

فلزهای عناصر نادر خاکی در پرکامبرین ایران مرکزی (بخش دوم)^۱

بهرام سامانی، امور اکتشاف، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

کانی سازی عناصر نادر خاکی به همراه آپاتیت، ماگنتیت، اورانیوم، توریوم و تیتانیوم در چرخه فلزهای لوفیلی - بان آفریکن^۲، در فراگردی نسبتاً طولانی از ماگماتیسیم قلیایی تا متاسوماتیسیم پی آمد آن، صورت گرفته است. مظاهر متفاوت این پدیده به صورتهای: (۱) متاسوماتیسیم درون ماگمای، غنی شدگی و ماگماتیسیم تا تفریق ماگنتیت - آپاتیت (کانسارهای چغارت، اسفوردی، لکه سیاه، چاه گز و ناهنجاری شماره ۱۰ سه چاهون) به همراه عناصر نادر خاکی عموماً از نوع LREE^۳ (۲) متاسوماتیسیم حجره‌ای (نوع مرکزی) با پدیده فینیت‌زایی و ایجاد ماگمای گرانیت‌واره و شکل‌گیری کانسارهای آهن نوع دگرته‌های (کانسار آهن ساغند) و کانی سازی $Ti-Th-U-REE_{Ce}$ (۳) متاسوماتیسیم هوا - گرمایی^۵ در یک سیستم باز، یا نیمه‌باز با جای‌گیر شدن کانسارهای حاوی U، Th، Mo، REE، Co، در کمربند فلزهای ساغند-ساق شناخته شده‌اند.

در این نوشتار وضعیت زمانی - مکانی، فراگرد فلزهای، فرآیندهای آن و کانی‌سازندهای حاوی عناصر نادر خاکی بررسی شده و توان کانی‌سازی منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. ظهور کانی‌سازی و تمرکز عناصر نادر خاکی با ویژگیهای متغیر در زمان طولانی (از حدود ۸۴۰ تا ۵۸۰ میلیون سال) مؤید این پندار است که منابع درخور توجهی از عناصر نادر خاکی در این بخش از کشور نهفته است. کاربرد این عناصر در فناوریهای نوین و نیاز روزافزون جوامع صنعتی به این مواد و ارزش اقتصادی آنها از جمله عواملی است که ضرورت بررسی، ارزیابی و تولید آنها را به عنوان منابع معدنی مناسب در توسعه اقتصادی کشور ایجاد می‌نماید.

۱ - مقدمه

بررسی نتایج عملیات اکتشافی انجام گرفته و بازننگری در اطلاعات زمین - فیزیکی، زمین شناختی، ماهواره‌ای و اکتشافی و تلفیق آنها نشان می‌دهد که زایش مواد معدنی و همایندهای عناصر در فراگرد فلزهای ویژه کمربندهای فعال شوندگی زمین ساخت - ماگمایی^۷، پدیده شناخته شده‌ای است که با رویکردهای کافنی میزان ماگماتیسیم قلیایی و دگرسانیهایی منتسب به آن، در کمربند فلزهای ساغند - ساق در ایران مرکزی رخ داده است [۲۴، ۲۳، ۱۲، ۷، ۴].

منابع عمده‌ای از کانسارهای آهن در این منطقه شناخته شده است. گزارش‌های شرکت ملی فولاد ایران که هریک مورد بررسی و پژوهش محققان مختلف قرار گرفته و در مواردی به وجود عناصر نادر خاکی در آنها اشاره شده است [۲۶، ۱۷، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۱، ۱۰، ۲]. با توسعه عملیات اکتشاف

اورانیوم در ایران مرکزی به توسط سازمان انرژی اتمی ایران، زایش منابع اورانیوم، توریوم، تیتانیوم، عناصر نادر خاکی، و انادیم، فسفر و دیگر عناصر شناخته شده در این منطقه مورد توجه قرار گرفت [۲۴، ۲۳، ۲۲، ۶] و با پیگیری مطالعات مربوط به منابع آپاتیت به توسط وزارت معادن و فلزات [۱۲]، دامنه تحقیق در زمینه فلزهای این ناحیه گسترده‌تر شد. نظر به اهمیت منابع مواد رادیو آکتیو و قرابت پدیده‌های زمین -

۱ - بخش اول این نوشتار در شماره ۱۷ نشریه علمی سازمان تحت عنوان «فلزهای پرکامبرین در ایران مرکزی» منتشر شده است.

- 2- Pan - African
- 3- Light Rare Earth Elements
- 4- Cerium group Rare Earth Elements
- 5- Pneumato - hydrothermal
- 6- Ythrium Rare Earth Element
- 7- Tectono - Magmatic Activization

P_2O_5 را در ترکیب شیمیایی در بر می‌گیرد. مقدار $Y = 0.003\%$ و $La = 0.01\%$ و $Ce = 0.01\%$ گزارش شده است که معرف نمکر عناصر گروه سریوم در این کانسار می‌تواند باشد.

۲-۱- عناصر نادر خاکی در کانسارهای آپاتیت

طبق بررسیهای بعمل آمده [۷، ۱۱، ۱۷، ۲۳]، و پاباخانی (ارتباط شخصی) [یکی از ویژگیهای کانی سازی آپاتیت در ایران مرکزی و فور عناصر نادر خاکی در آن است. این ویژگی سبب شده است که چن ژوسی و همکاران [۱۲] در تعدادی از انواع کانسنگها و میزبانهای منطقه اسفوردی مقادیر عناصر نادر خاکی را اندازه گیری کنند. در جدول ۲، صورت تجزیه نمونه‌های مورد آزمایش درج شده است. داده‌های این جدول حاکی از آن است که مقادیر عناصر نادر خاکی اصولاً در آپاتیتها نسبت به سایر سنگها بیشتر است. بهمین دلیل پژوهشگران کانی سازیهای آپاتیت در کمپلکس اسفوردی را به سه نوع که در سه مرحله متوالی تشکیل شده‌اند طبقه‌بندی کرده‌اند (سن این کانی سازیها به روش U-pb در حدود ۸۳۹-۸۳۰ میلیون سال برآورد شده است):

الف) کانی سازی Fe-P از نوع متاسماتیک همبر

ب) کانی سازی آپاتیت از نوع پراکنده جایگزین پنوماتولیت

پ) آپاتیت از نوع رگه‌ای گرمابی

شیمیایی - فلزهای عناصر کمیابی مانند Zr, Nb, TiO_2, P, REE با اورانیوم و توریوم در این منطقه از کشور، تحقیقات اولیه روی زایش، تمرکز و کانی‌سازندهای این عناصر صورت گرفت که در این نوشتار بخش مربوط به عناصر نادر خاکی ارائه می‌شود. امید است که این گزارش برای بررسیهای ژرفتر مورد توجه قرار گیرد و زمینه اکتشاف و استخراج این منابع در آینده فراهم گردد.

۲- کانی سازی عناصر نادر خاکی در ایران مرکزی

گرچه بررسی کانی سازیهای عناصر نادر خاکی هنوز با نگرش معدنی و اقتصادی صورت نگرفته است، اما به علت همانندی این عناصر با منابع آپاتیت و کانسارهای سنگ آهن و ناهنجاریهای پرتوزا، ضمن پرداختن به مسائل بنیادی این منابع، بررسیهای جنبی در باره عناصر نادر خاکی نیز صورت گرفته که موضوع بحث این نوشتار است.^۸

بطور کلی کانی سازی عناصر نادر خاکی در سه میزبان متفاوت زمین شناختی رخ می‌دهد که خود آنها نیز از جنبه زمین - ساخت خاستگاه واحدی دارند. این سه میزبان عبارتند از:

- کانسارهای ماگمازای سنگ آهن

- کانسارهای آپاتیت

- متاسماتیت‌های پرتوزا

کانسارهای سنگ آهن ایران مرکزی را می‌توان، به ترتیب اهمیت، به سه گروه اصلی تقسیم کرد که عبارتند از: کانسارهای ماگمازا مانند کانسارهای چغارت، چاه گز، سه چاهون، چادرملو، میشدوان و...؛ کانسارهای دگرنهادی مانند کانسارهای شماره XXB ، XXA (ساغند) و $X1$ (سه چاهون)؛ کانسارهای رسوبی مانند کانسار آهن منگنزدار ناریگان.

داده‌های منتشر شده در مورد عناصر نادر خاکی کانسنگهای ماگمازا بسیار محدود می‌باشد. بر طبق گزارش شرکت ملی فولاد ایران (NISCO, 1975) مقدار عناصر نادر خاکی در کانسنگ معدن چغارت در جدول ۱ داده شده است.

بر طبق این گزارش، عناصر نادر خاکی درون آپاتیت می‌باشند که به گروه فلئورین - آپاتیت تعلق دارد و کانی موناژیت میانبار^۹ آنست. بزرگی بلور این آپاتیتها در حدود 0.02 تا 0.2 میلی‌متر و به روش جداسازی مغناطیسی قابل جدا شدن است. مقدار عناصر نادر خاکی در آپاتیت 0.5 درصد تخمین زده شده و کانی آپاتیت $5/3$ درصد کانسنگ را در برداشته است که حدود $1/56$ تا $2/29$ درصد

۸- نحوه تکوین زمین شناسی رخدادهای کانی شدن و فرآیندهای همراه آن در شماره ۱۷ نشریه علمی سازمان (۱۳۷۷) به تفصیل منتشر شده است.

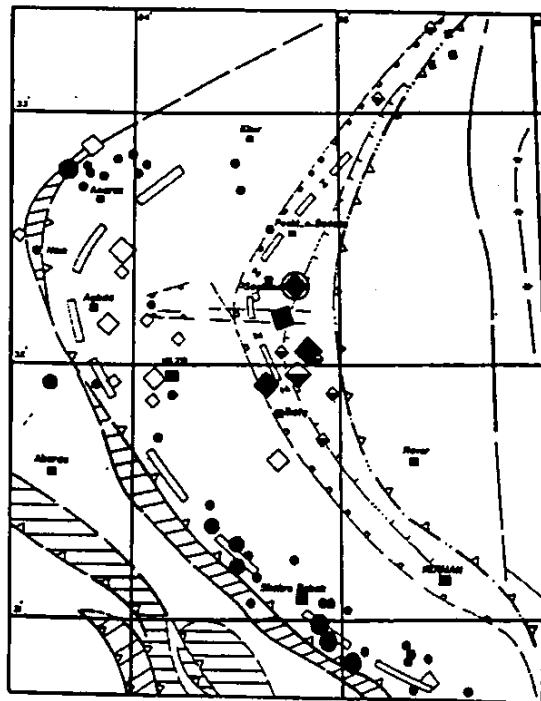
9- inclusion

۱۰- به مقاله «فلزهای پرکامبرین در ایران مرکزی»، نشریه علمی سازمان، شماره ۱۷، ۱۳۷۷، مراجعه شود.

جدول ۱ - مقدار درصد عناصر نادر خاکی در آپاتیتهای کانسار چفارت بر حسب ppm (NISCO, 1975)

عناصر	۳۱۵۰		۳۰۵۰	
	مقدار نسبی	مقدار مطلق	مقدار نسبی	مقدار مطلق
La	۱۹/۳	۰/۲۶	۲۱/۱	۰/۲۳
Ce	۵۴/۸	۰/۷۴	۵۴/۱	۰/۵۹
Pr	۳/۶	۰/۰۴۸	۱/۱	۰/۰۱۱
Nd	۱۰/۴	۰/۱۴	۱۱/۹	۰/۱۳
Sm	۱/۳	۰/۰۱۸	۱/۳	۰/۰۱۴
Eu	۰/۲	۰/۰۰۳۱	۰/۳	۰/۰۰۳۱
Gd	۵/۵	۰/۰۷۴	۴/۷	۰/۰۵۱
Dy	۱/۹	۰/۰۲۶	۲/۲	۰/۰۲۴
Ho	۰/۴	۰/۰۰۵۲	۰/۵	۰/۰۰۵۱
Er	۱/۵	۰/۰۲۰	۱/۷	۰/۰۱۹
Tm	۰/۴	۰/۰۰۴۵	۰/۴	۰/۰۰۴۸
Yb	۰/۶	۰/۰۰۷۵	۰/۶	۰/۰۰۷۱
Lu	۰/۱	۰/۰۰۱۴	۰/۲	۰/۰۰۱۷
Y	-	۰/۲۳	-	۰/۱۷
جمع کل مقادیر	۱/۵۷۷۷		۱/۲۶۰۸	

TECTONO - MAGMATIC AND METALLOGENETIC ZONATION OF CENTRAL IRAN (Dobson et al 2001)



- Explanation**
- Continental Margin Arc-type Tertiary magmatic belt
 - Cimmerian - early Alpine Tectonomagmatic Activated / Metamorphic Zone
 - Vendian rift boundary
 - Late Precambrian major rift boundary
- Symbols**
- Cu - (Mo) deposits & ore indications
 - Alpine Pb - Zn (BaSO4) ores
 - Precambrian REE-bearing magnetite-(apatite) ore deposits
 - Precambrian REE-bearing metasomatites
 - Vendian - Cambrian Pb - Zn deposits
 - Neotethys ophiolite and ophiolitic melange
 - Kuhbanan Nappe Structure
 - Nayband Extensional Transform Fault Zone

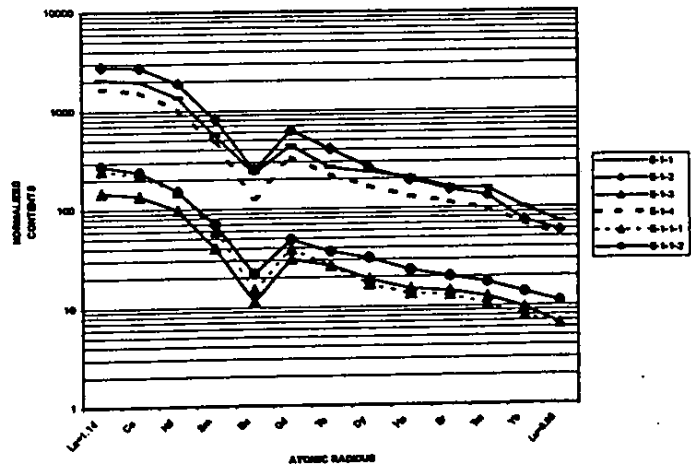
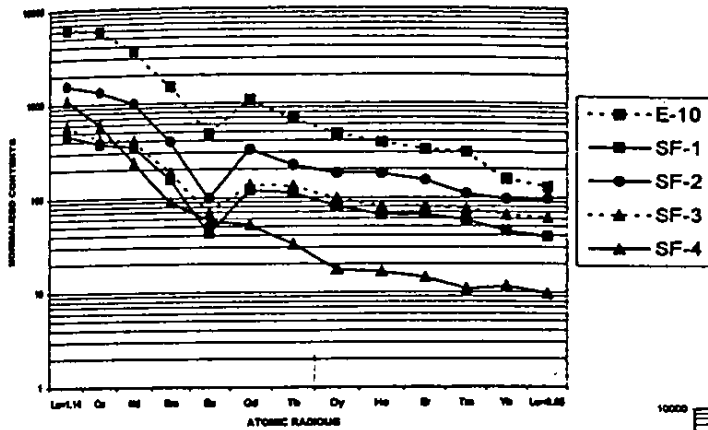
شکل ۱ - منطقه‌بندی زمین‌ساختی-ماگمایی و فلززایی ایران مرکزی [۵]

جدول ۲- صورت آلاینده‌های مختلف اسفوردی [۱۲] (بر حسب ppm)

Sample number	Sample name	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	LREE/ HREE	ΣREE	Sm/ Nd	σ Eu
E-1-(1)	Sugar-Like apatite	654	1838	174	812	112	17.0	136.0	13.0	72.0	15.0	34.0	5.20	19.0	2.20	360	12.17	3903.40	0.14	0.47
E-1-(2)	Crystal apatite	892	2550	230	1126	164	18.0	192.0	20.0	80.0	14.0	32.0	4.40	14.0	1.80	292	13.90	5338.20	0.15	0.34
E-1-(3)	hematite	47	127	14	59	8	0.84	9.5	1.3	5.9	1.10	3.0	0.41	1.8	0.20	30	11.02	279.05	0.14	0.33
E-1-(4)	Whole rock	536	1454	140	624	92	9.30	103.0	11.0	52.0	9.60	24.0	3.20	13.0	1.60	236	13.27	3103.7	0.14	0.32
E1-1-(1)	hematite	79	206	20	91	12	1.10	12.0	1.3	5.2	0.97	2.7	0.34	1.5	0.20	22	16.90	433.31	0.13	0.31
E-1-1-(2)	magnetite	88	222	22	91	14	1.60	15.0	1.8	9.6	1.70	4.2	0.57	2.6	0.34	37	12.25	474.41	0.15	0.37
E-1-1-(3)	apatite	1866	5028	446	1960	266	30.0	294.0	30.0	124.0	22.0	56.0	7.80	24.0	3.20	498	17.11	10157.00	0.14	0.36
E-1-1-(4)	actinolite	204	527	50	246	37	3.90	44.0	5.0	34.0	6.00	16.0	2.30	11.0	1.60	152	9.14	1184.80	0.15	0.33
E-1-1-(5)	whole rock	704	1842	168	767	105	9.80	115.0	13.0	54.0	9.60	25.0	3.00	11.0	1.60	228	15.49	3828.00	0.14	0.30
E-2	apatite	1470	3779	412	1342	185	16.0	190.0	20.0	68.0	12.0	30.0	3.40	11.0	1.50	245	21.15	7439.90	0.14	0.29
E-3-(1)	Colorless apatite	1779	4816	416	1667	455	24.0	249.0	30.0	117.0	21.0	52.0	6.60	22.0	2.90	469	17.90	9458.50	0.15	0.32
E-3-(2)	Pink apatite	2027	5352	456	2000	256	28.0	280.0	27.0	112.0	20.20	48.0	7.60	21.0	2.40	428	19.53	10637.00	0.13	0.35
E-10	apatite	1996	5457	490	2187	297	35.0	337.0	34.0	147.0	28.0	68.0	10.00	30.0	4.00	619	15.90	11120.00	0.14	0.37
Sf-1	Fe-P-Ore	150	350	52	206	31	3.10	37.0	5.6	25.0	4.80	14.0	1.90	8.0	1.20	137	8.90	890.00	0.15	0.31
Sf-2	main orebody	502	1244	134	596	78	7.20	100.0	11.0	56.0	13.0	32.0	3.60	18.2	3.00	301	10.82	2798.00	0.13	0.28
Sf-3	altered basic rock	188	393	63	244	37	5.10	42.0	6.0	30.0	5.80	17.0	2.50	12.4	1.90	157	7.87	1048.30	0.15	0.44
Sf-4	Pyroclastic rock	162	559	39	142	13	4.20	16.0	1.6	5.4	1.20	3.0	0.36	2.2	0.30	21	20.86	687.26	0.13	0.81

جدول ۳ - مقایسه ویژگیهای بارز کانی‌سازهای آپاتیت در کمپلکس اسفوردی [۱۷]

نوع کانسنگ	ΣREE(ppm)	کانیهای همراه		رنگ	اندازه	شکل	نوع آپاتیت	مرحله تشکیل
		فرعی	اصلی					
هماتیت توده‌ای آپاتیت‌دار	۳۹۰۳/۴	اکتینولیت ترمولیت	ماگنتیت (مارتیتی شده) کوارتز، کلسیت	سفید تا شیری روشن	۰/۱-۰/۰۶mm	الیافی و شکری	هیدروکسیل کربنات - آپاتیت	اول
پراکنده در کانسنگ دگرسان	۷۴۳۹/۹	دیوسید ابیدوت اُورتین	ترمولیت اکتینولیت هیدرومیکا	سبز متمایل به زرد روشن سفید، قهوه‌ای قهوه‌ای زرد	از دهم تا چند ده ساتی متر	بلورهای منفرد مجتمع بلورین	کربنات - آپاتیت	دوم
توده‌ای فشرده	۱۰۶۳۷	مؤنازیت	هماتیت کوارتز کلسیت	بسی رنگ تا قرمز	از دهم تا چند میلی‌متر	تجمع اتوکلاستی بلورهای منفرد و قطعه‌ها	هیدروکسیل - آپاتیت	سوم



شکل ۲ - نمودار تغییرات REE نسبت به کندریت در نمونه‌های مختلف گرفته شده از منطقه اسفوردی (جدول ۲، مقادیر برحسب ppm)

تکوین ماگمایی و تفریق پسین ماگمایی نوع «deuteric» آن است. نمودارهای تغییرات REE نسبت به کندریت همه نمونه‌های آپاتیت و سنگهای میزبان شکل مشابهی دارند که معرف همزادی آنها در سری تکوینی یگانه‌ای است (شکل ۲) و با تشکیل آپاتیت خاتمه می‌یابد [۱۲]. بررسی میکروسکوپی نشان داده است که REE علاوه بر حضور به عنوان ایزومورف Ca به صورت «ریزمیانار» درون آپاتیت نیز وجود دارد و در فاز گرمایی به صورت مؤنازیت ظاهر گشته و این فاز حاوی بیشترین مقدار REE است. بر طبق نمودارهای مورد بحث، نمونه شماره E-10، که کانی فرعی آپاتیت از سنگ بیوتیت پلاژیوکلازیت بوده و متعلق به نخستین فاز نفوذی مجموعه کانی‌ساز در سریهای تفریقی است، حاوی بالاترین مقدار REE می‌باشد که نشانه عدم تمرکز REE در ماگمای قلیایی است. در این مرحله با تبلور آپاتیت، REE بصورت همریخت (ایزومورف) وارد شبکه آپاتیت و جایگزین Ca گشته است، ولی کانسنگهای آپاتیت محصول جای‌گیری گاز-سیال بوده

۲-۲ مدل زایشی عناصر نادر خاکی در کانسارهای آهن - آپاتیت ایران مرکزی

مقایسه رشته تفریقی کمپلکس اسفوردی [۷] با کمپلکسهای مشابه دارای آپاتیت، REE و (Nb, Ta) بیانگر این واقعیت است که رشته تفریقی ماگمایی در اسفوردی نتوانسته است سیر تکوینی همانند دیگر کمپلکسهای «فرابازی - قلیایی» را طی نماید، به همین جهت کربناتیت در فرآیندهای پسین آن مشاهده نمی‌شود. مقدار REE در سنگهای بررسی شده کمتر از ۰/۴ درصد بوده و نسبت LREE/HREE نیز کمتر از $\frac{15}{49}$ است که همه اینها نشانه تفریق ضعیف LREE و HREE در کمپلکس فرابازی - قلیایی میزبان آپاتیت می‌باشند. علاوه بر این، مقادیر Nb و Ta نیز ناچیز و کمتر از کلارک (به معنای فراوانی عنصر در زمین) طبیعی است.

طبق جدول ۳، آپاتیتهای آغازین تشکیل شده در متاسماتیسیم همبری حاوی کمترین مقدار از عناصر نادر خاکی ($\Sigma REE = 0/089\%$) و در فاز پنوماتولیتی $\Sigma REE = 0/28\%$ و در گرمایی $1\% > \Sigma REE$ می‌باشد که نشانه تمرکز REE در فراگرد

و REE به صورت میانبار درون آپاتیت ظاهر شده و تفریق REE در آن روی نداده است [۱۲].

غلبه LREE بر HREE از نمودهای بارز آپاتیتهای ماگمازا محسوب می شود و نمودارهای کندریت آنها کاملاً متفاوت با نمودار آپاتیتهای نشأت گرفته از دریا است. ناهنجاری منفی Ce را می توان نشانه ای از رسوب نهی دانست [Laajoki 1975]، ولی این آپاتیته چنین وضعیتی را نشان نمی دهند بلکه همسانی و تشابه شکل نمودارها دلیلی بر زایش ماگمایی در فراگرد تکوینی پیوسته به حساب می آید. ناهنجاری ضعیف Eu را می توان نشانه عدم جابجایی و حرکت دوباره^{۱۲} در فراگرد تشکیل دانست. زایش آپاتیت خالص به همراه کانسنگ ماگنتیت و میزبانی متفاوت آنها از REE، ممکن است بیانگر تفریق و سرد شدن تدریجی آنها در تکوین ماگمایی و جداشدن مذاب حاوی آهن و فسفر به عنوان سیالی غیر قابل امتزاج به حساب آید، که در سقف و کناره های سیستم ماگمایی متمرکز شده و توانسته است به عنوان کانسنگ در سیستم باز-نیمه باز و در فراگرد نهایی جای گیرد.

نمودار تغییرات REE بیانگر این است که کانی سازی آپاتیت و تراکم REE همانند با ماگماتیسیم فرابازی-قلیایی است و می توان آنرا منسوب به غنی شدگی حاصل از متاسماتیسیم جبهه دانست. نمونه "Sf-4" که مربوط به سنگهای آتشفشانی بستر متأثر از ماگماتیسیم فرابازی-قلیایی است، دارای نموداری متفاوت از بقیه بوده و ممکن است فرایندی متفاوت از کمپلکس اسفودری باشد. غنی شدگی REE_{Ce} و ناهنجاری ضعیف حاصل از افت Eu، تک مرحله ای بودن ماگماتیسیم جبهه ای را نشان می دهد.

۲-۳ کانی سازی عناصر نادر خاکی در متاسماتیت های پرتوزایی ساغند

متاسماتیت های پرتوزایی ساغند، نمود و ویژگی کانی شناسی و سنگ شناسی بسیار متفاوتی نسبت به مناطق چنغارت، اسفودری، چادرملو، سه چاهون، لکه سیاه و... در جنوب کمر بند فلز زایی ساغند - بافق دارند [۷]، و به همین جهت، کانسارهای شناخته شده در این منطقه نیز متفاوت از نمودهایی است که در قسمت جنوبی کافت کهن پرکامبرین دیده می شوند. مهمترین ویژگی این بخش، گسترش متاسماتیت های حلقوی نوع مرکزی دارای رخساره های منطقه بندی شده همراه با توده های گرانیته واره در مرکز و جبهه بازی^{۱۳} در پیرامون است [۲۴، ۲۳، ۷]، سامانی [۱۳۶۷]. از نمودهای بارز

این منطقه پرتوزایی ناهنجار و وجود REE فراوان به همراه آنها است که در قالب ناهنجاریهای مختلف به صورتهای زیر شناخته شده اند:

الف - ناهنجاری شماره ۵

در ناهنجاری ۵ منطقه معدنی ساغند، چهار نوع از سنگهای متاسماتیت متفاوت رخنمون دارد که عبارتند از:

۱- رگه کربنات - کوارتز حاوی REE، U دارای کربنات، باستانسیت، لانتانیت، اسپیکولاریت، روتیل، دیویدیت و غیره... کانی های کربنات شامل دولومیت، کلسیت و سیدریت به همراه کانی های REE است. مطالعه کانی های سنگین مؤید وجود باستانسیت، اسپیکولاریت، لانتانیت، ایلمنوروتیل و آاناتاز است. کانی لانتانیت با ترکیب $La Ce [CO_3] 8H_2O$ از آب گیری باستانسیت بوجود آمده و دارای اورانیوم (۲۳۸ppm) و توریوم (۸۰۱ppm) است.

۲- آلپیت - ترمولیت متاسماتیت که از فرآیند متاسماتیسیم همبتری با رویکردهای آلپیتی شدن، آمفیبولی شدن، اپیدوتی - کربناتی شدن بوده و دارای U و Th نیز می باشد. این سنگها متشکل از آنستاتیت، آلپیت، پلاژیوکلاز، K - فلدسپار و کربنات است. از جداسازی کانی های سنگین: ماگنتیت، ایلمنوروتیل، تورمالین، اپیدوت، تیتانوهمازیت، ایلمنیت و مقدار اندکی اسپیکولاریت، دیویدیت، چوکینیت^{۱۴}، توریانیت، زیرکن، آلانیت، پیریت، اسفالوریت، پروتیت و... شناسایی شده است. این متاسماتیت، چوکینیت $[(Ce, La)_x Fe(Ti, Fe)_y Ti_z (Si, O)_v]_2 O_4$ حاوی عناصر نادر خاکی و دیویدیت دارای اورانیوم است.

۳- ترمولیت متاسماتیت باگسترش لکه ای، رگه ای و عدسی دارای بافت پگماتیتهای بوده و عموماً از ترمولیت بلور درشت با ساختار شعاعی تشکیل یافته است. کانیهای سنگین در این گونه متاسماتیت عبارتند از: ایلمنیت، ماگنتیت، اپیدوت، آاناتاز و اسفن.

۴- آلپیت متاسماتیت قرمز رنگ، دارای ساختار رگه ای و لکه ای، از مهمترین رخساره های اورانیوم دار به شمار می رود و از آلپیت، اپیدوت و کربنات تشکیل یافته است که معرف متاسماتیسیم Na و CO_۲ می تواند باشد.

12- remobilisation

13- basic front

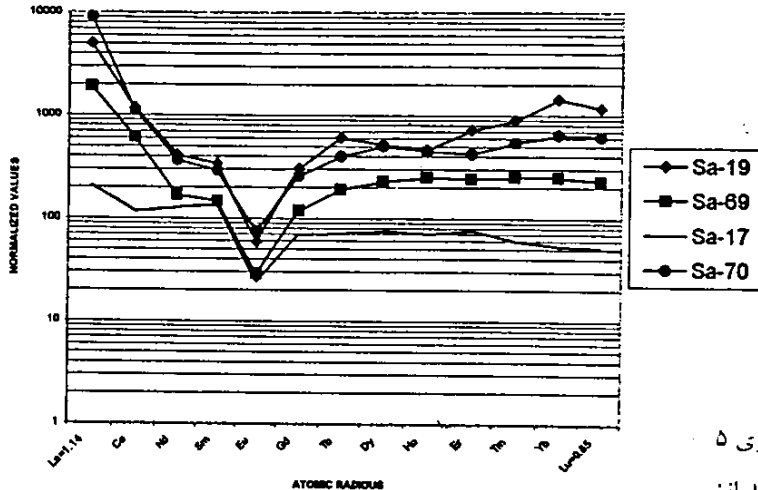
14- Chevkinite

بر طبق نمودارهای تهیه شده، مقدار REE از گروه Ce در این ناهنجاری بالا است اما نسبت LREE به HREE اندک می‌باشد (جدول ۴) و Eu ناهنجاری منفی نشان می‌دهد. این وضعیت ممکن است نشانه عدم تفریق سری REE در فراگرد تشکیل از یک سیستم ماگمایی باشد که سیال از نوع گاز - مایع نشأت گرفته از جبهه غنی توانسته است به صورت جانشینی حجم به حجم، با فرآیندی از انفجار گرمایی موجب کانی‌سازیهایی نوع متاسماتیت - گرمایی گردد. گرایش REE گروه Ce به همبندی با کانیهای توربوم‌دار و غلبه عناصر گروه Y در همبندی با اورانیوم ویژگی بارزی است که در این ناهنجاری به چشم می‌خورد و حاصل آن تشکیل کانیهای متنوع از عناصر پرتوزا و REE است.

کانیهای سنگین در این نوع عبارتند از: ماگنتیت، ایلمنیت، باستانسیت، آلانیت، دیویدیت، اپیدوت، روتیل، اسفن، زیرکن و اندکی پیریت. کانیهای باستانسیت و دیویدیت REE‌دار در این نوع نیز وجود دارند. مقدار عناصر نادر خاکی در جدول ۴ نشان داده شده است. بطوری که در این جدول مشاهده می‌شود، مقدار LREE بر HREE فزونی دارد. در شکل ۳، نمودار عنکبوتی REE نسبت به کندریت نمایش داده شده است. شکل این نمودار با آنچه که برای عناصر نادر خاکی اندازه گیری شده در کمپلکسهای ماگمایی ترسیم شده متفاوت است و بیانگر متاسماتیسیم در یک سیستم نیمه باز می‌باشد که در آن عناصر نادر خاکی در فراگرد متاسماتیسیم، از کانیهای سنگ اولیه خارج و به عنوان فرآیند متاسماتیسیم در کانیهای نو ساخته متمرکز می‌گردد.

جدول ۴ - تجزیه و تحلیل عناصر نادر خاکی در ناهنجاری ۵ ساغند (برحسب ppm)

عنصر	Sa-19	Sa-69	Sa-17	Sa-70
La	۱۵۹۰/۱	۶۰۵/۵	۶۶/۳	۲۸۸۸
Ce	۱۰۹۰/۱	۵۷۴	۱۱۰	۱۰۵۰
Pr	۹۱/۰	۳۹	۲۱/۹	۷۶
Nd	۲۴۶/۱	۱۰۰/۳	۷۷	۲۱۹
Sm	۶۷/۳	۱۹/۱	۲۷/۱	۵۸
Eu	۴/۳	۲/۱	۱/۷۵	۵/۵۰
Gd	۹۳/۷	۳۶/۵	۲۱/۴	۸۰
Tb	۳۰/۶	۹/۵	۳/۶	۲۰
Dy	۱۶۱/۲	۷۱/۰	۲۳/۳	۱۵۶
Ho	۳۴	۱۸/۲	۵/۱	۳۳
Er	۱۵۱/۳	۵۱/۳	۱۶/۱	۸۹
Tm	۲۹/۸	۸/۳	۲/۰	۱۸
Yb	۲۷۲/۳	۴۷/۳	۱۰/۲	۱۲۲
Lu	۳۶/۱	۷/۱	۱/۶	۱۹
Y	۱۰۴۹/۶	۳۴۸/۵	۱۰۵	۲۲۰
LREE	۳۰۸۹/۸	۱۳۵۰	۳۰۴/۰۵	۴۲۹۶/۵
HREE	۸۰۹	۲۴۸/۸	۸۳/۳	۵۳۷
U	۴۷۳	۱۲۴	۱۳/۷	nd
Th	۲۷۳	۴۵	۱۴/۵	nd



شکل ۳ - نمودار تغییرات REE نسبت به کلدريت در نمونه‌های ناهنجاری ۵. دو صفت متمایز در این نمونه‌ها قابل توجه است:
الف - غنی‌شدگی REE_{CC} به عنوان فرآیندی از متاسماتیسیم خُبه و غنی‌شدگی آنها در سیالات نشأت گرفته از خُبه که موجب متاسماتیسیم منطقه‌ای شده است.
ب - جابجایی و غنی‌شدگی عناصر REE_y در فراگرد متاسماتیسیم و تمرکز آنها همراه با افزایش Th و U.

ب - ناهنجاری ۶ ساغند

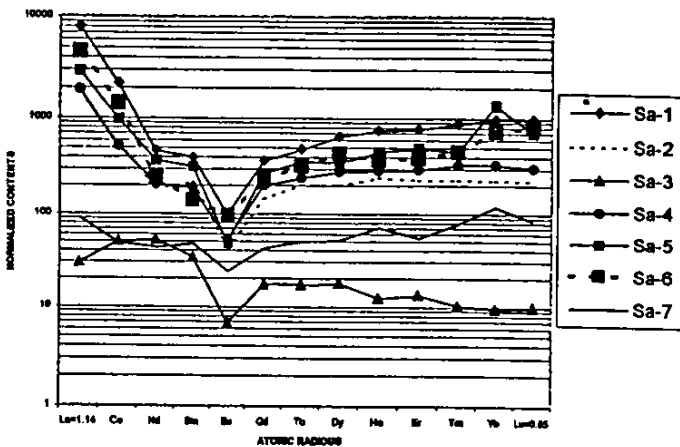
ناهنجاری ۶ ساغند در پاره‌ای از بخشها شباهت به ناهنجاری ۵ دارد اما دارای دو رخساره بارز دیگر نیز می‌باشد که عبارتند از: آلپیت، فلوگوپیتی متاسماتیت دارای رویکردهای آلپیتی شدن، فلوگوپیتی شدن، کلریتی شدن و کربناتی شدن، و در آن کانیهای توریت، آلپیت، اپیدوت، اسفن، آاناتاز، آپاتیت، روتیل، ایلمنیت و مولیدونیت به مقدار اندک دیده می‌شود.

کلریت - آلپیت متاسماتیت، اصلی‌ترین رخساره کانی‌سازی شده است که حاوی کلریت (۳۱/۰۵٪)، البیت (۲۹/۲۰٪)، تالک (۹/۵۴٪)، ترمولیت، (۱/۳۵٪)، کوارتز (۱/۲۱٪) و فزوکلست (۰/۸۹٪) می‌باشد. کانیهای سنگین این رخساره عبارتند از ماگنتیت، تیتانوهمازیت، دیویدیت، اسفن، کلریت ۱۵، اپیدوت، ایلمنوروتیل و پیریت.

مقدار عناصر نادر خاکی اندازه‌گیری شده از این ناهنجاری در جدول ۵ درج شده است. طبق این جدول LREE نسبت به HREE فزونی دارد. شکل ۴، نمودارهای عنکبوتی REE نسبت به کلدريت را نشان می‌دهد که نزدیک به نمودارهای مربوط به ناهنجاری ۵ است. فزونی HREE را می‌توان از پدیده‌های بارز این ناهنجاری در فراگرد متاسماتیسیم دانست. رخساره تورنیوم دار وجه تمایز رخساره‌های انواع اورانیوم دار است و می‌توان آنرا با مراحل متفاوت کانی‌سازی توجیه کرد.

ب - ناهنجاری ۷ او

این دو ناهنجاری، از ناهنجاریهای ۵ و ۶ متمایز بوده و سنگ‌شناسی بخش پرتوزای آن از نوع تالک (سرپانتین) - کلریت متاسماتیت است که حاوی اجزای زیر می‌باشد:



شکل ۴ - نمودارهای تغییرات REE نسبت به کلدريت در نمونه‌های مختلف. ناهنجاری ضعیف Eu در کلیه نمونه‌ها، غنای HREE و LREE نشانه پدیده متاسماتیسیم و تفاوت نمونه Sa-7 نسبت سایر نمونه‌ها بیانگر پدیده گرمایی تورنیوم‌ساز در مراحل پسین است. وضعیت خاص نمونه Sa-3 حاکی از رهایی و جابجایی REE و اورانیوم از متاسماتیتهای میزبان در رخساره‌های بعدی (فاز گرمایی) است.

جدول ۵ - تجزیه و تحلیل عناصر نادر خاکی در ناهنجاری ۶ ساغند (برحسب ppm)

عنصر	Sa-1	Sa-2	Sa-3	Sa-4	Sa-5	Sa-6	Sa-7
La	۲۵۳۸/۵	۵۵۹/۸	۹/۴	۶۰۹	۹۳۱	۱۴۵۴	۲۹
Ce	۲۰۶۸/۵	۵۱۵/۹	۴۶/۸	۴۸۷	۹۱۱	۱۳۰۳	۴۴/۸
Pr	۱۳۸	۳۶	۷/۲	۳۹	۶۲/۹	۵۳	۵/۸
Nd	۲۷۹	۱۱۰/۴	۳۱/۳	۱۲۴	۲۲۱/۲	۱۴۴	۲۵/۷
Sm	۷۹	۴۳/۲	۶/۷	۳۷/۵	۶۳	۲۸	۹/۵
Eu	۷/۱	۳	۰/۵	۳/۸	۳/۵	۷	۱/۷
Gd	۱۱۳	۴۴/۴	۵/۳	۶۱/۵	۸۳	۷۰	۱۳
Tb	۲۴	۱۰	۰/۸۵	۱۲	۱۷/۸	۱۶	۲/۵
Dy	۲۰۲	۶۱/۳	۵/۵	۸۶/۵	۱۰۸	۱۳۶	۱۶
Ho	۵۵	۱۷/۵	۰/۹۰	۲۱	۳۳/۲	۲۷	۵/۲
Er	۱۶۳	۴۸	۲/۸	۶۲	۱۰۴/۹	۸۲	۱۱/۴
Tm	۲۹	۷/۵	۰/۳۴	۱۱	۱۴/۹	۱۵	۲/۶
Yb	۱۸۴	۴۳	۱/۸	۶۳/۵	۲۵۲/۲	۱۴۰	۲۲/۸
Lu	۳۰/۱	۶/۹	۰/۳۱	۹/۵	۲۲	۲۵	۲/۶
Y	۱۰۶۵	۳۷۶	۱۷/۱	۴۷۰	۷۵۵/۱	۸۱۵	۱۰۹/۴
LREE	۵۱۱۰/۱	۱۲۶۸/۳	۱۰/۱/۹	۱۳۰۰/۳	۲۱۹۲/۶	۲۹۸۹	۱۱۶/۵
HREE	۸۰۰/۱	۲۳۸/۶	۱۷/۸	۳۲۷	۶۳۶	۵۱۱	۷۶/۱
U	۱۹۵۷	۴۳۵	۰/۷۸	۴۰۲	۲۶۲	۱۰۸۰	۱۹۳
Th	۷۲	۲۱/۷	۵/۵	۳۹/۷	۱۶۳	۳۱	۶۹۹۴

-تالک ۱/۵۶ درصد.

مقدار عناصر نادر خاکی اندازه گیری شده در ناهنجاریهای ۱ و ۲ در جدولهای ۶ و ۷ مستدرج و نسبت مقادیر به کندریت در نمودارهای شکلهای ۵ و ۶ داده شده است. شکل نمودارهای بدست آمده با آنچه است که برای اسفوردی، در ناهنجاریهای ۵ و ۶ دیده می شود بسیار متفاوت است. چهره خاص این نمودارها نشانه دخالت محلولهای گرمابی، دگرسانی - گرمابی ناشی از اختلاط آبهای جوی و سیالهای ماگمازای است که در دمانی پایین تر از دمای ناهنجاریهای ۵ و ۶ در یک سیستم باز عمل کرده است.

ت - ناهنجاری ۴

این ناهنجاری از نوع متاسماتیتهای خطی کنترل شده با

علاوه بر کانیهای پیش گفته، پیریت، کلسیت، دولومیت، منیزیت، هماتیت، آپاتیت، باستیت، کوارتز، مولیدنیت و... نیز در این رخساره دیده می شوند. کانی اورانیوم دار در این ناهنجاری کلوئیت $[k(U,Y,Th)O_r(UO_2)_m PbO]$ است که گاهی با اورانینیت و تورینیت به صورت محلی یافت می شود. متاسماتیتهای مسرمدولومیتی - سرپانتینی دارای دولومیت، سرپانتین با اندکی هماتیت و تالک تورنیوم دار به شکل تورینیت است که متشکل از اجزای زیر می باشند:

- دولومیت ۵۲/۹۹ درصد

- سرپانتین ۴۴/۲۳ درصد

- هماتیت ۱/۲۱ درصد

گسنگیها است و شامل:
 الف - فلوگوپیت کلریت متاسامیت دارای کلریت (۴۰/۰۷ درصد)،
 فلوگوپیت (۳۸/۲۹ درصد)، تالک (۴/۲۲ درصد)، کوارتز (۳/۲۲ درصد) با اندکی ریشتریت به فرمول:
 $(Mg,Fe)_6[Si_8O_{22}](OH)_2$ ، آپاتیت، تیتانوهامایت، دیویدیت
 $(Fe_9LaFe_7Ti_{11}O_{38})$ ، همماتیت، سیدریت، ایلمنروتیل،
 روتیل، آناتاز، لانتانیت $(CeLa[CO_3].AH_2O+H^++F^-)$ ،
 پیریت، تسوریت و چوکینیت ایستروم دار به فرمول
 $(Y,Ce,La)_mFe(TiFe)Ti[Si_nO_v]O_3$ است.

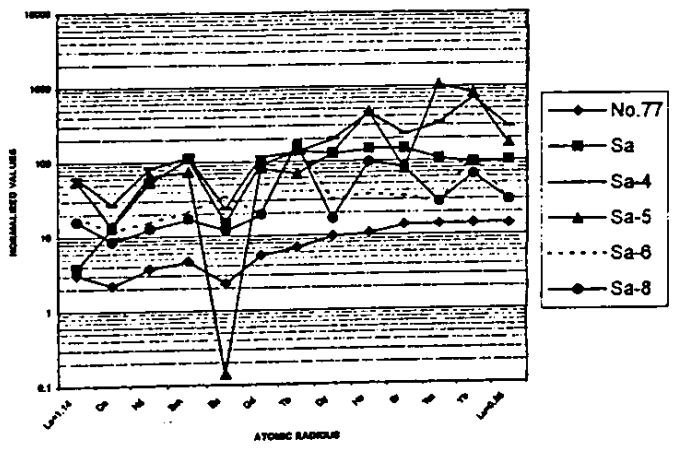
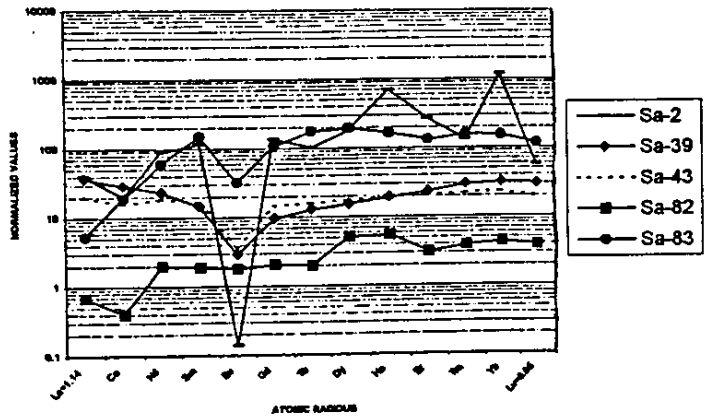
گسنگیها است و شامل:
 الف - فلوگوپیت کلریت متاسامیت دارای کلریت (۴۰/۰۷ درصد)،
 فلوگوپیت (۳۸/۲۹ درصد)، تالک (۴/۲۲ درصد)، کوارتز (۳/۲۲ درصد) با اندکی ریشتریت به فرمول:

جدول ۶ - مقدار عناصر نادر خاکی در کانسار شماره یک ساغند

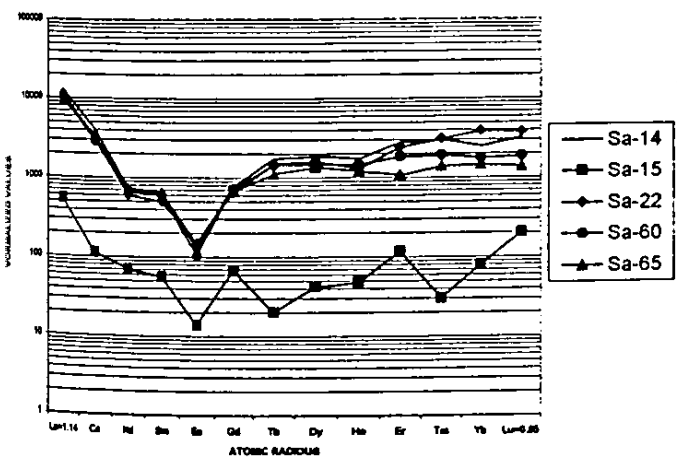
شماره نمونه	Sa-38	Sa-54	Sa-55	Sa-52	Sa-33	Sa-34	عنصر
La	۲۲/۲	۱/۹	۲/۲	۱/۲	۱/۷	۱/۱	
Ce	۱۸/۷	۵/۵	۵/۱	۲/۶	۱۲/۸	۲/۵	
Pr	۰/۱	۰/۸۴	۰/۷۹	۰/۳۹	۱/۷	۰/۳۲	
Nd	۳۵/۲	۵/۱	۴/۵	۳/۳	۱۳/۸	۲/۲	
Sm	۱۱/۲	۱/۷	۱/۸	۱/۲	۹/۷	۰/۷۵	
Eu	۰/۱	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۲	۰/۴۸	۰/۱	
Gd	۱۸/۲	۲/۷	۲/۹	۲/۳	۱۵/۶	۱/۱	
Tb	۰/۷	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۵	۳/۲	۰/۳	
Dy	۱۳/۹	۴/۷	۵/۲	۵/۴	۲۳/۸	۲/۲	
Ho	۶/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۵/۶	۰/۵۸	
Er	۲۸/۰	۳/۵	۴/۰	۴/۱	۱۶/۲	۲/۱	
Tm	۱/۸	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۶۶	۲/۳۰	۰/۳۶	
Yb	۱۴۷/۲	۳/۹	۴/۳	۴/۲	۱۱/۴	۱/۹	
Lu	۵/۳	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۷۰	۲/۲۰	۰/۳۱	
Y	۲۳۳	۱۹/۴	۲۹/۱	۲۱/۳	۹۰/۰	۱۴/۱	
U	۱۴۷۹	۹۰/۵	۱۲۱	۵۸/۵	۸۵۳	۱۲/۸	
Th	۳۷	۱۵/۵	۳/۶	۱۰/۹	۴/۰	۳/۳	
LREE	۸۷/۵	۱۵/۲۴	۱۴/۵۲	۸/۸۹	۴۰/۱۸	۶/۹۷	
HREE	۲۲۱/۲	۱۷/۸۹	۱۹/۷۸	۱۹/۱۶	۸۰/۳۰	۸/۸۵	

ب - ریشتریت - تالک - فلوگوپیت متاسماتیت متشکل از کانیهای زُسی، اندکی فلوگوپیت و ریشتریت دارای کانیهای سنگین نظیر ماگنتیت، روتیل، پیریت، ایلمنیت، لیمونیت، اپیدوت، زیرکن، باستانسیت، آپاتیت، سلسبت دارای لانتانیت، دیوبیدیت.

نتایج تجزیه و تحلیل REE در این ناهنجاری در جدول ۸ درج شده است. در این جدول، ملاحظه می شود که REE از مقادیر در خور توجهی برخوردار بوده و نسبت به سایر ناهنجاریها دارای غنای بیشتری است. در شکل ۶ نمودار تغییرات REE نسبت به کندریت نمایش داده شده است. طبق این نمودار، تفریق کاملی در فراگرد سیستم کانی سازی روی نداده اما به عنوان فرآیندی از سیستم متاسماتیسیم، غنای REE به ویژه HREE نسبت به مراحل پیش از آن (تشکیل متاسماتیتهای ناهنجاریهای ۵ و ۶) افزایش یافته است.



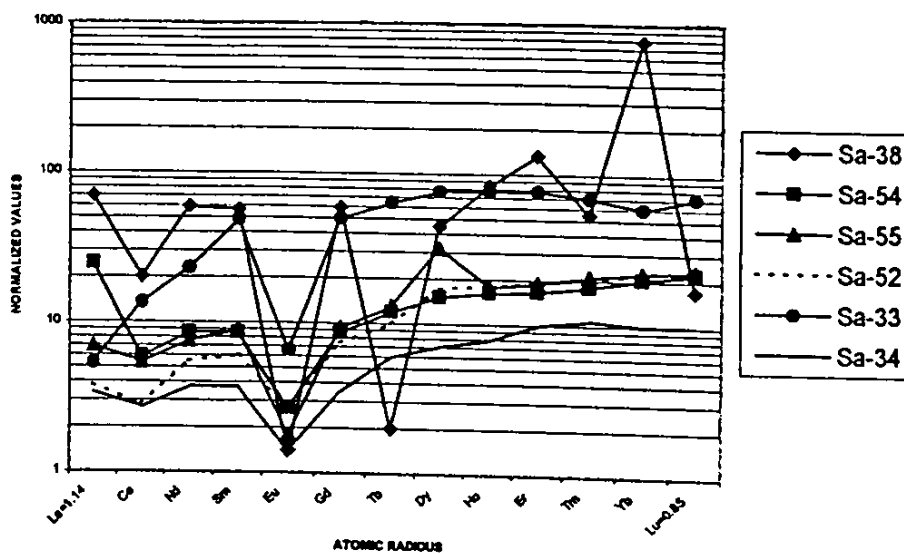
شکل ۵ - نمودارهای تغییرات REE نسبت به کندریت در ناهنجاری شماره ۲ منعکس کننده دخالت محلولهای گرمابی و مخلوط سیالات درونی و بیرونی در سیستم نیمه باز بعد از متاسماتیسیم منطقه‌ای بوده و غنای HREE یا REEy در آن افزایش یافته است نمونه‌های Sa-2 و Sa-38 معرف کانی‌سازی گرمابی اورانیوم است که با افت Eu همراه می‌باشد، ولی نمونه‌های دیگر فاقد کانی‌سازی بوده و متاسماتیتهای عموماً دستخوش دگرسانی بعدی شده‌اند.



شکل ۶ - نمودار تغییرات REE نسبت به کندریت در نمونه‌های ناهنجاری ۴. غنی شدگی HREE همروند با کانی‌سازی اورانیوم گرمابی چهره‌ای متفاوت از انواع متاسماتیت به نمودار داده است.

جدول ۷ - مقدار عناصر نادر خاکی در کانسار شماره ۲ ساغند

شماره نمونه	77	80	Sa-4	Sa-5	Sa-6	Sa-8	Sa-2	Sa-39	Sa-43	Sa-82	83	عنصر
۱	۱/۲	۱۹/۶	۱۷/۹	۶	۵/۱	۱۲/۸	۱۲/۱	۶/۵	۰/۲۳	۲/۱	La	
۲/۱	۱۲/۲	۲۵/۲	۱۳	۱۱/۴	۸/۱	۱۸/۷	۲۷	۱۴/۸	۰/۳۳	۱۸	Ce	
۰/۳۶	۴/۳۰	۱/۷۰	۰/۰۰	۰/۸	۰/۸	۰/۰	۳/۵	۲/۳	۰/۱۴	۷/۲	Pr	
۲/۲	۳۱/۵	۴۸/۹	۳۸/۶	۹/۴	۷/۷	۵۴	۱۴/۱	۱۱/۲	۱/۲	۳۶	Nd	
۰/۹۲	۲۲/۲	۲۳/۳	۱۴/۷	۴/۳	۳/۴	۲۳/۳	۲/۹	۳/۳	۰/۳۸	۳۰	Sm	
۰/۱۷	۱/۱۰	۰/۷۰	۰/۰۱	۲/۵۹	۰/۸۶	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۱۳	۲/۳۳	Eu	
۱/۷۰	۲۸/۳۰	۳۵/۶۰	۲۵/۲	۶/۱	۶/۱	۴۱/۵	۳/۰	۴/۵	۰/۶۵	۳۴/۰	Gd	
۰/۳۵	۶/۹۰	۶/۸۰	۳/۴۰	۸/۵۰	۸/۵۰	۵/۱۰	۰/۶۵	۰/۸	۰/۱۰	۸/۸	Tb	
۳/۰	۳۸/۸	۶۱/۰	۳۹/۴	۹/۵۰	۵/۲۰	۵۵/۸	۴/۸	۵/۴	۱/۶	۶۱/۰	Dy	
۰/۷۸	۱۰/۵	۳۲/۳	۳۳/۱	۲/۶	۷/۰	۵۰/۶	۱/۴	۱/۴	۰/۴۰	۱۲/۰	Ho	
۲/۹	۳۰/۷	۴۸/۱	۱۶/۶	۷/۰	۱۷/۰	۵۶/۰	۴/۹	۴/۳	۰/۶۶	۲۸	Er	
۰/۴۶	۳/۵۰	۱۰/۵۰	۳۵/۰	۰/۹	۰/۹	۴/۴	۰/۹۸	۰/۷۳	۰/۱۳	۵/۲	Tm	
۲/۷	۱۷/۸	۱۳۲/۲	۱۵۲/۴	۱۱/۲۰/۱	۱۲/۳	۲۲۰/۷	۶/۰	۴/۳۷	۰/۸۱	۲۹/۰	Yb	
۰/۴۳	۳/۱	۸/۸	۵/۳	۰/۹	۰/۹	۱/۷۶	۰/۹۴	۰/۶۰	۰/۱۲	۳/۶	Lu	
۱۹/۱	۲۳۵/۰	۲۴۹/۶	۲۸۸/۲	۵۵/۹	۴۰/۲	۵۰۶/۲	۴۴/۱	۳۳/۸	۷/۳	۳۴۲	Y	
۴/۸	۱۸۷۰	۲۶۷۳	۲۱۹۳	۳۷۶	۶۰/۶	۳۲۱۵	۱۹/۵	۹۵/۲	۲/۳۱	۳۵۵۰	U	
۱	۵۶	۶/۹	۴۸/۸	۱۰/۶	۲۴۲	۵۲	۹/۳	۵۲۳	۱/۲	۷۵	Th	
۶/۷۵	۷۲/۵	۱۲۰/۴	۸۴۲	۲۴/۴۹	۲۵/۹۶	۱۰۸/۸	۵۹/۸۱	۳۸/۳۷	۲/۴۱	۹۵/۲۳	LREE	
۱۲/۳۲	۱۷۱/۰۲	۳۳۵/۳	۳۱۰/۴	۵۵/۶	۱۱۸/۵	۴۳۵/۹۶	۲۲/۶۷	۲۲/۱۰	۶/۷۸	۱۹۰/۶	HREE	



شکل ۷ - نمودار تغییرات REE نسبت به کاندیت در سنگهای شدیداً دگرسان کانی شده که با غنی شدگی HREE توأم بوده و می‌تواند بیانگر چرخش سیالات گرمایی و افت Eu باشد.

جدول ۸ - مقدار عناصر نادر خاکی در ناهنجاری شماره ۴ ساغند (ppm)

عنصر	Sa-14	Sa-15	Sa-22	Sa-60	Sa-65
La	4075/4	173/1	3566/4	3355/5	۳۰۰۰
Ce	۳۸۷۵/۱	۱۰۵	۲۹۵۶	۲۷۰۵	۳۱۴۴
Pr	۲۳۱/۸	۱	۱۹۱/۲	۲۰۸/۰	۱۹۱
Nd	۴۴۵/۸	۴۲/۰	۳۵۸/۵	۳۹۸/۵	۴۲۱
Sm	۱۲۵/۹	۱۱/۲	۱۰۰	۱۱۷	۱۲۸
Eu	۹/۵	۱	۱۰/۴	۷/۷	۱۰۸۰
Gd	۲۳۸/۶	۲۰/۸	۲۱۰/۳	۲۲۱/۰	۲۰۹
Tb	۸۷/۶	۱	۷۴/۸	۷۲	۵۶
Dy	۵۸۲	۱۳/۱	۵۰۷/۱	۴۵۳	۴۲۲
Hg	۱۲۶/۶	۳/۵	۹۳/۴	۱۰۶	۸۸
Er	۵۹۲/۲	۲۴/۵	۵۰۴/۶	۳۸۷	۲۲۶
Tm	۹۸/۹	۱	۱۰۱/۶	۶۳/۵	۴۶
Yb	۷۶۸/۸	۱۴/۹	۷۳۲/۹	۳۳۱/۵	۲۷۷
Lu	۱۰۰/۵	۶/۲	۱۱۷	۵۸/۳	۴۳
Y	۳۱۷۱/۶	۱۸۵/۸	۳۰۴۴/۱	۲۸۰۰	۱۹۹۲
ΣLREE	۷۶۳/۵	۳۳۳/۳	۷۱۸۲/۴	۶۷۹۱/۷	۶۸۹۴/۸
ΣHREE	۲۵۹۵/۲	۸۵	۲۳۳۲/۷	۱۶۹۲/۳	۱۳۶۷
U	۳۹۲۸	۲۶۳	۴۴۱۴	۱۳۲۰	۱۶۱۰
Th	۳۵۸	۱۱/۴	۴۶۸	۱۲۳	۱۰۰

۳ - نتیجه گیری

شده‌اند.

۲- جایگاه سنگ - چینه‌شناسی^{۱۶} و سرشت ماگماتیک سازندهای میزبان کانسارهای سرب و روی (نوع کوشک) باکانسارهای سنگ آهن و آپاتیت جدای از یکدیگر بوده و نوع اخیر به ماگماتیک آغازین فاز کافتی وابسته است، اماکانسار کوشک در مراحل پسین بوجود آمده است.

۳- کانسارهای آهن آپاتیت دار و آپاتیت لکه سیاه، اسفوردی و زریگان، منتسب به تکوین تفریقی نه چندان کامل ماگمای فرابازی نشأت گرفته از جُبه غنی شده، در حدود ۸۲۰ تا ۸۳۵ میلیون سال قبل در فراگرد یگانه‌ای بوجود آمده‌اند که پیامدهای آنها تشکیل آپاتیت بوده است. علت این امر قابلیت مهاجرت P و Fe به صورت

بر پایه بررسیهای انجام شده در منطقه فلززایی بافق - ساغند، پراکندگی و تمرکز عناصر نادر خاکی و ایتربیوم دارای ویژگیها و مشخصاتی است که خاص محیطهای کافتی با ماگماتیک فرابازی - قلیایی و مناطق دستخوش فعالیت زمین ساختی - ماگمایی می‌باشد و می‌توان آنرا به صورت زیر جمع‌بندی و خلاصه کرد:

۱- برخلاف تصور فورستر و جعفرزاده [۱۶]، سری میزبان کانسارهای عمده آهن، آپاتیت، سرب و روی، مواد رادیو اکتیو و عناصر نادر خاکی، گرچه در خاستگاهی با صفات زمین - پویایی همسان جای دارند ولی وضعیت چینه‌نگاری متفاوت داشته و هر یک از آنها در فراگرد ماگماتیک - متاسماتیک جداگانه به وجود آمده و بسی کهن تر از زمان پیش کامبری (اینفرا کامبرین) تشکیل

تفریق آن، جدایی و حرکت REE در کنترل مسیر تفریق ماگمایی بوده و از طریق جانشینی یون به یون صورت گرفته است (REE اولیه)

اما در مراحل پسین و جدایی سیالات متشکل از گاز و مایع، که در واقع فرایند اکسید شدن SiH_2 و رویکردهای آن می باشد، با تشکیل کانیهای متاسماتیت، به ویژه ایجاد گرانیب واره های نوع متاسماتیک، عناصر HREE و LREE تثبیت شده در کانیها رها گشته اند و به صورت کمپلکسهای فعال در سیستم متاسماتیسیم و درون سیالات گرمایی به حرکت درآمده و بر حسب گرایش زمین شیمیایی، کانیهای مختلف را در شرایط شیمی - فیزیکی خاص ساخته اند.

۵- کمپلکسهای حاوی REE دارای ویژگیها و گرایشهای متفاوت هستند: گروه REE_{Ce} عموماً پایدارتری کمتری داشته اند و بدین جهت در نخستین رخساره های متاسماتیسیم (متاسماتیسیم همبتر) مانند رخساره ناهنجاریهای ۵ و ۶ از سیستم خارج و همراه عناصر پرتوزا، با غلبه Th/U ، جای گیر شده اند. در عوض، عناصر REE گروه Y دارای کمپلکس پایدار در سیستم سیال کانی ساز بوده و مسیر مهاجرت طولانی تری را توانسته اند طی کنند. بدین جهت مقدار عناصر HREE یا REE_Y در فرآیندهای پسین متمرکز شده اند و با پرتوزایی مرتبط با اورانیوم هماهنگی و همزادی نشان می دهند.

۶- کانسارهای آپاتیت و ماگنتیت - آپاتیت ماگمازای ایران مرکزی از لحاظ LREE یا REE_{Ce} غنی ترند و گاه عیار در خور توجهی از تورنیوم دارند. در عوض، کانسارهای نوع متاسماتیت آهن و اورانیوم - تورنیوم علاوه بر REE_{Ce} در رخساره های خاص، قابلیت بیشتری به میزبانی عناصر HREE یا REE_Y داشته و به مراحل پسین فلززایی تعلق دارند که در بهترین وضعیت به صورت اورانیبیت ایتریوم دار خودنمایی می کند.

۷- این منطقه فلززایی، به ویژه انواع کانسارهای آهن، آپاتیت و مواد رادیو آکتیو از لحاظ عناصر نادر خاکی قابلیت ارزشمندی دارند که به عنوان سرمایه معدنی باید مورد توجه قرار گیرند و در فراگرد معدنکاری، کانه آرایشی و پالایش بررسی شوند. این عناصر در فناوریهای نوین از ارزش فنی و اقتصادی بالایی برخوردار دارند که عدم توجه به آنها، نادیده گرفتن ثروت ملی خواهد بود.

کمپلکسهای سدیم و شکست کمپلکس به هنگام وارد شدن Na در آبنوهای قوی تر AlSiO_8 و AlSiO_6 و بدست آمدن فرصت ترکیب برای CaO و P_2O_5 به صورت آپاتیت می باشد. غیر قابل امتزاج بودن سیال حاوی Fe و P با مذاب در حال تفریق و حرکت نقش اصلی را ایفا کرده است.

۴- پراکندگی عناصر نادر خاکی و ایتریوم، در کنترل عوامل حاکم بر دو وضعیت متفاوت می باشد: یکی وضعیت تفریقی در سری ماگمایی به عنوان فرایندی از متاسماتیسیم جبهه که در آن LREE و HREE تفریق ناقصی یافته و با آغاز تبلور به صورت همریخت (ایزومورف) در شبکه کریستالی آپاتیت وارد و جایگزین Ca شده است. طبق مدل هانت و همکاران [۱۸]، در سنگهای آتش فشانی و پلوتونی مافیک، عناصر نادر خاکی سبک و سنگین بدو در پیروکسن ها، هورنبلند، اسفن، آپاتیت و به مقدار کمتر در پلاژیوکلاز تمرکز یافته اند، اما در سنگهای آتش فشانی و نفوذی دارای ترکیب گرانیبی این عناصر در بیوتیت، آپاتیت، K - فلدسپار و پلاژیوکلاز سُدیک تقلیل یافته و HREE در زیرکن و گارنت جمع شده است. بدین روی فراگرد حاکم بر تغییر سرشت سنگ شناسی، خود مؤثر در پراکندگی و تفریق REE شده است. تفریق عناصر در فراگرد ذوب بخشی، با تثبیت HREE در پیروکسها، هورنبلند، اسفن و پلاژیوکلاز کلسیک و باقیماندن LREE در مذاب توام است که این امر موجب حرکت رو به بالای LREE در تکوین سری ماگمایی شده است. بررسیهای این پژوهشگران حاکی از آن است که سنگهای آتش فشانی نشأت گرفته از سقف حجره ماگمایی دارای میانگینی برابر یا بیشتر از LREE و مقادیری مساوی یا کمتر از HREE نسبت به منبع ماگمایی است. ولی مقایسه مقادیر REE در سنگهای پلوتونی و آتش فشانی نشان می دهد که در سنگهای آتش فشانی که ترکیب همسان دارند، تعداد HREE نسبت به مقادیری که در فراگرد تفریق می توان پیش بینی کرد بیشتر است. توضیح منطقی این ناهنجاری این است که سیلانها (SiH_2)، به هنگام جانشینی سیلیکاتهای فلزات زیر منیزیم توسط کوارتز، سبب رهایی HREE و LREE و مهاجرت آنها در سیالهای بانی متاسماتیسیم و مذابهای فزار و تمرکزشان در ترازهای بالاتر شده اند [۱۸].

این ساز و کار در پراکندگی و تمرکز عناصر نادر خاکی نوع متاسماتیت مصداق دارد. به بیان دیگر در مراحل تکوین ماگمایی و

مراجع

- ۱- درویش زاده، ۱۳۶۲: بررسی فسفات بافق (اسفوردی)، نشریه شماره ۱۳ جلد ۱ و ۲ مجله دانشکده علوم دانشگاه تهران، صفحات ۲۴-۲.
- ۲- سامانی بهرام، جعفرزاده اسدالله، پزشکیپور محسن ۱۳۶۹: متالورژی کانسارهای سنگ آهن در ایران، مجموعه مقاله‌های سمینار سنگ آهن، شرکت ملی فولاد ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، صفحات ۲۰۵-۱۷۵.
- ۳- سامانی بهرام ۱۳۶۴: کشف ماگماتیسیم کربناتیته و پدیده‌های همراه آن در ایران و ارتباط آنها با کانسارهای منطقه بافق - ساغند، نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۴، صفحات ۱۰۷-۹۹.
- ۴- سامانی بهرام، چن ژوئی، گواسوتانو و تائوکوان ۱۳۷۲: زمین شناسی پرکامبرین در ایران مرکزی از دیدگاه چینه نگاری، ماگماتیسیم و دگرگونی، فصلنامه علوم زمین شماره ۱۰، صفحات ۶۳-۴۰.
- ۵- سامانی بهرام ۱۳۷۲: معرفی سازند ساغند با رخساره ریفتی و جایگاه چینه نگاری آن در پرکامبرین پسین ایران مرکزی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶، صفحات ۴۵-۳۲.
- ۶- سامانی بهرام و باباخانی علیرضا، ۱۳۶۹: تکوین زمین شناسی ناحیه بافق - ساغند و مدل متالورژی کانسارهای آهن - آپاتیت و مواد پرتوزا، خلاصه مقالات نهمین گردهمایی علوم زمین، صفحات ۲۵-۲۴.
- ۷- سامانی بهرام، ۱۳۷۷: متالورژی پرکامبرین در ایران (بخش اول) - نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۱۷، صفحات ۱۶-۱.
- 8- AEOI, 1992: Regional evaluation and target area selection in Central Iran, AEOI int.rep.326 P.
- 9- AEOI, 1990 : Report on research programme at Saghand district, Atomic Energy Organization, int. rep.
- 10- Bachtiar, I. 1973: petrographische und lagerstallttenkundliche Untersuchugen des Narigan - Granits und seines geologischen Rahmens bei Bafq (Zentraliran). Ph.D. dissertation, Aachen, Germany 118 P.
- 11- Borumandi H. 1973: Petrographische und lagerstättenkundliche untersuchungen der Esfordi Formaiton Zwischen Mishdovan und kushk bei Bafq (Zentraliran), Ph. D. disertation, Aachen, Germany 174.
- 12- Chen Zuyi et. al 1994 : Evaluation of Apatite Mineralization Potential in Central Iran, Using Remote Sensing Technology, Ministry of Mines and Metals, Unpublished Rep. 140 P.
- 13- Daliran F. 1990 : The magnetite-apatite deposit of Mishdovan, east Central Iran, Heidelberger Geow. Abh. 37,248 P.
- 14- Forster H. and Borumandi H. 1971 : Jungprakambrische Magnetite - Lava und Magnetite tuffe aus dem Zentraliran : Die Naturwissenschaften V.58, PP. 524 - 525.
- 15-Forster H., Bachtiar, I. and Borumandi H. 1973: Petrographische Detailuntersuchungen im Bereich der Eisenerzlagerstätten Von Bafq (Zentraliran), Zeit. der Deut. Geol. Gesell. Vol. 124, PP. 121-134.
- 16-Forster H. and Jafarzadeh A. 1984: The Chador Malu Irons Ore deposit (Bafq district, Central Iran) - Magnetite filled pipes: Neues Jahr. fur Geol. und palao. Abh. Vol 168 PP. 524-534.
- 17- Forster H. and Jafarzadeh A. 1994: The Bafq Mining District in Central Iran - a High Mineralized Infracambrian Volcanic Field, Eco. Geo. PP. 1697-1721.
- 18- Hunt C. W. (editor), Collins L.G. and Skobeling E.A., 1992: Expanding Geospheres, Energy and Mass Transfers from Earth's Interior, 421 P.
- 19- NISCO 1971: On the results of geological - geophysical prospecting for iron Ores in Bafq - Saghand and

- Zarand regions, NISCO 195 P.
- 20- NISCO 1976: On the results of additional exploration of Choghart iron ore deposit, NISCO Rep. 99 P.
- 21- NISCO 1979: Brief account on the Bafq iron ore region of central Iran, NISCO Rep. 149 P.
- 22- Samani B.1984: Recognition of Uraniferous provinces from the Precambrian of Iran, 27 IGC, MOSCOW.
- 23- Samani B. 1988a: Recognition of Uraniferous provinces from the Precambrian of Iran, KRYSTALINIKUM 19, PP. 147-165.
- 24- Samani B. 1988 b: Metallogeny of precambrian in Iran, precambrian Research Vol.39, No1-2 pp. 85-106.
- 25- Smirnov V.I. (Editor), A.I. Ginzburg, V.M. Grigoriev and G.F.Yakovlev 1983: Studies of Mineral Deposits, Mir Publisher, Moscow, 288 P.
- 26- Williams G.J. and Hushmandzadeh A. 1966: A petrological and genetic study of the Choghart iron ore body and the surrounding rocks, GSI, Rep. (Unpublished), 18 P.

Metallogenesis of Rare Earth Elements in Precambrian terrane of central Iran

Bahram Samani

Abstract

Mineralization of Rare Earth Elements (REE) associated with apatite, magnetite, uranium, thorium and titanium ore formation occurred during Lufilian - Pan African metallogenic stage. Its formation is related to alkaline magmatism, and associated metasomatic processes. The REE mineralization has been recognized by different characteristics in the following complexes and stages :

1. Formation of enriched mantle, and its differentiation to form magnetite - apatite ore deposits as final products (e.g. Choghart, Esfordi, Lakeh Siah, Chah Gaz, and Sechahun X Fe - deposits), hosting light Rare Earth Elements.
2. Central - type metasomatism, formation of metasomatic granitoid bodies, and zonal metasomatites, associated with Fe - Ti - Th - U - REE/Ce ore formation.
3. Pneumato - hydrothermal metasomatism in semi - opened system and formation of U - Mo (Co, REEY) and Th ore deposits.

Spatial distribution, metallogenetic processes, REE - ore - formations, and its resources are being reported in this article. It is concluded that during the late Precambrian metallogenic cycle (840 to 580 Ma), several REE - bearing complexes have been formed.

These resources could be considered as a suitable targets for future development of mining industries and production of specific raw material which will be demanded by high - technology industries in early decades of 21st century.