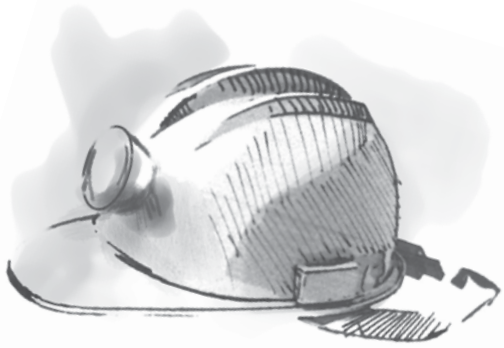


عناصر نادر خاکی (REE): زنجیره تامین جهانی

(بخش اول)

■ مترجم: آیدین زینال‌زاده؛ کارشناس دفتر امور اکتشاف و مجری کارشناس برنامه معدن و اقتصاد، رادیو اقتصاد

◀ چکیده:

تمرکز تولید عناصر نادر خاکی در خارج از مرزهای ایالات متحده، آسیب‌پذیری مساله مهم «تامین» را افزایش می‌دهد. عناصر نادر خاکی در فناوری انرژی‌های جدید و برنامه‌های کاربردی امنیت ملی استفاده می‌شوند. با این اوصاف دو سوال کلیدی وجود دارد:

۱- آیا ایالات متحده از قطع تامین عناصر نادر خاکی آسیب می‌بیند؟

۲- آیا این عناصر برای امنیت ملی ایالات متحده و رفاه اقتصادی ضروری هستند؟

شرکت آمریکایی مولی کورپ[1] شروع به تولید از معادن خود کرد و پیش‌بینی می‌شد در سال ۲۰۱۴ به ظرفیت کامل برسد (۱۹۰۵۰ تن). مولی کورپ طرح کارخانه جداسازی را در «مونتاین پس»[2] کالیفرنیا اجرا و کنسانتره عناصر نادر خاکی و محصولات تصفیه شده را از ذخایر معادن جدید و قدیمی تولید کرد. این شرکت اعلام کرد که شرکت نئو متریالز تکنولوژی[3] را خریده (و به مولی کانادا[4] تغییر نام داد) و تبدیل به یک شرکت فرآوری عناصر نادر خاکی و تولیدکننده پودر مگنت دایم شده که تاسیسات آن در چین قرار داشت.

برخی از کاربردهای عناصر نادر خاکی عبارتند از: مبدل‌های خودروهای کاتالیزوری، کاتالیزورهای کراکینگ میعانات نفتی، مواد درخشان (فسفری) در تلویزیون‌ها و صفحات نمایش تخت (تلفن‌های همراه، دی وی دی‌های قابل حمل و لپ‌تاپ‌ها)، مگنت‌های دایمی و باطری‌های قابل شارژ برای خودروهای هیبریدی و الکتریکی، ژنراتور توربین‌های بادی و طیف وسیعی از دستگاه‌های پزشکی، کاربردهای دفاعی مانند موتورهای جت، سیستم‌های هدایت موشک، دفاع ضد موشک، ماهواره‌های فضایی و سیستم‌های ارتباطی.

در سال ۲۰۱۰ میزان تولید جهانی عناصر نادر خاکی ۱۳۳/۶ هزار تن و میزان مصرف جهانی ۱۳۶ هزار تن برآورد گردیده است. این اختلاف بین تولید و مصرف با ذخایری که از قبل استخراج شده بود جبران می‌شد. طبق برنامه‌ریزی‌های انجام شده توسط شرکت کانی‌های صنعتی استرالیا[5] (IMCOA) تقاضای جهانی برای سال ۲۰۱۶ به ۱۶۰ هزار تن خواهد رسید. در سال ۲۰۱۲، علی‌رغم فعالیت معدن کوه ولد استرالیا[6]، بسیار کمتر از ظرفیت ۱۱ هزارتن در سال ادامه یافته است. سایر معادن جدید نیز به راحتی می‌توانند طی بازه زمانی ۵ تا ۱۰ ساله به بهره‌برداری برسند. با این حال سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده[7] (USGS) انتظار دارد که ذخایر جهانی و منابع اکتشاف نشده پاسخگوی تقاضاهای موجود باشند.

در مارس ۲۰۱۲ دولت اوباما به استناد شیوه‌های تجارت ناعادلانه در عناصر نادر خاکی از یک مورد تشکیل پرونده بر علیه چین در سازمان تجارت جهانی خبر داد که انتظار می‌رفت تصمیم نهایی در سال ۲۰۱۴ اعلام شود. چند طرح قانونی برای نشان دادن نقاط آسیب‌پذیری ایالات متحده و به منظور حمایت از تولید داخلی عناصر نادر خاکی و دیگر مواد معدنی با اهمیت با نگرشی بر کاربرد آنها در برنامه‌های امنیتی- دفاعی و فناوری‌های انرژی پاک در کنگره ۱۱۳ نمایندگان و سنا ارایه شده است. کنگره، در ۱۸ سپتامبر ۲۰۱۳ مصوبه H.R.716 را تحت عنوان «قانون تولید ملی مواد معدنی استرتژیک و حیاتی برای سال ۲۰۱۳» تصویب کرد.

1-Molycorp
2-Mountain Pass
3- Neo Materials Technology
4- Moly Canada
5- Industrial Minerals Company of Australia
6- Mt. Weld Australia
7- United States Geological Survey

◀ مقدمه:

تمرکز عناصر نادر خاکی تولید شده در چین، مساله مهم آسیب‌پذیری تامین را افزایش می‌دهد. عناصر نادر خاکی در بسیاری از برنامه‌های کاربردی تجاری از جمله فناوری انرژی‌های نو، دستگاه‌های الکترونیکی، خودروها و برنامه‌های امنیت ملی استفاده می‌شوند. اگر ایالات متحده در تامین این مواد موفق نباشد؛ آیا آسیب می‌پذیرد؟ آیا این عناصر برای امنیت ملی ایالات متحده و رفاه اقتصادی ضروری هستند؟

بررسی استفاده از عناصر نادر خاکی در فناوری انرژی‌های نو، زنجیره‌ای متمرکز و پیچیده از تامین جهانی و تعداد زیادی از برنامه‌های کاربردی را آشکار می‌سازد. قراردادن زنجیره تامین عناصر نادر خاکی در چهارچوب جهانی امری اجتناب‌ناپذیر است. هدف فعلی سیاست معدنی ایالات متحده، تامین متناسب، پایدار و قابل اعتماد این مواد برای امنیت ملی ایالات متحده، رفاه اقتصادی و تولیدات صنعتی است. سیاست معدنی ایالات متحده، توسعه منابع داخلی مواد معدنی حیاتی و تشویق بخش خصوصی برای تولید و فرآوری این دسته از مواد معدنی است[1]. اما برخی از مواد معدنی خام نقش برجسته‌ای در اقتصاد ایالات متحده ندارند و فرآوری، صنعتی‌سازی و سایر سرمایه‌گذاری‌های پایین دستی در این کشور در مقایسه با تاسیسات موجود در سایر نقاط جهان از لحاظ هزینه قابل رقابت نیست. هرچند ممکن است سیاست‌های عمومی مصوب و یا اقدامات دولت برای جبران نقاط ضعف ایالات متحده دارای هزینه‌های عملیاتی بالاتری باشد. البته ممکن است بخش خصوصی با پیشرفت‌های فنآورانه به عملیات‌های ارزان‌تر دست یابد. طبق چهارچوب این سیاست، کنگره و دولت در حال بحث برروی تاثیر موقعیت تقریبا انحصاری چین در زمینه عناصر نادر خاکی و طیف وسیعی از توان سرمایه‌گذاری‌های ائتلافی هستند که می‌تواند از توسعه جامع و یکپارچه زنجیره تامین عناصر نادر خاکی در ایالات متحده حمایت کند.

در ایالات متحده، بدون درنظر گرفتن مقادیر جزیی بازیافت، ۱۰۰ درصد عناصر نادر خاکی متکی به واردات است و به شدت وابسته به طیف وسیعی از سایر مواد معدنی است که اقتصاد آن را تامین می‌کنند. به طور مثال ایالات متحده برای این مواد معدنی به واردات بیش از ۹۰ درصد متکی است: منگنز (۱۰۰درصد)، بوکسیت (۱۰۰درصد)، پلاتین (۹۴درصد)، اورانیوم (۹۰درصد). درحالی‌که اتکا به واردات ممکن است نگرانی‌هایی ایجاد کند. اعتماد بالا به واردات لزوما ریسک عالی یا حتی خوبی برای تامین مواد نیست. مثلا ریسک تامین بوکسیت با ریسک تامین عناصر نادر خاکی با توجه به تعدد پتانسیل‌های معدنی، برابر نیست. در مورد عناصر نادر خاکی، ممکن است تسلط چین به عنوان تنها منبع یا بزرگ‌ترین تولیدکننده ماده خام، اکسیدهای پایین دست، فلزات و آلیاژها به دلیل محدودیت‌های صادرات و رشد تقاضای داخلی چین برای عناصر نادر خاکی باعث نگرانی شود.

◀ عناصر نادر خاکی چه هستند؟

۱۷ عنصر کمیاب خاکی وجود دارد که ۱۵ عنصر در گروه لانتانیدها[2] و دو عنصر دیگر ایتریوم[3] و اسکاندیوم[4] نام دارند. لانتانیدها شامل لانتانیوم[5] سریوم[6]، پراسئودیمیوم[7]، نئودیمیوم[8]، پرومتیوم[9]، ساماریوم[10]، یوروپیوم[11]، گادولینیوم[12]، تربیوم[13]، دیسپروزیوم[14]، هولمیوم[15]، اربیوم[16]، تولیوم[17]، ایتربیوم[18] و لوتتیوم[19] می‌باشد. عناصر نادر خاکی معمولا در پوسته زمین نسبتا فراوان هستند، حتی فراوانی برخی از آنها از مس، سرب، طلا و پلاتین هم بیشتر است. در عین حال که فراوانی عناصر نادر خاکی از بسیاری از مواد معدنی دیگر بیشتر است، به اندازه کافی متمرکز نیستند که سرمایه‌گذاری جهت بهره‌برداری از آن‌ها توجیه فنی و اقتصادی داشته باشد. ایالات متحده زمانی عناصر نادر خاکی را در تولید می‌کرد اما در طول ۱۵ سال گذشته ۱۰۰درصد به واردات، خصوصا از چین به دلیل هزینه عملیاتی پایین، متکی شده است.

لانتانیدها نیز به دو گروه تقسیم می‌شوند:

۱- عناصر نادر خاکی سبک[20]: از لانتانیوم تا یوروپیوم با اعداد اتمی ۵۷ تا ۶۳

۲- عناصر نادر خاکی سنگین[21]: گادولینیوم تا لوتتیوم با اعداد اتمی ۶۴ تا ۷۱ البته ایتریوم هم به عنوان عنصر سنگین شناخته می‌شود.

◀ کاربردها و مصارف اصلی:

در حال حاضر، عمده مصرف عناصر نادر خاکی در ایالات متحده برای مبدل‌های خودروهای کاتالیزوری، کاتالیزورهای کراکینگ میعانات نفتی، مواد درخشان (فسفری) در تلویزیون‌ها و صفحات نمایش تخت (تلفن‌های همراه، دی‌وی‌دی‌های قابل حمل و لپ‌تاپ‌ها)، مگنت‌های دایمی و باتری‌های قابل شارژ برای خودروهای هیبریدی و الکتریکی

۱- سیاست‌های مواد معدنی در ایالات متحده چهارچوبی برای توسعه ذخایر مواد معدنی فلزی و تامین مواد از منابع خارجی را فراهم می‌نماید. خصوصا قانون معدن و سیاست مواد معدنی ۱۹۷۰ (30U.S.C. §21a) اعلام کرده که در منافع ملی ایالات متحده، تسریع در توسعه صنعت معدنکاری داخلی دیده شده است که از جمله این موارد «بازیافت و استفاده از قراضه» است. قانون تحقیق و توسعه ۱۹۸۰ (30U.S.C. 1601) درخصوص سیاست ملی مواد و منابع معدنی اعلام کرده که در میان تمام مسائل، سیاست دائمی ایالات متحده، ترویج توسعه مناسب و پایدار تامین مواد معدنی مورد نیاز در زمینه حفظ امنیت ملی، رفاه اقتصادی و تولید صنعتی با نگرشی خاص به تعادل بلند مدت بین تولید منابع، مصرف انرژی، محیط زیست سالم، حفاظت از منابع طبیعی و نیازهای اجتماعی است.

2- Lanthanides
3- Yttrium
4- Scandium
5- Lanthanum
6- Cerium
7- Praseodymium
8- Neodymium
9- Promethium
10- Samarium
11- Europium
12- Gadolinium
13- Terbium
14- Dysprosium
15- Holmium
16- Erbium
17- Thulium
18- Ytterbium
19- Lutetium
20- LREE
21- HREE

▼ جدول ۱- عناصر نادر خاکی (لانتانیدها)؛ منتخب مصارف

عناصر نادر خاکی سبک (فراوان‌تر)	کاربرد اصلی	عناصر نادر خاکی سنگین (فراوانی کمتر)	کاربرد اصلی
لانتانیوم	موتورهای هیبریدی، آلیاژهای فلزی	تربیوم	مواد درخشان (فسفری)، مگنت‌های دایمی
سریوم	کاتالیزور خودرو، پالایش نفت، آلیاژهای فلزی	دیسپروزیوم	مگنت‌های دایمی، موتورهای هیبریدی
پراسئودیمیوم	مگنت‌ها	اربیوم	رنگ‌های درخشان (فسفری)
نئودیمیوم	کاتالیزور خودرو، پالایش نفت، آلیاژهای فلزی، هارددیسک‌ها در لپ تاپ، هدفون، موتورهای هیبریدی	ایتریوم	رنگ قرمز، لامپ‌های فلورسانس، سرامیک‌ها، عامل یا ماده شیمیایی آلیاژهای فلزی
ساماریوم	مگنت‌ها	هولمیوم	شیشه‌های رنگی، لیزر
یوروپیوم	رنگ قرمز در صفحات تلویزیون و کامپیوتر	تولیوم	دستگاه‌های اشعه ایکس پزشکی
		لوتتیوم	کاتالیزورهای پالایشگاه‌های نفت
		ایتربیوم	لیزر، آلیاژهای فلزی
		گادولینیوم	مگنت‌ها

و طیف وسیعی از دستگاه‌های پزشکی (جدول شماره ۱) همچنین برنامه‌های کاربردی دفاعی مهم مانند موتورهای جت، سیستم‌های هدایت موشک، دفاع ضد موشکی، ماهواره‌های فضایی و سیستم‌های ارتباطی می‌باشد. مگنت‌های دایمی حاوی نئودیمیوم، گادولینیوم، دیسپروزیوم، تربیوم (مگنت‌های NdFeB) در اجزای متعدد الکتریکی و الکترونیکی و نسل جدید ژنراتورهای توربین‌های بادی کاربرد دارند. حدود ۷۵درصد از تولید مگنت‌های دایم NdFeB در چین متمرکز شده است و ۲۲ درصد نیز در ژاپن تولید می‌شود. در جدول ۱ کاربردها و مصارف اصلی عناصر نادر خاکی را ببینید.

◀ تقاضای عناصر نادر خاکی؛

تقاضای کالاهای معدنی، تقاضایی متفاوت از سایر کالاهای مصرفی است. مواد معدنی، خوراک اولیه تولید کالاها و خدمات هستند. مصرف‌کنندگان نیاز مستقیم به خود عناصر نادر خاکی به عنوان کالای مصرفی ندارند؛ اما تقاضای عناصر نادر خاکی به تولید محصولات نهایی برمی‌گردد. در نتیجه تقاضای عناصر نادر خاکی (با سایر مواد معدنی) بستگی به میزان تقاضای محصولات نهایی آنها دارد. افزایش تقاضای محصولات نهایی منجر به افزایش تقاضای عناصر نادر خاکی می‌شود.

درخصوص تقاضای مشتق شده[۲۲]، وقتی قیمت افزایش می‌یابد، اینکه تا چه اندازه میزان مصرف مواد کاهش می‌یابد، به افزایش قیمتی که به مصرف‌کننده نهایی تحمیل می‌شود و همچنین نسبت قیمت محصول نهایی که توسط ماده معدنی/کالای فلزی محاسبه شده، شدیدا بستگی دارد. به عبارتی، به مقدار عناصر نادر خاکی مورد استفاده در هر واحد از کالای خروجی، بستگی دارد. قیمت و افزایش درآمد، متغیرهای اصلی تعیین کننده‌ی افزایش تقاضا برای کالاهای مصرفی هستند.

در سال ۲۰۱۰ تقاضای جهانی برای عناصر نادر خاکی ۱۳۶/۱ هزار تن برآورد گردیده بود. درحالی‌که تولید جهانی حدود ۱۳۳/۶ هزار تن در سال بود. این اختلاف بین تولید و مصرف با ذخایری که از قبل استخراج شده بود جبران می‌شد. در سال ۲۰۱۵، طبق برآورد، تقاضای جهانی عناصر نادر خاکی به ۲۱۰ هزار تن در سال خواهد رسید. IMCOA تقاضای جهانی را برای سال ۲۰۱۶ کمتر از ۱۶۰ هزار تن درسال برآورد کرده و رشد تقاضای سالانه چین را از ۷۰ هزار تن در سال ۲۰۱۱ به ۱۰۵ هزارتن در سال ۲۰۱۶ تخمین زده است. اما ارزیابی انجمن صنعت عناصر نادر خاکی چین درخصوص تقاضای این کشور در سال ۲۰۱۵، افزایش به ۱۳۰ هزار تن بوده است.

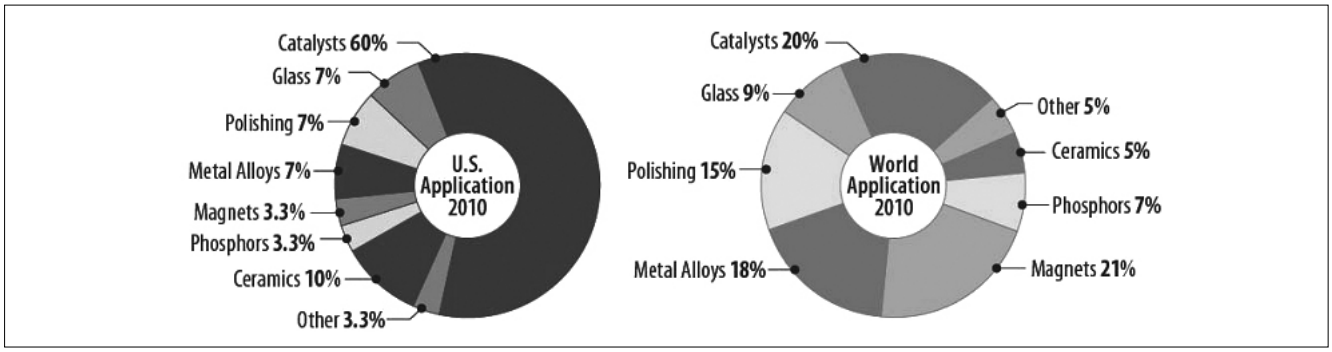
IMCOA میزان تولید چین در سال ۲۰۱۶ را ۱۳۰ هزار تن تخمین زده (۱۰۵ هزار تن بیشتر از سال ۲۰۱۵). اگرچه برای سال ۲۰۱۳ سهم تولید چین ۹۳/۸ هزار تن مقرر گردیده بود، طبق برآوردهای فوق تولید سالانه غیرچینی باید بین ۳۰ تا ۸۰ هزار تن در سال ۲۰۱۶ برای پاسخگویی به تقاضای جهانی عناصر نادر خاکی باشد.

اگر چه ممکن است تولید معادن جدید بتواند این تفاوت را برای برخی از عناصر سبک‌تر جبران کند (ممکن است تامین اضافی برای عناصر سبک‌تر مثل سریوم، لانتانیوم و پراسئودیمیوم انجام شود)، اما برخی پیش‌بینی‌ها حاکی از این هستند که احتمال کمبود برخی عناصر نادر خاکی سبک مانند ایتریوم و برخی عناصر نادر خاکی سنگین‌تر مثل دیسپروزیوم، تربیوم، نئودیمیوم و یوروپیوم وجود دارد. این کمبود احتمالی باعث افزایش نگرانی در کنگره ایالات متحده شده است.

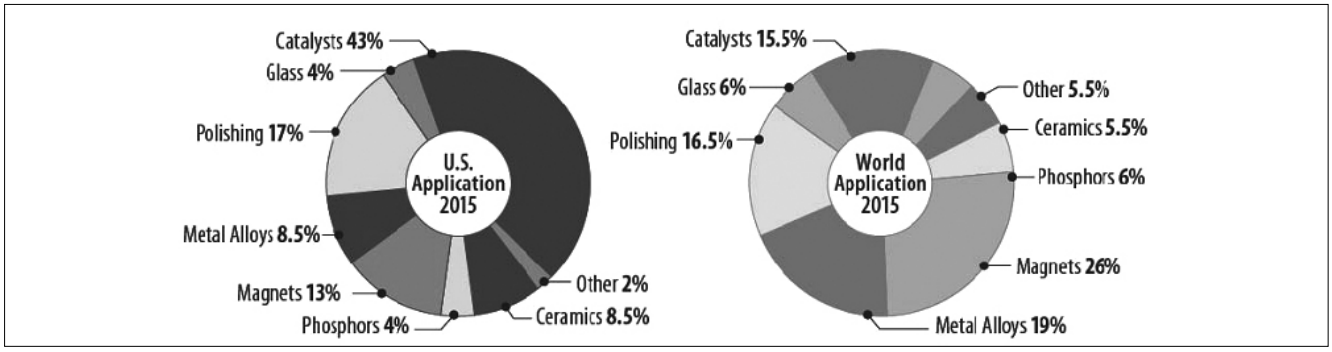
درحالی‌که شرکت لیناس[۲۳] پروژه «مونتاین ولد»[۲۴] و پروژه «مونتاین پس» مولی کورپس[۲۵] را در دست دارد، به ترتیب ۷۰۰ تن و ۱۵ هزار تن در سال تولید می‌کنند و این مقدار کمتر از ظرفیت‌های سالانه آنها (به ترتیب ۱۱ هزار و ۱۹/۰۵ هزار تن) می‌باشد. مولی کورپ در نظر دارد درصورت ضمانت شرایط فروش، ۲۰ هزار تن به ظرفیت معدن مونتاین پس اضافه نماید. توسعه اکثر پروژه‌های جدید معدنی (گرین فیلد[۲۶]) که در حال انجام هستند به راحتی ۵ تا ۱۰ سال طول می‌کشد. با این حال سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده انتظار دارد ذخایر

۲۲- تقاضا برای یک عامل تولید که خود، از تقاضا برای کالایی که آن عامل تولید در آن به کار می‌رود، ناشی می‌شود.

23- Lynas Corp.
24- Mt Weld project
25- Molycorp's Mountain Pass
26- Greenfield



▲ شکل ۱- تقاضای ایالات متحده و جهان در سال ۲۰۱۰ برحسب کاربرد



▲ شکل ۲- پیش‌بینی تقاضا در سال ۲۰۱۵ در ایالات متحده و جهان برحسب کاربرد

جهانی و منابع کشف نشده برای پاسخگویی به تقاضای جهانی در دراز مدت کافی باشد.

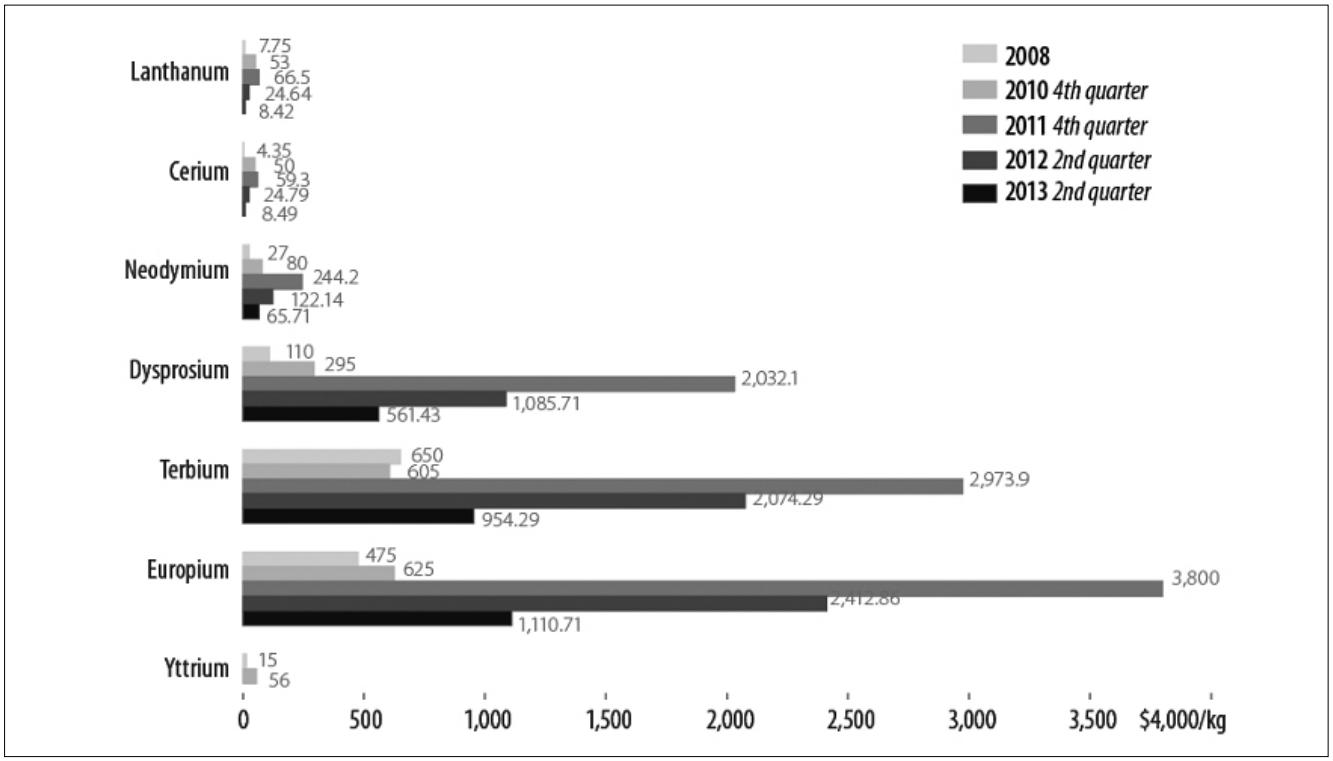
طبق نظریه سال ۲۰۰۷ سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، پیش‌بینی می‌شود با روند صعودی افزایش تقاضای جهانی برای عناصر نادر خاکی، تقاضای ایالات متحده نیز افزایش یابد. به عنوان مثال انتظار می‌رود که در سال‌های پیش رو تقاضا برای مگنت دایم بین ۱۰ تا ۱۶ درصد در هر سال افزایش یابد و تقاضای عناصر نادر خاکی در کاتالیزور خودرو و کاتالیزور کراکینگ نفت خام بین ۶ تا ۸ درصد نسبت به زمان مشابه سال قبل افزایش داشته باشد. همچنین انتظار می‌رود تقاضا برای عناصر نادر خاکی در صفحه نمایش‌های مسطح، موتور خودروهای هیبریدی و مصارف دفاعی و پزشکی نیز افزایش یابد. تقاضای ایالات متحده و جهان در سال ۲۰۱۰ برحسب کاربرد در شکل ۱ و پیش‌بینی تقاضا در سال ۲۰۱۵ در ایالات متحده و جهان برحسب کاربرد در شکل ۲ نمایش داده شده است.

◀ قیمت اکسیدهای نادر خاکی:

قیمت اکسیدهای نادر خاکی و فلزات در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ به سرعت افزایش یافته اما در نیمه اول سال ۲۰۱۲ کاهش یافت و در سه ماهه دوم سال ۲۰۱۳ کاهش بیشتری پیدا کرده است. اکثر کارشناسان عناصر نادر خاکی توافق نظر دارند که محدودیت‌های اخیر در صادرات چین و کمبود ظرفیت تولید در سایر کشورها منجر به افزایش شدید قیمت شد. درحالی‌که قیمت در نتیجه تقاضای آرام‌تر (مثلا برخی جانشینی‌ها، افزایش سهام، روند کند پیشرفت اقتصادی) کاهش یافت. شکل ۳ به وضوح افزایش و کاهش قیمت‌های اخیر اکسیدهای نادر خاکی را نشان می‌دهد. با پتانسیلی که برای نوسان شدید تقاضا و ادامه محدودیت‌های صادرات وجود دارد، ممکن است زمان عرضه جهانی عناصر نادر خاکی به تعویق بیفتد. احتمال دارد قیمت عناصر نادر خاکی سنگین در کوتاه مدت بالا باقی بماند اما معمولا تمایل به کاهش هزینه‌های حاشیه‌ای تولید در صنعت، پس از عرضه افزایش می‌یابد.

با این حال، احتمال دارد تغییرات ساختاری در اقتصاد جهانی اتفاق بیفتد. بیش از نیمی از جمعیت جهان در حال حاضر بخشی از اقتصادهای در حال ظهور را تشکیل می‌دهند. چین با ۱/۳ میلیارد نفر و هند با یک میلیارد نفر در راس و به دنبال آنها آفریقا (نزدیک به ۱ میلیارد نفر)، آمریکای جنوبی (۴۰۰ میلیون نفر) و بخش‌های دیگر آسیا (نزدیک به ۱/۵ میلیارد نفر). انتظار می‌رود که اقتصاد آنها در سال‌های آینده رشد کند. سال‌هایی که می‌توان قیمت‌ها را به اجبار و حتی به عنوان منبع جدید جاری حفظ کند.

مشخص نیست که قیمت عناصر نادر خاکی کجا ثابت خواهد ماند زیرا این نرخ رشد، تغییری ساختاری را در تقاضا نشان می‌دهد. اقتصادهای در حال ظهور معمولا مواد اولیه بیشتری نسبت به اقتصادهای توسعه یافته می‌طلبند زیرا مواد اولیه زیادی برای پروژه‌های زیربنایی جدید نیاز دارند. اگر تولیدکنندگان عناصر نادر خاکی دوره‌ی دشواری برای جبران عقب ماندگی و رسیدن به رشد پایدار مورد انتظار در صنعت داشته باشند، قیمت‌ها به احتمال زیاد برای مدتی بالا باقی خواهند ماند خصوصا عناصر سنگینی که کمتر در دسترس هستند. قیمت‌ها در اقتصادهای در حال ظهور به توانایی بلند مدت تقاضاها بستگی دارند. با این حال تاریخ نشان می‌دهد که منحنی بلند مدت عرضه، برای پاسخگویی به تقاضا تنظیم می‌شود.



▲ شکل ۳- قیمت برخی از اکسیدهای نادر خاکی، ۲۰۱۳-۲۰۰۸ (برحسب دلار در کیلوگرم)

(توضیحات: به گفته وزارت اقتصاد، تجارت و صنعت ژاپن، قیمت دیسپروزیوم و نئودیمیوم به طور چشمگیری افزایش یافته است. قیمت فلز دیسپروزیوم از کیلویی ۲۵۰ دلار در آوریل ۲۰۱۰ به کیلویی ۲۸۴۰ دلار در جولای ۲۰۱۱ و قیمت فلز نئودیمیوم از کیلویی ۴۲ دلار در آوریل ۲۰۱۰ به کیلویی ۳۳۴ دلار در جولای ۲۰۱۱ افزایش یافت.*)

به طورکلی هزینه‌های استخراج مواد معدنی به دلیل کاهش عیار و افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای درحال افزایش است. هزینه‌های تولید چین با افزایش هزینه‌های زیست محیطی و اجتماعی درحال افزایش است و عامل افزایش هزینه‌های کارگری در عملیات‌های تولید و پرعیارسازی عناصر نادر خاکی چین ثبت شده است. به احتمال زیاد چین، مانند آنچه که در گذشته انجام داده، به دلیل هزینه‌های بالاتر، تقاضای مصرف داخلی و بازار ارزش افزوده، قادر به افزایش قابل توجه تولید به منظور کاهش قیمت باشد. محصولات فرعی[۲۷] عناصر نادر خاکی نیز می‌توانند با افزایش هزینه‌های پایین دست پرعیارسازی تحت تاثیر قرار گیرند.

ممکن است هزینه‌های تولید کالاهای مصرفی که حاوی عناصر نادر خاکی هستند، حتی اگر هزینه‌های مواد خام همچنان افزایش یابد، به ازای هر واحد تولیدی کاهش یابد. قیمت‌های بسیاری از کالاهای مصرفی پایین آمده‌اند به طوری که خانواده‌ها توان در اختیار داشتن چند واحد از محصولاتی مانند تلفن همراه، لپ تاپ، تلویزیون‌های صفحه تخت، آی‌پد و غیره را دارند. حتی با افزایش قابلیت‌های مواد که باعث استفاده کمتر فلزات در هر واحد از محصولات تولیدی شده است، فشار صعودی روی قیمت‌های مواد معدنی وجود دارد که به دلیل رشد کلی تقاضا و عدم ظرفیت عرضه است. از آنجا که حجم مواد عناصر نادر خاکی نسبتا کم است (میزان کم در واحد خروجی و محصول نهایی)، اما کالاهای با قیمت تمام شده پایین می‌توانند حاوی مواد گران قیمت باشند.

ظرفیت کافی معدن تنها بخشی از راه‌حل جبران کمبود عرضه عناصر نادر خاکی است. افزایش پرعیارسازی، پالایش و ظرفیت تولید برای پاسخگویی به تقاضای در حال رشد ضروری است. وابستگی به برخی مواد خام در کوتاه‌مدت هدف‌گذاری خواهد شد اما آنچه که به عنوان چالش بلند مدت شناخته می‌شود، ایجاد زنجیره کامل تامین خارج از چین به منظور پاسخگویی به تقاضای رو به رشد جهانی است. درحالی‌که ممکن است قیمت‌های پایدار بالا برخی از سرمایه‌گذاران را جذب کند، باید فناوری و مهارت برای انجام کار در دسترس باشد.

◀ کاربرد عناصر نادر خاکی در دفاع ملی:

طبق ارزیابی‌های انجام شده، وزارت دفاع ایالات متحده حدود ۵ درصد از مصرف داخلی عناصر نادر خاکی را به خود اختصاص داده است. با این حال هیچ برآوردی از سوی هیچ منبعی درحال حاضر در دسترس نمی‌باشد. کاربرد عناصر نادر خاکی در اهداف دفاعی عمدتا به دو شیوه است که به عنوان مواد مگنت دایمی استفاده می‌شوند. یکی ساماریوم کبالت (SmCo) و دیگری نئودیمیوم آهن بور (NdFeB).

۲۷- محصولات فرعی مواد حاصل از تولید ماده معدنی اصلی هستند. هزینه های تولید محصولات فرعی نیز به هزینه تولید محصول اصلی اختصاص می یابد.

* Reference: 2011 prices taken from CRS Report R42510, China's Rare Earth Industry and Export Regime: Economic and Trade Implications for the United States, by Wayne M. Morrison and Rachel Y. Tang. Prices for 2012 (Q-2) and 2013 (Q-2) were obtained from the Lynas Corp. Ltd., Quarterly Report, June 2013.

مگنت‌هـای NdFeB قوی‌تریـن مگنت‌های دایمی جهـان و از ملزومات بسـیاری از سیستم‌های تسلیحاتی نظامی هسـتند. مگنت‌های SmCo در دماهای بالا قدرت مغناطیسـی خود را حفظ می‌کنند و برای فناوری‌های نظامی مانند موشـک‌های هدایت شـونده با دقت بالا، بمب‌های هوشمند و هواپیماها ایده‌آل هسـتند. قدرت برتر مگنت‌های NdFeB این امکان را فراهم می‌کند که به صورت قطعات کوچک‌تر و سـبک‌تر در سـلاح‌های دفاعی به کار گرفته شوند. مگنت‌های دایمی حاوی نئودیمیوم، گادولینیوم، دیسـپروزیوم و تربیـوم در اجـزای متعـدد الکتریکـی و الکترونیکی و ژنراتورهای توربین‌های بادی استفاده می‌شوند.

عناصـر نادر خاکـی جزء مواد اسـتراتژیک و مهم با اهـداف امنیت ملـی بوده و به جز مقادیـر جزیی ایتریوم، هنـوز در بحث جمع‌آوری و ذخیره‌سـازی مواد اسـتراتژیک برای اهداف دفاع ملی گنجانده می‌شوند. در گـزارش ماه دسـامبر ۲۰۰۸ کمیسـیون حفاظت از مواد اسـتراتژیک (SMPB[28]) مواد بحرانی این‌طور تعریف شـده است: «بحرانی بودن مواد تابع اهمیت استفاده از آنها در وزارت دفاع و برنامه‌های کاربردی وزارت دفـاع در حفظ بازار و نحـوه عرضه و همچنین تاثیر و احتمال اختلال در عرضه آنها اسـت». موقعیت فعلی وزارت دفاع در مواد استراتژیک تا حد زیادی با یافته‌های کمیسـیون حفاظت از مواد استراتژیک تعیین می‌شود. بسیاری از سـازمان‌های علمی به این نتیجه رسیده‌اند که برخی از عناصر نادر خاکی برای امنیت ملی ایالات متحده بسیار مهم هستند و اهمیت آنها به طور فزاینده‌ای در برنامه‌های دفاع ملی رو به افزایش است.

برخی از کارشناسـان نگران هسـتند که اقدامـات وزارت دفاع برای کاهش خطر احتمالی ناشـی از کمبود تامین داخلی کافی نباشـد. به طور مثال انجمن مواد مغناطیسـی ایـالات متحـده (USMMA[29])، ائتلافی از شـرکت‌های نمایندگی هوافضا، پزشـکی و الکترونیکـی، به تازگی روی زنجیـره تامیـن فلزات و عناصر نـادر خاکی مورد اسـتفاده در مگنت‌ها، متمرکز شـده‌اند. این انجمن در فوریه ۲۰۱۰ از یک طرح شـش ماده‌ای برای رسـیدگی به «بحران قریب‌الوقوع عناصر نـادر خاکی» پرده‌برداری کردنـد که در آن بـه تهدید قابل توجهی به اقتصـاد و امنیت ملی ایالات متحده پرداخته شـده اسـت. با این حال به نظر می‌رسد که وزارت دفاع متعهد شده که کشـورهای عرضه‌کننده در سراسر دنیا، کمبودها را جبران خواهنـد کرد. طبـق قانون تفویذ دفـاع ۲۰۱۴ مصـوب ۱۴ ژوئن ۲۰۱۳ مجلـس (H.R. 1960) وزارت دفاع باید اسـتراتژی‌های کاهش ریسـک زنجیره تامین عناصر نادر خاکی را توسعه دهد.

◀ منابع و پتانسیل تولید عناصر نادر خاکی:

عناصـر نـادر خاکی اغلـب با عناصـری مانند مس، طـلا، اورانیوم، فسـفات‌ها و آهن همراه هسـتند و معمولا به عنوان یک محصول جانبی تولید می‌شوند. عناصر سـبک‌تر مثل لانتانیوم، پراسئودیمیوم و نئودیمیوم فراوان‌تـر و پرعیارتـر هسـتند و از ۸۰ تـا ۹۹ درصـد از کل ذخیـره را شامل می‌شـوند. به گفته تحلیلگران سـازمان زمین‌شناسی ایالات متحده عناصر سـنگین‌تر (گادولینیوم تا لوتتیـوم و ایترویم) کمیاب‌تر اما در حد مطلوب‌تری هستند.

اکثر عناصر نادر خاکی در سراسـر دنیا به شکل ذخایری از کانی‌های باسـتنائیزیت[30] و مونازیـت[31] وجود دارند. ذخایر باسـتنائیزیت در ایالات متحده و چیـن بزرگ‌ترین ذخایـر پرعیار عناصر نادر خاکی محسـوب می‌شـوند. درخصوص مونازیت نیز چنین ذخایری در اسـترالیا، آفریقای جنوبـی، چین، برزیل، مالـزی و هند وجود دارد و به عنوان ذخایر پرعیار رده دوم عناصر نادر خاکی شـمرده می‌شوند. باستنائیزیت به صورت کانی اولیـه دیده می‌شـود درحالی‌که مونازیت به عنوان مـاده معدنی فرعی در ذخایر سـایر مـواد معدنی وجـود دارد و به عنوان «مـاده معدنی همراه» تولید می‌شود. بیش از ۹۰ درصد از ذخایر اقتصادی عناصر نادر خاکی به صورت ماده معدنی اولیه (مثلا کانسار باستنائیزیت) کشف شده‌اند.

مونازیت در ایالات متحده به دلیل نگرانی خطرات رادیواکتیو موجود (بـه دلیل وجود مقادیری از توریوم)، برای اسـتحصال عناصر نادر خاکی کنار گذاشته شـده است زیرا عملیات جداسـازی توریوم بسیار پرهزینه است. باسـتنائیزیت به دلیل وجود لانتانیوم، سریوم و نئودیمیوم یک کانی کم توریوم اسـت که پیش از تولید معادن جدید، از معادن «مونتاین پس» کالیفرنیا روانه بازار می‌شد. عناصر نادر خاکی سنگین مطلوب‌تر، ۰/۴ درصد از کل ذخایر را تشـکیل می‌دهند. مونازیت‌ها بـه عنوان ماده معدنی دوم حیـن عملیـات کانه‌آرایی و فـرآوری ذخایـر اورانیوم و نیوبیـوم تولید می‌شوند. ذخایر و منابع عناصر نادر خاکی در کلرادو[32]، آیداهو[33]، مونتانا[34]، میسـوری[35]، یوتا[36] و ویومینگ[37] اکتشاف شـده‌اند. این عناصر در کبک- لابرادور[38] (اسـترنج لیک[39]) و مناطق شـمال غربی (ثور لیک[40]) در کانادا وجود دارند. ذخایر پرعیاری نیز در بایان اوبو[41]، مغولسـتان، چین (جایی که بیشـتر تولید عناصر نادر خاکی انجام می‌شـود) وجود دارد. همچنین ذخایـر کم عیار اسـتان‌های جنوبی چین منبع اصلـی عناصر نادر خاکی سـنگین را شامل می‌شـوند. مناطقی نیز برای توسـعه تولید عناصر نادر خاکی مورد توجه واقع شـده‌اند که می‌توان به استرنج لیک و ثور لیک در کانادا و همچنیـن کارونگا[42]، بوروندی[43] و ویگو هیل[44] در جنوب تانزانیا اشاره کرد.

جدول ۲ و شـکل ۴ موقعیـت تقریبا انحصاری چیـن در تولید این مواد معدنی را نشـان می‌دهد. با این حال ذخایر عناصر نادر خاکی تقریبا

28- Strategic Materials Protection Board
29- United States Magnet Materials Association

30- Bastnaesite
31- Monazite
32- Colorado
33- Idaho
34- Montana
35- Missouri
36- Utah
37- Wyoming
38- Quebec-Labrador
39- Strange Lake
40- Thor Lake
41- Bayan Obo
42- Karonga
43- Burundi
44- Wigu Hill

▼ جدول ۲- عناصر نادر خاکی؛ ذخایر و تولید جهانی ۲۰۱۱

کشور	تولید معدن (تن)	درصد از کل	ذخایر (میلیون تن)	درصد از کل	ذخیره پایه (میلیون تن)	درصد از کل
ایالات متحده	-	-	۱۳	۱۳	۱۴	۹/۳
چین	۱۰۵,۰۰۰	۹۵	۵۵	۵۰	۸۹	۵۹/۳
روسیه (و سایر کشورهای تازه استقلال یافته)	-	-	۱۹	۱۷	۲۱	۱۴
استرالیا	۲۲۰۰	۲	۱/۶	۱/۵	۵/۸	۳/۹
هند	۲۸۰۰	۲/۵	۳/۱	۲/۸	۱/۳	۱
برزیل	۲۵۰	۰/۲۲	ناچیز	-	-	-
مالزی	۲۸۰	۰/۲۵	ناچیز	-	-	-
سایر کشورها	-	-	۲۲	۲۰	۲۳	۱۲/۵
مجموع	۱۱۱,۰۰۰		۱۱۰		۱۵۴	

(توضیحات: ذخیره پایه توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده تعیین و شامل ذخایر (اقتصادی و حاشیه‌های اقتصادی) به علاوه منابع زیر اقتصادی (مثلا آن‌هایی ممکن است پتانسیل تبدیل شدن به ذخایر اقتصادی داشته باشند) می‌باشد)

در سراسر جهان پراکنده هستند. چین دارای ۵۰ درصد (۵۵ میلیون تن از ۱۱۰ میلیون تن) و ایالات متحده با توجه به ارزیابی اخیر سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده حدود ۱۳ درصد از ذخایر جهان را در اختیار دارد. آفریقای جنوبی و کانادا از دیگر کشورهای دارای ذخایر عناصر نادر خاکی هستند. همچنین در استرالیا، برزیل، هند، روسیه، آفریقای جنوبی، مالزی و مالاوی نیز کشف شده است.

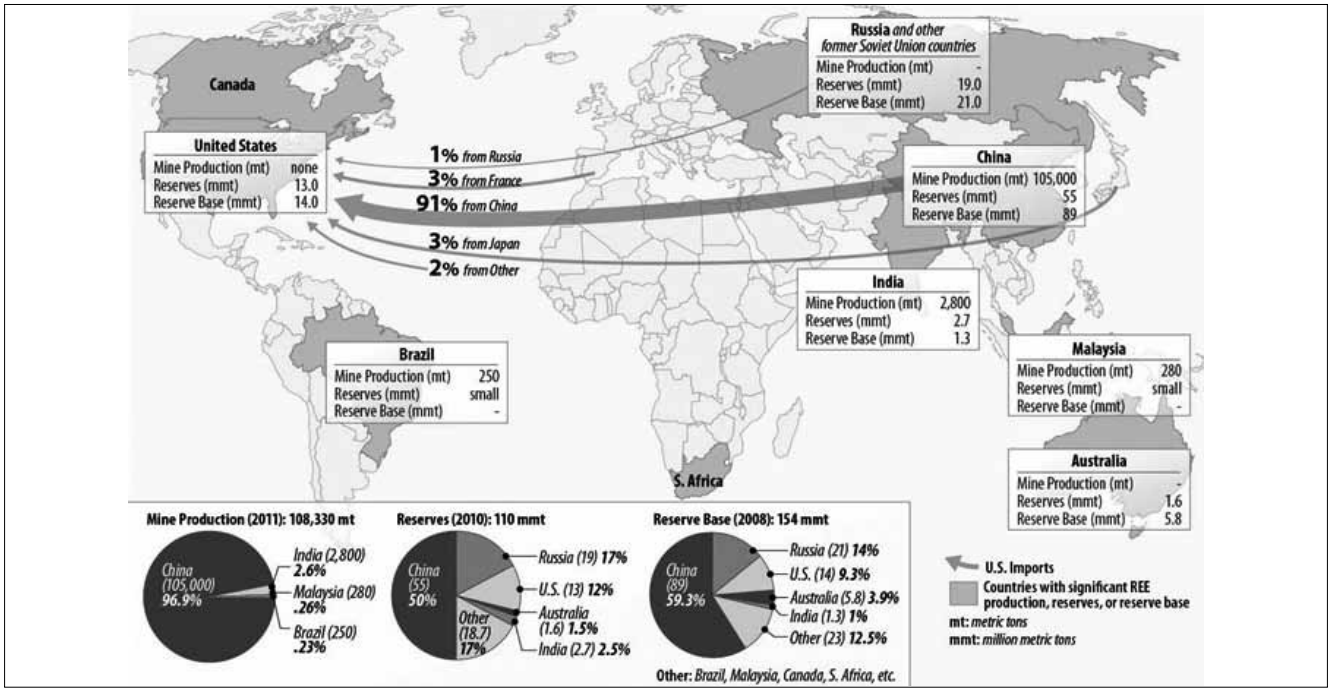
به گفته برخی زمین‌شناسان، باید توجه و مطالعات دقیقی در خصوص فرآوری و استحصال عناصر نادر خاکی به عنوان یک محصول جانبی از ذخایر فسفر، تیتانیوم و نیوبیوم از معادن برزیل و سایر نقاط دنیا معطوف گردد. شرکت‌های کانادایی، چینی و آمریکایی به تازگی ذخایر عناصر نادر خاکی مختلفی را در کنار مواد معدنی اولیه‌ای مثل کانسارهای طلا، آهن و حتی پروژه‌های شن و ماسه در ایالات متحده ارزیابی کرده‌اند.

درحال حاضر بخش قابل توجهی از تولید عناصر نادر خاکی در «مونتاین پس» کالیفرنیا در ایالات متحده انجام می‌شود که شرکت آمریکایی مولی کورپ عملیات استخراج و کانه‌آرایی را اجرا می‌کند و کنسانتره و محصولات تصفیه شده عناصر نادر خاکی حاصل از دپوهای قبلی و مواد استخراج شده از معادن جدید را به فروش می‌رساند. اکسیدهای نئودیمیوم، پراسئودیمیوم و لانتانیوم برای مراحل بعدی فرآوری تولید می‌شوند اما این مواد معدنی در ایالات متحده به عناصر نادر خاکی تبدیل نمی‌شوند. درحین اینکه ایالات متحده بیشتر عناصر نادر خاکی خود را به ژاپن صادر می‌کند، مواد استخراج شده قبلی خود را به دلیل اتکای به واردات، هرگز در معادلات تجاری محاسبه نمی‌کند زیرا این مواد از یک منبع اولیه تولید نشده‌اند.

مولی کورپ، که یک برنامه مدون اکتشافی برای افزایش ذخایر قطعی عناصر نادر خاکی در جریان دارد، همچنان به افزایش تولید تا رسیدن به حداکثر ظرفیت در سال ۲۰۱۴ ادامه می‌دهد و اخیرا امکانات جدید کارخانه فرآوری خود را نیز راه‌اندازی نموده است. کانسار «مونتاین پس» مولی کورپ با حدود ۳۰ میلیون تن عناصر نادر خاکی، سالانه حدود ۲۰ هزار تن در سال تولید دارد. عیار حد این معدن در برخی نقاط ۵ درصد است در حالی‌که عیار میانگین ۹/۲ درصد می‌باشد. این شرکت به دلیل ذخایر بزرگی که در آیداهو، کلرادو و مونتانا دارد، قصد دارد یک شرکت آمریکایی دیگر برای اجرای مراحل پیش امکان سنجی توسعه معادن تاسیس کند تا بتواند هزینه‌های خود را کاهش دهد.

ذخایر کانادا حاوی عناصر نادر خاکی سنگین دیسپروزیوم، تربیوم و یوروپیوم است که در تولید مگنت‌های مورد استفاده در دماهای بالا کاربرد دارند. گروه بزرگ مواد معدنی غربی[45] کانادا (GWMG) و فلزات نادر آوالون[46] ذخایری در اختیار دارند که عیار عناصر نادر خاکی سنگین آنها به ترتیب ۷ و ۲۰ درصد برآورد شده است. آوالون در حال توسعه یک کانسار عناصر نادر خاکی در ثور لیک واقع در مناطق شمال غربی کانادا است. حفاری از ژانویه ۲۰۱۰ آغاز شده است. کانسار ثور لیک به نظر برخی از صاحب‌نظران یکی از بزرگ‌ترین ذخایر عناصر نادر خاکی در دنیا با قابلیت تولید عناصر نادر خاکی سنگین است. GWMG یک واحد تولید آلیاژ مغناطیسی در انگلستان دارد و زمانی‌که تولید خود را از معادن کانادا و سایر معادنی که در اختیار دارند آغاز کند، قصد دارد به منظور یکپارچه‌سازی و کنترل زنجیره تامین، یک واحد فرآوری در نزدیکی محل معدن احداث کند. بزرگ‌ترین مزیت رقابتی آنها توانایی عملیات جامع عمودی است. شرکت ملی نفت، گاز و فلزات ژاپن[47] (JOGMEC) توافقنامه‌ای را برای توسعه پروژه ایتربی[48] در ایالت کبک

45- Great Western Minerals Group
46- Avalon Rare Metals
47- Japan Oil, Gas, and Metals National Corporation
48- Ytterby



▲ شکل ۴- عناصر نادر خاکی: تولید و ذخایر جهانی، واردات ایالات متحده

کانادا با شـرکت اکتشـاف میدلند[۴۹] امضا کرده اسـت. JOGMEC تحت اختیار وزارت اقتصاد، تجـارت و صنعت ژاپن، از این وزارتخانه حکمی در زمینه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های سراسر دنیا برای دست‌یابی به منابع پایدار از منابع طبیعی برای ژاپن دارد.

شـرکت لیناس، مسـتقر در اسـترالیا، بـا توجه بـه تحلیل‌های جک لیفتون[۵۰]، تحلیلگر بازار سـرمایه و سـرمایه‌گذاری، طرحـی فوری برای توسـعه پتانسـیل‌های عناصر نادر خاکی دارد. توسـعه کانسـار «مونتاین ولـد» در اسـترالیا موجب آغاز تولیـد این معدن جدید در سـال ۲۰۱۲ شـد. همچنین پروژه امکان سـنجی درخصوص امکان بازگشـایی مجدد معدن استینکامپسـکرال[۵۱] (SKK) در آفریقای جنوبی نیز اجرا می‌شـود. توافقنامه‌ای فیمابین GWMG و شرکت استخراج عناصر نادر استلنبوش[۵۲] جهت توسعه این معدن منعقد گردیده است.

موضوع نگرانی، دسترسـی به یک منبع مطمئن جهت پاسخگویی به تقاضای فعلی و قابل پیش‌بینی است. در سال ۲۰۱۱ چین تولید ۹۵ درصد از عناصر نادر خاکی در جهان را بر عهده داشـته (محاسبه شده در حجم اکسـیدهای نادر خاکی) و به محدود کردن صادرات مواد از طریق سهمیه و تعرفه‌های صادرات ادامه می‌دهد. چین در حال برنامه‌ریزی برای کاهش تولید معـادن، حذف عملیات‌های غیرقانونـی و محدوده کردن صادرات عناصر نادر خاکی اسـت. این کشـور صادرات عناصر نـادر خاکی را به میـزان ۶۰ درصد از حـدود ۵۰ هزار تن در سـال ۲۰۰۹ به ۳۰ هزار تن در سـال ۲۰۱۰ کاهش داده اسـت. وزارت بازرگانی چین نرخ صادرات ۳۰ هزار تنی سـال ۲۰۱۱ را برای سـال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ به میزان ۳۱ هزارتن و ۴۳۸ تن تعیین کرده اسـت. صادرات واقعی عناصر نادر خاکی چین در سـال ۲۰۱۲ بـه دلیل کاهش تقاضا نزدیک بـه ۱۳ هزار تن بود. همچنین دولت به شـرکت‌های تخصصی صادرات در سـال ۲۰۱۲ که به رعایت اسـتانداردهای زیست محیطی و کنترل آلودگی پرداختند، جوایزی تخصیص داد.

درحالی‌کـه ظرفیت تولیـد و فرآوری عناصر نادر خاکی در سراسـر دنیا محدود اسـت، طبق نظر کارشناسان انتظار می‌رود که ایالات متحده، استرالیا، کانادا و در آسیا بین یک تا پنج سال افزایش ظرفیت تولید حادث شـود. تولیدکنندگان چینی نیز به دنبال افزایش ظرفیت تولید یا جسـتجو برای انعقـاد موافقت‌نامه‌های بلندمدت تامین در سراسـر دنیا به ویژه در آفریقا و اسـترالیا هستند. تنها چند شرکت اکتشافی وجود دارند که ذخایر را توسـعه می‌دهنـد و به دلیل بـازه زمانی طولانی از اکتشـاف تا تولید، احتمال محدودیت عرضه در کوتاه مدت وجود دارد.

طبـق گـزارش وزارت انرژی، معادنـی که می‌توانند طی پنج سـال آینده به مرحله اسـتخراج و تولید برسـند (به جز «مونتاین ولد» اسـترالیا و «مونتاین پس» ایالات متحده) را معرفی کرده اسـت: ایسـترن کاست[۵۳] (برزیل)، نولانز بور[۵۴] (استرالیا)، نچالاکور[۵۵] (کانادا)، دونگ پائو[۵۶] (ویتنام)، هویداس لیک[۵۷] (کانادا)، و دوبو زیرکونیا[۵۸] (استرالیا).

49- Midland Exploration Inc.
50- Jack Lifton
51- Steenkampskraal
52- Rare Earth Extraction Co. Ltd. of Stellenbosch

53- Eastern Coast
54- Nolans bore
55- Nechalacor
56- Domng Pao
57- Hoidas Lake
58- Dubbo Zirconia