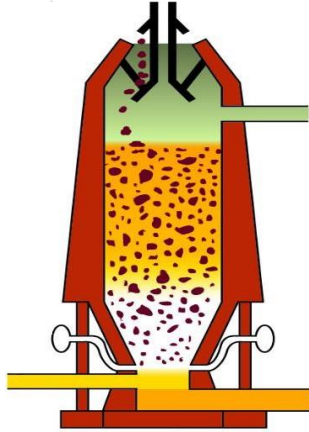




**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**LABORATUVAR FÖYÜ**

**KALSİNASYON VE REDÜKSİYON DENEYİ**



**Prof. Dr. Ümit ALVER**

**Prof. Dr. Ahmet SARI**

**Arş. Gör. Onur GÜLER**

**EYLÜL 2022**

**TRABZON**

## KALSİNASYON DENEYİ

### DENEYİN AMACI

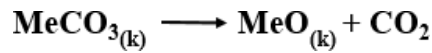
Bu deneyin amacı, CaCO<sub>3</sub> (kireç taşı)'nın belirli bir kalsinasyon sıcaklığında ve belirli bir kalsinasyon süresi sonunda ağırlık kaybı yoluyla parçalanma oranını belirleyerek mineralde ısıtmaya bağlı olarak meydana gelen değişikliklerin gözlenmesi ve mineral zenginleştirmede kalsinasyonun öneminin öğrenilmesidir.

### TEORİK BİLGİLER

Genellikle madenlerin nemini ve karbondioksit gibi uçucu maddelerini uzaklaştırmak için o minerali erime noktasının altında ısıtma (kavurma) işlemidir. Diğer bir deyişle, bir bileşiğin ısı tesiri ile parçalanmasıdır. Bu işlem, cevherin öğütülmesinden sonra faydalı hale getirmek için yapılan ilk işlemlerden biridir.

Toprak alkali karbonatlar (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, xCaCO<sub>3</sub>.yMgCO<sub>3</sub> gibi) özellikle üretim metalurjisinde temel cüruf yapıcı ve refrakter hammaddesi şeklinde yaygın olarak kullanım alanına sahiptirler. Bu bileşikler, işleme katılmadan önce ya da işlem sırasında kesinlikle kalsinasyon işlemine tabi tutularak parçalanırlar.

Bütün kalsinasyon reaksiyonları endotermik bir davranış sergilemektedir. Örneğin; karbonatların parçalanması dikkate alınırsa gerçekleşen parçalanma reaksiyonu aşağıdaki gibi olacaktır:



Bu reaksiyonda, denge sabiti, katı madde aktiviteleri 1'e eşit olduğundan CO<sub>2</sub> kısmi basıncına eşittir. Bu durumda denge CO<sub>2</sub> kısmi basıncı;

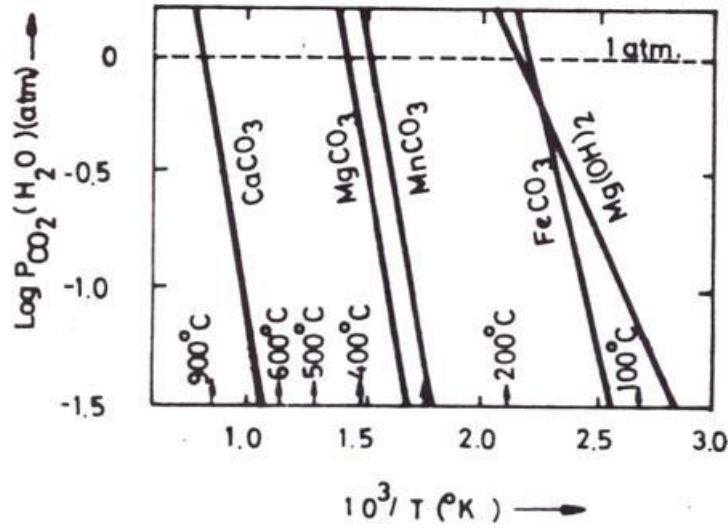
$$\log P_{\text{CO}_2}^0 = \frac{-\Delta G_T^0}{4,575T}$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Ortamdaki CO<sub>2</sub> dış basıncı  $P_{\text{CO}_2}^1$  ise;

$P_{CO_2}^0 > P_{CO_2}^1$  durumunda parçalanma,

$P_{CO_2}^0 = P_{CO_2}^1$  durumunda denge hali,

$P_{CO_2}^0 < P_{CO_2}^1$  durumunda ise karbonat oluşumu meydana gelir.



Şekil 1. Bazı karbonat ve hidratların parçalanma basınçlarının sıcaklıkla değişimi

Şekil 1'den görüldüğü gibi bir karbonat veya hidrat bileşiğinin tam parçalanma sıcaklığı,  $P_{CO_2}^0$  basıncının 1 atmosfer (atm)'e eşit olduğu sıcaklıktır.

CaCO<sub>3</sub>'ün parçalanma reaksiyonu aşağıda belirtilen olaylar olmak üzere, 5 adımda gerçekleşmektedir:

- Ortamdan katı yüzeyine ısı transferi
- Katı yüzeyinden tepkime bölgesine ısı transferi
- Tepkime bölgesinde kimyasal reaksiyon
- Gözenekli oksit tabakası üzerinden katı yüzeyine doğru CO<sub>2</sub> difüzyonu
- Çevreye kütle transferi

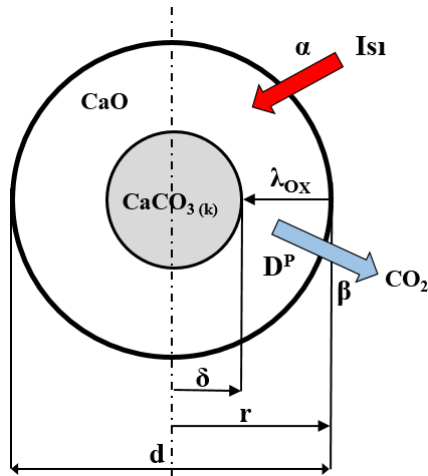
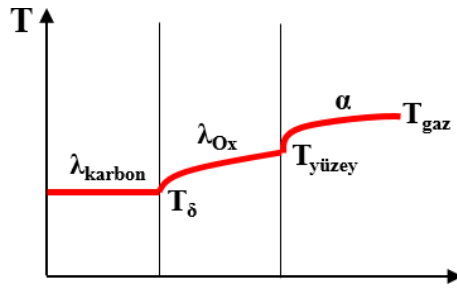
Kireç taşı ( $\text{CaCO}_3$ )'nın parçalanması sırasında, ayrışma; yüzeyden kademeli olarak mineralin iç yüzeyine ilerlemesiyle meydana gelmektedir. Kireç taşının ısı tesiri ile parçalanma reaksiyonuna etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler genellikle reaksiyonun gerçekleştiği fırın içerisinde meydana gelen kinetik ve fiziksel transfer olayları ile değerlendirilmektedir. Örneğin, mineralin tane boyutu arttıkça parçalanma işlemi zorlaşır. Dolayısıyla daha uzun kalsine işlemi gerekir. Ayrıca, daha büyük parçacık boyutu, fırın içerisindeki ısı dağılımına etki etmektedir. Küçük boyutlu parçacıklar ise büyük parçacıkların oluşturduğu boşluklara yerleşerek fırın içerisindeki yanma alevinin ve gaz akışının engellenmesine neden olmaktadır. Aşırı yanma gerçekleşmeden küçük boyutlardaki parçacıkların kalsine edilebilmesini sağlayan sıcaklıklar, büyük parçacıkların sadece kabuk kısmının kalsine edilebilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, eğer kontrollü bir tane-boyut dağılımı sağlanırsa, parçacık boyutuna bakılmaksızın kalsine işlemi daha kolay olacaktır. Kireç taşının fırın içerisinde sıcak gazlara maruz kalması sırasında, ısının taş içerisinde nüfuz etme oranı taşın ve çevredeki gazların sıcaklığına bağlı olmaktadır. Bu yüzden, taş boyutu ne kadar küçük olursa, ısının iç kısımlara nüfuz etme süresi o kadar kısalmaktadır. Pülverize edilmiş kireç taşının kalsine edilmesi sırasında bu süre bir dakikadan bile kısa olabilmektedir (Wuhrer, 1965, Fuertes ve ark., 1993).

Kireç taşı kalsinasyon işleminin  $\text{CO}_2$  kısmi basıncı ve sıcaklık profilleri Şekil 2'de verilmiştir (Agnieska, 2006). Bir kireç taşı numunesi, gözenekli (poroz) bir tabaka ile çevrelenmiş yoğun bir karbonat çekirdeği içermektedir. Kalsinasyon fırını içerisinde bir sıcaklıkta,  $T_{\text{gaz}}$  sıcaklığındaki ısı,  $\alpha$  ile belirtilen yayılım ile  $T_{\text{yüzey}}$  sıcaklığındaki katı yüzeye aktarılır. Termal iletkenlik ( $\lambda$ ) sayesinde ısı, oksit tabakasına nüfuz ederek tepkime bölgesine ulaşır ve buradaki sıcaklık  $T_{\delta}$  olur. Kimyasal reaksiyon,  $\text{CO}_2$  kısmi basıncının dengeden ayrılması ( $p_{\text{denge}}-p_{\delta}$ ) sonucu başlar. Reaksiyon sonucu serbest kalan  $\text{CO}_2$  gözenekli oksit tabakası içerisinde yüzeye doğru yayılır ( $D^p$ ) ve sonuç olarak, ısı yayılımı ( $\beta$ ) ile  $\text{CO}_2$  kısmi basıncının ( $p_{\text{yüzey}}$ ) oluştuğu çevreye geçer.

Kapalı bir kaba  $\text{CaCO}_{3(k)}$  konduğu zaman başlangıçta ortamda hiç bulunmayan  $\text{CO}_{2(g)}$  molekülleri oluşmaya başlar ve bir süre sonra  $\text{CO}_2$  moleküllerinin basıncı (veya derişimi) o sıcaklıktaki denge basıncına (veya derişimine) ulaşır. Reaksiyon stokiyometrisi gereği, her  $\text{CO}_2$  molekülünün oluşumu sırasında bir molekül  $\text{CaO}$  oluşur. Bu reaksiyonun tersi de düşünülebilir. Bir kaba o sıcaklıktaki denge basıncından yüksek basınçta  $\text{CO}_2$  gazı ve yeteri kadar katı  $\text{CaO}$  konursa, bir süre sonra  $\text{CO}_2$ 'nin basıncının denge basıncı değerine düştüğü ve dolayısıyla gaz

CO<sub>2</sub>'in katı CaO ile reaksiyona girerek katı CaCO<sub>3</sub> oluşturduğu görülür. Bu reaksiyon için gaz bileşenin dengedeki basıncından veya derişiminden söz edebildiğimiz halde CaCO<sub>3</sub> ve CaO için derişimden söz etmemiz mümkün değildir. Çünkü saf bir katının derişimi, miktarına bağlı olarak değişmemektedir. Reaksiyon sırasında miktarlarının değişiyor olmasına rağmen derişimlerinin değişmemesi nedeniyle CaCO<sub>3</sub> ve CaO' in denge üzerinde herhangi bir etkileri yoktur. Bu nedenle saf katılara ait terimler, denge sabiti bağıntılarında yer almazlar. O halde kalsinasyon reaksiyonu için denge sabiti bağıntısı aşağıdaki gibi yazılır (A. Koç):

$$K_c = [\text{CO}_2] \text{ veya } K_p = P_{\text{CO}_2}$$



Şekil 2. Bir kireç taşı numunesinin kalsinasyon profili

Kireç taşının kalsinasyonu endüstriyel uygulamalarda, değişik fırınlarda yapılmaktadır. İri parçalı kireç taşları için düşey fırınlar kullanılırken, ince taneli kireç taşları için döner fırınlar kullanılmaktadır. Düzgün tane dağılımı gösteren ince boyutlu kireç taşları için ise akışkan yatak tipi fırınlar kullanılabilir. Kalsinasyon fırınları; katı, sıvı ve gaz yakıtların tümü ile ısıtılabilirlerdir.

### **Deneyde Kullanılan Cihaz ve Malzemeler**

- Kireç taşı ( $\text{CaCO}_3$ )
- Seramik kayıkçık
- Yatay tüp fırın
- Spatül, pens, maşalar, şarj çubuğu
- Hassas terazi
- Desikatör

### **Deneyin Yapılışı**

- Toz halindeki kireç taşı seramik kayıkçık içerisine koyularak ilk ağırlığı tartılır.
- Seramik kayıkçık ile birlikte numune, önceden kalsinasyon sıcaklığına ayarlanmış fırın içerisine koyulur.
- İstenilen süre boyunca fırın içerisinde bekletilen numune fırından çıkartılarak desikatör içerisinde soğuması beklenir.
- Soğuyan numune desikatörden alınarak son ağırlığı tekrar tartıldıktan sonra kalsinasyon verimi hesaplanır.

### **İstenenler**

1.  $\text{CaCO}_3$ ' ün parçalanma standart serbest enerjisi  $\Delta G^\circ_{(T)} = 40250 - 34,4.T$  (298 – 1150 K) cal /mol eşitliği ile verilmiştir. Bu eşitlikten yararlanarak, 1000 K sıcaklığı için denge  $\text{CO}_2$  kısmi basıncını bulunuz.
2. Ortamdaki  $\text{CO}_2$  kısmi basıncı  $10^{-3}$  atm olduğuna göre, çalıştığımız sıcaklıkta kalsinasyon olabilir mi? Açıklayınız.
3. Kalsinasyon reaksiyonlarına 5 adet örnek veriniz.

## **KAYNAKLAR**

- 1.** Agnieszka B (2006). PhD Dissertation Otton-von- Guericks Universitat Magdeburg
- 2.** Fuertes AB, Marban G, Rubiera F (1993). Kinetics of Thermal Decomposition of Limestone particles in a fluidized bed reactor, Trans. I. Chem. E:421-428.
- 3.** Fuertes AB, Abad A, de Diego LF, Andanez J (2002). Calcination of Calcium based- sorbents at pressure in a broad.
- 4.** Okonkwo P.C. ve Adefila S.S. (2013). Investigation of some factors that affect jakura limestone burning, African J. of Pure and Applied Chemistry, pp:280-290.
- 5.** Koç A., Kimya 2-Kimyasal Denge, Kimya Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi.

# DEMİR OKSİTLİ ŞARJ HAMMADDELERİN İNDİRGENMESİ DENEYİ

## DENEYİN AMACI

Bu deneyin amacı, demir üretiminden kullanılan demir oksitli hammaddelerin, indirgeyici bir gaz yardımıyla katı halde direk indirgenmesinin görülmesi ve reaksiyonlarıyla birlikte indirgenme davranışının incelenmesidir.

## TEORİK BİLGİLER

Demirin üretimi için kullanılan demir içeren şarj hammaddelerin özü, belirli bir oranın üzerinde demir mineralini bünyesinde bulunduran cevherlerdir. Bu cevherler genellikle oksitli haldeki demir mineralleri içerirler. Doğada demir, en çok oksitli halde özellikle manyetit ( $Fe_3O_4$ ) ve hematit ( $Fe_2O_3$ ) halinde bulunur. Bu oksitli halde maddelerin demirden daha yüksek oksijen afinitesine sahip CO,  $H_2$ , C vb indirgeyiciler yardımıyla yapısındaki oksijenin azaltılıp alt oksitlerine veya tamamen metalik hale dönüştürülmesi indirgenme olarak adlandırılır. İndirgenme işlemi teknolojik anlamda sıvı ham demir üretimi ve sünger demir üretimi olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilir.

Birinci yöntem yüksek fırında kok kullanımı ile indirgenmenin gerçekleştirildiği yöntemdir. Bu yöntemde, tüyer bölgesinden fırına verilen sıcak hava sayesinde, tüyer bölgesinde kokun yanmasıyla karbondioksit ( $CO_2$ ) gazları oluşturulur ve bu karbondioksit ( $CO_2$ ) gazları karbon (C) ile reaksiyona girerek karbonmonoksit (CO) gazı oluşturur (Boudouard Reaksiyonu) ve bu oluşan karbonmonoksit (CO) gazları ile demir oksitler indirgenirler. Bu karbonmonoksit (CO) ile yapılan indirgenme indirekt indirgenme olarak adlandırılır. Fırının alt kısımlarında da direk katı karbon (C) ile demiroksitlerin teması ile ayrıca indirgenme gerçekleşir. Bu indirgenme direkt indirgenme olarak adlandırılır. Bu indirgenme yönteminde yüksek fırından çıkan ürün sıvı ham demirdir (SHD). Ülkemizde bu şekilde üretim yapan tesisler Kardemir, Erdemir ve İsdemir'dir.

İkinci yöntem indirgenme, oksitli demirin ergitilmeden katı fazda, kömür veya gaz indirgeyicilerle metalik halde elde edilmesine dayanır. Bu yöntemde elde edilen ürün metal içeriği yüksek olan sünger demirdir. Üretilen bu sünger demir %90 - %95 oranında metalik halde demir içermektedir. Elde edilen sünger demir, elektrik ark ocaklarında çelik hurdası yerine veya hurdayla karıştırılarak kullanılır. Yüksek fırın üretimi kadar yaygın olmasa da



günümüzde bu yöntem ile çelik üretimi giderek önem kazanmaktadır ve yapılan araştırmalar ile bu yolla farklı üretim metotları geliştirilmiştir.

### **Metaloksitlerin İndirgenmesi**

Metal oksitlerin indirgenmesi, metalotermik redüksiyon ve karbotermik redüksiyon olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir.

#### ***Metalotermik Redüksiyon (Metalotermik İndirgenme)***

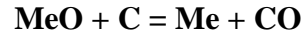
Metal oksitlerin, oksijene afinitesi daha fazla olan başka bir metal kullanılarak indirgenmesi işlemidir. Ellingham diyagramına göre kendisinden daha aşağıda yer alan bir metal tarafından daha üstteki metal oksit indirgenebilir.

#### ***Karbotermik Redüksiyon (Karbotermik İndirgenme)***

Metaloksitlerin karbon (C) ve karbon türevleriyle indirgenmesidir. Oluşan reaksiyonları kendi arasında direkt redüksiyon ve indirekt redüksiyon olarak iki ayrı grupta incelemek mümkündür.

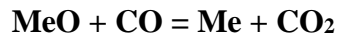
#### ***Direkt İndirgenme***

Metal oksitlerin doğrudan karbon (C) ile indirgenmeleri durumunda oluşan reaksiyonlardır. Genel reaksiyon eşitliği şu şekilde gösterilebilir]:



#### ***İndirekt İndirgenme***

Metaloksitlerin karbonun (C) gazlaşmasıyla ortaya çıkan karbonmonoksit (CO) ile indirgenmesi durumunda oluşan reaksiyonlardır. Genel reaksiyon eşitliği şu şekilde gösterilebilir:



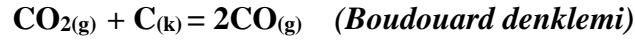
### ***Demir Oksitlerin İndirgenmesi***

Demir oksitlerin metalik demire indirgenmesi demir-oksijen-karbon(veya hidrojen) termodinamik dengesinin indirgenme koşuluna doğru bozularak hammaddelerin içerdiği oksijenin indirgeyicilerle uzaklaştırılması ile gerçekleşmektedir. Bu koşulda demir oksitler seri reaksiyonlar neticesinde metalik demire indirgenmektedir.

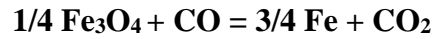
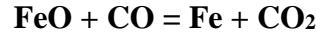
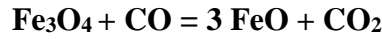
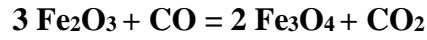
Demir oksitlerin bir CO/CO<sub>2</sub> veya H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gaz karışımı ile indirgenmesi; ancak gaz fazının kısmi oksijen buhar basıncının, demir oksitlerin kısmi oksijen buhar basıncından daha küçük olduğu durumlarda gerçekleşebilir. Sembolik olarak demir oksitleri F<sub>x</sub>O<sub>y</sub> şeklinde gösterirsek, indirgenme;



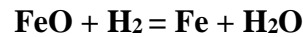
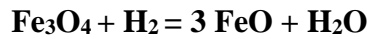
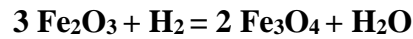
şartına bağlıdır. Yüksek fırında demir oksitli hammaddelerin indirgenmesi büyük oranda karbonun yanmasıyla oluşan CO<sub>2</sub> gazının karbonla tekrar reaksiyona girmesi sonucu oluşan indirgeyici CO<sub>2</sub> gazıyla gerçekleşir.



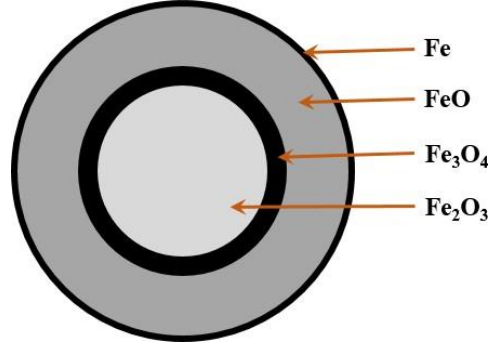
Hematitin, CO/CO<sub>2</sub> gaz karışımı ile indirgenmesi aşağıda verilen bağıntılar şeklinde gerçekleşmektedir:



Hematitin H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gaz karışımı ile Fe' e indirgenmesi ise aşağıdaki bağıntılar şeklinde gerçekleşmektedir.



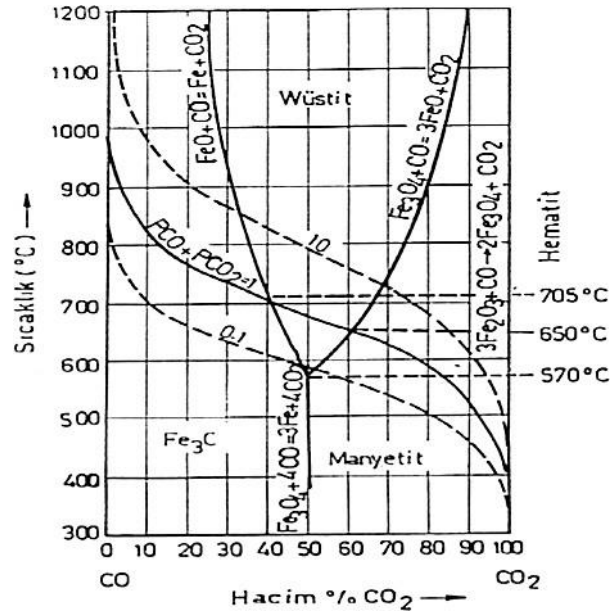
Bu durum Şekil 1'de temsili olarak gösterilmektedir.



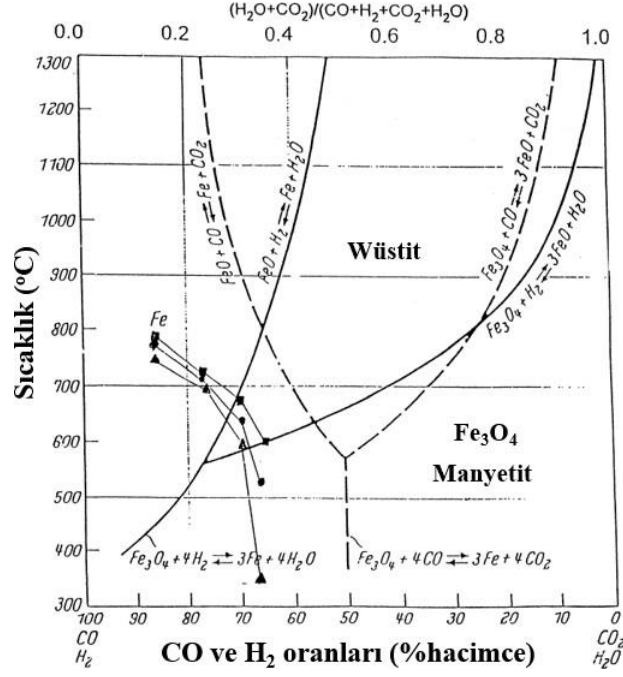
**Şekil 1.** Peletin dış yüzeyinden başlayan indirgenme

Karbon içeren malzemelerden CO (karbonmonoksit) üretimi bu reaksiyonlar uyarınca gerçekleşmektedir.

Demir oksitlerin indirgenme reaksiyonlarının serbest enerji değişimi açısından dengede olmalarını sağlayan sıcaklık ve CO/CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O oranlarını ortaya koyan eğrilerin yer aldığı grafik Baur-Glaessner Diagramı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2’de yukarıda verilen denklemlerden yararlanılarak çizilen Baur-Glaessner ve Boudouard eğrileri, Şekil 3’de ise hem karbon monoksitin hem de hidrojenin indirgeyici görevini gördüğü reaksiyonlara yer veren Baur-Glaessner diyagramı gösterilmektedir.



**Şekil 2.** Boudouard reaksiyonuna ait eğriyle birlikte çizilmiş Baur-Glaessner Diyagramı

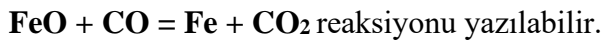


Şekil 3. CO/CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O atmosferleri için Baur-Glaessner diyagramı

Şekil 2'e göre;  $P_{CO} + P_{CO_2} = 1$  atm toplam basıncında demir oksitlerin metalik demire redüksiyonu ancak 705 °C'nin üzerinde mümkün olmaktadır, 705 °C'nin altında demir oksitler metalik demire redüklenememesine rağmen hematit manyetit haline dönüştürülebilmektedir. Ayrıca bu şartlarda Boudouard reaksiyonu C açığa çıkacak yönde gelişmektedir (kurumlaşma; CO azalır, CO<sub>2</sub> artar). Aynı şekilde, 650 °C ile 705 °C arasında manyetit-wüstit dönüşümünü gerçekleştirmek de mümkündür. 650 °C'nin altında ise, hematitin manyetite redüklenmesi bu gaz basıncında gerçekleştirilebilmektedir.  $P_{CO} + P_{CO_2}$  toplam basıncı yükseldikçe, karbonun demir oksitleri redükleme kabiliyeti azalır, aynı gaz bileşiminin sağlanması için sıcaklığın yükseltilmesi gereklidir.

İndirgenmenin olduğu bu koşullarda reaksiyonun serbest enerjisi eksi işaretlidir:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_p < 0 \text{ Wüstitin indirgenmesini örnek olarak alırsak:}$$



Katı haldeki Fe'nin ve FeO'in aktivitelerini ( $a_{Fe}$  ve  $a_{FeO}$ ) 1 kabul edersek reaksiyonun denge sabiti şöyle yazılabilir:

$$K_p = P_{CO_2} / P_{CO}$$

İndirgenme reaksiyonlarının standart serbest enerji verilerinden, bu reaksiyonların farklı sıcaklıklardaki denge sabitleri hesaplanabilir.  $P_{CO_2} / P_{CO}$  oranı bu denge sabitlerinden küçük ise wüstit oksijen vererek indirgenir. Demir oksitlerin indirgenme prosesi ortam şartlarına göre değişen, birbirini takip eden veya birlikte gerçekleşen birçok kısmi ve karmaşık olayları içeren heterojen bir süreçtir. İndirgeyici gaz ortamındaki bir demir-oksit parçacığında, indirgeyici gazın parçanın veya parçanın içerdiği porların yüzeyine adsorblanması sonucunda indirgeyici gaz ile demir oksit bileşiği arasında kimyasal reaksiyon gerçekleşir ve demir oksit kafesinde mevcut oksijen (O), H<sub>2</sub>O veya CO<sub>2</sub> yapısına katılır. Oksitlenen bu gazlar da desorblanarak sistemden uzaklaşırlar. Demir oksitlerin indirgenmesi esnasında; kimyasal reaksiyon, gazların yayılımı ve indirgeyicinin taşınması kademeleri etkin olabilir. Bu kademelerin en yavaş olanı indirgenmeyi kontrol eden parametre olarak adlandırılır.

İndirgenme durumunda bir demir oksit parçacığının t süredeki indirgenme oranı (R) şu şekilde hesaplanabilir:

$$\% R = [ (\text{uzaklaşan oksijenin ağırlığı}) / (\text{uzaklaştırılabilir toplam oksijen}) ] \times 100$$

Bu indirgenme oranının süreye göre değişim grafiği çizilecek olursa, burada R'nin süreye göre değişiminin eğiminden ( $dR / dt$ ) indirgenme hızı hesaplanır. McKewan peletlerin indirgenmesi için, genel indirgenme hızı eşitliğini şu şekilde bulmuştur:

$$Kt = r_0 d_0 [1 - (1 - R)^{1/3}]$$

Bu eşitlikte K hız sabitini temsil etmektedir ve sıcaklık, basınç ve gaz bileşiminin bir fonksiyonudur ve yoğunluk terimi olan  $d_0$ 'ın birimine bağlıdır. Eğer yoğunluk indirgenen

malzemenin kendi yoğunluğu ise ( $d_o = \text{gr/cm}^3$ ), K; bir  $\text{cm}^2$  reaksiyon yüzeyinde birim zamanda indirgenmeye uğramış malzemenin ağırlığı olacaktır (gr), eğer  $d_o$  oksijenin yoğunluğu olarak verilmiş ise; K, birim zamanda bir  $\text{cm}^2$  lik reaksiyon yüzeyinden uzaklaştırılmış oksijenin ağırlığı (gr) olmaktadır. McKewan'ın bu bağıntısı ile küresel peletler, yüksekliği çapına eşit silindirik örnekler ve kübik (boyutları birbirine eşit) malzemeler için kullanılabilir. Demir oksitli malzemelerin indirgenmesi esnasında, hematitin manyetite dönüşmesinde gerçekleşen kristal yapı değişiminden kaynaklanan %25'e kadar oranlarda hacim artışı görülür. Ayrıca, malzemede  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{CaO}$ 'in bulunabilmesinden dolayı özellikle peletlerde bu oranın çok daha üzerinde şişmeler görülebilir.

### **Deneyde Kullanılan Cihaz ve Malzemeler**

- Yatay tüp fırın
- Demir oksitli madde
- Hassas terazi
- Seramik kayıkçık, şarj çubuğu
- Grafit tozu

### **Deneyin Yapılışı**

Kullanılacak olan demir oksitli mineralin ağırlığı hassas terazide tartılıp not alınır. Tüp fırın çalışma sıcaklığında iken bu mineral kömür içine gömülerek indirgenme için seramik kayıkçık içerisinde şarj çubuğu ile fırına şarj edilir. 10 dakika sonra seramik kayıkçık fırın içerisinden alınır ve hassas terazide indirgenme sonrası ağırlığı tartılır ve not edilir. Ağırlık değişimine göre incelemeler yapılır.

### **İstenenler**

- Çalıştığınız indirgeme süresi sonunda, kullandığınız demir oksitli maddenin indirgeme oranını hesaplayınız.
- İndirgenme hızını hesaplayınız.
- Ellingham diyagramı ne için kullanılır? Açıklayınız.

- Ellingham diagramını kullanarak ZnO 'in karbonla indirgenebileceği en düşük sıcaklık bulunuz. Bu sıcaklıkta toplam tepkime nedir?
- İndirgenme reaksiyonlarına 5 adet örnek veriniz.
- Bir yüksek fırın sistemini şekilsel olarak göstererek, her bir bölgesinde gerçekleşen tepkimeleri belirtiniz.

## KAYNAKLAR

1. Şeşen, M.K. 1988. "Demir Oksitli Şarj Hammaddelerinin İndirgenmesi". Üretim Metalurjisi Laboratuvarı El Kitabı. Editörler: Bor, F.Y. Addemir, O. Duman, İ. İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi Ofset Atölyesi.
2. Işıkgül, O. 2012. "Tufalin Demir Cevheri Konsantresi ile Karıştırılarak Pelet Üretiminde Kullanılabilirliğinin ve İndirgenebilirliğinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü "Demirli Hammaddelerin İndirgenme Davranışının Kinetik İncelenmesi" Deney Föyü
4. Yıldız, N. "Sünger Demir Üretimi" 2014, Madencilik Dergisi, 90-96
5. Aydın, S. 2014, "Metalurji ve Malzeme Mühendisleri için Termodinamik" 1. Baskı, İstanbul: Literatür Yayıncılık