

پتانسیل‌های کشور برای تبدیل شدن به قطب تولید فلز  
منیزیم در جهان به‌عنوان یک محصول صادرات‌محور

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی  
دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن

کد موضوعی: ۳۱۰  
شماره مسلسل: ۱۵۷۳۱  
پهمن‌ماه ۱۳۹۶

## به نام خدا

### فهرست مطالب

۱	چکیده
۱	مقدمه
۳	۱. منیزیم، فلز آینده
۶	۲. وضعیت عرضه و تقاضای منیزیم در ایران و جهان
۱۰	۳. پتانسیل‌های ایران برای تبدیل شدن به قطب تولید منیزیم جهان
۱۸	۴. بررسی تولید منیزیم از منظر اقتصادی
۲۰	۵. بررسی زیست‌محیطی صنعت تولید منیزیم
۲۱	نتیجه‌گیری و جمع‌بندی
۲۲	پیشنهادها
۲۳	منابع و مأخذ



## پتانسیل‌های کشور برای تبدیل شدن به قطب تولید فلز منیزیم در جهان به‌عنوان یک محصول صادرات‌محور

### چکیده

تقاضای جهانی برای فلز منیزیم به‌عنوان یک فلز سبک برای کاربرد در صنایع خودروسازی، هوافضا، نظامی، آلیاژسازی و ... رو به گسترش است به‌طوری که فلز منیزیم فلز آینده دنیا نامیده شده و در لیست مواد خام و فلزات استراتژیک کشورهای توسعه‌یافته از جمله اتحادیه اروپا قرار گرفته است. وجود منابع معدنی غنی منیزیم در اغلب استان‌های کشور (سنگ معدن دولومیت) و سایر منابع شورابه‌ای، امکان استفاده از انرژی پاک و ارزان گاز طبیعی، دستیابی به دانش فنی بومی، وجود نیروی انسانی ماهر و نزدیکی ایران به بازارهای جهانی، می‌تواند ایران را به یکی از قطب‌های تولید فلز منیزیم دنیا تبدیل کند. مزیت‌های ایران در مقایسه با سایر کشورهای تولیدکننده این فلز از دیدگاه منابع معدنی و انرژی قابل توجه بوده و امکان توسعه این صنعت در استان‌های کشور به‌ویژه آذربایجان شرقی و غربی، همدان، کرمانشاه، فارس، کرمان، سمنان، سیستان و بلوچستان وجود دارد. قرار گرفتن صنعت تولید منیزیم در اولویت‌های توسعه صنعتی کشور و تدوین قوانین و طرح‌های حمایتی از این صنعت، موجب تبدیل شدن ایران به قطب مهم تولید منیزیم دنیا، افزایش صادرات و ارزآوری، اشتغال‌زایی، جلوگیری از خام‌فروشی منابع انرژی، فراهم شدن امکان رشد و توسعه صنایع پیشرفته مرتبط (تولید قطعات خودرو، دفاعی و هوافضا) و تحقق اقتصاد دانش‌بنیان خواهد شد.

### مقدمه

فلز منیزیم، فلز آینده دنیاست و کشورهای اروپایی این فلز را در لیست مواد خام و فلزات استراتژیک اتحادیه اروپا قرار داده‌اند. منیزیم به‌دلیل سبک بودن و داشتن خواص مکانیکی و مقاومت حرارتی مناسب، جایگزین فلزات متداول مورد استفاده (فولاد، چدن، آلومینیم و...) در صنایع مختلف به‌ویژه صنعت خودرو شده است که موجب سبک‌تر شدن خودروها و کاهش قابل توجه مصرف سوخت می‌گردد. همچنین منیزیم و آلیاژهای آن یکی از فلزات مهم در توسعه صنایع دفاعی و هوافضا محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر، تقاضای جهانی برای منیزیم به‌ویژه در صنایع خودروسازی و صنعت تولید آلیاژهای آلومینیمی رشد قابل توجهی داشته است و پیش‌بینی می‌شود با افزایش سهم منیزیم در ساخت قطعات خودروها، درصد رشد تقاضا برای این فلز در سال‌های آینده افزایش یابد. همچنین گسترش

صنایع تولید فولاد و آلومینیم در کشورهای حاشیه خلیج فارس و استفاده از منیزیم به‌عنوان عامل گوگردزدا در صنایع فولاد و عنصر آلیاژی در صنعت آلومینیم، موجب افزایش تقاضا برای منیزیم در کشورهای منطقه نیز شده است. در حال حاضر، چین بزرگ‌ترین تولیدکننده منیزیم در جهان می‌باشد، اما به‌دلیل استفاده از زغال‌سنگ به‌عنوان منبع اصلی سوخت در واحدهای تولید منیزیم که منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود، از طرف نهادهای بین‌المللی ملزم به تعطیلی واحدهای صنعتی یا کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی شده است. با توجه به استراتژی‌های دولتی چین در خصوص تعطیلی صنایع آلاینده، به‌نظر می‌رسد که صنایعی مانند منیزیم که در مقایسه با صنایع آلومینیم و فولاد چین، صنایع کوچکی محسوب می‌شوند، از این نظر آسیب‌پذیرتر باشند که اینک بیش از ۷۰ واحد صنعتی کوچک تولید منیزیم در چین در چند سال اخیر به همین دلیل تعطیل شده‌اند.

از حدود ۶۰ ماده معدنی که منیزیم در آنها یافت می‌شود، دولومیت و منیزیت از لحاظ تجاری و صنعتی دارای اهمیت هستند. سازندهای دولومیت در بیشتر نقاط ایران در مناطق کربناته از جمله سازندهای سیبزا و شتری در ایران مرکزی، لار، الیکا و سلطانیه در البرز و خانه‌کت و بخش چمپه سازند گچساران در زاگرس موجود است. مهمترین معادن فعال دولومیت ایران در استان‌های فارس، همدان، کرمان، سمنان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی و غربی، هرمزگان، سیستان و بلوچستان قرار دارند. در حال حاضر عمده منیزیم تولید شده در جهان از منابع معدنی دولومیتی و به روش حرارتی است که نسبت به سایر منابع از مزایای زیادی برخوردار است. علاوه بر معادن دولومیت، منابع شورابه‌ای مانند: دریاچه نمک قم، دریاچه ارومیه، شورابه‌های کویر مرکزی ایران (خور بیابانک)، تلخابه‌های تولید شده در صنایع پتروشیمی و ... از جمله منابع غنی از منیزیم هستند که در گذشته عمدتاً برای تولید منیزیم به روش الکترولیز و در حال حاضر با توجه به قیمت انرژی و هزینه‌های تولید بالا، برای تولید ترکیبات منیزیمی مانند اکسید منیزیم مناسب می‌باشند.

در سال‌های اخیر با توجه به ویژگی‌های خاص منیزیم که مهمترین آن سبک بودن و نسبت وزن به استحکام بالاست، توجه خاصی به این ماده ارزشمند شده است. در سال ۲۰۱۶، میزان تقاضا برای منیزیم به‌طور متوسط در صنعت آلیاژسازی آلومینیم ۳۳ درصد، در تولید قطعات دایکست خودرو ۳۳ درصد، صنعت آهن و فولاد ۱۵ درصد و سایر (عمدتاً شامل استفاده از منیزیم به‌عنوان عامل احیاکننده در تولید فلزاتی مثل تیتانیوم و...)، ۱۹ درصد بوده که این روند تاکنون ادامه یافته است. مؤسسه مطالعات انرژی در آمریکا برآورد کرده است که با جایگزینی قطعات منیزیمی می‌توان وزن خودرو را تا ۱۸۰ کیلوگرم کاهش داد که تأثیر قابل توجهی در کاهش مصرف سوخت و آلودگی هوا دارد.

فلز منیزیم در دنیا به دو روش حرارتی و الکترولیزی تولید می‌شود که با توجه به نوع انرژی مصرفی، روش حرارتی از برتری ویژه‌ای برخوردار است و بر همین اساس، کشور چین توانسته است



سهام عمده تولید منیزیم جهان را به خود اختصاص دهد و در رقابت با تولیدکنندگان اروپایی و آمریکایی که از روش الکترولیزی (انرژی الکتریکی) بهره می‌برند، پیروز شود. در حال حاضر ۸۰ درصد تولید منیزیم دنیا به روش حرارتی و عمدتاً در چین انجام می‌شود.

به دلیل مزیت‌های ایران در زمینه منابع معدنی، انرژی، دانش فنی و نیروی انسانی، اولین واحد صنعتی تولید منیزیم در کشور در سال ۱۳۹۳ در شهرستان فردوس استان خراسان جنوبی با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و بهره‌گیری از دانش فنی بومی طراحان و مهندسان داخلی به بهره‌برداری رسیده و ظرفیت آن ۶,۰۰۰ تن در سال است که بجز بخش محدودی از محصولات تولیدی این کارخانه که برای مصارف داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، عمده تولید این محصول به کشورهای مختلف صادر می‌شود.

در گزارش پیش رو سعی شده است منیزیم و کاربردهای آن به‌عنوان فلز آینده دنیا معرفی و وضعیت عرضه و تقاضای منیزیم در جهان مورد بررسی قرار گرفته، پتانسیل‌ها و مزیت‌های ایران برای تبدیل شدن به قطب تولید منیزیم جهان و نتایج حاصل از آن ذکر شده است. بررسی تولید منیزیم از منظر اقتصادی و زیست‌محیطی و ارائه پیشنهادهایی درخصوص هموار کردن مسیر توسعه صنعت تولید منیزیم بخش پایانی این گزارش را تشکیل می‌دهد.

## ۱. منیزیم، فلز آینده

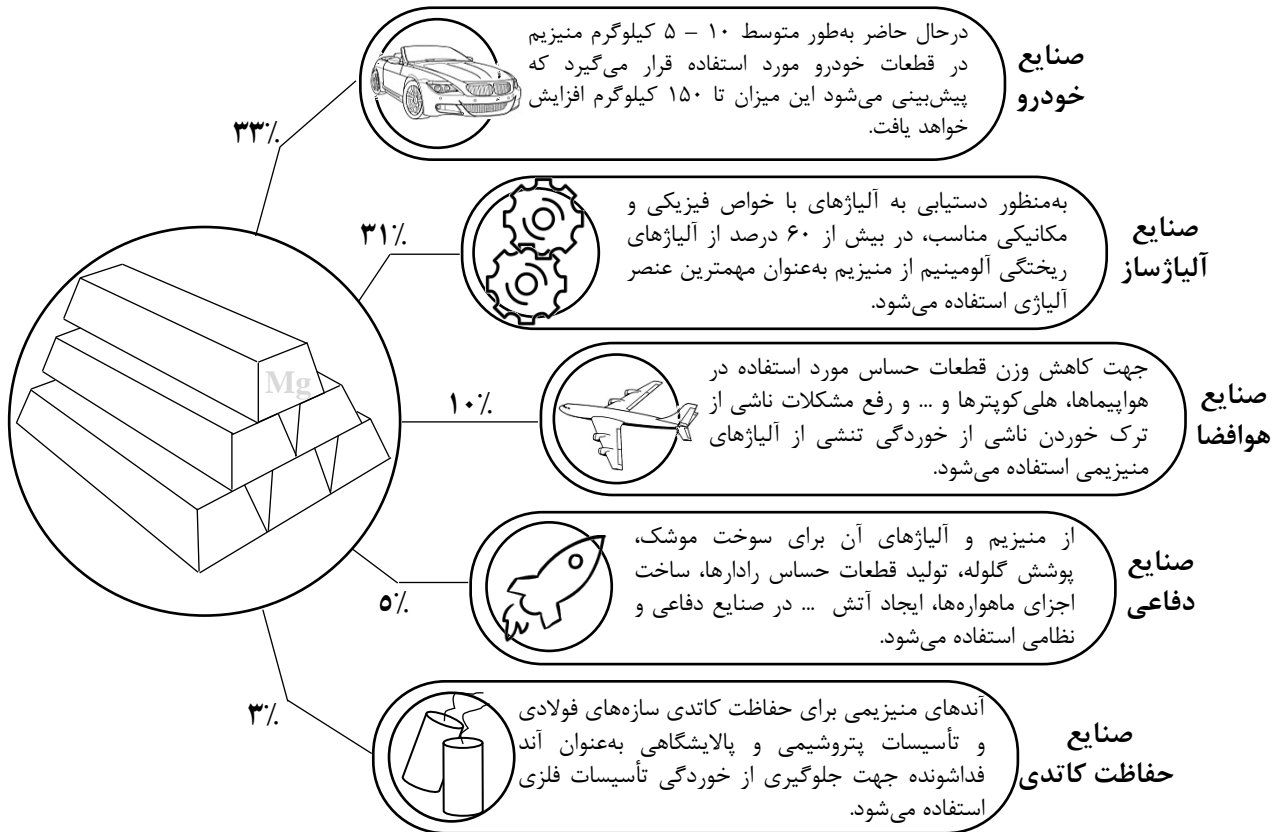
### ۱-۱. ویژگی‌های منحصر به فرد منیزیم

فلز منیزیم علاوه بر سبک بودن، از ظرفیت جذب انرژی بالایی برخوردار بوده و به آسانی ماشین‌کاری و به روش ریخته‌گری یا فرایندهای شکل‌دهی داغ به اشکال مختلف تبدیل می‌شود. بنابراین فلز منیزیم در بسیاری از کاربردها که داشتن وزن پایین مدنظر است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صنایع خودروسازی با کاهش وزن و در نتیجه کاهش انرژی شتاب‌دهی، عملکرد خودرو بهبود می‌یابد. به‌علاوه کاهش مصرف سوخت و کاهش تولید گاز دی‌اکسید کربن از دیگر مزیت‌های استفاده از آلیاژهای منیزیمی در قطعات خودرو است. در گذشته آلیاژهای منیزیمی مشکلات زیادی درخصوص خواص مکانیکی، قابلیت جوشکاری و فرآیندپذیری داشتند که هم‌اکنون با پیشرفت و توسعه آلیاژهای مختلف منیزیمی و تحقیق و توسعه در این زمینه این مشکلات برطرف شده‌اند و صنایع هوایی و خودروسازی به‌شدت به دنبال جایگزینی قطعات فولادی و آلومینیومی با قطعات منیزیمی هستند.

## ۱-۲. کاربردهای منیزیم در صنایع مختلف

شکل ۱، مهمترین کاربردهای منیزیم و آلیاژهای آن را نشان می‌دهد.

شکل ۱. کاربردهای مهم فلز منیزیم و آلیاژهای آن در صنایع مختلف



صنایع خودروسازی، صنایع تولید آلیاژهای آلومینیمی، صنایع دفاعی، نظامی و هوافضا و صنایع حفاظت کاتدی از جمله مهمترین متقاضیان مصرف منیزیم و آلیاژهای آن هستند. یکی دیگر از مهمترین ویژگی‌های منیزیم و آلیاژهای آن قابلیت بازیافت آسان قراضه‌های منیزیمی است که می‌توان با روش‌های ذوب، تصفیه و ریخته‌گری مجدداً از آن برای تولید قطعات منیزیمی استفاده کرد. بنابراین توسعه صنعت تولید محصولات منیزیمی موجب توسعه صنعت بازیافت قراضه‌های منیزیمی و تولید قطعات صنعتی نیز خواهد شد.

## ۱-۳. نقش منیزیم در سبک‌سازی خودروها و کاهش مصرف سوخت

در حال حاضر در خودروهای معمولی به‌طور متوسط از ۹۷۲ کیلوگرم فولاد و چدن، ۱۲۶ کیلوگرم آلومینیم، ۱۱۵ کیلوگرم پلیمر و کامپوزیت، ۱۱۲ کیلوگرم شیشه و لاستیک، ۱۰ - ۵ کیلوگرم منیزیم



و ۱۹۰ کیلوگرم سایر مواد استفاده می‌شود که این امر با جایگزینی آلیاژهای منیزیومی به جای فولاد و آلومینیم و بعضاً پلاستیک‌ها و کامپوزیت‌ها، موجب کاهش جرم خودرو تا ۱۵ درصد می‌شود. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده درخصوص تقاضا برای مصرف منیزیم در صنعت خودرو، پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۲۰ کشورهای اروپایی با ۳ درصد رشد به ۶۵,۰۰۰ تن و آمریکا با رشد ۵ درصدی، به بیش از ۷۵,۰۰۰ تن منیزیم و آلیاژهای آن برای صنایع خودروسازی نیاز خواهند داشت. با پیشرفت روش‌های تولید فلز منیزیم که قابل اطمینان و دوستدار محیط زیست باشند، در خارج از کشور چین، تقاضا برای آلیاژهای منیزیم برای بازارهای صنایع خودرو در اروپا و آمریکا افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی اجزایی از خودرو که از فلز منیزیم در ساخت آنها استفاده می‌شود عبارتند از: چرخ‌ها، غربیلک‌های فرمان، غربیلک‌های نگهدارنده، درها و قاب آنها، پوشش سوپاپ و قاب‌های صندلی. پیش‌بینی شده است که میزان استفاده از منیزیم به جای فولاد و آلومینیم در خودروها تا سال ۲۰۲۵ به ۱۵۰ کیلوگرم خواهد رسید که این امر موجب کاهش تولید گاز دی‌اکسید کربن از ۱۲۰ گرم بر کیلومتر به ۹۵ گرم بر کیلومتر می‌شود. در حال حاضر صنایع خودروسازی ۳۳ درصد کل مصرف منیزیم را در دنیا به خود اختصاص داده است.

#### ۴-۱. نقش منیزیم در صنایع دفاعی و هوافضا

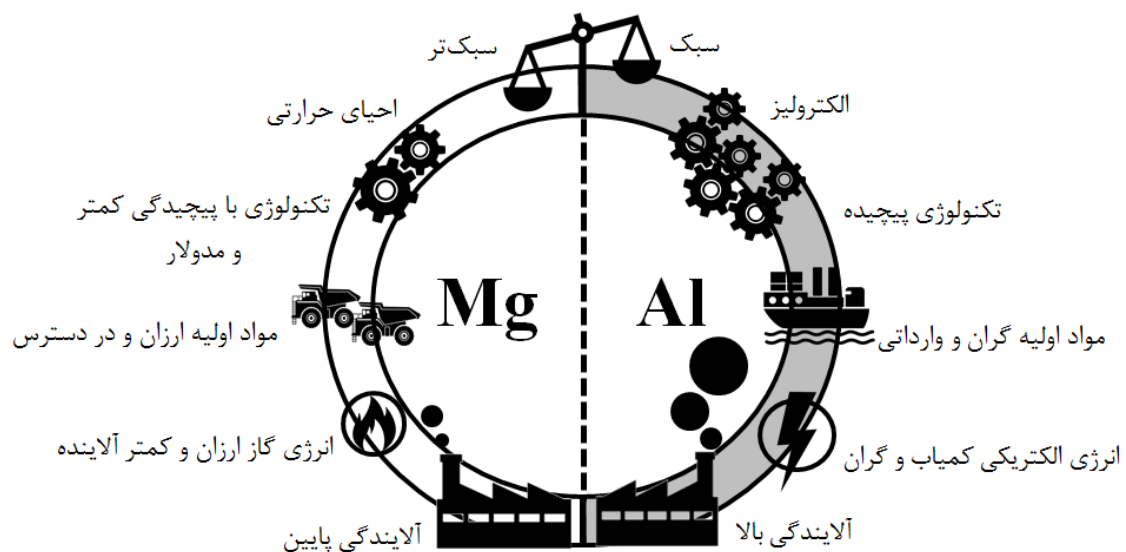
صنعت هوافضا برای کاهش وزن ترکیبات حساس خود از قطعات ریختگی آلیاژهای منیزیومی استفاده می‌کند. آلیاژهای منیزیم به‌طور گسترده برای پوشش موتور و گیربکس و سیستم انتقال قدرت هواپیماها و هلی‌کوپتر و با عملکرد مناسب در دماهای بالای ۱۵۰ درجه سانتیگراد در هواپیماهای جنگی و غیرنظامی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین آلیاژهای منیزیم به‌عنوان سبک‌ترین مواد کاربردی در دسترس، در ساخت اجزای ماهواره‌ها از شروع اولین برنامه‌های فضایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از آلیاژهای منیزیومی در پوشش گلوله، ماشین‌های زرهی، تجهیزات رادار و تجهیزات زمینی قابل حمل، پودرهای اتمیزه و ریزمنیزیم در صنایع دفاعی، توپخانه‌ها و ایجاد آتش صورت می‌گیرد. نور شدید حاصل از سوختن منیزیم برای روشن‌سازی مناطق نظامی کاربرد دارد. پروژه‌های جدید دفاعی در حال ارزیابی استفاده از آلیاژهای جدید منیزیم هستند.

#### ۵-۱. روند جایگزینی آلیاژهای منیزیومی با فولاد و آلومینیم

مقایسه خواص، فرآیند و تکنولوژی تولید، مواد اولیه، انرژی مورد نیاز برای تولید و مسائل زیست‌محیطی، نشان می‌دهد که ایران از ظرفیت‌های بهتری برای تولید منیزیم در مقایسه با آلومینیم برخوردار است. همچنین روند جایگزینی منیزیم و آلیاژهای آن به جای آلومینیم در صنعت به‌ویژه

صنایع خودروسازی اهمیت این مسئله را دوچندان می‌سازد. منیزیم نسبت به آلومینیم ۳۰ درصد سبک‌تر بوده و فرآیند تولید آن دارای پیچیدگی کمتری است. انرژی مورد استفاده برای تولید منیزیم، گاز طبیعی می‌باشد که علاوه بر ارزان و در دسترس بودن در کشور، آلاینده‌گی کمتری دارد. مواد اولیه تولید منیزیم (دولومیت) در ایران فراوان، ارزان و در دسترس می‌باشد و این درحالی است که مواد اولیه تولید آلومینیم (بوکسیت) عمدتاً گران و وارداتی است.

## شکل ۲. مقایسه مزیت‌های تولید منیزیم در مقایسه با آلومینیم در ایران



## ۲. وضعیت عرضه و تقاضای منیزیم در ایران و جهان

### ۲-۱. تاریخچه مختصر تولید منیزیم در دنیا

منیزیم ابتدا به‌عنوان یک عنصر توسط بلک در سال ۱۷۵۵ شناسایی و برای اولین بار در سال ۱۸۰۸ توسط دیوی به روش الکترولیز کلرید منیزیم توسط کاتد جیوه تولید شد. بوسی، در سال ۱۸۲۸ به روش احیای کلرید منیزیم مذاب با بخار پتاسیم، موفق به استخراج منیزیم شد. در سال ۱۸۳۳، فارادی، کلرید منیزیم مذاب را الکترولیز نموده و منیزیم مذاب و گاز کلر تولید کرد. اولین تولید صنعتی منیزیم به‌وسیله الکترولیز کارنالیت مذاب به سال ۱۸۸۶ در هملینگن آلمان باز می‌گردد تا اینکه در سال ۱۹۴۰، ال ام پیگون اولین کارخانه استخراج منیزیم به روش متالوترمی را در کانادا پایه‌گذاری کرد که براساس نخستین اختراعات آلمانی، بنیان نهاده شد که در آنها دولومیت توسط فروسیلیس تحت خلأ احیا شد.



در دهه‌های گذشته بزرگترین تولیدکننده جهانی منیزیم کشور آمریکا (روش الکترولیز) بود، ولی در سال‌های اخیر با گسترش روش‌های حرارتی، کشور چین تبدیل به بزرگترین تولیدکننده جهانی منیزیم شده است. کشور چین با تولید بیش از ۹۰۰ هزار تن در سال بزرگترین تولیدکننده منیزیم است و بیش از ۸۵ درصد بازار جهانی منیزیم را در دست دارد. در عین حال بسیاری از واحدهای تولیدکننده منیزیم به روش الکترولیز در کشورهای اروپایی و آمریکا تعطیل شده‌اند و تنها واحدهای باقی‌مانده در ایالات متحده آمریکا با وجود هزینه‌های تولید بالا، با هدف تأمین نیازهای صنایع نظامی و دفاعی این کشور به فعالیت ادامه می‌دهند.

## ۲-۲. عرضه و تقاضای جهانی منیزیم و آلیاژهای آن

رشد تولید جهانی منیزیم در سال‌های اخیر به‌طور عمده وابسته به توسعه تکنولوژی و صنعت خودروسازی بوده است. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مؤسسات معتبر بین‌المللی، رشد تولید جهانی منیزیم در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۸ درصد خواهد رسید. همچنین پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۰ میزان تولید منیزیم در جهان به بالای ۱,۲۰۰,۰۰۰ تن در سال برسد (در حال حاضر میزان تولید منیزیم در جهان ۱ میلیون تن است که به‌طور عمده توسط کشور چین تولید می‌شود). عمده تقاضا برای فلز منیزیم در صنایع خودروسازی (قطعات دایکست) و آلیاژسازی (آلیاژهای آلومینیم) می‌باشد که این امر در کشورهای اروپایی و آمریکا بیشتر از سایر کشورهاست.

تولید منیزیم در جهان به‌طور عمده (۸۵ درصد) در کشور چین و ۱۵ درصد در کشورهای چون ایالات متحده آمریکا، روسیه، برزیل، اوکراین، مالزی و رژیم صهیونیستی انجام می‌شود. جدول زیر آمار تولید منیزیم دنیا را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد.

جدول ۱. روند تولید منیزیم در دنیا در سال‌های اخیر

کشور / سال	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
تولید سالیانه منیزیم (تن)								
آمریکا	W	W	W	W	W	W	W	W
برزیل	۱۶,۰۰۰	۱۶,۰۰۰	۱۶,۰۰۰	۱۶,۰۰۰	۱۶,۰۰۰	۱۶,۰۰۰	۱۵,۰۰۰	۱۵,۰۰۰
چین	۵۰۱,۰۰۰	۶۵۴,۰۰۰	۶۶۱,۰۰۰	۶۹۸,۰۰۰	۷۷۰,۰۰۰	۸۷۴,۰۰۰	۸۵۲,۰۰۰	۸۸۰,۰۰۰
رژیم صهیونیستی	۱۹,۴۰۵	۲۳,۳۰۹	۲۶,۲۸۴	۲۷,۲۹۲	۲۸,۰۰۰	۲۶,۰۰۰	۱۹,۰۰۰	۲۵,۰۰۰
قزاقستان	۲۱,۰۰۰	۲۱,۰۰۰	۲۱,۰۰۰	۲۱,۰۰۰	۲۱,۰۰۰	۲۰,۰۰۰	۸,۰۰۰	۱۰,۰۰۰
ترکیه	-	-	-	-	-	-	۴,۰۰۰	۶,۰۰۰
روسیه	۲۹,۰۰۰	۲۹,۰۰۰	۲۹,۰۰۰	۲۰,۰۰۰	۳۲,۰۰۰	۱۸,۰۰۰	۶۰,۰۰۰	۶۰,۰۰۰
کره جنوبی	-	-	-	۲,۵۰۰	۷,۵۰۰	۱۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰
اوکراین	۲,۰۰۰	۲,۰۰۰	۲,۰۰۰	۲,۰۰۰	-	۷,۰۰۰	۸,۰۰۰	۸,۰۰۰
جمع	۵۸۸,۴۰۰	۷۴۵,۳۰۰	۷۵۵,۳۰۰	۷۸۶,۸۰۰	۸۷۴,۵۰۰	۹۷۱,۰۰۰	۹۷۶,۰۰۰	۱,۰۱۰,۰۰۰

همچنین پیش‌بینی شده است که با در نظر گرفتن رشد صنایع مختلف به‌ویژه صنایع خودروسازی و آلیاژسازی که بخش عمده بازار منیزیم را به خود اختصاص داده‌اند، میزان تقاضا برای تولید فلز منیزیم تا سال ۲۰۲۰ به بیش از ۱,۲۰۰,۰۰۰ تن خواهد رسید. بیشترین میزان واردات منیزیم در جهان توسط کشورهای آمریکا، کانادا، آلمان، ژاپن، انگلیس، مکزیک، کره جنوبی، فرانسه، هلند، برزیل، هند، ایتالیا، اتریش و نروژ صورت می‌گیرد که این میزان بیش از ۵۰۰ هزار تن در سال ۲۰۱۴ بوده است. میزان واردات منیزیم در کشورهای اروپایی در مجموع بیش از ۲۳۰,۰۰۰ تن و در کشورهای حاشیه خلیج فارس و ترکیه بیش از ۳۰,۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۴ بوده است.

### ۲-۳. تحلیل بازار جهانی منیزیم

تولید منیزیم در چین به روش حرارتی (احیای سیلیکوترمی منیزیم) با استفاده از ماده اولیه دولومیت و سوخت زغال‌سنگ و در کشورهای دیگر عمدتاً با استفاده از روش الکترولیز و ماده اولیه شوره‌ابه انجام می‌شود. روش سیلیکوترمی به دلیل انرژی‌بر بودن روشی است که در کشورهای توسعه‌یافته توجیه اقتصادی ندارد، از طرفی، کشور چین با توجه به پیشرفت‌هایی که در این سال‌ها داشته است، خود به یکی از بزرگترین بازارهای مصرف منیزیم تبدیل شده است. از دیگر مشکلاتی که صنعت منیزیم چین با آن روبرو است مباحث مشکلات زیست‌محیطی و فشارهای مجامع بین‌المللی برای کنترل آلاینده‌ها و صنایع انرژی‌بر می‌باشد. با توجه به ماهیت فرآیند تولید منیزیم به روش سیلیکوترمی مصرف بالای انرژی امری اجتناب‌ناپذیر در این فرآیند است و در کشورهایی که هزینه‌های انرژی پایین می‌باشد، توجیه اقتصادی دارد.

تمامی منیزیم مورد استفاده در کشورهای چین و روسیه در داخل کشورهای مذکور تولید می‌شوند و کل تولیدات منیزیم آمریکا نیز به صورت داخلی مصرف می‌شود. بیشترین میزان صادرات منیزیم به آمریکا از طریق روسیه و رژیم اشغالگر قدس انجام می‌شود. همچنین تمامی منیزیم تولید شده در کشور برزیل در خود این کشور مصرف می‌شود. در این میان، چین تنها کشور صادرکننده منیزیم به کشورهای اتحادیه اروپا است و کشور ژاپن نیز تقریباً تمام منیزیم مورد نیاز خود را از چین تأمین می‌کند. منیزیم مورد نیاز سایر کشورهای جهان تقریباً فقط از طریق چین تأمین می‌شود. هیچ تولیدکننده منیزیمی در کشورهای اروپایی وجود ندارد و اکثر واحدهای صنعتی موجود نیز تعطیل شده‌اند. بیشترین میزان واردات منیزیم و آلیاژهای منیزیمی در جهان مربوط به کشورهای آمریکا، کانادا، آلمان، ژاپن، انگلیس، مکزیک، کره جنوبی، فرانسه، هلند و ... است که در مجموع به ۴۰۰ هزار تن در سال می‌رسد. همچنین کشورهای حاشیه خلیج فارس و ترکیه سالیانه بیش از ۳۰ هزار تن منیزیم و آلیاژهای منیزیمی وارد می‌کنند.



دورنمای صنعت منیزیم با در نظر گرفتن شرایط بازار تولید و مصرف و نیز وجود مشکلات ذکر شده در صنعت چین، به سمت کشورهای در حال توسعه‌ای می‌رود که به منابع انرژی دسترسی داشته باشند و بتوانند با هزینه پایین انرژی، محصول قابل رقابت تولید کنند که منطقه خاورمیانه به‌عنوان قطب انرژی جهان بهترین موقعیت از این حیث را دارا است. صنعت چین خود به‌عنوان یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان منیزیم در سال‌های آتی است و از طرفی میل صنایع مختلف به‌ویژه خودروسازی و آلیاژسازی به استفاده بیش از پیش منیزیم باعث شده که آینده روشنی برای صنعت منیزیم پیش‌بینی شود.

#### ۴-۲. عرضه و تقاضای منیزیم در ایران

یک کارخانه تولید شمش منیزیم در استان خراسان جنوبی، تنها واحد صنعتی تولیدکننده شمش منیزیم در کشور است که با تکیه بر دانش بومی و بهره‌گیری از متخصصان داخلی در سال ۱۳۹۳ به بهره‌برداری رسیده است. ظرفیت اسمی این کارخانه، تولید ۶,۰۰۰ تن منیزیم در سال می‌باشد که طبق اطلاعات موجود، هم‌اکنون با نیمی از ظرفیت خود در حال فعالیت است. طبق آمار اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران، میزان واردات منیزیم به کشور با کد تعرفه‌های گمرکی ۸۱۰۴۱۱۰۰ (منیزیم و مصنوعات از منیزیم دارای حداقل ۹۹/۸ درصد منیزیم) و ۸۱۰۴۱۹۰۰ (سایر محصولات و مصنوعات منیزیومی) در مجموع از مقدار ۵۱۸ تن در سال ۱۳۸۸ به میزان ۹۱۸ تن در سال ۱۳۹۵ رسیده است. این در حالی است که از سال ۱۳۹۳ بخشی از مصرف داخلی منیزیم (آلیاژسازی آلومینیم) توسط کارخانه شمش منیزیم واقع در استان خراسان جنوبی تأمین شده و بخش عمده‌ای از تولیدات این واحد به کشورهای آلمان و جمهوری چک صادر شده است. بنابراین با توجه به این آمار میزان تقاضای منیزیم کشور سالانه نزدیک به ۱,۰۰۰ تن برآورد می‌شود.

براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته، میزان تقاضای منیزیم در صنعت خودرو و آلیاژسازی آلومینیم رو به رشد بوده و میزان واردات منیزیم نیز گویای این مسئله است. پیش‌بینی می‌شود نیاز کشور به منیزیم تا سال ۱۴۰۰ با رشد جایگزینی قطعات منیزیومی در صنایع خودرو و تولید آلیاژهای آلومینیمی در صنایعی چون آلومینیم جنوب، المهدی و ایرالکو، به بیش از ۴,۰۰۰ تن در سال برسد. راه‌اندازی واحدهای صنعتی تولید منیزیم در کشور به‌دلیل مزیت‌های ایران در این صنعت، علاوه بر امکان تأمین تقاضای داخلی، فرصت صادرات این محصول به کشورهای اروپایی و حاشیه خلیج فارس را که سالانه مجموعاً بیش از ۲۵۰,۰۰۰ تن تقاضای منیزیم دارند، فراهم می‌سازد.

## ۵-۲. منیزیم به عنوان یک محصول صادراتی

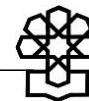
علی‌رغم سبک و استراتژیک بودن فلز منیزیم و کاربردهای فراوان آن در صنایع کشور و همچنین وجود منابع اولیه فراوان آن در ایران، متأسفانه به دلایل تکنولوژیک (به این دلیل که جزو اولویت‌های صنعتی، تحقیقاتی و پژوهشی در کشور نبوده و تنها در سال‌های اخیر تا حدی به آن توجه شده است)، تاکنون توجه جدی به توسعه این صنعت نشده و در این زمینه اقدام چشمگیری از سوی نهادهای سیاستگذار، تقنینی و اجرایی صورت نپذیرفته است.

توجه به تولید مواد خام استراتژیکی مانند منیزیم در فضای صنایع پیشرفته یکی از عوامل تأثیرگذار بر اقتصاد کشورهای پیشرفته و در حال توسعه است، اما نقش حیاتی مواد غیرانرژی به همان اندازه به فراموشی سپرده می‌شود. باید توجه داشت که مواد معدنی و فلزات نقش مهمی در توسعه تکنولوژی‌های مدرن مانند تولید خودروهای پیشرفته با میزان کارآیی بالا و مصرف انرژی پایین دارند. در این راستا کشور ایران به دلیل دارا بودن منابع انرژی فسیلی (گاز طبیعی) و همچنین مواد اولیه فرآیند تولید منیزیم می‌تواند در جهت تولید منیزیم مورد نیاز کشور و همچنین صادرات منیزیم به کشورهای اروپایی گام بردارد. همچنین با توجه به مقایسه فرآیند، میزان سرمایه‌گذاری، مسائل زیست‌محیطی و ... تولید منیزیم با دیگر فلزات رقیب، این نتیجه حاصل می‌شود که فلز منیزیم با استفاده از مواد اولیه ارزان و فراوان در داخل کشور، فرآیند تولید نسبتاً ساده در مقایسه با فلزات دیگر، نیاز به مصرف انرژی پایین‌تر و حجم سرمایه‌گذاری پایین و ... نسبت به سایر محصولات رقیب بتواند در کشور تولید شود. کشور ایران به دلیل نزدیکی به اتحادیه اروپا می‌تواند یکی از صادرکنندگان منیزیم به این کشورها باشد. بررسی آمار مربوط به نیاز اتحادیه اروپا به منیزیم با توجه به گسترش و توسعه صنایع مربوطه به‌ویژه صنعت خودروسازی و هوافضا نشان می‌دهد که این کشورها بازار مناسبی برای صادرات منیزیم به‌شمار می‌روند.

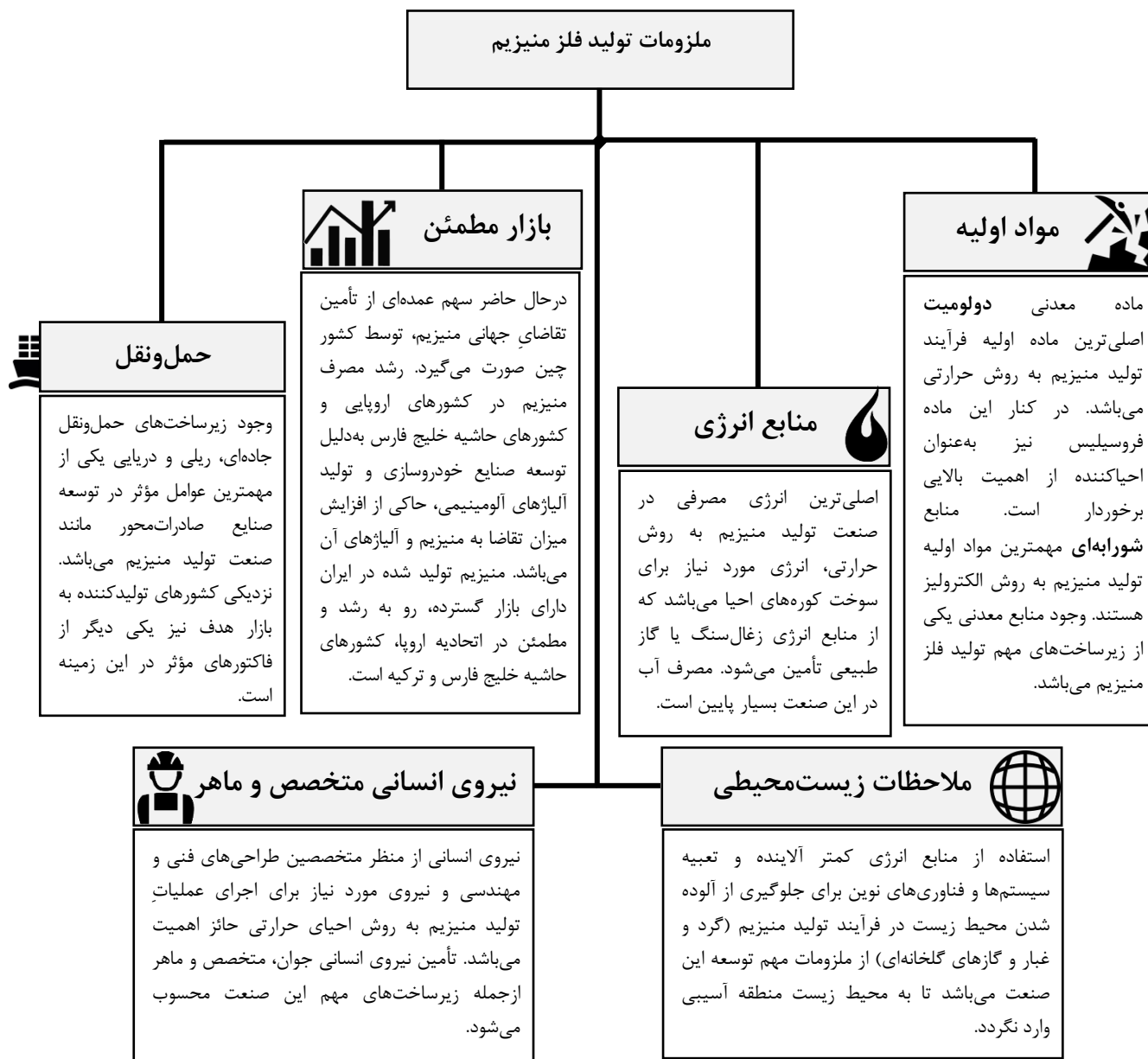
## ۳. پتانسیل‌های ایران برای تبدیل شدن به قطب تولید منیزیم جهان

### ۳-۱. زیرساخت‌های مورد نیاز برای تولید منیزیم

مواد اولیه، منابع انرژی، بازار مصرف مطمئن، دسترسی به زیرساخت‌های حمل‌ونقل ریلی و دریایی، وجود نیروی انسانی جوان و ماهر و وجود راهکارهای جلوگیری از آلودگی محیط زیست در راستای توسعه پایدار، از جمله مهمترین زیرساخت‌های مورد نیاز برای تولید منیزیم است. کشورهای مختلف جهان با توجه به میزان نقاط قوت و مزایای نسبی خود در هر کدام از موارد فوق می‌توانند پتانسیل بالقوه‌ای برای توسعه صنعت تولید منیزیم و آلیاژهای آن باشند. شکل زیر مهمترین ملزومات تولید منیزیم را نشان داده است.



شکل ۳. مهمترین ملزومات توسعه صنعت منیزیم



### ۲-۳. بررسی پتانسیل‌های بالقوه ملی و منطقه‌ای کشور برای تولید منیزیم

کشور ایران به دلیل داشتن منابع معدنی و انرژی عظیم و موقعیت ژئوپلیتیکی مناسب در جهان می‌تواند به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم صنایع انرژی‌بر در خاورمیانه و جهان بدل شود. حرکت از خام‌فروشی به سمت تولید محصولات با ارزش افزوده بالا و صادرات محور، موجب وارد شدن ایران به لیست کشورهای تولیدکننده محصولات استراتژیکی چون منیزیم و آلیاژهای آن خواهد شد و علاوه بر ایجاد اشتغال، افزایش تولید ناخالص داخلی و ارزآوری موجب توسعه صنایع پایین‌دست محصولات منیزیمی مانند واحدهای صنعتی تولید قطعات خودرو و صنایع هوافضا خواهد شد. همچنین به دلیل

رشد و توسعه صنعت تولید آلومینیم و آلیاژهای آلومینیمی در کشور که تولید ۱ میلیون تنی برای آن پیش‌بینی شده است، توسعه صنعت منیزیم در کشور موجب تأمین ماده اولیه مورد نیاز برای تولید آلیاژهای آلومینیمی با ارزش افزوده بالا و تکمیل چرخه این صنعت خواهد شد.

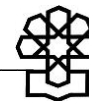
از مزیت‌ها و پتانسیل‌های بالقوه ملی و منطقه‌ای در ایران برای تولید منیزیم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مواد اولیه و منابع معدنی با کیفیت، فراوان و در دسترس،
- وجود منابع انرژی پاک و ارزان (گاز طبیعی)،
- در دسترس بودن دانش فنی بومی شده تولید منیزیم (متخصصین داخلی)،
- وجود نیروی انسانی جوان، متخصص و ماهر،
- نزدیکی ایران به بازارهای هدف منیزیم دنیا و هزینه‌های پایین حمل‌ونقل.

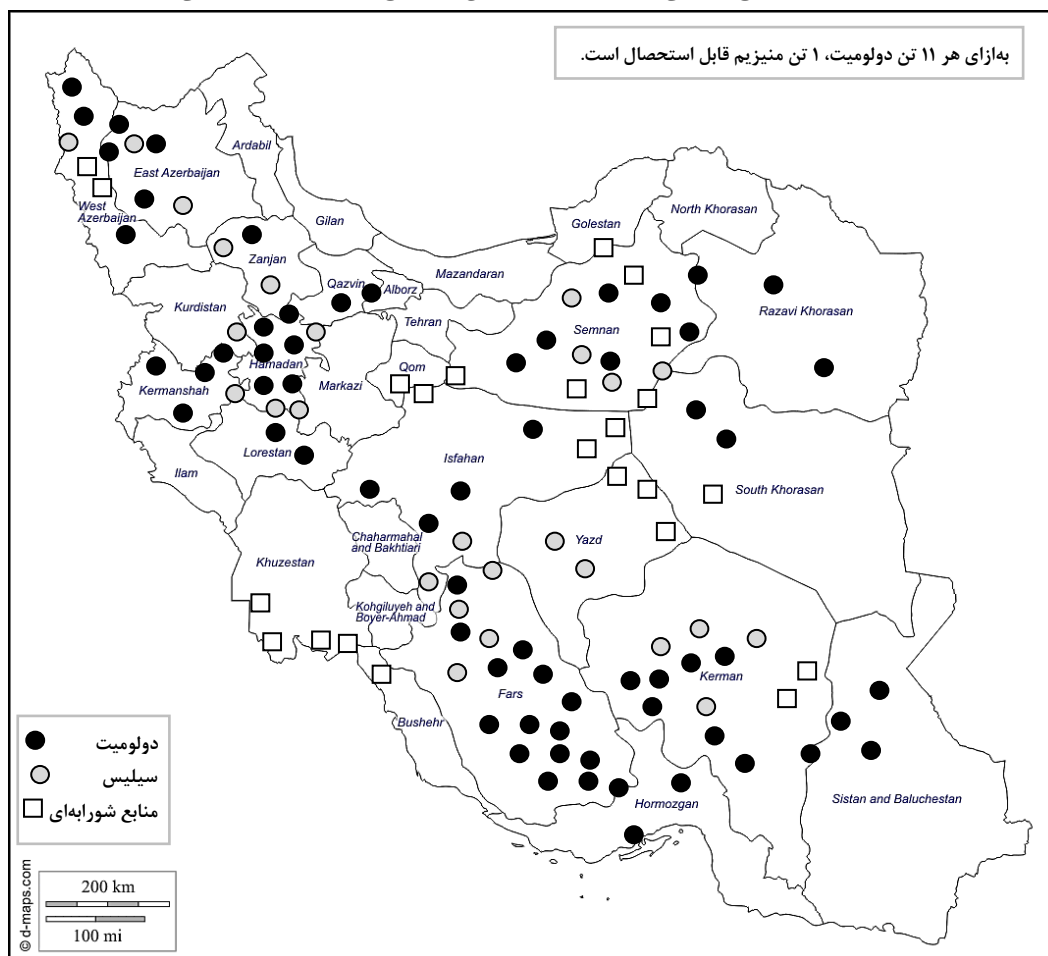
### ۳-۲-۱. مواد اولیه و منابع معدنی

منابع اولیه و معدنی مورد نیاز برای تولید منیزیم به صورت گسترده‌ای در کشور وجود دارد. استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، کرمان، همدان، فارس، سمنان و کرمانشاه دارای معادن دولومیت و سیلیس (مناسب برای تولید فروسیلیس) با ذخایر گسترده می‌باشند که برای فرآیند تولید منیزیم به روش حرارتی مناسب است. همچنین وجود منابع شورابه‌ای در استان‌های آذربایجان غربی، سمنان، اصفهان، یزد، خوزستان و قم به عنوان ماده اولیه فرآیند تولید منیزیم به روش الکترولیز مطرح هستند.

شکل ۴، وضعیت توزیع معادن دولومیت، سیلیس و منابع شورابه‌ای را در کشور نشان می‌دهد. دولومیت و سیلیس مواد معدنی در دسترس و با قیمت پایین می‌باشند که ایران را به یکی از کشورهای مستعد برای تولید فلز منیزیم در دنیا بدل ساخته است. استفاده از این منابع معدنی به همراه تبدیل گاز به محصولات با ارزش افزوده بالا و صادرات محور، موجب توسعه صنعت تولید منیزیم و سایر صنایع وابسته (قطعه‌سازی و تولید فروسیلیس) در استان‌های کشور خواهد شد.



شکل ۴. توزیع معادن دولومیت، سیلیس و منابع شورابه‌ای در ایران



مأخذ: نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

جدول ۲، بخشی از معادن مهم دولومیت ایران را نشان می‌دهد که ذخایر عظیم دولومیت مناسب برای فرآیند تولید شمش منیزیم در آن وجود دارد. دولومیت با کیفیت مناسب برای فرآیند تولید شمش منیزیم، بایستی دارای درصد اکسید منیزیم در محدوده ۲۱ - ۱۹ درصد وزنی بوده و میزان ناخالصی‌های آن (سیلیس، اکسید آلومینیم، اکسیدهای آهن، گوگرد و...) کمتر از ۲ درصد بوده و دارای خواص مکانیکی مطلوب و استحکام کافی جهت پخت در کوره باشد.

فروسیلیس یکی دیگر از مواد اولیه اصلی در تولید منیزیم است. احداث واحد صنعتی تولید فروسیلیس در کنار کارخانه تولید منیزیم می‌تواند علاوه بر فراهم شدن امکان تأمین یکی از مواد اولیه مهم فرآیند از داخل کارخانه، موجب توسعه صنعت تولید فروآلیاژها در کشور شود. فروآلیاژها مانند فروسیلیس کاربردهای گسترده‌ای در تولید آهن و فولاد و صنایع شیشه دارند و با توجه به گسترش تولید فولاد در ایران و کشورهای همسایه، صنعت تولید فروسیلیس می‌تواند بخشی از نیازهای کشور به این ماده را تأمین کرده و به کشورهای حاشیه خلیج فارس صادر شود.

جدول ۲. نمونه‌ای از توزیع استانی معادن دولومیت ایران

ردیف	استان	شهرستان	نام معدن
۱	آذربایجان شرقی	جلفا	جلفا
۲	آذربایجان شرقی	صوفیان	خواجهمرجان
۳	آذربایجان غربی	قره‌ضیاءالدین	قره‌ضیاءالدین - بابل آباد
۴	آذربایجان غربی	ماکو	ماکو - آداغان
۵	خراسان شمالی	جاجرم	جاجرم
۶	خراسان رضوی	تربت حیدریه	کمرشیر
۷	زنجان	سلطانیه	سلطانیه
۸	سمنان	مهدی‌شهر	لاوه‌دار
۹	سمنان	مهدی‌شهر	کرکوه
۱۰	فارس	استهبان	خانه‌کت
۱۱	فارس	لامرد	گچساران (چمپه)
۱۲	قزوین	آبگرم	آبگرم و مصرآباد و لک
۱۳	کرمان	کرمان	کاظم‌آباد
۱۴	کرمان	کرمان	بندر
۱۵	کرمان	کرمان	رحیم‌آباد
۱۶	کرمانشاه	اسلام‌آباد	شهبازان
۱۷	هرمزگان	حاجی‌آباد	سرچاهان
۱۸	همدان	نهادوند	آردوشان
۱۹	همدان	نهادوند	سپیدان
۲۰	همدان	نهادوند	قشلاق دهفول
۲۱	همدان	نهادوند	چشمه‌بید

بنابراین کشور ایران از نظر مواد اولیه و منابع معدنی هیچ کمبودی برای تولید فلز منیزیم نخواهد داشت و به‌دلیل ذخایر میلیاردی معادن دولومیت باکیفیت در ایران، تأمین ماده اولیه فرآیند تولید منیزیم تا سال‌ها با چالشی روبرو نخواهد بود.

### ۳-۲-۲. منابع انرژی

مهمترین منبع انرژی مورد نیاز برای تولید منیزیم، منابع انرژی فسیلی جهت تأمین سوخت کوره‌های کلسیناسیون، احیا و ذوب است. استفاده از منابع انرژی زغال‌سنگ به‌عنوان سوخت در مقایسه با منابع گاز طبیعی بیش از دو برابر آلاینده‌گی داشته و گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کند و هزینه‌های تولید را بالا می‌برد. کشور ایران به‌دلیل داشتن منابع عظیم گاز، یکی از پتانسیل‌های مهم دنیا برای توسعه صنایع انرژی‌بر مانند تولید آهن و فولاد، منیزیم و... است که یکی از ویژگی‌های متمایزکننده این کشور در مقایسه با کشورهای چین، هند، ترکیه و... است.



مصرف نسبتاً پایین آب یکی دیگر از ویژگی‌های صنعت تولید منیزیم است و آن را برای کشورهایمانند ایران که دارای بحران آب هستند به صنعت مناسبی تبدیل می‌سازد. طبق بررسی‌های صورت گرفته میزان مصرف آب برای تولید هر تن منیزیم ۱۵ - ۱۰ مترمکعب است. کشور چین به دلیل فقدان منابع گاز طبیعی کافی، عمدتاً از سوخت زغال سنگ برای کارخانجات تولید منیزیم استفاده می‌کند که فرآیندی هزینه‌بر و آلاینده محسوب می‌شود و سازمان‌های بین‌المللی، چین را ملزم به تعطیلی کارخانجات آلاینده یا اصلاح فرآیند کرده‌اند. در کشورهایمانند ترکیه نیز به دلیل اینکه گاز طبیعی مورد استفاده خود را از سایر کشورها مانند ایران وارد می‌کنند، هزینه‌های تولید محصولاتی مانند منیزیم بالاست، اما کشور ایران به دلیل دارا بودن منابع عظیم گازی می‌تواند تولید محصولات صادرات محور و با ارزش افزوده بالا را جایگزین خام‌فروشی گاز طبیعی نماید و با گسترش صنایعی مانند تولید منیزیم، شمش منیزیم را به‌عنوان یک بسته انرژی به کشورهای اروپایی و حاشیه خلیج فارس صادر کند. مزیت بزرگ ایران در زمینه منابع انرژی گازی در کنار سایر مزایای کشور ایران، موجب خواهد شد تا محصول تولید شده در ایران به دلیل هزینه‌های پایین تولید امکان رقابت با منیزیم چینی را داشته باشد. در جدول ۳ کشورهای ایران و چین در زمینه تولید منیزیم و ملزومات آن با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۳. مقایسه ایران و چین از نظر ملزومات تولید منیزیم

ردیف	پارامتر	ایران	چین
۱	مواد اولیه	فراوان	فراوان
۲	متوسط سنی جمعیت کشور	۳۶/۷	۲۸/۳
۳	هزینه کارگر (دلار بر ساعت)	۱/۲	۲/۵
۴	منابع عمده انرژی	گاز طبیعی	زغال سنگ
۵	تولید سالیانه گاز طبیعی (میلیون مترمکعب)	۱۶۳,۰۰۰	۱۱۷,۰۰۰
۶	قیمت گاز طبیعی (دلار بر مترمکعب)	۰/۰۴	۰/۴۲
۷	قیمت الکتریسیته (دلار بر کیلووات ساعت)	۰/۰۲	۰/۰۶
۸	انتشار گاز دی‌اکسید کربن (کیلوگرم بر کیلوگرم محصول)	۲۰	۴۰

### ۳-۲-۳. دانش فنی بومی

در سال‌های گذشته صنعت تولید منیزیم و آلیاژهای منیزیمی در ایران، صنعتی نو و ناشناخته بود و تولید منیزیم در داخل کشور صورت نگرفته بود. با انجام پژوهش‌های علمی در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی توسط پژوهشگران دانشگاه صنعتی شریف، دانش فنی تولید شمش منیزیم در کشور به دست آمده و محصول آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی تولید شده است. استفاده از این دانش فنی در

مقیاس صنعتی موجب ساخت اولین کارخانه تولید شمش منیزیم در ایران در استان خراسان جنوبی و تولید این محصول در داخل کشور شده است. بنابر اطلاعات موجود، اکثر تجهیزات و ماشین‌آلات مورد استفاده در کارخانه تولید شمش منیزیم فردوس ساخت داخل بوده و در شرایطی که ایران در تحریم قدرت‌های بزرگ بوده، طراحی، ساخت و راه‌اندازی کارخانه، انجام شده است. همچنین تجربه متخصصین داخلی در طراحی فرآیند تولید منیزیم و بهینه‌سازی متغیرهای مؤثر بر فرآیند در طراحی کارخانه شمش منیزیم فردوس به کار گرفته شده و دانش فنی تولید منیزیم به‌طور کامل بومی شده و در اختیار متخصصین و فارغ‌التحصیلان ایرانی قرار دارد.

### ۴-۲-۳. نیروی انسانی

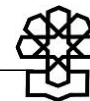
کشور ایران از نظر جمعیتی جوان محسوب می‌شود و طبق آمار رسمی، ۴۶/۱ درصد جمعیت آن بین ۵۴ - ۲۵ سال بوده و متوسط سن جمعیت ایران ۲۸/۳ سال است که نسبت به بسیاری از کشورها بافت جمعیتی جوان دارد. وجود نیروی انسانی ماهر و نیمه‌ماهر در کنار متخصصین و فارغ‌التحصیلان فنی و مهندسی دانشگاه‌های کشور پتانسیل مناسبی برای توسعه صنایع معدنی در ایران است.

صنعت تولید منیزیم به‌دلیل وجود فرآیندهایی مانند احیا و ذوب نیازمند نیروی انسانی آموزش‌دیده و ماهر است. همچنین هزینه پایین نیروی انسانی در ایران (۱/۵ دلار در هر ساعت) نسبت به کشورهایمانند چین (۲/۵ دلار در هر ساعت) و ترکیه (۵/۳ دلار در هر ساعت) موجب کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. همچنین برای تولید هر ۱,۰۰۰ تن منیزیم برای ۳۰۰ نفر به‌طور مستقیم و غیرمستقیم اشتغال ایجاد می‌شود.

### ۵-۲-۳. هزینه‌های حمل‌ونقل

وجود زیرساخت‌های حمل‌ونقل اعم از حمل‌ونقل جاده‌ای، ریلی و دریایی از ملزومات توسعه صنایع است. حمل‌ونقل مواد اولیه تا محل کارخانه و انتقال محصول تولید شده به بازارهای هدف بخش مهمی از هزینه‌های تولید را به خود اختصاص می‌دهد.

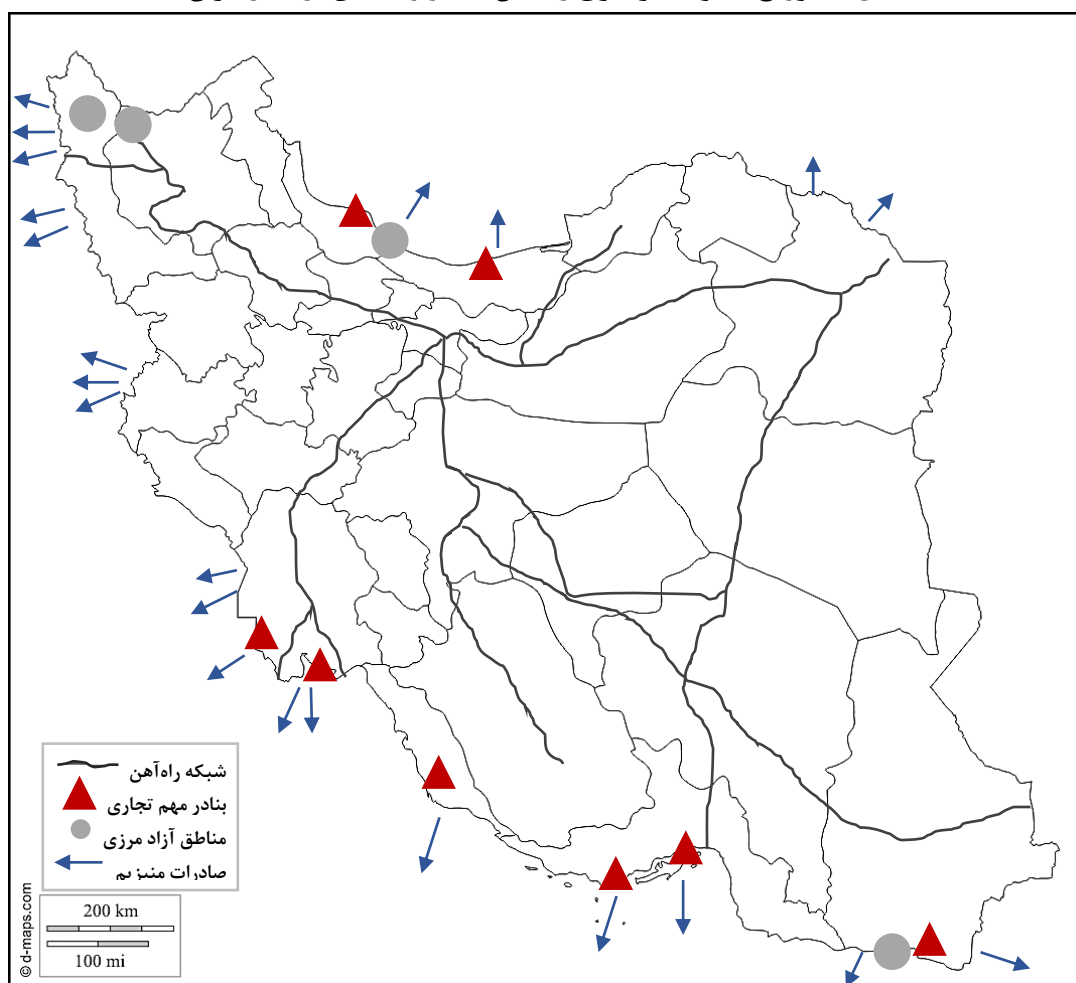
کشور ایران از نظر زیرساخت‌های حمل‌ونقل ریلی و دریایی از امکانات مناسبی برخوردار است. شبکه راه‌آهن سراسری ایران به‌همراه بنادر تجاری مختلف و مناطق آزاد مرزی و دسترسی به آب‌های آزاد از طریق خلیج فارس و دریای عمان و همچنین دسترسی زمینی به کشورهای اروپایی از غرب و شمال غربی ایران و از طریق ترکیه موجب شده تا کشور ایران دارای مزیت مهم حمل‌ونقلی نسبت به بزرگترین رقیب خود در زمینه تولید منیزیم یعنی چین باشد. نزدیکی ایران به کشورهای اروپایی و حاشیه خلیج فارس به‌عنوان بازار هدف صادرات منیزیم و امکان صادرات محصول از طریق زیرساخت‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، ریلی و دریایی تا میزان زیادی هزینه حمل‌ونقل محصول تولید شده را کاهش داده و در نتیجه منیزیم



تولیدی در ایران با قیمت تمام شده پایین تری به دست مصرف کنندگان اروپایی و کشورهای همسایه ایران خواهد رسید.

رشد و توسعه صنعتی که محصولات صادراتی تولید می کنند موجب گسترش روزافزون زیرساخت ها و امکانات حمل و نقل در کشور خواهد شد. منیزیم به عنوان یک محصول صادراتی که بازار هدف آن کشورهای اروپایی، ترکیه و کشورهای حاشیه خلیج فارس است از طریق زیرساخت های حمل و نقل کشور می تواند با هزینه های پایین تری نسبت به کشورهایمانند چین به دست مصرف کننده برسد.

شکل ۵. توزیع خطوط سراسری راه آهن، بنادر و مناطق آزاد در ایران



براساس بررسی های صورت گرفته تعداد زیادی از استان های کشور پتانسیل بالقوه ای برای ایجاد واحدهای صنعتی تولید منیزیم هستند. با توجه به اینکه حداقل ظرفیت توجیه پذیر از نظر اقتصادی برای واحدهای تولید منیزیم ۵ تا ۶ هزار تن در سال می باشد، در صورت تحقق احداث واحدهای منیزیم در استان هایی مانند آذربایجان شرقی و غربی، کرمان، کرمانشاه، سمنان، همدان، سیستان و

بلوچستان و فارس می‌توان چشم‌انداز تولید بیش از ۱۰۰,۰۰۰ تن منیزیم را در کشور متصور بود. با تولید این میزان منیزیم و آلیاژهای آن، ایران تبدیل به قطب تولید منیزیم دنیا و دومین تولیدکننده منیزیم پس از کشور چین خواهد شد، بیش از ۳۰,۰۰۰ شغل به صورت مستقیم و غیرمستقیم ایجاد شده و ایران نقش برجسته‌ای در صادرات منیزیم به کشورهای اروپایی و حاشیه خلیج فارس خواهد داشت. همچنین توسعه صنعت منیزیم در کشور موجب ایجاد و رشد صنایع دیگر مانند: قطعه‌سازی، تولید آلومینیم و فروسیلیس خواهد شد.

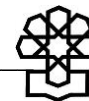
شکل ۶. چشم‌انداز تولید ۱۰۰,۰۰۰ تن منیزیم در کشور

چشم‌انداز تولید ۱۰۰,۰۰۰ تن منیزیم در ایران				
اشتغال	ارزآوری	توسعه صنایع مرتبط	ایران، قطب مهم منیزیم دنیا	توسعه صادرات
گسترش صنعت تولید منیزیم تا ۱۰۰,۰۰۰ تن، در مراحل فنی، مهندسی، راه‌اندازی و ساخت، تولید و ... به صورت مستقیم و غیرمستقیم برای بیش از ۳۰,۰۰۰ نفر اشتغال ایجاد خواهد کرد که یکی از راه‌های مهم توسعه اقتصادی کشور است.	قیمت جهانی منیزیم و آلیاژهای آن در سال‌های اخیر روند رو به رشدی را طی کرده است. در حال حاضر قیمت هر تن شمش منیزیم ۲۵۰۰ دلار می‌باشد که تولید هر تن شمش منیزیم در کشور به میزان ۲۵۰۰ دلار ارزآوری خواهد داشت.	با گسترش واحدهای تولید منیزیم، صنایع وابسته مانند صنایع تولید قطعات منیزیمی و آلومینیمی خودرو، صنایع تولید قطعات سیستم‌های دفاعی و اجزای هواپیماها و ماهواره‌ها و همچنین صنعت تولید فرآلیاژ توسعه خواهند یافت.	با تولید ۱۰۰,۰۰۰ تن منیزیم در ایران، کشور به دومین تولیدکننده منیزیم در جهان و قطب تولید منیزیم تبدیل خواهد شد. منیزیم ایرانی محصولی جذاب از نظر اقتصادی و تجاری برای بازارهای هدف اروپایی و کشورهای همسایه ایران خواهد بود.	با تولید ۱۰۰,۰۰۰ تن منیزیم در ایران، از خام‌فروشی منابع گازی کشور جلوگیری شده و منیزیم به عنوان یک محصول صادراتی (بسته انرژی) با ارزش افزوده بالا تولید و عرضه خواهد شد. توسعه صادرات غیرنفتی یکی از نتایج تولید منیزیم است.

#### ۴. بررسی تولید منیزیم از منظر اقتصادی

##### ۴-۱. سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای تولید منیزیم

فرآیند تولید منیزیم به روش حرارتی شامل واحدهای کلسیناسیون دولومیت، آماده‌سازی مواد اولیه، احیای حرارتی، ذوب، آلیاژسازی و ریخته‌گری و واحد تولید فروسیلیس است. سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای تجهیزات، تأسیسات و ماشین‌آلات خط تولید منیزیم که بیش از ۹۰ درصد سرمایه‌گذاری طرح را تشکیل می‌دهد، به ازای هر تن محصول تولیدی حدود ۳,۰۰۰ دلار می‌باشد. برای احداث یک واحد تولید فروسیلیس جهت تأمین مواد اولیه فرآیند تولید منیزیم نیز به ازای هر تن فروسیلیس حدود ۹۰۰ دلار سرمایه‌گذاری مورد نیاز است.



#### ۴-۲. هزینه‌های تولید منیزیم

هزینه‌های تولید منیزیم شامل: مواد اولیه، انرژی، نیروی انسانی، حمل‌ونقل، تعمیرات و نگهداری و استهلاک است. جدول ۴ نیازمندی‌های لازم برای تولید هر تن منیزیم را نشان می‌دهد.

جدول ۴. نیازمندی‌های تولید شمش منیزیم

ردیف	شرح	مقدار مورد نیاز برای تولید هر تن منیزیم	واحد
۱	گاز طبیعی	۳,۵۰۰	مترمکعب
۲	الکتریسیته	۲,۷۰۰	کیلووات ساعت
۳	آب	۱۵	مترمکعب
۴	دولومیت	۱۲	تن
۵	فروسلیس	۱/۲	تن
۶	نیروی انسانی	۰/۰۵	نفر
۷	حمل‌ونقل مواد اولیه	۱۰۰	کیلومتر

#### ۴-۳. شاخص‌های مهم اقتصادی

محاسبات و بررسی‌های انجام شده بر روی تجارب تولید منیزیم در کشورهای مختلف دنیا نشان داده است که حداقل ظرفیت توجیه‌پذیر از نظر اقتصادی برای احداث واحدهای صنعتی تولید منیزیم در محدوده ۶,۰۰۰ - ۵,۰۰۰ تن در سال می‌باشد. با در نظر گرفتن احداث واحدهای صنعتی با میزان سرمایه‌گذاری ذکر شده در بخش ۱-۴ و هزینه‌های تولید مورد نیاز (بخش ۲-۴)، با ظرفیت ۶,۰۰۰ تن در سال منیزیم به‌همراه تولید فروسیلیس و با در نظر گرفتن قیمت فروش ۲,۵۰۰ دلار بر هر تن منیزیم، محاسبات مالی توسط نرم‌افزارهای تخصصی شاخص‌های مناسبی را برای صنعت تولید شمش منیزیم به‌دست می‌دهد. نمونه‌ای از این شاخص‌های مهم اقتصادی، نرخ بازده داخلی (IRR) می‌باشد که برای صنعت تولید منیزیم با در نظر گرفتن ظرفیت تولید ۶,۰۰۰ تن در سال معادل ۲۷ درصد است.

#### ۴-۴. توجیه‌پذیری و سودآوری صنعت

صنعت تولید منیزیم در ایران به‌دلیل فراوانی و در دسترس بودن مواد اولیه و منابع انرژی و همچنین امکان صادرات محصول به بازارهای هدف (اتحادیه اروپا و کشورهای حاشیه خلیج فارس) با هزینه‌های نسبتاً کمتر نسبت به سایر کشورهای تولیدکننده منیزیم به‌ویژه چین و با توجه به شاخص‌های اقتصادی تولید منیزیم، صنعتی سودآور و متناسب با شرایط و زیرساخت‌های موجود در کشور است. این صنعت برخلاف صنایعی مانند فولادسازی که نیازمند مصرف آب فراوان و صنعت تولید آلومینیم که دچار چالش تأمین مواد اولیه فرآیند است، صنعتی سازگار با شرایط طبیعی و ژئوپلیتیک ایران می‌باشد که از جذابیت‌های این صنعت

برای سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی است. قرار گرفتن توسعه صنعت تولید منیزیم در اولویت‌های سیاست‌گذاری صنعتی و معدنی کشور و حمایت از تولیدکنندگان آن گام مهمی در استفاده از پتانسیل‌های بالقوه کشور در راستای توسعه صادرات، ارزآوری و تبدیل شدن ایران به قطب تولید منیزیم منطقه است.

#### ۴-۵. مقایسه تطبیقی صنعت تولید منیزیم با صنایع فولاد و آلومینیم

جدول ۵، صنایع تولید فولاد، منیزیم و آلومینیم را براساس فاکتورهای مختلف مقایسه کرده است.

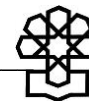
جدول ۵. مقایسه تطبیقی صنایع تولید آهن و فولاد، منیزیم و آلومینیم در ایران

ردیف	عوامل مؤثر	فولاد	آلومینیم	منیزیم
۱	مواد اولیه	سنگ آهن (داخلی + وارداتی)	بوکسیت (عمدتاً وارداتی)	دولومیت (داخلی)
۲	منابع عمده انرژی	گاز طبیعی، آب، برق	برق	گاز طبیعی
۳	سرمایه‌گذاری بر تن محصول	۴۰۰ دلار	۳,۰۰۰ دلار*	۳,۰۰۰ دلار
۴	تولید CO <sub>2</sub> بر کیلوگرم محصول	۱۰ کیلوگرم	۵۰ کیلوگرم	۲۰ کیلوگرم
۵	میزان مصرف انرژی بر kg محصول	۵۰ MJ	۲۰۰ MJ	۱۰۰ MJ
۶	حداقل ظرفیت اقتصادی سالیانه	۱ میلیون تن	۱۰۰,۰۰۰ تن	۵,۰۰۰ تن
۷	آلاینده‌های فرآیند	ذرات معلق، CO، کربن	گل قرمز، گاز کلر و HF	باطله سیلیکاتی
۸	قیمت متوسط هر تن محصول	۴۰۰ دلار	۲,۰۵۰ دلار	۲,۵۰۰ دلار
۹	میزان محصول تولیدی در کشور	۱۸,۰۰۰,۰۰۰ تن	۳۵۰,۰۰۰ تن	۳,۰۰۰ تن
۱۰	دانش فنی و طراحی مهندسی	بومی	خارجی	بومی
۱۱	بازار هدف	داخلی، صادراتی	داخلی	داخلی، صادراتی
۱۲	تقاضای داخلی محصول	< ۱۸,۰۰۰,۰۰۰ تن	< ۱۵۰,۰۰۰ تن	۱,۵۰۰ تن

\* هزینه سرمایه‌گذاری برای آلومینیم بدون احتساب هزینه‌های مورد نیاز برای تولید آلومینا (ماده اولیه کارخانه) در نظر گرفته شده است.

#### ۵. بررسی زیست‌محیطی صنعت تولید منیزیم

بررسی آلاینده‌های زیست‌محیطی صنایع مختلف و شناخت راه‌های مهار آلودگی، موجب حرکت بر مدار توسعه پایدار خواهد شد. صنعت تولید منیزیم مانند صنایع معدنی دیگر موجب تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود که شامل: غبار سنگ معدن، گازهای گلخانه‌ای (CO<sub>2</sub>) حاصل از مواد سوختی و فرآیند پخت سنگ معدن، باطله جامد (ترکیبات کلیسم - سیلیکاتی) و سرباره ذوب منیزیم است. میزان تولید گاز دی‌اکسید کربن ناشی از فرآیند حدود ۲۰ کیلوگرم بر هر کیلوگرم منیزیم تولیدی است که در مقایسه با سایر صنایع آلاینده عدد بسیار کوچکی می‌باشد.



راهکارهای متعددی برای جلوگیری از ورود مواد آلاینده به محیط زیست وجود دارد که استفاده از مشعل‌های بازیاب حرارتی، طراحی بهینه سیستم سوخت‌رسانی، طراحی و استفاده از سیستم غبارگیر و سیکلون جهت مهار گرد و غبار مواد معدنی، استفاده از باطله جامد فرآیند در صنایعی چون صنعت سیمان، تولید مصالح ساختمانی، جاده‌سازی و تولید شیشه و استفاده از سرباره ذوب برای فولادسازی از جمله این راهکارها می‌باشند که با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری آلاینده‌ها و استفاده از روش‌ها و تکنولوژی‌های جدید می‌توان از ورود مواد آلاینده به محیط زیست جلوگیری کرد.

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

پتانسیل‌های موجود در کشور، می‌تواند ایران را به یکی از مهمترین قطب‌های تولید فلز منیزیم به‌عنوان فلز آینده دنیا تبدیل کند. گسترش روزافزون تولید خودروهای سبک با مصرف انرژی پایین و تمایل به استفاده از منیزیم و آلیاژهای آن در صنایع پیشرفته دفاعی، نظامی و هوافضا، تقاضای جهانی برای منیزیم را روزبه‌روز افزایش داده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ میزان تقاضای منیزیم در دنیا به بالای ۱,۲۰۰,۰۰۰ تن در سال برسد.

مزایای ایران در مقایسه با سایر کشورهای تولیدکننده منیزیم به‌ویژه چین که در حال حاضر به‌دلیل مشکلاتی چون استفاده از منبع انرژی آلاینده زغال‌سنگ و فاصله طولانی حمل‌ونقل محصول تا بازارهای هدف، به سمت تعطیلی یا کاهش ظرفیت تولید منیزیم حرکت می‌کند، موجب شده است تا کشور ایران به یکی از پتانسیل‌های جذاب برای سرمایه‌گذاری در حوزه صنایع انرژی‌بر مانند منیزیم تبدیل شود. وجود منابع معدنی گسترده و با کیفیت بالا در اغلب استان‌های کشور، امکان استفاده از منابع انرژی گازی ارزان و نسبتاً پاک، مصرف آب پایین در صنعت منیزیم، وجود نیروی انسانی متخصص و ماهر، نزدیکی ایران به بازارهای هدف منیزیم (اتحادیه اروپا و کشورهای حاشیه خلیج فارس) از مسیرهای زمینی، ریلی و دریایی به‌دلیل موقعیت ژئوپلیتیک ایران در منطقه و دسترسی به دانش فنی بومی (سابقه احداث واحد تولید منیزیم در ایران) از جمله مزایای ایران در خصوص توسعه صنعت تولید منیزیم می‌باشد.

قرار دادن توسعه صنعت تولید منیزیم در اولویت‌های صنعتی و معدنی کشور و سیاست‌گذاری در راستای حمایت از این صنعت با در نظر گرفتن چشم‌انداز تولید ۱۰۰,۰۰۰ تن منیزیم در ایران که این کشور را به دومین تولیدکننده منیزیم در جهان تبدیل خواهد کرد، علاوه بر ایجاد بیش از ۳۰,۰۰۰ شغل مستقیم و غیرمستقیم موجب توقف خام‌فروشی گاز و تبدیل آن به یک محصول با ارزش‌افزوده بالا، ارزآوری و توسعه صادرات و در کنار آن توسعه صنایع وابسته مانند قطعه‌سازی (صنعت خودرو)، صنایع تولید فروآلیاژها، تولید قطعات پیشرفته برای صنایع دفاعی و هوافضا، توسعه صنایع تولید

تجهیزات مهندسی پزشکی و... خواهد شد. راه‌اندازی ۱۰ واحد صنعتی ۱۲,۰۰۰ تنی در استان‌های کشور به‌ویژه مناطق مستعد از نظر مواد اولیه و انرژی مانند: آذربایجان شرقی و غربی، همدان، کرمان، کرمانشاه، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، هرمزگان و... می‌تواند در مدت زمان کوتاهی چشم‌انداز تولید بیش از ۱۰۰ هزار تن منیزیم در کشور را محقق سازد. همچنین به‌دلیل حجم سرمایه‌گذاری نسبتاً پایین پروژه‌های راه‌اندازی واحدهای صنعتی تولید منیزیم در کشور، امکان حضور جدی بخش خصوصی به‌عنوان سرمایه‌گذار، طراح و پیمانکار احداث واحدهای صنعتی در سایه حمایت‌های دولتی وجود دارد.

### پیشنهادها

دولت و نهادهای قانونگذاری در کشور می‌توانند با اقدامات زیر در تبدیل شدن ایران به قطب تولید منیزیم در جهان نقش آفرین باشند:

- قرار گرفتن صنعت تولید منیزیم و آلیاژهای آن در اولویت‌های صنعتی و معدنی کشور،
- سیاستگذاری حمایتی جهت توسعه این صنعت به‌ویژه در استان‌های مستعد،
- ارائه تسهیلات ارزی از محل منابع صندوق توسعه ملی برای راه‌اندازی واحدهای تولید منیزیم به‌عنوان یک محصول صادراتی با میزان بهره وام پایین،
- ارائه تسهیلات بانکی برای تأمین سرمایه در گردش واحدهای تولیدی منیزیم،
- استفاده از پتانسیل سازمان‌های دولتی مرتبط مانند سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران (ایدرو) و... به‌صورت مشارکت در اجرای طرح‌های صنعتی تولید منیزیم در کشور،
- ترغیب شرکت‌ها و مؤسسات سرمایه‌گذاری کشور جهت ورود به صنعت منیزیم،
- در نظر گرفتن مشوق‌های مالیاتی و گمرکی برای توسعه صنعت تولید منیزیم به‌عنوان یک محصول عمدتاً صادراتی،
- وضع قوانین برای معافیت‌های گمرکی جهت واردات مواد اولیه مصرفی مورد نیاز فرآیند مانند فلورین، نمک تصفیه مذاب و...،
- سیاستگذاری، وضع قوانین و استانداردها در زمینه حرکت صنایع خودروسازی به سمت سبک‌سازی خودروها و کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست با جایگزینی قطعات فولادی و بعضاً آلومینیومی با قطعات منیزیمی،



- سیاستگذاری در راستای حمایت از تولید فلزات استراتژیک و نادر به دلیل کاربردهای آنها در صنایع پیشرفته و فراهم کردن بستر توسعه تکنولوژی‌های پیشرفته صنعتی علی‌رغم بازار کوچک این فلزات در مقایسه با بازار فلزاتی مانند آهن، فولاد، آلومینیم، مس و ... ،

- سیاستگذاری درخصوص توجه به تولید آلیاژهای منیزیمی در جهت ترغیب خودروسازان داخلی به استفاده از این فلز در طراحی قطعات خودرو به‌منظور کاهش مصرف سوخت و جلوگیری از آلودگی هوا.

#### منابع و مآخذ

1. Magnesium Market Research, London Tonnage Institution (2014).
2. Magnesium Vision 2020, a North American Automotive Strategic Vision for Magnesium, a consortium of the United States Council for Automotive Research (2011).
3. <http://www.miiit.gov.cn/n11293472/index.html>.
4. Magnesium Metal: Global Industry Markets and Outlook 2012, Roskill Information Services Ltd.
5. Magnesium Market in EU, TU Bergakademie Freiberg chair of industrial Management and Logistics (2013).
6. Primary Magnesium Production Costs for Automotive Applications, Sujit Das, [www.tms.org/jom.html](http://www.tms.org/jom.html) (2008).
7. Magnesium: 2014 Market Review & Forecast, Merchant Research and Consulting, Market Publishers Ltd. January 2014.
8. [www.USGS.gov](http://www.USGS.gov)
9. [www.tccim.ir](http://www.tccim.ir)





مرکز پژوهش‌ها  
مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۱۵۷۳۱

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: پتانسیل‌های کشور برای تبدیل شدن به قطب تولید فلز منیزیم در جهان به‌عنوان یک محصول صادرات‌محور

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه معدن و صنایع معدنی)

تهیه و تدوین: بابک بهادری

مدیران مطالعه: فرید دهقانی، ابراهیم مقصودی

ناظران علمی: حسین افشین، مهدی فقیهی

متقاضی: معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی

ویراستار تخصصی: \_\_\_\_\_

ویراستار ادبی: \_\_\_\_\_



واژه‌های کلیدی: \_\_\_\_\_

تاریخ انتشار: ۱۳۹۶/۱۱/۴