

# TÜRKİYE DEMİR – ÇELİK SEKTÖRÜNDE YENİ BİR TEKNOLOJİ: SÜNGER DEMİR KULLANIMI

*Yusuf DİNÇ*

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. 67300 Kdz. Ereğli/Zonguldak  
Tel: (372) 329 5389 E-posta: ydinc@erdemir.com.tr

**Özet:** Türkiye, dünyada çelik hurdası ithalatında ön sıralarda yer almaktadır. Türkiye’de bulunan Elektrik Ark Ocaklı (EAO) Demir-Çelik Tesisleri’nin miktar ve maliyet olarak en önemli hammadde girdisi hurdadır. 2004 yılı toplam hurda tüketim miktarı 17.330.000 ton seviyesindedir. Hurda tüketiminin ancak küçük bir bölümü yerli kaynaklardan temin edilebilmektedir. Türkiye 2003 yılında toplam olarak 11,8 milyon ton hurda ithal etmiştir. Bu nedenle hurdaya ikame sünger demir gibi malzemelerin yerli kaynaklardan yararlanılarak üretilmesi, Türk Demir-Çelik ve Madencilik Sektörü’nün geleceği açısından önem taşımaktadır.

Demirin ergime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta indirgenmesi prosesi Doğrudan İndirgenme Prosesi (DR – Direct Reduction) ve üretilen ürün de doğrudan indirgenmiş demir (DRI - Direct Reduced Iron - Sünger Demir) olarak tanımlanmaktadır. Sünger demir DRI ve briketlenmiş biçimi olan HBI, dünyada büyük oranda EAO yöntemi ile çelik üretiminde hurda yerine kullanılmaktadır. Özet olarak Sünger Demir kullanımının avantajları şu şekildedir;

- DRI, hurdaya göre yoğunluğunun %10-100 fazla olmasından dolayı fırına daha yüksek tonajlar ile şarj edilebilir.
- DRI, konveyör bant ile fırına şarj edildiğinden, ısı kaybı düşmekte ve dökümden döküme sürenin azalması nedeniyle üretim artmaktadır.
- DRI tanecik yapısının düzgün olması, düzgün bir güç gereksinimi sağlar. Gücün düzgün olması elektrik kesintilerini önler ve yaklaşık %5 tasarruf sağlar.
- DRI, hurdada olduğu miktarda yabancı malzeme bulundurmadığı için, daha yüksek kalitede çelikler üretilmektedir.
- DRI, değişen market koşullarına (hurda fiyatlarına) bağlılığı azaltır.
- DRI; Yüksek Fırın, Konvertör, Dökümhane ve EAO’nda kullanılabilir.

Bu bildiri raporunda; Türk Demir - Çelik Sektörü’nün hurda ihtiyacı verilmekte, hurdaya ikame olarak kullanılacak sünger demir ile ilgili teknolojilerin tanıtımı yapılmakta, çeşitli avantaj ve dezavantajları, yatırım ve üretim maliyetleri, satış fiyatları incelenmekte, ayrıca Türkiye şartlarında kurulabilecek bir tesis için veriler ortaya konulmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Sünger Demir, DRI, Erdemir, Elektrik Ark Ocağı, Konvertör.

## 1. SÜNGER DEMİR TANITIMI

### 1.1 Genel

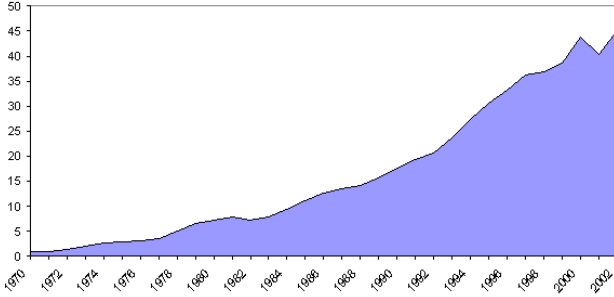
Geçtiğimiz yüzyıl boyunca demir çelik sanayiinin üzerinde en çok araştırma geliştirme çalışması yaptığı alan, yüksek fırın teknolojisine alternatif olabilecek demir ve çelik teknolojilerinin geliştirilmesi olmuştur. Yüksek fırınlarda kullanılmayan cevherler ve koklaşmayan kömürleri değerlendirmek amacıyla çok sayıda proje geliştirilmiştir. Bu teknolojiler arasında üzerinde en çok çalışılan teknoloji; Doğrudan İndirgenmiş Demir teknolojisidir. Demirin ergime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta indirgenmesi prosesi Doğrudan İndirgenme Prosesi (DR) ve üretilen ürün de doğrudan indirgenmiş demir (DRI - sünger demir) olarak tanımlanmaktadır. Bu proses sonucu üretilen ürün olan

sünger demir DRI ve briketlenmiş biçimi olan HBI (bakınız Şekil 1), dünyada büyük oranda EAF (Elektrik Ark Ocakları) yöntemi ile çelik üretiminde hurdanın yerine ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. DRI ve HBI Fotoğrafları

Bu özelliklerinden dolayı dünyada sünger demire olan talep, bu ürünün EAF'larında, BOF'larında, dökümhanelerde ve pota metalurjisi gibi bir çok alanda kullanılabileceğinin anlaşılmasından sonra artmıştır. Şekil 2'de de görüldüğü üzere, dünya DRI-sünger demir üretim toplamı 1970'de 0,8 milyon ton/yıldan, 2002 yılında 45,1 milyon ton/yıla yükselmiştir.



Şekil 2. Dünya DRI- Sünger Demir Toplam Üretim Miktarı (Milyon Ton/Yıl)

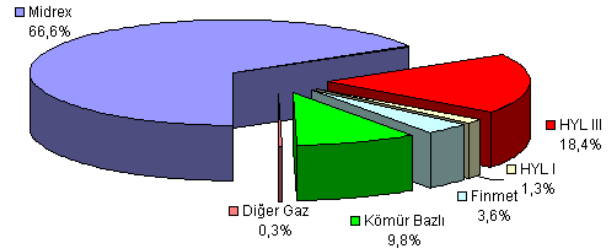
DRI indirgenmiş hali ile genelde taşınabilir ve stoklanabilir bir malzeme değildir. DRI oluşumu sırasında etkili indirgeme için gözenekler, delikler ve çatlaklar içeren bir malzeme olarak karşımıza çıkar. Fakat DRI üretimi yapıldıktan sonra bu fiziksel özellikler malzemeye zarar verecek şekilde çalışmaya başlar. Kısaca DRI üretimden sonra orijini olan kalıcı demir oksit haline dönmeye çalışır. DRI'nin çatlak gözenekli yapısı güneş ışınları altında veya nem altında bırakıldığı zaman orijinine dönmelerini hızlandırır. DRI özellikle açık havada bırakıldığı zaman metal yapısında eksilme olur. Bazı zamanlarda reoksidasyon DRI'nin tutuşabileceği yangınlara sebep olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı özellikle deniz taşımacılığında problemlere neden olabilmektedir. Bu nedenle DRI, daha durağan bir malzeme olan HBI'ye çevrilerek taşınma işlemi kolaylaştırılmış olur.

Sünger demirin en önemli avantajlarından birisi, demir cevherinden hareketle üretildiğinden, özellikle çelik üretimini sınırlayan hurdada bulunan kalıntı elementleri içermemesidir. Bu nedenle sünger demirden üretilen çelik daha temiz bir çeliktir. DRI'nin spesifik kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- EAF yöntemi ile yüksek kalitede ürünler üretmek için düşük kalıntı elementi içeren bir şarj malzemesi,
- Hurda sıkıntısı olduğu zaman EAF'nda metalik şarj kaynağı olarak doğrudan kullanabilme imkanı,
- BOF'ına soğutucu olarak ilave edilebilme imkanı,
- Kok fabrikası bakımı yada yüksek fırınların re-line sırasında diğer yüksek fırınlarda üretimi arttırmak amacıyla kısa süreli yüksek fırına şarj etme imkanı,
- Uzun dönemde yüksek fırının üretimini arttırmak ve kok tüketimini azaltmak amacıyla şarj yapılabilmesi.

Günümüze kadar sünger demir üretiminin gelişimini sınırlayan en önemli etken dünyada ucuz hurda bulma imkanının olmasıdır. Özellikle hurda fiyatlarının düşük

olduğu dönemlerde sünger demir üretimi ekonomik olmaktan çıkmakta, hurda fiyatlarının yüksek olduğu dönemlerde ise sünger demir ekonomik olmaktadır. Bu çerçevede, düşük fiyata hurda bulma imkanı ve enerji maliyetlerinin yüksekliği gelişmiş ülkelerde sünger demir üretimini sınırlayan diğer etkenler arasında sayılabilir. Dolayısı ile sünger demir üretimi ancak ucuz doğalgaz, koklaşmayan kömür ve/veya ucuz hidroelektrik kaynaklı enerji ve uygun demir cevherleri ile ekonomik hale gelmektedir. Şekil 3'de, dünya DRI-sünger demir üretim oranları proses türüne göre verilmektedir.



Şekil 3. 2002 Yılı Proses Bazında Dünya DRI Üretimi

## 1.2 DRI'nin Avantajları

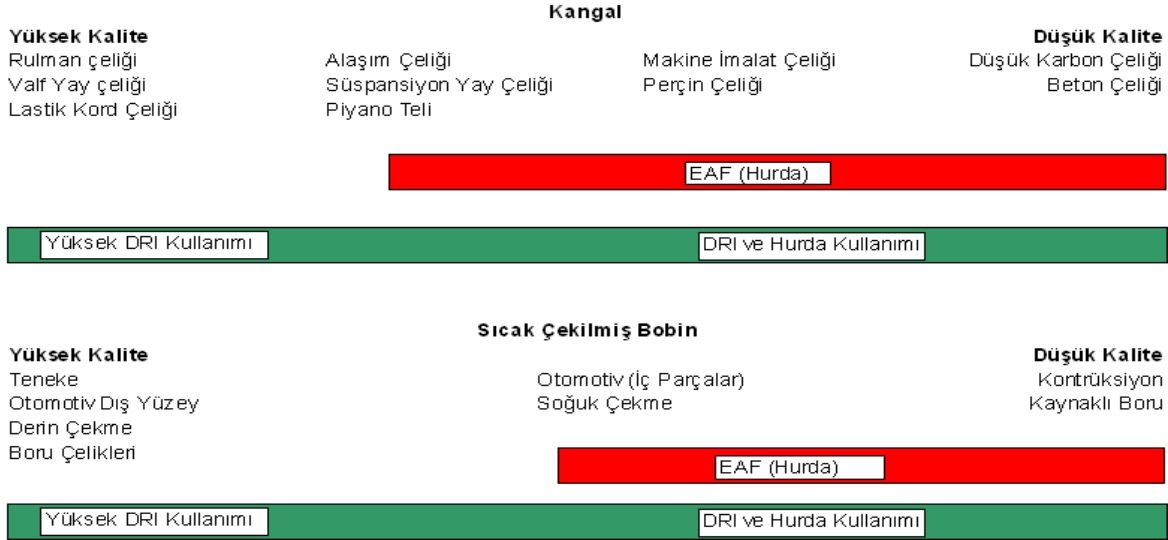
- DRI, hurdaya göre hacimsel ağırlığının %10-100 arasında fazla olmasından dolayı fırına daha yüksek tonajlar ile şarj edilebilir.
- DRI, hurdada olduğu gibi sepetler ile değil genelde konveyör bant ile fırına şarj edildiğinden, fırında ısı kaybı olmamakta ve dökümden döküme sürenin azalması nedeniyle üretim artmaktadır.
- DRI, EAF'ye sıcak şarj edilebilmektedir.
- İstenmeyen elementlerin (kükürt ve fosfor) DRI de az olması nedeniyle EAF'de rafine işlemi kısa olmaktadır.
- DRI tanecik yapısının düzgün olması, düzgün bir güç gereksinimi sağlar. Gücün düzgün olması elektrik kesintilerini önler ve yaklaşık %5 tasarruf sağlar.
- DRI, hurdada olduğu miktarda yabancı malzemeler bulundurmadığından daha yüksek kalitede çelikler üretilebilmektedir (bakınız Şekil 4).
- DRI, değişen market koşullarına ve metaliklerin durumuna (hurda fiyatlarına) bağlılığı azaltır.
- DRI hurdaya göre daha fazla soğutma gücüne sahiptir.
- DRI; Yüksek Fırın, BOF, Dökümhane ve EAF'de kullanılabilir.
- DRI üretimi istenildiği anda durdurulabilir.

## 1.3 DRI'nin Dezavantajları

- DRI'nin verimi hurdaya göre daha düşüktür. Hurdadaki metalik oranı %92-98 arasında, DRI'de ise %83-89 civarındadır.
- DRI hurdaya nazaran daha fazla gang mineralleri (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO vb.) içermektedir. Sünger demir kullanılması halinde daha fazla cüruf oluşacaktır.

- Sünger demir kullanılması halinde EAF'den çıkan gaz ve toz miktarında artış olabilmektedir.
- Sünger demirin maniplasyon ve şarj kolaylığı vardır. Ancak maniplasyon sırasında ufalanabilme, stokta

bekleme süresince tutuşma ve yanma olayları gerçekleşebilmektedir.



Şekil 4. DRI ve Hurda Kullanımına Göre Üretilebilecek Kaliteler

## 2. HURDA KULLANIMI

Ekonomik ömrünü doldurmuş kullanılmayan döküm veya haddelenmiş demir-çelik mamulü her türlü makine, araç, ekipman, fabrika, tezgah, kara, deniz ve hava araçları, inşaat ve askeri amaçlı malzemelerin bütünü veya parçaları ile bunların üretilmesi sırasında ortaya çıkan imalat artıkları, iskartaları, kullanım dışı eski veya yeni tüm malzemelere demir-çelik hurdası veya kısaca hurda adı verilir.

Türkiye'de bulunan Elektrik Ark Ocaklı (EAO) Demir-Çelik Tesisleri'nin miktar ve maliyet olarak en önemli hammadde girdisi hurdadır. Kalitesine göre değişmekle birlikte, Aralık 2004 itibarıyla Türkiye'de hurda satınalma maliyetleri 280-300 ABD\$/ton aralığında ve oldukça yüksek düzeyde bulunmaktadır (Şekil 7'de geçmiş yıllara ait hurda satınalma maliyetleri gösterilmiştir). 2004 yılı tahmini Türkiye Hurda Tüketimi'nin gösterildiği tablo 1'den de görülebileceği üzere, 16.180.000 tonu Elektrik Ark Ocaklı Tesisler, 1.150.000 tonu Entegre Tesisler olmak üzere 2004 yılı toplam hurda tüketim miktarı ise 17.330.000 ton seviyesindedir. Yüksek seviyedeki hurda tüketiminin ancak küçük bir bölümü yerli kaynaklardan temin edilebilmektedir. Türkiye 2003 yılında toplam olarak 11,8 milyon ton hurda ithal etmiştir.

Hurda kalitesi EAO ve BOF tipi üretimde çelik kalitesini ve üretim miktarını doğrudan belirlemektedir. Bu nedenle hurda alımında kullanılan teknik spesifikasyonlar ve bunlara fiili uygunluk son derece önemlidir. Dünyada EFR (European ferrous recovery & recycling federation), BFA

(British foundry association) ve BISPA (British independent steel producer's association) gibi kuruluşlar tarafından hazırlanan spesifikasyonlar ve farklı hurda standartları bulunmaktadır. Erdemir ise aşağıdaki hurda spesifikasyonlarını kullanmaktadır;

- Erd-ht1 (levha ve konstrüksiyon hurdaları)
- Isrı 94 (231 ve 232), uk-95 grade oa, gost 2787-86 no.1-1a
- Erd-ht2 (ağır çelik hurdası)
- Isrı 94 (200, 201 ve 202-hms1), uk-95 grade 1 ve 12a
- Erd-ht3 (çelik konstrüksiyon ve imalat artıkları)
- Isrı 94 (234), uk-95 grade 2 ve 12c, gost 2787-86 no.3-3a
- Erd-hk4 (paketlenmiş ve preslenmiş yeni sac hurdası)
- Isrı 94 (no.1 208), uk-95 grade 4a, gost 2787-86 no.1-8a
- Erd-ht5 (özel hurda)
- Isrı-94 (229 ve 241)

Dünyada hurda kullanılarak EAO yöntemi ile çelik üreten tesisler özellikle nervürlü demir ve tel gibi karbon çeliği üretiminde yoğunlaşmışlardır. Bu ürünler için hammaddedeki kalıntı element sınırları diğer ürünlere nispeten daha yüksek değerlerdedir. Dolayısıyla ucuz hurda bu tesisler tarafından hammadde olarak kullanılabilir. Hurdanın farklı çelik kalitelerinden gelme olasılığından dolayı, kimyasal kompozisyon açısından değişkenlik arz etmesi söz konusudur. Ayrıca hurdada demir dışı metal ve metal olmayan malzeme bulunma olasılığı da vardır.

Hurda kullanılarak EAO yöntemi ile üretilen çelik kaliteleri; düşük karbon çeliği, beton çeliği, alaşım çeliği ve bazı otomotiv iç parçaları gibi düşük ve orta kalite seviyesinde olmaktadır. Çeşitli üretim proseslerinden gelen

temiz hurda (özellikle otomotiv sanayiinden gelen derin çekme hurda) yüksek kaliteleri üretebilmek için favori malzeme olarak kullanılmaktadır. Ayrıca derin çekme kalite hurdalarda karbon miktarı sınırlı olduğundan bu açık önemli miktarda pik demir ilavesiyle giderilmektedir. Ancak otomotiv hurdalarının dünyada sınırlı olması ve pik demirin pahalılığı bu iki metalik şarjın maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu durum yalnızca kalite yönünden

değil, pazar payı ve yüksek katma değerli üretim gerçekleştirme alanlarında da dezavantaj yaratmaktadır.

Sünger demir kullanılarak EAO yöntemi ile ise; rulman, valf yayı, lastik kord çeliği, derin çekme, boru ve otomotiv dış yüzey çelikleri gibi yüksek kalitede ürün elde edilebilmektedir.

Tablo 1. 2004 Yılı Tahmini Türkiye Hurda Tüketimi

| Türkiye Hurda Tüketimi (2004 Tahmini) |                               |                                |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | (bin ton)     |
|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Tesis Adı (Yeri)                      | Ham Çelik Üretim Kapasiteleri | Aylık Hurda Tüketim Miktarları |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | Toplam 2004   |
|                                       |                               | Ocak                           | Şubat        | Mart         | Nisan        | Mayıs        | Haziran      | Temmuz       | Ağustos      | Eylül        | Ekim         | Kasım        | Aralık *     |               |
| ERDEMİR (Kdz. Ereğli)                 | 3.000                         | 60                             | 57           | 64           | 57           | 59           | 60           | 59           | 59           | 60           | 61           | 54           | 59           | 711           |
| İSDEMİR (İskenderun)                  | 2.200                         | 26                             | 22           | 26           | 21           | 20           | 26           | 24           | 28           | 25           | 23           | 22           | 24           | 286           |
| KARDEMİR (Karabük)                    | 1.100                         | 12                             | 12           | 15           | 13           | 14           | 13           | 13           | 15           | 8            | 9            | 16           | 13           | 153           |
| <b>ENTEĞRE TESİSLER TOPLAMI</b>       | <b>6.300</b>                  | <b>98</b>                      | <b>91</b>    | <b>105</b>   | <b>91</b>    | <b>93</b>    | <b>99</b>    | <b>96</b>    | <b>102</b>   | <b>92</b>    | <b>94</b>    | <b>92</b>    | <b>96</b>    | <b>1.150</b>  |
| EGE ÇELİK (İzmir)                     | 1.974                         | 100                            | 95           | 129          | 67           | 75           | 72           | 76           | 118          | 123          | 101          | 74           | 94           | 1.122         |
| İÇDAŞ (İstanbul)                      | 1.890                         | 227                            | 221          | 246          | 252          | 252          | 255          | 268          | 277          | 280          | 283          | 255          | 256          | 3.070         |
| ÇOLAKOĞLU (Kocaeli)                   | 1.675                         | 149                            | 145          | 159          | 154          | 158          | 153          | 157          | 159          | 146          | 152          | 153          | 153          | 1.838         |
| HABAŞ (İzmir)                         | 2.093                         | 182                            | 175          | 194          | 192          | 198          | 191          | 182          | 207          | 201          | 195          | 187          | 191          | 2.293         |
| EKİNCİLER (İskenderun)                | 1.000                         | 0                              | 14           | 34           | 34           | 29           | 49           | 51           | 57           | 63           | 62           | 57           | 41           | 491           |
| KROMAN (Kocaeli)                      | 1.550                         | 77                             | 74           | 86           | 88           | 90           | 86           | 93           | 92           | 92           | 93           | 82           | 87           | 1.041         |
| EREĞE METAL (İzmir) ***               | 720                           | 54                             | 55           | 60           | 61           | 69           | 62           | 70           | 63           | 58           | 63           | 42           | 60           | 715           |
| İZMİR DEMİR ÇELİK (İzmir)             | 850                           | 67                             | 63           | 76           | 69           | 80           | 72           | 69           | 74           | 70           | 69           | 66           | 70           | 845           |
| YAZICI D.Ç. (İskenderun)              | 1.010                         | 87                             | 76           | 88           | 84           | 81           | 76           | 81           | 79           | 79           | 80           | 35           | 77           | 922           |
| ÇEBİTAŞ (İzmir)                       | 700                           | 60                             | 53           | 64           | 62           | 63           | 61           | 68           | 64           | 64           | 52           | 0            | 56           | 667           |
| DİLER ÇELİK (İstanbul)                | 1.252                         | 117                            | 110          | 117          | 119          | 119          | 120          | 123          | 120          | 122          | 122          | 119          | 119          | 1.428         |
| ASİL ÇELİK (Bursa)                    | 260                           | 20                             | 15           | 22           | 20           | 20           | 20           | 20           | 17           | 20           | 22           | 17           | 19           | 230           |
| ÇEMTAŞ (Bursa)                        | 172                           | 13                             | 12           | 14           | 14           | 15           | 14           | 15           | 14           | 15           | 14           | 13           | 14           | 167           |
| MKEK/ÇELİKSAN (Kırıkkale)             | 60                            | 0                              | 0            | 1            | 1            | 1            | 1            | 0            | 0            | 1            | 1            | 1            | 1            | 8             |
| YEŞİLYURT (Samsun)                    | 390                           | 28                             | 0            | 20           | 29           | 34           | 32           | 36           | 36           | 34           | 31           | 27           | 28           | 336           |
| KAPTAN DEMİR-ÇELİK (Tekirdağ)         | 1.010                         | 85                             | 78           | 93           | 91           | 46           | 84           | 98           | 91           | 90           | 91           | 76           | 84           | 1.006         |
| <b>ARK OCAKLARI TOPLAMI **</b>        | <b>16.606</b>                 | <b>1.264</b>                   | <b>1.186</b> | <b>1.403</b> | <b>1.335</b> | <b>1.331</b> | <b>1.349</b> | <b>1.405</b> | <b>1.467</b> | <b>1.458</b> | <b>1.431</b> | <b>1.203</b> | <b>1.348</b> | <b>16.180</b> |
| <b>TÜRKİYE TOPLAMI</b>                | <b>22.906</b>                 | <b>1.362</b>                   | <b>1.277</b> | <b>1.508</b> | <b>1.426</b> | <b>1.424</b> | <b>1.448</b> | <b>1.501</b> | <b>1.569</b> | <b>1.550</b> | <b>1.525</b> | <b>1.295</b> | <b>1.444</b> | <b>17.331</b> |

### 3. TEKNOLOJİ TANITIMI

DRI üretiminde kullanılan demirli malzemeler; parça cevher, toz cevher ve pelettir. Son zamanlarda atık toz ve tortuları kullanan prosesler de geliştirilmiştir (bakınız Tablo 1). DRI parça ya da sıcak biriktirilmiş demir (HBI) şeklinde satışa sunulmaktadır. DRI veya HBI, ark ocaklarında ya da entegre demir çelik tesislerinde çelik üretimi için kullanılan en yüksek kalitedeki hurdanın yerine ikame olabilen bir üründür.

Doğrudan indirgeme teknolojilerinde MIDREX ve HYLSA teknolojileri ticari olarak kendisini kanıtlamış teknolojilerdir. Bu teknolojiler doğal gaz gibi enerji kaynaklarının bol ve ucuz temin edilebildiği ülkelerde ve

EAF yöntemiyle, özellikle yassı çelik üretiminin yapılacağı tesisler için tercih edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında sünger demir üretiminde kullanılan tüm teknolojilerin tanıtımının yapılması gerekli görülmemiş olup, yalnızca Hindistan'da ziyaret edilmiş olan TATA Sponge Iron Ltd. (TSIL) şirketinin kullandığı Tisco Direct Reduction (TDR) Teknolojisi verilmektedir.

Tablo 2. Doğrudan İndirgeme Prosesleri ve Özellikleri

| Teknoloji | Mevcut Durumu |             |             | Girdi Hammadde   |          |
|-----------|---------------|-------------|-------------|------------------|----------|
|           | Ticari        | Yarı Ticari | Pilot Tesis | Parça Cev. Pelet | Toz Cev. |
| MIDREX    | √             |             |             | √                |          |
| HYLSA     | √             |             |             | √                |          |
| FINMET    |               | √           |             |                  | √        |
| Circored  |               | √           |             |                  | √        |
| SL/RN     | √             |             |             | √                |          |
| Circofer  |               |             |             |                  | √        |
| Purofer   |               | √           |             | √                |          |
| Fior      |               |             | √           |                  |          |

## 3.1 TISCO Direct Reduction (TDR) Teknolojisi

Sünger demir üretiminde doğalgaz kaynaklarının yetersizliği, hurda bulmanın zorluğu ve bulunan hurdanın maliyeti gibi nedenlerden dolayı Hindistan kömüre dayalı sünger demir üretimine yönelmiştir.

TATA Sponge Iron Ltd. (TSIL) - Hindistan şirketi, 240.000 t/yıllık kapasitesi ile ülkemizde geliştirilmesi düşünülen sünger demir üretimine örnek teşkil edecek teknolojik özelliklere sahip bir şirkettir. TATA Sponge Iron Ltd. şirketi, kendi geliştirdikleri Tisco Direct Reduction (TDR) teknolojisi ile sünger demir üretimini gerçekleştirmektedir. 120.000 ton/yıllık üretim kapasitesine sahip iki modül şeklinde üretim yapan TATA Sponge Iron Ltd. şirketinin tesis teknik özellikleri Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3. TATA Sponge Iron Ltd. Şirketinin Tesis Teknik Özellikleri

| Ürün                             | Sünger Demir   |               |
|----------------------------------|--|---------------|
| <b>Kapasite (t/y)</b>            | 240.000  |               |
| <b>Uygulanan teknoloji</b>       | Tata Steel tarafından geliştirilen Tisco Direct Reduction (TDR) teknolojisi, Lurgi GmbH/Almanya’dan sağlanan teknik destekle bugünkü hale gelmiştir. |               |
| <b>Personel (adet)</b>           | 381  |               |
| <b>Fırın Boyutları</b>           | Uzunluk (m)  | 72            |
|                                  | Dış çap (m)  | 4,2           |
|                                  | İç çap (m)   | 3,74          |
|                                  | Eğim   | 1,432 °(%2,5) |
|                                  | Dönüş hızı (Değişken)  | 0,1-1,0       |
| <b>Soğutucu Boyutları</b>        | Uzunluk (m)  | 36,5          |
|                                  | Çap (m)  | 3,5           |
|                                  | Eğim   | 1,432 °(%2,5) |
|                                  | Dönüş hızı (Sabit)   | 1,42          |
| <b>Santral gücü (MW/1 Modül)</b> | 7,5 (10 MW’a kadar artma potansiyeli vardır)   |               |

Tisco Direct Reduction (TDR) teknolojisi ile sünger demir üretiminde demir cevheri (Hematit) ve koklaşmayan kömür kullanılan ana hammaddelerdir. Demir cevheri, kömür ve dolomit önceden belirlenen oranlarda döner fırına şarj edilmektedir. Kömürün proseste indirgeyici ve fırın sıcaklığının 950-1050 °C civarında tutulması için gerekli ısı kaynağı olmak üzere iki rolü vardır. Fırın içerisinde indirgenmenin tamamı katı halde olmaktadır. Demir cevherinin optimum indirgenmesi ve döner soğutucuda

100°C sıcaklığa soğutulması için gerekli süre 10-12 saat civarındadır. İndirgeme prosesindeki kritik faktör, kömürün yanmasının kontrolü ve CO’e dönüşümü olup, fırına hava verilmesiyle gerçekleşmektedir. Fırın içerisine hava şu şekilde verilmektedir;

- Döner fırının çıkış kısmından,
- Fırın çeperine monte edilen ikincil hava üfleyicileri ile ve
- Ön ısıtma zonuna daldırılan hava enjeksiyon nozulları ile.

Sünger demirin manyetik özelliği fırın ürünündeki kül ve char (kısmi yanmış kömür) gibi atık kısımdan manyetik separatörle kolaylıkla ayrılmasını sağlamaktadır. TSIL’de



üretilen sünger demirin özellikleri ve avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek demir içeriği ve metalleşme derecesi,
- Hurdaya oranla düşük yığın ısı iletkenliği,
- Manipülasyon esnasında minimum tozlaşma, bunkerlerde, borularda ve konveyörlerde iyi akışkanlık,
- Oksidasyon direnci,
- Çok düşük oranlarda istenmeyen elementler içeriği,
- Boyutlarının üniform olmasının ark ocaklarına sürekli şarj edilmelerini kolaylaştırması,
- Sabit fiyatla düzenli bir şekilde bulunabilmesi.

TSIL'da üretilen sünger demirin fotoğrafı şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. TSIL'da Üretilen Sünger Demir

TSIL'da üretilen sünger demirin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. TSIL'da Üretilen Sünger Demir'in Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

| Kimyasal Özellikler                 |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| Toplam Fe (%)                       | 90-92               |
| Metalik Fe (%)                      | 81-84               |
| Metalleşme (%)                      | 90 ±2               |
| S (%)                               | Maks. 0,03          |
| P (%)                               | 0,05                |
| C (%)                               | 0,20                |
| Gang içeriği (%)                    | 6-8                 |
| Fiziksel Özellikler                 |                     |
| Tane Boyu (mm)                      | Parça: >3, Toz: 0-3 |
| Yığın Yoğunluğu (t/m <sup>3</sup> ) | 1,6-2,0             |
| Özgül Ağırlık (t/m <sup>3</sup> )   | 3,5                 |

### 3.1.1 TSIL'de Kullanılan Hammaddelerin Özellikleri

#### 3.1.1.1 Kömür

Uygun kömür özellikleri Tablo 5'de verilmiştir. %S değeri en fazla 1 olarak belirtilmesine rağmen, bu değer % 2,0-2,5 seviyesine çıkması proseste bir sorun yaratmamaktadır.

Tablo 5. Proses İçin Gerekli Kömür Özellikleri

| Kimyasal Özellikler (Kuru bazda) |           |
|----------------------------------|-----------|
| Kül (%)                          | 22±2      |
| Uçucu madde (%)                  | 32±2      |
| Sabit Karbon                     | Min. 40   |
| Kükürt (%)                       | Maks. 1,0 |
| Fiziksel Özellikler              |           |
| Nem                              | Maks. 8   |
| Tane boyu (mm)                   | 0-20      |
| Reaktivite                       | Min. 2,2  |
| Kalorifik değer (KCal/kg)        | Min. 5200 |
| Kül yumuşama sıcaklığı (°C)      | 1200      |

#### 3.1.1.2 Demir Cevheri

Gerekli demir cevheri özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Proses İçin Gerekli Demir Cevheri Özellikleri

| Kimyasal Özellikler                                  |            |
|--|------------|
| Toplam Fe (%)  | 65-67      |
| SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Maks. 5,0  |
| S (%)  | Maks. 0,03 |
| P (%)  | Maks. 0,06 |
| Sn, Cu, Cr (toplam) (%)                              | Maks. 0,02 |
| CaO+MgO (%)  | Maks. 2,0  |
| Fiziksel Özellikler                                  |            |
| Tane boyu (mm)                                       | 5-20       |
| Tumbler indeksi, +6,3 mm                             | Min. 85    |
| Abrasyon indeksi, -0,5 mm                            | Maks. 5    |
| Shatter indeksi, +5 mm                               | Min. 96    |

#### 3.1.1.3 Dolomit

Uygun dolomit özellikleri Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 7. Proses İçin Gerekli Dolomit Cevheri Özellikleri

| Kimyasal Özellikler |       |
|---------------------|-------|
| MgO (%)             | 20-21 |
| CaO (%)             | 28-30 |
| Çözünmeyenler (%)   | 4-6   |
| Kızdırma kaybı (%)  | 44-45 |
| Fiziksel Özellikler |       |
| Tane boyu (mm)      | 1-4   |

### 3.1.1.4 Enerji

Kömüre dayalı sünger demir üretim teknolojisi, üretim esnasında açığa çıkan sıcak atık gazların ve fırın atıklarının (char-yanmış kömür vb.) kullanılarak elektrik üretilmesi ile daha ekonomik hale gelmektedir. Bu teknoloji ile döner fırın hem indirgeme prosesini yerine getirmekte hem de bir ısı eşanjörü işlevini yerine getirmektedir. İndirgeyici kömürün kalitesine bağlı olarak toplam ısı girdisinin yaklaşık %60'ı indirgeme işleminde kullanılmaktadır. Geri kalan %40'luk kısım fırın atık gazları ve atık malzemeleri ile atılmaktadır. Sıcak atık gaz ve katı atık önemli miktarda

kazanılabilecek enerji potansiyeli taşımaktadır. Sünger demir üretimi için gerekli olan enerji çıkarıldıktan sonra 400-500 kWh/ton elektrik enerjisi (kullanılan indirgeyiciye bağlı olarak) üretilmektedir.

## 4. SÜNGER DEMİR TESİSİ YATIRIM MALİYETLERİ

Değişik teknolojilere göre Sünger Demir Tesisi Yatırım Maliyetleri Tablo 8'de verilmektedir.

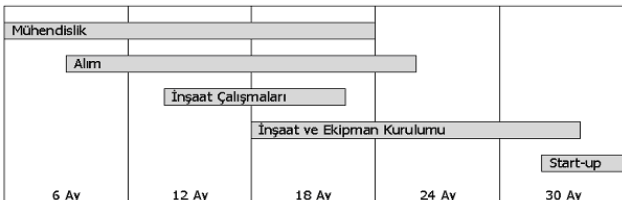
Tablo 8. Sünger Demir Tesisi Yatırım Maliyetleri  
(1.000.000 Ton/Yıl Kapasite)

| Proses       | Kullanılan Hammadde | İndirgen | Yatırım Maliyeti (Milyon ABD\$) |
|--------------|---------------------|----------|---------------------------------|
| AREX         | Pelet/Demir Cevheri | Gaz      | 150                             |
| Circofer     | Toz Cevher          | Karbon   | 200                             |
| Circored     | Toz Cevher          | Gaz      | 190                             |
| Davy DRC     | Pelet/Demir Cevheri | Karbon   | 270                             |
| FASTMET      | Toz Cevher          | Karbon   | 175                             |
| FINMET       | Toz Cevher          | Gaz      | 220                             |
| HYL III*     | Pelet/Demir Cevheri | Gaz      | 190                             |
| Iron Carbide | Toz Cevher          | Gaz      | 230                             |
| Inmetco      | Toz Cevher          | Karbon   | 170                             |
| MIDREX       | Pelet/Demir Cevheri | Gaz      | 180                             |
| TDR          | Pelet/Demir Cevheri | Karbon   | 100**                           |
| SL/RN        | Pelet/Demir Cevheri | Karbon   | 240                             |

\*Bu tesiste sıfır elektrik ihtiyacı için buhar jeneratörü kurulmuştur. \*\* Tahmini

## 5. SÜNGER DEMİR TESİSİ YATIRIM PLANI

Değişik teknolojilerde 20-30 ay arasında değişmekle birlikte, Sünger Demir Tesisi Yatırım Planı için örnek olarak Midrex tesisi Şekil 6'da verilmiştir. Yatırım kararının alınarak, yüklenici firma tekliflerinin alınması ve değerlendirilmesi, mühendislik çalışmalarının başlamasından ardından tesis 30 aylık dönem sonunda ticari işletmeye başlamaktadır. Ancak, kurucu firmalarla görüşmeler sırasında bu sürenin azaltılabileceği öngörülmektedir.

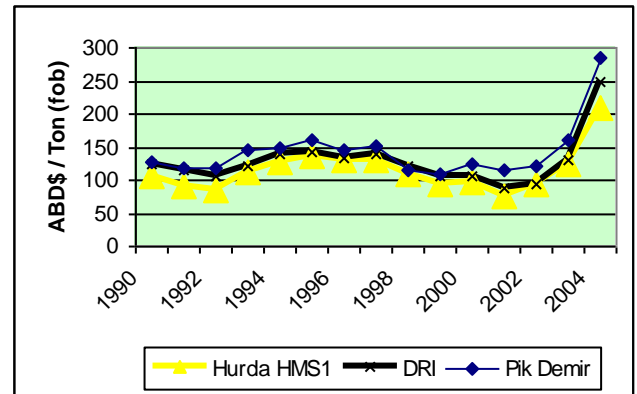


Şekil 6. MIDREX Tesisi Yatırım Planı

## 6. SÜNGER DEMİR SATIŞ FİYATLARI

1990 – 2004 yılları arası Sünger Demir, Pik ve Hurda ortalama dünya satış fiyatları Şekil 7'de verilmektedir.

Görüldüğü üzere, Sünger Demir (DRI) fiyatları, ikamesi olan hurda fiyatının 20-60 ABD\$/ton üzerinde seyretmektedir.



Şekil 7. DRI, Pik ve Hurda Fiyatları (ABD\$/Ton-fob)

## 7. SÜNGER DEMİR ÜRETİM MALİYETLERİ

1 ton sünger demir üretmek için TATA Sponge Iron Ltd. tesislerinde kullanılmakta olan hammadde miktarları ve Ağustos 2004 tarihi itibarıyla birim üretim maliyetleri tablo 9’ da verilmektedir.

Dünyada bulunan diğer bazı tesislerdeki fiili Malzeme Kullanım Miktarları da Tablo 10’da verilmektedir. Tokyo Steel’de hurda ile üretim yapan Elektrik Ark Ocağı bulunmaktadır ve karşılaştırma amacıyla verilmiştir.

Tablo 9. TDR Prosesi Hammadde Kullanım Miktarları ve Üretim Maliyetleri

| Maliyet Kalemi                    | Birim | Kullanım Miktarı | Maliyet (ABD\$) |
|-----------------------------------|-------|------------------|-----------------|
| Kömür                             | mt    | 1,4              | 60              |
| Demir Cevheri                     | mt    | 1,5              | 31              |
| Dolomit                           | mt    | 0,02             | 0,02            |
| Hammadde Toplamı (Kayıplar dahil) |       |                  | 102             |
| Elektrik                          | kwh   | 120              | 0,7             |
| Fuel Oil                          |       |                  | 0,1             |
| İşçilik                           |       |                  | 9               |
| Depolama                          |       |                  | 1               |
| Bakım - onarım                    |       |                  | 6               |
| İdari                             |       |                  | 6               |
| Paketleme - maniplasyon           |       |                  | 3               |
| <b>TOPLAM (ABD\$/TON)</b>         |       |                  | <b>127,8</b>    |

Tablo 10. Malzeme Kullanım Miktarları

|         | Birim         | DRI                  |        |        |        | EO          |      |
|---------|---------------|----------------------|--------|--------|--------|-------------|------|
|         |               | Sidbec-Dosco         | Hylsa  | ANS DK | Essar  | Tokyo Steel |      |
| DRI/HBI | Pelet         | kg/tDRI              | 1.490  | 1.475  | 1.340  | 1.400       | 0    |
|         | Cevher        | kg/tDRI              | 0      | 0      | 133    | 76          | 0    |
|         | Enerji        | GJ/tDRI              | 11,00  | 12,00  | 9,84   | 11,80       | 0,00 |
|         | Elektrik      | kwh/tDRI             | 107    | 108    | 80     | 135         | 0    |
|         | Adam-Saat/ton | hr/tDRI              | 0,12   | 0,21   | 0,18   | 0,18        | 0,00 |
| EO      | DRI/HBI       | kg/tls               | 850,00 | 984,79 | 810,00 | 725,00      | 0,00 |
|         | Hurda         | kg/tls               | 310    | 171    | 341    | 405         | 940  |
|         | Pik Demir     | kg/tls               | 0      | 0      | 0      | 0           | 149  |
|         | Karbon        | kg/tls               | 5      | 17     | 0      | 8,3         | 10   |
|         | Elektrik      | kWh/tls              | 705    | 729    | 530    | 640         | 434  |
|         | Diğer Enerji  | GJ/tls               | 0,65   | 0,15   | 0,50   | 0,60        | 0,25 |
|         | Oksijen       | Nm <sup>3</sup> /tls | 23     | 28     | 43     | 18          | 40   |
|         | Argon         | Nm <sup>3</sup> /tls | 1,10   | 0,45   | 1,30   | 0,70        | 4,00 |
|         | Aluminyum     | kg/tls               | 1,9    | 2,5    | 2,1    | 1,9         | 1,8  |
|         | FeMn          | kg/tls               | 4,5    | 4,9    | 4,5    | 4,6         | 4,2  |
|         | FeSi          | kg/tls               | 1,4    | 0,4    | 1,4    | 0,7         | 1,1  |
|         | SiMn          | kg/tls               | 0,6    | 2,2    | 0,7    | 0,0         | 0,0  |
|         | Elektrot      | kg/tls               | 2,6    | 2,0    | 1,5    | 2,4         | 1,8  |
|         | Refrakter     | kg/tls               | 7,5    | 11     | 5,4    | 10,6        | 5,9  |
|         | Adam-saat/ton | hr/tls               | 0,49   | 0,49   | 0,20   | 0,21        | 0,16 |
|         | Cüruf Oranı   | kg/tls               | 123    | 123    | 123    | 100         | 88   |

Belirtilen tesislerdeki fiili üretim maliyetleri de, bir sonraki sayfada bulunan Tablo 11’de verilmektedir.



Tablo 11. Fiili Üretim Maliyetleri

| Birim                     |                      | DRI           |               |               |               | EAO           |
|---------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                           |                      | MIDREX        | MIDREX        | MIDREX        | HYL III       | Japonya       |
|                           |                      | Mısır         | Hindistan     | Kanada        | Meksika       |               |
|                           |                      | ANSDK         | Essar         | Sidbec-Dosco  | Hylsa         | Tokyo Steel   |
| <b>Proses Maliyetleri</b> |                      |               |               |               |               |               |
| DRI/HBI Üretimi           | (\$/t sıcmad)        | 92,54         | 119,17        | 103,86        | 120,29        | 0,00          |
| Çelikhane                 | (\$/t sıvıçelik)     | 78,89         | 75,97         | 73,76         | 70,62         | 160,53        |
| Döküm                     | (\$/t slab)          | 14,11         | 9,60          | 17,26         | 10,29         | 15,24         |
| Haddeleme                 | (\$/t RKK)           | 39,21         | 27,19         | 33,27         | 24,95         | 46,11         |
| <b>DRI/HBI Üretimi</b>    |                      |               |               |               |               |               |
| Cevher                    | (\$/tDRI/HBI)        | 68,58         | 56,00         | 57,13         | 63,53         | 0,00          |
| Elektrik                  | (\$/tDRI/HBI)        | 2,10          | 4,61          | 4,33          | 2,70          | 0,00          |
| Doğalgaz                  | (\$/tDRI/HBI)        | 16,48         | 45,26         | 32,91         | 47,83         | 0,00          |
| İşçilik                   | (\$/tDRI/HBI)        | 1,42          | 0,23          | 5,11          | 1,97          | 0,00          |
| Tamir Bakım               | (\$/tDRI/HBI)        | 3,96          | 4,07          | 4,38          | 4,27          | 0,00          |
| HBI Yapımı                | (\$/tDRI/HBI)        | 0,00          | 9,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| <b>Ara Toplam</b>         | <b>(\$/tDRI/HBI)</b> | <b>92,54</b>  | <b>119,17</b> | <b>103,86</b> | <b>120,29</b> | <b>0,00</b>   |
| Amortisman                | (\$/tDRI/HBI)        | 8,80          | 9,60          | 9,00          | 8,80          | 0,00          |
| <b>Çelikhane</b>          |                      |               |               |               |               |               |
| DRI/HBI                   | (\$/tsıvıçelik)      | 78,66         | 117,36        | 75,30         | 97,43         | 0,00          |
| Hurda                     | (\$/tsıvıçelik)      | 40,30         | 15,27         | 43,34         | 40,58         | 89,72         |
| Pik                       | (\$/tsıvıçelik)      | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          |
| Elektrik                  | (\$/tsıvıçelik)      | 13,84         | 31,12         | 20,53         | 17,92         | 30,31         |
| Karbon ve diğer           | (\$/tsıvıçelik)      | 1,69          | 2,95          | 2,71          | 2,43          | 4,87          |
| Oksijen, Soygazlar,       | (\$/tsıvıçelik)      | 4,67          | 6,17          | 4,51          | 8,55          | 9,68          |
| Alaşımalar                | (\$/tsıvıçelik)      | 6,30          | 7,61          | 6,13          | 7,26          | 5,58          |
| Elektrot                  | (\$/tsıvıçelik)      | 8,32          | 4,60          | 6,65          | 4,20          | 4,36          |
| Refrakter                 | (\$/tsıvıçelik)      | 5,75          | 3,98          | 6,88          | 4,22          | 4,60          |
| İşçilik                   | (\$/tsıvıçelik)      | 5,60          | 0,53          | 5,90          | 2,17          | 6,12          |
| Tamir Bakım               | (\$/tsıvıçelik)      | 6,30          | 5,55          | 5,67          | 6,14          | 5,28          |
| <b>Toplam</b>             | <b>(\$/ton)</b>      | <b>171,43</b> | <b>195,14</b> | <b>177,61</b> | <b>190,91</b> | <b>160,53</b> |
| Amortisman                | (\$/tsıvıçelik)      | 3,00          | 3,47          | 3,47          | 3,47          | 3,00          |

Geçmiş yılların verilerine dayanan bu karşılaştırma sonucunda en düşük birim üretim maliyeti hurda ile EAO'nda yapılan üretim olarak gözükmesine karşın, mevcut piyasa şartlarında hurda satınalma fiyatları, burada kullanılan 89 ABD\$/ton'un çok üzerinde seyretmekte ve sünger demir ile sıvı çelik üretim maliyeti oldukça düşük kalmaktadır.

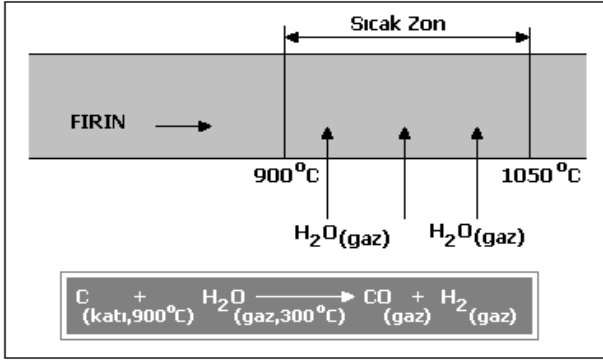
## 8. SÜNGER DEMİR ÜRETİMİ TEKNOLOJİSİNİN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ

### 8.1 Örnek Tesis Çalışmaları

Sünger demir üretiminde doğalgaz kaynaklarının yetersizliği, hurda bulmanın zorluğu ve bulunan hurdanın

maliyeti gibi nedenlerden dolayı Hindistan kömüre dayalı sünger demir üretimine yönelmiştir.

TDR - Hindistan teknolojisi bazı değişiklik ve yeniliklerle Türkiye şartlarına uygun bir sünger demir tesisinde kullanılabilecek özelliklere sahip gözükmektedir. Özellikle indirgeme amacıyla kullanılan CO gazına ilave olarak fırının sıcak bölgesine elektrik üretimi sonrası çıkan 300°C sıcaklığa sahip çürük buhar üflenerek, ortamda indirgeyici özelliği CO'ye nazaran çok daha yüksek olan H<sub>2</sub> gazı üretilebilir (Şekil 8). Bu şekilde metalik demire indirgenme hızı artırılabilir. Bu konunun pilot çapta araştırılarak açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.



Şekil 8. Çürük Buhar İle H<sub>2</sub> Gazı Elde Edilmesi

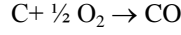
Kömürün proste indirgeyici ve fırın sıcaklığının 950-1.050 °C civarında tutulması için gerekli ısı kaynağı olmak üzere iki rolü vardır. Fırın içerisinde indirgenmenin tamamı katı halde olmaktadır. Demir cevherinin optimum indirgenmesi ve döner soğutucuda 100°C sıcaklığa soğutulması için gerekli süre 10-12 saat civarındadır.

İndirgeme prosesindeki kritik faktör, kömürün yanmasının kontrolü ve CO'ye dönüşümüdür. CO'ye dönüşüm fırına hava verilmesiyle gerçekleşmektedir. Hava şu şekilde verilmektedir;

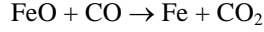
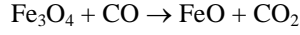
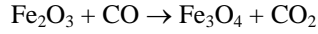
- Döner fırının çıkış kısmından,
- Fırın çerperine monte edilen ikincil hava üfleyicileriyle,

- Ön ısıtma zonuna daldırılan hava enjeksiyon nozullarıyla.

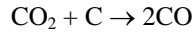
Ortamda CO oluşumuna yetecek miktarda oksijen olmalıdır. Böylece kömürün tamamen yanması engellenerek CO üretimi gerçekleştirilecektir.



CO malzeme fırın boyunca ilerledikçe aşağıda verilen reaksiyonlar neticesinde kademeli olarak demir oksidi metalik demire indirger;

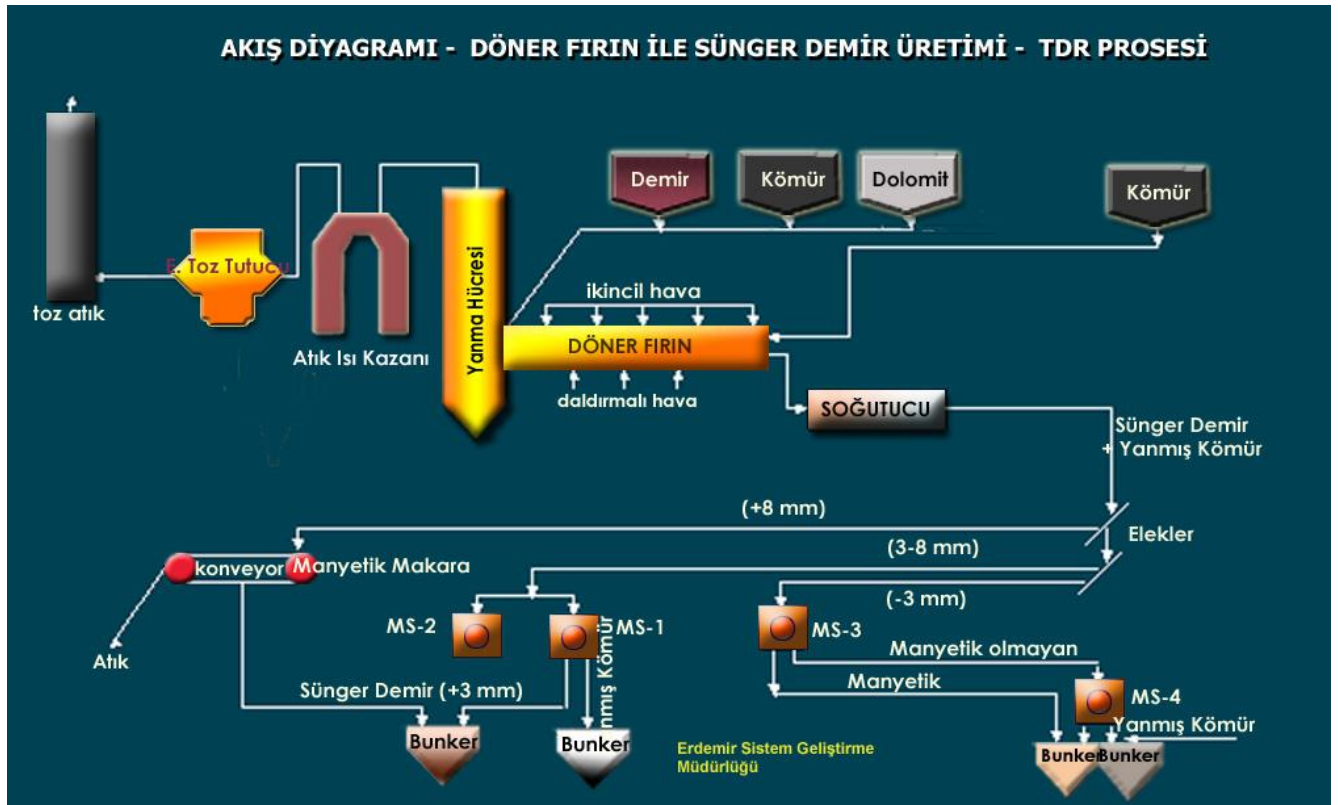


Bu reaksiyonlar sonucu oluşan CO<sub>2</sub> aynı zamanda kömürün karbonu ile de reaksiyona girer;



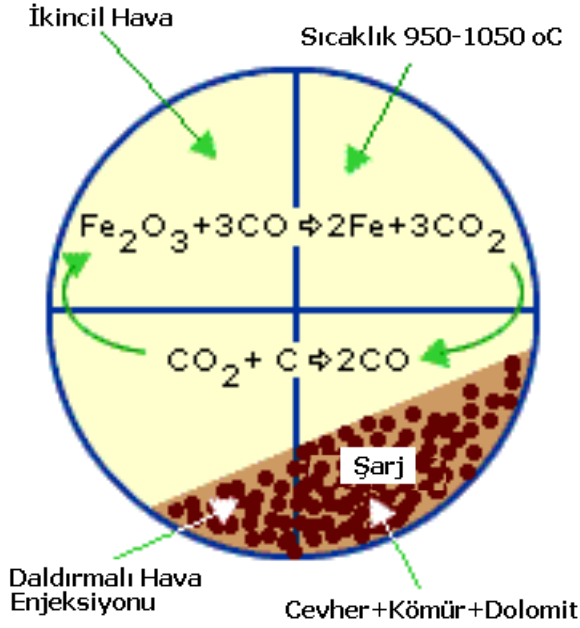
Bu reaksiyon döngüsü fırın içerisinde indirgeyici koşullar öne çıkana değin sürer. Bu suretle sürekli proses ile sünger demir üretilir.

TDR Teknolojisi'nin Türkiye'de geliştirilerek sünger demir üretilmesi amacıyla planlanan akış şeması Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Türkiye'de Kurulabilecek Sünger Demir Tesisi Akış Şeması

Şekil 10'da fırın kesit görünümü ve indirgenme prosesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Döner Fırın Kesiti

Kimyasal reaksiyonlardan görülebileceği gibi prosesin amacı demir cevherinden oksijenin uzaklaştırılmasıdır. Oksijenin uzaklaştırılması malzemenin yüzeyinde başlamakta, indirgeme boyunca mikro gözenekler bırakmaktadır. Bu değişimin bir mikroskop altındaki görünümü peteğe benzediği için ürün sünger demir olarak adlandırılmaktadır.

Üretilen sünger demirin kalitesi kullanılan hammaddelerin özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle kullanılan hammaddelerin hem tek başına ve hem de fırın içinde birlikte davranışları önem kazanmaktadır. Bu kapsamda, yatırım öncesi hammaddelerin sünger demir üretimine uygunluğunu belirlemek için laboratuvar, pilot ve tesis ölçeğinde teknolojik testlerin yapılması gerekmektedir.

Sünger demir üretimi için gerekli temel hammaddeler demir cevheri, koklaşmayan kömür ve dolomittir. Döner fırınlarda kullanılacak hammaddeler fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre seçilmelidir.

Sabit karbon, kül içeriği, S, uçucu madde vb gibi kimyasal özelliklerinin yanı sıra kömür kalitesinin belirlenmesindeki önemli özellikler kömür reaktivitesi ve kül yumuşama sıcaklığıdır. Kömür reaktivitesinin yüksek olması daha düşük sıcaklıklarda çalışma olanağı sağlar ve fırının verimini artırır. Aynı zamanda düşük fırın sıcaklıklarında çalışmak, fırın içerisinde döner fırınlardaki en büyük sorunlardan biri olan halka oluşma olasılığını azaltmaktadır. Kömürdeki kül miktarının düşük olması istenmektedir. Genellikle kül miktarı %25 değerini geçmemelidir. Kül fırında yer kaplayan, ancak

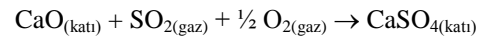
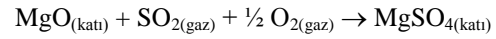
reaksiyona katkıda bulunmayan bir malzemedir. Kül içeriğinin yüksek olması fırın çalışma haznesini azaltmakta ve sünger demirde istenmeyen empüritelere oluşmasına yol açabilmektedir. Bununla birlikte külün yumuşama sıcaklığı kül miktarından daha önemli bir faktördür. Kül ergime sıcaklığının yüksek olması istenmektedir. Bu şekilde fırında yapışmanın önüne geçilebilmektedir.

Demir cevheri (parça cevher veya pelet) döner fırında indirgenme davranışı, tane boyu dağılımı ve kimyasal kompozisyon açısından bazı kriterleri sağlamalıdır. Döner fırında indirgenecek demir oksidin seçiminde aşağıdaki kriterler göz önüne alınmalıdır;

- Yüksek indirgenebilirlik,
- İndirgenme esnasında düşük parçalanma,
- İndirgenme esnasında topaklanma olmaması,
- Minimum gang miktarı,
- Düşük S ve P içeriği,
- Yüksek Fe içeriği.

Demir şarjı, yüksek demir içeriği (%68'in üzeri, hematit cevherleri için %67 tercih edilmekte) ve düşük gang içeriğine sahip olmalıdır. Ayrıca demir şarjının kükürt ve fosfor içerikleri de düşük olmalıdır. Standart koşullarda metalleşme için gerekli zaman olarak belirlenen cevherin indirgenebilirlik özelliği doğrudan döner fırının kapasitesini belirlemektedir. İndirgenme koşulları altında cevher veya peletin indirgenme davranışı özellikle şişme açısından önemlidir.

Dolomit proste kükürt giderici olarak kullanılmaktadır. Dolomit cevheri ile S aşağıda verilen reaksiyonlar neticesinde sistemden uzaklaştırılmaktadır.



Beslemedeki dolomit miktarının artırılmasıyla sistemden daha fazla S'ün uzaklaştırılabileceği ve böylece %2,0-2,5 değerlerine kadar S içeren kömürlerin herhangi bir soruna yol açmadan proste kullanılabilceği düşünülmektedir. Dolomit fırına çok düşük oranlarda diğer hammaddelerle birlikte şarj edilmektedir. 1-4 mm tane boyu aralığında olanlar proses için çok uygundur.

Sünger demir üretimi için gerekli olan enerji ihtiyacı çıkarıldıktan sonra 1 ton Fe başına yaklaşık olarak 400-500 kwh elektrik enerjisi (kullanılan indirgeyiciye bağlı olarak) üretilebilmektedir. Dış enerji ile iç enerji arasındaki üretim maliyet farkı üretilen sünger demirin maliyetine tasarruf olarak yansımaktadır. Aynı zamanda proses sırasında atık olarak açığa çıkan kömür tozlarının, kömür yıkama ekipmanı atıklarının ve fırın ürününün manyetik olmayan kısmının akışkan bir yataкта yakılmasıyla buhar üretilebilir. Bu buhar elektrik üretiminde kullanılabilir.

## 8.2 Erdemir Maden Üretimi Peletinin Kullanılması

Erdemir Maden tesislerinde toz demir cevherleri zenginleştirildikten sonra, bağlayıcı olarak belirli nem derecesinde bentonit ile karıştırılmakta, ısısal sertleştirme ve ön ısıtma aşamalarından geçirilerek döner fırında 1.200-1.250 °C sıcaklıkta 9-16 mm tane iriliğine sahip pelet üretilmektedir. Üretilen pelet ürünü soğutulmuş olarak sevkiyat için stoklanmaktadır. Üretilen peletin Fe içeriği %66-67 olup, empürite sorunu yoktur. Pelet tesisinin kuruluş kapasitesi 1.200.000 t/yıl'dır.

Ülkemiz demir cevheri ve kömürleri kullanılarak sünger demir üretimi imkanlarının araştırılması için günümüze kadar bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar hakkında kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

1. "Bir Döner Fırında Soma Kömürü İle Divriği Peletinin Doğrudan İndirgenmesi" başlıklı Soma kömürü kullanılarak Divriği peletinden sünger demir üretimi imkanlarının farklı zaman, sıcaklık ve C/Fe oranlarında araştırmak üzere yapılan çalışmada, C/Fe oranı 0,5 iken 950 °C'da 1 saatlik indirgenme süresinde %96'nın üzerinde metalleşme derecesine sahip sünger demir üretilebileceği gösterilmiştir.
2. Divriği peleti ve Yozgat-Sorgun Linyit Kömürü ile sünger demir üretimi konulu çalışmada C/Fe oranı 0,5 iken 1000 °C'da 2 saatlik indirgenme süresinde %90 üzerinde metalleşme derecesine sahip sünger demir üretilebileceği gösterilmiştir.
3. MTA tarafından "Hasançelebi Demir Cevherinin Sünger Demir Üretiminde Kullanılması" konulu araştırma projesi yürütülmektedir. Bu çalışmada farklı yörelere ait kömürler (Yozgat-Sorgun, Soma-Eynez, Amasya-Eskiçeltek ve Sivas-Kangal bölgeleri) ve doğal gaz kullanılarak Hasançelebi peletlerinden sünger demir üretimi düşünülmektedir. Mevcut durumda Yozgat-Sorgun kömürlerinin kullanıldığı deneyler tamamlanmak üzeredir. İlk sonuçların olumlu çıktığı belirtilmektedir.

Bu çalışmalar laboratuvar çaplı çalışmalar olup yatırım öncesi tüm hammadde özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra değişik hammadde alternatiflerine dayalı olarak kullanılacak hammaddelerin sünger demir üretimine uygunluğunu belirlemek için laboratuvar, pilot ve tesis ölçeğinde teknolojik testlerin ayrıca yapılması gerekmektedir. Erdemir Maden Divriği peleti ve TDR prosesi kullanılarak sünger demir üretimine yönelik taslak Malzeme Akım Şeması Şekil 11'de gösterilmiştir.

## 8.3 Kullanılabilecek Kömür ve Demir Rezervleri

### 8.3.1 Türkiye Demir Cevherleri

Ülkemizde sünger demir üretiminde kullanılabilecek doğrudan şarjlık parça demir cevheri bulunmamaktadır. Dolayısıyla yerli kaynaklar kullanılarak sünger demir üretimi için parça cevher yerine pelet kullanılması zorunludur. Bunun yanı sıra düşük tenörlü hematit ve manyetit cevherlerinin sünger demir üretiminde günümüz teknolojilerinden yararlanarak kullanılabilirliği de ayrıca araştırılmalıdır.

ERDEMİR Maden Pelet-Konsantrasyon tesisinde A Kafa yatağından metalurjik açıdan istenen özellikte pelet üretilmektedir. %55-56 Fe tenörlü manyetit cevheri zenginleştirilerek, %67 tenörlü pelet elde edilmektedir. Peletin kimyasal analizi Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Divriği Peleti Kimyasal Analizi

| Bileşen                        | %     |
|--------------------------------|-------|
| Fe                             | 66,80 |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,72  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,68  |
| CaO                            | 0,44  |
| MgO                            | 0,89  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,02  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,11  |
| S                              | 0,009 |

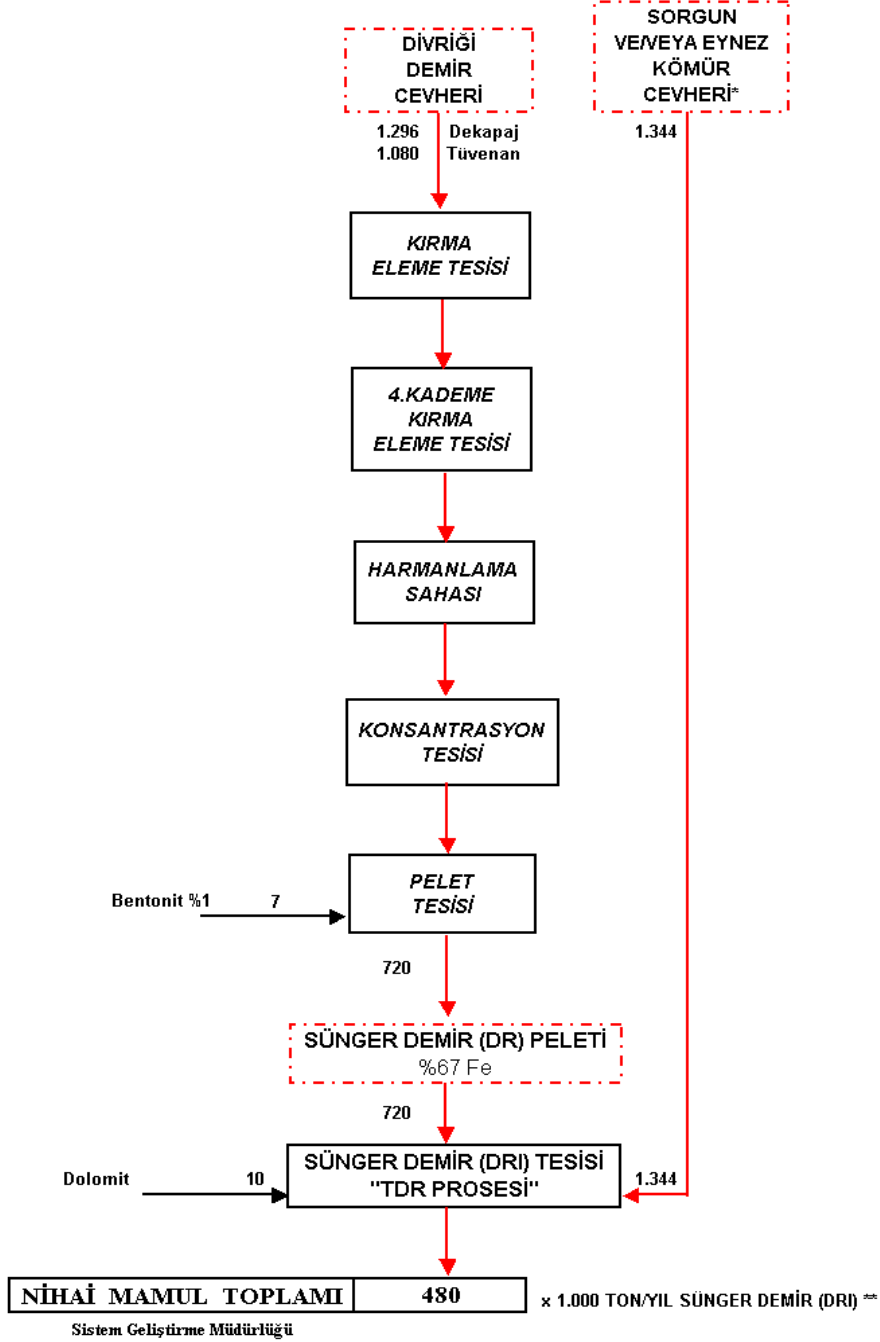
Bir diğer önemli demir cevheri yatağı, düşük tenörlü olması veya empürite gibi nedenlerden dolayı işletilemeyen sorunlu yataklarımız içerisinde rezervi en büyük olan Malatya-Hekimhan-Hasançelebi demir yatağıdır. Yılda 7.5 milyon ton tüvenan cevher ve bundan %67 Fe tenörlü 1.5 milyon ton pelet üretiminin öngörüldüğü bu çalışmada pilot ölçekli deneylerde üretilen peletlik konsantrenin kimyasal analizi Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Hasançelebi Demir Cevherinden Üretilen Peletlik Konsantrenin Kimyasal Analizi

| Bileşen           | %      |
|-------------------|--------|
| Fe                | 69,15  |
| SiO <sub>2</sub>  | 1,80   |
| CaO               | 0,30   |
| MgO               | 0,10   |
| Na <sub>2</sub> O | 0,04   |
| K <sub>2</sub> O  | 0,16   |
| TiO <sub>2</sub>  | 0,79   |
| P                 | 0,0043 |

Hasançelebi cevheri ve TDR prosesi kullanılarak sünger demir üretimine yönelik hazırlanan taslak Malzeme Akım Şeması Şekil 12'de gösterilmiştir.

**ERDEMİR MADEN DİVRİĞİ PELETİ VE TDR PROSESİ KULLANILARAK  
SÜNGER DEMİR (DRI) ÜRETİM SENARYOSU  
TASLAK MALZEME AKIM ŞEMASI  
( 1.000 TON/YIL )**

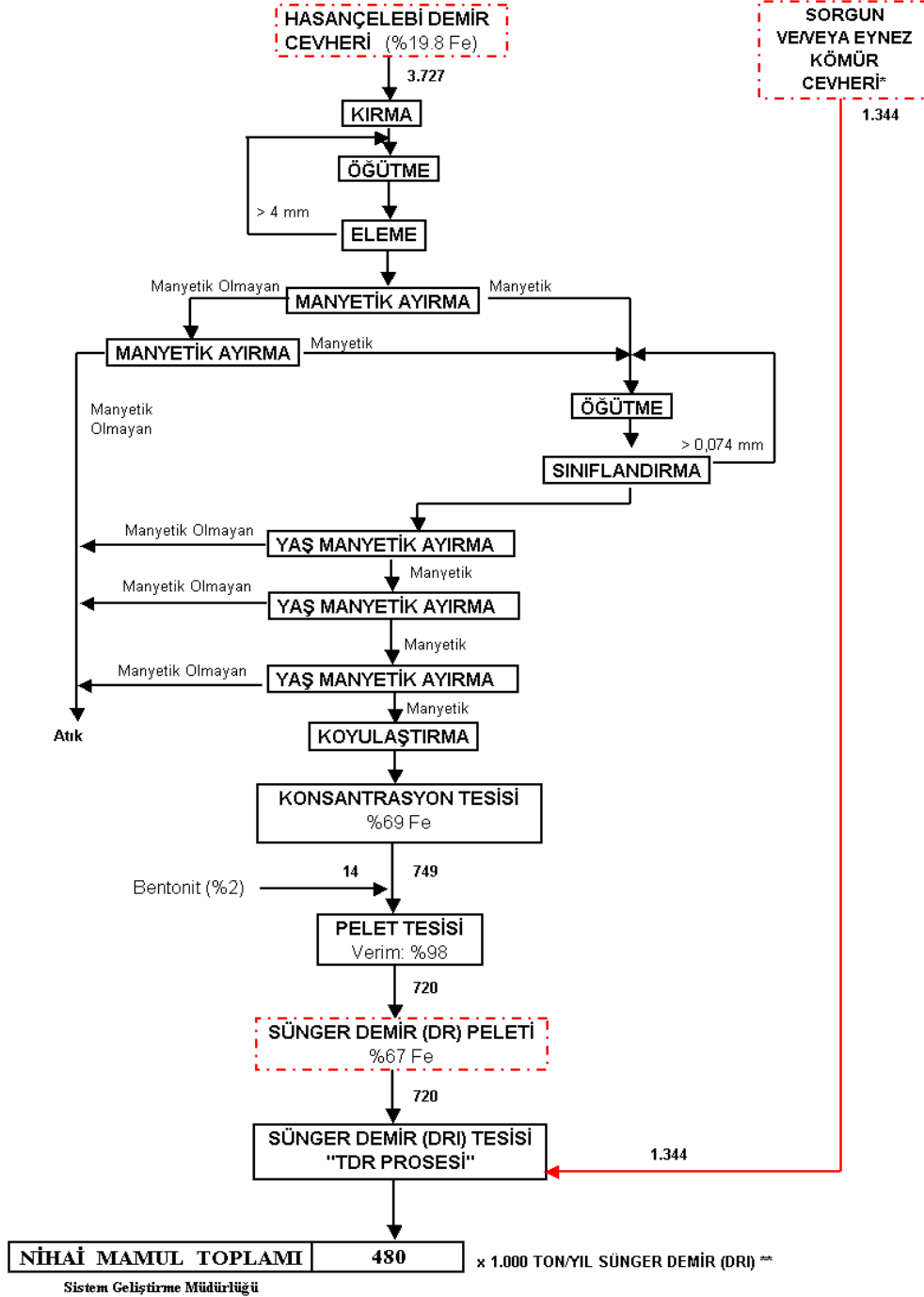


- \* Yozgat-Sorgun, Soma-Eynez, Amasya-Eskişehir ve Sivas-Kangal bölgeleri kömürleri deneysel çalışmalarla sünger demir üretimine uygun olarak bulunmuşlardır. Kömürün kalorifik değerinin ortalama 2.800 kcal/kg olacağı varsayılmıştır.
- \*\* Sünger Demir'in Metalleşme Oranı %90, Metalik Fe Oranı ise %82 olarak kabul edilmiştir.
- \*\*\* Bu şema, DR peleti kullanılarak sünger demir (DRI) üretimini (TDR-Tata Sponge Iron Ltd.) baz almaktadır. Doğrudan cevher kullanılarak sünger demir üretiminde ise (CFB -Lurgi vb.) 0,1-2,0 mm aralığında cevher kullanmakta, ancak Hasaңcelebi cevherinin minerolojik yapısından dolayı 0,074 mm'nin altına indirilmesi gerekmektedir.

Şekil 11. Erdemir Maden Divriği Peleti ve TDR Prosesi Kullanılarak Sünger Demir Üretimi Taslak Malzeme Akım Şeması



**HASANÇELEBİ\* CEVHERİ VE TDR PROSESİ KULLANILARAK  
SÜNGER DEMİR (DRI) ÜRETİM SENARYOSU  
TASLAK MALZEME AKIM ŞEMASI  
( x 1.000 TON/YIL )**



\* Hasacelebi, ERDEMİR MADEN'in Malatya Hekimhan'da bulunan demir cevheri sahasıdır.

\*\* Yozgat-Sorgan, Soma-Eynez, Amasya-Eskieltek ve Sivas-Kangal bölgeleri kömürleri deneysel alışmalarla sünger demir üretimine uygun olarak bulunmuşlardır. Kömürün kalorifik değerinin ortalama 2.800 kcal/kg olacağı varsayılmıştır.

\*\*\* Sünger Demir'in Metalleşme Oranı %90, Metalik Fe Oranı ise %82 olarak kabul edilmiştir.

\*\*\*\* Bu şema, DR peleti kullanılarak sünger demir (DRI) üretimini (TDR-Tata Sponge Iron Ltd.) baz almaktadır. Doğrudan cevher kullanılarak sünger demir üretiminde ise (CFB-Lurgi vb.) 0,1-2,0 mm aralığında cevher kullanmakta, ancak Hasacelebi cevherinin minerolojik yapısından dolayı 0,074 mm'nin altına indirilmesi gerekmektedir.

Şekil 12. Hasacelebi Cevheri ve TDR Prosesi Kullanılarak Sünger Demir Üretimi Taslak Malzeme Akım Şeması

### 8.3.2 Türkiye Kömür Cevherleri

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nce Türkiye'nin 140 linyit oluşumu dikkate alınarak belirlenen toplam linyit rezervi 8,4 milyar ton'dur. Bu rezervin; 7.3 milyar tonu görünür, 626 milyon tonu muhtemel, 110 milyon tonu mümkün ve 300 milyon tonu kaynak ve potansiyel rezerv kategorisindedir.

2001 yılı verilerine göre Linyit rezervlerinin % 75'i kamu sektörünün, kalan % 25'i özel sektörün kontrolünde olup, linyit üretiminin % 90'ı kamu, % 10'u ise özel sektöre aittir.

Ülkemizin mevcut linyit oluşumlarından

- 47 adedi; 1-10 milyon ton,
- 20 adedi; 10-20 milyon ton,
- 42 adedi; 20-100 milyon ton,
- 9 adedi; 100-250 milyon ton,
- 4 adedi; > 250 milyon ton,
- 1 adedi; > 3 milyar ton,

rezerve sahiptir.

Rezervi 50 milyon tonu geçen 25 adet linyit yatağı bulunmaktadır. Türkiye linyitlerinin bölgesel dağılımı Tablo 14'de verilmiştir.

Linyit kömürü varlığı yönünden en zengin yöre Elbistan havzası ile Doğu Anadolu bölgesidir. Bu bölgeyi Soma, Seyitömer, Tunçbilek, Yatağan, Sekköy, Ekizköy, Hüsamlar gibi linyit oluşumları ile Ege Bölgesi ve Çan, Orhaneli, Saray gibi linyit yatakları ile Marmara bölgesi izlemektedir. Türkiye linyitlerinin kalori bazında dağılımı Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 14. Türkiye Linyitlerinin Bölgesel Dağılımı

| Bölgeler          | Rezerv (1.000 ton) | %    |
|-------------------|--------------------|------|
| Marmara           | 824.830            | 9,9  |
| Ege               | 2.013.651          | 24,1 |
| İç Anadolu        | 1.324.864          | 15,8 |
| Doğu Anadolu      | 3.579.957          | 42,7 |
| Karadeniz         | 215.370            | 2,6  |
| Akdeniz           | 362.606            | 4,3  |
| Güneydoğu Anadolu | 53.094             | 0,6  |

Tablo 15. Türkiye Linyitlerinin Kalori Bazında Dağılımı

| Alt Isı Değeri (kcal/kg) | Rezerv (milyon ton) | %            |
|--------------------------|---------------------|--------------|
| < 1000                   | 265                 | 3.2          |
| 1000 – 2000              | 5.492               | 65.5         |
| 2000 – 3000              | 2.038               | 24.3         |
| 3000 – 4000              | 429                 | 5.0          |
| > 4000                   | 151                 | 2.0          |
| <b>Toplam</b>            | <b>8375</b>         | <b>100.0</b> |

EAF yöntemi ile çelik üreten herhangi bir tesiste kullanılmak üzere yöreye kurulacak sünger demir üretim tesisine yakın olan Sivas, Yozgat, Çorum ve Amasya bölgeleri ile Manisa yöresi linyit rezervleri Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Sivas, Yozgat, Çorum, Amasya ve Manisa Bölgesi Linyit Rezervleri

| İli     | İlçe/ Saha            | Rezerv (1.000 Ton) |          |        |           |
|---------|-----------------------|--------------------|----------|--------|-----------|
|         |                       | Görünür            | Muhtemel | Mümkün | Toplam    |
| Amasya  | Merzifon-Yeniçeltik   | 2.736              | 17.055   |        | 19.791    |
| Çorum   | Alpagut-Dodurga       | 15.370             | 2.465    |        | 17.835    |
| Çorum   | Alpagut-Ayvaköy       | 6.608              | 7.430    |        | 14.038    |
| Manisa  | Soma-Eynez            | 214.581            | 60.200   | 22.439 | 297.220   |
| Manisa  | Soma-Evciler          | 45.812             |          |        | 45.812    |
| Manisa  | Soma-Merkez           | 30.943             | 2.200    |        | 33.143    |
| Manisa  | Soma-Darkale          | 19.625             | 3.100    |        | 22.275    |
| Manisa  | Soma-Işıklardere      | 68.588             | 1.000    |        | 69.588    |
| Manisa  | Soma-Türkiyale        |                    | 5.000    |        | 5.000     |
| Manisa  | Akçaavlu. Dualar      |                    | 9.345    |        | 9.345     |
| Manisa  | Gördes-Çıtak          |                    | 5.000    |        | 5.000     |
| Manisa  | Soma-Deniş 1          | 36.020             |          |        | 36.020    |
| Manisa  | Soma-Deniş 2          | 102.231            |          |        | 102.231   |
| Manisa  | Soma-Kozluören-D.taşı | 9.386              | 5.000    |        | 14.386    |
| K.Maraş | Elbistan              | 3.226.203          |          |        | 3.226.203 |
| Sivas   | Gemerek-Yeniçubuk     |                    |          | 1.000  | 1.000     |
| Sivas   | Uluçayır              |                    | 1.122    | 268    | 1.390     |
| Sivas   | Kangal-Kalburçayırı   | 125.269            |          |        | 125.269   |
| Sivas   | Kangal-Etyemez        | 30.637             |          |        | 30.637    |
| Sivas   | Kangal-Hamal          | 29.270             |          |        | 29.270    |
| Yozgat  | Sorgun                | 13.206             |          |        | 13.206    |

## 9. ERDEMİR KONVERTÖRLERİNDE HBI KULLANIMI ÇALIŞMALARI

### 9.1 Genel

Haziran 1998'de Erdemir'de çelik üretim konvertörlerinde sıcak briketlenmiş demir'in (HBI) kullanılabilirliğinin araştırılması için İngiliz firması BALLI TRADING Corp.'dan temin edilen 4.710 ton HBI'nin 774.5 ton' luk bölümü toplam 55 dökümde değişen şarj oranlarında kullanılmıştır. Yapılan denemeler ile HBI kullanımının çelik üretim proses parametreleri üzerine olan etkileri incelenmiştir. İncelenilen parametreler şunlardır;

- Konvertör verimi / Isıtıcı birim sarfı (FeSi kullanımı)
- Empürite elementler
- Maliyet

Deneme dökümlerde HBI'nin şarjdaki davranışının izlenebilmesi için;

1. Fırının ısı dengesini etkilememek için sıcak metal tasarrufu yapılmamış,
2. Hurda + HBI şarjlarında hurda olarak skal hurdası kullanılmamış,
3. 1 ton çelik hurdası yerine 1,2 ton HBI hurdası kullanılmıştır.

Kullanılan HBI'nin kimyasal analizi Tablo 17'de verilmiştir. Ayrıca ürün %10 toz içermektedir.

Tablo 17. Denemelerde Kullanılan HBI'nin Kimyasal Analizi

| Element        | %     |
|----------------|-------|
| Fe (Toplam)    | 93,10 |
| Fe (Metalik)   | 89,31 |
| C              | 0,91  |
| S              | 0,008 |
| P              | 0,039 |
| Diğer Oksitler | 3,04  |

### 9.2 Teknik Sonuçlar

BOF hurda şarjında HBI kullanılarak 55 döküm yapılmıştır. HBI oranının şarj içinde %18' den başlayarak % 100'e kadar çıkarılmasına ve sıcak metal empürite element %'sine bağlı olarak ve BOF üfleme içi (TSC) sıvı çelik empürite element değerlerinin (P, S, Cu, Cr, Ni, Mo ) değişimi incelenmiştir.

Sıcak metalde yüksek olan %P ve %S değerleri kükürt giderme ve BOF operasyonu sonrası sıvı çelikte düşük değerlere inmektedir. Cu, Cr, Ni, ve Mo elementlerin değerleri ise sıcak metalde düşük ve sıvı çelikte hurda ilavesi nedeniyle bir miktar yükselmektedir. Bu durumda P ve S değerlerinin, hurdada değişik HBI ilave oranlarına bağlı olarak, sıvı çelikte düşüş oranları diğer elementlerin ise artış oranları incelenmiştir. Hurda içinde artan HBI oranına göre sıvı çelik üfleme içi %P ve %S değerlerinin düşüş oranları artmaktadır.

Cu ve Cr değerleri genelde üfleme içi sıvı çelikte artma eğilimindedirler (hurda nedeniyle). HBI kullanımında bu elementlerin üfleme içi sıvı çelikte düşükleri görülmüştür. Ni ve Mo değerlerinde HBI kullanımına bağlı olarak sıvı çelik içerisindeki miktarlarında hurda kullanımına göre fazla bir düşüş görülmemiştir.

### 9.3 Maliyet Açısından Değerlendirme

Yapılan HBI denemelerinden elde edilen veriler kullanılarak regresyon analizleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Hurda şarj oranındaki HBI yüzdesi arttıkça sıcak metal kullanımı artmakta, sıcak metal kullanımının artmasıyla konvertör verimi düşmektedir.
- HBI kullanımı arttıkça FeSi tüketimi artmaktadır.

100 KTÇ HBI kullanımı konvertör verimini çok etkilememekte (%89-90) ancak sıcak metal kullanımının fazla değişmediği bu durumda FeSi tüketimi 1 KTÇ artmaktadır. HBI kullanımı 300 KTÇ değerine yükseldiğinde konvertör verimi yaklaşık %82 ye düşmekte ve FeSi tüketimi 5,1 KTÇ artarak 7,5 KTÇ değerine yükselmektedir. Bu şartlarda sıcak metal ortalama sarf oranı 920 KTÇ değerine kadar yükselmektedir.

250-300 KTÇ HBI ile yapılan denemelerin sayısının az olması nedeniyle bu miktarlar için yeni denemelerin yapılmasında fayda görünmektedir. Yapılan 55 deneme döküme bağlı kalınarak çıkarılan sonuçlara göre maliyet analizi yapılmıştır. Maliyet analizi HBI kullanımının 100 KTÇ değerinin üzerine çıkması durumunda maliyetlerde önemli artışlara neden olduğunu göstermektedir.

HBI kullanımının sıcak metal kullanımını artırması sonucu 100 KTÇ HBI kullanımında yaklaşık 22.000 ton/yıl, 300 KTÇ HBI kullanımında ise 120.000 ton/yıl sıvı çelik üretim kaybı olacağı tahmin edilmektedir. İthal slab ile yerli slab arasındaki fark minimum 50 \$/ton alındığında yukarıdaki rakamlar sırasıyla 1,1 milyon \$/yıl ve 6 milyon \$/yıl kayıplara karşılık gelmektedir. Üretim düşüşü nedeniyle sabit maliyetlerde meydana gelecek artışlar hesaplanmamış olmakla birlikte maliyet analizinden 100 KTÇ HBI için 22.000 tonluk üretim kaybının yanında hammadde maliyetlerinden kaynaklanan 3,35 \$/ton sıvı çelik maliyet artışı görülmektedir. Aynı şekilde 300 KTÇ HBI kullanımı ile 120.000 ton sıvı çelik kaybı ve maliyette 23,2 \$/ton sıvı çelik gibi mevcut duruma göre bir artışla karşılaşılabilecektir.

Bu çalışma Haziran 1998'de gerçekleştirilmiş olup, günümüz şartlarında sünger demirin hurda yerine kullanımının mali açıdan önemli seviyede avantajı olacaktır.

## 10. DRI / HBI NAKLİYATI VE MANİPÜLASYONU

DRI su ile reaksiyona girebilmekte ve kendi kendine ısınabilmektedir. Bu nedenle DRI, Uluslararası Denizcilik Organizasyonu tarafından tehlikeli madde sınıfına dahil edilmektedir. DRI'nın reaktif özelliğe sahip olmasına neden olan bir çok faktör olmakla birlikte bunlardan en önemlisi malzemenin morfolojisidir (yüzey şekli). Çok küçük demir tanelerinden oluşan DRI oldukça porozif bir yapıya sahiptir. Poroz yapıdan dolayı DRI'nın yüzey alanı çok büyüktür. Benzer koşullar altında (aynı sıcaklık, atmosfer nemi ve kısmi oksijen basıncı) oksidasyon yüzey alanı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle yüksek yüzey alanına sahip DRI oldukça hızlı bir şekilde yeniden oksitlenme eğilimine sahiptir.

Poroz yapı aynı zamanda DRI'nın ısı iletkenliğinin düşük olmasına sebebiyet vermektedir. Çünkü porozif yapıda tanelerin birbirlerine teması az olmaktadır. Demirin oksidasyonu ekzotermiktir, yani ısı veren bir tepkimedir. DRI'nın ısı iletkenliğinin düşük olmasından dolayı, hızlı oksidasyon koşullarında oksidasyonla açığa çıkan ısının miktarı iletilen ısı miktarından daha çok olabilmektedir. Demir ıslandığında oksidasyon hızlanmakta, buna bir de deniz suyundaki tuz gibi bir elektrot ilavesi olduğunda hız daha da artmaktadır. DRI'nın tutuşma sıcaklığına ulaşıncaya kadar ısınmasını devam ettirmesi mümkün olabilmektedir.

DRI ürünün oksitlenmesini yavaşlatmak için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bunlardan en basit olanı DRI'ı yaşlandırma işlemine tabi tutmaktır. Bu proseste DRI'nın hava ile temas etmesi sağlanarak, ancak yaş kimyasal analizle belirlenebilecek kadar çok ince bir oksit tabakası oluşturulur. Bu ince oksit tabakası DRI'nın daha fazla oksitlenmesini önler. Farklı tesislerde yaşlandırma işlemini kontrol edecek değişik yöntemler uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra bazı tesislerde taze DRI'nın oksijen içeriği kontrol edilen bir gazlı ortamda tutulduğu teknikler de uygulanmaktadır.

İkinci yöntem DRI'ı havadan koruyacak Sodyum Silikat gibi bir madde ile kaplamaktır. Bu yöntemin DRI'nın taze su ile ıslandığında oluşan aşırı ısınmasına karşı etkili olduğu ispatlanmıştır. Bununla birlikte bu yöntem deniz suyu gibi bir elektrotla ıslanmaya karşı etkili değildir.

Üçüncü yöntem DRI'nın yüzey alanının azaltılarak morfolojisini değiştirmektir. DRI oksidasyonunun azaltılmasındaki en etkili yöntem budur. Bu yöntemde yüzey alanının azaltılması için DRI sıcak durumda iken sıkıştırılarak briketlenmektedir. Bu ürün sıcak briketlenmiş demir (HBI) olarak bilinmektedir. HBI'nın gözenekleri ortadan kalktığı için yüzey alanı azalmakta ve böylece ısı iletkenliği artmaktadır.

DRI/HBI'nın manipülasyonu konusunda dikkat edilmesi gereken bir takım hususlar vardır. HBI için alınacak

önlemler DRI için alınacak önlemlerden daha az kısıtlayıcıdır. Örneğin, HBI'nın tıpkı hurda gibi açık alanda stoklanması mümkün iken, bu DRI için geçerli değildir. Çok kolay bir şekilde paslanan yüzeydeki DRI tozunun temizlenmesi zor olmaktadır. Son yıllarda Uluslararası Denizcilik Kuruluşu (International Maritime Organization) tedarikçiler, DRI kullanıcıları ve üreticileri, DRI ticareti yapan farklı ülkelerin sahil güvenlik ekipleri ve sigorta kuruluşları ile birlikte bir dizi yönerge hazırlamışlardır. Bununla birlikte DRI'nın oksidasyon hızını yavaşlatan etkin proseslerin geliştirilmesi ve koruyucu önlemlerin artırılması ile DRI ticareti hızla büyümüştür.

## 11. SONUÇLAR

Türkiye, dünyada çelik hurdası ithalatında ön sıralarda yer almaktadır. Türkiye'de bulunan Elektrik Ark Ocaklı (EAO) Demir-Çelik Tesisleri'nin miktar ve maliyet olarak en önemli hammadde girdisi hurdadır. Kalitesine göre değişmekle birlikte, Aralık 2004 itibarıyla Türkiye'de hurda satınalma maliyetleri 280-300 ABD\$/ton aralığında ve oldukça yüksek düzeyde bulunmaktadır. 16.180.000 tonu Elektrik Ark Ocaklı Tesisler, 1.150.000 tonu Entegre Tesisler olmak üzere 2004 yılı toplam hurda tüketim miktarı ise 17.330.000 ton seviyesindedir.

Yüksek seviyedeki hurda tüketiminin ancak küçük bir bölümü yerli kaynaklardan temin edilebilmektedir. Türkiye 2003 yılında toplam olarak 11,8 milyon ton hurda ithal etmiştir. Bu nedenle dünyada giderek daha kıt hale gelen bir malzeme olan hurdaya ikame sünger demir gibi malzemelerin yerli kaynaklardan yararlanılarak üretilmesi, Türk Demir - Çelik Sektörü ve Madencilik Sektörü'nün geleceği açısından önem taşımaktadır.

Demirin ergime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta indirgenmesi prosesi Doğrudan İndirgenme Prosesi (DR) ve üretilen ürün de doğrudan indirgenmiş demir (DRI - sünger demir) olarak tanımlanmaktadır. Bu proses sonucu üretilen ürün olan sünger demir DRI ve briketlenmiş biçimi olan HBI, dünyada büyük oranda EAO yöntemi ile çelik üretiminde hurdanın yerine ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Özet olarak Sünger Demir kullanımının avantajları şu şekildedir;

- DRI'nın hurdaya göre yoğunluğunun %10-100 fazla olmasından dolayı fırına daha yüksek tonajlar ile şarj edilebilir.
- DRI, hurdada olduğu gibi sepetler ile değil genelde konveyör bant ile fırına şarj edildiğinden, fırında ısı kaybı olmamakta ve dökümden döküme sürenin azalması nedeniyle üretim artmaktadır.
- DRI, EAO'na sıcak şarj edilebilmektedir.
- İstenmeyen elementlerin DRI' da az olması nedeniyle EAO'nda rafine işlemi kısa olmaktadır.

- DRI tanecik yapısının düzgün olması, düzgün bir güç gereksinimi sağlar. Gücün düzgün olması elektrik kesintilerini önler ve yaklaşık %5 tasarruf sağlar.
- DRI, hurdada olduğu miktarda yabancı malzemeler bulundurmadığından daha yüksek kalitede çelikler üretilebilmektedir.
- DRI, değişen market koşullarına (hurda fiyatlarına) bağlılığı azaltır.
- DRI hurdaya göre daha fazla soğutma gücüne sahiptir.
- DRI, Yüksek Fırın, BOF, Dökümhane ve EAO'nda kullanılabilir.

Öte yandan, Sünger Demir kullanımının çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır;

- DRI'nin verimi hurdaya göre daha düşüktür. Hurdadaki metalik oranı %92-98 arasında, DRI'da ise %83-89 civarındadır.
- DRI hurdaya nazaran daha fazla gang mineralleri (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO vb.) içermektedir. Sünger demir kullanılması halinde daha fazla curuf oluşacaktır.
- Sünger demir kullanılması halinde EAO'ndan çıkan gaz ve toz miktarında artış olabilmektedir.
- Tedbir alınmadığı durumlarda manipulasyon sırasında ufanabilme, stokta bekleme süresince tutuşma ve yanma olayları gerçekleşebilmektedir.

Sünger demir üretiminde enerji kaynağı olarak kömür veya doğalgaz bazlı olmak üzere iki farklı teknoloji grubu bulunmaktadır. Doğalgaz kaynaklarının yetersizliği, hurda bulmanın zorluğu ve bulunan hurdanın maliyeti gibi nedenlerden dolayı Hindistan, kömüre dayalı sünger demir üretimine yönelmiştir. Benzer bir konumda olan ülkemizde linyit yatakları rezervlerinin 8 milyar ton civarında olması ve değerlendirmeyi bekleyen önemli demir cevheri yataklarının bulunması, doğalgazın yanısıra kömüre dayalı sünger demir üretimini de önemli hale getirmektedir.

İlk incelemeler sonucunda, teknik olarak kömür bazlı TDR - Hindistan teknolojisi bazı değişiklik ve yeniliklerle Türkiye şartlarına uygun bir sünger demir tesisinde kullanılabilir özelliklere sahip görülmektedir. Ancak, yatırım öncesinde bu raporda belirtilen bilgilerin kesinleştirilmesi amacıyla tüm hammadde özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra değişik hammadde alternatiflerine dayalı olarak, kullanılacak hammaddelerin sünger demir üretimine uygunluğunu belirlemek için laboratuvar, pilot ve tesis ölçeğinde teknolojik testlerin ayrıca yapılması gerekmektedir.

Ülkemizde kurulabilecek bir kömüre dayalı sünger demir üretim tesisinin ön teknik özelliklerinin aşağıdaki şekilde planlanması uygun görülmektedir;

|                  |  |                                   |
|------------------|--|-----------------------------------|
| Yer              | Erdemir Maden Tesisleri - Divriği                      |                                   |
| Kapasite         | 480 000 t/y Sünger Demir                               |                                   |
| Modül Sayısı     | 2 Adet (1 Modül 240.000 t/y)                           |                                   |
| Elektrik Üretimi | 30 MW (2 modül tek bir elektrik üretim birimine bağlı) |                                   |
| Hammadde         | Pelet  | Erdemir Maden'den satın alınacak  |
|                  | Kömür  | 2.800 kcal/kg                     |
|                  | Dolomit  | Yakın bir bölgeden temin edilecek |
| Çalışan Sayısı   | 400 kişi   |                                   |

Böyle bir tesisin ülkemizde kurulmasıyla;

- Hurdaya ikame son derece önemli bir malzeme olan sünger demirin yerli kaynaklardan yararlanılarak üretilmesi,
  - 480.000 ton/yıl kapasiteye göre tasarlanan bu sünger demir üretim tesisinde, üretim esnasında açığa çıkan gazlar ve atıklardan yararlanılarak 30 MW gücünde bir elektrik santrali kurulabilmektedir. Bu santral ile tesisin ihtiyacı olan elektrik enerjisi ve ERDEMİR Maden Divriği İşletmesi'nin elektrik enerjisi ihtiyacının tamamının karşılanması,
  - Dünyada özellikleri ve üstünlükleri nedeniyle önemli bir gelecek vaadeden sünger demir üretimi ve enerji üretimi alanlarında yerli teknolojinin geliştirilmesi
- temin edilerek, bu teknolojinin Türkiye'deki diğer elektrik ark ocaklı tesislere transferi veya doğrudan sünger demir ürününün satışı, ilk incelemeler sonucunda mümkün görülmektedir.

TATA Sponge Iron Ltd. tesislerinde kullanılmakta olan hammadde özellikleri, miktarları ve Ağustos 2004 tarihi itibarıyla 128 ABD\$/ton tutarındaki ve hurda temin fiyatından oldukça düşük seviyedeki birim üretim maliyetleri göz önüne alındığında, sünger demir üretiminin oldukça önemli katma değere sahip olacağı, ilk çalışmalar sonucunda anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, ülkemiz şartlarına en uygun sünger demir üretim teknolojisini tespit edilmesi amacıyla, doğal gaz ve kömüre dayalı sistemler üzerinde üniversite işbirliği ile yapılacak detaylı teknolojik araştırmalar tamamlanmalıdır.