



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

DENEYİN AMACI: Bu deneyin amacı; sünger demir üretim yöntemleri ile diğer üretim yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir.

1. SÜNGER DEMİRİN (DRI) ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Sünger demir, toz, parça ya da pelet halindeki demir cevherinin gaz ya da katı redükleyici kullanılarak ergime sıcaklığının altında (950-1100°C'de) redüklenmesi sonucu elde edilen ürünün adıdır (Sarıdede,1998).

Elde edilen bu ürün, yüksek oranda metalik demir içermesinin yanında, indirgenmemiş demir oksitler ile bir miktar karbon ve cevherden gelen gang bileşenlerini taşımaktadır.

Redüklenen cevher, süngerimsi bir görünüme sahip olduğu için "sünger demir" adı verilmiştir. Bu ürünün bir başka adı ise, direkt redüklenmiş demir'dir (DRI). Buradaki direkt redüklenme tabiri, demir oksidin karbon ile reaksiyonunu ifade eden terim ile karıştırılmamalıdır. Sünger demir üretimiyile yüksek fırın kademesi pas geçildiği için bu tabir kullanılmaktadır (Rosenqvist, 1983).

1.1 Sünger Demirin Yapısı

Cevherin taşıdığı gang, redüksiyon sonunda demirden ayrılmayacağı için özellikle E.A.F.'ye beslenecek sünger demir üretiminde kullanılacak cevherin, demir içeriği yüksek ve gang miktarı düşük olmalıdır. Genellikle gang içeriği %2-4 arasında değişir (Plöckinger ve Etterich, 1985; Ottmar ve Siegers, 1985).

Sünger demirin E.A.F.'de kullanılmasının en büyük avantajı Cu ve Sn gibi kirletici artıkları içermemesidir. P, Mn ve V içeren cevher gaz esaslı proseslerde gang içinde kalır. DRI; E.A.F. için çelik yapımında etkileyici bir faktör değildir. Sünger demirin kükürt içeriği de nispeten düşüktür ve kullanılan yakıt ve redükleyicinin kükürt miktarına bağlıdır.

Sünger demirin görünür yoğunluğu $\leq 4 \text{ g/cm}^3$ kadardır, ancak briket haline getirildiğinde yoğunluğu artmaktadır. HBI (sıcak briketlenmiş demir-hot briquetted iron), pelet ve parça sünger demirin (DRI'nın) yüksek basınç altında 650°C'den yüksek sıcaklıkta sıkıştırılmasıyla üretilir. Bu sıkıştırma büyük boşlukları kapatır, yoğunluğu arttırır ve redüklenmiş malzemenin iç yüzey alanını azaltır. Sonuç olarak HBI, pelet formundaki DRI'dan %75 daha az su çeker. Yoğunlaştırılmış HBI, aynı zamanda daha az toz üretir.

E.A.F.'na beslenecek sünger demirde -5 mm boyutundaki ince oranı %5' ten az olmalıdır. Farklı yöntemlere göre üretilmiş olan sünger demirin özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.1'de ise sünger demirlerin farklı şekillerde üretilmiş halleri görülmektedir.



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Çizelge 5.1 Farklı yöntemlerle üretilen sünger demirlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri (Aydın, 1990b; HYL III, 1996; Midrex Technologies, 1997a)

		Midrex	HYL III	SL/RN	
Toplam demir (Fe)	%	90-94	91-93	93,2	
Metalik demir (Fe)		83-89	83-88	86,7	
Metalizasyon		92-95	92-95	93	
C		1,0-2,5	1,5-4,0	0,01	
P		0,005-0,09	0,02-0,05	-	
S		0,001-0,03	0,002-0,019	0,02	
SiO ₂			1,5-2,5		
Al ₂ O ₃			0,4-1,5		
CaO			2,8-6,0	4,7	
MgO				0,5-1,8	
MnO				0,06-0,15	
Ni, Cu, Cr, Mo, Sn			Eser	Eser	-
Yığın yoğunluğu		ton/m ³	1,6-1,9	1,6-1,9	-
Görünür yoğunluk	3,4-3,6		2,8-3,5	-	



DRI Parça



DRI Pelet



HBI



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Şekil 5.1 Sünger demirlerin farklı şekillerde üretilmiş halleri (Saridede, 1998)

1.2 Sünger Demirin Üstünlükleri

Mini çelik tesisleri, hurdanın kullanılabilirliği ve kalitesi üzerine kurulmuştur ve hurdanın dalgalanan fiyatı ve sağlanabilirliğinden etkilenir. Hurda içindeki kirleticiler de belli çelik kalitelerinin üretimini sınırlar (Saridede, 1998).

Mini çelik fabrikalarının yanına kurulan işletmeler, çelik yapımında doğrudan kullanılan yüksek oranda metalleşmiş demir malzemenin kararlı üretimini sağlayabilirler. Elde edilen sünger demir (DRI) birtakım üstün özelliklere sahiptir (Çizmecioğlu, 2008).

- Hurda dışında, metalleşmiş demir malzeme (DRI) geniş ölçüde temin, kalite veya fiyat dalgalanmalarına maruz kalmaz,
- Hurda ve sünger demirin karışımı veya tamamen sünger demir kullanımıyla daha yüksek ergitme hızlarına ulaşılması sonucu işletme verimliliği artar ve sonuç ürün daha iyi kontrol edilir,
- Üniform fiziksel ve kimyasal özellikler, şarj işleminin sonunda ısı ve kimyasal şarjların güvenilir tahminine ve bu da ergitme periyodu sırasında C, S ve P kontrolüne imkan sağlar. Böylece rafinasyon periyodunda da kısılma sağlanır,
- Dökümden döküme geçen süredeki azalma, verimliliği önemli ölçüde artırır ve sıvı çelik fiyatını düşürür,
- Sünger demirin saflığı, çok düşük seviyede kirleticiler bulunması gereken yüksek kaliteli çeliğin üretimini mümkün kılar,
- Hurda ile karıştırılarak kullanıldığında ticari olarak kaliteli çeliklerin en ekonomik şekilde üretilmesinde düşük kaliteli hurda kullanımını sağlar,
- Sünger demirin kararlı birim fiyatı ve sürekli şarjı, E.A.F.'nin verimliliğini arttırarak çelik yapım maliyetini büyük oranda iyileştirir,
- Uzun dönemde yüksek fırının üretimini arttırmak ve kok tüketimini azaltmak amacıyla şarj yapılabilir (Ereğli Demir Çelik Fabrikaları, 2004b).

1.3 Sünger Demir Üretim Yöntemleri

Sünger demir üretim yöntemlerini farklı şekillerde gruplamak mümkündür (Saridede, 1998).



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

- Üretim sırasında kullanılan temel fırın prosesine göre,
- Kullanılan redükleyici elemana göre.

Çizelge 5.2’de Sünger demir üretim yöntemlerinin kullanılan fırın ve redükleyici cinsinden sınıflandırılması gösterilmektedir.

Gaz redükleyici kullanılan yöntemlerde fırın haricinde bir dönüştürücü içinde doğal gaz, petrol ya da kömürden dönüştürülerek elde edilen redükleyici gazlarla işlem gerçekleştirilir. Cevherdeki demir oksitler, bu redükleyici gazlarla reaksiyona girerek redüklenirler (Şeşen, 1990b; Midrex Technologies, 1997a).



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Çizelge 5.2 Sünger demir üretim yöntemlerinin sınıflandırılması (Sarıdede, 1998)

Teçhizat	Redükleyici Eleman		Demir oksit
	Katı	Gaz	
Şaft Fırını		Midrex	Parça cevher yada pelet
		HYL III	
		Purofer	
Sabit Yatak		HYL I	Parça cevher yada pelet
Döner Fırın	Krupp-Codir		Parça cevher yada pelet
	SL/RN		
	DRC		
	TDR		
	JINDAL		
	SIIL		
	Accar/OSIL		
Akışkan Yatak		Fior	İnce cevher
		Finmet	
		Circored	
		Circofer	
Döner Hazneli Fırın		Fastmet	Toz cevher yada konsantre
		Kinglor-Metor	
		ITmk3	
		Inmetco	

Redükleyici madde olarak katı yakıtlar kullanıldığında daha çok kok tozu, ucuz kömürler veya linyit tercih edilir. Her durumda ana redükleyici eleman karbondur. Genellikle fırın içinde katı karbonun oksitlenerek CO oluşturması ve bu CO'ın demir oksitleri redüklemesiyle işlem gerçekleştirilir. Katı redükleyici kullanıldığında kömürün içerdiği kükürdün etkisini ortadan kaldırmak için bir miktar desülfürizasyon maddesi ilave edilir (Rosenqvist, 1983; Davis vd., 1982).



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

1.4 Sünger Demir Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Dünyada en fazla sünger demir üretimini gerçekleştiren iki önemli proses, Midrex ve HYL III prosesleri, doğalgazın dönüşümüyle redüksiyon yapmaktadırlar. Şaft fırını kullanan bu prosesler arasındaki ana farklar şunlardır (Çizmecioğlu ve Sarıdede, 2005)

- HYL yüksek basınçta çalışır (lock hoppers-kilitli silolar gibi); Midrex atmosferik basınçta çalışır. Yüksek basınçta çalışmak HYL operatörlerine daha küçük teçhizat kullanma imkanı sunar. Ayrıca yüksek basınç, HYL'nin redükleyici gazında yüksek konsantrasyonda hidrojen bulunmasını sağlarken, Midrex'in redükleyici gazı daha fazla CO içerir. Midrex prosesi daha basittir,
- HYL buhar dönüştürücüsüne sahiptir; Midrex stokiyometrik dönüştürücüye sahiptir. Midrex'in dönüştürücüsü giren bütün gazları işlemde kullanılan gaza dönüştürür fazla gaz bulunmaz,
- Midrex'in dönüştürme ve redükleme prosesleri birbirine bağılıyken, bu prosesler HYL tesisinde bağımsızdır,
- Ticari açıdan en başarılı gaz redükleyici kullanılan yöntemdir. 1986 yılında sünger demir üretiminin % 54'üne, 1988 yılında % 64'üne, 2003 yılında % 64,6'sına ve 2006 yılında ise % 59,7'sine sahip olmuştur (Midrex Technologies, 2007b).

Çizelge 5.3'de bazı sünger demir üretim yöntemlerinin avantajları gösterilmektedir.



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Çizelge 5.3 Bazı sünger demir üretim yöntemlerinin avantajları (Sarıdede, 1998)

PROSES ADI	AVANTAJLARI
Midrex	<ul style="list-style-type: none">• Dünya çapında ticari kullanım,• Kanıtlanmış performans,• Göreceli olarak kolay uygulama,• Hammadde çeşitliliği,• CO₂ ile dönüştürme işlemi; buhar sistemi, dönüştürülmüş gazın soğutulması, redükleyici gazın ısıtılması ve CO₂ uzaklaştırılması ihtiyaçlarını ortadan kaldırır.
HYL	<ul style="list-style-type: none">• İspatlanmış ekipman performansı (HYL II ve HYL III reaktör teknolojisi tarafından kullanılan),• Hammadde çeşitliliği,• Doğal gaz veya cevherdeki kükürde karşı hassas olmaması,• Dönüştürücü olmadığı için daha düşük kurulum maliyeti,• Yüksek enerji verimi (diğer etkili DRI tesislerinde %70 iken burada %87)• Hylsa'nın garanti ettiği daha düşük işletme maliyeti.
FINMET	<ul style="list-style-type: none">• Düşük maliyetli ince boyutlu demir cevherinin doğrudan kullanımı,• Doğrulanmış akışkan yatak teknolojisi,• Gaz üretimi, cevher redüksiyonu ve briketlemenin ayrı yapılması sebebi ile proses ve işletmede yüksek esneklik.
Circored	<ul style="list-style-type: none">• Düşük fiyatlı ince cevheri direkt kullanabilme,• CFB' deki yüksek ısı ve kütle transferi koşulları,• Düşük yatırım maliyeti,• Düşük işletim maliyeti
Circofer	<ul style="list-style-type: none">• Düşük fiyatlı ince cevheri direkt kullanabilme,• Doğrulanmış akışkan yatak teknolojisi,• Yüksek kaliteli ürün.



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Demir Karbür	<ul style="list-style-type: none">• Düşük işlem sıcaklığı,• Düşük üretim maliyetleri,• Ürün oksitlenmeyeceği için depolama maliyetinin olmaması,• Demir karbür ile çelik üretiminin daha ucuz olması.
SL/RN	<ul style="list-style-type: none">• Proses enerjisi olarak %100 oranında koklaşmayan kömürün kullanılması, petrol ya da gaz gerektirmemesi.• Geniş aralıkta kömür türlerinin kullanılabilmesi.• Yüksek metalizasyon derecesi ve şarj malzemelerinde en kısa ön ısıtma süresi sağlayan yatakalıtı hava enjeksiyonu ile yüksek özgül çıktı miktarı.• Fırından çıkan malzemeyi sıcak olarak ergitme ünitesine besleme imkanı.• Özel dizayn edilmiş hava tüpleri, yatak altı hava enjeksiyonu ve hızlı sıcaklık kaydetme imkanları ile emniyetli proses ve sıcaklık kontrolü. Yüksek işletme imkanları.• Çeşitli atık gaz temizleme sistemlerine uyum ve atık ısıyı geri kazanma imkanı. Atık ısı geri kazanımı ile toplam enerjinin %30-50 kadarı buhar veya elektrik gücü üretiminde kullanılabilir (Imer, 1984).
ACCAR/OSIL	<ul style="list-style-type: none">• Düşük özgül kömür tüketimi• İstenen ürün kalitesine daha hızlı ulaşma• Daha uzun kampanya ömrü• Daha yüksek verimlilik• Eksenel hava verilen reaktörlerle karşılaştırıldığında daha düşük kaliteli kömürler daha iyi değerlendirilebilir:• Yaklaşık analiz ve CV• Kül yumuşama sıcaklığı• Aşınma indeksi• Ufalanma



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÜRETİM METALURJİSİ ANA BİLİM DALI
Üretim Metalürjisi Laboratuvar Deney Föyü**

SÜNGER DEMİR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

FASTMET

- Göstergelere göre Fastmet endüstrileşmiş ülkeler dahil dünya çapında kurulu bir çok demir yapım prosesi içinde en düşük maliyete sahip olanlardan biri olacaktır.
- Üretim maliyetleri, dünyanın bir çok bölgesinde rekabet fiyatlarıyla bulunabilen toz demir cevheri, kömür, kok ya da odun kömürü kullanılarak en aza indirilmektedir.
- Hızlı redüksiyon, proses ayarlamasının çabuk ve çalıştırmanın kolay yapılmasına imkan sağlar. Bu işlem esnekliği, operatörlere ürün kalitesini sıkı kontrol etme ve üretim planındaki değişiklikleri karşılama imkanı sağlar.
- Fastmet, tek bir döner hazneli fırında yılda 150.000-450.000 ton DRI'nın ekonomik üretimini sağlar. Proseste, doğrulanmış, karmaşık olmayan teçizat kullanıldığından yatırım maliyeti düşüktür.
- Fastmet tesisi yerel ve milli çevre standartlarını karşılayacak şekilde dizayn edilebilir. Çıkan gaz klasik gaz temizleme sisteminde işlenir. Geri dönüşümle sıvı ve katı azaltılır.