

İki Değerli Demir Sülfattan Demir Tozu Üretimi

Ercan AÇMA, M. Şeref SÖNMEZ

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Üretim Metalurjisi, A. B. D., 80626, Maslak, İstanbul-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 27.04.2000

Özet

Bu çalışmada, çinko veya kalay kaplı ince saçların imalatı sırasında yapılan yüzey temizleme işlemlerinde (pickling) oluşan derişik demir içeren çözeltilerden demir tozu üretimine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Demir tozu üretimine yönelik olarak atık pickling banyosu tuzlarından götit çöktürme-dehidratasyon-redüksiyon yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda seçilen yöntemin optimum parametreleri incelenmiştir. Üretilen demir tozlarının ortalama tane boyutu 4-5 μm ve özgül yüzey alanı 1,2 m^2/g 'dir ve ürün %99,75 Fe, %0,03 C, %0,015 P ve %0,01 S içermektedir.

Anahtar Sözcükler: Götit, Dehidratasyon, Redüksiyon, Demir tozu.

Production of Iron Powder from Iron (II) Sulphate

Abstract

The production of iron powder from concentrated iron solutions obtained during surface finishing (pickling) carried out to produce zinc or tin coated thin sheets, was investigated. Goethite precipitation from the waste pickle liquors-dehydration-reduction method was used to produce iron powder. In the experiments, the optimum parameters of the chosen method were investigated. The iron powders produced had an average grain size of 4-5 μm , and a specific surface area of 1.2 m^2/g , and the product consisted of 99.75% Fe, 0.03% C, 0.015% P and 0.01% S.

Key Words: Goethite, dehydration, reduction, iron powder.

Giriş

Demir tozları, toz metalurjisi endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılan temel hammaddelere biridir. Bu sektörde kullanılan diğer metal veya metal dışı tozlar ile karşılaştırıldığında demir çok yüksek sinterleşme özelliğine ve mukavemete sahiptir. Bu özelliklerinin yanında düşük fiyatta olması da önemli bir avantajdır “Ersümer (1970)”. Demir tozları istenirse karbonla alaşımlandırılarak daha yüksek kalitede toz metal ürünlerinin

üretiminde kullanılabilir. Çeşitli yöntemlerle üretilen demir tozlarının 2/3'ü toz metalurjisinde, 1/3'ü ise kaynak ve elektronik-manyetizma sektörlerinde kullanılmaktadır “Winstrom, Smith (1967)”.

Toz metalurjisi veya diğer sektörlerde kullanılan demir tozu çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Höganäs prosesi “Lenel (1980)” ve Pyron yönteminde “Harrison (1979)”; karbonla redüksiyon ve öğütme, QMP prosesi “Capus (1980)” ve Dom-

fer yönteminde “Ray (1952)” granülasyon, SCM yönteminde “Klar (1981)” elektroliz, NU prosesi “Stskin (1980)”, HIP prosesi ve FLUR prosesinde “Antonsen, Tundermann (1980)” akışkan yatakta H_2+CO ile redüksiyon yöntemleriyle demir tozu üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden redüksiyona dayanan proseslerde temel girdi hematit veya manyetit formundaki mümkün olduğunca saf demir oksitlerdir.

Entegre demir çelik tesislerinde özellikle yassı hadde ürünlerinin elde edilmesinde pickling işlemleri önemli bir yer tutmaktadır. Sülfürik asitli veya hidroklorik asitli çözeltilerle gerçekleştirilen bu işlemde doymuş çözeltilerden oldukça saf demir tuzları kristalize edilebilmektedir. Bu kristalize ürünlerden biri olan demir vitriolden ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) götit çöktürme-dehidratasyon ve redüksiyon yoluyla demir tozu üretimi mümkün görünmektedir.

Bu çalışmada demir tozu üretimine yönelik olarak üç aşamalı bir işlem gerçekleştirilmiştir. Yüzey temizleme amacıyla kullanılan pickling banyolarında oluşan atıklardan öncelikle götit çöktürme işlemi ile α - $FeOOH$ elde edilmiş, elde edilen götit çökeleği dehidratasyon ile hematite daha sonra hidrojen ile redüksiyon sonucunda demir tozlarına dönüştürülmüştür. Gerçekleştirilen deneylerde amaçlanan üretim yönteminin optimum parametreleri etüt edilmiş ve üretilen demir tozunun bu parametrelere bağlı olarak karakterizasyonu incelenmiştir.

Deneysel Çalışmalar

Kullanılan hammaddeler

Demir tozlarının üretim parametrelerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda Türkiye’deki bir entegre demir-çelik fabrikasından temin edilen pickling banyosu atığı demir vitriolü ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) kullanılmıştır. Tablo 1’de verilen kimyasal analizden görüldüğü gibi bu tuz oldukça saf bir kimyasal kalitesindedir.

Kullanılan cihaz ve malzemeler

Demir tozlarının üretimine yönelik olarak gerçekleştirilen deneylerin ilk aşamasındaki götit çöktürme deneylerinde ısıtma işlemi Framo-Geraetetechnik marka ısıtıcı, karıştırma işlemi ise İka Werk RW20 marka karıştırıcılarla gerçekleştirilmiştir. Oluşan götitin dehidratasyonu için Nuve marka etüv, redüksiyon işlemleri için ise Herraus marka tüp fırın kullanılmıştır. Kimyasal

analizler Perkin Elmer 1100B marka atomik absorpsiyon spektrofotometresi ve Herraus marka karbon-kükürt cihazı; elde edilen toz ürünlerinin karakterizasyonu JEOL-JSM-840 marka taramalı elektron mikroskobu, Shimadzu marka TG ve tane boyutu analizleri Shimadzu SA-CP2-20 marka sedigraf cihazları ile yapılmıştır. Saf hidrojen gazı, saf asit ve kimyasallar, çeşitli cam ve seramik eşyalar deneylerde kullanılan diğer alet ve malzemelerdir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan demir vitriolünün kimyasal analizi.

Empürite	Miktar (ppm)
Mn	3,7
Pb	0,56
Cu	0,36
Zn	0,53
Na	0,15
K	0,17
Ca	1,6
SiO ₂	200

Deneylerin yapılışı

Bu çalışmada yer alan deneylerin ilk grubu götit çöktürme deneyleridir. Bu grup deneylerde suda çözümlendirilen demir vitriol tuzu ($53g l^{-1} Fe^{2+}$) pH, 2,5-3 değerlerinde H_2O_2 ile oksidasyon ve sud kostik (NaOH) ile sürekli nötralizasyon ile çöktürme işlemine tabi tutulmuştur. Bu götit çöktürme deneylerinde süre, sıcaklık, oksitleyici madde miktarı ve karıştırma hızı deneysel parametreler olarak incelenmiştir. İkinci grup deneyler dehidratasyon deneyleridir. Burada dehidratasyon sıcaklığı ve süresinin optimizasyonuna çalışılmıştır. Bunu takip eden üçüncü grup deneyler redüksiyon işlemleridir. Bu işlemlerde ise dehidratasyondan elde edilmiş α - Fe_2O_3 demir tozu dönüşümünü gerçekleştirmek amacıyla H_2 gazı ile redüklenmiştir. Gerçekleştirilen redüksiyon deneylerinde sıcaklığın ve sürenin etkisi incelenmiştir. Son grup deneyler ise elde edilen ürünün karakterizasyonunu kapsamaktadır.

Deneylerin yapılışında kimyasal analizlerde atomik absorpsiyon spektrofotometresi, karbon-kükürt cihazı, metalik demir ve fosfor analizleri için ise standart yaş kimyasal metotlar kullanılmıştır.

Deneysel Sonuçları

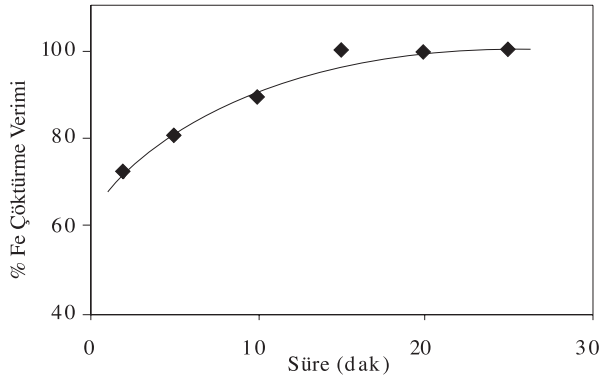
Götit çöktürme deneyi sonuçları

Yüzey temizleme amacıyla kullanılan pickling banyolarında oluşan atıklardan H_2O_2 yardımı ile

götüt çöktürme deneylerinde sürenin, H_2O_2 miktarının, sıcaklığın ve karıştırma hızının çöktürme reaksiyonuna etkisi incelenmiştir. Kontrollü olarak H_2O_2 ve NaOH ilavesi ile yapılan götüt çöktürme deneylerinden Şekil 1,2,3 ve 4'deki sonuçlar elde edilmiştir.

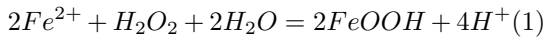
Sürenin etkisi

Şekil 1'de görüldüğü gibi sürenin götüt çöktürme verimine etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen deneylerde %200 stokiyometrik H_2O_2 kullanılarak 400 dev.dak⁻¹ karıştırma hızında, NaOH ilavesi ile pH değeri 2'de tutulmuştur. Bu deney sonunda elde edilen eğriden de görüleceği gibi ortam sıcaklığında, 15-20 dakikalık çöktürme süresinde demirin %99,5-99,8'i götüt olarak çökmektedir. Saptanan bu optimum şartlar dışında sürenin artırılması götüt çökme verimini değiştirmemektedir.



Şekil 1. Sürenin götüt çöktürme verimine etkisi (25°C, 400 dev.dak⁻¹, %200 st. H_2O_2)

Bulunan deneysel sonuçlara göre çizilen bu şekil, H_2O_2 ile demir oksidasyonu tamamlandıktan sonra götüt çöktürme verimine 15 dakikadan sonra zamanın etkisinin olmadığını göstermektedir. Demir iyonları içeren pickling çözeltilerinden götüt çöktürme;



reaksiyonuna göre gerçekleşmektedir. Bu reaksiyondan da görüleceği gibi önce Fe^{2+} , Fe^{3+} 'a oksitlenmekte ve Fe^{3+} su ile reaksiyona girerek götüt oluşturmaktadır. Bu reaksiyonun hızını kontrol eden reaksiyon adımı Fe^{2+} 'nın oksidasyon hızıdır "Awakura ve arkadaşları (1986)". Dolayısıyla oksidasyon ve çöktürme işlemlerinin süresini belirleyen temel parametre oksidasyon hızıdır. Oksidasyon hızı da temel olarak kullanılan oksitleyicinin

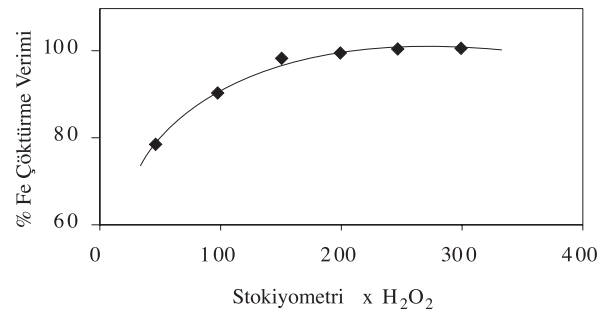
türüne göre değişmektedir. Pickling banyosu atık çözeltilerinden manyetik $\gamma-Fe_2O_3$ üretimine yönelik olarak gerçekleştirilen götüt çöktürme işlemlerinde gerekli çöktürme süresi başlangıç demir konsantrasyonuna bağlı olarak yaklaşık olarak 4 saattir "Sesigür (1995)". Bu çöktürme zamanı hava ile gerçekleşen oksidasyon reaksiyonu için verilmiştir. Daha etkin oksitleyici maddelerle (H_2O_2 gibi) yapılan götüt çöktürme işlemlerinde ise süre 8-66 dakika arasındadır "Davey ve Scott (1976)".

H_2O_2 miktarının etkisi

Pickling çözeltilerindeki demirin kazanılmasına yönelik olarak çöktürme verimine H_2O_2 ilavesinin etkisini incelemek üzere üstten karıştırılarak gerçekleştirilen deneyler 15 dakikada, 25°C'de, 400dev.dak⁻¹ karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2'den de görüldüğü gibi çözeltide bulunan demirin çöktürme işleminin tamamına yakınının gerçekleşmesi için %200-250 stokiyometrik H_2O_2 miktarı ilavesi yetmektedir. Bu orandaki dönüşüm ortam sıcaklığında sağlanmakta, çözeltili sıcaklığının yükselmesiyle birlikte H_2O_2 ilavesi arttırılsa bile götüt çöktürme verimi azalmaktadır.

Çözeltide bulunan demirin götüt halinde çöktürülmesi amacıyla yapılan deneylerde, oksitleyici ajan olarak ilave edilen H_2O_2 , oksitlenme kabiliyeti bulunan bir iyon yardımıyla parçalanarak atomal oksijen oluşturmakta ve oluşan bu atomal oksijen ile oksidasyon gerçekleşmektedir "Lattimer (1953)". H_2O_2 'nin parçalanmasıyla oluşan atomal oksijenin oksidasyon görevini yapabilmesi için çözeltilinin oksijen açısından o sıcaklık için doymuş hale gelmesi şarttır "Jackson (1986)". Yapılan deneylerde söz konusu doymuşluk değerine %200 stokiyometrik H_2O_2 ilavesiyle ulaşılmaktadır.

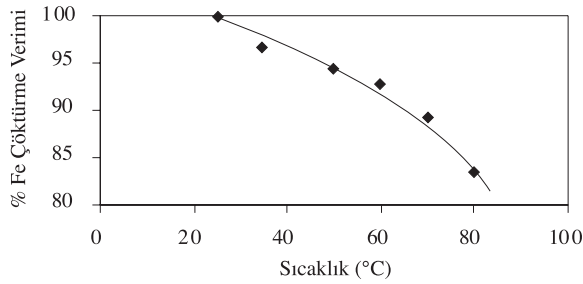


Şekil 2. H_2O_2 miktarının götüt çöktürme verimine etkisi (15dak, 25°C, 400 dev.dak⁻¹)

Sıcaklığın etkisi

Çöktürme işleminde kullanılması gereken optimum H_2O_2 miktarının tespit edilmesinden sonra sıcaklık artışının demirin çökme verimine etkisi incelenmiştir. Deneyler 15 dakika süre ile, 400 dev.dak^{-1} karıştırma hızında, stokiyometrik oranın iki katı H_2O_2 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen bulgulara göre sıcaklık artışı ile çökme veriminde azalmanın meydana geldiği şeklindedir. İşlem sıcaklığının artmasıyla birlikte, çözültideki oksijenin çözünürlük değeri azalmakta ve H_2O_2 daha hızlı parçalanmaktadır. Böylece oluşan atomal oksijen çözeltiyi daha çabuk terk etmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi sıcaklıkla çöktürme verimi arasındaki ilişki, Weast, Astle ve Beyer'in çalışmalarında belirttikleri suda farklı sıcaklıklar için oksijen doymuşluk değerlerinde değişimin meydana geldiği görüşü ile aynı yöndedir "Weast ve arkadaşları (1983-1984)". 50°C 'den yüksek sıcaklıklarda çöktürme verimi %94,4'den %83,7 değerine düşmektedir. Çöktürme verimi ortam sıcaklığında en yüksek değerdedir.

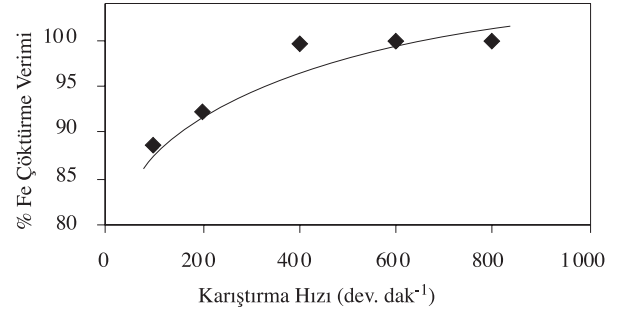


Şekil 3. Sıcaklığın götit çöktürme verimine etkisi (400 dev.dak^{-1} , %200 st H_2O_2 , 15 dak)

Karıştırma hızının etkisi

Şekil 4'de 100, 200, 400, 600, 800 dev.dak^{-1} karıştırma hızlarının çöktürme verimine etkisi incelenmiştir. Stokiyometrik oranın iki katı H_2O_2 kullanılarak, 25°C 'de, 15 dakika süre ile gerçekleştirilen deneylerde verimin optimum değerine ulaşmaya çalışılmıştır. Şekil 4'den de görüldüğü gibi karıştırma hızının artması çökme verimini arttırmaktadır. Ortam sıcaklığında stokiyometrik oranın iki katı H_2O_2 kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde 400 dev.dak^{-1} karıştırma hızına kadar verimin hızlı bir şekilde arttığı ve %100'e yakın verime ulaşıldığı

görülmüştür. 400 dev.dak^{-1} 'dan sonra ise karıştırma hızının çöktürme verimine etkisi yoktur.



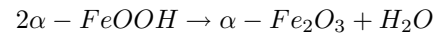
Şekil 4. Karıştırma hızının çöktürme verimine etkisi (25°C , 15 dak, %200 sto. H_2O_2)

Bu deneylerle götit çöktürme işleminde demir iyonlarının oksitleyici ajan ilavesiyle oksitlenmesinde çözültide çözülmüş oksijen miktarı yanında, açığa çıkan oksijen kabarcıklarının da etkisinin var olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde 400 dev.dak^{-1} 'lık karıştırma hızında H_2O_2 'in parçalanmasıyla oluşan oksijen kabarcıkları maksimum dağılma hızına ve en düşük kabarcık çapına ulaşmaktadır "Mishra, Kapoor (1978)". Daha yüksek karıştırma hızlarının dağılma miktarına etkisi olmaması sebebiyle oksidasyon verimleri 400 dev.dak^{-1} 'dan sonra değişmemektedir.

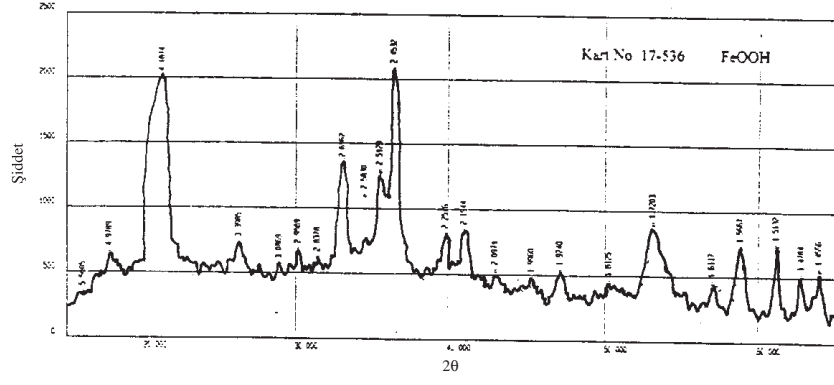
Oksidasyon sonrası oluşan Fe^{3+} , karıştırma hızının artmasıyla su molekülleriyle daha hızlı hidratasyon reaksiyonu gerçekleştirilmektedir.

Dehidratasyon deneyleri

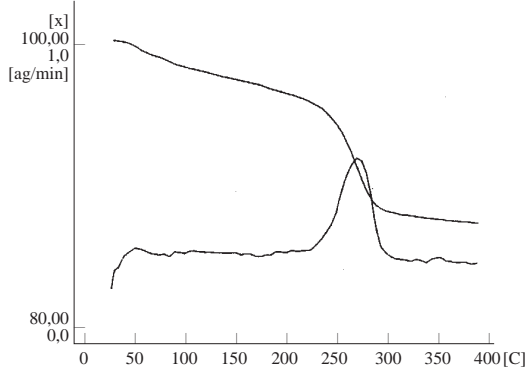
Bir önceki bölümde elde edilen götit çökeleği α - $FeOOH$ formundadır (Şekil 5). Bu bileşik aşağıdaki endotermik reaksiyonla,



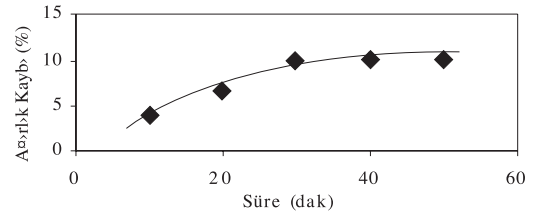
α - Fe_2O_3 'e dönüşmektedir. Yapılan Termogravimetrik (TG) ölçümlerinde bu reaksiyonun gerçekleşmesi için 250°C sıcaklığın yeterli olduğu ve bu sıcaklıkta parçalanmanın yarım saatte tamamlandığı tespit edilmiştir (Şekil 6 ve 7). Oluşan hematit bileşiği α - Fe_2O_3 yapısındadır (Şekil 8) ve $10,6 \text{ m}^2/\text{g}$ 'lik özgül yüzey alanına (BET) sahiptir.



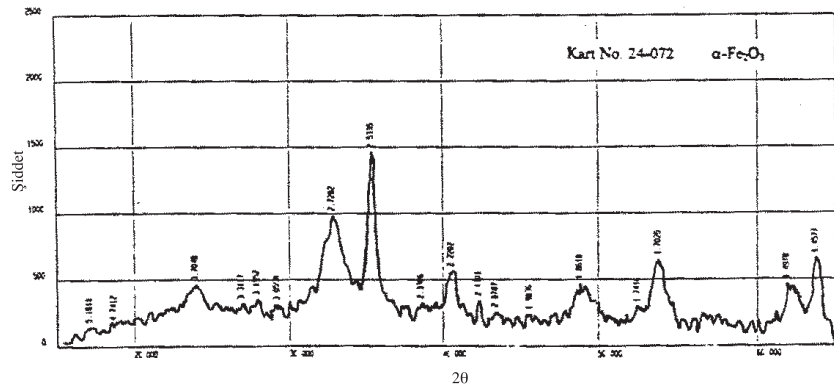
Şekil 5. Elde edilen götit çökeleğinin x ışını görüntüsü.



Şekil 6. Götüt numunesinin TG incelemesi.



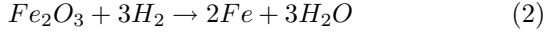
Şekil 7. Götütin dehidratasyonunda süreye bağlı ağırlık değişimi.



Şekil 8. Dehidratasyondan çıkan ürünün x ışınları difraktogramı.

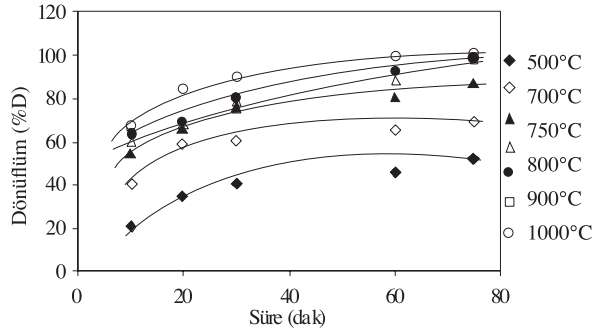
Redüksiyon deneyleri

Çöktürülen götit bileşiklerinin dehidratasyonundan sonra hematitin redüksiyonu amacıyla 500-1000°C sıcaklıklar arasında hidrojen gazı ile,



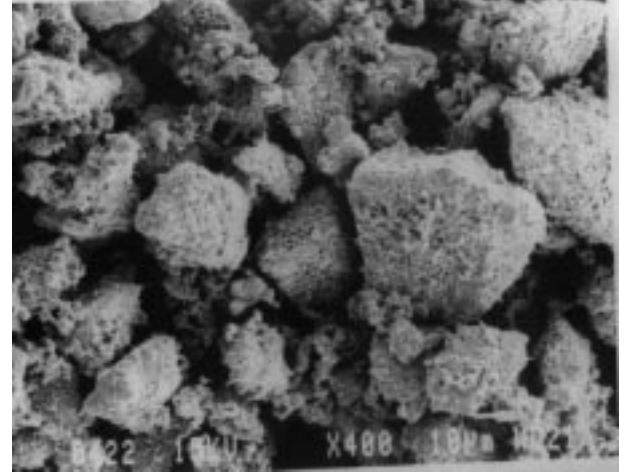
Tablo 2. Demir tozlarının metalik Fe yüzdeleri.

Sıcaklık	10 dak	20 dak	30 dak	60 dak	75 dak
500°C	20,02	33,94	40,24	45,27	51,8
700°C	40,02	59,24	61,3	65,21	69,34
750°C	50,26	65,81	75,63	80,24	86,74
800°C	59,84	67,54	78,87	88,12	97,15
900°C	63,25	70,43	80,33	92,58	98,41
1000°C	66,15	84,57	89,88	99,75	99,86

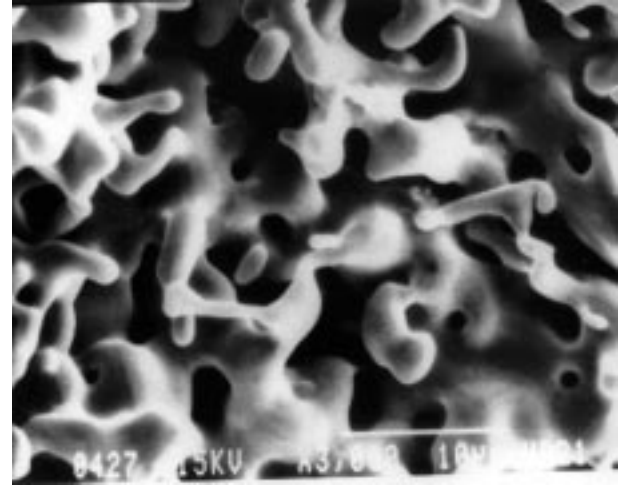


Şekil 9. Farklı sıcaklık ve sürelerde elde edilen dönüşüm oranları.

reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Hematitin hidrojen ile indirgenmesinde sıcaklık-süre ilişkileri Tablo 2 ve Şekil 9'da görülmektedir. Bu tablo ve şekilde redüksiyon verimini gösteren %D ürün içindeki metalik demir miktarının analizi ile tespit edilmiştir. İlgili şekil ve tablodan görüldüğü gibi tam redüksiyonun gerçekleşmesi için sıcaklığın 1000°C'ye çıkarılması gerekmektedir. Orijini götit olan hematit bu sıcaklıkta 60 dakikada tam olarak redüklenmektedir (%D = 99,75). Şekil 10 ve Şekil 11'de verilen SEM incelemelerinden de 750°C/30 dakikalık ve 1000°C/60 dakikalık redüksiyonlardan sonra elde edilen ürünlerin SEM görüntüleri de 1000°C sıcaklık ve 60 dakika indirgeme süresinde tam metalizasyonun sağlandığını kanıtlamaktadır.



Şekil 10. 750°C/30 dak. redüklenmiş numunenin elektron mikroskobu görüntüsü (x400).



Şekil 11. 1000°C/60 dak. redüklenmiş numunenin elektron mikroskobu görüntüsü (x3000).

Redüksiyon deneylerinin kinetik incelemesi

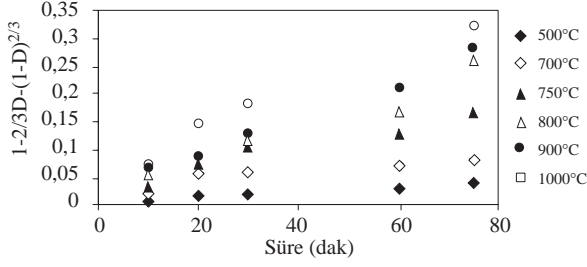
Götitin dehidratasyonundan elde edilen hematitin redüksiyon kinetiği demir cevherlerinin katı-gaz tipi reaksiyonlarla indirgenmesinde kullanılan difüzyon kontrollü büzülen çekirdek modeline göre "Habashi (1969)" incelenebilmektedir. Crank-

Ginstling-Brounshtein ifadesi olarak adlandırılan ve

$$1 - \frac{2}{3}D - (1 - D)^{2/3} = k.t \quad (3)$$

şeklindeki bu kinetik modelde D; redüksiyon oranını, k; hız sabitini (1/dak), t ise redüksiyon süresini (dak) ifade etmektedir. Bu eşitliğe göre çizilen $[1 - \frac{2}{3}D - (1 - D)^{2/3}] - t$ değişiminden hesaplanan k değerleri;

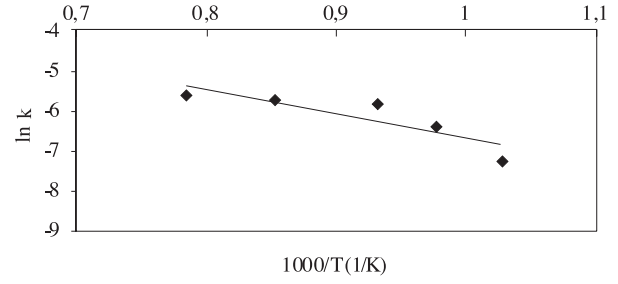
$$k = Ae^{-E/RT}$$



Şekil 12. Numunenin $[1 - \frac{2}{3}D - (1 - D)^{2/3}] - t$ değişimi.

ile verilen Arrhenius denkleminde (A; sabit, E; aktivasyon enerjisi $-kj.mol^{-1}$, R; gaz sabiti $-kj.mol.^{\circ}K^{-1}$, T; sıcaklık $-^{\circ}K$) türetilen, $\ln k - 1000/T$ değişiminde yerine konursa bu değişimin eğiminden aktivasyon enerjisi hesaplanabilmektedir. Büzülen çekirdek modeline göre redüksiyon deneylerinde ölçülen $[1 - \frac{2}{3}D - (1 - D)^{2/3}] - t$ değişimi Şekil 12'de, $\ln k - 1000/T$ değişimi ise Şekil 13'de verilmektedir. Bu şekillerden hesaplanan aktivasyon enerjisi $50,36 kj.mol^{-1}$ 'dir. Bu aktivasyon enerjisi değerinin mertebesi $12-52kj.mol^{-1}$ "Habashi (1969)" arasına karşılık geldiğinden gerçekleştirilen

redüksiyon işlemleri ağırlıklı olarak yayınma kontrolüdür.



Şekil 13. Numunenin $\ln k - 1000/T$ değişimi

Demir tozu karakterizasyonu

Götüt çöktürme, dehidratasyon ve redüksiyon işlemleri sonrasında optimal şartlarda elde edilen demir tozunun içerdiği safsızlıkların miktarları Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3. Elde edilen demir tozunun safsızlık içeriği.

Element	% Safsızlık İçeriği
C	0,03
S	0,01
P	0,015
Mn	0,02
Na	0,005

$1000^{\circ}C$ 'de 60 dakika redüksiyon sonunda elde edilen numune %99,75 oranında metalik demir içermektedir. Bu numunenin SEM imajı Şekil 11'de görülmektedir.

Tablo 4. Üretilen demir tozlarının tane boyutu analizi.

Tane Aralığı (μm)	% Elek Fraksiyonu	Tane Aralığına Karşıt Gelen Ortalama Tane Boyutu (μm)	Ortalama Tane Boyutu x % Elek Fraksiyonu
+15	13,4	15	201
-15+10	1,7	12,5	21,55
-10+8	4,8	9,0	43,2
-8+6	3,3	7,0	23,1
-6+4	3,0	5,0	15
-4+3	4,3	3,5	15,05
-3+2	9,0	2,5	22,5
-2+1	24,6	1,5	36,9
-1+0,8	6,5	0,9	5,85
-0,8+0,6	5,8	0,7	4,06
-0,6+0,5	1,3	0,55	0,715
-0,5	22,3	0,5	11,15
Σ	100		401,0

Aynı numunenin Shimadzu SA-CP2-20 marka sedigrafıya yapılan tane boyutu analizinde (Tablo 4) üretilen demir tozunun ortalama 4,01 mikron boyutunda olduğu görülmektedir. Demir tozunun özgül yüzey alanı ise $1,2\text{m}^2/\text{g}$ olarak ölçülmüştür.

Değerlendirme

Özellikle yassı çelik mamulleri üreten tesislerde çinko veya kalay kaplı ince saçların imalatı sırasında gerekli yüzey temizleme işlemi anlamındaki “pickling” uygulaması derişik demir içeren çözeltiler mey-

dana getirmektedir. Bu çözeltilerden doymuşluk veya kristalizasyon prensibi ile üretilen demir tuzları demir sülfat veya demir klorür esaslı atık ürünler konumundadır. Bu çalışmada atık pickling banyosu tuzlarından götit çöktürme - dehidratasyon - redüksiyon yöntemiyle toplam 2 saatlik bir proses süresince oldukça kaliteli demir tozu üretiminin gerçekleştirilebileceği kanıtlanmaktadır. Üretilen demir tozları %0,03 C ve %0,01 S içeriği ile diğer yöntemlere göre üretilen (bakınız Tablo 5) demir tozlarından daha saf ve ince bir tane boyutuna sahiptir.

Tablo 5. Üretilen demir tozlarının üretici firmaların ürünleri ile karşılaştırılması.

Üretici	%Fe	%C	%S	%P	Ort. Tane Boy. (μm)
Högaras	98,2	0,01	0,01	0,01	215
Pyron	97,-98,5	0,01-0,05	0,005	0,012	106
Smith	99,0	0,01	0,02	0,01	52
QMP	99,0	0,08	0,06	0,02	62
Domfer	99,0	0,02	0,03	0,03	74
GAF	99	0,075	0,05	0,05	2-9
SCM	99,61	0,02	0,03	0,02	60
FIOR	92-93,5	0,03-0,1	0,16	0,01	104
Deney Ürünü	99,75	0,03	0,01	0,015	4-5

Kaynaklar

Antonsen, D.H., Tundermann J.H., Metals Handbook, 92-93, 1980

Awakura Y., Iwai M. and Majima H., “Oxidation of Fe(II) in HCl and H₂SO₄ solutions with dissolved molecular oxygen in the presence and absence of a cupric catalyst, in Organization of the International Symposium on Iron Control Hydrometallurgy, Westin Hotel, Canada, October 19-22, 202-223, 1986.

Capus J.M., Metal Handbook, 85, 1980.

Davey P.T., Scott T.R., “Removal of Iron From Leach Liquors by the Goethite Process, Hydrometallurgy, 2, 25-33, 1976.

Ersümer A., Toz Metalurjisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1970.

Habashi F., Principles of Extractive Metallurgy, Gordon and Bearch, 1, New York, 1969.

Harrison T.H., Pyron Corp. Press, 83, 1979.

Jackson E., Hydrometallurgical extraction and reclamation, Ellis Horwood Limited, Chichester, 1986.

Klar E., SCM Metal Products, 85, 1981.

Latimer W.M., The oxidation states of the elements and their potentials in aqueous solutions, Secon Edition, Prentice Hall Inc., New York, 1953.

Lenel F.V., Metal Handbook, 80-81, 1980.

Mishra K.K., Kapoor M.L., Kinetics of liquid-gas reactions through bubbles, Hydrometallurgy, 3, 75-83, 1978.

Ray L.G., Damfer Metal Powders Press, 90, 1952.

Samal K.S., SCM Metal Products, 90, 1979.

Sesigür M.H., “İki Değerlikli Demir Sülfattan g-Fe₂O₃ Sentezi ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.

Stskin V., Metals Handbook, 96, 1980.

Weast R.C., Astle M.J. and Beyer W.H., Handbook of Chemistry and Physics, 64th edition, CRC Press, Florida, 1983-1984.

Winstrom B.G., Smith A.O, U.S. Patent 3309733, “Apparatus for Producing Metal Powders”, 79-80, 1967.