

مواد معدنی حیاتی و توسعه زنجیره تأمین آن

چالش‌ها و رویکردها

با نگاهی به فعالیت‌های طرح عناصر نادر خاکی و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران
✓ مجید وفایی فرد. مدیر مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران
✓ حسن صدیقی. مجری طرح عناصر نادر خاکی

H																			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		



مواد معدنی حیاتی فلزات و غیر فلزاتی هستند که برای رفاه اقتصادی کشورها حیاتی هستند، عرضه این عناصر ممکن است به علت کمبود زمین شناسی (ذخایر)، مسائل ژئوپولیتیک، سیاست‌های تجاری یا سایر عوامل با مخاطراتی همراه باشد.

در کشورهای مختلف بر اساس پارامترهای اقتصادی و صنعتی دسته‌بندی‌های متفاوتی از مواد معدنی حیاتی ارائه شده است. با این حال این مواد در بیشتر موارد مشابه هستند. لیست مشترک این عناصر که توسط ایالات متحده، ژاپن، جمهوری کره، و اتحادیه اروپا از جمله انگلستان تهیه شده به شرح زیر است:

عناصر نادر خاکی (REE)، گالیم (Ga)، ایندیوم (In)، تنگستن (W)، عناصر گروه پلاتین (PGE) از جمله پلاتین (Pt) و پالادیوم (Pd)، کبالت (Co)، نیوبیوم (Nb)، منیزیم (Mg)، مولیبدن (Mo)، آنتیموان (Sb)، لیتیوم (Li)، وانادیوم (V)، نیکل (Ni)، تانتالیم (Ta)، تلوریم (Ti)، کروم (Cr) و منگنز (Mn).

۱

اهمیت صنعتی

• مواد معدنی حیاتی فلزات و غیر فلزاتی هستند که برای رفاه اقتصادی کشورها حیاتی هستند، عرضه این عناصر ممکن است به علت کمبود زمین شناسی (ذخایر)، مسائل ژئوپولیتیک، سیاست های تجاری یا سایر عوامل با مخاطراتی همراه باشد. این فلزات و نیمه فلزات در تولید تلفن های همراه، مانیتورهای صفحه تخت، توربین های بادی، اتومبیل های الکتریکی، پانل های خورشیدی و بسیاری از صنایع با فناوری پیشرفته مورد استفاده قرار می گیرند.

۲

اهمیت استراتژیک

• اصطلاح مواد معدنی استراتژیک و حیاتی تقریباً به طور انحصاری، با امنیت ملی و نیازهای نظامی و یا مورد نیاز در مواقع اضطرار ملی و مترادف با واژه بحرانی است که شامل برنامه ریزی، تاکتیک و محاسبات است لذا مواد دارای مصارف نظامی استراتژیک هستند.

عوامل تأثیرگذار در دسته‌بندی مواد معدنی حیاتی

1. عوامل عرضه: شامل دسترسی زمین‌شناسی، دسترسی اقتصادی و بازیافت
2. عوامل ژئوپلیتیکی: سیاست‌ها و مقررات، ریسک ژئوپلیتیکی و عرضه متمرکز
3. عوامل تقاضا: تقاضای آینده و جایگزینی
4. دیگر عوامل فناوری و نوآوری، زیست‌محیطی، اهمیت اقتصادی و رسانه

انرژی تجدیدپذیر



خودرو (به ویژه وسایل نقلیه الکتریکی) هوافضا و فناوری‌های دفاعی



ارتباطات

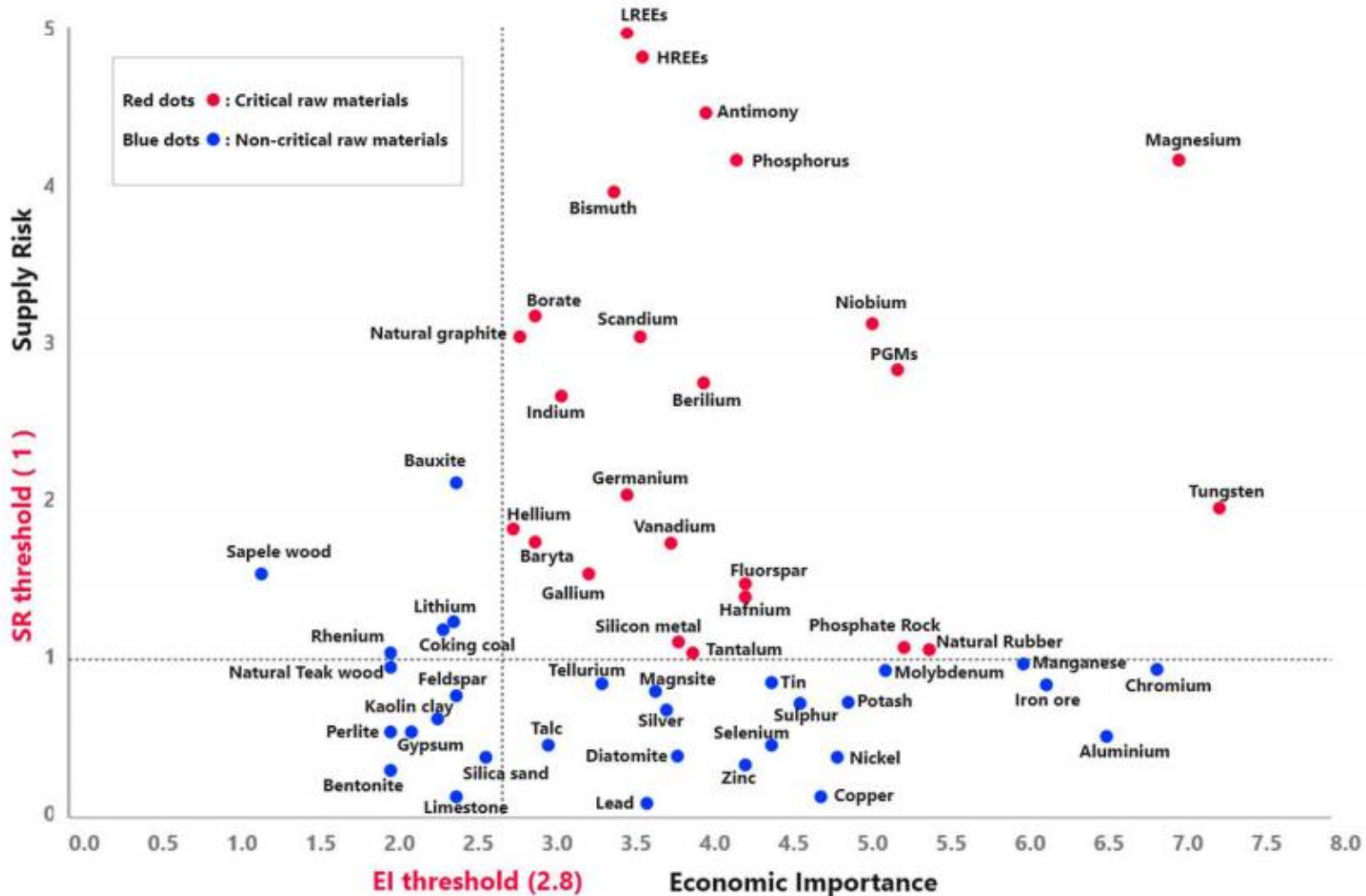


روش‌های ارزیابی مواد معدنی حیاتی

1. روش ارزیابی ژئوپلیتیکی اندرسون
2. روش ارزیابی NRC
3. روش اتحادیه اروپا
4. روش سازمان ملل متحد
5.

مناسب‌ترین و پرکاربردترین روش برای ارزیابی مواد معدنی حیاتی با در نظرگیری دو مؤلفه : (۱) اثر اختلال در عرضه (اهمیت اقتصادی) و (۲) خطر عرضه است که توسط شورای ملی پژوهش ایالات متحده ارائه شده است.

مدل اتحادیه اروپا (اهمیت اقتصادی و ریسک تامین)

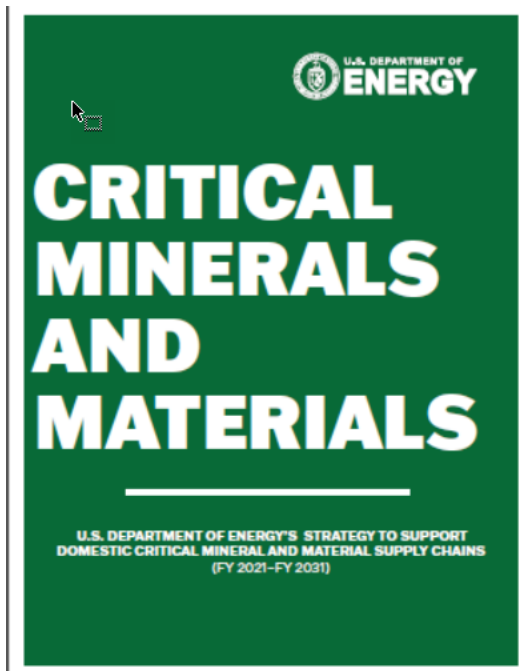


اولویت بندی اولیه لیست مواد معدنی حیاتی

- کبالت از کانی‌ها و منابع بازیافتی
- تیتانیوم از اکسیدهای آمیخته و کانی‌ها
- لیتیوم از منابع شورابه و تلخابها
- کروم از کانی کرومیت
- عناصر نادر خاکی از کانی‌ها و منابع بازیافت
- بور اکسید از کانی
- نیکل از کانی‌ها و منابع بازیافتی
- فسفات از آپاتیت
- آنتیموان از کانی‌ها و منابع بازیافتی
- وانادیوم از کانی‌ها و منابع ثانویه
- تنگستن از کانی‌ها و منابع بازیافت
- گالیم از منابع زغال سنگ
- عناصر گروه پلاتین از منابع بازیافتی
- ژرمانیم از منابع زغال سنگ
- پتاس از شورابه ها
- منگنز از کانی
- طلا از کانی و منابع ثانویه
- فلورسپار از کانی فلورین
- منیزیم از کانی‌ها، شورابه و کانی دولومیت

زنجیره تامین مواد معدنی حیاتی در دیگر کشورها

ایالات متحده



استرالیا



فعالیت های کشورهای مختلف در خصوص زنجیره تامین مواد معدنی حیاتی

1. تشکیل دفتر و یا کارگروه اختصاصی مواد معدنی حیاتی و پیگیری مصوبات ابلاغ شده از سوی نهادهای متولی
2. تدوین استراتژی برای حمایت از زنجیره تامین مواد معدنی حیاتی (تسهیل قوانین و بررسی نحوه تخصیص حمایت های مرتبط مانند استراتژی تدوین شده توسط وزارت انرژی ایالات متحده و وزارت صنایع استرالیا)
3. تعیین بازار هدف: تامین نیاز داخلی و یا ورود به زنجیره تامین بین المللی (به عنوان مثال در ایالات متحده اولویت تامین نیاز داخلی و در استرالیا با توجه به گستردگی پتانسیل های معدنی هدف علاوه بر تامین نیاز داخلی جذب سرمایه گذاری خارجی و ورود به زنجیره تامین بین المللی است).
4. ایجاد سازوکار همکاری مراکز تحقیقاتی و شرکت های خصوصی جهت مشارکت در فرآیند تولید دانش فنی با حمایت نهاد متولی(در بیشتر پروژه های انجام شده شرکت های خصوصی و مراکز تحقیقاتی و علمی همکاری دارند).
5. انجام مرحله ای فعالیت های مرتبط به زنجیره تامین مانند اکتشاف، استخراج و فرآوری به منظور اولویت بندی برای اختصاص حمایت های و تسهیلات با هدف تایید مرحله ای نهاد ناظر

پتانسیل بالقوه مواد معدنی حیاتی در ایران

□ تولید مواد معدنی حیاتی به عنوان محصولات جانبی معادن در ایران

در حال حاضر، در دنیا بسیاری از مواد معدنی حیاتی (به عنوان مثال PGE، REE، Cr، W، Co، Cd، Ge، Se، Te، Re) به عنوان محصولات جانبی از فرآوری سنگ‌های معدنی مانند Cu، Zn، Fe، Pb، Ni و Au استحصال می‌شود. با توجه به اینکه در حال حاضر بخش قابل توجهی از این فلزات اساسی در کشور تولید می‌شود می‌توان انتظار داشت بتوان این عناصر را به عنوان محصول جانبی استخراج کرد

□ مواد معدنی حیاتی در دریاچه‌های نمک در ایران

دریاچه‌های نمکی که در اثر تبخیر آب‌های سطحی یا زیرزمینی ایجاد می‌شود در برخی از سازندهای زمین‌شناسی، شامل غنی‌شدگی طیف وسیعی از عناصر شامل Na، K، Mg، Ca، B و Li می‌باشند. لذا این منابع در ایران نیز می‌تواند به عنوان منبعی بالقوه از مواد معدنی حیاتی در نظر گرفته شود.

وضعیت تولید مواد معدنی حیاتی در ایران

❑ مواد معدنی حیاتی دارای واحدهای تولیدی صنعتی

با توجه به آمارهای منتشره و در دسترس، از میان فلزات حیاتی آلومینیوم، طلا، نقره، مولیبدن، رنیوم، منیزیم و آلیاژهای کروم و منگنز در ایران تولید می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت صنایع کشور نسبت به این موارد کمتر آسیب‌پذیر است و بایستی در آن رویکرد توسعه‌ای مد نظر قرار گیرد.

❑ مواد معدنی حیاتی فاقد واحدهای تولیدی صنعتی

سایر مواد معدنی حیاتی که در بخش بالا بدان اشاره نشد در حال حاضر در کشور تولید نمی‌شود و با توجه به وجود پتانسیل بالقوه برای تولید این مواد معدنی باید منابع آن‌ها شناسایی شده و در صورت وجود قابلیت بهره‌برداری، سرمایه‌گذاری مورد نیاز در این خصوص انجام گیرد.

چالشهای فعلی در تأمین مواد معدنی حیاتی مورد نیاز در کشور

□ افزایش تقاضا با افزایش رشد صنعتی

تقاضا برای مواد معدنی حیاتی، از جمله لیتیوم، نیکل، کبالت، گرافیت، و عناصر خاکی نادر REE، به دلیل نقش اساسی آنها در فن‌آوری‌های انتقال انرژی و ذخیره‌سازی انرژی، افزایش خواهد یافت. فن‌آوری‌های انرژی پاک به طور کلی نیاز به مواد معدنی حیاتی بیشتری در مقایسه با فن‌آوری‌های مبتنی بر سوخت فسیلی معمولی دارد.

□ تمرکز تولید مواد معدنی حیاتی در چند کشور محدود

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در زمینه مواد معدنی حیاتی این است که تولید این مواد معدنی حیاتی در چند کشور متمرکز است. به عنوان مثال بیش از ۸۰٪ از Pt توسط آفریقای جنوبی و زیمبابوه تولید می‌شود،

□ عدم تولید داخلی مواد معدنی حیاتی مورد نیاز

ایران در حال حاضر در این زمینه تولیدات قابل قبولی ندارد و برای تأمین آنها نیاز به واردات از کشورهای دیگر است. لذا نیاز است فعالیت‌های گسترده‌ای برای اکتشاف، استخراج و فرآوری این مواد معدنی در کشور در دستور کار قرار گیرد تا علاوه بر شناسایی نیازهای بالقوه برای نیازهای آتی صنایع ایران در این زمینه گام‌هایی مهم برداشته شود.

رویکرد توسعه زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی راهکاری برای غلبه بر چالش های آتی در این حوزه

ایران پتانسیل قابل توجهی در حوزه معدنی دارد و ایمیدرو با در اختیار داشتن پهنه های وسیع می تواند گام مهمی برای توسعه اکتشافات و بهره برداری از عناصر حیاتی بردارد. این امر از طریق انجام پروژه های مختلف امکان پذیر است و لذا ایمیدرو می تواند نقش مهمی در زنجیره تأمین صنایع بالادستی داشته باشد.

هدف ایمیدرو باید هدایت یک رویکرد ملی هماهنگ باشد. نقشه راه تهیه شده باید توسعه یافته و از پشتیبانی لازم برخوردار باشد. اهداف این رویکرد ملی عبارتند از:

- هماهنگی بهتر استراتژی ها، فعالیت ها و طرح های مواد معدنی حیاتی
- ایجاد یک رویکرد ملی در تجارت و توسعه فعالیت های سرمایه گذاری در حوزه مواد معدنی حیاتی
- باز کردن فرصت های صادرات با ارزش افزوده و مشاغل با مهارت های بالا در کشور، به ویژه در توسعه صنایع پایین دستی

استراتژی ایمیدرو برای اثر گذاری در تأمین مواد معدنی حیاتی توسط سه بخش کلیدی پشتیبانی می شود:

- توسعه فعالیت های اکتشافی و فرآوری،
- توسعه مواد معدنی جایگزین
- بازیافت این مواد معدنی از منابع ثانویه.

اهداف طرح مواد معدنی حیاتی

- ❑ ایجاد نوآوری علمی و پژوهشی و توسعه فناوری‌هایی که تأمین مواد معدنی حیاتی مورد نیاز کشور را تسهیل کند وابستگی کشور در زمینه اکتشاف، استخراج، فرآوری و بازیافت این عناصر را به حداقل برساند.
- ❑ همکاری و حمایت از صنایع معدنی، دانشگاه‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور ورود به زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی از طریق نظارت، مدیریت و تأمین بودجه پژوهشی مورد نیاز برای تولید دانش و توسعه فناوری
- ❑ تقویت توانایی‌های جدید برای تأمین پایدار و کاهش چالش‌های مرتبط به زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی
- ❑ هماهنگی با شرکای بین‌المللی و متحدان برای ایجاد تنوع در زنجیره تأمین داخلی و اطمینان از به‌کارگیری بهترین فناوری‌ها برای استخراج و فرآوری پایدار این مواد معدنی حیاتی

نتایج مورد انتظار از ایجاد طرح مواد معدنی حیاتی

- ❑ تولید دانش فنی و توسعه فناوری در زمینه زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی: از طریق استراتژی تحقیق و توسعه در سراسر زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی و تشویق به افزایش سرمایه‌گذاری‌های صنایع معدنی در نوآوری و توسعه فناوری در این حوزه
- ❑ تقویت زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی در ایران: با حمایت از صنعت مواد معدنی حیاتی و زنجیره تأمین مرتبط از طریق مشارکت ذینفعان صنایع معدنی در این حوزه
- ❑ افزایش همکاری در خصوص استحصال مواد معدنی حیاتی بر اساس ضوابط ایمیدرو
- ❑ بررسی و تعیین منابع بالقوه مواد معدنی حیاتی: شناسایی منابع اولیه و ثانویه مواد معدنی حیاتی
- ❑ تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه مواد معدنی حیاتی: از طریق ترویج همکاری پژوهشی و توسعه فناوری بین رشته‌های مرتبط برای توسعه صنایع تأمین مواد معدنی حیاتی

نگاهی به فعاليتها، امکانات و توانمندیهای مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران در حوزه مواد معدنی حیاتی

- مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با داشتن تجهیزات مختلف آزمایشگاهی و پایلوت و نیروی انسانی متخصص تجربه ای قابل توجه در زمینه فرآوری و استحصال مواد معدنی و عناصر کمیاب و حیاتی دارد که در ادامه به خلاصه ای از مهمترین پروژه هایی که در اینخصوص در مرکز به انجام رسیده است اشاره می شود:



نگاهی به فعاليتها، امکانات و توانمندیهای مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران در حوزه مواد معدنی حیاتی



نگاهی به فعالیتها، امکانات و توانمندیهای مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران در حوزه مواد معدنی حیاتی

ردیف	عنوان پروژه	عنصر حیاتی	سال اجرا
۱	امکان سنجی استحصال پنتا اکسید وانادیوم و اکسید آهن از محصول تیتانومگنتیت مجتمع تیتانیوم کهنوج در مقیاس آزمایشگاهی	وانادیوم	۱۴۰۰ در حال اجرا
۲	استحصال وانادیوم از سرباره کوره ذوب فولاد مبارکه	وانادیوم	۱۴۰۰ در حال اجرا
۳	شناسایی و امکان سنجی استحصال تیتانیوم و عناصر نادر خاکی از گل قرمز کارخانه بوکسیت جاجرم در مقیاس آزمایشگاهی	عناصر نادر خاکی	۱۳۹۹
۴	پریعارسازی ثقیل نمونه کرومیت میز لرزان در مقیاس پایلوت	کرومیت	۱۳۹۹
۵	پریعارسازی به روش جدایش ثقیل توسط دستگاه نلسون نمونه پلی متال در مقیاس پایلوت	طلا، نقره، پلاتین و پالادیوم	۱۳۹۹
۶	بررسی جدایش ثقیل توسط نمونه مگنز دستگاه اریکسون	مگنز	۱۳۹۸
۷	بررسی پریعارسازی ثقیل توسط دستگاه سیکلون واسطه سنگین در مقیاس پایلوت	مگنز	۱۳۹۸
۸	استحصال عناصر نادر به روش لیچینگ اسیدی و ترسیب	عناصر نادر خاکی	۱۳۹۸
۹	مطالعات فرآوری و استحصال عناصر نادر خاکی از کانسنگ آنومالی ۵ ساغند در مقیاس پایلوت	عناصر نادر خاکی	۱۳۹۸
۱۰	امکان سنجی جدایش ثقیل نمونه آنتیموان توسط میز در مقیاس پایلوت	آنتیموان	۱۳۹۶
۱۱	جدایش ثقیل نمونه کرومیت در مقیاس پایلوت	کرومیت	۱۳۹۶
۱۲	جدایش ثقیل توسط میز لرزان و اسپیرال نمونه کرومیت در مقیاس پایلوت	کرومیت	۱۳۹۶

نگاهی به فعاليتها، امکانات و توانمندیهای مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران در حوزه مواد معدنی حیاتی

۱۳۹۵	عناصر نادر خاکی	مطالعات فرآوری و استحصال عناصر نادر خاکی از کانسنگ گزستان	۱۳
۱۳۹۵	عناصر نادر خاکی	مطالعات فرآوری و استحصال عناصر نادر خاکی از کانسنگ آنومالی ۵ ساغند	۱۴
۱۳۹۴	عناصر نادر خاکی	عناصر نادر خاکی میشدوان	۱۵
۱۳۹۴	وانادیوم	بازیابی و استحصال وانادیوم از سرباره‌های وانادیوم دار	۱۶
۱۳۹۳	مولیبدن	انجام مطالعات مولیبدن در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت	۱۷
۱۳۹۳	نیکل	لیچینگ آمونیاکی نیکل از پسماندهای روی	۱۸
۱۳۹۳	منگنز	لیچینگ نمونه منگنز	۱۹
۱۳۹۲	منگنز	آزمایش‌های ثقلی نمونه منگنز	۲۰
۱۳۹۲	کرومیت	مطالعات فراوری نیمه‌صنعتی نمونه کرومیت کم‌عیار	۲۱
۱۳۹۰	منیزیم	فیلتراسیون سوسپانسیون $Mg(OH)_2$ در مقیاس پایلوت	۲۲
۱۳۹۰	منگنز	پرعیارسازی نمونه منگنز	۲۳

با تشکر از شکیبایی و توجه شما

