



## سمپوزیوم فولاد ۴۰۰

۲۳ الی ۲۵ آذرماه ۱۴۰۰

کیش - مرکز همایش‌های بین‌المللی



### مهم‌ترین روندهای اثرگذار در معدنکاری سنگ آهن و فولادسازی بر چه دلالت دارند؟

مریم محمد رضایی<sup>۱</sup>

شرکت احیاء استیل فولاد بافت

#### چکیده

فولاد به دلیل کاربرد گسترده آن در صنایع و زیرساخت‌های مختلف، یکی از مهم‌ترین ارکان اقتصادی محسوب می‌شود. به همین دلیل بررسی و پیش‌بینی روند تولید و مصرف آن در آینده، موضوع مطالعه بسیاری از نهادهای فعال در صنعت فلزات بوده و است. در این پژوهش تلاش شده تا با جمع‌آوری دیدگاه‌های مختلف، فارغ از ارائه عدد و رقم برای پیش‌بینی بازار سنگ آهن و فولاد، مهم‌ترین روندهای اثرگذار بر تقاضای فولاد معرفی و تشریح شوند. بدیهی است عواملی مانند افزایش جمعیت شهرنشین، افزایش تعداد وسایل نقلیه، افزایش صادرات و رشد سریع تولیدات صنعتی بر روند تقاضای فولاد و قیمت آن در آینده اثرگذار هستند. اما چیزی که در این مقاله بیشتر بر روی آن تمرکز داریم، عوامل نوظهوری است که شاید تا ۱۰ سال قبل چندان پررنگ و اثرگذار نبوده‌اند؛ موضوعاتی مانند انقلاب صنعتی چهارم و پدیده گرمایش زمین. این دو عامل را به تفصیل و به نقل از مراجع معتبر و فعال در این حوزه، بررسی کرده و در پایان خواهیم دید آن چه مرور کرده‌ایم چه تاثیری بر صنعت فولاد جهان خواهد داشت.

**کلمات کلیدی:** فولاد، سنگ آهن، انقلاب صنعتی چهارم، گرمایش جهانی، انرژی‌های تجدیدپذیر

<sup>1</sup> dr.rezaee.bst@gmail.com

## مقدمه

بر اساس گزارش انجمن جهانی فولاد [۱] میزان مصرف فولاد در سال ۲۰۱۹، ۱۷۶۷ میلیون تن بوده که بیش از ۵۰ درصد آن در بخش ساختمان سازی و زیرساخت ها به مصرف رسیده است. پس از آن تجهیزات مکانیکی (ماشین آلات) و اتومبیل سازی به ترتیب با ۱۶ درصد و ۱۲ درصد پر مصرف ترین بخش های فولاد را تشکیل داده اند. پیش بینی می شود در سال ۲۰۲۲ مصرف محصولات نهایی فولاد به ۱۹۲۵ میلیون تن برسد.

اما چه عواملی بر شکل گیری روند تقاضای فولاد موثر است؟ بر اساس مقاله ای با عنوان «ابروندهای آینده و صنعت فولاد» که در مجله Asian Steel Watch و در ژوئن ۲۰۱۷ به چاپ رسیده [۲]، ۴ فاکتور بر شکل دهی صنعت فولاد موثر بوده است (شکل ۱).

- افزایش شهرنشینی
- افزایش تعداد وسایل نقلیه
- افزایش صادرات در مقایسه با GDP
- رشد سریع تولیدات صنعتی

مجموعه این عوامل سبب شده تا تنها در کمتر از دو دهه مصرف محصولات نهایی فولادی از ۷۶۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ به ۱۷۶۷ میلیون تن در سال ۲۰۱۹ برسد (میانگین رشد سالانه ۴/۵ درصد). در کنار چهار عامل اشاره شده، دو روند نوظهور نیز به تازگی در حال شکل دهی و اثرگذاری بر بازار فولاد و به تبع آن بازار محصولات معدنی هستند؛ «انقلاب صنعتی چهارم» و «تغییرات اقلیمی و بحران گرمایش زمین».

در ادامه این مقاله به بررسی نقش این عوامل و چگونگی اثرگذاری آن ها بر صنعت فولاد خواهیم پرداخت.

## روش تحقیق

روش تحقیق و پژوهش در این مقاله براساس جمع آوری دیدگاههای مختلف و استفاده از کتب و مقالات خارجی که در قسمت مراجع به آنها اشاره شده است، می باشد.

## نتایج و بحث

### انقلاب صنعتی چهارم و دگرگونی صنعت معدن و فولاد

نخستین انقلاب صنعتی در اواخر قرن ۱۸م و با اختراع ماشین بافندگی و تجهیزات مکانیکی با استفاده از نیروی بخار به وقع پیوست. پس از آن در ابتدای قرن ۲۰م انقلاب صنعتی دوم با راه اندازی نخستین خط تولید به کمک نیروی برق شکل گرفت. در کمتر از ۱۰۰ سال و در نیمه دوم قرن، جهان شاهد انقلاب صنعتی سوم با سردمداری ابزارهای الکترونیک و فناوری اطلاعات و اتوماسیون بود.

امروزه فناوری با سرعت سرسام‌آوری در حال توسعه است. ۴/۸ میلیارد نفر از جمعیت جهان (بیش از ۶۰ درصد جمعیت) موبایل دارند! این در حالی است که حدود ۲ میلیارد نفر از جمعیت جهان به توالی بهداشتی دسترسی ندارند. این داده عجیب، قدرت رسوخ فناوری در زندگی روزمره افراد و فرا رسیدن انقلاب صنعتی چهارم را تصویر می‌کند. اکنون میلیاردها انسان به دستگاه‌های موبایل با پردازنده‌های خارق‌العاده و حافظه‌های عظیم و در نتیجه به دانش نامحدود دسترسی دارند. این قابلیت‌ها با دستاوردهای فناوری‌های نوظهور در عرصه‌هایی مانند هوش مصنوعی، رباتیک، اینترنت اشیا، خودروهای خودران، چاپ سه‌بعدی، نانوفناوری، زیست‌فناوری، علم مواد، ذخیره‌سازی انرژی و رایانش کوانتومی چندین برابر خواهد شد. ما اکنون با دسترسی به چنین فناوری‌هایی در دوران انقلاب صنعتی چهارم قرار داریم.

در این میان آن چه مسلم است تمامی صنایع از این سرعت و شدت تحول فناوری تاثیر می‌گیرند. اگر بخواهیم با عینک صنعت فولاد به ماجرا بنگریم، در سمت تقاضا بازارهای جدید برای رفع انتظارات جدید مشتریان و ارتقای محصول شکل خواهند گرفت و در سمت عرضه نیز استفاده از فناوری‌های نو و هوشمند می‌تواند زنجیره ارزش را دگرگون سازد. در مجموع باید گفت این تغییر گریزناپذیر شرکت‌ها و فعالان صنعتی را وادار به بازاندیشی درباره شیوه‌های کسب و کارشان خواهد کرد. ما در ادامه این مقاله به بررسی این موضوع می‌پردازیم که کدام یک از فناوری‌های عصر حاضر بیشترین اثرگذاری را در معدنکاری و فولادسازی خواهند داشت.

بر اساس مقاله منتشر شده از سوی مجمع جهانی اقتصاد با همکاری شرکت مشاوره اکسنچر در ژانویه ۲۰۱۷ با عنوان «تحول دیجیتال در صنعت معدن و فلزات» [۳]، فناوری‌ها مورد استفاده در صنعت فولاد و معدن به چهار دسته قابل تقسیم هستند (شکل ۲). دسته اول ابزارهای دیجیتال هستند که می‌توانند جایگزین ابزارهای مرسوم شوند؛ مانند پرینترهای سه بعدی، سنسورهای هوشمند و خودروهای اتوماتیک و خودران. دسته دوم فناوری‌هایی است که منجر به تجهیز کارکنان در محیط‌های پرخطری مانند معدن خواهند شد. تجهیزات ارتباطی پیشرفته (مانند کلاه‌های ایمنی با قابلیت ارتباط با مرکز کنترل و ارسال سیگنال‌های حیاتی و دارای دوربین حرارتی) و راه‌اندازی مرکز عملیات ریموت در هر نقطه از جهان بدون نیاز به حضور فیزیکی کارشناسان، در این دسته قرار می‌گیرند.

دسته سوم فناوری‌هایی است که در بهبود انجام فرایندها به کار می‌آیند. استفاده از اینترنت اشیا، و امنیت سایبری در این دسته قرار دارند.

در نهایت دسته چهارم الگوریتم‌هایی مانند هوش مصنوعی است که برای تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از منابع مختلف بکار می‌آیند. شناسایی گلوگاه‌های عملیات و الگوهای باطل، شناسایی الگوهای زمین‌شناسی در حین انفجار و شناسایی دقیق‌تر و موثرتر منابع سنگ، شناسایی بهینه‌ترین روش استخراج،

فراوری و تولید و توزیع بر اساس شرایط جغرافیایی و زیست محیطی، بخشی از اتفاقات خوبی است که با پیاده سازی الگوریتم های هوش مصنوعی می تواند محقق شود.

مطالعه مورد اشاره در نهایت ارزش افزوده بدست آمده برای بخش معدن و فلزات ناشی از بکارگیری فناوریهای جدید را برآورد کرده و در مجموع ارزشی معادل ۴۲۵ میلیارد دلار در طی زمان ۹ سال برای صنعت، مشتریان، جوامع و محیط زیست تخمین می زند (جدول ۱).

علاوه بر ارزش آفرینی مادی، استفاده از ابزارهای دیجیتال زاینده انقلاب صنعتی چهارم، می توان تا ۱۰ درصد آمار مرگ و میر و تا ۲۰ درصد آمار جراحات فیزیکی به کارکنان را کاهش دهد که رقم چشمگیری است. البته مدت زمان بکارگیری هر فناوری در ابعاد وسیع بسته به پیچیدگی هر فناوری، متغیر است. پیش بینی می شود تجهیزات مورد استفاده برای اتصال کارگران (مانند کلاه ایمنی دیجیتال) در کوتاه مدت به طور وسیع مورد استفاده قرار گیرد. اما در مقابل تکنولوژی های مرتبط با شبکه و داده هنوز در حال تکامل اند و در طولانی مدت در ابعاد گسترده در بخش معدن و فلزات به کار گرفته خواهند شد (شکل ۳). این مقاله توصیه می کند کسب و کارها برای داشتن تجربه تحول دیجیتال موفق باید موارد زیر را در نظر داشته باشند.

- همسویی فناوری های دیجیتال با مدل کسب و کار
- توسعه کسب و کار (یکپارچگی رو به بالا یا پایین)
- بهبود دسترسی به داده ها
- آموزش نیروی کار آشنا به مباحث و فناوری های دیجیتال
- ارزش آفرینی برای ذی نفعان محلی (بسیاری از شغل های محلی با دیجیتالی شدن از بین می روند. باید راهی دیگر برای منفعت رسانی به بومیان یافت).
- ساختن ارتباطات جدید و تقویت روابط قدیمی

#### تغییرات اقلیمی و پیمان های بین المللی

صنعت فولاد یکی از انرژی برترین صنایع در جهان محسوب می شود. بر اساس داده های منتشر شده از سوی آژانس بین المللی انرژی [۴] حدود ۸۰۰ میلیون تن معادل نفت خام برای تولید فولاد در جهان در سال ۲۰۱۹ مصرف شده که بیش از ۸۰ درصد آن از سوزاندن زغال سنگ بدست آمده است. این حجم عظیم سوخت فسیلی منجر به انتشار ۲/۶ میلیارد تن دی اکسید کربن شده است؛ رقمی سرسام آور که در قیاس با توان ۲ میلیارد تنی جذب سالانه دی اکسید کربن تمام درختان جهان، بیشتر رخنمایی می کند. در این میان نگرانی های زیست محیطی و الزام به پذیرش توافق نامه های بین المللی مانند توافق نامه پاریس، دولت ها را مجبور کرده تا میزان انتشار کربن خود را به روش های تشویقی و مالیاتی کاهش دهند. بر اساس

نقشه راه فناوری فولاد آژانس بین‌المللی انرژی ۷ درصد از دی‌اکسید کربن منتشر شده در جهان ناشی از بخش تولید آهن و فولاد است که این رقم با پیاده‌سازی سناریوی توسعه پایدار می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ به نصف کاهش یابد. بخشی از این کاهش انتشار به دلیل مهار تقاضا و آن هم ناشی از کاهش ضایعات و کاهش تقاضا در بخش ساخت و ساز به دلیل تولید فولاد با دوام‌تر است (شکل ۵). همچنین پیش‌بینی می‌شود ۸۵ درصد از کالاهایی که طول عمرشان به پایان رسیده، قابل بازیافت باشند.

در سمت عرضه نیز تغییراتی در سبد سوخت مصرفی برای تولید فولاد دیده شده است. جذب و ذخیره‌سازی کربن، استفاده از سوخت هیدروژنی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش استفاده از زغال سنگ از جمله راهکارهایی است که در نقشه راه آژانس بین‌المللی انرژی به آن‌ها اشاره شده است. یکی از مهم‌ترین مواردی که می‌تواند به حل بحران گرمایش جهانی کمک کند، توسعه بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر است. البته فواید این اقدام تنها محدود به جنبه‌های زیست‌محیطی نمی‌شود. وقوع خاموشی گسترده در جنوب استرالیا به دلیل وقوع طوفان در ۲۸ سپتامبر ۲۰۱۶ باعث وارد شدن زیان دست کم ۱۰۰ میلیون دلاری به شرکت بی‌اچ‌پی شد؛ موضوعی که سبب شد تا نگاه شرکت‌ها به انرژی‌های تجدیدپذیر نه فقط از جنبه محیط‌زیست، که از منظر امنیت انرژی تغییر کند. در شکل ۶ دلایل اقبال به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر از نگاه فعالان صنعت آورده شده است.

در سال‌های نه چندان دور یکی از بزرگترین موانع توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر هزینه گزاف آن‌ها بود. اما امروز به مدد پیشرفت فناوری و تولید انبوه و بر اساس گزارش سالانه موسسه LAZARD [۵]، انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه انرژی خورشیدی دیگر نه تنها گران نیستند، بلکه در مقیاس بزرگ (بیش از ۱ مگاوات) کاملاً به صرفه هستند. شکل ۷ هزینه تامین برق از منابع تجدیدپذیر را در مقایسه با منابع فسیلی مرسوم نشان می‌دهد.

فشارهای جوامع برای محدود کردن انتشار کربن و از سوی دیگر کاهش هزینه تولید برق از منابع تجدیدپذیر در سال‌های گذشته سبب شده بسیاری از شرکت‌های فعال در صنعت به توسعه انرژی‌های سبز روی آورند. شرکت وکه به عنوان بزرگترین تولیدکننده سنگ آهن یکی از این موارد است که می‌خواهد با صرف ۲ میلیارد دلار در طول ۱۰ سال آینده، میزان انتشار کربن خود را تا سال ۲۰۳۰ تا ۳۳ درصد کاهش دهد. در این راستا یکی از پروژه‌های تجدیدپذیر این شرکت احداث ۷۶۶ مگاوات نیروگاه خورشیدی است که از سال ۲۰۲۰ ساخت آن آغاز شده و در سال ۲۰۲۲ به بهره‌برداری خواهد رسید. با تکمیل و راه‌اندازی این مزرعه خورشیدی ۱۳ درصد از برق مصرفی وکه از خورشید تامین خواهد شد.

شرکت‌های معدنی و فولادی مطرح در جهان نه تنها خود به سمت تامین نیاز انرژی از منابع تجدیدپذیر حرکت کرده‌اند، بلکه برخی از آن‌ها مانند شرکت آرسلور میتال در تامین فولاد مورد نیاز پروژه‌های

تجدیدپذیر مشارکت فعال دارند. بر اساس اطلاعات منتشر شده در وبسایت این شرکت، آرسلورمیتال به همراه سه شرکت دیگر در ساخت ۲۹ توربین بادی و پایه و سکو برای نصب در عمق حدود ۴۰ متری و اتاق کنترل مستقر در آب در پروژه مزرعه بادی Wikinger مشارکت دارد. این مزرعه بادی پس از پایان ساخت دارای ۷۰ توربین بادی نصب شده در دریا خواهد بود که برق ۳۵۰ هزار مشترک خانگی را تامین خواهد کرد.

### نتیجه گیری

در این مقاله دو عامل نوظهور و اثرگذار بر صنعت معدن و فلزات را مرور کردیم؛ انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات اقلیمی. این دو عامل به همراه ۴ فاکتور پیشین، بر روی مهم‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده فولاد اثرگذارند. به طور مثال همانطور که در مقدمه به آن اشاره شد، ۱۲ درصد مصرف فولاد در بخش اتومبیل‌سازی است. این روندها در بخش خودروسازی منجر به استفاده از فولاد سبکتر برای تولید خودرو و از سوی دیگر تلاش بیشتر به توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی در مقایسه با خودروهای شخصی خواهد شد.

در بخش ساختمان‌سازی نیز بهبود کارایی محصولات فولادی مورد استفاده در ساختمان‌ها و افزایش طول عمر آن‌ها و همچنین افزایش نرخ بازیافت ضایعات از مهم‌ترین اتفاقاتی است که در این روندها در حال جریان است. شکل ۸ به طور خلاصه نحوه اثرگذاری روندهای مورد اشاره را بر صنعت فولاد (چه در بخش عرضه و چه در بخش تقاضا) نشان می‌دهد.

در مجموع می‌توان گفت تولید محصولات فولادی با مقاومت بالا و ضد خوردگی (محصولات کاراتر)، تبدیل فرایندهای کاری مرسوم به فرایندها دوستدار محیط زیست و هوشمندسازی کارخانه‌ها، مهم‌ترین تغییراتی است که شرکت‌های فعال در صنعت، به دنبال آن هستند تا از فناوری‌های در حال توسعه جا نمانند.

### مراجع

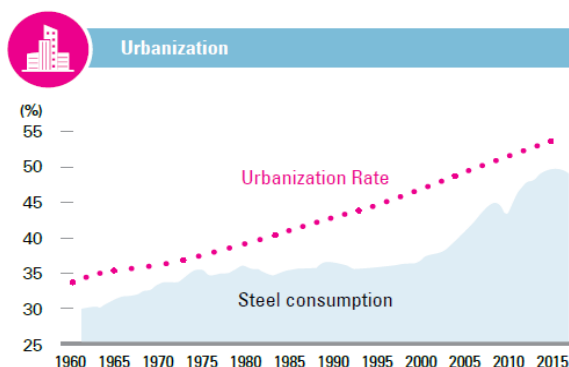
- [1] 2020 World Steel in Figure, World Steel Association.
- [2] Choi Dongyong, Senior Principal Researcher, POSCO Research Institute, Future Megatrends and the Steel Industry, Asian Steel Watch, Vol.03, June 2017, pp 6-11.
- [3] Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry, World Economic Forum in collaboration with Accenture, January 2017.
- [4] Iron and Steel Technology Roadmap, International Energy Agency, October 2020.
- [5] LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS—VERSION 14.0, October 2020.

جدول ۱- ارزش افزوده تجمعی معدن و فولاد دیجیتال (۲۰۱۶-۲۰۲۵)

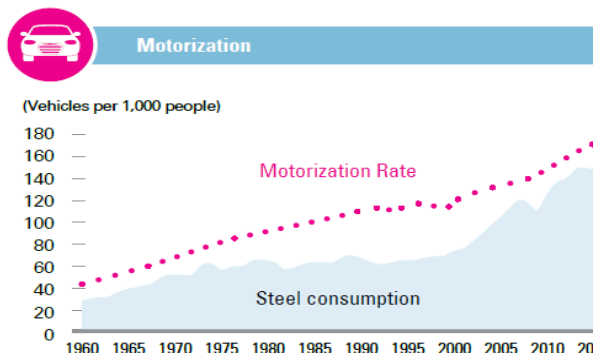
فوائد اقتصادی		فوائد غیر اقتصادی							تراز (۲۰۲۵) در یکا تراز (۲۰۲۵)	تراز (۲۰۲۵) در یکا تراز (۲۰۲۵)	تراز (۲۰۲۵) در یکا تراز (۲۰۲۵)
کاهش در تراز	کاهش در تراز	کاهش در تراز	کاهش در تراز	کاهش در تراز	کاهش در تراز	کاهش در تراز	کاهش در تراز	کاهش در تراز			
-	-	۱۶۱	۴۲	۸	۰	۲۵	۹	۲۲٪	۲۰٪	ستورهای هوشمند	
۱۰۰۷۶	۲۵۷	۳۹۶	۷۴	۱۹	۰	۸	۴۷	۱۵٪	۲۵٪	عملیات خود ران	
-	-	۳۵	۳	۲	۱	۰	۰	۲۵٪	۲۵٪	چاپ ۳ بعدی	
۲۱۷۸۹	۴۷۱	-	۸۵	۰	۰	۲۶	۵۹	۲۵٪	۵۰٪	کارگران متصل	
۱۲۴۵۲	۲۴۸	۱۶	۸۴	۱	۶	۱۲	۶۵	۳۰٪	۳۰٪	مرکز کنترل ریموت	
-	-	-	۲۱	۰	۰	۱۶	۵	۷۵٪	۷۵٪	امنیت سایبری	
-	-	-	۱۰۶	۰	۶۹	۳۵	۲	۱۵٪	۱۵٪	پلتفرمهای یکپارچه	
-	-	-	۱۰	۰	۰	۸	۲	۲۵٪	۲۵٪	تحلیل پیشرفته	
۴۴۳۱۷	۹۷۶	۶۰۶	۴۲۵	۳۰	۷۶	۱۳۰	۱۸۹	-	-	مجموع	

کاهش ۱۰ درصدی فوتی ها  
و کاهش ۲۰ درصدی جراحات

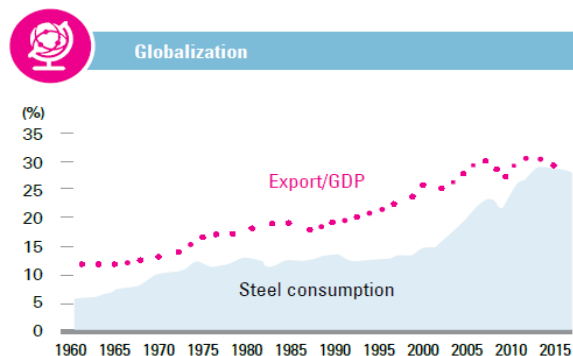
۴۲۵ میلیارد دلار  
خلق ارزش برای صنعت  
مشتریان، جوامع و محیط زیست



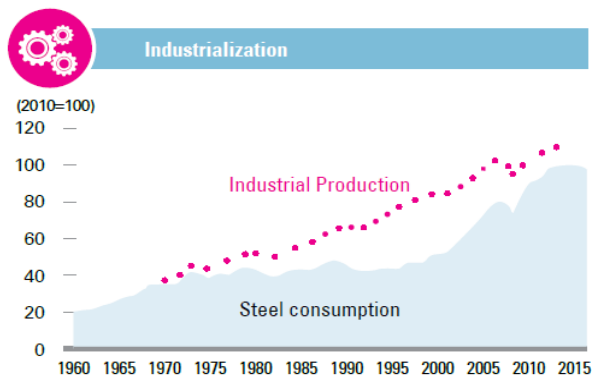
افزایش جمعیت شهرنشین از ۳۴٪ به ۵۴٪



افزایش تعداد وسایل نقلیه از ۴۲ به ۱۷۲ واحد به ازای هر ۱۰۰۰ نفر



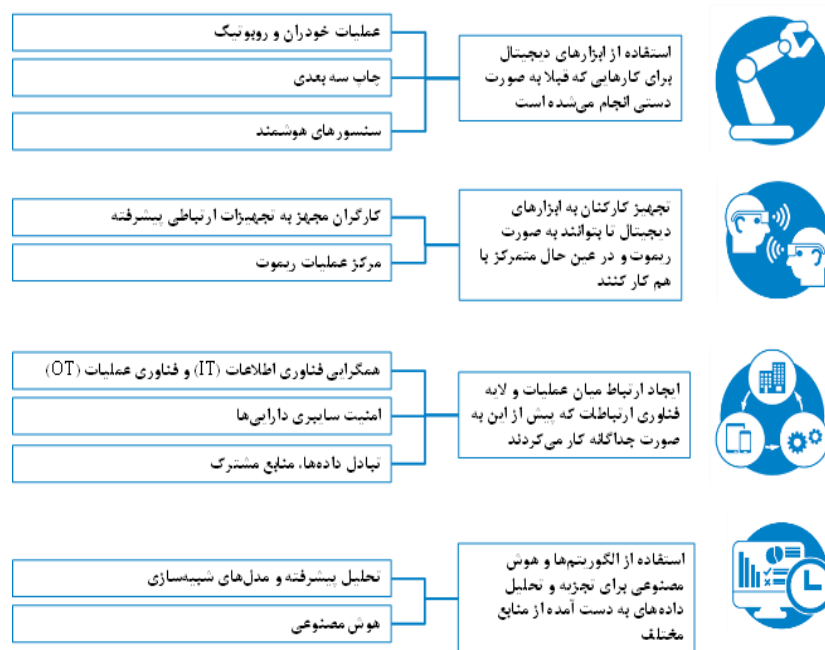
افزایش نسبت صادرات به تولید ناخالص داخلی از ۱۲٪ به ۳۰٪



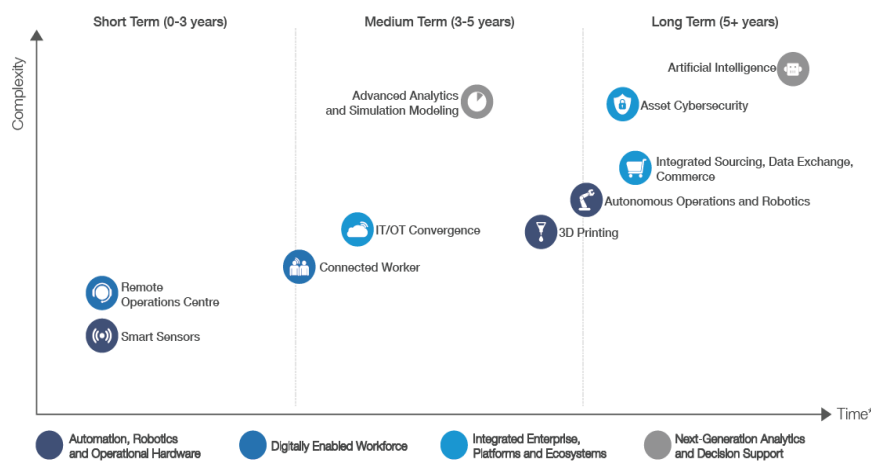
رشد سریع صنعتی شدن و تولیدات ماشینی

شکل ۱- چهار روند اثرگذار بر صنعت فولاد

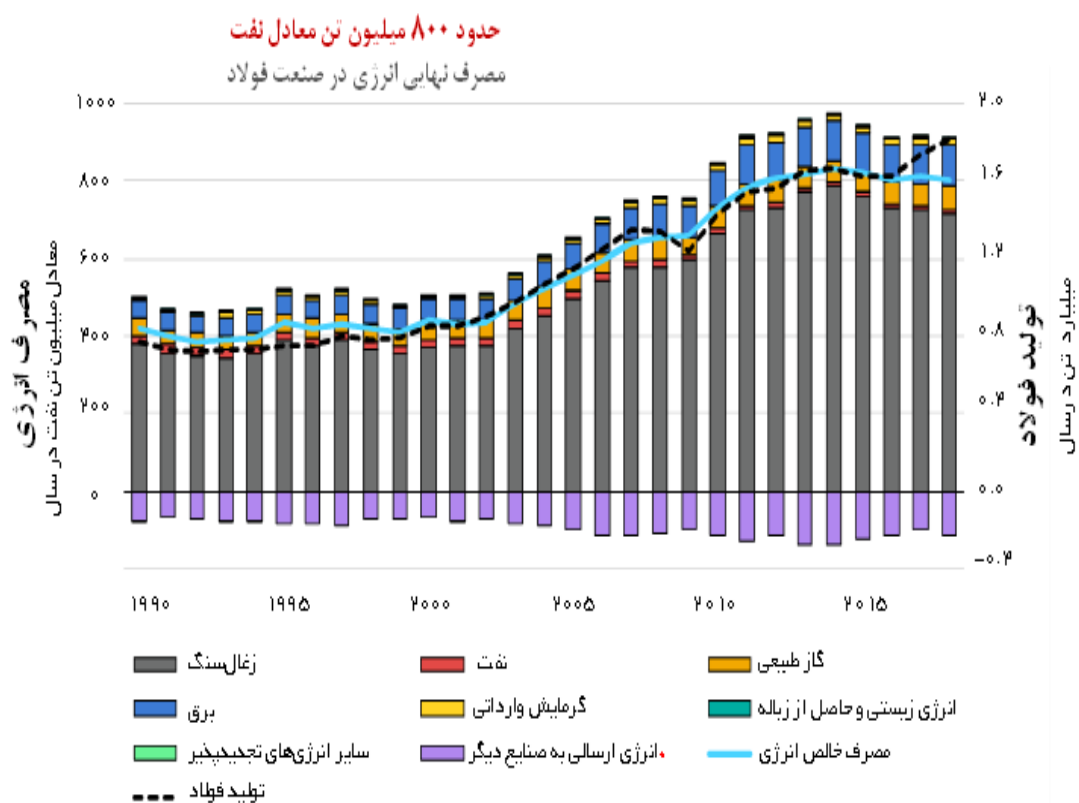




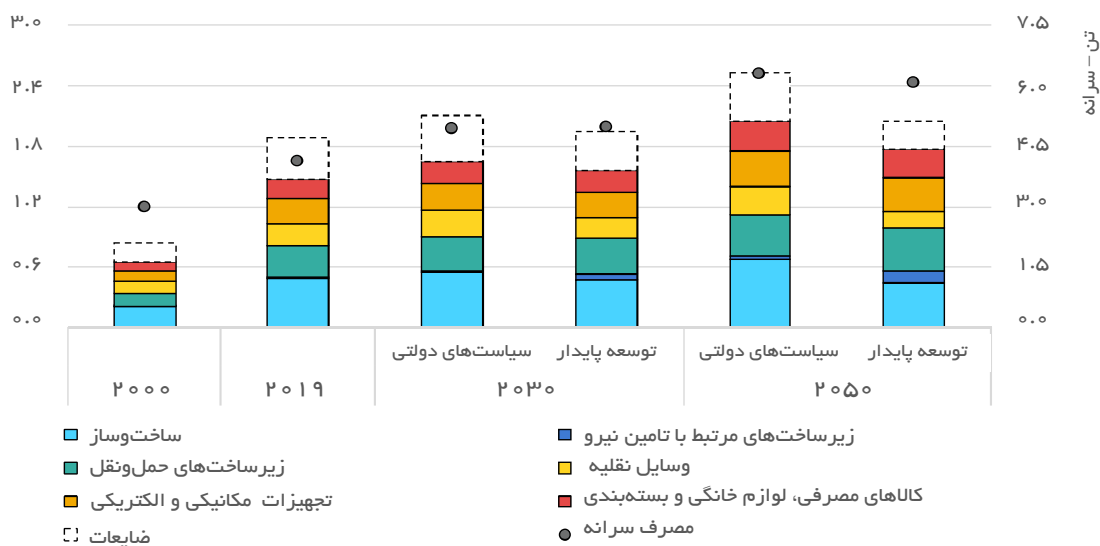
شکل ۲- فناوری در معدن و فولاد



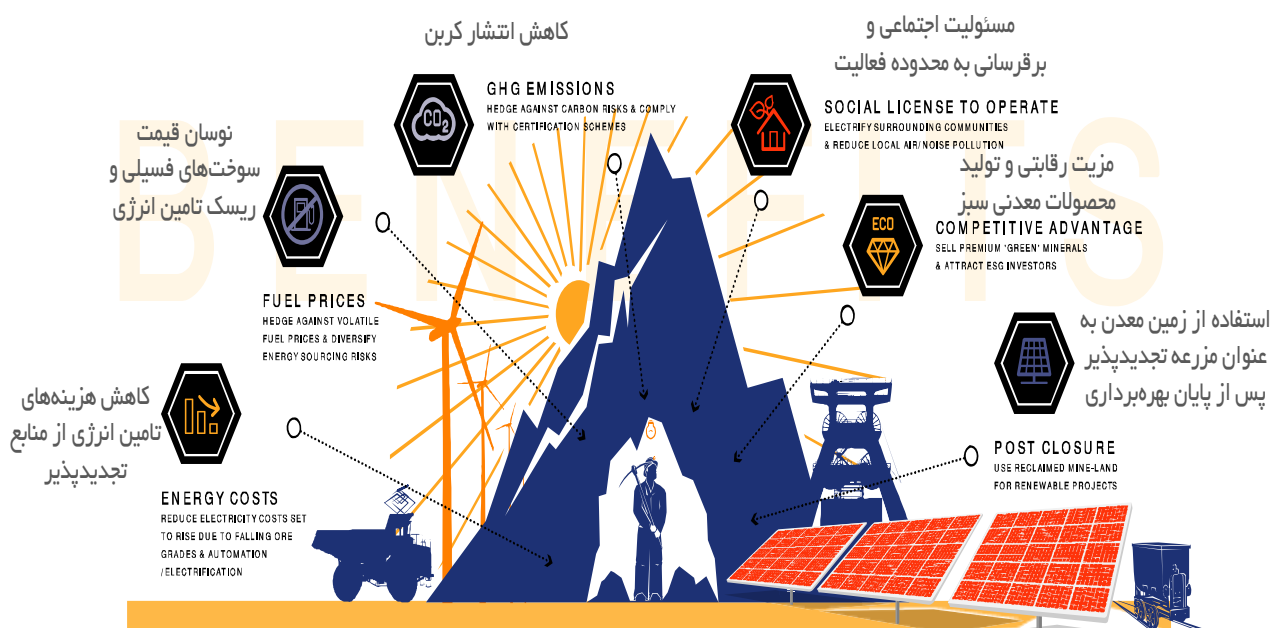
شکل ۳- مدت زمان لازم برای بکارگیری هر فناوری



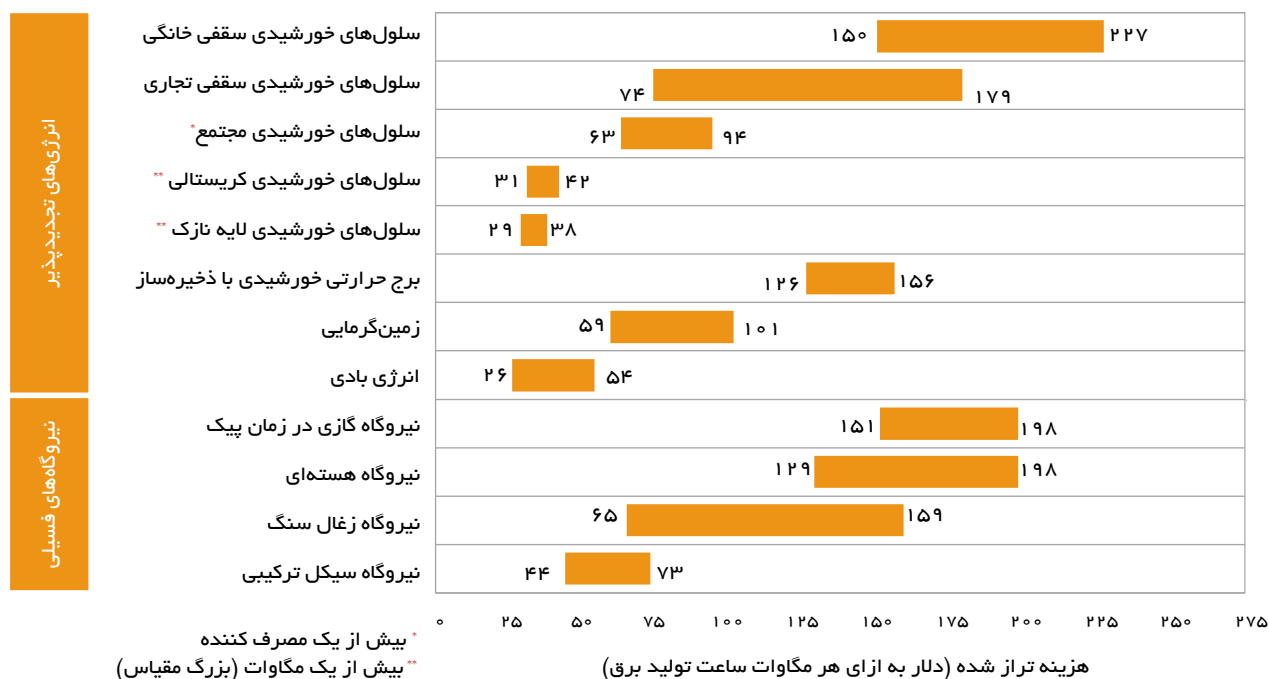
شکل ۴- مصرف نهایی انرژی در صنعت فولاد



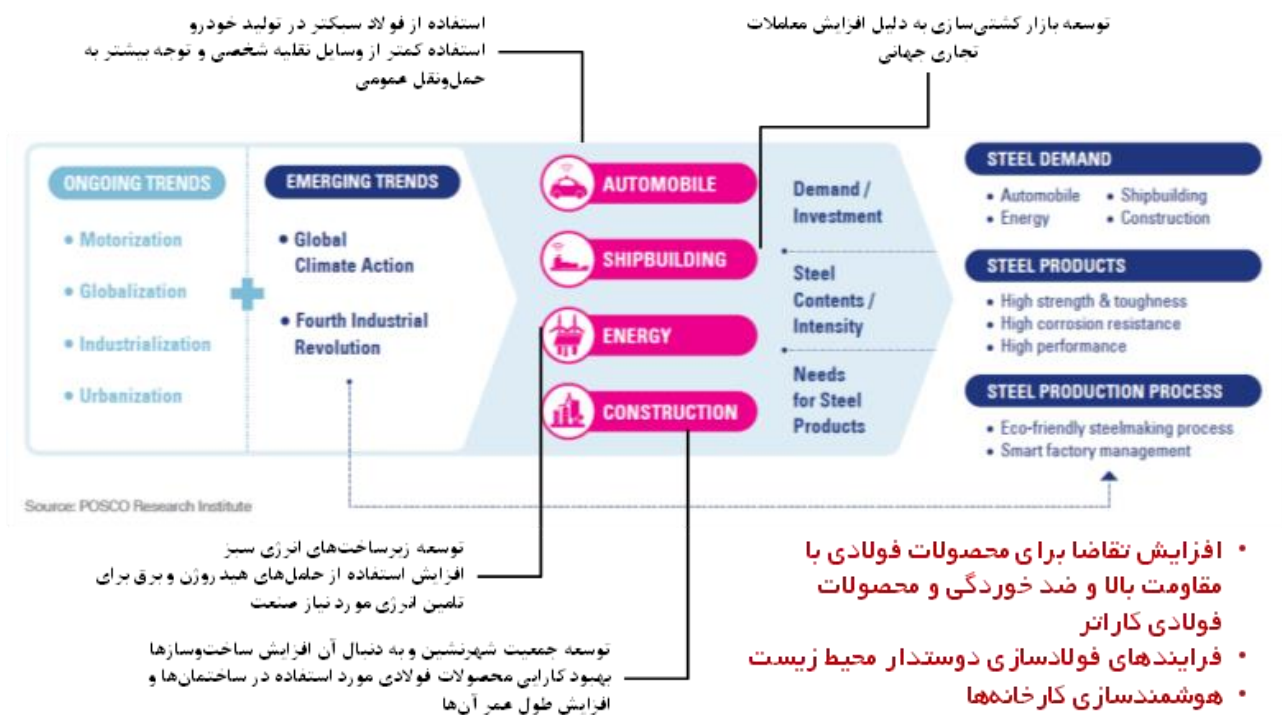
شکل ۵- تغییرات تقاضای جهانی فولاد تا سال ۲۰۵۰ بر اساس سناریوهای موجود



شکل ۶- چرا معدنکاران به دنبال تامین برق از منابع تجدیدپذیرند؟



شکل ۷- کاهش هزینه تامین برق از منابع تجدیدپذیر



شکل ۸- آن چه تاکنون از آن گفتیم، چه تاثیری بر صنعت فولاد دارد؟