شرکت پشتیبانی و توسعه
فناوری و نوآوری
فولاد مبارکه
Mobarakeh Steel Technology & Innovation
Development Co.

کلان‌روندهای نوظهور موثر بر صنعت فولاد

توسعه زیست‌بوم نوآوری فولاد مبارکه

۱
تغییرات جمعیتی
روندهای جمعیتی، مهاجرت، ارزش‌ها، فرهنگ و تحصیلات، سالخوردگی جمعیت

۲
عوامل سیاسی
حاکمیت و ژئوپلیتیک، آینده دموکراسی و ریسک‌های جهانی مانند جنگ‌ها

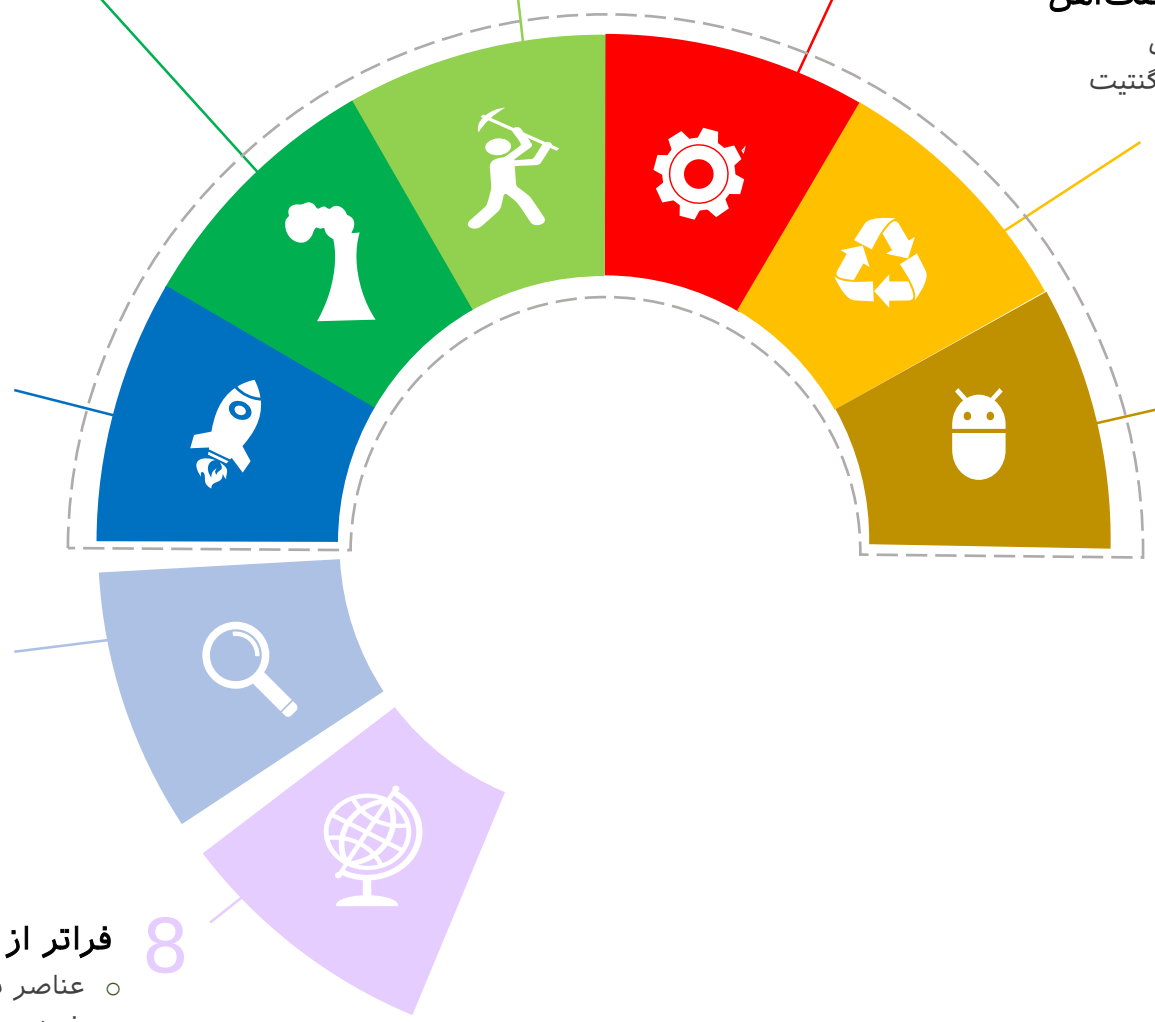
۳
عوامل زیست‌محیطی
آلودگی و تغییرات آب‌وهوایی و تغییرات پایداری، مواد خام و منابع طبیعی، تهدیدات مربوط به اکوسیستم‌ها

۴
تغییرات فناورانه
ارزش فناوری، صنعت 4 و تحولات فناورانه آن مانند هوش مصنوعی، ربات‌ها، ماشین‌ها و انسان‌ها

۵
عوامل اقتصادی
تغییر قدرت، جهانی‌سازی، تغییرات منطقه‌ای، چالش بدهی و تورم

۶
بهداشت و درمان
پاندمی، بیماری‌ها و درمان‌ها

مسائل موثر بر صنعت فولاد کشور
روندهای جهانی
دیده‌بانی فناوری
ملاحظات داخلی
انقلاب صنعتی چهارم
اقتصاد چرخشی
پایداری و تولید فولاد سبز
محصولات فولادی پیشرفته
پرعیارسازی منابع سنگ‌آهن
مواد مصرفی، تجهیزات و فرایندها
روندهای صنایع مرتبط فولاد
فراتر از صنعت فولاد



1 اقتصاد چرخشی

- سرباره
- آب
- تصفیه پساب
- انرژی
- ضایعات آهنی
- ضایعات جامد غیرآهنی
- گازهای خروجی

2 پرعیارسازی منابع سنگ‌آهن

- منابع کم‌عیار هماتیتی
- منابع کم‌عیار تیتانومگنتیت
- گوگردزدایی
- فروآلیاژها

3 پایداری و تولید فولاد سبز

- کاهش نشر کربن

4 مواد مصرفی، تجهیزات و فرایندهای نوین

- مواد مصرفی متالورژیکی
- مواد مصرفی شیمیایی
- تجهیزات نوین
- فرایندهای نوین

5 انقلاب صنعتی چهارم

- رباتیک
- هوش مصنوعی و یادگیری ماشین
- پهپادها
- واقعیت مجازی و واقعیت افزوده
- پرینت سه‌بعدی
- بلاکچین
- اینترنت اشیاء

6 محصولات فولادی پیشرفته

- محصولات با ارزش افزوده بالا

7 صنایع مرتبط با فولاد

- فرآوری فلزات اساسی کم‌عیار
- تولید برق از منابع تجدیدپذیر
- خطوط انتقال گاز

8 فراتر از صنعت فولاد

- عناصر نادر خاکی/ لیتیم
- خودروهای برقی
- مواد جایگزین فولاد

۱

اقتصاد چرخشی

فرآوری ضایعات و محصولات جانبی

محورهای اصلی

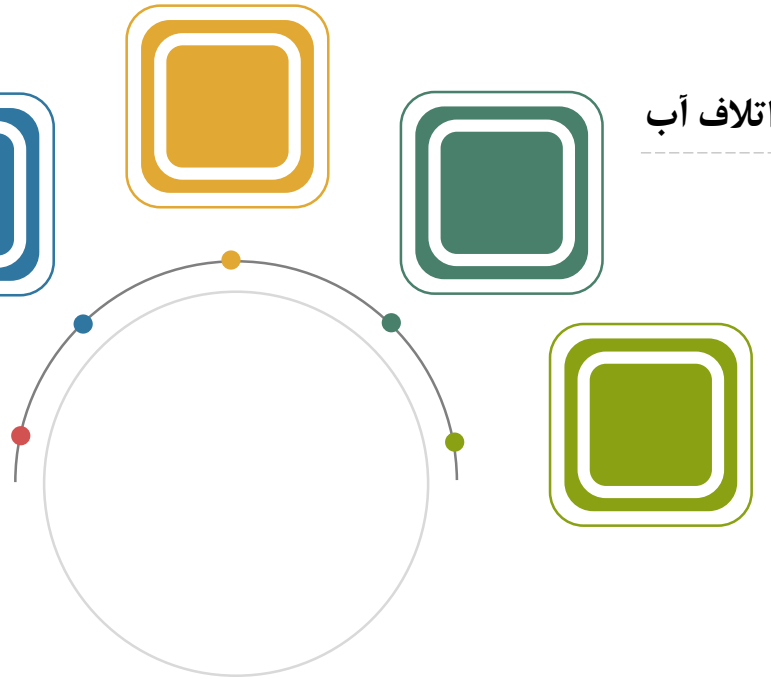
فرآوری سرباره‌های کوره قوس الکتریکی	تصفیه آب و پساب	بازیافت ضایعات جامد آهنی	بازیافت ضایعات جامد غیرآهنی	بازیابی گازهای فرایندی
• استحصال وانادیم، تیتانیم، آهن • کاربرد سرباره در صنایع دیگر (آجرسازی، سیمان، آسفالت، شیشه سرامیک، کاشی و ...)	• استحصال مواد باارزش افزوده • حذف فلزات سنگین از پساب • حذف سیانید از پساب • کاهش لجن‌های فرایندی تخلیه شده به محیط زیست • بهبود بهره‌وری تصفیه‌خانه‌ها	• پوسته‌های اکسیدی • غبارها • نرمه گندله • نرمه اسفنجی • لجن‌ها • قراضه‌های آهنی	• بازیابی نیکل از کاتالیست‌ها • بازیابی فیلترهای مستعمل RO	

محورهای اصلی

بازچرخانی آب

کاهش برداشت آب خام از رودخانه

کاهش اتلاف آب

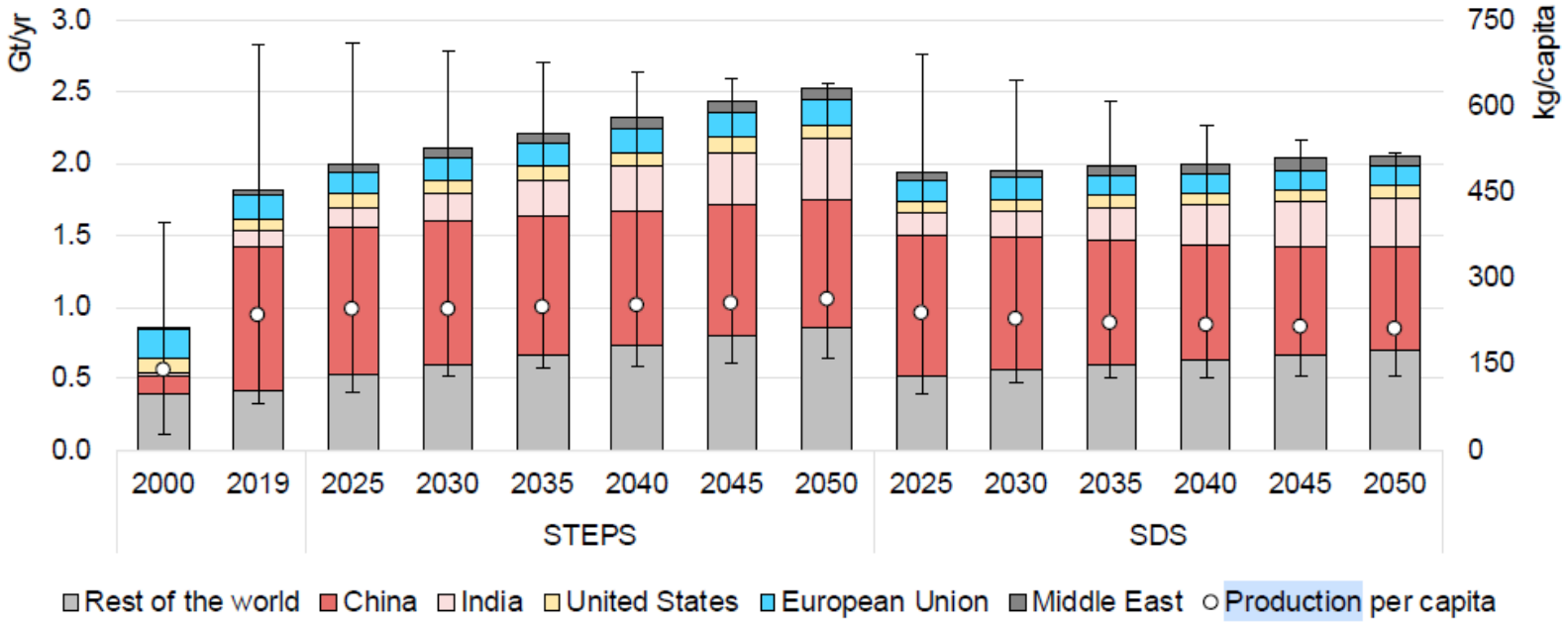


شیرین‌سازی آب با استفاده از منابع تجدیدپذیر

کاهش مصرف آب

- بکارگیری شبکه‌های بروز در بازیافت و تصفیه آب خروجی از واحدها و استفاده به عنوان ورودی سایر واحدها
- جایگزینی فناوری‌های خشک به جای فناوری‌های تر (فرایند خنک‌سازی کک بدون آب، گرانوله‌سازی خشک سرباره و استفاده از غبارگیرهای خشک)

پیش‌بینی میزان تولید فولاد تا سال ۲۰۵۰

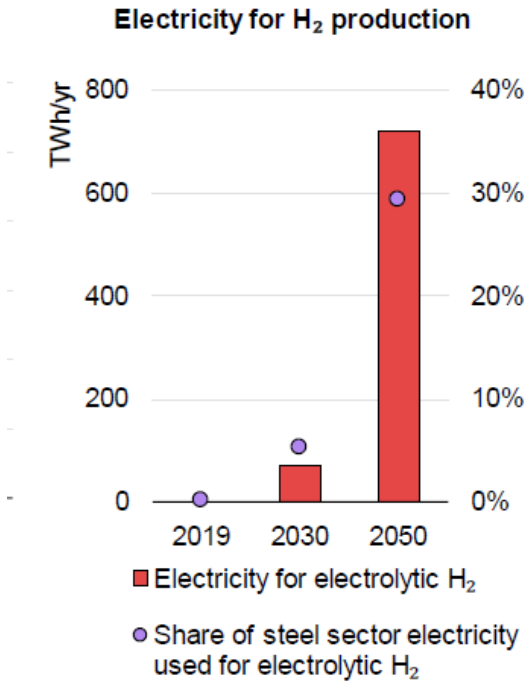


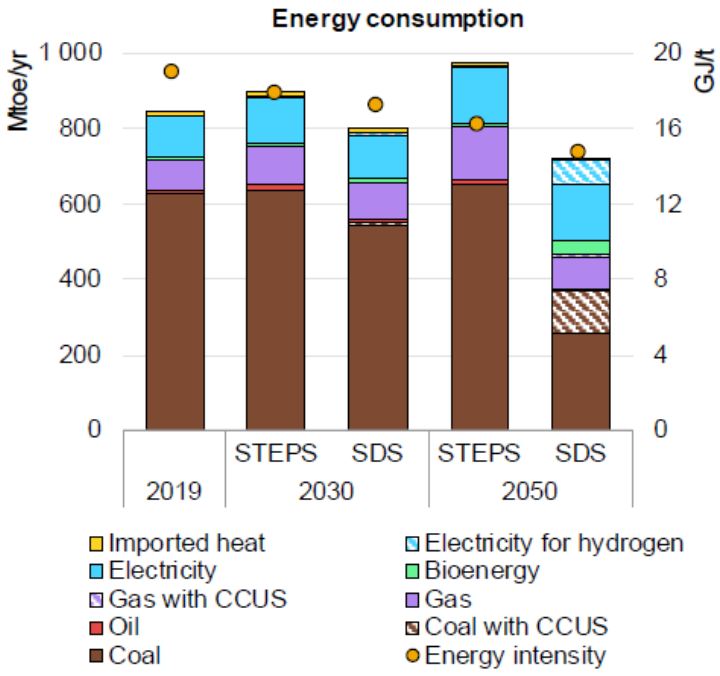
STEPS = Stated Policies Scenario
SDS = Sustainable Development Scenario

IEA 2020. All rights reserved.

- پیش‌بینی می‌شود تولید فولاد از ۱۹۰۰ میلیون تن فعلی تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۲۵۰۰ میلیون تن برسد.
- پیش‌بینی‌ها حاکی از کاهش سهم چین از بازار فولاد دنیا از حدود ۵۰٪ فعلی به ۳۵٪ در سال ۲۰۵۰ و رشد سه برابری صنعت فولاد هند در این مدت است.

پیش‌بینی مصرف انرژی در صنعت آهن و فولاد تا سال ۲۰۵۰



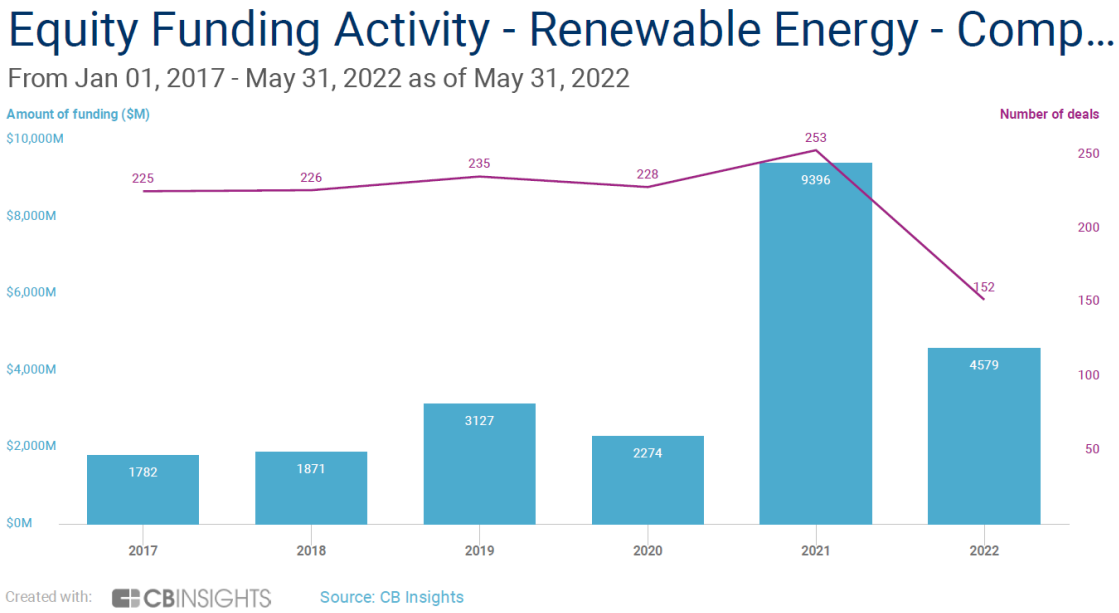


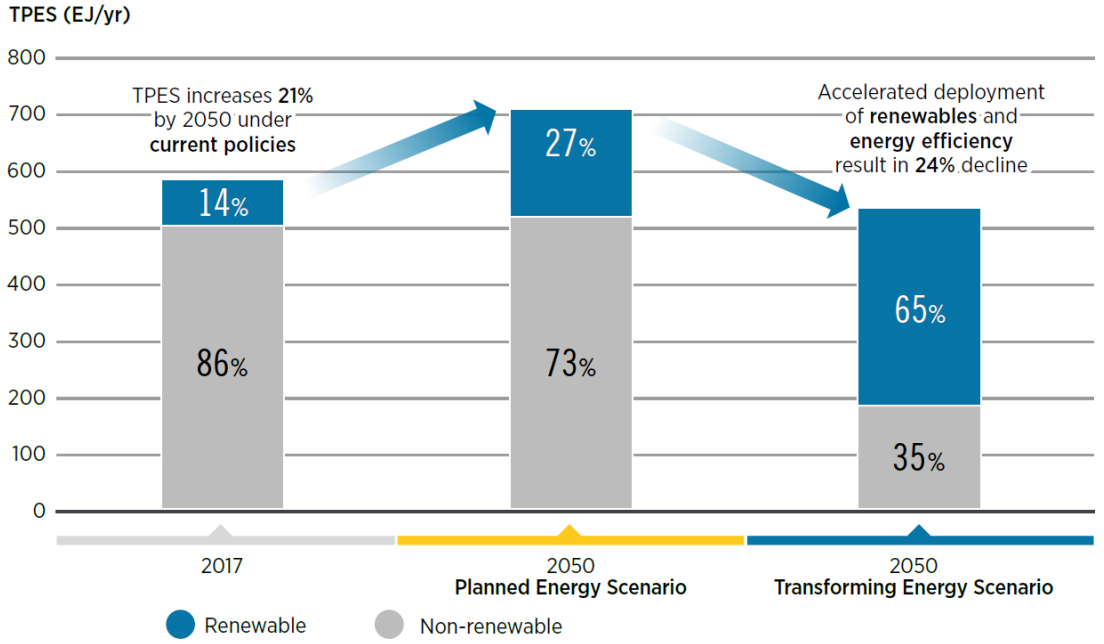
STEPS = Stated Policies Scenario
SDS = Sustainable Development Scenario

IEA 2020. All rights reserved.

- در هر دو سناریو میزان انرژی مصرفی به ازای تولید هر تن فولاد تا سال ۲۰۵۰ باید کاهش پیدا کند (لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرایندهای فعلی یا ارائه فرایندهای جایگزین با مصرف انرژی پایین‌تر)
- در سناریو توسعه پایدار مصرف انرژی الکتریکی به میزان قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند
- ۳۰٪ برق مصرفی صرف تولید هیدروژن به روش الکترولیز خواهد شد که مهمترین چالش انرژی صنعت فولاد در آینده است
- استفاده از Bioenergy در سناریو توسعه پایدار اهمیت پررنگی خواهد داشت

انطباق نیاز صنعت فولاد به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با کلان‌روندهای جهانی انرژی





Planned Energy Scenario

سناریو واقع بینانه منطبق بر سیاست های فعلی کشورها و اهداف معاهده پاریس

Transforming Energy Scenario

سناریو خوشبینانه با هدف کاهش روند افزایشی دمای جهانی به ۲ درجه سانتیگراد در قرن ۲۱

IRENA - International Renewable Energy Agency - Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050

CB Insights

فناوری‌های منجر به کاهش مصرف انرژی

ناحیه	فناوری	توضیحات
آهن‌سازی	بازیابی حرارت از گندله	کاهش ۸۷ مگاژول به ازای هر تن
فولادسازی	کوره قوس DC	کاهش ۳۶ تا ۳۲۰ مگاژول به ازای هر تن فولاد
فولادسازی	کوره Comelt	کاهش ۳۶۰ مگاژول به ازای هر تن فولاد
فولادسازی	کوره Contiarc	کاهش ۷۹۲ مگاژول به ازای هر تن فولاد
فولادسازی	بازیابی حرارت از گازهای خروجی کوره قوس الکتریکی	کاهش ۴۶۸ مگاژول به ازای هر تن
فولادسازی	ECOARC™	کاهش ۳۶۰ مگاژول به ازای هر تن فولاد
فولادسازی	ECOARC ligth™	کاهش ۲۵۲ تا ۲۸۲ مگاژول به ازای هر تن فولاد
ریخته‌گری	فرایند Castrip®	۸۰ تا ۹۰٪ کاهش مصرف انرژی (۲ گیگاژول به ازای هر تن)
ریخته‌گری	فرایند Endless strip	۴۵٪ کاهش مصرف انرژی

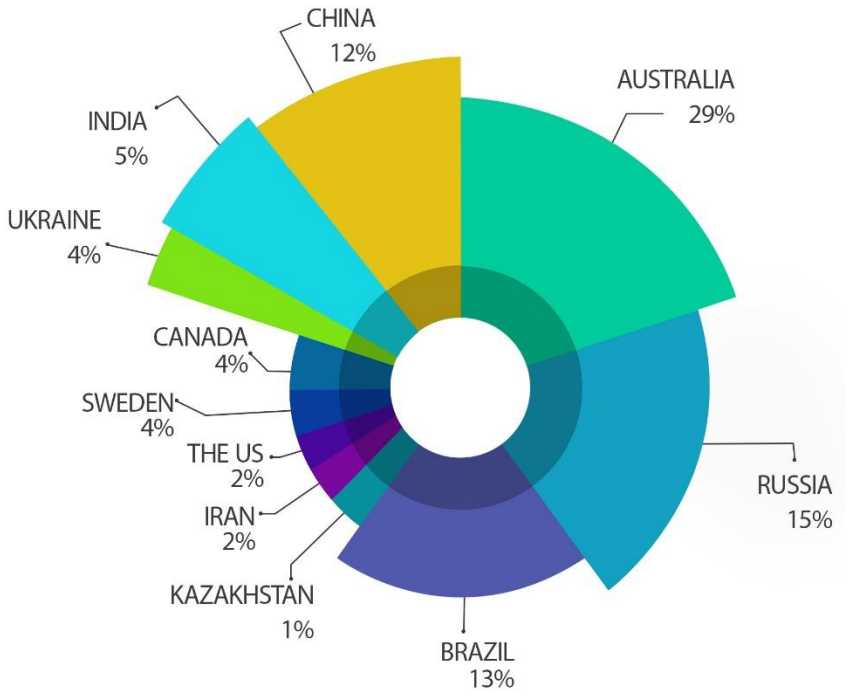
He, Kun, and Li Wang. "A review of energy use and energy-efficient technologies for the iron and steel industry." Renewable and Sustainable Energy Reviews 70 (2017): 1022-1039.
Wang, R. Q., et al. "Energy saving technologies and mass-thermal network optimization for decarbonized iron and steel industry: A review." Journal of Cleaner Production 274 (2020): 122997.

۲

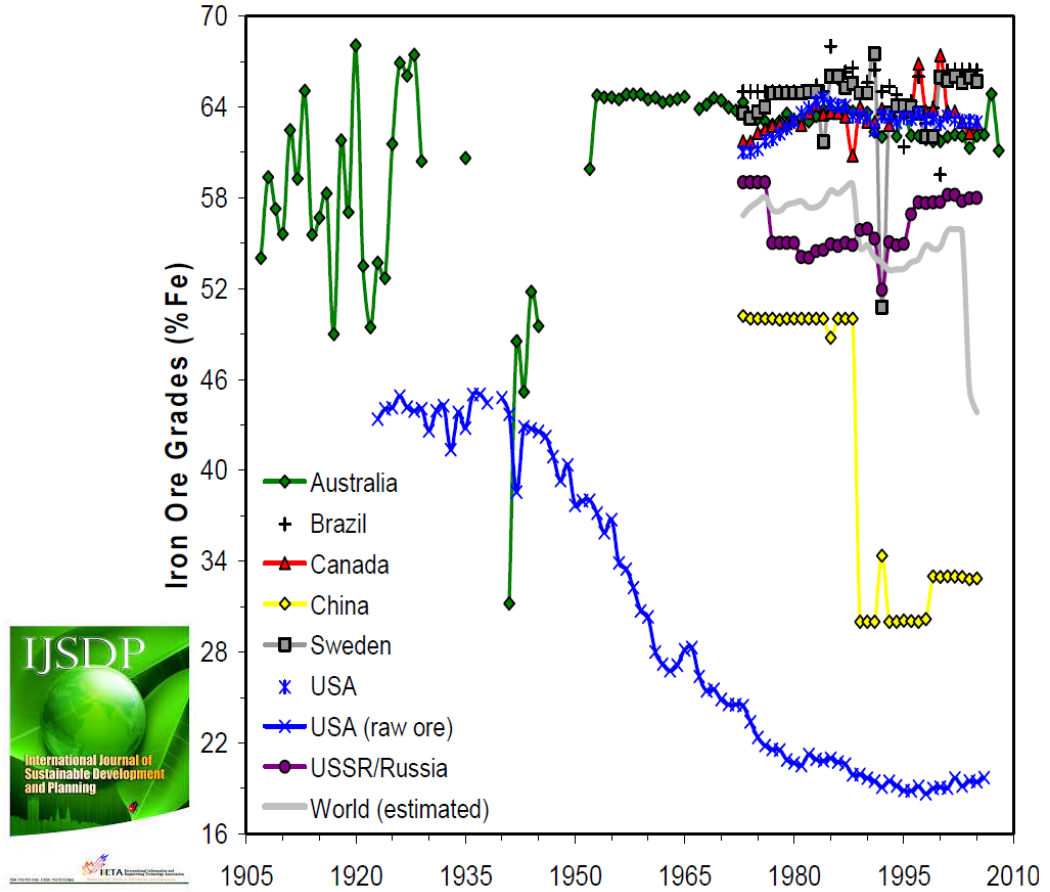
پرعیارسازی منابع سنگ آهن

بیان مسئله

ایران دهمین کشور جهان از نظر ذخایر سنگ آهن است

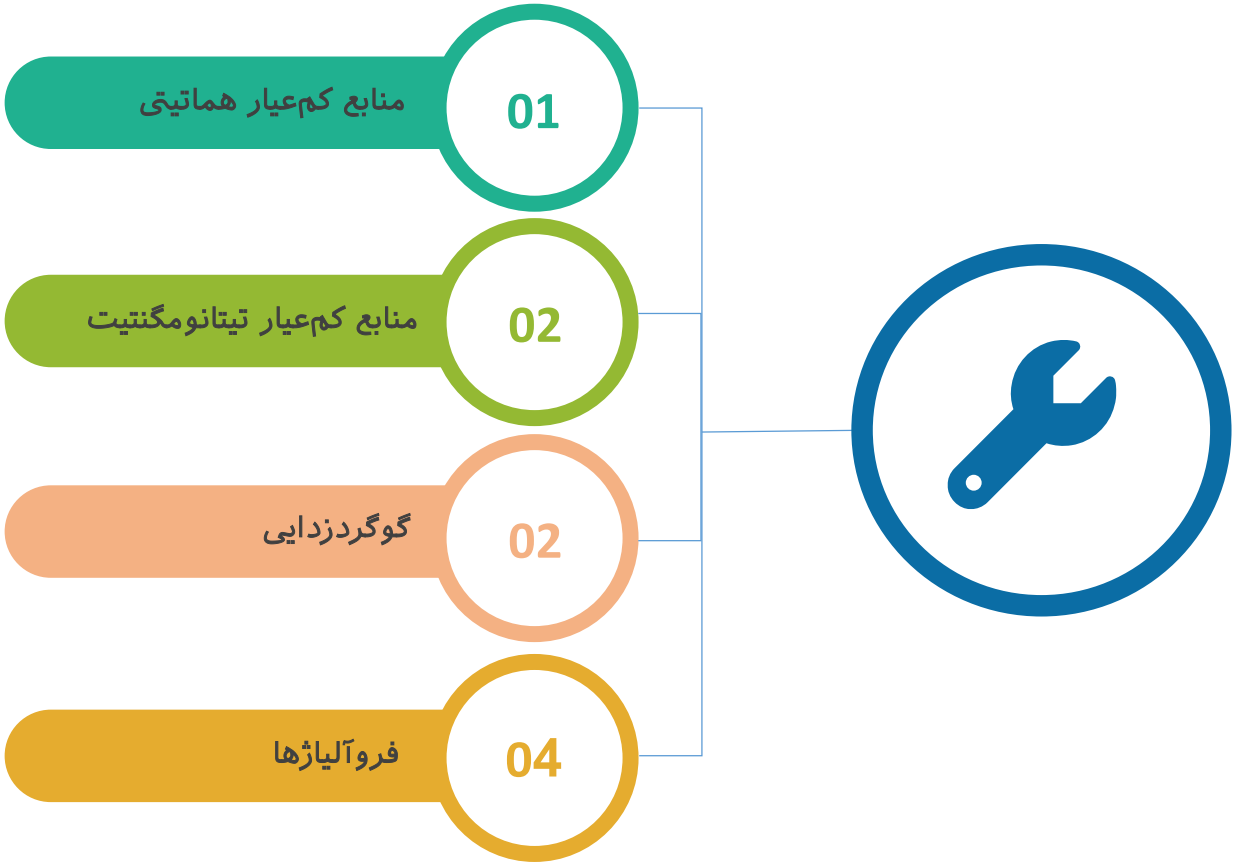


SOURCE: USGS, HUATAI SECURITIES RESEARCH INSTITUTE



Mudd, Gavin M. "The limits to growth and 'finite' mineral resources: re-visiting the assumptions and drinking from that half-capacity glass." International journal of sustainable development 16.3 (2013): 4.

پرعیارسازی منابع سنگ آهن



- پرعیارسازی با روش‌های متداول (جدایش مغناطیسی)
- تشویه مغناطیسی و تبدیل به مگنتیت (کوره دوار و بستر سیال)
- روش‌های احیاء ذوبی (حوضچه مذاب و کوره‌های RHF)

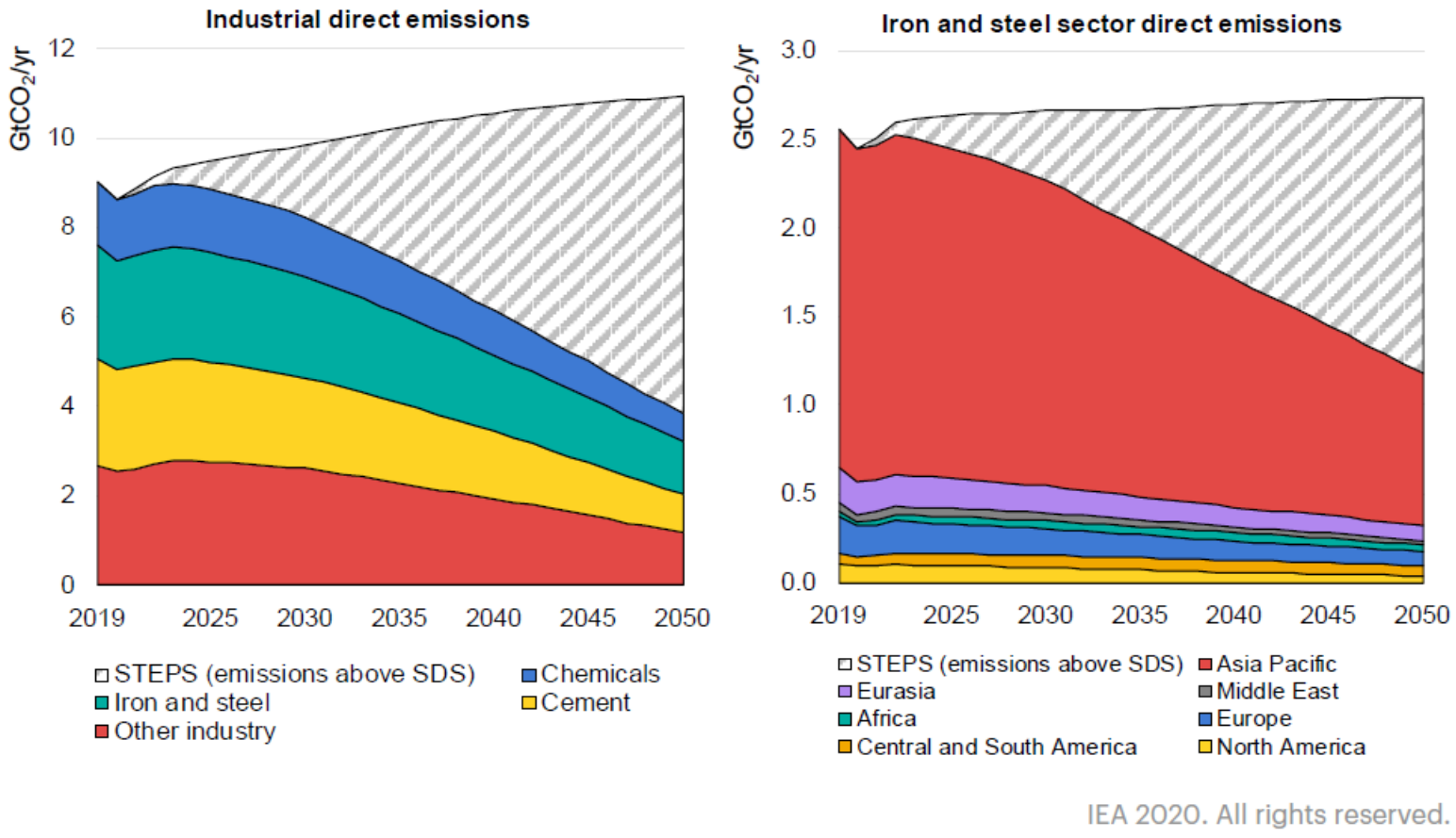
- فرایندهای نوین فلوتاسیون
- کلکتورها

- روش‌های تولید فرومنگنز، فروکروم، فروسیلیس و ...

۳

پایداری و تولید فولاد سبز

سهم صنعت فولاد در نشر کربن



IEA 2020. All rights reserved.

تصمیم اتحادیه اروپا مبنی بر دریافت مالیات کربن اجناس وارداتی در صنایع آهن و فولاد، آلومینیوم، سیمان، کود کشاورزی و صنایع شیمیایی از سال ۲۰۲۶ (Carbon Border Adjustment Mechanism)

فولاد سبز

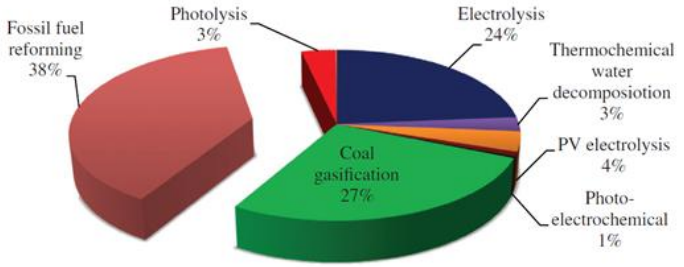
روش‌های دستیابی

۱- احیا با گاز هیدروژن

در صورت حذف گاز منواکسید کربن از گازهای احیایی و استفاده از هیدروژن خالص، تنها محصول جانبی واکنش احیا آهن، بخار آب خواهد بود و گاز آلاینده دی‌اکسید کربن از فرایند حذف می‌شود.

پروژه های مهم انجام شده:

- احداث واحد H-Iron در دهه ۶۰ در آمریکا
  - ۱۸ هزار تن در سال
  - بستر سیال
- احداث واحد Circored در سال ۱۹۹۹ در ترینیداد و توباگو(Lurgi)
  - ۵۰۰ هزار تن در سال
  - بستر سیال
- HyBRIT در سوئد (SSAB-Lkab-Vattenfall)
  - در دست انجام
  - کوره شافت
- Hamburg H2 در آلمان (ArcelorMittal)
  - در دست انجام
  - کوره شافت
- H2 Green Steel در سوئد
  - در دست انجام
  - کوره شافت
- HyREX در کره جنوبی (POSCO)
  - در دست انجام
  - بستر سیال
- H2Stahl در آلمان (Thyssenkrupp)
  - در دست انجام
  - کوره شافت
- HyFor در اتریش (Primetals)
  - در دست انجام
  - بستر سیال



روش‌های اصلی تولید هیدروژن

چالش‌های اصلی

۱- تولید اقتصادی هیدروژن

۲- ذخیره‌سازی و حمل و نقل هیدروژن

۳- شناسایی و رفع مشکلات احیا با هیدروژن خالص

Spreitzer, D. and J. Schenk, Reduction of iron oxides with hydrogen—a review. steel research international, 2019. 90(10): p. 1900108.

Dehghanimadvar, M., et al., Hydrogen production technologies: attractiveness and future perspective. International Journal of Energy Research, 2020. 44(11): p. 8233-8254.

روش‌های دستیابی

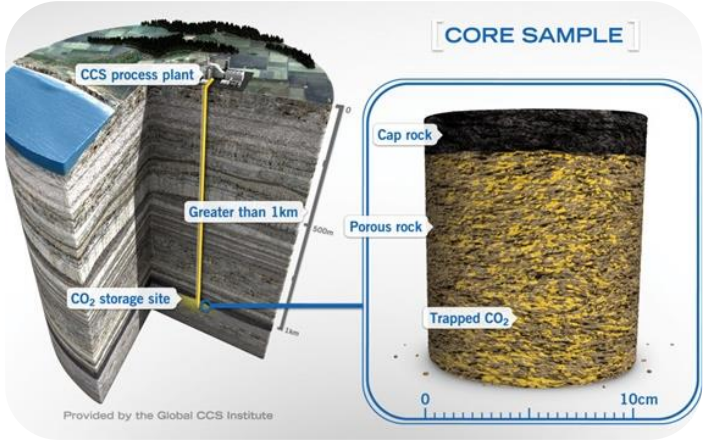
۲- CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage)

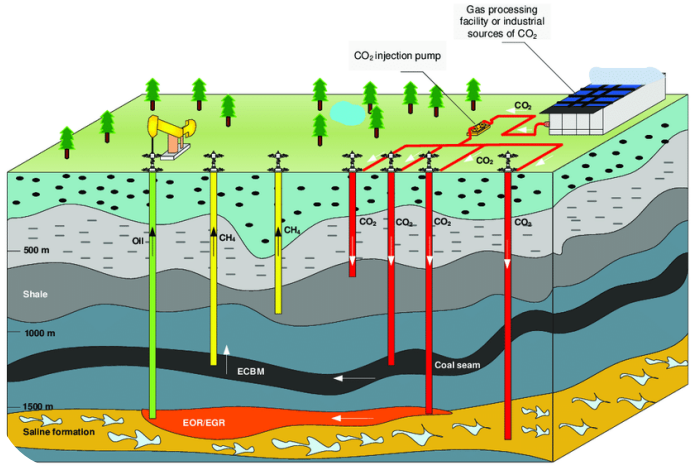
دی‌اکسید کربن تولید شده در فرایندهای قدیمی آهن‌سازی، جداسازی شده و برای مقاصد دیگر مورد استفاده قرار گرفته یا در چاه‌های زیرزمینی محبوس می‌شود.

بیش از ۱۵۰ پروژه CCUS در جهان اجرا شده که نتیجه آن احداث ۲۹ عملیاتی در مقیاس کامل در صنایعی از قبیل فرآوری گاز، صنایع شیمیایی، تولید هیدروژن و آهن و فولاد بوده است.

پروژه‌های مهم در صنعت آهن و فولاد:

- Abu Dhabi CCS (Emirates Steel)
  - مقیاس صنعتی در امارات
  - ۸۰۰ هزار تن در سال امارات
- Kimitsu Iron Works (Nippon Steel)
  - پایلوت در ژاپن
  - ۳۰ تن در روز
- Fukuyama Iron Works (JFE)
  - پایلوت در ژاپن
  - ۳ تن در روز
- STEPWISE Pilot (SEWGS)
  - پایلوت در سوئد
  - ۱۴ تن در روز
- DMXTM (ArcelorMittal)
  - پایلوت در حال احداث در فرانسه
  - ۰/۵ تن در ساعت





Global CCS Institute
Pires, J., et al., Recent developments on carbon capture and storage: an overview. Chemical engineering research and design, 2011. 89(9): p. 1446-1460.

روش‌های دستیابی

۳- احیا به روش الکترولیز-مقیاس آزمایشگاهی

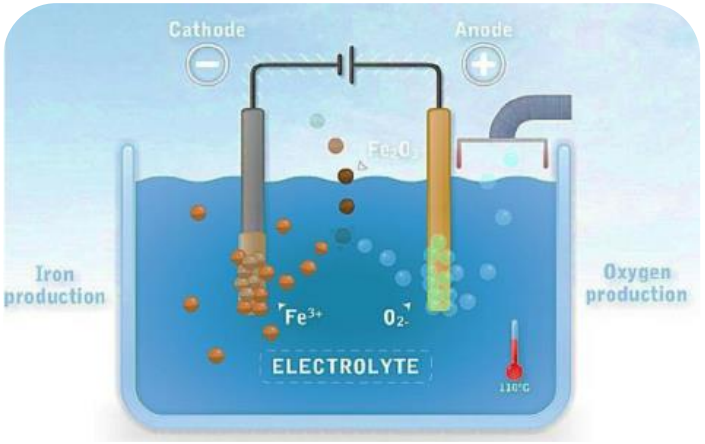
در این روش آهن موجود در سنگ آهن به طور مستقیم به روش الکترولیز جدا می‌شود.

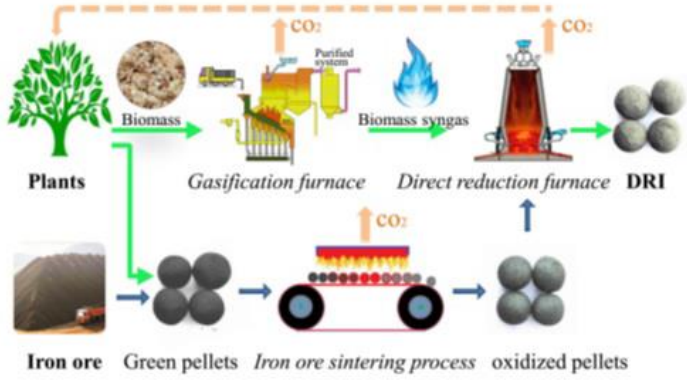
پروژه‌های مهم:

- Ulcolysis
  - توسعه روش Molten oxide electrolysis (MOE)
  - شرکت Boston Metals با حمایت دانشگاه MIT
  - جداسازی آهن در فاز مذاب
- Siderwin/Ulcowin
  - شرکت ArcelorMittal
  - جداسازی آهن در فاز جامد

۴- استفاده از زیست‌توده (Biomass)-مقیاس تحقیقاتی

به دلیل بالاتر بودن نسبت هیدروژن به کربن در Syngas تولیدی از پیرولیز زیست‌توده، CO_2 کمتری در این روش تولید می‌شود. به دلیل انجام واکنش فتوسنتز در هنگام تولید زیست‌توده، مقدار قابل توجهی CO_2 مصرف می‌شود که با ایجاد توازن بین CO_2 مصرفی جهت تولید زیست‌توده و CO_2 تشکیل شده هنگام استفاده از زیست توده به عنوان عامل احیا می‌توان به تولید فولاد سبز دست یافت.

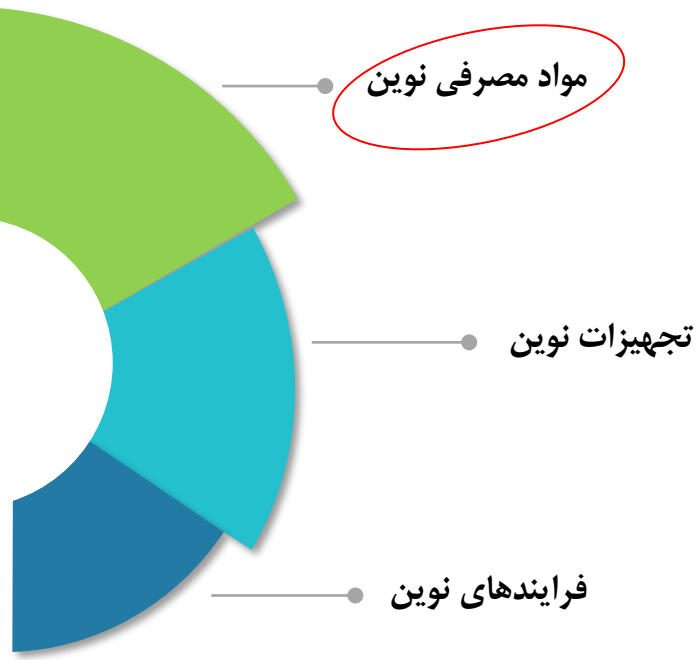




Wiencke, J., et al., Electrolysis of iron in a molten oxide electrolyte. Journal of Applied Electrochemistry, 2018. 48(1): p. 115-126.
Guo, D., et al., *Direct reduction of iron ore/biomass composite pellets using simulated biomass-derived syngas: Experimental analysis and kinetic modelling.* Chemical Engineering Journal, 2017. **327**: p. 822-830.

٤

مواد مصرفی، تجهیزات و فرایندهای نوین



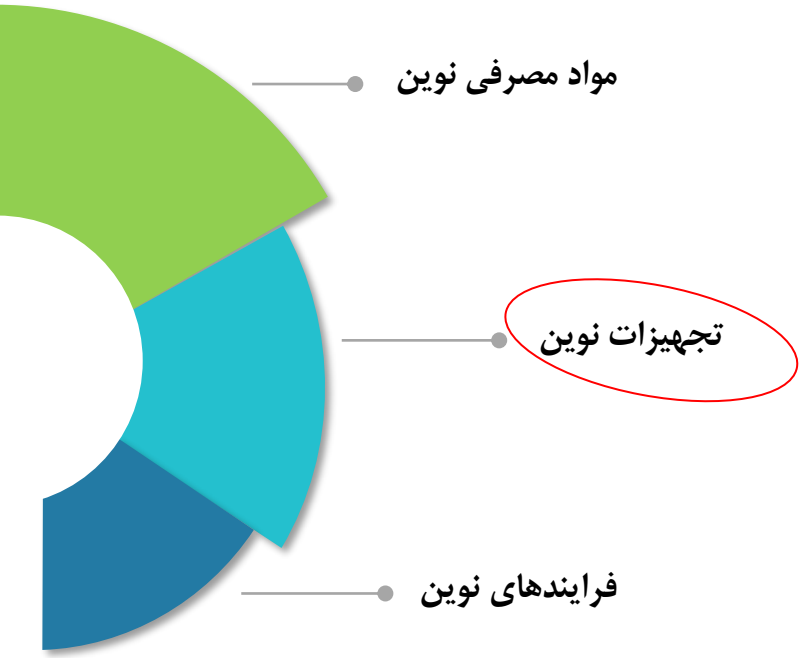
ناحیه	مواد مصرفی متالورژیکی	مواد مصرفی شیمیایی
آهن‌سازی	سنگ آهن، گندله	بنتونیت، سنگ آهک، آب، مونواکسید کربن، هیدروژن، آب، گاز طبیعی،
فولادسازی	قراضه، آهن اسفنجی، فروآلیاژ، فرومنگنز، الکترودگرافیتی، فروسیلسیم، آلومینیوم، گندله اکسید شده	اکسیژن، گرافیت، آهک، دولومیت، بوکسیت، کلسیم آلومینات، آب، نیتروژن، اکسیژن، آرگون، فروواناديم، پودر قالب
نورد گرم		روغن‌های هیدرولیک
نورد سرد	نیکل، قلع، روی	روانکارها، گریس‌ها
واحدهای جنبی		منعقدکننده‌ها، بایوسایدها

افزایش ظرفیت تولید فولاد خام تا 55 میلیون تن در افق سال 1404

رویکرد اقتصاد چرخشی

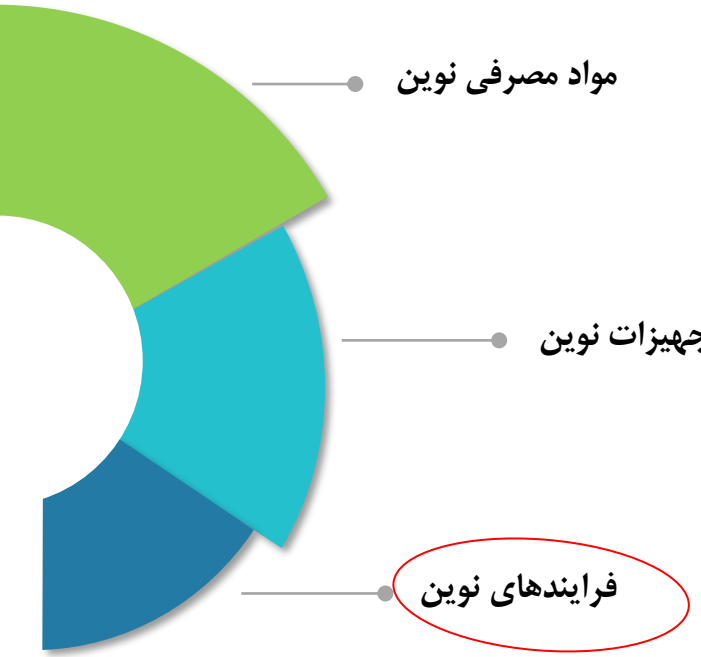
- استفاده از منابع تجدیدپذیر به جای منابع بکر
- تولید مواد دوستدار محیط زیست
- کاهش ضایعات فرایندی در زنجیره تامین مواد
- تولید مواد با بهره‌وری بالاتر
- بهینه‌سازی مصرف مواد

تجهیزات مورد استفاده در صنعت فولاد به طور معمول در حوزه مهندسی مکانیک و مهندسی برق هستند:



لیست تجهیزات مورد نیاز

- کوره قوس الکتریکی
- دستگاه‌های شماره‌زنی
- دستگاه‌های جوش لیزری
- دستگاه‌های برش لیزری
- نازل‌های پاشش آب
- انکودرها
- مگنت‌ها
- لودسل‌ها
- نمونه‌گیرها
- قالب‌های مسی ریخته‌گری
- پرینتر سه‌بعدی
- تراکر خورشیدی
- دستگاه بریکت‌سازی
- تاندیش‌ها
- ماشین‌های پوسته‌زنی
- شیرهای هیدرولیک
- و ...



نمونه‌هایی از فرایندهای مورد استفاده در صنعت فولاد:

- ❑ فرایند احیای سنگ آهن
- ❑ فرایند گندله‌سازی
- ❑ فرایند EPS به عنوان جایگزینی برای فرایند اسیدشویی
- ❑ فرایند بریکت‌سازی
- ❑ فرایند Strip casting
- ❑ فرایند پخت آهک
- ❑ فرایند باکس آنیلینگ
- ❑ فرایندهای مختلف تصفیه پساب‌های صنعتی و بهداشتی

۵

انقلاب صنعتی چهارم

1784

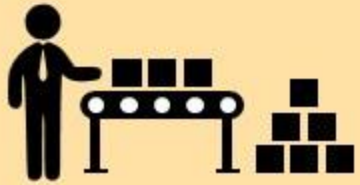
INDUSTRY 1.0

Mechanization, steam power, weaving loom

1870

INDUSTRY 2.0

Mass production, assembly line, electrical energy



1969

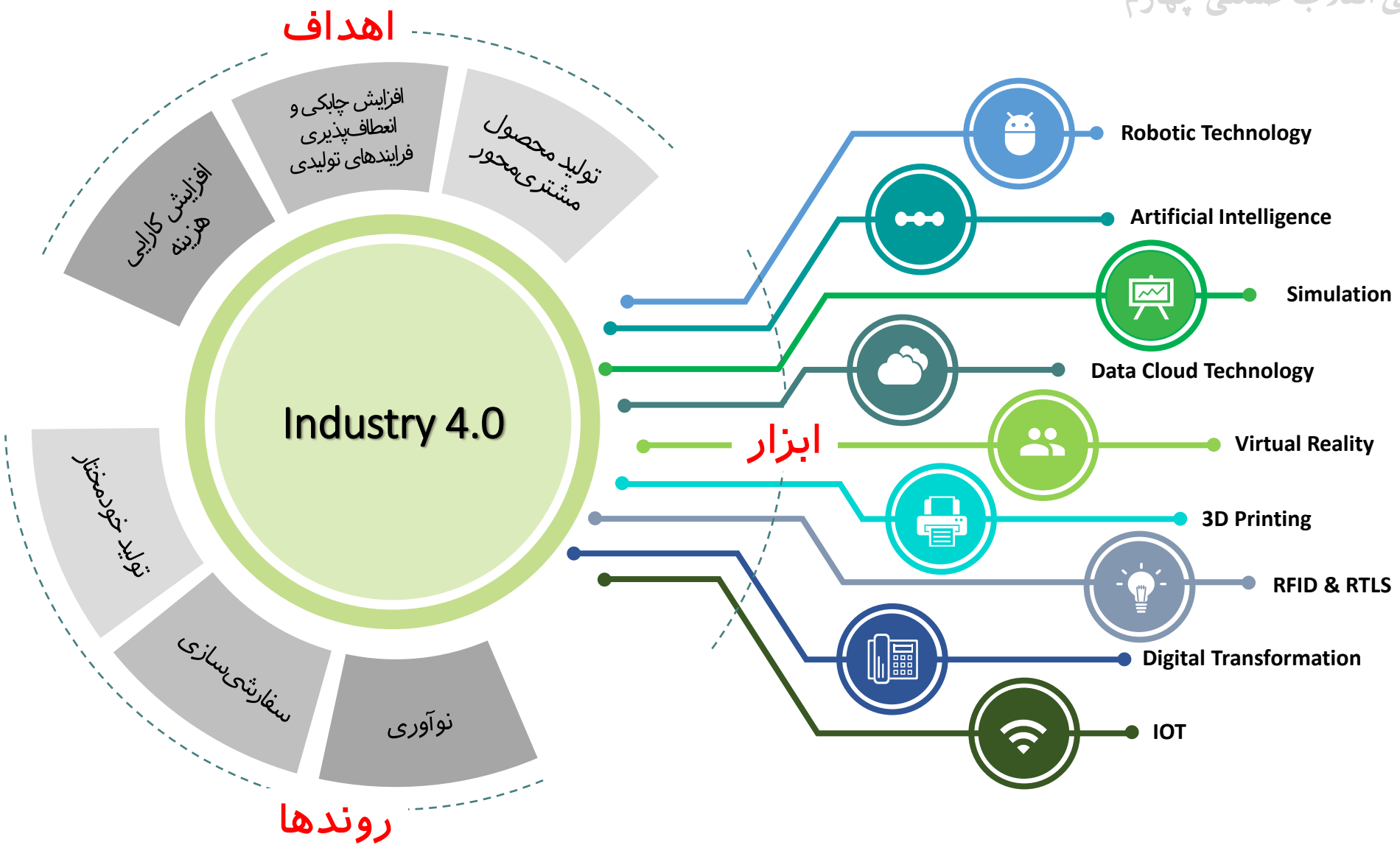
INDUSTRY 3.0

Automation, computers and electronics

TODAY

INDUSTRY 4.0

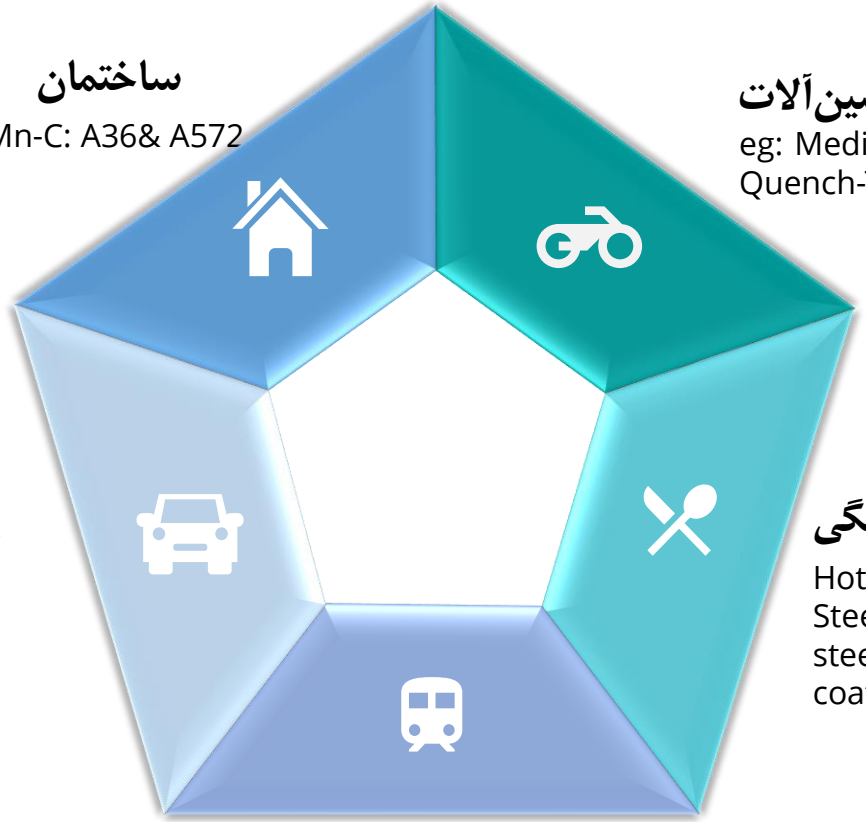
Cyber Physical Systems, internet of things, networks


اهداف
تولید محصول مشتری‌محور
افزایش چابکی و انعطاف‌پذیری فرایندهای تولیدی
افزایش کارایی هزینه
Industry 4.0
ابزار
Robotic Technology
Artificial Intelligence
Simulation
Data Cloud Technology
Virtual Reality
3D Printing
RFID & RTLS
Digital Transformation
IOT
روندها
نوآوری
سفارشی‌سازی
تولید خودمختار

٦

محصولات فولادی پیشرفته

محصولات فولادی پیشرفته



ساختمان

eg: Fe-Mn-C: A36& A572

ماشین‌آلات

eg: Medium Carbon Steel, Quench-Temper steel

خودروسازی

Multi phase, Dual phase, TRIP, TWIP, Q&P, HSLA, BH, FB, Hot Stamp

لوازم خانگی

Hot dipped Galvanized Steel Grades, Cold-rolled steel grades, Electro-zinc coated steel grades

انرژی و حمل و نقل

High Strength Light Weight Steel

از توجه شما سپاسگزارم