

ژئواکونومی عناصر نادر خاکی

توزیع جهانی، ذخایر ایران و فرصت‌های اقتصادی

Atomic Number	Symbol	Name	Category
4	Be	Beryllium	Alkali Metals
1	H	Hydrogen	Non Metals
2	He	Helium	Noble Gases
3	Li	Lithium	Alkali Metals
4	Be	Beryllium	Alkali Metals
5	B	Boron	Other Metals
6	C	Carbon	Non Metals
7	N	Nitrogen	Non Metals
8	O	Oxygen	Non Metals
9	F	Fluorine	Halogens
10	Ne	Neon	Noble Gases
11	Na	Sodium	Alkali Metals
12	Mg	Magnesium	Alkali Metals
13	Al	Aluminum	Other Metals
14	Si	Silicon	Metalloids
15	P	Phosphorus	Non Metals
16	S	Sulfur	Non Metals
17	Cl	Chlorine	Halogens
18	Ar	Argon	Noble Gases
19	K	Potassium	Alkali Metals
20	Ca	Calcium	Alkali Metals
21	Sc	Scandium	Transition Metals
22	Ti	Titanium	Transition Metals
23	V	Vanadium	Transition Metals
24	Cr	Chromium	Transition Metals
25	Mn	Manganese	Transition Metals
26	Fe	Iron	Transition Metals
27	Co	Cobalt	Transition Metals
28	Ni	Nickel	Transition Metals
29	Cu	Copper	Transition Metals
30	Zn	Zinc	Transition Metals
31	Ga	Gallium	Other Metals
32	Ge	Germanium	Metalloids
33	As	Arsenic	Other Metals
34	Se	Selenium	Other Metals
35	Br	Bromine	Halogens
36	Kr	Krypton	Noble Gases
37	Rb	Rubidium	Alkali Metals
38	Sr	Strontium	Alkali Metals
39	Y	Yttrium	Transition Metals
40	Zr	Zirconium	Transition Metals
41	Nb	Niobium	Transition Metals
42	Mo	Molybdenum	Transition Metals
43	Tc	Technetium	Transition Metals
44	Ru	Ruthenium	Transition Metals
45	Rh	Rhodium	Transition Metals
46	Pd	Palladium	Transition Metals
47	Ag	Silver	Transition Metals
48	Cd	Cadmium	Transition Metals
49	In	Indium	Other Metals
50	Sn	Tin	Other Metals
51	Sb	Antimony	Other Metals
52	Te	Tellurium	Other Metals
53	I	Iodine	Halogens
54	Xe	Xenon	Noble Gases
55	Cs	Cesium	Alkali Metals
56	Ba	Barium	Alkali Metals
57	*		Lanthanides
58	Hf	Hafnium	Transition Metals
59	Ta	Tantalum	Transition Metals
60	W	Tungsten	Transition Metals
61	Re	Rhenium	Transition Metals
62	Os	Osmium	Transition Metals
63	Ir	Iridium	Transition Metals
64	Pt	Platinum	Transition Metals
65	Au	Gold	Transition Metals
66	Hg	Mercury	Transition Metals
67	Tl	Thallium	Other Metals
68	Pb	Lead	Other Metals
69	Bi	Bismuth	Other Metals
70	Po	Polonium	Other Metals
71	At	Astatine	Halogens
72	Rn	Radon	Noble Gases
73	Fr	Francium	Alkali Metals
74	Ra	Radium	Alkali Metals
75	**		Actinides
76	Rf	Rutherfordium	Transition Metals
77	Db	Dubnium	Transition Metals
78	Sg	Seaborgium	Transition Metals
79	Oh	Oganesson	Other Metals
80	Hs	Hassium	Other Metals
81	Mt	Moscovium	Other Metals
82	Ds	Darmstadtium	Other Metals
83	Rg	Roggenbium	Other Metals
84	Cn	Copernicium	Other Metals
85	Nh	Nihonium	Other Metals
86	Fl	Flerovium	Other Metals
87	Mc	Moscovium	Other Metals
88	Lv	Livermorium	Other Metals
89	Ts	Tennessine	Halogens
90	Og	Oganesson	Noble Gases
89	La	Lanthanum	Lanthanides
90	Ce	Cerium	Lanthanides
91	Pr	Praseodymium	Lanthanides
92	Nd	Niobium	Lanthanides
93	Pm	Promethium	Lanthanides
94	Sm	Samarium	Lanthanides
95	Eu	Eurpium	Lanthanides
96	Gd	Gadolinium	Lanthanides
97	Tb	Terbium	Lanthanides
98	Dy	Dysprosium	Lanthanides
99	Ho	Holmium	Lanthanides
100	Er	Erbium	Lanthanides
101	Tm	Thulium	Lanthanides
102	Yb	Ytterbium	Lanthanides
103	Lu	Lutetium	Lanthanides
91	Ac	Actinium	Actinides
92	Th	Thorium	Actinides
93	Pa	Protactinium	Actinides
94	U	Uranium	Actinides
95	Np	Neptunium	Actinides
96	Pu	Plutonium	Actinides
97	Am	Americium	Actinides
98	Cm	Curium	Actinides
99	Bk	Berkelium	Actinides
100	Cf	Californium	Actinides
101	Es	Einsteinium	Actinides
102	Fm	Fermium	Actinides
103	Md	Mendelevium	Actinides
104	No	Nobelium	Actinides
105	Lr	Lutetium	Actinides



مركز پژوهش های اتاق ایران

ژئواکونومی عناصر نادر خاکی

توزیع جهانی، ذخایر ایران و فرصت های اقتصادی

مدیریت دیپلماسی اقتصادی و آینده پژوهی

تهیه کنندگان: مرتضی قورچی، پارسا ولیعهدی و سید روح الله حسینی

تاریخ انتشار: خرداد ۱۴۰۵

واژگان کلیدی: ژئواکونومی، منابع طبیعی، عناصر نادر خاکی، ذخایر جهانی،

کربناتیت ها، آپاتیت، پگماتیت ها، سنگ های آلکالن

شناسه گزارش: RC-1405-MEF-E2-PP-1214

نشانی: تهران، خیابان طالقانی، نبش خیابان شهید موسوی (فرصت)، پلاک ۱۷۵

مركز پژوهش هادر شبکه های اجتماعی:

Instagram: @rc.iccima.ir

Telegram: @rc_iccima

Twitter: @rc_iccima

فهرست مطالب

۵	چکیده مدیریتی
۷	مقدمه
۹	ژئواکونومی
۱۰	منابع طبیعی
۱۱	عناصر نادر خاکی
۱۴	کاربرد عناصر نادر خاکی
۱۶	توزیع و ذخایر جهانی عناصر نادر خاکی
۲۴	ژئواکونومی عناصر نادر خاکی
۲۶	سیر تاریخی و کشف عناصر نادر خاکی در ایران
۳۱	پتانسیل عناصر نادر خاکی در ایران
۴۰	چار چوپ قانونی و مقرراتی
۴۳	مدل سوات (S.O.W.T)
۴۳	تحلیل عوامل داخلی (قوت‌ها)
۴۵	تحلیل عوامل داخلی (ضعف‌ها)
۴۸	تحلیل عوامل خارجی (فرصت‌ها)
۵۱	تحلیل عوامل خارجی (تهدیدها)
۵۴	ارزیابی موقعیت ژئواکونومیک ایران بر اساس امتیازات نهایی مدل SWOT-TOWS عناصر نادر خاکی
۵۸	ماتریس ترکیبی TOWS و استخراج راهبردهای ژئواکونومیک عناصر نادر خاکی ایران
۶۲	نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۶۵	منابع و ماخذ

خلاصه مدیریتی

عناصر نادر خاکی در دهه‌های اخیر به دلیل نقش حیاتی در صنایع پیشرفته، فناوری‌های دیجیتال، انرژی‌های تجدیدپذیر، خودروهای برقی و صنایع دفاعی، به یکی از مهم‌ترین مواد معدنی راهبردی در نظام اقتصاد جهانی تبدیل شده‌اند. افزایش تقاضای جهانی برای این عناصر و تمرکز بخش عمده تولید و فرآوری آن‌ها در چین، موجب شده است که عناصر نادر خاکی علاوه بر اهمیت اقتصادی، به ابزاری مؤثر در رقابت‌های ژئواکونومیک و ژئوپلیتیکی میان قدرت‌های جهانی تبدیل شوند. در چنین شرایطی، کشورهایی که از ذخایر بالقوه این عناصر برخوردار هستند، می‌توانند از طریق مدیریت صحیح منابع و توسعه زنجیره ارزش، جایگاه خود را در ساختار اقتصاد جهانی ارتقا دهند. ایران نیز به دلیل تنوع ساختاری زمین‌شناسی و قرارگیری در کمربند کانه‌زایی آلپ-همی‌مالیا، از ظرفیت‌های قابل توجهی برای وجود عناصر نادر خاکی برخوردار است؛ با این حال، بررسی جامع جایگاه ژئواکونومیک این عناصر در کشور همچنان نیازمند تحلیل علمی و راهبردی است. از این رو هدف اصلی این پژوهش، تحلیل ژئواکونومی عناصر نادر خاکی با تأکید بر توزیع جهانی، ظرفیت‌های زمین‌شناسی ایران و شناسایی فرصت‌ها و چالش‌های توسعه این بخش در چارچوب رقابت‌های ژئواکونومیک جهانی است. در این راستا، ابتدا مبانی نظری ژئواکونومی و اهمیت راهبردی عناصر نادر خاکی در اقتصاد جهانی مورد بررسی قرار گرفت. سپس با تحلیل منابع زمین‌شناسی و مطالعات معدنی، روند شناخت و پتانسیل‌های موجود این عناصر در ایران در راستای پاسخ به سوال‌های این پژوهش شامل: ۱- وضعیت جهانی عناصر نادر خاکی از منظر ژئواکونومیک چگونه است؟ ۲- ایران با توجه به ذخایر عناصر نادر خاکی خود چه جایگاهی می‌تواند در معادلات ژئواکونومیک جهانی به دست آورد؟ مورد مطالعه قرار گرفت. برای ارزیابی جایگاه راهبردی ایران در این حوزه، از مدل تحلیلی SWOT و ماتریس ترکیبی TOWS استفاده شد. در این روش، مجموعه‌ای از عوامل داخلی شامل نقاط قوت و ضعف و عوامل خارجی شامل فرصت‌ها و تهدیدها شناسایی شده و بر اساس ضرایب اهمیت و امتیاز عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفتند تا وضعیت راهبردی ایران در حوزه عناصر نادر خاکی مشخص شود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ایران از منظر ظرفیت‌های زمین‌شناسی، تنوع ساختاری معدنی، موقعیت ژئوپلیتیکی در کریدورهای



ارتباطی منطقه‌ای و برخورداری از نیروی انسانی متخصص، دارای نقاط قوت قابل توجهی در حوزه عناصر نادر خاکی است. همچنین در سطح بین‌المللی، روندهایی همچون افزایش تقاضای جهانی برای مواد معدنی حیاتی، توسعه فناوری‌های انرژی پاک، گسترش صنایع پیشرفته و تلاش کشورها برای تنوع‌بخشی زنجیره‌های تأمین، فرصت‌های مهمی را برای ورود ایران به بازار جهانی این عناصر فراهم کرده است.

مقدمه

منابع طبیعی، از دوران باستان تا عصر معاصر، همواره به عنوان پایه‌های قدرت اقتصادی، سیاسی و استراتژیک جوامع بشری عمل کرده‌اند. فلزاتی مانند آهن، مس و جیوه در تمدن‌های کهن نقش کلیدی در توسعه متالورژی و توسعه اقتصادی ایفا کردند، و در دوران مدرن، نفت، گاز و مواد معدنی کمیاب به ابزارهای اصلی در معادلات بین‌المللی تبدیل شده‌اند. اهمیت این منابع نه تنها در ارزش اقتصادی‌شان نهفته است، بلکه در قابلیت تبدیل شدن‌شان به اهرم‌های دیپلماتیک و ژئوآکونومیکی است. در جهانی که رقابت بر سر دسترسی به مواد خام حیاتی شدت گرفته، منابع طبیعی می‌توانند به عنوان ابزار قدرت نرم یا سخت مورد استفاده قرار گیرند؛ برای مثال، کنترل بر نفت توسط سازمان‌هایی مانند اوپک، یا سلطه بر عناصر نادر خاکی توسط چین، نشان‌دهنده این است که چگونه این منابع می‌توانند روابط بین‌الملل را شکل دهند، تحریم‌ها را تحمیل کنند و حتی به ابزارهای دیپلماتیک در اختلافات مرزی تبدیل شوند. نظریه "تفرین منابع طبیعی" نیز هشدار می‌دهد که این دارایی‌ها، در حالی که می‌توانند موتور رشد اقتصادی باشند، ممکن است سرعت توسعه را کند کنند اگر مدیریت هوشمندانه‌ای بر آن‌ها اعمال نشود.

در این میان، عناصر نادر خاکی (REE)، گروهی متشکل از ۱۷ عنصر شیمیایی با خواص منحصر به فرد مغناطیسی، نوری و شیمیایی، نمونه بارزی از این تحول هستند. این عناصر که در قرن‌های ۱۸ و ۱۹ کشف شدند و از دهه ۱۹۶۰ با کاربرد در تلویزیون‌های رنگی وارد عرصه صنعتی گردیدند، امروزه به "ویتامین‌های اقتصاد معاصر" که تعبیری از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده بدل شده‌اند. REE‌ها علی‌رغم فراوانی نسبی در پوسته زمین حدود یک هفتم عناصر موجود و از طرفی به دلیل پراکندگی جغرافیایی، دشواری استخراج و هزینه‌های بالای فرآوری، به منابعی استراتژیک و کمیاب تبدیل شده‌اند. تاریخ استخراج آن‌ها سه دوره اصلی را پشت سر گذاشته: دوره اول (۱۹۰۰-۱۹۴۰) توسط هند و برزیل؛ دوره دوم (۱۹۶۰-۱۹۹۰) با سلطه ایالات متحده (مانند معدن Mountain Pass در کالیفرنیا که به دلیل آلودگی‌های زیست‌محیطی تعطیل شد)؛ و دوره سوم (از ۱۹۹۰ تاکنون) در انحصار چین است. کربناتیت‌ها و کانسارهای فسفاتی به عنوان میزبان اصلی ذخایر، استخراج را عمدتاً در چین، ایالات متحده و استرالیا متمرکز کرده است.

عناصر نادر خاکی، با کاربردهای گسترده در فناوری‌های کلیدی، به ابزاری قدرتمند در معادلات ژئواکونومی تبدیل شده‌اند. این عناصر در باتری‌های خودروهای الکتریکی، توربین‌های بادی، پنل‌های خورشیدی، تلفن‌های هوشمند، تجهیزات پزشکی (مانند MRI و جراحی لیزر)، صنایع دفاعی (موشک‌های هدایت‌شونده مانند تاماهاک و هواپیماهای F۳۵) و کاتالیزورهای پالایش نفت (با مصرف ۲۰ تا ۳۰ درصدی برخی عناصر مانند لانتانیم و سریم) نقش حیاتی ایفا می‌کنند. بدون REE، عملکرد بسیاری از سیستم‌های پیشرفته غیرممکن یا ناکارآمد می‌شود. چالش‌های استخراج، از جمله تولید فاضلاب اسیدی، زباله‌های رادیواکتیو و گازهای سمی که در مغولستان داخلی چین مشهود است، فرآوری را متمرکز نگه داشته و رقابت را تشدید کرده است. جایگزینی این عناصر دشوار است، زیرا ساختار شیمیایی‌شان با الکترون اضافی در لایه داخلی REE‌ها را منحصربه‌فرد کرده است.

چین با کنترل حدود ۴۸ درصد ذخایر شناخته‌شده ۴۴ میلیون تن و بیش از ۹۰ درصد بازار فرآوری، سلطه‌ای بی‌رقیب برقرار کرده و معدن بایان‌اویو را به عنوان قلب این انحصار حفظ نموده است. اظهارات دنگ شیائوپینگ در ۱۹۹۲ که معتقد بود همان‌طور خاورمیانه نفت دارد چین دارای عناصر نادر خاکی است، که نشان‌دهنده ارزش استراتژیک آن‌هاست. بحران سال ۲۰۱۰ کاهش صادرات به ژاپن در پی دستگیری یک ماهیگیر چینی، قیمت‌ها را تا ۵۰۰ درصد افزایش داد و REE را به اهرمی در روابط بین‌الملل تبدیل کرد. این انحصار، نگرانی‌های امنیتی در ایالات متحده ایجاد کرد که شورای ملی تحقیقات ایالات متحده وضعیت را بحرانی اعلام کرد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تقاضای جهانی تا ۲۰۴۰ سه تا هفت برابر افزایش یابد، که این رشد رقابت ژئوپلیتیکی را میان چین (پیشرو) و قدرت‌های غربی شدت می‌بخشد و REE را به نمادی از تعامل پیچیده میان نگرانی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و سیاسی تبدیل می‌کند.

ایران، پتانسیل بالایی در ذخایر REE دارد که عمدتاً همراه با کانسارهای آهن-آپاتیت، فسفات و شن‌های سنگین مونازیت در استان‌های یزد (معدن سپهر ۱ و ۲ در مروست با ذخیره ۱۲۵ میلیون تن)، کرمان، خراسان جنوبی، سمنان، بافق و سیرجان پراکنده است. با وجود این ظرفیت، ایران فاقد تولید صنعتی گسترده و فناوری پیشرفته فرآوری است و نیاز به ارزیابی سیستماتیک کانسارها دارد. شرکت‌های

خصوصی مانند آرسس و نهادهای تحقیقاتی گام‌های اولیه‌ای برداشته‌اند. بهره‌برداری از REE می‌تواند سیاست‌های توسعه درون‌سرزمینی را تقویت کند: کاهش وابستگی به نفت، تقویت صنایع دانش‌بنیان، ایجاد فرصت‌های صادراتی، جذب سرمایه‌گذاری خارجی و فعال‌سازی بخش خصوصی است.

این پژوهش برای نخستین بار عناصر نادر خاکی را از منظر ژئواکونومی بررسی می‌کند؛ نه صرفاً جنبه‌های فنی یا معدنی، بلکه با تمرکز بر توزیع جهانی، ارزیابی ذخایر ایران، شناسایی فرصت‌ها و تهدیدها است. این رویکرد راهنمایی عملی برای بخش خصوصی، سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران ارائه می‌دهد تا ایران در زنجیره ارزش جهانی REE جایگاه مناسبی کسب کند و از این فرصت تاریخی برای توسعه پایدار، امنیت ملی و تقویت دیپلماسی اقتصادی بهره‌مند شود.

ژئواکونومی

مفهوم ژئواکونومی، که از ابزارهای اقتصادی برای پیشبرد اهداف سیاست خارجی استفاده می‌کند و در دهه‌های اخیر به یکی از مفاهیم کلیدی در تحلیل روابط بین‌الملل تبدیل شده است (Blackwill and Harris, 2016). این حوزه مطالعاتی که در تقاطع جغرافیا، اقتصاد و علوم سیاسی قرار دارد، به بررسی نحوه استفاده دولت‌ها از قدرت اقتصادی برای تأثیرگذاری بر سایر کشورها و دستیابی به اهداف استراتژیک خود می‌پردازد. اصطلاح ژئواکونومی برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط ادوارد لوتواک معرفی شد. لوتواک استدلال کرد که با پایان جنگ سرد، منطق درگیری بین دولت‌ها از حوزه نظامی به حوزه اقتصادی منتقل می‌شود و به طور فزاینده‌ای از ابزارهای اقتصادی به جای قدرت نظامی برای رقابت می‌توان استفاده کرد (Vihma, 2018). در این دیدگاه، ژئواکونومی به عنوان جایگزینی برای ژئوپلیتیک تلقی می‌شد که در آن منطق جنگ در دستور زبان تجارت به کار گرفته می‌شود (Luttwak, 1990). با گذشت زمان، درک از ژئواکونومی گسترش یافت و از یک مفهوم جایگزین برای ژئوپلیتیک به ابزاری در کنار آن تبدیل شد (Lipkan et al, 2023). رابرت بلک‌ویل و جنیفر هریس تعریف جامع‌تری از ژئواکونومی ارائه می‌کنند که شامل استفاده از ابزارهای اقتصادی برای مراقبت و حفاظت از اهداف ملی و دستیابی به نتایج ژئوپلیتیکی مثبت است. ژاکونومی به عنوان یک حوزه میان‌رشته‌های شناخته می‌شود که به مطالعه موضوعات بین انسان و فضا با مسائل اقتصادی جهانی می‌پردازد (Veshapidze

این مفهوم دیگر صرفاً به رقابت بین دولت‌ها محدود نمی‌شود و بازیگران غیر دولتی مانند شرکت‌ها نیز به عنوان بازیگران ژئواکونومیک در نظر می‌گیرند (Lim, ۲۰۲۵). در تعریف مدرن، ژئواکونومی شامل ابزارهای گسترده‌ای از عبارات سیاست‌های تجاری، سرمایه‌گذاری، تحریم‌های اقتصادی و مالی، کاربردی سایبری، کمک‌های توسعه، سیاست‌های پولی و مالی، و سیاست‌های مرتبط با انرژی و کالاها می‌شود (Veshapidze et al, ۲۰۲۱) در قرن بیست و یکم، عناصر خاکی کمیاب به عنوان منابع استراتژیک و حیاتی، نقش فزاینده‌ای در پویایی‌های ژئواکونومیک و ژئوپلیتیک معاصر ایفا می‌کنند. چین با اختیار داشتن بیش از ۷۰ درصد از ظرفیت فرآوری جهانی، این مواد را به ابزارهایی برای اعمال نفوذ ژئوپلیتیک، به ویژه در زمینه رقابت فناورانه با ایالات متحده، تبدیل کرده است. کشورهای عضو اتحادیه اروپا به دنبال تصمیم‌گیری برای کاهش وابستگی و افزایش استقلال استراتژیک هستند. عناصر خاکی کمیاب به مؤلفه‌های کلیدی قدرت، امنیت و استقلال استراتژیک در اقتصاد جهانی بیست و یکم تبدیل شده و یکی از جنبه‌های مهم رقابت‌های ژئواکونومیک بین قدرت‌های جهانی شده است.

منابع طبیعی

اهمیت استراتژیک یک منبع طبیعی ذاتی نیست، بلکه با تعامل نوآوری‌های تکنولوژیکی، تقاضای اقتصادی و جاه‌طلبی ژئوپلیتیکی تعریف می‌شود. در طول تاریخ، کنترل بر مواد خاص، پویایی قدرت جهانی را شکل داده است و ارزش آنها در پاسخ به فناوری‌های جدید و نیازهای نظامی تغییر کرده است (Hajarath, ۲۰۲۵ & Musso ۲۰۱۷). پیش از عصر صنعتی، منابعی مانند آب و فلزات قابل دفاع بسیار حیاتی بودند و کنترل بر آنها، ظهور و سقوط مراکز منطقه‌ای را تعیین می‌کرد (Wenbo, ۲۰۲۵). انقلاب صنعتی یک تغییر عمده را رقم زد و زغال سنگ را از یک کالای ساده به سوخت ضروری برای رشد اقتصادی و قدرت امپراتوری ارتقا داد (Steckel, ۲۰۱۵). تاریخچه زغال سنگ برای توضیح ظهور اروپا اهمیت اساسی دارد، همانطور که تغییر بعدی به نفت کلید درک افول نسبی آن است (Toprani, ۲۰۱۹). گذار به نفت در اوایل قرن بیستم توسط محرک‌های نظامی و فناوری تسریع شد. رویدادهای کلیدی عبارتند از: ۱- نوسازی نیروی دریایی، قدرت‌های بزرگی مانند بریتانیا پیش از جنگ جهانی اول به دنبال تبدیل ناوگان دریایی خود از زغال سنگ به نفت بودند تا از این طریق برتری نظامی قاطعی در

دریا به دست آورند. ۲- پیشرفت تکنولوژیکی، توسعه موتور احتراق داخلی، نفت را به سوختی برتر برای حمل و نقل تبدیل کرد. (Ediger, ۲۰۱۸). ۳- تجدید آرایش ژئوپلیتیکی، این تغییر، مشکل مدرن امنیت عرضه نفت را ایجاد کرد و قدرت جهانی کشورهای دارای ذخایر عظیم، مانند ایالات متحده، را افزایش داد، در حالی که برای کشورهای فاقد این ذخایر، آسیب‌پذیری‌هایی ایجاد کرد (Kelanic, ۲۰۱۶). در تعریف منابع طبیعی آرتور چان معتقد است، ارزش استراتژیک یک منبع طبیعی در ذات خود آن ماده نیست، بلکه یک ساختار اجتماعی پویا است که توسط قابلیت‌های تکنولوژیکی غالب و نیازهای اجتماعی تعریف می‌شود (Chan, ۱۹۸۸). کراسمن معتقد است، ماده‌ای که برای یک نسل بی‌اثر یا بی‌فایده است، می‌تواند به سنگ بنای قدرت اقتصادی و نظامی برای نسل بعدی تبدیل شود. این ارزیابی مجدد، ناشی از تعامل بین نبوغ انسانی و اهداف اجتماعی در حال تکامل است که در کنار هم تعیین می‌کنند کدام عناصر جهان طبیعی، دارایی‌های ارزشمند محسوب می‌شوند (Kerausmann, ۲۰۰۸). از نظر لوتواک ارزش استراتژیک منابع طبیعی از طریق کشورداری ژئوآکونومیک محقق می‌شود، جایی که از ابزارهای اقتصادی مانند کنترل زنجیره تأمین و سیاست تجاری برای دستیابی به اهداف ژئوپلیتیکی استفاده می‌شود. این رویکرد نشان‌دهنده تغییر از ژئوپلیتیک سنتی متمرکز بر نظامی به دوران جدیدی است که در آن «منطق درگیری» به طور فزاینده‌ای از طریق «دستور زبان تجارت» بیان می‌شود (Luttwak, ۱۹۹۰). ژئوآکونومیک قرن بیست و یکم به طور فزاینده‌ای با رقابت بر سر عناصر خاکی کمیاب (REEs) تعریف می‌شود، که به مواد بنیادی برای بخش‌های فناوری پیشرفته و انرژی سبز تبدیل شده‌اند و منعکس‌کننده نقش استراتژیک نفت در قرن گذشته هستند (Incekara, ۲۰۲۵).

عناصر نادر خاکی

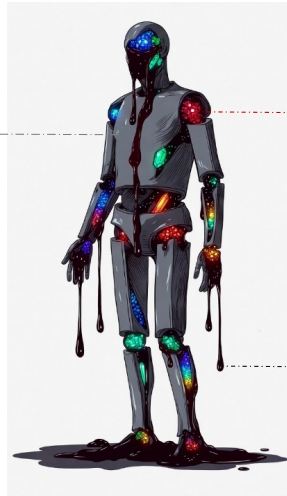
در سال ۱۷۸۸، یک معدنچی در ایتربی سوئد، سنگی سیاه‌رنگ کشف کرد. تحقیقات بعدی بر روی این سنگ در سال ۱۷۹۴ توسط یوهان گادولین انجام شد و مشخص گردید که این سنگ معدنی عمدتاً متشکل از ایتریوم است (Kelinger, ۲۰۱۵). به همین دلیل، یکی از عناصر نادر خاکی (REE) به نام او نام‌گذاری شد. نام عناصر نادر خاکی ارتباط نزدیکی با شرایط کشف و استخراج اولیه آن‌ها دارد. به غیر از ایتریوم که در سال ۱۷۹۴ کشف شد، لوتیتیوم در سال ۱۹۰۴ و پرومیتیوم در سال ۱۹۴۳



شناسایی شدند؛ اما بیشتر این عناصر در قرن نوزدهم کشف گردیدند. علت نام‌گذاری «نادر» آن بود که در ابتدا تنها یک کانسار مهم (ایتريوم) شناخته شده بود و این عناصر به صورت پراکنده یافت می‌شدند، در حالی که در پوسته زمین نسبتاً فراوان هستند (ونکن، ۱۳۹۹). دلیل دیگر این نام‌گذاری، استخراج آن‌ها از اکسیدهای نامحلول و شبیه به خاک بود. تا همین اواخر، عموم مردم جهان به جز شیمی‌دانان و زمین‌شناسان، شناخت چندانی از این عناصر نداشتند. اما امروزه، نیاز حیاتی به آن‌ها در فناوری‌های روزمره و پیشرفته احساس می‌شود. از سوی دیگر، پس از سلطه چین بر زنجیره تأمین و استفاده از این عناصر به عنوان ابزاری دیپلماتیک در برابر تعرفه‌ها و فشارهای سیاسی، توجه رسانه‌ها، سیاستمداران و افکار عمومی به آن‌ها جلب شد (USGS, ۲۰۱۴).

عناصر نادر خاکی شامل ۱۷ عنصر شیمیایی در جدول تناوبی هستند که به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE). گروه سبک شامل اسکاندیم، لانتانیم، سریم، پرازئودیمیم، نئودیمیم، پرومتیوم و ساماریوم است و گروه سنگین شامل ایتريوم، یورویوم، گادولینیوم، تربیوم، دیسپروزیوم، هولمیوم، اربیوم، تولیم، ایتربیم و لوتتیوم می‌باشد. این طبقه‌بندی بر پایه کاربردهای اقتصادی، عدد اتمی و فراوانی نسبی در طبیعت انجام می‌گیرد. عناصر نادر خاکی برای فناوری‌های پیشرفته از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر، صنایع نظامی و الکترونیک ضروری هستند. در ژاپن، برای نشان دادن اهمیت و ویژگی این عناصر، استعاره‌ای رایج است: فولاد مانند بدن انسان، نفت مانند خون و عناصر نادر خاکی مانند ویتامین‌هایی هستند بدن به شدت به آن‌ها نیاز دارد. نبود این عناصر باعث عدم عملکرد فناوری‌ها نمی‌شود، بلکه کارایی آن‌ها را به شدت کاهش می‌دهد؛ برای مثال، در گوشی‌های هوشمند، سرعت پردازش داده‌ها به طور چشمگیری افت می‌کند.

بدن انسان ساختار فیزیکی، اسکلت، عضلات و پایه‌ای برای همه فعالیت‌ها است. فولاد هم ماده اصلی ساخت‌وساز، ماشین‌آلات، خودروها، ساختمان‌ها، پل‌ها، کشتی‌ها و زیرساخت‌های صنعتی است. فولاد ساختار و استحکام فیزیکی اقتصاد صنعتی را فراهم می‌کند پایه و اساس همه چیز است.



ویتامین‌ها در بدن به مقدار کم نیاز هستند، اما بدون آن‌ها بدن نمی‌تواند درست کار کند: سیستم ایمنی ضعیف می‌شود، انرژی کم می‌شود، رشد متوقف می‌شود، و در نهایت بیماری‌های جدی ایجاد می‌کند. عناصر نادر خاکی هم دقیقاً همین‌طورند: مقدار کمی از آن‌ها (مثلاً چند گرم در یک موتور الکتریکی یا چند درصد در یک آهن‌ربای قوی) عملکرد فناوری‌های پیشرفته را ممکن یا بسیار کارآمد می‌کند. عناصر نادر خاکی «ویتامین» هستند چون مقدار کمی نیاز دارند، اما بدون آن‌ها فناوری‌های مدرن «بیمار» یا ناکارآمد می‌شوند - عملکرد کلی اقتصاد و صنعت را به شدت پایین می‌آورند، حتی اگر نفت و فولاد کافی باشد.

خون در بدن انسان جریان دارد، اکسیژن و مواد مغذی را به همه سلول‌ها می‌رساند، بدون خون بدن زنده نمی‌ماند یا فلج می‌شود. نفت هم دقیقاً همین نقش را در اقتصاد صنعتی دارد. نفت نیروی محرکه و انرژی پایه‌ای اقتصاد است مثل خون که حیات را حفظ می‌کند.

شکل ۱ (منبع نگارندگان)

پراکندگی جغرافیایی، سختی استخراج و هزینه‌های بالای فرآوری، عناصر نادر خاکی را به منابع استراتژیک و کمیاب تبدیل کرده است. سختی استخراج این عناصر دو عامل مهم دارد: نخست، پیامدهای زیست‌محیطی شدید، از جمله تولید فاضلاب اسیدی، زباله‌های رادیواکتیو، انتشار گازهای سمی و جابه‌جایی سکونتگاه‌های اطراف معادن. نمونه عینی آن، معدن Mountain Pass در کالیفرنیا است که در سال ۱۹۵۲ احداث شد، اما به دلیل آسیب‌های زیست‌محیطی و ملاحظات قانونی در سال ۲۰۰۲ تعطیل گردید (Martins, 2024). تعطیلی این معدن در آمریکا، زمینه سلطه چین را فراهم کرد؛ زیرا تمرکز استخراج در این کشور افزایش یافت و کشورهای دیگر به دلیل نبود دانش فنی کافی و سرمایه‌گذاری لازم، وارد این عرصه نشدند. چین با بهره‌گیری از نیروی کار ارزان و سهولت در قوانین زیست‌محیطی، از سایر کشورها پیشی گرفت. عناصر نادر خاکی برای تولید محصولاتی که تقاضای جهانی برای آن‌ها رو به افزایش است، حیاتی هستند (USGS, 2014). علت استراتژیک بودن این عناصر، ترکیبی از سلطه چین بر زنجیره تأمین، کاربردهای گسترده و افزایش تقاضای جهانی آن‌هاست.

عناصر نادر خاکی که تقاضای بیشتری دارند شامل، سریم، لانتانیم و نئودیمیم است. ۲ منبع اصلی حاوی عناصر نادر خاکی در جهان مونازیت‌ها و باستانیت‌ها هستند که چین و آمریکا بزرگترین منابع باستانیت را دارند. از دیگر منابع این عناصر آپاتیت، چرالیت، لاپاریت، رس‌های حاوی عناصر نادر خاکی محلول‌های اورانیوم ضعیف شده و ... است.

کاربرد عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی، به دلیل خواص منحصر به فرد مغناطیسی، شیمیایی و نوری خود، کاربردهای حیاتی در فناوری‌های مدرن دارند و در مقادیر اندک استفاده می‌شوند، اما نبودشان عملکرد بسیاری از دستگاه‌ها و سیستم‌های پیشرفته را غیرممکن یا غیرکارآمد می‌سازد. در حوزه الکترونیک و فناوری دیجیتال، این عناصر در دستگاه‌های پیشرفته مانند تلفن‌های هوشمند و دوربین‌های دیجیتال به کار می‌روند و به پردازش بهتر اطلاعات، ذخیره‌سازی داده‌های بیشتر و بهبود عملکرد کمک می‌کنند (USGS, 2025 & Gushlla, 2014). عنصر یوروپیم با خاصیت لومینسانس قرمز شدید، از اوایل دهه ۱۹۶۰ در تلویزیون‌های رنگی کاربرد داشت (کتاب) و نقطه آغاز رشد صنعتی REE بود. در انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری پاک، REE‌ها برای مقابله با تغییرات اقلیمی و استقرار سریع فناوری‌های سبز ضروری هستند. تولید این فناوری‌ها (مانند توربین‌های بادی، پنل‌های خورشیدی و خودروهای برقی) مستقیماً به در دسترس بودن و تأمین این عناصر وابسته است، زیرا آن‌ها اجزای کلیدی در موتورهای الکتریکی، باتری‌ها و سیستم‌های انرژی پاک به شمار می‌روند (Zerniz, 2024 & Borzenko at all, 2025). در صنایع دفاعی و نظامی، این عناصر کاربرد گسترده‌ای دارند و در فناوری‌های پیشرفته نظامی مانند موشک‌های هدایت‌شونده (تام‌هاک)، هواپیماهای نسل پنجم (F35) و برخی پهپادها استفاده می‌شوند (Gushlla, 2025). خواص مغناطیسی و شیمیایی REE‌ها برای سیستم‌های دقیق هدایت، لیزرها و تجهیزات الکترونیکی دفاعی حیاتی است. در فناوری‌های پزشکی، در تجهیزات پیشرفته مانند جراحی لیزر و اسکن‌های MRI نقش اساسی ایفا می‌کنند و دقت و کارایی این ابزارها را تضمین می‌نمایند. در صنعت پالایش نفت، حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد مصرف برخی عناصر نادر خاکی (مانند لانتانیم و سریم) به واحدهای کاتالیزوری اختصاص دارد؛ این عناصر قلب تپنده فرآیندهای کاتالیزوری هستند و بدون

آن‌ها، صنعت پالایش نفت نمی‌تواند با کیفیت و بازدهی فعلی کار کند. این کاربردها نشان‌دهنده اهمیت استراتژیک عناصر نادر خاکی در قرن حاضر است. تقاضای روزافزون برای این عناصر در فناوری‌های دیجیتال، انرژی‌های تجدیدپذیر، صنایع دفاعی و پزشکی، رقابت جهانی را تشدید کرده و آن‌ها را به یکی از حیاتی‌ترین مواد خام استراتژیک تبدیل نموده است. بزرگترین وارد کنندگان عناصر نادر خاکی ژاپن و آمریکا هستند که در تولید وسایل الکترونیکی و صنعت مدرن بهره می‌برند. در جدول زیر برخی از کاربردهای هریک از عناصر نادر خاکی نوشته شده است.

جدول ۱ عناصر نادر خاکی و کاربردهای آن

شماره	عناصر نادر خاکی	کاربردها
۱	اسکاندیم	تولید آلومینیوم برای صنایع خودرو و هوافضا، لامپ هالوژنی فلزی، ردیابی ایزوتوپی در تجزیه و تحلیل نفت خام، استفاده در آلیاژ آلومینیوم برای ساخت وسایل ورزشی
۲	ایتريوم	تلوزیون‌های رنگی، مانیتورها، عدسی دوربین، تجهیزات دفاعی و الکترونیک، در سیستم‌های هدف‌گیری، سلاح و دستگاه‌های ارتباطی استفاده می‌شود
۳	لانتانیم	ساخت باتریهای LaNiH، شیشه نوری، لنز دوربین، تلسکوپ، ساخت دارو و قرص، برای درمان بیماری هیپرفستایمیا، نورپردازی ویژه در صنعت سینما، استفاده در صنعت شیشه‌های ضد گلوله
۴	سیریم	کاهش آلودگی در کاتالیزورهای خودرو، صفحه نمایش LED و LCD
۵	پرازئودیمیوم	تولید فلز با استحکام بالا در صنایع خودروسازی، ساخت شیشه ضد اشعه ایکس، توربین بادی
۶	نئودیمیوم	صنایع خودروسازی، استارت موتورها، میکروفون، پیچر، دستگاه MRI، ایمپلنت، لوازم خانگی
۷	پرومتیوم	ابزارهای سنجش و اندازه‌گیری، منبع تولید اشعه ایکس، باتری‌های اتمی، تحقیقات پزشکی، منبع حرارتی برای فضاپیماها
۸	ساماریوم	تولید آهن‌ریا، کاربرد در صنایع هسته‌ای، ماده احیا کننده قوی
۹	یوروپیم	تلوزیون، صفحه نمایش تلفن همراه، امنیت ضد جعل: جوهرهای اسکناس، چک، پاسپورت، استفاده در راکتورهای هسته‌ای، استفاده در فیبر نوری



شماره	عناصر نادر خاکی	کاربردها
۱۰	گادولنیوم	محافظت از راکتورهای هسته‌ای، تصویربرداری نوترونی (راديوگرافي)، ساخت دیسک فشرده و حافظه کامپیوتر، عکس برداری پزشکی، ردیابی زباله‌های هسته‌ای
۱۱	تریوم	ساخت سوخت جامد در دماهای بالا، موتور خودروهای برقی، موشک‌ها و رادارها، استفاده در لامپ مهتابی
۱۲	دیسپرسیوم	خنک کردن راکتورهای هسته‌ای، ساخت خازن‌ها با ابعاد کوچک، منبع سازنده اشعه مادون قرمز، ساخت میله‌های کنترل هسته‌ای
۱۳	هولمیوم	لیزرهای پزشکی، تنظیم راکتورهای هسته‌ای برای تنظیم واکنش زنجیره‌ای، تلسکوپ، دوربین
۱۴	اریوم	فیلتر عکاسی، شیشه عینک، تقویت سیگنال فیبر نوری، تولید میله‌های سوخت هسته‌ای، ساخت جواهرات، کاربرد در فیبر نوری
۱۵	تولیوم	لامپ‌های متال هالید، سنسورها و فناوری‌های کوانتومی، لیزر پمپ
۱۶	ایتربیوم	مقاوم کردن فولاد، کاتالیزورهای صنعتی، تبدیل انرژی‌های تابشی به الکترونیکی، استفاده در رادیوگرافی
۱۷	لوتسیوم	کاربرد در صنعت پالایش نفت، ساخت حافظه‌های جامد، اسکرین‌های PET، ساخت رادیو دارو برای مبارزه با سرطان استخوان

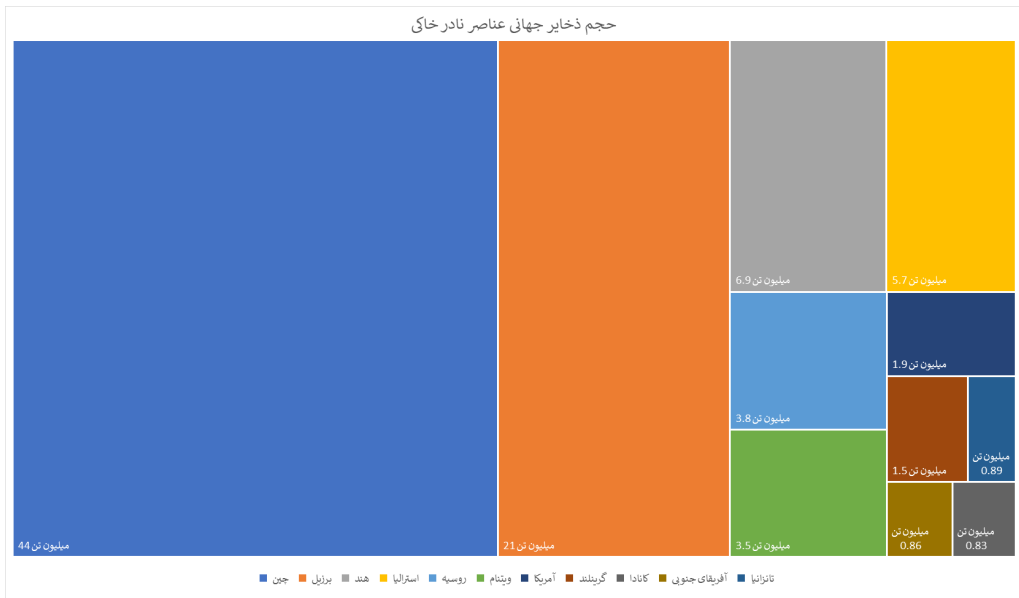
منبع (وکن، ۱۳۹۹ & ۲۰۱۵، Wedeen)

توزیع و ذخایر جهانی عناصر نادر خاکی

با تعطیلی معدن مانتین پس در کالیفرنیا به دلایل آلودگی‌های زیست‌محیطی، استخراج عناصر نادر خاکی از سال ۱۹۸۴ به بعد به‌طور کامل تحت سلطه چین قرار گرفت. تا پیش از آن، ایالات متحده از طریق این معدن ۱۰۰ درصد نیاز داخلی خود و ۳۳ درصد نیاز جهانی را تأمین می‌کرد (EPA, ۲۰۱۲). چین در حال حاضر بزرگ‌ترین تولیدکننده عناصر نادر خاکی در جهان است و همچنین بزرگ‌ترین ذخایر این عناصر را در اختیار دارد. مهم‌ترین معدن عناصر نادر خاکی، معدن بایان او بو در منطقه مغولستان داخلی چین است که ۳۳ درصد از کل ذخایر جهانی را تشکیل می‌دهد. معدن لوزرسکی در

روسیه ۴/۲ درصد، مونت ولد در استرالیا ۱ درصد و مانتین پس در آمریکا ۴/۱ درصد از ذخایر جهانی را شامل می‌شوند. در مجموع، ۴۵ درصد از کل منابع عناصر نادر خاکی در آسیا قرار دارد (Liu et al., ۲۰۲۳).

نمودار ۱ حجم ذخایر عناصر نادر خاکی (منبع نگارندگان)



نمودار شماره ۱ نشان‌دهنده تمرکز شدید ذخایر RRE در چند کشور محدود است، که می‌تواند پیامدهای ژئوپلیتیکی و اقتصادی مانند وابستگی صنایع فناوری به چین داشته باشد. چین با ۴۸.۴۲٪ نشان‌دهنده سلطه مطلق این کشور است. این سهم بیش از مجموع سهم چهار کشور بعدی (برزیل، هند، استرالیا و روسیه) است. برزیل با ۲۳.۱۱٪ بخش بزرگی را می‌گیرد، اما همچنان کمتر از نیمی از سهم چین است. کشورهای بعدی مانند

هند (۷.۵۹٪)، استرالیا (۶.۲۷٪) و روسیه (۴.۱۸٪) بخش‌های کوچک‌تری دارند، و بقیه کشورها (کمتر از ۴٪) به عنوان بخش‌های بسیار کوچک ظاهر می‌شوند، این توزیع نامتوازن ریسک‌های زنجیره تأمین جهانی را برجسته می‌کند، زیرا اختلال در تولید چین می‌تواند تأثیر زیادی بر بازار داشته باشد.

داده‌های این نمودار تهیه شده از آخرین اطلاعات سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۲۴ است.

بسیاری از ذخایر شناخته‌شده عناصر نادر خاکی در جهان هنوز به مرحله استخراج تجاری، فرآوری یا تولید صنعتی نرسیده‌اند؛ این وضعیت به‌ویژه در قاره آفریقا (مانند تانزانیا، ماداگاسکار و جنوب آفریقا) برجسته است و علاوه بر آن، بخش قابل توجهی از ذخایر جهانی همچنان شناسایی نشده باقی مانده است. تولید عناصر نادر خاکی به مکان‌های جغرافیایی خاصی محدود نمی‌شود، بلکه به موقعیت معادن، کارخانه‌های جداسازی، قیمت‌های بازار، سیاست‌های دولتی و اقدامات تولیدکنندگان بستگی دارد. اگرچه اولین عنصر نادر خاکی در سال ۱۷۸۷-۱۷۸۸ کشف شد، اما بیش از ۱۰۰ سال طول کشید تا اولین محصول صنعتی قابل توجه از REEها تولید شود.

تولید عناصر نادر خاکی شامل سه دوره زمانی می‌شود:

۱- سلطه اروپا: عناصر نادر خاکی ابتدا توسط شرکت اتریشی ولزباخ از منابع اسکاندیناوی استخراج می‌شدند، اما به دلیل محدودیت این منابع، اروپایی‌ها به ویژه شرکت‌های وابسته به ولزباخ به سرزمین‌های استعماری یا تحت نفوذ مانند هند، برزیل و آمریکا شمالی روی آوردند و ذخایر عناصر نادر خاکی را از ماسه‌های ساحلی این سه کشور استخراج می‌کردند. دهه ۱۸۹۰، کارل آثور فون ولزباخ با استفاده از مخلوطی از توریم و سریم (عناصر نادر خاکی)، پوشش‌های گازی برای چراغ‌های خیابانی گازی را توسعه داد که نور بسیار روشن‌تری تولید می‌کردند. این پوشش‌ها تا دهه ۱۹۳۰ به مقدار میلیاردها عدد در جهان فروخته شدند و اولین کاربرد صنعتی گسترده REEها بودند. پس از آن، ولزباخ آلیاژی به نام فروسریم یا میش‌متال ایجاد کرد که ترکیبی از آهن با عناصر نادر خاکی بود. این آلیاژ هنگام ضربه جرقه تولید می‌کرد و برای فندک‌های جیبی و سوئیچ‌های احتراق خودروها به کار برده شد. در طول جنگ جهانی اول، از عناصر نادر خاکی (به ویژه توریم و سریم) در مشعل‌ها، برخی آلیاژها و مواد صنعتی استفاده می‌شد. در دوره بین دو جنگ جهانی، برزیل، هند و کارولینای شمالی بازار اروپا را تأمین می‌کردند (Klinger, 2015 & Science History Institute).

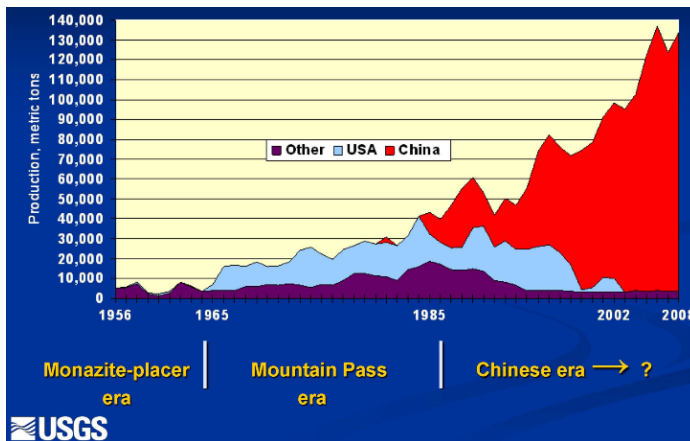
۲- سلطه آمریکا: مسابقه تسلیحاتی هسته‌ای در دوره جنگ سرد، سیاست‌های بین‌المللی نسبت

به عناصر نادر خاکی را دوباره تغییر داد، زیرا برخی از این عناصر (مانند توریم) کاربردهای هسته‌ای دارند و هم در ورودی (سوخت) و هم خروجی (پسماند) تلاش‌های هسته‌ای نقش ایفا می‌کنند. اهمیت عناصر نادر خاکی به حدی بود که در دهه ۱۹۵۰، آمریکا در ازای کمک‌های غذایی و وام به هند که با قحطی مواجه بود، به دنبال دسترسی به ذخایر مونازیت/توریم هند برای برنامه هسته‌ای خود بود، اما هند این پیشنهادها را عمدتاً محدود یا رد کرد تا استقلال خود را حفظ کند. در سال ۱۹۴۹، گروهی در آمریکا معدن مانتین پس در کالیفرنیا را کشف کردند. تولید صنعتی از ۱۹۵۲ آغاز شد و در سال ۱۹۶۰، با استفاده گسترده از یورویوم در فسفرهای قرمز تلویزیون‌های رنگی، گسترش عناصر نادر خاکی به زندگی خانگی و مصرف‌کننده آغاز گردید با افتتاح معدن مانتین پس (در صحرای موهاوی کالیفرنیا ۱۹۵۳، دوران جدیدی در تولید REE آغاز شد. این معدن و شرکت مولی‌کورپ از حدود سال ۱۹۶۰ تا اوایل دهه ۱۹۹۰ بر تولید و صادرات جهانی REEها تسلط داشتند و بخش عمده‌ای از نیاز جهان تا حدود ۷۰ درصد در برخی دوره‌ها را تأمین می‌کردند. (Klinger, 2015 & Science History Institute)

۳- سلطه چین: در سال ۱۹۲۷، منابع آهن بایان اوبو کشف شد و عناصر نادر خاکی آن در حدود ۱۹۳۵-۱۹۳۶ شناسایی گردید؛ این معدن بعدها برای تأمین صنایع آلمان و شوروی اهمیت یافت. چین با بهره‌گیری از قوانین زیست‌محیطی نسبتاً انعطاف‌پذیرتر در مقایسه با استانداردهای غربی در دهه‌های گذشته، نیروی کار ارزان، سرمایه‌گذاری‌های گسترده دولتی، برنامه‌ریزی بلندمدت و سیاست‌های کنترل صادرات و سهمیه‌بندی، به سلطه بر بازار جهانی این عناصر دست یافت. پس از تعطیلی معدن مانتین پس در ایالات متحده در سال ۲۰۰۲ به دلیل مسائل زیست‌محیطی و ورشکستگی، چین به‌طور کامل بر زنجیره تأمین جهانی REE مسلط شد. معدن مانتین پس از سال ۲۰۱۷-۲۰۱۸ توسط شرکت MP Materials بازگشایی شد و اکنون دومین معدن بزرگ جهان است، اما همچنان بخش قابل‌توجهی از فرآوری جهانی خارج از چین، محدود است. شرکت‌های خارجی برای استخراج و بهره‌برداری اغلب ناچار به سرمایه‌گذاری مشترک با شرکت‌های چینی هستند یا کنسانتره را به چین ارسال می‌کنند. دلیل اصلی کمبود کارخانه‌های جداسازی و پالایش خارج از چین، هزینه‌های بسیار بالای این مراحل است؛ فرآوری و جداسازی عناصر نادر خاکی بخش عمده هزینه‌های زنجیره تأمین را به خود اختصاص

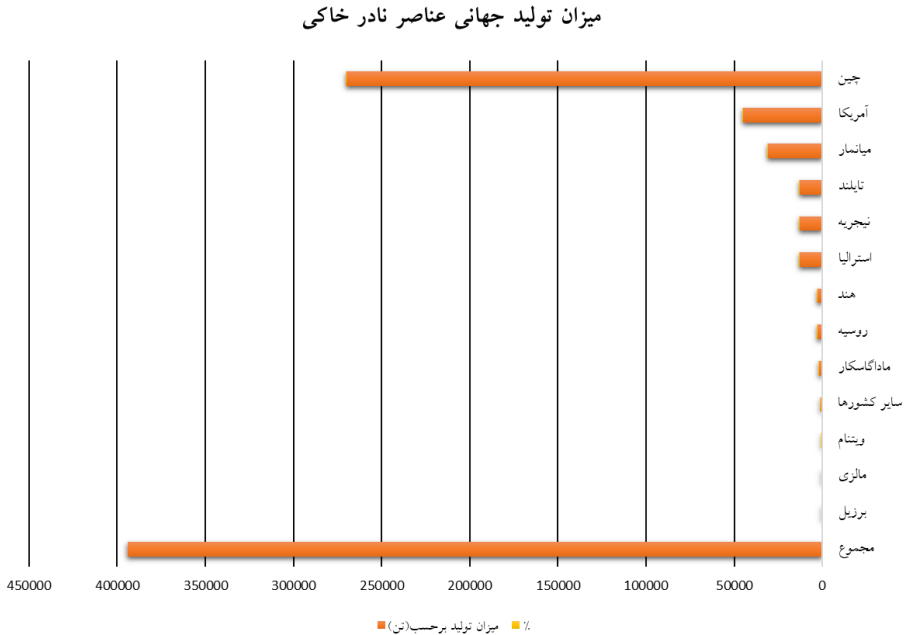
می‌دهد (Andrews and Hove, ۲۰۲۳). چین علاوه بر تولید داخلی بالای خود پحدود ۶۰-۷۰ درصد تولید معدنی جهانی REE در سال‌های اخیر، به‌طور فعال به دنبال سرمایه‌گذاری در خارج از مرزهای خود است. این سرمایه‌گذاری‌ها عمدتاً در مناطق آسیای مرکزی، آفریقا و آمریکای لاتین متمرکز شده‌اند، جایی که بسیاری از کشورها در کریدور ابتکار کمربند و جاده (BRI) قرار دارند. این استراتژی چین نه تنها دسترسی به منابع خام را تضمین می‌کند، بلکه زنجیره تأمین یکپارچه ایجاد کرده و وابستگی جهانی به فرآوری چینی را افزایش می‌دهد (Hart, ۲۰۲۵).

نمودار ۲ تولید جهانی عناصر نادر از سال ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۸ منبع (USGS ۲۰۱۲)



نمودار شماره ۳ نشان از پیشتازی بی‌چون و چرای چین در تولید این عناصر است. چین با تولید ۲۷۰,۰۰۰ تن، به تنهایی ۶۸.۵ درصد از کل تولید جهانی را در اختیار دارد این موضوع نشان‌دهنده وابستگی شدید بازار جهانی به تولیدات این کشور است. پس از چین، کشورهای ایالات متحده آمریکا، با تولید ۴۵,۰۰۰ تن (۱۱.۴ درصد)، در رتبه دوم قرار دارد، میانمار با ۳۱,۰۰۰ تن (۷.۸ درصد)، رتبه سوم را به خود اختصاص داده است، هند، روسیه و ماداگاسکار این سه کشور به ترتیب با سهم‌های ۷.۳ درصد، ۶.۳ درصد و ۵ درصد در رتبه‌های بعدی هستند که جزو بازیگران کلیدی در تولید این عناصر هستند. سایر کشورها سهم بسیار کمتری دارند، که نشان‌دهنده تمرکز بالای بازار در چند کشور محدود است. این اطلاعات تهیه شده از USGS در سال ۲۰۲۴ است.

نمودار ۳ میزان تولید جهانی عناصر نادر خاکی (منبع نگارندگان)

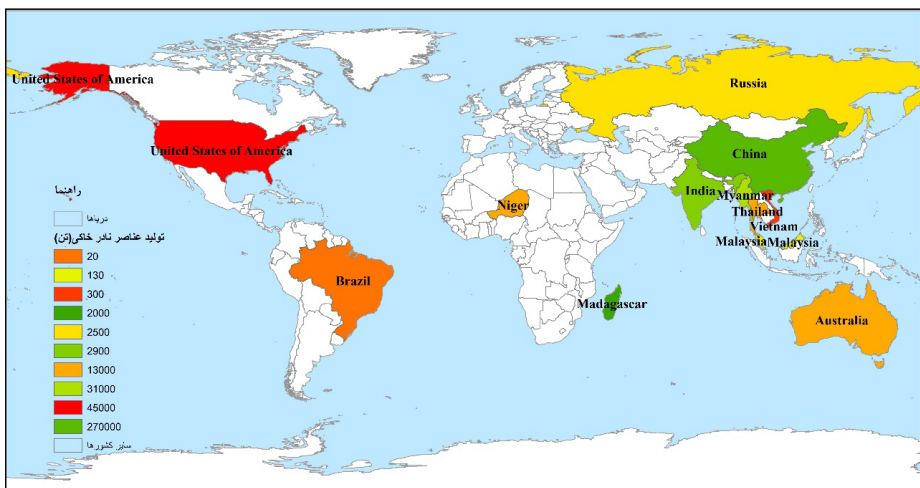
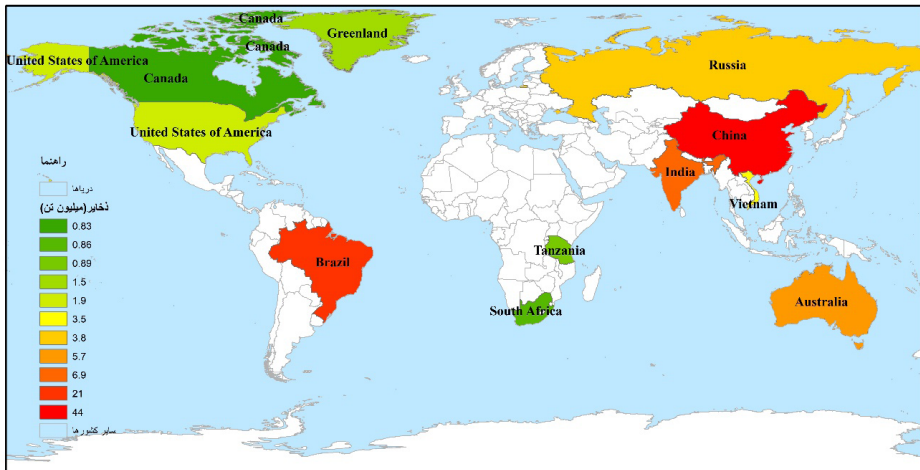


در تحلیل پراکندگی نقشه شماره ۱، الگوی بسیار نابرابری نشان می‌دهند که هم در ذخایر شناسایی شده و هم در تولید واقعی سالانه دیده می‌شود. ذخایر جهانی REE حدود ۹۰ تا ۱۳۰ میلیون تن تخمین زده می‌شود و بیشترین تمرکز آن در آسیا است. اگر قاره‌ها را به عنوان بازیگران این صحنه در نظر بگیریم، شاهد یک توزیع کاملاً نامتقارن هستیم که قاره آسیا به وضوح به عنوان قطب بی‌رقیب این صنعت خودنمایی می‌کند؛ به طوری که تمرکز ذخایر عظیمی در شرق و جنوب شرق آن با محوریت چین و ویتنام عملاً ثقل انرژی‌های نوظهور را به این منطقه منتقل کرده است. در مقابل، قاره آمریکای جنوبی با تمرکز تک‌نقطه‌ای اما قدرتمند در برزیل (۲۱ میلیون تن ذخیره)، پتانسیل بالایی دارد که البته در نقشه تولید، این پتانسیل هنوز به شکوفایی کامل نرسیده است. وقتی به تولید واقعی نگاه می‌کنیم، نابرابری بسیار شدیدتر می‌شود و تقریباً همه چیز به آسیا متمرکز است. تولید جهانی در سال‌های اخیر حدود ۳۹۰ هزار تن بوده که چین به تنهایی حدود ۲۷۰ هزار تن (حدود ۷۰٪) را تأمین می‌کند. این

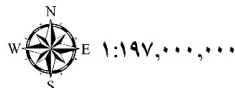
سلطه نه تنها در استخراج خام، بلکه در پردازش و جداسازی هم ادامه دارد. دلیل اصلی این تمرکز شدید تولید در آسیا به ویژه چین، ترکیبی از عوامل شامل: ذخایر آسان‌الاستخراج مثل رس‌های یونی در جنوب چین، هزینه پایین، یارانه دولتی، زنجیره کامل ارزش از معدن تا محصول نهایی، تسلط بر فرآیندهای پیچیده جداسازی که آلوده‌کننده و گران هستند و سیاست‌های استراتژیک چین از دهه ۱۹۹۰ برای کنترل زنجیره تأمین جهانی است. این نقشه نشان‌دهنده یک عدم توازن قاره‌ای هست که در آن آفریقا با نقاط پراکنده‌ای مثل تانزانیا و ماداگاسکار و اروپا که در نقشه تقریباً سفید و خالی از ذخایر عمده نمایش داده شده، در حاشیه این بازی قدرت قرار دارند و وابستگی شدیدی به محور آسیایی-آمریکایی دارند. جهان با ریسک بالای وابستگی به یک قاره و یک کشور روبرو است، در حالی که قاره‌هایی مثل آمریکای جنوبی و آفریقا پتانسیل بالایی برای تنوع‌بخشی دارند اما به دلیل چالش‌های زیست‌محیطی، سرمایه‌گذاری و زیرساخت‌ها، کمتر توسعه یافته‌اند. این الگو نشان‌دهنده این است که منابع طبیعی به تنهایی تعیین‌کننده نیستند؛ کنترل زنجیره ارزش و سیاست‌های بلندمدت قاره‌ها و کشورها را در موقعیت‌های کاملاً متفاوت قرار می‌دهد. پارادوکس ذخیره و تولید، فاصله میان برزیل و ویتنام با چین است. برزیل و ویتنام روی هم ۴۲ میلیون تن ذخیره دارند، تقریباً معادل چین، اما تولید آن‌ها در برابر چین صفر است. این نشان می‌دهد که داشتن عناصر نادر خاکی کافی نیست؛ آنچه قدرت می‌آفریند، تکنولوژی جداسازی و زیرساخت‌های صنعتی است که فعلاً در انحصار چین مانده است. استیصال ژئوپلیتیک غرب، نشان می‌دهد که ایالات متحده با وجود ذخایر بسیار کمتر نسبت به برزیل یا هند خود را به آب و آتش می‌زند تا تولید را بالا ببرد. این نشان‌دهنده یک هراس استراتژیک است؛ چرا که بدون این عناصر، صنایع‌های تک، پهپادها و خودروهای برقی از کار می‌افتند. در این نقشه، چین تنها یک تولیدکننده نیست، بلکه گلوگاه انرژی‌های نو در جهان است.



نقشه ۱ پراکندگی تولید و ذخایر عناصر نادر خاکی در جهان (منبع نگارندگان)



پراکندگی تولید و ذخایر عناصر نادر خاکی در جهان



ژئواکونومی عناصر نادر خاکی

در دوران معاصر، عناصر نادر خاکی به عنوان منابع حیاتی، در مرکز رقابت‌های ژئواکونومیک و ژئوپلیتیک جهانی قرار گرفته‌اند. این ۱۷ عنصر فلزی برای صنایع پیشرفته، فناوری‌های دفاعی و تبدیل به انرژی‌های پاک هستند (Incekara, 2025). به همین دلیل کنترل بر آن‌ها به یکی از مؤلفه‌های کلیدی قدرت، امنیت و استقلال استراتژیک در قرن بیست و یکم تبدیل شده است (Kumar And Vishwanathan, 2025). درگیری ژئواکونومیک بر سر عناصر نادر خاکی به سال‌ها پیش و دوره جنگ سرد و رقابت تسلیحاتی بازمی‌گردد؛ جایی که روسیه (اتحاد جماهیر شوروی) با اعزام محققان خود به معدن بایان اوبو، به دنبال دسترسی به این عناصر با کاربردهای استراتژیک و نظامی بود. همزمان، آمریکا با توجه به وجود این عناصر در هند، که پس از استقلال با مشکل غلات مواجه بود، از طریق قراردادی به دنبال تأمین عناصر نادر خاکی در ازای اعطای وام سنگین به هند برای تأمین غلات بود. با این حال، در بسیاری از مقالات علمی پژوهشی و منابع رسمی، آغاز این درگیری‌های ژئواکونومیک برجسته‌تر به اختلافات دریایی میان چین و ژاپن در سال ۲۰۱۰ نسبت داده می‌شود. سال ۲۰۱۰ نقطه عطفی است که اهمیت استراتژیک عناصر نادر خاکی را برای جهان آشکار کرد (Ting and Seaman, 2013). در این تاریخ، یک کشتی ماهیگیری چینی با دو کشتی گارد ساحلی ژاپن در نزدیکی جزایر مورد مناقشه سنکاکو برخورد می‌کند که در پی این حادثه، مقامات ژاپنی کاپیتان کشتی چینی را دستگیر کردند (Hornung, 2015). واکنش پکن به این اقدام سریع و قاطع بود. چین در اقدامی تلافی‌جویانه، صادرات عناصر نادر خاکی به ژاپن را به طور غیررسمی متوقف کرد (Vekasi, 2019). این اقدام یک شوک بزرگ برای ژاپن و کل جهان بود، زیرا در آن زمان چین بیش از ۹۰ درصد از عرضه جهانی این عناصر را در اختیار داشت و ژاپن بزرگترین واردکننده آن بود (Dadwal, 2011). این رویداد یک زنگ بیدارباش برای جامعه جهانی بود و باعث شد کشورها، به ویژه ژاپن، به سرعت برای کاهش وابستگی خود به چین و تنوع‌بخشی به منابع تأمین این مواد حیاتی اقدام کنند (Yang, 2025). چندین سال بعد، با آغاز جنگ تجاری میان ایالات متحده و چین در دوران ریاست جمهوری دونالد ترامپ، عناصر نادر خاکی بار دیگر به کانون توجهات بازگشتند. دولت ترامپ تعرفه‌های سنگینی بر طیف وسیعی از

کالاهاى وارداتى از چین وضع کرد. در پاسخ به این فشارها، چین به طور فزاینده‌ای به کارت عناصر نادر خاکی خود به عنوان یک سلاح بالقوه در این جنگ تجارى اشاره کرد. رسانه‌هاى دولتى چین و مقامات این کشور به صراحت این موضوع را مطرح کردند که مى‌توانند از کنترل خود بر صادرات این مواد به عنوان یک اقدام تلافى‌جویانه علیه ایالات متحده استفاده کنند (Yang, 2025). در مجموع، این دو رویداد تاریخی، تحریم ژاپن در سال ۲۰۱۰ و تهدیدات چین در طول جنگ تجارى با آمریکا به طور کامل ماهیت عناصر نادر خاکی را از صرفاً یک کالای صنعتی به یک ابزار قدرتمند در رقابت‌هاى ژئواکونومیک تغییر دادند.

رقابت فزاینده بر سر این مواد معدنى، که از آن به عنوان جنگ مواد معدنى یاد مى‌شود، بخش بزرگی از نظم نوین اقتصادى و سیاسى جهان را به شکل مى‌دهد (Zerniz, 2024). یکی از برجسته‌ترین ویژگی‌هاى بازار جهانی عناصر نادر خاکی، سلطه تقریباً کامل چین بر زنجیره تأمین آن است (Kumar And Vishwanathan, 2025). چین به عنوان بزرگ‌ترین کشور داراى ذخایر، تولیدکننده و تأمین‌کننده این عناصر در جهان شناخته مى‌شود (Pan, 2025). این کشور بیش از ۹۰ درصد از ظرفیت فرآورى و تولید عناصر نادر خاکی در جهان را در اختیار دارد (Dave, 2025). این تسلط به چین اهرم فشار ژئوپلیتیک قابل توجهی بخشیده است که چین توانسته است با استفاده از این موقعیت، در رقابت‌هاى ژئواکونومیک، به ویژه در برابر ایالات متحده، از این عناصر به عنوان یک ابزار استراتژیک استفاده کند (Incekara, 2025). در حالى که چین در رقابت بر سر مواد خام اولیه پیشتاز است، کشورهاى مانند ایالات متحده، ژاپن و آلمان در رقابت بر سر محصولات میانى و نهایی کالاهاى تولید شده جایگاه محوری دارند (Ye et al, 2025). وابستگی شدید کشورهاى غربى به واردات عناصر نادر خاکی از چین، یک آسیب‌پذیری استراتژیک بزرگ برای آنها ایجاد کرده است (Dave, 2025). ایالات متحده و ژاپن به شدت به واردات محصولات بالادستى مواد خام و فرآورى اولیه از چین وابسته هستند این تمرکز عرضه، ریسک‌هاى قابل توجهی برای امنیت صنعتى و استقلال استراتژیک این کشورها به همراه دارد (Guo, 2024). ر واکنش به این وابستگی، اقتصادهاى غربى و متحدانشان مجموعه‌اى از راهبردهاى متقابل را برای کاهش سلطه چین و تضمین امنیت زنجیره تأمین خود در پیش گرفته‌اند که شامل:

۱- تنوع بخشی به منابع تأمین: کشورهای غربی به دنبال یافتن و توسعه منابع جایگزین برای کاهش وابستگی به یک تأمین کننده واحد هستند. این تلاش‌ها شامل سرمایه‌گذاری در کشورهایی مانند هند، استرالیا و برخی کشورهای آفریقایی می‌شود. همچنین، قطب شمال به عنوان یک جبهه استراتژیک جدید برای استخراج این مواد مورد توجه قرار گرفته است، عقب‌نشینی یخ‌ها دسترسی به ذخایر معدنی را آسان‌تر می‌کند (Middleton, ۲۰۲۶).

۲- ایجاد اتحادهای استراتژیک: شکل‌دهی به اتحادهای جدید و زنجیره‌های تأمین مبتنی بر دوست‌سپاری یکی دیگر از راهبردهای کلیدی است. این رویکرد به دنبال ایجاد زنجیره‌های تأمین امن در میان کشورهای متحد و همفکر است (Borzenko et al, ۲۰۲۵). این استراتژی‌ها شامل عوامل دیگری مانند توسعه ظرفیت‌های داخلی و اقتصاد چرخشی و بازیافت هم می‌شود. انتظار می‌رود که رقابت ژئواکونومیک بر سر عناصر نادر خاکی در آینده نیز ادامه یابد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که مصرف این عناصر در چین همچنان روند صعودی خواهد داشت، در حالی که مصرف در ایالات متحده و ژاپن ممکن است کاهش یابد. با این حال، این سه کشور همچنان به عنوان مصرف‌کنندگان اصلی باقی خواهند ماند (Guo, ۲۰۲۴).

سیر تاریخی و کشف عناصر نادر خاکی در ایران

ایران از نظر زمین‌شناسی در زمره کشورهای قرار می‌گیرد که با وجود برخورداری از تنوع ساختاری و زمین‌ساختی قابل توجه، بخش قابل ملاحظه‌ای از پتانسیل معدنی آن هنوز به طور کامل شناسایی و ارزیابی نشده است. یکی از دلایل اصلی این موضوع، محدود بودن اکتشافات سیستماتیک و عدم اجرای گسترده برنامه‌های اکتشافی مطابق با استانداردها و روش‌های متداول بین‌المللی در بسیاری از مناطق کشور است. در نتیجه، هنوز پهنه‌های وسیعی از سرزمین ایران وجود دارند که از نظر زمین‌شناسی مستعد تشکیل ذخایر معدنی بوده اما به صورت دقیق مورد مطالعه و اکتشاف قرار نگرفته‌اند و بنابراین احتمال وجود ذخایر ناشناخته معدنی در آن‌ها بالا است. از دیدگاه زمین‌ساختی، بخش بزرگی از ایران در کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا واقع شده است؛ کمربندی که یکی از مهم‌ترین نواحی متالورژی و کانی‌زایی جهان به شمار می‌رود. این کمربند حاصل فرایندهای پیچیده تکتونیک در طی دوران

مزوزوئیک و سنوزوئیک است. در این دوره‌ها، فعالیت‌های زمین‌ساختی گسترده‌ای در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس در زیر بلوک ایران مرکزی رخ داده است. ادامه این فرایند در نهایت منجر به بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد صفحه عربی با صفحه ایران مرکزی شد؛ رویدادی که نقش مهمی در شکل‌گیری ساختارهای کوهزایی، ماگماتیسم گسترده، دگرگونی و فرایندهای هیدروترمال در منطقه داشته است. این تحولات زمین‌ساختی و ماگمایی، شرایط مناسبی را برای تشکیل انواع مختلف کانسارهای معدنی فراهم کرده‌اند. فعالیت‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش، همراه با سیستم‌های سیالات گرمایی، یکی از مهم‌ترین عوامل تمرکز عناصر فلزی و تشکیل کانسارهای گوناگون در این کمربند به شمار می‌روند. از این رو، انتظار می‌رود که در بسیاری از واحدهای زمین‌شناسی ایران، به‌ویژه در مناطق مرتبط با کمربند ماگمایی و ساختارهای حاصل از برخورد صفحات تکتونیکی، پتانسیل قابل توجهی برای وجود ذخایر معدنی مختلف از جمله فلزات پایه، فلزات گران‌بها و حتی عناصر راهبردی مانند عناصر نادر خاکی وجود داشته باشد. بنابراین، با توجه به موقعیت زمین‌ساختی ایران در یکی از مهم‌ترین کمربندهای کانه‌زایی جهان و همچنین گستردگی واحدهای زمین‌شناسی متنوع در کشور، می‌توان نتیجه گرفت که اجرای برنامه‌های اکتشاف نظام‌مند، استفاده از روش‌های نوین ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و سنجش از دور، و توسعه مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی می‌تواند به شناسایی ذخایر معدنی جدید و بهره‌برداری بهتر از ظرفیت‌های معدنی بالقوه ایران منجر شود (ویسه، ۱۳۹۶) در ایران، تمرکز تاریخی معدن‌کاری بیشتر بر ذخایر آهن، مس، سرب و روی، طلا، زغال‌سنگ، اورانیوم و فسفات بوده است. توجه به REE عمدتاً در پی بررسی‌های جانبی روی این ذخایر شکل گرفت؛ یعنی ابتدا در قالب عنصر همراه یا ناچیز در کانسارها دیده شد و سپس به تدریج به‌عنوان یک موضوع مستقل اکتشافی مطرح شد. آغاز آشنایی علمی با عناصر نادر خاکی در ایران را می‌توان در قالب سه مرحله کلی مورد بررسی قرار داد. در مرحله نخست، عناصر نادر خاکی به‌طور مستقیم به‌عنوان هدف اصلی اکتشافات معدنی مورد توجه قرار نداشتند و شناخت از حضور آن‌ها بیشتر به‌صورت غیرمستقیم و در خلال مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی سایر ذخایر معدنی حاصل می‌شد. در این دوره که عمدتاً به نیمه دوم قرن بیستم بازمی‌گردد، تمرکز اصلی فعالیت‌های اکتشافی در ایران بر شناسایی و استخراج مواد معدنی

متداول‌تر نظیر آهن، مس، سرب، روی، زغال‌سنگ و فسفات بود. در جریان بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی این کانسارها، حضور عناصر نادر خاکی به‌عنوان عناصر فرعی یا همراه در برخی کانی‌ها و سنگ‌ها گزارش می‌شد. این عناصر غالباً در کانی‌هایی مانند آپاتیت، مونازیت، زیرکن و برخی کانی‌های فرعی دیگر مشاهده می‌شدند، اما به دلیل محدودیت روش‌های تحلیلی و نبود فناوری‌های پیشرفته برای اندازه‌گیری دقیق غلظت عناصر کمیاب، اطلاعات به‌دست‌آمده درباره توزیع و فراوانی آن‌ها بسیار محدود بود. در این مرحله، عناصر نادر خاکی بیشتر از دیدگاه ژئوشیمیایی و به‌عنوان شاخص‌هایی برای تفسیر محیط‌های زمین‌ساختی و ماگمایی مورد توجه قرار می‌گرفتند و هنوز به‌عنوان منابع بالقوه اقتصادی در مرکز توجه مطالعات معدنی قرار نداشتند.

مرحله دوم را می‌توان دوره افزایش توجه علمی و پژوهشی به عناصر نادر خاکی در ایران دانست که همزمان با پیشرفت روش‌های آنالیز ژئوشیمیایی و افزایش اهمیت اقتصادی این عناصر در صنایع پیشرفته جهانی شکل گرفت. از دهه‌های پایانی قرن بیستم و به‌ویژه در دهه‌های اخیر، با گسترش استفاده از روش‌های تحلیلی دقیق نظیر ICP-MS، XRF و سایر تکنیک‌های پیشرفته، امکان اندازه‌گیری دقیق عناصر کمیاب و ردیاب فراهم شد. این پیشرفت‌ها سبب شد که پژوهشگران زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوشیمی در ایران نیز به مطالعه سیستماتیک توزیع عناصر نادر خاکی در محیط‌های زمین‌شناسی مختلف بپردازند. در این دوره، بررسی عناصر نادر خاکی نه‌تنها در کانسارهای فسفاتی، بلکه در زغال‌سنگ‌ها، کانسارهای آهن-آپاتیت، سنگ‌های آذرین قلیایی، پگماتیت‌ها و همچنین در برخی کانسارهای مرتبط با فعالیت‌های ماگمایی و هیدروترمال مورد توجه قرار گرفت. مطالعات انجام‌شده نشان داد که برخی از این محیط‌ها می‌توانند میزبان تمرکز نسبی عناصر نادر خاکی باشند و از این رو به‌عنوان اهداف بالقوه برای اکتشاف بیشتر مطرح شدند. در نتیجه، در این مرحله دیدگاه پژوهشگران از صرف شناسایی ژئوشیمیایی این عناصر فراتر رفته و به سمت ارزیابی پتانسیل کانه‌زایی و امکان بهره‌برداری اقتصادی از آن‌ها سوق پیدا کرد؛ موضوعی که زمینه‌ساز انجام تحقیقات تخصصی‌تر و برنامه‌های اکتشافی هدفمند در سال‌های بعد شد.

مرحله سوم را دوره ورود عناصر نادر خاکی به عرصه مطالعات کاربردی و نیمه‌صنعتی در ایران

می‌توان دانست؛ مرحله‌ای که با شناسایی و توسعه برخی نواحی مستعد، به‌ویژه در منطقه مروست یزد، اهمیت بیشتری پیدا کرد. یکی از مهم‌ترین نقاط عطف در این زمینه، احداث و توسعه معادن و محدوده‌های سپهر ۱ و سپهر ۲ در منطقه مروست استان یزد بود. این محدوده‌ها که در ارتباط با کانسارهای فسفاتی و واحدهای غنی از آپاتیت قرار دارند، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق دارای پتانسیل عناصر نادر خاکی در ایران شناخته شدند. مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی انجام‌شده در این نواحی نشان داد که تمرکز قابل توجهی از عناصر نادر خاکی، به‌ویژه لانتانیدهای سبک، در کانی‌های فسفاته و آپاتیتی وجود دارد. اهمیت این محدوده‌ها از آن جهت است که برای نخستین بار موضوع عناصر نادر خاکی در ایران از مرحله مطالعات صرف دانشگاهی و آزمایشگاهی به سمت ارزیابی‌های اقتصادی، طراحی فرآوری و بررسی امکان بهره‌برداری صنعتی حرکت کرد. منطقه مروست یزد به دلیل قرارگیری در پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی و ارتباط با فعالیت‌های ماگمایی و رسوبی مرتبط با تحولات تکنونیک‌ی گذشته، شرایط مناسبی برای تمرکز عناصر نادر خاکی فراهم کرده است. مطالعات انجام‌شده در محدوده‌های سپهر ۱ و ۲ علاوه بر تأیید وجود پتانسیل معدنی، اهمیت توجه به ذخایر جانبی و عناصر استراتژیک در ایران را نیز آشکار ساخت. این پروژه‌ها را می‌توان از نخستین گام‌های عملی کشور در جهت شناخت اقتصادی عناصر نادر خاکی و حرکت به سوی ایجاد زنجیره اکتشاف، استخراج و فرآوری این عناصر دانست؛ عناصری که امروزه به دلیل نقش اساسی در صنایع پیشرفته، انرژی‌های نو، تجهیزات الکترونیکی و فناوری‌های نوین، از اهمیت راهبردی بالایی در جهان برخوردار هستند.

در سال ۱۳۸۰ اولین بار سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در مناطق اطراف بافق اقدام به کشف عناصر نادر خاکی کرده‌است. پتانسیل مهم عناصر نادر خاکی در ایران شامل کربناتیت‌ها، آپاتیت، سنگ‌های آلکالن و پگماتیت‌ها است. که اولین بار کنت در سال ۱۹۷۰ سه نمونه در منطقه خلیج فارس گزارش کرد که با مطالعات صورت گرفته فقط کربناتیت‌های منطقه زراکوه تأیید شد. سبزه‌ائی در سال ۱۳۶۳ تعدادی دایک کربناتیتی در منطقه قلعه حسنعلی (جنوب شرق راین کرمان) را گزارش کرده که این دایک‌ها با سنگ‌های الترابازیک مرتبط بودند. به علت نشات گرفتن ماگمای کربناتیتی از

گوشته فوقانی، برای پی جوئی و پتانسیل یابی کربناتیت‌ها در ایران باید مناطق با شکستگی‌های عمیق پوسته بررسی شوند. خانم پذیرنده در سال ۱۳۵۰ برخی از مناطق را برای اکتشاف کربناتیت در ایران مناسب می‌داند: محدوده تراکیت و سینیت ناحیه البرز و محدوده اسکسیت تالش، محدوده نفلین سینیت نائین، آتشفشان‌های جوان اطراف دریاچه ارومیه، آتشفشان‌ها و فلوریت‌های شمال و شمال غرب بلوک لوت و امتداد شکست زاگرس است. شکل شماره ۲ نشان‌دهنده انواع سنگ‌های آلکالن در ایران است:

شکل ۲ سنگ‌های آلکالن در ایران (منبع نگارندگان)



عناصر نادر حاکی اکثراً در پگماتیت‌های پیچیده (کمپلکس) وجود دارند ولی در ایران اکثر پگماتیت‌ها از نوع ساده هستند پگماتیت‌ها در ایران شامل مناطق زیر است:

پگماتیت‌های جندق: جندق که در حاشیه جنوبی دشت کویر در ایران مرکزی قرار دارد دارای پگماتیت‌های اسیدی به سن مزوزوئیک هست.

پگماتیت‌های الوند: که دارای سه زیر رخساره اند، پگماتیت‌های تورمالین دار، پگماتیت‌های تورمالین مسکویت گارنت دار و پگماتیت‌های گرافیک

پگماتیت‌های مشهد: در جنوب و غرب مشهد توده ای گرانیتوئیدی هست که رگه های پگماتیتهی زیادی در آن نفوذ کرده‌اند. بررسی این رگه‌های پگماتیتهی در توده‌های گرانیتوئیدی چین کالخ و قشلاق

- سعیدآباد جنوب. مشهد نشان می دهد که کانی های سازنده پگماتیت منطقه، حاصل تبلور بخشی ساده نیستند ولی به نظر می رسد این پگماتیت ها برای REE ارزش اقتصادی ندارند.

پتانسیل عناصر نادر خاکی در ایران

الف) کربناتیت ها در ایران

کربناتیت ها به سنگ هایی گفته می شود که بیش از ۵۰ درصد از کانی های کربناته تشکیل شده باشند و منشأ رسوبی نداشته باشند. این سنگ ها از نظر اقتصادی اهمیت زیادی دارند، زیرا می توانند حاوی عناصری مانند فسفر، منیزیم، باریوم و عناصر نادر خاکی باشند. همچنین در برخی موارد، عناصر دیگری مانند سرب، توریم و اورانیوم نیز به مقدار قابل توجهی در آن ها یافت می شود (پذیرنده، ۱۳۵۰). کربناتیت ها، از کمیاب ترین سنگ های آذرین روی زمین به شمار می روند. در پایگاه داده های جهانی کربناتیت ها، هیچ موردی از ایران به ثبت نرسیده است. این در حالی است که پتانسیل کشف این سنگ ها در ناحیه متالورژی بافق، واقع در میانه بلوک پشت بادام، در شمال غرب ایران مرکزی، قابل توجه است (کلاه دانی، ۱۴۰۱). فرآیندهای ماگمایی نقش حیاتی در تجمع عناصر نادر خاکی در ذخایر کربناتیتی دارند. این فرآیندها منجر به تشکیل سنگ های کربناتیتی می شوند که غنی از REE هستند و به همین دلیل به عنوان منابع مهم اقتصادی برای استخراج این عناصر ارزشمند شناخته می شوند.

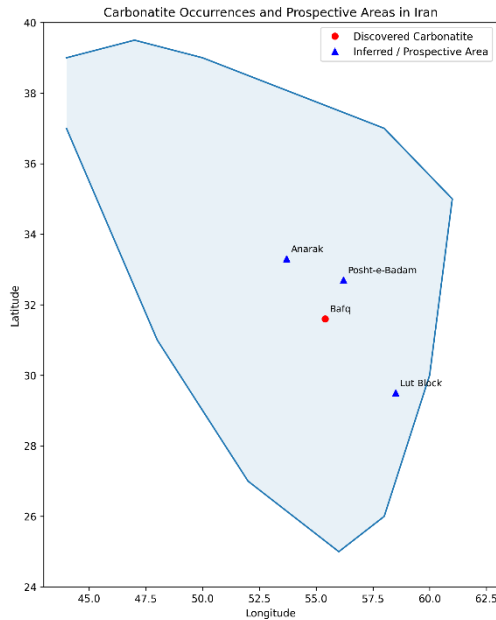
کربناتیت ها در ایران بسیار محدود گزارش شده اند و مطالعات زمین شناسی نشان می دهد که مهم ترین و مستندترین رخداد آن ها در ایران مرکزی قرار دارد. شناخته شده ترین منطقه، ناحیه متالورژی بافق در شرق یزد است که بخشی از بلوک ایران مرکزی محسوب می شود. شواهد زمین شناسی و ژئوشیمیایی نشان می دهد که در این ناحیه نوعی ماگماتیسیم قلیایی همراه با توده ها و دایک های کربناتیتی وجود داشته است. سن این فعالیت ها عمدتاً به کامبرین پسین تا اردوئیسین آغازین نسبت داده می شود. در این کمربند، کربناتیت ها معمولاً با کانسارهای مهم آهن، فسفات و عناصر نادر خاکی همراه هستند و نمونه های شناخته شده ای مانند چغارت، چادرملو، اسفوردی و زرین در همین منطقه قرار دارند. بسیاری از پژوهشگران منشأ این کربناتیت ها را به یک محیط کشتی قاره ای نسبت می دهند که پس از یک مرحله ماگماتیسیم مرتبط با کمان فرورانشی در ایران مرکزی ایجاد شده است. در کنار کمربند بافق،

بلوک پشت بادام نیز که بخشی از ایران مرکزی محسوب می‌شود به عنوان منطقه‌ای با پتانسیل رخداد سنگ‌های قلیایی و احتمال وجود کربناتیت‌ها مطرح شده است. در این بلوک نشانه‌هایی از فعالیت‌های ماگمایی قلیایی و فرایندهای متاسوماتیسمی مشاهده شده که می‌تواند با تمرکز عناصر ناسازگار مانند عناصر نادر خاکی (REE)، نیوبیوم و فسفر مرتبط باشد. به همین دلیل برخی زمین‌شناسان این ناحیه را به عنوان بخشی از یک استان ماگمایی قلیایی-کربناتیتهای احتمالی در ایران مرکزی در نظر می‌گیرند که هنوز به طور کامل مطالعه نشده است. همچنین در زون انارک-جندق که در حاشیه ایران مرکزی قرار دارد، در برخی مطالعات زمین‌شناسی به وجود ماگماتیسم قلیایی و دایک‌های با ترکیب کربناته اشاره شده است. این شواهد بیشتر بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی ارائه شده‌اند و هنوز به اندازه رخدادهای گزارش شده در بافق قطعی و گسترده نیستند. علاوه بر این، در برخی تحقیقات ژئوشیمیایی به وجود ماگماتیسم قلیایی با گرایش کربناتیتهای در بخش‌هایی از شمال شرق ایران، به ویژه در ناحیه کپه‌داغ و برخی مناطق خراسان اشاره شده است، هرچند شواهد قطعی برای وجود توده‌های کربناتیتهای در این مناطق هنوز محدود است. به طور کلی، از دیدگاه زمین‌شناسی آذرین و زمین‌شناسی اقتصادی، مهم‌ترین و قطعی‌ترین رخداد کربناتیت در ایران در کمر بند متالوژنی بافق در ایران مرکزی شناخته می‌شود و مناطق بلوک پشت بادام و زون انارک-جندق بیشتر به عنوان مناطق دارای پتانسیل یا شواهد احتمالی مطرح هستند. این کربناتیت‌ها معمولاً با ماگماتیسم قلیایی مرتبط با محیط‌های کششی قاره‌ای در اواخر کامبرین همراه بوده و به دلیل غنی‌شدگی در عناصر ناسازگار مانند عناصر نادر خاکی (REE)، فسفر و نیوبیوم از نظر زمین‌شناسی اقتصادی اهمیت ویژه‌ای دارند.

در زمین‌شناسی اقتصادی، تمام ۱۷ عنصر نادر خاکی (REE) می‌توانند در کربناتیت‌ها حضور داشته باشند، اما کربناتیت‌ها معمولاً به‌طور قوی در عناصر نادر خاکی سبک (LREE) غنی هستند و عناصر سنگین کمتر در آن‌ها متمرکز می‌شوند.



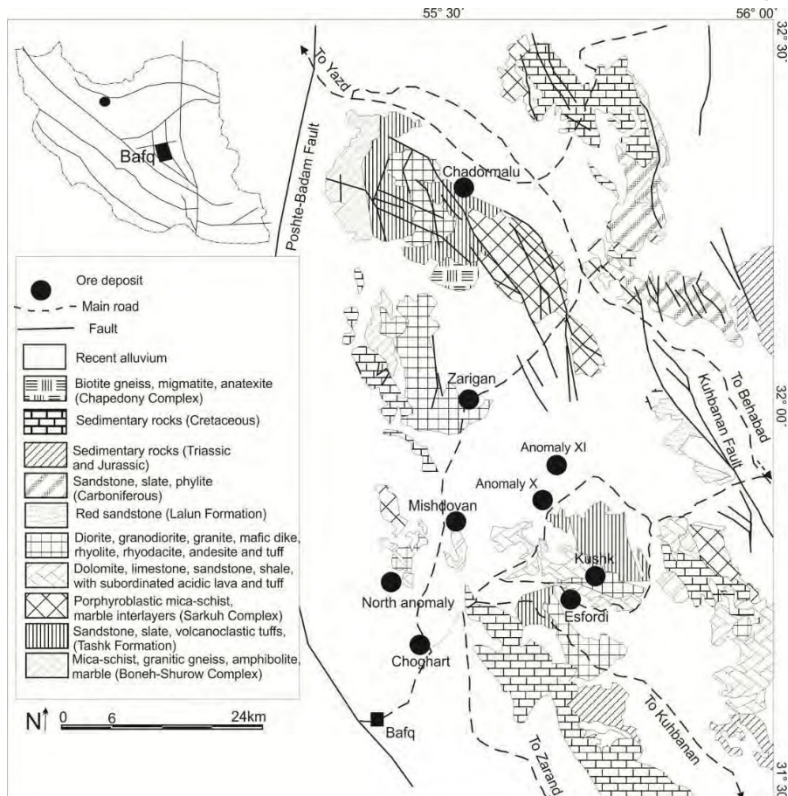
نقشه ۲ پراکندگی رخدادهای کربناتیتهای ایران (منبع: نگارندگان)



ب) آپاتیت در ایران

نام آپاتیت (Apatite) از واژه‌های یونانی گرفته شده که معنای آن «فریب‌دهنده» یا «گمراه‌کننده» است؛ زیرا این کانی به دلیل شباهت ظاهری، به راحتی با برخی دیگر از مواد معدنی مانند بریل اشتباه گرفته می‌شود. آپاتیت به عنوان یک سنگ زینتی، دارای رنگ‌های متنوعی است، اما در عین حال سنگی نسبتاً نرم، شکننده و حساس به گرما به شمار می‌آید (کرمی، ۱۴۰۱). بر اساس پژوهش‌های انجام شده توسط «هارلو و همکاران»، مشخص شده است که کانی‌ها، از جمله آپاتیت، در شرایط متفاوت دما، فشار و ترکیب سیال می‌توانند در اثر تبادل جرمی میان سیال دگرسان‌کننده و خود کانی، بدون نیاز به منبع خارجی عناصر نادر خاکی، تشکیل شوند. کانسار آهن-آپاتیت اسفوردی، که در ۳۵ کیلومتری شمال شرق بافق قرار دارد، به عنوان غنی‌ترین منبع فسفات ایران شناخته می‌شود و از پتانسیل بالایی در زمینه ذخایر عناصر نادر خاکی برخوردار است. در این کانسار، آپاتیت به عنوان میزبان اصلی این عناصر شناخته می‌شود (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۹۸).

شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه بافق و جایگاه های کانسارهای آهن-آپاتیت بر روی آن



(منبع: Ramezani and Tucker, ۲۰۰۳; Jami et al, ۲۰۰۷)

آپاتیت یکی از کانی‌های اصلی و مهم در سنگ‌های آذرین و دگرگونی به‌شمار می‌رود. تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه هم‌زیستی و شناسایی دربرگیرنده‌های (انکلوزیون‌های) موناژیت و زنوتیم همراه با آپاتیت، در نمونه‌های طبیعی و مصنوعی انجام شده است. جفت کانی موناژیت-زنوتیم در شرایط مختلف دگرگونی، آذرین و متاسوماتیسمی پایدار باقی می‌ماند. ترکیب شیمیایی این دو کانی به شیمی کلی سیستم، ضریب توزیع عناصر نادر خاکی میان آن‌ها، و همچنین به شرایط فشار و دمای محیط وابسته است (تقی پور و همکاران، ۱۳۹۶)

کانسار آهن-آپاتیت چغارت در فاصله حدود ۱۲ کیلومتری شمال‌شرق بافق قرار دارد. این منطقه

در یکی از بالا آمدگی های قدیمی و به عنوان بخشی از واحد ساختاری ایران مرکزی رخنمون یافته است. در این کانسار دو نسل آپاتیت شناسایی شده است. نسل دوم بیشتر به صورت بلورهای شکل دار دیده می شود و رنگ آن ها اغلب خاکستری یا زرد و به ندرت بی رنگ است. در مقابل، آپاتیت های نسل اول بافت دانه ریز داشته و اغلب بی شکل هستند و به صورت پراکنده در توده های آهن مشاهده می شوند. در برخی بخش های کانسار، هر دو نسل آپاتیت در کنار یکدیگر دیده می شوند (حسینی و زاهدی، ۱۳۹۱).

آپاتیت از جمله کانی های فسفاتی مهم در ایران است که هم در ذخایر ماگمایی و دگرگونی و هم در سنگ های رسوبی به صورت پراکنده یافت می شود. پراکندگی این کانی در گستره زمین شناسی ایران تابعی از تکامل ماگماتیسم و فرایندهای دگرسانی در پهنه ایران مرکزی، ناحیه البرز و زاگرس است. مهم ترین تمرکز آپاتیت در ایران در ارتباط با کانسارهای آهن تپ کپرونا در منطقه بافق یزد دیده می شود، جایی که کانی زایی آهن همراه با آپاتیت و عناصر نادر خاکی، مجموعه ای از ویژگی های ماگمایی و هیدروترمال را نشان می دهد.

در پهنه های دگرگونی زون سنندج-سیرجان، آپاتیت بیشتر به صورت ریزدانه همراه با بیوتیت و هماتیت در شیست ها و گنیس های فسفردار دیده می شود و نقش آن در تثبیت فسفر در طی دگرگونی های ناحیه ای قابل توجه است. همچنین در سنگ های متاسوماتیه مانند اسکارن ها، حضور آپاتیت در کنار گارنت، پیروکسن و هماتیت معمول است و به عنوان شاخص دگرسانی فسفاته شناخته می شود. در شمال شرق ایران، محدوده نیشابور و سبزوار، رخنمون هایی از آپاتیت در سنگ های آذرآهکی و بازالت های متا دگرسان شده گزارش شده است که منشأ آنها اغلب هیدروترمال پس ماگمایی است. در جنوب ایران نیز نواحی اطراف سیرجان و حاجی آباد، آپاتیت در ارتباط با توده های گابروبی آلکالن و سرپانتینیت های دگرسان شده مشاهده شده است. در نهایت، در سنگ های رسوبی فسفردار مناطق حاشیه ای خلیج فارس و جنوب شرق ایران، آپاتیت به صورت فسفوریت های دانه درشت دیده می شود که حاصل رسوب فسفات در محیط های کم عمق دریایی است. این نوع رخداد آپاتیت غالباً منشأ رسوبی داشته و از نظر صنعتی تنها در مقیاس محدود مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین، می توان گفت حضور آپاتیت در ایران بازتابی از تنوع گسترده فرایندهای ژئوشیمیایی و ژئودینامیکی

کشور است؛ از کانی‌سازی‌های ماگمایی در زون بافق گرفته تا دگرگونی‌های سنندج-سیرجان و رسوبات فسفاتی جنوب. این پراکندگی، آپاتیت را به یکی از کانی‌های کلیدی در بررسی منشأ عناصر نادر خاکی و چرخه فسفر در پوسته ایران بدل ساخته است.

در میان عناصر نادر خاکی، آپاتیت معمولاً غنی‌تر از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) است. مهم‌ترین عناصر نادر خاکی که از آپاتیت شناسایی و در برخی موارد قابل استحصال هستند شامل لانتانیم (La)، سریم (Ce)، پراسئودیمیم (Pr)، نئودیمیم (Nd)، ساماریوم (Sm) و در مقادیر کمتر گادولینیوم است. در بسیاری از آپاتیت‌های ماگمایی، به‌ویژه در کانسارهای آهن-آپاتیت تیپ کیرونا، بیشترین تمرکز معمولاً مربوط به سریم و لانتانیم است و پس از آن نئودیمیم و پراسئودیمیم قرار دارند. این عناصر اغلب در طی مراحل تبلور ماگما و همچنین در فرآیندهای دگرسانی هیدروترمال در ساختار آپاتیت متمرکز می‌شوند.

ج) پگماتیت‌ها در ایران

پگماتیت‌های گرانیتی از جمله سنگ‌های آذرین درونی با دانه‌بندی بسیار درشت به شمار می‌روند که عمدتاً از کانی‌های کوارتز، فلدسپات و میکا تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها در مراحل پایانی تبلور ماگما ایجاد می‌شوند و معمولاً غنی‌شدگی قابل توجهی از عناصر کمیاب و ارزشمند نظیر لیتیوم، سزیم و عناصر نادر خاکی را نشان می‌دهند. بافت پگماتیتی بیانگر سردشدگی تدریجی ماگما همراه با تمرکز بالای سیالات فرار در شرایط ویژه زمین‌شناسی است؛ شرایطی که محیط مناسبی را برای رشد بلورهای بسیار درشت فراهم می‌سازد. پگماتیت‌ها ممکن است منشأ آذرین یا دگرگونی داشته باشند، اما اغلب دارای ترکیب گرانیتی هستند و از دیدگاه زمین‌شناسی و اقتصادی اهمیت فراوانی دارند. پگماتیت‌ها بر اساس عمق تشکیل و نوع کانی‌های همراه به چهار گروه کم‌عمق، عمق متوسط، عمیق و بسیار عمیق تقسیم‌بندی می‌شوند. پگماتیت‌های کم‌عمق در اعماق حدود ۱/۵ تا ۳/۵ کیلومتری از سطح زمین و عمدتاً در بخش‌های فوقانی توده‌های گرانیتی تشکیل می‌شوند. این نوع پگماتیت‌ها معمولاً دارای بافت پورفیری بوده و کانی‌های ارزشمندی نظیر بریل و توپاز در آن‌ها مشاهده می‌شود، در حالی که حضور لیتیوم، قلع و سایر عناصر کمیاب در آن‌ها نسبتاً نادر است. پگماتیت‌های عمق متوسط در اعماق

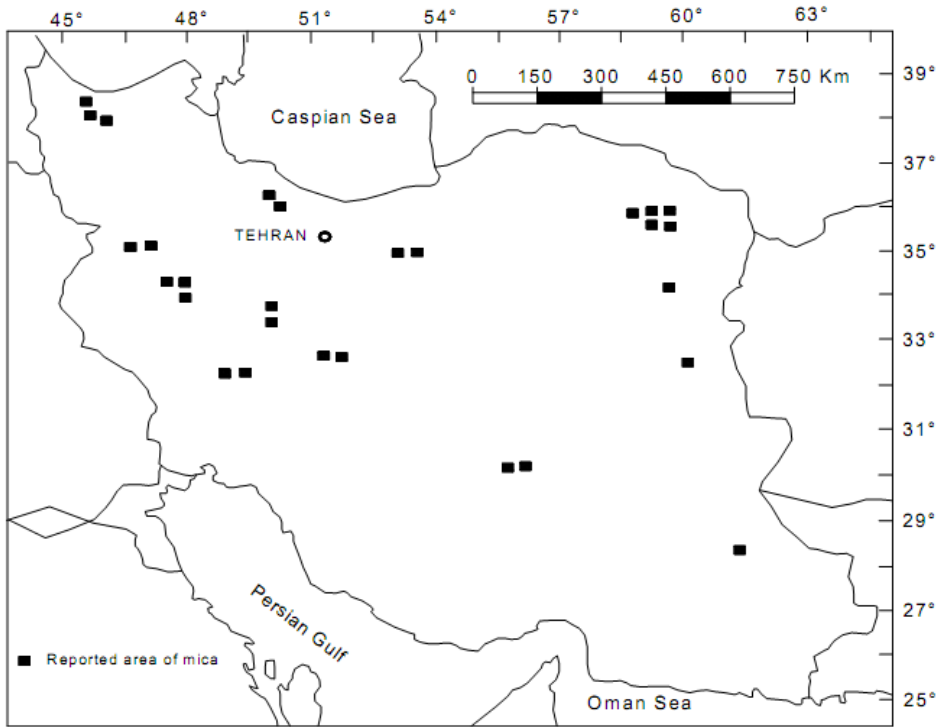
حدود ۳/۵ تا ۷ کیلومتری تشکیل شده و به دلیل دارا بودن عناصر کمیاب، از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردارند. در این نوع پگماتیت‌ها کانی‌سازی عناصری همچون قلع، تانتالیم، نیوبیوم، لیتیوم، بریلیوم و عناصر نادر خاکی به خوبی توسعه یافته است. به همین دلیل، این گروه نسبت به سایر انواع پگماتیت‌ها بیشترین ارزش اقتصادی را داراست. پگماتیت‌های عمیق در اعماق حدود ۷ تا ۱۱ کیلومتری از سطح زمین تشکیل می‌شوند و اغلب با عنوان پگماتیت‌های میکادار یا پگماتیت‌های ساده شناخته می‌شوند. این نوع پگماتیت‌ها معمولاً از نظر کانی‌سازی عناصر کمیاب فقیرتر بوده و بیشتر با کانی‌های میکادار و ترکیب‌های ساده گرانیته مشخص می‌شوند (ercit, 2025 & همکاران، ۱۳۸۷) یکی از ویژگی‌های بارز پگماتیت‌های گرانیته، حضور کانی‌های فرعی حاوی عناصر ناسازگار و عناصر نادر خاکی است. این سنگ‌ها معمولاً دارای بافت بسیار درشت‌دانه، ناپیوستگی‌های بلوری مشخص و تمرکز بالای کانی‌های ویژه مانند مونازیت، زنونیم و باستانزیت هستند. وجود فازهای غنی از فسفر، فلورین و آب در ترکیب ماگمایی، در غنی‌سازی این عناصر نقش کلیدی ایفا می‌کند و موجب تمایز پگماتیت‌های گرانیته از دیگر سنگ‌های آذرین می‌شود.

از دیدگاه اقتصادی نیز پگماتیت‌ها اهمیت قابل توجهی دارند، زیرا در بسیاری از موارد نسبت به سایر سنگ‌های آذرین دارای عیار بالاتری از عناصر نادر خاکی هستند. حضور کانی‌هایی با قابلیت فرآوری مناسب، مانند مونازیت و باستانزیت، امکان استخراج اقتصادی این عناصر را در برخی مناطق فراهم می‌کند. افزون بر این، فرایندهای زمین‌شناسی ویژه‌ای که منجر به تشکیل پگماتیت‌ها می‌شوند، اغلب باعث تمرکز عناصر نادر خاکی در زون‌های مشخصی از این توده‌ها می‌گردند که می‌توانند اهداف مناسبی برای فعالیت‌های اکتشافی و معدنی باشند. پگماتیت‌ها افزون بر اهمیت گوه‌شناسی، در صنایع مختلف نیز نقش قابل توجهی ایفا می‌کنند. برای نمونه، کانی اسپودومن یکی از مهم‌ترین منابع تأمین لیتیوم به شمار می‌رود؛ عنصری که امروزه در تولید باتری خودروهای برقی و بسیاری از تجهیزات الکترونیکی کاربردی اساسی دارد. همچنین عناصری مانند سزیم و تانتالیوم که در برخی پگماتیت‌ها یافت می‌شوند، در صنایع الکترونیک پیشرفته، فناوری‌های مخابراتی و تولید آلیاژهای صنعتی اهمیت فراوان دارند. بر این اساس، پگماتیت‌ها در اقتصاد جهانی نقشی دوگانه ایفا می‌کنند؛ از یک سو به دلیل

حضور گوهرهای ارزشمند از دیدگاه گوهرشناسی اهمیت دارند و از سوی دیگر به عنوان منبع عناصر استراتژیک مورد نیاز فناوری‌های نوین شناخته می‌شوند (کیانی، ۱۴۰۴ & ۲۰۰۵، ercirt)

در ایران بیش از ۲۵۰ توده نفوذی شناسایی شده است که از میان آن‌ها دست‌کم حدود ۱۰۰ توده شواهدی از حضور پگماتیت را نشان می‌دهند و در حدود ۵۰ توده دارای پگماتیت‌های شاخص و قابل توجه هستند. پگماتیت‌های ایران عموماً از نوع پگماتیت‌های ساده به شمار می‌آیند و در بسیاری از موارد فاقد کانی‌های قیمتی ارزشمند بوده یا تنها مقادیر محدودی از عناصر کمیاب را در بر دارند. از نظر پراکندگی جغرافیایی، پگماتیت‌های ایران در چند ناحیه اصلی قابل تقسیم‌بندی هستند. یکی از مهم‌ترین این نواحی، پگماتیت‌های ایران مرکزی است که شامل پگماتیت‌های منطقه شیرکوه یزد، پگماتیت‌های رباط پشت بادام و پگماتیت‌های چادرملو می‌شود. از دیگر مناطق مهم، پگماتیت‌های الوند هستند. توده گرانیتهی الوند در منطقه همدان از دیدگاه مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی ناحیه‌ای بسیار گسترده را دربر می‌گیرد؛ به طوری که بخشی از این توده در غرب و بخش عمده آن در جنوب شهر همدان قرار دارد و پگماتیت‌های مرتبط با آن از اهمیت زمین‌شناسی قابل توجهی برخوردارند. گروه دیگری از این توده‌ها در قالب پگماتیت‌های شرق ایران شناخته می‌شوند که شامل پگماتیت‌های مشهد، پگماتیت‌های شرق دهسلم و شاهکوه، پگماتیت‌های زاهدان و همچنین پگماتیت‌های شرق جندق هستند. علاوه بر این، در نواحی نفلین‌سینیتی شمال آذربایجان نیز پگماتیت‌هایی مرتبط با سنگ‌های قلیایی مشاهده می‌شود که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به نفلین‌سینیت بزگوش و پسودولوسیت سینیت رزگاه اشاره کرد (نمیرانیان و همکاران، ۱۳۸۷ & قربانی ۱۴۰۲)

شکل ۴ نقشه پراکندگی پگماتیت‌ها در ایران (منبع: قربانی، ۱۴۰۲)



در مقیاس بازار جهانی، توسعه و بهره‌برداری از منابع عناصر نادر خاکی (REE) موجود در پگماتیت‌ها می‌تواند نقش مهمی در تأمین مواد اولیه مورد نیاز صنایع پیشرفته و راهبردی ایفا کند. در سال‌های اخیر، افزایش چشمگیر تقاضا برای این عناصر در فناوری‌های نوین، به‌ویژه در تولید باتری‌های لیتیومی، توربین‌های بادی، تجهیزات الکترونیکی و سامانه‌های انرژی‌های نو، موجب شده است که توجه بیشتری به اکتشاف و بهره‌برداری از ذخایر پگماتیتهای معطوف شود. در نتیجه، سرمایه‌گذاری در شناسایی و توسعه این نوع ذخایر معدنی روند رو به رشدی را در سطح جهانی تجربه کرده است. با این حال، آینده بهره‌برداری اقتصادی از پگماتیت‌های غنی از عناصر نادر خاکی تا حد زیادی به پیشرفت فناوری‌های فرآوری، افزایش کارایی روش‌های استحصال و بهبود تکنیک‌های استخراج وابسته خواهد بود.

جدول ۲ تعدادی از معادن عناصر نادرخاکی در جهان

نام معدن	موقعیت جغرافیایی	REE استخراج شده	نوع کانسار
Mountain Pass	آمریکا	La. Ce. Nd	کربناتیت
Bayan Obo	چین	LREE	کربناتیت/گرمابی
Mount Weld	استرالیا	LREE	کربناتیت/لاتریت
Ilimaussaq	گرینلند	La. Ce, Nd	سنگ‌های آذرین پرآلکالن
Pilanesberg	آفریقای جنوبی	Ce, La	سنگ‌های آذرین پرآلکالن
Steenkampskraal	آفریقای جنوبی	La. Ce. Nd	رگه‌ای
Hoidas Lake	کانادا	La. Ce. Pr. Nd	رگه‌ای
Thor lake	کانادا	La. Ce, Pr, Nd, HREE	سنگ‌های آذرین پرآلکالن
Nolans Bore	استرالیا	La. Ce, Nd	رگه‌ای
Norra Karr	سوئد	La. Ce. Nd. HREE	سنگ‌های آذرین پرآلکالن
Khibina and Lovozero	روسیه	LREE	سنگ‌های آذرین پرآلکالن
Nkwombwa Hil	زامبیا	LREE	کربناتیت
Kagankunde	مالاوی	LREE	کربناتیت
Tundulu	مالاوی	LREE	کربناتیت
Songwe	مالاوی	LREE	کربناتیت
Maoniuping	چین	LREE	کربناتیت
Deep Sea	ویتنام	LREE	کربناتیت

منبع (گنجی، ۱۳۹۹)

چارچوب قانونی و مقرراتی

عناصر نادر خاکی به عنوان یکی از گروه‌های مهم مواد معدنی راهبردی، در سال‌های اخیر به دلیل کاربرد گسترده در صنایع پیشرفته از جمله الکترونیک، انرژی‌های تجدیدپذیر، تجهیزات مخابراتی،

صنایع دفاعی و فناوری‌های نوین، مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته‌اند. با وجود اهمیت اقتصادی و فناوری این عناصر، در نظام حقوقی ایران هنوز قانون مستقل و اختصاصی برای مدیریت و بهره‌برداری از عناصر نادر خاکی تدوین نشده است و فعالیت‌های مرتبط با آن‌ها عمدتاً در چارچوب قوانین کلی بخش معدن تنظیم می‌شود.

مهم‌ترین سند قانونی در این زمینه قانون معادن جمهوری اسلامی ایران است که چارچوب کلی اکتشاف، استخراج و بهره‌برداری از منابع معدنی کشور را مشخص می‌کند. بر اساس این قانون، هرگونه فعالیت معدنی مستلزم دریافت مجوزهای قانونی از مراجع ذی‌صلاح، به ویژه وزارت صنعت، معدن و تجارت است. فرآیند فعالیت‌های معدنی شامل مراحل مختلفی از جمله اخذ پروانه اکتشاف، گواهی کشف و پروانه بهره‌برداری می‌شود که هر یک از این مراحل تابع ضوابط مشخصی در قانون معادن و آیین‌نامه‌های اجرایی آن هستند. از آنجا که عناصر نادر خاکی نیز در دسته مواد معدنی قرار می‌گیرند، اکتشاف و بهره‌برداری از آن‌ها نیز مشمول همین چارچوب قانونی خواهد بود.

از منظر اقتصادی و مالی، ماده ۱۴ قانون معادن یکی از مهم‌ترین مواد قانونی در این حوزه به شمار می‌رود. مطابق این ماده، بهره‌برداران معادن موظف به پرداخت «حقوق دولتی» هستند که به عنوان سهم دولت از استخراج منابع معدنی دریافت می‌شود. قانون‌گذار همچنین نحوه مصرف این درآمدها را مشخص کرده است و تأکید دارد که منابع حاصل از حقوق دولتی باید در راستای توسعه بخش معدن مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی، این منابع برای توسعه زیرساخت‌های معدنی، افزایش فعالیت‌های اکتشافی، توسعه فناوری و نوآوری، تأمین ماشین‌آلات معدنی، توسعه مناطق محل استقرار معادن، احیای محیط زیست و حمایت از صندوق بیمه سرمایه‌گذاری فعالیت‌های معدنی تخصیص می‌یابد. بنابراین در صورت بهره‌برداری از ذخایر عناصر نادر خاکی نیز، این فعالیت‌ها مشمول همین نظام مالی و حقوقی خواهند بود.

فعالیت‌های مرتبط با عناصر نادر خاکی باید با الزامات قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست نیز مطابقت داشته باشد. استخراج و فرآوری این عناصر در برخی موارد می‌تواند با تولید پسماندهای معدنی خاص، آلودگی‌های شیمیایی و یا اثرات زیست‌محیطی قابل توجه همراه باشد. به همین دلیل،

انجام مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پیش از اجرای طرح‌های معدنی و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در مراحل استخراج و فرآوری از جمله الزامات قانونی محسوب می‌شود.

در سال‌های اخیر، در اسناد بالادستی توسعه کشور نیز توجه بیشتری به مواد معدنی راهبردی و عناصر نادر خاکی شده است. در برنامه هفتم توسعه جمهوری اسلامی ایران، بر توسعه بخش معدن، افزایش ارزش افزوده در زنجیره صنایع معدنی، کاهش خام‌فروشی و حرکت به سمت بهره‌برداری از مواد معدنی حیاتی و راهبردی تأکید شده است. این رویکرد نشان می‌دهد که سیاست‌های کلان کشور در حال حرکت به سمت شناسایی و بهره‌برداری از منابعی مانند عناصر نادر خاکی است که نقش مهمی در توسعه صنعتی و فناوری دارند. با وجود این، نبود مقررات اختصاصی برای عناصر نادر خاکی همچنان یکی از چالش‌های حقوقی در این حوزه محسوب می‌شود. ویژگی‌های خاص این عناصر، از جمله پیچیدگی فرآوری، حساسیت‌های زیست‌محیطی و اهمیت راهبردی آن‌ها در اقتصاد جهانی، ایجاب می‌کند که سیاست‌گذاری‌ها و مقررات تخصصی‌تری برای مدیریت این منابع تدوین شود. در این راستا، تدوین دستورالعمل‌ها و مقررات اختصاصی برای اکتشاف، استخراج، فرآوری، صادرات و مدیریت زیست‌محیطی عناصر نادر خاکی می‌تواند به توسعه پایدار این بخش و جذب سرمایه‌گذاری در صنایع مرتبط کمک کند.

به طور کلی، می‌توان گفت که چارچوب حقوقی حاکم بر عناصر نادر خاکی در ایران در حال حاضر بر پایه قانون معادن، آیین‌نامه اجرایی آن، قوانین زیست‌محیطی و اسناد توسعه‌ای کشور شکل گرفته است. با این حال، با توجه به اهمیت راهبردی این عناصر در اقتصاد آینده، تدوین سیاست‌ها و مقررات تخصصی برای توسعه اکتشاف و بهره‌برداری از آن‌ها از ضرورت‌های مهم در نظام مدیریت منابع معدنی کشور به شمار می‌رود.

مدل سوات (S.O.W.T)

تحلیل SWOT یکی از ابزارهای راهبردی در برنامه‌ریزی و تحلیل محیطی است که به منظور شناسایی و ارزیابی عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر یک سیستم به کار می‌رود و شامل چهار بعد اصلی نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها است. در این پژوهش، ابتدا با بررسی منابع علمی، اسناد تخصصی و تحلیل وضعیت ژئوآکونومی عناصر نادر خاکی، مجموعه‌ای از گویه‌ها در چهار بعد SWOT استخراج و پالایش شد. در مرحله بعد، به هر یک از این عوامل بر اساس میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر توسعه و جایگاه ژئوآکونومیک عناصر نادر خاکی ایران، «ضریب اهمیت» اختصاص داده شد؛ به گونه‌ای که مجموع ضرایب در هر بعد برابر با یک در نظر گرفته شد. سپس برای سنجش وضعیت واقعی کشور در هر عامل، «نمره عملکرد» در مقیاس ۱ تا ۴ تعیین گردید که نشان‌دهنده میزان قوت یا ضعف ایران در مواجهه با آن عامل است. حاصل ضرب ضریب اهمیت در نمره عملکرد، امتیاز نهایی هر عامل را مشخص می‌کند که از طریق جمع آن‌ها می‌توان وضعیت کلی عوامل داخلی و خارجی و در نهایت موقعیت راهبردی ایران در ماتریس SWOT را تحلیل کرد.

تحلیل عوامل داخلی (قوت‌ها)

در بخش عوامل داخلی، امتیاز نهایی نقاط قوت برابر با $3/16$ و امتیاز نقاط ضعف برابر با $1/62$ به دست آمده است. از آنجا که در تحلیل ماتریس IFE عدد $2/5$ به عنوان حد مبنا در نظر گرفته می‌شود، کسب امتیاز بالاتر از این سطح در بخش قوت‌ها نشان‌دهنده آن است که ایران از منظر ظرفیت‌های درونی و مزیت‌های ساختاری، در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارد. این امر بیانگر آن است که کشور دارای توانمندی‌های مهمی همچون قرارگیری در کمربند زمین‌ساختی آلپ - هیمالیا، برخورداری از ذخایر قابل توجه عناصر نادر خاکی، تنوع زمین‌شناسی مناسب، وجود پهنه‌های مستعد معدنی، موقعیت ژئوپلیتیکی ممتاز و همچنین برخورداری از نیروی انسانی متخصص است. مجموعه این عوامل نشان می‌دهد که ایران از منظر منابع طبیعی و ظرفیت‌های ژئوآکونومیک، بستر لازم برای ورود به عرصه رقابت جهانی عناصر نادر خاکی را در اختیار دارد.

جدول ۳ نقاط قوت

ردیف	گویه نقاط قوت (Strength)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
S1	قرارگیری ایران در کمربند زمین‌ساختی و متالورژی آلپ-همالیا	۰.۰۴۵	۴	۰.۱۸
S2	استقرار بخش مهمی از ذخایر REE در پهنه ایران مرکزی و کمربند ساغند-باقق	۰.۰۴۲	۴	۰.۱۶۸
S3	تنوع بالای ساختارهای زمین‌شناسی مستعد کانه‌زایی عناصر نادر خاکی	۰.۰۳۴	۳	۰.۱۰۲
S4	گسترده‌گی واحدهای ماگمایی، قلیایی و هیدروترمال دارای پتانسیل REE	۰.۰۳۱	۳	۰.۰۹۳
S5	وجود ظرفیت بالای کربناتیت‌های ایران مرکزی برای تمرکز عناصر نادر خاکی	۰.۰۴	۳	۰.۱۲
S6	وجود کنسارهای آهن-آپاتیت غنی از REE در باقق، چغارت و اسفوردی	۰.۰۴۴	۴	۰.۱۷۶
S7	شناسایی ذخایر قابل توجه عناصر نادر خاکی در محدوده مروست یزد	۰.۰۳۸	۳	۰.۱۱۴
S8	وجود حدود ۱۲۵ میلیون تن خاک معدنی دارای پتانسیل REE در مروست	۰.۰۳۶	۳	۰.۱۰۸
S9	وجود ذخایر فسفاتی و آهن‌دار همراه با عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۸	۳	۰.۰۸۴
S10	اقتصادی بودن استحصال REE به‌عنوان محصول جانبی در برخی معادن آهن و فسفات	۰.۰۳۳	۳	۰.۰۹۹
S11	غنی‌شدگی لاتانیدهای سبک در آپاتیت‌ها و ذخایر فسفاتی ایران	۰.۰۲۶	۳	۰.۰۷۸
S12	وجود پتانسیل عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) در برخی ذخایر کشور	۰.۰۳	۲	۰.۰۶

ردیف	گویه نقاط قوت (Strength)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
S13	غنی بودن بوکسیت جاجرم از عناصر نادر خاکی در مقایسه با برخی ذخایر جهانی	۰.۰۲۴	۲	۰.۰۴۸
S14	پراکندگی ذخایر و پهنه‌های امیدبخش REE در مناطق مختلف کشور	۰.۰۲۷	۳	۰.۰۸۱
S15	شناسایی پهنه‌های امیدبخش عناصر نادر خاکی در آذربایجان شرقی و غربی	۰.۰۲	۲	۰.۰۴
S16	وجود ظرفیت اکتشافی بالا در بلوک پشت‌بادام و مناطق مجاور	۰.۰۲۳	۳	۰.۰۶۹
S17	پراکندگی وسیع پگماتیت‌های دارای پتانسیل REE در ایران مرکزی	۰.۰۱۹	۲	۰.۰۳۸
S18	وجود بیش از ۲۵۰ توده نفوذی مستعد تمرکز عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۲	۳	۰.۰۶۶
S19	تنوع بالای کانی‌های حامل REE شامل مونازیت، باستنزیت، آلانیت و زنونتیم	۰.۰۲۵	۳	۰.۰۷۵
S20	تنوع محیط‌های کانه‌زایی عناصر نادر خاکی در ایران	۰.۰۲۹	۳	۰.۰۸۷
S21	انجام مطالعات اکتشافی سیستماتیک توسط سازمان زمین‌شناسی و ایمنیدرو	۰.۰۲۶	۳	۰.۰۷۸
S22	استفاده از فناوری‌های نوین اکتشاف مانند ICP-MS ژئوفیزیک هوابرد و سنجش از دور	۰.۰۳۲	۳	۰.۰۹۶
S23	وجود بانک‌های داده ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی برای شناسایی ذخایر REE	۰.۰۲۱	۳	۰.۰۶۳
S24	دستیابی به دانش فنی اولیه جداسازی عناصر نادر خاکی در کشور	۰.۰۳	۲	۰.۰۶
S25	موفقیت مراکز تحقیقاتی داخلی در جداسازی آزمایشگاهی ۱۷ عنصر نادر خاکی	۰.۰۲۴	۲	۰.۰۴۸

ردیف	گویه نقاط قوت (Strength)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
S26	بومی سازی نسبی فناوری استحصال REE در مراکز پژوهشی کشور	۰.۰۲۳	۲	۰.۰۴۶
S27	وجود زیرساخت‌های تحقیقاتی تخصصی در حوزه فرآوری مواد معدنی	۰.۰۲۱	۳	۰.۰۶۳
S28	وجود نیروی انسانی دانشگاهی و متخصص در حوزه معدن و فرآوری عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۸	۴	۰.۱۱۲
S29	موقعیت ژئوپلیتیکی ایران در اتصال آسیای مرکزی، خلیج فارس و کریدورهای ترانزیتی منطقه‌ای	۰.۰۴۷	۴	۰.۱۸۸
S30	قابلیت تبدیل عناصر نادر خاکی به مزیت ژئواکونومیک و پیوند آن با صنایع معدنی، فناوری‌های پاک و زنجیره ارزش داخلی	۰.۱۳۲	۴	۰.۵۲۸
	مجموع	۱	۲,۹۳	۳,۱۶۸

(منبع نگارندگان)

تحلیل عوامل داخلی (ضعف‌ها)

امتیاز ۱/۶۲ در بخش نقاط ضعف بیانگر آن است که مشکلات و محدودیت‌های موجود در این حوزه عمدتاً ماهیتی ساختاری، فناورانه و نهادی دارند. به عبارت دیگر، مسئله اصلی ایران در حوزه عناصر نادر خاکی، کمبود ذخایر یا ضعف ژئولوژیکی نیست، بلکه چالش اساسی در فقدان فناوری‌های پیشرفته فرآوری، محدودیت زیرساخت‌های صنعتی، نبود زنجیره کامل ارزش افزوده، ضعف سرمایه‌گذاری تخصصی، وابستگی به دانش فنی خارجی و نبود راهبرد ملی جامع برای توسعه عناصر نادر خاکی نهفته است. این وضعیت نشان می‌دهد که ایران اگرچه از ظرفیت معدنی قابل توجهی برخوردار است، اما هنوز نتوانسته است این ظرفیت بالقوه را به قدرت اقتصادی و صنعتی پایدار تبدیل کند. در واقع، فاصله اصلی میان وضعیت کنونی و دستیابی به جایگاه مؤثر در بازار جهانی، نه در مرحله اکتشاف بلکه در مرحله فرآوری، تولید صنعتی و ورود به زنجیره ارزش جهانی قرار دارد.

جدول ۴ نقاط قوت

ردیف	گویه نقاط ضعف (WEAK)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
W _۱	ضعف اکتشافات سیستماتیک عناصر نادر خاکی در مقیاس ملی	۰.۰۴۱	۲	۰.۰۸۲
W _۲	عقب‌ماندگی تاریخی اکتشاف REE نسبت به فلزات سنتی مانند مس و آهن	۰.۰۳۲	۲	۰.۰۶۴
W _۳	کمبود داده‌های دقیق درباره حجم، عیار و کیفیت ذخایر REE	۰.۰۳۹	۲	۰.۰۷۸
W _۴	پراکندگی و ناهماهنگی داده‌های اکتشافی و زمین‌شناسی	۰.۰۲۶	۲	۰.۰۵۲
W _۵	نبود بانک اطلاعات جامع و یکپارچه عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۷	۱	۰.۰۲۷
W _۶	محدود بودن مطالعات ژئوشیمیایی تخصصی مرتبط با REE	۰.۰۲۲	۲	۰.۰۴۴
W _۷	کمبود مطالعات سنجش از دور تخصصی برای شناسایی ذخایر REE	۰.۰۱۹	۲	۰.۰۳۸
W _۸	محدودیت استفاده از فناوری‌های پیشرفته ژئوفیزیکی در اکتشاف	۰.۰۲۳	۲	۰.۰۴۶
W _۹	ضعف مطالعات اقتصادی و امکان‌سنجی ذخایر عناصر نادر خاکی	۰.۰۳۱	۲	۰.۰۶۲
W _{۱۰}	محدود بودن اکتشافات تفصیلی و ذخیره‌سنجی اقتصادی	۰.۰۰۳	۲	۰.۰۰۶
W _{۱۱}	نبود فناوری صنعتی بومی برای فرآوری و جداسازی عناصر نادر خاکی	۰.۰۶۱	۱	۰.۰۶۱
W _{۱۲}	وابستگی به دانش فنی و تجهیزات خارجی در فرآوری REE	۰.۰۵۲	۱	۰.۰۵۲
W _{۱۳}	ضعف زیرساخت‌های صنعتی برای جداسازی شیمیایی عناصر نادر خاکی	۰.۰۴۸	۱	۰.۰۴۸
W _{۱۴}	کمبود واحدهای نیمه‌صنعتی و پایلوت فرآوری REE	۰.۰۳۲	۲	۰.۰۶۴
W _{۱۵}	محدودیت در فناوری‌های پیشرفته پالایش و خالص‌سازی	۰.۰۴۳	۱	۰.۰۴۳
W _{۱۶}	ضعف فناوری هیدرومتالورژی در فرآوری عناصر نادر خاکی	۰.۰۳۱	۲	۰.۰۶۲
W _{۱۷}	پیچیدگی کانی‌شناسی و دشواری فرآوری کانسارهای REE	۰.۰۲۷	۲	۰.۰۵۴
W _{۱۸}	پراکندگی و پایین بودن عیار اقتصادی برخی ذخایر	۰.۰۲۵	۲	۰.۰۵

ردیف	گویه نقاط ضعف (WEAK)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
W۱۹	محدود بودن تجربه صنعتی کشور در استخراج و فرآوری REE	۰.۰۱	۲	۰.۰۲
W۲۰	نبود فناوری بازیافت و استحصال ثانویه عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۴	۱	۰.۰۲۴
W۲۱	هزینه بالای استخراج، فرآوری و جداسازی REE	۰.۰۴۲	۲	۰.۰۸۴
W۲۲	طولانی بودن فرآیند تبدیل اکتشاف به تولید اقتصادی	۰.۰۲۸	۲	۰.۰۵۶
W۲۳	محدودیت تجهیزات تخصصی معدنی و فرآوری مرتبط با REE	۰.۰۳۴	۲	۰.۰۶۸
W۲۴	نبود قانون و چارچوب حقوقی تخصصی برای عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۱	۲	۰.۰۴۲
W۲۵	نبود استراتژی و سیاست ملی جامع در حوزه REE	۰.۰۴۱	۱	۰.۰۴۱
W۲۶	ضعف هماهنگی نهادی در سیاست‌گذاری مواد معدنی راهبردی	۰.۰۲۵	۲	۰.۰۵
W۲۷	محدود بودن سرمایه‌گذاری تخصصی و خطرپذیر در پروژه‌های REE	۰.۰۳۶	۲	۰.۰۷۲
W۲۸	ضعف تجاری‌سازی و ارتباط دانشگاه با صنعت در حوزه عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۹	۲	۰.۰۵۸
W۲۹	نبود زنجیره کامل ارزش افزوده و صنایع پایین‌دستی REE در کشور	۰.۰۵۸	۱	۰.۰۵۸
W۳۰	سهم پایین ایران در بازار جهانی و ضعف دیپلماسی معدنی بین‌المللی مرتبط با REE	۰.۰۵۲	۱	۰.۰۵۲
	مجموع	۱,۰۰۹	۱,۶۷	۱,۶۱۲

(منبع نگارندگان)

تحلیل عوامل خارجی (فرصت‌ها)

در تحلیل عوامل خارجی، همه فرصت‌ها و تهدیدها از نظر «اثر راهبردی» بر ژئواکونومی عناصر نادر خاکی ایران در یک سطح نیستند و ضرایب اهمیتی که به آن‌ها دادی، دقیقاً همین تفاوت را نشان

می‌دهد. در میان فرصت‌ها، پر اهمیت‌ترین گویه‌ها آن‌هایی هستند که مستقیماً به «ساختار بازار جهانی REE و امکان ورود ایران به زنجیره تأمین» مربوط می‌شوند؛ مثل رشد سریع بازار جهانی عناصر نادر خاکی (افزایش ارزش بازار تا حدود سه برابر تا ۲۰۳۳)، نیاز جهان به تنوع بخشی منابع تأمین و کاهش وابستگی به چین، و افزایش تقاضا در صنایع راهبردی مانند خودروهای برقی، انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های دیجیتال. این فرصت‌ها به این دلیل وزن بالاتری گرفته‌اند که اگر ایران بتواند ضعف‌های داخلی را مدیریت کند، همین متغیرها می‌توانند زمینه ورود پایدار به بازار جهانی و تبدیل REE به مزیت ژئواکونومیک پسانفت را فراهم کنند. در مقابل، فرصت‌هایی مثل «اقتصاد چرخشی»، «برخی اشکال همکاری‌های فناورانه بین‌المللی» یا «افزایش اهمیت کربن‌های ترانزیتی» اگرچه مثبت و مؤثرند، اما نقش آن‌ها بیشتر «تسهیل‌گر» است تا «تعیین‌کننده»، بنابراین در وزن‌دهی در سطح اهمیت متوسط یا پایین‌تر قرار می‌گیرند.

جدول ۵ فرصت‌ها

ردیف	گویه فرصت‌ها (Opportunity)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
O۱	رشد سریع بازار جهانی عناصر نادر خاکی در دهه آینده	۰.۰۴۴	۴	۰.۱۷۶
O۲	پیش‌بینی افزایش ارزش بازار جهانی REE از حدود ۱۲ میلیارد دلار به بیش از ۳۷ میلیارد دلار تا سال ۲۰۳۳	۰.۰۴	۴	۰.۱۶
O۳	نرخ رشد بالای سالانه بازار جهانی عناصر نادر خاکی	۰.۰۳۱	۴	۰.۱۲۴
O۴	افزایش تقاضای جهانی برای REE در فناوری‌های سبز و کم‌کربن	۰.۰۴۸	۴	۰.۱۹۲
O۵	توسعه سریع خودروهای برقی و هیبریدی در اقتصاد جهانی	۰.۰۴	۴	۰.۱۶
O۶	گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه توربین‌های بادی و سامانه‌های خورشیدی	۰.۰۳	۴	۰.۱۲
O۷	افزایش تقاضا برای آهنرباهای دائمی مبتنی بر Tb و Dy، Nd	۰.۰۳۳	۴	۰.۱۳۲
O۸	رشد صنایع باتری، ذخیره‌سازی انرژی و تجهیزات هوشمند	۰.۰۲۳	۳	۰.۰۶۹
O۹	توسعه اقتصاد دیجیتال، صنایع نیمه‌رسانا و فناوری‌های پیشرفته	۰.۰۲۵	۳	۰.۰۷۵



ردیف	گویه فرصت‌ها (Opportunity)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
010	افزایش کاربرد عناصر نادر خاکی در صنایع دفاعی و هوافضا	۰.۰۲۶	۳	۰.۰۷۸
011	رشد جهانی تقاضا برای عناصر نادر خاکی سنگین و بحرانی	۰.۰۳	۳	۰.۰۹
012	حرکت اقتصاد جهانی از سوخت‌های فسیلی به مواد معدنی راهبردی	۰.۰۳۸	۴	۰.۱۵۲
013	افزایش اهمیت مواد معدنی حیاتی در راهبردهای صنعتی کشورها	۰.۰۳	۴	۰.۱۲
014	توسعه اقتصاد چرخشی و فناوری‌های بازیافت عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۱	۳	۰.۰۶۳
015	پیشرفت فناوری‌های نوین اکتشاف، فرآوری و پالایش REE	۰.۰۲۵	۳	۰.۰۷۵
016	تلاش قدرت‌های غربی برای کاهش وابستگی به چین در تأمین REE	۰.۰۴۶	۴	۰.۱۸۴
017	افزایش نیاز جهانی به تنوع‌بخشی منابع تأمین عناصر نادر خاکی	۰.۰۴۲	۴	۰.۱۶۸
018	شکل‌گیری اتحادها و مشارکت‌های معدنی جدید در جهان	۰.۰۲۴	۳	۰.۰۷۲
019	افزایش رقابت ژئوپلیتیکی قدرت‌ها بر سر مواد معدنی حیاتی	۰.۰۲۹	۳	۰.۰۸۷
020	رشد سرمایه‌گذاری جهانی در حوزه مواد معدنی استراتژیک	۰.۰۳۴	۳	۰.۱۰۲
021	افزایش اهمیت امنیت معدنی در سیاست‌های اقتصادی کشورها	۰.۰۳۵	۴	۰.۱۴
022	افزایش ارزش ژئوپلیتیکی کشورهای دارای ذخایر عناصر نادر خاکی	۰.۰۳۳	۴	۰.۱۳۲
023	ایجاد فرصت برای ورود بازیگران جدید به زنجیره جهانی تأمین REE	۰.۰۳۵	۳	۰.۱۰۵
024	افزایش اهمیت کریدورهای ترانزیتی اوراسیا در تجارت مواد معدنی	۰.۰۲۶	۳	۰.۰۷۸
025	امکان تبدیل عناصر نادر خاکی به مزیت ژئوآکونومیک ایران در دوران پسانفت	۰.۰۷۵	۴	۰.۳
026	ظرفیت کاهش وابستگی اقتصاد ایران به درآمدهای نفتی از طریق توسعه REE	۰.۰۶	۴	۰.۲۴

ردیف	گویه فرصت‌ها (Opportunity)	ضریب اهمیت	نمرع عملکرد	نمره کل
0۲۷	امکان ورود ایران به زنجیره جهانی تأمین و تجارت عناصر نادر خاکی	۰.۰۵	۳	۰.۱۵
0۲۸	قابلیت توسعه صنایع پایین‌دستی دانش‌بنیان و ایجاد ارزش افزوده داخلی	۰.۰۴	۳	۰.۱۲
0۲۹	امکان جذب سرمایه‌گذاری، انتقال فناوری و همکاری‌های علمی-فناورانه بین‌المللی در حوزه REE	۰.۰۴	۳	۰.۱۲
0۳۰	بازآرایی زنجیره تأمین جهانی مواد معدنی راهبردی	۰.۰۲۹	۴	۰.۱۱۶
	مجموع	۱.۰۸۲	۳,۵۳	۳.۹

(منبع نگارندگان)

تحلیل عوامل خارجی (تهدیدها)

در سوی دیگر، تهدیدهای پر اهمیت آن‌هایی هستند که می‌توانند مستقیماً «دسترسی ایران به فناوری، بازار و جایگاه ژئواکونومیک» را محدود کنند. در این میان، سلطه چین بر زنجیره جهانی عناصر نادر خاکی (از استخراج تا فرآوری و قیمت‌گذاری) مهم‌ترین تهدید شناسایی شده و بالاترین وزن را گرفته، زیرا هر بازیگر جدیدی ناگزیر باید با این انحصار رقابت یا آن را دور بزند. پس از آن، تحریم‌های اقتصادی و مالی، محدودیت انتقال فناوری، انحصار فناوری‌های پیشرفته فرآوری و جداسازی، و ریسک حذف از زنجیره جهانی ارزش از تهدیدهای با اهمیت بالا هستند، چون می‌توانند عملاً مسیر صنعتی شدن REE در ایران را مسدود یا بسیار پرهزینه کنند. در مقابل، تهدیدهایی مانند «نوسانات قیمت جهانی»، «رقابت سایر کشورهای دارای ذخایر»، «فشارهای زیست‌محیطی و حقوق بشری» یا «احتمال شکل‌گیری کارتل‌های معدنی» در سطح اهمیت متوسط قرار می‌گیرند؛ این‌ها می‌توانند شرایط را سخت‌تر کنند، اما به اندازه تحریم و انحصار فناوری، مستقیماً مانع ورود ایران به زنجیره ارزش نمی‌شوند. به‌طور خلاصه، در محیط خارجی، آن دسته از فرصت‌ها و تهدیدها پر اهمیت‌ترند که مستقیماً بر دسترسی به بازار، فناوری و نقش ایران در زنجیره جهانی REE اثر می‌گذارند و سایر عوامل در لایه

دوم اهمیت قرار می‌گیرند.

جدول ۶ تهدیدها

ردیف	گویه تهدید (THREAT)	ضرب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
T1	سلطه چین بر زنجیره جهانی تولید، فرآوری و تجارت عناصر نادر خاکی	۰.۰۶۴	۱	۰.۰۶۴
T2	سهم بالای چین در تولید و عرضه جهانی REE	۰.۰۴۱	۱	۰.۰۴۱
T3	تمرکز ظرفیت پالایش و جداسازی عناصر نادر خاکی در شرق آسیا	۰.۰۳۹	۱	۰.۰۳۹
T4	انحصار فناوری‌های پیشرفته فرآوری و جداسازی در چند کشور محدود	۰.۰۴۸	۱	۰.۰۴۸
T5	وابستگی بازار جهانی REE به سیاست‌های صادراتی چین	۰.۰۴۳	۱	۰.۰۴۳
T6	استفاده ژئوپلیتیکی از صادرات عناصر نادر خاکی توسط قدرت‌های بزرگ	۰.۰۳۶	۲	۰.۰۷۲
T7	رقابت فزاینده قدرت‌های جهانی بر سر کنترل منابع معدنی راهبردی	۰.۰۳۱	۲	۰.۰۶۲
T8	شکل‌گیری جنگ ژئواکونومیک میان قدرت‌های بزرگ در حوزه مواد حیاتی	۰.۰۳۴	۲	۰.۰۶۸
T9	احتمال شکل‌گیری کارتل‌ها و ائتلاف‌های معدنی در بازار جهانی REE	۰.۰۲۱	۲	۰.۰۴۲
T10	تمرکز بازار جهانی در دست شرکت‌های بزرگ و فراملی معدنی	۰.۰۲۴	۲	۰.۰۴۸
T11	افزایش ملی‌گرایی منابع و محدودیت دسترسی به مواد معدنی راهبردی	۰.۰۲۸	۲	۰.۰۵۶
T12	رقابت شدید کشورهای دارای ذخایر و فناوری پیشرفته در بازار جهانی REE	۰.۰۳۳	۲	۰.۰۶۶
T13	افزایش رقابت جهانی برای جذب سرمایه‌گذاری معدنی و فناوریانه	۰.۰۲۶	۲	۰.۰۵۲

ردیف	گویه تهدید (THREAT)	ضریب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
T14	ریسک حذف یا حاشیه‌ای شدن ایران در زنجیره جهانی ارزش REE	۰.۰۵۲	۱	۰.۰۵۲
T15	ناامنی و شکنندگی زنجیره تأمین جهانی عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۷	۲	۰.۰۵۴
T16	تحریم‌های اقتصادی و مالی علیه ایران در حوزه معدن و فناوری	۰.۰۶۳	۱	۰.۰۶۳
T17	محدودیت انتقال فناوری‌های پیشرفته فرآوری و پالایش به ایران	۰.۰۵۴	۱	۰.۰۵۴
T18	دشواری دسترسی به تجهیزات تخصصی معدنی و فرآوری REE	۰.۰۳۸	۲	۰.۰۷۶
T19	وابستگی فناوری‌های نوین REE به تعداد محدودی از کشورها	۰.۰۳۱	۲	۰.۰۶۲
T20	ریسک عقب‌ماندگی فناورانه ایران در رقابت جهانی REE	۰.۰۴۶	۱	۰.۰۴۶
T21	نوسانات شدید قیمت جهانی عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۸	۲	۰.۰۵۶
T22	بی‌ثباتی بازار جهانی مواد معدنی حیاتی تحت تأثیر تحولات ژئواکونومیک	۰.۰۲۶	۲	۰.۰۵۲
T23	احتمال غیراقتصادی شدن برخی ذخایر در شرایط افت قیمت جهانی	۰.۰۲	۲	۰.۰۴
T24	دشواری جذب سرمایه خارجی در پروژه‌های معدنی ایران	۰.۰۴۱	۱	۰.۰۴۱
T25	ریسک وابستگی به بازارهای محدود صادراتی و تجاری	۰.۰۲۲	۲	۰.۰۴۴
T26	هزینه‌های بالای زیست‌محیطی استخراج و فرآوری عناصر نادر خاکی	۰.۰۲۵	۲	۰.۰۵
T27	وجود عناصر رادیواکتیو مانند توریم و اورانیوم در برخی کانسنگ‌های REE	۰.۰۱۸	۲	۰.۰۳۶
T28	فشارهای زیست‌محیطی و استانداردهای بین‌المللی سخت‌گیرانه در پروژه‌های معدنی	۰.۰۲۱	۲	۰.۰۴۲
T29	رقابت ژئوپلیتیکی بر سر کریدورها و مسیرهای انتقال مواد معدنی راهبردی	۰.۰۲۳	۲	۰.۰۴۶

ردیف	گویه تهدید (THREAT)	ضرب اهمیت	نمره عملکرد	نمره کل
T30	احتمال جایگزینی برخی فناوری‌های مبتنی بر REE با فناوری‌های نوظهور جایگزین	۰.۰۱۷	۲	۰.۰۳۴
	مجموع	۱.۰۲	۱,۶۷	۱.۵۴۹

(منبع نمره عملکرد)

در بخش عوامل خارجی نیز نتایج به دست آمده از اهمیت بالایی برخوردار است. امتیاز ۳/۹ برای فرصت‌ها در برابر امتیاز ۱/۵۴ برای تهدیدها نشان می‌دهد که محیط بین‌المللی بیش از آنکه تهدیدآمیز باشد، برای ایران فرصت‌محور است. این مسئله از تحولات بنیادین نظام اقتصاد جهانی و افزایش اهمیت مواد معدنی حیاتی در دهه‌های اخیر ناشی می‌شود.

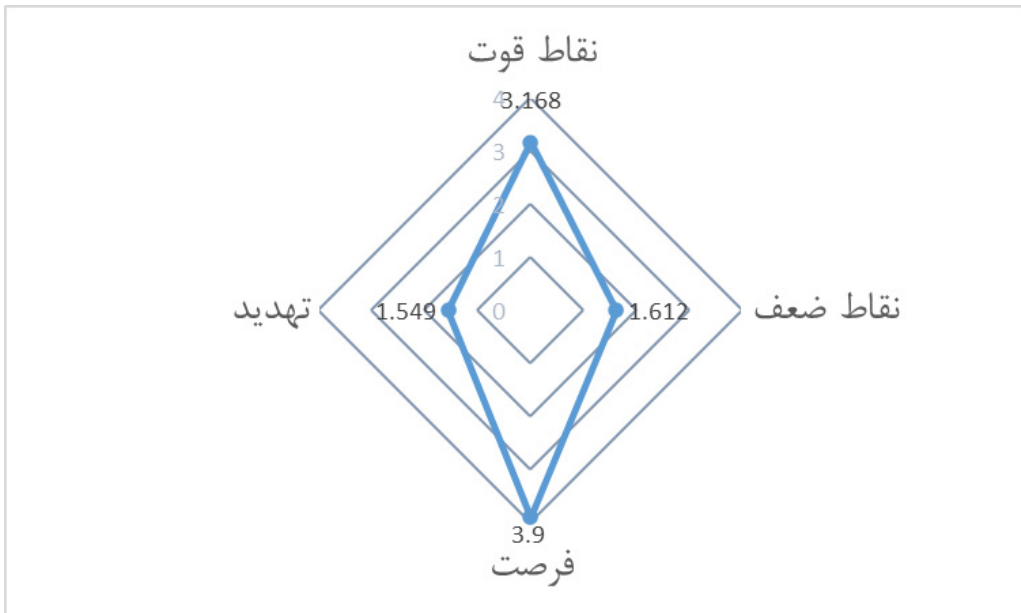
ارزیابی موقعیت ژئواکونومیک ایران بر اساس امتیازات نهایی مدل SWOT-TOWS عناصر نادر خاکی

بر اساس نمودار شماره ۴، مقایسه مجموع نمرات نهایی چهار مؤلفه تحلیل TOWS نشان می‌دهد که فرصت‌ها با امتیاز ۳/۹۰ بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع بیانگر آن است که محیط خارجی، به‌ویژه در سطح ژئواکونومیک و بازار جهانی عناصر نادر خاکی، شرایطی بسیار مساعد و فرصت‌محور برای ایران فراهم کرده است. روندهای جهانی مانند رشد سریع تقاضا، گذار انرژی، افزایش اهمیت مواد معدنی حیاتی و تلاش کشورها برای تنوع‌بخشی منابع تأمین، نقش تعیین‌کننده‌ای در تقویت این بُعد ایفا می‌کنند. در رتبه بعد، نقاط قوت داخلی با امتیاز ۳/۱۶ قرار دارند که نشان‌دهنده وجود ظرفیت‌های قابل توجه زمین‌شناسی، ژئواکونومیک، علمی و ژئوپلیتیکی در کشور است. این مقدار حاکی از آن است که ایران از منظر پتانسیل منابع و موقعیت راهبردی، توان لازم برای بهره‌برداری از فرصت‌های خارجی را داراست، هرچند این ظرفیت‌ها هنوز به‌طور کامل به قدرت اقتصادی بالفعل تبدیل نشده‌اند. در مقابل، نقاط ضعف با امتیاز ۱/۶۱ و تهدیدها با امتیاز ۱/۵۴ در سطوح پایین‌تری قرار گرفته‌اند. پایین بودن امتیاز تهدیدها نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود چالش‌های مهمی مانند سلطه

چین بر زنجیره جهانی REE، تحریم‌ها و محدودیت انتقال فناوری، شدت اثرگذاری آن‌ها در مقایسه با فرصت‌های موجود کمتر ارزیابی شده است. همچنین امتیاز نقاط ضعف بیانگر وجود کاستی‌های ساختاری و فناورانه، به‌ویژه در حوزه فرآوری، زنجیره ارزش و حکمرانی معدنی است که مانع اصلی تبدیل پتانسیل به مزیت رقابتی پایدار محسوب می‌شوند. در مجموع، شکل هندسی نمودار و برتری هم‌زمان قوت‌ها و فرصت‌ها نشان می‌دهد که موقعیت راهبردی ایران در ربع تهاجمی (SO) قرار دارد. این وضعیت تأکید می‌کند که اتخاذ راهبردهای تهاجمی مبتنی بر استفاده فعال از ظرفیت‌های داخلی برای بهره‌برداری حداکثری از فرصت‌های جهانی، منطقی‌ترین و کارآمدترین مسیر برای توسعه ژئوآکونومی عناصر نادر خاکی ایران است.

نمودار ۴ نمودار مقایسه‌ای امتیازات نهایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید در تحلیل TOWS عناصر نادر

خاکی ایران



(منبع نگارندگان)

بررسی هم‌زمان نتایج عوامل داخلی و خارجی نشان می‌دهد که ایران در موقعیت راهبردی SO

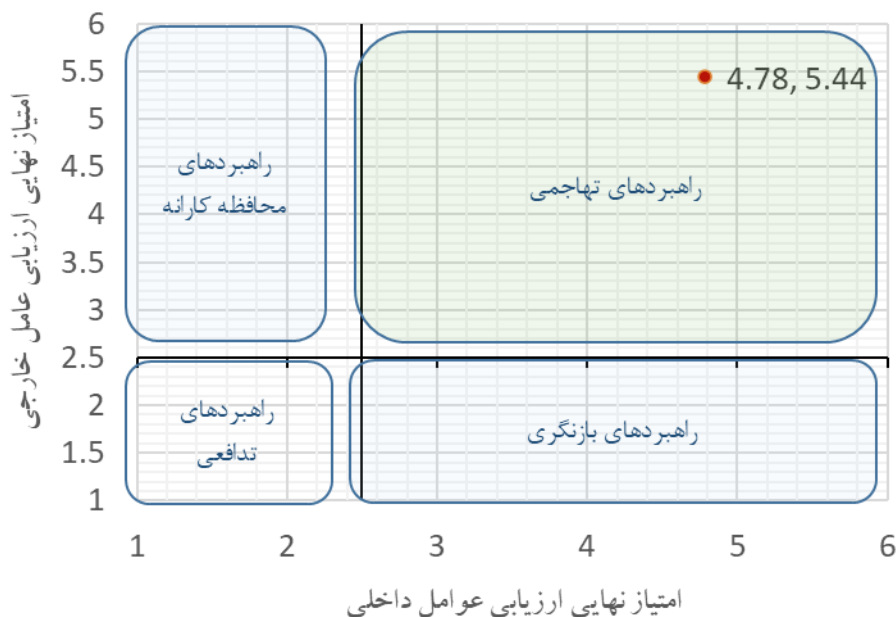
یا راهبرد تهاجمی قرار دارد. این موقعیت زمانی شکل می‌گیرد که یک کشور هم از قوت‌های داخلی قابل توجه برخوردار باشد و هم در محیط خارجی با فرصت‌های گسترده مواجه شود. قرار گرفتن ایران در این وضعیت بدان معناست که کشور می‌تواند از ظرفیت‌های داخلی خود برای بهره‌برداری حداکثری از فرصت‌های جهانی استفاده کند. در واقع، ذخایر عناصر نادر خاکی، موقعیت جغرافیایی ایران در کریدورهای ارتباطی اوراسیا، دسترسی به بازارهای منطقه‌ای و ظرفیت‌های معدنی موجود، این امکان را فراهم می‌سازد که ایران در آینده به یکی از بازیگران مهم ژئواکونومی مواد معدنی حیاتی تبدیل شود. افزون بر این، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که عناصر نادر خاکی می‌توانند در دوران پس‌انفت، به یکی از پایه‌های جدید قدرت اقتصادی و ژئواکونومیک ایران تبدیل شوند و بخشی از وابستگی تاریخی اقتصاد کشور به صادرات نفت و گاز را کاهش دهند. با این حال، اگرچه نتایج به طور کلی بیانگر موقعیت مطلوب ایران در این حوزه است، اما تداوم این مزیت و تبدیل آن به قدرت واقعی اقتصادی و ژئوپلیتیکی، مستلزم رفع موانع ساختاری موجود است. چنانچه توسعه فناوری‌های فرآوری و پالایش، تکمیل زنجیره ارزش افزوده، جذب سرمایه‌گذاری تخصصی، تقویت همکاری میان دانشگاه و صنعت، توسعه دیپلماسی معدنی و تدوین راهبرد ملی مواد معدنی راهبردی مورد توجه قرار نگیرد، این احتمال وجود دارد که ایران صرفاً در جایگاه صادرکننده مواد خام باقی بماند و نتواند سهم مؤثری از ارزش افزوده جهانی عناصر نادر خاکی کسب کند. از این رو، آینده ژئواکونومی عناصر نادر خاکی ایران بیش از هر چیز وابسته به توان کشور در تبدیل مزیت‌های طبیعی به ظرفیت‌های فناورانه، صنعتی و راهبردی خواهد بود. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ایران در یکی از مهم‌ترین مقاطع تاریخی برای ورود به اقتصاد جهانی مواد معدنی حیاتی قرار گرفته است و در صورت اتخاذ سیاست‌های هدفمند و توسعه زیرساخت‌های فناورانه و صنعتی، می‌تواند جایگاه قابل توجهی در نظم جدید ژئواکونومیک جهان به دست آورد.

نمودار شماره ۵ نشان می‌دهد نتایج حاصل از ترسیم محور SWOT و قرارگیری مختصات نهایی ایران در حوزه عناصر نادر خاکی نشان می‌دهد که کشور در موقعیتی کاملاً تهاجمی و فرصت‌محور قرار گرفته است. امتیاز نهایی عوامل داخلی با مقدار ۵,۴۴ بسیار بالاتر از حد متوسط ۲,۵ بوده و

نشان‌دهنده آن است که ایران از منظر منابع، ذخایر زمین‌شناسی، موقعیت ژئوپلیتیکی، ظرفیت نیروی انسانی تخصصی و تنوع ساختاری معدنی، مزیت‌های برجسته‌ای در اختیار دارد. چنین عددی بیانگر آن است که نقاط قوت ایران نه تنها از ضعف‌ها سبقت گرفته‌اند، بلکه به سطحی رسیده‌اند که می‌توانند پایه‌ای مطمئن برای ورود به زنجیره جهانی عناصر نادر خاکی فراهم کنند. این وضعیت نشان می‌دهد که کشور از نظر ظرفیت‌های درونی برای ورود به عرصه رقابت جهانی، در شرایطی قدرتمند و آماده‌به‌کار قرار دارد. از سوی دیگر، امتیاز عوامل خارجی با مقدار ۴,۷۸ نیز در محدوده‌ای بسیار بالاتر از حد مبنا قرار می‌گیرد که خود نشان‌دهنده فضای بین‌المللی مساعد و سرشار از فرصت برای ایران است. افزایش سریع تقاضای جهانی برای عناصر نادر خاکی، تنوع‌بخشی زنجیره‌های تأمین در دوره رقابت آمریکا و چین، رشد صنایع انرژی‌های نو، توسعه خودروهای برقی و نیاز فزاینده صنایع پیشرفته به عناصر حیاتی، محیطی را شکل داده که برای ایران بیش از هر زمان دیگر فرصت‌آفرین است. چنین امتیازی بیانگر آن است که محیط جهانی نه یک محیط تهدیدزا، بلکه بستری بسیار مناسب برای تقویت موقعیت ژئوآکونومیک ایران فراهم کرده است. قرارگیری نقطه نهایی ایران با مختصات $(X=5,44, Y=4,78)$ در ربع اول نمودار، به‌وضوح نشان می‌دهد که ایران در موقعیت «راهبرد تهاجمی» یا همان وضعیت SO قرار دارد. این موقعیت در ادبیات ژئوآکونومیک زمانی شکل می‌گیرد که یک کشور همزمان دارای ظرفیت‌های داخلی قوی و فرصت‌های خارجی گسترده باشد. حضور در این ربع به این معناست که ایران باید از قوت‌های برجسته خود برای بهره‌برداری حداکثری از فرصت‌های جهانی استفاده کند. با توجه به ذخایر بالقوه عناصر نادر خاکی، موقعیت جغرافیایی ممتاز در کریدورهای ارتباطی اوراسیا، دسترسی به بازارهای منطقه‌ای و نیاز فزاینده جهان به منابع جایگزین، ایران در شرایطی قرار گرفته که در صورت اتخاذ سیاست‌های هدفمند و ارتقای فناوری‌های فرآوری، می‌تواند نقشی تعیین‌کننده در زنجیره جهانی عناصر نادر خاکی ایفا کند. با این حال، دستیابی به این جایگاه نیازمند رفع موانع ساختاری و فناورانه موجود است. اگرچه مزیت‌های معدنی و ژئوپلیتیکی ایران بسیار چشمگیر هستند، اما نبود فناوری فرآوری پیشرفته، عدم تکمیل زنجیره ارزش افزوده، ضعف سیاست‌گذاری یکپارچه و کمبود سرمایه‌گذاری‌های هدفمند، از جمله چالش‌هایی هستند که باید برطرف شوند تا این موقعیت تهاجمی

به قدرت ژئواکونومیک واقعی تبدیل گردد. در مجموع، تحلیل محور SWOT نشان می‌دهد که ایران در یکی از مهم‌ترین مقاطع تاریخی خود برای ورود فعال به بازار مواد معدنی حیاتی قرار گرفته است. اگر سیاست‌گذاری ملی بر توسعه فناوری، جذب سرمایه‌گذاری، شکل‌دهی صنایع پایین‌دستی، و تقویت دیپلماسی معدنی متمرکز شود، عناصر نادر خاکی می‌توانند یکی از پایه‌های اصلی اقتصاد پسانفت تبدیل شوند و جایگاه ژئواکونومیک ایران را در نظام بین‌الملل ارتقا دهند.

نمودار ۵ نمودار موقعیت‌یابی راهبردی ایران در چارچوب ماتریس TOWS عناصر نادر خاکی (منبع نگارندگان)



ماتریس ترکیبی TOWS و استخراج راهبردهای ژئواکونومیک عناصر نادر خاکی ایران

در این بخش، با ترکیب و ضرب متقاطع عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و عوامل خارجی (شامل فرصت‌ها و تهدیدها)، ماتریس تلفیقی TOWS تشکیل شده است. هدف از این تحلیل، استخراج چهار دسته راهبرد اساسی شامل راهبردهای تهاجمی (SO)، راهبردهای تنوع‌بخشی یا مقابله‌ای (ST)،

راهبردهای بازنگری یا انطباقی (WO) و راهبردهای تدافعی (WT) است. این فرآیند امکان می‌دهد تا بر مبنای تعامل میان ظرفیت‌های درونی و شرایط محیط بین‌المللی، مسیرهای اجرایی و سیاستی مناسب برای توسعه ژئواکونومی عناصر نادر خاکی ایران شناسایی شود. به عبارت دیگر، ماتریس TOWS با تلفیق ابعاد درونی و بیرونی، چارچوبی علمی برای تعیین نوع راهبرد ملی در جهت بهره‌گیری از فرصت‌های جهانی و مدیریت چالش‌های فناورانه و ساختاری کشور فراهم می‌سازد.

جدول ۷ راهبردهای SO و WO استخراج‌شده در چارچوب ماتریس تلفیقی TOWS

نقاط ضعف (W) (کاهش ضعف‌ها) استراتژی‌های بازنگری یا انطباقی (WO حداقل - حداکثر)	نقاط قوت (S) (بهره‌برداری از قوت‌ها) استراتژی‌های نوآورانه و تهاجمی با رویکرد تاب‌آوری (SO حداکثر-حداکثر)	TOWS عوامل خارجی
<p>۱. جذب سرمایه و فناوری خارجی برای جبران ضعف زیرساخت‌های فرآوری و جداسازی عناصر نادر خاکی.</p> <p>۲. استفاده از افزایش تقاضای جهانی برای تأمین مالی پروژه‌های اکتشاف سیستماتیک در ایران.</p> <p>۳. بهره‌گیری از رقابت جهانی برای تنوع‌بخشی منابع تأمین به‌منظور انتقال دانش فنی و فناوری‌های پیشرفته فرآوری.</p> <p>۴. استفاده از رشد بازار جهانی REE برای تکمیل زنجیره ارزش افزوده داخلی و کاهش خام‌فروشی.</p> <p>۵. توسعه همکاری دانشگاه و صنعت با هدف تجاری‌سازی دانش فنی موجود در حوزه استحصال و فرآوری.</p> <p>۶. استفاده از فرصت توسعه اقتصاد سبز جهانی برای ایجاد واحدهای پایلوت و نیمه‌صنعتی فرآوری.</p> <p>۷. تدوین استراتژی ملی عناصر نادر خاکی با توجه به افزایش اهمیت جهانی مواد معدنی حیاتی.</p> <p>۸. جذب مشارکت شرکت‌های بین‌المللی معدنی برای جبران کمبود تجهیزات و فناوری تخصصی.</p> <p>۹. استفاده از توسعه فناوری‌های نوین اکتشاف برای رفع کمبود داده‌های دقیق ذخایر.</p>	<p>۱. استفاده از موقعیت ژئوپلیتیکی ایران و قرارگیری در کریدورهای ترانزیتی برای تبدیل کشور به هاب منطقه‌ای تجارت و فرآوری عناصر نادر خاکی در شرایط تنوع‌بخشی زنجیره تأمین جهانی.</p> <p>۲. بهره‌برداری از تنوع ساختارهای زمین‌شناسی و ذخایر بالقوه REE برای ورود به بازار جهانی مواد معدنی حیاتی همزمان با رشد شدید تقاضای جهانی.</p> <p>۳. استفاده از ظرفیت علمی و نیروی انسانی متخصص کشور برای توسعه صنایع پایین‌دستی دانش‌بنیان مانند آهن‌بای‌های دائم، باتری و تجهیزات انرژی پاک.</p> <p>۴. تبدیل عناصر نادر خاکی به مزیت ژئواکونومیک جدید ایران در دوران گذار جهانی از اقتصاد نفت‌محور به اقتصاد مواد معدنی راهبردی.</p> <p>۵. استفاده از مطالعات اکتشافی و داده‌های زمین‌شناسی موجود برای جذب سرمایه‌گذاری خارجی در فضای رقابت جهانی بر سر منابع حیاتی.</p> <p>۶. توسعه همکاری‌های فناورانه با کشورهای نیازمند منابع جایگزین چین با اتکا به ذخایر بالقوه ایران.</p> <p>۷. استفاده از ظرفیت کربن‌اتیت‌ها و کانسارهای آهن-آپاتیت ایران برای تأمین بخشی از نیاز صنایع سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر جهان.</p> <p>۸. تقویت دیپلماسی معدنی ایران از طریق بهره‌گیری از افزایش اهمیت ژئوپلیتیکی مواد معدنی حیاتی.</p>	<p>فرصت‌ها (O) (بهره‌گیری از فرصت‌ها)</p>

جدول ۸ راهبردهای ST و WT استخراج شده در چارچوب ماتریس تلفیقی TOWS

نقاط ضعف (W) (کاهش ضعف‌ها) استراتژی‌های تدافعی (WT حداقل-حداقل)	نقاط قوت (S) (بهره‌برداری از قوت‌ها) استراتژی‌های تنوع‌بخشی و تهاجمی (ST حداکثر-حداقل)	TOWS عوامل خارجی
۱. کاهش وابستگی به فناوری خارجی برای جلوگیری از توقف پروژه‌ها در شرایط تحریم و محدودیت انتقال فناوری. ۲. ایجاد نظام جامع اطلاعات معدنی جهت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از رقابت جهانی و تصمیم‌گیری‌های نادرست. ۳. تدوین چارچوب حقوقی و استراتژی ملی REE برای جلوگیری از عقب‌ماندگی ایران در رقابت جهانی مواد معدنی حیاتی. ۴. توسعه فناوری‌های زیست‌محیطی و مدیریت پسماند برای کاهش ریسک فشارهای بین‌المللی زیست‌محیطی. ۵. تقویت سرمایه‌گذاری داخلی برای کاهش وابستگی به سرمایه خارجی در شرایط بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی. ۶. تکمیل زنجیره ارزش داخلی به‌منظور جلوگیری از حذف ایران از بازار جهانی و وابستگی به خام‌فروشی. ۷. ارتقای توان صنعتی و فرآوری برای مقابله با سلطه چین بر بازار جهانی عناصر نادر خاکی. ۸. کاهش پراکندگی نهادی و ضعف هماهنگی سازمانی برای افزایش سرعت واکنش به تحولات جهانی بازار REE. ۹. توسعه فناوری بازیافت عناصر نادر خاکی برای کاهش وابستگی به واردات و مقابله با ناامنی زنجیره تأمین جهانی.	۱. استفاده از ظرفیت علمی و تحقیقاتی داخلی برای کاهش وابستگی به فناوری فرآوری تحت سلطه چین. ۲. بهره‌گیری از موقعیت ژئوپلیتیکی ایران برای کاهش اثر حذف احتمالی از زنجیره جهانی تأمین ناشی از تحریم‌ها. ۳. توسعه توان داخلی فرآوری و جداسازی برای مقابله با انحصار جهانی فناوری عناصر نادر خاکی. ۴. استفاده از ذخایر متنوع و پراکنده کشور برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر نوسانات بازار جهانی. ۵. تقویت همکاری‌های منطقه‌ای معدنی برای مقابله با رقابت ژئوپلیتیکی قدرت‌های بزرگ بر سر مواد معدنی حیاتی. ۶. توسعه فناوری‌های بومی کم‌هزینه و پاک برای کاهش فشارهای زیست‌محیطی و محدودیت‌های بین‌المللی. ۷. استفاده از ظرفیت دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی جهت کاهش عقب‌ماندگی فناورانه در مقایسه با بازیگران بزرگ جهانی. ۸. افزایش قدرت چانه‌زنی ژئواکونومیک ایران از طریق فعال‌سازی ذخایر راهبردی REE.	تهدیدها (T) (مقابله با تهدیدها)

(منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، چارچوب نظری و مبانی مفهومی ژئواکونومی عناصر نادر خاکی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مفهوم ژئواکونومی به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین در تحلیل روابط بین‌الملل و اقتصاد سیاسی جهانی تبیین شد و نقش ابزارهای اقتصادی در پیشبرد اهداف راهبردی دولت‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. در ادامه، جایگاه منابع طبیعی به‌ویژه مواد معدنی راهبردی در ساختار قدرت اقتصادی و فناوری کشورها بررسی شد و تحول تاریخی اهمیت منابع از مواد خام سنتی تا مواد معدنی حیاتی در اقتصاد دانش‌بنیان تشریح گردید. در این چارچوب، عناصر نادر خاکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گروه‌های مواد معدنی راهبردی در عصر فناوری‌های پیشرفته معرفی شدند؛ عناصری که در طیف گسترده‌ای از صنایع پیشرفته از جمله الکترونیک، فناوری‌های دیجیتال، صنایع دفاعی، انرژی‌های تجدیدپذیر، خودروهای برقی و تجهیزات پزشکی کاربرد دارند. همچنین در این فصل با بررسی توزیع جغرافیایی ذخایر و تولید جهانی این عناصر، ساختار زنجیره تأمین جهانی و رقابت ژئواکونومیک میان قدرت‌های بزرگ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این بخش نشان داد که سلطه چین بر بخش عمده استخراج و به‌ویژه فرآوری عناصر نادر خاکی، این مواد را به یکی از ابزارهای مهم قدرت ژئواکونومیک در نظام بین‌الملل تبدیل کرده است. در همین راستا، تلاش کشورهای صنعتی برای تنوع‌بخشی منابع تأمین، کاهش وابستگی به چین و ایجاد زنجیره‌های تأمین امن، بیانگر اهمیت فزاینده این عناصر در اقتصاد جهانی و سیاست‌های راهبردی کشورها است.

در این راستا ظرفیت‌های زمین‌شناسی و روند شناخت و اکتشاف عناصر نادر خاکی در ایران مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های زمین‌ساختی و متالورژی ایران به‌عنوان یکی از مناطق مهم کانه‌زایی جهان تشریح شد. قرارگیری ایران در کمربند کوهزایی آلپ-همیمالیا و تنوع ساختاری و زمین‌شناسی آن، شرایط مناسبی را برای شکل‌گیری طیف گسترده‌ای از ذخایر معدنی فراهم کرده است. در ادامه، روند تاریخی شناخت عناصر نادر خاکی در ایران از مرحله شناسایی غیرمستقیم در مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی تا مرحله انجام پژوهش‌های تخصصی و مطالعات کاربردی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مهم‌ترین محیط‌های زمین‌شناسی مستعد این عناصر در کشور، از جمله کانسارهای آهن-آپاتیت،

سیستم‌های مرتبط با ماگماتیسم قلیایی، پگماتیت‌ها و برخی واحدهای فسفا ته معرفی شدند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که مناطقی مانند ناحیه متالورژی بافق در ایران مرکزی از مهم‌ترین مناطق دارای پتانسیل عناصر نادر خاکی به شمار می‌روند. علاوه بر بررسی پتانسیل‌های زمین‌شناسی، در این فصل به چارچوب حقوقی و مقرراتی مرتبط با اکتشاف و بهره‌برداری از عناصر نادر خاکی نیز پرداخته شد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که با وجود ظرفیت‌های زمین‌شناسی قابل توجه، توسعه این حوزه در ایران هنوز در مراحل اولیه قرار دارد و نبود سیاست‌گذاری تخصصی، ضعف در زیرساخت‌های فناورانه و نبود چارچوب نهادی مشخص برای مدیریت مواد معدنی راهبردی از جمله چالش‌های اصلی در مسیر توسعه این بخش محسوب می‌شود.

در ادامه با بهره‌گیری از مدل تحلیلی SWOT و ماتریس ترکیبی TOWS، وضعیت ژئواکونومیک عناصر نادر خاکی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا، مجموعه‌ای از عوامل داخلی شامل نقاط قوت و ضعف و عوامل خارجی شامل فرصت‌ها و تهدیدها شناسایی و بر اساس ضرایب اهمیت و امتیاز عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تحلیل نشان داد که امتیاز نقاط قوت داخلی به‌طور قابل توجهی بالاتر از نقاط ضعف بوده و بیانگر وجود ظرفیت‌های مهمی همچون تنوع زمین‌شناسی، وجود پهنه‌های معدنی مستعد، موقعیت ژئوپلیتیکی ممتاز در کریدورهای ارتباطی منطقه‌ای و دسترسی به نیروی انسانی متخصص است. از سوی دیگر، در بخش عوامل خارجی نیز فرصت‌های موجود در محیط بین‌المللی، به‌ویژه افزایش تقاضای جهانی برای عناصر نادر خاکی، گذار جهانی به انرژی‌های پاک، رشد صنایع پیشرفته و تلاش کشورها برای تنوع‌بخشی به منابع تأمین، نسبت به تهدیدهای موجود برتری قابل توجهی نشان دادند. بر اساس نتایج حاصل از این تحلیل، موقعیت راهبردی ایران در ربع تهاجمی (SO) قرار می‌گیرد؛ وضعیتی که بیانگر هم‌زمانی قوت‌های داخلی قابل توجه با فرصت‌های گسترده در محیط خارجی است. این شرایط نشان می‌دهد که ایران در صورت اتخاذ سیاست‌های هدفمند و راهبردی می‌تواند از ظرفیت‌های داخلی خود برای بهره‌برداری از فرصت‌های جهانی بهره‌گیرد. با این حال، تحقق این هدف مستلزم رفع برخی موانع ساختاری از جمله توسعه فناوری‌های پیشرفته فرآوری و جداسازی عناصر نادر خاکی، تکمیل زنجیره ارزش افزوده، جذب سرمایه‌گذاری

تخصصی، تقویت ارتباط میان دانشگاه و صنعت، و تدوین راهبرد ملی برای مدیریت مواد معدنی راهبردی است. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که عناصر نادر خاکی می‌توانند در آینده به یکی از پایه‌های مهم قدرت اقتصادی و ژئواکونومیک ایران در دوران پسانفت تبدیل شوند و در صورت برنامه‌ریزی مناسب، زمینه ارتقای جایگاه کشور در زنجیره جهانی مواد معدنی حیاتی را فراهم سازند. از این رو با توجه به راهبرد تهاجمی پیشنهاد می‌شود:

۱- با توجه به موقعیت ژئوپلیتیکی ایران و قرارگیری در کریدورهای ترانزیتی، برای تبدیل کشور ایران به هاب منطقه‌ای تجارت و فرآوری عناصر نادر خاکی در شرایط تنوع‌بخشی زنجیره تأمین جهانی اقدام کرد.

۲- بهره‌برداری هرچه بیشتر از تنوع ساختارهای زمین‌شناسی و ذخایر بالقوه REE برای ورود به بازار جهانی مواد معدنی حیاتی همزمان با رشد شدید تقاضای جهانی.

۳- استفاده از ظرفیت علمی و نیروی انسانی متخصص کشور برای توسعه صنایع پایین‌دستی دانش‌بنیان مانند آهن‌رباهای دائم، باتری و تجهیزات انرژی پاک.

۴- تبدیل عناصر نادر خاکی به مزیت ژئواکونومیک جدید ایران در دوران گذار جهانی از اقتصاد نفت‌محور به اقتصاد مواد معدنی راهبردی.

۵- استفاده از مطالعات اکتشافی و داده‌های زمین‌شناسی موجود برای جذب سرمایه‌گذاری خارجی در فضای رقابت جهانی بر سر منابع حیاتی.

۶- توسعه همکاری‌های فناورانه با کشورهای نیازمند منابع جایگزین چین با اتکا به ذخایر بالقوه ایران.

۷- استفاده از ظرفیت کربناتیت‌ها و کانسارهای آهن-آپاتیت ایران برای تأمین بخشی از نیاز صنایع سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر جهان.

۸- تقویت دیپلماسی معدنی ایران از طریق بهره‌گیری از افزایش اهمیت ژئوپلیتیکی مواد معدنی حیاتی.

منابع و ماخذ

الف) فارسی

- ونکن. (۱۳۹۹) مقدمه‌ای بر عناصر نادر خاکی (م. یزدی و ف. حداد، مترجمان). جهاد دانشگاهی
- ویسه، س. (۱۳۹۶). اکتشاف عناصر نادر خاکی (REEs) در ایران: مطالعات دفتری و صحرایی جهت شناسایی مناطق احتمالی مستعد برای کانی‌سازی عناصر نادر خاکی در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز پژوهش‌های کاربردی.
- کلاه‌دانی، س. (۱۴۰۱). «مترقی کربناتیت‌های ناحیه متالوژنی بافق، ایران مرکزی: زمین‌شناسی اقتصادی عناصر نادر خاکی بر اساس سن‌سنجی و زمین‌شیمی». مدل ژئودینامیکی ناشی از تغییر سری کمان فرورانشی به ریفت قاره‌ای کامبرین پسین. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، صفحات ۱-۳۵.
- پذیرنده، م. (۱۳۵۰). کربناتیت‌ها. نشریه دانشکده فنی، ۲۰(۵).
- کرمی، ح. (۱۴۰۱، خرداد ۱۲). آپاتیت چیست؟ مشخصات، کانی‌شناسی و انواع آن. بخش سنگ‌های قیمتی.
- ایرانمنش، س.، فاضلی، ا. ط.، هزار، م.، و مجیدی، ا. (۱۳۹۸). بررسی رشد بلورهای مونازیت و تأمین عناصر خاکی نادر از کانی آپاتیت: مطالعه موردی در کانسار آهن-آپاتیت اسفوردی (شمال شرق بافق). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲۶(۳)، ۶۹۵-۷۰۶.
- تقی‌پور، ص.، کیانیان، ع.، جارلو، د.، و ابوهاشمی، و. (۱۳۹۶). بررسی منشأ سیال سازنده فلورا آپاتیت، مونازیت و زئوتیم در کانسارهای آهن-آپاتیت تیپ کیرونا، منطقه بافق، ایران مرکزی. در مجموعه مقالات شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز، ایران.
- حسینی، ک.، و زاهدی، ع. (۱۳۹۱). مطالعات کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی آپاتیت کانسار آهن-آپاتیت چغارت - شمال شرق بافق - جنوب یزد. مجموعه مقالات سی و یکمین همایش (گردهمایی) علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- کیانی، م. (۱۴۰۴). پگماتیت‌های گوهرزا.



قربانی، م. (۱۴۰۲، ۹-۱۱ خرداد). اشاره‌ای به پگماتیت‌ها و کانی‌زایی وابسته در کشورهای خاورمیانه [ارائه کنفرانس]. یازدهمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، ایران.

نمیرانیان، ا.، انصاری، ع. ح.، و کوهساری، ا. ح. (۱۳۸۷). درآمدی بر کانی‌شناسی و زمین‌شناسی سنگ‌های پگماتیته در ایران. مجموعه مقالات شانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

گنجی، ع. (۱۳۹۹). عناصر نادر خاکی. مجله معدن، شماره ۵۱، زمستان ۱۳۹۹.

ب) انگلیسی

- Klinger, J. M. (2015). A historical geography of rare earth elements: From discovery to the atomic age. *The Extractive Industries and Society*, 2(3), 572–580. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2015.05.006>
- Van Gosen, B. S., Verplanck, P. L., Long, K. R., Gambogi, J., & Seal, R. R., II. (2014). The rare-earth elements—Vital to modern technologies and lifestyles (Fact Sheet No. 2014–3078). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/fs20143078>
- Martins, T. T. (2024). Rare earth geopolitics: Global dynamics and strategic balance of power. *Janus.net, e-journal of international relations*, 15(1), 249–265. <https://doi.org/10.26619/1647-7251.15.1.14>
- Gushlla, S. (2025). Rare earths as a geo-economic stake in modern international relations. *KNOWLEDGE - International Journal*, 73(1), 243–248. <https://ojs.ikm.mk/index.php/kij/article/view/8035>
- Zerniz, A. (2024). The challenge of the transition to renewable energies: A geopolitical approach in the light of the international competition for rare earth elements. *Przegląd Politologiczny*, 29(3), 89–108. <https://doi.org/10.14746/pp.2024.29.3.6>
- Borzenko, O., Panfilova, T., Haustov, V., Kuryliak, V., & Maksymova, I. (2025).



Financial and economic trends of the rare earth market in light of global leadership. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, 5(64), 317–336. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.5.64.2025.4861>

Raja Hajarath, K. C. (2025). Geopolitical trade tensions and their strategic impact on global supply chains. *International Journal of Global Innovations and Solutions*, 2(2). <https://doi.org/10.63412/69q6b447>

Author not specified in snippet (likely a book review or article by a specific author; full access needed for confirmation). (2017). Coal, oil, and empire. *Asian Geographer*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/00026980.2017.1310424>

Yang, W., & Han, Z. (2025). Paikend and Bukhara as symbols of the “Copper City”: A historical examination of oasis city defense systems and cultural significance. *Humanities and Social Science Research*, 8(1), 17. <https://doi.org/10.30560/hssr.v8n1p17>

Steckel, J. C., Edenhofer, O., & Jakob, M. (2015). Drivers for the renaissance of coal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(29), E3775–E3781. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422722112>

Toprani, A. (2019). Conclusion: Oil and the end of European primacy, 1914–1945. In *Oil and the great powers: Britain and Germany, 1914 to 1945* (pp. 235–252). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198834601.003.0009>

Ediger, V. Ş., & Bowlus, J. V. (2019). A farewell to King Coal: Geopolitics, energy security, and the transition to oil, 1898–1917. *The Historical Journal*, 62(2), 427–449. <https://doi.org/10.1017/S0018246X18000109>

Kelanic, R. A. (2016). The petroleum paradox: Oil, coercive vulnerability, and great power behavior. *Security Studies*, 25(2), 181–213. <https://doi.org/10.1080/09636412.2016.1171966>



Chan, A. H. (1988). Adapting natural resources management to changing societal needs through evolving property rights. *Review of Social Economy*, 46(1), 35–50. <https://doi.org/10.1080/00346768800000003>

Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H., & Eisenmenger, N. (2008). The global sociometabolic transition: Past and present metabolic profiles and their future trajectories. *Journal of Industrial Ecology*, 12(5-6), 637–656. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00065.x>

Luttwak, E. N. (1990). From geopolitics to geo-economics: Logic of conflict, grammar of commerce. *The National Interest*, (20), 17–23.

İncekara, R. (2025). Economic milestone of the 21st century: Rare earth elements. *Lectio Socialis*, 9(1), 151–164. <https://doi.org/10.47478/lectio.1810742>

Wedeen, R. P., Berlinger, B., & Aaseth, J. (2015). Lanthanum. In G. F. Nordberg, B. A. Fowler, & M. Nordberg (Eds.), *Handbook on the toxicology of metals* (4th ed., Vol. II, pp. 903–909). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00042-1>

Liu, S.-L., Fan, H.-R., Liu, X., Meng, J., Butcher, A. R., Yann, L., Yang, K.-F., & Li, X.-C. (2023). Global rare earth elements projects: New developments and supply chains. *Ore Geology Reviews*, 157, Article 105428. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105428>

U.S. Environmental Protection Agency. (2012). *Rare earth elements: A review of production, processing, recycling, and associated environmental issues* (EPA 600/R-12/572). Office of Research and Development.

Science History Institute. (n.d.). Producers case study: The changing geography of rare earth element production. <https://sciencehistory.org/education/classroom-activities/role-playing-games/case-of-rare-earth-elements/producers/case-study/>

Klinger, J. M. (2015). *A historical geography of rare earth elements: From discovery to the*



atomic age. *The Extractive Industries and Society*, 2, 572–580. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2015.05.006>

Andrews-Speed, P., & Hove, A. (2023). China's rare earths dominance and policy responses (OIES Paper: CE7). Oxford Institute for Energy Studies.

Hart, C. A. (2025). Mapping China's strategy for rare earths dominance. Atlantic Council Global Energy Center.

Blackwill, R. D., & Harris, J. M. (2016). *War by other means: Geoeconomics and statecraft*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674545960>

Vihma, A. (2018). Geoeconomic analysis and the limits of critical geopolitics: A new engagement with Edward Luttwak. *Geopolitics*, 23(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/14650045.2017.130292>

Luttwak, E. N. (1990). From geopolitics to geo-economics: Logic of conflict, grammar of commerce. *The National Interest*, 20, 19–39.

Lipkan, V., Kuznichenko, O., & Ivanov, A. (2023). Geoeconomics as a tool of modern geostrategy. *Baltic Journal of Economic Studies*, 9(1), 113–123. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2023-9-1-113-123>

Veshapidze, S., Zubiashvili, T., & Chiabrishvili, K. (2021). Globalization and new opportunities for Georgia. *Globalization and Business*, 6(12), 32–36. <https://doi.org/10.35945/gb.2021.12.003>

Lim, K. F. (2025). The firm as a geoeconomic actor. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 57(1), 138–143. <https://doi.org/10.1177/0308518X241265289>

İncekara, R. (2025). Economic milestone of the 21st century: Rare earth elements. *Lectio Socialis*, 9(1), 151–164. <https://doi.org/10.47478/lectio.1810742>

Kumar, A., & Vishwanathan, A. (2025). Race for critical minerals: China's ambitions and



challenges. *Comparative Strategy*, 44(1), 56–72. <https://doi.org/10.1080/01495933.2024.2445490>

Ting, M. H., & Seaman, J. (2013). Rare earths: Future elements of conflict in Asia? *Asian Studies Review*, 37(2), 234–252. <https://doi.org/10.1080/10357823.2013.767313>

Hornung, J. (2015). Japan's pushback of China. *The Washington Quarterly*, 38(1), 167–183. <https://doi.org/10.1080/0163660X.2015.1038187>

Vekasi, K. (2019). Politics, markets, and rare commodities: Responses to Chinese rare earth policy. *Japanese Journal of Political Science*, 20(1), 2–20. <https://doi.org/10.1017/S1468109918000385>

Dadwal, S. R. (2011). The Sino-Japanese rare earths row: Will China's loss be India's gain? *Strategic Analysis*, 35(2), 273–284. <https://doi.org/10.1080/09700161.2011.542913>

Yang, F. W. (2025). Rare earth and resource nationalism: What happened before and after China's embargo on Japan? *Journal of Contemporary China*, 34(153), 383–400. <https://doi.org/10.1080/10670564.2024.2335547>

Zerniz, A. (2024). The challenge of the transition to renewable energies: A geopolitical approach in the light of the international competition for rare earth elements. *Przegląd Politologiczny*, (3), 89–108. <https://doi.org/10.14746/pp.2024.29.3.6>

Pan, S. C. (2025). Problems and countermeasures in the development of China's rare earth industry. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 228, 227–232. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/2025.GL28232>

Dave, B. B. (2025). Geo-politics of rare earth elements: Assessing the influence of foreign direct investment, trade agreements, and environmental policies on rare earth elements: Production and global trade. *The Clarion - International Multidisciplinary Journal*,



14(1&2), 1–17. <https://doi.org/10.5958/2277-937X.2025.00003.0>

Ye, Q., Zeng, Q., & Li, Y. (2025). Research on the evolution of global rare earth trade network pattern and import competition situation. *Chinese Rare Earths*, (1), Article 015. <https://doi.org/10.3724/s1004-0277.202501015>

Middleton, A. (2026). Geopolitics of Rare Earth Elements (REE) in the Arctic: Study of evolving strategic, scholar, and media discourse. *Polar Record*, 62, Article e3. <https://doi.org/10.1017/S0032247425100193>

Ramezani J., Tucker R.D. (2003). The Saghand region, Central Iran: U–Pb geochronology petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *Am. Jour. Sci.*, Vol. 303, pp. 622–665.

Ercit, T. S. (۲۰۰۵). REE-Enriched Granitic Pegmatites. ResearchGate.

ج (روسی)

Борзенко, О., Панфілова, Т., Хаустов, В., Куриляк, В., & Максимова, І. (2025). Фінансово-економічні тенденції ринку рідкісноземельних елементів у світлі глобального лідерства [Financial and economic trends of the rare earth market in light of global leadership]. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, 5(64), 317–336. <https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.64.2025.4861>

<https://sangshenas.com/apatite>

AA-%C%D^AA%DB%D^A%D^%BE%DA%AF%D^%https://kipagem.ir/%D^
/A%D^B%D^B%D^%D^%C-%DA%AF%D^%DB%D^%D^



تهران، خیابان طالقانی،
نبش خیابان شهید موسوی (فرصت)، پلاک ۱۷۵
تلفن: ۰۲۱ ۸۵۷۳۰۰۰۰۰

ICCIMA.IR



مرکز پژوهش‌های اتاق ایران

