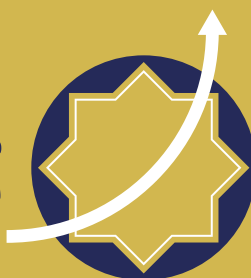


نقش مواد معدنی حیاتی در رقابت راهبردی آمریکا و چین

پاییز ۱۴۰۵

مرکز تحلیل
راهبردی و بین الملل



اللَّهُمَّ احْمِ الْبَرَّ

فهرست

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	مقدمه: مواد معدنی حیاتی، اهرمی استراتژیک در منازعه چین و غرب
۳	معرفی مواد معدنی حیاتی و خاک‌های کمیاب
۷	خاک‌های معدنی کمیاب
۹	مواد معدنی حیاتی در رقابت‌های عصر جدید
۱۱	الف) امنیت ملی و فناوری‌های دفاعی (The Defense Imperative)
۱۲	ب) انرژی نوظهور و ذخیره‌سازی انرژی
۱۴	ج) نیمه‌هادی‌ها و الکترونیک پیشرفته
۱۵	وابستگی آمریکا به زنجیره تأمین چین
۱۶	آسیب‌پذیری‌های زنجیره تأمین آمریکا ناشی از وابستگی به چین
۱۶	وابستگی‌های دفاعی آمریکا به چین
۲۰	تسلط چین بر صنعت معدنی جهان
۲۰	۱. استخراج و تولید مواد معدنی
۲۱	۲. فرآوری و پالایش مواد معدنی
۲۳	۳. محصول نهایی حیاتی
۲۳	آهنرباهای دائمی NdFeB
۲۵	فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های سبز
۲۶	رقابت استراتژیک آمریکا و چین: استفاده چین از ظرفیت مواد معدنی حیاتی خود به عنوان اهرم تحریم
۳۰	توسعه محدودیت‌های چین بر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی
۳۰	گسترش دامنه مواد معدنی تحت کنترل: از مواد خام تا محصولات پائین دستی
۳۰	گسترش دامنه کنترل‌ها: از مواد خام به فناوری و تجهیزات
۳۰	گسترش دامنه کنترل‌ها: اعمال محدودیت‌های فراسرزمینی
۳۱	گسترش دامنه کنترل‌ها: هدف‌گیری مستقیم نظامی و ژئوپلیتیکی
۳۱	گسترش دامنه اثرگذاری: از تهدید تا اقدامات ملموس و اثرگذار
۳۲	اهداف چین از اعمال محدودیت‌ها بر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی
۳۲	بررسی موردی: تشدید متقابل، اهرم مواد حیاتی چین در جنگ تجاری ۲۰۲۴-۲۰۲۵
۳۴	راهبرد آمریکا: شکستن انحصار چین
۳۴	تقویت تولیدات در داخل خاک آمریکا
۳۵	ایجاد زنجیره‌های تأمین مشترک با متحدان
۳۶	روندهای آینده: حفظ سلطه یا رهایی

فهرست

صفحه	عنوان
۳۶	چالش‌های پیش روی آمریکا
۳۶	نخست، توسعه پایگاه تولیدی مواد معدنی حیاتی زمان‌بر و پرهزینه است
۳۶	دوم، مزیت‌های ساختاری و اقتصادی چین مانع مهمی برای رقابت است
۳۶	سوم، پیچیدگی فنی و تخصصی فرآیند تولید چالش دیگری است
۳۷	چهارم، وابستگی عرضه و نوسانات بازار بر پایداری زنجیره تأمین اثر می‌گذارد
۳۷	پنجم، هزینه‌ها و مقررات محیط زیستی غرب تولیدکنندگان را محدود می‌کند
۳۷	روندهای آینده
۳۷	آهنرباهای دائمی
۳۹	باتری‌های الکتریکی
۳۹	بازیافت
۴۰	ممانعت چین از جلوگیری از زنجیره‌های تأمین جدید
۴۱	نتیجه‌گیری





بسمه تعالی

نقش مواد معدنی حیاتی در رقابت راهبردی آمریکا و چین

چکیده

در جریان رقابت استراتژیک آمریکا و چین، کنترل بر زنجیره‌های تأمین مواد معدنی حیاتی به ویژه عناصر خاکی کمیاب (Rare Earth Elements – REEs) را باید یکی از مهمترین اهرم‌های فشار ژئواکونومیک چین دانست. در دوران گذار به فناوری‌های دیجیتال و اقبال به انرژی‌های سبز، مواد معدنی (نظیر لیتیوم، کبالت، گالیوم، و به ویژه REEs) نقشی معادل نفت در قرن بیستم یافته‌اند؛ آن‌ها زیربنای مادی حیاتی برای صنایع دفاعی پیشرفته، خودروهای الکتریکی، باتری‌های ذخیره‌ساز انرژی، فناوری‌های انرژی پاک و مهم‌تر از همه، صنعت نیمه‌هادی‌ها (تراشه) هستند.

در شرایطی که آمریکا تلاش کرده است تا با حفظ سلطه خود بر برخی فناوری‌های کلیدی مانند تراشه‌ها قدرت و نفوذ خود را بر چین اعمال نمایند، چین با درک اهمیت منابع معدنی برای فناوری‌های نوظهور و تسلط بر تولید و فناوری‌های تولید آن اهرم قابل ملاحظه‌ای در ابتدای زنجیره تأمین بسیاری از صنایع و فناوری‌های نوظهور بدست آورده است.

این گزارش در صدد پاسخ به سوالات کلیدی زیر است:

- مواد معدنی حیاتی چه نقشی در رقابت استراتژیک چین و آمریکا بازی می‌کنند؟
- چین چگونه زنجیره‌های تأمین مواد معدنی حیاتی را کنترل می‌کند؟
- مکانیسم‌های قانونی، نظارتی و استراتژیک چین برای تبدیل این برتری اقتصادی به یک ابزار تحریمی ژئوپلیتیک چیست؟
- واکنش آمریکا و متحدانش به این تهدید، و راهبردهای آن‌ها برای کاهش وابستگی و تنوع‌بخشی زنجیره تأمین چیست؟

این تحلیل به این نتیجه می‌رسد که توانایی چین در کنترل جریان مواد معدنی حیاتی، یک کارت برنده استراتژیک در دست پکن است که می‌تواند در هر مرحله‌ای از تنش‌های تجاری یا نظامی، به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای ایجاد اختلال در اقتصاد و امنیت ملی آمریکا به کار رود و چین آگاهانه برای استفاده موثرتر و مداوم‌تر از آن تلاش می‌کند.





مقدمه:

مواد معدنی حیاتی، اهرمی استراتژیک در منازعه چین و غرب

در تحلیل‌های ژئوپلیتیک و اقتصادی معاصر، مواد معدنی حیاتی (Critical Minerals) به موضوعی راهبردی تبدیل شده‌اند که اهمیتی مشابه اهمیت تاریخی انرژی‌های فسیلی یافته‌اند. در حالی که سوخت‌های فسیلی موتور محرک رقابت‌های قرن بیستم بودند، اکنون همگام با رقابت بر سر سوخت‌های فسیلی، کنترل بر زنجیره تأمین مواد معدنی، سنگ بنای برتری تکنولوژیک و تضمین امنیت ملی در قرن بیست و یکم محسوب می‌شود. این حوزه، به فصل نوینی از منازعات استراتژیک بین چین و غرب تبدیل شده است.

اهمیت این مواد محدود در گذار به انرژی نوظهور نیست؛ بلکه به طور فزاینده‌ای ناشی از نقش کلیدی آن‌ها در فناوری‌های کلیدی و توانمندی‌های دفاعی است. تولید سامانه‌های پیشرفته نظامی مانند موشک‌های هدایت‌شونده، تجهیزات راداری و... دستیابی به فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، کوانتوم و... مستلزم دسترسی پایدار به این مواد است. فناوری‌هایی که برتری در آن‌ها به طور فزاینده عاملی تعیین‌کننده در شکل‌دهی به قدرت و نفوذ در نظم جدید پیش رو است.

بازار مواد معدنی حیاتی، در مقایسه با بازارهای سنتی انرژی، از تمرکز جغرافیایی بسیار بالاتری برخوردار هستند و برای بسیاری از آن‌ها تولیدکنندگان محدودی وجود دارد. افزایش تقاضاهای ایجاد شده، ریسک‌های ژئوپلیتیک ذاتی این بازارها را تشدید کرده است و اهرم‌هایی را در اختیار تولیدکنندگان این مواد برای کنترل بازار قرار داده است. در این میان چین نقش محوری در تولید، فرآوری و پالایش بسیاری از این مواد دارد. به عنوان مثال، به طور متوسط حدود ۷۰٪ از پالایش ۱۹ مورد از ۲۰ ماده معدنی استراتژیک را که آژانس انرژی بین‌المللی در گزارش سال ۲۰۲۵ خود بررسی کرده است، را چین کنترل می‌کند. این نقش، اهمیت راهبردی این مواد را در رقابت میان قدرت‌های بزرگ برجسته‌تر می‌کند.^۱

بر خلاف سایر حوزه‌های رقابت میان چین و آمریکا مانند تراشه‌ها، هوش مصنوعی و... که آمریکا با در اختیار داشتن فناوری و کنترل حلقه‌های بالای ارزش، قدرت اعمال تحریم‌ها بر چین را دارد، موقعیت انحصاری چین در این حوزه به چین این امکان را داده است که از آن به عنوان یک ابزار دفاعی در مقابل آمریکا استفاده کرده، زنجیره‌های ارزش غرب را تهدید کند و سیاست‌های تحریمی متقابل اعمال نماید.



معرفی مواد معدنی حیاتی و خاک‌های کمیاب

مواد معدنی حیاتی (Critical Minerals) معمولاً به مواد معدنی غیرسوختی که اهمیت اقتصادی و راهبردی بالایی برای یک کشور دارند اطلاق می‌شود. در سال‌های اخیر، کشورهای مختلف با توجه به شرایط منابع و اولویت‌های راهبردی خود فهرست‌های مختلفی از منابع معدنی حیاتی تدوین کرده‌اند. در رقابت چین و آمریکا در حوزه مواد معدنی تعریف و فهرست آمریکا از این مواد قابل توجه و تعیین کننده است.

بر اساس قانون انرژی آمریکا (۲۰۲۰) «مواد معدنی حیاتی» به آن دسته از عناصر معدنی غیرسوختی اطلاق می‌شود که برای امنیت اقتصادی و ملی آمریکا ضروری باشد، دارای زنجیره تأمین آسیب‌پذیر باشد و یک عملکرد ضروری در تولید محصولی ایفا کند که فقدان آن «پیامدهای قابل توجهی برای امنیت اقتصادی یا ملی آمریکا» داشته باشد. این قانون سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) را مکلف می‌کند تا بر اساس این تعریف، فهرستی رسمی از مواد معدنی حیاتی را تهیه کرده و آن را حداقل هر سه سال یک‌بار براساس جدیدترین ریسک‌های ژئوپلیتیک و نیازهای فناورانه آمریکا بازبینی و به‌روزرسانی کند.^۲ فهرست رسمی سال ۲۰۲۵ شامل ۶۰ ماده معدنی غیر سوختی است که بر اساس آخرین ارزیابی‌ها، ریسک‌های مربوط به آن‌ها مشخص شده است.^۳

USGS science for a changing world			2025 List of Critical Minerals		
60 CRITICAL MINERALS			10 NEW CRITICAL MINERALS	15 RARE EARTH ELEMENTS*	
ALUMINUM	HAFNIUM	RHODIUM			
ANTIMONY	HOLMIUM*	RUBIDIUM			
ARSENIC	INDIUM	RUTHENIUM			
BARITE	IRIDIUM	SAMARIUM*			
BERYLLIUM	LANTHANUM*	SCANDIUM			
BISMUTH	LEAD	SILICON			
BORON	LITHIUM	SILVER			
CERIUM*	LUTETIUM*	TANTALUM			
CESIUM	MAGNESIUM	TELLURIUM			
CHROMIUM	MANGANESE	TERBIUM*			
COBALT	METALLURGICAL COAL	THULIUM*			
COPPER	NEODYMIUM*	TIN			
DYSPROSIUM*	NICKEL	TITANIUM			
ERBIUM*	NIOBIUM	TUNGSTEN			
EUROPIUM*	PALLADIUM	URANIUM			
FLUORSPAR	PHOSPHATE	VANADIUM			
GADOLINIUM*	PLATINUM	YTTERBIUM*			
GALLIUM	POTASH	YTTRIUM*			
GERMANIUM	PRASEODYMIUM*	ZINC			
GRAPHITE	RHENIUM	ZIRCONIUM			

نمودار ۱- فهرست مواد معدنی حیاتی آمریکا در سال ۲۰۲۵



مواد معدنی حیاتی آمریکا - فهرست ۲۰۲۵ و کاربردهای اصلی- بر اساس فهرست List 2025 USGS: Explore the

۴ of Critical Minerals

ماده معدنی حیاتی	کاربردهای اصلی
Aluminum	تقریباً در همه بخش‌های اقتصاد
Antimony	باتری‌های سرب-اسیدی، مواد بازدارنده شعله
Arsenic	نیمه‌رساناها
Barite	حفاری نفت و گاز، تصویربرداری پزشکی
Beryllium	تولید آلیاژهای فلزی برای هوافضا و دفاع
Bismuth	فلزات غیرسمی، تحقیقات اتمی، برخی کاربردهای پزشکی
Boron	سخت‌کردن فولاد و شیشه، انرژی هسته‌ای
Cerium	مبدل‌های کاتالیستی، سرامیک، شیشه، متالورژی، پولیش
Cesium	ساعت‌های اتمی مورد استفاده در سامانه‌های موقعیت‌یابی جهانی (GPS)
Chromium	فولاد زنگ‌نزن
Cobalt	باتری‌ها، آلیاژهای فلزی مورد استفاده در دماهای بسیار بالا
Copper	سیم‌کشی و کابل‌ها
Dysprosium	آهنرباهای دائمی، تجهیزات ذخیره‌سازی داده، لیزرها
Erbium	فیبر نوری، تقویت‌کننده‌های نوری، لیزرها، رنگ‌دهنده‌های شیشه
Europium	مواد فسفری، میله‌های کنترل راکتورهای هسته‌ای
Fluorspar	تولید مواد مصنوعی و پلاستیک‌ها، آهن و فولاد، سرامیک، شیشه، پالایشگاه‌ها
Gadolinium	تصویربرداری پزشکی، آهنرباهای دائمی، فولاد
Gallium	نیمه‌رساناها
Germanium	فیبر نوری، نیمه‌رساناها، دید در شب
Graphite	روان‌کننده‌ها، باتری‌ها، پیل‌های سوختی
Hafnium	میله‌های کنترل هسته‌ای، نیمه‌رساناها، هوافضا
Holmium	آهنرباهای دائمی، میله‌های کنترل هسته‌ای، لیزرها





کاربردهای اصلی	ماده معدنی حیاتی
نمایشگرهای صفحه تخت، صفحات لمسی	Indium
فرایندهای الکتروشیمیایی، کاتالیزورهای شیمیایی	Iridium
کاتالیزورهای شیمیایی، متالورژی، باتری ها	Lanthanum
باتری ها، مهمات، تولید شیشه و سرامیک	Lead
باتری های قابل شارژ	Lithium
تصویربرداری پزشکی، الکترونیک، برخی درمان های سرطان	Lutetium
آلیاژهای فلزی مورد استفاده در هوافضا، خودرو و صنایع الکترونیک	Magnesium
تولید فولاد، باتری ها	Manganese
تولید فولاد	Metallurgical coal
آهنرباهای دائمی، لیزرهای پزشکی و صنعتی، تولید لاستیک	Neodymium
تولید فولادهای با استحکام بالا، باتری های قابل شارژ	Nickel
افزایش استحکام فولاد	Niobium
مبدل های کاتالیستی، الکترونیک، کاتالیزور شیمیایی	Palladium
کودهای شیمیایی	Phosphate
مبدل های کاتالیستی، آلیاژهای هوافضا، پالایش شیمیایی و فرآوری نفت	Platinum
بیشتر کودهای شیمیایی	Potash
آهنرباهای دائمی، باتری ها، آلیاژهای فلزی هوافضا، سرامیک، رنگ دهنده ها	Praseodymium
موتورهای جت با عملکرد بالا، توربین های گازی	Rhenium
مبدل های کاتالیستی، قطعات الکتریکی، کاتالیزورهای شیمیایی	Rhodium
ساعت های اتمی مورد استفاده در GPS، همگام سازی شبکه های داده، تحقیق و توسعه	Rubidium
کاتالیزورها، اتصالات الکتریکی، مقاومت های تراشه ای در رایانه ها	Ruthenium
آهنرباهای دائمی، راکتورهای هسته ای، درمان سرطان	Samarium





ماده معدنی حیاتی	کاربردهای اصلی
Scandium	تقویت آلیاژهای فلزی، پیل‌های سوختی، روشنایی با شدت بالا
Silicon	ویفرهای سیلیکونی، پایه و اساس نیمه‌رساناها
Silver	مدارهای الکتریکی، باتری‌ها، سلول‌های خورشیدی، تجهیزات پزشکی ضدباکتری
Tantalum	مواد و قطعات الکترونیکی مقاوم در برابر دماهای بالا و محیط‌های سخت
Tellurium	سلول‌های خورشیدی، تقویت فولاد و مس، تولید لاستیک، ریزتراشه‌ها و دیودهای لیزری
Terbium	آهنرباهای دائمی، فیبر نوری، لیزرها، تجهیزات حالت جامد
Thulium	لیزرها، تجهیزات پرتو ایکس، آلیاژهای فلزی مناسب محصولات صنعتی و اجزای راکتورهای هسته‌ای
Tin	قوطی‌های مواد غذایی و نوشیدنی، قطعات بردهای مدار، پوشش‌های فلزی مقاوم در برابر خوردگی
Titanium	رنگدانه سفید، آلیاژهای فلزی از جمله برای هواپیما، فضاپیما و زره خودروهای نظامی
Tungsten	عمدتاً برای تولید فلزات مقاوم به سایش مورد استفاده در موتورهای جت، مهمات، تجهیزات معدن و برش
Uranium	سوخت هسته‌ای، کاربردهای پزشکی
Vanadium	افزایش استحکام آهن و فولاد
Ytterbium	کاتالیزورها، لیزرها، متالورژی
Yttrium	فناوری‌های روشنایی و نمایشگر، آلیاژهای فلزی با عملکرد بالا
Zinc	پوشش محافظ آهن و فولاد در برابر زنگ‌زدگی و خوردگی
Zirconium	راکتورهای هسته‌ای، سپرهای حرارتی هوافضا، قطعات موتور





در مقابل محدودیت‌های آمریکا، چین نه تنها بزرگ‌ترین تولیدکننده جهانی بسیاری از فلزات پایه، از جمله فولاد، آلومینیوم و مس است، بلکه در تولید، فرآوری و پالایش مواد معدنی حیاتی و عناصر نادر خاکی نیز برتری تعیین کننده‌ای دارد. بازار برخی از این مواد از نظر حجم و ارزش از بازار فلزات پایه کوچک‌تر است، اما به دلیل نقش کلیدی در صنایع نیمه‌رسانا، فناوری‌های پیشرفته، تجهیزات دفاعی و انرژی‌های پاک از اهمیت راهبردی برخوردار هستند. در این میان خاک‌های معدنی کمیاب (REEs) ارزش راهبردی ویژه‌ای دارند.

خاک‌های معدنی کمیاب

عناصر خاکی کمیاب (REEs) که برخی تحلیل‌گران آنها را ویتامین‌های صنعت مدرن می‌نامند، بخش مهمی از مواد معدنی حیاتی در فهرست بسیاری از کشورها هستند.

این عناصر مجموعه‌ای از ۱۷ عنصر فلزی هستند که به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد، میزان اندکی از آنها عملکرد و ظرفیت‌ها را در کاربردهای تولیدی با فناوری پیشرفته به طور چشمگیری افزایش می‌دهند. این ویژگی‌ها سبب شده است که عناصر خاکی کمیاب در تولید طیف گسترده‌ای از کالاهای استراتژیک به کار روند.

H	Rare Earth Elements																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
*		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
**		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	
Light Rare Earth Element										Heavy Rare Earth Element							

شکل ۱- عناصر خاکی کمیاب در جدول تناوبی





این عناصر بر اساس جرم اتمی و رفتارشان به دو گروه کلیدی تقسیم می‌شوند:

عناصر سبک (LREEs) مانند نئودیمیم و پرسیودیوم که در صنایع نفت و گاز برای کاتالیزور اهمیت دارند و معمولاً دسترسی و فراوری آنها آسان‌تر است

عناصر سنگین (HREEs) مانند دیسپروزیوم و تربیوم که به دلیل کمیابی، ارزش بیشتری دارند. این عناصر برای تولید آهن‌رباهای دائمی با کارایی بالا، صنایع الکترونیک و دفاعی کاربردهای حیاتی دارند.

عناصر خاکی کمیاب برخلاف نامشان واقعاً «نادر» نیستند. بعضی از آنها حتی از سرب یا مس رایج‌ترند. اما استخراج و جداسازی آنها بسیار دشوار و هزینه‌بر است و آلودگی‌های زیست‌محیطی بالایی دارد.^۵ این عناصر در غلظت پایین در ذخایر معدنی خاص مانند مونازیت و باستانزیت یافت می‌شوند. فراوری این مواد شامل مراحل متعددی است تا عناصر جدا شده و به اکسید یا نمک خالص تبدیل شوند. فرایند فراوری حجم بالایی ضایعات سمی شامل اسیدهای قوی (هیدروفلوریک و سولفوریک)، عناصر رادیواکتیو (توریوم و اورانیوم) و فلزات سنگین (کادمیم، سرب و آرسنیک) تولید می‌کند.^۶

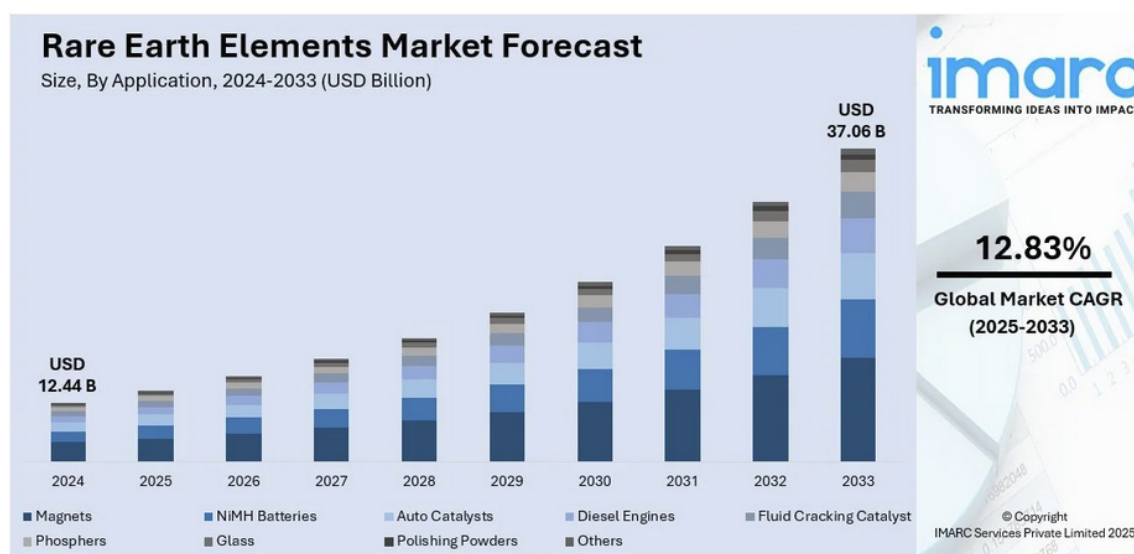
برخلاف اهمیت راهبردی این مواد، اندازه بازار آنها بسیار کوچک است. در سال ۲۰۲۴، گردش مالی خاک‌های کمیاب در سراسر جهان برابر با ۱۲.۴۴ میلیارد دلار بوده است. که در مقایسه با بازار بیش از ۲.۵ تریلیون دلاری نفت بسیار ناچیز است. با این حال ارزش کل صنایع پائین دستی وابسته به خاک‌های کمیاب، طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، در خارج از چین بیش از ۶.۵ تریلیون دلار است.^۷ با توجه به اینکه داده‌های جدید صندوق بین‌المللی پول (IMF) نشان می‌دهد که حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد تولید خاکی‌های کمیاب در داخل چین مصرف می‌شود،^۸ ارزش کل صنایع وابسته به خاک‌های کمیاب را باید با تسامح بیش از ۱۰ تریلیون دلار دانست. علاوه بر آنکه برخی صنایع پائین دستی به کار رفته در فناوری‌های کلیدی و یا صنایع دفاعی ارزش راهبردی و مرتبط با امنیت ملی دارند. به طور خاص، در آمریکا مصرف سالانه حدود ۶۱۳ میلیون دلار عناصر خاکی کمیاب، نزدیک به ۴۹۶ میلیارد دلار فعالیت اقتصادی را در صنایع غیرنظامی ضروری پشتیبانی می‌کند.^۹

به دلیل کاربرد این عناصر در فناوری‌های جدید این مواد با تقاضای رو به افزایشی مواجه هستند. گروه ایمارک پیش‌بینی می‌کند که این بازار تا سال ۲۰۳۳ به ۳۷.۰۶ میلیارد دلار برسد.^{۱۰} نمودار ۲ پیش‌بینی از تقاضای رو به افزایش خاک‌های کمیاب را در بخش‌های مختلف صنعت نشان می‌دهد.





با وجود رشد مستمر تقاضا برای عناصر نادر خاکی، کوچک بودن بازار جهانی این مواد، وابستگی به تولید کنندگان محدود، پیامدهای مهمی برای ثبات بازار و رقابت‌های ژئوپلیتیکی دارد.^{۱۱} از یک سو، محدود بودن اندازه بازار، انگیزه اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در استخراج، فرآوری و ایجاد ظرفیت‌های جایگزین را کاهش می‌دهد و وابستگی به تولیدکنندگان مسلط را تداوم می‌بخشد. از سوی دیگر، هرگونه اختلال در عرضه یا اعمال محدودیت‌های صادراتی می‌تواند به دلیل نبود ظرفیت جایگزین، نوسانات شدید قیمتی و اختلال در زنجیره‌های تأمین صنایع پیشرفته ایجاد کند. از همین رو، با وجود ارزش نسبتاً اندک این بازار، کنترل آن به اهرم ژئوپلیتیک مؤثری تبدیل شده است.



نمودار ۲- پیش‌بینی بازار خاکی‌های معدنی کمیاب^{۱۲}

مواد معدنی حیاتی در رقابت‌های عصر جدید

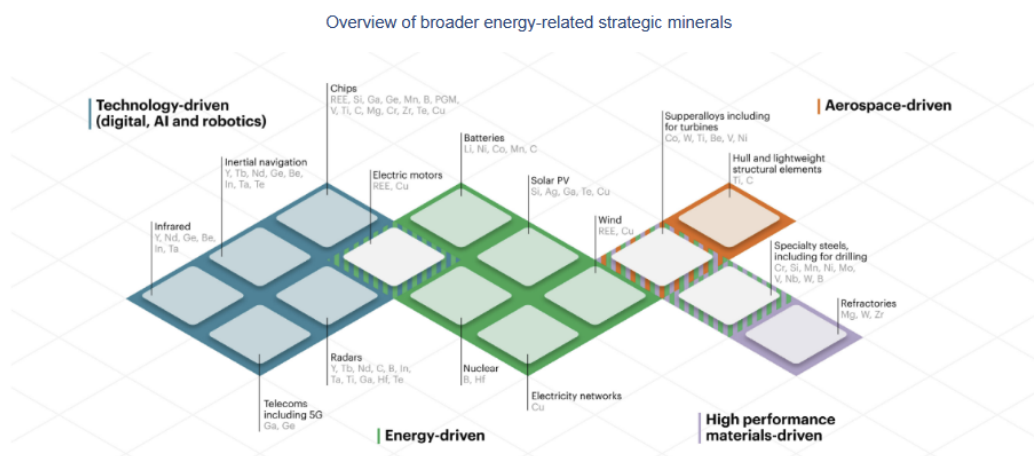
بسیاری از مواد موجود در فهرست مواد معدنی حیاتی آمریکا، عناصری هستند که نقشی بی‌بدیل در سه ستون اصلی توسعه فناوری و حفظ امنیت ملی در قرن بیست‌ویکم، یعنی صنایع دفاعی، انرژی‌های نوظهور و انقلاب دیجیتال ایفا می‌کنند. در شرایطی که رقابت راهبردی چین و آمریکا بر سر شکل‌دهی به نظم آینده جهانی تشدید شده و فناوری به کانون اصلی این رقابت تبدیل شده است، اطمینان از دسترسی پایدار، ایمن و بدون وقفه به این مواد، به یکی از مؤلفه‌های مهم قدرت ملی تبدیل شده است. از این رو، هرگونه اختلال در دسترسی به این عناصر می‌تواند بر توان فناورانه، اقتصادی و نظامی دو کشور و در نتیجه بر جایگاه آنها در نظم آینده جهان تأثیر قابل توجهی بگذارد.





با توجه به تسلط چین بر بخش قابل توجهی از زنجیره تأمین بسیاری از این مواد، بررسی کاربرد برخی از عناصر راهبردی می‌تواند ابعاد تأثیر محدودیت‌های صادراتی و تحریم‌های چین بر امنیت اقتصادی و امنیت ملی آمریکا را روشن‌تر سازد. شکل ۲ تصویری از کاربرد مواد معدنی حیاتی در چهار حوزه اصلی مصرف ارائه می‌دهد.

Many energy-related minerals are used across multiple sectors, including digital technologies, aerospace and high-performance materials



IEA. CC BY 4.0.

Notes: Excludes base metals such as aluminium, lead, tin and zinc. Ag = silver; B = boron; Be = beryllium; C = graphite; Co = cobalt; Cr = chromium; Cu = copper; Ga = gallium; Ge = germanium; Hf = hafnium; In = indium; Ir = iridium; Li = lithium; Mg = magnesium; Mn = manganese; Mo = molybdenum; Nb = niobium; Nd = neodymium; Ni = nickel; PGM = platinum-group metals; REE = rare earth elements; Sb = antimony; Si = silicon; Ta = tantalum; Tb = terbium; Ti = titanium; V = vanadium; W = tungsten; Y = yttrium; Zr = zirconium.

PAGE | 244

iea

IEA. CC BY 4.0.

شکل ۲- نمایی از کاربرد مواد معدنی حیاتی در ۴ حوزه مهم انرژی، فناوری، مواد باکارایی بالا و فضا^{۱۳}

لازم به ذکر است که این عناصر در کاربردهای یاد شده، عمدتاً قابل جایگزینی با عناصر دیگر نیستند. جایگزین کردن این مواد در برخی فناوری‌های خاص مستلزم از دست رفتن غیرقابل قبول عملکرد است یا از نظر اقتصادی بسیار پرهزینه و غیرعملی خواهد بود.^{۱۴}



الف) امنیت ملی و فناوری‌های دفاعی (The Defense Imperative)

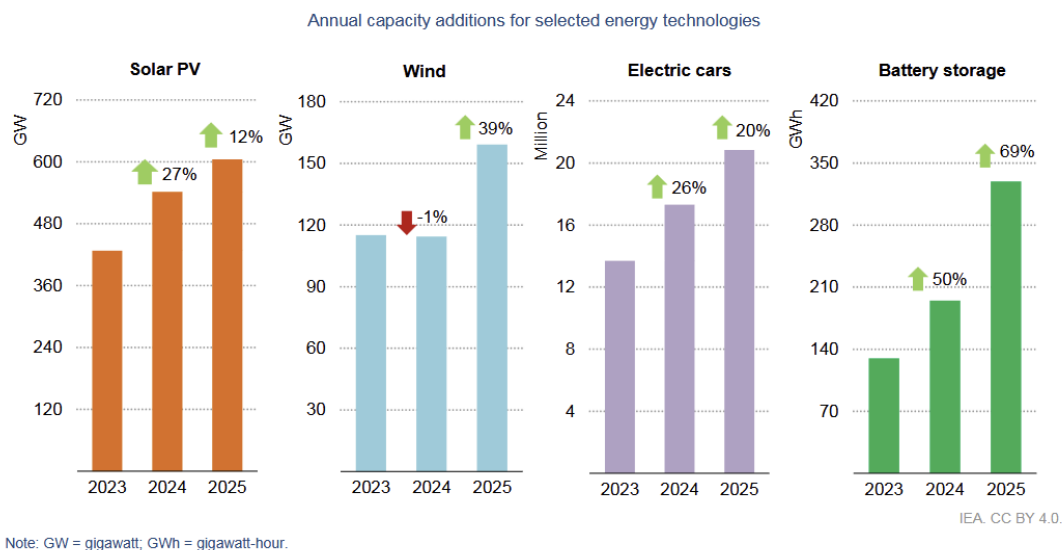
بسیاری از مواد این فهرست، الزامات مادی لازم برای حفظ برتری نظامی و توانایی‌های دفاعی نسل جدید را تأمین می‌کنند که معمولاً جایگزینی که بتواند کارایی مورد نظر را فراهم کند برای آنها یافت نمی‌شود. وابستگی فناوری‌های دفاعی مدرن در چند بخش به این مواد قابل مشاهده است:

- آهنرباهای دائمی با کارایی بالا: عناصر نادر خاکی مانند نئودیمیم (Nd)، دیسپروزیوم (Dy) و تربیوم (Tb) در ساخت آهنرباهای دائمی نئودیمیم-آهن-بور (NdFeB) به کار می‌روند.^{۱۵} این آهنرباهای قوی‌ترین آهنرباهای دائمی تجاری هستند و به دلیل انرژی مغناطیسی بسیار بالا، امکان تولید موتورهای و سامانه‌هایی با چگالی توان و گشتاور بالا را در حجم و وزن کمتر فراهم می‌کنند. از این رو، در موتورهای خودروهای برقی، تجهیزات هوافضا و دفاعی، حسگرها، سامانه‌های هدایت دقیق موشک، رادارها و سامانه‌های جنگ الکترونیک کاربرد گسترده‌ای دارند.^{۱۶} اگرچه جایگزین‌هایی مانند آهنرباهای ساماریوم-کبالت یا فریت وجود دارند، اما در بسیاری از کاربردهای پیشرفته، جایگزینی که بتواند همان سطح از کارایی را بدون افزایش قابل توجه اندازه، وزن یا هزینه فراهم کند، در دسترس نیست.^{۱۷}
 - سوپرآلیاژها: سوپرآلیاژهای پیشرفته، به‌ویژه آلیاژهای مورد استفاده در موتورهای هواپیما و توربین‌های گازی، از عناصری مانند کبالت، تنگستن، تانتالیوم، رنیم و نیکل برای افزایش استحکام در دماهای بالا، مقاومت خزشی و حفظ پایداری ریزساختاری بهره می‌برند. این ویژگی‌ها امکان عملکرد قطعاتی مانند پره‌های توربین را در شرایط دمایی و مکانیکی بسیار شدید فراهم می‌کند.
 - میکروالکترونیک، اپتیک و تصویربرداری: ژرمانیوم یکی از مواد حیاتی برای سامانه‌های اپتیک و فرسرخ پیشرفته در حوزه دفاعی و برتری اطلاعاتی محسوب می‌شود. این عنصر به دلیل شفافیت بالا در محدوده مادون قرمز، در ساخت لنزها و اجزای نوری سامانه‌های تصویربرداری حرارتی، حسگرهای فرسرخ، سامانه‌های هدف‌گیری و تجهیزات شناسایی برای کشف و رهگیری اهداف در شرایط دید محدود مانند تاریکی، دود و مه به کار می‌رود.^{۱۸}
- هر چند میزان مصرف این مواد در صنایع دفاعی آمار دقیقی وجود ندارد اما براساس گزارش‌های رسمی، یک جنگنده F-35 به بیش از ۴۰۸ کیلوگرم عناصر خاکی کمیاب نیاز دارد. ناوشکن‌های کلاس آرلی بورک به بیش از ۲۳۶۰ کیلوگرم و هر زیردریایی کلاس ویرجینیا به بیش از ۴۱۷۳ کیلو گرم از این عناصر نیاز دارند.^{۱۹} وابستگی به تأمین کنندگان خارجی در صنایع دفاعی، یک ریسک بزرگ در حوزه امنیت ملی تلقی می‌شود.



ب) انرژی نوظهور و ذخیره‌سازی انرژی

برخی از مواد معدنی حیاتی فهرست شده و بالاخص خاک‌های معدنی کمیاب از جمله لیتیوم، کبالت، نیکل، گرافیت و منگنز، ستون فقرات گذار جهانی از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر و اقتصادهای کم‌کربن هستند. خودروهای الکتریکی، باتری‌های ذخیره‌ساز انرژی، توربین‌های بادی و صفحات خورشیدی مهمترین کاربردهای مواد معدنی حیاتی را در این بخش دارند که با تقاضای روبه رشدی در سال‌های اخیر مواجه هستند. نمودار زیر رشد تقاضا برای فناوری‌های انرژی‌های نو را نشان می‌دهد.

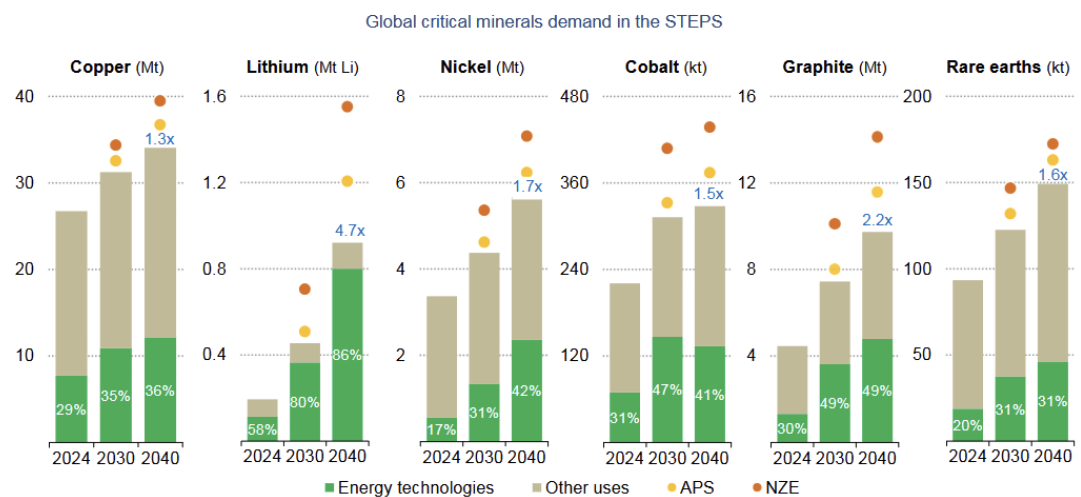


نمودار ۳- رشد تقاضای فناوری‌های انرژی در سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۵

باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی و سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی، مهم‌ترین عامل رشد تقاضا در این بخش به شمار می‌روند. بر اساس گزارش سال ۲۰۲۵ آژانس بین‌المللی انرژی، تقاضای جهانی باتری برای خودروهای برقی و ذخیره‌سازی انرژی در سال ۲۰۲۵ از ۱.۵ تراوات ساعت فراتر رفته است. این افزایش عمدتاً ناشی از گسترش استفاده از خودروهای برقی بوده است؛ به گونه‌ای که تقاضای باتری برای خودروهای برقی به‌تنهایی از ۱ تراوات ساعت عبور کرده است. هر چند رشد کاربردهای باتری‌ها در سامانه‌های دفاعی و فضایی نیز قابل توجه است. تقاضا برای باتری‌های مورد استفاده در ذخیره‌سازی انرژی در سال ۲۰۲۵ با رشدی بیش از ۷۰ درصد به حدود ۳۳۰ گیگاوات ساعت رسیده است. بیش از ۶۰ درصد از این ظرفیت باتری‌های مستقرشده در سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی، در چین به کار گرفته شده است.^{۳۱}



لیتیوم، کبالت، نیکل و گرافیت مواد خام اصلی برای تولید باتری‌های یون لیتیوم هستند که نیروی محرکه وسایل نقلیه الکتریکی را فراهم می‌کنند. ژنراتور توربین‌های بادی فراساحلی برای تولید حداکثر برق، به مقادیر زیادی آهنرباهای دائمی ناشی نئودیمیم و پرازئودیمیم نیاز دارند. گالیوم و ژرمانیوم به طور گسترده برای ساخت پنل‌های خورشیدی استفاده می‌شوند. تلوریوم و ایندیم برای تولید پنل‌های خورشیدی با لایه نازک و بازدهی بالا ضروری هستند. علاوه بر این‌ها فلزات گروه پلاتین (PGM) از جمله پلاتین، پالادیوم و رودیم، نقشی کلیدی در کاتالیزورهای صنعتی و مبدل‌های کاتالیستی خودروها برای کاهش آلودگی هوا ایفا می‌کنند. برنامه‌های گذار جهانی به انرژی پاک، تقاضا برای این عناصر را افزایش داده است، تا حدی که انتظار می‌رود تقاضا برای لیتیوم، کبالت و عناصر کمیاب به میزان چشمگیری رشد کند. گزارش ۲۰۲۵ آژانس بین‌المللی انرژی رشد تقاضا را بر حسب سناریوها و تعهدات دولتها بررسی کرده است.



IEA, CC BY 4.0.

Notes: STEPS = Stated Policies Scenario; Mt = million tonnes; kt = kilotonnes; APS = Announced Pledges Scenario; NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario. The figures for copper are based on refined copper (excluding direct-use scrap). Those for rare earth elements are for magnet rare earth elements only. Growth rates (in blue) are between 2024 and 2040.

نمودار ۸- چشم‌انداز تقاضای جهانی مواد معدنی حیاتی در سناریوی سیاست‌های اعلام‌شده (STEPS) ۳۳



ج) نیمه‌های ها و الکترونیک پیشرفته

مواد معدنی حیاتی، زیرساخت مادی اقتصاد دیجیتال و فناوری‌های پیشرفته را تشکیل می‌دهند و نقش کلیدی در توسعه نسل جدید فناوری‌ها، از ارتباطات و پردازش داده تا هوش مصنوعی، ایفا می‌کنند.

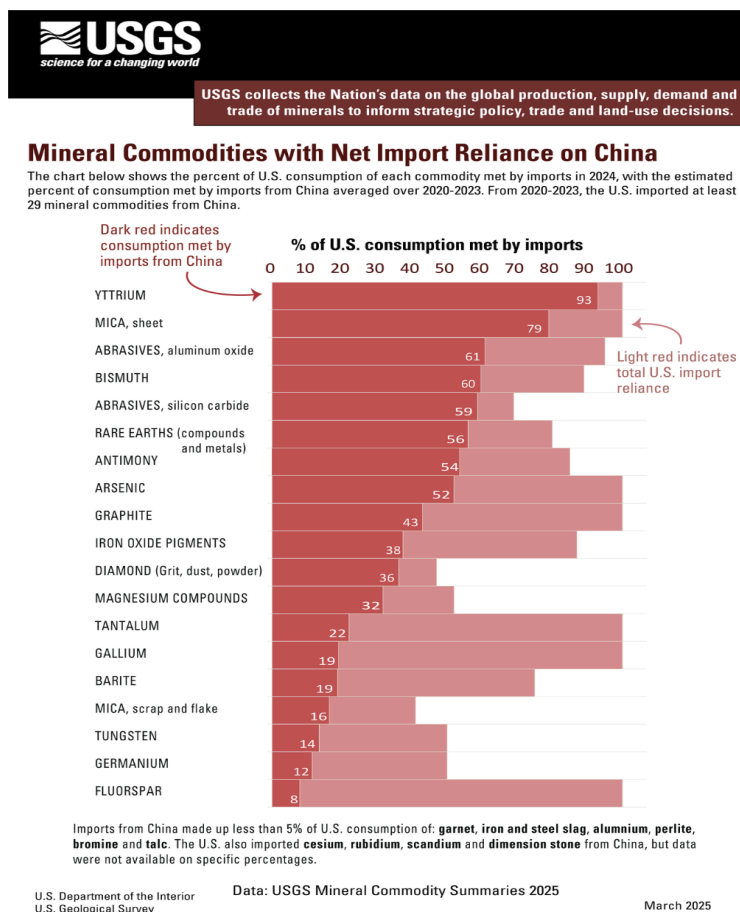
- تراشه‌های نسل جدید:
 - سیلیکون ماده خام اصلی در تولید تقریباً ۹۹ درصد از تراشه‌های کامپیوتری و ریزپردازنده‌های جهان است. این ماده به‌طور سنتی در فهرست مواد معدنی حیاتی آمریکا قرار نمی‌گرفت، زیرا یکی از فراوان‌ترین عناصر پوسته زمین محسوب می‌شود و منابع داخلی آمریکا از آن گسترده است. با این حال، اهمیت راهبردی سیلیکون در سال‌های اخیر به دلیل تمرکز تولید سیلیکون با خلوص فوق‌العاده بالا (Polysilicon) - که برای ساخت ویفرهای نیمه‌رسانا ضروری است افزایش یافته و آن را به یک ماده حیاتی برای زنجیره تأمین فناوری‌های پیشرفته تبدیل کرده است.^{۲۳}
 - ژرمانیوم نقش مهمی در بهبود عملکرد تراشه‌های سیلیکونی ایفا می‌کند. آلیاژهای سیلیکون-ژرمانیوم (SiGe) در ساخت ترانزیستورهای پرسرعت، به‌ویژه در مدارهای فرکانس بالا (RF) و سامانه‌های ارتباطی بی‌سیم مانند شبکه‌های ۵G، کاربرد گسترده‌ای دارند. علاوه بر این، ژرمانیوم به دلیل ویژگی‌های نوری منحصربه‌فرد، ماده‌ای حیاتی در تولید دیودهای نوری، حسگرهای فروسرخ و سامانه‌های حسگری پیشرفته، از جمله حسگرهای مبتنی بر فیبر نوری، محسوب می‌شود.
 - گالیوم در تولید نیمه‌رساناهای پیشرفته برای کاربردهای دفاعی، به‌ویژه رادارهای مدرن، سامانه‌های مخابراتی مانند شبکه‌های ۵G و فناوری‌های مرتبط با خودروهای برقی، نقش مهمی ایفا می‌کند. ترکیبات گالیوم، به دلیل عملکرد بالاتر در شرایط فرکانس و توان بالا، در برخی کاربردها جایگزین یا مکمل سیلیکون شده‌اند.^{۲۴}
 - فلوئور (Fluorine) در فرآیند تولید نیمه‌رساناها، به‌ویژه در مراحل حکاکی (Etching) تراشه‌ها و حذف ناخالصی‌ها از سطح ویفرها، نقش حیاتی دارد. ترکیبات فلوئوردار مانند هیدروژن فلوئوراید (HF) و گازهای فلورینه‌شده در فرآیندهای ساخت تراشه‌های پیشرفته به‌طور گسترده استفاده می‌شوند. تمرکز بالای تولید جهانی فلوئور، به‌گونه‌ای که حدود ۶۳ درصد از تولید آن در اختیار چین قرار دارد، این ماده را به یکی از عناصر مهم در امنیت زنجیره تأمین نیمه‌رساناها تبدیل کرده است.^{۲۵}
- علاوه بر کاربردهای نیمه‌رسانایی، ایندیم در فناوری‌های نمایشگر و نوری نیز نقش مهمی دارد. این عنصر در تولید اکسید ایندیم قلع (ITO) به کار می‌رود؛ ماده‌ای با ترکیب هم‌زمان شفافیت نوری و رسانایی الکتریکی که جزء اصلی لایه‌های رسانای شفاف در نمایشگرهای لمسی، LCDها و سایر فناوری‌های نوری پیشرفته محسوب می‌شود.^{۲۶}



وابستگی آمریکا به زنجیره تأمین چین

همان‌طور که در تعریف مواد معدنی حیاتی اشاره شد، دومین مؤلفه در کنار اهمیت راهبردی این مواد، آسیب‌پذیری زنجیره تأمین آن‌هاست؛ به‌ویژه تمرکز جغرافیایی بالای استخراج و فرآوری در تعداد محدودی از کشورها که وابستگی شدید به عرضه‌کنندگان خارجی و خطر اختلال در تأمین را ایجاد می‌کند. این آسیب‌پذیری با عواملی مانند وابستگی برخی مواد به تولید محصولات اصلی دیگر، رشد سریع تقاضا، محدودیت ظرفیت‌های فرآوری، زمان طولانی توسعه پروژه‌ها و نبود جایگزین‌های مناسب تشدید می‌شود.

بر اساس بررسی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) در سال ۲۰۲۴، از ۵۰ ماده معدنی حیاتی فهرست شده در سال ۲۰۲۲، آمریکا برای ۱۲ مورد ۱۰۰٪ به واردات خالص وابسته بوده و برای ۲۹ مورد دیگر، بیش از ۵۰٪ به واردات خالص وابسته بوده است. و چین به عنوان بزرگترین تولیدکننده جهانی برای بسیاری از مواد خام، تسلط قابل توجهی بر عرضه جهانی بسیاری از مواد معدنی دارد که در فهرست مواد معدنی حیاتی آمریکا قرار دارد. به عنوان مثال در سال ۲۰۲۳، چین تولیدکننده اصلی برای ۲۹ مورد از ۵۰ ماده معدنی حیاتی آمریکا بود.^{۲۷} این وابستگی زمینه‌ساز اصلی چالش‌ها بین چین و آمریکا در این حوزه است.



نمودار ۵- وابستگی آمریکا به واردات و سهم چین از واردات آمریکا^{۲۸}





وابستگی آمریکا به چین در این حوزه تنها به تامین مواد معدنی خام محدود نمی‌شود. چین با تشکیل یک اکوسیستم کامل از زنجیره تامین، استخراج، پالایش و تولید بسیاری از محصولات اولیه مرتبط را در انحصار خود قرار داده است.

آسیب‌پذیری‌های زنجیره تأمین آمریکا ناشی از وابستگی به چین

تسلط چین بر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی، چه در بخش تولید و فرآوری و چه از طریق نقش آن به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده بسیاری از این مواد، به این کشور اهرم‌های قابل‌توجهی برای اثرگذاری بر جریان جهانی عرضه و تقاضا می‌دهد. این موقعیت، آسیب‌پذیری‌های مهمی برای کشورهای غربی، به‌ویژه آمریکا، ایجاد کرده است که در چند حوزه اصلی قابل بررسی است:

- ریسک اختلال در تأمین و استفاده ژئوپلیتیکی از وابستگی‌ها چین می‌تواند در شرایط تنش سیاسی یا بحران امنیتی، صادرات مواد معدنی حیاتی را محدود، مشروط یا ممنوع کند و از کنترل خود بر زنجیره تأمین به عنوان ابزار فشار استفاده نماید.
- ریسک وابستگی راهبردی و امنیت ملی وابستگی آمریکا و متحدانش به چین در مواد معدنی حیاتی، توانایی آنها را در توسعه فناوری‌های پیشرفته، تولید تسلیحات، گذار انرژی و صنایع راهبردی کاهش می‌دهد.
- ریسک قدرت بازار و دستکاری قیمت‌ها چین با کنترل ظرفیت‌های عظیم استخراج، فرآوری و تولید، و همچنین به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده بسیاری از مواد معدنی، توانایی اثرگذاری بر قیمت‌ها، کاهش حاشیه سود رقبا و محدود کردن سرمایه‌گذاری در زنجیره‌های جایگزین را دارد.
- ریسک فرسایش ظرفیت صنعتی و تاب‌آوری زنجیره تأمین وابستگی بلندمدت به چین موجب تضعیف ظرفیت‌های داخلی در استخراج، فرآوری و تولید مواد پیشرفته شده و توانایی آمریکا برای ایجاد زنجیره‌های تأمین مستقل را محدود می‌کند.

وابستگی‌های دفاعی آمریکا به چین

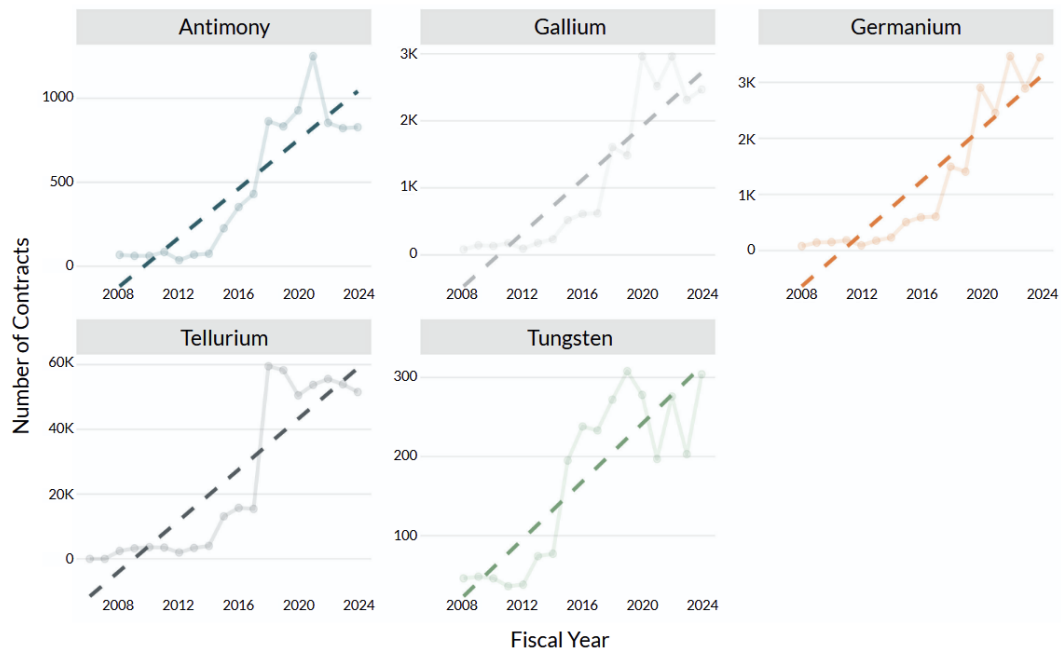
علاوه بر وابستگی امنیت اقتصادی و رشد فناوری آمریکا به این عناصر، وابستگی دفاعی آمریکا به این عناصر قابل توجه است.

شرکت داده‌کاوی دفاعی گوینی در گزارشی تحت عنوان «از سنگ تا موشک: مواد معدنی حیاتی و جنگ تجاری برای امنیت ملی» که در اواخر ۲۰۲۵ منتشر شده با اذعان به اینکه مواد معدنی زیربنای اجزای حیاتی زیرساخت دفاعی آمریکا هستند، تصریح می‌کند که برتری نظامی آمریکا به طور فزاینده‌ای به چین بستگی دارد. نمودارهای زیر از این گزارش به خوبی روند افزایش وابستگی وزارت دفاع آمریکا را به منابع معدنی که تحت تسلط چین هستند نشان می‌دهد. روند صعودی در هزینه‌ها، نشان‌دهنده وابستگی روزافزون به این مواد معدنی است.

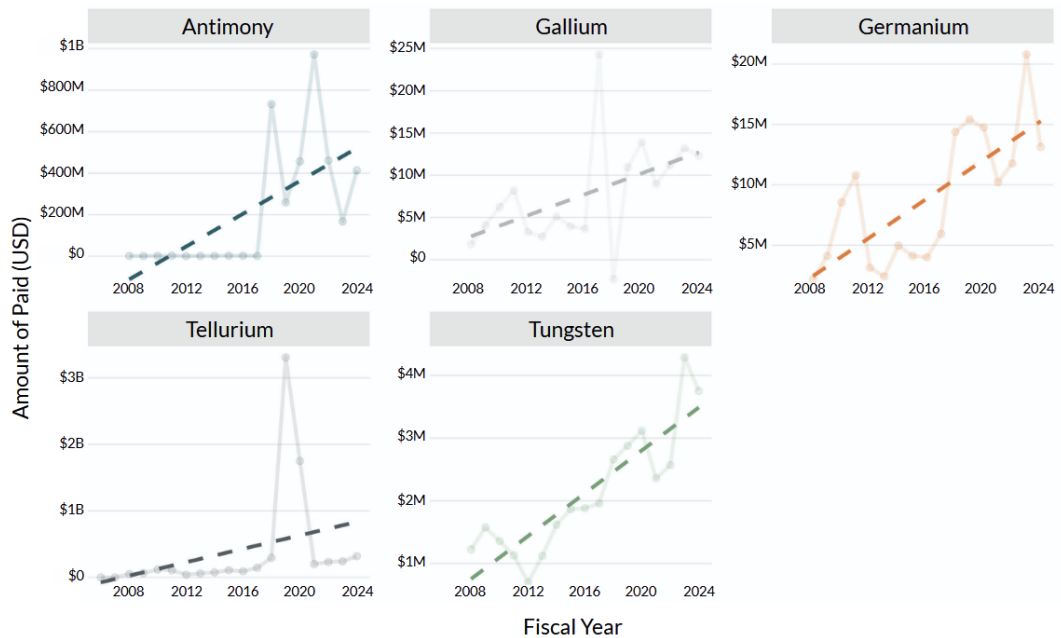




ANNUAL CONTRACT TRENDS BY CRITICAL MINERAL, FY08-FY24



ANNUAL PAYMENT TRENDS BY CRITICAL MINERAL, FY08-FY24



نمودار ۶ رشد قراردادهای و خریدهای وزارت دفاع آمریکا از مواد معدنی تولید شده چینی^{۳۹}



نمودار زیر در گزارش گوینی وابستگی تسلیحات آمریکایی به این مواد معدنی چینی را ارزیابی می‌کند. بر این اساس بیش از ۸۰,۰۰۰ قطعه در ۱,۹۰۰ سامانه تسلیحاتی آمریکا، شامل پنج ماده آنتیموان، گالیوم، ژرمانیوم، تنگستن یا تلوریوم هستند که تولید آنها در انحصار چین است؛ به این معنی که تقریباً ۷۸٪ از کل سامانه‌های تسلیحاتی وزارت دفاع (DoD) به طور بالقوه تحت تأثیر قرار دارند.

CRITICAL MINERALS IN WEAPONS SYSTEMS, 2025

Service	Parts Containing Minerals	Weapons Systems Impacted	Percentage of Weapon Systems Impacted
Navy	51,468	739	91.6%
Air Force	29,769	302	85.1%
Army	17,904	575	70.3%
Marine Corps	5,802	292	61.7%
All Services	80,006	1,908	77.7%

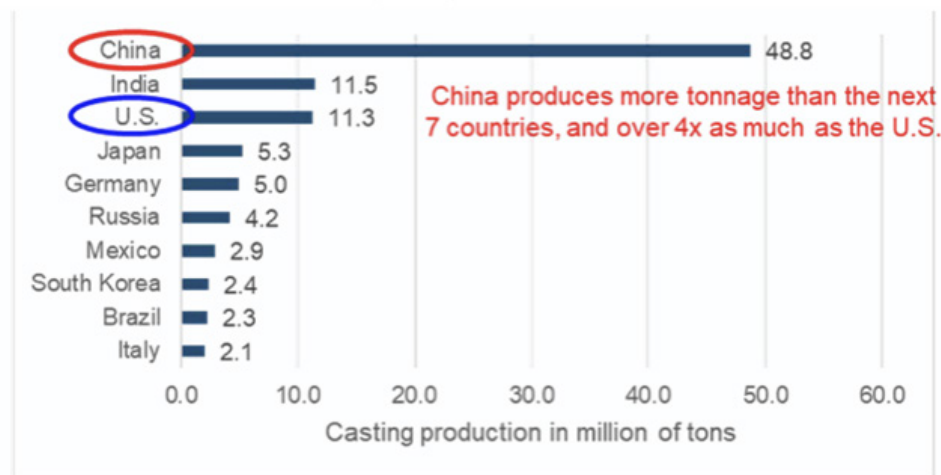
نمودار ۷- وابستگی تسلیحات آمریکا به مواد معدنی چینی^{۳۰}

گزارش ۲۰۲۲ وزارت دفاع آمریکا این وابستگی را تأیید می‌کند و اشاره می‌کند که وابستگی‌های دفاعی آمریکا در چهار حوزه سامانه‌های موشکی، ذخیره‌سازی انرژی، ریخته‌گری و آهنگری و میکروالکترونیک به مواد معدنی حیاتی تولید و فراوری شده چینی وجود دارد. به عنوان نمونه در بخش ریخته‌گری، در این گزارش آمده است که در برآورد سال ۲۰۲۰، آژانس لجستیک دفاعی (DLA) از میان ۳۲۵۹۷ قلم نهایی تخصصی، ۳۰۰۶۱ قلم شامل قطعات ریخته‌گری و آهنگری بوده‌اند. بسیاری از این قطعات، با وجود حجم کم، از سامانه‌های تسلیحاتی حیاتی برای عملیات جنگی پشتیبانی می‌کنند و نقش مستقیمی در آمادگی نظامی آمریکا دارند. در حالیکه چین بیش از ۸۰ درصد سهم ریخته‌گری‌های جهان را در اختیار دارد، آمریکا در حال حاضر تنها یک ریخته‌گری داخلی دارد که توانایی تولید قطعات بزرگ تیتانیومی مورد نیاز برای برخی سامانه‌های کلیدی تسلیحاتی را دارد.



نمودار زیر در گزارش گویینی وابستگی تسلیحات آمریکایی به این مواد معدنی چینی را ارزیابی می‌کند. بر این اساس بیش از ۸۵,۰۰۰ قطعه در ۱,۹۰۰ سامانه تسلیحاتی آمریکا، شامل پنج ماده آنتیموان، گالیوم، ژرمانیوم، تنگستن یا تلوریوم هستند که تولید آنها در انحصار چین است؛ به این معنی که تقریباً ۷۸٪ از کل سامانه‌های تسلیحاتی وزارت دفاع (DoD) به طور بالقوه تحت تأثیر قرار دارند.

Figure 4. Statista Research Department, Volume of the Global Casting Production in 2019, by Country, 23 March 2021.²⁶



نمودار ۸- سهم تولیدکنندگان برتر از بازار ریخته‌گری جهان^{۳۱}

به گزارش منابع متعدد آمریکایی، چین و دیگر تأمین‌کنندگان خارجی اغلب می‌توانند محصول نهایی را با قیمتی معادل هزینه‌ای که کارخانه‌های آهن‌گری آمریکایی برای مواد خام پرداخت می‌کنند، عرضه کنند. قابل ذکر است که اگرچه مواد معدنی حیاتی نقشی غیرقابل انکار در توانمندی‌های دفاعی وزارت دفاع آمریکا دارند، برآوردها نشان می‌دهد مصرف این نهاد کمتر از یک درصد از بازار جهانی این مواد را تشکیل می‌دهد.^{۳۳} از این رو، توانایی وزارت دفاع آمریکا برای تأثیرگذاری مستقیم بر بازار جهانی این مواد محدود است. این موضوع از دو منظر اهمیت دارد: نخست، میزان اثرگذاری و کارآمدی محدودیت‌ها و کنترل‌های اعمال‌شده بر این مواد؛ و دوم، چالش‌های ایجاد زنجیره‌های تأمین مستقل و پایدار که در بخش‌های آتی به آن‌ها پرداخته خواهد شد.



تسلط چین بر صنعت معدنی جهان

چین با سه دهه تلاش راهبردی، بر بخش‌های کلیدی زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی از استخراج تا پالایش و تولید محصول تسلط یافته است. امروزه، این کشور بزرگترین تولیدکننده و مصرف‌کننده مواد معدنی جهان است و همین موضوع، آن را به بازیگری مسلط و تعیین‌کننده در این صنعت تبدیل کرده است. این انحصار به طور خاص بر بخش‌های مختلف زنجیره تأمین خاکهای کمیاب که نقش بی بدیلی در صنایع پیشرفته دارند بیش از سایر مواد دیده می‌شود.

۱. استخراج و تولید مواد معدنی

چین دارای ذخایر قابل توجهی از برخی مواد معدنی حیاتی کلیدی، از جمله تنگستن، گرافیت و به‌ویژه عناصر خاکی کمیاب است. این کشور حدود ۳۷ درصد از ذخایر جهانی عناصر خاکی کمیاب را در اختیار دارد و از این نظر در جایگاه نخست جهان قرار گرفته است. با این حال، پراکندگی جغرافیایی ذخایر مواد معدنی حیاتی متوازن نیست و بخش مهمی از ذخایر سایر مواد راهبردی در کشورهایی مانند استرالیا، شیلی، آفریقای جنوبی و جمهوری دموکراتیک کنگو قرار دارد.

با این وجود، چین به واسطه سرمایه‌گذاری‌های گسترده داخلی و خارجی در بخش معدن و توسعه ظرفیت‌های استخراجی، سهم قابل توجهی از تولید جهانی (مرحله استخراج) مواد معدنی حیاتی را در اختیار دارد. بر اساس برخی برآوردها، چین نزدیک به ۶۰ درصد از تولید معدنی مواد موجود در فهرست مواد حیاتی جهان را کنترل می‌کند.^{۳۳} نمودار زیر میزان تسلط چین بر مرحله استخراج مواد معدنی حیاتی را نشان می‌دهد



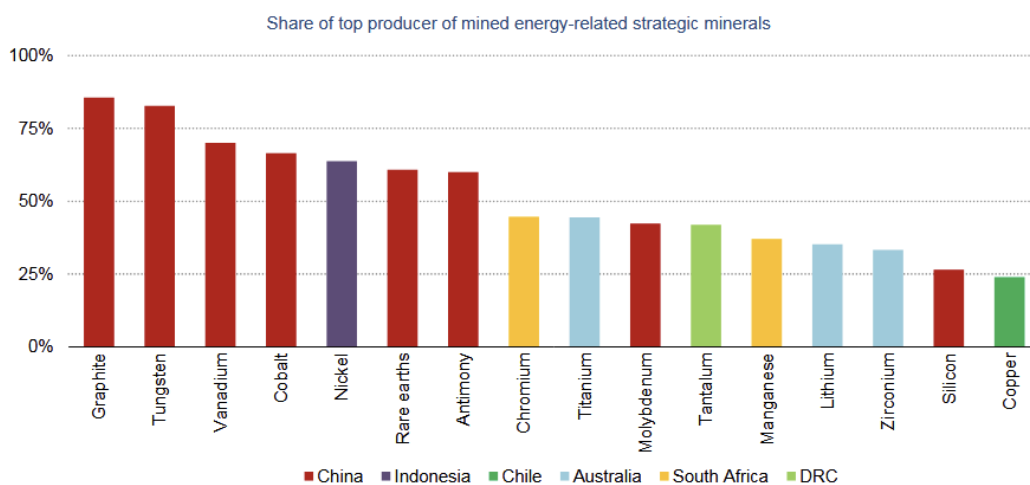
نمودار ۹- سهم کشورهای برتر در استخراج مواد معدنی حیاتی





اگر مالکیت شرکت‌های چینی بر معادن و پروژه‌های استخراجی در خارج از مرزهای چین را لحاظ کنیم، سهم واقعی چین از استخراج جهانی مواد معدنی حیاتی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. به طور مثال درحالیکه کنگو در حدود ۸ درصد کبالت جهان را تولید می‌کند، شرکت‌های چینی ۵۰ تا ۸۰٪ از ظرفیت تولید کبالت در کنگو را در کنترل دارند.^{۳۴} مالکیت چین بر استخراج نیکل تولیدی در اندونزی نیز قابل توجه است.

Over 40% of strategic minerals have a single top producer accounting for more than half of global production, highlighting significant supply concentration risks



Notes: DRC = Democratic Republic of the Congo. Based on the most recent year for which data are available. The figure for silicon refers to silica mining. Gallium, germanium, indium and tellurium are not shown as they are almost entirely produced as a by-product.
Sources: IEA analysis based on USGS (2025), [Mineral Commodity Summaries 2025](#), and EU Raw Materials Information System (accessed April 2025).

نمودار ۱۰- کشورهای برتر در استخراج مواد معدنی حیاتی با در نظر گرفتن سهم مشارکتهای خارجی^{۳۵}

۲. فرآوری و پالایش مواد معدنی

چین با سرمایه‌گذاری گسترده در ظرفیت‌های فرآوری و پالایش مواد معدنی حیاتی، که برای صنایع دفاعی و فناوری‌های انرژی پاک ضروری هستند، به جایگاه مسلطی در این بخش دست یافته است. فرآوری شامل تبدیل کنسانتره‌های معدنی استخراج شده به اکسیدهای با خلوص بالا و سپس تولید فلزات و آلیاژهای مورد نیاز صنایع پیشرفته است. سهم چین در فرآوری و پالایش این مواد معمولاً به مراتب بیشتر از سهم آن در استخراج معدنی آنهاست؛ موضوعی که نشان می‌دهد پکن کنترل بخش میانی زنجیره تأمین جهانی مواد معدنی حیاتی را در اختیار گرفته است. این برتری به چین امکان می‌دهد حتی در موادی که بخش قابل توجهی از استخراج آنها در خارج از این کشور انجام می‌شود، نقش تعیین‌کننده‌ای در عرضه جهانی ایفا کند.^{۳۶}

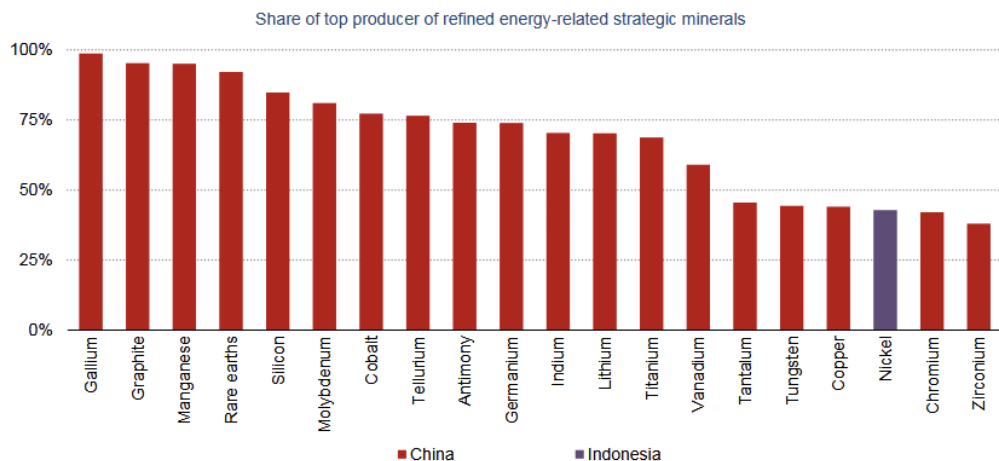


بخش قابل توجهی از کنسانتره‌های مواد معدنی حیاتی که در کشورهای مختلف استخراج می‌شوند، برای فرآوری، پالایش و در برخی موارد ذوب به چین ارسال می‌شوند.^{۳۷} چین با توسعه فناوری‌های پیشرفته پالایش و فرآوری، دستیابی به صرفه‌های ناشی از مقیاس، برخورداری از زنجیره تأمین یکپارچه و سایر مزیت‌های ساختاری، توانسته است این فرایندها را با هزینه‌ای به مراتب کمتر از رقبای خود انجام دهد. در نتیجه، هزینه پالایش و فرآوری بسیاری از مواد معدنی حیاتی در چین پایین‌تر از سایر کشورهای تولیدکننده است و این کشور به بازیگر مسلط در بخش میانی زنجیره تأمین جهانی مواد معدنی حیاتی تبدیل شده است.^{۳۸}

به طور ویژه چین در حدود ۹۰ درصد از فرآوری جهانی عناصر خاکی کمیاب را کنترل می‌کند. و این برای خاکهای کمیاب سنگین که فرآیند پالایش و جداسازی آن بسیار پیچیده، پرهزینه و از نظر زیست‌محیطی آلاینده است بیشتر نیز هست.^{۳۹}

نمودار زیر از گزارش ۲۰۲۵، آژانس بین‌المللی انرژی تسلط چین را بر بخش پالایش مواد معدنی که به طور مشترک توسط چهار حوزه اصلی (فناوری (دیجیتال)، هوش مصنوعی و رباتیک)، انرژی، مواد با عملکرد بالا و هوافضا) کاربرد دارند به خوب نشان دهد. چین بر پالایش ۱۹ گروه از این ۲۰ گروه مواد منتخب تسلط دارد.^{۴۰}

For refined material production, China is the leading producer for nearly all of the 20 minerals analysed and has an average market share of around 70%



IEA, CC BY 4.0.

Notes: Based on the most recent year for which data are available. The figure for titanium refers to titanium metal. The figure for manganese refers to high-purity manganese sulphate. The figure for molybdenum refers to ferromolybdenum.

Sources: IEA analysis based on USGS (2025), [Mineral Commodity Summaries 2025](#), and EU Raw Materials Information System (accessed April 2025).

Figure 4.0

نمودار ۱۱- تسلط چین بر بخش پالایش ۲۰ ماده معدنی حیاتی

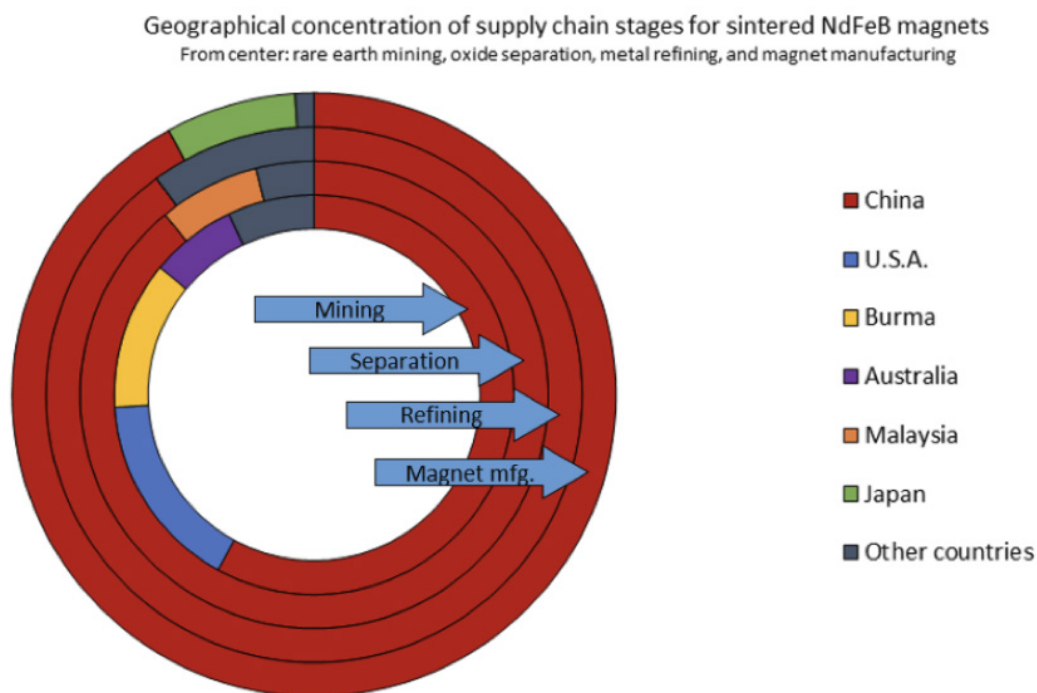


۳. محصول نهایی حیاتی

علاوه بر دو حوزه استخراج و پالایش، چین با توسعه فناوری و سرمایه‌گذاری انحصاری در بخش پایین‌دستی تولید برخی محصولات نهایی اولیه مورد نیاز در صنایع دفاعی و هایتک را نیز در اختیار گرفته است.

آهنرباهای دائمی NdFeB

آهنرباهای دائمی NdFeB (نئودیمیوم-آهن-بور؛ Neodymium-Iron-Boron) از نظر راهبردی اهمیت بالایی دارند، زیرا قوی‌ترین نوع آهنرباهای دائمی تجاری محسوب می‌شوند و امکان تولید موتورهای کوچک‌تر، سبک‌تر و در عین حال قدرتمندتر را فراهم می‌کنند. چین تنها کشوری است که در تمامی مراحل زنجیره ارزش این آهنرباها، از استخراج مواد اولیه و فرآوری عناصر نادر خاکی تا تولید آلیاژ و ساخت آهنربای نهایی، حضور گسترده دارد. مزیت چین هرچه به مراحل پایین‌دستی زنجیره تأمین، به‌ویژه تولید آهنربای نهایی، نزدیک‌تر می‌شویم افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که این کشور در این بخش به جایگاه مسلط و نزدیک به انحصاری دست یافته است. نمودار زیر میزان تسلط چین بر تولید این محصول راهبردی را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های موجود، چین در سال ۲۰۲۰ حدود ۹۲ درصد از بازار جهانی آهنرباهای دائمی NdFeB و آلیاژهای مرتبط با آن را در اختیار داشت.



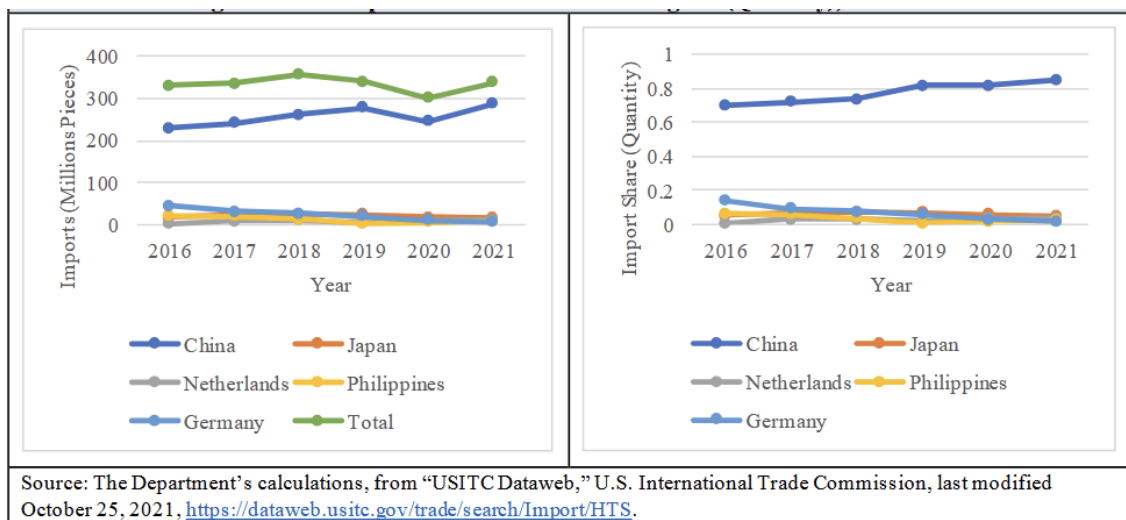
نمودار ۱۲- تمرکز جغرافیایی مراحل زنجیره تأمین برای آهنرباهای NdFeB، سال ۲۰۱۹^{۴۱}



گزارش وزارت بازرگانی آمریکا در سال ۲۰۲۱، آهنرباهای NdFeB را برای سامانه‌های دفاعی، از جمله هواپیماهای جنگنده و سامانه‌های هدایت موشکی، موادی غیرقابل جایگزین ارزیابی می‌کند. این گزارش همچنین این آهنرباها را برای زیرساخت‌های حیاتی آمریکا، شامل بخش انرژی (مانند توربین‌های بادی فراساحلی)، بخش بهداشت و سلامت عمومی (مانند برخی دستگاه‌های MRI باز و سایر تجهیزات پزشکی) و بخش تولید حیاتی (مانند موتورهای خودروهای برقی)، و نیز برای تحقق تعهدات اقلیمی آمریکا ضروری می‌داند.

بر اساس این گزارش، آمریکا برای تأمین آهنرباهای NdFeB متخلخل (sintered NdFeB magnets)، که بیش از ۹۳ درصد کاربردهای جهانی آهنرباهای NdFeB را تشکیل می‌دهند، به طور کامل به واردات وابسته است و چین منبع اصلی این وابستگی محسوب می‌شود. همچنین در حوزه آهنرباهای NdFeB پیوندی (bonded NdFeB magnets)، بیش از ۸۰ درصد نیاز آمریکا از چین تأمین می‌شود. این گزارش پیش‌بینی می‌کند که تقاضای آمریکا برای کاربردهای منتخب این آهنرباها از حدود ۱۶۱۰۰ تن در سال ۲۰۲۰، در سناریوی رشد بالا، تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۳۷۰۰۰ تن افزایش یابد.^{۴۲}

وزارت بازرگانی آمریکا در گزارش دیگری اشاره می‌کند که جایگاه مسلط چین در زنجیره ارزش جهانی آهنرباهای NdFeB، این کشور را قادر می‌سازد تا بر سطوح قیمت‌گذاری جهانی تأثیر بگذارد؛ به گونه‌ای که تعیین قیمت در سطوح پایین‌تر از هزینه‌های رقابتی می‌تواند تولیدکنندگان فعال در اقتصادهای بازار را با چالش‌های جدی مواجه کرده و تداوم فعالیت آنها را غیرپایدار سازد.^{۴۳}

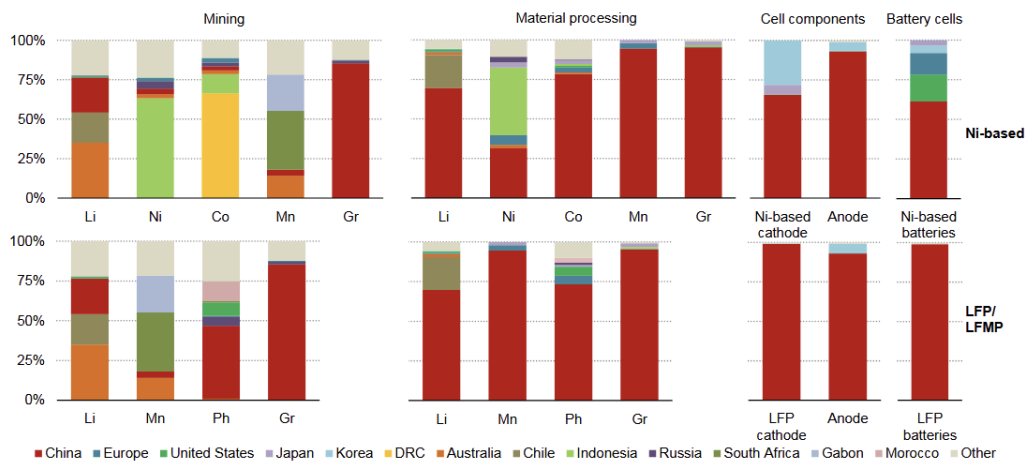


نمودار ۱۲- تمرکز جغرافیایی مراحل زنجیره تأمین برای آهنرباهای NdFeB، سال ۲۰۱۹^{۴۴}



فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های سبز

تسلط چین بر بخش‌های میانی و پایین‌دستی زنجیره ارزش انرژی‌های نوین، از جمله باتری‌های خورشیدی، باتری‌های الکتریکی و خودروهای برقی، نیز به‌وضوح قابل مشاهده است. نمودارهای زیر سهم چین در مراحل مختلف زنجیره تولید باتری‌های الکتریکی را نشان می‌دهند. مشابه زنجیره آهنرباهای دائمی، هرچه به مراحل پایین‌دستی زنجیره تولید باتری، به‌ویژه تولید سلول و مونتاژ نهایی، نزدیک می‌شویم، میزان وابستگی جهانی به ظرفیت‌های تولیدی چین افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که مزیت اصلی چین صرفاً در دسترسی به مواد اولیه نیست، بلکه در ایجاد ظرفیت گسترده صنعتی، فناوری تولید و کنترل حلقه‌های کلیدی زنجیره ارزش نهفته است. این موضوع به ویژه در زنجیره تأمین باتری باتری لیتیوم-آهن-فسفات (LFP) که ۵۵ درصد مصرف باتری‌های جهانی را تشکیل می‌دهد بیشتر است.



Notes: Ni-based = nickel-based cathodes. Li = lithium; Ni = nickel; Co = cobalt; Gr = graphite, Mn = manganese, Ph = phosphate; Material Processing: Mn = battery-grade Mn sulphate, Ph = battery-grade phosphoric acid, Gr = battery-grade graphite. DRC = Democratic Republic of the Congo.
Sources: IEA analysis based on USGS (2025), [Mineral commodity summaries](#), BloombergNEF and Benchmark Mineral Intelligence.

IEA. CC BY 4.0.

نمودار ۱۴- تمرکز جغرافیایی زنجیره تأمین باتری‌های لیتیوم‌یونی و جایگاه مسلط چین در مراحل میانی و پایین‌دستی

تولید، ۲۰۲۴ ۴۵



بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، در سال ۲۰۲۵ چین حدود ۷۰ تا ۹۵ درصد از ظرفیت فرآوری جهانی مواد معدنی کلیدی مورد استفاده در زنجیره باتری، از جمله لیتیوم، کبالت، فسفات، منگنز و گرافیت را در اختیار داشت. این کشور همچنین حدود ۹۸ درصد از تولید مواد کاتدی LFP، نزدیک به دو سوم مواد کاتدی مبتنی بر نیکل، بیش از ۹۰ درصد مواد آندی و حدود ۸۰ درصد ظرفیت تولید سلول‌های باتری جهان را به خود اختصاص داده بود. افزون بر این، چین حدود ۹۵ درصد از ظرفیت جهانی تولید پیش‌سازهای مواد کاتدی (Cathode Active Material Precursors) را در اختیار داشت.^{۴۶}

رقابت استراتژیک آمریکا و چین: استفاده چین از ظرفیت مواد معدنی حیاتی خود به عنوان اهرم تحریم

فهم چین از راهبردی بودن عناصر معدنی حیاتی به دهه‌های گذشته بازمی‌گردد. در دهه ۱۹۵۰، ژوان لای، استخراج عناصر خاکی کمیاب را در نخستین برنامه توسعه علمی و فناوری چین جای داد. و از آن زمان بهره‌برداری و تحقیقات در مورد خاک‌های کمیاب در برنامه‌های سیاستی چین کم و بیش حضور داشته است. دنگ شیائوپینگ در سال ۱۹۹۲، جمله معروفی دارد که نشان دهنده فهم چین از ارزش راهبردی خاک‌های کمیاب در آن زمان است. «خاورمیانه نفت دارد و چین خاکی‌های کمیاب دارد. منابع خاکی کمیاب چین ۸۰ درصد ذخایر شناخته‌شده جهان را تشکیل می‌دهد و جایگاه آن را می‌توان با نفت خاورمیانه مقایسه کرد. این منابع از اهمیت راهبردی بسیار زیادی برخوردارند. باید حتماً مسئله خاکی‌های کمیاب را به‌خوبی سامان دهیم و مزیت چین در زمینه خاکی‌های کمیاب را به‌طور کامل بالفعل کنیم».^{۴۷} از این زمان می‌توان تلاش‌های منسجم چین برای کسب جایگاه مسلط در بخش‌های مختلف زنجیره تولید خاک‌های کمیاب را مشاهده کرد.

در دهه گذشته نیز نشانه‌هایی از سیاست‌های محدودکننده در زمینه استخراج، فرآوری و صادرات این منابع توسط چین مشاهده می‌شود. از جمله در مناقشه چین و ژاپن در سال ۲۰۱۰، که تنش میان دو کشور بر سر جزایر سنکاکو/دیائویو با گزارش‌هایی درباره توقف یا محدودسازی صادرات عناصر نادر خاکی چین به ژاپن همراه شد؛ اقدامی که اگرچه پکن وجود هرگونه تحریم رسمی را انکار کرد، اختلال در صادرات برای چند هفته ادامه یافت و به یکی از نخستین نمونه‌های برجسته پیوند میان اهرم مواد معدنی حیاتی و منازعات ژئوپلیتیکی تبدیل شد. در دوره رهبری شی جین‌پینگ و با توسعه تحریم‌های آمریکا و شرکایش علیه چین از دوره اول ریاست جمهوری ترامپ، چین به این کالای راهبردی با نگاه راهبردی‌تری نگرست و به مرور بر استفاده از ظرفیت برتری خود در زنجیره تامین مواد معدنی حیاتی به عنوان اهرمی اثرگذار در این رقابت روی آورد.



در سال ۲۰۱۹ در بحبوحه جنگ تجاری آمریکا و چین و پنج روز پس از تحریم هواوی توسط آمریکا در ۲۱ می ۲۰۱۹، شی جین پینگ از یک کارخانه آهنرباهای خاکی کمیاب در استان جیانگشی در جنوب شرقی چین بازدید کرد که بازارهای جهانی را تکان داد.^{۴۸} سفر شی این نکته را به جهان یادآوری کرد که اگر بقیه جهان چین را تهدید کند، چین می‌تواند با مشت مقابله کند. کمیسیون توسعه و اصلاحات چین پس از آن تهدید کرد که می‌تواند از صادرات خاک های کمیاب به عنوان اهرمی در جنگ تجاری با آمریکا استفاده کند و نوشت: «آیا خاک های کمیاب به سلاح متقابل چین در برابر سرکوب بی دلیل آمریکایتبدیل خواهند شد؟» در ژوئن ۲۰۱۹ در پی تشدید تحریم‌های هواوی، چین بی سرو صدا قیمت خاکهای معدنی مورد استفاده در آهنرباهای دائمی از جمله نئودیمیم را از ۳۲ دلار در هر کیلو گرم به حدود ۴۲ دلار افزایش داد. و سخنگوی وزارت بازرگانی چین گفت که چین در حالیکه نیازهای مشروع دیگر کشورها را برآورده خواهد کرد اما نمی‌پذیرد که از منابع خاکی کمیاب خود «برای سرکوب توسعه چین» استفاده شود.^{۴۹}

در اکتبر ۲۰۲۰، وزارت صنعت و فناوری اطلاعات چین پیشنهادهایی مبنی بر اعمال «کنترل صادرات» اکسیدهای خاکی کمیاب (REO) به شرکت‌های دفاعی آمریکا که به تایوان سلاح می‌فروشند، مانند لاکهید مارتین، بوئینگ و ریتون، ارائه داد.^{۵۰} اقدامات چین در آن زمان در زمینه اعمال تحریم بر صادرات خاکهای کمیاب از این فراتر نرفت. و یک باور عمومی ایجاد شده بود که چین به دلایل وابستگی‌های اقتصادی خود به بازارهای آمریکا و غرب تنها تهدید می‌کند و یا اقداماتی انجام می‌دهد که اثر واقعی بر بازار و زنجیره‌های تامین جهانی نداشته باشد. به عنوان شاهد در سال ۲۰۲۲ گزارشی از موسسه رند اعمال کنترل‌های صادراتی گسترده از سمت چین را غیر محتمل می‌دانست و بر این باور بود که چین در صورت لزوم همچنان از اختلال‌های هدفمند غیر اعلام شده در درگیری با آمریکا و متحدانش استفاده می‌کند.^{۵۱}

اما در داخل چین، به نظر می‌رسد با فهم از شدت گرفتن درگیری‌ها با غرب و تداوم تحریم‌ها، چین از سال ۲۰۲۰ گام به گام زمینه را برای استفاده از این مواد به عنوان اهرمی استراتژیک در رقابت خود با غرب فراهم کرده است. سخنرانی از شی در سال ۲۰۲۲، که بعدتر منتشر شد نشان می‌دهد که چین بر استفاده صریح از این اهرم کنترلی تصریح داشته است. شی در این سخنرانی بیان می‌کند که چین باید جایگاه پیش‌تاز خود را در صنایع دارای مزیت تثبیت و تقویت کند، فناوری‌های راهبردی و «سلاح‌های نهایی»^{۵۲} (杀手锏) را توسعه دهد و وابستگی زنجیره‌های تولید جهانی به چین را افزایش دهد تا در برابر تلاش کشورهای خارجی برای قطع مصنوعی عرضه به چین، از توان کافی برای اقدام متقابل و ایجاد بازدارندگی برخوردار باشد.^{۵۳}

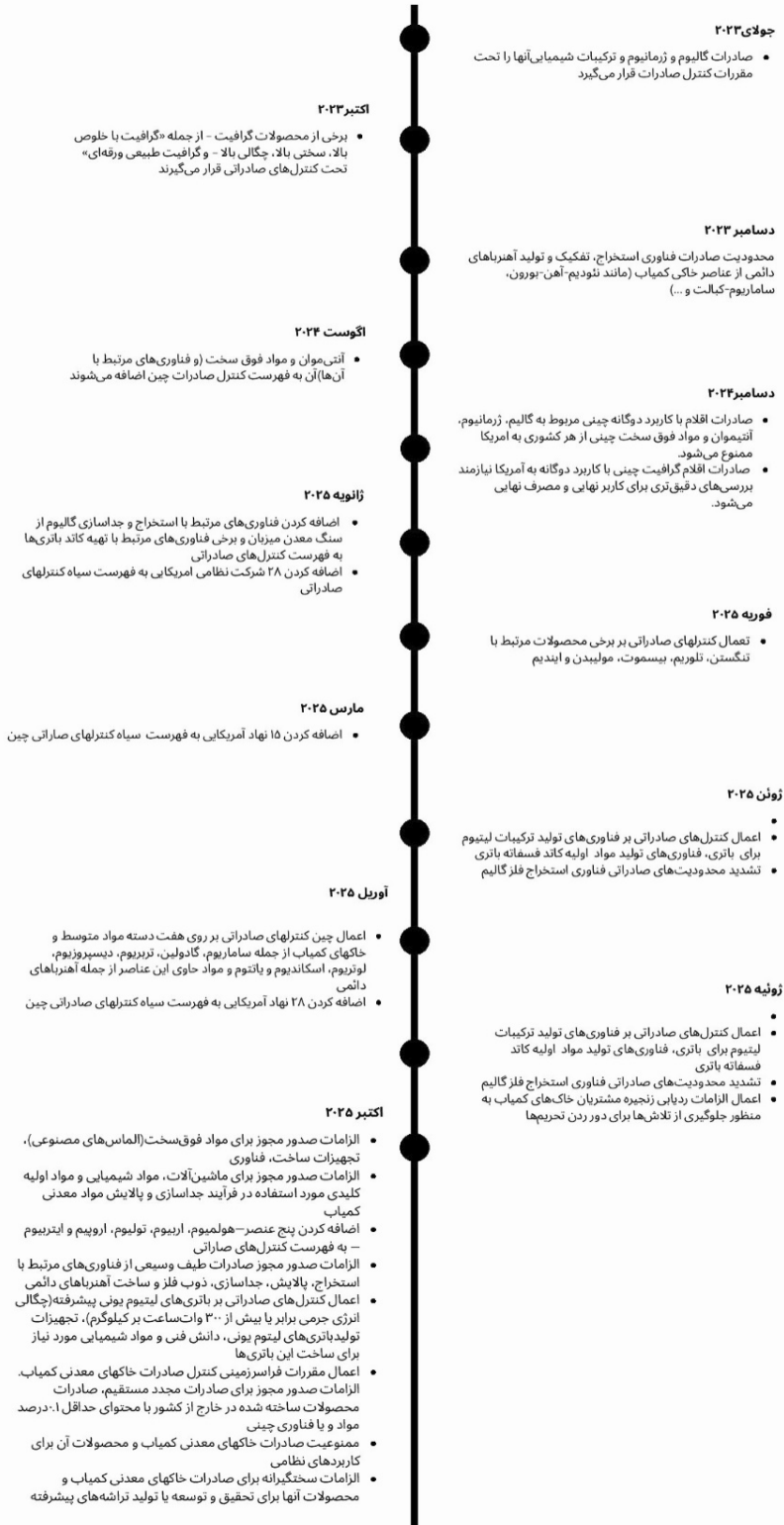


در راستای عملیاتی کردن این راهبرد، چین ابتدا با ایجاد یک چارچوب قانونی و نظارتی، اقدامات پراکنده محدودکننده را به یک نظام جامع کنترل صادرات تبدیل کرده و موقعیت خود را در این حوزه به طور قابل توجهی تقویت کرده است. در سال ۲۰۲۰، قانون‌گذاران چینی قانون کنترل صادرات را به تصویب رساندند؛ قانونی که به دولت پکن اختیار می‌دهد تا سازوکارهای ساده‌سازی‌شده‌ای برای اعمال کنترل بر صادرات اقلام دومانظوره ایجاد کند.^{۵۴} این قانون — که در نظام‌های پیشین کنترل صادرات چین بی‌سابقه است — بر مبنای حفظ امنیت و منافع ملی، صادرات کالاها و فناوری‌های با کاربرد دوگانه (نظامی و غیرنظامی) را منوط به دریافت مجوزهای سخت‌گیرانه می‌سازد. افزون بر این، قانون مزبور دارای مقرراتی با صلاحیت فراسرزمینی است؛ به این معنا که حتی نهادهای مستقر در خارج از چین نیز می‌توانند در صورت نقض مفاد آن، در معرض پیگرد و مسئولیت قانونی قرار گیرند.

در دوره بایدن، با تشدید تحریم‌های آمریکا علیه چین، شفاف شدن جبهه‌بندی‌های آمریکا در برابر چین پس از جنگ اوکراین و ...، پکن به درک عمیق‌تری از ماهیت رقابت راهبردی با واشنگتن دست یافت. چین دریافت که محدودیت‌های آمریکا صرفاً جنبه دفاعی ندارند، بلکه هدف آن‌ها خفه‌کردن زنجیره صنعتی و فناورانه چین است. در نتیجه، پکن به این جمع‌بندی رسید که واکنش‌های مقطعی کافی نیست و باید به سوی اقدامات متقابل موثرتر حرکت کند. در عین حال، تکمیل تدریجی زنجیره تولید داخلی، پیشرفت در خودکفایی صنعتی، و تاب‌آوری بالای اقتصاد چین پس از دوران کرونا، به پکن اعتماد به نفس لازم را برای اتخاذ مواضع صریح‌تر و فعال‌تر در برابر آمریکا بخشید. این فهم موجب شد تا چین از یک سال آخر دوره ریاست جمهوری بایدن در واکنش به تحریم‌های آمریکا به صورت مکرر و موثر از کنترل‌های صادراتی در زنجیره تامین مواد معدنی حیاتی استفاده کند. نمودار زیر روند نمایی از اقدامات چین در این زمینه را در دو سال گذشته نشان می‌دهد.



محدودیت‌های چین بر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی





توسعه محدودیت‌های چین بر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی

روند سیاست‌های کنترلی چین بر مواد معدنی حیاتی در دو سال اخیر از اواخر سال ۲۰۲۳ تا کنون به خوبی تبدیل شدن این برتری را به یک اهرم استراتژیک و ژئوپلیتیکی در رقابت جهانی با آمریکا نشان می‌دهد. این تغییرات را می‌توان در چند محور کلیدی مشاهده کرد که نشان‌دهنده تعمیق، گسترش دامنه و افزایش هدفمندی این کنترل‌ها هستند.

گسترش دامنه مواد معدنی تحت کنترل: از مواد خام تا محصولات پائین دستی

چین به طور پیوسته دامنه مواد تحت پوشش کنترل‌های صادراتی خود را افزایش داده است. در جولای ۲۰۲۳ چین در واکنش به تحریم‌های آمریکا، ابتدا کنترل‌ها را بر ژرمانیوم و گالیوم اعمال کرد. در پائیز همان سال محدودیت‌ها بر آنتیموان و گرافیت اعلام کرد. با روی کار آمدن ترامپ در اواخر سال ۲۰۲۴ و آغاز جنگ تجاری آمریکا علیه چین، چین دامنه کنترل‌های صادراتی را گسترش داد و تا اکتبر ۲۰۲۵ به طور مرحله‌ای ۱۲ ماده از خاکهای معدنی کمیاب، آهنرباهای مرتبط و برخی باتری‌ها را تحت کنترل‌های صادراتی خود قرار داد.

گسترش دامنه کنترل‌ها: از مواد خام به فناوری و تجهیزات

تغییر مهم دیگر، خروج از تمرکز صرف بر مواد خام و اعمال کنترل بر ارزش افزوده و دانش فنی است. چین با درک اینکه سلطه واقعی در فرآوری و فناوری‌های تولید نهفته است، محدودیت‌های جدیدی را بر صادرات تجهیزات و دانش فنی اعمال کرد. در اواخر ۲۰۲۴ و اوایل ۲۰۲۵، ممنوعیت‌هایی بر صادرات فناوری ساخت آهنرباهای پیشرفته از عناصر خاکی کمیاب اعلام شد. همچنین، در مجموعه کنترل‌های اعلامی اکتبر ۲۰۲۵، این روند با اعمال محدودیت بر صادرات گسترده‌ای از فناوری‌های مرتبط با تولید مواد پیشرفته تکمیل شد؛ از جمله تجهیزات و دانش فنی جداسازی و تصفیه عناصر خاکی کمیاب، تجهیزات بازیافت این مواد، فناوری‌های ساخت مواد آندی گرافیت مصنوعی و مواد کاتدی باتری‌های لیتیوم-یون با چگالی بالا، و تجهیزات مرتبط با مواد بسیار سخت. این اقدام نشان می‌دهد که هدف چین جلوگیری از توسعه مستقل و رقابتی فرآوری و تولید محصولات نهایی در کشورهای دیگر است.

گسترش دامنه کنترل‌ها: اعمال محدودیت‌های فراسرزمینی

یکی از شدیدترین تغییرات در سیاست‌های چین، حرکت از کنترل‌های صادراتی مستقیم به سمت اعمال کنترل‌های صادراتی به صورت فراسرزمینی (برون‌مرزی) بوده است. این اقدام، به طور مستقیم زنجیره‌های تأمین جهانی را به چالش می‌کشد. بر اساس اعلامیه اکتبر ۲۰۲۵، شرکت‌های خارجی ملزم شدند که برای صادرات «قطعات، اجزا و مجموعه‌هایی» که در ساخت آن‌ها از مواد معدنی چینی استفاده شده یا از طریق فناوری‌های فرآوری چینی تولید شده‌اند، از وزارت بازرگانی چین مجوز درخواست کنند. این به معنای آن است که حتی اگر یک شرکت در اروپا یا آمریکای شمالی محصولی را بسازد که در آن مقادیر کمی از مواد چینی به کار رفته، تحت نظارت و کنترل دولت چین قرار می‌گیرد. این روند، قدرت چین را از مرزهای جغرافیایی‌اش فراتر برده و آن را به یک کنترل‌کننده جهانی زنجیره تأمین تبدیل می‌کند.



گسترش دامنه کنترل‌ها: هدف‌گیری مستقیم نظامی و ژئوپلیتیکی

تغییر دیگر در روند، افزایش صراحت در هدف‌گذاری این محدودیت‌ها است. برخی کنترل‌های جدید به جای آنکه تنها مجوزهای عمومی را سخت‌تر کنند، به صورت مستقیم و صریح بخش‌های خاصی را ممنوع یا محدود ساخته‌اند. این هدف‌گیری ابتدا با اعمال محدودیت‌های صادراتی بر فلزاتی چون گالیوم، ژرمانیوم و آنتیموان (در سال ۲۰۲۴) آغاز شد که عمده‌تأ صنایع نیمه‌رسانا و دفاعی آمریکا را نشانه گرفت و به عنوان یک اقدام تلافی‌جویانه در برابر محدودیت‌های آمریکا بر تراشه‌ها تفسیر شد. اوج این تغییر در اعلامیه اکتبر ۲۰۲۵ بود که به صراحت بیان کرد صدور مجوز برای «کاربران دفاعی خارج از چین» تأیید نخواهد شد. این ممنوعیت مستقیم، صنایع دفاعی آمریکا و متحدانش را هدف قرار می‌دهد که وابستگی شدیدی به عناصر خاکی کمیاب برای ساخت تجهیزات حیاتی نظامی دارند.

گسترش دامنه اثرگذاری: از تهدید تا اقدامات ملموس و اثرگذار

تغییر چهارم و شاید مهم‌ترین تغییر در روند سیاست‌های کنترلی چین بر مواد معدنی حیاتی، تغییر از تهدید و اقدامات عمدتاً نمادین و سیاسی به سمت اعمال محدودیت‌هایی با اثرات ملموس و بزرگ در زنجیره‌های تأمین جهانی است. در سالهای گذشته، اگرچه چین تهدید به استفاده از اهرم خاکی کمیاب می‌کرد، اما اغلب از اجرای کامل و وسیع محدودیت‌ها خودداری می‌شد؛ زیرا اثرات سوء آن بر اقتصاد داخلی چین و جایگاه آن به عنوان تأمین‌کننده اصلی جهانی نیز محتمل بود. سیاست‌های اعلامی از اواخر سال ۲۰۲۳ به بعد، به ویژه مجموعه کنترل‌های سال ۲۰۲۵، نشان‌دهنده تغییر جهت به سمت اقدامات اجرایی با نفوذ عمیق‌تر است که می‌تواند به طور جدی اختلال بزرگ و پرهزینه در برنامه‌های استراتژیک، صنعتی و دفاعی آمریکا و متحدانش ایجاد کند. اختلال ایجاد شده در تابستان ۲۰۲۵ در نتیجه کاهش صادرات مواد معدنی چینی نمونه‌ای آشکار شده از این اختلالات است. این چهار تغییر، سیاست‌های کنترلی چین را از محدودیت مواد خام اولیه به سیستمی فراگیر و هدفمند گسترش داده که فناوری‌های فرآوری و زنجیره‌های تأمین نظامی-صنعتی جهانی را به طور مستقیم هدف قرار می‌دهد. این امر برتری چین را از یک مزیت رقابتی به یک اهرم نفوذ ژئوپلیتیکی ملموس در رقابت با آمریکا تبدیل کرده است.



اهداف چین از اعمال محدودیت‌ها بر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی

اقدامات محدودیت ساز چین عمدتاً پاسخی به اقدامات محدودیت‌ساز آمریکا بوده‌اند. هر چند چین تلاش می‌کند تا در اهداف اعلامی خود از زدن برچسب اقدام متقابل و نشانه‌گیری مستقیم آمریکا خودداری کند اما اعمال این محدودیت‌ها بلافاصله پس از انجام اقدامات محدودیت‌ساز آمریکا هرگونه تردید را در اهداف این اقدامات از بین می‌برد. فاصله زمانی اعمال این اقدامات واکنشی از چند روز در سال اخیر به چند ساعت رسیده است.

در عمل به طور کلی محدودیت‌های چین بر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی اهداف زیر را دنبال کرده‌اند.

- اقدام تلافی‌جویانه و به‌کارگیری اهرم‌های ژئوپلیتیکی در پاسخ به محدودیت‌های تجاری آمریکا و متحدان آن
- تداوم هژمونی صنعتی: در راستای تثبیت برتری چین در صنایع راهبردی از جمله تولید باتری، آهنرباهای عناصر خاکی کمیاب و سامانه‌های لیدار، و جلوگیری از شکل‌گیری زنجیره‌های تأمین مستقل از چین
- حمایت از تولید داخلی و تشویق شرکت‌های خارجی به انتقال مراحل تولید محصولات میانی و نهایی به داخل چین، با هدف دور زدن الزامات مربوط به اخذ مجوزهای صادراتی
- تضعیف ظرفیت دفاعی غرب: یکی از اهداف محتمل پکن، تضعیف پایگاه دفاعی-صنعتی فرآتلانتیک و محدودسازی توان غرب در تداوم حمایت نظامی از اوکراین است.^{۵۵}

بررسی موردی : تشدید متقابل، اهرم مواد حیاتی چین در جنگ تجاری ۲۰۲۴-۲۰۲۵

روند استفاده چین از کنترل‌های صادراتی مواد معدنی حیاتی (به‌ویژه عناصر خاکی کمیاب) در طول دوره دوم ریاست جمهوری ترامپ، یک الگوی شفاف از تشدید متقابل و هدف‌گیری استراتژیک را دنبال کرد که به یک ابزار چانه‌زنی موفق در مذاکرات و مجبور کردن واشنگتن به عقب‌نشینی منجر شد.

با آغاز جنگ تجاری ترامپ که ابتدا با اعمال دو تعرفه ۱۰ درصدی بر واردات از چین تحت نگرانی‌ها ناشی از قاچاق فنتانیل بر چین اعمال شد و سپس در ماه آوریل تحت کسری تراز تجاری گسترده آمریکا ترامپ تعرفه‌های گسترده‌ای را بر چین و سایر شرکای اقتصادی اعمال کرد. چین بر خلاف سایر کشورها بلافاصله در پی هر مرحله از اعمال تعرفه، کنترل‌های صادرات مواد معدنی را گسترش داد. در پی این اعمال محدودیت‌ها، اخلاف جدی در بازار جهانی خودروهای برقی (EVs) در ژوئن ۲۰۲۵ ایجاد شد.^{۵۶} گزارش‌ها حاکی از تعلل چین در صدور مجوزهای صادراتی برای خاک‌های کمیاب بود که کمبود شدید مواد برای موتورهای EV را ایجاد کرد و چندین تولیدکننده جهانی مجبور به توقف خطوط تولید شدند. این واکنش سریع و شدید بازار، آسیب‌پذیری صنایع جهانی را در برابر سیاست‌های پکن آشکار ساخت. نگرانی از گسترش اختلال‌ها ترامپ را وادار به گفتگو با چین و ارائه برخی امتیازها کرد.



در نتیجه این گفتگو و مذاکرات دور لندن در ژوئن، چین تسهیل موقتی را در صدور مجوزهای صادراتی مرتبط ایجاد کرد. اما عدم عقب‌نشینی آمریکا در عمل و ادامه فشارهای متقابل، چین را به سمت تشدید عمیق‌تر و فنی‌تر سوق داد. در ۱۵ ژوئیه، کنترل‌های صادراتی بر فناوری‌های تولید ترکیبات لیتیوم برای باتری‌ها و فناوری استخراج فلز گالیوم تشدید شد. علاوه بر این چین در همین زمان با اعمال الزامات جدید برای صدور مجوز، صادر کنندگان و واردکنندگان را مجبور به ارائه اطلاعات دقیق ردیابی کاربر نهایی کرد. تا از این طریق مانع از تلاش‌های آمریکا برای دور زدن تحریم‌های آمریکا شود.

با تشدید تنش‌ها و اعمال مقررات مرتبط با شرکت‌های تابعه تحت پوشش محدودیتهای وزارت بازرگانی و توسعه ناگهانی شرکت‌های تحت تحریم چین توسط وزارت بازرگانی آمریکا، چین شدیدترین اقدام خود در کنترل‌های صادرات مواد معدنی را اعمال کرد. مهم‌تر از همه، اعلامیه شماره ۶۱ مقررات فراسرزمینی کنترل صادرات بود. این دستور هرگونه صادرات خارجی حاوی «کمترین مقدار (۱۰ درصد) خاک‌های کمیاب با منشأ چینی» یا «اقلامی که با فناوری استخراج یا فرآوری اختصاصی چینی تولید می‌شوند» را نیازمند مجوز از وزارت بازرگانی چین می‌کرد. علاوه بر این صادرات مواد معدنی کمیاب به کاربران نظامی خارجی به طور کامل ممنوع می‌شود. علاوه بر این اقدامات به طور خاص تحقیق و توسعه تراشه‌های پیشرفته (منطق $\geq 1\text{nm}$) و هوش مصنوعی با کاربرد نظامی را هدف قرار داد و صادرات خاک‌های کمیاب برای این اهداف را نیازمند مجوزهای سختگیرانه‌تر وزارت بازرگانی می‌کرد.

بنابر گزارش سال ۲۰۲۶ آژانس انرژی (IEA)، چین از سال ۲۰۲۳ تا پایان ۲۰۲۵، تعداد کدهای تعرفه معدنی مشمول کنترل‌های صادراتی خود را سه برابر کرده‌است. براساس برآوردهای این گزارش، اجرای کامل کنترل‌های صادراتی اعمال شده بر خاک‌های کمیاب سالانه حدود ۶.۵ تریلیون دلار از تولید پایین‌دستی خارج از چین را در بخش‌های خودرو، فناوری پیشرفته، دفاع و انرژی در معرض خطر قرار دهد. همچنین کنترل صادرات اعمال شده بر نقاط کلیدی زنجیره تأمین باتری، از جمله مواد کاتدی، پیش‌سازهای کاتدی و مواد آند گرافیتی و همچنین تجهیزات و فناوری‌های تولید باتری اگر به طور کامل اعمال شود، بیش از ۳۰۰ میلیارد دلار در سال از تولید پایین‌دستی خارج از چین در معرض خطر قرار خواهد گرفت.^{۵۷}

فشار ناشی از این موج بی‌سابقه کنترل‌ها، که تهدیدی جدی برای زنجیره‌های تأمین صنعتی و نظامی غرب بود، سرانجام در نوامبر ۲۰۲۵ به نتیجه رسید. در پی دیدار کلیدی ترامپ و شی در کره جنوبی، پکن موافقت کرد که اجرای برخی محدودیت‌های گسترده صادراتی مواد معدنی را به مدت یک سال برای آمریکا به حالت تعلیق درآورد. و در مقابل، ترامپ را مجبور کرد تا تعرفه‌های تهدید شده و سایر اقدامات متقابل تجاری علیه چین را بردارد و اجرای آن‌ها را تعلیق کند.



راهبرد آمریکا: شکستن انحصار چین تقویت تولیدات در داخل خاک آمریکا

در سال ۲۰۱۰، زمانی که آمریکا از اعمال محدودیت‌ها بر صادرات خاک‌های کمیاب در منازعه چین و ژاپن احساس نگرانی کرد، وزارت انرژی آمریکا اولین استراتژی مواد حیاتی آمریکا^{۵۸} را منتشر کرد، که دوباره در سال ۲۰۱۱ آن را به روزرسانی کرد. بازسازی ذخیره دفاع ملی آمریکا نیز مورد توجه قرار گرفت.^{۵۹}

نگرانی‌ها از وابستگی آمریکا در دوران ترامپ شدت گرفت و تلاش‌هایی برای بازسازی زنجیره تأمین در آمریکا و یا کشورهای متحد آمریکا شکل گرفت. یک فرمان اجرایی در سال ۲۰۱۷ از وزیر کشور، از طریق سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، خواست تا فهرستی از مواد معدنی حیاتی تهیه کند.^{۶۰} این فهرست که تا کنون سه بار منتشر شده است شدت وابستگی آمریکا را بیش از پیش آشکار کرده است. به دنبال یک فرمان اجرایی دیگر، وزارت دفاع (DOD) در سال ۲۰۱۷ نگرانی‌هایی را در رابطه با «شکاف‌ها در پایگاه صنعتی و تولیدی دفاعی آمریکا» به‌ویژه در بستر سیاست‌های صنعتی راهبردی چین و تهدیدات بالقوه «تجاوز اقتصادی» ابراز کرد.^{۶۱} پس از آن در سال ۲۰۲۰ فرمان اجرایی دیگری توسط ترامپ صادر شد که در آن وابستگی آمریکا به مواد معدنی حیاتی، به‌صورت فرآوری شده یا فرآوری نشده، به دشمنان خارجی را یک تهدید غیرعادی و فوق‌العاده را برای امنیت ملی، سیاست خارجی و اقتصاد آمریکا دانست و یک وضعیت اضطراری ملی برای مقابله با آن اعلام کرد.^{۶۲} این دیدگاه توسط جانشین او، بایدن، حفظ و گسترش یافت. که شامل فراخوانی قانون تولید دفاعی (Defense Production Act) برای تقویت تولید داخلی مواد معدنی حیاتی مرتبط با باتری‌های با ظرفیت بالا بود.^{۶۳} در دولت بایدن، استخراج داخلی همچنین به طور صریح با گذار به انرژی پاک پیوند خورد.^{۶۴} دولت بایدن تأمین مالی قابل توجهی را برای تقویت امنیت مواد معدنی اختصاص داد. این ابتکارات شامل کمک‌های مالی و اعتبارات مالیاتی برای صنایع و حمایت از تحقیقات علمی مرتبط و مجموعه‌ای از مداخلات سیاستی بود. برای مثال، قانون سرمایه‌گذاری و مشاغل زیرساختی (IIJA)^{۶۵} سال ۲۰۲۱ بیش از ۷۵ میلیارد دلار برای برنامه‌های مرتبط با انرژی و مواد معدنی، از جمله چندین پروژه نقشه‌برداری مواد معدنی حیاتی، اختصاص می‌دهد. قانون کاهش تورم (IRA)^{۶۶} سال ۲۰۲۲ مبلغ ۵۰۰ میلیون دلار را تحت قانون تولید دفاعی برای تسریع زنجیره‌های تأمین انرژی پاک، که شامل مواد معدنی حیاتی است، مجاز می‌کند. قانون ترانه‌ها و علم^{۶۷} سال ۲۰۲۲ مبلغ ۲۸۰ میلیارد دلار را برای سرمایه‌گذاری غیرنظامی در تحقیق و توسعه برای بخش‌های حیاتی که مواد معدنی اجزای اصلی بالادستی آن‌ها هستند، مجاز می‌کند. قانون مجوز دفاع ملی (NDAA)^{۶۸} سال ۲۰۲۳ بزرگ‌ترین مجوز مالی برای تدارک ذخایر در ۳۰ سال اخیر را «برای تدارک مواد راهبردی و حیاتی مورد نیاز برای برآورده کردن نیازهای دفاعی، صنعتی و غیرنظامی ضروری آمریکا» صادر کرد. قانون NDAA سال ۲۰۲۴^{۶۹} مقررات جدیدی را معرفی می‌کند که وزارت دفاع آمریکا را به سمت استراتژی «استقلال مواد معدنی حیاتی» از دشمنان از جمله چین و روسیه هدایت می‌کند.



ایجاد زنجیره‌های تأمین مشترک با متحدان

تلاش‌های ابتدایی نشان داد ایجاد یک زنجیره تأمین مقاوم عناصر معدنی حیاتی در داخل خاک آمریکا به تنهایی امکان پذیر نیست و نیازمند همکاری نزدیک با شرکای بین‌المللی است. و هیچ کشور واحدی در حال حاضر منابع مالی یا قابلیت‌های فنی لازم برای پیشی گرفتن از سلطه چین را به صورت مستقل ندارد.^{۷۰} در نتیجه در دوران بایدن استراتژی تحت عنوان «استقرار زنجیره‌های تأمین در کشورهای همسو و متحد» (friendshoring) برای تشدید روابط با کشورهای متحد و شرکای آمریکا و تنوع بخشی به تامین کنندگان مواد معدنی ایجاد شد. این سیاست در دوره دوم ترامپ نیز ادامه یافته است. برای مثال، در مارس ۲۰۲۳ یک توافقنامه تجارت آزاد خاص مواد معدنی با ژاپن امضا کرد.^{۷۱} توافقنامه‌های دوجانبه نیز با استرالیا و کانادا، دو تولیدکننده عمده مواد معدنی، امضا شده است که موانع ورود آن‌ها به بازارهای آمریکا را کاهش می‌دهد.^{۷۲} ابتکارات سرمایه‌گذاری مشترکی نیز در سال ۲۰۲۵ میان آمریکا و ژاپن، استرالیا، مالزی و... امضا شده است.

در نتیجه این تلاش‌ها معدن مانتن‌پس (Mountain Pass) در کالیفرنیا در سال ۲۰۱۸ پس از یک دهه تعطیلی مجدداً فعالیت خودش را به عنوان تنها معدن فعال خاک‌های کمیاب در خاک آمریکا آغاز کرد. در سالهای بعد با حمایت ۳۵ میلیون دلاری پنتاگون تلاش‌ها برای ایجاد تأسیسات جداسازی عناصر خاکی کمیاب سنگین را آغاز شد. از ژانویه ۲۰۲۵ تولید آهنرباهای دائمی ناشی از خاکهای کمیاب این تأسیسات آغاز شده و انتظار می‌رود سالانه حدود ۱۰۰۰ تن آهنربای دائمی NdFeB تولید کند. این حجم از تولید بسیار کمتر از نیاز واقعی آمریکا به این محصول است. بر اساس تحلیل‌ها، در حال حاضر آمریکا سالانه به طور مستقیم ۱۰۰۰۰ تن آهنربای خاکی کمیاب را وارد می‌کند. مصرف کل (شامل آهنرباهای جاسازی‌شده در محصولات مونتاژشده مانند خودروها و لوازم الکترونیکی): بیش از ۳۰,۰۰۰ تن می باشد.^{۷۳}



روندهای آینده: حفظ سلطه یا رهایی

چالش‌های پیش روی آمریکا

تلاش برای ایجاد یک زنجیره تأمین مستقل از چین با چالش‌های متعددی مواجه است که ماهیتاً فنی، اقتصادی و ساختاری هستند. در سال‌های اخیر آمریکا برنامه‌ریزی‌های متعددی را توسعه ظرفیتهای جدیدی در داخل و یا در همکاری با سایر شرکای خود انجام داده است. از سال ۲۰۱۰ تاکنون، بیش از ۱۵۰ طرح قانونی در کنگره آمریکا (مجلس نمایندگان و سنا) شامل اعتبار و معافیت مالیاتی، تأمین مالی برای استخراج و فرآوری، بودجه تحقیق و توسعه و... ارائه شده است.^{۷۴} اما نتایج تلاشها در ۱۵ سال گذشته چشمگیر نبوده و نتوانسته است این وابستگی را کاهش دهد. چالش‌های ایجاد یک زنجیره تأمین مستقل از چین در چند عامل قابل بررسی است که در گزارش دولت بایدن برای بازسازی زنجیره‌های تأمین مواد معدنی نیز به آنها اشاره شده است.

نخست، توسعه پایگاه تولیدی مواد معدنی حیاتی زمان‌بر و پرهزینه است

گزارش در دولت بایدن برآورد می‌کند که ایجاد یک پایگاه تولیدی برای مواد معدنی حیاتی، صرف‌نظر از فعالیتهای صدور مجوز، حداقل ده سال طول می‌کشد و طولانی بودن زمان توسعه، عدم جریان نقدی کافی برای جبران هزینه‌ها و پیچیدگی‌های فنی، احتمال شکست پروژه‌ها را افزایش می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که از ۲۷۵ پروژه فعال Rare Earth در اوایل ۲۰۱۱ تنها چهار پروژه پس از یک دهه به تولید پایلوت یا کامل رسیدند.^{۷۵}

دوم، مزیت‌های ساختاری و اقتصادی چین مانع مهمی برای رقابت است

مزیت‌های ساختاری و اقتصادی چین مانع مهمی برای رقابت است. تولیدکنندگان چینی از مقررات محیط زیستی کمتر، مقیاس تولید بزرگ، هزینه نیروی کار پایین و زنجیره تأمین یکپارچه بهره‌مندند و حمایت مستمر دولت به آن‌ها امکان می‌دهد تولید را افزایش دهند. بسیاری از مزایای چین در این بخش از جمله تولید مقرون به صرفه از طریق دهه‌ها تلاش برای ایجاد ظرفیت و کسب فناوری خاص حاصل شده که موجب می‌شود تا تازه‌واردان نتوانند با آن رقابت کنند و به راحتی از بازار کنار زده شوند.^{۷۶}

سوم، پیچیدگی فنی و تخصصی فرآیند تولید چالش دیگری است

فرآوری فلزات خاکی کمیاب نیازمند تخصص ویژه، آزمون و خطا و تجهیزات محدود است. علاوه بر این برخی مواد معدنی حیاتی تنها به عنوان محصولات جانبی یا فرعی ماده دیگری تولید می‌شوند، که وابستگی آن‌ها به زنجیره تولید مواد اولیه دیگر را نشان می‌دهد. به عنوان مثال مواد معدنی مانند تلوریوم، گالیوم و ژرمانیوم معمولاً در حین فرآوری سنگ‌های معدنی مس، نیکل یا آلومینیوم به دست می‌آیند.^{۷۷} این به این معناست که ایجاد یک ساختار کامل صنعت دیگر پیش نیاز تشکیل یک زنجیره تأمین برای تهیه آن است.



چهارم، وابستگی عرضه و نوسانات بازار بر پایداری زنجیره تأمین اثر می‌گذارد

اختلالات و نوسانات قیمت، چالش‌های قابل توجهی را برای بخش‌های تولیدی پایین‌دستی ایجاد می‌کنند و اثرات موجی در اقتصاد گسترده‌تر دارند. این نوسانات اغلب ناشی از اندازه نسبتاً کوچک و شفافیت محدود این بازارهاست، به طوری که حتی تغییرات اندک در عرضه یا تقاضا می‌تواند نوسانات قیمتی قابل ملاحظه‌ای ایجاد کند. علاوه بر این عرضه برخی مواد معدنی وابسته به خروجی مواد اولیه دیگر بر بی‌ثباتی قیمت‌ها در این بازار اثر می‌گذارند.^{۷۸} این نوسان قیمت‌ها که گاه می‌تواند کنترل شده باشد عمدتاً مانع از شکلگیری واحدهای جدید شده است.

پنجم، هزینه‌ها و مقررات محیط زیستی غرب تولیدکنندگان را محدود می‌کند

استانداردهای محیط زیستی در غرب ۲۰ تا ۴۰ درصد هزینه‌ها را افزایش می‌دهد و صدور مجوزها ۳ تا ۵ سال طول می‌کشد، در حالی که معادل‌های چینی تنها ۶ تا ۱۸ ماه نیاز دارند. مقررات سختگیرانه برای مدیریت پسماند و هم‌فرآوری مواد رادیواکتیو نیز موانع رقابتی ایجاد می‌کند.

روندهای آینده

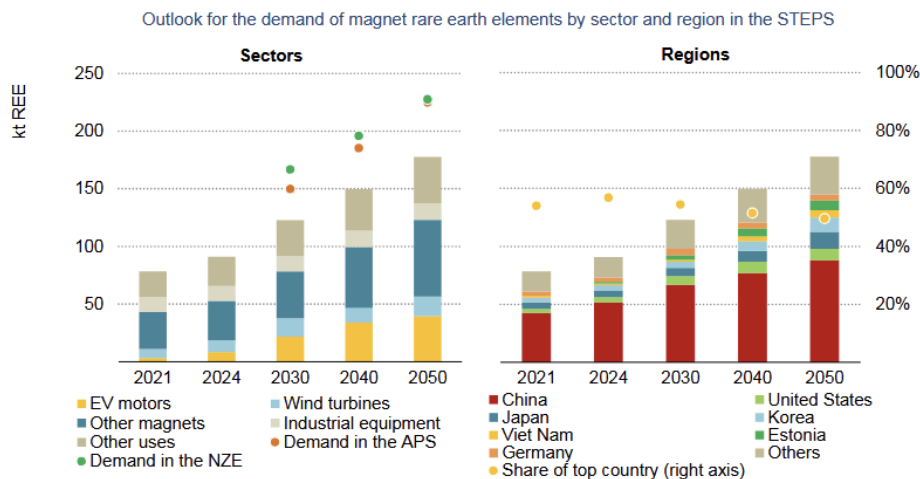
علاوه بر چالش‌های ذکر شده در بالا بررسی برآوردهای انجام شده از نیازهای صنعت در دهه‌های آینده به این مواد و همچنین برآوردها از پروژه‌های برنامه ریزی شده نیز نشان می‌دهد که حتی در صورت موفقیت آنها همچنان چین سلطه خود را تا سالیان طولانی بر این عرصه حفظ خواهد کرد.

آهنرباهای دائمی

به عنوان مثال، بر اساس گزارش سازمان بین‌المللی انرژی (IEA) با توجه به تقاضای پیش‌بینی شده و ظرفیتهای اعلام شده به نظر می‌رسد که چین همچنان دست برتر خودش را تا سال ۲۰۵۰ بر تولید آهنرباهای دائمی ناشی از خاک‌های کمیاب حفظ می‌کند.



Demand: Global demand for magnet rare earth elements nearly doubles by 2050; China remains the largest source of demand due to its strong position in permanent magnet manufacturing



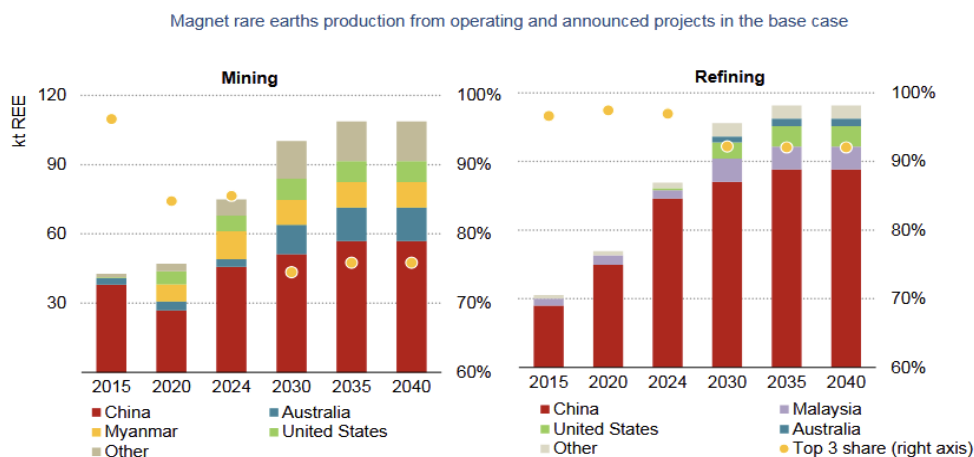
Notes: REE = rare earth elements. The figures are for magnet REE only.

IEA, CC BY 4.0.

نمودار ۱۵- برآوردهای افزایش تقاضای آهنرباهای خاکی کمیاب^{۷۹}

علاوه بر این بر اساس این گزارش چین احتمالاً در حلقه تولید و استخراج و پالایش مواد مورد نیاز برای آهنرباها نیز تا ۲۰۳۴۰ برتری خود را حفظ خواهد کرد.

Supply: Geographical concentration for mining sees slight improvements, but refining remains the most concentrated of all critical minerals



Notes: REE = rare earth elements. The figures are for magnet rare earths only.

IEA, CC BY 4.0.

نمودار ۱۶- تولید عناصر نادر خاکی مورد استفاده در آهنرباها از پروژههای فعال و اعلام شده، در سناریوی پایه (با احتمال

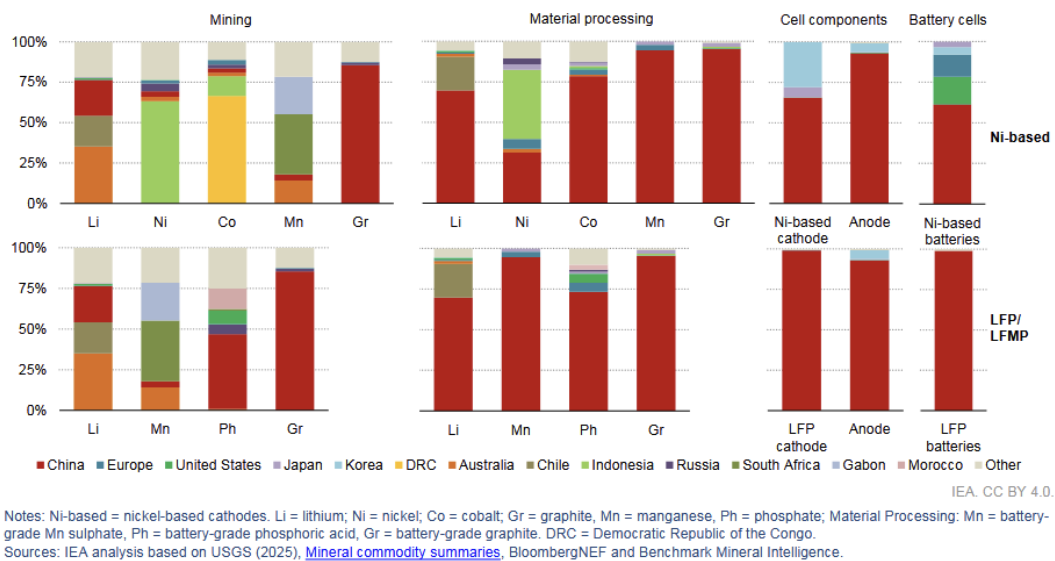
بالای اجرایی شدن)^{۸۰}





باتری‌های الکتریکی

در زمینه باتری‌ها نیز وضعیت مشابهی در مورد پیش بینی‌های آینده این صنعت وجود دارد. با وجود آنکه چین در حال حاضر بخش بزرگی از زنجیره تأمین باتری‌های مبتنی بر نیکل (Ni-based) را در اختیار دارد (شامل فرآوری نیکل، کبالت و ساخت کاتد) و پیش‌بینی‌ها در جهت افزایش سهم باتری‌های LFP در بازار خودروهای الکتریکی و... است اما وابستگی کلی جهان به چین در زنجیره تأمین باتری‌های الکتریکی به نظر همچنان افزایش است.



نمودار ۱۷- توزیع جغرافیایی زنجیره تأمین باتری‌های لیتیوم‌یون مبتنی بر LFP و نیکل، در سال ۲۰۲۴^{۸۱}

بازیافت

در زمینه بازیافت مواد معدنی حیاتی که به عنوان یک استراتژی قابل توجه در آمریکا و سایر کشورها پذیرفته شده است نیز به نظر نمی‌رسد که این راهبرد بتواند شکاف بین تقاضا و عرضه فلزات خاکی کمیاب را تا حدود سال ۲۰۵۰، زمانی که نیمی از عرضه ممکن است از آهن‌رباهای بازیافتی تأمین شود، پر کند. هزینه‌های بازیافت در برخی موارد نسبت به ارزش آهن‌ربا یا عناصر خاکی کمیاب موجود در آن بسیار بالا است و آهن‌رباهای بازیافتی کیفیت قابل قبولی معمولاً ندارند.^{۸۲}



ممانعت چین از جلوگیری از زنجیره های تامین جدید

برخی تحلیل‌ها معتقد است که علاوه بر چالش‌های ساختاری و فنی موجود که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد، چین در سال‌های اخیر با اهمیت یافتن بیشتر این مواد به عنوان یک ابزار استراتژیک در رقابت خود با آمریکا در تلاش است تا عामدانه نیز از تشکیل زنجیره‌های تامین مستقل از خود توسط آمریکا و متحدانش نیز جلوگیری کند. اقدامات زیر برخی از تلاش‌هایی است که تحلیلگران از آنها به عنوان این تلاش آگاهانه یاد می‌کنند:

- پایین نگه داشتن قیمت
- کمپین‌های اطلاعات نادرست: گزارشی از موسسه رند بیان می‌کند که کارزارهای اطلاعات نادرست (disinformation campaigns) علیه تولیدکنندگان غیرچینی برای تضعیف جایگاه رقابتی آن‌ها توسط چین رهبری می‌شود. به عنوان مثال ادعا می‌شود که در سال ۲۰۲۲، مؤسسه سیاست راهبردی استرالیا (ASPI) و شرکت امنیت سایبری Mandiant شبکه‌ای از حساب‌های جعلی موسوم به DragonBridge را شناسایی کردند که در کارزارهای اطلاعات نادرست علیه شرکت‌های غیرچینی فعال در حوزه خاک‌های کمیاب معدنی شرکت داشتند.
- کنترل منابع جهانی خاک کمیاب: علاوه بر تلاش‌هایی که چین در طول سال‌ها برای تسلط بر جریان استخراج و فراوری منابع خارجی داشته، برخی تحلیلگران معتقدند که برای اطمینان از اینکه منابع خام جهانی به دست رقبای غربی نمی‌افتد، شرکت‌های چینی مبالغ هنگفتی را برای خرید پروژه‌های کلیدی در سراسر جهان پرداخت می‌کنند. برای مثال در می ۲۰۲۵، یک شرکت چینی (Shenghe Resources) برای خرید یک پروژه معدنی مهم در تانزانیا (متعلق به شرکت استرالیایی Peak Rare Earths) مبلغی را پیشنهاد کرد که تقریباً ۲۰۰ درصد گران‌تر از قیمت عادی سهام بود. تحلیل‌گران معتقدند این اقدام نشان می‌دهد که هدف چین صرفاً کسب سود نیست؛ چین با پرداخت این پرمیوم عظیم، تضمین می‌کند که این منابع خام مهم تحت کنترل آن باقی بمانند و به زنجیره تأمین غرب نروند.^{۸۳}
- کنترل‌های صادرات فناوری: اقدامات اخیر چین بر کنترل صادرات فناوری علاوه بر محدودیتها برای صادرات مواد و محصولات ناشی از عناصر مهندنی حیاتی که الگو گرفته از تلاش‌های آمریکا برای مهار تلاش‌های چین در دستیابی به زنجیره مستقل از آمریکا در تولید تراشه‌ها بود، به وضوح نشان دهنده آن است که چین تلاش میکند تا تشکیل زنجیره‌های تامین مستقل از خود را با فناوری و ابزار خود که به شدت بهینه شده هستند را به تاخیر اندازد.



نتیجه گیری

استراتژی چین نه تنها مواد خام را کنترل می‌کند، بلکه کل زنجیره ارزش، از استخراج تا محصولات نهایی حاوی عناصر خاک کمیاب و برخی مواد معدنی حیاتی دیگر از جمله گالیوم و ژرمانیوم را در بر می‌گیرد. این رویکرد جامع، یکپارچگی عمودی (Vertical Integration) را در صنایع حیاتی از جمله تجهیزات انرژی تجدیدپذیر، الکترونیک پیشرفته، فناوری دفاعی، تجهیزات پزشکی برای چین ایجاد کرده است و لایه‌های متعددی از کنترل و نفوذ را برای چین در این صنایع ایجاد می‌کند.

چین با کنترل صادرات استراتژیک محصولات نهایی حاوی عناصر خاک کمیاب، از طریق محدودیت‌های هدفمند، تخصیص ترجیحی به تولیدکنندگان داخلی و اولویت‌دهی به صنایع کلیدی، توانایی اعمال فشار دقیق اقتصادی و دیپلماتیک بر رقبای خارجی را به دست آورده است. افزایش تنش‌ها و رقابت استراتژیک آمریکا و چین، چین را واداشته است تا از این ابزار خود به طور موثری برای مقابله با محدودیتها و تحریم‌های آمریکا و غرب علیه خود استفاده کند.

مزایای ساختاری و انحصار توانمندی‌های فناورانه تولید مقرون به صرفه در کنار سایر عوامل دیگر تشکیل زنجیره‌های تامین مستقل از چین و بی‌اثر کردن اهرم استراتژیک چین را برای آمریکا و شرکایش سخت کرده است.



١٠. International Energy Agency. (2025). Global critical minerals outlook 2025. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>
١١. United States Congress. (2020, December 27). Division Z—Energy Act of 2020. In Consolidated Appropriations Act, 2021 (Pub. L. No. 116–260). <https://www.congress.gov/116/plaws/publ260/PLAW-116publ260.pdf>
١٢. Geological Survey. (2025, November 7). Final 2025 List of Critical Minerals [Notice]. Federal Register, 90 FR 50494. <https://www.federalregister.gov/documents/2025/11/07/2025-19813/final-2025-list-of-critical-minerals>
١٣. U.S. Geological Survey (USGS), Explore the 2025 List of Critical Minerals. <https://www.usgs.gov/programs/mineral-resources-program/science/about-2025-list-critical-minerals>
١٤. U.S. Geological Survey. (2024). Rare earths. In Mineral commodity summaries 2024. U.S. Department of the Interior. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-rare-earths.pdf>
١٥. International Energy Agency. (2024). Global critical minerals outlook 2024. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>
١٦. International Energy Agency. (2026). Rare earth elements. IEA. <https://www.iea.org/reports/rare-earth-elements>
١٧. Bogmans, C., Jerez-Osses, M., Miranda Pinto, J. A., & Natal, J.-M. (2026). Macroeconomic effects of rare earths supply chain disruptions. IMF Working Papers, 2026(073). <https://doi.org/10.5089/9798229043311.001>
١٨. The White House. (2021). Building resilient supply chains, revitalizing American manufacturing, and fostering broad-based growth: 100-day reviews under Executive Order 14017. Executive Office of the President. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>
١٩. IMARC Group. (2026). Rare earth elements market size, share, trends and forecast by application and region, 2026–2034. IMARC Group. <https://www.imarcgroup.com/rare-earth-industry>
٢٠. International Energy Agency. (2025). Global Critical Minerals Outlook 2025. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>
٢١. IMARC Group. (2026). Rare earth elements market size, share, trends and forecast by application and region, 2026–2034. IMARC Group. <https://www.imarcgroup.com/rare-earth-industry>
٢٢. International Energy Agency. (2025). Global critical minerals outlook 2025. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>
٢٣. U.S. Department of Energy. (2023). Critical materials assessment 2023. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Advanced Materials and Manufacturing Technologies Office. https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/doe-critical-material-assessment_07312023.pdf
٢٤. U.S. Department of Energy. (2023). Critical materials assessment 2023. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Advanced Materials and Manufacturing Technologies Office. https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/doe-critical-material-assessment_07312023.pdf
٢٥. U.S. Department of Defense. (2022). Securing defense-critical supply chains: An action plan developed in response to Executive Order 14017. U.S. Department of Defense. <https://media.defense.gov/2022/Feb/24/2002944158/-1/-1/1/DoD-EO-14017-Report-Securing-Defense-Critical-Supply-Chains.pdf>
٢٦. U.S. Department of Energy. (2022). Rare earth permanent magnets: Supply chain deep dive assessment. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/Rare%20Earth%20Permanent%20Magnets%20Supply%20Chain%20Deep%20Dive%20Assessment.pdf>
٢٧. U.S. Department of Energy. (2023). Critical materials assessment 2023. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Advanced Materials and Manufacturing Technologies Office. https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/doe-critical-material-assessment_07312023.pdf
٢٨. U.S. Department of Defense. (2024, March 11). DOD looks to establish “mine-to-magnet” supply chain for rare earth materials. DOD News. <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/3702255/dod-looks-to-establish-mine-to-magnet-supply-chain-for-rare-earth-materials/>
٢٩. International Energy Agency. (2026). Global Critical Minerals Outlook 2026. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2026>

٣٠. International Energy Agency. (2025). Global Critical Minerals Outlook 2025. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>
٣١. Final 2025 List of Critical Minerals , <https://www.federalregister.gov/documents/2025/11/07/2025-19813/final-2025-list-of-critical-minerals>
٣٢. Berg, R. C., Ziemer, H., & Polo Anaya, E. (2024). Mineral demands for resilient semiconductor supply chains: The role of the Western Hemisphere. Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/mineral-demands-resilient-semiconductor-supply-chains>
٣٣. Berg, R. C., Ziemer, H., & Polo Anaya, E. (2024). Mineral demands for resilient semiconductor supply chains: The role of the Western Hemisphere. Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/mineral-demands-resilient-semiconductor-supply-chains>
٣٤. U.S. Geological Survey. (2024). Mineral commodity summaries 2024: Indium. U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-indium.pdf>





۲۶. Rowan, L. R. (2025). Critical mineral resources: The U.S. Geological Survey (USGS) role in research and analysis (Report No. R48005). Congressional Research Service. <https://crsreports.congress.gov/R48005>
۲۸. U.S. Geological Survey. (2025, March 14). Minerals with net import reliance on China [Data visualization]. U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov/media/images/minerals-net-import-reliance-china>
۲۹. Govini. (2025). From rock to rocket: Critical minerals and the trade war for national security. Govini. [https://cdn.prod.website-files.com/65e61e6392aba0fa1dba723e/67dd81633a035fbcc3cc161c_Govini-Rock_to_Rocket-Critical_Minerals%20\(1\).pdf](https://cdn.prod.website-files.com/65e61e6392aba0fa1dba723e/67dd81633a035fbcc3cc161c_Govini-Rock_to_Rocket-Critical_Minerals%20(1).pdf)
۳۰. Govini. (2025). From rock to rocket: Critical minerals and the trade war for national security. Govini. [https://cdn.prod.website-files.com/65e61e6392aba0fa1dba723e/67dd81633a035fbcc3cc161c_Govini-Rock_to_Rocket-Critical_Minerals%20\(1\).pdf](https://cdn.prod.website-files.com/65e61e6392aba0fa1dba723e/67dd81633a035fbcc3cc161c_Govini-Rock_to_Rocket-Critical_Minerals%20(1).pdf)
۳۱. Department of Defense. (2022). Securing defense-critical supply chains: An action plan developed in response to President Biden's Executive Order 14017. U.S. Department of Defense. <https://media.defense.gov/2022/Feb/24/2002944158/-1/-1/1/DOD-EO-14017-REPORT-SECURING-DEFENSE-CRITICAL-SUPPLY-CHAINS.PDF>
۳۲. Department of Defense. (2022). Securing defense-critical supply chains: An action plan developed in response to President Biden's Executive Order 14017. U.S. Department of Defense. <https://media.defense.gov/2022/Feb/24/2002944158/-1/-1/1/DOD-EO-14017-REPORT-SECURING-DEFENSE-CRITICAL-SUPPLY-CHAINS.PDF>
۳۳. DevTech Systems, Inc. (2025, February 10). Mine the gap: How the U.S. can close China's lead in critical minerals through strategic partnerships. DevTech Systems. <https://devtechsys.com/insights/2025/02/10/mine-the-gap-how-the-u-s-can-close-chinas-lead-in-critical-minerals-through-strategic-partnerships/>
۳۴. Schoonover, N. (2025, May 28). China in Africa: March 2025. Council on Foreign Relations. <https://www.cfr.org/article/china-africa-march-2025>
۳۵. International Energy Agency. (2025). Global critical minerals outlook 2025. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>
۳۶. Castillo, R., & Purdy, C. (2022, July). China's role in supplying critical minerals for the global energy transition: What could the future hold? Brookings Institution. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2022/08/LTRC_ChinaSupplyChain.pdf
۳۷. International Energy Agency. (2025). Global critical minerals outlook 2025. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>
۳۸. Nogimori, M. (2025, May 20). The US-China rivalry is exacerbating the critical minerals problem: China's weaponisation of mineral supplies and the danger of US supply chain restructuring without decarbonisation. JRI Research Journal, 8(6). Japan Research Institute. <https://www.jri.co.jp/en/MediaLibrary/file/english/periodical/jrirj/2025/06/nogimori.pdf>
۳۹. Discovery Alert. (2025, November 4). China's rare earth stranglehold: Complete global supply chain control. <https://discoveryalert.com.au/china-supply-chain-rare-earth-dominance-2025/>
۴۰. International Energy Agency. (2025). Global critical minerals outlook 2025. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>
۴۱. U.S. Department of Energy. (2022, February). Rare earth permanent magnets: Supply chain deep dive assessment. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/Neodymium%20Magnets%20Supply%20Chain%20Report%20-%20Final.pdf>
۴۲. U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security. (2022). The effect of imports of neodymium-iron-boron (NdFeB) permanent magnets on the national security: An investigation conducted under Section 232 of the Trade Expansion Act of 1962, as amended—Appendices combined. U.S. Department of Commerce. <https://media.bis.gov/media/documents/section-232-ndfeb-magnets-report-appendices-combined.pdf>
۴۳. U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security. (2023, February 14). Publication of a report on the effect of imports of neodymium-iron-boron (NdFeB) permanent magnets on the national security: An investigation conducted under Section 232 of the Trade Expansion Act of 1962, as amended. Federal Register. <https://www.federalregister.gov/documents/2023/02/14/2023-03078/publication-of-a-report-on-the-effect-of-imports-of-neodymium-iron-boron-ndfeb-permanent-magnets-on>
۴۴. U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security. (2023, February 14). Publication of a report on the effect of imports of neodymium-iron-boron (NdFeB) permanent magnets on the national security: An investigation conducted under Section 232 of the Trade Expansion Act of 1962, as amended. Federal Register. <https://www.federalregister.gov/documents/2023/02/14/2023-03078/publication-of-a-report-on-the-effect-of-imports-of-neodymium-iron-boron-ndfeb-permanent-magnets-on>
۴۵. International Energy Agency. (2025). Global Critical Minerals Outlook 2025. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>





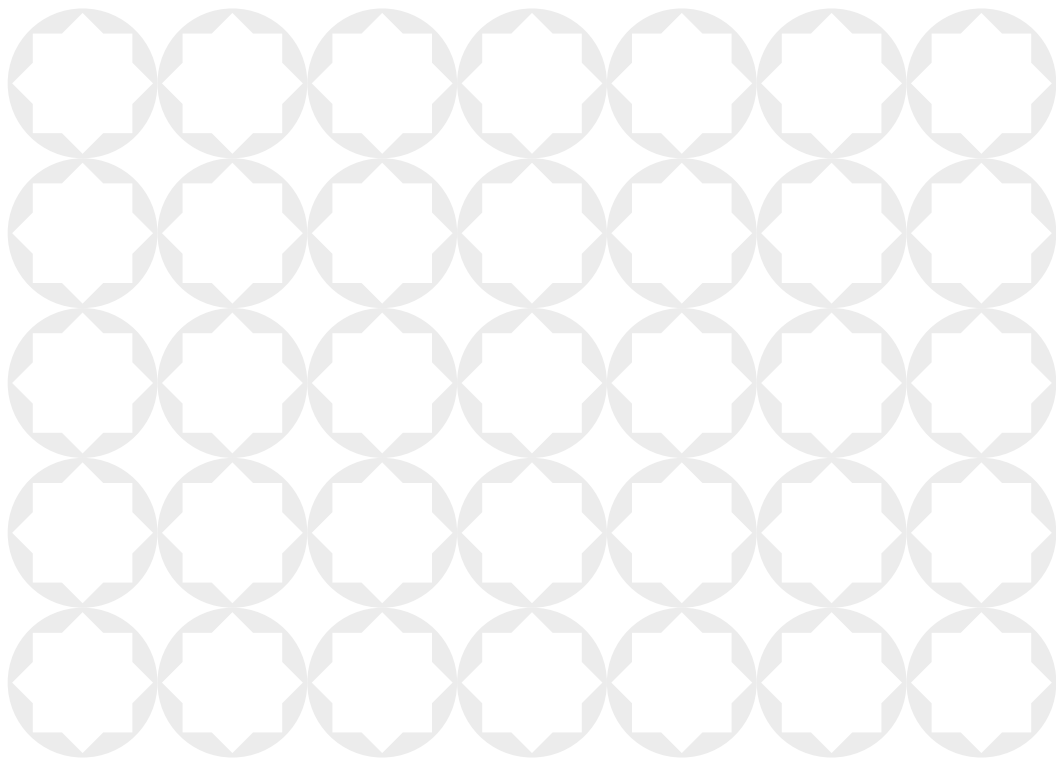
۴۶. International Energy Agency. (2025). Global Critical Minerals Outlook 2025. International Energy Agency.
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>
۴۷. 中国人民政治协商会全国委员会. (2012, May 2). 习近平:“中国有石油, 中国有稀土”. 中国人民政治协商会全国委员会.
<https://www.cppcc.gov.cn/zxww/2012/05/02/ART11335945839593161.shtml>
۴۸. Xi's visit boosts China's critical rare-earth sector, 21 May 2019, <https://www.globaltimes.cn/content/1150779.shtml>
۴۹. Hornby, L., & Sanderson, H. (2019, June 4). Rare earths: Beijing threatens a new front in the trade war. Financial Times.
<https://www.ft.com/content/3cd18372-85e0-11e9-a028-86cea8523dc2>
۵۰. China to impose sanctions on U.S. firms over Taiwan arms sales, 26 October 2020,
<https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/china-impose-sanctions-us-firms-over-taiwan-arms-sales-2020-10-26/>
۵۱. Fabian Villalobos, Jonathan L. Brosmer, Richard Silberglitt, Justin M. Lee, and Aimee E. Curtright, Time for Resilient Critical Material Supply Chain Policies (Santa Monica, CA: RAND Corporation, December 2022), https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2102-1.html
۵۳. این اصطلاح در ترجمه تحت الفظی به عنوان «گرز قاتل» (杀手锏 / shāshǒujiàn) ترجمه می‌شود و به یک راهبرد، ابزار یا منبعی پنهان اشاره دارد که اگر در لحظه‌ای حساس و تعیین کننده در یک رقابت یا رویارویی به کار گرفته شود، می‌تواند نتیجه را به شکل قاطع تغییر دهد.
۵۳. Xi, J. (2020). Speech at the symposium of experts in economic and social fields (Original title: 在社会领域专家座谈会上的讲话). Center for Security and Emerging Technology, Georgetown University.
<https://cset.georgetown.edu/publication/xi-jinping-speech-at-the-symposium-of-experts-in-economic-and-social-fields/>
۵۴. National People's Congress of the People's Republic of China. (2021, December 9). Anti-Foreign Sanctions Law of the People's Republic of China.
http://www.npc.gov.cn/englishnpc/c2759/c23934/202112/t20211209_384804.html
۵۵. Mercator Institute for China Studies, China's multi-purpose export controls raise pressure on Europe to derisk, Oct 2025, <https://merics.org/en/comment/chinas-multi-purpose-export-controls-raise-pressure-europe-derisk>
۵۶. Reuters. (2025, June 4). China's rare earth export curbs hit the auto industry worldwide. Reuters.
<https://www.reuters.com/business/autos-transportation/some-european-auto-supplier-plants-shut-down-after-chinas-rare-earth-curbs-2025-06-04/>
۵۷. International Energy Agency. (2026). Global Critical Minerals Outlook 2026. [PDF].
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/2831e0dc-f030-4d14-985c-d26d1af4430f/GlobalCriticalMineralsOutlook2026.pdf>
۵۸. U.S. Department of Energy. (2010, December). Critical materials strategy.
<https://www.energy.gov/documents/2010-critical-materials-strategy-reportpdf-0>
۵۹. U.S. Department of Energy. Critical Materials Strategy. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, December 2011. Available at:
https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf
۶۰. The White House. (2022, March 31). Memorandum on presidential determination pursuant to Section 303 of the Defense Production Act of 1950, as amended (Presidential Determination No. 2022-11).
<https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/03/31/memorandum-on-presidential-determination-pursuant-to-section-303-of-the-defense-production-act-of-1950-as-amended/>
۶۱. Trump, D. J. (2017, July 21). Executive Order 13806—Assessing and strengthening the manufacturing and defense industrial base and supply chain resiliency of the United States. The American Presidency Project.
<https://www.presidency.ucsb.edu/documents/executive-order-13806-assessing-and-strengthening-the-manufacturing-and-defense-industrial>
۶۲. Trump, D. J. (2020, September 30). Executive Order 13953—Addressing the threat to the domestic supply chain from reliance on critical minerals from foreign adversaries and supporting the domestic mining and processing industries. The American Presidency Project.
<https://www.presidency.ucsb.edu/documents/executive-order-13953-addressing-the-threat-the-domestic-supply-chain-from-reliance>
۶۳. The White House. (2022, March 31). Memorandum on presidential determination pursuant to Section 303 of the Defense Production Act of 1950, as amended (Presidential Determination No. 2022-11).
<https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/03/31/memorandum-on-presidential-determination-pursuant-to-section-303-of-the-defense-production-act-of-1950-as-amended/>
۶۴. The White House. (n.d.). President Biden's actions to tackle the climate crisis. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/climate/>
۶۵. U.S. Congress. (2021, November 15). Infrastructure Investment and Jobs Act (H.R. 3684, 117th Congress; Pub. L. No. 117-58). Congress.gov.
<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684/text>
۶۶. U.S. Congress. (2022, August 16). Inflation Reduction Act of 2022 (H.R. 5376, 117th Congress; Pub. L. No. 117-169). Congress.gov.
<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text>
۶۷. U.S. Congress. (2022, August 9). CHIPS and Science Act of 2022 (H.R. 4346, 117th Congress). Congress.gov.
<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346>





٢٨. U.S. Congress. (2022, December 23). James M. Inhofe National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2023 (H.R. 7776, 117th Congress). Congress.gov. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/7776>
٢٩. U.S. Congress. (2023, December 22). National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2024 (H.R. 2670, 118th Congress). Congress.gov. <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/2670>
٣٠. Baskaran, G., & Schwartz, M. (2025, July 28). Developing rare earth processing hubs: An analytical approach. Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/developing-rare-earth-processing-hubs-analytical-approach>
٣١. Ministry of Economy, Trade and Industry. (2023, March 28). Signing of the Japan-U.S. Critical Minerals Agreement (CMA). https://www.meti.go.jp/english/press/2023/0328_001.html
٣٢. The White House. (2023, May 20). Australia-United States Climate, Critical Minerals and Clean Energy Transformation Compact. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2023/05/20/australia-united-states-climate-critical-minerals-and-clean-energy-transformation-compact/>
- Government of Canada. (2020, January 9). Canada and U.S. finalize joint action plan on critical minerals collaboration. Newswire. <https://www.newswire.ca/news-releases/canada-and-u-s-finalize-joint-action-plan-on-critical-minerals-collaboration-829031955.html>
٣٣. Reuters. (2025, July 14). US rare earth pricing system is poised to challenge China's dominance. Reuters.
٣٤. Fabian Villalobos, Jonathan L. Brosmer, Richard Silbergliitt, Justin M. Lee, and Aimee E. Curtright, Time for Resilient Critical Material Supply Chain Policies (Santa Monica, CA: RAND Corporation, December 2022), https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2102-1.html
٣٥. The White House. (2021, June). Building resilient supply chains, revitalizing American manufacturing, and fostering broad-based growth: 100-day reviews under Executive Order 14017. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>
٣٦. Hidayat, M. (2025, November 4). China's rare earth stranglehold: Complete global supply chain control. Discovery Alert.
٣٧. International Energy Agency. (2025). Global critical minerals outlook 2025. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>
٣٨. Ibid
٣٩. Ibid
٤٠. Ibid
٤١. Ibid
٤٢. Rare Earth Permanent Magnets, Supply Chain Deep Dive Assessment, U.S. Department of Energy Response to Executive Order 14017, "America's Supply Chains, February 2022, <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/Neodymium%20Magnets%20Supply%20Chain%20Report%20-%20Final.pdf>
٤٣. Baskaran, G., & Schwartz, M. (2025, July 28). Developing rare earth processing hubs: An analytical approach. Center for Strategic and International Studies.





ISA CENTER
International & Strategic
Analysis Center