devamlilik gösteren bir bag bölgesinin olmayisi ve yüzeyden kopmalarin olmasi.

Uygulama esnasinda opak – metal numuneler hazirlanirken porselen tozunun likitle karistirilip kivama getirilmesi sirasinda likit miktarı olmasi gerekenden daha çok kullanildiginda metale uygulanan sulu karisimin pisme sonrasi çok fazla çekme gösterdigi görüldü.

Likit miktarı çok az tutulduğunda kuru bir porselen yüzeyi olustu. Metale tam olarak tutunamadigi ve pisme sonrasi yer yer dökülmeler ile çatlakların olustugu gözlendi. Elde edilen pismis yapı daha fazla matlik gösterdi.

Dis porselenlerinin daha dirençli olması ve daha az porozite içermesi için vakumlu pisme uygulandı. Laboratuarda uygulanan vakum 50 hPa (0,05 atm)’ dir.

Pisme sıcaklığının artışı ile pismis metal- porselen numunenin porselen kısmının daha da parlaklastigi, sıcaklığın düşmesiyle matlığın arttigi görüldü. Bununla birlikte vakumlu pismenin ardından vakumsuz olarak bekletme süresi arttikça da yüzeyin parlaklığının daha fazla olduğu tespit edildi.

Metal- porselen difüzyon çiftinde pisme süresi arttikça porselen içine sızmanın yani difüzyonun daha çok arttigi yapılan çalışmalarda görüldü. Aynı şekilde vakumlu pismmeden sonra pisme sıcaklığında vakumsuz olarak bekletme süresi arttirildiginda da bu etki görüldü.

Bu difüzyon çiftinde önemli bir konu da farklı iki malzemenin ısıl genleşme katsayıları arasındaki uyumdur. Çok farklı olduğu takdirde büzülme ve çatlaklar görülebilir.

Üretilen tozlarla yapılan dislerde iyi bir metal- seramik bağı elde edildi.

Difüzyon katsayısı hesaplamalarında nikelin, krom ve titanyumdan daha fazla yayıldığı görüldü. ( $D_{Ni} > D_{Cr} > D_{Ti}$ )

Sicaklik artisiyla difüzyon katsayisinin her üç element için de arttigi görüldü ( $D_{905 C} < D_{930 C} < D_{955 C}$ ).

Difüzyon katsayisinin süre arttikça azaldigi görüldü ( $D_{30 s} > D_{60 s} > D_{90 s}$ ).

Günümüzde piyasada kullanilmakta olan opak porselen tozunun 50 gr  $\cong$  35 Euro olduğu düşünülürse ve kullanılan tüm tozların ithal olduğu göz önüne alınırsa porselen dis tozlarının ülkemizde üretilmesinin ekonomiye etkisi daha iyi anlasilabilir.

Metal-seramik sistemlerde difüzyon katsayisinin hesaplanması ile ilgili olarak literatürde çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bu konuda çalışmalar yapılabilir.

Günümüzde metal- porselen sistemlerden ziyade artık tamamen porselenden dis uygulamaları yapılmaktadır. Tamamen porselen sistemler kullanılarak sağlık ve estetik kaygılar giderilebilir. Dis porselenlerinin gelişimi açısından bu konu üzerine de çalışma yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Arcasoy, A.**, 1983. Seramik Teknolojisi, Marmara Ün. Yayinlari, Istanbul
- [2] **Güner, Y.**, 1987. Seramik, Gençlik Kitabevi, Istanbul
- [3] **Sümer, G.**, 1988. Seramik Sanayi El Kitabı, Anadolu Ün. Yayinlari, Eskisehir
- [4] **Singer, F. and Singer, S.S.**, 1963. Industrial Ceramics, Chapman & Hall Ltd., London
- [5] **Sümer, G.**, 1990. Endüstriyel Seramikler, C.1, Anadolu Ün. Yayinlari, Eskisehir
- [6] **Sümer, G.**, 1992. Endüstriyel Seramikler, C.2, Anadolu Ün. Yayinlari, Eskisehir
- [7] **Geçkinli, E.**, 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, Istanbul Teknik Üniversitesi Matbaasi, Istanbul
- [8] **Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R.**, 1960. Introduction to Ceramics, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley & Sons, New York
- [9] **Ryan, W. and Radford, C.**, 1987. Whitewares: Production, Testing and Quality Control, Pergamon Press, Oxford
- [10] **Worrall, W.E.**, 1986. Clays and Ceramics Raw Materials, Elsevier Applied Science Publishers, London
- [11] **Rado, P.**, 1988. An Introduction the Technology of Pottery, 2<sup>nd</sup> Ed., Pergamon Press, Oxford
- [12] Ceramic Industry- Materials Handbook, 1997. V. 147, 1: 46- 176, January
- [13] **Ahrens, T.J.**, 1995. Mineral Physics & Crystallography, American Geophysical Union, U.S.A.
- [14] **Boyras, T.**, Dis Porselen Tozlari, I. T. Ü., *Yüksek Lisans Tezi*, 1998
- [15] **German, R.M. and Hens, K.F.**, 1991. American Ceramic Society Bulletin, 70(8), pp: 1294
- [16] **Aydin, I., Briscoe, B.J. and Sanlitürk, K.Y.**, 1997. Dimensional Variation of Die-Pressed Ceramic Green Compacts: Comparison of a Finite Element Modelling with Experiment, *Journal of the European Ceramic Society*, 17(10), pp: 1201-1212
- [17] **Lenel, F.V.**, 1980. Powder Metallurgy Principles and Applications, MPIF Princeton, New Jersey
- [18] **Arcasoy, A.**, 1983. Seramik Teknolojisi, Marmara Ün., Istanbul
- [19] **Henderson, R. J., Chandler, H.W., Akisanya, A.R., Barber, H. and Moriarty, B.**, 2000. Finite Element Modelling of Cold Isostatic Pressing, *Journal Of The European Ceramic Society*, 20 (8), pp: 1121-1128
- [20] **Lange, F.F.**, 1984. Sinterability of Agglomerated Powders, *J. Amer. Cer. Soc.*, 67 (2), 83-89,
- [21] **Tsetsekou, A., Agrafiotis, C. and Milias, A.**, 2001. Optimization of The Rheological Properties of Alumina Slurries For Ceramic Processing

- Applications Part I: Slip- Casting, *Journal of The European Ceramic Society*, 21(3), pp: 363-373
- [22] **Camerucci, M. A. Cavalieri A. L. and Moreno R.**, 1998. Slip Casting of Cordierite and Cordierite Mullite Materials, *Journal of The European Ceramic Society*, 18(14), pp: 2149-2157
- [23] **Song, J.H. and Evans, J.R.G.**, 1995. The Injection Moulding of Fine and Ultra-Fine Zirconia Powders, *Ceramic International*, 21, 325-333
- [24] **Akkurt, S. and Demircan, M.**, 1999. Plastik Enjeksiyon Kaliplarının İncelenmesi, *Makina ve Metal Teknolojisi*, 88, İstanbul
- [25] **Hotza, D. and Greil, P.**, 1995. Review: Aqueous Tape Casting of Ceramic Powders, *Materials Science and Engineering*, A202, 206-217,
- [26] **Tok, A.I.Y., Boey, F.Y.C. and Lam, Y.C.**, 2000. Non Newtonian Fluid Flow Model for Ceramic Tape Casting, *Materials Science and Engineering*, A280, pp: 282-288
- [27] **L. Chevalier, E. Hammond and A. Poitou**, 1997. Extrusion of TiO<sub>2</sub> Ceramic Powder Paste, *Journal of Materials Processing Technology*, 72 (2,7), pp: 243-248
- [28] **Besshi, T., Sato, T., Matsui M. and Oosaki, T.**, 1999. The Extrusion of Fiber Dispersion Ceramic Green Bodies and Their Dewax Behavior, *Journal of Materials Processing Technology*, 96(1-3), pp: 157-162
- [29] **Artur, R., Karakas, Y. ve Bindal, C.**, 2000. Processing of Bone Ash Based Dental Implant Material with Zirconia Addition, *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 21, 4
- [30] **Boyraz, T., Kiliç, A. ve Addemir, O.**, 2002. Mekanik Alasımlama Yöntemiyle Hazırlanmış ve Basıncısız Sıcak Sekillendirilmiş Zirkonya Seramiklerden Bağlayıcı Giderme, *11. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi ve Fuarı*, İstanbul, 5-9 Haziran
- [31] **Turfaner, M.**, 1997. Dis Morfolojisi ve Oklüzyon, İstanbul Üniv. Yay., İstanbul
- [32] **Provenza, D.V.**, 1964. Oral Histology Inheritance and Development, J.B. Lippincott Co. Philadelphia
- [33] **Görker, T.**, 1984. Ağiz Protezlerinde Laboratuvar, Bozak Matbaası, İstanbul
- [34] **Brand, R.W. and Isselhard, D.E.**, 1986. Anatomy of Orofacial Structures, The C.V. Mosby Co., Missouri
- [35] **Manley, E.B. and Brain, E.B.**, 1947. An Atlas of Dental Histology, Blackwell Scientific Publications Ltd. , Oxford
- [36] **Bayirli, G.**, 1990. Pratik Endodonti, İstanbul Üniv. Yay. , İstanbul
- [37] **McDonald, R.E.**, 1974. Dentistry for The Child and Adolescent, The C.V. Mosby Co. Saint Louis
- [38] **Gründler, H.**, 1976. The Study of Tooth Shapes: A Systematic Procedure, Translated by Lea Weber, Buch-Und Zeitschriften- Verlag 'Die Quintessenz', Berlin
- [39] **Cohen, S. and Burns, R.C.**, 1976. Pathways of The Pulp, The C.V. Mosby Co. Saint Louis
- [40] **Webster, J. G.**, 1988. Encyclopedia of Medical devices and Instrumentation, V. 1, John Wiley & Sons Press, New York
- [41] **Reese, J. A. and Valega, T. M.**, 1985. Restorative Dental Materials, V. 1, Quintessence Publishing Co. Ltd. , London

- [42] **Bronzino, J. D.**, 1995. The Biomedical Engineering- Handbook- , CRC Press, Florida
- [43] **Craig, R. G.**, 1993. Restorative Dental Materials, 9<sup>th</sup> Ed. , The C. V. Mosby Co., Saint Louis- Missouri
- [44] **Ravaglioli, A. and Krajewski, A.**, 1992. Bioceramics, Chapman & Hall, London
- [45] **Zembilci, G. ve Çalikkoçoğlu, S.**, 1973. Dis Hekimliğinde Maddeler Bilgisi, Yenilik Basimevi, Istanbul
- [46] **Aydin, M. M.**, 1996. Dis Hekimligi Manipülasyonu ve Protez Laboratuvarlarında Kullanılan Araçlar, I.Ü. Basimevi, Istanbul
- [47] **Greener, E. H. , Haarcourt, J.K. and Lautenschlager, E. P.**, 1972. Materials Science in Dentistry, The Williams & Wilkins Co. , Baltimore
- [48] **Philips, R. V.**, 1984. Elements of Dental Materials, W. B. Saunders Co. , 4<sup>th</sup> Ed. , Philadelphia
- [49] **Anderson, J. N.**, 1976. Applied Dental Materials, 5<sup>th</sup> Ed. , Blackwell Scientific Publications, Oxford
- [50] **Akin, E.**, 1990. Dis Hekimliğinde Porselen, I. Ü. Yayinlari, Istanbul
- [51] **Ubassy, G.**, 1993. Shape and Color- The Key To Successful Ceramic Restorations, Quintessence Publishing Co. , Chicago
- [52] **Cohen, M.**, 1940. Ceramics in Dentistry, Lea & Febiger, Philadelphia
- [53] **Williams, D., Cahn R.W. and Bever M.B.**, 1990. Concise Encyclopedia of Medical & Dental Materials, Pergamon Press, Oxford
- [54] **Craig, R. G. , O'Brien, W. J. and Powers, J. M. ,** 1975. Dental Materials, The C. V. Mosby Co., Saint Louis
- [55] **O'Brien, W. J.**, 1989. Dental Materials, Quintessence Publishing Co. , Chicago
- [56] **Belger, L.**, 1975. Dis hekimliğinde Kron-Köprü Protezleri, Bilmen Kitabevi, Istanbul
- [57] **Skinner, E. V. and Philips, R. W. ,** 1940. The Science of Dental Material, 6<sup>th</sup> Ed. , W. B. Saunders Co. Philadelphia
- [58] **Ring, M. E.**, 1985. Dentistry- An Illustrated History, Abradale Press, New York
- [59] **Bever, M. B.**, 1986. Encyclopedia of Materials Science and Engineering, V. 2, Pergamon Press, New York
- [60] **Williams, D. F. and Cunningham, J.**, 1979. Materials in Clinical Dentistry, Oxford Univ. Press, Oxford,
- [61] **McLean, J. M. ,** 1980. The Science and Art of Dental Ceramics, V.2, Berlin, Rio De Janeiro, Tokyo: Quintessence Pub. Co. Chicago,
- [62] **Harold, F.M.**, 1989. Veterans Administration Cooperative Studies Project No 147/242, Part VII: The Mechanical Properties Of Metal Ceramic Alloys As Cast And After Simulated Porcelain Firing, *J. Prosthet. Dent.*, 61:160-9
- [63] **Derek, W.J.**, 1985 Low Fusing Porcelains, In: Preston J.D. Perspectives In Dental Ceramics, *Proceedings Of The 4th International Symposium On Ceramics*, Quintessence Books, Chicago, 29-45
- [64] **Pang, I.C., Gilbert, J.L., Chai, J., Lautenschlager, E.P.**, 1995. Bonding Characteristics Of Low Fusing Porcelain Bonded To Pure Titanium And Palladium- Copper Alloy, *J. Prosthet. Dent.*, 73: 17-25
- [65] Ceramco, Finesse Scientific Manuel, Ceramco Europa Ltd., Addleston, Weybridge, U.K.

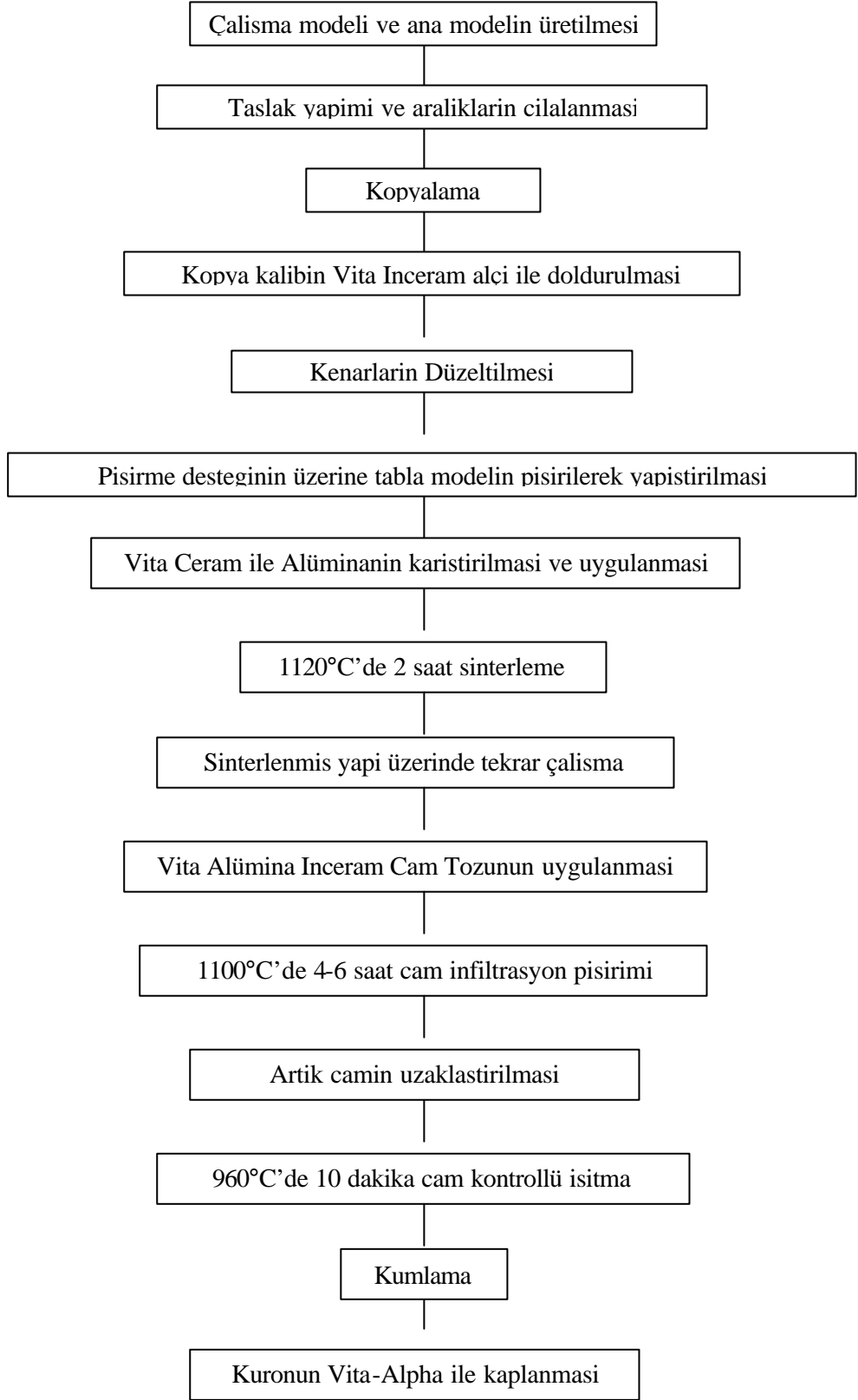


- [66] **Esquivel, J.F., Chai, J., Wozniak, W.T.**, 1996. The Physical Properties Of Low Fusing Porcelains For Titanium, *Int. J. Prosthodont.*, 9:563-71
- [67] **Esquivel, J.F., Chai, J., Wozniak, W.T.**, 1995. Color Stability Of Low Fusing Porcelains For Titanium, *Int. J. Prosthodont.*, 8: 479-85
- [68] **Al- Hiyasat, A.S., Saunders, W.P., Sharkey, S.W., Smith, G.Mc.R., Gilmour, W.H.**, 1998. Investigation Of Human Enamel Wear Against Four Dental Ceramics And Gold, *J. Dent. Res.*, 26: 487- 95
- [69] **Derand, P., Vereby, P.**, 1999. Wear Of Low Fusing Dental Porcelains, *J. Prosthet. Dent.*, 81:460-3
- [70] **Copps, D.P., Lacy, A.M., Curtis, T., Carman, J.E.**, 1984. Effects Of Topical Fluorides On Five Low Fusing Dental Porcelains, *J. Prosthet. Dent.*, 52: 340-3
- [71] **Özden, N., Akaltan, F.**, 2000. Düşük İsi Porselenlerinin Yüzey Sertliğinin Değerlendirilmesi, *A.Ü. Dis Hek. Fak. Der.*, 27: 63-7
- [72] VITA Catalog AllCeram Alümina, Infiltration Ceramics For Crowns and 3 Unit Anterior Bridges
- [73] **Hacker, C.H., Wagner, W.C., Razzoog, M.E.**, 1996. An In Vitro Investigation Of The Wear Of Enamel On Porcelain And Gold In Saliva, *J. Prosthet. Dent.*, 75: 14-7
- [74] **Jagger, D.C., Harrison, A.**, 1994. An In Vitro Investigation Into The Wear Affects Of Unglazed, Glazed And Polished Porcelain On Human Enamel, *J. Prosthet. Dent.*, 72:320-3
- [75] **McLean, J. W.**, 1979. The Science and Art of Dental Ceramics, V. 1, Berlin, Rio De Janeiro, Tokyo: Quintessence Pub. Co. Chicago
- [76] **Quinones, E.E., Vermilyea, S.G., Griswold, W.H.**, 1985. Apperent Bond Strength Of Nonnoble Alloy- Porcelain Combinations, *J.Prosthet.Dent.*, 54:359-61
- [77] **Dent, R.J., Preston, J.D., Moffa, J.P., Caputo, A.**, 1982. Effect Of Oxidation On Ceramometal Bond Strength, *J. Prosthet.Dent.*, 47: 59-62
- [78] **Wu, Y., Maser, J.B., Jameson, L.M., Malone, WFP.**, 1991. The Effect Of Oxidation Heat Treatment On Porcelain Bond Strength In Selected Base Metal Alloys, *J. Prosthet.Dent.*, 66: 439-44
- [79] **Anusavice, K.J.**, 1985. Noble Metal Alloys For Metal- Ceramic Restorations, *Dent. Clin. North Am.*, 29: 789-803
- [80] **Herrmann, M., Rottenegger, R., Tinchert, J., Marx, R.**, 1992. The Effect Of Corrosive Environment On The Porcelain To Metal Bond, A Fracture Mechanics Investigation, *Dent Mater.*, 8: 2-6
- [81] **Winkler, S., Morris, HF., Monterio, J.M.**, 1984. Changes In Mechanical Properties And Microstructure Following Heat Treatment Of A Nickel- Chromium Base Alloy, *J. Prosthet. Dent.*, 52: 821-7
- [82] **Yamamoto, M.**, 1985. Metal- Ceramics, Principles and Methods of Makoto Yamamoto, Quintessence Publishing Co. Inc., Tokyo
- [83] **Nicholas, M. G.**, 1990. Joining of ceramics, London : Published on behalf of the Institute of Ceramics by Chapman and Hall, 94-111
- [84] **Onaran, K.**, 1995. Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayinevi, 67- 70
- [85] <http://www.engr.ku.edu/~rhale/ae510/phasediag/sld012.htm>
- [86] <http://www.matter.org.uk/matscicdrom/manual/df.html>
- [87] <http://www.engr.sjsu.edu/pizzo/AgCuBinCoup.htm>
- [88] <http://omlc.ogi.edu/classroom/ece532/class5/ficks1.html>
- [89] <http://www.matter.org.uk/matscicdrom/manual/df.html>

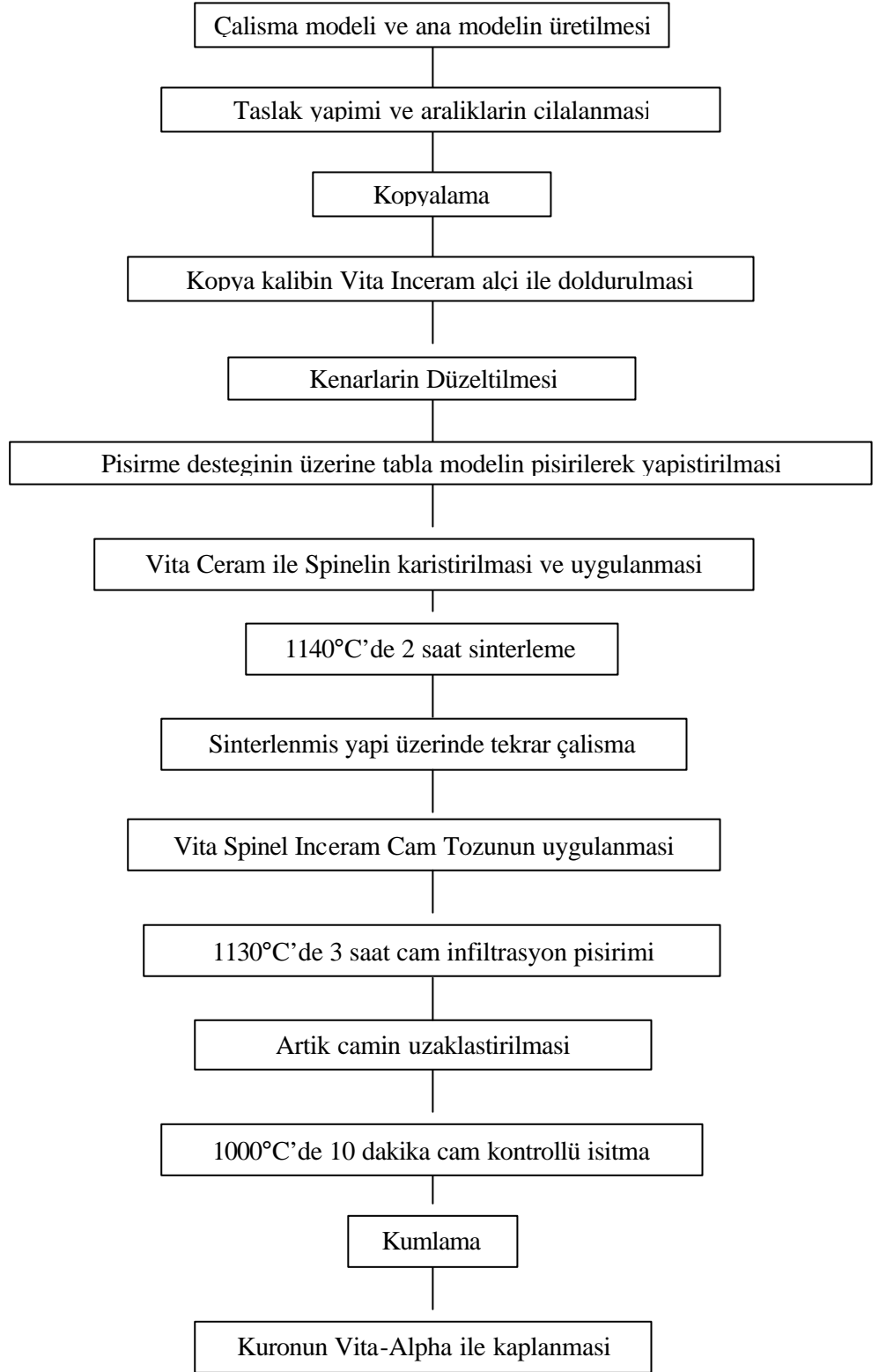
- [90] <http://omlc.ogi.edu/classroom/ece532/class5/ficks2.html>
- [91] **Dr Katja Heck, Don Kolotyuk R.D.T., C.D.T.**, Metal- Ceramic Bond Strength, Influence Of The Framework' s Surface Condition
- [92] **Uusalo, E.K., Yli-Urpo Antti, U.**, 1982. Microhardness Of Alloys For Porcelain Veneering, *J. Prosthet.Dent.*, 47 (4): 364-374
- [93] **Yamamoto, M.**, 1985. Principles And Methods Of Makato Yamamoto, Quintessence Publishing Co, Inc., London
- [94] **Farah, J.W., Craig, R.G.**, 1975. Distribution Of Stresses In Porcelain Fused To Metal And Porcelain Jacket Crowns, *J. Dent. Res.*, 54: 255-61
- [95] **Hammad, IA., Goodkind, R.J., Gerberich, W.W.**, 1997. A Shear Test For The Bond Strength Of Ceramometals, *J.Prosthet.Dent.*, 58:431-7
- [96] **Shell, J.S., Nielsen, J.P.**, 1962. Study Of The Bond Between Gold And Porcelain, *J.Dent.Res.*, 41:1424-8
- [97] **Kiliçarslan, M.A., Kedici, P.S., Gökdemir, K.**, 1998. Tekrarlanan Döküm İşleminin Dental Alasimların Yüzey Yapısı Ve Bilesimi Üzerine Etkileri, *A.Ü. Dis Hek. Fak. Derg.*, 25:81-6
- [98] **Bayramoglu, G., Alemdaroglu, T., Kedici, P.S., Aksüt, A.A.**, 2000. The Effect Of Ph On The Corrosion Of Dental Metal Alloys, *J. Oral Rehab.*, 27: 563-75
- [99] **Uusalo, E.K., Lassila, VP., Yli-Urpo Antti, U.**, 1987. Bonding Of Dental Porcelain To Ceramic- Metal Alloys, *J. Prosthet.Dent.*, 57: 26-9
- [100] **Atsü, S., Berksun, S.**, Bond Strength Of Three Porcelains To Two Forms Of Titanium Using Two Firing Atmospheres, *J. Prosthet.Dent.*, 84:567-74,2000.
- [101] **Barghi, N., Keehan- Whitmer, M.C., Aranda, R.**, 1987. Comparison Of Fracture Strength Of Porcelain- Veneered To High Noble And Base Metal Alloys, *J. Prosthet.Dent.*, 57: 23-6
- [102] **Bullard, J.T., Dill, R.E., Marker, V.A., Payne, E.V.**, 1985. Effect Of Sputtered Metal Oxide Films On The Ceramic To Metal Bond, *J. Prosthet.Dent.*, 54: 776-8
- [103] **Ersoy, E., Berksun, S., Öztas, D., Eskitasçioğlu, G.**, 1989. Üç Farklı Ni-Cr Alasimi Porselen Bağlantısının Makaslama Dirençlerinin İncelenmesi, *A.Ü. Dis Hek. Fak. Der.*, 16: 249-52
- [104] **Burgaz, Y., Yurdukoru, B., Zaimoglu, A.**, 1984. Metal- Seramik Bağlantısında Oksidaynonun Önemi, *A.Ü. Dis Hek. Fak. Derg.*, 11(1): 237-245
- [105] **Bagby, M., Marshall, S.J., Marshall, G.W.**, 1990. Metal Ceramic Compatibility: A Review Of The Literature, *J. Prosthet.Dent.*, 63: 21-5
- [106] **Baran, R.G.**, 1979. Phase Changes In Base Metal Alloys Along Metal- Porcelain Interfaces, *J.Dent.Res.*, 58: 2095-104
- [107] **Naylor, W.P.**, 1979. Introduction To Metal- Ceramic, Vol II, London, Quintessence Publ.
- [108] **Biswas, C.P., Koseyan, G.K.**, 1976. A Study Of Ceramic- Metal Restoration Process, *J. Prosthet. Dent.*, 36(6): 694-698
- [109] **Tesk, J.A.A., Hinman, R.W., Widera, G.E.O., Holmes, A.D., Cassel, J.M.**, 1983. Effects Of Porcelain/ Alloy Interfacial Diffusion Zones On Thermomechanical Strain, *J. Dent. Res.*, 62 (5): 585-589
- [110] **Pask, J.A., Tomsia, A.P.**, 1988. Oxidation And Ceramic Coating On 80 Ni- 20 Cr Alloys, *J. Dent. Res.*, 67(9): 1164-1171

- [111] **Hammad, I.A., Stein, R.S.**, 1990. A Qualitative Study For The Bond And Color Of Ceramometals, *J. Prosthet.Dent.*, 68: 643-53
- [112] **Özel, H.**, 1979. Metal- Seramik Baglantisina Etki Eden Unsurlar Üzerine Arastirmalar, Doktora Tezi, *I.Ü. Dis Hek. Fak.*
- [113] **Cascone, P.J., Tuscillo, J.J.**, 1983. The Evolution Of PFM Alloy Systems, In: Mc Lean, J.W., *Dental Ceramics First ISC.*, London, Quintessence Publ. , 347-371
- [114] **Baran, G.R.**, 1985. Selection Criteria For Base Metal Alloys For Use With Porcelains, *Dent. Clin. North Am.*, 29:775-87
- [115] **Bowers, J.E., Griswold, W.H., Vermilyea, S.G.**, 1985. Effect Of Metal Conditioners On Porcelain Alloy Bond Strength, *J. Prosthet. Dent.*, 54 (2): 201-203
- [116] **Carter, J.M., Al-Mudaafar, J., Sorencen, S.E.I** 1979. Adherence Of A Nickel- Chromium Alloy And Porcelain, *J. Prosthet. Dent.*, 41:167-171
- [117] **Goeller, I., Meyer, J.M., Nally, J.N.**, 1972. Comparative Study Of Three Coating Agents And Their Influence On Bond Strength Of Porcelain Fused To Gold Alloys, *J. Prosthet. Dent.*, 28:504-511
- [118] Effects Of Chromium On The Interface And Bond Strength Of Metal- Ceramic Joints
- [119] **Craig, R.G.**, 1985. Restorative Dental Materials, St. Louis; CV Mosby Co.
- [120] **Scinner, E.W., Philips, R.W.**, 1967. The Science of Dental Materials, Philadelphia, Wb Saunders Co.
- [121] **Yasuhiro Tanaka**, Structural Investigation of Metal- Ceramic Interface Using Transmission Elektron Microscopy, Department of Dental Materials Science, School Of Dentistry Nagasaki Univ.
- [122] Modelling The Bonding At Metal- Ceramic Interfaces Using PEELS In The STEM
- [123] <http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.html>
- [124] <http://www.seismo.berkeley.edu/geology/labs/epma/technical.htm>
- [125] <http://jan.ucc.nau.edu/~wittke/Microprobe/probe.html>
- [126] <http://www.u.arizona.edu/~xiuminj/web/SIMSdefault.htm>
- [127] **Kappert, H.F.**, 1996. Çeviri: Aidulis, L., Modern Metal Ceramic Systems With Omega 900, VITA Katalog
- [128] Description of Tests, Metalor Katalog
- [129] <http://www.bego.com/dentalalloys>
- [130] <http://www.unitech-dental.com>
- [131] **Boyras, T., Kiliç, A., Karakas, Y., Addemir, O.**, 2002. Seramik Hammaddelerden Porselen Dis Tozu Üretimi ve Porselen Dis Yapimi, Ankara, 4- 8 Eylül
- [132] VITA Omega 900 Metal- Ceramic Working Instructions
- [133] VITA Celay Alümina and Spinell Blanks, Directions For Use, Fabrication of The Framework

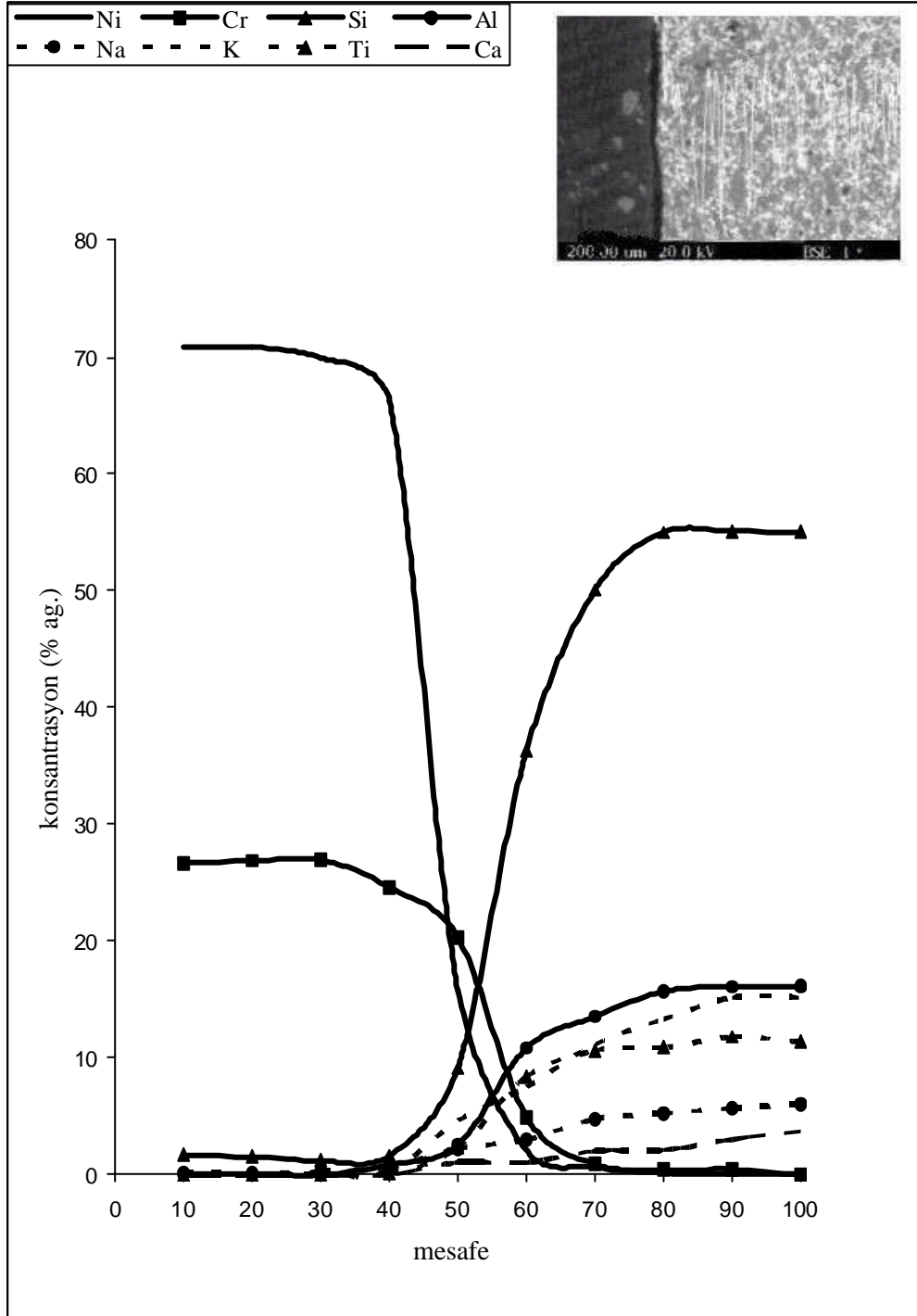
- EK A:** Alümina ve Spinel Inceramlara ait üretim akis semalari
- EK B:** 905, 930, 955 °C' de Pisirilmis Vakumsuz Olarak 30, 60, 90 s Bekletilmis Metal – Porselen Numunelere Ait EPMA ANALIZLERI
- EK C:** Ni, Cr ve Ti' nin Difüzyonun Sicaklik ve Zamanla Etkilesimini gösteren grafikler ve tablolar



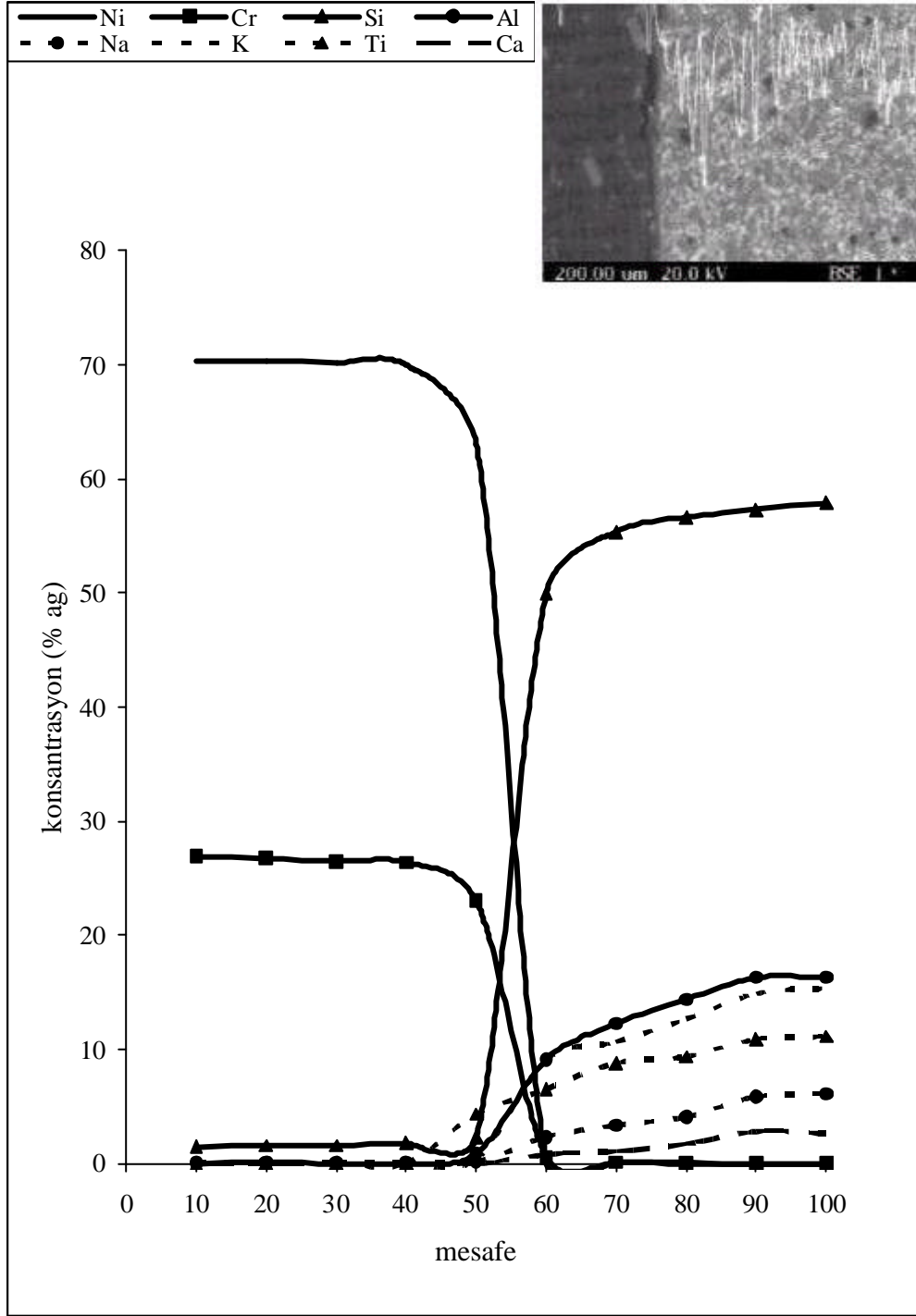
Sekil A. 1: Alümina inceram üretim akis semasi



Sekil A. 2: Spinel inceram üretim akis semasi

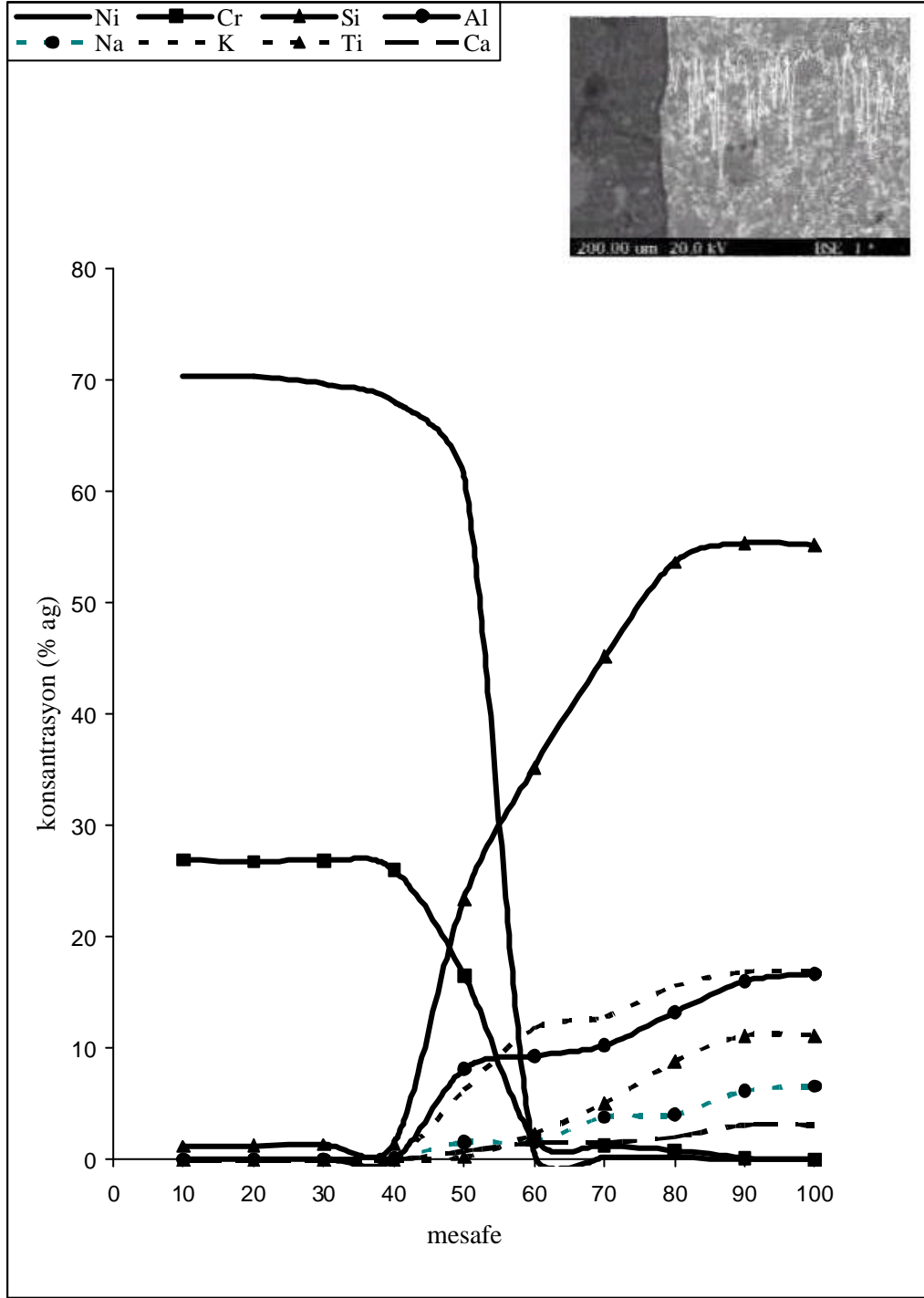


Sekil B. 1: 905 °C' de pisirilmis vakumsuz 30 s bekletilmiş metal- porselen numuneye ait EPMA analizi (mesafe = μm)

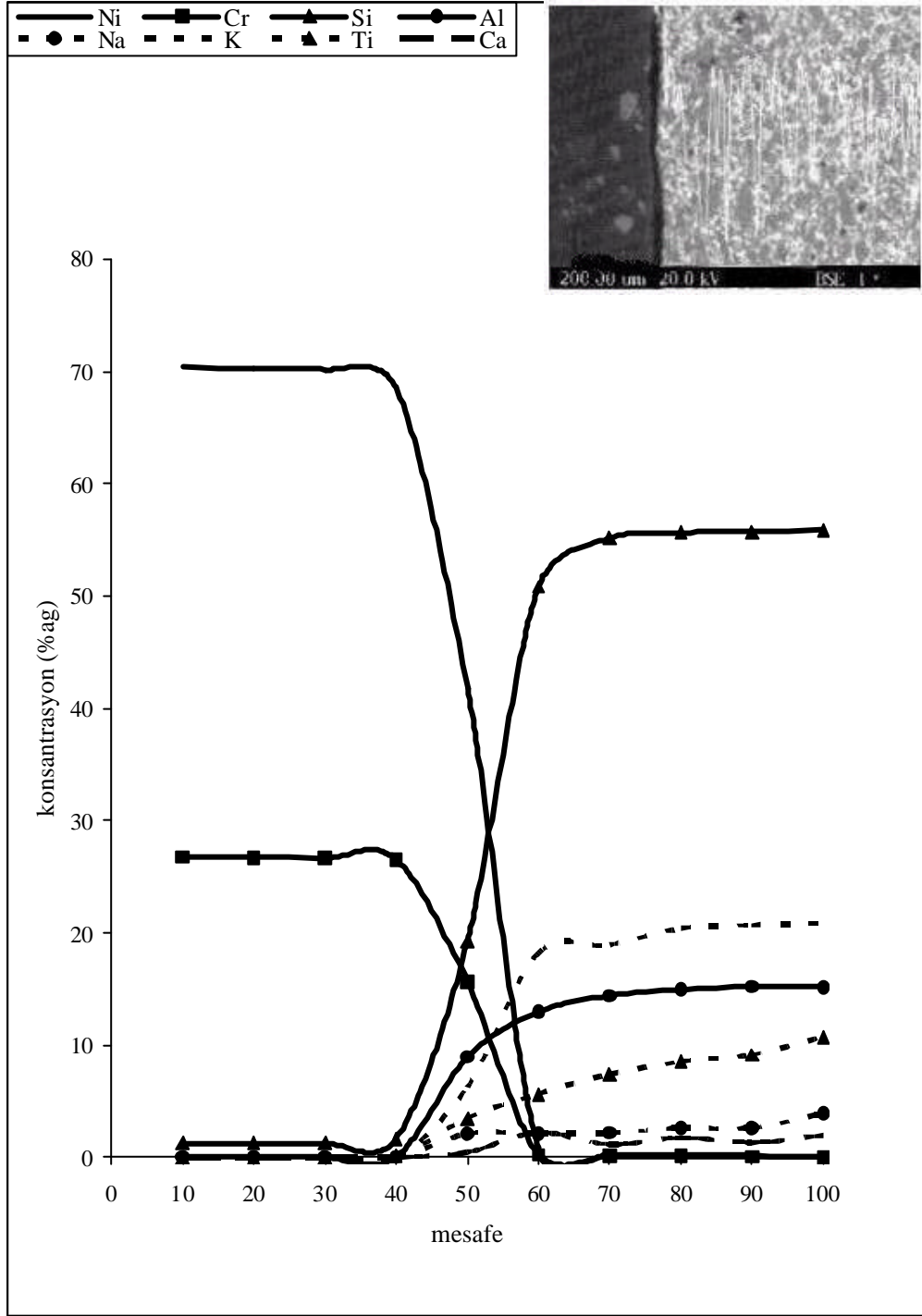


Sekil B. 2: 905 °C' de pisirilmis vakumsuz 60 s bekletilmis metal- porselen numuneye ait EPMA analizi

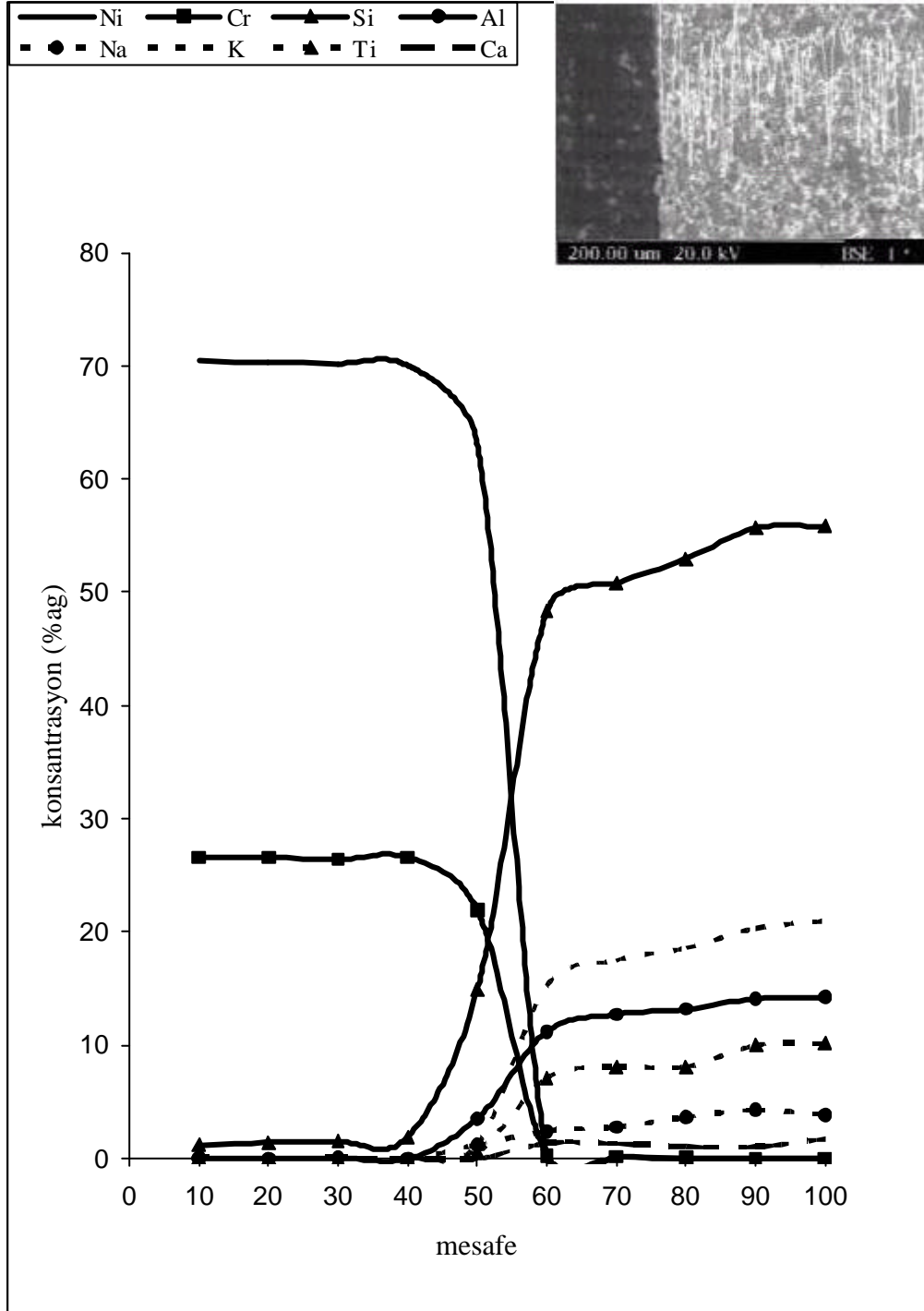




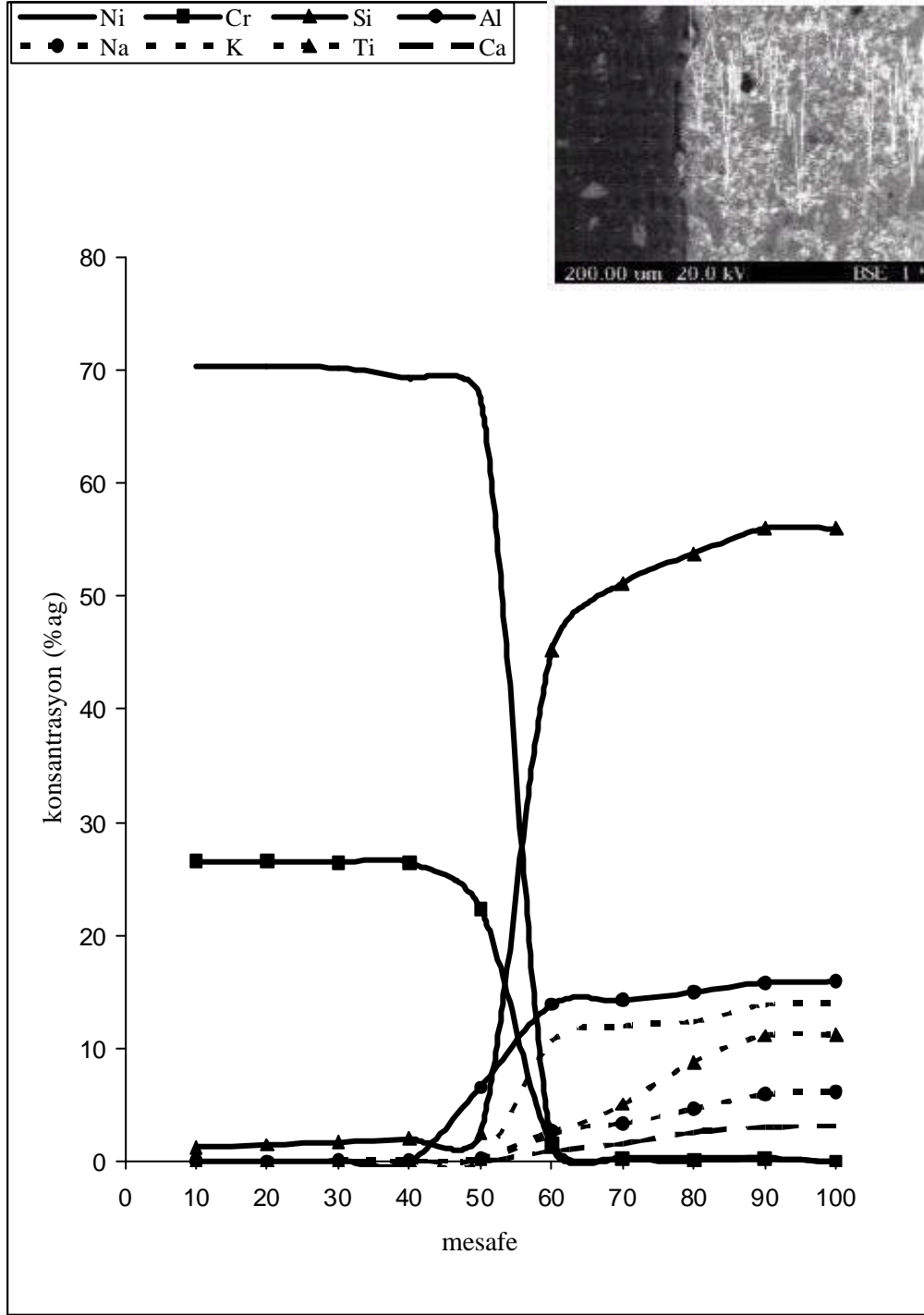
Sekil B. 3: 905 °C' de pisirilmis vakumsuz 90 s bekletilmis metal- porselen numuneye ait EPMA analizi



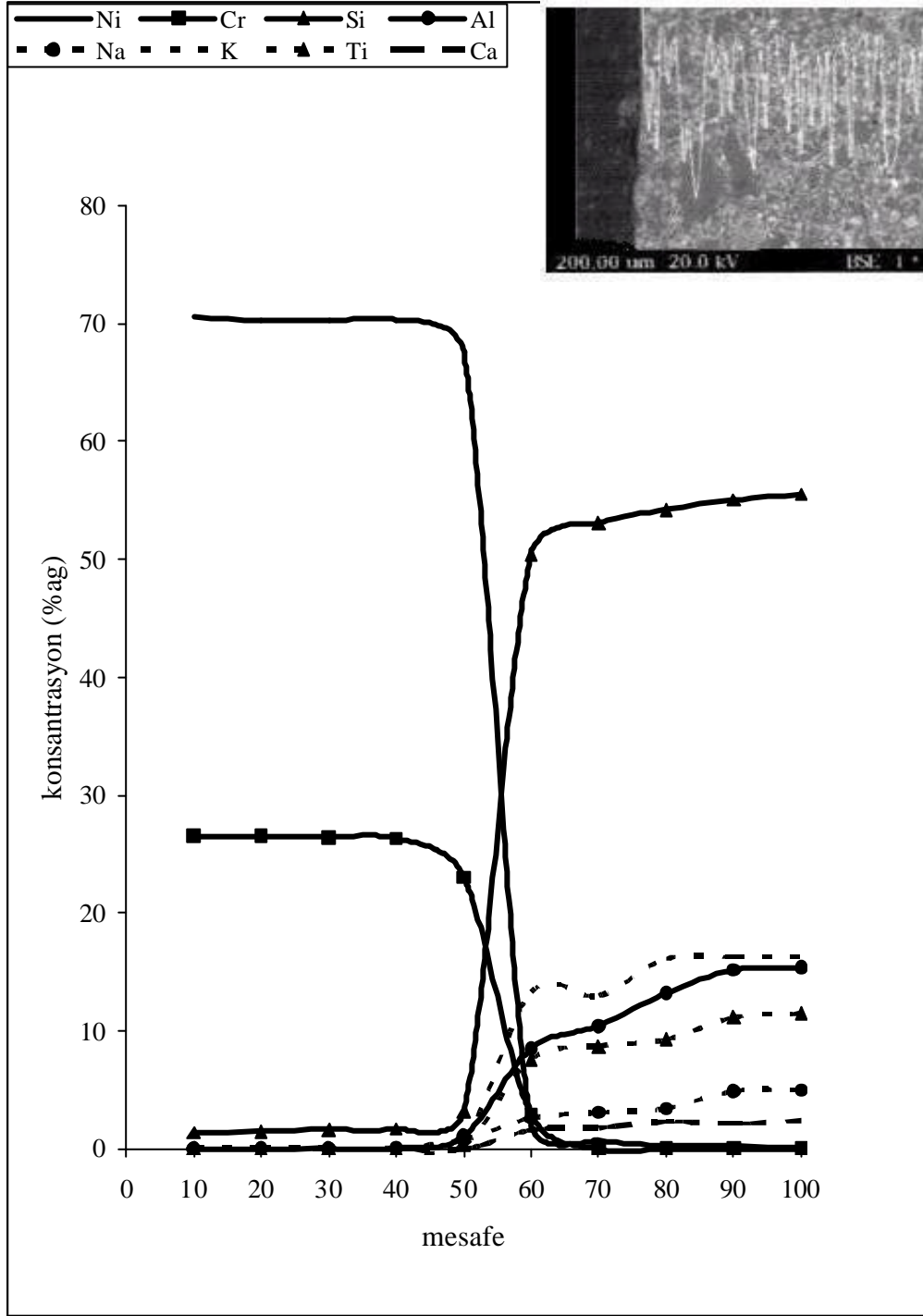
Sekil B 4: 930 °C' de pisirilmis vakumsuz 30 s bekletilmiş metal- porselen numuneye ait EPMA analizi



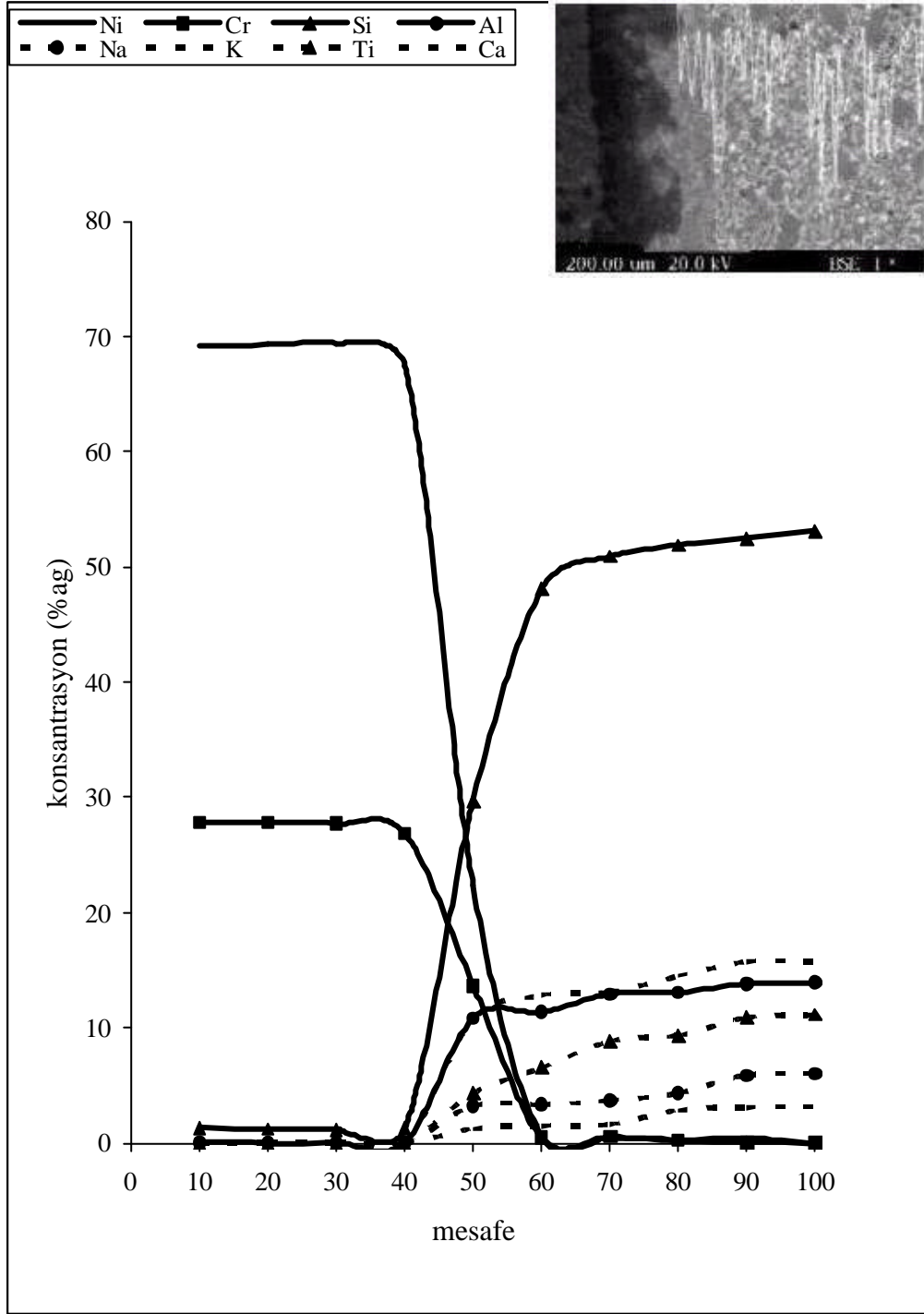
Sekil B 5: 930 °C' de pisirilmis vakumsuz 60 s bekletilmiş metal- porselen numuneye ait EPMA analizi



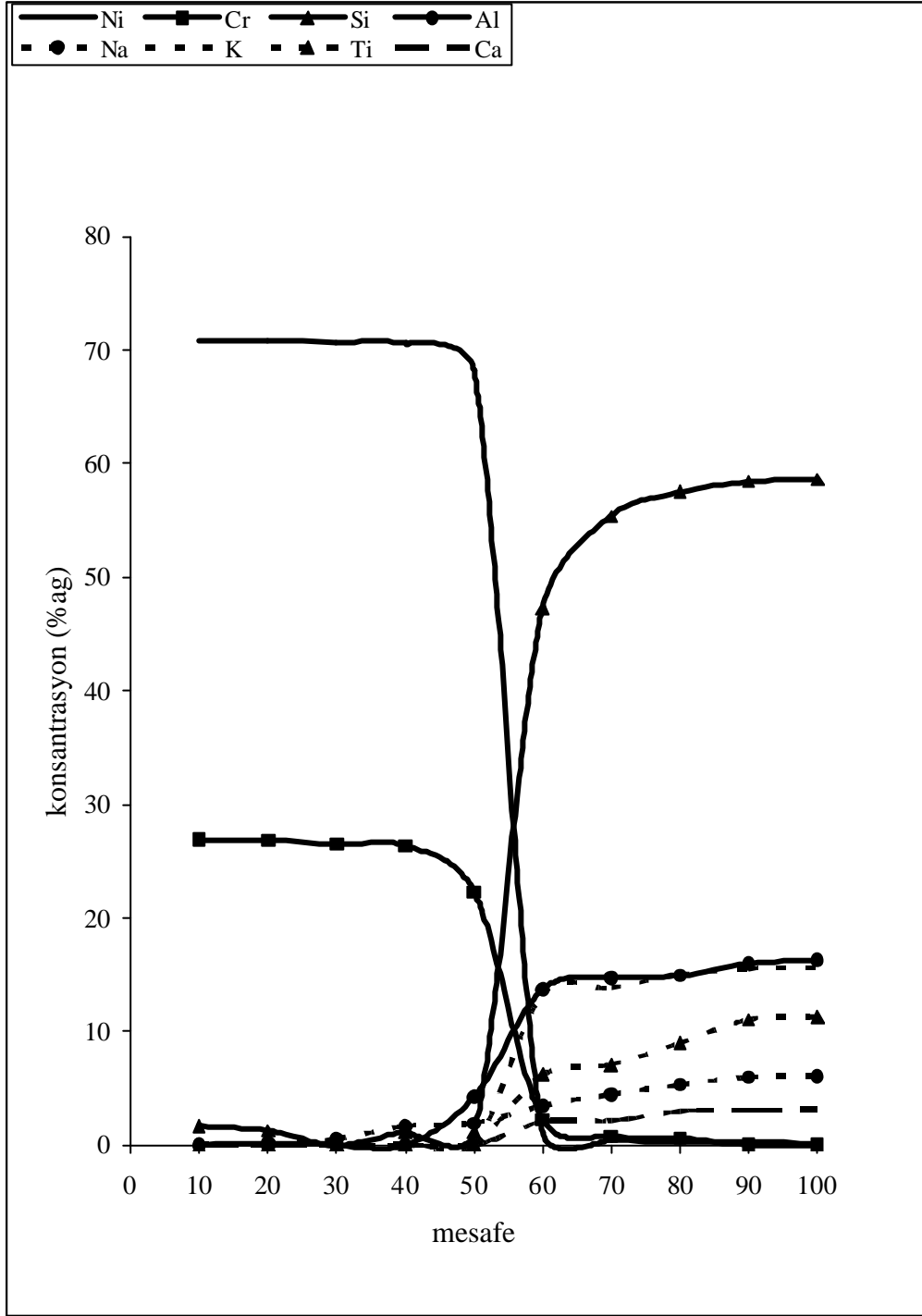
Sekil B 6: 930 °C’ de pisirilmis vakumsuz 90 s bekletilmis metal- porselen numuneye ait EPMA analizi



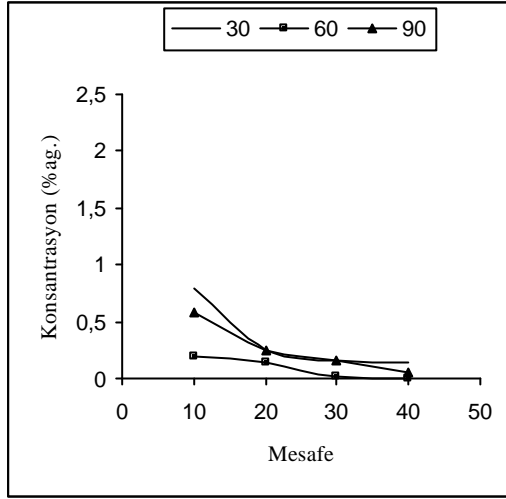
Sekil B 7: 955 °C' de pisirilmis vakumsuz 30 s bekletilmis metal- porselen numuneye ait EPMA analizi



Sekil B 8: 955 °C' de pisirilmis vakumsuz 60 s bekletilmis metal- porselen numuneye ait EPMA analizi



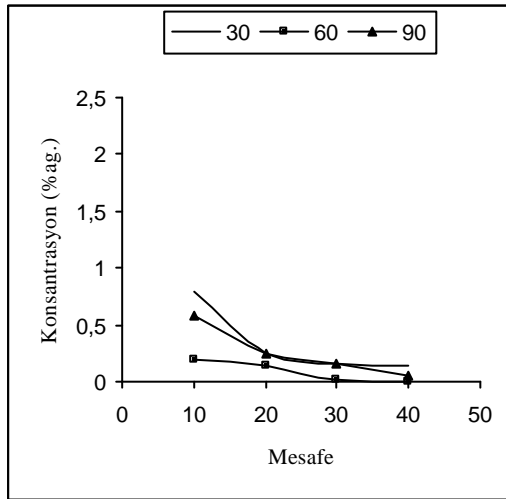
Sekil B 9: 955 °C' de pisirilmis vakumsuz 90 s bekletilmis metal- porselen numuneye ait EPMA analizi



Sekil C. 1: 905 °C' de Ni' in zamana bagli difüzyonu

Tablo A.1: 905 C' de Ni' in zamana bagli difüzyonu

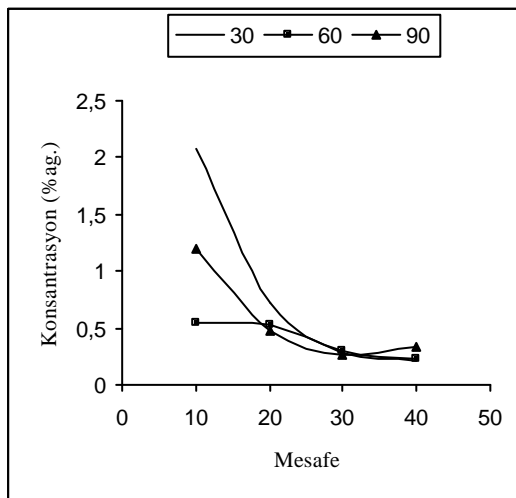
	30	60	90
10	0,8	0,199	0,5884
20	0,25	0,148	0,2531
30	0,16	0,0143	0,1635
40	0,15	0,0021	0,0607



Sekil C. 2: 930 °C' de Ni' in zamana bagli difüzyonu

Tablo A.2: 930 C' de Ni' in zamana bagli difüzyonu

	30	60	90
10	2,13	0,488	1,4972
20	0,65	0,233	0,38
30	0,16	0,153	0,257
40	0,1	0,069	0,261

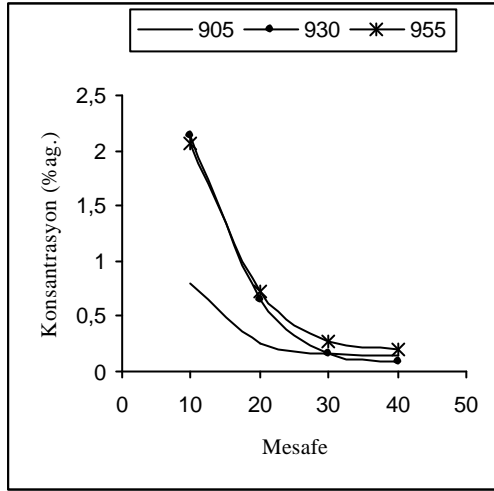


Sekil C. 3: 955 °C' de Ni' in zamana bagli difüzyonu

Tablo A.3: 955 C' de Ni' in zamana bagli difüzyonu

	30	60	90
10	2,07	0,541	1,189
20	0,73	0,5255	0,4764
30	0,28	0,303	0,2723
40	0,21	0,2324	0,3354

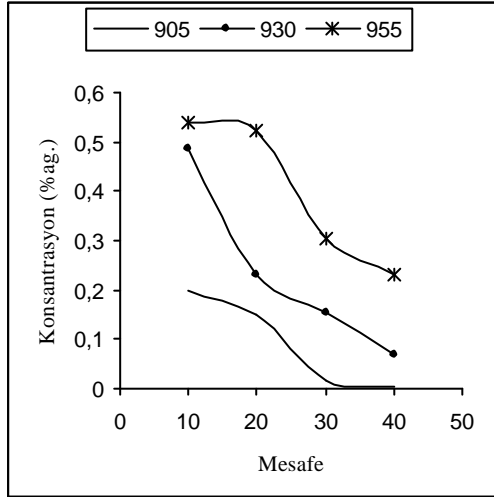




Sekil C. 4: 30 s' de Ni' in sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A.4: 30 s' de Ni'in sicakliga bagli difüzyon

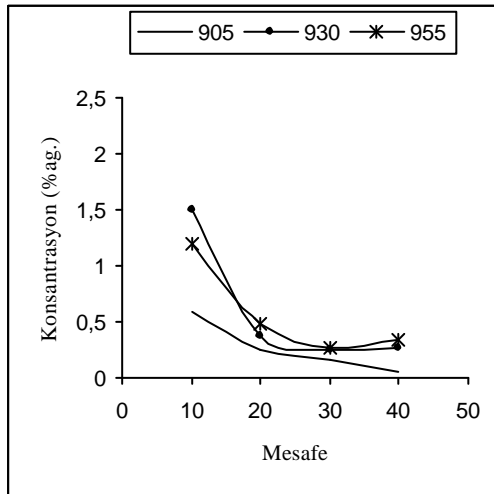
	905	930	955
10	0,797	2,1309	2,0722
20	0,252	0,6545	0,7256
30	0,163	0,163	0,279
40	0,147	0,096	0,207



Sekil C. 5: 60 s' de Ni' in sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A.5: 60 s' de Ni'in sicakliga bagli difüzyon

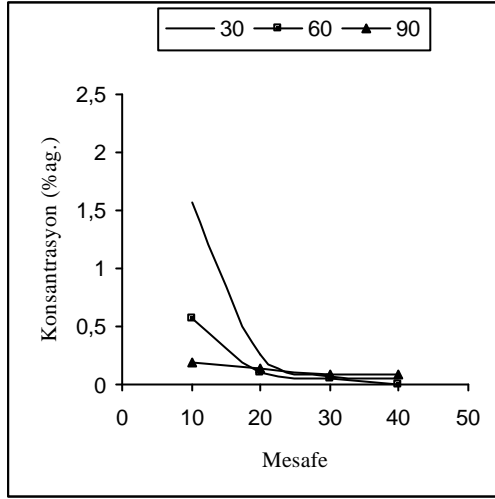
	905	930	955
10	0,199	0,4884	0,541
20	0,148	0,2331	0,525
30	0,014	0,1535	0,303
40	0,002	0,0697	0,2324



Sekil C. 6: 90 s' de Ni' in sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A.6: 90 s' de Ni'in sicakliga bagli difüzyon

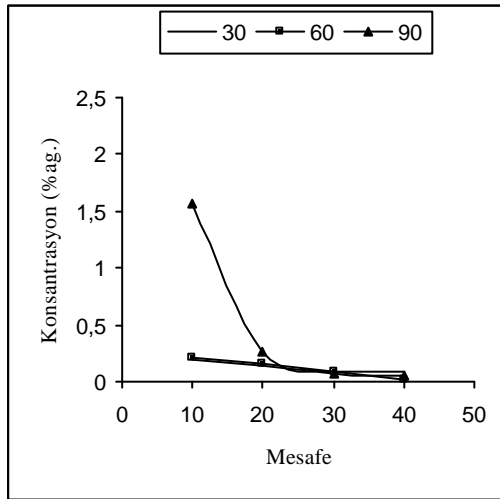
	905	930	955
10	0,588	1,4972	1,189
20	0,253	0,38	0,4764
30	0,164	0,257	0,2723
40	0,061	0,261	0,3354



Sekil C. 7: 905 °C' de Cr' un zamana bagli difüzyonu

Tablo A. 7: 905 C' de Cr' un zamana bagli difüzyonu

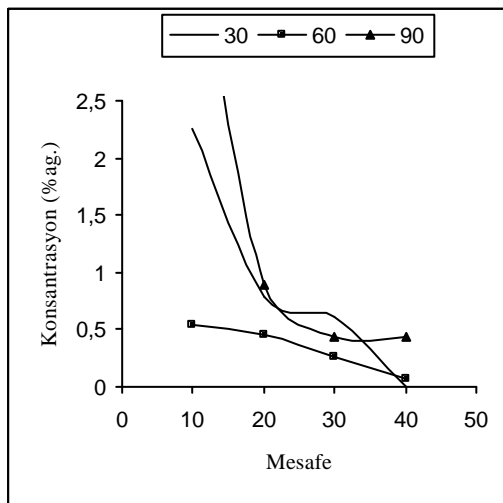
	30	60	90
10	1,571	0,57	0,196
20	0,263	0,1	0,138
30	0,076	0,053	0,0896
40	0,059	0,009	0,0814



Sekil C. 8: 930 °C' de Cr' un zamana bagli difüzyonu

Tablo A.8: 930 C' de Cr' un zamana bagli difüzyonu

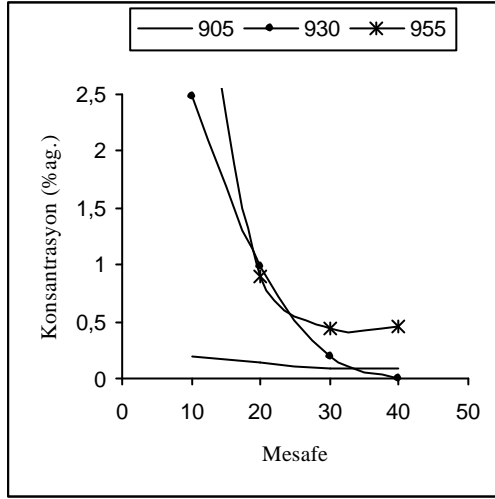
	30	60	90
10	1,862	0,217	2,4743
20	0,242	0,157	0,985
30	0,024	0,096	0,202
40	0,01	0,018	0



Sekil C. 9: 955 °C' de Cr' un zamana bagli difüzyonu

Tablo A.9: 955 C' de Cr' un zamana bagli difüzyonu

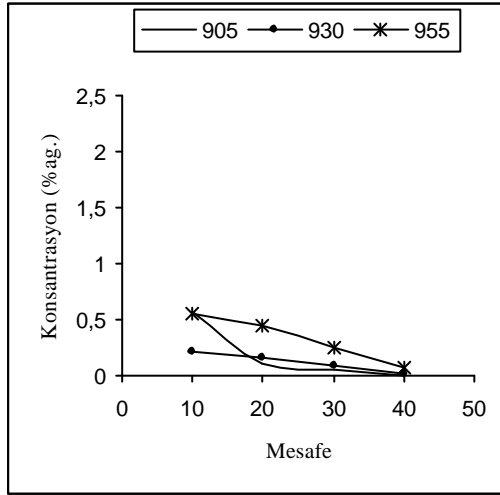
	30	60	90
10	2,261	0,545	4,0326
20	0,784	0,455	0,8938
30	0,615	0,258	0,4352
40	0	0,068	0,433



Sekil C. 10: 30 s' de Cr' un sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A. 10: 30 s' de Cr' un sicakliga bagli difüzyonu

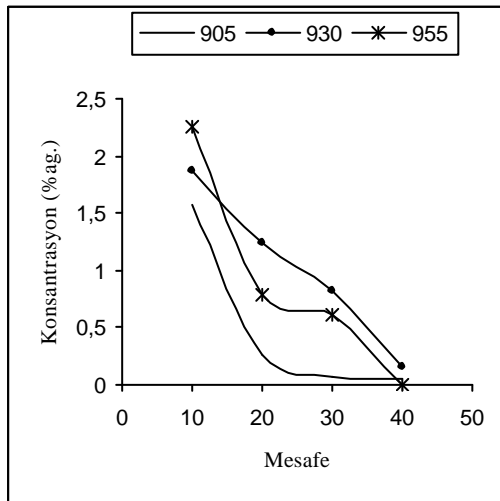
	905	930	955
10	0,196	2,474	4,033
20	0,138	0,985	0,894
30	0,089	0,202	0,435
40	0,081	0	0,453



Sekil C. 11: 60 s' de Cr' un sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A. 11: 60 s' de Cr' un sicakliga bagli difüzyonu

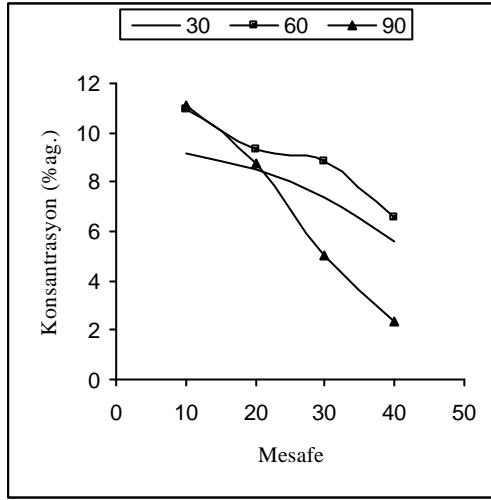
	905	930	955
10	0,57	0,217	0,545
20	0,1	0,157	0,455
30	0,053	0,096	0,258
40	0,009	0,018	0,068



Sekil C. 12: 90 s' de Cr' un sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A. 12: 90 s' de Cr' un sicakliga bagli difüzyonu

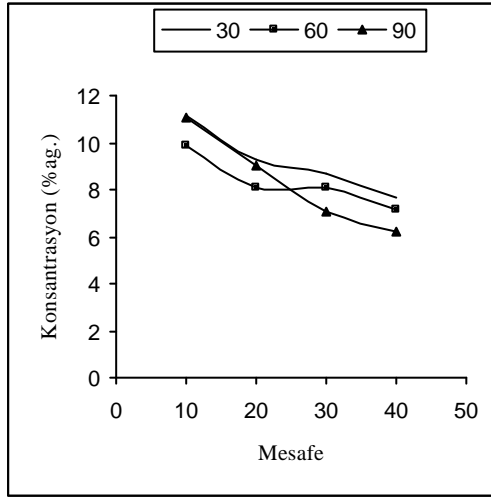
	905	930	955
10	1,571	1,862	2,261
20	0,263	1,241	0,784
30	0,076	0,824	0,615
40	0,059	0,15	0



Sekil C. 13: 905 °C' de Ti' nin zamana bagli difüzyonu

Tablo A. 13: 905 C' de Ti' nin zamana bagli difüzyonu

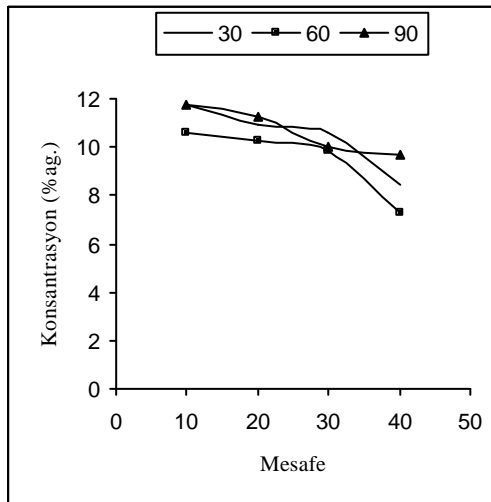
	30	60	90
10	9,129	10,91	11,11
20	8,522	9,346	8,792
30	7,37	8,82	5,057
40	5,63	6,55	2,32



Sekil C. 14: 930 °C' de Ti' nin zamana bagli difüzyonu

Tablo A. 14: 930 C' de Ti' nin zamana bagli difüzyonu

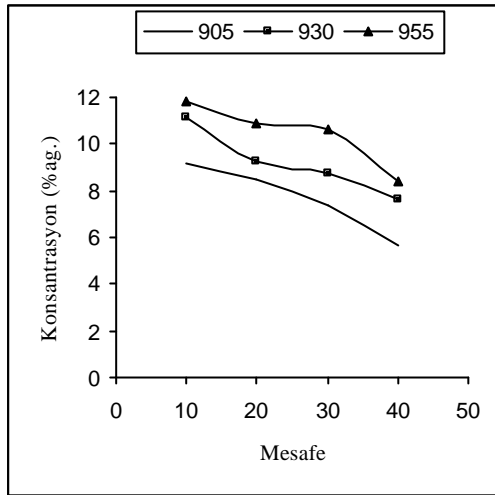
	30	60	90
10	11,14	9,9	11,06
20	9,26	8,1	9
30	8,71	8,09	7,086
40	7,62	7,132	6,19



Sekil C. 15: 955 °C' de Ti' nin zamana bagli difüzyonu

Tablo A. 15: 955 C' de Ti' nin zamana bagli difüzyonu

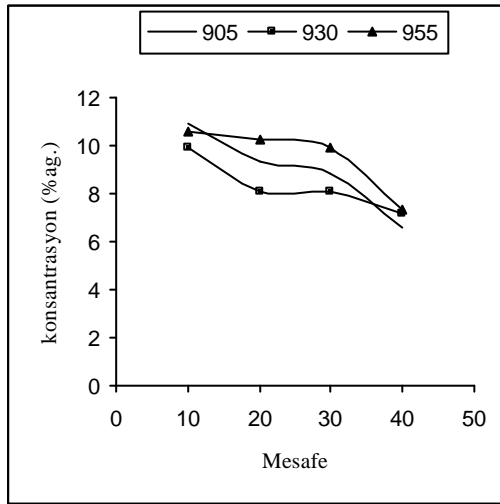
	30	60	90
10	11,79	10,61	11,76
20	10,89	10,28	11,23
30	10,63	9,88	10
40	8,426	7,32	9,667



Sekil C. 16: 30 s' de Ti' nin sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A.16: 30 s' de Ti' nin scakliga bagli difüzyonu

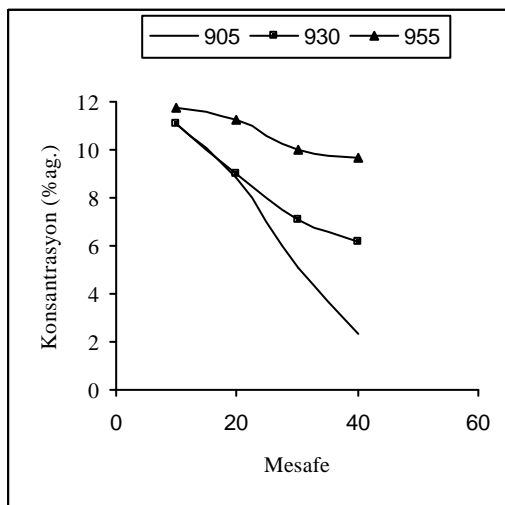
	905	930	955
10	9,129	11,15	11,79
20	8,522	9,26	10,9
30	7,37	8,712	10,63
40	5,63	7,625	8,42



Sekil C. 17: 60 s' de Ti' nin sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A.17: 60 s' de Ti' nin scakliga bagli difüzyonu

	905	930	955
10	10,92	9,9	10,61
20	9,34	8,1	10,28
30	8,82	8,09	9,88
40	6,55	7,132	7,32



Sekil C. 18: 90 s' de Ti' nin sicakliga bagli difüzyonu

Tablo A.18: 90 s' de Ti' nin scakliga bagli difüzyonu

	905	930	955
10	11,11	11,06	11,76
20	8,792	9	11,23
30	5,057	7,086	10
40	2,32	6,19	9,667

## **ÖZGEÇMİS**

1976 yılında İstanbul’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakip Sabancı İlköğretim okulunda, lise öğrenimini Kadıköy Anadolu Lisesinde tamamladı. 1995 yılında Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Seramik Mühendisliği bölümünü kazandı. Burada öğrenimini tamamladıktan sonra 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya- Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü Seramik programında yüksek lisansa başladı. Halen tez aşamasında olup doğal seramik hammaddelerden porselen dış üretimi ve metal-seramik arayüzey karakterizasyonu üzerine çalışmasını sürdürmektedir.