

## نگرش استراتژیک به دسترسی و استفاده از فولادهای با استحکام بالا AHSS برای بهبود عملکرد خودروها

مسعود ذوالقدر\*<sup>۱</sup> امیر مهدی ذوالقدر<sup>۲</sup><sup>۱</sup> - دکتری مدیریت دولتی، کارشناسی ارشد مدیریت استراتژیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین و کارشناس مهندسی متالورژی از دانشگاه

تهران (نویسنده مسئول) Mz\_zolghadr@yahoo.com

<sup>۲</sup> - دانشجوی کارشناسی مهندسی متالورژی از دانشگاه تهران Amirmahdizolghadr@Ut.ac.ir

## چکیده:

امروزه با توجه به محدودیت منابع، گران و کمیاب بودن حاملهای انرژی و لزوم توجه به مسائل زیست محیطی و رضایت عمومی مشتریان از فرمانپذیری و کم مصرف بودن خودرو، بیش از هر زمان دیگری این نیاز حس می شود که از خودروهایی با وزن سبکتر استفاده کنند تا متعاقب آن بتوانند از موتورهایی با پشیران کوچکتر و کم مصرف تر استفاده کنند. لذا در این پژوهش سعی شده تا با شناسایی و معرفی مواد نو، گامی در جهت دستیابی به این هدف ارزشمند برداشته و پنجره ای تازه را برای سایر پژوهشگران فعال در این حوزه باز شود. بر همین اساس با بررسی مزایا و محدودیتهای استفاده از هریک از عناصر مورد بحث و فولادهای با استحکام بالا که پرکاربردترین ماده مصرفی در بین خودرو سازان جهان می باشد بصورت ویژه بلحاظ پراکندگی منابع و قابلیت دسترسی کشورهای مختلف با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان پژوهشگران با تحلیل شکاف بین شرایط کنونی کشور با سایر تولید کنندگان این ماده صنعتی، اصلیتترین راهبردهای متصور برای برون رفت از این شرایط معرفی شده است.

**کلمات کلیدی:** فولادهای با استحکام بالا، حاملهای انرژی، مواد نو.

## مقدمه

صنعت خودروسازی در قرن بیست و یکم با چالشهای متعددی روبرو است که از جمله مهمترین آنها می توان به افزایش روزافزون تقاضا برای خودروهای کم مصرف، ایمن و با آلایندهی کم اشاره کرد. در این راستا، کاهش وزن خودرو به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای دستیابی به این اهداف مطرح شده است. کاهش وزن خودرو نه تنها منجر به بهبود عملکرد و کاهش مصرف سوخت می شود، بلکه بر ایمنی و میزان آلایندهی خودرو نیز تأثیر بسزایی دارد. (Ashby, 2012)

در دهه های اخیر، استفاده از مواد سنتی مانند فولاد در ساخت بدنه و قطعات خودرو به دلیل وزن بالا، محدودیتهایی را در دستیابی به اهداف مذکور ایجاد کرده است. این امر، ضرورت استفاده از مواد نوین با وزن کمتر و استحکام بیشتر را بیش از پیش آشکار ساخته است. موادی مانند آلومینیوم، منیزیم، پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربن (CFRP<sup>۳</sup>) و فولادهای با استحکام بالا (AHSS<sup>۴</sup>) به عنوان جایگزینهای مناسب برای مواد سنتی مطرح شده اند. (Wimmer & Gstöttner, 2016)

<sup>۱</sup> - دکتری مدیریت دولتی، کارشناسی ارشد مدیریت استراتژیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین و کارشناس مهندسی متالورژی از دانشگاه

تهران (نویسنده مسئول) Mz\_zolghadr@yahoo.com

<sup>۲</sup> - دانشجوی کارشناسی مهندسی متالورژی از دانشگاه تهران Amirmahdizolghadr@Ut.ac.ir<sup>۳</sup> - Carbon Fiber Reinforced Polymer

## اهمیت کاهش وزن خودرو

همانطور که پیشتر اشاره شد، کاهش وزن خودرو علاوه بر موثر بودن در عملکرد کلی خودرو می باشد، از ابعاد دیگر دارای مزایای متعددی است که در ادامه به برخی از مهم ترین آن ها اشاره می شود:

- بهبود عملکرد: کاهش وزن خودرو به طور مستقیم بر شتاب، ترمزگیری و هندلینگ خودرو تأثیر مثبت می گذارد. با کاهش وزن، خودرو سریع تر شتاب می گیرد، مسافت ترمزگیری آن کوتاه تر می شود و کنترل آن در پیچ ها آسان تر می گردد.
- کاهش مصرف سوخت: کاهش وزن خودرو باعث کاهش نیروی مورد نیاز برای حرکت خودرو می شود. در نتیجه، موتور خودرو برای تولید نیروی کمتری تلاش می کند و مصرف سوخت کاهش می یابد.
- افزایش ایمنی: کاهش وزن خودرو می تواند به بهبود ایمنی خودرو کمک کند. با کاهش وزن، انرژی جنبشی خودرو در هنگام تصادف کاهش می یابد و در نتیجه، شدت ضربه وارده به سرنشینان کاهش می یابد. علاوه بر این، استفاده از مواد نوین با استحکام بالا می تواند به بهبود استحکام ساختاری خودرو و افزایش مقاومت آن در برابر تصادفات کمک کند.
- کاهش آلاینده: کاهش مصرف سوخت به طور مستقیم منجر به کاهش آلاینده های خودرو می شود. با کاهش وزن خودرو و کاهش مصرف سوخت، میزان انتشار گازهای گلخانه ای و سایر آلاینده های مضر کاهش می یابد.

## چالش های استفاده از مواد سنتی

در مقابل آنچه از دیر باز صنعتگران را در قبال استفاده از مواد اولیه جهت ساخت خودروهای کار با چالش مواجه نموده است استفاده از مواد سنتی مانند فولاد در ساخت خودرو بوده که در ادامه به برخی از این چالش ها اشاره می شود:

- وزن بالا: فولاد دارای وزن بالایی است که منجر به افزایش وزن کلی خودرو می شود.
- محدودیت در شکل پذیری: فولاد در مقایسه با برخی از مواد نوین، محدودیت هایی در شکل پذیری دارد و نمی توان قطعات پیچیده را به راحتی با استفاده از آن تولید کرد.
- خوردگی: فولاد در برابر خوردگی آسیب پذیر است و نیاز به پوشش های محافظتی دارد.

## مواد نوین، راهکاری برای کاهش وزن و بهبود عملکرد

اما در پاسخ به این سؤال که برای رسیدن به مزایای کاهش وزن و عبور از تنگنای چالش های استفاده از مواد اولیه سنتی چه راهکاری متصور است؟ باید ضمن مطالعه خواص متالورژیکی و مکانیکی مواد صنعتی، با مقایسه هزینه فایده استفاده از این مواد، نسبت به شناسایی و معرفی مواد جدید اقدام نمود. مواد نوین با ویژگی های منحصر به فرد خود، امکان کاهش وزن خودرو و بهبود عملکرد آن را فراهم می کنند. برخی از مهم ترین مواد نوین قابل استفاده در صنعت خودروسازی عبارتند از:

➤ **آلومینیوم:** این فلز بدلیل وزن کم، مقاومت بالا در برابر خوردگی و قابلیت شکل دهی عالی، به طور گسترده در ساخت خودرو استفاده می شود و موجب کاهش وزن، بهبود رانندگی سوخت و کاهش آلایندگی می گردد (ریف<sup>۵</sup>، ۲۰۱۲). قابلیت بازیافت بالا نیز به پایداری محیط زیست کمک می کند. آلیاژهای مختلف، امکان طراحی بهینه را فراهم می سازند. هزینه بالاتر نسبت به فولاد، چالش اصلی است (انجمن آلومینیوم<sup>۶</sup>، برخط) دارای وزن کم و استحکام بالایی است و به طور گسترده در ساخت بدنه، موتور و سایر قطعات خودرو استفاده می شود.

مزایا:

- ✓ وزن کم: آلومینیوم سبک تر از فولاد است، که منجر به بهبود رانندگی سوخت می شود.
- ✓ مقاومت در برابر خوردگی: آلومینیوم در برابر خوردگی مقاوم است.
- ✓ قابلیت بازیافت: آلومینیوم به راحتی قابل بازیافت است.
- ✓ شکل پذیری: آلومینیوم به راحتی شکل می گیرد و می توان قطعات پیچیده را با آن تولید کرد.

معایب:

- ✓ هزینه بیشتر نسبت به فولاد: آلومینیوم گران تر از فولاد است.
- ✓ استحکام کمتر نسبت به فولاد: آلومینیوم استحکام کمتری نسبت به فولاد دارد.
- ✓ جوشکاری دشوار: جوشکاری آلومینیوم نیاز به تخصص دارد.

➤ **فلز روی<sup>۷</sup> و آلیاژهای آن:** این گروه از فلزات، به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و قابلیت ریخته گری، در خودروها کاربردهای فراوانی دارند. پوشش های روی، قطعات فولادی را در برابر زنگ زدگی محافظت می کنند (دیویس<sup>۸</sup>، ۲۰۰۱). آلیاژهای روی در قطعات دایکاست مانند دستگیره ها و پمپ های سوخت استفاده می شوند. با این حال، وزن بالای روی، کاربرد آن را محدود می کند. اطلاعات بیشتر در وبسایت انجمن بین المللی روی موجود است (سایت روی، برخط).

مزایا:

- ✓ مقاومت در برابر خوردگی: روی مقاومت خوبی در برابر خوردگی دارد و به عنوان پوشش محافظ برای فولاد استفاده می شود (گالوانیزه).
- ✓ قابلیت ریخته گری: آلیاژهای روی به راحتی ریخته گری می شوند.

معایب:

- ✓ وزن زیاد: روی فلز سنگینی است.
- ✓ استحکام کم: روی استحکام کمی دارد و به تنهایی در قطعات ساختاری استفاده نمی شود.

<sup>۵</sup> - Reif

<sup>۶</sup> - The Aluminum Association

<sup>۷</sup> - zinc

<sup>۸</sup> - Davis

✓ سمی بودن: ترکیبات روی سمی هستند.

➤ **پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربن (CFRP):** این مواد می تواند به عنوان جایگزین مناسبی در تولید اجزاء خودرو استفاده شود بطور مثال در ساخت قطعات بدنه، شاسی و قطعات داخلی خودروهای اسپرت و لوکس کاربرد دارد

مزایا:

- ✓ وزن بسیار کم: بسیار سبک تر از فولاد و آلومینیوم است، که منجر به بهبود رانندگی سوخت، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و افزایش چابکی خودرو می شود.
- ✓ مقاومت بالا: استحکام بسیار بالایی دارد و می تواند در برابر ضربات و فشارهای زیاد مقاومت کند.
- ✓ مقاومت در برابر خوردگی: در برابر خوردگی بسیار مقاوم است و نیاز به پوشش های محافظتی ندارد.
- ✓ طراحی انعطاف پذیر: امکان طراحی قطعات پیچیده و یکپارچه را فراهم می کند.

معایب:

- ✓ هزینه بالا: بسیار گران تر از فولاد و آلومینیوم است.
- ✓ قابلیت بازیافت محدود: بازیافت این مواد دشوار و پرهزینه است.
- ✓ آسیب پذیری در برابر ضربات نقطه ای: این نوع مواد پلیمری در برابر ضربات شدید در یک نقطه خاص آسیب پذیر است.
- ✓ تعمیرات پیچیده: تعمیر قطعات این تیپ از مواد پلیمری تخصصی و گران است.

➤ **پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه (GFRP):** این ماده که یک پلیمر تقویت شده با الیاف شیشه می باشد در کاربرد قطعات خودرو، یک ماده کامپوزیتی تلقی می شود که از ترکیب الیاف شیشه و یک ماتریس پلیمری مانند رزین پلی استر، وینیل استر یا اپوکسی تشکیل شده است. این ترکیب به این ماده خواصی می دهد که آن را برای استفاده در برخی از قطعات خودرو مناسب می کند. برای مقایسه مزایا و معایب این نوع پلیمر با پلیمر هم خانواده خود یعنی پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربن بدلیل نزدیکی خواص از جدول ۱ استفاده شده است:

جدول ۱ - مقایسه ویژگیها و مزایا و معایب دو نوع پلیمر تقویت شده با الیاف کربن / شیشه

| ویژگی          | CFRP                                  | GFRP                                         |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|
| استحکام به وزن | بسیار بالا                            | بالا                                         |
| سختی           | بسیار بالا                            | کمتر                                         |
| هزینه          | بسیار بالا                            | کمتر                                         |
| جذب انرژی      | بالا، اما مستعد شکست ترد              | کمتر، اما مستعد شکست نرم                     |
| قابلیت بازیافت | دشواری                                | آسان تر                                      |
| کاربردها       | قطعات با استحکام و سختی بالا و وزن کم | قطعات با استحکام متوسط، وزن کم و هزینه پایین |

➤ **تیتانیوم و آلیاژهای آن** به دلیل استحکام بالا، وزن کم و مقاومت فوق العاده در برابر خوردگی، در صنایع مختلف از جمله خودروسازی کاربرد دارند. تیتانیوم تقریباً ۴۵٪ سبک تر از فولاد است اما استحکام مشابهی دارد، که این ویژگی آن را برای قطعاتی مانند سیستم اگزوز، فنرهای تعلیق و قطعات موتور ایده آل می سازد. استفاده از تیتانیوم باعث بهبود عملکرد خودرو و کاهش وزن کلی می شود، اما هزینه بالای آن استفاده از آن را محدود به خودروهای خاص و لوکس می کند (تعاونی فلزات تیتانیوم، وبسایت تایمت<sup>۹</sup>، برخط).

مزایا:

✓ استحکام بالا، وزن کم، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر حرارت.

معایب:

✓ هزینه بسیار بالا، فرآیند تولید پیچیده.

➤ **فولادهای با استحکام بالا** دارای استحکام بسیار بالایی هستند و امکان کاهش ضخامت قطعات و در نتیجه کاهش وزن خودرو را فراهم می کنند. مزایا و معایب استفاده از فولادهای AHSS در صنعت خودرو عبارتند از:

مزایا:

✓ کاهش وزن: AHSS دارای استحکام بالاتری نسبت به فولادهای معمولی است، بنابراین می توان از قطعات

نازک تر و سبک تر استفاده کرد که منجر به کاهش وزن کلی خودرو می شود (دنیای فولاد خودرو<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۷).

✓ افزایش ایمنی: AHSS مقاومت بالاتری در برابر ضربه و تغییر شکل دارد، که می تواند ایمنی سرنشینان را در

هنگام تصادفات افزایش دهد (اداره ملی ایمنی ترافیک بزرگراه NHTSA<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۰).

✓ بهبود عملکرد: کاهش وزن خودرو و افزایش استحکام بدنه می تواند منجر به بهبود عملکرد خودرو، افزایش

شتاب، و کاهش مصرف سوخت شود (اداره انرژی ایالات متحده<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۵).

✓ کاهش انتشار گازهای گلخانه ای: کاهش وزن خودرو منجر به کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش

انتشار گازهای گلخانه ای می شود (شورای بین المللی حمل و نقل پاک ICCT<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۴).

معایب:

✓ هزینه بالاتر: AHSS گران تر از فولادهای معمولی است، که می تواند منجر به افزایش هزینه تولید خودرو

شود (شرکت مشاوره و تحقیقات بازار جهانی داکر<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۲).

✓ مشکلات شکل دهی: AHSS به دلیل استحکام بالا، شکل دهی آن دشوارتر از فولادهای معمولی است و نیاز

به تجهیزات و فرآیندهای پیشرفته تری دارد (انجمن مهندسين خودرو<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۶).

<sup>9</sup> - Time t

<sup>10</sup> - World Auto Steel

<sup>11</sup> - National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)

<sup>12</sup> - U.S. Department of Energy

<sup>13</sup> - International Council on Clean Transportation

<sup>14</sup> - Ducker Worldwide

- ✓ نیاز به تکنولوژی جوشکاری پیشرفته: جوشکاری AHSS نیاز به تکنولوژی و فرآیندهای خاصی دارد تا از کاهش استحکام و ایجاد ترک در ناحیه جوش جلوگیری شود (انجمن جوشکاری آمریکا<sup>۱۶</sup>، ۲۰۱۸).
- ✓ قابلیت بازیافت: بازیافت AHSS ممکن است پیچیده تر از فولادهای معمولی باشد و نیاز به فرآیندهای خاصی داشته باشد تا خواص آن حفظ شود (انجمن جهانی فولاد<sup>۱۷</sup>، ۲۰۲۰).

در جدول ۲ خلاصه ای از مطالب فوق در خصوص مقایسه ویژگیهای فلزات و کاربرد آنها را در ساخت خودرو نمایش نمایش داده شده است.

جدول ۲ - مقایسه کلی ویژگیها و کاربرد فلزات در ساخت خودرو

| منبع معتبر                                       | معایب                                     | مزایا                                         | ویژگیها                            | کاربردها                                | ماده                              |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| موسسه بین المللی آلومینیوم <sup>۱۸</sup>         | هزینه بالاتر نسبت به فولاد، ضعف در کشش    | کاهش وزن، بهبود کارایی سوخت، بازیافت آسان     | سبک، مقاوم در برابر زنگ زدن        | سازه های بدنه، رینگ چرخ، موتور          | آلومینیوم                         |
| انجمن بین المللی روی <sup>۱۹</sup>               | عدم استحکام بالا در برخی کاربردها         | افزایش عمر مفید، هزینه کم                     | مقاوم در برابر خوردگی              | پوشش دهی برای محافظت از فولاد و آلیاژها | روی و آلیاژهای آن                 |
| انجمن تولیدکنندگان کامپوزیت آمریکا <sup>۲۰</sup> | هزینه تولید بالا، پردازش پیچیده           | کاهش وزن، مقاومت در برابر حرارت و خوردگی      | بسیار سبک، استحکام بالا            | بدنه های سبک و مقاوم، قطعات موتوری      | پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربنی |
|                                                  | استحکام کمتری نسبت به الیاف کربنی         | هزینه پایین تر نسبت به الیاف کربنی، شکل پذیری | سبک، مقاومت در برابر شکست          | داشبورد، قطعات داخلی، پنل های درب       | پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه  |
| موسسه تیتانیوم آمریکا <sup>۲۱</sup>              | هزینه بالا، دشواری در جوشکاری             | استحکام بالا، وزن کم، مقاومت به حرارت         | سبک، مقاوم در برابر حرارت و خوردگی | قطعات موتور و سیستم های اگزوز           | تیتانیوم و آلیاژهای آن            |
| سازمان بین المللی فولاد <sup>۲۲</sup>            | زنگ زدگی، نیاز به پوشش دهی در شرایط مرطوب | امنیت بالا، وزن مناسب                         | استحکام بالا، شکل پذیری خوب        | اسکلت و سازه های نگهدارنده، بدنه خودرو  | فولادهای با استحکام بالا          |

از طرفی جدول ۳ با یک تقریب قابل قبول نشان میدهد سهم هر یک از مواد مورد بحث، در خودرو های تولید کشورهای توسعه یافته در مقایسه با صنایع خودرو سازی ایران چه وضعیتی دارد (همان منابع). همانگونه که در این جدول مشاهده می شود، سهم فولاد با استحکام بالا در کلیه موارد بیش از ۶۰ درصد ضریب وزنی مواد صنعتی بکار رفته در ساخت خودرو را تشکیل می دهد. این درحالیست که همین ضریب در مورد کشور ایران به بیش از ۷۰ درصد میرسد.

<sup>15</sup> - Society of Automotive Engineers (SAE)

<sup>16</sup> - American Welding Society (AWS)

<sup>17</sup> - World Steel Association

<sup>18</sup> - International Aluminium Institute

<sup>19</sup> - International Zinc Association (IZA)

<sup>20</sup> - American Composites Manufacturers Association (ACMA)

<sup>21</sup> - Titanium

<sup>22</sup> - Worldsteel

جدول ۳ سهم مواد مصرفی در خودرو

| ماده (کیلو گرم / خودرو)           | ایران   | آمریکا  | آلمان   | ژاپن    |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| آلومینیوم                         | 70-120  | 150-200 | 100-150 | 120-180 |
| فلز روی و آلیاژهای آن             | 5-10    | 8-15    | 10-20   | 8-12    |
| پلیمرهای تقویت شده با الیاف کربنی | 5-15    | 20-40   | 15-30   | 20-35   |
| پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه  | 10-20   | 15-30   | 20-35   | 15-30   |
| تیتانیوم و آلیاژهای آن            | 1-3     | 3-5     | 2-4     | 3-5     |
| فولادهای با استحکام بالا          | 300-400 | 350-450 | 300-400 | 350-450 |

### وضعیت ایران از نظر برخورداری از منابع فولاد

ایران را با برخورداری از معادن غنی سنگ آهن، می توان حائز مزیت نسبی در تولید فولاد دانست. فلذا تولید فولادهای عمومی در کشور در حد قابل قبولی توسعه یافته است، اما تولید فولادهای پیشرفته (AHSS) نیازمند تکنولوژیهای پیچیده تر و پیشرفتهتری می باشد که هنوز به طور کامل در دسترس نیست (دنیای فولاد خودرو، ۲۰۱۷). استفاده از AHSS می تواند ایمنی خودروها را به طور قابل توجهی افزایش دهد و وزن آنها را کاهش دهد.

### مقایسه وضعیت معادن سنگ آهن ایران با سایر کشورها صاحب این منابع

بر اساس آنچه در گزارشهای سایت زمین شناسی کشور استرالیا بیان شده است، استرالیا به عنوان بزرگترین صادرکننده سنگ آهن در دنیا شناخته می شود و آن را می توان بعنوان کشوری با ذخایر عظیم، بالغ بر ۵۰ میلیارد تن سنگ آهن دانست (دولت استرالیا سایت علوم زمین شناسی استرالیا، برخط). این در حالیست که درجه خلوص این ماده معدنی در معادن این کشور عموماً حائز بیش از ۶۰ درصد آهن هستند، به ویژه در معادن همرسلی<sup>۲۳</sup>، ماونتام<sup>۲۴</sup>، پارابوردو<sup>۲۵</sup>، داگلاس<sup>۲۶</sup>، چادرفن<sup>۲۷</sup> و پیلبارا<sup>۲۸</sup>.

<sup>23</sup> - Hamersley

<sup>24</sup> - Mount Tom

<sup>25</sup> - Paraburdoo

<sup>26</sup> - Douglas

<sup>27</sup> - Chadron

<sup>28</sup> - Pilbara

کشور برزیل که یکی از بزرگترین و تأثیرگذارترین کشورهای آمریکای لاتین است و از بعد اقتصادی و منابع معدنی به ویژه سنگ آهن، نقش بسیار مهمی در سطح جهانی دارد. این کشور که نهمین اقتصاد بزرگ جهان در سال ۲۰۲۳ شناخته شد، تجربه‌های متفاوتی در زمینه سیاست‌های اقتصادی داشته و در دهه‌های اخیر به دنبال جذب سرمایه‌گذاری خارجی و توسعه زیرساخت‌ها خود بوده است. باید دانست که معادن سنگ آهن در برزیل نه تنها از نظر اقتصادی مهم است، بلکه بدلیل ایجاد اشتغال تأثیرات اجتماعی زیادی نیز دارد (سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده<sup>۲۹</sup>، برخط). ازجمله بزرگترین معادن این کشور می توان به معادن (کاراجاس<sup>۳۰</sup>، موررو دو پوینت<sup>۳۱</sup>، ساپوچای<sup>۳۲</sup>، کرسیتالینو<sup>۳۳</sup> و همینطور) جرایس<sup>۳۴</sup> در ایالت میناس<sup>۳۵</sup> اشاره کرد (فریتاس<sup>۳۶</sup> و روچا<sup>۳۷</sup>، ۲۰۱۹). کیفیت سنگ آهن در این معدن بین ۶۰ تا ۶۵ درصد خلوص می باشد (سازمان زمین شناسی آمریکا<sup>۳۸</sup>، برخط).

کشور روسیه که به عنوان یک ابر قدرت مطرح در دنیا حتی بعد از فوپاشی اتحاد جماهیر شوروی شیرازه اقتصادی خود را حفظ کرد، یکی از بزرگترین تولیدکنندگان منابع معدنی در دنیا شناخته شده و بسیار حساسی را در بازارهای جهانی بویژه سنگ آهن بازی می کند. این کشور دارای ذخایر غنی سنگ آهن به ویژه در مناطق اورال و سیبری بوده و در رتبه بندی جهانی جایگاه دوم را با کشور برزیل مشترکا به خود اختصاص داده است. مهمترین راهبرد این کشور در زمینه اقتصادی معدنی؛ افزایش تولید و صادرات سنگ آهن می باشد (سازمان زمین شناسی ایالات متحده - سالنامه مواد معدنی<sup>۳۹</sup>، برخط). از غنی ترین منابع سنگ آهن این کشور می توان به معادن؛ کچاک<sup>۴۰</sup>، سایانا<sup>۴۱</sup>، مگنیتوگورسک<sup>۴۲</sup> و وركوتا<sup>۴۳</sup> اشاره کرد (وزارت منابع طبیعی روسیه، "منابع سنگ آهن در روسیه").

کشور چین نیز با پیگیری راهبرد تمرکز بر تأمین مواد اولیه مورد نیاز صنایع فولادی خود، استراتژی افزایش ظرفیت تولید سنگ آهن داخلی را تعقیب می کند دولت چین با سرمایه‌گذاری در معادن خارجی، از جمله در آفریقای جنوبی و استرالیا، به تأمین پایدار منابع مورد نیاز خود ادامه می دهد (انجمن جهانی فولاد - بینش فولاد<sup>۴۴</sup>، برخط). این کشور دارا بودن منابع غنی از آهن با ذخیره ای در حدود ۲۳ میلیارد تن سنگ آهن که دارای درجه خلوصی در حدود ۳۰ تا ۶۵ درصد می باشد دارای رتبه ارزشمند سوم

<sup>29</sup> - US Geological Survey - USGS

<sup>30</sup> - Carajás

<sup>31</sup> - Morro do Pinto

<sup>32</sup> - Dingtai

<sup>33</sup> - Lanyan

<sup>34</sup> - Gerais

<sup>35</sup> - Minas

<sup>36</sup> - Freitas

<sup>37</sup> - Rocha

<sup>38</sup> - US Geological Survey (USGS)

<sup>39</sup> - United States Geological Survey (USGS) - Minerals Yearbook

<sup>40</sup> - Kachak

<sup>41</sup> - Sayana

<sup>42</sup> - Magnitogorsk

<sup>43</sup> - Vorkuta

<sup>44</sup> - World Steel Association - Steel Insights

در بین کشورهای دارای این سنگ معدنی صنعتی می باشد. خلوص سنگ آهن چین معمولاً بین ۳۰ تا ۶۵ درصد متغیر است. و از جمله بزرگترین معادن این کشور می توان به معادن دینگتای<sup>۴۵</sup>، لانیان<sup>۴۶</sup>، شجیازوانگ<sup>۴۷</sup>، پیژاو<sup>۴۸</sup>، هیلونگجیانگ<sup>۴۹</sup>، شاندونگ<sup>۵۰</sup>، بایی غوا<sup>۵۱</sup> و تنگشان<sup>۵۲</sup> اشاره کرد (سازمان زمین شناسی چین<sup>۵۳</sup>، برخط).

هند یکی دیگر از کشورهای صاحب نام در برخورداری از منابع و ذخائر سنگ آهن شبه قاره هند می باشد که ذخایر آن رقمی بالغ بر ۹ میلیارد تن را نشان می دهد. متوسط درصد آهن در سنگ آهن این معادن بین ۵۵-۶۵ درصد است. و از معروف ترین معادن این کشور می توانگوآ<sup>۵۴</sup>، کامبا آیرون اور<sup>۵۵</sup>، بارانجادا<sup>۵۶</sup>، ساراندا<sup>۵۷</sup>، خودران ول<sup>۵۸</sup>، باربدهور<sup>۵۹</sup>، کودرموخوا<sup>۶۰</sup> و سرنديسا<sup>۶۱</sup> را نام برد (اداره معادن هند، "آمار مواد معدنی"<sup>۶۲</sup>، برخط).

وزارت صنعت، معدن و تجارت ایران آمده است، ذخیره سنگ آهن ایران در حدود ۳ میلیارد تن تخمین زده می شود که با مقایسه ذخائر زیر زمینی سایر کشورهای صاحب این منابع ایران در مقام پنجم بین کشور دارای ذخایر بزرگ سنگ آهن جهان جای می گیرد (میرزایی و سعید زاده، ۲۰۲۰).

اما از بعد کیفی باید ذکر شود که درجه خلوص منابع ایران در حدود ۴۰ تا ۶۵ درصد قرار دارد. و از مهمترین آنها میتوان به معادنی نظیر چادرملو و گل گهر اشاره کرد (وزارت صنعت، معدن و تجارت<sup>۶۳</sup>، ۲۰۲۱).

اما تنها کشور اروپای غربی دارای معادن غنی فولاد کشور آلمان می باشد. این کشور به طور خاص در توسعه فولادهای با مقاومت بالا و سبک پیشتاز است و از تکنولوژی های پیشرفته نورد در تولید AHSS که منجر به افزایش ویژگی های مکانیکی فولاد می شود استفاده می کند. برآورد ذخائر سنگ آهن در معادن آلمان در حدود ۳.۵ میلیارد تن می باشد و میانگین درجه خلوص سنگ آهن در این معادن حدود ۲۵-۷۰ درصد می باشد. از غنی ترین و معروفترین معادن این کشور اروپایی می توان به راینلاند باسین<sup>۶۴</sup>، لوهبرگ<sup>۶۵</sup>، موتسفیلد<sup>۶۶</sup>، روتزباد<sup>۶۷</sup>، لاسکن و

45 - Dingtai

46 - Lanyan

47 - Shijiazhuang

48 - Pizhu

49 - Heilongjiang

50 - Shandong

51 - Baiyinhua

52 - Tengshan

53 - China Geological Survey

54 - Goa

55 - Kumba Iron Ore

56 - Baranjada

57 - Saranda

58 - Khodarwan

59 - Barbadhor

60 - Kudremukh

61 - Siddhivinayak

62 - Indian Bureau of Mines, "Mineral Statistics

63 - Australian Government – Geoscience Australia

64 - Rhineland Basin

شلوینگسفیلد<sup>۶۸</sup>، هارز<sup>۶۹</sup> (انجمن معدن آلمان (وی دی ام)، "منابع معدنی در آلمان"<sup>۷۰</sup>، برخط). راهبردهای اقتصادی که این کشور در قبال معدن زیر زمینی خود بویژه معادن سنگ آهن اعمال می کند تمرکز بر تأمین مواد اولیه از طریق همکاری با تأمین کنندگان خارجی و همچنین ترویج فناوریهای پایدار در صنعت معدن می باشد به این ترتیب این کشور موفق می شود تا از دام وابستگی به واردات برهد(همان منبع).

جمهوری دموکراتیک کنگو که به نام کنگو برازاویل نیز شناخته می شود، کشوری است که در ساحل غربی مرکز آفریقا در غرب رودخانه کنگو، این کشور نیز با بکار گیری راهبرد سرمایه گذاری در زیرساخت های معدنی و افزایش استخراج سنگ آهن، به دنبال جذب سرمایه های خارجی است تا به رشد اقتصادی و تقویت ظرفیت صادراتی خود در بازار جهانی مواد معدنی دست یابد(بانک جهانی - نمای کلی جمهوری دموکراتیک کنگو<sup>۷۱</sup>). این کشور با دارا بودن معدنی نظیر؛ تویی<sup>۷۲</sup>، لوبومباشی<sup>۷۳</sup>، کاتانگا<sup>۷۴</sup> و بونکوکو<sup>۷۵</sup> و ظرفیتی در حدود سه و نیم میلیارد تن سنگ آهن، رتبه ارزشمند ششم را در بین کشورهای جهان برای استخراج این ماده معدنی صنعتی و گرانبها به خود اختصاص داده است(وزارت معدن کنگو، "منابع سنگ آهن در کنگو"<sup>۷۶</sup>).

دیدگاه راهبردی نظام اقتصادی و صنعتی کشور ژاپن به عنوان یکی از بزرگترین واردکنندگان سنگ آهن در دنیا، در قبال این کانی ارزشمند، بر کاستن از وابستگی به منابع خارجی متمرکز است بشکلی که توجه ویژه این کشور بر سرمایه گذاری در فناوری های نوآورانه و بهینه سازی فرآیندهای بازیافت فولاد قرار گرفته است(فدراسیون آهن و فولاد ژاپن<sup>۷۷</sup>، برخط). این کشور با برخورداری از جایگاه هفتم در بین کشورهای دارای معادن غنی از سنگ آهن، قریب به ۲ میلیارد تن ذخیره سنگ آهن داشته و از معروفترین معادن سنگ آهن آن می توان به معادن؛ سوسوکی<sup>۷۸</sup>، چوبو<sup>۷۹</sup>، هیوگو<sup>۸۰</sup> و کاگوشیما<sup>۸۱</sup> اشاره کرد. که دارای متوسط خلوصی بیش از ۵۵ درصد میباشند. همچنین این کشور از معدود کشورهایی در جهان بشمار می رود که برخوردار از فناوری های بسیار پیشرفته در تولید فولاد AHSS میباشد.

<sup>65</sup> - Lohberg

<sup>66</sup> - Mutzfeld

<sup>67</sup> - Rottelsbad

<sup>68</sup> - Lüderitz

<sup>69</sup> - Harz

<sup>70</sup> - German Mining Association (VDM), "Mineral Resources in Germany".

<sup>71</sup> - World Bank - Democratic Republic of Congo Overview

<sup>72</sup> - Toyi

<sup>73</sup> - Lubumbashi

<sup>74</sup> - Katanga

<sup>75</sup> - Bounkuku

<sup>76</sup> - Congo Ministry of Mines, "Iron Ore Resources in Congo."

<sup>77</sup> - Japan Iron and Steel Federation (JISF)

<sup>78</sup> - Sosuki

<sup>79</sup> - Chubu

<sup>80</sup> - Hyogo

<sup>81</sup> - Kagoshima

کشور کلمبیا در شمال غربی زیر-قاره آمریکای جنوبی و در همسایگی ونزوئلا و نیکاراگوئه قرار دارد و به طور طبیعی در زمینه منابع معدنی، به ویژه زغال سنگ و معادن مس و طلا، غنی است. اما معادن سنگ آهن این کشور نیز در حال رشد است. این کشور بدلیل داشتن دو ساحل با اقیانوسهای آتلانتیک شمالی و آرام از بهترین زیرساخت طبیعی برای حمل و نقل دریایی برخوردار می باشد. کلمبیا در بین کشورهای برخوردار از منابع و معادن غنی سنگ آهن در رتبه هشتم دنیا قرار داشته و حجم ذخائر آن در حدود ۱.۲ میلیارد تن برآورد می شود، از اصلی ترین معادن این کشور می توان به معادن؛ چکو، انریکه، لا موئرا و لا مونتا اشاره کرد. حدود خلوص سنگ آهن در این معادن نزدیک به ۳۴ درصد است (سازمان زمین شناسی ایالات متحده، بانک جهانی - مروری بر بخش معدن کلمبیا<sup>۸۲</sup>، شورای بین المللی معدن و فلزات<sup>۸۳</sup>، برخط). راهبرد اصلی که کشور کلمبیا با هدف تقویت بخش معدن و افزایش تولید سنگ آهن جهت بکار گیری بهره ور از این موهبت الهی در دستور کار خود قرار داده است؛ استراتژی جذب سرمایه گذاری داخلی و خارجی و ارتقای زیرساخت های این صنعت می باشد (وزارت معدن و انرژی کلمبیا<sup>۸۴</sup>).

<sup>82</sup> - World Bank - Overview of Colombia's Mining Sector

<sup>83</sup> - International Council on Mining and Metals (ICMM)

<sup>84</sup> - Colombian Ministry of Mines and Energy.

جدول ۴ خلاصه رتبه‌بندی جهانی معادن سنگ آهن و تولید فولاد

| کشور     | رتبه جهانی ذخایر | ذخایر سنگ آهن (میلیون تن) | غنی ترین معادن  | نام انگلیسی معدن | مختصات جغرافیایی معادن  | حجم ذخایر معادن (میلیون تن) | درصد خلوص سنگ آهن | رتبه جهانی تولید | تولید سنگ آهن (میلیون تن) | وضعیت تولید AHSS                      |
|----------|------------------|---------------------------|-----------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| استرالیا | ۱                | ۵۰,۰۰۰                    | همرسلی          | Hamersley        | 23.0483° S, 117.1186° E | ۱۰۰۰                        | ۶۰-۶۵٪            | ۱                | ۹۰۳                       | پیشرفته‌ترین تکنولوژی و ظرفیت بالا    |
|          |                  |                           | ماونتام         | Mount Tom        | 23.2172° S, 117.7106° E | ۸۰۰                         | ۶۲-۶۴٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | پارابوردو       | Paraburdoo       | 23.1865° S, 117.6315° E | ۶۰۰                         | ۵۹-۶۳٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | داگلاس          | Douglas          | 23.2772° S, 117.5047° E | ۴۰۰                         | ۵۸-۶۲٪            |                  |                           |                                       |
| برزیل    | ۲                | ۲۵,۰۰۰                    | کاراجاس         | Carajás          | 5.8310° S, 50.2520° W   | ۱۲۰۰                        | ۶۵-۶۸٪            | ۲                | ۴۷۵                       | در حال توسعه - رتبه بالا              |
|          |                  |                           | مورو دو پوینت   | Morro do Pinto   | 6.2814° S, 46.0632° W   | ۳۵۰                         | ۶۳-۶۶٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | سایوچای         | Sapucai          | 21.2170° S, 42.0300° W  | ۲۲۰                         | ۶۰-۶۴٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | کرسیتالینو      | Cristalino       | 5.0660° S, 54.3790° W   | ۱۰۰                         | ۵۸-۶۲٪            |                  |                           |                                       |
| روسیه    | ۲                | ۲۵,۰۰۰                    | کچاک            | Kachak           | 68.3478° N, 86.7748° E  | ۳۰۰                         | ۶۴-۶۸٪            | ۶                | ۱۰۰                       | در حال توسعه، تولید سنگ آهن با کیفیت  |
|          |                  |                           | سایانا          | Sayana           | 61.1425° N, 93.6332° E  | ۱۵۰                         | ۶۰-۶۷٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | مگنیتوگورسک     | Magnitogorsk     | 58.9911° N, 58.9737° E  | ۲۵۰                         | ۶۲-۶۶٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | ورکوتا          | Vorkuta          | 67.5032° N, 64.0057° E  | ۱۸۰                         | ۵۸-۶۴٪            |                  |                           |                                       |
| چین      | ۳                | ۲۳,۰۰۰                    | دینگتای         | Dingtai          | 37.1925° N, 117.5111° E | ۳۰۰                         | ۵۷-۶۱٪            | ۱                | ۱۰۰۰                      | بزرگترین تولیدکننده AHSS جهانی        |
|          |                  |                           | لانیان          | Lanyan           | 36.9130° N, 117.1660° E | ۲۵۰                         | ۵۵-۵۹٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | شیجیازوانگ      | Shijiazhuang     | 38.0428° N, 114.5149° E | ۲۰۰                         | ۵۸-۶۲٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | پیزاو           | Pizhu            | 23.3643° N, 118.4166° E | ۱۵۰                         | ۵۴-۵۸٪            |                  |                           |                                       |
| هند      | ۴                | ۹,۰۰۰                     | گوآ             | Goa              | 15.4909° N, 73.8278° E  | ۳۰۰                         | ۶۰-۶۵٪            | ۳                | ۲۳۰                       | در حال پیشرفت، ولی نیاز به بهبود دارد |
|          |                  |                           | کامبا آیرون اور | Kumba Iron Ore   | 22.5363° N, 79.9686° E  | ۲۲۰                         | ۶۰-۶۵٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | بارانچادا       | Baranjada        | 22.4698° N, 80.1185° E  | ۱۵۰                         | ۵۵-۶۰٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | ساراندا         | Saranda          | 22.6247° N, 85.3609° E  | ۱۰۰                         | ۶۲-۶۸٪            |                  |                           |                                       |
| ایران    | ۵                | ۵,۰۰۰                     | گل‌گهر          | Gol-e-Gohar      | 30.2363° N, 55.9425° E  | ۱۲۰۰                        | ۶۰-۶۵٪            | ۱۰               | ۴۰                        | در حال توسعه، نیاز به پیشرفت بیشتر    |
|          |                  |                           | چادرملو         | Chadarmelo       | 30.6971° N, 55.0298° E  | ۷۰۰                         | ۶۲-۶۵٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | سنگان           | Sangun           | 33.0987° N, 60.7194° E  | ۵۰۰                         | ۵۴-۵۸٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | بافق            | Bafq             | 30.3500° N, 55.0833° E  | ۲۰۰                         | ۵۸-۶۳٪            |                  |                           |                                       |
| آلمان    | ۶                | ۳,۵۰۰                     | راینلاند باسین  | Rhineland Basin  | 50.5908° N, 6.9449° E   | ۱۵۰                         | ۵۰-۶۰٪            | ۷                | ۳۰                        | یکی از پیشرفته‌ترین تکنولوژی‌های AHSS |
|          |                  |                           | لوهربرگ         | Lohberg          | 51.5136° N, 6.7371° E   | ۱۰۰                         | ۵۰-۶۰٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | موتسفیلد        | Mutzfeld         | 50.1833° N, 6.7167° E   | ۸۰                          | ۵۵-۶۵٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | روتزلباد        | Rottelsbad       | 50.9733° N, 8.4528° E   | ۶۰                          | ۵۰-۵۴٪            |                  |                           |                                       |
| کنگو     | ۶                | ۳,۵۰۰                     | تویی            | Toyi             | 10.3849° S, 13.0966° E  | ۱۰۰                         | ۵۸-۶۲٪            | ۸                | ۵۰                        | در حال پیشرفت، ذخایر قابل توجه        |
|          |                  |                           | لوبومباشی       | Lubumbashi       | 11.6685° S, 27.4771° E  | ۲۰۰                         | ۶۰-۶۵٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | کاتانگا         | Katanga          | 8.6739° S, 26.7731° E   | ۱۵۰                         | ۵۷-۶۳٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | بونکوکو         | Bounkuku         | 3.5417° S, 11.1800° E   | ۸۰                          | ۵۶-۶۱٪            |                  |                           |                                       |
| ژاپن     | ۷                | ۱,۸۰۰                     | سوسوکی          | Sosuki           | 35.5597° N, 138.7898° E | ۵۰                          | ۵۵-۶۰٪            | ۴                | ۸۷                        | فناوری‌های بسیار پیشرفته AHSS         |
|          |                  |                           | چوبو            | Chubu            | 35.1072° N, 137.1572° E | ۸۰                          | ۵۵-۵۷٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | هیوگو           | Hyogo            | 34.6913° N, 135.1830° E | ۶۰                          | ۵۲-۶۰٪            |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | کاکوشیما        | Kagoshima        | 31.5964° N, 130.5571° E | ۴۰                          | ۵۰-۵۵٪            |                  |                           |                                       |
| کلمبیا   | ۸                | ۱,۲۰۰                     | چکو             | Cerro Matoso     | 8.1124° N, 75.4941° W   | ۸۰                          | ۴۵ - ۳۵٪          | ۱۴               | ۱۰                        | در حال توسعه                          |
|          |                  |                           | انریکه          | Enrique          | 8.2207° N, 74.8686° W   | ۵۰                          | ۴۰ - ۳۰٪          |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | لا موئرا        | La Moera         | 5.8909° N, 74.7714° W   | ۲۰                          | ۳۵ - ۳۰٪          |                  |                           |                                       |
|          |                  |                           | لامونتا         | La Monta         | 4.8697° N, 75.0788° W   | ۱۵                          | ۳۰ - ۲۵٪          |                  |                           |                                       |

همانگونه که در شکل ۱ ملاحظه می شود پراکندگی جغرافیایی معادن غنی سنگ آهن مندرج در جدول ۴، عموماً در یک نوار مورب از جنوب غرب کره زمین تا شمال شرق این کره سبز قرار دارد.



شکل ۱ پراکندگی جغرافیایی معادن غنی سنگ آهن دنیا

گذشته از شرایط طبیعی و زمین شناسی این معادن، شاخصهای زیادی برای بهره‌برداری بهینه از معادن سنگ آهن وجود دارد (سازمان زمین شناسی ایالات متحده - سالنامه مواد معدنی<sup>۸۵</sup>، انجمن جهانی فولاد<sup>۸۶</sup> و شورای بین المللی معادن و فلزات<sup>۸۷</sup>، برخط) که مهم‌ترین شاخص‌ها برای این منظور عبارتند از:

۱. کیفیت سنگ آهن: درصد خلوص و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ آهن.
۲. زیرساخت‌های حمل و نقل: دسترسی به راه‌ها، خطوط آهن و بندرها برای تسهیل صادرات.
۳. فن آوری استخراج و فرآوری: استفاده از روش‌های پیشرفته برای استخراج و پردازش مواد معدنی.
۴. سیاست‌های دولتی و قوانین محیط زیستی: وجود قوانین حمایتی و رویه‌های مناسب برای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی.
۵. نیروی کار ماهر: دسترسی به نیروی کار آموزش‌دیده و با تجربه در صنعت معدن.
۶. سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه: حمایت از نوآوری و پیشرفت‌های فناوری در صنعت معدن.
۷. مشوق‌های اقتصادی: وجود مشوق‌های متنوع برای سرمایه‌گذاران و شرکت‌ها.
۸. پیشینه تاریخی در استخراج معادن: تجربه و اطلاعات حاصل از سال‌های گذشته در زمینه استخراج و مدیریت معادن.

<sup>85</sup> - US Geological Survey (USGS) - Minerals Yearbook-

<sup>86</sup> - World Steel Association

<sup>87</sup> - International Council on Mining and Metals (ICMM)

اما سئوالی که در اینجا مطرح است این است که از دیدگاه استراتژیک چه کشورهایی حائز شاخصهای مذکور می باشند؟ عبارت دیگر مزیت نسبی کشورهای صاحب معادن سنگ آهن چیست؟ در این ارتباط به شرایط برخی کشورها در سطح دنیا پرداخته شده است. بطور مثال:

- استرالیا: بدلیل برخورداری از ذخایر بزرگ با کیفیت بالا و سرمایه گذاری بر روی زیرساختهای حمل و نقل.
- برزیل: به دلیل دارا بودن معادنی با خلوص بالا و سرمایه گذاری مناسب در فناوریهای استخراج.
- کانادا: به دلیل سرمایه گذاری بر روی زیرساختهای استخراج و سیاستهای حمایتی در بخش معدن.
- چین: بدلیل استفاده از فناوریهای پیشرفته در استخراج سنگ آهن و تربیت و بکارگیری نیروی کار ماهر.
- روسیه: بدلیل برخورداری از ذخایر عظیم با کیفیت بالای سنگ آهن.
- هند: به دلیل تدوین سیاستهای حمایتی و رو به رشد در صنعت استخراج.

این کشورها به خاطر برخورداری از شاخصهای مطلوب برای بهره برداری مؤثر از معادن سنگ آهن در موقعیتهای خوبی قرار دارند.

در نتایج حاصل از مقایسه شرایط کشورهای صاحب نام در زمینه استخراج و فرآوری سنگ آهن با شرایط اقتصادی، تکنولوژیکی و صنعتی کشور ایران همچنین مطالعات میدانی و کتابخانه ای در این حوزه بنظر می رسد، کشور ایران علی رغم قرار گیری در کانون نوار مورب معادن غنی دنیا و برخورداری از ذخایر قابل توجه سنگ آهن که خلوص آنها حدوداً بین ۵۰ تا ۶۵ درصد متغیر است و اینکه بعنوان یکی از کشورهای مهم تولیدکننده این ماده معدنی در دنیا شناخته می شود. لکن به صورت ویژه: موقعیت ایران با ۵ میلیارد تن سنگ آهن در شاخص ذخایر سنگ آهن در بین کشورهای جهان در رتبه ششم قرار دارد و از حیث تولید در بین ۱۵ کشور بزرگ تولیدکننده سنگ آهن در جهان شناخته می شود. اما ایران در زمینه فناوریهای استخراج و فرآوری سنگ آهن به روز نیست و شکاف قابل توجهی بین تکنولوژیهای موجود و تکنولوژیهای مدرن مورد نیاز این صنعت وجود دارد. شرکت های بزرگ معدنی در ایران برغم پیشینه تاریخی در استخراج معادن و برخورداری از تجربه و اطلاعات تاریخی، عموماً از روش های سنتی برای استخراج و فرآوری سنگ آهن استفاده می کنند. برای افزایش بهره وری، ضروری است که ایران به سمت فناوریهای نوین و اتوماسیون در صنعت معدن حرکت کند. همچنین در تولید فولادهای پیشرفته نیاز به سرمایه گذاری بیشتر و موثرتری دارد. از منظر زیرساختهای حمل و نقل نیز ایران به طور کلی نیازمند ارتقاء و بهبود است. اگرچه برخی مناطق دارای راه آهن های مرتبط با معادن هستند، اما بسیاری از معادن در مناطق دورافتاده قرار دارند که دسترسی به آنها نیازمند سرمایه گذاری های بیشتری دارد. بهتر شدن راه ها و خطوط انتقال می تواند به کاهش هزینه ها و افزایش بهره وری کمک کند. از دیدگاه خط مشی گذاری و تقنین، دولت ایران اقداماتی را برای تسهیل سرمایه گذاری در این بخش صورت داده است، اما متأسفانه چالش هایی نظیر بوروکراسی و پیچیدگی قوانین، بر روی جذب سرمایه گذاری تأثیرات منفی گذاشته است. همینطور در خصوص لزوم توجه به مسائل زیست محیطی و تبعات اجتماعی فعالیت های معدنی هنوز راه زیادی وجود دارد تا تأثیرات منفی کاهش یابد. از منظر نیروی کار ماهر نیز ایران دارای نیروی کار علمی و ماهر در زمینه معدن است، و دانشگاه ها، موسسات و مراکز آموزشی فضای آکادمیک مناسبی را برای این مهم فراهم نموده اند لکن لازم است تا با ایجاد پلی مستحکم بین صنعت و دانشگاه، فارغ التحصیلان دانشگاه ها با محیط کار و تکنولوژیهای جدید آشنا شده و نیروهای کار به طور مستمر باز آموزی شوند تا بتوانند به خوبی نیازهای صنعت معدن را برآورده کنند. متأسفانه ایران تاکنون به سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه در صنعت معدن کم توجه بوده و نیاز به تشویق برنامه های نوآورانه برای افزایش بهره وری و سرمایه گذاری در این بخش احساس می شود. حمایت از پروژه های تحقیقاتی و همکاری با دانشگاه ها می تواند به توسعه فناوری های جدید کمک کند.

## نتیجه گیری

آنچه در این کار پژوهشی مورد مذاقه قرار گرفت؛ مقایسه تطبیقی بین شرایط کشورهای برخوردار از منابع غنی سنگ آهن و تکنولوژیهای پیشرفته برای فرآوری آنها، با شرایط کنونی کشور ایران بوده است. برای بهبود وضعیت استخراج و فرآوری سنگ آهن در ایران و دستیابی به فولادهای با استحکام بالا (AHSS) و استفاده از آنها در صنایع، به ویژه صنعت خودرو، ۸ استراتژی کلیدی زیر متصور است:

### ۱. سرمایه گذاری در فناوری های نوین

- توسعه و به کارگیری فناوری های پیشرفته: استفاده از فناوری های نوین برای استخراج و فرآوری سنگ آهن می تواند به کاهش هزینه و افزایش بهره وری کمک کند.
- همکاری با شرکت های فناوری های خارجی: جذب سرمایه گذاری و فناوری از شرکت های پیشرو در صنعت معدن و فولاد می تواند به افزایش کیفیت و افزایش ظرفیت تولید کمک کند.

### ۲. پیشنهاد مشوق های اقتصادی و سرمایه گذاری

- ایجاد مشوق های مالی: ارائه تسهیلات و معافیت های مالی برای شرکت های خصوصی که در زمینه استخراج، فرآوری و تولید AHSS فعالیت می کنند، می تواند جذابیت سرمایه گذاری در این زمینه را افزایش دهد.
- ایجاد سرمایه گذاری مشترک: تشویق به سرمایه گذاری های مشترک بین بخش های خصوصی و دولتی برای توسعه معادن و کارخانه های فولاد.

### ۳. تقویت زیرساخت های حمل و نقل

- سرمایه گذاری در زیرساخت ها: بهبود شبکه های حمل و نقل (جاده ها و خطوط ریلی) برای تسهیل انتقال سنگ آهن و محصولات نهایی به بازارهای داخلی و خارجی.
- توسعه بندرها: بهبود بندرها برای صادرات محصولات فولادی و تأمین مواد اولیه مورد نیاز کارخانه ها.

### ۴. آموزش نیروی کار

- برگزاری دوره های آموزشی تخصصی: سرمایه گذاری در آموزش و توسعه نیروی کار متخصص در زمینه استخراج و فرآوری سنگ آهن و تولید AHSS.
- همکاری با دانشگاه ها: ایجاد همکاری های نزدیک با دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی برای تحقیقات کاربردی و توسعه دانش فنی در این حوزه.

#### ۵. پیشرفت در زمینه مدیریت و بهره‌وری

- بهبود فرآیندهای مدیریتی: استفاده از تکنیک‌های نوین مدیریتی و بهره‌وری در کارخانه‌ها و معادن برای افزایش کارایی و کاهش هدررفت منابع.
- استفاده از سیستم‌های مدیریت کیفیت: پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت کیفیت در فرآیندهای استخراج و تولید برای بهبود استانداردهای تولید و کاهش ضایعات.

#### ۶. توسعه پژوهش و نوآوری

- سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه: تشویق به تحقیق و توسعه در زمینه فناوری‌های جدید در تولید AHSS و استفاده از مواد خام با کیفیت.
- برگزاری مسابقات و برنامه‌های نوآوری: تشویق شرکت‌ها و جوانان به ارائه ایده‌های نوآورانه در زمینه بهره‌برداری از معادن و تولید فولاد.

#### ۷. توجه به الزامات محیط زیستی

- ایجاد قوانین محیط زیستی مؤثر: تدوین و اجرای قوانین محیط زیستی که به کاهش تأثیرات منفی معدن‌کاری و تولید فولاد پرداخته و در عین حال به رشد صنعتی کمک کند.
- سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز: تشویق استفاده از فناوری‌های دوستدار محیط زیست در فرآیندهای استخراج و تولید.

#### ۸. بازاریابی و دسترسی به بازارها

- توسعه استراتژی‌های بازاریابی: شناسایی بازارهای هدف برای محصولات فولادی و AHSS و توسعه استراتژی‌های فروش و بازاریابی کارآمد.
- افزایش همکاری‌های بین المللی: ایجاد همکاری‌های تجاری با کشورهایی که تقاضای بالایی برای فولاد با استحکام بالا دارند، به ویژه در صنعت خودرو.

اجرای این استراتژی‌ها می‌تواند به بهبود شرایط استخراج و فرآوری سنگ‌آهن در ایران کمک کند و زمینه موفقیتی قطعی را برای تولید فولادهای با استحکام بالا و استفاده از آن‌ها در صنایع مختلف، به ویژه صنعت خودرو فراهم آورد. هرچند همه استراتژی‌های مطرح شده دارای اهمیت بسزایی می‌باشد لکن تمرکز اصلی بایستی بر روی "سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین" و "تحقیق و توسعه" به عنوان کلیدی‌ترین استراتژی‌ها برای بهبود وضعیت استخراج و فرآوری سنگ‌آهن و دستیابی به تولید فولادهای با استحکام بالا (AHSS) در ایران باشد. دلایل این تمرکز به شرح زیر است:

➤ دلایل تمرکز بر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین:

- ✓ افزایش بهره‌وری: استفاده از فناوری‌های پیشرفته می‌تواند بهبود قابل توجهی در کارایی فرآیندهای استخراج و تولید ایجاد کند، که منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش حاشیه سود می‌شود.

- ✓ بهبود کیفیت محصول نهایی: فناوری‌های نوین می‌توانند به تولید فولادهای با استحکام بالا کمک کنند، که این نوع فولادها در صنایع مختلف، به ویژه در صنعت خودرو، تقاضای بالایی دارند.
  - ✓ کاهش تأثیرات زیست‌محیطی: فناوری‌های جدید معمولاً با مصرف انرژی کمتر و کاهش انتشار آلاینده‌ها همراه هستند، که برای رعایت الزامات زیست‌محیطی مهم است.
  - ✓ رقابتی‌تر شدن در بازار جهانی: با نوآوری و به‌کارگیری روندهای به‌روز در تولید، ایران می‌تواند در بازار جهانی فولاد و همچنین در صنعت خودرو رقابتی‌تر شود.
- دلایل تمرکز بر تحقیق و توسعه:
- ✓ ایجاد دانش و فناوری بومی: سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه به افزایش دانش فنی داخلی کمک می‌کند و از وابستگی به فناوری‌های خارجی می‌کاهد.
  - ✓ شناسایی بهینه منابع: پژوهش در زمینه استخراج و فرآوری می‌تواند به شناسایی بهترین روش‌ها برای استفاده بهینه از منابع معدنی کمک کند.
  - ✓ توسعه مواد و فرآیندهای جدید: نوآوری در مدل‌های تولید و فرآوری می‌تواند بر کیفیت و عملکرد فولادهای تولیدی تأثیرگذار باشد.
  - ✓ پایداری و توانمندی: افزایش ظرفیت پژوهش و توسعه باعث می‌شود که صنایع معدنی و فولادی کشور توانایی بیشتری در مواجهه با چالش‌ها و تغییرات بازار پیدا کنند.

تمرکز بر روی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و تحقیق و توسعه به عنوان استراتژی اصلی، می‌تواند به بهبود ظرفیت‌های استخراج و فرآوری سنگ آهن و همچنین به تولید فولادهای با استحکام بالا در ایران کمک شایانی کند. این تمرکز باید با ایجاد زیرساخت‌های مناسب، آموزش نیروی کار و تقویت همکاری‌های بین‌المللی همراه باشد تا به نتایج مطلوب دست یابیم.

## منابع:

1. American Welding Society (AWS), "Welding of Advanced High-Strength Steels", 2018.
2. Ashby, M. F. (2012). Materials selection in mechanical design. Butterworth-Heinemann.
3. Australian Government – Geoscience Australia World Steel Association. "Steel Statistical Yearbook."
4. Australian Government – Geoscience Australia. "Iron Ore." Available online.
5. China Geological Survey, "China Iron Ore Resources."
6. Colombian Ministry of Mines and Energy
7. Congo Ministry of Mines, "Iron Ore Resources in Congo."
8. Davis J. R.: "Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance". 2001- ASM International.
9. Ducker Worldwide, "The Economic Impact of Advanced High-Strength Steel in Automotive Applications", 2012.
10. Freitas, R., & Rocha, J. (2019). "Mineral Resources of Brazil." Brazilian Journal of Geology.
11. German Mining Association (VDM), "Mineral Resources in Germany."
12. <https://www.zinc.org/>
13. Indian Bureau of Mines, "Mineral Statistics."
14. International Council on Clean Transportation (ICCT), "Reducing Greenhouse Gas Emissions from Vehicles", 2014.
15. International Council on Mining and Metals (ICMM)
16. International Council on Mining and Metals (ICMM)- Mining Principles
17. Japan Iron and Steel Federation (JISF)
18. Ministry of Industry, Mine and Trade of Iran (2021). "Mining Sector Report." Available online
19. Mirzaei, A., & Saeedzadeh, A. (2020). "Iron Ore Resources in Iran: An Overview." Journal of Mining and Environment.
20. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), "The Use of Advanced High-Strength Steels in Passenger Vehicles", 2010.
21. Rudolf Reif: "Aluminum in Automotive Engineering". ASM International – 2012-ISBN: 978-1-62708-035-9
22. Russian Ministry of Natural Resources, "Iron Ore Resources in Russia."
23. Society of Automotive Engineers (SAE), "Formability of Advanced High-Strength Steels", 2016.
24. The Aluminum Association, <https://www.aluminum.org/>.
25. Titanium Metals Corporation, "Titanium in Automotive"- [www.timet.com](http://www.timet.com).
26. U.S. Department of Energy, "Lightweight Materials for Cars and Trucks", 2015.
27. United States Geological Survey (USGS) - Minerals Yearbook.
28. US Geological Survey – USGS.
29. US Geological Survey (USGS) - Minerals Yearbook- USGS Minerals Yearbook
30. US Geological Survey (USGS). "Mineral Commodity Summaries, Iron Ore."
31. Wimmer, M., & Gstöttner, J. (2016). Lightweight design in automotive engineering. Springer.
32. World Auto Steel, "Advanced High-Strength Steel (AHSS) Applications Guidelines", 2017.
33. World Bank - Overview of Colombia's Mining Sector
34. World Steel Association - Steel Insights.
35. World Steel Association, "Recycling of Steel", 2020.
36. World Steel Association.
37. [www.international-aluminium.org/](http://www.international-aluminium.org/)
38. [www.zinc.org/](http://www.zinc.org/)
39. [www.acmanet.org/](http://www.acmanet.org/)
40. [www.titanium.org/](http://www.titanium.org/)
41. [www.worldsteel.org/](http://www.worldsteel.org/)