



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



Çelik Sektörü İhtisas Çalışma Grubu'nun 5. Toplantısı

Demir Çelik Hurdasının Alternatifi Olan Sünger Demir Üretimi & Kullanımı

Uğur CENGİZ
Malzeme Yüksek Mühendisi



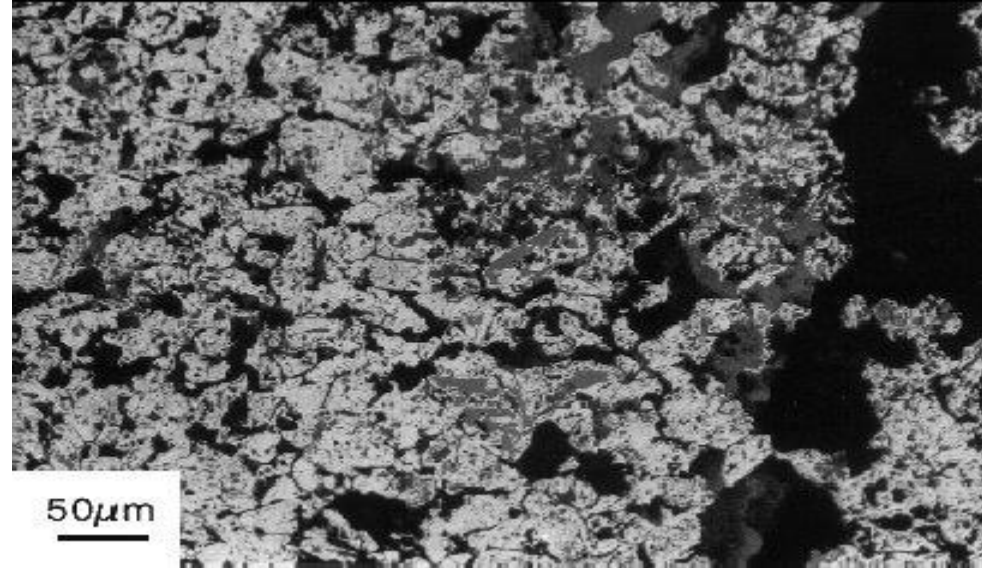
Increasing demand for
CLEAN SOURCE OF IRON

DRI & HBI ÖZET TANITIM



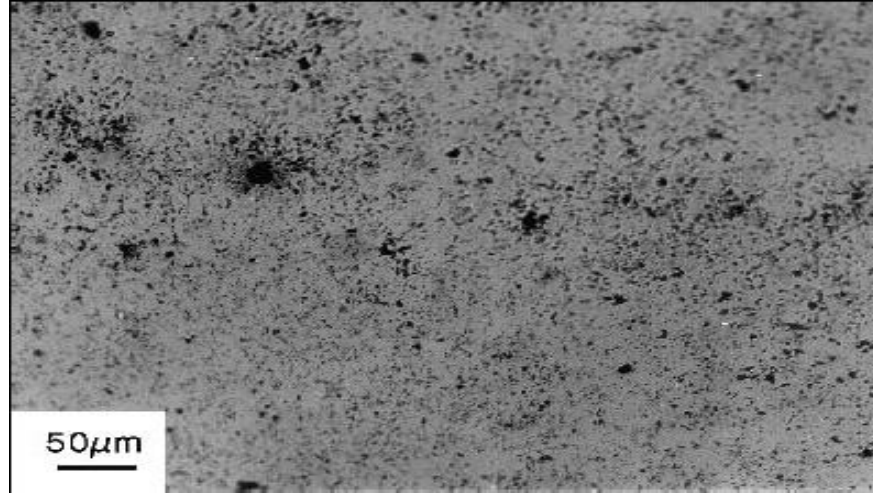
TANIMLAMALAR

- i. Sünger Demir (*Sponge Iron*): Demir cevherinin pellet veya tane formunda gaz veya kömür ile indirgenmesi ile içindeki oksijenin önemli bir kısmının alınması ve Metalik Demir içeriğinin artırılması ile elde edilen Metalik Demir hammaddesidir.
- ii. DRI (*Direct Reduced Iron*): Direkt redüklenmiş Demir, Sünger Demir'in ilk halidir. Mikroskop altındaki görüntüsü aşağıdaki gibidir.



TANIMLAMALAR

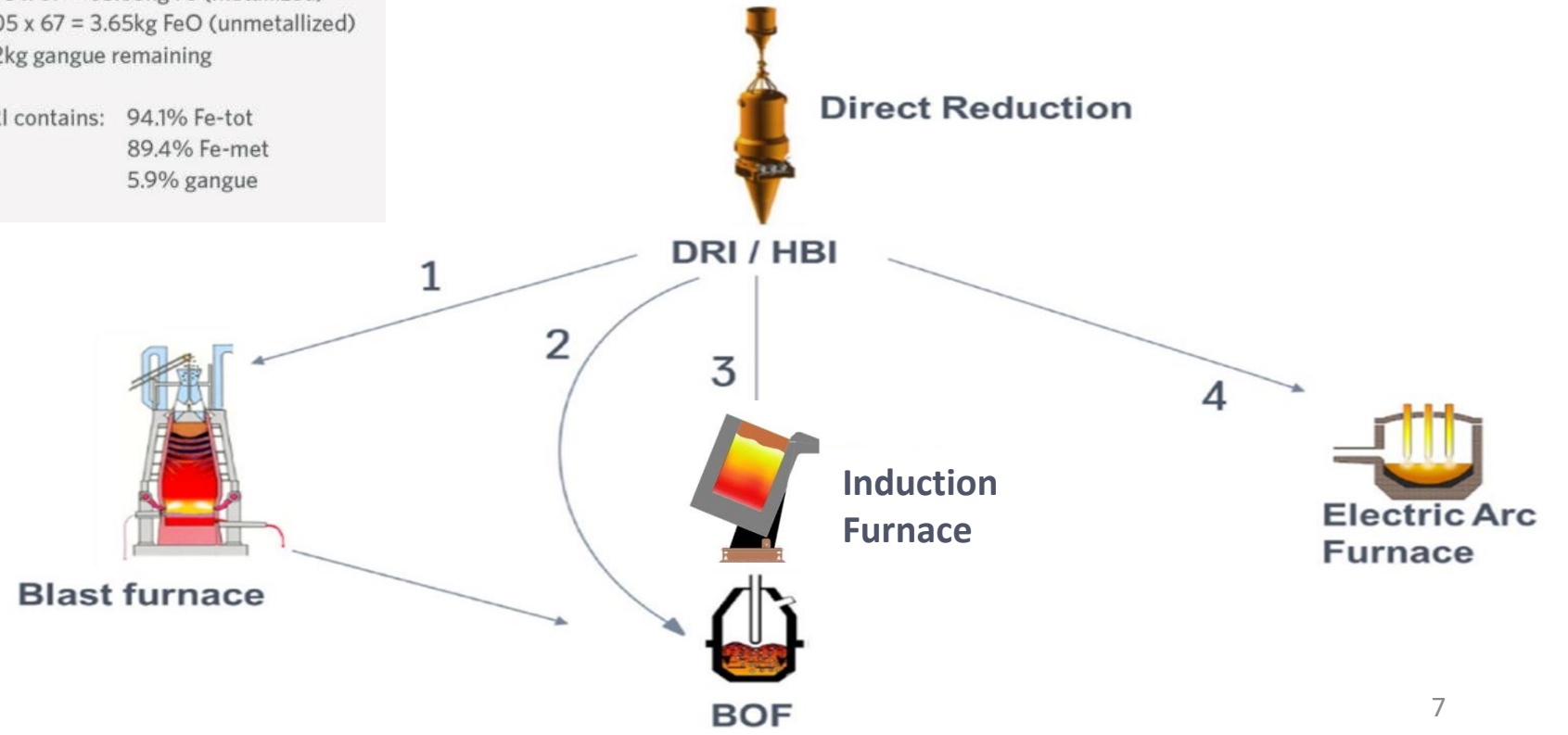
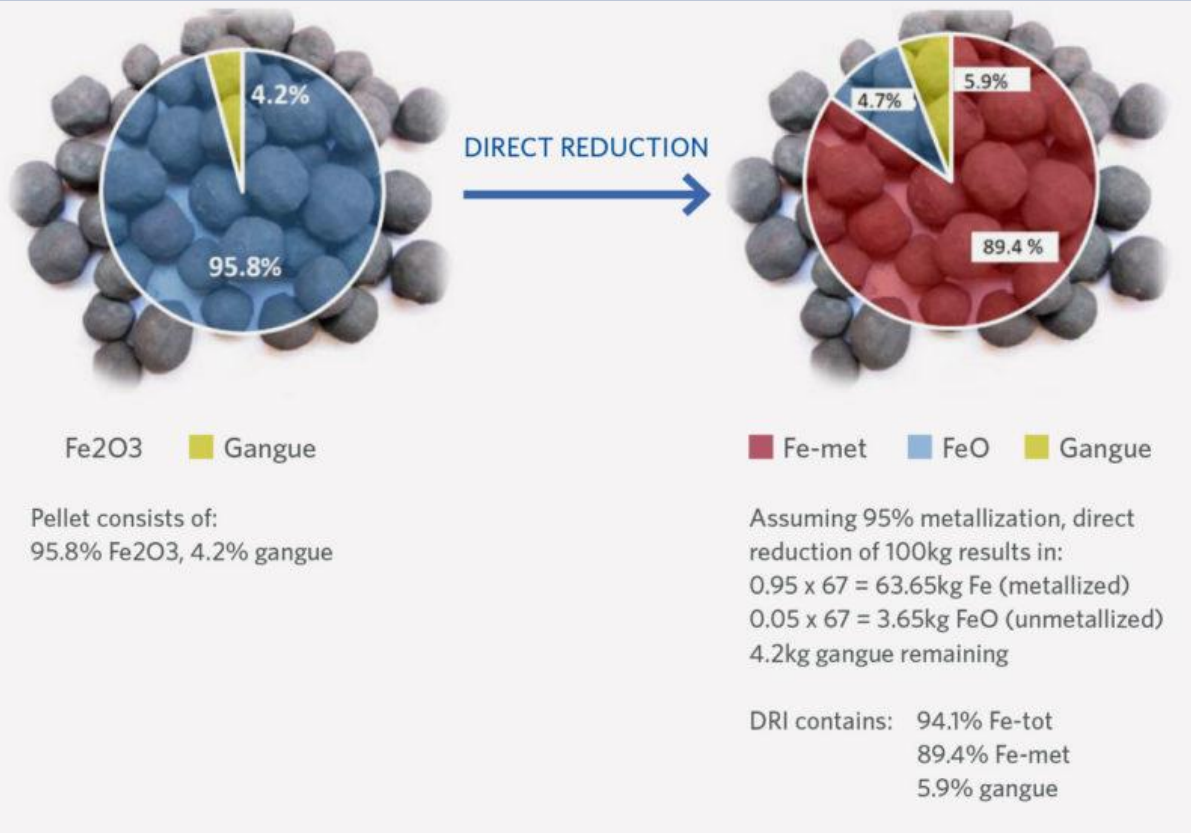
- i. HBI (Hot Briquetted Iron); DRI Mikroskop görüntüsündeki gözenekli yapı (Sünger) malzemenin yüksek düzeyde oksidasyona açık bir yapıya sahip olması anlamına gelir. Bu doğal oksidasyon DRI'ın taşınması, stoklanması sürecinde oksitlenmesi ve kendiliğinden ısınması ve bazı hallerde için için yanması ile sonuçlanmasına neden olabilecektir.
- ii. Bu nedenle oksidasyon yüzey alanının ve gözenekliliğin azaltılması için yüksek sıcaklıkta Pres ile briketlenmesi ticari uygulamalar için yaygın bir hale gelmiştir.



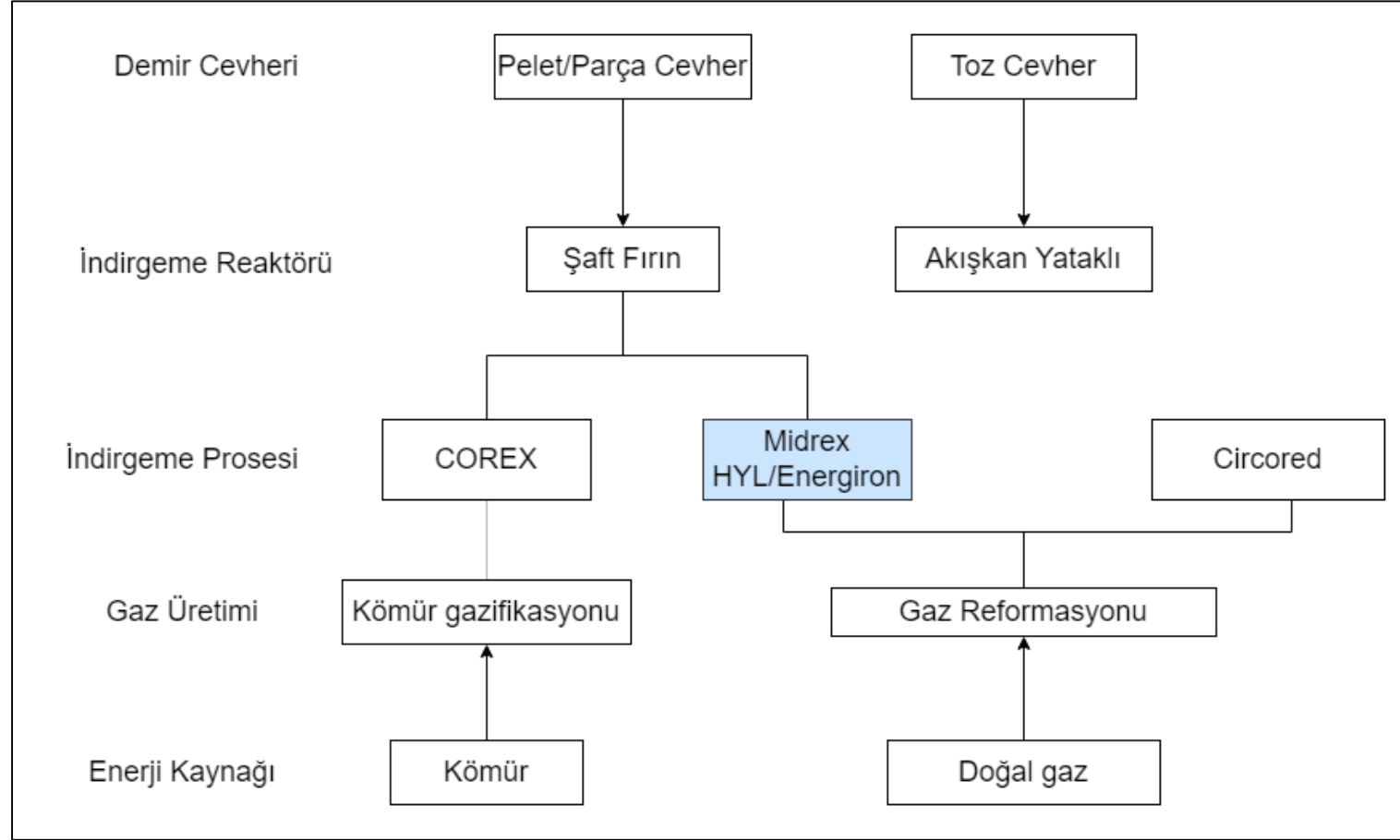
NEDEN DRI?

- DRI'nin üretim ve kullanımının gerekçelerini karbonsuzlaşma öncesi ve sonrası olarak ikiye ayırabiliriz.
- DRI, son 10 yıla kadar hurdası yetersiz ve doğalgaz veya kömür kaynakları olan ülkelerin ve üreticilerin, çelik hammadde ihtiyaçlarını karşılamak veya demir cevherinin bilinen kimyasal özelliklerini kullanmak için, YF/BOF rotası yerine tercih ettikleri elektrikli çelik yapım prosesine uygun hammadde seçeneği olarak belirli bölgelerde yaygınlaşmış bir ürün idi.
- İçine girdiğimiz total karbonsuzlaşma döneminde ise; DRI teknolojileri arasında en yaygını olan Doğal gaz esaslı şaft tipi veya akışkan yataklı DRI teknolojilerinin H₂'nin indirgeyici olarak kullanılmasına izin vermesi ve bu rotanın, YF/BOF rotası ile kıyaslanamayacak oranda düşük emisyon değerlerine sahip olması, **H₂DRIEAF** kombinasyonunun geleceğin primer çelik yapım prosesi olarak görülmesine neden olmuştur.
- Bir diğer düşük karbonlu çelik yapım prosesi olan hurda esaslı üretim için hurdanın hiçbir zaman tüm ihtiyacı karşılayamayacak olması ve hurdanın bir çok özel çelik türünün üretimine kimyasal spesifikasyon olarak izin vermemesi nedeni ile cevher esaslı düşük karbonlu bir primer çelik yapım rotası olarak **H₂DRIEAF** öne çıkmıştır.

DRI ve KULLANIMI



Gaz esaslı DRI TEKNOLOJİLERİ



Gaz indirgeyici kullanılan yöntemler; Dünya sünger demir üretiminin yaklaşık %75'inde bu yöntem kullanılmaktadır. Yöntemin kolay kontrol edilmesi, proseslerin verimli gerçekleşmesi ve oluşan ürünün yüksek kalitede (*Karbon oranı % 1-3 ve düşük kükürt % 0,005*) olmasından dolayı gaz esaslı yöntemler daha çok tercih edilmektedir.

MIDREX MODÜL



Lebedinsky GOK is the only HBI producer in Russia and the CIS

Algerian Qatari Steel

1st MIDREX[®] Plant built at Oregon Steel Mills in Portland, Oregon, USA

1st direct reduction commercial plant in Europe (Hamburger Stahlwerke, now ArcelorMittal Hamburg)

Start-up of 1st MIDREX[®] Plant in South America (Siderca, now TenarisSiderca in Argentina)

Start-up of the 1st direct reduction plant in the Middle East (QASCO, now Qatar Steel)

Kobe Steel Ltd. acquires Midrex Corporation

KOBELCO

1st MIDREX[®] Plant using coal syngas (Saldanha Bay, now ArcelorMittal South Africa COREX[®]/MIDREX[®] Plant)

IMEXSA (now ArcelorMittal Lázaro Cárdenas) establishes world production record of 1.76 million tons of DRI from a single module

1969

1971

1976

1978

1983

1999

2004

MIDREX MODÜL



LION's MIDREX Plant in Banting, Malaysia



Tosyali Algérie Iron and Steel complex

Start-up of first MIDREX® HOTLINK Plant (Jindal Shadeed in Oman)

2011

Start-up of first MIDREX® Plant based on coal gasification (Jindal Steel & Power)

2014

Start-up of world's largest single module HBI plant 2.0 million tons/year in USA (voestalpine Texas)

2016

MIDREX® Plants produce

1 billion
tons of DRI since 1969

2018

Start-up of world's largest HDRI/CDRI plant 2.5 million tons/year (Tosyali Algeria)

2018

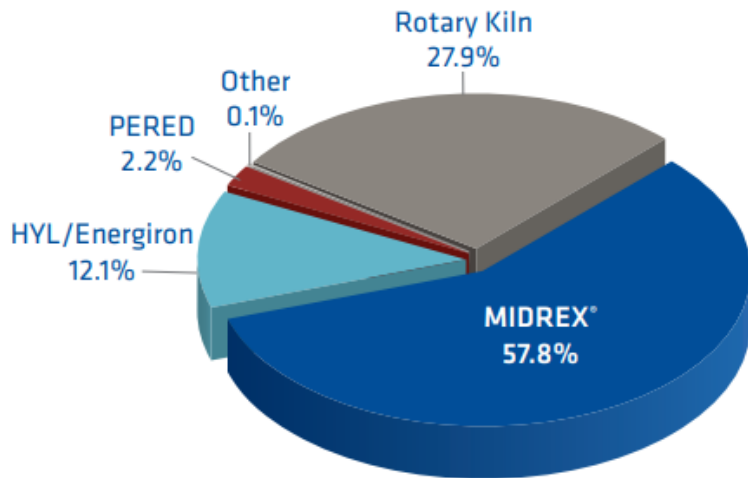


Tosyali Algérie MIDREX Plant

2020 at a glance

Total annual production: 2,233,444 tons
 Total HDRI produced: 1,604,514 tons
 Total CDRI produced: 628,930 tons
 Average metallization: 94%
 Average Carbon: 2.2%

2022 World DRI Production by Process



Note: Percentages are rounded to the nearest decimal.

Total World Production: 127.36 Mt

	2020	2021	2022
MIDREX®	60.2%	59.5%	57.8%
HYL/Energiron	12.4%	12.7%	12.1%
PERED	2.9%(e)	2.2%(e)	2.2%(e)
Other	0.2%	0.1%	0.1%
Rotary Kiln	24.3%	25.4%	27.9%

(e) estimated

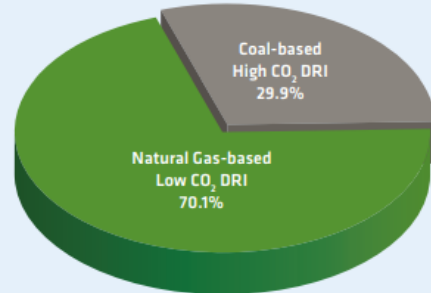
Source: Midrex Technologies, Inc.

2022 Top 5 DRI Producing Nations

COUNTRY	PRODUCTION (Million Tons)
India	43.55
Iran	32.90
Russia	7.66
Saudi Arabia	6.48
Mexico	5.84

Source: World Steel Association, SIMA, and Midrex Technologies, Inc.

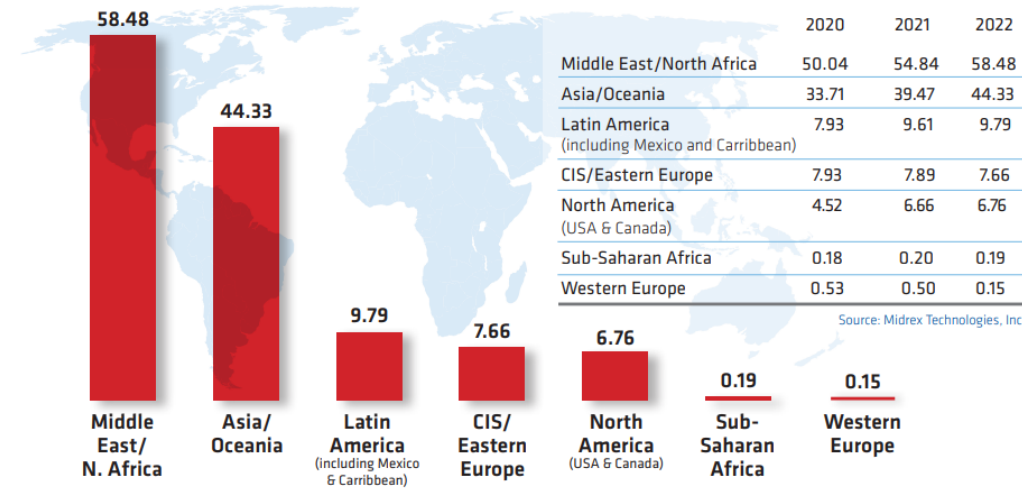
2022 World DRI Production by CO₂ Emissions



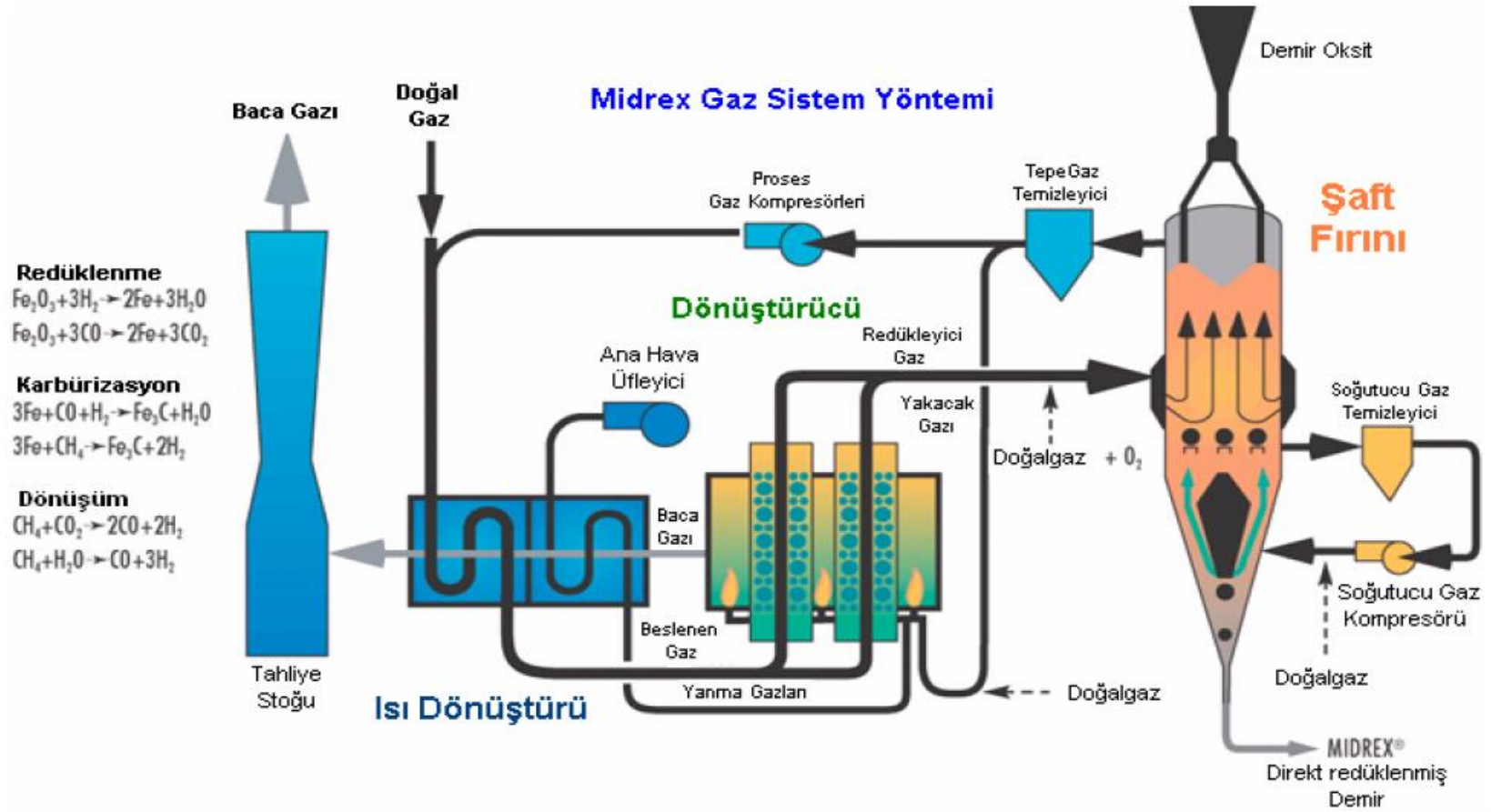
	2020	2021	2022
High CO ₂ DRI	26.2%	27.5%	29.9%
Low CO ₂ DRI	73.8%	72.5%	70.1%

Source: Midrex Technologies, Inc.

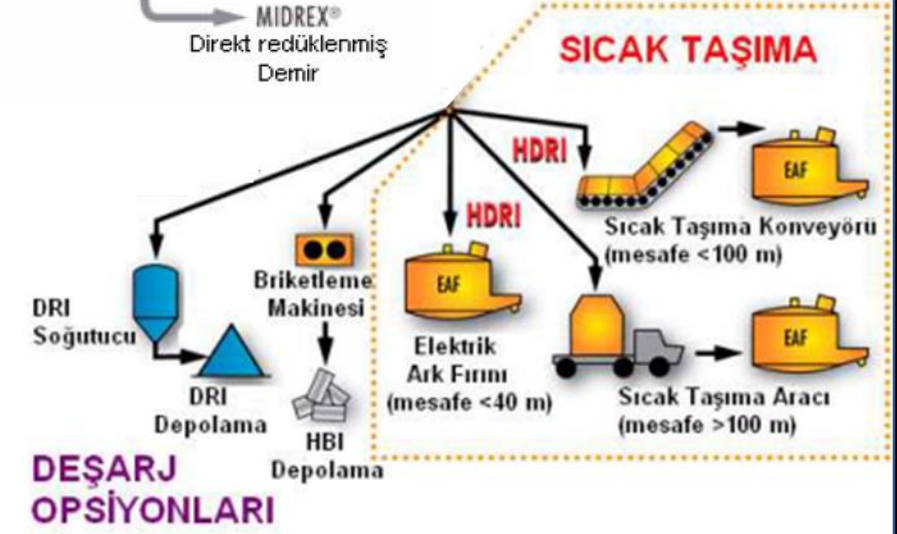
2022 World DRI Production by Region (Mt)



Source: Midrex Technologies, Inc.

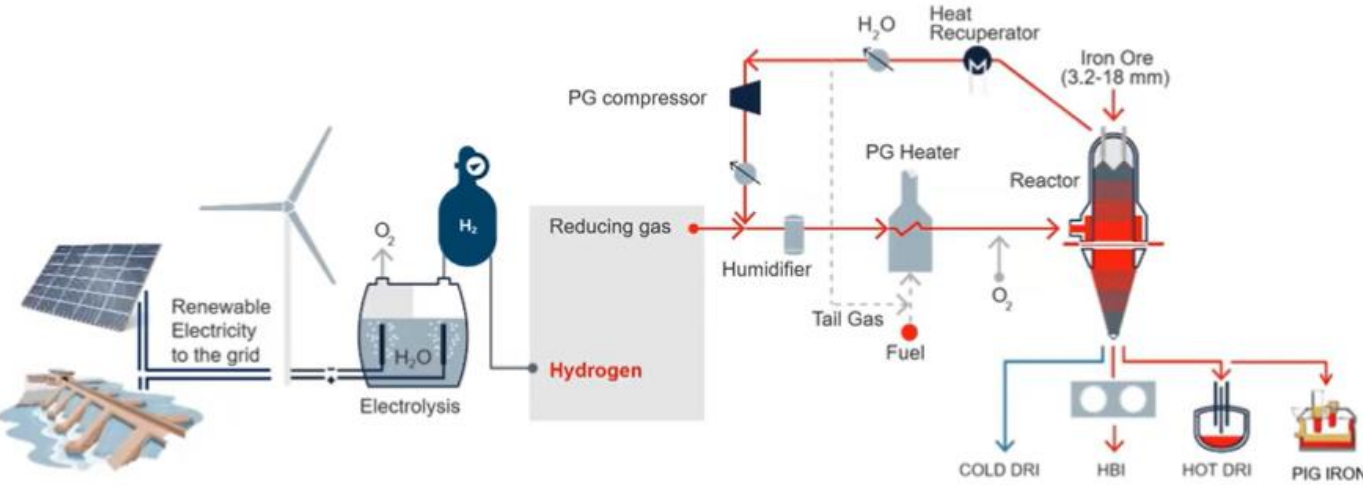


İndirgeyici gaz %95 hidrojen ve karbon monoksit içerir. Bu gaz 760°C – 927°C sıcaklığına ısıtılır ve fırının alt bölgesinde bulunan indirgeme bölgesinin altından fırına verilir. Fırının tepe bölgesinden kısmen harcanmış indirgeyici gaz (yaklaşık % 70 $H_2 + CO$) çıkar ve tekrar sıkıştırılır, daha sonra doğalgaz ile zenginleştirilerek 400°C sıcaklığına ısıtılır, buradan da dönüştürücüye gönderilir. Dönüştürücü gaz karışımını tekrar %95 $H_2 + CO$ içeren gaza dönüştürerek fırın için indirgeyici gazı oluşturur.



The Energiron process

ZERO REFORMER SCHEME FED WITH HYDROGEN



tenova

Reduction with Hydrogen

tenova

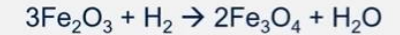


2021 Tenova S.p.A. Confidential. All rights reserved.

Electrolysis:



Reduction: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$



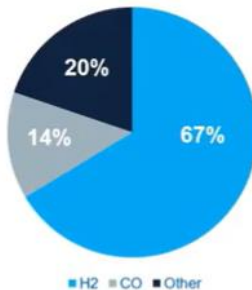
Apart Fe, the only product of reduction is H_2O

Experience with Hydrogen use

ENERGIRON IS READY FOR INDUSTRIAL APPLICATION

- ✓ Experience in ENERGIRON plants with reformer using in excess of 70% H_2
- ✓ Scheme natively fitted for direct use of H_2
- ✓ Completion of pilot plant tests with ~90% H_2 since 1990's
- ✓ Extensive experience and operation with Process Gas heaters and gas sealing valves design, specifically with high percentages of H_2

ENERGIRON
DRI TECHNOLOGY BY TENOVA AND DANIELI

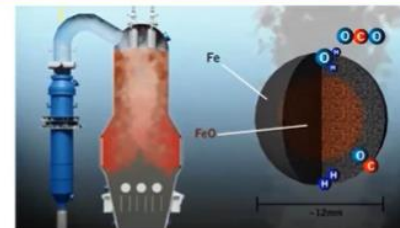
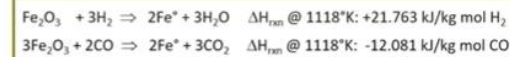


tenova

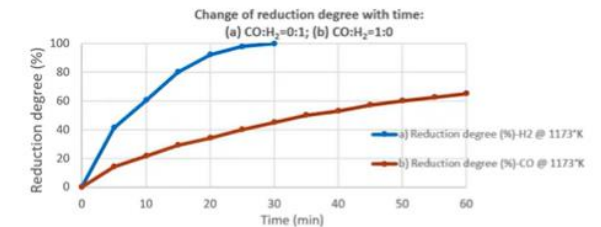
Use of Hydrogen in Direct Reduction processes

tenova

DIRECT REDUCTION FUNDAMENTALS



Reduction with H_2	Reduction with CO
<ul style="list-style-type: none"> Highly Endothermic: favored by high Temp and higher % of H_2 Easier / Faster than CO 	<ul style="list-style-type: none"> Highly Exothermic: favored by low Temp and lower % of CO Harder / Longer than H_2

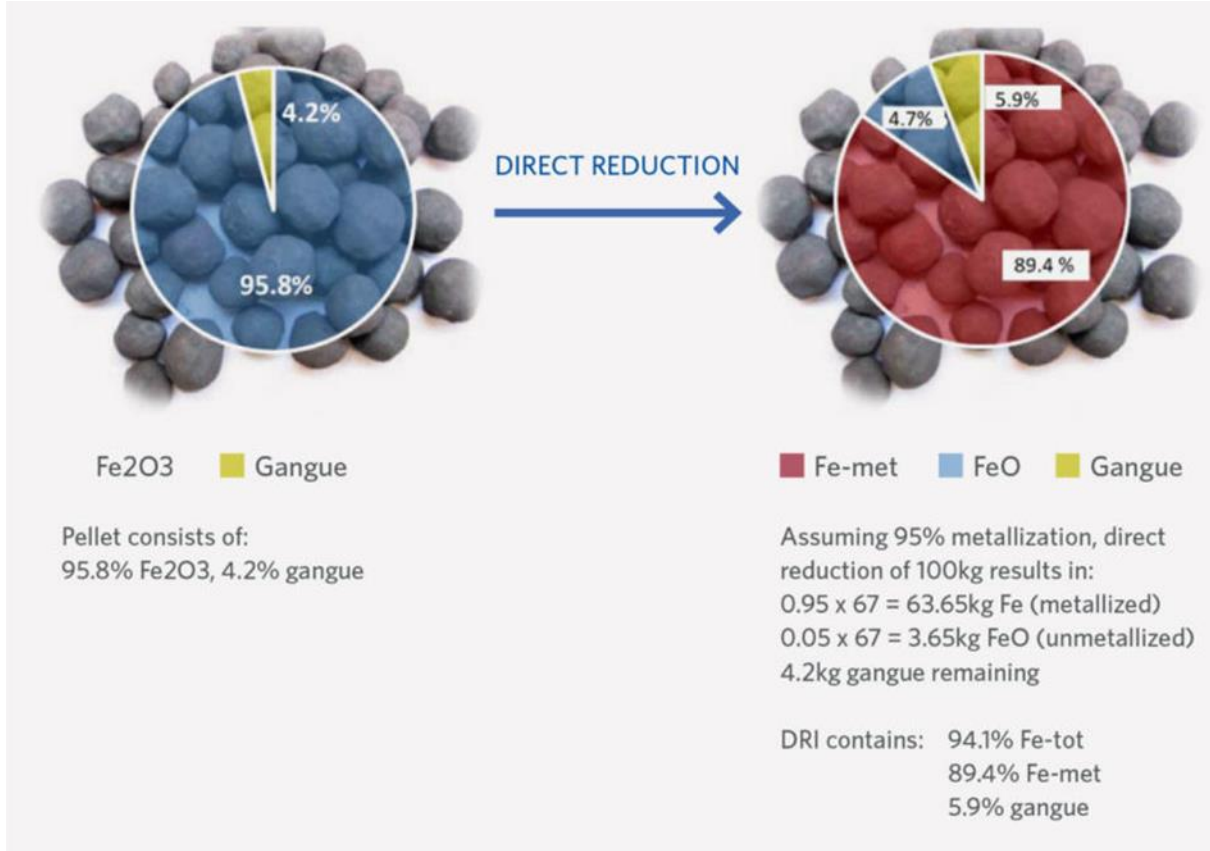


Kinetically, iron ore reduction with H_2 is >4 times faster as compared to CO which requires higher reducing gas temperature.

YF/BOF ANAVATANININ H₂DRI TERCİHİ



Midrex Yöntemi ile Üretilen Sünger Demirin Özellikleri



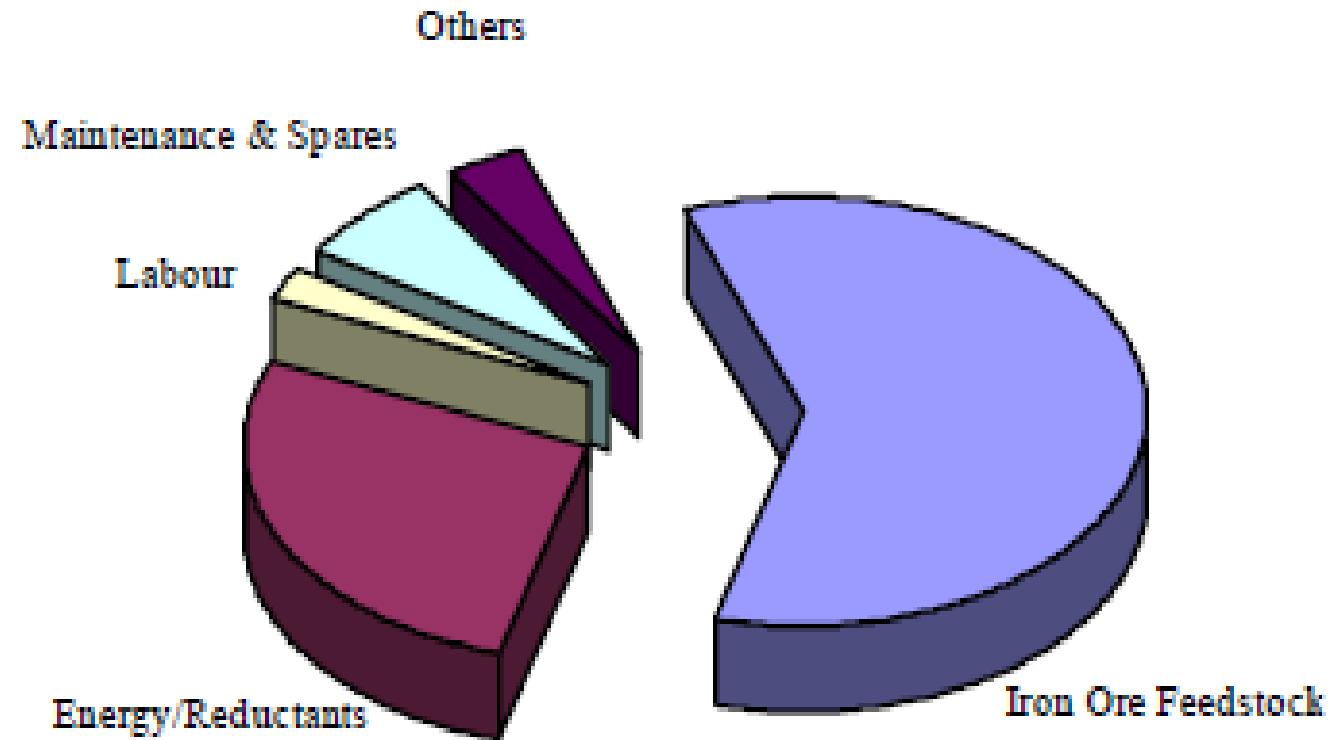
	DRI	HBI
Toplam Fe (%)	90 – 94	90 – 94
Metalik Fe (%)	83 – 89	83 – 89
Metalizasyon (%)	93 – 96	93 – 96
Karbon (%)	1,0 – 3,5	0,5 – 5,2
P* (%)	0,005 – 0,09	0,005 – 0,09
S* (%)	0,001 – 0,03	0,001 – 0,03
Gang* (%)	2,8 – 6,0	2,8 – 6,0
Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, Sn,	Eser	Eser
Görünür yoğunluk (g/m ³)	3,4 – 3,6	5,0 – 5,5
Yoğunluk (kg/m ³)	1600 – 1900	2400 – 2800

HyL Ürünlerinin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	DRI	HBI
Toplam Fe	% 91 – 93	% 91 – 93
Metalik Fe	% 83 – 88	% 83 – 88
Metalizasyon	% 92 – 95	% 92 – 95
C	% 1,5 - >4,0	% 1,2 – 2,2
P	% 0,02 – 0,05	% 0,02 – 0,05
S	% 0,002 – 0,019	% 0,002 – 0,019
Gang	% 2,8 – 7,5	% 2,8 – 7,5
Cu, Ni, Cr, Mo, Sn, Pb, Zn	Eser	Eser

DRI ÜRETİM MALİYETİ PROFİLİ

Average Cost Splits for World DRI/HBI Plants

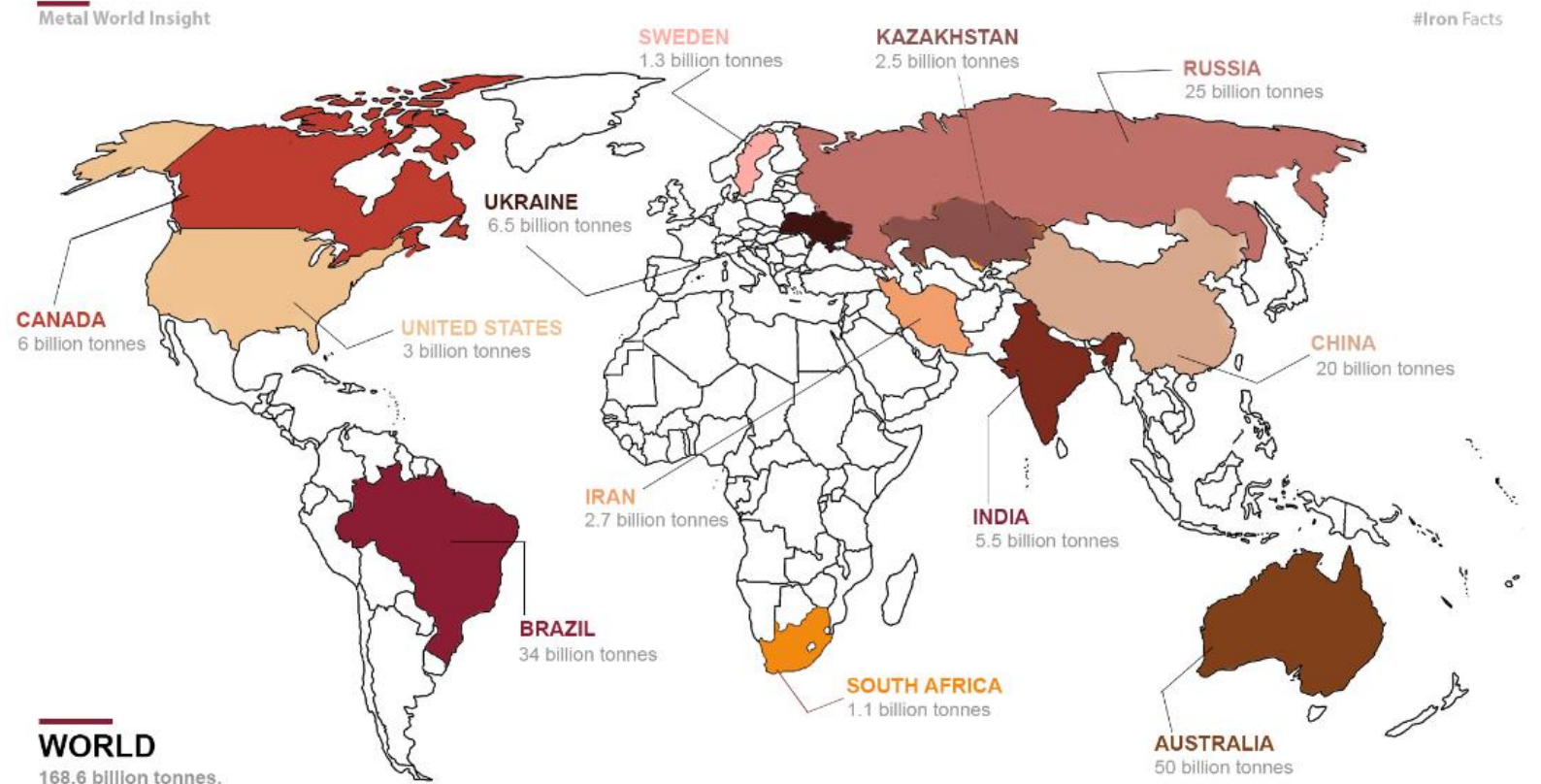


GAS ESASLI DRI ÜRETİMİ MALİYET PARAMETRELERİ

Consumption Figures			
Item	Unit		Remark
Plant capacity	t/a	200,000 - 2,000,000	
Metallization		≥ 93%	
Carbon (controlled)		0.8% - 5%	depending on extent of "in-situ" reforming
Inputs		Specific Consumption	
<i>Iron ore</i>	t/t	1.38 - 1.40	depending on DRI Carbon
<i>Natural gas</i>	Gcal/t	2.3 - 2.6	depending on: DRI Carbon & Temperature, extent of "in-situ" reforming and power co-generation
<i>Electricity</i>	kWh/t	0 - 85	depending on power co-generation
<i>Oxygen</i>	Nm ³ /t	0 - 50	depending on extent of "in-situ" reforming
<i>Water</i>	m ³	0 - 1.3	depending on the water recovery system
<i>Labor</i>	m-h/t	0.11 - 0.17	depending on plant size
<i>Maintenance</i>	US\$	3 - 3.3	for cold DRI - hot DRI

12 World's Largest Iron ore reserves 2020

DÜNYA DEMİR CEVHERİ KAYNAKLARI

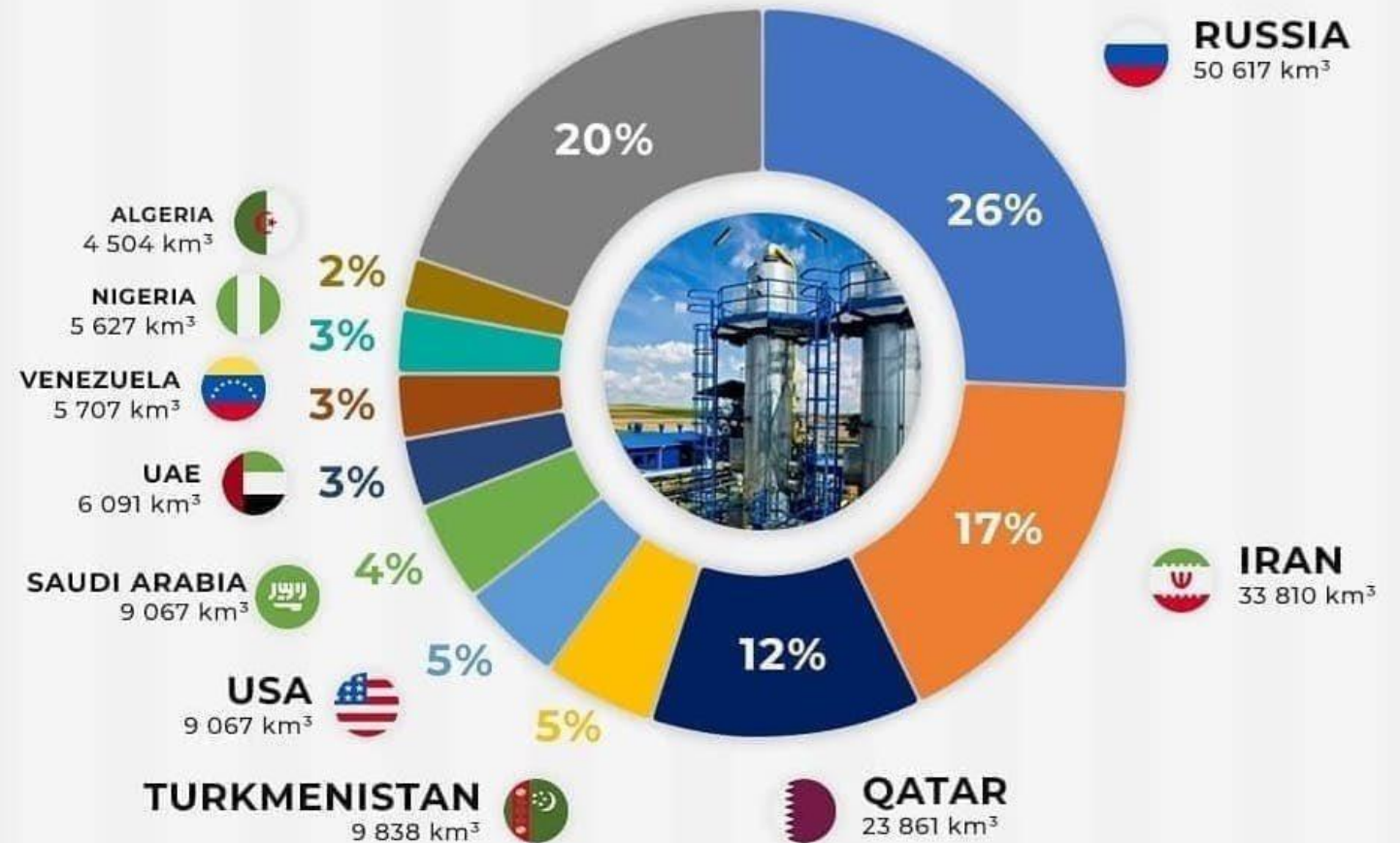


World's 12 Largest Iron Ore Reserves 2020

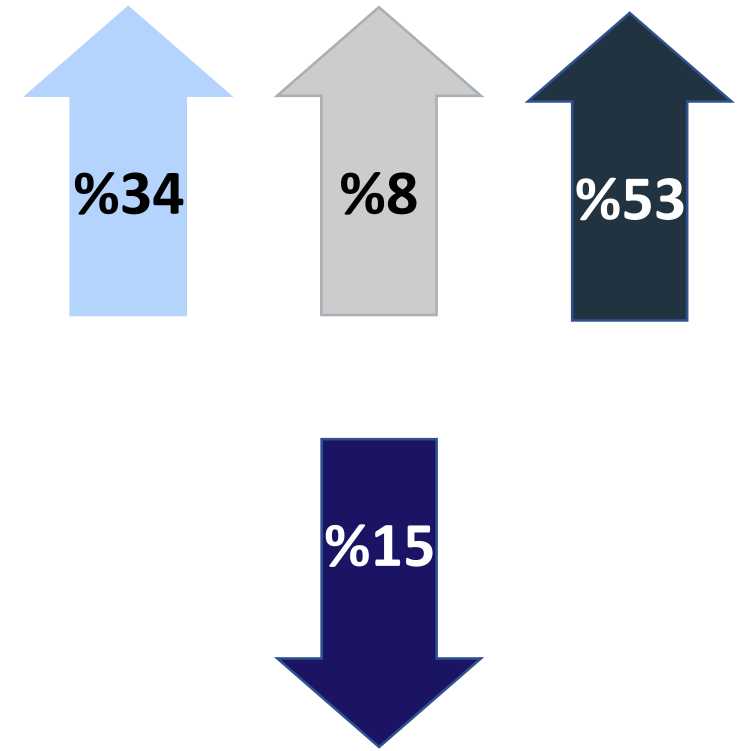
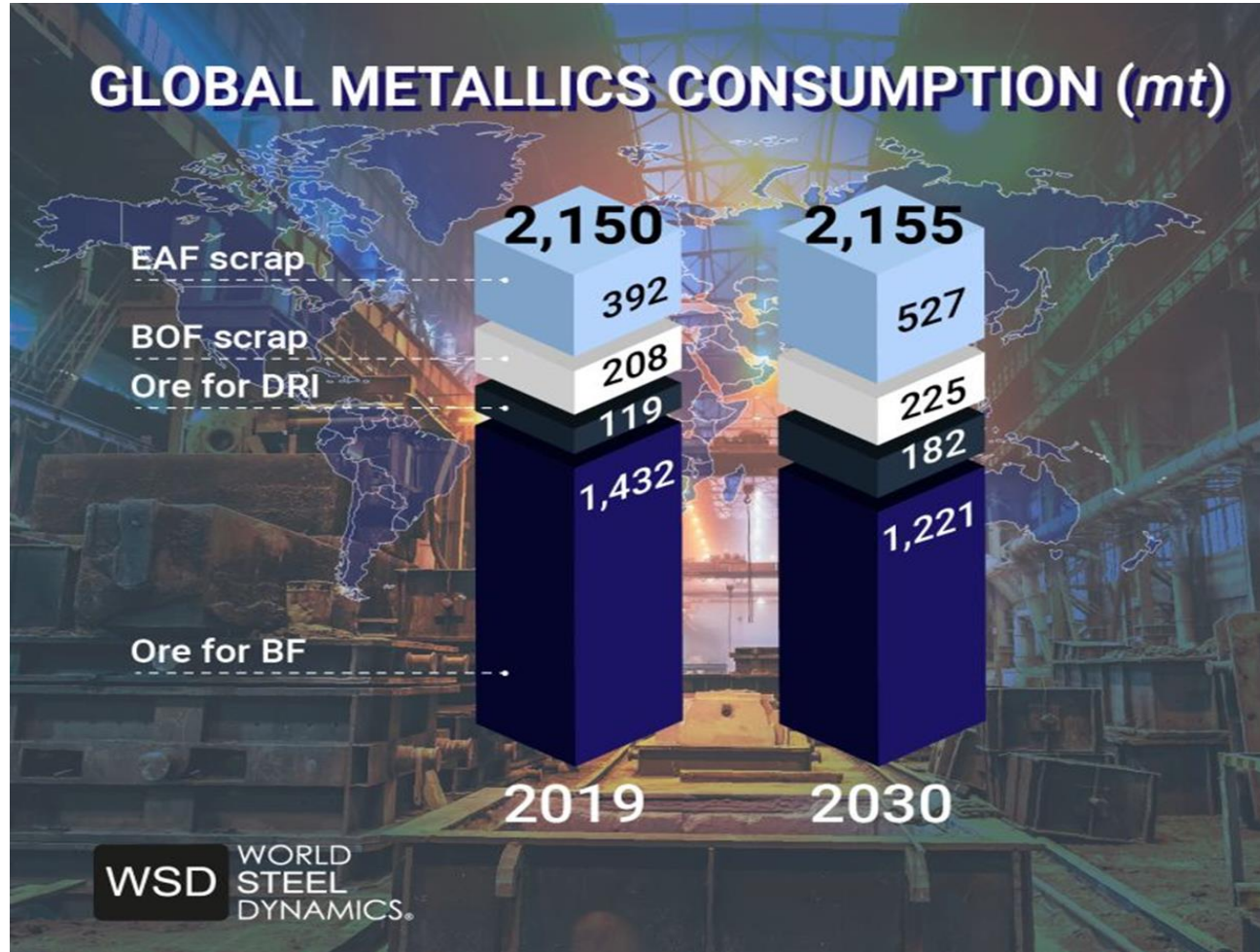
DÜNYA DOĞAL GAZ REZERVLERİ

COUNTRIES BY NATURAL GAS PROVEN RESERVES

SOURCE: OPEC (2018)



ÇELİK YAPIM HAMMADDELERİNİN DEĞİŞİMİ

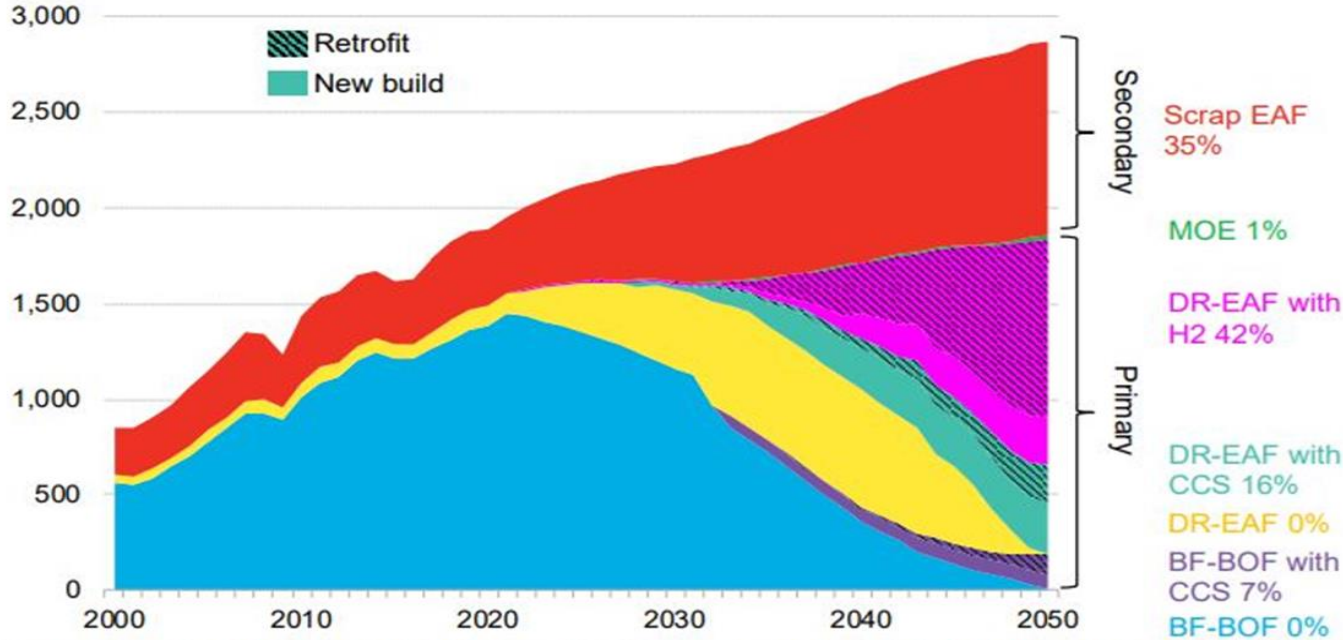


ÇELİK YAPIM PROSESİ VE HAMMADDE CİNSLERİNİN DEĞİŞİMİ

Steelmaking will shift to direct reduction and electrification

Global steel production for net-zero, by process

Mt

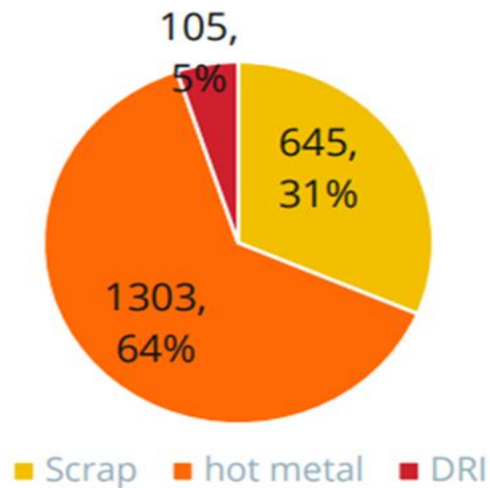


Source: BloombergNEF. Note: Mt is million tons, MOE is molten oxide electrolysis, DR-EAF is direct reduction paired with an electric arc furnace, BF-BOF is a blast furnace paired with a basic oxygen furnace. Percentages may not sum to 100% due to rounding.

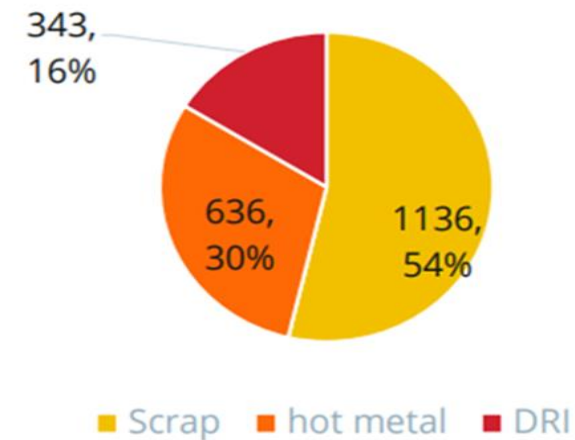
ÇELİK HAMMADDELERİ 2019 & 2050

And the metallics pool for steelmaking follows...

Metallics pool for steelmaking in 2019

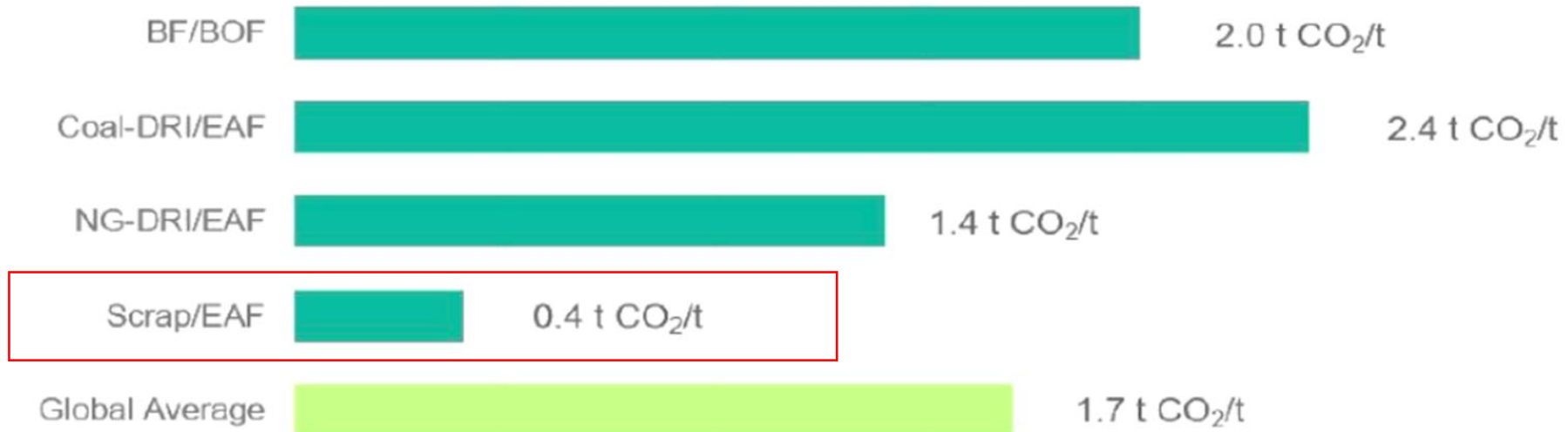


Metallics pool for steelmaking in 2050 in the SDS scenario



Source: IEA Iron and Steel Technology Roadmap 2020

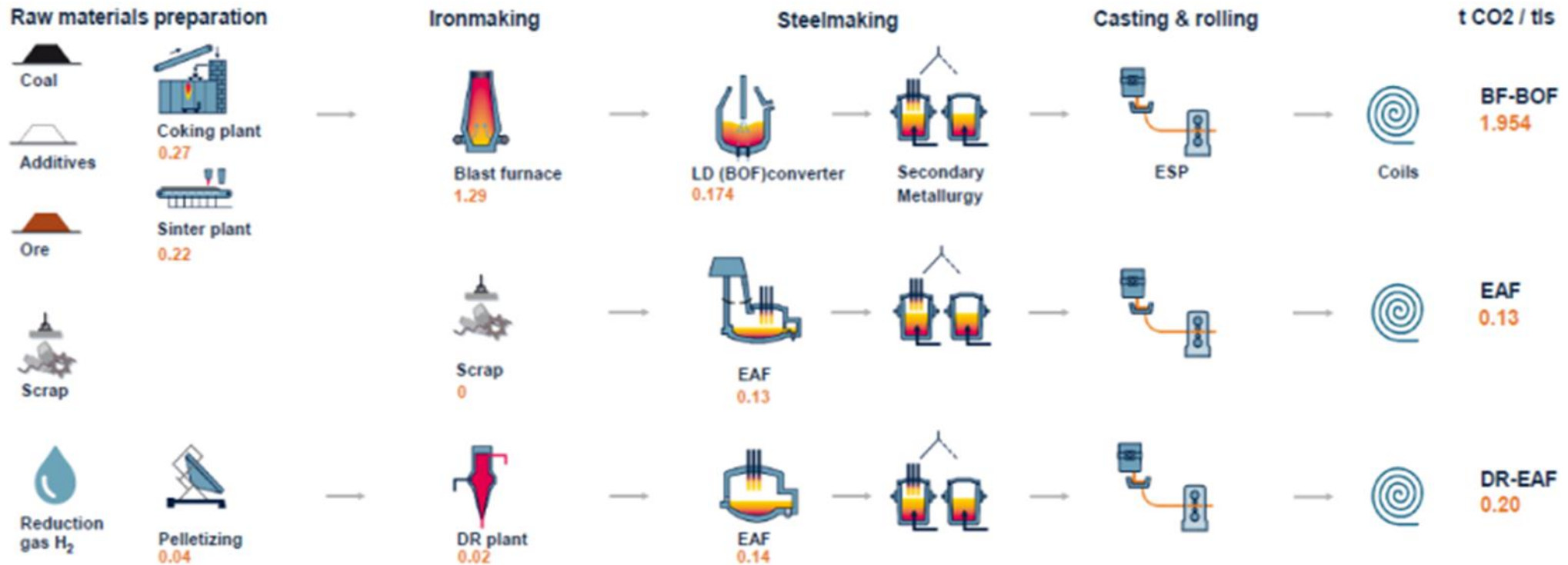
NEDEN **H₂**DRIEAF ?



For 1 ton of crude steel production, amount of formed CO₂ emissions by Turkish steel producers.	Blast Furnaces	1.85 tCO₂/ tons cs
	Electric Arc Furnaces	0.30 tCO₂/ tons cs
	Induction Furnaces	0.16 tCO₂/ tons cs

NEDEN **H₂DRI**EAF ?

BF/BOF vs Optimized EAF Steelmaking CO₂ emissions



CO₂ emissions in tons per ton of liquid crude steel, considering OECD EU-28, emission factor of 80grams CO₂ / kWh (Target 2050) and BAT, utilization of BF top gas and LD gas in power plant, scope 3 emissions for raw materials and credits considered

Wimmer, Primetals Technologies

NGDRIEAF ve ÜLKEMİZ

- **NGDRIEAF** rotasının YF/BOF'dan düşük, ancak **hurdaEAF** rotasından çok yüksek karbon ayak izi özelliğinin altını çizmek isterim. Tek hedef karbonsuzlaşma ise **NGDRIEAF** seçenek değildir, ancak karbonsuzlaşma süreci uzun bir yolculuğu tarif etmektedir, **H₂**'ye dönüşümü kolay olan Şaft tipi DRI teknolojilerinin özellikle hurdada kendine yeterliliği büyük sorun olan ülkemizde, çelik ürün tipindeki yüksek katma değerliye doğru olması gereken dönüşüm ve hammadde maliyet ve yeterliliğine çözüm anlamında düşünülmesi gereken bir seçenek olduğunu söylemek mümkündür.
- İster geçiş dönemi için, ister gelecek için olsun, DRI'ın ülkemizde veya başka bir coğrafyada Türkiye çelik sanayisinin hammadde, ürün cinsi ve karbonsuzlaşma yolculuğunda olmazsa olmaz bir seçenek olduğu açıktır.
- Yatırım maliyetinin büyüklüğü ve **NG** maliyeti bu seçeneğin önündeki en büyük engeldir, ancak ölçekli ve farklı DRI üretim teknoloji alternatiflerinin varlığı bu konuda sektörün ve ülkemizin önündeki ev ödevini göstermektedir.

HURDA & H₂DRI

- Hurda esaslı çelik yapımı en düşük karbon ayak izi ve enerji ihtiyacı olan bir prosestir, **ancak hurda, bulunabilirlik ve özel çeliklerin gerektirdiği kimyasal özellikler nedeniyle sınırlı bir kaynaktır.**
- Demir cevheri esaslı, karbon ayak izi çok düşük, yenilenebilir elektrik ve bundan üretilmiş H₂ kullanılan bir primer çelik yapım prosesi, küresel emisyonun %7-9'unun nedeni olan çelik üretim sektörü için KARBON NÖTR hedefinde bir çıkış yolu gibidir.
- Hurda daha çok düşük katma değerli ürünler ve düşük karbonlu primer çelik yapımında düşük maliyetli hammadde kaynağı olarak girdi harmanında kısmen kullanılacaktır.

H₂DRI ve SORUNLAR

- H₂'nin yenilenebilir elektrikten üretilmiş olması karbonsuzlaşma için ön koşuldur, bu üretimin olağan üstü yüksek enerji ihtiyacı ve maliyeti en önemli sorunudur.
- H₂DRIEAF zinciri sadece pilot projelerde uygulanmıştır, tek endüstriyel boyutta kullanım Trinidad Tobago'daki Circored tesisinde üretilen 300.000 Ton 0 karbonlu H₂DRI'nin North Star EAF'sinde kullanılmasıdır. Bu endüstriyel boyutta yapılan denemede EAF çelik yapımı için temel metalürjik parametrelerde çok önemli değişimlerin olması gerektiği görülmüştür, metalurjistler bu konuyu henüz yeterince tartışmamış ve çalışmamışlardır.
- Metalurjik sorunlarına ve günümüz ile kıyaslanamayacak CapEx ve OpEx büyüklüklerine rağmen projelendirilen ve 2030 yılına kadar devreye girecek olan tümüyle yeni H₂DRIEAF tesisleri dünya çelik yapım proseslerinin çok temel bir yol ayrımında olduğunu göstermektedir.
- Pilot uygulamalar dışında H₂'nin yüksek oranda (70%) kullanıldığı DRI üretimine ilişkin ilk uygulama Çin'de Hebei Iron and Steel Group (HBIS) tarafından hayata geçirilmiştir. 0,6 Mt/yıl kapasiteli Energiron prosesini kullanan tesis 2022 yaz başında devreye alınmıştır.
- H₂DRI üretiminde diğer önemli sorun uygun özelliklerde demir cevheri peletinin çok kısıtlı miktarda üretilmesidir, bu gerçek OpEx anlamında çelik üretimini çok farklı bir geleceğin beklediğini göstermektedir.

ÖNERİLER

- Alternatif hammadde, karbonsuzlaşma ve hammadde yeterliliği anlamında Türkiye çelik sektörü için önündeki en önemli konudur.
- Hammadde konusunda sınırlı bakış açımızın değişmesi gerekmektedir.
- Ancak ülkemizde DRI yatırımlarının teşvik edilmeyeceği kararının 2015'den beri hala değişmemiş halde durmasının, Dünya'da hayata geçen ve ülkemizde olması gereken değişim ile bağdaşmadığını tekrarlamamız gerekir.
- Dünya çelik sektörünün yaşadığı dönüşümü bölgesel ve bazı şirketlere özgü değil, hammadde, enerji türü, karbon ayak izi, kapasite, döngüsellik ve metalurjik proses açısından çok temel bir dönüşüm olduğunu kabul etmemiz gerekir.



u.cengiz@bilecikdemircelik.com.tr

Teşekkürler