



عناصر راهبردی و استراتژیک



مرکز نوآوری معادن و صنایع معدنی ایران



سازمان توسعه و نوسازی
معادن و صنایع معدنی ایران





• اکسیدهای تیتانیوم (TiO_2)

- اهمیت راهبردی: بازار جهانی TiO_2 وابسته به چند تولیدکننده بزرگ است و زنجیره ارزش آن از معدن تا تولید رنگدانه و فلز تیتانیوم گسترده است.
- کشورهایمانند استرالیا، آفریقای جنوبی و چین از تولیدکنندگان اصلی کنسانتره تیتانیوم هستند. اکسید تیتانیوم یکی از مهم‌ترین مواد معدنی صنعتی جهان است که عمدتاً به صورت TiO_2 در کانی‌هایی مانند ایلمنیت و روتیل استخراج می‌شود.



ایریدیوم



ایریدیوم یکی از نادرترین عناصر گروه پلاتین PGM و فلزی فوق‌استراتژیک است. کاربردهای اصلی:

- الکترودهای مقاوم به خوردگی
- شمع‌های جرقه با عمر بالا
- صنایع هوافضا
- تولید کاتالیست‌های خاص
- تولید الکترولایزرهای هیدروژنی



بروم (Br)



بروم یکی از عناصر هالوژن با کاربردهای گسترده صنعتی است که عمدتاً از شوره‌های زیرزمینی و دریاچه‌های شور استخراج می‌شود. این عنصر به صورت ترکیبات برومیدی در محلول حضور دارد و به ندرت به صورت کانی مستقل دیده می‌شود.

کاربردهای اصلی:

- تولید مواد بازدارنده شعله (Flame Retardants)
- سیالات حفاری در صنعت نفت و گاز
- صنایع دارویی و شیمیایی
- ضد عفونی کننده‌های آب
- کاربرد در تولید برخی پلیمرهای مهندسی

اهمیت راهبردی:

بازار جهانی بروم نسبتاً متمرکز است و تولید آن عمدتاً در آمریکا، اسرائیل و چین انجام می‌شود. وابستگی صنایع نفت، گاز و پلیمر به این عنصر، اهمیت راهبردی آن را افزایش داده است.





بور (B)

بور یک عنصر استراتژیک با کاربردهای گسترده در صنایع شیشه، سرامیک، شوینده‌ها، کشاورزی و مواد پیشرفته است. این عنصر عمدتاً به صورت کانی‌های بوراته استخراج می‌شود و به ندرت به صورت عنصری مصرف دارد.

کاربردهای اصلی:

- شیشه‌های بوروسیلیکاتی مقاوم به حرارت
- فایبرگلاس و عایق‌های صنعتی
- کودهای کشاورزی (ریزمغذی)
- مواد شوینده (پربورات‌ها)
- صنایع هسته‌ای (جذب نوترون)
- آلیاژهای ویژه و مواد سرامیکی پیشرفته

اهمیت راهبردی: تولید جهانی بور به شدت متمرکز است و بخش عمده ذخایر دنیا در ترکیه قرار دارد. پس از آن آمریکا از تولیدکنندگان مهم است. این تمرکز، اهمیت ژئواقتصادی بور را افزایش داده است.





پالادیوم

پالادیوم یکی از عناصر گروه پلاتین (PGM) و فلزی بسیار استراتژیک است که کاربردهای اصلی آن شامل:

- کاتالیست خودرو (بیش از ۷۰٪ مصرف جهانی)
- صنایع پتروشیمی
- الکترونیک و آبکاری
- صنایع هیدروژنی
- کاربردهای دفاعی و شیمیایی خاص

تولید جهانی پالادیوم به شدت متمرکز است و عمدتاً در روسیه و آفریقای جنوبی انجام می‌شود، بنابراین امنیت تأمین آن برای بسیاری از کشورها چالش برانگیز است.



پلاتین

پلاتین یکی از عناصر گروه پلاتین (PGM) و فلزی فوق‌استراتژیک است. کاربردهای اصلی آن:

- کاتالیست خودروهای دیزلی
- صنایع پتروشیمی و پالایشگاه
- پیل‌های سوختی هیدروژنی
- تجهیزات آزمایشگاهی مقاوم به حرارت
- کاربردهای پزشکی و الکترونیک

تولید جهانی به شدت متمرکز است (بیش از ۷۰٪ در آفریقای جنوبی). این تمرکز، توسعه منابع جدید را از منظر امنیت تأمین، مهم می‌کند.





• تری اکسید کروم (CrO_3)

تری اکسید کروم با فرمول CrO_3 ترکیب اصلی کروم شش ظرفیتی است و ماده پایه در آبکاری کروم سخت و تزئینی محسوب می شود. این ماده اکسیدکننده قوی بوده و در صنایع فلزی و شیمیایی کاربرد گسترده دارد.

کاربردهای اصلی:

- آبکاری کروم سخت (Hard Chrome Plating)
- آبکاری تزئینی قطعات خودرو و لوازم خانگی
- تولید اسید کرومیک (Chromic Acid)
- صنایع رنگدانه و برخی اکسیدکننده های شیمیایی
- آنودایز آلومینیوم (برخی کاربردهای خاص)

اهمیت راهبردی:

مصرف CrO_3 وابسته به صنعت خودرو، قالب سازی و تجهیزات صنعتی است. به دلیل محدودیت های زیست محیطی مرتبط با Cr^{6+} ، تولید و مصرف آن در بسیاری از کشورها تحت مقررات سختگیرانه قرار دارد (به ویژه در European Union).



تنگستن
Tungsten



تنگستن

تنگستن یکی از فلزات استراتژیک با بالاترین نقطه ذوب در میان فلزات است و در صنایع زیر کاربرد دارد:

- ابزارهای برشی و کاربیدی (WC)
- صنایع نفت و گاز (مته‌های حفاری)
- آلیاژهای مقاوم به حرارت
- صنایع دفاعی و هوافضا
- تجهیزات الکترونیکی خاص

بیش از ۸۰٪ تولید جهانی تنگستن در چین انجام می‌شود، لذا توسعه منابع داخلی آن دارای اهمیت راهبردی بالاست.



رودیوم

رودیوم یکی از نادرترین و گران‌ترین عناصر گروه پلاتین (PGM) است. کاربردهای اصلی آن:

- کاتالیست خودروهای بنزینی کنترل (NOx)
- صنایع پتروشیمی
- آبرکاری قطعات الکترونیکی
- کاربردهای دمای بالا

عرضه جهانی بسیار محدود و متمرکز است (عمدتاً آفریقای جنوبی). به دلیل تولید پایین جهانی، نوسان قیمت بسیار شدید است.





ژرمانیوم

ژرمانیوم فلزی نیمه‌رسانا و از عناصر بسیار استراتژیک است که کاربردهای آن شامل موارد زیر است:

- فیبر نوری
- سلول‌های خورشیدی پیشرفته (فضایی)
- سنسورهای مادون قرمز
- صنایع دفاعی و اپتیکی
- الکترونیک پیشرفته

تولید جهانی ژرمانیوم محدود و عمدتاً به‌عنوان محصول جانبی از فرآوری روی و زغال‌سنگ به‌دست می‌آید. تمرکز تولید در چین و تعداد محدودی کشور است.





عناصر نادر خاکی (REE)

عناصر نادر خاکی (Rare Earth Elements) شامل ۱۷ عنصر (لانتانیدها به همراه Sc و Y) هستند که نقش حیاتی در صنایع پیشرفته دارند. این عناصر به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

• **LREE** (سبک): La, Ce, Pr, Nd

• **HREE** (سنگین): Dy, Tb, Er, Yb, Y

کاربردهای اصلی

- مغنت‌های دائم Nd-Fe-B (خودروهای برقی و توربین‌های بادی)
- صنایع دفاعی و اپتوالکترونیک
- باتری‌ها و ذخیره انرژی
- کاتالیست‌های پالایشگاهی
- صنایع شیشه و سرامیک پیشرفته





قلع

مقدمه و اهمیت راهبردی

قلع فلزی استراتژیک با کاربرد گسترده در:

- لحیم کاری صنایع الکترونیک
- تولید آلیاژ برنز
- پوشش دهی فولاد (Tinplate)
- صنایع باتری های نسل جدید
- صنایع شیمیایی

بیش از ۶۰٪ مصرف جهانی قلع در صنایع الکترونیک است.
تمرکز تولید جهانی در شرق آسیا (به ویژه چین و اندونزی)
ریسک تأمین ایجاد کرده است.



کبالت
Cobalt



کبالت

کبالت یکی از فلزات استراتژیک مورد استفاده در تولید باتری‌های لیتیوم-یون، سوپراکاپاسیترها، کاتالیست‌ها و صنایع پیشرفته است. با رشد صنایع انرژی نو، اهمیت کبالت در زنجیره تأمین جهانی افزایش یافته است.

مطابق مطالعات زمین‌شناسی بین‌المللی، کبالت در اغلب موارد به صورت ذخیره مستقل تشکیل نمی‌شود، بلکه عمدتاً به‌عنوان محصول جانبی استخراج از ذخایر مس و نیکل تولید می‌گردد. بنابراین، توسعه کبالت در ایران نیز باید مبتنی بر بهره‌برداری از ذخایر موجود فلزات پایه باشد. با توجه به نبود ذخایر شناخته‌شده مستقل کبالت در کشور، رویکرد این پیشنهاد بر شناسایی و استحصال کبالت از ذخایر مس-نیکل و VMS موجود استوار است.



نیکل
Nickel



نیکل

نیکل یکی از فلزات استراتژیک مورد استفاده در تولید فولادهای زنگ‌نزن، سوپراآلیاژها، صنایع نفت و گاز و به‌ویژه باتری‌های خودروهای برقی است. رشد سریع تقاضای جهانی در حوزه انرژی‌های نو، جایگاه این فلز را به‌عنوان یک ماده اولیه راهبردی تثبیت کرده است.

در حال حاضر کشور فاقد زنجیره صنعتی تولید نیکل بوده و نیاز داخلی از طریق واردات تأمین می‌شود. با توجه به وجود شواهدی از کانی‌سازی‌های نیکل‌دار در کمربندهای اولترامافیک کشور، ایجاد ظرفیت فرآوری و تولید نیکل می‌تواند گام مهمی در توسعه فلزات استراتژیک و کاهش وابستگی ارزی باشد.



وانادیوم
Vanadium



وانادیوم

وانادیوم یکی از فلزات استراتژیک مورد استفاده در:

- فولادهای میکروآلیاژی
- سوپرآلیاژها
- باتری‌های ذخیره انرژی نوع Vanadium Redox Flow
- صنایع شیمیایی و کاتالیستی

تقاضای جهانی وانادیوم به دلیل رشد زیرساخت‌ها و انرژی‌های تجدیدپذیر در حال افزایش است. برخلاف کبالت، وانادیوم در برخی تیپ‌های کنساری می‌تواند به صورت ذخیره اصلی یا محصول جانبی اقتصادی تولید شود.

