

وزارت صنایع و معادن

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

کتابخانه سازمان زمین شناسی و  
اکتشافات معدنی کشور

مقدمه ای بر زمین شناسی اقتصادی عناصر نادر

(An Introduction to the Economic Geology of Rare Elements)

ترجمه و گرد آوری: خلیل بهارفیروزی

کتابخانه سازمان زمین شناسی و  
اکتشافات معدنی کشور  
شماره: ۸۲، ۶۱۳  
۸۳۱۷۸

سال ۱۳۸۴

## فهرست مطالب

۱	.....مقدمه
۵	.....عناصر نادر (Rare Elements)
۸	.....۱-گروه عناصر نادر آلکالن
۸	.....۱-۱-لیتیم
۱۱	.....۲-۱-سزیم و روییدیم
۱۴	.....۲-گروه عناصر نادر سبک
۱۴	.....۱-۲-بریلیم
۱۹	.....۳-عناصر کمیاب با نقطه ذوب بالا
۱۹	.....۱-۳-نیوبیوم و تانتالیم
۲۷	.....۲-۳-زیرکونیم و هافنیم
۳۲	.....۴-عناصر نادر خاکی (Rare Earth Elements) و عناصر شبیه به آنها
۳۲	.....۱-۴-کلیات
۳۷	.....۲-۴-موارد کاربرد
۴۰	.....۳-۴-ژئوشیمی عناصر نادر خاکی
۴۲	.....۴-۴-انواع کانسارهای اقتصادی عناصر نادر خاکی
۴۲	.....۱-۴-۴-انباشته های ماگمایی
۴۵	.....۲-۴-۴-انباشته های همراه با متاسوماتیت های فلدسپاتی
۴۶	.....۳-۴-۴-انباشته های اسکارنی و انواع دیگر کنتاکت ها
۴۷	.....۴-۴-۴-انباشته های کربناتی
۴۷	.....۵-۴-۴-انباشته های هیدروترمال پلوتوژنیک
۴۹	.....الف-انباشته های کربنات - باریت - باستناسیت
۴۹	.....ب-انباشته های فلوریت - باستناسیت و کانه آهن
۵۰	.....ج-انباشته های عناصر نادر خاکی و عناصر پایه
۵۱	.....۴-۴-۶-انباشته های پلاسری
۵۱	.....۴-۴-۷-انباشته های رسوبی
۵۱	.....۵-۴-ژئوشیمی و کانسارهای اسکاندیم
۵۴	.....۵-عناصر پراکنده که در کانه های سولفیدی متمرکز می شوند
۵۴	.....۱-۵-انباشته های ژرمانیم
۵۵	.....۱-۱-۵-ژئوشیمی و کانیهای ژرمانیم
۵۷	.....۲-۱-۵-انواع کانسارهای ژرمانیم
۵۷	.....الف) -انباشته های هیدروترمال ژرمانیم
۵۸	.....ب) -انباشته های رسوبی ژرمانیم

## فهرست مطالب

۶۰	۲-۵- کانسارهای رنیم
۶۲	۳-۵- انباشته های تالیم
۶۴	۴-۵- انباشته های گالیم
۶۶	۵-۵- انباشته های کادمیم
۶۸	۶-۵- انباشته های ایندیم
۷۰	۷-۵- انباشته های سلنیم و تلوریم

## فهرست اشکال

۲	شکل شماره (۱) رده بندی عناصر براساس رفتار آنها در فرایند های آذرین
۷	شکل شماره (۲)-جدول تناوبی عناصر وموقعیت گروههای گوناگون عناصر نادر بر روی آن

## فهرست جداول

۹	جدول شماره (۱) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی لیتیم در قرن بیستم
۱۳	جدول شماره (۲) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی سزیم در قرن بیستم
۱۸	جدول شماره (۳) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی بریلیم در قرن بیستم
۲۵	جدول شماره (۴) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی تانتالیم در قرن بیستم
۳۰	جدول شماره (۵) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی زیرکونیم در قرن بیستم
۳۰	جدول شماره (۶) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی هافنیم در قرن بیستم
۳۴	جدول شماره (۷)-تاریخ کشف و نامگذاری عناصر گوناگون REE
۳۶	جدول شماره (۸)-برخی از خواص عناصر REE
۳۷	جدول شماره (۹) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی عناصر نادر خاکی در قرن بیستم
۳۸	جدول شماره (۱۰) - موارد کاربرد عناصر گوناگون REE
۵۷	جدول شماره (۱۱) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی ژرمانیم در قرن بیستم
۶۱	جدول شماره (۱۲) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی رنیم در قرن بیستم
۶۳	جدول شماره (۱۳) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی تالیم در قرن بیستم
۶۵	جدول شماره (۱۴) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی گالیم در قرن بیستم
۶۸	جدول شماره (۱۵) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی کادمیم در قرن بیستم
۷۰	جدول شماره (۱۶) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی ایندیم در قرن بیستم
۷۳	جدول شماره (۱۷) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی سلنیم در قرن بیستم

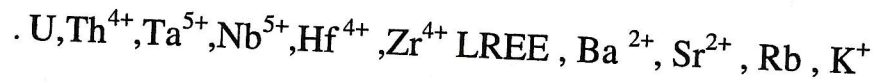
در یک تقسیم بندی کلی ژئوشیمیائی ، عناصر تشکیل دهنده سنگها در سه دسته قرار میگیرند. این دسته بندی براساس میزان فراوانی عناصر در سنگها است. عناصری که میزان فراوانی آنها بیش از ۰٫۱ درصد وزنی سنگ را تشکیل می دهند بعنوان عناصر اصلی (Major Elements) معروف هستند. عناصری که میزان فراوانی آنها از ۰٫۱ تا ۰٫۰۱ درصد وزنی از سنگها را تشکیل می دهند بعنوان عناصر فرعی (Minor Elements) نامیده می شوند و سرانجام عناصری که میزان فراوانی آنها کمتر از ۰٫۰۱ درصد وزنی از سنگ را تشکیل میدهند بعنوان عناصر با فراوانی کم (Trace Elements) نامبردارند. هر یک از عناصر یاد شده در سنگهای گوناگون آذرین ، رسوبی و دگرگونی رفتار ی ناهمسان را در فرایندهای گوناگون آن نشان می دهند. عناصر با فراوانی کم (Trace Elements) از دیدگاه علمی و بر پایه رفتار آنها در فرایندهای گوناگون عمل کننده در سنگهای آذرین ، رسوبی و دگرگونی در چند رده قرار میگیرند. این دسته از عناصر در سیستم آذرین به دو رده تقسیم می شوند (شکل شماره ۱).

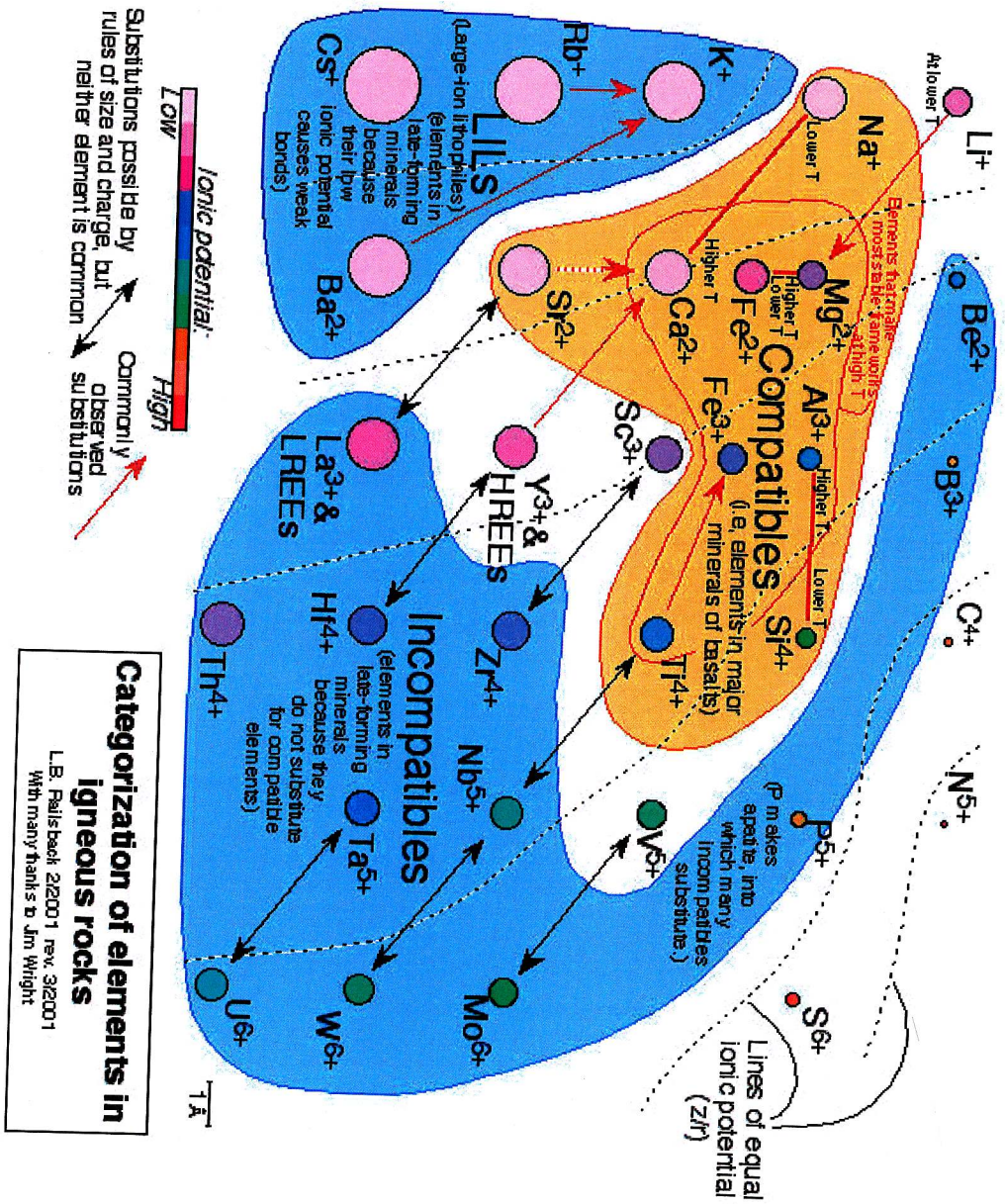
۱- عناصر سازگار (Compatible E.) : در فازهای تشکیل شده در گامه های آغازین وارد می شوند.

۲- عناصر ناسازگار (Incompatible E.) : عناصر ناسازگار در فازهای تاخیری سنگهای آذرین وارد می شوند و منطبق بر عناصر با پتانسیل یونی بالا هستند. برخی از عناصر بدلیل آنکه دارای الگوی جانشینی با عناصر دیگر هستند بصورت ناسازگار عمل می کنند. عناصر ناسازگار شامل دو گروه هستند :

۱-۲- عناصر با میدان پایداری بالا (High Field Strength Elements.) که با علامت اختصاری HFSE مشخص می شوند. عناصر HFSE عبارتند از Hf, Zr, Ta, Nb.

۲-۲- عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (Large Ion Lithophile Elements.) بدلیل آنکه پیوند ضعیفی با اکسیژن می سازند در فازهای گامه های تاخیری وارد می شوند. این گروه از عناصر با علامت اختصاری LILE مشخص می شوند. عناصر LILE عبارتند





**Categorization of elements in igneous rocks**  
 L.B. Failsback, 202001, rev. 3/2001  
 With many thanks to Jim Wright

شکل شماره (۱) آورده بندی عناصر براساس رفتار آنها در فرایند های آذرین

برخی از عناصر با فراوانی کم دارای ارتباط تنگاتنگ با همدیگر هستند همانند Zn-Cd,Zr-Hf,Al-Ga K-Rb

از دیدگاه علمی عناصر با فراوانی کم در پتروژنز سنگهای آذرین برای موارد زیر استفاده می شوند

۱- تعیین مدل‌های گوناگون تفریق ماگمائی یعنی تبلور تفریقی

(fractional crystallization) در برابر ذوب بخشی

۲- تعیین ژرفای تشکیل ماگمای اولیه

۳- تعیین شرایط اکسیدان ماگما

۴- مطالعات تکتونیکی و مجموعه پالئوتکتونیک ماگما

در سنگهای رسوبی، بیشتر عناصر با فراوانی کم در شیل‌ها فراوان‌تر از ماسه‌سنگها و یا سنگ آهکها هستند

از دیدگاه کاربردی بخشی از عناصر با فراوانی کم (Trace Elements) بعنوان عناصر نادر

(Rare Elements) معروف هستند که در این نوشتار نیز بطور عمده به آنها پرداخته می

شود. آنچه در ادامه آورده می شود تلفیقی از اطلاعات جمع آوری شده ای از سایت‌های گوناگون

اینترنتی و همچنین ترجمه‌ای از بخش‌هایی از کتاب انگلیسی Studies of Mineral Deposits

نوشته V.I.Smirnov و همکاران که برگردان انگلیسی آن بوسیله A.A.Beus صورت پذیرفته

و در سال ۱۹۸۳ توسط انتشارات میر Mir Publication چاپ شده است.

## -عناصر نادر (Rare Elements)

عناصری هستند که بنا به دلایل گوناگون، از جمله کشف دیر هنگام، رخداد کم در طبیعت، نداشتن تقاضا در بازار، فرآیند استحصال بسیار دشوار) تنها در چند دهه اخیر در صنایع مورد توجه قرار گرفته اند و بنام عناصر نادر مصطلح شده اند. این عناصر شامل بیش از ۳۰ عنصر هستند که به چند گروه تقسیم می شوند. (شکل شماره ۲ جدول تناوبی عناصر و موقعیت عناصر نادر شرح داده شده در این نوشتار را نشان می دهد)

۱- عناصر نادر آلكالین (Rare Alkaline Elements) شامل لیتیم، روبیدیم و سزیم

۲- عناصر نادر سبک (Light Rare Elements) تنها عنصر برلیوم در این گروه قرار میگیرد.

۳- عناصر با فراوانی کم با نقطه ذوب بالا (High Melting Elements) شامل تانتالیم،

نیوبیوم، زیرکنیم و هافنیم

۴- عناصر نادر خاکی (Rare Earth Elements) یا لانتانیدها و عناصر شبیه به آنها مثل

ایتریم و اسکاندیم

۵- عناصر پراکنده ای که بطور عمده در کانه های سولفیدی متمرکز می شوند و شامل

ژرمانیم، گالیم، رنیم، تالیم، کادمیوم، ایندیم، سلنیم و تلوریم

از این روی، اصطلاح عناصر نادر آن چنان مرتبط با رخداد نادر آنها در طبیعت نیست. این

عناصر گاهی بنام فلزات نادر Rare Metal نیز نامیده می شوند که البته چون برخی از آنها شبه

فلز هستند (مثل سلنیم) از این روی، اصطلاح عناصر نادر (Rare Elements) درست تر می

نماید.

اگر چه عناصر نادر متعلق به گروه های متفاوت در جدول تناوبی عناصر هستند و دارای رفتار






گوناگون در پوسته زمین می باشند، همه آنها دارای یک سیمای مشترک هستند و آن هم داشتن

یک یا چند آنالوگ ژئوشیمیایی در میان عناصر اصلی (Major Elements) در سنگها و کانه ها

می باشند. تمایل ژئوشیمیایی بالای میان آنها باعث کم شدن امکان تمرکز قابل توجه عناصر نادر



برای تشکیل کانسار شده است و این عناصر بطورعمده در درون کانی های تشکیل دهنده سنگها و یا کانه ها پراکنده می شوند. عناصر اصلی تشکیل دهنده سنگها (گروه P) و آنالوگ های ژئوشیمیائی نادر آنها (گروه R) تشکیل زوج های ژئوشیمیائی منحصر به فردی را می دهند. در این میان عناصر Ca-TR ، Ti-Nb-Ta ، Mo-Re ، Al-Ga ، Si-Ge ، K-Rb ، Zn-Cd ، S-Se ، شایان یادآوری اند. تمرکز عناصر نادر تنها در یک حالت روی می دهد و آن جداشدن مسیر مهاجرت عناصر اصلی (گروه P) از عناصر نادر آنالوگ آنها (گروه R) است. در ادامه گروههای گوناگون عناصر نادر از دیدگاه زمین شناسی شرح داده می شوند.

	Alkaline Rare Elements		Rare Earth Elements
	Light Rare Elements		Rare Elements Accumulating In Sulfide Ores
	High Melting Rare Elements		

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Nh	108 Fl	109 Mc	110	111	112	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)
(119)	(120)	(121)	(154)	(155)	(156)	(157)	(158)	(159)	(160)	(161)	(162)	(163)	(164)	(165)	(166)	(167)	(168)

**LANTHANIDES**

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

**ACTINIDES**

90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

**SUPER-ACTINIDES**

(122)	(123)	(124)	(125)	(126)									(153)
-------	-------	-------	-------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	-------

شکل شماره (۲) - جدول تناوبی عناصر وموقعیت گروههای گوناگون عناصر نادر بر روی آن

## ۱- گروه عناصر نادر آکالن

### ۱-۱- لیتیم

در سال ۱۸۱۷ بوسیله A. Arfwedson (شیمیدان سوئدی) کشف شد. در قرن گذشته به مقدار کم در صنایع داروئی استفاده شد. بدلیل وزن مخصوص بسیار اندک آن (۰/۵۳)، ظرفیت گرمایی بالا، قابلیت واکنش بسیار بالا، پتانسیل بسیار بالا برای تشکیل آلیاژ با برلیوم، آلومینیوم، مس و سرب این فلز در بیش از ۱۵۰ مورد کاربرد دارد. لیتیم در شیشه سازی، متالورژی، صنایع الکتریکی، سرامیک و شیمیائی استفاده می شود. دارای دو ایزوتوپ  ${}^6\text{Li}$  و  ${}^7\text{Li}$  است.

کانسارهای با عیار بالای این فلز داری ۱/۵-۱/۳ و بندرت تا ۲ درصد  $\text{Li}_2\text{O}$  هستند. کانسارهای کم عیار آنها دارای ۱-۰/۶ درصد  $\text{Li}_2\text{O}$  هستند. مهمترین منبع لیتیم، پگماتیت ها، شورابه ها و آبهای حوضه های با تبخیر شدید و همچنین آبهای زیرزمینی داری برم و ید در میدانهای نفتی هستند. کانسارهای بزرگ لیتیم دارای ذخیرای بین ۵۰۰ هزار تا یک میلیون تن، متوسط دارای ذخیره ۲۰۰ تا ۵۰۰ هزار تن و کانسارهای کوچک دارای ذخیره کمتر از ۲۰۰ هزار تن هستند.

از دیدگاه ژئوشیمیائی لیتیم یک عنصر لیتوفیل پوسته ای است که در سنگهای ماگمائی اسیدی و سنگهای رسوبی رسوبی پوسته زمین متمرکز می شود. میزان کلارک آن (در پوسته زمین)  $2/9 \times 10^{-3}$  است. ضریب غنی شدگی آن نیز نزدیک به ۵۰۰ است. در فرآیندهای ماگمائی لیتیم بطور عمده دنباله روی منیزیم است و در بسیاری از موارد بصورت ایزومورف جانشین آن می شود. (پیروکسن، آمفیبول، میکا و کلریت های لیتیم دار). در فرآیند تبلور ماگمائی مسیر لیتیم از منیزیم جدا می شود. لیتیم در درون کمپلکس های تفریق یافته گرانیتی متمرکز می شود و بطور عمده در پگماتیت ها و گرانیت ها دیده

می‌شود، غنی شدگی لیتیم در شورابه‌های بازمانده در طی تبلور لیتیم‌های نمکی به همین دلیل است.

لیتیم در ساختمان ۲۸ کانی که بطور عمده سیلیکاته و فسفاته هستند متمرکز می‌شود اما این فلز بطور عمده از اسپدومن ( $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ ) (تصویر شماره ۱) استحصال می‌شود. این کانی دارای ۶-۷/۵ درصد  $\text{Li}_2\text{O}$  است.

کانی‌های دیگر آن شامل پتالیت  $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ، اپیدولیت  $\text{LiAl}\{\text{PO}_4\}(\text{F},\text{OH})$ ، آمبلی گونیست  $\text{KLi}_n(\text{Fe},\text{Mg})_m\text{Al}_p\{\text{Si}_{4-q}\text{Al}_q\text{I}_{10}\}\text{F},\text{OH}$ ، ائوکریپتیت ( $\text{LiAl}\{\text{SiO}_4\}$ ) زینوالدیت ( $\text{K LiAl}(\text{Mg},\text{Fe})(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})$  هستند (تصویر شماره ۱).

مهمترین کانسارهای اقتصادی لیتیم نیز در دو گروه کانسارهای پگماتیتی و کانسارهای همراه با آبهای معدنی (mineral water) تقسیم می‌شوند. میزان تولید جهانی و قیمت پایه لیتیم در سالهای گوناگون قرن بیستم در جدول شماره (۱) آورده شده است.

سال	۱۹۲۵	۱۹۳۰	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)	۳۷۳۰	۳,۰۳۴	۳,۴۳۶	۱۸,۰۲۷	۸۷,۰۷۷	۷۳,۰۹۱	۹۲,۸۱۳	۱۶۲,۵۹۰	۱۷۷,۴۳۰	۱۸۹,۳۰۰
قیمت واحد دلار در تن	-	-	-	-	۱,۶۳۰	۱,۱۵۰	۲,۶۶۰	۴,۰۳۰	۴,۳۴۰	۴,۴۷۰

جدول شماره (۱) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی لیتیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*



اسپدومن



اسپدومن



لیپیدولیت



پتالیت



زینوالدیت



لیپیدولیت

تصویر شماره (۱)-تصاویری از کانیهای گوناگون لیتیم دار

## ۱-۲- سزیم و روبیدیم

روبیدیم نخستین بار بوسیله آنالیز طیفی توسط R. Bunsen در سال ۱۸۵۹ و سزیم نیز بوسیله آنالیز طیفی توسط R. Kirchhoff در سال ۱۸۶۰ شناسائی شده اند. برای مدت طولانی این عناصر هیچگونه کاربردی نداشتند. سزیم با داشتن بزرگترین شعاع یونی در بین کاتیونها و پائین ترین پتانسیل یونی هنگامی که در برابر اشعه خورشیدی و یا اشعه کیهانی قرار گیرد و یا گرم شود می تواند بعنوان منبعی برای جریان الکترونها باشد. این خاصیتی است که سلولهای Photoemissive ، Photo electron Multiplier ، Electron-Optical Transducer و باطریهای خورشیدی بر اساس آن کار می کنند. سزیم بعنوان سوخت موتورهای راکت های یونی در پروازهای فضائی همچنین در ژنراتورهای پلاسمائی (تبدیل مستقیم انرژی گرمایی به الکتریسیته در ژنراتورهای MHD , TET) استفاده می شود.

روبیدیم به مقدار محدود در داروسازی و در شیمی تجزیه استفاده می شود. بیشترین تولید سزیم از پولوسیت های موجود در انباشته های پگماتیته بدست می آید که ممکن است از ۰/۳ تا ۳ درصد عیار  $Cs_2O$  باشند. در کنسانتره این محصولات مقدار  $Cs_2O$  کمتر از ۲۰ درصد نیست. انباشته های بزرگ آن دارای ذخیره چند هزار تن ، انباشته های متوسط دارای ذخیره چند صد تن و ذخیره های کوچک آن دارای چند ده تن می باشند.

هر دو عنصر سزیم و روبیدیم لیتوفیل بوده و در محصولات پایانی تفریق کمپلکس های گرانیته پالین ژنتیک متمرکز می شوند. میزان کلارک سزیم در پوسته زمین  $۳/۷ \times 10^{-۴}$  درصد و کلارک روبیدیم  $۱/۵ \times 10^{-۲}$  درصد می باشد. ضریب غنی شدگی سزیم بیش از

۸۰۰۰۰ و ضریب غنی شدگی روبیدیم ۲۰ است. این اختلاف در ضریب غنی شدگی

مهمترین سیمای آنها در سرنوشت ژئوشیمیائی آنها است.

مهمترین آنالوگ پترولوژیکی این دو عنصر پتاسیم است. ولی از آنجائیکه شعاع یونی روبیدیم نسبت به سزیم به پتاسیم نزدیکتر است از این روی، روبیدیم بطور معمول بطور کامل در کانیهای پتاسیم دار پراکنده می شود و تنها در پگماتیت های گرانیتی دارای فلزات کمیاب در مراحل پایانی تبلور آنها در درون میکروکلین، موسکویت و لپیدولیت متمرکز می شود. سزیم بدلیل شعاع یونی بزرگ تنها در کانیهایی مثل میکا و بریل وارد می شود. از این روی، این فلز در محلولهای باقی مانده جمع شده و کانی خاصی خود یعنی پلوسیت  $\{Cs,Na\}(AlSi_2O_6)_nH_2O$  (تصویر شماره ۲) با میزان  $Cs_2O$  ۳۰ تا ۳۴ درصد را تشکیل می دهد.

هنگامی که یک توده پگماتیت لیتیم دار در درون آمفیبولیت ها نفوذ نماید باعث تشکیل تورمالین و بیوتیت در محل کنتاکت شده و بیوتیت حاصله می تواند دارای ۶ تا ۱۰ درصد  $Cs_2O$  شود. در سنگهای گرانیت آکالن و سینیت ها و در زون خارجی (exocontact)، تجمع کانیها گروه آستروفیلیت محتوی بیش از ۱/۵ تا ۲ درصد  $Cs_2O$  نیز دیده شده است. سزیم در درون ترکیب شیشه های آتشفشانی اسیدی و متوسط، پرلیت ها نیز تا بیش از ۰/۵ درصد  $Cs_2O$  وارد می شود. در این موارد ارتباط مستقیم بین سزیم و  $H_2O$  وجود دارد. شیشه های آتشفشانی بطور معمول در نزدیک مناطق تکتونیزه غنی از سزیم می شوند که نشاندهنده ورود بعدی سزیم به درون آنها است. در محیط اگزوزن نیز سزیم و روبیدیم همراه با پتاسیم در درون سنگهای نمک دار جمع می شوند. روبیدیم ممکن است در درون سیلویت، کارنالیت و سزیم نیز بوسیله گل (mud) جذب شود و یا در درون آب باقی بماند.

تقریباً تمامی سزیم از پلوسیت و یا بعنوان محصول جانبی در فرآوری کنسانتره لپیدولیت و اسپدومن بدست می آید. روبیدیم نیز بعنوان محصول جانبی از فرآوری نمک های پتاسیم دار و کنسانتره لپیدولیت بدست می آید.

متاسوماتیت های مربوط به اگزو کنتاکت که دارای بیوتیت سزیم دار باشند همچنین شیشه های ولکانیکی دارای پتانسیل ویژه برای سزیم هستند. مهمترین انباشته سزیم در دنیا کانسار Bernik Lake در کانادا است که در میان سنگهای رسوبی - ولکانوژنیک دگرگون شده پروتروزوئیک زیرین رخداده است. این کانساز یک زونالیتیه را نشان می دهد که بخش مرکزی آن شامل یک زون پلوسیت دار است که با ذخیره حدود ۲۷۰ هزار تن دارای عیار تا ۲۸ درصد  $Cs_2O$  است (عیار میانگین ۲۰/۴ درصد). این کانسار دارای مقادیر قابل ملاحظه ای از تانتالیم و لیتیم نیز است. اخیراً تیپ خاصی از انباشته های سزیم در ژیسریتها(انباشته های سیلیسی ته نشین شده از آبهای سرد ویا

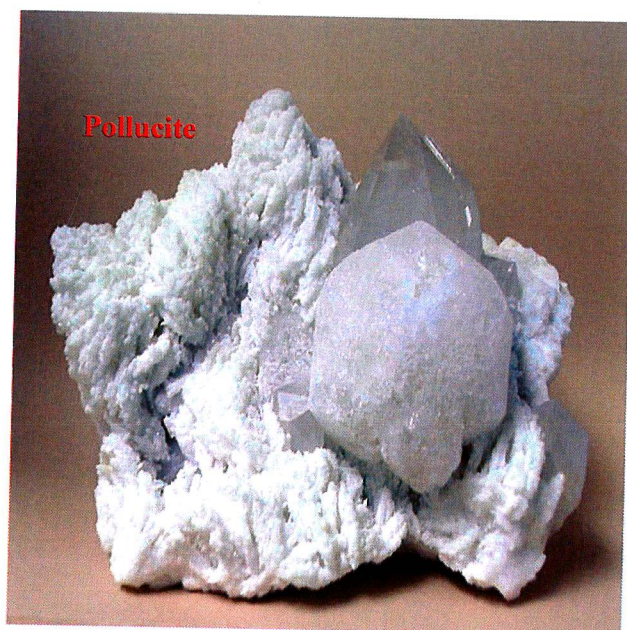
گرم) در ثبت معرفی شده است.

سال	۱۹۶۱	۱۹۷۱	۱۹۷۵	۱۹۷۷	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)	۱۱	۹۱	۷۳	۱۸				
قیمت واحد هزار دلار در تن	۸۳۰	۵۲۰	۵۲۰	۶۶۰	۵۰۰	۶۹۰	۴۰,۸۰۰	۶۳,۳۰۰

جدول شماره (۲) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی سزیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*





تصویر شماره (۲)-تصویری از کانی پلوسیت  $\{(Cs,Na)(AlSi_2O_6),nH_2O\}$  ، کانی مهم سزیم

## ۲-گروه عناصر نادر سبک

تنها عنصر این گروه بریلیم است که در ادامه شرح داده می شود.

### ۲-۱- بریلیم

بریلیم در سال ۱۷۹۸ بوسیله شیمیست فرانسوی L. Vaquelin در درون بریل کشف گردیده است. فلز خالص آن پس از گذشت یک قرن بوسیله P. Lebeau بدست آمده است. بریلیم بوسیله وزن مخصوص بسیار پائین ( $1/847$  گرم بر سانتی متر مکعب) ، سختی بالا ، الاستیسیته بالا و ظرفیت گرمایی بالا شناخته شده است. بریلیم در تکنولوژی های هسته ای ، ساخت هواپیماها ، موشک و فضاپیماها ، قطعات ژيروسکپی ، سیستم های ناوبری و جهت یابی قابل کاربرد است. آلیاژهای بریلیم با مس ، روی ، سرب و قلع برای مذاب های non-Sparking و آلیاژ آن با آلومینیم و منیزیم برای تولید آلیاژهای بسیار سبک استفاده می شود.

مهمترین انباشته های بریلیم در پگماتیت های گرانیتی (با کانیهای بریلیم همراه با موسکویت ، کانیهای تانتالیم و لیتیم) ، انباشته های گرایزی و رگه های کوارتزبا محصولات جانبی تنگستن ، مولیبدن و بیسموت ، متاسوماتیت های دربردارنده فناکیت ، برتراندیت و فلورین ، سنگهای خروجی دارای برتراندیت (با محصول جانبی فلوریت) هستند. به هنگام کاربرد بریلیم در فناوری های هسته ای ، وجود عناصر نادر خاکی با قابلیت جذب نوترونی بالای همراه آنها بسیار مضرند. کانسارهای بزرگ بریلیم دارای ذخیره ۴۰ تا ۱۰۰ هزار تن BeO هستند. کانسارهایی که دارای عیار بالای ۰/۵ درصد BeO باشند بعنوان کانسارهای پرعیار و آنهایی که دارای عیار ۰/۱-۰/۴ درصد هستند بعنوان ذخایر کم عیار بحساب می آیند.

از دیدگاه ژئوشیمیایی بریلیم دارای یک ایزوتوپ پایدار  $^9\text{Be}$  است. در واکنش های هسته ای ایزوتوپ های  $^7\text{Be}$  و  $^{10}\text{Be}$  بوسیله اشعه کیهانی تشکیل می شوند. بریلیم یک عنصر لیتوفیل است. این عنصر همراه با ماگماهای گرانیت پالین ژنتیک ، گرانیت های آکالن و نفلین سینینیت متمرکز می شود.

میزان کلارک این عنصر در پوسته زمین  $3/8 \times 10^{-4}$  درصد است. توده های نفوذی که ممکن است باعث ایجاد ذخیره ای از این عنصر شوند دارای BeO بیشتر از  $5 \times 10^{-4}$  درصد هستند. ضریب غنی شدگی این عنصر ۴۰۰ است. دارای آنالوگ ژئوشیمیایی مستقیم در کانیهای تشکیل دهنده سنگها نیست اما گاهی ممکن است جانشین سیلیسیم و آلومینیم شود. از این روی ، بطور معمول در کانیهای گوناگون پراکنده می شود و یا ممکن است بحدی تمرکز یابد که باعث تشکیل کانیهای خود شود. تعداد این کانیها ۵۵ عدد است. بریلیم می تواند تشکیل کمپلکس های فلوریدی و یا کربناتی دهد و مهاجرت نماید. در این حالت وجود فلور بعنوان یک عامل استخراج کننده بریلیم در مذاب گرانیتی عمل می نماید و ضمن حمل آن باعث آسانی جابجائی ، و افزایش غلظت آن در محلولهای هیدروترمال و فوق بحرانی می شود. در اثر تخریب ترکیبات کمپلکس بوسیله تغییر PH ، فشار ، حرارت و واکنش با سنگهای دیواره ، باعث تشکیل انباشته می شود. در

شرایط اگزوزن بریلیم در ارتباط نزدیک با آلومینیم است و در رسها به مقدار قابل توجه متمرکز می شود.

کانیهای بریلیم شامل کانیهای سیلیکاته و آلومینو سیلیکاته ، فسفات ، اکسیدی و بوراته هستند. کانیهای که دارای ارزش اقتصادی هستند (تصویر شماره ۳) عبارتند از بریل ( $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_8)$ ) با ۱۰-۱۲ درصد  $\text{BeO}$  ، فناکیت ( $\text{Be}_2\text{SiO}_4$ ) با ۴۰-۴۴ درصد  $\text{BeO}$  ، برتراندیت ( $\text{Be}_4(\text{SiO}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2$ ) با ۴۰-۴۲ درصد  $\text{BeO}$  ، کریزوبریل ( $\text{Al}_2\text{BeO}_4$ ) با ۱۸-۲۰ درصد  $\text{BeO}$  و چند کانی دیگر.

همه کانسارهای بریلیم از نوع اندوژنیک و به ۵ دسته قابل تقسیم هستند: ۱- کانسارهای پگماتی ۲- متاسوماتیت های فلدسپاتی ۳- گرایزن ۴- هیدروترمال با منشاء پلوتوژنیک ۵- هیدروترمال با منشاء ولکانوژنیک.

الف- کانسارهای پگماتی : رایج ترین کانسار بریلیم است. گاهی بلورهای از بریل با وزن چند تن نیز در پگماتیتهای دیده می شوند. این پگماتیتهای بطور عمده دارای دیرینه پروتروزوئیک هستند و سنگهای در برگیرنده آنها سنگهای دگرگونی با رخساره کیانیت آمفیبولیت هستند

ب- کانسارهای موجود در متاسوماتیت های فلدسپاتی : در مناطق سپرها و در مناطق گسل های قدیمی پوسته ای متمرکز هستند. سنگهای در برگیرنده آنها شامل گرانیت ها ، گنیس ها و سنگهای بازیک میلونیته شده هستند. کانی سازی در ارتباط با توده های نامنظم میکروکلینیت ، کوارتز میکروکلین و کوارتز - آلبیت - میکروکلین هستند. این سنگها در طی فرآیند میکروکلین زائی شدید ، آلبیتی شدن و گرایزنی شدن بوجود می آیند.

ج- انباشته های گرایزنی : در بخش های رآسی گنبد های گرانیتی که در ژرفای کم و میانه جایگزینی شده اند تشکیل می گردند. ممکن است در درون خود گرانیت و یا سنگهای بالای آن ، بصورت استوک ورک و یا توده های رگه ای دیده شوند. منطقه بندی عمودی نیز در آنها دیده می شود و کانه های بریلیم در بالای گنبد گرانیتی دارای فلزات نادر و تانتالیم جای می گیرند و به

سمت بالا در زون گرایزن دربردارنده قلع و تنگستن نفوذ می کند. کانسارهای گرایزن دارای عیار  $0/3-0/8$  درصد BeO هستند.

د- انباشته های هیدروترمال پلوتوژنیک : مجموعه ای از متاسوماتیت های برتراندیت ، فناکیت و فلوریت دار که شبیه به گرایزنهای آپوکربنات هستند اما در حرارت و فشار متفاوت از آنها تشکیل می شوند بخاطر مقادیر بالای بریلیم آنها ( $0/5-1/5$  درصد BeO) قابل توجه هستند. این مجموعه همراه با توده های کوچک گرانوسینیت ، کوارتز سینیت و آلکالی گرانیت آلبیتی شده دیده می شوند. هنگامی که این سنگ های آذرین به درون سنگ آهکها نفوذ نمایند و همراه با دایکهای میکروسینیتی و یا دیوریت پورفیری باشند ، مقادیر قابل ملاحظه ای از فلورین در بالای گنبد و در طول دایکها تشکیل می شود. این فلورین زائی بوسیله اسکارن زایی (اسکارن و زویانیت) و میکروکلین زائی دنبال می شود. توده کانسار شامل فلورین توده ای و افشان دربردارنده فناکیت و برتراندیت است.

ه- انباشته های هیدروترمال ولکانوژنیک : این نوع کانسارهای بریلیم بطور معمول در حاشیه دپرسیونهای ترشیاری متمرکز هستند. در این دپرسیونها پراکندگی سنگهای ولکانیک و پلوتونیک بوسیله گسل ها کنترل می شوند. کانسار در توفهای ریولیتی سیلیسی و سریسیتی شده و نزدیک استوک و یا دایک ریولیتی متمرکز می شود و بصورت رگچه ها ، کانی سازی افشان ، و گرهک های پر شده بادامی دیده می شود. کانی های اصلی بریلیم در آن شامل برتراندیت و گونه آبدار آن - هلیبراندیت ، اسفروبرتراندیت- همراه با کلسدوئن ، اوپال ، ادولاریا ، فلوریت ، کلسیت ، آنکريت و هماتیت - اسپکیولاریت هستند. عیار بریلیم تا  $0/5-0/7$  درصد می رسد.

سال	۱۹۳۵	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)	۱۶	۸۷	۲۶۹	۴۴۶	۲۴۹	۳۷۳	۲۸۴	۲۴۷	۲۲۶
قیمت واحد هزار دلار در تن	۲۳۹	۹۹	۲۱۰	۱۵۰	۱۳۰	۲۶۵	۳۹۳	۸۴۹	۱,۰۸۰

جدول شماره (۳) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی بریلیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*

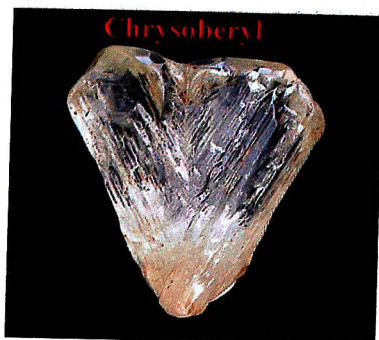
اطلاعات تولید براساس ماده معدنی دارای بریل با ۱۱ درصد  $BeO$  است



فناکیت



بریل



کریزوبریل



برتراندیت

تصویر شماره (۳) - تصاویری از کانیهای گوناگون بریلیم دار

### ۳- عناصر کمیاب با نقطه ذوب بالا

#### ۳-۱- نیوبیوم و تانتالیم

نیوبیوم و تانتالیم دو فلز شبیه به هم هستند که بطور عمده همراه هم دیده می شوند. در سال ۱۸۰۲ شیمیدان سوئدی A.Ekeberg، اکسیدی را از یک کانی جدا نمود و نام آن را تانتالیم نامید. پس از آن در سال ۱۸۴۴، G.Rose ثابت کرد که همه کانی های دارای تانتالیم دارای یک عنصر مشابه با تانتالیم هستند که آن را نیوبیوم نامید. هر دو عنصر دارای نقطه ذوب بالا هستند. هر دو قابل کار، چکش خوار و پایدار در برابر دماهای بالا و اسید هستند. نیوبیوم به مقدار زیادی بصورت فروکلمبیوم بعنوان یک عنصر آلیاژی در فولاد ضد زنگ استفاده می شود که قابل کاربرد در ابزارهای هوافضا و هواپیماهای فوق صوت و رآکتورهای هسته ای است. با افزایش قلع، زیرکنیم و ژرمانیم، نیوبیوم بصورت یک ماده ابررسانا (Super Conducting) در دماهای پائین عمل می کند. تانتالیم در رادیو الکترون ها و در مهندسی شیمی و در تولید فوق آلیاژها استفاده می شود. نزدیک به ۳۰ درصد از تانتالیم بعنوان محصول جانبی از سرباره های ذوب قلع در بردارنده تانتالیم بدست می آید که در تایلند، مالزی و ژنیر واقع هستند.

کانسارهای بزرگ دارای ذخیره ای بیش از ۵۰۰ هزار تن  $Nb_2O_5$  و ۱۰ تا ۱۵ هزار تن  $Ta_2O_5$  هستند و کانسارهای کوچک دارای ذخیره کمتر از ۱۰۰ هزار تن  $Nb_2O_5$  و ۱ تا ۲ هزار تن  $Ta_2O_5$  هستند. کانسارهای پر عیار دارای ۰/۴-۰/۵ درصد  $Nb_2O_5$  و ۰/۰۲۵ درصد  $Ta_2O_5$  و کانسارهای کم عیار دارای ۰/۱-۰/۱۵ درصد  $Nb_2O_5$  و ۰/۰۱۲۰ تا ۰/۰۱۵ درصد  $Ta_2O_5$  هستند.

کانسارها بر اساس نسبت Nb/Ta تقسیم می شوند. در کانسارهای نیوبیوم این نسبت بزرگتر از ۲۰:۱، در کانسارهای تانتالیم - نیوبیوم این نسبت بین ۱:۲۰ و ۱:۵ و در کانسارهای تانتالیم این نسبت بین ۱:۵ و ۱:۳ است.

نیوبیوم در طبیعت دارای یک ایزوتوپ  $^{93}\text{Nb}$  و تانتالیم دارای دو ایزوتوپ  $^{180}\text{Ta}$  و  $^{181}\text{Ta}$  است. هر دو عنصر لیتوفیل هستند. بیشترین تمرکز آنها، بویژه Ta، در ارتباط با گرانیتها، گرانیت های آکالن، نفلین سینیت، سنگهای آکالن اولترابازیک و کربناتیت ها است. میزان فراوانی پوسته ای نیوبیوم  $2 \times 10^{-3}$  درصد و تانتالیم  $2/5 \times 10^{-4}$  درصد است.

آنالوگ هر دو عنصر در سنگها تیتانیوم است. هر دو عنصر تمایل دارند که در تفریق ماگمایی در فازهای پایانی یعنی در پگماتیت های گرانیتی و آنالوگ های کم ژرفای آنها، گرانیت های آلبیتی شده دارای فلزات نادر، متمرکز شوند.

بخاطر گریزپذیری زیاد کمپلکس تانتالیم - فلورین، تانتالیم بصورت بخشی بوسیله فلورین استخراج شده و به درون سیال وارد می شود (همانند قلع). در این فرآیند، تانتالیم وارد ترکیب کاسیتريت بصورت میانبار (Inclusion) بسیار ریز از کانیهای تانتالیم می شود.

بیش از ۵۰ کانی دارای Nb و Ta در ترکیب خود هستند. مهمترین کانی آنها (تصویر شماره ۴)

گروه کلمبیت - تانتالیت  $(\text{Fe, Mn})(\text{Nb, Ta})_2\text{O}_6$  با ۷۵-۸۶ درصد  $\text{Nb}_2\text{O}_5 +$

$\text{Ta}_2\text{O}_5$ ، و ودگینیت  $(\text{Mn, Fe})(\text{Ta, Sn})_2\text{O}_6$  با ۷۰ درصد  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  و

گروه پیروکلر - میکروولیت  $(\text{Ca, Na})_2(\text{Nb, Ta})_2\text{O}_6(\text{OH, F})$  با ۳۰-۷۰ درصد

$\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5$  هستند.

کانسارهای نیوبیوم و تانتالیم در ارتباط با ماگماتیسیم گرانیتی تشکیل می شوند. کانسارهای با

دیرینه های گوناگون دیده می شوند اما بزرگترین آنها مربوط به زمان پروتروزوئیک زیرین تا

میانی هستند.

مهمترین انواع انباشته های اقتصادی نیوبیوم و تانتالیوم شامل کانسارهای ماگمائی

۲ - پگماتیتهای ۳- آلبیتیتهای ۴- متاسوماتیتهای ۵- کربناتیتها ۶- فرسایشی

۷- پلاستیتهای هستند.

الف : کانسارهای ماگمائی : این کانسارها شامل نفلین سینیت های اگپاتیتهای چینه بندی شده دربردارنده لوپاریت هستند که با فعالیت دوباره تکتونو ماگمائی سپرهای قدیمی ارتباط دارند و به شکل توده های هم مرکز با سطح دایره ای و شکل عمودی مخروطی نمایان می شوند. لوپاریت که کانی کمیاب آن است در هر شکل از لایه های بالایی به سمت لایه های زیرین افزایش می یابد و در سطوح زیرین لایه های به شدت ملانوکرات متمرکز می شود و سنگ میزبان آنها دارای ترکیب Matignite و Lujavrit هستند. لوپاریت یک کانی کمپلکس است که  $Ti, TR_{ce}, Nb$  و Ta از آن استحصال می شود. کنسانتره کانی لوپاریت دربردارنده ۰/۵-۰/۶ درصد  $Ta_2O_5$  و نسبت  $Nb_2O_5/Ta_2O_5$  13:1 یا 14:1 هستند.

### ب : کانسارهای پگماتیتهای

تانتالیوم بعنوان یک محصول جانبی از پگماتیتهای اسپدومن دار و پگماتیتهای پلوسیت دار استخراج می شود. البته بخش اصلی تولید دنیا از پگماتیتهای دارای میکروکلین - اسپدومن - (پتالیت) و آلبیت بدست می آید که دارای  $Ta_2O_5$  ۰/۰۲-۰/۰۳ درصد و Nb/Ta ، ۱:۱ تا ۱:۳ هستند. کانی سازی بوسیله کلمبیت - تانتالیت ، ایکسیولیت  $(Ta, Nb, Sn, Mn, Fe)O_2$  و منگوتانتالیت  $(MnTa_2O_6)$  مشخص است.



### ج - کانسار های آلبیتیت :

این انباشته ها در نواحی چین خورده در طی مراحل پس از کوهزایی تشکیل شده و همراه با توده های گرانیتی چند فازی هستند. گرانیت های فازهای پایانی در محل تقاطع زونهای تکتونیکی جایگیر شده و به شکل استوک ها و گنبد های کوچک با مساحت کمتر از یک کیلومتر مربع و در ژرفا ۱ تا ۲/۵ کیلومتر دیده می شوند. ترکیب این استوک ها غیرعادی است. دارای میکروکلین هستند و دانه های کوارتز به شکل Pea در یک زمینه توده ای گرانیتی دانه ریز تا متوسط رشد می کنند. گاهی این استوک دارای مقادیر قابل ملاحظه ای از آلبیت و دارای توپاز (تا ۲۰ درصد)، زینوالدیت، لپیدولیت، کاسیتريت، کلمبیت - تانتالیت، میکروکلین، Struverite، ولفرامیت، و اسفالریت هستند. هنگامی که این استوک ها به درون ماسه سنگها و شیلها نفوذ نمایند گرایزن زینوالدیت در بالای آنها گسترش می یابد و هنگامی که به درون سنگ آهکها نفوذ نمایند زون فلوریتی تشکیل می شود که دارای کانی سازی بریلیم خواهد بود. به سوی ژرفا کانی سازی تانتالیم کاهش می یابد و لپیدولیت بوسیله زینوالدیت جانشین می شود. به سوی ژرفا مقدار کاسیتريت و توپاز و آلبیت نیز کاهش می یابد و به سنگ گرانیتی اصلی تبدیل می شود. مقدار  $Ta_2O_5$  در بخشهای بالائی گنبد نزدیک به ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ درصد است.

### د- انباشته های متاسوماتیتی فلدسپاتی :

این نوع انباشته های تانتالیم و نیوبیوم در مناطق باز پویا شده تکتونیکی همراه با گسل های ناحیه ای دیده می شوند. فرآیند متاسوماتیزم آکالن در دازای گسل ها روی می دهد و سنگهای به شدت دگرگونی شده را تحت تاثیر قرار می دهد. این پدیده در برخوردگاه گسل ها، خمیدگی های فلکسور و در محل چین های گنبدی شدیدترین.

فلدسپاتی شدن ، آلبیتی شدن و سیلیسی شدن شدید باعث تولید سنگهای کوارتز - فلدسپاتی می شود که شبیه به سینیت ، کوارتز سینیت و گرانیت آکالن است. متاسوماتیت ها اغلب دربردارنده کریولیت ، فلوریت ، فلوسریت ، گاگارینیت ، زیرکن ، مالاکن ، پیروکسر دارای تانتالیم و REE ، پلومبوپيروکسر  $(Pb, Y, U, Ca)_2 Nb_2 O_6(OH)$  و ندرتا کومبیت و غیره اند.

مهمترین کانه آن پیروکسرهای غنی از  $Ta_2 O_5$  هستند. این کانسارها دارای ۰/۶-۰/۱۵ درصد  $Nb_2 O_5$  و 1-2 درصد  $ZrO_2$  هستند و از دیدگاه ژئوشیمیائی بوسیله مقادیر بالای  $Mo, U, Th, TR_y, TR_{ce}, Nb > Ta, Zr, F$  و ندرتا  $Sn, Li$  و  $Be$  مشخص هستند.

#### ه - انباشته های کربناتیتهای :

کربناتیتهای و پوسته هوازده آنها دارای اهمیت زیاد بعنوان منبع نیوبیوم هستند. همه انباشته های کربناتیتهای در بخش های پایدار قاره ها مثل پلاتفرم ها و سپرهای قدیمی رخ داده و در ارتباط نزدیک با گسل های عمیق هستند.

کربناتیتهای بصورت چند فازه بوده کربناتیتهای کلسیتی اولیه بوسیله انواع دولومیتی ، سپس آنکریتهی جایگزین می شود. کانی سازی پیروکسر Hatchettolite  $(U, Ca, Ce)_2 (Nb, Ta)_2 O_6(OH, F)$  همراه با آپاتیت ، بادلئیت و زیرکلیت بطور معمول در گامه های پایانی فاز کلسیتی رخ می دهند. در طی فرآیند آنکریتهی شدن پیروکسر بوسیله کلمبیت جایگزین می شود. بخش هایی از کربناتیتهای ممکن است دارای ۰/۷-۰/۳ درصد  $Nb_2 O_5$  باشند.

## و - انباشته های هوازدهی

پوسته های هوازده غنی از کلمبیت در کشورهای استوایی وجود دارند که در سطح سنگهای گرانیتی کلمبیت دار گسترش می یابند. از این نوع در کشور نیجریه در سطح گرانیتی که در یک گسل حلقوی جایگزین شده است دیده می شود.

همچنین افزون بر این پوسته های هوازده ، تمرکز قابل توجهی از کلمبیت در پلاسره های سیلابی-آبرفتی ( diluvial - alluvial ) در شیب تپه ها و در پلاسره های آبرفتی ( alluvial ) در دره های رودخانه نیز تشکیل می شود. نزدیک به ۴۵ درصد از کلمبیت از سنگهای گرانیت هوازده و ۳۵ درصد از پلاسرها تولید می شود. در برخی موارد پوسته های هوازده دارای ۱۵-۱۰ درصد  $P_2O_5$  و ۴-۱ درصد  $Nb_2O_5$  هستند و تا ژرفای ۱۰۰ متر در مجاور گسل ها ادامه دارند.

## ز - انباشته های پلاسری

پلاسره های تانتالیتی در شرایط سیلابی-آبرفتی ( diluvial - alluvial ) و آبرفتی ( Alluvial ) در اثر فرسایش میدانهای پگماتیتی دارای فلزات نادر تشکیل می شوند. این پلاسرها با کمینه تانتالیت ۱۵-۱۰ گرم در تن اقتصادی هستند. تانتالیت بطور معمول همراه با کاستیریت در پلاسره های نزدیک به منشاء متمرکز می شود. لوپاریت نیز از کانیهای پایدار است و پس از آزاد شدن از سنگ منشاء در لایه های دریاچه ای نزدیک سنگ منشاء (نفلین سینیت های اگپاتیتی دربردارنده لوپاریت) همچنین در انباشته های سیلابی - یخچالی تجمع می یابد.

سال	۱۹۶۴	۱۹۶۹	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)		۳۸۸	۳۱۸	۵۴۴	۳۹۶	۳۶۱	۱,۲۲۰
قیمت واحد دلار در تن	۱۷,۵۰۰	۱۹,۲۰۰	۱۹,۲۰۰	۲۸۴,۰۰۰	۸۸,۸۰۰	۷۴,۷۰۰	۵۹۲,۰۰۰

جدول شماره (۴) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی تانتالیم در قرن بیستم

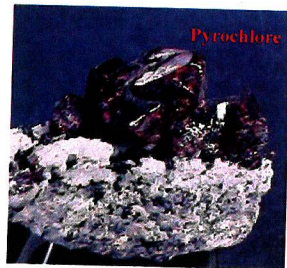
اطلاعات از سایت اینترنتی USGS



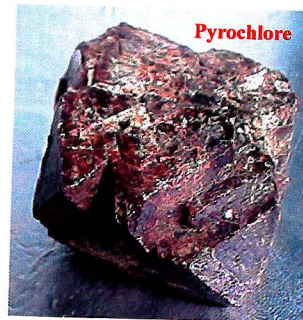
تانتالیت



کلمبیت



پیروکلر



پیروکلر



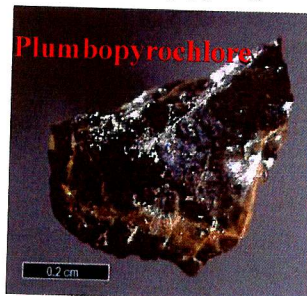
منگنوتانتالیت



ایکسیولیت



هچتولیت (اورانوپیروکلر)



پلومبویروکلر

تصویر شماره (۴) - تصاویری از کانیهای گوناگون دارای نیوبیوم و تانتالیم

### ۲-۳- زیرکونیم و هافنیم

زیرکونیم و هافنیم دارای همسانی های ژئوشیمیائی فراوانی هستند و بطور معمول با همدیگر در درون کانیها و سنگها یافت می شوند. زیرکونیم در سال ۱۷۸۹ بوسیله شیمیست آلمانی M.Klaproth بصورت اکسید از زیرکن جدا شده است. حضور هافنیم بوسیله D.Mendelejev پیش بینی شده و بوسیله دانشمندان دانمارکی G.Hevesey و D.Coster در سال ۱۹۲۳ کشف شده اند.

نقطه ذوب بالا ، پایداری در برابر اسید و مواد مذاب و خواص دیگر زیرکونیم موارد کاربرد آن را تعیین می کنند. زیرکونیم ماده ایده آل برای مخازن سوخت هسته ای و مواد ساختمانی در رآکتورهای هسته ای هستند. بعنوان مواد افزودنی در آلیاژهای غیر آهنی قابل کاربرد در صنایع هواپیمائی و اتومبیل استفاده می شود. بدلیل سرشت دیرگذاری زیرکن ، در مواد قالب برای ریخته گری فلزات آهنی ، همچنین بعنوان آجر و بلوک در شیشه گری استفاده می شود. هافنیم دارای نقطه ذوب ۳۹۰۰ درجه سانتی گراد است و بصورت کاربید برای تولید مواد پایدار در برابر گرما کاربرد دارد. نزدیک به ۷۵ درصد از تولید زیرکونیم دنیا بصورت  $ZrO_2$  در آمریکا و استرالیا انجام می پذیرد. هافنیم تنها بصورت محصول جانبی در فرآیند تولید کنسانتره زیرکونیم تولید می شود. در بعضی از کشورها از جمله هند ، زیرکن بصورت محصول جانبی از پلاسره های ایلمنیت و موناзит بدست می آید.

از دیدگاه ژئوشیمیائی زیرکونیم یک عنصر لیتوفیل است و  $ZrO_2$  و سیلیکاتها گوناگون را تشکیل می دهد. هافنیم نیز بصورت ایزومورف جانشین زیرکونیم می شود. زیرکونیم دارای ایزوتوپهای  $^{90}Zr$  ،  $^{91}Zr$  ،  $^{92}Zr$  ،  $^{94}Zr$  ،  $^{96}Zr$  است که مهمترین آن  $^{90}Zr$  است. ایزوتوپهای پایدار

هافنیم عبارتند از  $^{180}\text{Hf}$ ,  $^{179}\text{Hf}$ ,  $^{178}\text{Hf}$ ,  $^{177}\text{Hf}$ ,  $^{176}\text{Hf}$ ,  $^{174}\text{Hf}$  که مهمترین آن  $^{180}\text{Hf}$  است.

فراوانی میانگین Zr در پوسته (کلارک)  $17 \times 10^{-3}$  درصد و HF  $3 \times 10^{-4}$  درصد است.

زیرکونیم دارای تمایل به تمرکز در سنگهای آکالن است و فراوانی آنها در سنگهای آکالن تا ۲ برابر گرانیتهای می رسد. از آنجائیکه زیرکونیم دارای هیچگونه آنالوگی در میان عناصر اصلی تشکیل دهنده سنگها نیست، از این روی، در طی مراحل ماگمائی کانی خاص خود را ایجاد می نماید و بویژه آنکه در فرآیند تشکیل کانسارهای پس ماگمائی که همراه ماگماهای گرانیتهای است نیز شرکت نمی کند. تنها در جاهائیکه ماگماتیسیم آکالن گسترش یافته باشد تمرکز آن در طی فرآیندهای درجه حرارت بالا (همراه با گسترش آلیتی شدن) پس ماگمائی رخ می دهد و این نشاندهنده ظرفیت مهاجرت بالای آن در محلولهای آکالن است.

کانیهای گوناگونی که دارای زیرکونیم هستند بستگی به نسبت  $\text{Al}_2\text{O}_3 : (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  در مذاب و محلول متفاوت هستند یعنی بستگی به نسبت اگپائیتی و مقدار سیلیس دارد.

زیرکونیم رکن  $(\text{ZrSiO}_4)$  در سنگهای پلوماسیتهای  $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < \text{Al}_2\text{O}_3)$  ،

اودیالیت  $\{\text{Na}_4(\text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Y})\text{ZrSiO}_8\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{Cl})_2\}$  در سنگهای اگپائیتی

$(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3)$  منقل نفاستین سیلیت،

لاونیت  $\{(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Mn}, \text{Fe})(\text{Zr}, \text{Ti}, \text{Nb})\text{Si}_2\text{O}_7(\text{O}, \text{OH}, \text{F})\}$

ولریت  $\{\text{NaCa}_2(\text{Zr}, \text{Nb})\text{Si}_2\text{O}_7(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_2\}$  و دیگر کانیهای سیلیکاته در شرایط

$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 1$  و با دلئیت  $(\text{ZrO}_2)$  در شرایط فعالیت  $\text{SiO}_2$  کم در کربناتیت ها تشکیل می

شوند.

هافنیم همیشه دنباله روی زیرکونیم است اما نسبت  $Zr/Hf$  به آلکالینیت - اسیدیته محیط تشکیل دهنده کانیها و فاکتور سینتیک بستگی دارد.

در تبلور بخشی، هافنیم از زیرکونیم عقب می افتد و در فراورده های پایانی متمرکز می شود. بیشترین مقدار تمرکز آن (بیش از ۱۵-۱۰ درصد  $HfO_2$ ) در زیرکن های فاز پایانی (مالاکن- گونه قهوه‌ای رنگ و هیدراته زیرکن-، آلویت-زیرکن دارای هافنیم-) همراه با متاسوماتیزم آلکان روی داده است. زیرکن در برابر فرسایش پایدار است و در محیط اگزوژنیک در پلاسرها و سنگهای رسی - ماسه ای متمرکز می شود.

نزدیک به ۳۰ کانی زیرکیم شناخته شده است اما تنها دو کانی زیرکن  $Zr(SiO_4)$  و بادلثیت  $(ZrO_2)$  دارای ارزش اقتصادی هستند (تصویر شماره ۵).

در انباشته های اندوژنیک، زیرکن بعنوان فراورده جانبی و همراه با کلمبیت و پیروکلر در گرانیتهای آلکان و متاسومانیت های فلدسپاتی بدست می آید که ممکن است ۱-۲ درصد  $ZrO_2$  داشته باشند. این زیرکن غنی از هافنیم است. همچنین زیرکن همراه با پیروکلرهای موجود در آلبیت های همراه نفلین سینیت ها نیز استحصال می شود. بادلثیت بیشتر از کربناتیت ها بدست می آید. انباشته های از زیرکن در پلاسرای ساحلی جوان و قدیمی نیز کشف شده اند. میزان کانیهای سنگین در ماسه های ساحلی ممکن است به ۹-۵ درصد برسد که گاهی ۵۰ درصد از آن را ممکن است زیرکن تشکیل دهد.



سال	۱۹۲۰	۱۹۳۰	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (هزار تن)				۲۵/۲	۱۲۹	۳۹۹	۶۸۰	۸۵۲	۹۱۸	۷۵۰
قیمت واحد دلار در تن	۵۹	۴۹	۷۷/۲	۵۱/۵	۵۲/۱	۶۲/۳	۱۸۲	۴۰۶	۳۵۲	۳۷۵

جدول شماره (۵) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی زیرکونیم در قرن بیستم

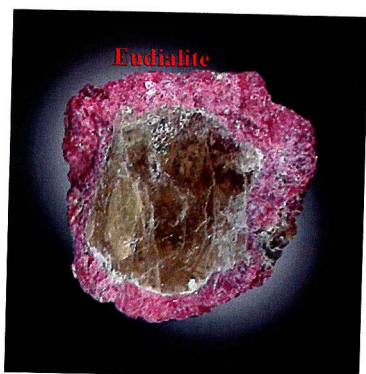
اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*

سال	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)	۳۱/۸	۳۱/۸	۴۵/۴	-	-	-
قیمت واحد دلار در تن	۸۸,۲۰۰	۱۶۵,۰۰۰	۱۸۲,۰۰۰	۱۸۷,۰۰۰	۱۸۷,۰۰۰	۱۸۷,۰۰۰

جدول شماره (۶) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی هافنیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*

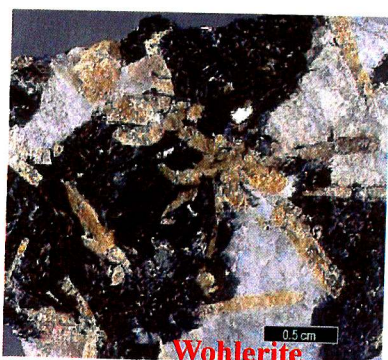
اطلاعات میزان تولید فقط مربوط به ایالات متحده آمریکا است



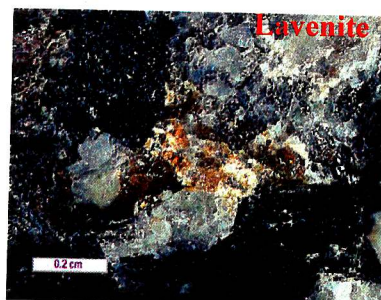
اودیالیت



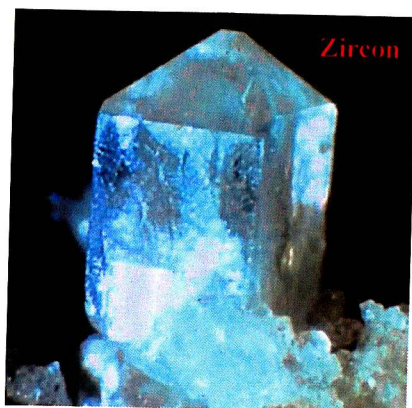
بادلیت



ولریت



لاونیت



زیرکن



زیرکن

تصویر شماره (۵) - تصاویری از کانیهای گوناگون دارای زیرکونیم و هافنیم

#### ۴- عناصر نادر خاکی (Rare Earth Elements) و عناصر شبیه به آنها

##### ۴-۱- کلیات

این گروه شامل ۱۵ عنصر خانواده لانتانیدها در جدول تناوبی (از عدد اتمی ۵۷ تا ۷۱) به همراه ایتریم و اسکاندیم هستند. اصطلاح نادر خاکی از واژه لاتین terra rarrae مشتق شده است که مخفف آن TR است.

عناصر گروه لانتانیدها: این عناصر که در گروه IIIA جدول تناوبی واقع هستند شامل عناصر لانتانیم (La)، سریم (Ce)، پرازودیم (Pr)، نئودیمیم (Nd)، پرومتیم (Pm)، ساماریم (Sm)، یروپیم (Eu)، گادولینیم (Gd)، تربیم (Tb)، دیسپروسیم (Dy)، هولمیم (Ho)، اربیم (Er)، تولیم (Tm)، یتربیم (Yb) و لوتسیم (Lu) هستند. این گروه با نشانه Ln که از کلمه (Lanthanides) اقتباس شده است نشان داده می شود.

عناصر REE به دو گروه تقسیم می شوند: زیر گروه سبک یا سریم شامل هفت عنصر اول خانواده لانتانیدها (عدد اتمی ۵۷ تا ۶۳) و توریم هستند و زیر گروه سنگین یا ایتریم نیز شامل عناصری از خانواده لانتانیدها با عدد اتمی ۶۴ تا ۷۱ به همراه ایتریم و اسکاندیم هستند. با وجود آنکه ایتریم دارای عدد اتمی پائینی است (۳۹) اما در گروه عناصر REE سنگین قرار گرفته است که این موضوع بدلیل همسانی ویژگی های ژئوشیمیائی آن با عناصر سنگین است و در طبیعت نیز همراه آنها یافت می شود.

با وجود نام آنها، این گروه از عناصر در واقع نادر نیستند. هر یک از آنها دارای فراوانی بیشتری در پوسته نسبت به عناصر، نقره، طلا یا پلاتین هستند. ضمن آنکه عناصری چون سریم، ایتریم و نئودیم حتی دارای کلارک بیشتر از سرب اند. عناصر REE سبک دارای فراوانی

بیشتری نسبت به گروه سنگین هستند و عناصر با عدد اتمی زوج نیز بطور معمول دارای فراوانی بیشتری نسبت به عناصر مجاور خود در جدول تناوبی (عدد اتمی فرد) هستند، که این موضوع بدلیل پایداری نسبی بیشتر در هسته اتم عناصر عدد اتمی زوج است. عناصر REE هیچگاه بصورت فلز آزاد در پوسته زمین یافت نمی شوند اما کانیهای طبیعی آنها نیز مخلوطی از عناصر گوناگون REE و عناصر غیرفلزی را با هم دارد.

- با سنازیت  $\{(Ce,La)(CO_3)F\}$  Bastnaesite ، مونازیت  $\{(Ce,La,Nd,Th)PO_4\}$  و زینوتیم  $(YPO_4)$  (تصویر شماره ۶) سه کانی اقتصادی تر در میان حدود ۲۰۰ کانی شناخته شده دارای عناصر REE هستند. با سنازیت و مونازیت منبع عناصر REE سبک اند و نزدیک به ۹۵ درصد از REE که در حال حاضر مصرف می شود، از آنها بدست می آید. مونازیت کانه توریم و به مقدار اورانیم نیز هست. کانیهای زینوتیم و آلانیت منبع عناصر نادر REE سنگین و ایتیریم هستند.

تاریخ کشف و نامگذاری عناصر گوناگون REE در جدول شماره (۷) آورده شده است و نام Rare Earth بوسیله Johann Gadolin در سال ۱۷۹۴ انتخاب شده است. تولید قابل توجه REE در سال ۱۸۸۰ آغاز گردید که با استخراج کانی مونازیت در برزیل بوده است.

عنصر	سال کشف	کاشف	ملیست کاشف	منشاء نام	ملاحظات
ایتربیم (Y)	۱۷۹۴	Gadolin	فنلاندی	معدن ایتربی - سوئد	
سربیم (Ce)	۱۸۰۳	Baron Jons Jakob Brezelius willain Hinsinger	سوئدی	سحابی Ceres که کلمه یونانی به معنای الوهیت است	در همان سال بوسیله Martin Heinrich Klaproth آلمانی.
توریم (Th)	۱۸۲۸	Baron Jons Jakob Brezelius	سوئدی	از کلمه Thor ، اصطلاح اسکاندیناوی به معنای خدای جنگ	
لانتانیم (La)	۱۸۳۹	Carl Gustav Mo sander	سوئدی	از کلمه یونانی Lanthano به معنی مخفی ماندن	
اریبیم (Er)	۱۸۴۳	Carl Gustav Mo sander	سوئدی	از معدن ایتربی در سوئد	
تربیم (Tb)	۱۸۷۸	Carl Gustav Mo sander	سوئدی	از معدن ایتربی در سوئد	
ایتربیم (Yb)	۱۸۷۸	Jean Charles de Mariganc	فرانسوی	از معدنی ایتربی در سوئد	
ساماریم (Sm)	۱۸۷۹	Paul E.Lecoq de Boisbaudcan	سوئدی	از کانی سامارسکیت که در معدنی بنام سامارسکی کشف شد	
اسکاندیم (Sc)	۱۸۷۹	Lars Fredrid Nilson	سوئدی	از کلمه اسکاندیناوی	
هولمیم (Ho)	۱۸۷۹	Per Teodor Cleve	سوئدی	از کلمه لاتین استکهلم یعنی Holm	بطور مستقل بوسیله Jacques Louis Soret و Marc Delafontaine سوئیسی کشف شده.
تولیم (Tm)	۱۸۷۹	Per Teodor Cleve	سوئدی	از کلمه لاتین Thule که نام قدیمی اسکاندیناوی است	
گادولینیم (Gd)	۱۸۸۰	Jean de Marignac	سوئیسی	به افتخار Johan Gadolin شیمیست فنلاندی	
پرازئودیمیم (Pr)	۱۸۸۵	Carl Auervon welsbach	استرالیایی	از کلمه یونانی Prasios به معنای سبز	
نئودیمیم (Nd)	۱۸۸۵	Carl Auervon welsbach	استرالیایی	از کلمات یونانی neo به معنای تازه و didymos به معنای دوگانه	
دیسپروسیوم (Dy)	۱۸۸۶	Paul E.Lecoq de Boisbaudran	فرانسوی	از کلمات یونانی dys به معنی بد و prosites به معنای دستیابی	
یروپیم (Eu)	۱۸۹۶	Eugene Demarcay	فرانسوی	از کلمه اروپا	
لوتسیوم (Lu)	۱۹۰۷	Georges urban & Carl Auer Von Wellsbach	فرانسوی استرالیایی	از کلمه یونانی Lutertia نامی برای مکانی که پاریس در آن نباشد	
پرومتیم (Pm)	۱۹۴۵	Charls DuBois Coryell,	آمریکایی	از کلمه یونانی Prometheus به معنای مشخصی که آتش را برای بشریت می آورد	اشاره به آماده کردن انرژی برای شکاف هسته ای

جدول شماره (۷)-تاریخ کشف و نامگذاری عناصر گوناگون REE

عناصر REE فلزاتی هستند که دارای جلا و قابلیت هدایت الکتریکی بالا هستند. از دیدگاه رنگ بطور معمول نقره ای ، نقره ای سفید و یا خاکستری هستند. از دیدگاه شیمیائی به شدت احیاء کننده اند و بطور معمول ترکیبات آنها یونی هستند. بیشتر آنها سه ظرفیتی اند ضمن آنکه یروپیم دارای ظرفیت +2 و سریم دارای ظرفیت +4 نیز هستند. عناصر REE در هوا به تندی کدر می شوند و تشکیل اکسید REO را می دهند. در دماهای بالا آتش می گیرند و به سرعت می سوزند. ترکیبات REE به شدت پارامغناطیس هستند. هولمیم یکی از مهمترین مواد پارامغناطیس شناخته شده است. بسیاری از ترکیبات REE ، بویژه یروپیم ، پرازئودیمیم و نئودیمیم به شدت فلورسانس هستند. پرومتیم و توریم به شدت رادیواکتیو هستند. برخی از خواص عناصر REE در جدول شماره (۸) آورده شده است.

روش	رتبه	فراوانی	نقطه	نقطه	طرفیت	دانسیته	وزن اتمی	عدد	سیمبل	نام عنصر
ترجیحی	فراوانی	PPm	جوش	ذوب				اتمی		
آنالیز	پوسته									
MS	۲۸	۳۰	۳۴۶۴	۹۱۸	۳	۶/۱۵	۱۳۸/۹	۵۷	La	لانتانیم
MS	۲۶	۶۰	۳۴۴۳	۷۸۹	۳.۴	۶/۷۷	۱۴۰/۱۲	۵۸	Ce	سریم
MS	۳۷	۷	۳۵۲۰	۹۳۱	۳	۶/۴۴	۱۴۰/۹۸	۵۹	Pr	پرازئودیم
MS	۲۷	۲۵	۳۰۷۴	۱۰۲۱	۳	۷/۰۱	۱۴۴/۲۴	۶۰	Nd	نتودیمیم
			۳۰۰۰	۱۰۴۲	۳	۷/۲۶	۱۴۵	۶۱	Pm	پرومتیم
MS	۴۰	۵	۱۷۹۴	۱۰۷۴	۳	۷/۵۲	۱۵۰/۴	۶۲	Sm	ساماریم
MS	۵۰	۱	۱۵۲۷	۸۲۲	۳.۲	۵/۲	۱۵۱/۹۶	۶۳	Eu	یروپیم
MS	۴۱	۴	۳۲۷۳	۱۳۱۳	۳	۷/۹	۱۵۷/۲۵	۶۴	Gd	گادولینیم
MS	۵۸	۰/۷	۳۲۳۰	۱۳۵۶	۳	۸/۲۳	۱۵۸/۹۳	۶۵	Tb	تربیم
MS	۴۲	۳/۵	۲۵۶۷	۱۴۱۲	۳	۸/۵۵	۱۶۲/۵	۶۶	Dy	دیسپروسید
MS	۵۵	۰/۸	۲۷۰۰	۱۴۷۴	۳	۸/۸	۱۶۴/۹۳	۶۷	Ho	هولمیم
MS	۴۳	۲/۳	۲۸۶۸	۱۵۲۹	۳	۹/۱	۱۶۷/۲۶	۶۸	Er	اریم
MS	۶۱	۰/۳۲	۱۹۵۰	۱۵۴۵	۳	۹/۳۴	۱۶۸/۹۳	۶۹	Tm	تولیم
MS	۴۴	۲/۲	۱۱۹۶	۸۱۹	۳	۷	۱۷۳/۰۴	۷۰	Yb	ایتربیم
MS	۵۹	۰/۴	۳۴۰۲	۱۶۶۳	۳	۹/۸۴	۱۷۴/۹۷	۷۱	Lu	لوتسیم
NAA	۳۶	۸	۲۸۳۶	۱۵۴۱	۳	۳	۴۴/۹۶	۲۱	Sc	اسکاندیم
MS	۲۹	۳۰	۳۳۳۸	۱۵۲۲	۳	۴/۴۷	۸۸/۹۱	۳۹	Y	ایتیریم
NAA	۳۹	۶	۴۸۵۰	۱۷۵۰	۳	۱۱/۸	۲۳۲/۰۴	۹۰	Th	توریم

MS : Mass Spectroscopy  
NAA: Neutron Activation

جدول شماره (۸)-برخی از خواص عناصر REE

#### ۴-۲- موارد کاربرد

بدلیل همسانی زیادی که میان عناصر گوناگون REE وجود دارد جدا کردن آنها دشوار است و کاربرد آنها نیز بطور عمده بر اساس خواص گروهی مخلوطی از چند عنصر است. توریم (Th) با REE همراه خود نخستین بار در سال ۱۸۰۰ در ساخت پوشش لامپهای گازی استفاده گردید. کاربرد دیگر REE که قدمت زیادی دارد استفاده آنها در فندک های روشنائی (Lighter Flints) ، قوس کربن ، ترکیبات جلا دهنده و مواد افزودنی به شیشه هستند. در جدول شماره (۹) نیز میزان تولید جهانی و ارزش واحد هر تن از عناصر کمیاب آورده شده است . در جدول شماره (۱۰) موارد کاربرد عناصر گوناگون آورده شده است.

سال	۱۹۰۰	۱۹۱۰	۱۹۲۰	۱۹۳۰	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)	۱,۰۴۰	۳,۰۲۰	۱,۵۹۰	۱۷	۲,۳۷۰	۴۷۰	۲,۲۷۰	۱۵,۹۰۰	۲۷۳۰۰	۵۲,۹۰۰	۷۴,۳۰۰	۹۰,۹۰۰
قیمت واحد دلار در تن				۶۰۱	۸,۴۸۰	۳,۵۴۰	۳,۵۴۰	۱۷۳۰	۱,۹۶۰	۸,۹۹۰	۸,۲۱۰	۶,۴۵۰

جدول شماره (۹) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی عناصر نادر خاکی در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی USGS



نام عنصر	موارد کاربرد	ملاحظات
لاتتانیوم (La)	شیشه‌های سرامیکی، شیشه‌های اپتیک با کیفیت بالا، لنز دوربین، کریستال‌های میکروویو، پولیش شیشه‌ها، پالایش نفت، خازن‌های سرامیکی	بخشی از مخلوط فلزات گوناگون (mischmetal)
سرمیم (Ce)	پولیش شیشه، کاتالیزور در پالایش نفت، آلیاژ همراه با آهن برای فندک‌ها، آلیاژ آلومینیم، منیزیم و فولاد برای بهبود بخشیدن خواص حرارتی و مقاومتی، سپرهای اشعه‌ای و موارد دیگر	فراوانترین REE است و بصورت مخلوط با فلزات دیگر
پارانئودیمیم (Pr)	دانه‌های رنگی سرامیک‌های زرد، کاشی‌ها، خازن‌های سرامیکی. همراه با نئودیمیم در مخلوطی برای ساخت عینک‌های ایمنی برای شیشه‌گرها برای محافظت در برابر نور سدیم، مغناطیس‌های دائمی و خنک‌کننده‌های کریوژنیک	
نئودیمیم (Nd)	عینک‌ها و شیشه‌های رنگی، لیزر، خازن‌های سرامیکی، مغناطیس‌های دائمی و پایدار بصورت آلیاژ آهن - نئودیمیم و بر، کاتالیزور در پالایش نفت	در آلیاژهای مغناطیسی بسیار مهم است
پرومتیم (Pm)	نوع رادیواکتیو برای باتری‌های ساعتها استفاده می‌شود.	در طبیعت یافت نمی‌شود. رادیواکتیو است و تنها در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود
ساماریوم (Sm)	در آلیاژهای فوق مغناطیس بصورت آلیاژ کبالت - ساماریوم. کنترل راکتورها و سپرهای نوترونی	در آلیاژهای مغناطیسی بسیار مهم است
یورپیم (Eu)	بعنوان میله‌های کنترل در راکتورهای هسته‌ای، لامپ‌های رنگی لوله‌های اشعه کاتدی، رنگ قرمز فسفری در تلویزیون‌های رنگی	یکی از کمیاب‌ترین عناصر کمیاب است نوترون‌ها را جذب می‌کند.
گادولینیم (Gd)	لیزرهای حالت جامد، اجزاء چپ‌های حافظه کامپیوتر، دیرگدازهای درجه حرارت بالا، سردکننده‌های کریوژنیک	
تریبیم (Tb)	لوله‌های اشعه کاتدی، مغناطیس‌ها، حافظه نوری کامپیوتر، اجزاء دیسک سخت، آلیاژهای پایدار در برابر مغناطیس	همراه با گادولینیم
دیسپرسیوم (Dy)	کنترل‌کننده راکتورهای هسته‌ای، همراه با نئودیمیم آلیاژی را برای کاتالیزورهای مغناطیس قوی تشکیل می‌دهد	جذب‌کننده نوترون، آلیاژهای مغناطیسی
هولمیم (Ho)	کنترل‌کننده راکتورهای هسته‌ای، کاتالیزور، دیرگدازها	جذب‌کننده نوترون
اریبوم (Er)	در سرامیک‌ها برای تولید شیشه‌های صورتی، شیشه‌های جذب‌کننده اشعه مادون قرمز	خواص فیزیکی آن تقریباً با هولمیم و دیسپرسیوم یکی است
تولیم (Tm)	منبع اشعه ایکس در ماشین‌های قابل حمل اشعه ایکس	در راکتورهای هسته‌ای تولید اشعه ایکس (X) می‌کند.
ایتربیم (Yb)	ارزش کاربردی آن هنوز شناخته شده نیست و بیشتر در تحقیقات استفاده می‌شود	خواص آن بسیار شبیه به لوتسیم است و بخوبی شناخته شده نیست.
لوتسیم (Lu)	در تولید محصولات فولاد زنگ‌نزن بعنوان احیاءکننده، باتری‌های قابل شارژ، کاربردهای دارویی، رنگ قرمز فسفری در تلویزیون رنگی، ابررساناها	خواص فیزیکی و شیمیایی آن بخوبی شناخته شده نیست
ایتربیم (Y)	بعنوان احیاءکننده در تولید فولاد زنگ‌نزن، باتری‌های قابل شارژ، کاربردهای دارویی، رنگ قرمز فسفری در تلویزیون‌های رنگی، ابررساناها	همراه با هولمیم، اریبوم در کوره‌های گرم یا سرد
اسکاندیم (Sc)	لوله‌های اشعه ایکس، کاتالیزور برای پلی‌مریزاسیون، سخت‌کننده در ابرآلیاژهای Ni-Cr، پورسلان‌های دندانپزشکی	از دیدگاه خواص فیزیکی و شیمیایی شبیه به آلومینیم
توریم (Th)	پوشش‌های گازی لامپ‌ها، بعنوان سوخت هسته‌ای بجای اورانیم	شبیه به نیکل به نومی و فراوانی سرب و رادیواکتیو

جدول شماره (۱۰) - موارد کاربرد عناصر گوناگون REE

نزدیک به ۳۵ درصد از REE بعنوان کاتالیزور در پالایش نفت خام استفاده می شود. افزودن حدود ۱ تا ۵ درصد از کلرید REE به کاتالیزورهای ژئولیتی باعث افزایش قابلیت کاتالیزوری آن می شود. عناصر REE در تبدیل کننده های کاتالیزوری در اتومبیل نیز استفاده می شود و باعث افزایش اکسیدشدگی مواد آلوده کننده می شود.

نزدیک به ۳۰ درصد از REE در صنایع شیشه و سرامیک بعنوان اجزاء صیقل دهنده ، عامل رنگ زدا ، جذب کننده UV (اشعه ماوراءبنفش) ، عامل ضد سرخ شوندگی ، عامل رنگ در سرامیک و شیشه ، بعنوان مواد افزودنی (additives) به سرامیکهای ساختمانی مثل نیتريد سیلیس ( $Si_3N_4$ ) و زیرکن ، در عدسی ها و شیشه های نوری استفاده می شود.

نزدیک به ۳۰ درصد آنها نیز در متالورژی بعنوان عامل آلیاژی در فولادهای ضد سولفات ، بعنوان عامل ندول کننده در آهن داکتیل ، در فندک ها ، بعنوان عامل بهبودی در خواص ابرآلیاژها و در آلیاژهای منیزیم ، آلومینیم و نیکل - کادمیم در وسایل الکترونیک (کامپیوترهای Lab tab و گوشی های تلفن همراه) استفاده می شود.

تک عنصرها نزدیک به ۵ درصد از موارد کاربرد باقی مانده را تشکیل می دهند که ارزش مالی آنها بیش از ۵۰ درصد است. یکی از موارد کاربرد REE که اخیرا گسترش یافته است تولید مغناطیس های دائمی است. مغناطیس های دائمی ساماریم - کبالت ( $SmCO_5-Sm_2CO_{17}$ ) دارای کاربردهای صنعتی ، نظامی و هوا فضا هستند در حالیکه مغناطیس های ارزانتر نئودیمیم - آهن - بر ( $Nd_2Fe_{14}B$ ) در استارت اتومبیل ، برف پاکن اتومبیل و ماشین های دیگر ، مغناطیس های پزشکی ، موتورهای صنعتی ، کمپاکت دیسک ها ، درایوهای دیسک کامپیوتر ، موتور دوربین ها و استریوهای شخصی استفاده می شوند.

کاربرد های صنعتی دیگر آنها شامل تلویزیون رنگی ، لامپ های فلورسانس ، سنسور اکسیژن ، فیبر نوری ، بلورهای مصنوعی قابل کاربرد در لیزر ، آلیاژ نیکل - لانتانیم در مخزن هیدروژن ، گالیم - گادولینیم - گارنت (GGG) بعنوان فیلم حافظه در Mishmetal ، آلیاژ Fe-REE دارای

خاصیت نور و آتش زائی است هنگامی که خراشیده شود جرقه ای تولید می کند که باعث شعله ور شدن گاز می شود.

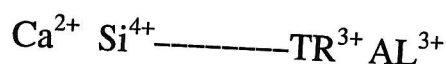
#### ۳-۴- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

از دیدگاه ژئوشیمیایی فلزات نادر خاکی و ایتیریم از عناصر لیتوفیل هستند که تمرکز آنها در ارتباط با سنگهای گرانیتی و ماگماتیسیم آلكالن است. عناصر زیرگروه سریم در همه نوع سنگهای آلكالن با منشاء جبهه ای تجمع می یابند در حالیکه عناصر زیر گروه ایتیریم در مناطقی که سنگهای گرانیتی و ماگماتیسیم گرانیت آلكالن گسترش یافته اند متمرکز می شوند.

مهمترین سیماهای ژئوشیمیایی فلزات نادر خاکی و ایتیریم موارد زیر هستند.

- آنالوگ پتروژنیکی فلزات نادر خاکی و ایتیریم کلیسم ( $Ca^{2+}$ ) است که به آسانی بصورت

ایزومورف بوسیله عناصر  $TR^{3+}$  به اشکال زیر جانشین می شود.



تشکیل کانیهای مستقل عناصر REE در سنگها آن گاه امکان پذیر خواهد بود که نسبت  $(TR_2O_3 * 100 / Ca) > 1$  برقرار باشد. در جاهائی که این نسبت کمتر از یک باشد این

عناصر در کانیهای دیگر تشکیل دهنده سنگ پراکنده می شوند.

بطور معمول کانیهای آمفیبول و پیروکسن از عناصر نادر خاکی سبک و فلدسپاتها از عناصر

سنگین غنی می شوند. مقدار عناصر نادر خاکی در سنگهای نفوذی از سنگهای اولترابازیک به

سنگهای اسیدی و آلكالن به ترتیب افزایش می یابد. بیشترین غنی شدگی در سنگهای آلكالن

آگپائیتی ( $Na+K > Al$ ) و محصولات پایانی ماگماهای گابروئی و اولترابازیک آلكالن روی می

دهد. در فرایند تفریق ماگمای گرانیتی، عناصر نادر خاکی در گامه ماگمائی متمرکز می شوند و

در ترکیب کانی های فرعی مثل موناژیت ، زینوتیم و اورتیت در بخش پگماتیتی ( بویژه در انواع عمیق آن ) استقرار می یابند . میزان نقش عناصر نادر خاکی در فعالیتهای هیدروترمال بسیار اندک است . در مواردی که ماگماتیسم آکالن ، بویژه گرانیته آکالن ، گسترش یافته باشد این عناصر ممکن است در درون تشکیلات پس ماگمائی ( Postmagmatic formation ) نیز تجمع یابند .

عناصر نادر خاکی دارای خاصیت فلوفیل اند و به شکل کمپلکس های آکالی - فلورید ، آکالی فلوهیدروگسیل و آکالی کربنات قابل استحصال هستند . این عناصر دارای تمایل زیاد به آنیونهای  $F^-$  ,  $CO_3^{2-}$  ,  $PO_4^{3-}$  ,  $SO_4^{2-}$  هستند و همراه آنها کمپلکس های را تشکیل می دهند که به آسانی در محدوده ای گسترده از دما، محلول هستند . کمپلکس های Y و عناصر زیرگروه آن دارای میدان پایداری بیشتری نسبت به زیر خانواده سریم هستند و به همین روی زیر خانواده ایتريم نسبت به زیر خانواده سریم بویژه در روند تکاپوهای متاسوماتیزم تا فاصله زیادتری حمل می شوند .

باوجود آن که عناصر نادر خاکی دارای خواص ژئوشیمیائی همسانی هستند و بطور معمول با همدیگر یافت می شوند اما ممکن است در روند فرایندهای پیدایش کانیها از همدیگر جدا شوند . مهمترین سازه وارهای (mecanism) تفریق طبیعی عناصر کمیاب به شرح زیر هستند .

- ۱- سازه واره های کریستالوشیمی ۲- ناهمسانی در بازیسیته این عناصر ( کاهش از La به Lu ) بر اساس آن عناصر زیر گروه سریم در سنگهای ماگمائی آکالن اولترابازیک و عناصر زیر گروه ایتريم در سنگهای گرانیته آکالن متمرکز می شوند .
- ۳- توانائی ناهمسان در پیدایش کمپلکس و اندازه پایداری ترکیبات کمپلکس آنها . کمپلکس های کربناته زیر گروه ایتريم پایدارتر از زیر گروه سریم هستند که نتیجه آن کوچ بیشتر و تمرکز در فازهای تاخیری است . این موضوع را می توان در ارتباط با K و Na نیز دید . عناصر زیر

گروه ایتیریم در ارتباط با متاسوماتیرم پتاسیم و عناصر زیر گروه سریم در ارتباط با سدیم تجمع می یابند .

۴- پتانسیل اکسیداسیون و احیاء که کنترل کننده جدایش این عناصر در واکنش های اکسیداسیون احیاء هستند . برای مثال در محیط قلیائی  $Ce^{3+}$  به آسانی اکسید شده و به  $Ce^{4+}$  تبدیل و از سایر عناصر نادر خاکی جدا می شود . در محیط اسیدی  $Yb^{3+}$  ,  $Sm^{3+}$  ,  $Eu^{3+}$  به حالت  $2+$  تبدیل می شوند و بصورت یک آنالوگ ژئوشیمیائی کامل با  $Sr^{2+}$  در می آید .

۵- تفاوت در ظرفیت جذب ، این ظرفیت از La به Lu کاهش می یابد .

۶- تفاوت در قابلیت تشکیل ترکیبات کمپلکس آلی - فلز که باعث تمرکز عناصر زیر گروه ایتیریم در بیولیت های دریاچه ای و شیل های سیاه می شود .

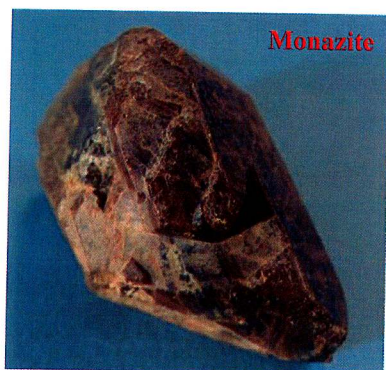
#### ۴-۴- انواع کانسارهای اقتصادی عناصر نادر خاکی

مهمترین انباشته های شناخته عناصر نادر خاکی عبارتند از ۱- انباشته های ماگمائی ۲- متاسوماتیت های فلدسپاتی ۳- اسکارن ۴- کربناتیت ۵- هیدروترمال پلوتوژینک ۶- پلاسرها ۷- انباشته های رسوبی

#### ۴-۴-۱- انباشته های ماگمائی

کانسارهای اولیه با این منشاء بوسیله توده های لایه بندی شده از سنگهای اورتیت - فویائیت - لوجاوریت دارای لوپاریت ( یک کانی قهوه ای تا سیاه با فرمول  $(Ce,Na,Ca)_2(Ti,Nb)_2O_6$  ) (تصویر شماره ۶) مشخص هستند .

در این انباشته ها لوپاریت مهمترین کانه است . مورد دیگر از این انباشته ها سنگهای دارای آپاتیت و نفلین توده نفوذی Khibiny در شبه جزیره کولا (تصویر شماره ۷) است که در آن عناصر نادر خاکی از آپاتیت هائی که برای تولید کود فسفاته فراوری می شوند بدست می آیند . انباشته های عناصر نادر خاکی تیپ ماگمائی همراه با نفلین سینیت های آگپائیتی یافت می شوند .



مونازیت



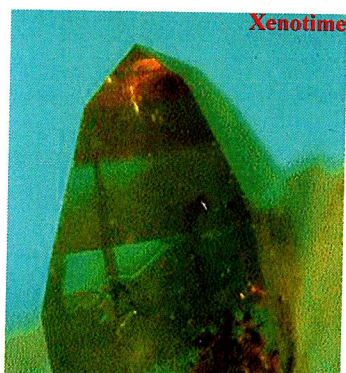
باسنازیت



تالنیت



مونازیت

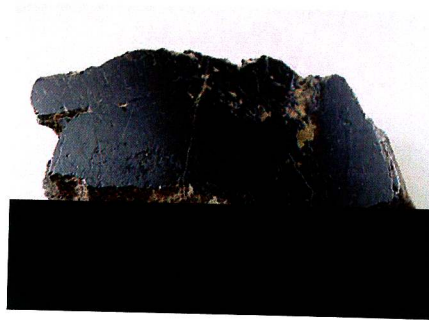


زینوتیم

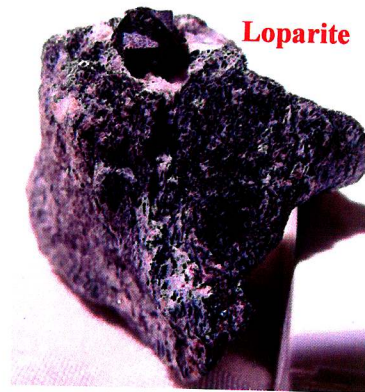


زینوتیم

تصویر شماره (۶)-تصاویری از کانیهای گوناگون دارای عناصر نادر خاکی



فرگوسونیت



لوپاریت



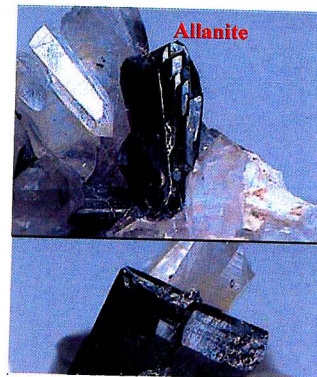
گادولینیت



گاگارینیت

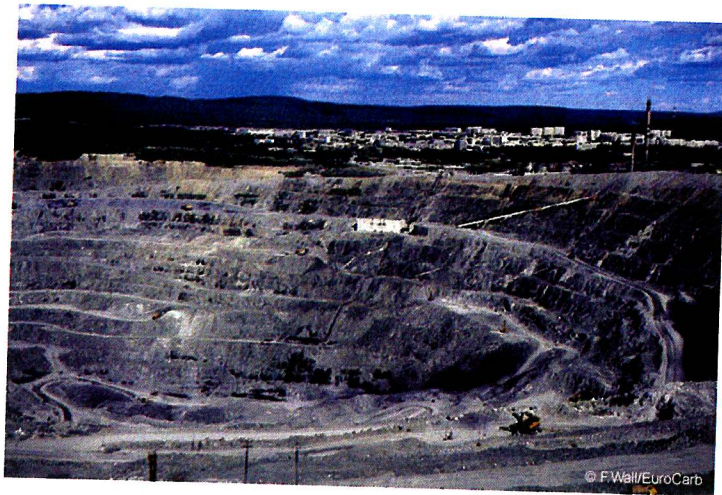


چفکینیت



آلانیت

تصویر شماره (۶ ادامه)-تصاویری از کانیهای گوناگون دارای عناصر نادر خاکی



تصویر شماره (۷) - نمائی از معدن روباز عناصر نادر خاکی در khibini در شبه جزیره کولا

#### ۴-۴-۲- انباشته های همراه با متاسوماتیت های فلدسپاتی

عناصر نادر خاکی ممکن است بعنوان محصول جانبی از انباشته های تانتالیم - نیوبیوم از این تیپ و یا از گرانیت های آلکان آلپیتی شده بدست آیند. این عناصر نادر خاکی در فرگوسونیت، یک کانی قهوه ای مایل به سیاه با فرمول  $Y(Nb,Ta)O_4$  که ممکن است در بردارنده اربیم، سریم، آهن، تیتانیم و اورانیم نیز باشد، پیروکلر - ماریناسیت، نوعی پیروکلر  $(OH,F)$ ،  $(Na,Ca)_2(Nb,Ta)_2O_6$  در بردارنده عناصر نادر خاکی، فلورید های فلوسریت  $(Ce,La,Nd)F_3$  و گاگا رینیت  $(Na, Ca, Y (F,Cl)_6)$  و بندرت در سیلیکاتها (گادولینیت  $Be_2FeY_2Si_2O_{10}$ ) متمرکز می شوند.

آلبیتت هائی که همراه با سنگهای گرانوسینیتی، آلکالی گرانیت، سینیت و آلکالی سینیت هستند تشکیلات ویژه ای را برای انباشته های عناصر نادر خاکی بوجود می آورند. ترکیب گروه عناصر موجود در آلبیتت ها بستگی به میزان قلیائیت و سرشت سنگهای مادر همچنين سنگ میزبان رسوبی دگرگون شده دارد.

نسبت عناصر نادر خاکی زیر گروه ایتیریم به سریم  $(TR_Y/TR_{Ce})$ . از بخشهای مرکزی زون آلپیتی شده، به سوی بخشهای راس و مناطق همبری افزایش می یابد. عناصر زیر گروه سریم



بطور معمول در جاهائیکه متاسوماتیزم در سنگهای میزبان بازیک گسترش یافته باشد، برتری می یابد. در سنگهای میزبان اسیدی آلومینوسیلیکات زیر گروه ایتریم چیره است. در این انباشته ها، کانیهای دربردارنده عناصر نادر خاکی شامل فرگوسونیت، پریوریت (یک کانی سیاه رنگ با فرمول  $(Y,Ca,Th)(Ti,Nb)_2O_6$ )

پیروکسر دربردارنده عناصر نادر خاکی، مونازیت، زینوتیم، فلوریدها، فلوروکربناتها همچنین بریتولیت  $(Ca,Y)_5(SiO_4)_3(OH,F)$  - از خانواده آپاتیت ها، اورتیت (آلانیت-  $(Ce,Ca,Y)_2(Al,Fe)_3(SiO_4)_3(OH)$ )، چفکینیست  $\{(Ca,Ce,Th)_4(Fe,Mg)_2(Ti,Fe)_3Si_4O_{22}\}$  گادولینیت، تالینیت  $(Y_2Si_2O_7)$ ، ایتریالیت  $\{(Y,Th)_2Si_2O_7\}$  و مالاکونهای دربردارنده عناصر نادر خاکی (مالاکون نوعی زیرکن هیدراته و آلتره است) هستند.

افزون بر کانی سازی افشان (Disseminated)، در این انباشته ها ماده معدنی بصورت رگچه ای یا استرینگر و رگه های غنی که گاهی ضخامت آنها به یک متر و یا بیشتر نیز می رسد، دیده می شود.

#### ۴-۳-۴- انباشته های اسکارنی و انواع دیگر کنتاکت ها

این نوع انباشته ها در مناطقی که گرانیتهای آلکالن یا سینیت ها به درون سنگ آهک نفوذ کرده باشند، دیده می شوند. انباشته های اسکارنی دربردارنده عناصر نادر خاکی در سوئد مواردی از این نوع هستند. این انباشته ها بوسیله اسکارنهای آندرادیت، منیتیت اسفن دار، اکتینولیت و ترمولیت - اکتینولیت که در درون سنگهای مرمری تا دولومیتی پیرامون سنگهای گرانتیوئیدی مشخص هستند. این اسکارنها ممکن است دربردارنده بریتولیت، سریت، اورتیت، باستناسیت و لانتانیت باشند. متاسوماتیت های تیپ کنتاکت و شبیه به اسکارنها ممکن است در همبری سنگهای گرانیته آلکالن و پگماتیت های بازیک نیز رخ بدهند. نمونه ای از این گونه در معدن Scrub oaks آمریکا است که در آن کانه منیتیت و هماتیت دربردارنده فلوروکربنات های عناصر نادر خاکی،

موناژیت ، زینوتیم و چفکینیت است . میزان مجموع  $TR_2O_3+Y_2O_3$  این کانسار از ۰/۲ تا ۵/۵ درصد با میانگین ۱/۵ درصد متغیر است .

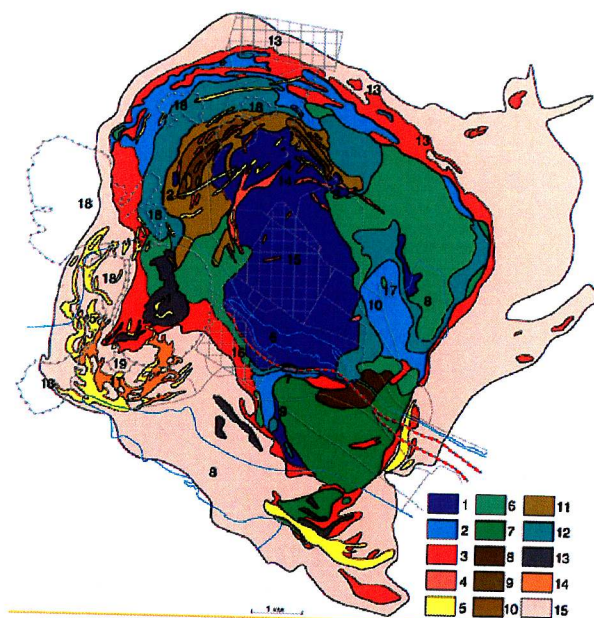
#### ۴-۴-۴- انباشته های کربناتی

بیشتر انباشته های این تیپ چند فازه اند که در آنها کربناتیت های اولیه از نوع کلسیتی غنی از آپاتیت و پیروکسر ، با مقدار  $TR_2O_3$  ۰/۱ تا ۰/۲ درصد در کلسیت ، هستند که پس از آن بوسیله کربناتیت های نوع آنکریت جانشین شده ، و عناصر نادر خاکی از کلسیت آزاد شده و کانی اصلی خود یعنی باستناسیت ، پاریزیت ، آنکیلیت و بندرت موناژیت بدون Th را می سازند . این کانیها در ارتباط نزدیک با فلوریت و گاهی استرونیسیانیت ، باریت و سولفیدها هستند . میزان  $TR_2O_3$  در این تیپ کربناتیتها به ۱ تا ۳ درصد و گاهی در محصولات هوازگی آنها تا ۸ الی ۱۰ درصد افزایش می یابد . این انباشته ها بطور معمول از نوع عناصر گروه سریم هستند . در برخی موارد توده های آنکریتی دارای عناصر نادر خاکی در خارج از سنگهای اولترابازیک آلکالن نیز گسترش دارند و در مناطق کتشی توده و در مجاورت زون گسله ادامه می یابند . تصویر شماره (۸) یک مورد از نقشه زمین شناسی از محیط تشکیل کربناتیتها را نشان میدهد .

#### ۴-۴-۵- انباشته های هیدروترمال پلوتونیک

سه نوع تشکیلات کانه دار در این تیپ از انباشته ها قابل تشخیص هستند که عبارتند از:

- ۱- کربنات - باریت - باستناسیت
- ۲- فلوریت - باستناسیت و کانه آهن
- ۳- عناصر نادر خاکی و عناصر پایه



**Legend:** 1-olivinite, 2-melilite-bearing rocks (turjaite, uncompahgrite), 3-melteigite, ijolite, 4-felspar-bearing ijolite, nepheline sienite, 5-carbonatite; 6-pyroxenite and nepheline-bearing pyroxenite replaced olivinite, 7-jacupirangite, 8-biotitite, 9-11-"Phlogopite complex" (phlogopite-diopside-forsterite rocks): 9-gigantic-grained (pegmatoid) rocks, 10-coarse-grained rocks, 11-fine-grained rocks, 12-montichellite-amphibole, montichellite-phlogopite, diopside-amphibole rocks replaced melilite-bearing rocks, 13-rocks of the "iron-ore complex" (phoskorite, nelsonite); 14-apatite-francolite ores; 15-fenite. Country rocks: gneisses, amphibolites

تصویر شماره (۸)- محیط زمین شناسی تشکیل کربناتیت در شبه جزیره کولا (منطقه معدنی Kovdor)

دارای مجموعه کانیهای زیر

Akermanite, Anatase, Andradite, Ankerite, Baddeleyite, Bonshtedtite, Calzirtite Catapleiite, Clinochrysotile, Clinohumite, Djerfisherite, Eudialyte, Goyazite Henrymeyerite, Labuntsovite-Mn Magnesiokatophorite, Magnesiokatophorite, Melilite Quintinite, Richterite, Schorlomite, Tin Vermiculite

## الف- انباشته های کربنات - باریت - باستاناسیت

مهمترین انباشته از این نوع، کانسار Mountain pass است که در سان برنادینو کالیفرنیا در آمریکا واقع است و بزرگترین کانسار شناخته شده است و در ارتباط با سنگهای آکالن پتاسیک در خانواده، گابروئیدها (شونکینیت تا سینیت و گرانیت آکالن) با دیرینه ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ میلیون سال است. توده معدنی دارای ابعاد ۲۳۰ در ۸۰۰ متر است و شامل کلسیت (گاهی دولومیت و سیدریت) روی هم نزدیک به ۶۰ درصد، باریت (۲۰ درصد)، باستاناسیت (۱۵-۵ درصد)، سلسنتین و سیلیکاتها (کروسیدولیت، اورتیت، توریت) هستند. فلوریت، آپاتیت، گالن و موناژیت نیز همراه آنها وجود دارند.

## ب- انباشته های فلوریت - باستاناسیت و کانه آهن

مهمترین انباشته از این نوع کانسار Bayan OBO است که در مغولستان و در مجاورت پی سنگ کریستالین آرکن و منطقه چین خورده هر سی نین واقع است. سنگ میزبان آن سنگ آهکهای دولومیتی شده پروتروزوئیک بالا، با دیرینه ۱۴۰۰ میلیون سال که در نزدیک آن سنگهای گرانیتی و گرانوسینیتی با دیرینه ۲۵۰ میلیون سال برونزو دارند. توده کانسار بصورت عدسی با قطر حدود یک کیلومتر است و شامل منیتیت و هماتیت لایه بندی شده، رگچه ای و بندرت افشان و توده ای هستند. گاهی این مواد به مجموعه آمفیبول - فلوگوپیت - منیتیت و منیتیت - اژرین تبدیل می شوند. ماده معدنی فلوریت - باستاناسیت - هماتیت غنی از عناصر کمیاب در کمر پائین توده معدنی قرار گرفته است. از دیدگاه ژئوشیمیایی این کانسار با مقادیر بالای F-P-Na- T, TRce, Sr, Ba, Fe مشخص است. مقدار باستاناسیت در محدوده اقتصادی - کانسار آهن ۱۰-۶ درصد است.

توده های فلوریت - فلوگوپیت، بریتولیت و منیتیت - آپاتیت - بریتولیت در اثر متاسوماتیزم در کنتاکت گرانوسینیت ها رخ داده است. در رابطه با منشاء این کانی سازها اختلاف نظرهای زیادی

وجود دارد. برخی آن را تنها به فرآیند هیدروترمال نسبت می دهند و بعضی دیگر هر دو فرآیند متامورفیسم و هیدروترمال را دست اندرکار می دانند. به باور گروه دوم کانه آهن در اثر متامورفیسم سنگهای رسوبی اولیه تشکیل شده اند و کانی سازی فلوریت - عناصر نادر بوسیله محلولهای هیدروترمال به آن وارد شده اند.

### ج- انباشته های عناصر نادر خاکی و عناصر پایه

یک کانسارتیپیک از این نوع درون سنگهای دگرگونه گنایسی و اپیدوت - اکتینولیت شیست رخ داده است که محدود به گسل های ژرف و همراه با بخشهای شاخه شاخه شده و محل تقاطع گسل ها است.

در محل تقاطع گسل ها توده های پایپ شکل گرانوفیری به دیرینه هرسی نین و از گرانیت های ساب آکالن نفوذ کرده اند. سنگهای این پایپ به شدت دگرسان شده هستند که بصورت آلپیتی شدن، سریسیتی شدن، سیلیسی شدن، بیوتیتی شدن و کلریتی شدن است. این پایپ دارای ساخت منطقه ای متحدالمرکز است. بخش پیرامونی شامل شیست های برشی شده است که به سمت درون به بیوتیت هورنفلس، کوارتز - کلریت - سریسیت و کوارتزیت ثانویه ای که دارای قطعاتی از سنگهای کوارتزی مربوط به گرانوفیر اولیه است تبدیل می شود.

این تغییر در کانی شناسی به اختلاف در سنگهای مادروابسته دانسته شده است. بیوتیت هورنفلس پس از فعالیت هیدروترمال از اکتینولیت شیست و کوارتزیت ثانویه از گرانوفیر بوجود آمده اند. کانی ها شامل ایتروسینکیسیت، فلوسریت، ایتروفلوریت، زینوتیم، موناژیت، مالاکون و توریت غنی از عناصر با فراوانی کم، گالن، پیریت و مقادیر کمتر مولیبدنیت هستند. با افزایش ژرفا میزان عناصر پایه کاهش و عناصر کمیاب افزایش می یابد. با افزایش ژرفا مالاکون افزایش می یابد، فلورکربناتها بوسیله فلوریدها جایگزین می شوند و به سمت ژرفا فسفاتها و سیلیکاتها نیز افزایش می یابند.

#### ۴-۴-۶- انباشته های پلاستی

یکی از مهمترین منابع عناصر نادر در دنیا، پلاستهای موناژیت، زینوتیم، فرگوسونیت، اوکسینیت، چورچیت و به ندرت پلاستهای باستاناسیت هستند. موناژیت رایج ترین کانی عناصر نادر است که در پلاستهای ساحلی دیده می شود. کانیهای دیگری غیر از موناژیت نیز در پلاستهای سیلابی-آبرفتی نیز دیده می شوند. مقادیر قابل توجهی از موناژیت بعنوان محصول جانبی از پلاستهای زیرکن - ایلمنیت در استرالیا - هند، تایلند و آمریکا بهره برداری می شود.

#### ۴-۴-۷- انباشته های رسوبی

یک منبع خاص از عناصر نادر، تجمع استخوانهای فسفات ماهیها در انباشته های رسوبی منطقه کم ژرفا دریایی اپی کانتینتال کربونifer بالائی پرمین زیرین و ترسیری است. این انباشته ها شامل رسوبات رسی - سیلتی با میان لایه های مارن و رسهای سیاه دارای قطعات تخریبی استخوانها و پیریت - ملنکویت ( $Fe_3S_4$ ) هستند. بقایای ماهیها بصورت استخوانهای فسیل شده، دندان کوسه، باله و فلس ماهی افزون بر داشتن اورانیم، دارای ۱۲-۵ درصد  $P_2O_5$  و ۲-۳٪ درصد  $TR_2O_3$  است. نسبت  $TR_{Ce}/TR_y$  نزدیک به یک است.

#### ۴-۵- ژئوشیمی و کانسارهای اسکاندیم

اسکاندیم نخستین بار بوسیله نیلسون در سال ۱۸۷۹ از اوکسینیت (euxenite) و گادولینیت بصورت اکسید جدا شده است. در سال ۱۹۳۷ نیز نخستین بار بصورت فلز خالص جدا شد. تا بحال تنها دارای کاربردهای اندکی در صنایع بوده است. البته برخی از خواص آن نشان می دهد که در آینده دارای کاربردهای زیادی در صنعت خواهد بود. از نظر دانسیته شبیه به آلومینیم است اما نقطه ذوب آن به تقریب ۲/۵ برابر آلومینوم است - ۱۵۴۱ درجه سانتی گراد برای

اسکاندیم و ۶۶۰ درجه برای آلومینیم - و این باعث توجه خاص به آن در صنعت هوا - فضا شده است. اکسید آن در حافظه های کامپیوتر استفاده می شود و ایزوتوپ رادیو اکتیو آن (Sc 46) نیز به عنوان ردیاب در جریان سیالات کاربرد دارد.

اسکاندیم یک عنصر لیتوفیل است از دیدگاه رفتار ژئوشیمیائی شبیه به عناصر نادر گروه ایتیریم TR3+y، به مقدار کمتر شبیه به  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Zr^{4+}$  است از این روی، در هنگام تشکیل کانیها، تمایل به پراکنده شدن دارد. این عنصر در کانیهای تیره (پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت) بصورت ایزومورف جانشین  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  می شود و هنگامی که عناصر نادر به ویژه گروه ایتیریم حضور داشته باشند بوسیله آنها تسخیر می شود. بیشترین تمرکز اسکاندیم در ارتباط با فرآیند های با درجه حرارت بالای پس ماگمائی (Post-magmatic) در ماگمای گرانیتی، بویژه در مناطقی که درون سنگهای بازیک گسترده باشند، خواهد بود. اسکاندیم به شکل کمپلکس به آسانی حمل می شود و ظرفیت کوچ آنها حتی از عناصر REE نیز بیشتر است. در شرایط سطحی از بیشتر کانیها آزاد می شود و در مجموعه هیدرولیز شده بویژه همراه با آلومینیم در بوکسیت و ترکیبات گوناگون فسفات همراه با عناصر REE متمرکز می شود.

دو کانی نادر تورثویتیت (Thortveitite) با فرمول  $Sc_2(Si_2O_7)$  و ۵۳ درصد  $Sc_2O_3$  و استریتیت (Sterrettite) یا کولبیکیت با فرمول  $Sc(PO_4).2H_2O$  و ۳۹ درصد  $Sc_2O_3$  بوسیله اسکاندیم تشکیل می شوند. کانیهای دیگری مثل بازیت که شبیه به بریل است نیز دارای مقداری اسکاندیم است. کانیهای گادولینیت، اوکسینیت، خلوپینیت، اورتیت و داویدیت  $\{(Ce,La)(Y,U)(Ti,Fe)_2O_{38}\}$  (تصویر شماره ۹) نیز ممکن است



اوکسینیت



چورچیت



کولبکیت (استرتیت)



تورتوئیتیت



داویدیت



بازیت

تصویر شماره (۹)-تصاویری از کانیهای دارای عناصر نادرخاکی واسکاندیم

دارای ۱-۲ درصد اسکاندیم باشند ضمن آنکه کانیهای زینوتیم ، ولفرامیت ، زیرکن ، کاسیتریت ، برانریت ، بریل و موسکویت آهن دار نیز ممکن است کمتر از ۰/۱ درصد اسکاندیم داشته باشند .



مهمترین منبع اسکاندیم بعنوان محصول جنبی از کنسانتره فراوری کانیهای ولفرامیت ، کاسیتريت و کانیهای REE ( اوکسینیت ، زینوتیم ) و به مقدار کمتر از کانیهای اورانیم ( داویدیت و برانریت ) و بقایای استخوانی فسفات شده است . مقدار  $Sc_2O_3$  در فسفریتها ممکن است بیش از ۰/۰۴ درصد باشد . اسکاندیم در خاکستر ذغالسنگ نیز جمع می یابد . اسکاندیم ممکن است از فراوری کنسانتره زیرکن و با تیتانومینیت موجود در باطله صنعت آلومینیم و یا خاکستر ذغال بدست آید . در صورتیکه کنسانتره ولفرامیت دارای بیش از ۰/۰۵ درصد Sc ، کنسانتره کاسیتريت دارای بیش از ۰/۱ درصد Sc و کمتر از ۰/۳ درصد Zr باشند از دیدگاه اقتصادی برای استخراج اسکاندیم مفیدند .

#### ۵- عناصر پراکنده که در کانه های سولفیدی متمرکز می شوند

این عناصر شامل ژرمانیم (Ge) ، گالیم (Ga) ، رنیم (Re) ، تالیم (Tl) ، کادمیم (Cd) ، ایندیم (In) ، سلنیم (Se) و تلوریم (Te) هستند که بطور عمده بصورت افشان در کانیهای سولفیدی بصورت ایزومورف جانشین عناصر دیگر می شوند .

#### ۵-۱- انباشتگی های ژرمانیم

این عنصر در سال ۱۸۸۶ بوسیله شیمیست آلمانی ( وینکلر ) در کانی argyrodite ( $Ag_8GeS_6$ ) کشف شد . ژرمانیم بعنوان یک عنصر نیمه هادی در رادیوالکترونیک کاربرد زیادی است ضمن آنکه در تولید عدسی های مادون قرمز نیز استفاده می شود.

## ۵-۱-۱- ژئوشیمی و کانیهای ژرمانیم

ژرمانیم دارای پنج ایزوتوپ پایدار است که مهمترین آن Ge 74 است. میزان فراوانی آن در پوسته (کلارک)  $4-10 \times 1/4$  درصد و ضریب تمرکز آن ۱۵۰ است. ژرمانیم در هر چهار ظرفیت خود یک آنالوگ ژئوشیمیایی کامل با  $Si^{4+}$  است از این روی، در حضور  $Si^{4+}$  این فلز همیشه در درون سیلیکاتها پراکنده می شود. مقدار کمی از ژرمانیم در محصولات پس ماگمایی همراه با ماگماهای گرانیتی (در پگماتیت ها و گرایزن) بویژه در مواردی که فلئوئور فراوان باشند تجمع می یابد.

توپاز، میکاهای لیتیم دار، اسپدومن، تورمالین و کانیهای دیگر دارای مقادیر بالائی از ژرمانیم (تا ۰/۱ درصد Ge) هستند. در محیط احيائی ژرمانیم بصورت دو ظرفیتی عمل کرده و تمایل خاصی به  $Fe^{2+}$ ،  $Zn^{2+}$  پیدا می کند و در کانیهای آهن دار، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و منیتیت، و یا در اسفالریت و وورتزیت پراکنده می شود. مهمترین سیمای ژئوشیمیایی ژرمانیم سرشت سه شکلی آن (triform) است. این عنصر بصورت لیتوفیل است و همواره در محیط اکسیدان پراکنده می شود. بصورت سیدروفیل و کالکوفیل در محیط احياءعمل می نماید.

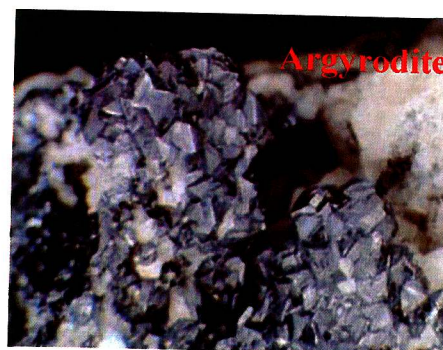
ژرمانیم تنها در مواردی که آنالوگ پتروژنیکی آن -یعنی سیلیس- حضور نداشته باشد متمرکز می شود. به همین دلیل ژرمانیم بطور معمول در انباشته های اندوژنیک که فاقد سیلیکاتها و دارای سنگهای کربناته عاری از آهن، دیده می شود. کانیهای غنی از ژرمانیم در کانه های سولفیدی موجود در سنگ آهکها، اسفالریت و کالکوپیریت، دیده می شوند. در کالکوپیریت، ژرمانیم جانشین  $Fe^{2+}$  می شود و کانی ژرمانیت ( $Cu_2Fe_4Ge_4S_{32}$ ) و یارنیریت ( $Cu_{6.5}, Zn$ ) ( $5.5Ge \ 1.5As \ 0.5Fe_4S_{16}$ ) (تصویر شماره ۱۰) تشکیل می شود. این کانیها دارای ۵ تا ۱۰ درصد Ge هستند.

در شرایط سطحی ژرماناتهای آکالن که به آسانی قابل حل هستند تشکیل می شوند و در زون اکسیدان به شکل ژرمانات آهن (Stottite -  $FeGe(OH)_6$ ) و یا کمپلکس ژرمانات - سولفات

( Itoite, Fleischerite- $Pb_3Ge(SO_4)_2(OH)_6 \cdot 2H_2O$  ) انباشته می‌شود، ژرمانیم دارای ظرفیت جذب زیادی است و تمایل زیادی به تشکیل ترکیبات ارگانیک ژرمانیم دارد. در گامه تشکیل تورب به راحتی جذب می‌شود و در ذغالسنگ‌ها تجمع می‌یابد.



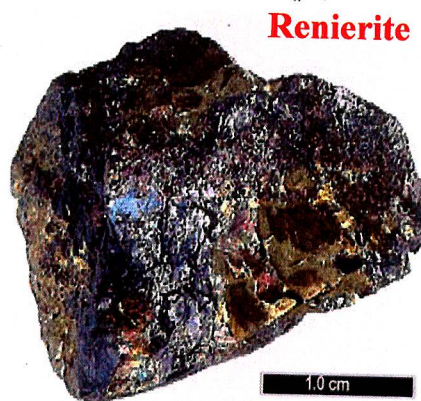
ژرمانیت



آرژیرودیت



فلیشریت



رنیریت

تصویر شماره (۱۰) - کانیهای گوناگون دارای ژرمانیم

سال	۱۹۵۷	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۲
میزان تولید جهانی (تن)	۴۰/۸	۴۵/۳	۸۴/۴	۱۱۶	۷۶	۴۵	۷۰	۵۰
قیمت واحد (هزار دلار در تن)	۴۴۵	۳۰۰	۲۸۰	۶۵۳	۱,۰۶۰	۱,۳۸۰	۱,۲۵۰	۶۲۰

جدول شماره ( ۱۱ ) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی ژرمانیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*

### ۵-۱-۲- انواع کانسارهای ژرمانیم

انباشته های اقتصادی ژرمانیم به دو شکل هیدروترمال و رسوبی دیده می شوند .

#### الف - انباشته های هیدروترمال ژرمانیم

مهمترین فاکتورهائی که توزیع و تمرکز ژرمانیم در انباشته های سولفیدی هیدروترمال را کنترل

می کند عبارتند از :

a: افزون بر کانیهای ویژه ژرمانیم - ژرمانیت ، رنریت ، آرژیرودیت- ، مهمترین کانی که

ژرمانیم در آن متمرکز می شود اسفالریت است که می تواند تا ۵۵۰ PPM افزایش یابد .

b: ژرمانیم در انواع اسفالریت های مراحل تاخیری و درجه حرارت پائین ، کلیوفان قرمز و

نارنجی و در انواع کلوفرم آن تجمع می یابد .

c: اسفالریت هائی که در شکلهای کربناته تشکیل می شوند بطور معمول غنی از ژرمانیم هستند .

d: در انباشته های داری مجموعه کانیهای مس - آرسنیک ژرمانیم دارای تمرکز بالا است .

e: همراه ژرمانیم بطور معمول گالیم نیز دارای تمرکز بالا است .

مهمترین کانسارهای که ژرمانیم در آنها متمرکز می شود عبارتند از : مجموعه تشکیلات

هیدروترمال پلوتوژنیک با کانه های ژرمانیت - رنریت همراه با گالن ، اسفالریت ، کالکوپیریت مثل

Tsumeb در نامیبیا و Kipushi در زئیر ، انباشته های هیدروترمال ولکانوژنیک از مجموعه

کاستیریت - آرژانتیت در استوکهای کوارتز پورفیری مثل Potosi در بولیوی ، کانسارهای

استراتی فورم گالن و اسفالریت در سنگهای کربناته مثل میسوری و کانسارهای ماسیوسولفاید  
مس و روی .

### ب) - انباشته های رسوبی ژرمانیم

انباشته های رسوبی که داری ژرمانیم هستند شامل لایه های ذغالسنگی و آهن رسوبی هستند .

#### a: لایه های ذغالسنگی دربردارنده ژرمانیم

ژرمانیم بعنوان محصول جانبی می تواند در فرایند تولید کک از ذغالسنگ بدست آید ضمن آنکه از خاکستر ذغالسنگ نیز ژرمانیم قابل استحصال است . خاکستر حاصل از ذغالسنگ قهوه ای گاهی تا ۰/۵ کیلوگرم در تن Ge می تواند داشته باشد . فاکتورهائی که در تمرکز و یا پراکندگی ژرمانیم در لایه های ذغالسنگ موثر هستند عبارتند از : ۱- ورود Ge بوسیله آبهای جاری از منشاء سنگهای غنی از ژرمانیم - سنگهای رسوبی ، ولکانوژنیک ، کوارتزیت های آهن دار و کانه های سولفیدی - به درون توربزار (Peat Bog) . بخشی از این تمرکز در مرحله دیاژنز انجام می پذیرد ۲- ذغالسنگ هائی که در محیطهای زمین شناسی متفاوت تشکیل می شوند دارای مقدار ژرمانیم متفاوتی هستند : بیشترین مقدار ژرمانیم در انباشته های ذغالسنگی که در حوضه های میانکوهی نواحی متحرک جوان تشکیل می شوند دیده می شوند ۳- انباشته های ذغالسنگی با منشاء سیلابی ( Fluvial ) دارای میانگین ژرمانیم ده برابر لایه های ذغالسنگی دریاچه ای هستند و بیشترین تمرکز در محیط دلتائی رودخانه ای وجود دارد ۴- چگونگی پخش ژرمانیم در حوضه ذغالسنگی بصورت نامتقارن است ۵- در هر لایه ذغالسنگی بیشترین تمرکز در بالاترین و پائین ترین بخش آن صورت می گیرد ۶- بیشترین تمرکز Ge در ذغالسنگهای ژله ای غنی از ویتترین انجام می پذیرد که دارای مقادیر بالائی از اسید هومیک و هومات است ۷- آبهای توربزارها در برخی موارد دارای مقادیر بالائی از Ge هستند .

## b- سنگ آهن های رسوبی دربردارنده ژرمانیم

ژرمانیم در انباشته های با منشاء رسوبی - ولکانیک و کوارتزیت های آهن دار متامورف حاصل از سازندهای رسوبی - ولکانیکی دارای تمرکز بالائی است . در روند فرایند گداز ، ژرمانیم به درون سرباره وارد می شود که پس از آن قابل استخراج است . مکانیسم پراکندگی و تمرکز ژرمانیم در سنگ آهن به صورت زیر است .

۱- کانه های آهن غنی از ژرمانیم در طی ولکانیسم های فعال زیر دریائی تشکیل شده اند و

در زمانهای گوناگون حضور دارند . این فعالیت ولکانیک ژرمانیم را به درون آب دریا

وارد می کند و سپس انعقاد سوسپانسیونهای کربنات و هیدروکسیدهای آهن باعث جذب

این ژرمانیم می شود و منشاء ژرمانیم دریائی ممکن است حاصل از فعالیت های ولکانیک

خشکی و شسته شدن بوسیله آبهای سطحی باشد . تمرکز ژرمانیم بطور معمول همراه با

فعالیت های ولکانیک اسیدی است .

۲- بیشترین تمرکز ژرمانیم در انباشته های آهن در رسوبات ولکانوژنیک بصورت

سنگهای سیلیسی کربنات آهن دار که در آنها کانه های منیتیت و هماتیت همراه با ژاسپ

بصورت چینه بندی قرار دارند دیده می شود . بیشترین غنی شدگی ژرمانیم به رخساره

منیتیت - سیدریت مربوط به محیط احیایی و در کانیهای دارای آهن  $Fe^{2+}$  ( سیدریت و

کلریت ) محدود می شود . هنگامی که در اثر فرایند دگرگونی سیدریت به منیتیت تبدیل

شود میزان Ge افزایش می یابد .

۳- منیتیت مهمترین حامل ژرمانیم است ( ۵۰-۶۰ Ppm ) و هنگام مارتیتی شدن میزان

ژرمانیم کاهش می یابد ( ۲۰ Ppm ) . کانیهای آهن دار دیگر - کلریت ، آمفیبول و

هماتیت - دارای مقادیر کمتری از ژرمانیم هستند . هر گونه فرایند اکسیداسیون باعث کاهش ژرمانیم می شود .

۴- تجمع ژرمانیم در سازندهای آهن دار با شرایط محیطی احیاء که در پروتروژنیک آغازین بیشتر حاکم بوده است سازگار است . بیشترین تمرکز Ge در نزدیک فعالیتهای آتشفشانی زیر دریائی دیده می شود . آلتراسیون آکالین باعث زدوده شدن Ge از منیتیت و تجمع آن در آمفیبول و پیروکسن آکالین می شود . در فرایند هوازدگی نیز Ge از منیتیت آزاد گشته و بخشی از آن در محصولات اکسیداسیون باقی می ماند .

#### ۵-۲- کانسارهای رنیم

رنیم با عدد اتمی ۷۵، در سال ۱۹۲۵ توسط ژئوشیمیست های آلمانی Ida and walter Noddack در درون کلمبیت و گادولینیت کشف شد . آنها در سال ۱۹۲۸ اظهار داشتند که رنیم دارای بیشترین تمرکز در مولیبدنیت است و رنیم آنالوگ مولیبدنیم است . رنیم دارای نقطه ذوب بالا (۳۱۸۰ درجه سانتی گراد) ، سختی و پایداری بالا و مدول الاستیسیته بالا است و به آسانی با Nb, Ta, W, V, Co, Os, Pt, Mo آلیاژ می دهد و در بسیاری موارد شبیه به پلاتین است .

رنیم بعنوان یک عنصر آلیاژی در فلزات پایدار در دماهای بالا استفاده می شود و در پالایش نفت بعنوان کاتالیزور دارای کاربرد انحصاری است . رنیم از باطله حاصل از فراوری مولیبدنیت ، مس و مولیبدنیت و کنسانتره مس تولید می شود .

رنیم در طبیعت دارای دو ایزوتوپ  $^{185}\text{Re}$  ،  $^{187}\text{Re}$  است که دومین آن رادیواکتیو است . ( با نیمه عمر  $10^{11}$  -  $5 \times 10^{10}$  ) و به  $^{187}\text{OS}$  تبدیل می شود . میزان کلارک رنیم  $7 \times 10^{-8}$  درصد و ضریب تمرکز آن ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ است . رنیم یک عنصر کالکوفیل است و همراه

مولیبیدنیم دیده می شود. کانی مستقلی را نمی تواند تشکیل دهد میزان رنیم در مولیبدنیت های مربوط به مراحل پایانی و دماهای پائین بیشتر است. رنیم دارای گرایش ژئوشیمیایی ویژه به مس است و در برخی موارد باعث تشکیل کانی dzhezkazganite با فرمول  $CuReS_4$  می شود که دارای حدود ۵۵ درصد Re است.

افزون بر مولیبدنیت (تا ۱۱۴ PPM)، رنیم ممکن است در کانیهای کالکوپیریت (تا ۰/۶ PPM)، پیریت (تا ۰/۳ PPM) نیز دیده شود. در کانه های پنتلانیدیت - کالکوپیریت - پیروتیت، رنیم همراه با اوسمیوم و ایریدیوم در درون پیروتیت متمرکز می شود. در کانسارهای ماسیوسولفید مس - رنیم در پیریت و کالکوپیریت متمرکز می شود. بیشترین تمرکز رنیم در کانسارهای مس - مولیبدن اتفاق می افتد. در این کانسارها رابطه مستقیمی بین مقدار رنیم و سلنیم وجود دارد. رنیم دارای ظرفیت مهاجرت بالائی بوده و در محیط اکسیدان به راحتی حل و حمل می شود و در انباشته های فانروزوئیک دارای تمرکز بیشتری است. در محیط اکسیدان رنیم بصورت آنیون ( $ReO_4$ ) حمل شده و در محیط احیاء همراه با مس، سرب و روی و در مجاورت  $H_2S$  ته نشین می شود.

از این روی، رنیم یک عنصر پراکنده شده است که بطور عمده در انباشته های هیدروترمال با منشاء عمقی و ماسه سنگها و شیلهای مس دار بصورت محصول جنبی استخراج می شود

سال	۱۹۶۴	۱۹۷۳	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)		۶/۵۳	۹/۵	۳۳/۶	۲۸/۲	۴۳
قیمت واحد (هزار دلار در تن)	۱,۰۱۰	۲,۱۱۰	۳,۴۳۰	۱,۱۳۰	۷۰۰	۹۲۲

جدول شماره (۱۲) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی رنیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی USGS



### ۳-۵- انباشته های تالیم

تالیم بوسیله روش اسپکتروسکوپی در سال ۱۸۶۱ توسط دانشمند انگلیسی W.Crookes کشف شد. از دیدگاه خواص فیزیکی شبیه به سرب است و در نیمه هادیها، سلولهای نوری همچنین در دستگاه تشخیص دهنده تشعشعات مادون قرمز، لامپهای فلورسانس، آلیاژهای پایدار در برابر سایش، در مایعات سنگین و ایمرسیون کاربرد دارد. این عنصر و ترکیبات آن به شدت سمی اند و با وجود موارد مصرف زیاد دارای تقاضای کم هستند. این فلز بیشتر از فراوری کانه های سولفیدی متعلق به انباشته های هیدروترمال و ماسیوسولفید بصورت جانبی بدست می آید.

دو ایزوتوپ پایدار تالیم در طبیعت وجود دارد که عبارتند از  $^{203}\text{Tl}$  (۲۹/۵ درصد) و  $^{205}\text{Tl}$  (70.5) میزان کلارک آن در پوسته  $10^{-4}$  درصد و ضریب تمرکز آن ۱۰۰۰ است. مهمترین ویژگی ژئوشیمیایی عملکرد آن در فرایندهای طبیعی است که بصورت یک فلز یک ظرفیتی و شعاع یونی شبیه به  $\text{Rb}^+$  و  $\text{K}^+$  و  $\text{Pb}^+$  است. از این روی، می تواند در کانیهای گوناگون توزیع شود. این عنصر هم بصورت لیتوفیل و هم بصورت کالکوفیل عمل می کند. همانند Rb در مراحل پایانی پگماتیت زائی و در گرایزن در درون لپیدولیت (تا ۵۰۰PPm) متمرکز می شود. از این روی، به عنوان محصول جنبی همراه روبیدیم و سزیم استحصال می شود. تالیم در درون کانیهای سیلیکاته - سریسیت، کلریت - و کانیهای سولفیدی - گالن، اسفالریت، پیریت، مارکاسیت، و مقادیر کمتری در کالکوپیریت - پراکنده می شود. اندازه میانگین Tl در کانه ها را نمی توان بعنوان معیاری برای ارزیابی اقتصادی آنها استفاده کرد. سیلیکاتهائی که در انباشته های سولفیدی وجود دارند نسبت به خود کانیهای سولفیدی غنی شدگی بیشتری از Tl را نشان می دهند. از این روی، بیشترین تمرکز تالیم در سولفیدها هنگامی دیده می شود که این توده سولفیدی فاقد سریسیت باشد. این حالت بویژه در انباشته های سولفیدی موجود در سنگهای کربناته

روی می دهد . تالیم دارای گرایش ویژه به آرسنیک و تا اندازه ای آنتیموان است . از این روی، در انباشته هائی که دارای مقادیر بالائی از این عناصر هستند غنی شدگی نشان می دهد . هفت کانی ویژه تالیم در شرایط نزدیک به سطح و در فشار بخشی  $H_2S$  پایین و مقادیر بالای  $Sb, As$  تشکیل می شوند که مهمترین آنها در کانسارهای رئالگار دیده می شوند که عبارتند از لورانیدیت ( $TlAsS_2$ ) (تصویر شماره ۱۱) ، وربایت ( $VRBAITE$ ) ،  $(TlAsS_2SbS_5)$  ، هاچینسونیت ( $Pb TlAs_5S_9$ ) . کانسارهای دارای کانیهای تالیم ، بطور معمول از دیدگاه اندازه کوچک هستند .

سال	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)				۱۳	۱۵	۱۵	۱۵
قیمت واحد دلار در تن	۲۷,۶۰۰	۱۶,۵۰۰	۱۶,۵۰۰	۱۶,۵۰۰	۵۸۴,۰۰۰	۱,۱۰۰,۰۰۰	۱,۲۹۵,۰۰۰

جدول شماره ( ۱۳ ) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی تالیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*



تصویر شماره ( ۱۱ ) - لوراندیت ، مهمترین کانی تالیم

#### ۴-۵- انباشته های گالیم

گالیم Ga یک عنصر آنالوگ با آلومینیم است و در سال ۱۸۷۱ بوسیله مندلیف موقعیت آن پیش بینی گردید و بعنوان eka-aluminium نامیده شد . در سال ۱۸۷۵ توسط P . lecoq در کانی اسفالریت از طریق اسپکتروسکپی شناسائی گردید و کاربرد آن تاکنون محدود بوده است . در آلیاژهای با نقطه ذوب پائین ، ابزارهای با محدودیت حرارتی ، تیوبهای خلاء ( همراه با کادمیم ) و در آینه های ویژه با قدرت انعکاس بالا استفاده می شود .

در دهه ۱۹۷۰ توجه زیادی به کاربرد ارسنیدها و فسفیدهای گالیم در نمایشگر های کامپیوتر در ابزارهای دورسنجی و تکنولوژی لیزر شده است . نزدیک به ۹۰ درصد از گالیم دنیا بعنوان محصولات جانبی از بوکسیت و نزدیک به ده درصد از بقایای تولید روی بدست می آید .

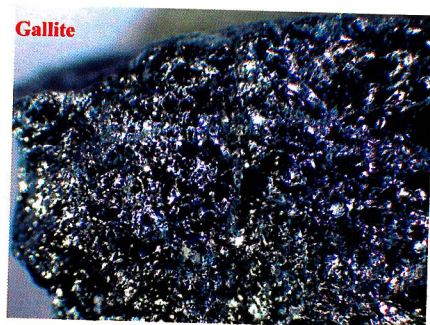
آنالوگ پتروژنیکی گالیم ، آلومینیم است و هر جائیکه آلومینیم حضور داشته باشد ، گالیم پراکنده شده و تا اندازه ای در محصولات باقی مانده و پایانی ماگماهای اسیدی و بویژه آلکالن متمرکز می شود . گالیم افزون بر سرشت لیتوفیل خود در محیط سولفیدی هیدروترمال بصورت کالکوفیل عمل می نماید و وارد ترکیبات آلومینوسیلیکاتی همچون سریسیت ، کلریت ، تورمالین و کانیهای سولفیدی اسفالریت ، وورتزیت و کالکوپیریت می شود . تشابه کاملی در این باره میان گالیم و ژرمانیم دیده می شود و بیشترین تمرکز گالیم در انباشته هائی از این عنصر دیده می شود که دارای کانه های ژرمانیم نیز هست . در این

شرایط تنها کانی مستقل گالیم یعنی گالیت ( $CuGaS_2$ ) (تصویر شماره ۱۲) تشکیل می شود. مثالهایی در این رابطه Tsumeb در نامیبیا و Kipushi - تصویر شماره ۱۳ - در زئیر هستند. تمرکز گالیم بیشتر در موادی روی می دهد که فرایند پراکنده شدن آن در کانیهای آلومینیم سیلیکاته رخ ندهد و این بطور عمده در کانیهای سولفیدی همراه با سنگهای کربناته است. اسفالریت های مربوط به توده های ماسیوسولفید سرب و روی، کانسارهای قلع با تشکیلات سولفیدی - کاسیتريت نیز ممکن است دارای مقادیر قابل توجه از گالیم باشند. در شرایط اگزوژنیک این عنصر بصورت آنالوگ کامل و همراه با آلومینیم است و وارد ترکیبات بوکسیت می شود.

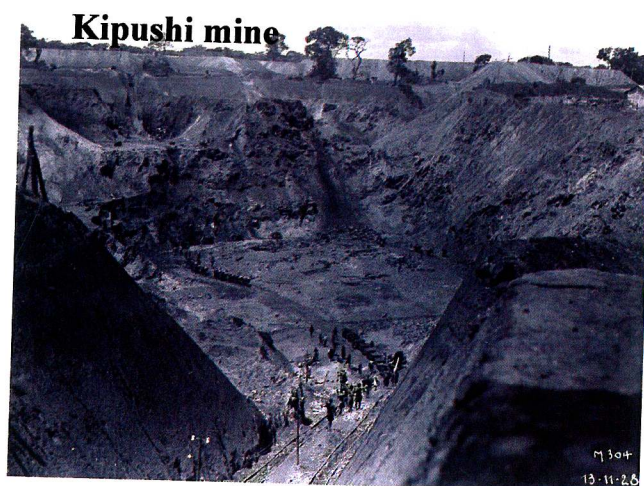
سال	۱۹۷۳	۱۹۷۵	۱۹۸۰	۱۹۸۵	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)	۱۶	۱۱	۱۷/۶	۳۶/۱	۳۷	۶۱/۵	۹۰
قیمت واحد هزار دلار در تن	۷۵۰	۷۷۵	۶۳۰	۴۷۵	۴۷۵	۳۹۰	۶۴۰

جدول شماره (۱۴) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی گالیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی USGS



تصویر شماره (۱۲) - تصویری از کانی گالیت



تصویر شماره (۱۳)-نمائی از منطقه معدنی Kipushi

#### ۵-۵- انباشته های کادمیم

عنصر کادمیم در سال ۱۸۱۷ توسط F. Stromeyer آلمانی در کانه روی کشف شد. بدلیل آنکه این عنصر در هوا اکسید نمی شود، مهمترین کاربرد آن در پوشش (electroplating) فرآورده های فلزی است. آلیاژهای کادمیم (Cd) و مس برای ساخت سیستم های ذخیره برق استفاده می شوند. انواع گوناگون اجزاء اتومبیل ها، هواپیماها و ابزار رادیوئی از این آلیاژ استفاده می کنند. این عنصر همچنین در ساخت انواع باتریهای نیکل - کادمیم و نقره - کادمیوم استفاده می شود. این عنصر دارای استفاده ویژه در راکتورهای هسته ای نیز هست. همه کادمیوم موجود در بازار، بعنوان محصول جانبی از باطله های حاصل از کانه های سولفیدی روی - سرب و مس بدست می آید. کادمیوم دارای ۸ ایزوتوپ پایدار  $^{106}\text{Cd}$ ،  $^{108}\text{Cd}$ ،  $^{110}\text{Cd}$ ،  $^{111}\text{Cd}$ ،  $^{112}\text{Cd}$ ،  $^{113}\text{Cd}$ ،  $^{114}\text{Cd}$ ،  $^{116}\text{Cd}$  است که فراوانترین آن کادمیوم  $^{114}\text{Cd}$  است. میزان فراوانی آن در پوسته  $10^{-10}$  درصد است.

کادمیم آنالوگ روی است و بگونه ای بطور کامل کالکوفیل عمل می کند. در شرایط اندوژنیک همواره همراه با روی است و در اسفالریت متمرکز می شود. نوعی از اسفالریت غنی از کادمیم بنام Przibramite معروف است.

مهمترین اصول منظم تمرکز کادمیم به صورت زیر است : ۱- انباشته هائی که در دمای متوسط در سنگهای کربناته تشکیل می شوند نسبت به آنهائی که همراه سنگهای سیلیکاته تشکیل می شوند دارای کادمیم بیشتری هستند . ۲- کادمیوم در انباشته های هیدروترمال و لکانوزنیک نزدیک سطح زمین در نواحی که فعالیت ولکانیکی شدید و غنی از سولفوسالت ها ، نقره و گاهی طلا وجود دارند دارای تمرکز بالا است . ۳- بیشترین فراوانی کادمیم در انباشته های فانروزوئیک ، بویژه آنهائیکه در نواحی با فعالیت ولکانیکی جوان هستند دیده می شوند . ۴- تمرکز کادمیوم بوسیله فعالیت یون  $Cl$  در محلول کانی ساز کاهش می یابد زیرا کادمیوم و کلر تشکیل کمپلکس پایداری را می دهد و مانع از وارد شدن کادمیوم به ترکیب اسفالریت می شود . در نواحی سطحی مسیر مهاجرت  $Zn$  و  $Cd$  به سرعت از هم جدا می شود .  $Zn$  تشکیل سولفاتهای محلول را می دهد و از زون اکسیده زدوده می شود و کادمیوم تشکیل کانیهای اصلی خود یعنی گرینوکیت ( $CdS$ ) ، اوتاویت ( $CdCO_3$ ) (تصویر شماره ۱۴)، کادموسلنیت  $CdSe$  را می دهد . این کانیها فاقد ارزش اقتصادی هستند .



اوتاویت



گرینوکیت

تصویر شماره (۱۴)-تصاویری از کانی های کادمیم دار

سال	۱۹۰۰	۱۹۱۰	۱۹۲۰	۱۹۳۰	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)	۱۴	۴۳	۸۱	۲,۴۸۰	۵,۲۲۰	۶,۰۱۰	۱۱,۱۰۰	۱۶,۵۰۰	۱۸,۲۰۰	۲۰,۲۰۰	۲۰,۱۰۰	۲۰,۱۰۰
قیمت واحد دلار در تن	۱,۴۳۰	۱,۲۱۰	۲,۵۸۰	۱,۳۲۰	۱,۸۱۰	۴,۷۸۰	۳,۳۵۰	۷,۸۷۰	۶,۲۶۰	۷,۴۵۰	۴,۰۶۰	۳۵۳

جدول شماره ( ۱۵ ) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی کادمیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی USGS

#### ۵-۶- انباشته های ایندیم

ایندیم (In) در سال ۱۸۶۳ توسط شیمیستهای آلمانی F.Reich و T.Richter کشف شد. آغاز کاربرد آن در صنعت از سال ۱۹۳۰ بوده است که برای تهیه آلیاژهای مخصوص با نقره، سرب، مس، کادمیم و قلع همچنین آلیاژهای با نقطه ذوب پائین - با گالیم - بکار رفته است. در سالهای گذشته استفاده آنها در صنایع الکترونیک بعنوان نیمه هادی گسترش یافته است. ترکیبات In با Sb بعنوان نیمه هادی عمل می کند که قادر است بصورت هادی نور (Photoconductor) در بخش مادون قرمز طیف نوری عمل نماید و ترکیبات آن با As و P بعنوان thermoelement استفاده می شود.

ایندیم بعنوان محصول جانبی از فراوری کانه های سرب - روی، مس - سرب - روی و قلع - سرب - روی استخراج می شود. ایندیم دارای دو ایزوتوپ پایدار ۱۱۵ و ۱۱۳ است که ایزوتوپ اصلی آن ۱۱۵ است. میزان فراوانی آن در پوسته  $10^{-5} \times 1/4$  درصد و ضریب تمرکز آن ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ است. ایندیم نیز همانند کادمیم یک عنصر کالکوفیل پراکنده (dispersed) است. از دیدگاه ژئوشیمیایی دارای ارتباط تنگاتنگی با روی است اما برعکس کادمیم تا اندازه ای خواص سیدروفیل نیز نشان می دهد و دارای تمایلات ژئوشیمیایی واضحی با قلع است. مهمترین کانی

میزبان ایندیم ، اسفالریت و کانیه‌های با شبکه ساختمانی شبیه به اسفالریت - کالکوپیریت و استانیت - و کاسیتریت هستند .

مقدار ایندیم در اسفالریت وابسته به میزان حضور آهن در آن است . اسفالریت های آهن داری که در درجه حرارت متوسط تشکیل شده اند دارای بیشترین مقدار In هستند ، با کاهش دما و کاهش مقدار آهن ، مقدار ایندیم نیز کاهش می یابد . انباشته هائی که در سنگهای سیلیکاته قرار داشته باشند نسبت به آنهایی که در سنگ آهکها قرار دارند دارای ایندیم بیشتری هستند . همچنین مقدار ایندیم بصورت مستقیم در ارتباط با مقدار قلع در انباشته های سولفیدی است . بیشتری مقدار ایندیم در انباشته های سولفید - کاستیریت و کاستیریت - سیلیکات - سولفید دیده می شود . بیشترین مقدار ایندیم در انباشته های نزدیک سطحی که در سنگهای ولکانیک اسیدی تشکیل می شوند و دارای قلع چوبی (Wood tin) هستند دیده می شود .

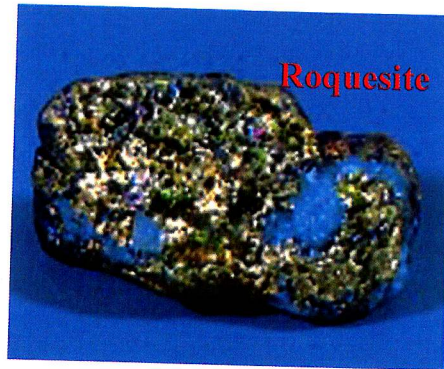
Wood tin : یک گونه نودولار و شعاعی به رنگ قهوه ای از کاسیتریت است که ساخت هم مرکز و فیبرهای شعاعی و سیمائی شبیه به چوب دارد . کاسیتریت های کلوفرم در این کانسارها گاهی تا ۱/۳۵ درصد ایندیم دارد . ایندیم دارای چند کانی مستقل است که بطور عموم همراه با شبکه کانیه‌های دیگر یافت می شوند و عبارتند از :

Indite : با فرمول  $FeIn_2S_4$  ( دارای ۵۹/۳ درصد ایندیم )

Roquesite : با فرمول  $CuInS_2$  ( دارای ۴۷/۴ درصد ایندیم ) (تصویر شماره ۱۵)

Jalindite : با فرمول  $In(OH)_3$  که محصول آلتراسیون ایندینیت است .





تصویر شماره (۱۵) - تصویری از کانی روکوئیسیت

سال	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۲	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۲
میزان تولید جهانی (تن)	-	-	-	۶۸/۴	۴۹/۸	۱۱۸	۲۳۹	۳۵۵	۳۳۵
قیمت واحد هزار دلار در تن	۷۳۹	۷۲,۳	۷۲,۳	۸۰,۴	۵۴۷	۲۳۰	۴۸۸	۱۸۸	۹۷

جدول شماره ( ۱۶ ) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی ایندیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی *USGS*

#### ۷-۵- انباشته های سلنیم و تلوریم

سلنیم و تلوریم از دیدگاه ژئوشیمیائی همسان یکدیگرند. تلوریم در سال ۱۷۸۲ بوسیله یک بازرس معدن اتریشی بنام Muller Von Reichenstein هنگامی که در حال آزمایش بر روی یک کانسنگ طلا بود کشف شد. این کشف در سال ۱۷۸۹ بوسیله Klaproth تایید و بنام تلوریم نامیده شد. سلنیم نزدیک به ۱۹ سال پس از آن بوسیله J. Berzeilius کشف شد. تا سال ۱۹۴۰ کاربرد این عنصر بسیار محدود بوده و تنها بصورت اولیه در لاستیک سازی، شیشه و صنایع شیمیائی استفاده می شده اند. از جنگ جهانی دوم بدین سو سلنیم در صنعت نیمه هادیها، در سلولهای فتوالکتریک، ابزار اندازه گیری، تلویزیون و سیستمهای نشانگر کاربرد دارد.

تلوریم در مهندسی رادیو، دکتورها، در ترموکوپل، خنک کننده های نیمه هادی و ترموالمنت ها استفاده می شود. سلنیم و تلوریم در متالورژی نیز برای ساختن آلیاژهای از فولاد و فلزات پایه استفاده می شوند. سلنیم دارای ۶ ایزوتوپ پایدار با جرم اتمی ۷۴، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۸۰ و ۸۲ و تلوریم نیز دارای ۸ ایزوتوپ پایدار با جرم اتمی ۱۲۸، ۱۳۰، ۱۲۶، ۱۲۵، ۱۲۴، ۱۲۳، ۱۲۲، و ۱۲۰ است. میزان کلارک سلنیم  $۰.۰۵ \times 10^{-۴}$  درصد و برای تلوریم  $۰.۰۰۱ \times 10^{-۴}$  درصد است. هم سلنیم و هم تلوریم عناصر کالکوفیل هستند. آنالوگ اصلی ژئوشیمیایی هر دو آنها  $S^{-2}$  است.

بدلیل نسبت بسیار بزرگ  $S^{-2}/Se^{-2}$ ، سلنیم بطور معمول در درون سولفیدها پراکنده می شود و تشکیل کانیهای مستقل سلنیم فقط در شرایطی امکان پذیر می شود که پتانسیل گوگرد پائین باشد. این حالت در انباشته های ارسنید و طلا و رگه های هماتیت - سیدریت امکان پذیر است. بعنوان یک ایزومورف با گوگرد، سلنیم در بازپسین فازهای سولفیدی تولید شده متمرکز می شود و سلنیدهای گوناگونی بر اساس شدت ایزومورفیسم میان سلنیم و گوگرد تشکیل شوند. تلوریم دارای شعاع یونی بزرگتر نسبت به سلنیم است و بطور معمول در عمل جانشین آن نمی شود و بصورت ادخالهای تلورید بسیار ریز در درون کانیهای سولفیدی تشکیل می شود. از دیدگاه ژئوشیمیایی سلنیم همراه با مس و به مقدار کمتر همراه با نقره، سرب، جیوه، بیسموت، کبالت و نیکل است. تلوریم نیز همراه با طلا و بیسموت دیده می شود. این همراهی است که دلیل تشکیل سلنیدهای مس، نقره، سرب، بیسموت، کبالت و نیکل و تلوریدهای طلا، نقره، بیسموت و سرب را توجیه می نماید، همچنین علت تمرکز اولیه سلنیم در انباشته های مس - نیکل، مس - پیریت و کبالت - نیکل و تلوریم در انباشته های طلای درجه حرارت پائین را توضیح می دهد. سلنیم از دیدگاه علمی فرار (Volatile) است و در گازهای آتشفشانی گوگرد را همراهی می نماید و این دلیل غنی بودن گوگردهای آتشفشانی از سلنیم را توجیه می نماید. گذرگاه کوچ گوگرد، سلنیم و تلوریم در منطقه هایپرژن (سطحی) از هم جدا می شود. گوگرد به یون سولفات

اکسید می شود و به آسانی مهاجرت می نماید.  $Se^{-2}$  در شرایط با پتانسیل اکسیدی بیشتر به یون سلنیت اکسید می شود و در شرایط قلیائی مهاجرت می نماید هنگامی که محلول دربردارنده آنها به حالت اسیدی درآید ، سلنیم خالص ته نشین می شود و یا بوسیله هیدروکسید آهن بصورت تسخیر (Capture) جذب می شود.

همراهی ژئوشیمیائی سلنیم با اورانیم ، وانادیم ، مولیبدنیم و مس در شرایط فرایندهای رسوبی دیده می شود. گاهی تمرکز قابل ملاحظه ای از سلنیم در حاشیه بعضی از انباشته های اورانیم ماسه سنگی اتفاق می افتد. سلنیم در شیل های سیاه بیتومین دار و لایه های ذغالسنگی نیز متمرکز می شود. در این شرایط تلوریم از گوگرد و سلنیم جدا می شود. هنگام اکسید شدن انباشته های سولفیدی ، تلوریم بوسیله هیدروکسید آهن جذب می شود و در انباشته های تلوریم - طلا این عنصر (تلوریم) همراه با طلا به درون پلاسر مهاجرت می کند. بیش از ۴۰ کانی سلنیم و به همین میزان کانی تلوریم تاکنون شناخته شده است. برخی از آنها که دارای اهمیت بیشتر هستند عبارتند از (تصویر شماره ۱۶)

فرو سلیت با فرمول  $FeSe_2$  (۶۸ تا ۷۲ درصد Se)

کلوستالیت با فرمول  $PbSe$  (۲۷ تا ۲۸ درصد Se)

بلوکیت یا پنروسلیت با فرمول  $(Ni,Co,Cu)Se$  (۶۸ درصد Se)

نامانیت با فرمول  $Ag_2 Se$  (۲۳ تا ۲۹ درصد Se)

ترادیمیت با فرمول  $Bi_2Te_2S$  (۲۶ درصد Te)

کالاوریت با فرمول  $AuTe_2$  (۵۷ درصد Te)

آلتائیت با فرمول  $PbTe$  (۳۸ درصد Te)

هسیت با فرمول  $Ag_2Te$  (۶۲ درصد Te)

- مهمترین منابع سلنیم و تلوریم بطور عمده محدوده به انباشته های ماگمائی نیکل - مس ، مس -

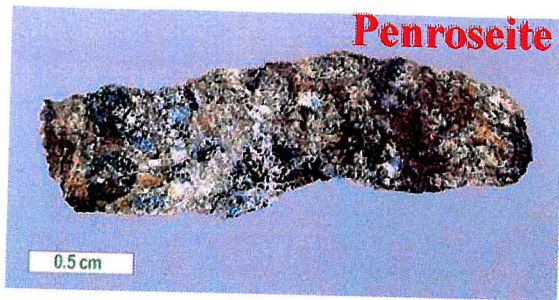
- مولیبدن هیدروترمال ، ذخایر ماسیوسولفید مس ، انباشته های تراوشی (infiltration) سلنیم -

اورانیم - وانادیم است که تقریباً همه سلنیم و تلوریم تولیدی دنیا از آنهاست و عیار آنها بطور معمول بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۴ درصد است. پرعیارترین آنها از نوع کانسنگ کبالت - سلنیم - تلوریم در Akjilga تاجیکستان، نوع کانسنگ سلنید Pacajake بولیوی، نوع اورانیم - سلنیم shinkolobwe در زئیر و نوع تلورید طلا در Fatza Baia رومانی هستند.

سال	۱۹۱۰	۱۹۲۰	۱۹۳۰	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰
میزان تولید جهانی (تن)				۲۵۱	۴۱۸	۷۵۷	۱,۳۱۰	۱,۲۸۰	۱,۷۷۰	۲,۰۷۰	۱,۴۶۰
قیمت واحد دلار در تن	۷,۲۰۰	۴,۴۱۰	۴,۱۹۰	۳,۸۶۰	۶,۰۶۰	۱۴,۹۰۰	۱۹,۸۰۰	۲۴,۱۰۰	۱۲,۸۰۰	۱۰,۸۰۰	۸,۴۷۰

جدول شماره (۱۷) - میزان تولید و ارزش واحد جهانی سلنیم در قرن بیستم

اطلاعات از سایت اینترنتی USGS



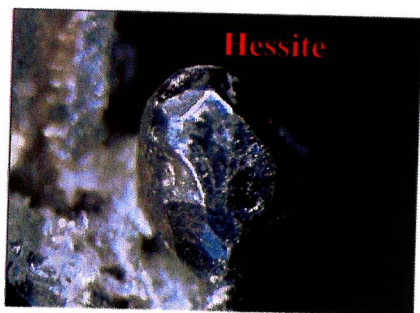
پنروسئیت



نامانیت



کالاوریت



هسیت



هسیت

تصویر شماره (۱۶) - تصاویری از کانی های دارای سلنیم و تلوریم

## منابع وسایتها

- V.I. Smivnov(Editor),A.I.Ginzburg,V.M Grigoriev,G.F.Yakovlev- (1983)-Studies of Mineral Deposit, English translation by A.Zilberman,Yu.Prizov,T. Lokhova .English translation edited by prof.A.A.Beus,D.Sc.
- [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
- <http://osoon.ut.ee> –"Rare Elements on the Net".
- <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs>. – "Historical Statistic of Minerals".
- [www.webmineral.com](http://www.webmineral.com)

کتابخانه سازمان زمین شناسی و  
اکتشافات معدنی کشور

## فهرست تصاویر

- ۱۰..... تصویر شماره (۱)-تصاویری از کانیهای گوناگون لیتیم دار
- ۱۴..... تصویر شماره (۲)-تصویری از کانی پلوسیت  $\{(Cs,Na)(AlSi_2O_6),nH_2O\}$  ، کانی مهم سزیم
- ۱۸..... تصویر شماره (۳)-تصاویری از کانیهای گوناگون برلیم دار
- ۲۶..... تصویر شماره (۴)-تصاویری از کانیهای گوناگون دارای نیوبیوم وتانتالیم
- ۳۱..... تصویر شماره (۵)-تصاویری از کانیهای گوناگون دارای زیرکونیم وهافنیم
- ۴۳..... تصویر شماره (۶)-تصاویری از کانیهای گوناگون دارای عناصر نادر خاکی
- ۴۴..... تصویر شماره (۶ ادامه)-تصاویری از کانیهای گوناگون دارای عناصر نادر خاکی
- ۴۵..... تصویر شماره (۷)-نمائی از معدن روبازعناصر نادر خاکی در khibini در شبه جزیره کولا
- ۴۸..... تصویر شماره (۸)-محیط زمین شناسی تشکیل کربناتیت در شبه جزیره کولا(منطقه معدنی Kovdor)
- ۵۳..... تصویر شماره (۹)-تصاویری از کانیهای دارای عناصر نادرخاکی واسکاندیم
- ۵۶..... تصویر شماره (۱۰)-کانیهای گوناگون دارای ژرمانیم
- ۶۴..... تصویر شماره (۱۱)-لوراندیت ،مهمترین کانی تالیم
- ۶۵..... تصویر شماره (۱۲)-تصویری از کانی گالیت
- ۶۶..... تصویر شماره (۱۳)-نمائی از منطقه معدنی Kipushi
- ۶۷..... تصویر شماره (۱۴)-تصاویری از کانی های کادمیم دار
- ۷۰..... تصویر شماره (۱۵)-تصویری از کانی روکوئیسیت
- ۷۴..... تصویر شماره (۱۶)-تصاویری از کانی های دارای سلنیم وتلوریم