



**T.C.**

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**MMM307 MALZEME LABORATUVARI II**

**DENEY FÖYÜ**

Bahar Dönemi

# İÇİNDEKİLER

GENEL GÜVENLİK KURALLARI.....	3
MALZEME LABORATUVARI DERSİ HAKKINDA BİLGİLENDİRME .....	3
MALZEME LABORATUVARI DERSİ RAPORU YAZIM KURALLARI .....	3
DENEY: ÖĞÜTME-PARTİKÜL BOYUT ANALİZİ .....	4
DENEY: PİROMETALURJİ .....	10
DENEY: KOROZYON.....	12
<b>DENEY: KUM KALIBA METAL DÖKÜM VE ISIL İŞLEM .....</b>	<b>20</b>
DENEY: SERAMİK SİNTERLEME ve YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ .....	28

## GENEL GÜVENLİK KURALLARI

1. Laboratuvara gelirken mutlaka kapalı ayakkabı ve beyaz çalışma önlüğü ( diz boyu olacak şekilde) giyilmelidir.
2. Uzun saçlı öğrencilerin saçlarını mutlaka toplamaları gerekmektedir.
3. Laboratuvar içerisinde herhangi bir yiyecek ve içecek maddesi tüketilmemelidir.
4. Tütün ve tütün ürünlerinin laboratuvar içerisinde tüketilmesi yasaktır.
5. Çalışır durumdaki hiçbir cihaza, sorumlu öğretim elemanı aksini söylemedikçe dokunulmamalıdır.
6. Laboratuvar içerisinde mutlaka koruyucu ekipmanlar ( gözlük, maske vb.) giyilmeli ve takılmalıdır.
7. Laboratuvar temiz kullanılmalı ve deney sırasında kullanılan teçhizat alındığı yere geri konulmalıdır.
8. Laboratuvarda kullanılan aletler laboratuvar dışına çıkarılmamalıdır.
9. Kimyasallar tehlike oluşturacak şekilde karıştırılmamalı, dikkatli bir şekilde kullanılmalı ve laboratuvar havalandırmasının işlevsel olduğu kontrol edilmelidir.
10. Tehlike anında çalışılan kimyasallar en yakın bankonun üzerine konulmalı, sakince laboratuvardan çıkılmalı ve sorumlu çalışana haber verilmelidir.
11. Deney yapılırken elektrik, su ve gaz tesisatlarının durumuna dikkat edilmelidir.
12. Cihazlarda arıza olması durumunda hemen laboratuvar sorumlusuna haber verilmelidir.

## MALZEME LABORATUVARI DERSİ HAKKINDA BİLGİLENDİRME

1. Teorik ders kısmına katılmayan öğrenciler ilgili deneye giremezler.
2. Deneylerin telafisi yapılmayacaktır! Ancak sağlık problemi bulunması durumunda, sağlık raporu getiren öğrenciler giremedikleri o deneyin telafisini talep edebilirler.
3. Notlandırma; uygulamadan, rapordan ve final sınavından alınacak notlar değerlendirilerek yapılacaktır. Belirtilen bu aşamaların yüzdeleri sırasıyla; **uygulama %20, rapor %40 ve final sınavı %40** olacaktır.

## MALZEME LABORATUVARI DERSİ RAPORU YAZIM KURALLARI

Deneye ait rapor;

- 1) Deneyin amacı
- 2) Deneyin yapılışı
- 3) Deneye ait sonuçların değerlendirilmesi ve 4) İstenenler kısımlarından oluşacaktır.

# **DENEY: ÖĞÜTME-PARTİKÜL BOYUT ANALİZİ**

*Deney sorumluları: Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK, Arş. Gör. Süleyman CAN*

## **1. AMAÇ**

Öğütme işlemi ve partikül boyutu analizi hakkında detaylı bilgi sahibi olmak.

## **2. TEORİK BİLGİ**

Parçacık, tozun bölünemeyen en küçük birimidir. Toz işleme teknolojileri genellikle dumandan daha büyük (0,01-1  $\mu\text{m}$ ), fakat kumdan daha küçük (0,1-3 mm) parçacıklarla ilgilenir. Kullanılan tozların çoğu, insan saçı çapı ölçüsündedir (25-200  $\mu\text{m}$ ). Kimya sanayinde kullanılan tozların özellikleri büyük oranda bu parçacıkların imalinde kullanılan hammadde özellikleri belirlemektedir. Toz boyutu, toz şekli, görünür yoğunluk, akış hızı, sıkıştırılabilirlik, ham mukavemet ve sertlik tozların fiziksel özelliklerinden bazılarıdır. Ayrıca parçacık büyüklüğü katı-sıvı (heterojen) reaksiyonlarda reaksiyon hızına etki eden önemli bir parametredir. Parçacık boyutu küçüldüğünde yüzey alanı artmakta dolayısıyla reaksiyon süresi kısalmaktadır. Katı-sıvı reaksiyonlarında karıştırma hızı da bu parametreye etki eder. Parçacık boyutunun etkisinin araştırıldığı deneylerde karıştırma hızı sabit tutulmalıdır. Parçacık boyutunun belirlenmesi ise diğer önemli bir süreçtir.

Tane boyutunun küçültülmesi için yapılan işleme öğütme denir. Öğütme işlemi, boyut küçültme işlemlerinin son basamağı olup prosesin akışı ve cevherin durumuna göre sulu ya da kuru olarak yapılır. Öğütme işlemi 25 mm'den küçük tane boyutlarına uygulanmaktadır. Öğütme işleminin yapıldığı cihazlara "öğütücü" veya değirmen adı verilir. Bilyalı, çubuklu, otojen ve valsli değirmenler öğütme işleminde yaygın olarak kullanılırlar.

Öğütme işlemi ile yüzey alanının artırılması, arzu edilen tane boyutunun elde edilmesi ve minerallerin serbest hale getirilmesi hedeflenir.

Değirmenden çıkan ürünün tane boyutu, kullanılan öğütücü ortamın cinsine ve miktarına, besleme ürününün cinsine ve miktarına, öğütme süresine ve değirmenin dönme hızına bağlı olarak değişir.

Öğütme işlemlerinde öğütücü ortam olarak çelik, seramik veya özel alaşımlı bilyalar, çelik veya özel alaşımlı çubuklar, çakıllar veya cevherin kendisi kullanılabilir. Öğütücü malzemenin miktarı ise değirmen tipine bağlı olarak değişmektedir. Değirmene beslenecek malzeme miktarı cevher özelliklerine, değirmenin yapısına, çalışma prensibine ve çalışma şartlarına bağlıdır. Öğütme işlemlerinde öğütülecek malzemenin değirmen içinde kalma süresi öğütmeyi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Öğütme süresinin tespiti laboratuvarlarda çeşitli sürelerde öğütme deneyleri yapılarak belirlenir. Malzemenin öğütme durumu elek analizleri ile kontrol edilir.

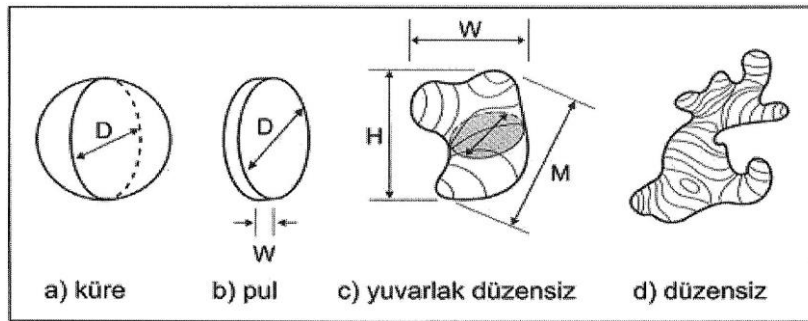
Değirmenin dönüş hızı, öğütmeyi etkileyen önemli faktörlerden bir diğeridir. Değirmen içindeki öğütücü ortam değirmenin dönmesi ile birlikte kazandığı kinetik enerjiyi sürtünme, kesme ve çarpma kuvveti olarak öğütülen malzemeye iletir.

Ortamın hareketleri üç grupta toplanabilir:

- Kendi ekseninde dönme
- Kayarak yuvarlanma
- Serbest düşme

Bu üç hareketten birinin diğerine oranla azlığı veya çokluğu öğütme olayını etkiler. Örneğin düşük hızlarda ilk iki hareket söz konusudur ve bu harekete kaskat hareket denir. Çok yüksek hızlarda ise ortamı oluşturan malzeme santrifüj kuvvetlerinin etkisi altında değirmenin iç çeperine yapışarak değirmenle birlikte döner. Bu durumda öğütme olayı meydana gelmez. Öğütmenin tam olarak oluşabilmesi için öğütücü ortamın, değirmen içinde maksimum seviyede iken; yerçekimi kuvvetinin santrifüj kuvvetini yenmesiyle, malzeme üzerine düşmesi gereklidir. Değirmenin sesinin değiştiği ve öğütme olayının gerçekleştiği bu duruma katarakt hareket denir. Diğer bir tanımla öyle bir hız vardır ki bu hızın altında taneler değirmenin astar yüzeyinden ayrılır, bu hızın üzerinde astar ile birlikte döner. İşte bu hıza kritik hız denir. Bu hız, yerçekimi kuvvetinin santrifüj kuvvetine eşitlendiği hızdır ve değirmen çapıyla ters orantılıdır.

Parçacık boyutu tozların kullanıldığı alanlarda en önemli özelliklerden birisidir. Parçacık boyutu analizi çeşitli tekniklerle geliştirilebilir. Ancak, ölçülen parametrelerdeki farklılıklar nedeniyle, çeşitli parçacık boyutu analiz tekniklerinin aynı sonucu vermedikleri bilinmelidir. Parçacık boyutunu ölçen cihazların çoğu tek bir geometrik parametreyi ölçer ve parçacık şeklinin küresel olduğunu kabul eder. Şekil 1'de örnek boyut parametreleri verilmiştir. Küresel bir parçacık için boyut tek bir parametre olup, çap olarak verilir. Ancak, parçacık şekli daha karmaşık olduğunda, boyutu tek bir parametre ile belirlemek zordur. Yassı veya pul şeklinde parçacık göz önüne alındığında; boyutu tanımlamak için çap ve genişliğin her ikisi de gereklidir. Toz şekli daha düzensiz olduğunda, olası boyut parametrelerinin sayısı artar.



Şekil 1. Toz parçacıklarının şekil tipleri.

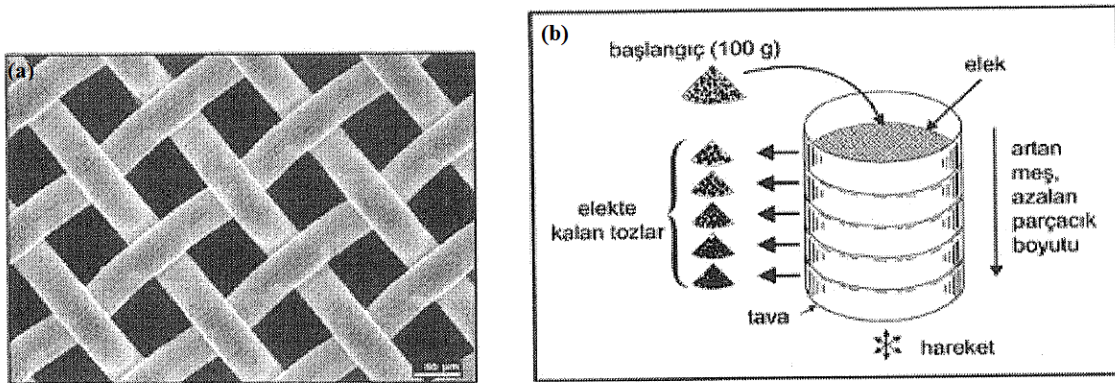
Toz boyutunu ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Her bir yöntemin özelliği farklı olduğundan ölçüm sonuçları arasında farklılıklar bulunabilir. Toz boyut ölçüm yöntemleri şunlardır:

- ❖ Elek analizi
- ❖ Mikroskop ile inceleme
- ❖ Sedimentasyon

- ❖ Işık saçılımı ve kırınımı
- ❖ Elektriksel alan algılaması
- ❖ Işık engelleme
- ❖ X-Işını teknikleri

Elek analizi yöntemi, büyük parçacıkların boyut dağılımının ölçümünde kullanılan bir tekniktir. Eşit aralıklı tellerden oluşan bir kare ızgara eleği oluşturur (Şekil 2a). Elek boyutu birim uzunluktaki tellerin sayısından belirlenir ve mesh olarak adlandırılır. Açıklık boyutu, elek boyutu ile ters orantılı olarak değişir. Büyük elek değeri (325 mesh gibi), küçük açıklık değerini (45  $\mu\text{m}$ ) gösterir. Elek boyutunun belirlenmesinde en yaygın kabul, 1 inçteki tel sayısıdır. Örneğin 200 elek, doğrusal bir inçteki 200 teli ifade eder. Elek çok küçük açıklık boyutlarına gidemez. Parçacık topaklanması ve parçacıkların eleğe adhezyonu sebebiyle çok küçük açıklığa sahip elekler kullanılmaz. Sonuç olarak elek analizi genellikle 38  $\mu\text{m}$ 'den daha büyük parçalar uygulanır.

Elek analizi, eleklerin azalan elek açıklıklarında istiflenmesiyle başlar (Şekil 2b). En küçük açıklık boyutu en alttadır. Toz yığını, en üstteki eleğe konur ve elek takımı 15 dakika süre ile sarsılır. Parçacık boyut analizi için 20 cm çapında elekler kullanıldığında, 100 g toz numunesi genellikle yeterlidir. Titreşimden sonra, her bir boyut aralığındaki toz miktarı tartılır ve aralıktaki yüzde, her bir bölüm için hesaplanır. Bir elekten geçen toz – işareti ile, eleğin üzerinde kalan ise + işareti ile belirtilir. Örneğin, -100 /+200 eleklik toz, 100 boyutlu (150  $\mu\text{m}$ ) bir elekten geçmiş, fakat 200 boyutlu (75  $\mu\text{m}$ ) bir elekten geçmemiştir. Dolayısıyla parçacıklar 150  $\mu\text{m}$  ile 75  $\mu\text{m}$  boyut aralığındadır. 45  $\mu\text{m}$ 'den (325 mesh) küçük tozlar genellikle elek altı toz olarak adlandırılır. Çok kısa eleme süresi, küçük parçacıkların elek serisinin tamamından geçmesi için yetersiz olacaktır. Çok uzun eleme süresi ise parçacıkları aşındıracak, boyut dağılımını belirgin biçimde daha küçük boyutlara doğru kaydıracaktır. Diğer taraftan, çok küçük elek açıklıklarında yapılan aşırı yükleme tozunun elek açıklıklarından geçişine engel olacaktır. Bu durum ise, boyuta ait verileri daha büyük toz boyutu lehine büyütür. Bu zorluklar sebebiyle, standartlaştırılmış test yöntemi kullanılır. Testin tekrarlanabilirliği (aynı kişi aynı test) %1'lik değişim ile iyidir.



Şekil 2. a) kare ızgara eleği, b) elek analizinde kullanılan elekler ve çalışma prensibi.

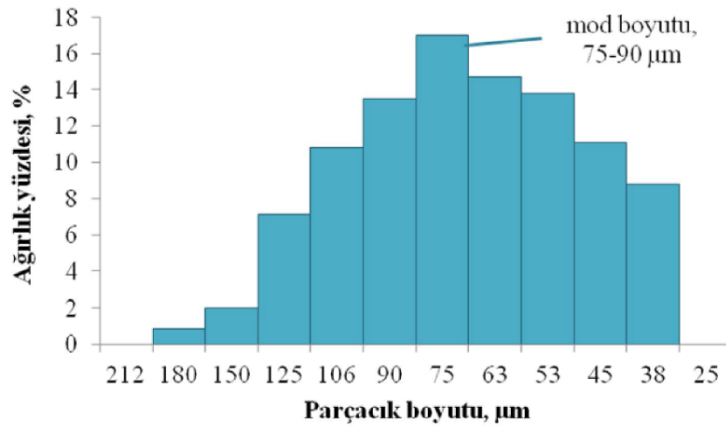
### Parçacık boyutu verileri

Parçacık boyutu verileri toplandıktan sonra dağılım analizi yapılır. Parçacık boyutu dağılımı, her bir boyut artışındaki parçacıkların miktarını gösteren bir histogram veya frekans grafiği olarak verilir. Örnek bir eleme işleminden sonra her bir elekte kalan toz ağırlığını gösteren sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Analizdeki ilk iş, her bir kademedeki ağırlığı toplam numune ağırlığına bölerek verileri kademeli yüzdelere çevirmektir. Bu veriler için histogram, elek açıklık boyutuna karşı kademeli yüzdeler çizdirilerek oluşturulur. Böyle bir çizim Şekil 3’te verilmiştir.

**Tablo 1.** Parçacık dağılım verileri örneği.

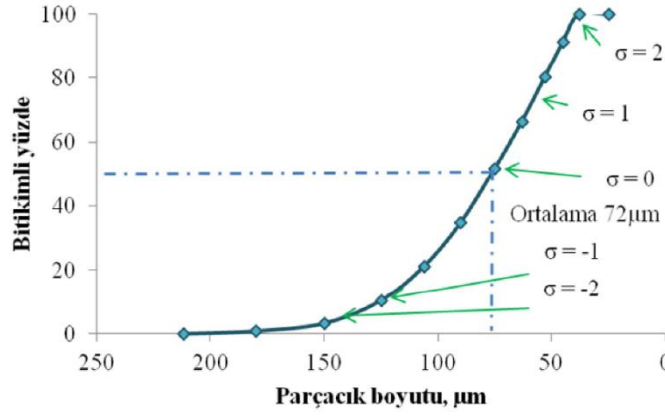
Elek Boyutu	Açıklık, $\mu\text{m}$	Kalan ağırlık, g	Aralık yüzdesi	Birikimli yüzde
70	212	0,0	0,0	0,0
80	180	1,1	0,9	0,9
100	150	3,0	2,0	3,3
120	125	8,7	7,1	10,4
140	106	13,2	10,8	21,2
170	90	16,5	13,5	34,7
200	75	20,8	17,0	51,7
230	63	18,0	14,7	66,4
270	53	16,9	13,8	80,2
325	45	13,6	11,1	91,3
400	38	10,8	8,8	100,0
500	25	0,0	0,0	100,0

Toplam ağırlık:122,6 g



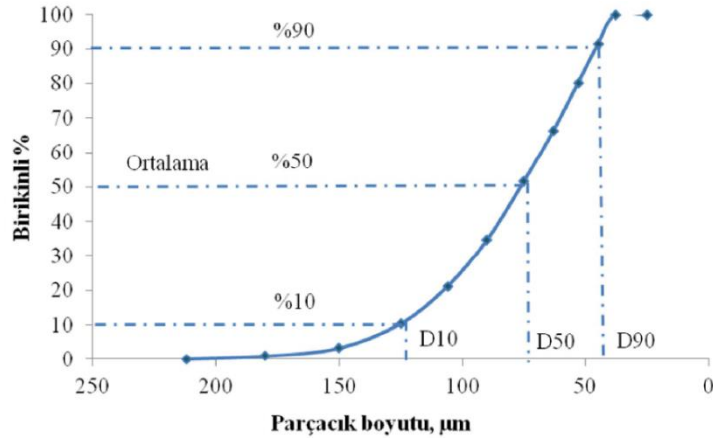
**Şekil 3.** Histogram grafiği (Tablo 1’deki verilere göre).

Kümülatif parçacık boyutu dağılımı, aralıktaki yüzdeleri toplayarak oluşturulur. Düzgün bir kümülatif parçacık boyutu dağılımında, ortalama toz boyutu %50 değerine karşılık gelir. Histogram grafiğinde en yüksek tepe nokta olan parçacık boyutu modu, en çok tekrar eden boyuta gelir. Şekil 4’te Tablo 1’deki veriler kullanılarak çizilen kümülatif parçacık boyut dağılımı grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.** Kümülatif parçacık boyutu dağılımı (Tablo 1'deki verilere göre).

Kümülatif parçacık boyut dağılımı grafiğinde üç boyutlu belirtmek yaygın şekilde uygulanan bir işlemdir. Bunlar %10, %50 ve %90 kümülatif yüzdeye karşılık gelen boyutlardır ve D10, D50 ve D90 olarak belirtilirler. Bu üç nokta Şekil 5'te gösterilmiştir.

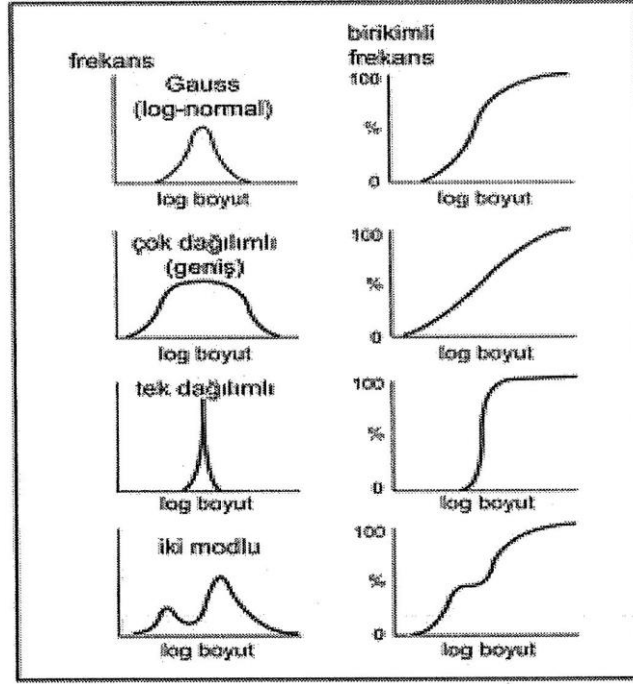


**Şekil 5.** Kümülatif boyut dağılımı eğrisinde %10, %50 ve %90'daki parçacık boyutlarına karşılık gelen D10, D50 ve D90 parçacık boyutları.

### Yaygın Dağılımlar

Parçacık boyutu dağılımları, Şekil 3'te verilenin aksine, çok farklı şekillerde de oluşabilir. Bununla ilgili bazı örnekler Şekil 6'da verilmiştir. Burada, normal dağılım yanında geniş aralıklı (çok dağılımlı), dar (tek boyutlu) dağılımlı ve iki tepe noktasına sahip iki modlu dağılımlar gösterilmiştir.





Şekil 6. Farklı şekillerde oluşan parçacık boyut dağılımının kümülatif ve frekans grafikleri.

## KAYNAKLAR

- 1) İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Malzeme Karakterizasyon Laboratuvarı Dersi föyü.
- 2) Necati Yıldız, 2007. Cevher hazırlama, Ertem Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., ISBN: 978-975-96779-1-6.
- 3) German, R. M. 'Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri', Türk Toz. Metalurjisi Derneği, Temmuz, Ankara, 2007.
- 4) German, R. M., Powder Metallurgy Science, 2nd edition, Metal powder Industries Federation, USA, 1984.
- 6) Metals Handbook, 9th ed., Vol. 7, Ohio,1984, 14–20.
- 7) Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendisliği Laboratuvarı-I Deney Föyü.

## ***DENEY: PİROMETALURJİ***

*Deney sorumluları: Dr. Öğr. Üyesi. Fatih APAYDIN, Arş. Gör. Süleyman CAN*

### **1. AMAÇ**

Bu deneyin amacı, pirometalurjik yöntemler hakkında bilgi sahibi olmak ve bu yöntemlerden karbo-termik redüksiyon işleminin uygulamasını görmektir.

### **2. TEORİK BİLGİ**

Pirometalurjik süreçler, ya kavurma ve kalsinasyon gibi malzemeyi asıl metal kazanım aşaması için hazırlama ya da ergitme, rafinasyon ya da gazlaştırma gibi metalin asıl kazanımı şeklinde uygulanmaktadır. Kullanılan ısı, yakıttan ya da elektrikten sağlanabildiği gibi sürecin ve kazanılan metalin türüne oluşan tepkimeler aracılığıyla sağlanabilmektedir. Uygulanan sıcaklık ve üründe istenen özelliğe bağlı olarak pirometalurjik süreçler,

A) Kavurma

B) Ergitme

olmak üzere iki alt gruba ayrılırlar.

#### **Kavurma (Roasting)**

Katı-Gaz tepkimelerinin olduğu bir süreçtir. Sıcaklık, yalnızca kısmi bir ergime veya yeniden kristallenme oluşturabilecek kadar yüksektir. Kavurma süreci aşağıdaki amaçlarla uygulanmaktadır:

- Cevher veya konsantredeki metal bileşimini daha sonra uygulanacak piro, hidro ya da elektro yöntemine uygun bir kimyasal bileşiğe dönüştürmek,
- İşlenecek metalik cevher – ya da metalik malzeme – içerisindeki bazı safsızlıkları uçurarak uzaklaştırmak,
- Cevher ya da konsantredeki metali, doğrudan gazlaştırma yolu ile redükleme ya da gaz bileşenlerine dönüştürme yoluyla gang kısmından seçimli olarak ayırmak,

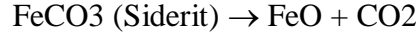
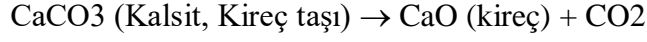
Katı-Gaz fazlarının yoğun olduğu kavurma sürecinin en çok uygulanan bazı yöntemleri şunlardır:

#### **Kalsinasyon Kavurması (Calcining roasting)**

Cevher içerisindeki bazı minerallerin kimyasal olarak alterasyonu gerçekleşir, Kimyasal parçalanma temel tepkimedir. Bu tür kavurma, 200°-250°C sıcaklıklarda sülfatlı mineral alçı taşı jipse,



800°-1200°C sıcaklıklarda karbonatlı minerallere,



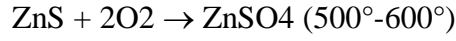
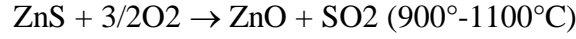
1200°C seviyesindeki sıcaklıklarda oksit türü hidratlara



biçiminde uygulanmaktadır.

### **Oksitleyici Kavurma**

Daha çok sülfürlü cevher veya konsantredeki metal sülfürlerin oksitli bileşiklere dönüştürülmesi (oksitleme) ya da sülfat bileşiklerine dönüştürülmesi (sülfatlama) amacıyla uygulanmaktadır.



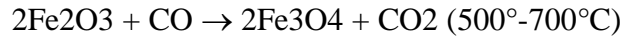
Biçiminde sfaleritin iki değişik türde kavrulması ve



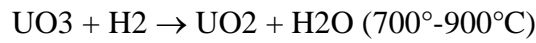
Piritin daha düşük sıcaklıklarda manyetik demir oksit üretmek üzere kavrulması örnek verilebilir.

### **Redükleyici Kavurma**

Manyetik özellik kazandırmak ve redüklemek amacıyla uygulanır. Hematitin ya da yapay demir (III) oksitin kavrulması,

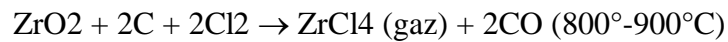


Tepkimesiyle gerçekleşir. Redükleyici kavurma örneğin, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (Pitçblend UO<sub>3</sub>,U<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) gibi uranyum minerallerinin UO<sub>2</sub>'ye dönüştürülmesi süreçleri sırasında uygulanmaktadır.



### **Klorlayıcı, Florlayıcı ve Karbonil kavurma**

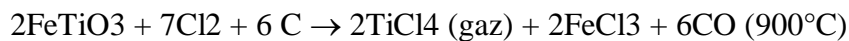
Metal oksit ve metal sülfürlerin klorürlere dönüştürülmesi amacıyla uygulanır. Örneğin zirkonyum oksit, zirkonya,



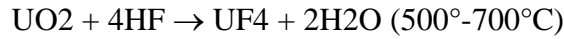
titanyum oksit, rutil,



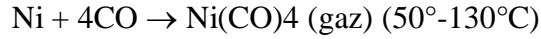
ya da İlmenit,



şeklinde klorür buharları halinde cevherlerinden uçuculaştırılmakta ve buhar, bir yoğunlaştırıcıda soğutulmak yoluyla elde geçirilmektedir. Metal oksitlerin florür bileşiklerine dönüştürülmesine örnek olarak,



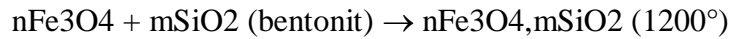
Tepkimesi; metallerin karbon içeren bileşiklere dönüştürülmesine örnek olarak da nikel saflaştırmasında uygulanan ve çok zehirli nikel karbonilin üretildiği



Tepkimesi örnek olarak verilebilir.

### **Sinterleyici kavurma**

Sinterlemede de kavurma şartları kısmen de olsa sağlanır. Ancak, sinterlem sonunda ince tanelerin kısmi ergimeler ya da yeniden kristallenmeler yardımıyla iri taneler haline dönüşmesi gibi önemli ve belirgin bir fark vardır. Toz haldeki tüvenan demir cevherleri ya da konsantre demir cevherleri yüksek fırına beslenmeden önce sinterlenerek daha iri tane boyunda cevher haline getirilmektedir. Sinterleme kavurma işleminden önce toz halindeki cevher, genelde bentonit gibi bir bağlayıcı varlığında (%2-7) peletlenir ve peletler ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda kavrulur. Örneğin, konsantredeki manyetit tanecikleri,



tepkimesindeki gibi her birbirine bağlanmaktadır.

### **KAYNAKÇA**

1. <https://cms.inonu.edu.tr/uploads/contentfile/642/files/Temel-Metalurji.pdf>

# DENEY: KOROZYON

Deney Sorumluları: Dr. Öğr. Üyesi Cihan KURU

## Deneyin Amacı

Bu deneyin amacı öğrencilere korozyonun oluşma mekanizmasını, korozyon hızı ölçümünü ve katodik korumayı öğretmektedir.

## Teorik Bilgi

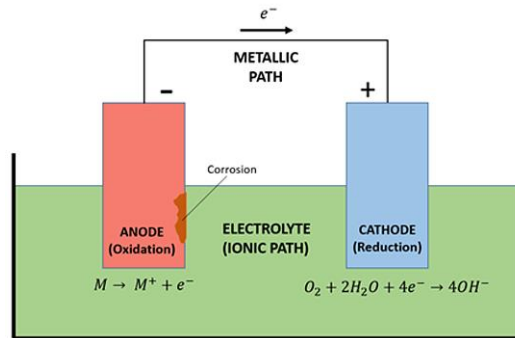
### 1. Korozyon Tanımı

Korozyon bir malzemenin (genellikle metaller) bulunduğu ortamla istenmeyen bir şekilde kimyasal reaksiyona girerek bozunması ve özelliklerini kaybetmesi olayıdır. Bu elektrokimyasal bir süreçtir ve yüzeyde başlar. Korozyon bir fabrikanın altyapısının ve makinelerin bozulmasına yol açabilir. Bu da üretimin durmasına, ürünlerin hatalı çıkmasına ve en önemlisi insan güvenliğinin tehlikeye girmesine neden olur. Bu tür bir durumla karşılaşmamak için ortamdaki korozyon etmenleri ve bozunma hızı ortaya çıkarıldıktan sonra periyodik aralıklarla korozyon kontrolleri ve bakımları yapılmalıdır.

### 2. Metaller Neden Korozyona Uğrar?

Doğada saf metal bulunmaz, metaller mineraller halinde bulunurlar ve saflaştırma işleminden sonra kullanılırlar. Doğada saf metallerin bileşikler halinde bulunmasının nedeni metallerin bu formlarının termodinamik olarak daha kararlı olmasından kaynaklanır. Aslında korozyona uğrayan saf metaller doğadaki bulunan kararlı formlarına geri dönmüş olur. Bir metali saflaştırmak için enerji kullanılır. Ancak korozyonda ise enerji açığa çıkar. Bu da korozyonun kararlı olan duruma yol açtığını gösterir.

### 3. Korozyonun Oluşum Mekanizması



Şekil 1. Galvanik korozyon hücresinin şematik gösterimi.

Şekil 1’ de bir korozyon sistemi şematik olarak gösterilmektedir. Bir korozyon sistemi anot, katot, elektroliti ve anotla katot arasındaki elektriksel bağlantıdan oluşur. Korozyon bir elektrokimyasal süreçtir, elektronların bir maddeden diğerine aktarılmasıyla oluşan bir kimyasal reaksiyon. Korozyon bir oksidasyon ve indirgenme reaksiyonu içerir. Bu reaksiyonlara yarı reaksiyonlar da denir. Elektron verme işlemine oksidasyon ve alma işlemine de indirgenme denir. Elektron veren elektrotta anot ve alan elektrotta da katot denir. Korozyonun gerçekleşebilmesi için anotla katot arasında bir potansiyel farkının bulunması gerekir. Bu potansiyel farkı elektronların korozyon hücresi boyunca hareket etmesini ve

reaksiyonların gerçekleşmesini sağlar. Bunlardan birinin elimine edilmesi korozyonu durdurur. Doğal ortamda korozyonun gerçekleşebilmesi için ortamın da iletken olması gerekir. Toprak ya da suyun korozifliği iletkenliği ile ilişkilidir. Bu yüzden deniz suyu daha koroziftir. Bir metali tatlı suya göre 10 kat daha hızlı korozyona uğratabilir. Korozyon anotta meydana gelir. Korozyona uğrayan elektrot iyonlar halinde çözültüye karışır.

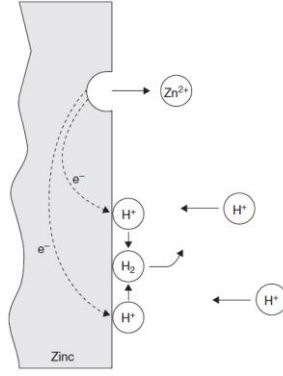
Bir elektrolit içerisine daldırılmış aralarında elektriksel bağlantı olan farklı iki cins anot ve katottan oluşan korozyon sistemine galvanik çift denir. Her iki metal arasında, enerji seviyelerinin farklılığından dolayı bir potansiyel farkı oluşur ve korozyona neden olan etken bu potansiyel farkıdır. Galvanik çiftlerde daha aktif olan metal anot olur ve korozyona uğrayan taraftır. Daha az aktif olan metalin yüzeyinde ise indirgenme reaksiyonu gerçekleşir. Bu tür bir korozyona galvanik korozyon denir.

<i>Electrode Reaction</i>	<i>Standard Electrode Potential, V<sup>0</sup>(V)</i>
$\text{Au}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Au}$	+1.420
$\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4e^{-} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
$\text{Pt}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Pt}$	~+1.2
$\text{Ag}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{Ag}$	+0.800
$\text{Fe}^{3+} + e^{-} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^{-} \longrightarrow 4(\text{OH}^{-})$	+0.401
$\text{Cu}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Cu}$	+0.340
$2\text{H}^{+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{H}_2$	0.000
$\text{Pb}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Pb}$	-0.126
$\text{Sn}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Sn}$	-0.136
$\text{Ni}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Ni}$	-0.250
$\text{Co}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Co}$	-0.277
$\text{Cd}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Cd}$	-0.403
$\text{Fe}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Fe}$	-0.440
$\text{Cr}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Cr}$	-0.744
$\text{Zn}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Zn}$	-0.763
$\text{Al}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Al}$	-1.662
$\text{Mg}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Mg}$	-2.363
$\text{Na}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{Na}$	-2.714
$\text{K}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{K}$	-2.924

**Tablo 1.** Bazı metallerin standart elektrot potansiyelleri.

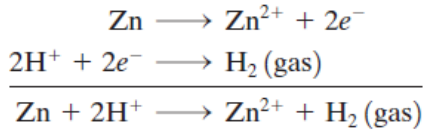
Yukarıdaki tabloda bazı metallerin standart hidrojen elektrot potansiyelleri görülmektedir. Bu tablodaki değerler metallerin aktifliklerini kıyaslamada kullanılabilir. Tabloda aşağıya doğru inildikçe metallerin aktifliği artmaktadır. Örneğin, magnezyum ve demirden oluşan bir galvanik çiftte magnezyum daha aktif olduğundan korozyona uğrayan taraftır.

Korozyon tek bir cins metalin yüzeyinde de gerçekleşebilir. Bu durumda sadece anot varmış gibi görünebilir. Ancak gerçekte durum böyle değildir. Metal yüzeyinde farklı aktifliğe sahip olan mikro düzeyde anot ve katot bölgeleri bulunur. Daha aktif olan bölgeler elektron vererek metal iyonları halinde çözültüye karışır. Ortaya çıkan elektronlar katot bölgelerine taşınarak burada indirgenme reaksiyonunda kullanılır (Şekil 2). Örneğin stresin bulunduğu bölgeler, tane sınırları, kristal hatalarının bulunduğu bölgeler anot gibi davranır ve korozyona uğrayan taraftır. Bunun yanında yüzeydeki oksijen konsantrasyonunun değişmesi, sıcaklığın değişmesi gibi etmenler de metal yüzeyinde anot ve katot bölgeleri meydana getirebilir.

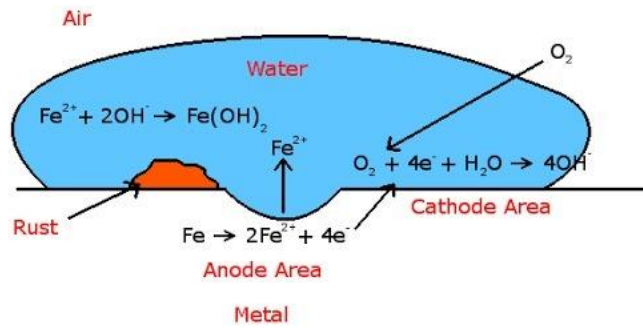


**Şekil 2.** Tek bir cins metalden oluşan korozyon sisteminin şematik gösterimi.

Asitlerde korozyon reaksiyonunda anot oksidasyon reaksiyonunda elektron kaybeder ve metal iyonları oluşur. Ortaya çıkan elektronlar katoda ve buradan da çözeltilerdeki hidrojen iyonlarına akar ve böylece indirgenme reaksiyonu oluşur. İndirgenme reaksiyonunun neticesinde hidrojen gazı ortaya çıkar.



Nötr çözeltilerdeki korozyon reaksiyonu ise biraz daha karmaşıktır. Örneğin, demirin tuzlu sudaki reaksiyonunu inceleyebiliriz. Buna aynı zamanda demirin paslanma reaksiyonu da denir (Şekil 3). Anotta demir atomları oksidasyon reaksiyonu sonucu demir iyonları halinde çözeltilere karışır. Ortaya çıkan elektronlar su ve oksijenle reaksiyona girerek OH<sup>-</sup> iyonları oluşturur. Bu iyonlar daha sonra çözeltilere karışan demir iyonlarıyla reaksiyona girer ve pas denilen demir hidroksit bileşiğini oluşturur. Pas demir yüzeyinde çökelekler oluşturarak yüzeyi belirli bir süre sonra pasifleştirir. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için suda çözülmüş oksijenin bulunması şarttır.

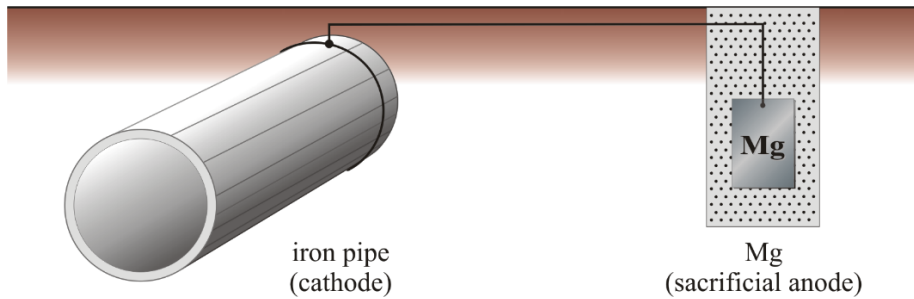


**Şekil 3.** Demirin paslanma reaksiyonu.

#### 4. Katodik Koruma

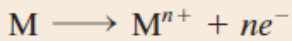
Bilindiği gibi korozyon anotta meydana gelmektedir. Metalik malzemeyi katot yaparak korozyon engellenebilir. Bu iki şekilde sağlanabilir:

**1-) Kurbanlı katodik koruma:** Korumak istediğimiz malzemenin yüzeyi kendisinden daha aktif olan bir malzemeyle kaplandığında ya da daha aktif olan bir malzemeyle elektriksel bağlantı yapıldığında aktif olan malzeme anot görevi göreceğinden korunmak istenen malzeme katot durumuna geçer (Şekil 4). Bu durumda sadece kurban malzemede korozyon meydana gelir. En çok kullanılan kurban malzemeler magnezyum, çinko, alüminyum ve bunların alaşımlarıdır. Bunların içerisinde en etkili olanı magnezyumdur çünkü en aktif olan metal magnezyumdur. Genellikle toprak korozyonundan korunmak için yeraltı borularına uygulanır. Bunun yanında gemi gövdelerini, iskele ayaklarını korumak için de bu yöntem kullanılır. Kurban malzeme tükendiğinde yerine yenisi koyulur. Galvanize çelik kurban kaplamalı katodik korumaya güzel bir örnektir. Çelik sıcak daldırma yöntemi ile galvanize edilebilir.



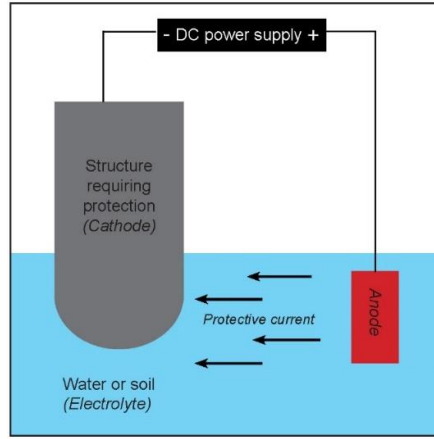
Şekil 4. Kurbanlı katodik koruma.

#### 2-) Bir güç kaynağı ile katodik koruma:



Korozyon yukarıdaki reaksiyona göre gerçekleşir. Korozyona uğrayan metal bir güç kaynağının negatif kutbuna bağlandığında yani katot durumuna geçtiğinde güç kaynağı metale elektron sağlayacağından yukarıdaki reaksiyon tersine döner ve korozyon böylece engellenir (Şekil 5). Bu tür bir sistemde güç kaynağının negatif kutbuna bağlanan metal katot görevi görürken pozitif kutbuna ise grafit gibi bir inert elektrot bağlanır. Grafit anot olmasına rağmen korozyona uğramaz çünkü kimyasal olarak kararlıdır. Uzun süreli kullanım sağlar. Güç kaynağı olarak DC güç kaynakları kullanılır. Şehir şebekesi kullanılacaksa bir doğrultucu ile birlikte kullanılmalıdır. Bu tür koruma büyük yapılar ve uzun süreli koruma için daha uygundur.





Şekil 5. Bir güç kaynağı ile katodik koruma.

## 5. Korozyon Hızının Hesaplanması

Öncelikle elde edilen korozyon akımı değerleri kullanılarak Faraday Yasası'ndan g cinsinden 1 yılda ne kadar maddenin korozyona uğradığı hesaplanır.

$$W = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot n}$$

W: Korozyona uğrayan madde miktarı (g)

I: Korozyon akımı (A)

t: Zaman (saniye)

M: Korozyona uğrayan malzemenin molar kütlesi ( $M_{Fe} = 55.85 \text{ g/mol}$ )

F: Faraday sabiti (96500 A.s/mol)

n: oksidasyon reaksiyonunda ortaya çıkan elektron sayısı

Daha sonra korozyonun homojen bir şekilde gerçekleştiği varsayılarak korozyona uğrayan madde miktarı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak kalınlık cinsinden hesaplanır. Elde edilen değer 1 yılda kalınlık cinsinden korozyon miktarıdır.

$$d = m / A \cdot t$$

d: özkütle (demirin özkütlesi= $7.87 \text{ g/cm}^3$ )

A: numunenin alanı

t: kalınlık cinsinden korozyon miktarı

## Deneyin Yapılışı

### Deney 1. Çeliğin Korozyon Akımının Ölçülmesi

1. 50 mL' lik 1 M NaCl ve 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi hazırlayın.
2. Hazırlanan NaCl çözeltisini korozyon hücresine boşaltın.
3. Bir parça çelik levha, Ag/AgCl ve karbon elektrotları korozyon hücresinde yerlerine yerleştirdikten sonra ölçüm için çalışma elektrotu, referans elektrot ve karşıt elektrot bağlantılarını yapın.
4. Ölçümlerde kullanılacak olan potansiyostat cihazını ve cihazı kontrol eden Gamry Framework arayüzünü çalıştırın.
5. Experiment>DC Corrosion>Tafel Scan seçin.
6. Default olarak verilen ölçüm parametrelerini kullanın.
7. Daha sonra elde edilen datadan Gamry Analyst programını kullanarak korozyon akımını elde edin.
8. Aynı deneyi çözeltiyi 15 dakika boyunca azot gazı ile doyurduktan sonra tekrar edin.
9. Elde edilen korozyon akımı değerlerini not edin.

Elektrolit	Korozyon akımı
Tuzlu su	
Azot gazı ile doyurulmuş tuzlu su	

### Deney 2. Kurbanlı Katodik Koruma

1. Bir parça çeliği 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisine daldırın ve korozyon olayını gözlemleyin.
2. Daha sonra aynı çelik parçasını krokodil ile bir çinko parçasına elektriksel olarak bağlayın ve çözeltiye yerleştirin.
3. Gözlemlerinizi not edin.

### Deney 3. Güç Kaynağı İle Katodik Koruma

1. Çelik parçasını ve karbon elektrotu 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisine daldırdıktan sonra sırasıyla bir güç kaynağının negatif ve pozitif kutbuna bağlayın.
2. Güç kaynağının uyguladığı voltaj değerini sıfıra ayarlayın ve gözlemlerinizi not edin.
3. Daha sonra güç kaynağının uyguladığı voltaj değerini yavaş yavaş arttırın ve gözlemlerinizi not edin.

### Sorular

1. Deney 1' de elde edilen korozyon akımı değerlerini kullanarak korozyon hızını mm/yıl cinsinden hesaplayınız.
2. Deney 1' de azot ile doyurulmuş NaCl çözeltisindeki korozyon akımının değerinin neden düşük çıktığını açıklayınız.

3. Deney 2' de elik parçasının çinkoya bağlanmasından sonra neden elik yüzeyinde gaz oluşumu gözlenmediğini açıklayınız.
4. Deney 3' te voltaj belirli bir değere ulaştığında elik yüzeyinde gaz oluşumunun durma nedenini açıklayınız.
5. Korozyondan korunmak için kullanılan yöntemleri açıklayınız.

# **DENEY: KUM KALIBA METAL DÖKÜM ve ISIL İŞLEM (GÜNCELLENECEKTİR)**

*Deney sorumluları: Yrd. Doç. Dr. Şenol AVCI, Arş. Gör. Alican ATAMAN*

## **1. AMAÇ**

Bu deneyin amacı, kum kalıba metal döküm yönteminin önemli parametrelerini öğrenmek, uygulamasını yapmak ve önemli bir ısıl işlem deneyi olan jominy uçtan su verme yönteminin uygulamasını görmektir.

## **2. TEORİK BİLGİ**

Döküm, sıvı haldeki bir malzemenin boşluklu bir kalıba dökülmesi ve kalıp içerisinde soğuyup katılaşıma kadar beklenmesi aşamalarını içeren bir şekillendirme yöntemidir. Dökülen malzeme çoğunlukla metal olabileceği gibi seramik ve epoxy gibi farklı malzemeler de olabilmektedir [1].

İstenen özelliklere sahip sağlam bir döküm elde etmek için beş ana ilke göz önünde tutulur [2]:

- Seçilen döküm yöntemine göre kalıp ve maça hazırlama özelliklerinin belirlenmesi ve kontrolü,
- İstenen alasının hazırlanması, uygun ergitme ünitesinin seçimi, ergitme ve gerekli uygulamaların (gaz giderme, modifikasyon, asılama vb.) yapılması,
- Sıvı metalin kalıba uygun şekilde ve akışkanlıkta girişinin sağlanması,
- Çekirdeklenme, katılma ve dolayısıyla döküm yapısının kontrolü,
- Katılan metaldeki büzülmeyle karşılayacak sıvı metalin uygun şekilde beslenmesi.

### **Döküm Yoluyla Şekil Vermenin Avantajları:**

Metallere şekil vermenin değişik yolları vardır; döküm, mekanik şekillendirme, talaşlı imalat, kaynak vb. Döküm yoluyla şekil vermenin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [2]:

- İçten ve dıştan girintili ve karışık olan şekiller döküm yoluyla elde edilebilir. Talas kaldırma, kaynak vb. işlemlere ya çok az ya da hiç ihtiyaç olmayabilir.
- Konstrüksiyonda basitlik kazandırır, istenen şekiller tek parça halinde elde edilebilir.
- Büyük miktarda seri üretime uygun olup çok sayıda parça kısa zamanda elde edilebilir.
- Bazı alaşımların döküm halindeki özellikleri tercih edilir. Örneğin dökme demirlerin işlenebilme ve titreşim söndürme kabiliyeti gibi. Ayrıca dökümlerde yön itibarıyla düzenli özellik dağılımı da önemlidir. Bazı metal veya alaşımlar (dökme demirler) ise metalürjik özellikleri nedeniyle sadece döküm yoluyla şekillendirilebilirler.

- Büyük pompa muhafazaları, büyük ring veya valfler gibi üretimi zor veya ekonomik açıdan imkânsız olan büyük şekiller döküm yoluyla elde edilebilirler.
- Döküm işlemi diğer şekil verme yöntemleri veya işlemlerine göre daha ekonomiktir.

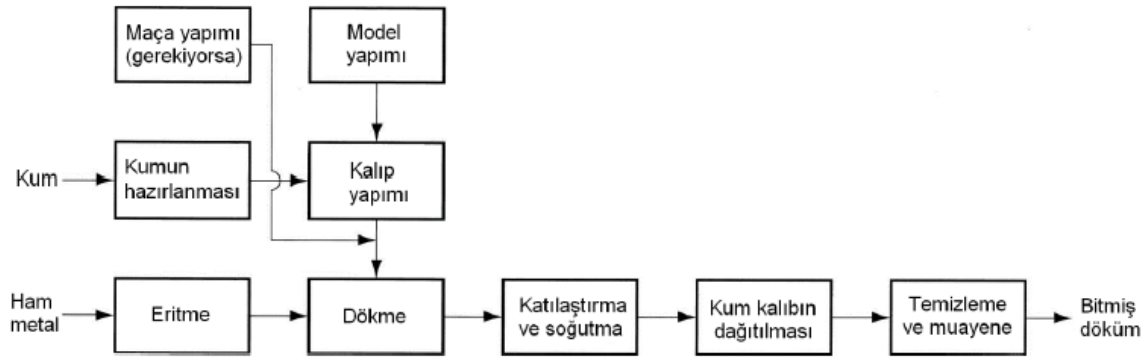
**Tablo 1.** Başlıca döküm alaşımları [3].

<b>Alaşım Grubu</b>	<b>Ana Alaşım Tipleri</b>	<b>Önemli Bazı Alaşım Elementleri</b>
Dökme Demirler	Gri Dökme Demir Temper Dökme Demir Küresel Grafitli Dökme Demir	C, Si, P, Ni, Cr
Çelikler	Karbon çelikleri ve az alasmıli çelikler Yüksek alasmıli çelikler (Paslanmaz, ısıya dayanıklı)	C, Mn Cr, Ni, Mo
Bakır Esaslı Alaşımlar	Pirinçler (Yüksek mukavemetli pirinçler) Çeşitli bronzlar (Al ve Si bronzları)	Zn, Sn, P Pb, Ni, Al, Fe, Mn, Si
Alüminyum Esaslı Alaşımlar	Kum kalıba, metal kalıba ve basınçlı döküme uygun alaşımlar	Si, Cu, Mg, Mn, Zn, Ni
Magnezyum Esaslı Alaşımlar	Kum kalıba, metal kalıba ve basınçlı döküme uygun alaşımlar.	Al, Zn, Zr, Mn ve Nadir Toprak elementleri
Çinko Esaslı Alaşımlar	Basınçlı döküme uygun alaşımlar	Al, Mg, Cu
Nikel Esaslı Alaşımlar	Yüksek sıcaklığa dayanıklı korozyon direnci yüksek alaşımlar	

Diğerleri	Kursun ve Kalay esaslı alaşımlar (özellikle yatak alaşımları) Isı, korozyon ve aşınma direnci için kobalt esaslı alaşımlar Daimî mıknatıs alaşımları Diğer yüksek sıcaklık ve korozyon direnci gösteren alaşımlar	Sn, Pb, Sb, Cu  Cr, Ni, Mo, Co W,Nb  Fe, Co, Ni, Al    Ti, Cr, Mo
-----------	--	---

## 2.1. Kum Kalıba Döküm

Kum kalıba döküm, istenilen şekildeki ürüne göre, kum kullanılarak hazırlanmış kalıba ergiyik metalin dökülmesi ve kalıp içerisinde katılaşması aşamalarını kapsayan şekillendirme yöntemidir. Metal dökümlerinin yaklaşık %70'i bu yöntem ile yapılmaktadır [4].



Şekil 1. Kum kalıba döküm akış şeması [5].

### 2.1.1. Yaş Kum Kalıba Döküm

Kum kalıba döküm daha ziyade yaş kum ile hazırlanan kalıplarla gerçekleştirilir. Yaş kum: SiO<sub>2</sub> tanecikleri, kil, su ve diğer ilavelerin meydana getirdiği plastik bir karışımdır. <yaş> terimi ihtiva ettiği nem yüzünden verilmiş olup kuru kum karışımından olan farkını belirtmektedir. Yaş kum kalıbın başlıca avantajları, büyük esnekliği yanında kil, su ve diğer ilavelerin (pülverize kömür, dekstrin, odun talaşı vb.) tazelenmesi ile defalarca kullanılabilmesi ve en ucuz kalıplama yöntemidir. Yaş kum kalıba döküm yöntemi, kalıbın daha yüksek mukavemet ve erozyon direncine sahip olması gerektiği durumlarda (ince, uzun girintili ve çıkıntılı parçalar, karışık şekilli ve iri dökümler vb.) ve daha yüksek boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesinin istendiği hallerde sınırlanır. Bu durumlarda diğer kalıp türleri tercih edebilir [6].

### 2.1.2 Kuru Kum Kalıba Döküm

Yaş kum ile hazırlanan kalıp, fırın içinde(150-350°C) sıcaklığa ısıtılmış hava ile kurularak mukavemet kazanır. Genellikle kalıp boşluğu yüzeyine püskürtülen sıvı karışım, kalıba kurutma sonrası daha yüksek sertlik ve refrakterlik özelliği sağlar. Kurutmada

kaybedilen zaman başlıca dezavantajı teşkil eder. Kalıp boşluk yüzeyinin 2-2,5 cm derinliğine kadar kurutulması ile hazırlanan <kabuk kurutulmuş> (skindried) kalıplar, kuru kum kalıp yönteminin bir başka türü olmaktadır. Kuru kum kalıplarda serbest nem buharı olmadığından kalıp havalandırması problemi çok azalmaktadır. Daha düşük geçirgenlikli kumların kullanılabilmesi, bu yöntemle daha iyi döküm yüzeyi elde etmek imkânı sağlar. Yaş kum kalıp yöntemine nazaran, nem kontrolü daha az kritiktir. Ayrıca kalıbın dökümden önce bir müddet beklemesi, yaş kum kalıplarda olduğu gibi koruma ve yüzeyin gevrekleşmesi gibi sorunlara yol açmaz. Kurutma işlemi 400°C'nin üstünde yapıldığında bağlanmış suyun kaybı, killerin mukavemet özellikleri üzerinde yıkıcı bir etki yapacaktır. Dolayısıyla bu üst sınırın kesinlikle aşılmaması gerekir. Yüzey kurutmada, ısıtma esnasında buharlaşan nem, kum içinde her yönde yayılabileceğinden, kurutma kendi kendine havada fakat bir ısı kaynağı ile yapıldığında, sıcaklık artışına paralel olarak önemli oranda bölgesel nem konsantrasyonu meydana gelebilir. Bunun nedeni, ısıtılan yüzeyden uzak, soğuk bölgedeki yoğunlaşma olayıdır.

Oda sıcaklığında nem yalnız kurutulan yüzeyden dışarı çıkar, oysa daha yüksek sıcaklıklara da nemin hareketi her iki yönde olmakta ve yoğunlaşma bölgeleri meydana gelmektedir. Bu bölgelerde nem oranının, orijinal değerinin %60 üzerinde bir değere ulaşabildiği gösterilmiştir. Dolayısı ile bu tür kısmen kurutulmuş kalıplarda, vakit kaybetmeden döküme geçmek gereklidir. Yüzey kurutma işlemi hamlaçlar, ısıtıcı lambalar veya elektrikli ısıtıcı elemanlarla yapılabilir. Havadan tekrar nem kapmak ki bu yalnız havadan değil, kurutulmamış kısımlardan gelen nemi de içerir, kurutma işleminden sonraki ilk 24 saat içinde yaklaşık olarak %0,5-0.8 oranları da nem olacak şekilde meydana gelir. Nemdeki bu yükseliş mukavemette bir azalmaya neden olmakla beraber çok kısa süreli bir ısıtma ile giderilebilir [6].

Bu süreç 6 adımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Kalıp oluşturmak için kum içerisine istenen şekle uygun model yerleştirilir.
- Model ve kum yolluk sistemi içerisinde birleştirilir.
- Model uzaklaştırılır.
- Kalıp boşluğu ergiyik metal ile doldurulur.
- Metalin soğuması beklenir.
- Kum kalıp kırılarak ayrılır ve döküm uzaklaştırılır.

## **2.2 Kalıplama Sistemi**

Kalıp boşluğunun meydana getirilmesi için kumdan kalıp yapımına kalıplama denir. Kalıplama sistemini oluşturan unsurların başında maçalar, yolluk sistemi, besleyici ve çıkıcılar gelir.

### **2.2.1. Maçalar**

Döküm parçaların boş çıkması istenen kısımlarına konulan ve özel şekilde hazırlanmış ölçülü kum kütlelerine maça denir. Kalıplamada kum maçaların kullanım alanının oldukça geniş olmasına rağmen madenden yapılan maçalarda vardır. Madeni maçalar genellikle kokil kalıplarda kullanılır. Maçalar döküm parçada makine işçiliğini azaltırlar. Konstrüksiyon

bakımından farklı kesitlerdeki soğumaları dengeleyerek döküm parçaya sağlamlık kazandırır. Kalıplama işçiliğini kolaylaştırır. Maçalardan istenen özellikler kısaca şöyledir [6]:

- Dayanıklı olmalıdırlar
- Gaz geçirgen olmalıdırlar
- Isıya dayanıklı olmalıdırlar
- Esneyebilmelidirler
- Nem almamalıdırlar
- Dökümden sonra kolayca boşalabilmelidirler

### **2.2.2. Yolluk Sistemi**

Ergiyik madenin kalıp boşluğuna gidişini sağlayan kanalların toplamına yolluk sistemi denir. Yolluk sistemleri dökülen parçanın biçim ve boyutları ile alaşımına göre çeşitli şekillerde olurlar. Bir yolluk 4 bölümden meydana gelir. Bunlar havşa, gidici, curufluk (veya yatay kanal) ve memedir. Yolluk sisteminin görevleri şunlardır [6]:

- Kalıbın tam ve kusursuz olarak doldurulmasını sağlamak
- Cüruf, oksit ve pisliklerin kalıp içerisine sürüklenmesini önlemek
- Madenin akışında çarpma ve çalkantılar meydana getirmemek
- Madenin akış hızını ayarlamak
- Soğuma ve katılaşmanın dengeli bir biçimde olmasını sağlamak
- Hava ve diğer gazların kalıp içerisine sürüklenip sıvı metalle temasını engellemek kalıp işçiliğini arttırmamak
- Maden kaybını en aza indirmemek
- Aşırı ısı kaybına neden olmamak

### **2.2.3. Besleyici**

Kalıba dökülen maden ve alaşımlar soğuyup katılaşırken hacimleri küçülür. Bunun sonucu olarak çöküntü adı verilen boşluklar oluşur. Çöküntüler hatalı dökümlere sebep olur. Çöküntüsüz döküm parça elde etmek için kalıbın uygun yerlerine besleyici adı verilen ergiyik maden kütleleri bağlanır. Hacim küçülmesinden meydana gelen çöküntüler besleyiciden gelen ergiyik madenle beslenirler. Besleyiciler çok defa çöküntüyü önlemez ancak parça dışına çıkarırlar. Çöküntü besleyicide oluşur [6].

### **2.2.4. Çıkıcı**

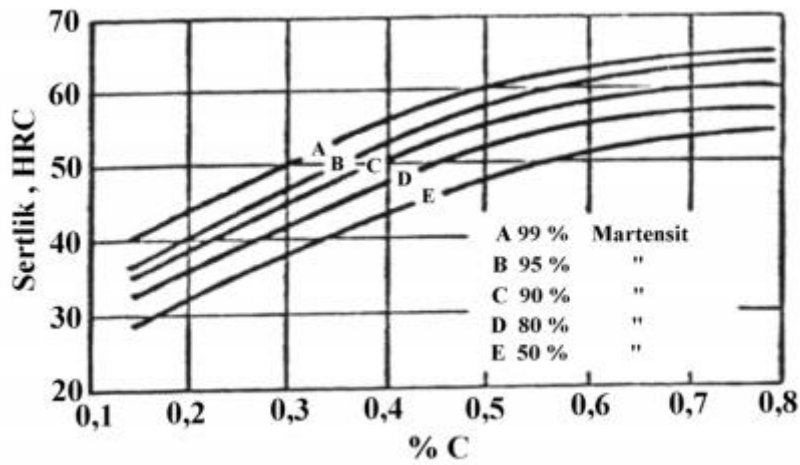
Döküm sırasında kalıp gazlarının kalıptan dışarı çıkması için açılan kanallara çıkıcı denir. Kalıp gazları kalıp boşluğundaki hava ile döküm sırasında meydana gelen su buharı ve diğer gazların karışımıdır. Kalıp sıvı madenle dolarken, kalıp gazları giderek küçülen kalıp boşluğuna sıkışırlar. Kalıp içerisinde bir basınç meydana getirirler. Bu basınç ve kalıptan



çıkılmayıp içeride kalan gazlar, çeşitli döküm hatalarına sebep olabilir. Sıkışan gazlar, kalıp kumunun gözenekleri ve şiş delikleri ile kalıp boşluğunu terk ederler. Ancak yeterli olmadığı zaman uygun yerlere açılacak çukurluklardan yararlanılır [6].

### 2.3 Jominy Uçtan Su Verme ile Sertleşebilirlik

Kritik soğuma hızı, TTT diyagramlarında burun noktasını kesmeden sağlanan en düşük soğuma hızıdır. Su verme işleminde uygulanan soğuma hızı, kritik soğuma hızından daha yüksek ise, perlit ve beynit dönüşümü tamamen engellenerek martensit yapısı oluşur. Eğer soğuma hızı kritik soğuma hızından daha düşük ise en son yapıdaki martensitin miktarı ve buna bağlı olarak ta sertlik azalır. Bu yolla sağlanan sertlik değeri çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Östenitleme işleminden sonra karbür olarak kalan karbon, martensit reaksiyonunda yer almadığı için sertliğe etki etmez. Şekil 2, martensit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişkiyi göstermektedir [6].



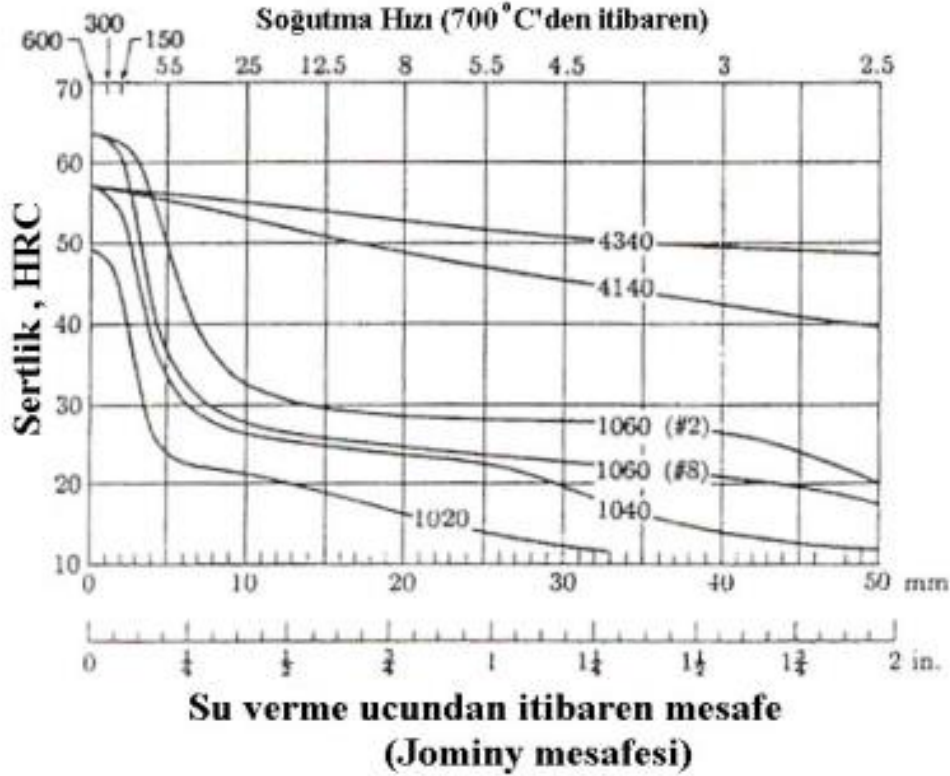
Şekil 2. Martensit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişki.

Sertleşebilirlik, su verme işlemi sonucu yapısı martensite dönüşen bir çeliğin sertleşme kabiliyeti olarak tanımlanır. Sertleşebilirlik deneyleri su verme ile elde edilen sertlik derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Bu derinlik, martensit miktarının yüzeyden itibaren yarıya indiği ya da %50 martensit ve beynitin var olduğu mesafe olarak ifade edilmektedir. Yüksek sertleşebilirliğe sahip bir çeliğin karakteristik özelliği, yüksek sertleşme derinliği göstermesi veya büyük parçalar halindeyken bile tam olarak sertleşebilmesidir. Sertleşebilirlik ile sertlik farklı kavramlardır. Maksimum sertlik çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Sertleşebilirlik ise çeliğin kimyasal bileşimine (karbon ve alaşım elementleri) ve su verme sırasında ostenit tane boyutuna bağlıdır [6].

Çelik parçanın boyutları arttığı zaman soğuma hızı düşer ve çekirdek sertliği, ferrit ve perlit gibi fazların oluşumuna bağlı olarak azalır. Soğuma eğrisi, kritik soğuma hızının sağına kaydığında ise yüzey sertliğinde de azalma olur. Temel sertleşebilirlik verileri çelik tüketicileri ve ısıtım işlemcileri için önemlidir. Bu nedenle sertleşebilirliğin saptanabileceği çok sayıda basit yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri Grossman sertleşebilirlik deneyi diğeri ise Jominy uçtan su verme deneyidir. Çeliklerin sertleşebilirliklerinin ölçülmesinde Jominy uçtan su verme deneyi Grossman deneyine göre daha pratik ve daha az maliyetlidir [6].

Şekil 3'te 4140, 4340, 1040, 1020 ve 1060 çeliklerinin tipik Jominy eğrileri verilmektedir. Burada alaşımli çeliklerin sertleşebilme kabiliyetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yüksek sertlik martensit yapısında, daha düşük sertlik ise beyrit ve ferrit + perlit yapısında sağlanmaktadır [3].



Şekil 3. 4140, 4340, 1040, 1020 ve 1060 çeliklerinin tipik Jominy eğrileri.

### 2.3.1. Şertleşebilirliğe Etki Eden Faktörler

Alaşım elementlerinden şertleşebilirliği en fazla C, B, Cr, Mn, Mo, Si ve Ni etkiler.

Karbon, martensitin sertliğini kontrol eder. Çelikte %0,6'ya kadar C içeriği arttığında çeliğin sertliği artar. Daha yüksek seviyelerdeki karbon içeriği olduğu durumda, ostenitten martensite dönüşüm tamamlanamaz. Bu da yapıda kalıntı ostenit bulunmasına sebep olur. Bu durumda yapıda martensitin yanında ostenit bulunacağından sertlik daha düşük seviyelerde kalır. Karbon miktarının yüksek olması malzemenin daha gevrek bir davranış göstermesine neden olur ve daha sonra yapılacak olan işlemlerde sorunlar yaratabilir. Bu yüzden %0,4 C'a kadar olan çeliklerde şertleşebilirlik kontrolü daha kolaydır.

Bor, %0,002-0,003 oranında çeliğe ilave edildiğinde %0,5 Mo ilavesindeki etkiyi gösterir. Bor düşük karbonlu çeliklere ilave edildiğinde şertleşebilirlikte en büyük etkiyi gösterir.

Cr, Mo, Mn, Si, Ni ilaveleri çelikte ostenitten ferrit ve perlite dönüşümü geciktirir. Bu elementler ara yüzeyde tane büyümesini engelleyerek şertleşebilirliği arttırırlar.

Ostenit tane boyutunun artması ile şertleşebilirlik artar. Ferrit ve perlitin çekirdekleşmesi ostenit tane sınırında heterojen çekirdekleşme ile gerçekleşir. Ostenit tane boyutunun artması çekirdekleşme için gereken bölgenin daha az olmasını sağlar ve faz dönüşümü gecikir. Bu yüzden ostenitleme sıcaklığı yüksek seçilerek tane boyutunun büyük olması sağlanabilir. Bu durumda mikroyapı bir miktar kabalaşır, tokluk düşer [6].

## **KAYNAKÇA**

1. Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2003), Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.), Wiley, p. 277, [ISBN 0-471-65653-4](#).
2. Heine, R. W., Loper, C. R., & Rosenthal, P. C. (1955). Principles of metal casting. Tata McGraw-Hill Education.
3. Metals Handbook, ASM.
4. Fu, Q. I. A. N. G., Rao, G. R., Ista, L. K., Wu, Y. A. N. G., Andrzejewski, B. P., Sklar, L. A., & López, G. P. (2003). Control of molecular transport through stimuli-responsive ordered mesoporous materials. *Advanced Materials*, 15(15), 1262-1266.
5. Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M., Altunpark, Y., “Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri”, Seçkin yayın evi, Birinci Baskı, Nisan, 2011, Ankara.
6. “Genel dökümcülük bilgisi Cilt 1 ve 2, Sabri FİDANER, Süleyman ÇELİK, Halil DOĞMUŞ
7. İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Föyü.

# **DENEY: SERAMİK SİNERLEME VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ**

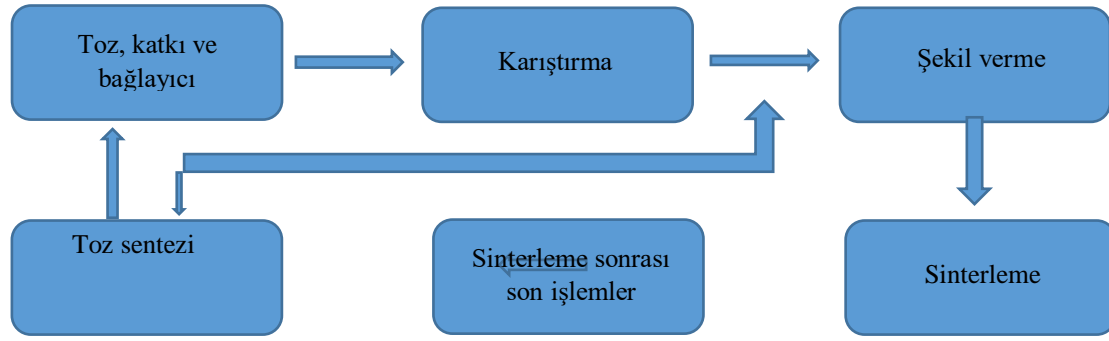
Deney sorumluları: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK, Arş. Gör. Süleyman CAN

## **1.DENEYİN AMACI:**

Bu deneyin amacı, malzemelerin üretim süreçlerinde önemli bir rol oynayan sinterleme sürecinin mekanizmasını, önemli parametrelerini, türlerini ve uygulamalarını öğrenmek, uygulamak ve yorumlamaktır.

## **2.TEORİK BİLGİ**

Sinterleme, seramik ya da metal tozlarından, ısı enerjisi kullanılarak yoğunluğu kontrol edilebilen malzemeler ya da parçaların üretiminde kullanılan bir tekniktir [1]. Şekil 1'de sinterlenen parçaların üretim süreci şematik olarak verilmiştir.



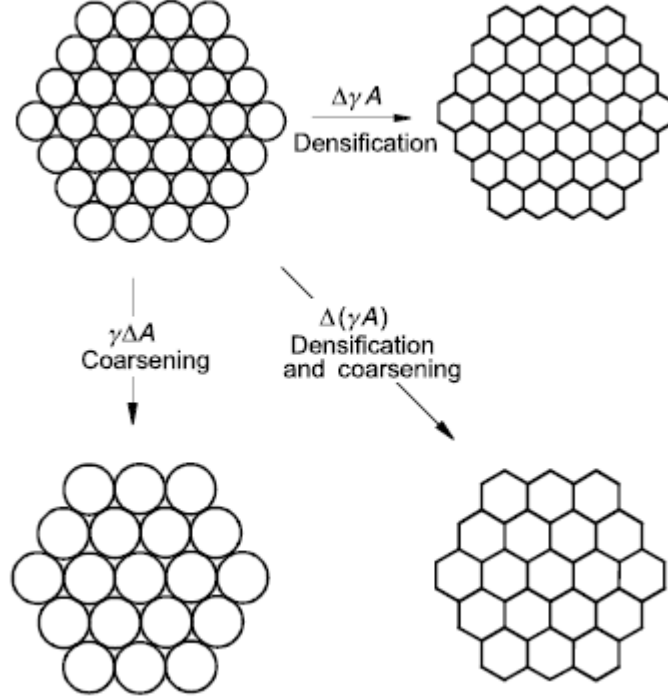
Şekil 1. Sinterleme ile üretim süreci [2].

Sinterleme prosesi ile mikroyapısal özelliklerin, sinterleme parametrelerinin modifikasyonu yoluyla değiştirilmesi amaçlanmaktadır. Burada bahsedilen mikroyapısal özellikler; tane boyutu, sinterlenmiş malzeme yoğunluğu ve diğer fazların (por vb.) dağılımıdır. Yoğunlukla sinterlemede amaç, tamamen yoğun ve küçük taneli mikroyapıya sahip malzeme üretmektir [2]. Sinterleme, yüksek sıcaklıklarda atomların yayını ve ince partiküllerin yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Birim hacimdeki yüzey enerjisi partikül boyutu azaldıkça arttığından ince partiküller daha hızlı sinterlenir [3].

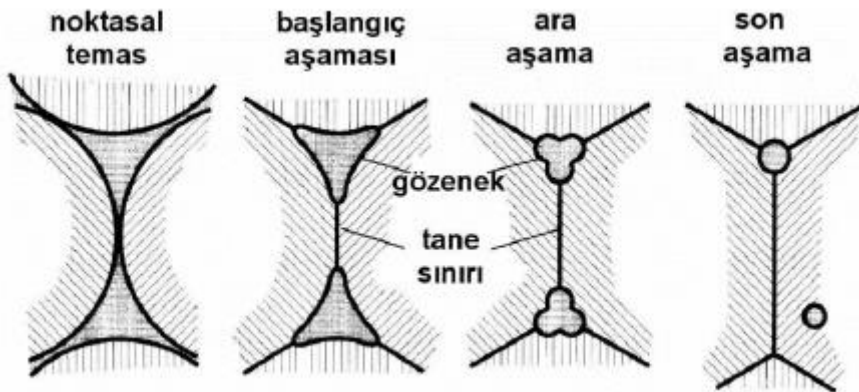
**Sinterleme işleminin itici gücü, toplam yüzey enerjisinin azalmasıdır.** Yüksek enerjili katı-gaz ara yüzeylerinin eliminasyonu ve düşük enerjili katı-katı ara yüzeylerinin oluşumudur. Böylece porlar elimine edilir. Malzeme taşınımı, yüksek enerjili bölgelerden düşük enerjili bölgelere doğru olur. Bu bölgelerden **konkav olan düşük, konveks olan ise yüksek enerjiye** sahiptir. Tozun **toplam yüzey enerjisi  $\gamma A$**  olarak ifade edilir. Burada  **$\gamma$  özgül yüzey enerjisi, A ise toplam yüzey alanını** ifade etmektedir. Toplam yüzey alanının

değişimini ifade eden formül aşağıda verilmiştir [1]. Şekil 2 ve 3'te sırasıyla sinterleme sırasında meydana gelen temel olaylar ve gözenek yapısının sinterleme sürecinde değişim aşamaları gösterilmektedir.

$$\Delta G = \Delta(\gamma A) = \Delta\gamma \cdot A + \gamma \cdot \Delta A \longrightarrow \Delta\gamma \cdot A \text{ (yoğunlaşma)}, \gamma \cdot \Delta A \text{ (tane büyümesi)}$$



Şekil 2. Sinterleme sırasında meydana gelen temel olaylar (sinterlemenin itici gücü  $\Delta(\gamma A)$  etkisi ile) [2].



Şekil 3. Gözenek yapısının sinterleme sürecinde değişim aşamaları [3].

Temel olarak sinterleme prosesi iki temel kategoriye ayrılır. Bunlar; sıvı faz ve katı hal sinterlenmesidir. Sıvı faz sinterleme için itici güç partiküller arası sıvının oluşturduğu kapileri basıncıdır [1].

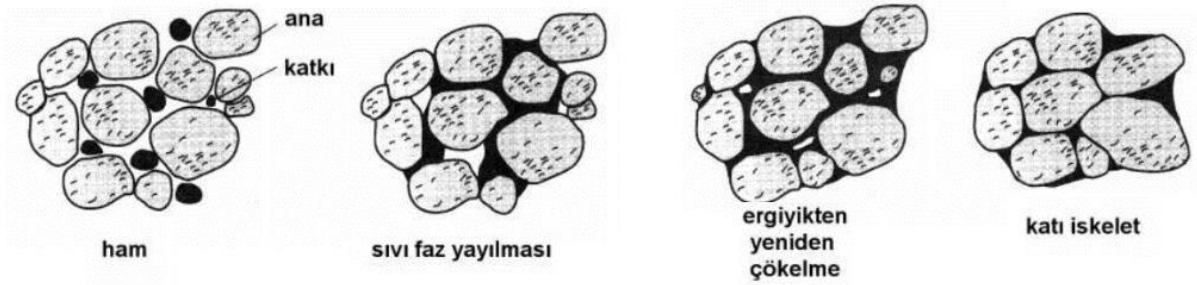
### Etkili bir sıvı faz sinterlemesi için gereklilikler;

1. Yeterli miktarda sıvı faz olmalı
2. Katı fazın sıvı faz içerisinde yeterli çözünürlüğü olmalı
3. Sıvı, katıyı ıslatabiliyor olmalı ( $\theta < 90^\circ$ )

Sıvı faz katıyı ıslattığı zaman, her iki katı partikül arası boşluk kapiler olur ve burada önemli miktarda kapileri basınç gelişir. Young-Laplace eşitliğine göre;

$$\Delta P = 2\gamma^{LS}/r \longrightarrow \gamma^{LS} \text{ ( sıvı-katı yüzey enerjisi), } r \text{ (partikül yarı çapı)}$$

Yukarıdaki formülde r değeri azalırsa  $\Delta P$  değeri artar. Sıvı faz sinterlemesinde bu değişiklik sinterlenme hızını kontrol etmektedir [1]. Şekil 4'te sıvı faz sinterleme aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 4. Sıvı faz sinterleme aşamaları [3].

Katı hal sinterlenmesi 3 aşamada gerçekleşmektedir [1]. Bunlar;

#### 1. İlk aşama

Difüzyon ve boyun oluşumu

Taneler arası temas ile tane sınırları oluşur

#### 2. Orta aşama

Boyun büyümesi

Tane büyümesi

Yüksek çekme

Devamlı porların oluşumu

#### 3. Son aşama

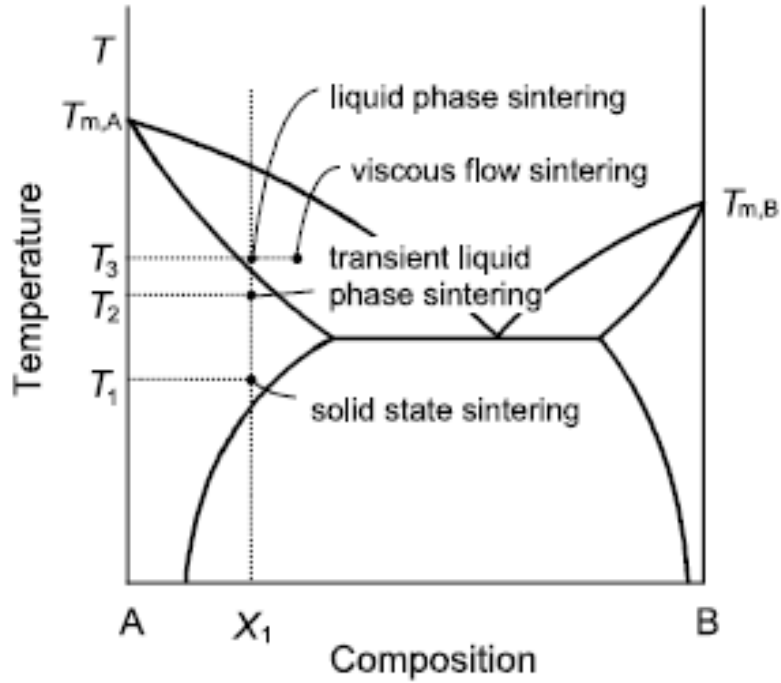
Tane büyümesi

Devamsız porlar

Tane sınır porlarının eliminasyonu

**Tane büyümesi, sinterleme esnasında ortalama tane boyutunun süreç içindeki artışıdır.** Tane, sinterleme esnasında tane sınırlarında yok olan porlar sebebiyle büyür. Tane büyümesine etki eden parametreler; yüzey difüzyonu ve buharlaşma-yoğuşma'dır [1].

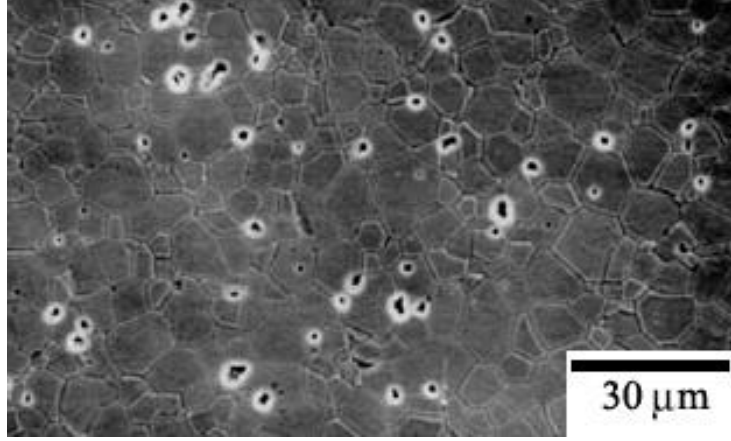
Önemli bir diğer sinterleme tekniği de **vitrifikasyondur**. Vitrifikasyon için hacimce en az %30 sıvı faz gereklidir. Boşlukları dolduracak yeterli miktarda sıvı faz olduğu için çözünme-çökme prosesine ihtiyaç yoktur. Islatma davranışı özellikle bu süreç için önemlidir. Porlar kapiler etkiyle dolacağı için ıslatma gereklidir. Vitrifikasyonda, pişirme esnasında viskoz silikat sıvısı oluşur ve gövde için bağlayıcı görevi görür. İyi bir sinterleme için sıvı fazın viskozitesi ve miktarı öyle ayarlanmalıdır ki; sıvı faz, yerçekimi ivmesine karşı koyarak bünyede herhangi bir çarpılma yaşanmaksızın sinterlenmenin tamamlanmasına yardım edebilsin. Vitrifikasyonda önemli parametreler viskozite ve sıvı-katı yüzey enerjisi farkıdır. Yüzey enerjisi farkı silikat sistemlerinde değişmediğinden bu sistemlerde değişken olarak kabul edilmez [1]. Şekil 5'te farklı sinterleme çeşitlerinin faz diyagramı üzerindeki gösterimi verilmiştir.



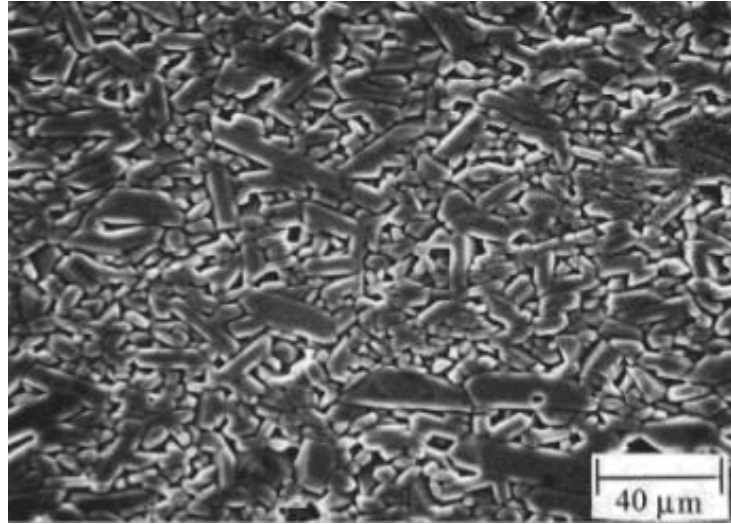
**Şekil 5.** Farklı sinterleme çeşitlerinin faz diyagramı üzerindeki gösterimi [2].

Yukarıdaki faz diyagramında görülen diğer sinterleme çeşitlerinden biri de geçici sıvı faz sinterlemesidir. Geçici sıvı faz sinterleme ise sıvı faz sinterleme ile katı hal sinterlemesinin bir kombinasyonu ile olmaktadır. Bu sinterleme tekniğinde, sinterlemenin erken periyodunda bir sıvı faz oluşur. Ama bu sıvı faz, sinterleme devam ettikçe katı fazın içerisinde kaybolur ve yoğunlaşma sağlanır [2]. Geçici sıvı faz sinterlemesi ile sinterlenen malzemelere örnek olarak SiAlON seramikleri verilebilir [4]. **Şekil 6'da** katı ve sıvı faz sinterlemesi ile elde edilmiş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramiklerinin mikroyapısı verilmiştir. Katı hal sinterlenmesiyle üretilen malzemede taneler keskin köşeli iken sıvı hal sinterlenmesiyle

Üretilen malzemede taneler daha oval hale gelmiř ve iđnemsii şekilli taneler elde edilmiřtir [2,4].



(a)



(b)

**şekil 6.** (a) Katı hal sinterlemesi ile elde edilmiş  $Al_2O_3$ , (b) Sıvı faz sinterlemesi ile elde edilmiş  $Al_2O_3$  [2,4].

Sinterlenmeyi ve mikroyapıyı etkileyen değişkenler malzemeye bağlı değişkenler ve sürece bağlı değişkenler olarak 2'ye ayrılmaktadır. Tablo 1'de bu değişkenler özetlenmiştir.



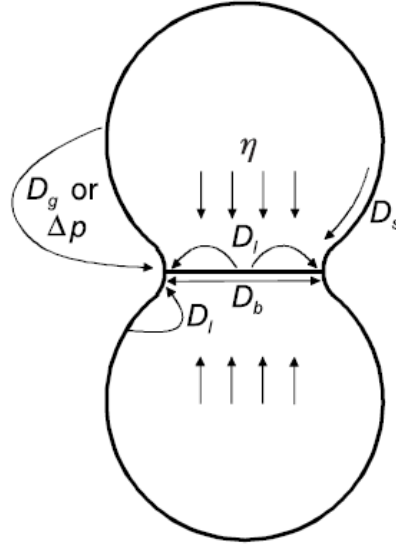
**Tablo 1.** Sinterlemeyi ve mikroyapıyı etkileyen değişkenler [2].

Malzemeye bağlı değişkenler	Toz: şekil, boyut, boyut dağılımı, topaklanma, karışabilirlik vb. Kimyasal: kompozisyon, safsızlık, stokiyometrik sapmalar, homojenlik vb.
Sürece bağlı değişkenler	Sıcaklık, zaman, basınç, atmosfer, ısıtma ve soğutma hızları vb.

Sinterlemede malzeme taşınımı farklı şekillerde olabilmektedir. Malzeme taşınım mekanizmaları Tablo 2’de malzeme kaynağı, taşındığı yer ve ilgili parametreler verilmiştir **Şekil 7’de** sinterleme sırasında malzeme taşınımının gerçekleştiği yollar şematik olarak gösterilmektedir [2].

**Tablo 2.** Sinterleme mekanizmaları [2].

Malzeme Taşınım Mekanizmaları	Malzeme Kaynağı (Nereden)	Malzemenin Taşındığı Yer (Nereye)	İlgili Parametreler	Yoğunlaşma
<b>Latis difüzyonu</b>	Tane sınırından	Boyun bölgesine	Latis difüzyivitesi ( $D_l$ )	Var
<b>Tane sınırı difüzyonu</b>	Tane sınırından	Boyun bölgesine	Tane sınırı difüzyivitesi ( $D_b$ )	Var
<b>Viskoz akış</b>	Taneden	Boyun bölgesine	Viskozite ( $\mu$ )	Var
<b>Yüzey difüzyonu</b>	Tane yüzeyinden	Boyun bölgesine	Yüzey difüzyivitesi ( $D_s$ )	Yok
<b>Latis difüzyonu</b>	Tane yüzeyinden	Boyun bölgesine	Latis difüzyivitesi ( $D_l$ )	Yok
<b>Gaz fazı taşınımı</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Buharlaştırma-yoğuşma</b></li><li>• <b>Gaz difüzyonu</b></li></ul>	Tane yüzeyinden Tane yüzeyinden	Boyun bölgesine Boyun bölgesine	Buhar basıncı farkı ( $\Delta P$ ) Gaz difüzyivitesi ( $D_g$ )	Yok Yok



**Şekil 7.** Sinterleme sırasında malzeme taşınımının gerçekleştiği yollar [2].

Sinterlemeye örnekler;

Sağlık gereçleri: 1200-1250 °C 7-12 saat %0,5 su emme hacimce %65 camsı faz

Porselen karo: 1200-1220 °C 50-60 dakika su emme %0,05 viskoz akış ile sinterlenir.

Manyezit: Katı hal sinterlenmesi ile sinterlenir.

SiAlON: ~1700-2000°C, geçici sıvı faz sinterlemesi

Cu: katı hal sinterlemesi

Sinterlenmiş malzemelerin yoğunluğunu ölçmek için en basit ve pratik tekniklerden birisi Arşimet prensibidir. Malzemelerin gerçek yoğunlukları He gaz piknometresi kullanılarak tespit edilmektedir.

### 2.1. Arşimet Prensibi

Seramik malzemelerde başta mekanik mukavemet olmak üzere, birçok özelliğine etki ettiği için gözeneklilik (porozite), yoğunluk gibi kavramlar önemli fiziksel özellikler olarak dikkate alınmaktadır. Seramik malzemelerin üretimleri sırasında genellikle teorik yoğunluğuna ulaşılmak istenir. Ancak bazı uygulama alanlarında dizel partikül filtreleri gibi ~%50 gözeneklilik istenmektedir.

Arşimet prensibi ile yoğunluk ölçümünde, bir maddenin sıvı içindeki ağırlığı, o maddenin kuru ağırlığı ile batmaya karşı gösterdiği direnç kuvvetinin farkına eşittir. Arşimet prensibiyle yoğunluk ölçümü için, sinterlenen numunelerin kuru ağırlıkları ( $W_1$ ) alınıp, gözeneklerin içinde kalan havanın uzaklaştırılması için yaklaşık 4 saat kaynatıldıktan sonra,

askıdaki ağırlıkları (W2) ölçülür, sonrasında sıvı sızdırılmış haldeki ağırlıkları (W3) ölçülerek aşağıdaki denkleme göre yığınsal yoğunluk hesaplamaları yapılır ( $\rho_{su}$ : suyun özkütlesi).

$$Yığınsal\ Yoğunluk = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \times \rho_{su}$$

**Su emme (%)** =  $(W_3 - W_1) / W_1 \times 100$

**Görünür katı yoğunluğu:** numune kütlesi/görünen katı hacmi =  $[W_1 / (W_1 - W_2)] \times \rho_{sıvı}$

**Görünür katı hacmi:** katı hacmi + kapalı porların hacmi

**% Görünür porozite:** (açık porların hacmi/bulk hacmi)  $\times 100 = [(W_3 - W_1) / (W_3 - W_2)] \times 100$

Toplam porozite değerini hesaplamak için katının teorik yoğunluğundan faydalanılır.

**% Toplam porozite:**  $(1 - \rho_{bulk} / \rho_{teorik}) \times 100$

olarak hesaplanır ve buradan kapalı porozite miktarı da tayin edilebilir.

**Hacim Kavramları:**

**Bulk (yığın) hacim:** Malzemenin tümünün hacmi olup, cismin katı kısmı ile içerdiği açık ve kapalı porozitenin hacim toplamına eşittir.

**Görünür Katı Hacim:** Malzemenin katı kısmının hacmi ile kapalı porozite hacmini tanımlar.

**Gerçek Hacim:** Malzemenin yalnız katı kısmının hacmidir.

**Yoğunluk Kavramları:**

**Bulk (yığınsal) Yoğunluk:** Numune ağırlığının bulk hacme oranı olarak hesaplanır. Bulk hacim toz hacmi, partiküller arası boşluk hacmi ve kapalı ve açık gözenek hacmini içerir.

**Görünür Katı Yoğunluk:** Numune ağırlığının görünür katı hacme oranı olarak hesaplanır. Görünür hacim toz hacmi ve kapalı gözeneklerin hacmini içerir.

**Gerçek (~Teorik) Yoğunluk:** Numune ağırlığının gerçek hacme oranı olarak hesaplanır. Gerçek hacim toz partiküllerin hacmini içerir.

**Göreceli (Relative) Yoğunluk:** Bir maddenin yoğunluğunun, referans madde yoğunluğuna oranıdır. Birimsizdir.

## 2.2 Helyum Gaz Piknometresi

Helyum gaz piknometrisi, Arşimet'in akışkan taşması prensibini ve Boyle Kanunu'nu kullanarak hacim ve gerçek yoğunluğu bulmayı amaçlar. Ölçümlerin doğruluğunun maksimum olması için taşan akışkan, en küçükleri dışındaki tüm gözeneklere girebilen bir tesirsiz gaz olmalıdır. Bu nedenle, ölçümler için küçük atomik boyutları 0.25 nm çapındaki girinti ve gözeneklere yaklaşan Helyum gazı uygun görülmektedir. Helyum'un ideal gaz olarak davranışları da tercih nedenidir.

### 3. DENEYİN YAPILIŞI

- Hazırlanacak kompozisyonun tartımı
- Plenatory değirmende karıştırma/öğütme işlemi
- Döner kurutucuda kurutma işlemi
- Eleme işlemi
- Presleme (Kuru presleme-Soğuk izostatik presleme)
- Sinterleme işlemi
- Yoğunluk ölçümü (Ağırlık değişimi, Bulk yoğunluk, Açık ve kapalı gözenek tayini)

### 4. İSTENİLENLER

- Teorik bölüm için deney sırasında verilecek araştırma konusu araştırılıp yazılacak,
- Deney sırasında elde edilen veriler kullanılarak Ağırlık değişimi, Bulk yoğunluk, Açık ve kapalı gözenek miktarları hesaplanacak.
- Presleme basıncının/türünün sinterlenmiş ürün özellikleri üzerine etkisi tartışılacak.

### KAYNAKÇA

1. Doç. Dr. Nurcan Çalış Açıkbaş, Sinterleme ders notları.
2. Kang, S. J. L. (2004). *Sintering: densification, grain growth and microstructure*. Butterworth-Heinemann.
3. German, R. M. (1984). Powder metallurgy science. *Metal Powder Industries Federation, 105 College Rd. E, Princeton, N. J. 08540, U. S. A, 1984. 279.*
4. Çalış Açıkbaş, N. Sialon Seramiklerinin Sinterleme Davranışı ve Mikroyapı Gelişimini Etkileyen Parametreler. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 39. Sayı, pp.31-42, 2017.
5. Seabaugh, M. M., Kerscht, I. H., & Messing, G. L. (1997). Texture Development by Templated Grain Growth in Liquid-Phase-Sintered  $\alpha$ -Alumina. *Journal of the American Ceramic Society*, 80(5), 1181-1188.