

## **Mineralogical and Geochemical Evaluation of Clay Minerals of Zonuz Mine, in Marand According to REE & SEM Studies in Comparison with Esteghlal Mine, in Abadeh**

**Etemadi, B. , Karami, B. and Jafari, Y.**

*Department of Geology, Shiraz University, Shiraz, Iran*

*etemadi@geology.susc.ac.ir*

**Keywords:** *Zonuz deposit, Hydrothermal, Mineralogy, Geochemistry, Rare Earth Element.*

**Abstract:** The Zonuz irregular lens shaped kaolin deposit located in Marand, Azarbaygan, is exploited as an openpit. Andesite, Trachyandesite and dacite igneous rocks are located in south, west and east parts of the deposit, respectively. The Ore was analysed by XRD, SEM and NAA. Assemblage of major minerals including Quartz, Kaolinite, Illite and Calcite, and minor minerals of Dolomite, Montmorillonite and Limonite are detected.

Geochemical analysis show that La, Ce, Nd are present in minor amounts, and the high ratio of LREE/HREE indicates the enrichment of LREE which is probably the result of surface tension of these elements on clay particles.

Geological and Geochemical evidence indicate that hydrothermal fluids played a major role in the formation of the Ore body, particularly along fault zones.

A comparison is also made between autogenic Zonuz deposit with allogenic Esteghlal deposit.

پژوهشی

## بررسی کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی کانیهای رسی کانسار زنوز مرند با تاکید بر مطالعات REE، SEM و مقایسه آن با کانسار استقلال آباده

بیژن اعتمادی، بهروز کرمی و یاسمن جعفری

بخش زمین‌شناسی دانشگاه شیراز

(دریافت مقاله ۱۳۷۹/۱۲/۳ دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۱/۲/۱۵)

چکیده: کانسار عدسی شکل کاتولن زنوز در مرند آذربایجان قرار گرفته و به صورت روباز استخراج می‌شود. در جنوب غربی و شرقی این کانسار سنگهای آذرین آندزیتی، تراکی آندزیت و داسیت قرار دارند. کانه‌های این کانسار بروش پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی، و فعالسازی نوترونی تجزیه شده‌اند. کانیهای اصلی این کانسار از کوارتز، کائولینیت، ایلیت، کلسیت و کانیهای فرعی دولومیت، بیوتیت، مونت موریلونیت و لیمونیت تشکیل شده‌اند.

تجزیه زمین‌شناسی بیانگر مقدار زیاد عناصر لانتانوم، سربوم، نئودیموم، و ساماریوم بوده و نسبت بالای عناصر خاکی سبک به عناصر نادر خاکی سنگین نمایانگر غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک است که احتمالاً در رابطه با جذب سطحی این عناصر بر روی رسهاست.

شواهد زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی تأیید می‌کنند که شاره‌های گرمابی نقش عمده‌ای در تشکیل این کانسار به ویژه در مناطق گسلش داشته‌اند. مقایسه‌ای نیز بین کانسار در جزای زنوز و کانسار دگرجای استقلال صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: کانسار زنوز، گرمابی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمیایی و عناصر نادر خاکی.

## مقدمه

کانی های رسی، کانی هایی دانه ریز با شبکه لایه ای هستند که از هیدراتهای آلومینیوم و سیلیکاتی تشکیل شده اند. کاربرد گسترده آنها در صنایع گوناگون به دلیل تنوع ساختاری و شیمیایی این کانیهاست. این کانیها به خاطر عدم بازیافتشان از اهمیت ویژه ای در سطح جهانی برخوردارند.

منشأ کانیهای رسی متفاوت است، اما به طور کلی محصول دگرسانی سیلیکاتهای تشکیل دهنده سنگها به ویژه فلدسپاتها و آلومینوسیلیکاتهای آهن و منیزیم دار هستند. تنوع پذیری این کانیها طی فرایند هوازدگی، تشخیص خاستگاه اصلی را دشوار می کند. کانسار زنوز مرند یکی از قدیمیترین و بزرگترین کانسارهای کائولن ایران با ذخیره احتمالی ۹۰ میلیون تن است. این کانسار مواد اولیه بسیاری از صنایع داخلی به ویژه صنایع سرامیک را تأمین می کند. بنابراین بررسی مستمر و دقیق این کانسار از لحاظ کانی شناسی و زمین شناسی برای ارائه کیفیت بهینه فرآورده های صنعتی ضروری است.

## موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

کانسار زنوز با مختصات  $15^{\circ}$ ،  $5^{\circ}$ ،  $45^{\circ}$  تا  $15^{\circ}$ ،  $48^{\circ}$ ،  $45^{\circ}$  طول شرقی و  $33^{\circ}$ ،  $38^{\circ}$  تا  $45^{\circ}$ ،  $34^{\circ}$ ،  $38^{\circ}$  عرض شمالی در استان آذربایجان شرقی در ۸۸ کیلومتری شمال غرب تبریز و ۱۸ کیلومتری شمال شرقی مرند و ۴ کیلومتری جنوب روستای زنوز قرار دارد. قدیمی ترین سازندهای موجود در منطقه مربوط به دونین است که در بخشهای تحتانی از ماسه سنگهای قرمز شروع شده و با دولومیتهایی که از گسترش نسبتاً زیادی برخوردارند، پوشانده می شوند. طبقات بالایی شامل کوارتزیت و آهکهای قرمز تیره است. همه سازندهای مذکور چین خورده اند. بر روی این سازندها پس از یک نبود چینه ای نسبتاً طولانی، سازند رسوبی پالئوسن (ائوسن) که کلاً بازگوکننده دریای کم عمق است به صورت یک دگرشیبی آشکار قرار دارد. سنگهای ائوسن در این منطقه بیشتر شامل مارن توام با لایه های نازک گچی، ماسه سنگ، و شیلهای آهکی هستند. بیشترین سهم را سنگهای ائوسن مربوط به سنگهای آتشفشانی تشکیل می دهند که شامل آندزیت، تراکی اندزیت، داسیت، ریو داسیت، و توفهای اسیدی است [۱].

## روش مطالعه

الف) مطالعات پراش پرتو ایکس

در شناسایی انواع رسها قبل از بکارگیری پراش پرتو ایکس نمونه های تهیه شده را به روش [۲] با انواع کاتیونها اشباع می کنیم:

(۱) اشباع با کلرید پتاسیم: از این روش جهت شناخت کانیهای میکا و ایلیت استفاده می شود.

(۲) اشباع با کلرید پتاسیم و گرمایش  $550^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴ ساعت: که برای تشخیص و تفکیک کلریت از کائولینیت مورد استفاده قرار می گیرد.

(۳) اشباع با کلرید منیزیم: برای تکمیل شبکه کلریت در تثبیت قله های آن در ساختار کلریت Mg باعث تکمیل شبکه کلریت می شود.

(۴) اشباع با کلریت منیزیم و قرار دادن در گلیسرین یا اتیلن گلیکول. از این روش برای شناخت کانیهای رسی خانواده مونت موریلونیت و تفکیک آن از کلریت استفاده می شود.

نتایج حاصل در جدول (۱) ارائه شده اند [۳].

ب) مطالعات SEM

در مطالعات با این نوع میکروسکوپ، رسهای آلفان معمولاً شکل مشخصی ندارند و به صورت توده ای پنبه مانند دیده می شوند. رس هالوئیزیت اغلب سوزنی شکل اند و رسهای کائولینیت شش وجهی و یا در یک جهت کشیده شده اند. رسهای

جدول ۱- نتایج آنالیز XRD نمونه های رسی معدن زنوز مرند.

کد آزمایشگاهی	شماره نمونه	توکیب کانیایی
۱۹۲	۱۲۰۱	کوارتز، کلسیت، کائولینیت، دولومیت
۱۹۳	۱۲۰۶	کوارتز، کائولینیت، کلسیت
۱۹۴	۱۲۱۱	کوارتز، کائولینیت
۱۹۵	۱۲۱۶	کوارتز، کائولینیت
۱۹۶	۱۲۱۹	کوارتز، کائولینیت، کلسیت
۱۹۷	۱۲۲۲	کوارتز، کلسیت، کائولینیت، ایلیت
۱۹۸	۱۲۲۵	کوارتز، کلسیت، کائولینیت
۱۹۹	۱۲۳۰	کوارتز، کائولینیت
۲۰۰	۱۲۳۵	کوارتز، کائولینیت
۲۰۱	۱۲۳۹	کوارتز، فلدسپار، آمفیبول، کلریت، کائولینیت

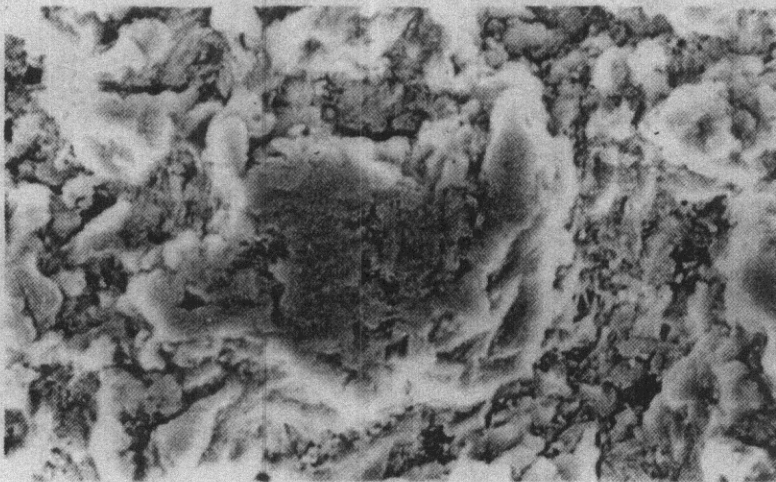
مونت موریلونیت بسیار ریزند و به صورت توده نا مشخصی به نظر می رسند. ایلیتها زیاد مشخص نیستند و به صورت پولکهایی با کناره های نامنظم و کنگره دار دیده می شوند. کلریت ها و ورمیکولیت ها اغلب با سایر رسهای خاک مخلوط شده اند و جدا سازی آنها برای مشاهده با میکروسکوپ الکترونی به آسانی میسر نیست [۴ و ۵]. برای مطالعه این روش پنج نمونه صیقلی ( Polish section ) نخست طلا اندود شدند و سپس برای عکس برداری در میکروسکوپ قرار گرفتند. بزرگنمایی عکسها در حدود ۱۵۰۰ برابر، و نتایج حاصل در شکلهای ۱ الی ۴ نمایش داده شده اند.

ج) بررسی های زمین شیمیایی

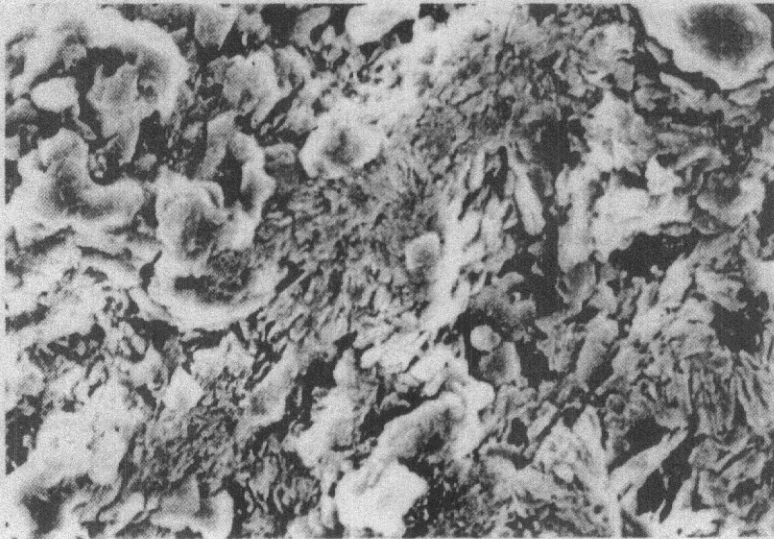
میانگین درصد اکسیدهای ۲۶ نمونه به روش شیمی تر به شرح زیر تعیین شدند:

NaO:0.09    K<sub>2</sub>O:0.27    L.O.I:8.04    SiO<sub>2</sub>:66.37    Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:16.87  
TiO<sub>2</sub>:0.01    Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:1.54    CaO:3.19    MgO:0.36    SO<sub>3</sub>:0.44

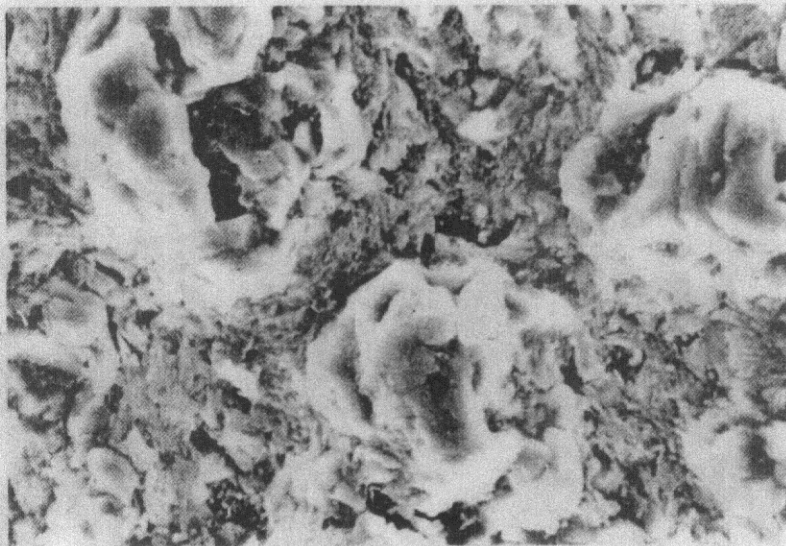
برای تعیین عناصر نادر خاکی از روش فعالسازی نوترونی استفاده شد. به این ترتیب که مقادیر داده شده از تجزیه نوترونی این عناصر بر حسب PPM بر مقدار ثابتی که برای



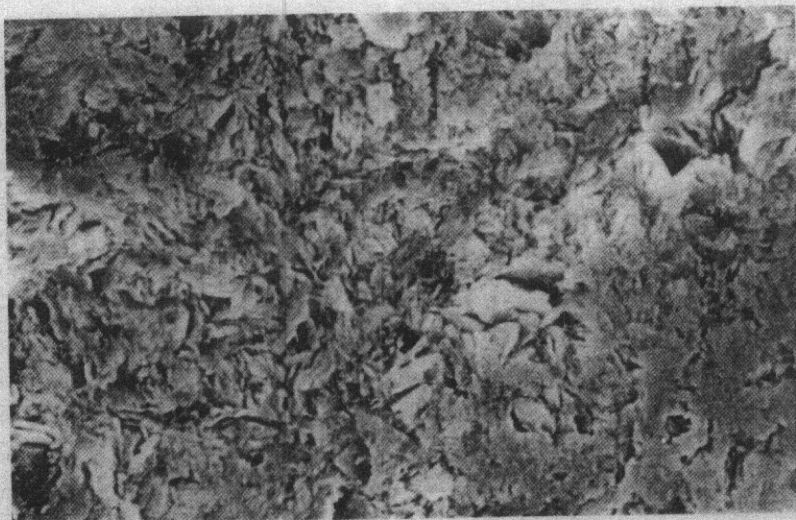
شکل ۱- بلور درشت رس کائولینیتی تقریباً "شکل دار در مرکز عکس همراه با مخلوطی از رسهای ورمیکولیتی و کلریتی در اطراف بلور. نمونه شماره ۱۲۰۴ معدن زنون، بزرگ نمایی ۱۵۱۰ برابر.



شکل ۲- بلورهای پولکی شکل ایلیت همراه با رسهای آلوفان و مونت موریلونیت. نمونه شماره ۱۲۱۸ معدن زنوز، بزرگ نمایی ۱۵۰۰ برابر.



شکل ۳- بلورهای شکل دار کاتولینیت همراه با بلورهای ریز مونت موریلونیت که به صورت یک توده نامشخص به نظر می رسند. نمونه شماره ۱۲۳۳ معدن زنوز، بزرگ نمایی ۱۵۰۰ برابر.



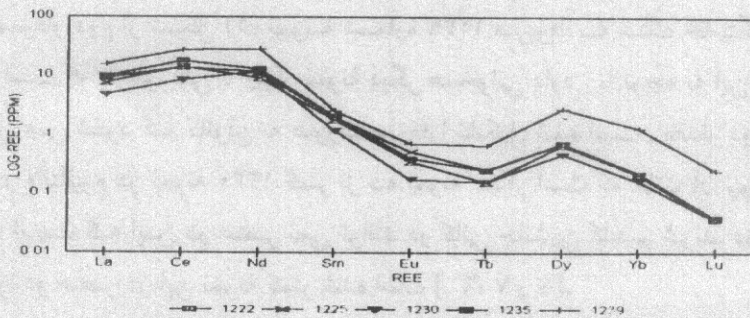
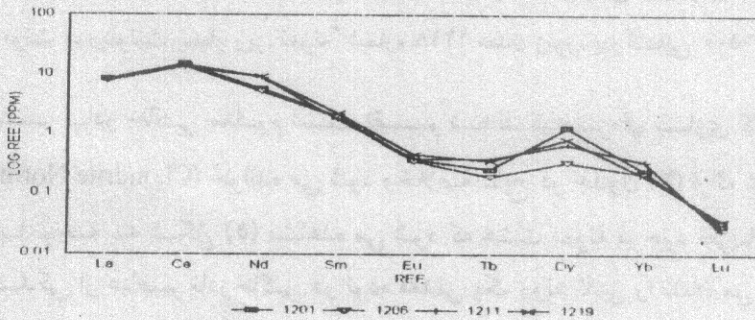
شکل ۴- بلورهای تقریباً سوزنی شکل هالوئیزیت همراه با مخلوطی از رسهای آلفان و مونت موریلونیت بسیار ریز. نمونه شماره ۱۲۱۸ معدن زنوز، بزرگنمایی ۱۵۰۰ برابر.

هر عنصر نادر خاکی معلوم است تقسیم شدند که نرمال سازی کندریتی (Chondrite Normalize) خوانده می شود و خلاصه نتایج در جدول (۲) ارائه شده اند. با توجه به شکل (۵) مشاهده می شود که هشت نمونه موجود تقریباً از نظر تهی شدگی از عناصر نادر خاکی در توده معدنی یک روند ثابتی را نشان می دهند و تقریباً از همپوشانی برخوردارند. نسبت بالای عناصر نادر خاکی سبک به سنگین (LREE/HREE) نشان میدهد که غنی شدگی عناصر LREE از HREE بیشتر است. نمودار دوم از شکل (۵) نمونه شماره ۱۲۳۹ مربوط به سنگ خاستگاه توده معدنی است که به طور کلی با چهار نمونه دیگر همخوانی دارد. با توجه به این نمودار مشخص می شود که کائولن به صورت در جازا تشکیل شده است. مقدار دو عنصر سربوم و لانتانوم در نمونه ۱۲۳۰ کمتر از سه نمونه دیگر است که علت آن نبود کانی کلسیت است که این دو عنصر نمی توانند در کانی جانشین کلسیم شوند. در نتیجه مقدار این دو عنصر در این نمونه کمتر شده است [۶، ۷ و ۸].

با توجه به مطالعات انجام گرفته روی کانسار رسوبی و دگر جازای خاک نسوز استقلال آباده [۹] سعی شده است این دو کانسار از نظر ژئوشیمیایی و کانیایی با یکدیگر مقایسه شوند.

جدول ۲- مقادیر نرمال شده عناصر نادر خاکی در نمونه های مختلف معدن.

عناصر نادر خاکی	آنتیم	سرب	تولیم	تاریم	یورانیوم	توریم	ایسپروسیوم	پروم	اوسیم	عناصر نادر خاکی سنگ	عناصر نادر خاکی سنگ	ردیف
کلریت استاندارد	۰.۳۷	۰.۹۶	۰.۷۱	۰.۲۳	۰.۰۹	۰.۰۶	۰.۲۸	۰.۱۴	۰.۲۸			
۱۲۰۱	۲۳.۷	۱۵.۵۶	۸.۱۴	۸.۶۱	۴.۱۳	۴.۶۱	۲.۲۲	۰.۹۷	۰.۰۸	۶.۱۱	۸.۶	۶۹۲
۱۲۰۶	۲۱.۵۲	۱۴.۵۲	۷.۳۵	۸.۱۸	۴.۰۲	۲.۲۷	۰.۸۷	۰.۸۵	۰.۰۹	۵۵.۵۹	۵۰.۷	۱۰۹۶
۱۲۱۱	۲۱.۰۶	۱۳.۸۹	۱۲.۸۹	۶.۹۹	۴.۳۶	۲.۳۷	۱.۷۰	۱.۳۲	۰.۰۷	۵۸.۸۹	۴۰.۰	۶۱۹
۱۲۱۶	۲۵.۹۴	۷.۰۲۳	۱۷.۱۱	۱۵.۲۳	۴.۰۲	۵.۷۲۷	۲.۰۷	۲.۳۰	۷.۰۰	۲۵.۰۲	۱۱۶.۷۰	۱۰۹۲
۱۲۱۹	۲۲.۵۲	۱۵.۰۱	۱۳.۱۷	۹.۶۱	۵.۱۷	۶.۰۲	۲.۱۲	۰.۸۱	۰.۱۰	۶۵.۵۲	۹۰.۵	۷۲۳
۱۲۲۲	۲۶.۱۰	۱۸.۷۰	۱۸.۱۴	۹.۱۷	۴.۵۹	۴.۳۱	۱.۹۱	۱.۹۱	۰.۰۸	۱۶.۷۰	۷.۲۰	۱۰۶۴
۱۲۲۵	۲۱.۵۲	۱۴.۲۱	۱۶.۲۷	۸.۲۱	۶.۰۹	۴.۸۸	۱.۹۱	۰.۹۲	۰.۱۰	۶۵.۸۲	۷.۴۲	۹۴۰
۱۲۳۰	۱۲.۹۱	۸.۷۲	۱۶.۰۲	۵.۲۳	۲.۰۶	۱.۷۵	۱.۲۲	۰.۶۹	۰.۱۰	۴۱.۶۶	۱.۷۶	۹۱۴



شکل ۵ - تغییرات عناصر نادر خاکی (REE) در معدن زنوز- مرند.



## الف) مقایسه زمین شیمیایی

- ۱) مقایسه دو کانسار از نظر درصد اکسیدهای عناصر تشکیل دهنده که از آزمایشهای شیمی تر و N.A.A به دست آمده اند .
- ۲) مقایسه دو کانسار با تأکید بر فراوانی عناصر نادر خاکی موجود در دو کانسار . با توجه به تجزیه های شیمیایی که بر روی نمونه های معدن زنوز مزند صورت گرفت نتایج زیر بدست آمدند .
- اکسیدهای اصلی سازنده سنگها به دو گروه تقسیم می شوند :

الف) اکسیدهای  $TiO_2, Fe_2O_3, Na_2O, K_2O$  که هم مقدار مطلق و هم تغییراتشان ناچیز است و به ترتیب دارای فراوانی ۰٫۲۷ و ۰٫۰۹ و ۱٫۵۴ و ۰٫۰۱ درصدند.

ب) اکسیدهای  $L.O.I, MgO, CaO, Al_2O_3, SiO_2$  که یا مقدارشان بیشتر از حد قابل قبول بوده و یا تغییراتشان در توده کانسار نقش تعیین کننده و با اهمیتی دارد فراوانی آنها به ترتیب عبارتند از : ۶۶٫۳۷ و ۱۶٫۸۷ و ۳٫۱۹ و ۰٫۳۶ و ۸٫۰۴ .

فراوانی اکسیدهای فوق الذکر در معدن استقلال آبادیه از این روند پیروی نمی کنند (جداول ۳- الف و ۳- ب) به این ترتیب که :

الف) مقدار  $SiO_2$  در این معدن از ۵۸٫۴ درصد تجاوز نمی کند.

ب) درصد  $Al_2O_3$  در حدود ۳۱٫۲۹ درصد است.

پ)  $TiO_2$  از درصد بالایی ( ۱٫۱۵ ) در مقایسه با کانسار زنوز (۰٫۰۱) برخوردار است.

ت) مجموع دو اکسید قلیایی  $Na_2O$  و  $K_2O$  در این معدن خیلی بالاتر از مقدار این اکسیدها در معدن زنوز است (۲٫۴ درصد).

ث) مقدار  $CaO$  در این معدن خیلی کمتر از معدن زنوز است (۰٫۱۸ درصد).

میانگین درصد اکسید عناصر تشکیل دهنده در کانسار استقلال بدین شرح اند:

$TiO_2:1.25$	$Al_2O_3:30.6$	$SiO_2:55.83$	$Fe_2O_3:2.12$
$CaO:0.19$	$MgO:0.3$	$K_2O:1.39$	

از مقایسه میانگین اکسید عناصر، معلوم می شود که مقدار  $SiO_2$  در معدن استقلال به مراتب کمتر از معدن زنوز است، و نیز مقدار اکسیدهای  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  در

جدول (۳-الف) - نتایج تجزیه خاک نسوز استقلال آباده.

نمونه	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
۱۲۱۶	۵۶/۱۸	۳۰/۹۸	۱/۳۸	۰/۷۸	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۵	۱/۰۵	۱/۹۰
۱۲۰۵	۵۵/۸۸	۳۱/۴۱	۱/۳۸	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۵	۱/۰۰	۱/۸۷
۱۲۱۸	۵۵/۵۱	۳۱/۴۵	۱/۳۱	۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۰۰	۱/۸۷
۱۲۱۹	۵۴/۵۶	۳۱/۳۹	۱/۱۵	۰/۹۷	۰/۳۷	۰/۵۷	۰/۰۷	۱/۰۰	۱/۶۰
۱۲۲۴	۵۴/۷۴	۳۷/۵۶	۱/۳۰	۵/۶۳	۰/۳۵	۰/۷۶	۰/۰۴	۱/۰۳	۱
۱۲۱۴	۵۸/۴۰	۲۸/۳۸	۱/۳۳	۱/۰۲	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۰۹	۱/۳۰	۱/۳۰
۱۲۱۳	۵۷/۴۰	۲۸/۵۹	۱/۲۰	۲/۳۵	۰/۰۹	۰/۴۴	۰/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۵
۱۲۲۸	۵۵/۶۰	۲۹/۶۲	۱/۰۸	۰/۹۲	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۰۶	۱/۰۵	۱/۰۵
۱۲۲۰	۵۶/۳۷	۳۰/۴۸	۱/۳۰	۰/۶۲	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۵۴	۱/۷۰
۱۲۲۲	۵۴/۳۷	۲۶/۷۲	۱/۲۵	۶/۹۷	۰/۰۹	۰/۳۲	۰/۰۹	۱/۰۶	۱/۰۱
۱۲۲۱	۵۵/۳۱	۳۰/۱۳	۱/۱۵	۲/۶۵	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۳	۱/۰۴	۱/۲۰

جدول (۳-ب) - نتایج آنالیز سنگهای موجود در معدن خاک نسوز استقلال آباده.

نمونه	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	نوع سنگ
۱۲۱۱	۴۶/۴۱	۱۲/۳۱	۱/۴۵	۱۶/۳۹	۱۶/۰۱	۲/۸۵	۰/۰۹۹	۰/۶۶	۰/۷۸	دیاباز
۱۲۱۲	۴۰/۵۲	۱۱/۷۹	۱/۸۵	۱۱/۱۲	۸/۹۸	۴/۶۳	۰/۰۷۶	۰/۷۵	۰/۵۲	دیاباز
۱۲۱۳	۴۸/۸۱	۲۰/۵۸	۱/۰۰	۹/۴۴	۸/۹۸	۱/۹۰	۰/۰۵۰	۰/۷۸	۲/۴۰	دیاباز
۱۲۱۴	۴۶/۶۵	۱۳/۲۳	۱/۴۵	۱۳/۴۶	۹/۷۹	۵/۷۱	۰/۰۸۰	۰	۰/۰۶	دیاباز
۱۲۱۵	۵۵/۳۱	۱۴/۰۴	۱/۸۵	۱۵/۲۴	۰/۷۱	۴/۴۶	۰/۰۸۵	۰/۱۹	۰/۶۶	دیاباز
۱۲۱۶	۴۴/۸۹	۱۲/۴۴	۲/۸۸	۱۵/۶۴	۸/۲۷	۵/۶۹	۰/۰۱۴	۲/۶۰	۰/۹۶	دیاباز
۱۲۱۷	۶۱/۸۱	۱۵/۶۶	۰/۴۶	۴/۰۸	۲/۸۸	۱/۳۶	۰/۰۴	۲/۶۰	۲/۸۰	گرانودیوریت
۱۲۱۸	۹۱/۹۳	۲/۸۳	۰/۴۵	۱/۶۹	۰/۳۶	۰/۷۶	۰/۰۱۸	۰/۰۵	۰/۴	کوارتزیت

مقایسه با معدن زنوز به مراتب بیشتر است که علت آن کمبود سیلیس و وجود سنگهای حد واسط خصوصاً "دیاباز در معدن استقلال است. با توجه به مطالعات انجام شده سنگهای موجود در معدن استقلال بیشتر دیاباز و گرانودیوریت است. دوری و نزدیکی خاک نسوز به این سنگها باعث مرغوبیت و عدم مرغوبیت آن شده است. سنگهای موجود در معدن زنوز بیشتر از داسیت، آندزیت، توف و تراکی آندزیت اند. نکته قابل توجه این است که سنگهای دیاباز موجود در معدن استقلال نقش مهمی را از نظر

درجه خلوص خاک نسوز داشته اند به این ترتیب که خاک نسوز، تشکیل شده در اطراف این سنگها از نظر درصد آهن مقدار بالایی را نشان می دهند و به این دلیل از نظر مرغوبیت خاک نسوز جزو خاکهای درجه ۳ هستند (جدول ۳) [۱ و ۱۰]. در نهایت کانسار زنوز مرند را از نظر کانی شناسی و ترکیب شیمیایی و ویژگی های فیزیکی با کانسار کائولن دیاموند انگلستان مقایسه کردیم که نتایج این مقایسه در جدولهای (۴ و ۵ و ۶) آورده شده اند [۱۱].

جدول ۴ - مقایسه کانی شناسی کائولن دیاموند انگلستان .

	کانی شناسی	کائولن زنوز	کائولن دیاموند
ترکیب کانی شناسی	کائولینیت	۳۵/۲	۸۴
	میکا	-	۱۰
	فلدسپار	-	۴
	کوارتز	۵۹/۵	-
	کلسیت	۳	-
	کانیهای صفحه ای دیگر	۲	۲
	ناخالصی	۰/۳	-

جدول ۵ - مقایسه ترکیب شیمیایی کائولن زنوز ایران و کائولن دیاموند انگلستان.

	Oxides	ZK	ZM	ZR	DR	Dp	DTW
ترکیب شیمیایی	SiO <sub>2</sub>	۷۴.۸۱	۷۰.۰۰۵	۶۶.۴۱	۴۸.۶	۴۸.۷	۴۸.۶
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۶.۰۲	۱۸.۴۴	۲۶.۷۷	۳۵.۴	۳۵.۶	۳۵.۷
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰.۲۸	۰.۳۲	۰.۳۰	۰.۵۵	۰.۶۵	۰.۷۵
	TiO <sub>2</sub>	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲
	CaO	۰.۵۱	۱.۴۵	۰.۵۶	۰.۶۶	۰.۱۴	۰.۱۲
	MgO	۰.۳۶	۰.۱۵	۰.۰۸	۰.۳۷	۰.۳۶	۰.۳۲
	K <sub>2</sub> O	۰.۱۲	۰.۱۴	۰.۰۹	۰.۱	۰.۱	۰.۱
	Na <sub>2</sub> O	۰.۱۴	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰
	LOI	۶.۵۲	۸.۱۷	۱۰.۳۹	۱۱.۳۰	۱۱.۴۰	۱۱.۵۰

(ZK= زنوز کلوخه‌ای، ZM= زنوز میکرونیزه، ZR= زنوز فراوری شده)

(DR= Diamond Royale, DP= Diamond Porcelain, DTW= Diamond Tableware)

جدول ۶ - مقایسه ویژگیهای فیزیکی انواع کائولن زنونز ایران و انواع کائولن  
دیاموند انگلستان.

Physical Properties	Units	ZK	ZM	ZR	DR	DP	DTW
MOR	Lb/in <sup>2</sup>	۶۵۵	۵۴	۹۶	۵۰۰	۴۵۰	۳۵۰
Casting rate	Mm <sup>2</sup> /min	-	۴۴	۷۴	۰۰۷	۰۰۸	۰۰۹
Viscosity	Cps	۷۰	۱۳۰	۱۷۰	۲۰۰۰	۱۸۵۰	۱۰۰۰
Fires properties	1350°	۹۴/۱	۹۴/۳	۹۷/۶	۸۲	۸۰	۷۵
MBI	Mgequiv/100gm	۸/۱	۲/۱	۲/۱	۶/۲۵	۶/۰	۵/۵
Soluble salts	Ppm	۴۴۱	۵۶۷	۵۶۸	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
Particle size	+53µm %	-	-	-	۰/۵	۰/۵	۰/۵
	+20µm %	۱۸	۱/۶	۱	-	-	-
	+10µm %	۴۰	۱۳/۳	۱/۷	۴	۴	۵
	- 2µm %	۲۰	۱۸	۴۵/۵	۶۰	۵۳	۵۰

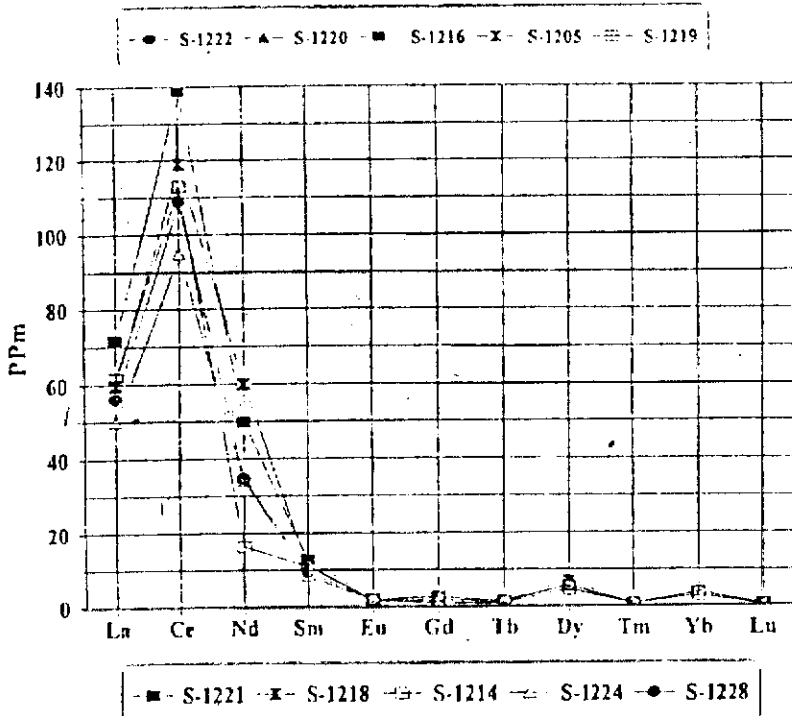
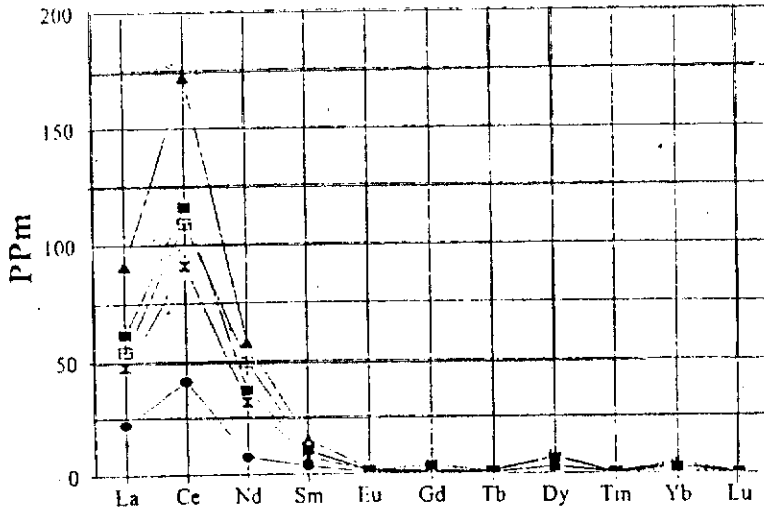
در مورد عناصر نادر خاکی با توجه به شکل (۶) معدن استقلال، می توان گفت که در این معدن عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و سنگین (HREE) غنی شدگی تقریباً برابری را نشان می دهند و فقط در بعضی موارد غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک (شکل ۷) کمی بیشتر است. این در حالی است که معدن زنونز غنی شدگی کاملاً آشکاری را نشان می دهند.

با توجه به شکل (۷) مشاهده می شود که غنی شدگی در عناصر نادر خاکی سبک و سنگین تقریباً باهم برابرند ولی در این میان عنصر Gd یکی غنی شدگی را نشان می دهد که علت آنرا هم می توان به خلوص سازی نمونه ها و ژنر و هم به جذب سطحی کمتر این عنصر بر سطح رسها نسبت داد.

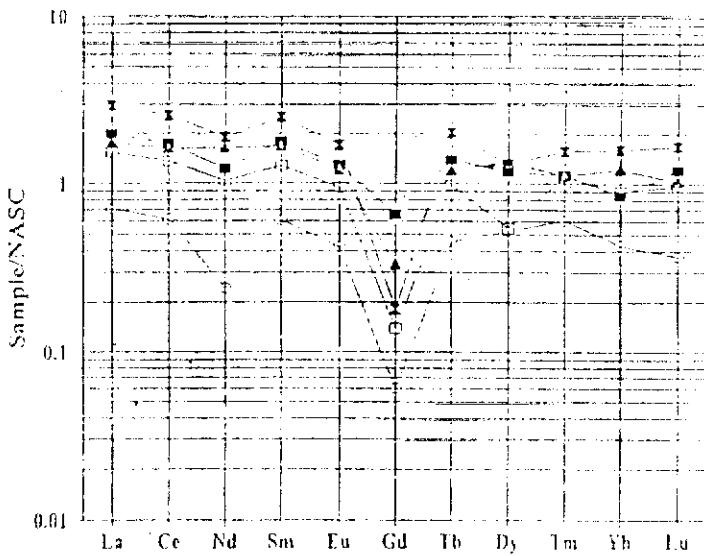
ولی در معدن زنونز:

الف) نسبت LREE/HREE بالاست و این نسبت نشان می دهد که عناصر HREE تهی شدگی بیشتری نسبت به LREE دارند.

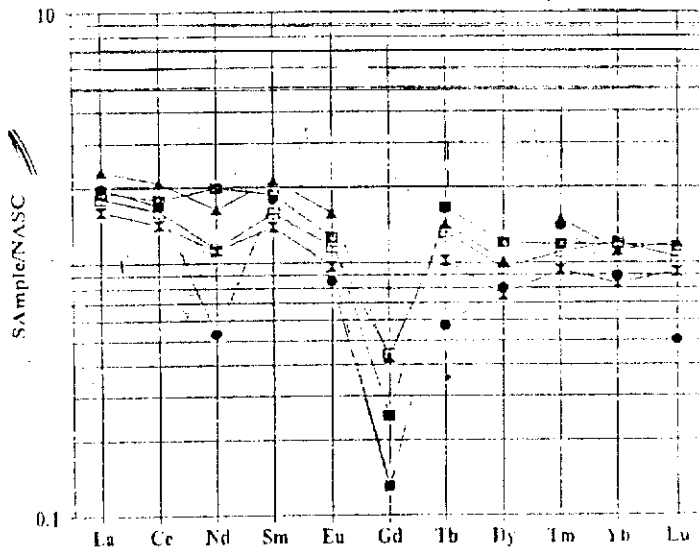
ب) در این معدن فراوانی دو عنصر La و Ce چنانکه قبلاً گفته شد به میزان کانی کلسیت موجود در پله های مختلف معدن بستگی دارد.



شکل ۶ - فراوانی نسبی REE در نمونه های تجزیه شده معدن استقلال.



—○— S-1222 —×— S-1220 —■— S-1216 —□— S-1205 —▲— S-1219



—×— S-1224 —■— S-1218 —▲— S-1221 —●— S-1214 —□— S-1228

شکل ۶ - غنی شدگی عناصر نادر خاکی نسبت به شیل در نمونه های خالص شده معدن استقلال.

- در ادامه چند نکته در مورد مقایسه دو کانسار حائز اهمیتند که عبارتند از:
- (۱) غلظت سدیم در نمونه های خالص شده در مقایسه با نمونه های خالص نشده بسیار بالاتر است که این امر به دلیل استفاده از کلرید سدیم اشباع و دی تیونات سدیم و استات سدیم در خالص سازی نمونه هاست ، در حالی که در نمونه های کانسار زنوز مزند هیچ گونه خالص سازی صورت نگرفته است.
  - (۲) مقایسه تجزیه های سنگی ( خصوصاً دیاباز ) با نمونه های خاک نسوز معدن استقلال مؤید این امر است که غلظت های  $MgO$  و  $CaO$  در نمونه های دیاباز بسیار بالاتر از خاکهای نسوز است.
  - (۳) با توجه به تجزیه های شیمیایی و مطالعه فراوانی کانی های نادر خاکی معدن استقلال چنین برآورد می شود که LREE بیشتر از HREE بر روی سطح رسها جذب شده اند.

#### ب) مقایسه کانی شناسی

اما در بحث مربوط به مقایسه کانی شناختی این دو کانسار نخست باید کلیه کانیهای موجود در معدن را بررسی کرده و سپس مقایسه صورت گیرد. (جدولهای ۱ و ۷)

در مورد معدن استقلال کانی های اصلی تشکیل دهنده عبارتند از : پیروفیلیت، کائولینیت، مونت موریلونیت، ایلیت و کانیهای فرعی عبارتند از : کلریت، میکا و کوارتز .

ولی در مورد معدن زنوز کانیهای اصلی تشکیل دهنده عبارتند از : کوارتز، کائولینیت، ایلیت، کلسیت و کانیهای فرعی عبارتند از : دولومیت، بیوتیت، مونت موریلونیت و لیمونیت . با مقایسه کانی شناختی این دو کانسار مشاهده می شود که در معدن زنوز کوارتز یک کانی اصلی است ولی در معدن استقلال یک کانی فرعی محسوب می شود که دلیل این امر رتزد دگرسانی حاصل از فلدسپارها با منشأ آذرین این معدن ( زنوز ) است، و نیز در معدن زنوز مونت موریلونیت یک تشکیل دهنده فرعی است در حالی که در معدن استقلال یک کانی اصلی محسوب می شود که علت این امر را به رسوبی بودن معدن استقلال [۹] و دگرسانی راحتتر هیدرومیکاهها به مونت موریلونیت می توان نسبت داد.

جدول ۲ - نتایج آنالیز XRD نمونه های رسی معدن استقلال.

شماره نمونه	ترکیب کانیایی
۱۲۰۵	کائولینیت + پیروفیلیت + ایلیت
۱۲۱۳	کائولینیت + کلریت + ایلیت + پیروفیلیت
۱۲۱۴	کائولینیت + مونت موریلونیت + کلریت + پیروفیلیت + ایلیت
۱۲۱۶	کائولینیت + پیروفیلیت + ایلیت
۱۲۱۸	پیروفیلیت + کائولینیت + ایلیت
۱۲۱۹	کائولینیت + پیروفیلیت + ایلیت
۱۲۲۰	پیروفیلیت + ایلیت + کائولینیت
۱۲۲۱	مونت موریلونیت + کائولینیت + پیروفیلیت + ایلیت
۱۲۲۲	کائولینیت + مونت موریلونیت + کلریت + ایلیت + پیروفیلیت
۱۲۲۴	کائولینیت + مونت موریلونیت + کلریت + پیروفیلیت + ایلیت
۱۲۲۸	کائولینیت + ایلیت + پیروفیلیت
۱۲۰۱	کوارتز + میک + کائولینیت + پیروفیلیت
۱۲۰۲	کوارتز + کائولینیت + میکا + پیروفیلیت

در معدن استقلال نمونه های شماره ۱۲۲۱-۱۲۲۲-۱۲۲۴-۱۲۱۴ و ۱۲۱۳ که فاصله کمتری نسبت به توده های نفوذی (دیاباز) داشته اند دارای ترکیب کانی شناختی متشکل از کائولینیت، پیروفیلیت، ایلیت، کلریت و مونت موریلونیت به رنگ خاکستری و تیره هستند.

در معدن استقلال نمونه هایی که فاصله بیشتری از توده های نفوذی یا دایکها داشته اند یعنی نمونه های شماره ۱۲۰۵-۱۲۱۶-۱۲۱۸-۱۲۱۹-۱۲۲۰-۱۲۲۸ ترکیب کانی شناختی آنها کائولینیت، پیروفیلیت و ایلیت که این نمونه ها به رنگ روشن اند. با مطالعه قله های XRD مشخص شد که مقدار کمی کانی مونت موریلونیت در پله های تحتانی وجود دارد که پله های فوقانی فاقد این کانی اند و در مجموع درصد کل کانی های رسی در پله های تحتانی کمی بیشتر است.



بوداشت

- ۱) از نظر تغییرات کانی شناسی باید گفت که درصد کائولینیت در پله های فوقانی معدن زنوز بیشتر از پله های تحتانی است و کلسیت نیز از همین روند پیروی می کند.
- ۲) در پله های تحتانی معدن زنوز درصد مونت موریلونیت به مراتب بیش از پله های فوقانی است. در مجموع درصد کل کانیهای رسی در پله های تحتانی کمی بیشتر است.
- ۳) از نظر کانی شناسی، این معدن ( زنوز ) به ترتیب دارای کانی های : کوارتز، کائولینیت، ایلیت، و کلسیت به صورت اصلی و دولومیت، بیوتیت، مونت موریلونیت، و لیمونیت به صورت فرعی هستند.
- ۴) میزان آهن در توده معدنی به شدت متغیر است. این مقدار از ۰٫۲۶ تا ۴٫۷۵ درصد متغیر است.
- ۵) از سمت غرب به شرق معدن زنوز مقدار کلسیت کاهش نسبی نشان می دهد که این خود می تواند دلیلی بر کیفیت خوب کائولن بخش شرقی معدن باشد.
- ۶) کانیهای بخش های فوقانی معدن زنوز کوارتز، کائولینیت و کلسیت است.
- ۷) کانیهای بخش زیرین معدن زنوز از کوارتز، کائولینیت ( کمتر شده )، کلسیت، دولومیت و ایلیت تشکیل شده است.
- ۸) از نظر تغییرات کانی شناسی و شیمیایی به عنوان تابعی از جهت ( طول و عرض و عمق ) باید گفت که تغییرات در امتداد قائم یعنی در جهت حرکت محلول های گرمابی که عامل اصلی دگرسانی هستند مشهود است و در عرض آنها تغییرات سیستماتیک مشخصی دیده نشده است.
- ۹) درصد آلومینیوم از سمت غرب به شرق افزایش نسبی نشان می دهد.
- ۱۰) با توجه به شکل (۵) در معدن زنوز روند همشکل نمونه ۱۲۳۹ با بقیه نمونه ها حاکی از این است که این نمونه تقریباً می تواند سنگ منشأ توده معدنی زنوز باشد و قله بالایی که این نمونه نسبت به بقیه نمونه ها دارد به این علت است که مقدار دگرسانی این نمونه بسیار کمتر از بقیه نمونه های برداشته شده از توده معدنی است و این عناصر مقدار و روند ثابتی را در این نمونه طی کرده اند.

(۱۱) بیشترین درصد عناصر نادر خاکی را در توده معدنی زنوز چهار عنصر Ce,La,Sm,Nd تشکیل می‌دهند.

#### قدردانی

از دانشگاه شیراز که امکانات این پژوهش را فراهم آورده است صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

#### مراجع

- ۱- قربانی. منصور - ارزانی. کاوه (۱۳۷۳) زمین شناسی ایران. کائولن و رسهای نسوز. سازمان زمین شناسی کشور.
- ۲- حق بیا. غلامحسین (۱۳۶۱) بررسی کانی های رسی خاکهای دشت مشهد با استفاده از XRD، مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۱۳ صفحات ۱ الی ۱۷.
- 3- Brindley W. and Brown G. (1984) Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification.
- 4- Millot G. (1970) Gology of Clay.Masson et cic, Paris 425 pp.
- 5- Velde B. (1992) Introduction to Clay Mineral, Chemistry, Origins uses and Environmental significance.
- 6- Henderson (1984) Geochmistry of Rare Earth Elements.
- 7- Jones A. ,Wall F. and Williams T. (1996) Rare Earth Minerals.
- 8- Willson (1989) Igneous Pertogeneses.
- ۹- آل سعدی. حبیب (۱۳۷۸) ژئوشیمی و کانی شناسی کانی های رسی کانسار استقلال آباده - پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز.
- ۱۰- میسون. ب-مرک (۱۳۷۶) اصول ژئوشیمی. ترجمه دکتر فریدمر و مهندس علی اصغر شرفی. مرکز نشر دانشگاه شیراز.
- ۱۱- ابراهیمی، خسرو (۱۳۷۹) کائولن زنوز - نگرشی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کاربردهای صنعتی - چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تبریز.