



## بررسی توزیع موناژیت و عناصر خاکی نادر در آبرفت‌های مروست، یزد، ایران

محمدحسین قلعه نویی، امیرحسین کوهساری\*

دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه یزد، یزد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۲/۴/۶، نسخه نهایی: ۹۲/۸/۲۲)

**چکیده:** تعداد ۵۰ چاهک به روش دستی در منطقه‌ای در جنوب غرب مروست در آبرفت‌ها حفاری شده‌اند. مقدار موناژیت در این نمونه‌ها از ۵۰ تا ۵۲۵ گرم در تن به روش کانی سنگین به دست آمده است. تجزیه‌ی نمونه‌های متمرکز موناژیت و نمونه‌های آبرفت به روش ICP-MS و بهنجارسازی برخی از داده‌ها با مقدار عناصر در پوسته‌ی فوقانی و کندریت، نشان داد که موناژیت مروست از همه‌ی عناصر خاکی نادر به ویژه عناصر خاکی نادر سبک غنی شدگی دارد. سنگ مادر موناژیت شیل‌های سیاه تریاس بالایی است که به طور متناوب با ماسه سنگ‌های آهکی، آهک و گاه کنگلومرا قرار گرفته‌اند و گرهک‌های موناژیت به صورت پراکنده در شیل‌ها دیده شده‌اند. هوازدگی و فرسایش چنین سنگ‌هایی سبب آزاد شدن دانه‌های مقاوم‌تر موناژیت و تمرکز آن‌ها در رسوب‌های دشت جوان و رودخانه‌ای شده است. نقشه‌های هم‌عیار موناژیت در عمق‌های مختلف از عمق ۱ تا ۶ متری نشان داد که شدیدترین و گسترده‌ترین بیهنجاری‌ها در عمق یک متری است و با افزایش عمق شدت و گسترش بیهنجاری‌ها کاسته شده است، به طوری که عمیق‌ترین بیهنجاری، ۵ متر ضخامت دارد. همچنین با یک مقایسه‌ی ساده بین حضور بیهنجاری و عمق سنگ کف (یا ضخامت آبرفت) استنباط شده است که حضور و عمق بیهنجاری ارتباط مستقیمی با ضخامت آبرفت و یا عمق سنگ کف دارد.

**واژه‌های کلیدی:** شیل‌های سیاه؛ عناصر خاکی نادر؛ کانی سنگین؛ بهنجارسازی؛ مروست؛ موناژیت.

### مقدمه

شده که ۱۵٪ آن موناژیت و بقیه کانی‌های سنگین عبارتند از زیرکن، روتیل و اپلمنیت [۲]. بارکر (۱۹۹۱)، پژوهش‌های گسترده‌ای روی پلاسره‌های حاوی قلع و عناصر خاکی نادر در آبرفت‌های رودخانه‌ی ری در بخش‌های شمالی آلاسکا انجام داده است. او در گزارشی مفصل ادعا می‌کند که کاسیتريت از هوازده شدن پلوتون‌های آهکی-قلیایی که به صورت باتولیتی رخنمون دارند، ریشه می‌گیرد. این پلاسرها شامل مقادیری طلا و عناصر خاکی نادر به صورت کانی‌های موناژیت و زینوتایم همراه با کاسیتريت هستند [۳].

پی جویی ژئوشیمی ناحیه‌ای در محور یزد-سبزواران منجر به شناسایی کانی موناژیت در رسوب‌های آبرفتی جنوب مروست شده است. تجزیه‌ی کانی موناژیت، وجود مقادیر زیادی از

عناصر خاکی نادر به دو گروه سبک (LREE) شامل La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd و سنگین (HREE) شامل Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Er, Lu, Y تقسیم می‌شوند که عناصر خاکی نادر سبک بیش از انواع سنگین آنها در زمین‌اند. از این عناصر استفاده‌های زیادی از جمله ابررساناها، مواد اپتوالکترونیک، کاتالیست‌ها و غیره می‌شود. از جمله کانی‌های تمرکز دهنده عناصر خاکی نادر سبک، موناژیت و باستاسیت است [۱].

باب سیل و همکاران (۲۰۱۲)، بررسی‌های زیادی روی کنسارهای پلاستی و بیجینیا انجام داده‌اند. در پلاسره‌های ویرجینیا مقدار ۲٪ کانی سنگین در ماسه‌های بادی اندازه‌گیری

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۳۱۲۳۲۵۲۲ (۰۳۵)، نمابر: ۳۶۲۸۷۰۷۵ (۰۳۵)، پست الکترونیکی: kohsary@yahoo.com

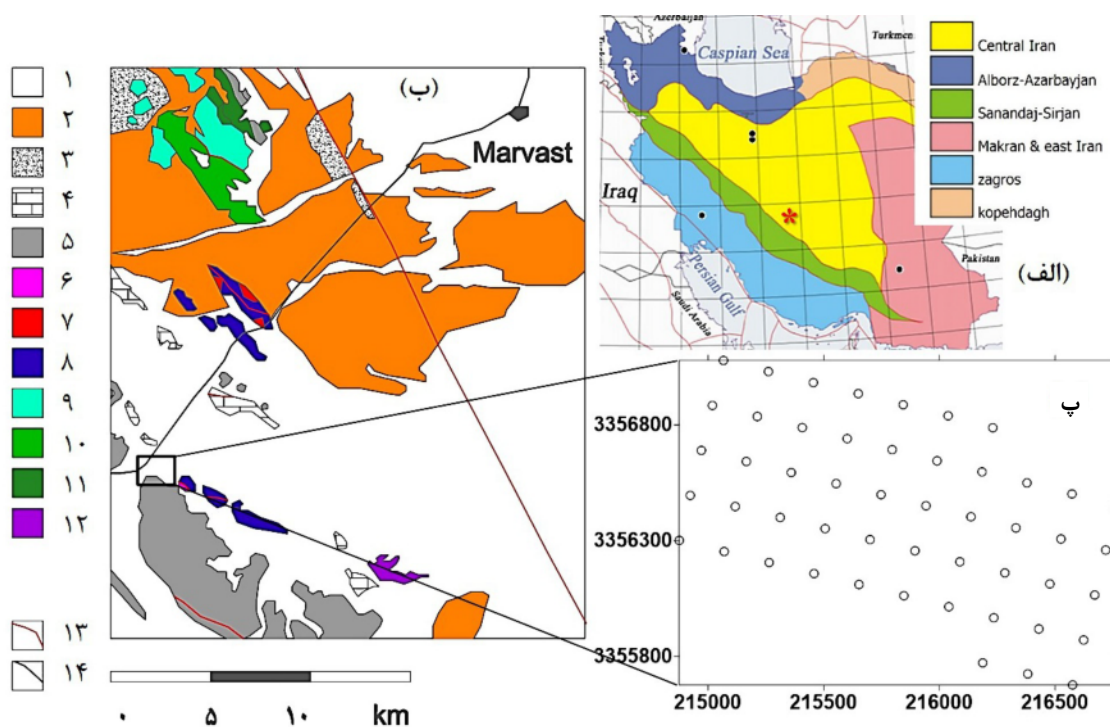
موناژیت در آبرفت مورد بررسی قرار گرفتند. هدف از این بررسی، شناسایی بیهنجاری‌های موناژیت و چگونگی گسترش آن‌ها در جهت‌های عمق و طول و عرض است.

### زمین شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی در شرق زون سنندج- سیرجان و در مرز زون ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه اغلب سنگ‌های رسوبی با روند عمومی شمال غربی- جنوب شرقی است و قدیمی‌ترین سنگ‌ها به پالئوزوئیک وابسته‌اند که سنگ پی را تشکیل داده و اغلب دگرگون شده‌اند؛ این سنگ‌ها شامل متادولومیت و متاریولیت است. واحدهای شیستی مربوط به پالئوزوئیک فوقانی در قسمت‌های شمالی گستره شامل سریسیت- کوارتز، آلبیت، آمفیبولیت، گارنت و آهک شیست قابل مشاهده است. واحدهای دیگری عبارتند از شیل و آهک چرتی تیره رنگ پرمین، دیاباز تریاس زیرین، دولومیت‌های تریاس میانی، شیل، ماسه سنگ خاکستری- سیاه ژوراسیک و سنگ‌های رسوبی نئوژن است [۵].

عناصر خاکی نادر را در این کانی به ثبت رساند که از میان آن‌ها عناصر خاکی نادر سبک به خصوص Ce, Nd و Eu قابل توجهند [۴]. در ادامه‌ی بررسی‌ها، مناطقی برای حفر چاهک شناسایی و پیشنهاد شد. آماده سازی و بررسی نمونه‌های کانی سنگین بیهنجاری‌های خوبی از موناژیت را تا عمق ۶ متری در رسوب‌های آبرفتی نشان می‌دهد.

گستره‌ی مورد بررسی، در جنوب استان یزد و در ۲۵ کیلومتری جنوب غربی مروست قرار دارد. این گستره با مساحت تقریبی ۲ کیلومتر مربع دشت آبرفتی موناژیت‌دار و سنگ‌های رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک پایینی (سنگ میزبان موناژیت) را در بر می‌گیرد (شکل ۱). آب و هوای منطقه خشک و نیمه خشک است و مقدار میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۲۰۰ میلیمتر و دارای پوشش گیاهی ضعیف است. در این منطقه ۵۰ چاهک با ابعاد شبکه‌ای ۲۰۰ در ۲۰۰ متر طراحی شد که به استثنای ۶ چاهک حفر نشده، ۴۴ چاهک دیگر تا سنگ کف (حداکثر ۸ متر) در مناطق آبرفتی حفاری شده‌اند و در مجموع ۱۶۳ نمونه برای شناسایی عیار



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی ایران (الف)؛ نقشه‌ی زمین‌شناسی مروست (ب)؛ واحدهای شناسی به ترتیب سن: ۱- آبرفت جوان ۲- آبرفت قدیمی تر کواترنری، ۳- شن و قلوه سنگ نئوژن، ۴- سنگ آهک و مارن نئوژن، ۵- شیل و ماسه سنگ خاکستری ژوراسیک، ۶- دولومیت تریاس، ۷- دیاباز تریاس، ۸- شیل و آهک چرتی پرمین، ۹- سریسیت-کوارتز، آلبیت شیست پالئوزوئیک، دسترسی؛ موقعیت چاهک‌ها (پ). ۱۰- آمفیبولیت و گارنت شیست پالئوزوئیک، ۱۱- کالک شیست پالئوزوئیک، ۱۲- متادولومیت- متاریولیت پالئوزوئیک، ۱۳- گسل‌ها ۱۴- راه‌های دسترسی؛ و (پ) موقعیت چاهک‌ها.

اپیدوت، سریسیت، آمفیبول، قطعات شیلی، گارنت و پیروکسن در بخش AV تمرکز یافت که برای عیارسنجی در زیر میکروسکوپ از هم جدا شده و سپس با ترازوی حساس و دقیق توزین شدند. برای شناسایی دقیق موناژیت و کانی‌های همراه از روش‌های کمکی پیشرفته‌ای مانند میکروسکوپ الکترونی، XRD، طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفتی القایی-ساییدگی (LA-ICPMS) و برش‌های نازک استفاده شد [۶].

برای شناسایی مقدار عناصر کمیاب در موناژیت‌ها و در نمونه‌های آبرفتی، در هر چاهک نمونه‌های عمق‌های مختلف را با هم مخلوط کرده و به روش ربع کردن متوالی یک نمونه استخراج شد. سپس این نمونه را نصف کردیم و نیمی از آن را برای عیارسنجی موناژیت و نیم دیگر برای عیارسنجی عناصر خاکی نادر در آبرفت به کار گرفته شد. نهایتاً این نمونه‌ها برای آنالیز به روش ICP-MS آماده‌سازی شدند. جدول ۱ و ۲، نمونه‌های آنالیز شده برای موناژیت و آبرفت را نشان می‌دهد، مقادیر کلارک عناصر خاکی نادر در پوسته‌ی فوقانی نیز دیده شد [۸]. چنانکه در جدول ۲، دیده می‌شود، مقادیر عناصر خاکی نادر تقریباً برابر و کمتر از مقدار پوسته‌ی فوقانی است.

#### برداشت

برای اطمینان از رفتار و الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر در پلاسرها و موناژیت‌ها، نمونه‌های به دست آمده از چاهک‌های ۱، ۵، ۱۵، ۲۵، ۳۶، ۴۲ و ۵۰ به صورت لگاریتم حاصل تقسیم بر مقدار عناصر در پوسته‌ی فوقانی [۸] و کندریت (نمونه شماره ۱۲ آپولو) [۹] بررسی شدند (به این کار اصطلاحاً بهنجارسازی گفته می‌شود).

شکل ۲ (الف)، نمودار بهنجارسازی عناصر خاکی نادر در آبرفت نسبت به کندریت آورده شده است. روند عمومی توزیع عناصر به گونه‌ای بوده اند که هرچه به سمت عناصر خاکی نادر سنگین‌تر پیش می‌رویم، ضریب بهنجارسازی با شیب تندی کمتر می‌شود. عناصر خاکی نادر سبک غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند، هر چند مقدار Eu نسبت به عناصر خاکی نادر سبک دیگر کمی تهی‌شدگی نشان می‌دهد. در شکل ۲ (ب)، که بهنجارسازی عناصر خاکی نادر موجود در موناژیت نسبت به کندریت است، روند عمومی توزیع، خیلی شبیه شکل ۲ (الف) بوده با این تفاوت که مقدار بهنجارسازی بسیار بیشتر است.

موناژیت‌های موجود در رسوب‌های دشت جوان حاصل هوازگی سنگ‌های اطراف و بالادست‌اند. بررسی‌های کانی‌سنگین، لیتوژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که واحدهای شیلی، شیل‌های سیاه و شیل‌های آهکی حاوی گرهم‌های پراکنده‌ای از موناژیت‌اند [۶]. شکل‌گیری موناژیت و غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر در شیل‌های سیاه خاستگاه دیاژنتیکی دارد؛ موناژیت حاصل فاز دیاژنتیک پسین (پس از متراکم شدن رسوب‌ها) است و عناصر خاکی نادر از واکنش آب‌های گرم دریایی با بازالت‌های قلیایی در عمق به وجود آمده اند (فاز کششی سمیرین پیشین در زون سندنج-سیرجان با فوران بازالت قلیایی همراه بوده است) و سپس به کف دریا راه می‌یافت. عناصر خاکی نادر موجود در آب دریا بلافاصله به وسیله کانی‌های رسی و هیدروکسیدهای آهن و منگنز از آب دریا جذب شده و در شرایطی که رسوب گذاری تخریبی به کمترین میزان می‌رسد، ته‌نشین شدند [۷].

#### روش بررسی

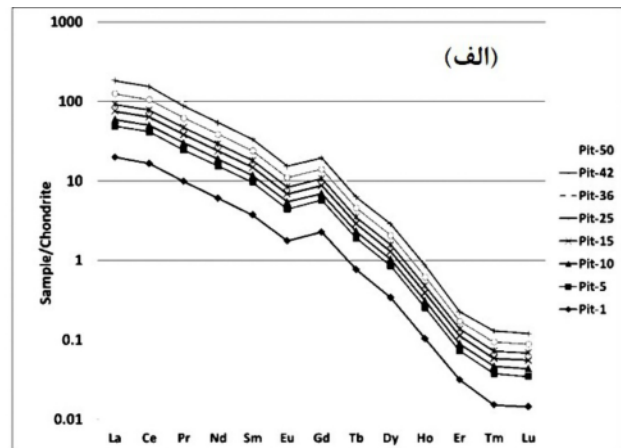
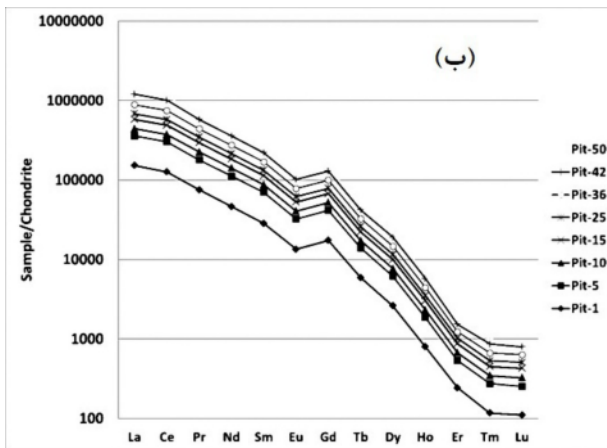
در منطقه‌ی مورد بررسی تعداد ۵۰ چاهک به روش حفر دستی تا سنگ کف با ابعاد شبکه‌ی ۲۰۰ در ۲۰۰ متر طراحی شد. چاهک‌های ۱۶، ۲۱، ۲۲، ۲۶، ۳۱ و ۳۲ به دلیل قرار گرفتن روی رخنمون سنگی، حفاری نشده‌اند. از آنجا که چاهک‌های یاد شده به روش دستی حفر شده‌اند، محیطی به شعاع ۵ متر در اطراف چاهک تمییز شده و سپس مواد حاصل از حفاری به صورت کپه‌های مجزا-که هر یک مربوط به عمق یک متر است- به صورت ماریچی در اطراف چاه قرار داده شدند. برای هر کپه از طریق مخروط سازی و ربع کردن‌های متوالی، نمونه‌ای به وزن ۱۵ کیلوگرم حاصل شد و جمعاً ۱۶۳ نمونه (کپه) برداشت شدند. نمونه‌ها بدون خردایش از الک ۲ میلیمتری در داخل آب سرند شدند و جزء کمتر از ۲ میلیمتر گل شویی شد. در مرحله بعد نمونه‌ها با محلول سنگین (برموفرم) از هم جدا سپس با آهنربای دستی با بارهای مغناطیسی شدید (AA) کانی‌های مغناطیسی مانند مگنتیت جدا شدند. علاوه بر کانی‌های دارای خاصیت مغناطیسی شدید، کانی‌های دارای خاصیت مغناطیسی متوسط (AV) و کانی‌های نامغناطیسی مانند آپاتیت، زیرکن، روتیل، سلسیت، کوارتز و کلسیت نیز از هم جدا شدند. موناژیت به همراه کانی‌های پیریت هماتیتی شده، هماتیت،

جدول ۱ عیار عناصر خاکی نادر در موناژیت (گرم در تن) به همراه میانگین عیار عناصر در پوسته فوقانی.

REE	Ce	La	Nd	Pr	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Ho	Lu	Tb	Tm
Pit-1	۱۱۵۰۰۰	۵۱۸۰۰	۲۹۷۰۰	۹۱۲۰	۴۵۲۰	۹۸۳	۷۸۳	۴/۴۸	۴/۶۹	۷۶/۳	۵۵۶۰	۲۷۷	۷۳/۳
Pit-2	۱۲۷۰۰۰	۵۷۸۰۰	۳۲۳۰۰	۹۸۶۰	۴۷۲۰	۱۰۴۰	۸۴۸	۱/۵۴	۳/۷۵	۹۶/۳	۵۹۳۰	۲۹۲	۰۷/۴
Pit-3	۱۵۴۰۰۰	۶۹۶۰۰	۳۸۱۰۰	۱۱۶۰۰	۵۵۱۰	۱۲۲۰	۹۹۸	۲/۶۲	۴/۸۹	۹۱/۴	۶۹۳۰	۳۴۶	۸۶/۴
Pit-4	۲۰۲۰۰۰	۹۰۴۰۰	۴۹۶۰۰	۱۵۱۰۰	۷۱۰۰	۱۵۹۰	۱۲۶۰	۱/۷۲	۱۱۲	۷۶/۵	۹۱۲۰	۴۳۸	۰۲/۶
Pit-5	۱۶۱۰۰۰	۶۹۹۰۰	۴۱۹۰۰	۱۲۵۰۰	۶۳۳۰	۱۳۸۰	۱۰۷۰	۷/۵۸	۴/۹۲	۸۵/۴	۸۱۱۰	۳۷۸	۰۶/۵
Pit-6	۱۹۶۰۰۰	۸۶۴۰۰	۴۹۳۰۰	۱۵۰۰۰	۷۱۷۰	۱۶۰۰	۱۲۶۰	۹/۶۹	۱۱۱	۶/۵	۹۳۰۰	۴۴۱	۹۵/۵
Pit-7	۱۲۴۰۰۰	۵۵۰۰۰	۳۲۹۰۰	۹۹۹۰	۴۹۹۰	۱۱۰۰	۸۵۳	۸/۴۹	۱/۷۵	۹۳/۳	۶۳۱۰	۲۹۹	۰۷/۴
Pit-8	۱۲۸۰۰۰	۵۷۱۰۰	۳۴۴۰۰	۱۰۵۰۰	۵۱۳۰	۱۱۳۰	۸۸۹	۴/۵۱	۷۹	۰۸/۴	۶۵۴۰	۳۰۶	۳/۴
Pit-9	۱۱۵۰۰۰	۵۱۷۰۰	۳۰۷۰۰	۹۳۰۰	۴۵۲۰	۹۹۳	۷۸۵	۶/۴۵	۶/۶۹	۵۴/۳	۵۷۴۰	۲۷۱	۷۷/۳
Pit-10	۶۵۱۰۰	۲۹۱۰۰	۱۸۶۰۰	۵۷۴۰	۲۶۷۰	۶۰۸	۴۵۵	۲۷	۹/۳۹	۴۵/۲	۳۴۱۰	۱۵۹	۳۱/۲
Pit-11	۱۶۰۰۰۰	۷۳۲۰۰	۳۹۷۰۰	۱۲۲۰۰	۵۷۹۰	۱۳۰۰	۱۰۲۰	۴/۵۶	۶/۸۹	۷۳/۴	۷۴۵۰	۳۵۵	۸۱/۴
Pit-12	۱۷۳۰۰۰	۷۳۹۰۰	۴۷۴۰۰	۱۳۹۰۰	۷۶۸۰	۱۶۵۰	۱۱۸۰	۶۴	۱۰۱	۶۵/۵	۹۷۸۰	۴۲۵	۳۸/۵
Pit-13	۲۰۹۰۰۰	۹۰۳۰۰	۵۱۸۰۰	۱۵۷۰۰	۷۸۷۰	۱۶۹۰	۱۲۹۰	۳/۶۶	۱۱۴	۸۲/۵	۹۹۹۰	۴۵۵	۰۵/۶
Pit-14	۱۹۱۰۰۰	۸۳۰۰۰	۴۹۹۰۰	۱۴۸۰۰	۷۳۷۰	۱۶۳۰	۱۲۳۰	۶/۶۲	۱۰۸	۴۷/۵	۹۶۲۰	۴۲۹	۷۹/۵
Pit-15	۱۰۵۰۰۰	۴۶۴۰۰	۲۷۰۰۰	۸۲۸۰	۳۹۶۰	۸۸۱	۶۷۷	۱/۴۰	۶۰	۴۶/۳	۵۰۹۰	۲۳۳	۳۳/۳
Pit-18	۱۶۲۰۰۰	۷۲۶۰۰	۴۰۸۰۰	۱۲۴۰۰	۵۶۶۰	۱۲۷۰	۱۰۱۰	۵/۵۳	۹/۸۹	۶۹/۴	۷۴۰۰	۳۴۳	۹۲/۴
Pit-19	۶۳۶۰۰	۲۹۱۰۰	۱۷۱۰۰	۵۳۵۰	۲۳۳۰	۵۳۰	۴۱۵	۵/۲۴	۹/۳۶	۳/۲	۳۰۰۰	۱۳۹	۱۹/۲
Pit-20	۸۵۶۰۰	۳۸۶۰۰	۲۳۶۰۰	۷۲۰۰	۳۲۹۰	۷۳۶	۵۶۸	۶/۳۱	۱/۵۰	۰۴/۳	۴۲۶۰	۱۹۳	۸۱/۲
Pit-23	۱۱۲۰۰۰	۵۱۵۰۰	۲۸۰۰۰	۸۶۳۰	۳۹۹۰	۸۶۷	۶۹۸	۳۹	۱/۶۲	۳۹/۳	۵۰۵۰	۲۳۵	۴۱/۳
Pit-24	۱۴۲۰۰۰	۶۴۱۰۰	۳۵۱۰۰	۱۰۷۰۰	۴۹۶۰	۱۱۱۰	۸۶۹	۵/۴۸	۷/۷۷	۰۴/۴	۶۴۱۰	۲۹۶	۱۸/۴
Pit-25	۷۶۱۰۰	۳۳۸۰۰	۲۰۳۰۰	۶۲۸۰	۲۹۷۰	۶۵۹	۴۹۸	۱/۲۹	۶/۴۳	۷۳/۲	۳۸۰۰	۱۷۱	۵۹/۲
Pit-27	۱۹۷۰۰۰	۸۵۱۰۰	۴۸۳۰۰	۱۴۶۰۰	۷۴۰۰	۱۶۲۰	۱۱۹۰	۲/۵۷	۱۰۴	۴۱/۵	۹۴۴۰	۴۱۶	۵۷/۵
Pit-28	۲۱۴۰۰۰	۹۶۸۰۰	۵۲۱۰۰	۱۵۸۰۰	۷۲۸۰	۱۶۴۰	۱۲۶۰	۲/۶۱	۱۱۲	۵۴/۵	۹۵۷۰	۴۲۸	۰۳/۶
Pit-29	۲۱۲۰۰۰	۹۳۵۰۰	۵۰۹۰۰	۱۵۴۰۰	۷۳۳۰	۱۶۲۰	۱۲۳۰	۴/۵۷	۱۱۰	۶۱/۵	۹۵۴۰	۴۲۰	۸۶/۵
Pit-30	۲۰۹۰۰۰	۹۱۳۰۰	۵۱۲۰۰	۱۵۴۰۰	۷۵۹۰	۱۶۸۰	۱۲۵۰	۵/۶۰	۱۱۱	۵۷/۵	۹۹۳۰	۴۳۱	۰۱/۶
Pit-33	۱۰۲۰۰۰	۴۶۶۰۰	۲۵۴۰۰	۷۸۲۰	۳۶۷۰	۷۹۵	۶۱۶	۳۵	۲/۵۴	۲۴/۳	۴۶۶۰	۲۱۲	۹۱/۲
Pit-34	۹۶۴۰۰	۴۳۵۰۰	۲۴۶۰۰	۷۴۹۰	۳۵۲۰	۷۶۱	۵۹۰	۹/۳۳	۹/۵۱	۰۶/۳	۴۴۵۰	۱۹۹	۹۵/۲
Pit-35	۱۱۹۰۰۰	۵۳۶۰۰	۲۸۱۰۰	۸۶۳۰	۴۰۸۰	۸۹۷	۶۹۳	۱/۳۸	۴/۶۱	۴۷/۳	۵۲۰۰	۲۳۷	۴۱/۳
Pit-36	۱۵۶۰۰۰	۷۰۱۰۰	۳۷۳۰۰	۱۱۴۰۰	۵۴۵۰	۱۱۹۰	۹۱۳	۸/۴۲	۸/۷۹	۲۳/۴	۷۰۲۰	۳۱۲	۳/۴
Pit-37	۱۵۰۰۰۰	۶۸۲۰۰	۳۶۰۰۰	۱۱۰۰۰	۵۰۴۰	۱۱۲۰	۸۷۷	۱/۴۳	۶/۷۷	۱۷/۴	۶۵۳۰	۲۹۶	۳۱/۴
Pit-38	۱۷۶۰۰۰	۷۸۶۰۰	۴۳۰۰۰	۱۲۹۰۰	۶۲۶۰	۱۳۷۰	۱۰۳۰	۶/۴۸	۹۰	۵۹/۴	۸۰۷۰	۳۵۳	۸۲/۴
Pit-39	۲۲۴۰۰۰	۹۷۸۰۰	۵۲۵۰۰	۱۵۸۰۰	۷۷۷۰	۱۷۰۰	۱۲۶۰	۴/۵۶	۱۱۰	۳۷/۵	۱۰۱۰۰	۴۳۳	۸۵/۵
Pit-40	۱۹۵۰۰۰	۸۶۱۰۰	۴۵۷۰۰	۱۳۸۰۰	۶۶۰۰	۱۴۷۰	۱۱۰۰	۳/۵۰	۱/۹۶	۹۴/۴	۸۶۵۰	۳۷۶	۱۱/۵
Pit-41	۲۱۱۰۰۰	۹۴۴۰۰	۴۷۲۰۰	۱۴۴۰۰	۶۶۱۰	۱۴۷۰	۱۱۳۰	۱/۵۱	۹/۹۸	۰۱/۵	۸۷۴۰	۳۷۹	۲۷/۵
Pit-42	۲۴۲۰۰۰	۱۰۷۰۰۰	۵۵۳۰۰	۱۶۹۰۰	۷۸۵۰	۱۷۶۰	۱۳۳۰	۷/۵۹	۱۱۷	۷۴/۵	۱۰۳۰۰	۴۴۷	۳/۶
Pit-43	۱۳۹۰۰۰	۶۱۷۰۰	۳۳۲۰۰	۱۰۰۰۰	۵۰۴۰	۱۰۷۰	۸۰۱	۵/۴۰	۵/۶۹	۰۲/۴	۶۳۲۰	۲۷۵	۶۸/۳
Pit-45	۱۲۵۰۰۰	۵۵۵۰۰	۳۱۳۰۰	۹۳۹۰	۴۶۹۰	۱۰۰۰	۷۵۵	۳۵	۲/۶۵	۴۳/۳	۵۹۴۰	۲۵۹	۵۱/۳
Pit-46	۱۸۰۰۰۰	۷۹۳۰۰	۴۳۳۰۰	۱۳۰۰۰	۶۴۴۰	۱۳۹۰	۱۰۴۰	۸/۴۴	۹۰	۴۲/۴	۸۲۹۰	۳۵۷	۸۵/۴
Pit-47	۳۰۲۰۰	۱۴۲۰۰	۹۳۸۰	۲۹۵۰	۱۱۶۰	۲۷۷	۲۰۶	۱/۱۰	۸/۱۷	۲/۱	۱۶۴۰	۳/۷۰	۰۳/۱
Pit-48	۱۷۴۰۰۰	۷۸۳۰۰	۴۰۲۰۰	۱۲۲۰۰	۵۹۹۰	۱۲۸۰	۹۸۸	۵/۴۷	۷/۸۶	۴۲/۴	۷۵۶۰	۳۳۵	۶۵/۴
Pit-49	۱۳۷۰۰۰	۶۱۳۰۰	۳۲۴۰۰	۹۹۰۰	۴۷۷۰	۱۰۳۰	۷۹۲	۷/۳۸	۹/۶۸	۶۹/۳	۶۰۶۰	۲۷۰	۷۷/۳
Pit-50	۱۲۷۰۰۰	۵۷۷۰۰	۲۹۴۰۰	۹۰۸۰	۴۲۹۰	۹۰۷	۷۲۱	۶/۳۶	۱/۶۳	۵۱/۳	۵۴۳۰	۲۴۲	۴۷/۳
UEC	۶۴	۳۰	۲۶	۱/۷	۵/۴	۸۸۰/۰	۸/۳	۵/۳	۳/۲	۸/۰	۳۲/۰	۶۴/۰	۳۳/۰

جدول ۲ عیار عناصر خاکی نادر در آبرفت (گرم در تن) به همراه میانگین عیار عناصر در پوسته‌ی فوقانی.

REE	Ce	La	Nd	Pr	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Ho	Lu	Tb	Tm
Pit-1	۹۹۲/۱۴	۷۵۳/۶	۸۷۲/۳	۱۸۹/۱	۷۲۵/۰	۱۲۸/۰	۵۸۹/۰	۱۰۲/۰	۰۰۶/۰	۰۰۹/۰	۰۰۱/۰<	۰۳۶/۰	۰۰۱/۰<
Pit-2	۶۹۸/۱۸	۵۱۰/۸	۷۵۶/۴	۴۵۲/۱	۸۷۳/۰	۱۵۳/۰	۶۹۵/۰	۱۲۵/۰	۰۰۸/۰	۰۱۱/۰	۰۰۱/۰	۰۴۳/۰	۰۰۱/۰
Pit-3	۷۸۱/۱۹	۹۴۰/۸	۸۹۴/۴	۴۹۰/۱	۸۹۰/۰	۱۵۷/۰	۷۰۸/۰	۱۲۸/۰	۰۰۸/۰	۰۱۱/۰	۰۰۱/۰	۰۴۴/۰	۰۰۱/۰
Pit-4	۵۴۷/۴۵	۳۸۳/۲۰	۱۸۴/۱۱	۴۰۵/۳	۰۵۶/۲	۳۵۹/۰	۶۰۱/۱	۲۸۴/۰	۰۱۶/۰	۰۲۵/۰	۰۰۱/۰	۰۹۹/۰	۰۰۱/۰
Pit-5	۸۳۶/۲۲	۹۱۵/۹	۹۴۳/۵	۷۷۳/۱	۱۵۰/۱	۱۹۶/۰	۸۹۸/۰	۱۵۲/۰	۰۰۸/۰	۰۱۳/۰	۰۰۱/۰	۰۵۴/۰	۰۰۱/۰
Pit-6	۸۳۴/۳۱	۰۳۳/۱۴	۰۰۷/۸	۴۳۶/۲	۵۱۱/۱	۲۶۰/۰	۱۶۵/۱	۲۰۵/۰	۰۱۱/۰	۰۱۸/۰	۰۰۱/۰	۰۷۲/۰	۰۰۱/۰
Pit-7	۳۲۹/۲۵	۲۳۵/۱۱	۷۲۰/۶	۰۴۱/۲	۲۸۹/۱	۲۲۵/۰	۰۱۹/۱	۱۷۴/۰	۰۱۰/۰	۰۱۵/۰	۰۰۱/۰	۰۶۱/۰	۰۰۱/۰
Pit-8	۸۸۷/۲۰	۳۱۸/۹	۶۱۳/۵	۷۱۳/۱	۰۶۷/۱	۱۸۴/۰	۸۳۷/۰	۱۴۵/۰	۰۰۸/۰	۰۱۳/۰	۰۰۱/۰	۰۵۰/۰	۰۰۱/۰
Pit-9	۲۶۷/۱۶	۳۱۳/۷	۳۴۳/۴	۳۱۵/۱	۸۱۲/۰	۱۴۰/۰	۶۳۹/۰	۱۱۱/۰	۰۰۶/۰	۰۱۰/۰	۰۰۱/۰	۰۳۸/۰	۰۰۱/۰
Pit-10	۷۸۳/۷	۴۷۹/۳	۲۲۴/۲	۶۸۶/۰	۴۰۸/۰	۰۷۳/۰	۳۱۹/۰	۰۵۴/۰	۰۰۳/۰	۰۰۵/۰	۰۰۱/۰<	۰۱۹/۰	۰۰۱/۰<
Pit-11	۹۱۷/۱۱	۴۵۲/۵	۹۵۷/۲	۹۰۹/۰	۵۵۵/۰	۰۹۷/۰	۴۳۱/۰	۰۷۶/۰	۰۰۴/۰	۰۰۷/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۶/۰	۰۰۱/۰<
Pit-12	۶۶۷/۸	۷۰۲/۳	۳۷۵/۲	۶۹۶/۰	۴۹۰/۰	۰۸۳/۰	۳۸۵/۰	۰۵۹/۰	۰۰۳/۰	۰۰۵/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۱/۰	۰۰۱/۰<
Pit-13	۷۴۴/۳۰	۲۸۳/۱۳	۶۲۰/۷	۳۰۹/۲	۴۷۰/۱	۲۴۹/۰	۱۵۸/۱	۱۹۰/۰	۰۱۰/۰	۰۱۷/۰	۰۰۱/۰	۰۶۷/۰	۰۰۱/۰
Pit-14	۸۱۶/۵۰	۰۸۲/۲۲	۲۷۶/۱۳	۹۳۸/۳	۵۵۹/۲	۴۳۴/۰	۹۶۱/۱	۳۲۷/۰	۰۱۷/۰	۰۲۹/۰	۰۰۱/۰	۱۱۴/۰	۰۰۲/۰
Pit-15	۲۹۶/۱۲	۴۳۳/۵	۱۶۲/۳	۹۷۰/۰	۵۹۶/۰	۱۰۳/۰	۴۶۴/۰	۰۷۹/۰	۰۰۵/۰	۰۰۷/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۷/۰	۰۰۱/۰<
Pit-18	۶۸۰/۱۵	۰۲۷/۷	۹۴۹/۳	۲۰۰/۱	۷۱۶/۰	۱۲۳/۰	۵۴۸/۰	۰۹۸/۰	۰۰۵/۰	۰۰۹/۰	۰۰۱/۰<	۰۳۳/۰	۰۰۱/۰<
Pit-19	۴۶۲/۹	۳۲۹/۴	۵۴۴/۲	۷۹۶/۰	۴۴۶/۰	۰۷۹/۰	۳۴۷/۰	۰۶۲/۰	۰۰۴/۰	۰۰۵/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۱/۰	۰۰۱/۰<
Pit-20	۱۸۹/۱۲	۴۹۶/۵	۳۶۰/۳	۰۲۵/۱	۶۰۷/۰	۱۰۵/۰	۴۶۸/۰	۰۸۱/۰	۰۰۴/۰	۰۰۷/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۷/۰	۰۰۱/۰<
Pit-23	۸۰۱/۱۴	۸۰۶/۶	۷۰۰/۳	۱۴۱/۱	۶۶۷/۰	۱۱۵/۰	۵۲۷/۰	۰۹۲/۰	۰۰۵/۰	۰۰۸/۰	۰۰۱/۰<	۰۳۱/۰	۰۰۱/۰<
Pit-24	۹۴۶/۳۰	۹۶۹/۱۳	۶۴۹/۷	۳۳۲/۲	۳۹۷/۱	۲۴۲/۰	۰۸۱/۱	۱۸۹/۰	۰۱۱/۰	۰۱۷/۰	۰۰۱/۰	۰۶۵/۰	۰۰۱/۰
Pit-25	۷۶۵/۱۲	۶۷۰/۵	۴۰۵/۳	۰۵۳/۱	۶۳۷/۰	۱۱۱/۰	۴۹۸/۰	۰۸۴/۰	۰۰۵/۰	۰۰۷/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۹/۰	۰۰۱/۰<
Pit-27	۷۴۷/۱۹	۵۳۰/۸	۸۴۲/۴	۴۶۴/۱	۹۴۶/۰	۱۶۲/۰	۷۴۲/۰	۱۱۹/۰	۰۰۶/۰	۰۱۰/۰	۰۰۱/۰	۰۴۲/۰	۰۰۱/۰
Pit-28	۵۰۰/۳۵	۰۵۸/۱۶	۶۴۳/۸	۶۲۱/۲	۵۸۸/۱	۲۷۲/۰	۲۰۸/۱	۲۰۹/۰	۰۱۰/۰	۰۱۹/۰	۰۰۱/۰	۰۷۱/۰	۰۰۱/۰
Pit-29	۳۲۲/۳۳	۶۹۶/۱۴	۰۰۰/۸	۴۲۱/۲	۴۹۹/۱	۲۵۵/۰	۱۵۲/۱	۱۹۳/۰	۰۰۹/۰	۰۱۷/۰	۰۰۱/۰	۰۶۶/۰	۰۰۱/۰
Pit-30	۶۴۷/۳۹	۳۲۰/۱۷	۷۱۳/۹	۹۲۱/۲	۸۸۴/۱	۳۱۹/۰	۴۴۰/۱	۲۳۷/۰	۰۱۱/۰	۰۲۱/۰	۰۰۱/۰	۰۸۲/۰	۰۰۱/۰
Pit-33	۰۴۲/۱۴	۴۱۵/۶	۴۹۷/۳	۰۷۷/۱	۶۴۲/۰	۱۰۹/۰	۵۰۵/۰	۰۸۵/۰	۰۰۵/۰	۰۰۷/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۹/۰	۰۰۱/۰<
Pit-34	۹۷۰/۱۹	۰۱۱/۹	۰۹۶/۵	۵۵۲/۱	۹۲۲/۰	۱۵۸/۰	۷۲۹/۰	۱۲۲/۰	۰۰۷/۰	۰۱۱/۰	۰۰۱/۰	۰۴۱/۰	۰۰۱/۰
Pit-35	۶۱۶/۱۹	۸۳۵/۸	۶۳۲/۴	۴۲۳/۱	۸۵۷/۰	۱۴۸/۰	۶۷۳/۰	۱۱۴/۰	۰۰۶/۰	۰۱۰/۰	۰۰۱/۰	۰۳۹/۰	۰۰۱/۰
Pit-36	۲۲۴/۲۵	۳۳۴/۱۱	۰۳۱/۶	۸۴۳/۱	۱۳۵/۱	۱۹۲/۰	۸۸۱/۰	۱۴۸/۰	۰۰۷/۰	۰۱۳/۰	۰۰۱/۰	۰۵۰/۰	۰۰۱/۰
Pit-37	۱۷۷/۱۴	۴۴۶/۶	۴۰۲/۳	۰۴۰/۱	۶۱۷/۰	۱۰۶/۰	۴۷۶/۰	۰۸۳/۰	۰۰۴/۰	۰۰۷/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۸/۰	۰۰۱/۰<
Pit-38	۸۴۷/۲۴	۰۹۶/۱۱	۰۷۱/۶	۸۲۱/۱	۱۳۹/۱	۱۹۳/۰	۸۸۴/۰	۱۴۵/۰	۰۰۷/۰	۰۱۳/۰	۰۰۱/۰	۰۵۰/۰	۰۰۱/۰
Pit-39	۱۶۳/۲۴	۵۵۰/۱۰	۶۶۳/۵	۷۰۴/۱	۰۸۹/۱	۱۸۳/۰	۸۳۸/۰	۱۳۶/۰	۰۰۶/۰	۰۱۲/۰	۰۰۱/۰	۰۴۷/۰	۰۰۱/۰
Pit-40	۵۲۳/۱۳	۹۷۱/۵	۱۶۹/۳	۹۵۷/۰	۶۰۰/۰	۱۰۲/۰	۴۵۸/۰	۰۷۶/۰	۰۰۳/۰	۰۰۷/۰	۰۰۱/۰<	۰۲۶/۰	۰۰۱/۰<
Pit-41	۲۷۷/۳۱	۹۹۳/۱۳	۹۹۶/۶	۱۳۵/۲	۲۹۶/۱	۲۱۸/۰	۹۸۰/۰	۱۶۷/۰	۰۰۸/۰	۰۱۵/۰	۰۰۱/۰	۰۵۶/۰	۰۰۱/۰
Pit-42	۸۸۲/۴۳	۴۰۲/۱۹	۰۲۸/۱۰	۰۶۴/۳	۸۶۸/۱	۳۱۹/۰	۴۲۳/۱	۲۴۱/۰	۰۱۱/۰	۰۲۱/۰	۰۰۱/۰	۰۸۱/۰	۰۰۱/۰
Pit-43	۵۱۶/۲۱	۵۵۱/۹	۱۳۹/۵	۵۴۸/۱	۹۷۸/۰	۱۶۶/۰	۷۸۰/۰	۱۲۴/۰	۰۰۶/۰	۰۱۱/۰	۰۰۱/۰	۰۴۳/۰	۰۰۱/۰
Pit-45	۳۸۰/۲۵	۲۶۹/۱۱	۳۵۵/۶	۹۰۷/۱	۲۰۶/۱	۲۰۳/۰	۹۵۲/۰	۱۵۳/۰	۰۰۷/۰	۰۱۳/۰	۰۰۱/۰	۰۵۳/۰	۰۰۱/۰
Pit-46	۲۴۰/۶۸	۰۶۳/۳۰	۴۱۵/۱۶	۹۲۸/۴	۱۴۳/۳	۵۲۷/۰	۴۴۱/۲	۳۹۴/۰	۰۱۷/۰	۰۳۴/۰	۰۰۲/۰	۱۳۵/۰	۰۰۲/۰
Pit-47	۳۵۰/۴	۰۴۵/۲	۳۵۱/۱	۴۲۵/۰	۲۳۶/۰	۰۴۰/۰	۱۶۷/۰	۰۳۰/۰	۰۰۱/۰	۰۰۳/۰	۰۰۱/۰<	۰۱۰/۰	۰۰۱/۰<
Pit-48	۹۷۶/۱۸	۵۳۹/۸	۳۸۴/۴	۳۳۱/۱	۸۲۴/۰	۱۴۰/۰	۶۵۳/۰	۱۰۸/۰	۰۰۵/۰	۰۰۹/۰	۰۰۱/۰<	۰۳۷/۰	۰۰۱/۰
Pit-49	۷۸۳/۹	۳۷۷/۴	۳۱۴/۲	۷۰۷/۰	۴۳۳/۰	۰۷۴/۰	۳۴۱/۰	۰۵۷/۰	۰۰۳/۰	۰۰۵/۰	۰۰۱/۰<	۰۱۹/۰	۰۰۱/۰<
Pit-50	۴۸۸/۱۶	۴۹۱/۷	۸۱۷/۳	۱۷۹/۱	۷۰۵/۰	۱۱۸/۰	۵۵۷/۰	۰۹۴/۰	۰۰۵/۰	۰۰۸/۰	۰۰۱/۰<	۰۳۱/۰	۰۰۱/۰<
UEC	۶۴	۳۰	۲۶	۱/۷	۵/۴	۸۸/۰	۸/۳	۵/۳	۳/۲	۸/۰	۳۲/۰	۶۰/۰	۳۳/۰



شکل ۲ نمودار بهنجارسازی عناصر خاکی نادر نسبت به کندریت، (الف) در آبرفت و (ب) در موناژیت.

هاست و به احتمال زیاد هیچ کانی دیگری تمرکز دهنده‌ی عناصر خاکی نادر نیست.

برای ترسیم نقشه‌های هم عیار موناژیت از عمق‌های مختلف و شناسایی بیهنجاری‌ها نخست باید توزیع داده‌ها بررسی شوند. شکل ۴، توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد؛ توزیع داده‌های خام (شکل ۴ الف) بهنجار نبوده و دارای چولگی مثبت است. حاصل لگاریتم داده‌ها، شکل ۴ ب ترسیم شده که باز هم با داده‌های بیهنجاری روبرو نشده و توزیع داده‌ها دارای چولگی منفی است. بنابراین از روش باکس-کاکس [۱۰] استفاده شد. داده‌ها با استفاده از فرمول زیر تبدیل شده است:

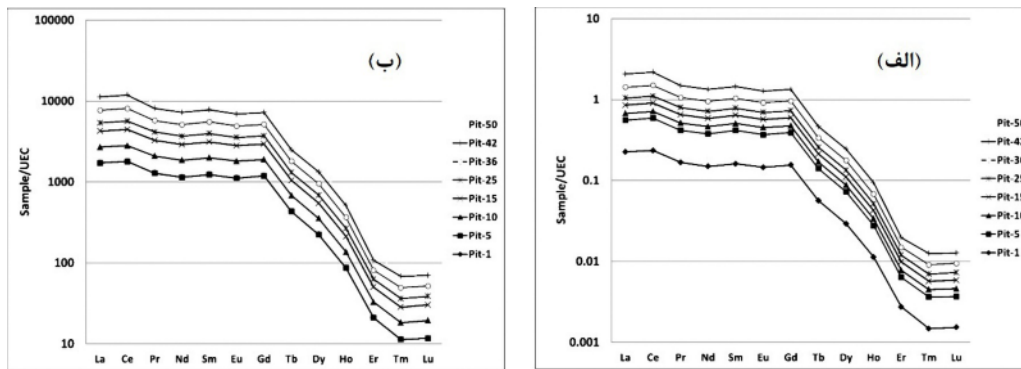
$$y_i = \begin{cases} \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda} & \lambda \neq 0 \\ \log(x_i) & \lambda = 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

که در آن  $y$  داده‌های جدید تولید شده،  $x$  داده‌های اصلی،  $\lambda$  ضریب باکس-کاکس است و برای محاسبه‌ی آن از نرم افزار Minitab استفاده شده و مقدار آن  $\lambda = 0.5$  به دست آمد. شکل ۴ ج، تبدیل باکس-کاکس را نشان می‌دهد و شکل نشان می‌دهد که داده‌ها به خوبی بهنجار شده‌اند.

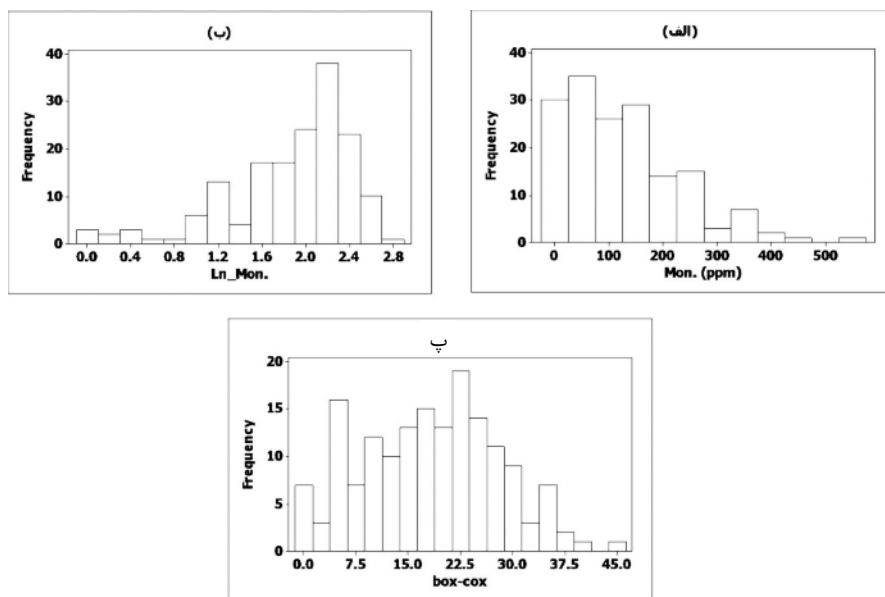
شکل ۵، نمودار احتمال داده‌ها را نشان می‌دهد. چنانکه از شکل پیداست تبدیل باکس-کاکس (شکل ۵ ج) داده‌ها را بسیار بهتر از داده‌های لگاریتمی (شکل ۵ ب) و داده‌های خام (شکل ۵ الف) بهنجار کرده است.

شکل ۳ (الف)، مقدار بهنجارسازی عناصر خاکی نادر در آبرفت نسبت به مقدار عناصر در پوسته‌ی فوقانی را نشان می‌دهد. عناصر خاکی نادر سبک روندی نسبتاً خطی با شیب تقریبی صفر داشت، در نمونه‌های ۵۰ و ۴۵ مقدار عناصر خاکی نادر کمی بیشتر از مقدار پوسته‌ی فوقانی و نمونه ۳۶، مقداری بسیار شبیه به مقدار عناصر در پوسته فوقانی دارد. عناصر خاکی نادر سنگین‌تر با شیب تند روند کاهشی گرفته و تهی‌شدگی شدیدی دارند. در شکل ۳ (ب)، که نمودار بهنجارسازی عناصر خاکی نادر در موناژیت نسبت به مقدار آن در پوسته‌ی فوقانی است، روند توزیع بسیار شبیه به شکل ۳ (الف) است با این تفاوت که مقدار بهنجارسازی بسیار بیشتر است.

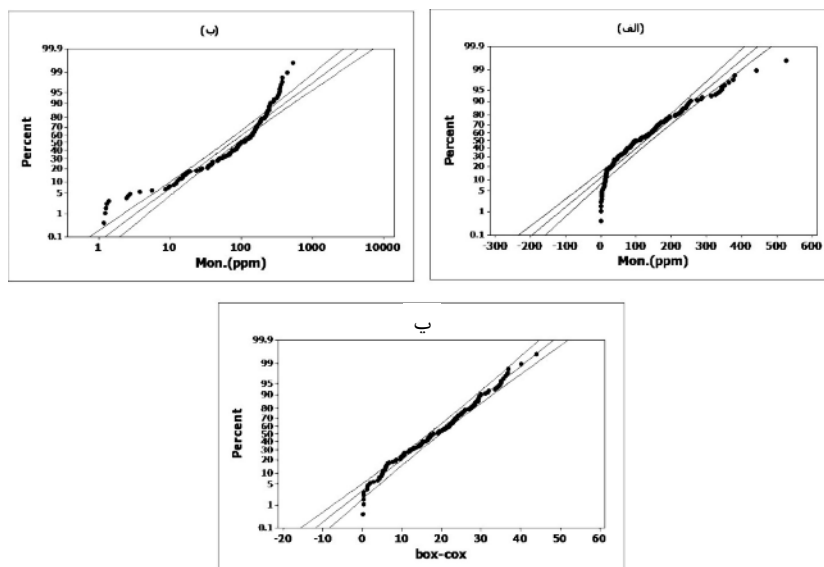
از مطالب گفته شده می‌توان گفت که مقدار عناصر خاکی نادر در نمونه‌ی آبرفت‌های مروست نسبت به مقدار عناصر در پوسته‌ی فوقانی تهی‌شدگی دارد و فقط در دو نمونه‌ی ۴۲ و ۵۰ این مقدار کمی غنی‌شدگی نشان می‌دهد. بنابراین این منطقه در نگاه اول از نظر عناصر خاکی نادر فقیر بوده و یا برابر با مقدار پوسته‌ی فوقانی است اما بدون در نظر گرفتن کانی‌شناسی نمی‌توان به این نتیجه رسید که عناصر خاکی نادر در موناژیت‌ها نسبت به مقدار عناصر در پوسته‌ی فوقانی غنی‌شدگی خوبی نشان می‌دهد و این مقدار برای تمامی عناصر خاکی نادر سبک روند هموار داشته و غنی‌شدگی بسیار بیشتری نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین نشان می‌دهد. بنابر شکل‌های ۲ و ۳، می‌توان گفت که مقدار عناصر خاکی نادر در آبرفت‌های منطقه به‌شدت تابع حضور موناژیت در این آبرفت-



شکل ۳ مقدار بهنجارسازی عناصر خاکی نادر در آبرفت به میانگین پوسته‌ی فوقانی (الف) و مقدار عناصر خاکی نادر در موزونیت به میانگین پوسته‌ی فوقانی (ب).



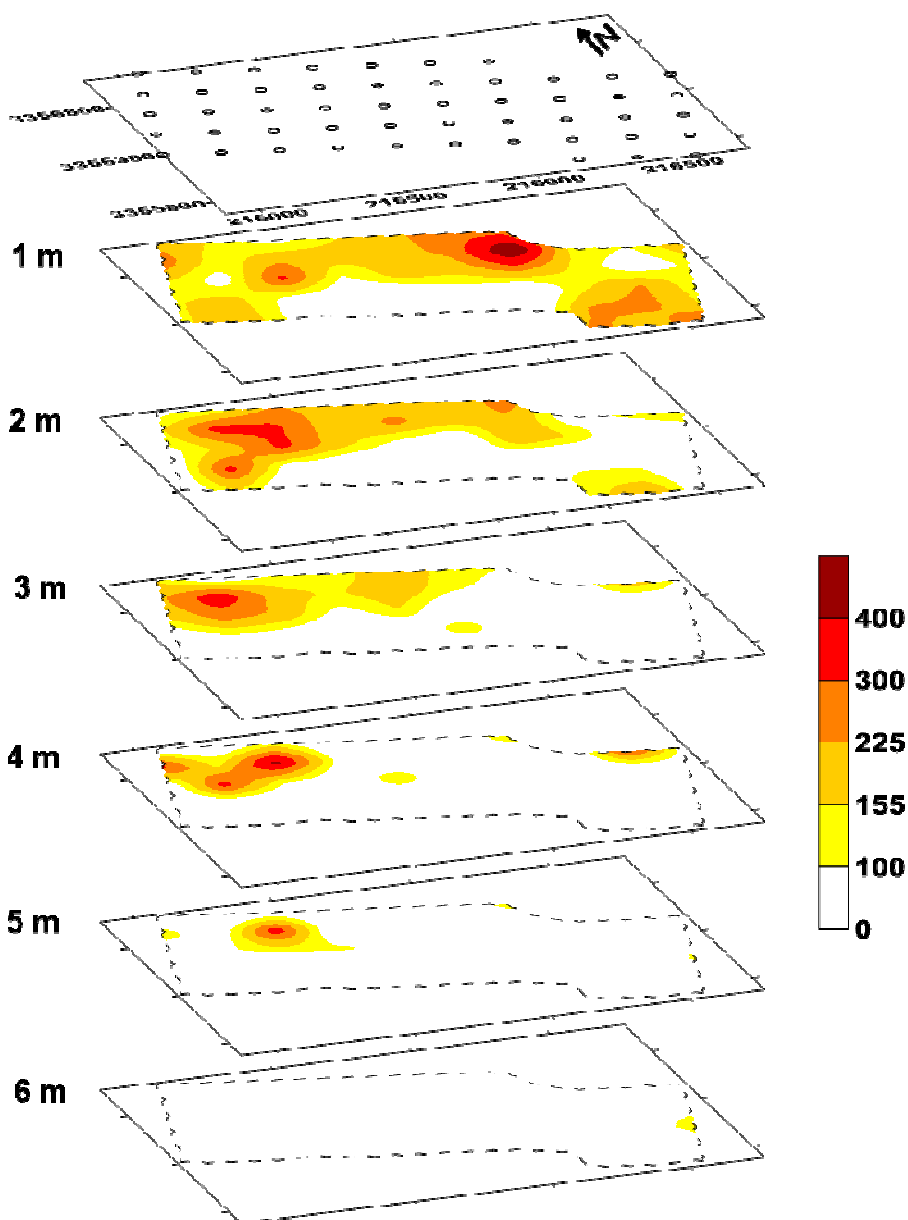
شکل ۴ نمودارهای داده‌های خام (الف)، داده‌های لگاریتمی و داده‌های تبدیل یافته به روش باکس-کاکس (ب).



شکل ۵ نمودار احتمال توزیع داده‌های خام (الف)، داده‌های لگاریتمی (ب) و داده‌های تبدیل یافته باکس-کاکس (پ).

مختلف از ۱ تا ۶ متری نشان داده شد. هر چه به سمت عمق حرکت کنیم گسترش بیهنجاری‌ها - به دلیل کمتر شدن ضخامت آبرفت - کمتر می‌شود به طوری که بیهنجاری به صورت شیبدار به سمت غرب کاسته می‌شود. در عمق یک متری بیهنجاری شدید با گسترش زیاد در قسمت شرقی-مرکزی دیده می‌شود و این تنها بیهنجاری قوی مشاهده شده در این منطقه است. از سطوح ۲ تا ۵ متری از شدت و گسترش بیهنجاری‌ها کاسته می‌شود تا عمق ۶ متری که در این عمق هیچ بیهنجاری‌ای مشاهده نمی‌شود.

برای ترسیم منحنی هم عیار موناژیت مقادیر  $\bar{x} - \bar{x} + 0.5s$ ،  $\bar{x} - \bar{x} + 0.5s$ ،  $\bar{x} + s - \bar{x} + 1.5s$  و  $\bar{x} + 2s$  و  $\bar{x} + 1.5s - \bar{x} + 2s$  که به ترتیب به معنای کمتر از مقدار زمینه، بیهنجاری ضعیف، بیهنجاری نسبتاً ضعیف، بیهنجاری نسبتاً خوب، بیهنجاری خوب، و بیهنجاری شدید است ( $\bar{x}$  مقدار میانگین و  $s$  انحراف استاندارد است) بنابراین با تبدیل معکوس باکس-کاکس به ترتیب مقادیر  $< 100$ ،  $100-155$ ،  $155-225$ ،  $225-300$ ،  $300-400$  و  $> 400$  برای آن در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۶، نقشه‌ی هم عیار موناژیت در سطوح عمیق



شکل ۶ مقاطع افقی توزیع بیهنجاری‌های موناژیت در عمق‌های از ۱ تا ۶ متر.



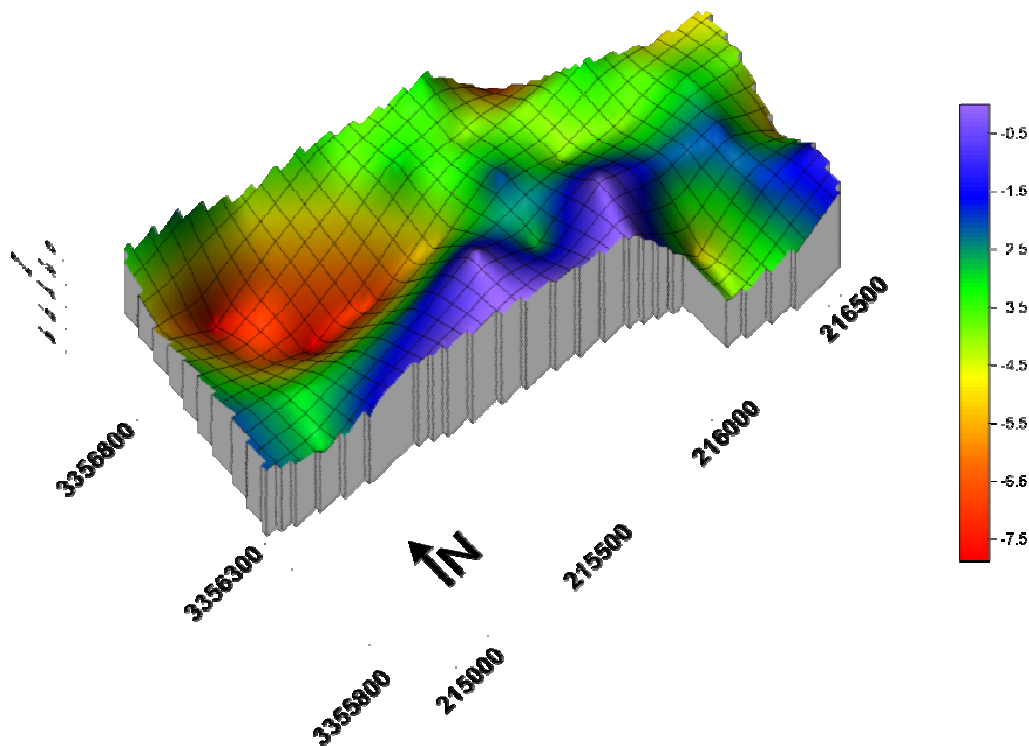
منطقه دارد و به احتمال زیاد هیچ کانی دیگری حاوی عناصر خاکی نادر در آبرفت‌ها مشاهده نمی‌شود. در ثانی بیهنجاری-های مشاهده شده از نظر شدت و گسترش به عمق آبرفت وابسته است.

#### نتیجه گیری

با توجه به آنالیز داده‌های به‌دست آمده، و نیز جدول‌ها، نمودارها و شکل‌های گسترده‌ی مورد بررسی می‌توان گفت: خاستگاه عناصر خاکی نادر کانی موناژیت است که مقدار غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک در آن بسیار بیشتر از عناصر خاکی نادر سنگین است. خاستگاه اصلی موناژیت سنگ‌های رسوبی تریاس بالایی- ژوراسیک پایینی بوده که شامل واحدهای شیلی، شیل‌های سیاه و شیل‌های آهکی حاوی گرهک‌های موناژیت است و استخراج موناژیت از آبرفت‌ها مقرون بصرفه‌تر از شیل‌ها است. عیار عناصر خاکی نادر در آبرفت برای عناصر سبک بسیار شبیه مقدار آن در پوسته‌ی فوقانی است و برای عناصر خاکی نادر سنگین کمتر از پوسته‌ی فوقانی است، بنابراین در نگاه اول این منطقه از نظر عناصر خاکی نادر نسبت به مقدار میانگین پوسته‌ی فوقانی تهی شدگی دارد.

شکل ۷، نقشه‌ی سه بعدی سنگ کف را نشان می‌دهد. چنانکه از شکل پیداست عمیق‌ترین قسمت‌ها (بیشترین ضخامت آبرفت) مربوط به بخش غربی منطقه است یعنی همانجایی که بیشترین و عمیق‌ترین بیهنجاری‌ها موجود بوده-اند. به طور کلی گسترش و عمق بیهنجاری‌ها کاملاً با ضخامت آبرفت یا عمق سنگ کف همخوانی دارد یعنی هر جایی که ضخامت آبرفت بیشتر است گسترش بیهنجاری در آنجا بیشتر است و این در حالی است که لیتولوژی تغییری نمی‌کند. دلیل زیاد بودن مقدار موناژیت احتمالاً این است که در مناطقی که شیب سنگ کف زیاد بوده اصلاً محلی برای قرار گرفتن کانه سنگین نیست ولی در مناطقی که شیب آرام دارند یا شکل گودالی گرفته‌اند (مانند قسمت غربی)، غنی‌شدگی موناژیت در آنجا رخ می‌دهد. در شکل ۷، رنگ‌های سرخ تا سبز با گسترده‌ی بیهنجاری‌های مشاهده شده همخوانی دارد و قسمت‌هایی که آبی هیچگونه بیهنجاری‌ای مشاهده نشده است (هرگز از سنگ بستر در چاهک‌ها نمونه‌برداری نشد و نمونه‌ها فقط از آبرفت است).

با توجه به مطالب بالا نخست باید گفت که وجود عناصر خاکی نادر ارتباط مستقیمی با حضور موناژیت در آن



شکل ۷ نقشه‌ی سه بعدی عمق سنگ کف بر حسب متر.

*Watershed*", BuMines, OFR 34-91 (1991) 67 pp.

[4] Alipour-Asll M., Mirnejad H., Milodowski E.A., "Occurrence and paragenesis of diagenetic monazite in the upper Triassic black shales of the Marvast region, south yazd", Iran, Miner Petrol 104 (2012) 197- 210.

[5] Soheili M., "Geology map of Anar, 1:250,000 sheet", Ministry of Industry & Mines, geological and mineral survey of Iran (1981).

[۶] علی پور م.، "اکتشاف مونازیت و عناصر خاکی نادر در آبرفت های جنوب مروست (منطقه باختری)"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳).

[۷] علی پور م.، رسا ا.، مهرپرتو م.، خاکزاد ا.، "ترکیب و توزیع مونازیت در شیل‌های تریاس بالایی مروست (یزد- ایران)"، علوم زمین، زمستان ۸۵، سال شانزدهم، شماره ۶۲.

[8] Taylor S.R., McClennan S.M., "The Continental Crust: Its Composition and Evolution", Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications (1985).

[9] Wakita H., Rey P., Schmitt R.A., Abundances of the 14 rare earth elements and 12 other elements in Apollo 12 samples. Pages 1319–1329 in *Proceedings of the Second Lunar Science Conference*. Edited by A.A. Levinson. Cambridge, MA: MIT Press (1971).

[10] Box G.E.P., Cox D.R., "An analysis of transformation", Journal of the royal statistical society, series B, 26 (1964) 211- 252.

نمودارهای بهنجار شده‌ی عناصر خاکی نادر نسبت به کندریت و پوسته فوقانی و نیز عناصر خاکی نادر در مونازیت نسبت به کندریت و پوسته‌ی فوقانی نشان از روند یکسان توزیع عناصر می‌دهد و این ثابت می‌کند که تنها کانی حاوی عناصر خاکی نادر در منطقه مونازیت است و هیچ کانی دیگری حاوی عناصر خاکی نادر نیست.

نقشه‌ی پراکندگی مونازیت در منطقه از عمق ۱ تا ۶ متری نشان می‌دهد که شدیدترین و گسترده‌ترین بیهنجاری‌ها در عمق یک متری مشاهده می‌شود و با زیاد شدن عمق به دلیل رسیدن به سنگ کف از گسترش و شدت بیهنجاری‌ها کاسته می‌شود.

ضخامت آبرفت یا عمق سنگ کف ارتباط مستقیمی با گسترش بیهنجاری‌های مشاهده شده دارد و عمیق‌ترین بیهنجاری‌ها در قسمت غربی منطقه دیده می‌شود، که ضخامت آن بیهنجاری ۵ متر است.

#### مراجع

[۱] علی پور م.، رسا ا.، مهرپرتو م.، باباخانی ع.، "اندازه گیری مونازیت و کانی های همراه به روش تغلیظ کانی های سنگین در پلاسرهاى مروست (یزد- ایران)"، علوم زمین، تابستان ۸۵، سال پانزدهم، شماره ۶۰ (۱۳۸۵ الف).

[2] Seal B., Verplanck P., Gosen B. V., Grosz A., "Geologic and Environmental Characteristics of Rare Earth Element Deposit type found in the United States", Scientific Investigations Report, April 4 (2012) USGS.

[3] Barker J.C., "Investigation of Tin-Rare Earth Element Placers in the Ray River