

بررسی پتانسیل عنصری با تکیه بر روش‌های نوین تلفیق داده‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوایی در برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ لاهرود (شمال غربی ایران)

زهرا فرهنگدفر^۱، محمدرضا جعفری^۱، پیمان افضل^{۲*}، افشین اشجع اردلان^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی نفت و معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران،
ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۷/۲۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۳/۹

چکیده

هدف از این پژوهش، شناسایی ناهنجاری‌های عنصری با استفاده از ترکیب مدل فرکتالی^۱ (فرکتال، ساختاری هندسی است که با بزرگ کردن هر بخش از این ساختار به نسبت معین، همان ساختار نخستین به دست آید؛ به بیان دیگر، فرکتال ساختاری است که هر بخش از آن با کل آن همانند است. فرکتال در بسیاری از ساختارهای طبیعی مثل سنگ‌ها، برف، رسوب‌گذاری، برگ و تنه درختان، DNA و غیره دیده می‌شود. هندسه فرکتال یا هندسه بعد چهارم یا هندسه طبیعت در تضاد کامل با هندسه اقلیدسی بعدها اول تا سوم می‌باشد. در واقع هندسه فرکتال تعریفی از نظریه بی‌نظمی یا آشوب است). عیار-تعداد و آنالیز فاکتوری مرحله‌ای نمونه‌های رسوبات آبراه‌ای با داده‌های ژئوفیزیک هوابرد برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ لاهرود بود. منطقه مورد مطالعه در نوار آتش‌فشانی البرز-آذربایجان واقع است. تمام عناصر اخلاص کننده (مولیبدن، برلیوم، جیوه، سرب، نقره، استرانسیوم، سلنیوم و بیسموت) پس از اعمال چهار مرحله آنالیز فاکتوری حذف شدند و عناصر آرسنیک، آنتیموان، قلع، تنگستن، کبالت، منگنز، روی، تیتانیوم، باریوم، نیکل، کروم، طلا، مس و بور در پنج گروه طبقه‌بندی شدند؛ مس و طلا در گروه چهار از مرحله چهارم قرار گرفتند. نمودار عیار-تعداد امتیازهای فاکتوری ترسیم و مقادیر آن‌ها به منظور تهیه نقشه‌های جوامع ژئوشیمیایی، تعیین شد. مناطق ناهنجار عناصر فلزی در بخش‌های شمال غرب، مرکز و جنوب غرب منطقه قرار دارند که نشان‌دهنده هم‌بستگی با مناطق دگرسان شده، گسل‌ها و توده‌های نفوذی می‌باشد. با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک هوایی و تهیه نقشه‌های مربوط به آن، توده ژرف‌سنگ در جنوب غربی، که توجیه کننده دگرسانی‌ها و در نتیجه، ناهنجاری‌هاست و هم‌چنین مناطق قابل پی‌جویی منطقه لاهرود شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل عنصری، ژئوشیمی (زمین‌شیمی)^۲، ژئوفیزیک (زمین‌فیزیک)^۳ هوایی، شمال غرب ایران.

مقدمه

شود. در اندازه‌گیری این میدان می‌توان به وجود موادی که دارای ویژگی‌های مغناطیسی متفاوت با مواد دربرگیرنده آن در نزدیکی سطح زمین است، پی برد (ترشیزیان و همکاران، ۱۳۸۶). در میان داده‌های ژئوفیزیکی، داده هوابرد (هوایی) به‌عنوان منبع مهم اطلاعاتی برای بررسی خطواره‌ها و ساختمان‌های زیرسطحی شناخته شده است. (Cooper and Cowan, Bierlein et al, 2006; Neawsuparp et Henson et al, 2010; 2006; al, 2005).

سابقه ژئوفیزیک هوایی در ایران به حدود ۳۵ تا ۴۰ سال قبل بر می‌گردد. ژئوفیزیک هوایی در مقایسه با ژئوفیزیک زمینی در مقیاس وسیع‌تری به‌منظور بررسی کلی‌تر اجرا می‌شود (اخوان اقدم، ۱۳۹۵). هدف اصلی این پژوهش، بررسی ناهنجاری‌های عناصر با استفاده از مدل فرکتالی عیار-تعداد و آنالیز فاکتوری مرحله‌ای بر روی نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای به همراه داده‌های ژئوفیزیکی هوایی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود (شمال‌غربی ایران، استان اردبیل) بود. در این مقاله از نرم‌افزارهای SPSS، Excel، Arc GIS، Oasis Montaj و RockWorks بهره گرفته شد.

منطقه مورد مطالعه

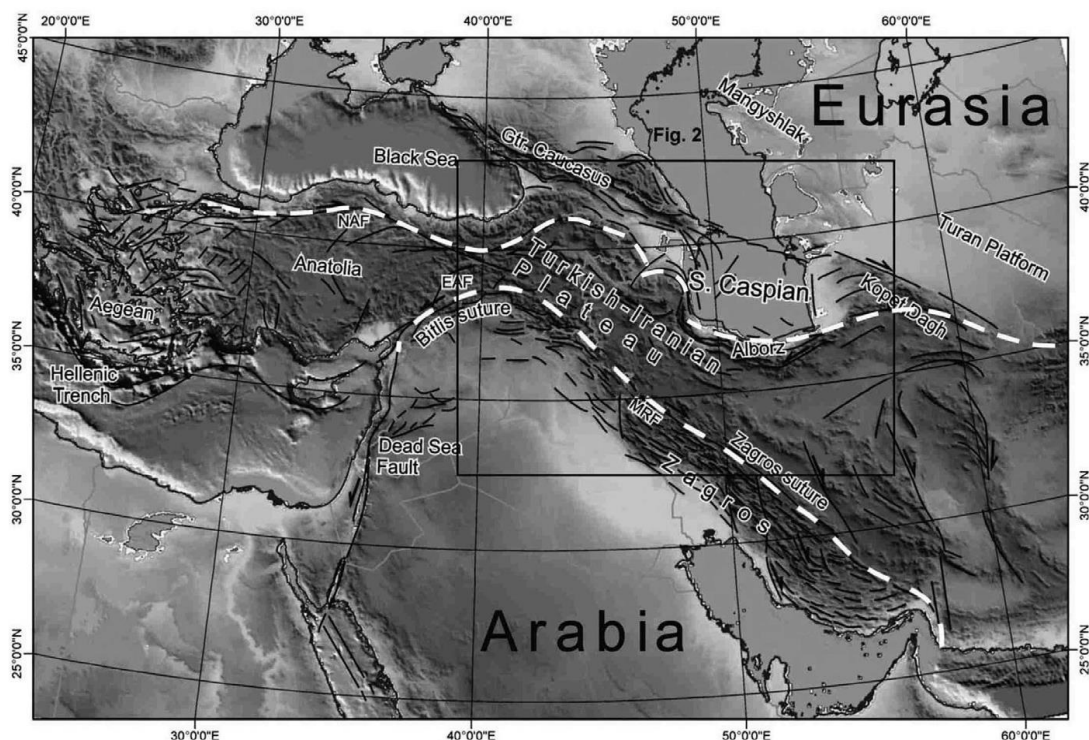
پهنه ماگمایی جوان بین دریای کاسپین از یک سو و دریای سیاه از سوی دیگر محصور می‌شود که تا آناتولی مرکزی گسترش پیدا کرده است (Alberti et al, 1980). این بخش تحت عنوان ایالت ماگمایی آذربایجان معرفی شده است. در مطالعات بعدی نیز تحت عنوان بلوک البرز-آذربایجان (شامل: البرزغربی و شمال‌غرب ایران) (Azizi et al, 2006) یا پهنه ایران-ترکیه (شامل: آناتولی-شرق-مرکزی و شمال‌غرب ایران) (Shafaii Moghadam et al, 2013; Guest et al, 2007; Dilek et al, 2010) نام برده شده است. در مورد

منطقه لاهرود در شمال‌غربی ایران، در استان اردبیل و در شمال شهر مشگین‌شهر بین طول‌های جغرافیایی ۳۰' ۴۷° تا ۴۸° و عرض‌های جغرافیایی ۳۰' ۳۸° تا ۳۹° واقع شده است. از نظر سن و سنگ‌شناسی، می‌توان گفت که سن سنگ‌ها و توده‌های آتشفشانی لاهرود، ائوسن بوده و شامل برش‌های آتشفشانی همراه با آندزیت، تفریت و قطعاتی از سنگ تراکی‌آندزیت می‌باشد (Shahbazi Shiran, and Shafaii Moghadam, 2010). اکتشاف ژئوشیمیایی براساس داده‌های رسوبات آبراهه‌ای به‌طور گسترده‌ای برای انواع کانسارها کاربرد دارد (Shamseddin Meigoony et al, 2014). جداسازی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی مختلف بر پایه رسوبات آبراهه‌ای، مرحله مهمی در شناسایی مناطق دارای پتانسیل-های معدنی محسوب می‌شود. (Momeni et al, 2016; Afzalet al, 2016; Shamseddin Meigoony et al, 2014; Zuo, 2011a; Rantitsch, 2000; Pazand et al, 2011; Deng et al, 2010). از آنجایی‌که غلظت عناصر در پوسته زمین به‌طور معمول، توزیع عادی را دنبال نمی‌کند و هم‌چنین، استفاده از روش‌های سنتی برای به‌دست آوردن مقادیر حدآستانه می‌تواند منجر به شناسایی نادرست ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی شود (Carranza, 2009a)، مدل‌سازی فرکتال از دهه ۱۹۸۰ به‌طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف علوم‌زمین و اکتشاف مواد معدنی، مورد استفاده قرار گرفته است. تغییرات مختلف رفتار بنیادی هر پدیده می‌تواند با ابعاد مختلف فرکتال تعریف شود. (Jebeli et al, 2018; Hassanpour and Afzal, 2013; Zuo et al, 2009, 2016; Afzalet al, 2016, 2017; Li et al, 2009b; Carranza, 2003). تفاوت ویژگی‌های مغناطیسی مواد مختلف سبب ایجاد میدان‌های مغناطیسی با شدت متفاوت در پیرامون آن‌ها می‌-

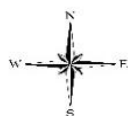
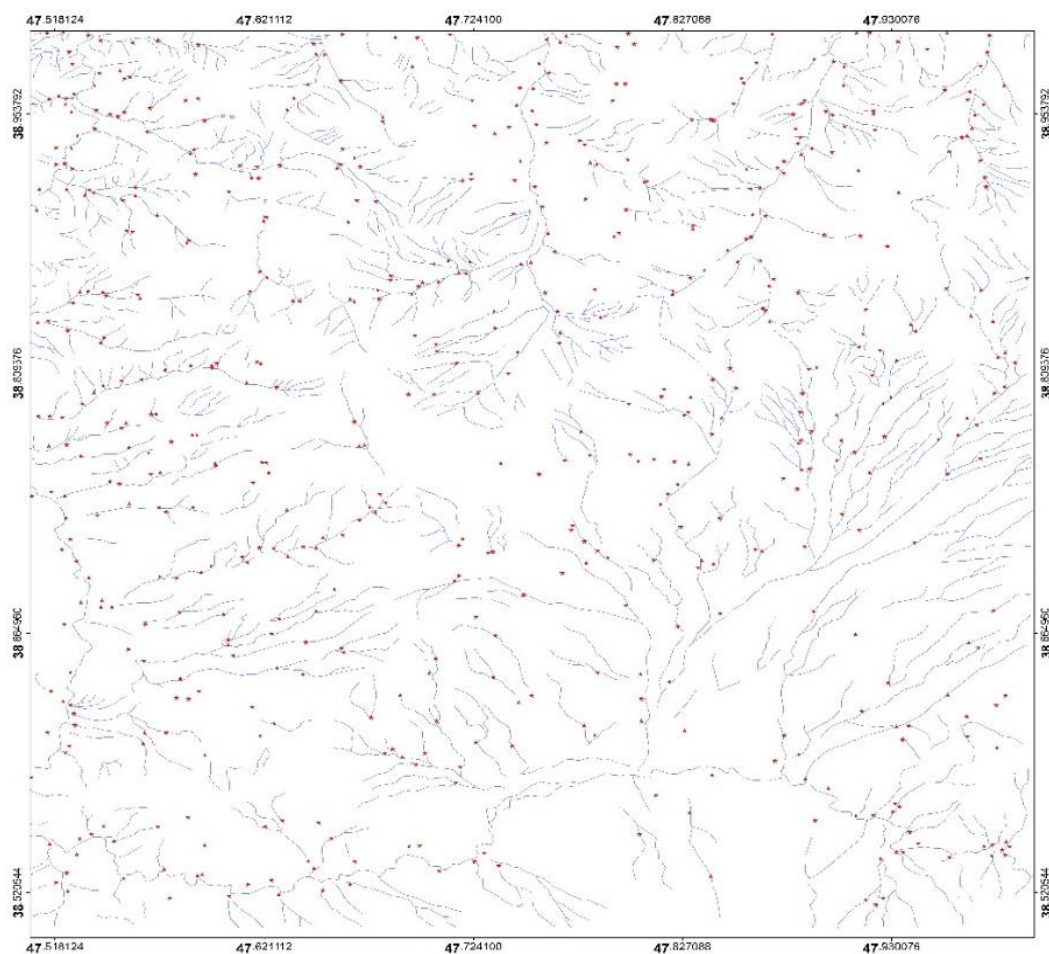
آلکالن قابل مقایسه نیستند ولی تشابه زیادی با سرهای آلکالن نشان می‌دهند. این سنگ‌های آتشفشانی به دو نوع آلکالی پتاسیک (بازالت‌ها، لایت‌ها و تراکیت‌ها) که اشباع و یا کمی تحت‌اشباع هستند و با سری‌های آلکالن نوع هاوایی قابل مقایسه‌اند و سدیک به شدت تحت‌اشباع (آنالسیمیت‌ها، بازائیت‌ها و فنولیت‌ها) که شباهت زیادی با سنگ‌های فلدسپاتوئیددار شرق افریقا دارند، قابل تقسیم هستند؛ از آن‌جا که این گدازه‌های آنالسیم‌دار در بیش‌تر نقاط آذربایجان و نیز در ناحیه البرز یافت شده‌اند، به نظر می‌رسد که یکی از چهره‌های شاخص مناطق آتشفشانی آذربایجان-البرز باشند (باباخانی و حسین خان ناظر، ۱۳۷۰).

ژنز و سیرتکاملی شمال‌غربی ایران و قفقاز کوچک، فرضیه‌های گوناگونی ارائه شده است (شکل ۱) (افتخارنژاد و اسدیان، ۱۳۷۱؛ باباخانی و همکاران، ۱۳۷۰). (Sheikholeslami and Kouhpeyma, 2012; Rolland et al, 2011; Sosson et al, 2010; Galoyan et al, 2009; Kazmin and Tikhonova, 2006; Golonka, 2004; Alavi, 1991a; Sengör, 1990; Majidi, 1981; Berberian and King, 1981). شمال‌غربی ایران و قفقاز کوچک، علی‌رغم بسیاری از نظرات، با هم از یک ناحیه شکل گرفته‌اند؛ هیچ توافق کلی درباره تاریخ این سیرتکاملی وجود ندارد (Sudi, 2014; Ajirlu and Moazzen, 2014).

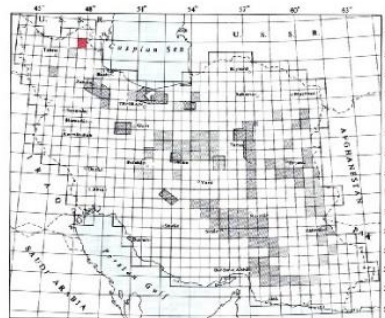
براساس مطالعات ژئوشیمیایی، به‌طور قطع می‌توان گفت که سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه مورد مطالعه با هیچ بخشی از سری‌های کالک-



شکل ۱: توپوگرافی (مکان نگاری)^۴ و نقشه ساختمانی منطقه‌ای برخورد صفحه عربی-اوراسیا (Allen et al, 2003). عناصر اصلی کمربند آلپ در این نقشه: فلات ترکی-ایرانی، پلاتفرم عربی، قفقاز بزرگ قفقاز کوچک، گسل شمالی آناتولی، گسل شرقی آناتولی، گسل جدید اصلی.



Scale 1:100,000
0 2 4 8 12 16 Kilometers



Legend

- sampling Points
- Rivers

شکل ۲: نقشه آبراهه‌ها و مناطق نمونه‌برداری شده ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود. تهیه شده در نرم‌افزار Arc GIS^۵ (سیستم اطلاعات جغرافیایی). نمونه‌برداری به صورت نامنظم انجام شده است.

Berberian and King, 1981; Alavi, 1996;)
Moinevaziri et al, 1991; Aghazadeh et al,
2010, 2011; Castro et al, 2013;
فعالیت ماگمایی در منطقه مورد مطالعه از اواخر کرتاسه
شروع و تا اوایل دوران چهارم ادامه داشته است.

با توجه به رخمون سنگ‌های آتشفشانی و
نفوذی با ترکیبات و سن‌های مختلف در شمال-
غرب ایران، ماگماتیسم شمال‌غربی ایران تحت
عنوان‌های پهنه تکتونوماگمایی ارومیه-دختر،
البرزغربی (تالش) و ارسباران معرفی شده‌اند

شده انجام می‌شود (Reimann, 2005). مهم‌ترین متغیرهای آماری که در تعبیر و تفسیر داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: میانگین، میانه، مد، پراش، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی (حسنی‌پاک، ۱۳۸۹)؛ روش‌های کلاسیک مانند نمودارهای هیستوگرام، نقشه‌های کانتوری و دیاگرام گل‌سرخ و ضریب هم‌بستگی برای جدایش جوامع ساختاری استفاده می‌شوند. این روش‌ها دارای نقطه‌ضعف ساختاری به نام عدم در نظرگیری موقعیت فضایی داده‌ها می‌باشند و باعث ایجاد خطای سیستماتیک در این روش‌ها می‌شوند (ادیب و همکاران، ۱۳۹۵).

آنالیز فاکتوری مرحله‌ای

داده‌های ژئوشیمیایی اغلب، ویژگی‌های ترکیبی یک سیستم بسته را نشان می‌دهد (Buccianti and Grunsky, 2014; Carranza, 2009a, 2009b, 2011; Filzmoser et al, 2009; Yousefi et al, 2012; Zuo, 2013a, 2013b, 2014). این داده‌ها به‌طور ذاتی چند متغیره هستند، به این معنی که، ناهنجاری‌ها در بیش از یک عنصر دیده می‌شوند (Asadi et al, 2014). آنالیز فاکتوری یکی از محبوب‌ترین آنالیزهای چند متغیره است که به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تجسم داده‌های با ابعاد بزرگ سه‌بعدی فضایی براساس ماتریس واریانس و کوواریانس استفاده می‌شود (Rezaei et al, 2015). هم‌چنین، یک ابزار عملی برای ترکیب چندین متغیر وابسته به یک متغیر واحد است؛ بنابراین برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها به مولفه‌های اصلی، هم‌خوانی براساس کوواریانس یا هم‌بستگی متغیرهایی که نشان‌دهنده روابط بین متغیرهای چند بعدی است، ایجاد می‌شود (Jolliffe, 2002; Reimann, 2005; Zuo, 2011a). با استفاده از این روش، مجموعه بزرگی

این فعالیت ماگمایی در زمان اتوسن به اوج خود رسیده و به تدریج از شدت آن کاسته شده است (باباخانی و خان‌ناظر، ۱۳۷۰).

مواد و روش‌ها

در سال ۲۰۰۳ حدود ۶۰۰ نمونه رسوبات آبراهه‌ای از برکه ۱:۱۰۰،۰۰۰ لاهرود توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، به‌صورت نامنظم برداشت و مورد آنالیز ICP-MS^۶ (طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی نوعی طیف‌سنجی جرمی است که برای ارزیابی و شناسایی فلزها و برخی نافلزها تا غلظت‌هایی در حدود پی‌پی‌بی کاربرد دارد) قرار گرفت (شکل ۲)؛ مقادیر ۲۲ عنصر شامل W, Sn, Se, Sb, Pb, Mo, Bi, B, As, Ag, Ti, Be, Ba, Zn, Sr, Ni, Mn, Cu, Cr, Co, Hg, Ag اندازه‌گیری شد. در این پژوهش داده‌های خام ICP-MS از سازمان نامبرده، دریافت شد و عملیات آمار کلاسیک، آنالیز فاکتوری، هندسه فرکتال عیار-تعداد انجام و نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی عناصر تهیه شد.

آمار کلاسیک

آمار کلاسیک شاخه‌ای از آمار است که پراکندگی کمیت موردنظر را در یک یا چند جامعه، بدون در نظر گرفتن موقعیت فضایی آن‌ها نسبت به یکدیگر، مورد بررسی قرار می‌دهد (Afzal et al, 2010; Davis, 2002; Journel and Huijbregts, 1999; Olea, 1989). این روش، به‌روش غیرساختاری معروف است و تنها مقدار اندازه‌گیری شده برای هر داده مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت نمونه در نظر گرفته نمی‌شود. در واقع، اصول محاسبات آماری در این روش در یک چارچوب مشخص و استاندارد قرار می‌گیرد و محاسبات و عملیات، تنها بر روی مقدار اندازه‌گیری

ژئوشیمیایی به کار گرفته شوند. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها، روش‌های فرکتالی هستند. امروزه روش‌های مبتنی بر هندسه فرکتال با توجه به امتیازاتی چون توجه به توزیع سطحی و فضایی داده‌ها و نیز شکل هندسه آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه، برای عناصر گوناگون از مهم‌ترین بخش‌های یک مطالعه اکتشافی است.

از سال ۱۹۸۰ تاکنون، مدل‌های مولتی‌فرکتالی متعددی جهت به‌کارگیری در علوم زمین توسط متخصصان معرفی و توسعه یافته است. روش‌های فرکتالی می‌توانند روابط بین نتایج به‌دست آمده از مطالعات زمین‌شناسی، ساختاری، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی را توضیح دهند. یکی از روش‌های مهم، روش فرکتالی عیار-تعداد است که کاربرد گسترده‌ای در جداسازی جوامع زمین-شناسی دارد. این روش براساس رابطه معکوس بین عیار و فراوانی تجمعی هر عیار و عیارهای بالاتر از آن است. این روش براساس فرمول رابطه ۱ تعریف می‌شود (Mao et al, 2004):

$$\text{رابطه ۱)} \\ N(\geq C) \propto p^{-\beta}$$

در رابطه ۱ $N(\geq C)$ برابر تعداد نمونه‌هایی است که دارای عیار مساوی و بالاتر از C هستند. p برابر عیار و β برابر بعد فرکتال است. حسن مهم این روش در این است که قبل از تخمین و با داده‌های خام و اصیل اکتشافی محاسبات را می‌توان انجام داد.

ژئوفیزیک هوایی

تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی هوایی به دو صورت کیفی و کمی انجام می‌شود. در تفسیر این داده‌ها ساختارهای زمین‌شناسی از جمله محل توده‌های نفوذی، گسل‌ها یا خطواره‌های پنهان، کنتاکت‌ها، ساختارهای خاص از جمله چین‌خوردگی‌ها، نواحی

از متغیرهای ژئوشیمیایی با چند فاکتور ترکیب می‌شوند. بنابراین، خصوصیات ویژه پلات سه‌بعدی ممکن است شباهت بیشتری به حالت فیزیکی واقعی داشته باشد (Shamseddin Meigoony et al, 2014). اساس کار آنالیز فاکتوری این است که باید پس از مراحل ابتدایی آماده‌سازی داده‌ها، در هر مرحله عنصری که دارای عدد بالاتر از $0/6$ هستند انتخاب شده و بقیه عناصر حذف شوند، این کار را باید تا زمانی که دیگر عنصری برای حذف شدن باقی نماند، ادامه داد.

هندسه فرکتال عیار-تعداد (Concentration-Number)

از آنجایی که هندسه اقلیدسی قادر به بیان پیچیدگی‌های طبیعت نیست، در قرن ۱۶ و ۱۷ میلادی، لوبافسکی و ریمن، هندسه غیراقلیدسی را مطرح کردند که بعدها پایه هندسه فرکتال شد (افضل، ۱۳۸۹). در سال ۱۹۸۳ هندسه فرکتال توسط پروفیسور مندلبروت (Mandelbrot, 1983) بنیان نهاده شد. در سال ۱۹۹۷، تورکت (Turcotte, 1997) نشان داد که بین میزان ذخیره تجمعی در یک کانسار با عیارهای بخش‌های مختلف آن رابطه‌ای فرکتالی وجود دارد. منگ و ژاو (Meng and Zhao, 1991) وجود ساختارهای فرکتالی در داده‌های زمین‌شناسی را بیان نمودند. نتایج حاصل از روش‌های سنتی مبتنی بر آمار کلاسیک تا مدتی مدید به‌عنوان تنها روش‌های تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند که دارای نقایصی از قبیل شرط تبعیت از توزیع نرمال، حذف تعدادی از داده‌ها به‌عنوان خارج از ردیف، عدم توجه به شکل هندسی آنومالی‌ها می‌باشد (Davis, 2002). این مسئله سبب شد که روش‌های دیگری برای تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و به‌ویژه برای جدایش جوامع

منطقه لاهرود که شامل داده‌های مغناطیسی است (جدول ۱)، تشخیص و تعیین محل ساختارهای ذکر شده به‌عنوان محل‌هایی برای بالا آمدن سیالات کانه‌ساز و تشکیل کانی‌سازی دارای اهمیت بوده و تفسیر کیفی داده‌ها به‌طور عمده بر روی آن‌ها متمرکز می‌شود.

دگرسانی مختلف و سنگ‌شناسی‌های گوناگون و تغییرات آن‌ها موردنظر می‌باشد (اخوان اقدم، ۱۳۹۵). در دهه گذشته، پیشرفت قابل توجهی در روش‌ها و تکنیک‌های اثبات شده ژئوفیزیکی برای تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی صورت گرفته است (Verduzko et al, 2004; Ferreira et al, 2001; Bierlein et al, 2006; Austin and Blenkinsop 2008, 2009). در بررسی داده‌های موجود در

جدول ۱: مشخصات برداشت ژئوفیزیک هوایی در برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود

فاصله خطوط پرواز	۷۵۰۰ متر
فاصله خطوط کنترلی	۴۰ کیلومتر
سال برداشت	۷۷-۱۹۷۵
ارتفاع برداشت	۳۵۰ متر
وسیله برداشت	هوایما
سنسور برداشت	مگنتومتر بخار سزیوم

قدرتمندترین مجموعه نرم‌افزاری برای تصویرسازی و تحلیل‌های زمین‌شناسی و اکتشافی می‌باشد. برای تهیه نقشه‌های نمونه‌برداری و نیز نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی عناصر، بهره برده شد. متغیرهای آماری میانگین، میانه، مد، پراش، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی برای عناصر برگه لاهرود محاسبه شد (جدول ۲). همچنین برای یافتن ارتباط میان عناصر باید ضرایب هم‌بستگی میان آن‌ها محاسبه شود (خلج-معصومی و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج

در این پژوهش، به‌منظور محاسبات آمار کلاسیک و هندسه فرکتال عیار-تعداد (C-N) از نرم‌افزار Excel، آنالیز فاکتوری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS^۶ (نام نرم‌افزاری رایانه‌ای است که برای تحلیل‌های آماری به‌کار می‌رود) و Excel، نرم-افزارهای Geosoft (Oasis Montaj (6.4.1 CN) (Arc Map و Inc., Toronto, Canada) به‌منظور فرآیندهای داده‌های ژئوفیزیکی هوابرد و نرم-افزارهای Arc Map و Rockworks^۸ (یکی از

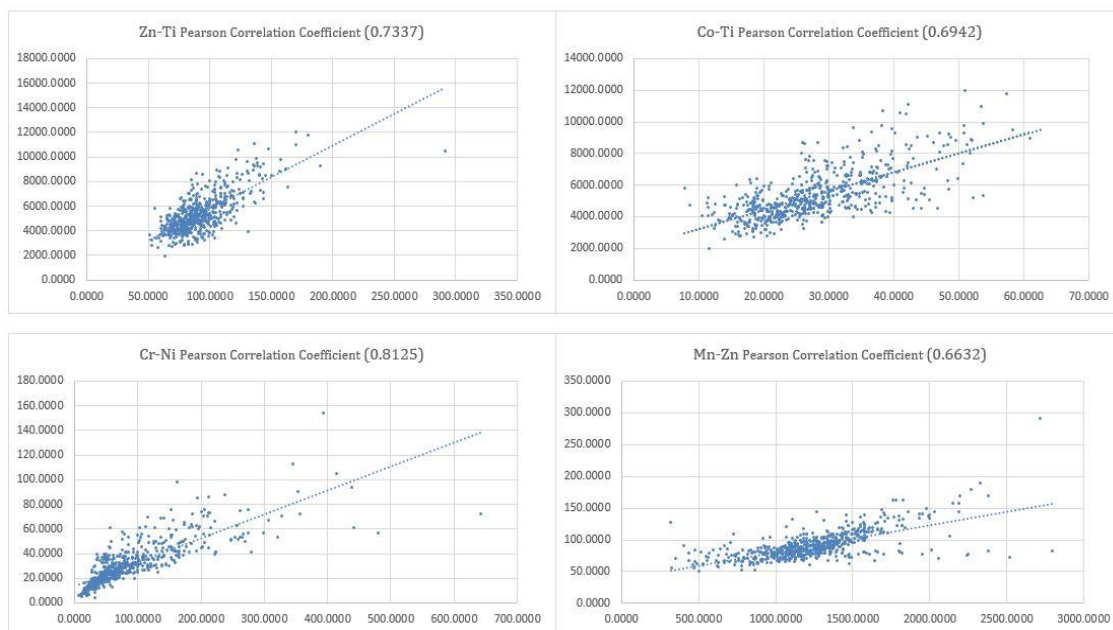
جدول ۲: متغیرهای آماری (کلاسیک) عناصر برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود

	Average	Median	Mode	Max.	Min.	STDEV	Var.	SKEW	KURT
Au	۲/۴۹۴۹۱	۲	۲	۴۰	۰/۷۵	۲/۹۰۴۹۷	۸/۴۳۸۸۵	۷/۲۴۴۷۹	۷۳/۴۸۵۶۲
Hg	۰/۶۵۷۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵۰۰	۰/۰۵۰۰	۰/۲۳۴۳۷	۰/۰۵۴۹۳	-۲/۱۳۹۰۱	۲/۵۹۲۶۸
Co	۲۷۷۴۳۴	۲۶۶۰۰۰	۲۹	۶۰۹۰۰۰	۷/۸۰۰۰	۹/۰۷۹۰۱	۸۲/۴۲۸۴۳	۰/۷۲۲۴۲	۰/۴۶۳۵۷
Cr	۸۷/۰۵۲۵	۶۳/۰۰۰۰	۴۹	۶۴۲/۰۰۰۰	۷/۰۰۰۰	۷۳/۹۰۲۴	۵۴۶۱/۵۶۰۹	۲/۴۷۵۹۶	۹/۵۳۰۰۸
Cu	۷۴/۰۸۳۴	۷۲/۳۵۰۰	۱۰۱	۳۹۲/۰۰۰۰	۱۴/۵۰۰۰	۲۵/۹۵۶۰۲	۶۷۳/۷۱۵۴۷	۳/۳۳۰۱۶	۳۷/۶۳۴۷۶
Mn	۱۲۴۸/۱۳۰۵	۱۲۴۰/۰۰۰۰	۱۳۵۰	۲۸۰۰/۰۰۰۰	۳۱۸/۰۰۰۰	۳۵۰/۱۴۰۷۳	۱۲۲۵۹۸/۵۳۱	۰/۵۲۹۵۷	۱/۷۹۲۰۹
Ni	۳۰/۹۲۰۳	۲۷/۰۰۰۰	۲۵	۱۵۴/۰۰۰۰	۴/۰۰۰۰	۱۷/۶۲۹۶۱	۳۱۰/۸۰۳۴۹	۱/۶۹۸۱۳	۵/۵۲۷۲۷

Sr	۶۸۱/۸۱۵۳	۶۵۱/۰۰۰۰	۵۳۲	۲۴۹۰/۰۰۰۰	۲۳۹/۰۰۰۰	۲۲۳/۲۵۶۰۰	۴۹۸۴۳/۲۴۴۲	۱/۷۲۹۱۱	۸۳۰۲۸۴
Zn	۹۱/۵۷۴۷	۸۶۹۵۰۰	۱۰۹	۲۹۱/۰۰۰۰	۵۱/۲۰۰۰	۲۲/۳۰۳۶۲	۴۹۷/۴۵۱۵	۲/۱۹۲۰۸	۱۱/۸۶۶۰۳
Ba	۷۱۲۳۹۰۰	۶۸۵/۰۰۰۰	۵۹۴	۲۰۷۰/۰۰۰۰	۴۷/۱۰۰۰	۲۵۷/۶۲۴۴۲	۶۵۸۵۶/۰۹۳	۰/۶۳۲۹۹	۱/۷۹۲۳۶
Be	۱/۸۶۴۶	۱/۶۰۰۰	۱/۵	۳/۹۰۰۰	۰/۸۰۰۰	۰/۴۹۶۲۸	۰/۲۴۶۲۹	۱/۲۴۰۸۶	۲/۰۶۵۳۲
Ti	۵۳۴۴/۶۶۱۰	۴۹۸۰/۰۰۰۰	۵۱۵۰	۱۲۰۰۰/۰۰۰۰	۱۹۸۰/۰۰۰۰	۱۵۶۲/۴۵۳۸۲	۲۴۴۱۲۶۱/۹۳۹	۱/۲۲۹۵۰	۱/۸۵۱۹۸
Ag	۰/۲۰۲۱	۰/۱۶۰۰	۰/۱۶	۱/۱۱۰۰	۰/۰۱۰۰	۰/۱۳۲۷۷	۰/۰۱۷۶۲	۱/۹۹۳۵۷	۷/۰۳۴۲۶
As	۱۰/۴۰۵۵	۶/۹۰۰۰	۵/۸	۲۰۴/۰۰۰۰	۰/۷۵۰۰	۱۴/۶۲۳۲۴	۲۱۳/۸۳۹۳۰	۸/۲۰۷۶۰	۹۴/۵۲۹۱۹
B	۰/۷۵۰۵	۰/۷۵۰۰	۰/۷۵	۰/۹۰۰۰	۰/۷۵۰۰	۰/۰۰۸۷۲	۷/۶۱۴۲	۱۷/۱۳۱۶۹	۲۹۲/۴۸۶۳۷
Bi	۰/۳۹۲۳	۰/۲۰۰۰	۰/۷۵	۲/۰۰۰۰	۰/۱۰۰۰	۰/۳۰۷۸۶	۰/۰۹۴۷۸	۱/۰۳۵۵۹	۱/۴۰۱۰۴
Mo	۲/۲۴۴۷	۱/۷۰۰۰	۱/۲	۵۴/۷۰۰۰	۰/۳۰۰۰	۳/۰۸۷۶۸	۹/۵۳۳۷۸	۱۰/۸۴۲۸۹	۱۵۶/۹۴۳۸۸
Pb	۱۶/۴۷۳۱	۱۵/۱۰۰۰	۱۲/۷	۲۲۳/۰۰۰۰	۳/۶۰۰۰	۱۲/۰۲۳۵۳	۱۴۴/۵۶۵۳۳	۱۰/۹۸۳۰۴	۱۶۷/۲۷۶۰۵
Sb	۰/۹۷۰۸	۰/۷۰۰۰	۰/۶	۳۵/۷۰۰۰	۰/۱۰۰۰	۱/۶۹۳۲۱	۲/۸۶۶۹۹	۱۵/۳۳۱۱۹	۳۰۲/۸۱۵۸۴
Se	۰/۹۹۶۱	۰/۸۰۰۰	۰/۷	۶/۱۰۰۰	۰/۲۰۰۰	۰/۵۷۴۷۷	۰/۳۳۰۳۶	۲/۷۶۷۵۷	۱۴/۶۰۲۱۱
Sn	۱/۶۴۹۲	۱/۵۰۰۰	۱/۴	۵/۴۰۰۰	۰/۶۰۰۰	۰/۵۷۲۴۷	۰/۳۲۷۷۳	۱/۵۵۸۳۰	۵/۱۳۲۷۵
W	۱/۹۲۳۷	۱/۵۰۰۰	۰/۵	۱۴/۶۰۰۰	۰/۲۰۰۰	۱/۷۶۱۹۵	۳/۱۰۴۴۹	۲/۴۰۴۲۲	۸/۲۰۳۷۰

نمودار بالاترین ضرایب همبستگی ترسیم شد (شکل ۳).

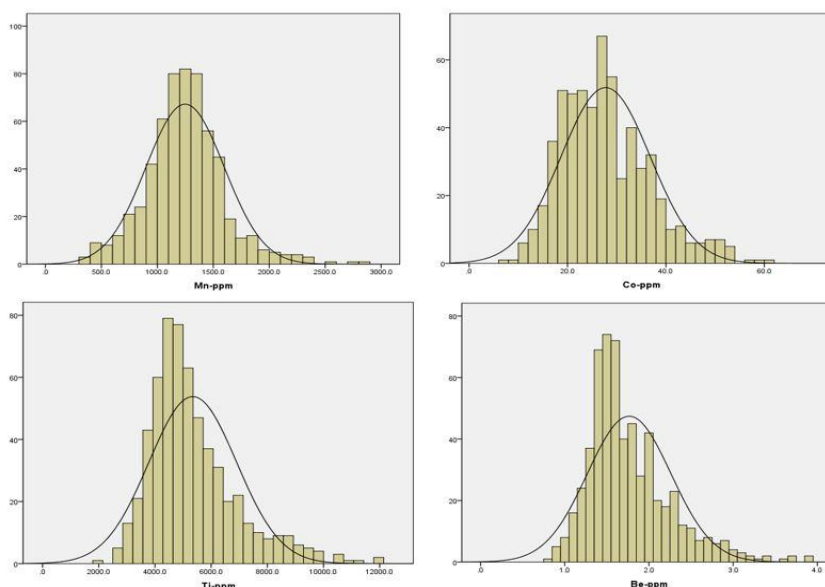
ضرایب همبستگی پیرسون عناصر موجود در برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود در نرم‌افزار Excel محاسبه و



شکل ۳: نمودار بالاترین ضرایب همبستگی پیرسون برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود

نرمال‌تری نسبت به دیگر عناصر نشان می‌دهند (شکل ۴).

طبق نمودارهای هیستوگرام، عناصر کبالت (Co)، منگنز (Mn)، برلیوم (Be) و تیتانیوم (Ti) توزیع



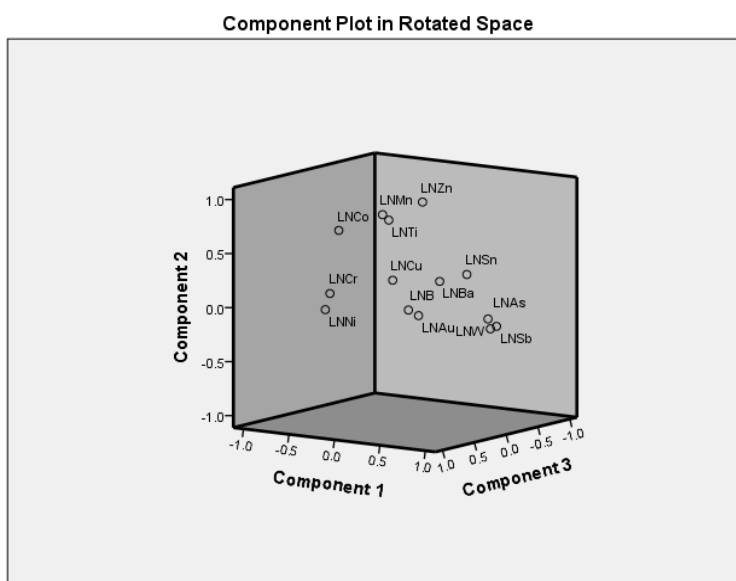
شکل ۴: نمودار هیستوگرام عناصر بر گره ۱:۱۰۰،۰۰۰ لاهرود

نقره (Ag) و استرانسیوم (Sr)؛ در مرحله سوم عناصر سلیوم (Se) و بیسموت (Bi) حذف شدند و در مرحله چهارم، عناصر در پنج گروه باقی ماندند (جدول ۳ و شکل ۵).

آنالیز فاکتوری این پژوهش که در نرم افزار SPSS انجام شد، دارای چهار مرحله بود: در مرحله نخست عناصر مولیبدن (Mo)، برلیوم (Be) و جیوه (Hg)؛ در مرحله دوم عناصر سرب (Pb)،

جدول ۳: آنالیز فاکتوری مرحله چهارم عناصر بر گره ۱:۱۰۰،۰۰۰ لاهرود (عناصر منتخب به صورت پررنگ نمایش داده شده اند).

Rotated Component Matrix ^a					
	Component				
	1	2	3	4	5
LN-Au	.137	-.111	-.015	.779	-.031
LN-Co	-.396	.696	.478	.113	.025
LN-Cu	-.164	.183	-.038	.756	-.018
LN-Mn	-.390	.743	-.202	.205	-.023
LN-Zn	.094	.918	-.138	.037	-.050
LN-Ba	-.073	.094	-.646	.158	.096
LN-Ti	.069	.820	.356	-.156	-.020
LN-As	.748	-.208	-.271	.122	-.268
LN-B	.017	-.073	-.028	-.039	.963
LN-Sb	.899	-.152	-.151	.020	.009
LN-Sn	.713	.338	.050	-.136	.230
LN-W	.833	-.085	-.111	-.033	.015
LN-Ni	-.288	.026	.844	.100	.049
LN-Cr	-.206	.190	.889	.008	.058

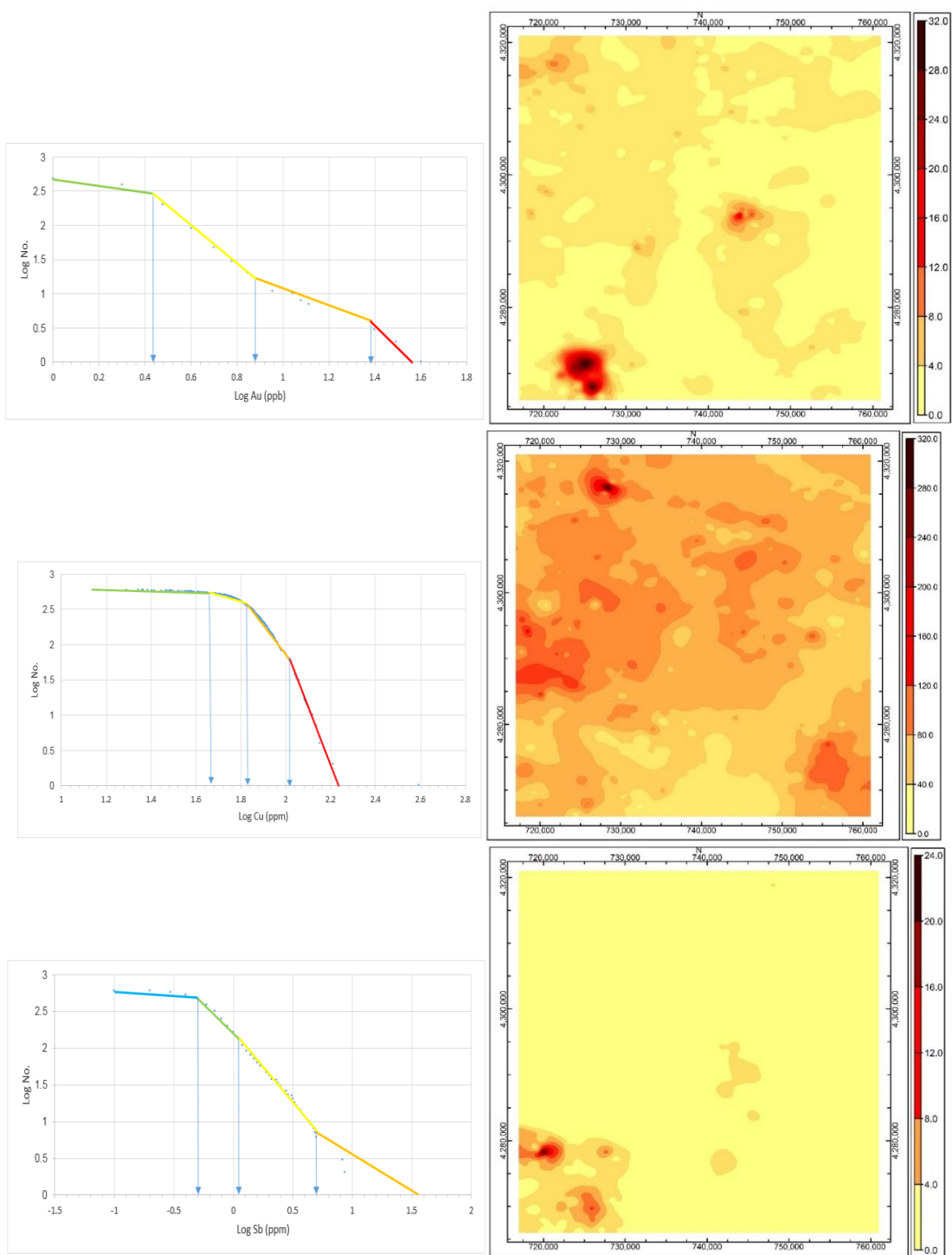


شکل ۵: پلات سه‌بعدی نهایی آنالیز فاکتوری عناصر برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود

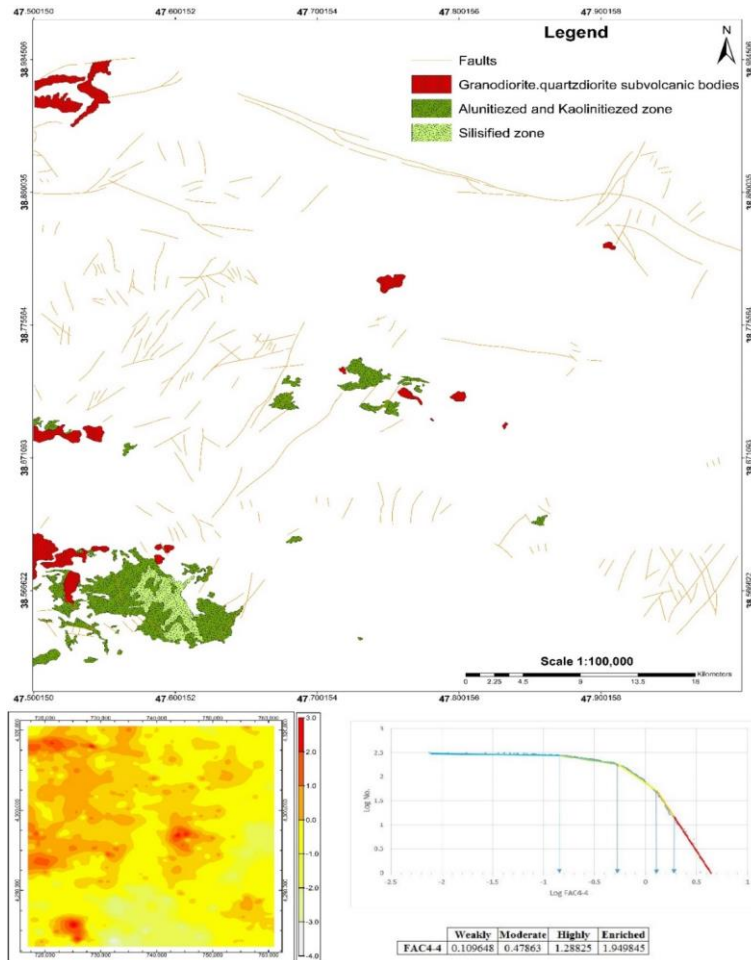
آنالیز فاکتوری بر روی نمونه‌های رسوبات آبراه‌های به‌صورت گام‌به‌گام یا مرحله‌ای انجام پذیرفت؛ آنالیز فاکتوری بر روی ۲۲ عنصر صورت گرفت که پس از آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS عناصر طبقه‌بندی شدند. عناصر اخلاص‌گر (عناصر دارای مقادیر کم‌تر از ۰/۶) در مرحله اول عناصر مولیبدن، برلیوم و جیوه، در مرحله دوم عناصر سرب، نقره و استرانسیوم در مرحله سوم عناصر سلنیوم و بیسموت حذف شدند؛ در مرحله نهایی (مرحله چهارم) عناصر آرسنیک، آنتیموان، قلع، تنگستن، کبالت، منگنز، روی، تیتانیوم، باریوم، نیکل، کروم، طلا، مس و بور باقی ماندند (جدول ۳). برای بهتر نشان دادن فاکتورها پلات سه‌بعدی فضایی مرحله چهارم، استخراج و در شکل ۵ نمایش داده شد. براساس محاسبات فرکتالی-عیار-تعداد (C-N)، عنصر طلا (Au) در سه محدوده ژئوشیمیایی ضعیف (۲/۷۵۴۲)، متوسط (۷/۵۸۵۷) و شدید (۲۳/۹۸۸۳) و عنصر مس (Cu) در سه محدوده ژئوشیمیایی ضعیف (۴۵/۷۰۸۸)، متوسط (۶۳/۰۹۵۷) و شدید (۱۰۴/۷۱۲۸) قرار گرفتند. ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی طلا در جنوب‌غربی و مرکز و ناهنجاری ژئوشیمیایی مس در شمال‌غربی ورقه لاهرود آشکار شد. هم‌چنین، وجود عنصر آنتیموان (Sb) نشان از گرمایی بودن منطقه دارد که براساس محاسبات فرکتالی-عیار-تعداد، به سه محدوده ژئوشیمیایی حد‌آستانه (۵/۰۱۱۸)، ضعیف (۱/۱۱۹۴) و متوسط (۵/۰۱۱۸) تقسیم و آنومالی آن در جنوب‌غربی منطقه آشکار شد (شکل ۶).

طبق جدول ۳ گروه چهارم از مرحله چهارم (FAC4-4) به‌عنوان فاکتور هدف در این پژوهش برگزیده شد که این گروه شامل عناصر طلا (Au) و مس (Cu) است؛ طبق عملیات فرکتالی-عیار-تعداد گروه چهارم از مرحله چهارم (FAC4-4) چهار محدوده ضعیف (۱۰/۹۶۴۸)، متوسط (۰/۴۷۸۶۳)، شدید (۱/۲۸۸۲۵)، بسیار شدید (۱/۹۴۹۸۴۵) تفکیک و مشخص شد و نیز عملیات فرکتالی بر روی FAC4-4 صورت گرفت و نقشه ژئوشیمیایی آن ترسیم شد (شکل ۷).

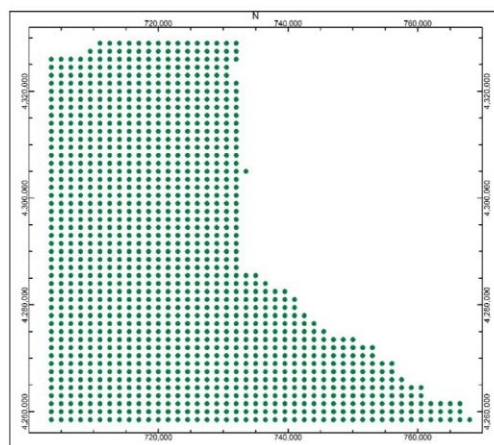
پژوهش‌های دانش زمین



شکل ۶: نمودارهای log-log فرکتال عیار-تعداد و نقشه آنومالی‌های Au، Cu و Sb. تهیه شده در نرم‌افزارهای Excel و SPSS، RockWorks



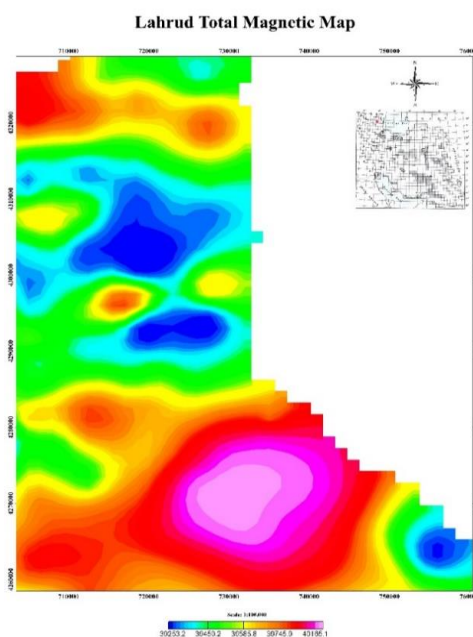
شکل ۷: نقشه مناطق دگرسان‌شده، گسل‌ها و توده‌های نفوذی به همراه نقشه FAC4-4 آنالیز فاکتوری، نمودار log-log فرکتال عیار-تعداد و محدوده‌های مقادیر فرکتال FAC4-4 ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود. تهیه شده نرم‌افزارهای Arc GIS و Excel، SPSS، RockWorks



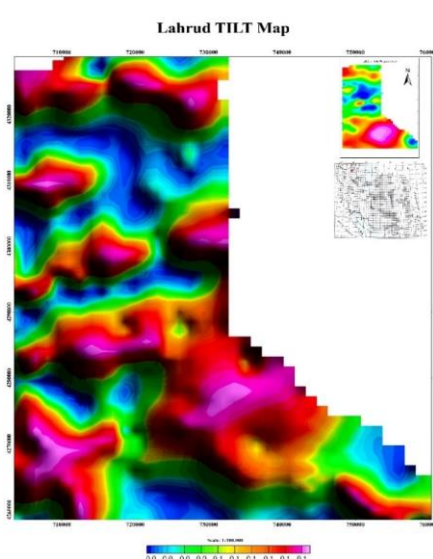
شکل ۸: نقشه نقاط نمونه‌برداری شده ژئوفیزیک هوایی بر گره ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود. تهیه شده در نرم‌افزار RockWorks به دلایلی هم‌چون تراکم پوشش گیاهی نمونه‌برداری برای بخشی از منطقه انجام نشده است.

مغناطیسی کل زمین را در نقاط اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد. شدت میدان مغناطیسی کل، در هر نقطه متأثر از مواد و ساختارهای مغناطیسی موجود در آن نقطه می‌باشد؛ مقدار IGRF^۱ (مرجع بین‌المللی میدان مغناطیسی زمین) زمین که در گذشته، اندازه‌گیری شده از مقادیر داده‌های ثبت شده حذف گردیده و مقدار باقی‌مانده مربوط به آنومالی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه است. براساس نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (شکل ۹) بالاترین شدت میدان مغناطیسی برای محدوده مورد بررسی ۴۰۴۲۱ نانوتسلا، پایین‌ترین ۳۹۱۱۱ نانوتسلا و میانگین ۳۹۶۴۰ نانوتسلا می‌باشد. مناطق دارای رنگ‌های سرد (آبی و سبز) مناطق دارای کم‌ترین شدت مغناطیس و مناطق دارای رنگ‌های گرم (صورتی، نارنجی و قرمز) دارای بیش‌ترین شدت مغناطیس و خطوط زردرنگ نشان‌دهنده تغییر شدت میدان و زون‌های مغناطیسی، در منطقه مورد مطالعه هستند.

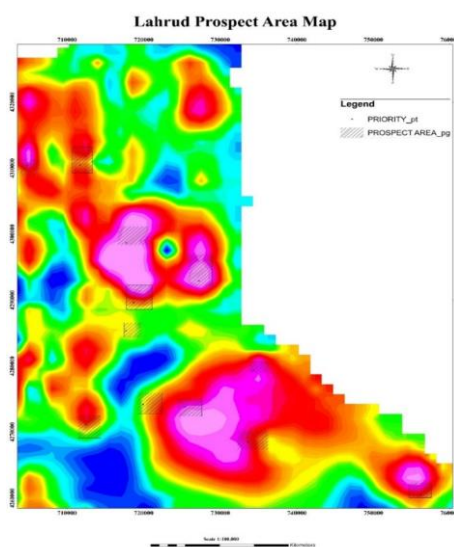
نرم‌افزار ژئوفیزیکی Oasis Montaj، فیلترهای مختلف و برنامه‌های کاربردی برای تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی ارائه می‌کند. حاشیه آنومالی‌های مغناطیسی می‌تواند نشان‌گر اتصال سنگ‌شناسی، گسل‌ها، شکستگی‌ها و ناپیوستگی‌های پوسته‌ای باشد (Bierlein et al, 2006; Henson et al, 2010). پس از برداشت و پردازش نهایی داده‌ها اطلاعات حاصل، در قالب نقشه‌های شدت کل میدان مغناطیسی ارائه می‌شود. جهت تفسیر داده‌ها در منطقه لاهرود از تنها داده‌های موجود در این منطقه با مشخصاتی که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، استفاده شد. برداشت‌های ژئوفیزیکی منطقه مورد مطالعه، در ۴۸ خط پروازی انجام پذیرفت (شکل ۸) که شامل طول جغرافیایی (X)، عرض جغرافیایی (Y) (در سیستم مختصات UTM) و شدت مغناطیس (Z) برای هر نقطه برداشت شده بود. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل، نقشه پایه داده‌های مغناطیسی است که مقدار شدت میدان



شکل ۹: نقشه مغناطیس کل



شکل ۱۰: نقشه مرز واحدهای مغناطیسی (TILT) ۱۰
(نوعی فیلتر در نرم‌افزارهای ژئوفیزیکی است که با اعمال آن لبه‌های بی‌هنجاری منطقه تشخیص داده می‌شود)



شکل ۱۱: نقشه مناطق قابل پی‌جویی بر گره ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود

این فیلتر می‌توان مرز گدازه‌ها را نیز مشخص نمود (شکل ۱۰). همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، مناطق قابل پی‌جویی و اکتشاف بر گره ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود براساس ژئوفیزیک هوایی مشخص شد. این مناطق در شمال‌غربی، مرکز، جنوب‌غربی و جنوب واقع شده‌اند که به‌طور عمده بر روی نفوذی‌های منطقه منطبق هستند.

تعیین محدوده بی‌هنجاری یا به عبارتی بهتر، تعیین لبه‌های بی‌هنجاری یکی از اساسی‌ترین گام‌های تفسیر داده‌های مغناطیس می‌باشد. تعیین محدوده هندسی و گسترش جانبی ساختارهای زمین‌شناسی در تحقیقات ژئوفیزیکی یکی از پارامترهای مهم است؛ استفاده از فیلتر TILT یکی از روش‌هایی است که براساس آن می‌توان به این مهم دست یافت. هم‌چنین توسط

نتیجه‌گیری

وجود سنگ‌های آندزیت و آندزیت‌بازالت در سطح (بررسی زمین‌شناسی منطقه)، احتمال وجود توده نفوذی از جنس دیورت را تقویت می‌کند. وجود توده نفوذی دیوریتی عمیق سبب شده که از طریق نقاط ضعف سنگ‌های اطراف توده نفوذی و شکستگی‌ها بخشی از آن، بالا آمده و به‌صورت گدازه روی سطح زمین جریان یافته و در نهایت سنگ‌های آندزیتی منطقه را تشکیل داده است. باتوجه به وسعت، عمق و آلتزه شدن سنگ‌های اطراف توده نفوذی جنوبی منطقه، توده از نوع باتولیت (ژرف‌سنگ) ریشه‌دار با شیب به سمت جنوب تشخیص داده شد. این توده در جنوب‌غربی برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود سبب ایجاد گسل‌های عمیقی شده که این گسل‌ها سبب بالا آمدن و نفوذ سیستم گرمایی در منطقه بوده است. وجود ناهنجاری عنصر آنتیموان (Sb) در جنوب‌غربی منطقه تاییدکننده عملکرد یک سیستم گرمایی است؛ این سیستم، از طریق گسل‌های موجود در

منطقه که به‌طور عمومی دارای روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب هستند، بالا آمده و بر روی سنگ‌های اطراف خود اثر گذاشته و دگرسانی‌های آلونیتی، کائولینیتی و سیلیسی را در جنوب‌غربی و مرکز برگه، ایجاد کرده است. اکثر آنومالی‌ها، در اطراف توده نفوذی جنوب منطقه است که سیالات هیدروترمال سبب ایجاد آلتراسیون‌هایی شده‌اند و در پی آن کانی‌سازی رخ داده است. محاسبات فرکتالی عیار-تعداد، آنالیز فاکتوری مرحله‌ای، تهیه نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی عناصر Au، Cu و Sb، بررسی‌ها و تهیه نقشه‌های ژئوفیزیکی حاکی از آن است که آنومالی‌های عناصر به‌طور قابل توجهی بر روی مناطق دگرسان شده و توده‌های نفوذی، منطبق هستند. این موضوع نشان‌دهنده ارتباط بسیار نزدیک و درخور توجه بین دگرسانی‌ها، گسل‌ها و توده‌های نفوذی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ لاهرود با آنومالی عناصر به‌ویژه طلا و مس است. از این‌رو، در این برگه بهترین موارد اکتشافی، عناصر طلا و مس می‌باشد.

پانویس

- 1-Fractal
- 2-Geochemistry
- 3-Geophysics
- 4-Topography
- 5-GIS
- 6-ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry)

- 7-SPSS (Statistical package for social science)
- 8-Rockworks
- 9-IGRF (International Geomagnetic Reference Field)
- 10-TILT Drivative

منابع

-افتخارنژاد، ج. و اسدیان، ع.، ۱۳۷۱. سن کمپلکس دگرگونی و اوفیولیتی اسالم-شاندزمن و ارتباط ژئودینامیکی آن با پالئوتتیس و پوسته اقیانوسی کاسپین: مجله علوم زمین، شماره ۳، ص ۱۵-۴.

-اخوان اقدم، م.ر.، ۱۳۹۵. تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی براساس داده‌های ۷۵۰۰ متر در استان مرکزی: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۴ ص.

- مرکزی: سومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط‌زیست.
- حسنی‌پاک، ع.ا.، ۱۳۸۹. زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۳۳۰ ص.
- خلج‌معصومی، م.، لطفی، م.، معمار کوچه‌باغ، ا.، خاکزاد، ا. و افضل، پ.، ۱۳۹۳. روند کانی‌سازی عناصر پرتوزا و ارتباط آن‌ها با سریم و ایتیریم با استفاده از داده‌های لیتوژئوشیمیایی در محدوده آنومالی پنج ساغند، فصلنامه علوم‌زمین، شماره ۹۳، ص ۲۰۱-۲۱۰.
- Afzal, P., Ahmadi, K. and Rahbar, K., 2017. Application of fractal-wavelet analysis for separation of Geochemical anomalies: Journal of African Earth Sciences v. 128, p. 27-36.
- Afzal, P., Eskandarnejad Tehrani, M., Ghaderi, M. and Hosseini, M.R., 2016. Delineation of supergene enrichment, hypogene and oxidation zones utilizing staged factor analysis and fractal modeling in Takht-e-Gonbad porphyry deposit, SE Iran: J. Geochem. Explor., v. 161, p. 119-127.
- Afzal, P., Khakzad, A., Moarefvand, P., Rashidnejad Omran, N., Esfandiari, B. and Fadakar Alghalandis, Y., 2010. Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran, Journal Geochemical Exploration, v. 104, v. 34-46.
- Aghazadeh, M., Castro, A., Badrzadeh, Z. and Vogt, K., 2011. Post-collisional polycyclic plutonism from the Zagros hinterland, The Shaivar-Dagh plutonic complex Alborz belt, Iran: Geological Magazine v.148, p. 980-1008.
- Aghazadeh, M., Castro, A., Omrani, N.R., Emami, M.H., Moinevaziri, H. and Badrzadeh, Z., 2010. The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz mountains, NW Iran: Journal of Asian Earth Sciences v. 38, p. 199-219.
- Alavi, M., 1991a. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran: Geological Society of American Bulletin, v. 103, p. 983-992.
- Alavi, M., 1996. Tectonostratigraphy synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran: Journal of Geodynamics, v. 21, p. 1-33.
- Alberti, A.A., Comin-Chiaramonti, P., Sinigoi, S., Trieste, M., Nicoletti, B. and Petrucciani, C., 1980. Neogene and Quaternary volcanism in Eastern Azerbaijan (Iran): some K-Ar age determinations and geodynamic implications: Geologische Rundschau, v. 69, p. 216-225.
- Allen, M.B., Vincent, S.J., Alsop, G.I., Ismail-Zadeh, A. and Flecker, R., 2003. Late Cenozoic deformation in the South Caspian region: Effects of a rigid basement block within a collision zone: Tectonophysics, v. 366, p. 223-239.
- Asadi, H.H., Kianpouryan, S., Lu, Y.J. and McCuaing, T.C., 2014. Exploratory data analysis and C-A fractal model applied in mapping multi-element soil

- anomalies for drilling: A case study from the Sari Gunay epithermal gold deposit, NW Iran: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 145, p. 233-241.
- Austin, J.R. and Blenkinsop, T.G., 2008. The Cloncurry Lineament: geophysical and geological evidence for a deep crustal structure in the Eastern Succession of the Mount Isa Inlier: *Precambrian Research*, v. 163, p. 50-68.
- Austin, J.R. and Blenkinsop, T.G., 2009. Local to regional scale structural controls on mineralisation and the importance of a major lineament in the eastern Mount Isa Inlier, Australia, review and analysis with autocorrelation and weights of evidence: *Ore Geology Reviews*, v. 35, p. 298-316.
- Azizi, H., Moinevaziri, H., Mohajjel, M. and Yagobpoor, A., 2006. P-T path in metamorphic rocks of the Khoy region (northwest Iran) and their tectonic significance for Cretaceous-Tertiary continental collision: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 27, p. 1-9.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran.
- Betts, P.G. and Lister, G.S., 2002. Geodynamically indicated targeting strategy for shale-hosted massive sulfide Pb-Zn-Ag mineralisation in the Western Fold Belt, Mt. Isa terrane: *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 49, p. 985-1010.
- Bierlein, F.P., Murphy, F.C., Weinberg, R.F. and Lees, T., 2006. Distribution of orogenic gold deposits in relation to fault zones and gravity gradients: targeting tools applied to the Eastern Goldfields, Yilgarn Craton, Western Australia: *Mineralium Deposita*, v. 41, p. 107-126.
- Buccianti, A. and Grunsky, E., 2014. Compositional data analysis in geochemistry: are we sure to see what really occurs during natural processes: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 141, p.1-5.
- Carranza, E.J.M., 2009a. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*, 11. Elsevier, 351 p.
- Carranza, E.J.M., 2009b. Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features: *Ore Geology Reviews*, v. 35 p. 383-400.
- Carranza, E.J.M., 2011. Analysis and mapping of geochemical anomalies using logratio-transformed stream sediment data with censored values: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 110, p. 167-185.
- Castro, A., Aghazadeh, M., Badrzadeh, Z. and Chichorro, M., 2013. Late Eocene-Oligocene postcollisional monzonitic intrusions from the Alborz magmatic belt, NW Iran, an example of monzonite magma generation from a metasomatized mantle source: *Lithos*, v. 180-181, p. 109-127.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase: *Computers & Geosciences*, v. 32, p. 1585-1591.
- Davis, J.C., 2002, *Statistics and data analysis in Geology* (3rd ed.), John Wiley & Sons Inc., New York, p. 342-353.
- Deng, J., Wang, Q., Yang, L., Wang, Y., Gong, Q. and Liu, H., 2010. Delineation and explanation of geochemical anomalies using fractal models in the Heqing area, Yunnan Province, China: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 105(3), p. 95-105.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. and Altunkaynak, S., 2010. *Geochemistry*

- and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint: *International Geology Review*, v. 52, p. 536-578.
- Ferreira, F., de Castro, L., Bongioiolo, A., de Souza, J. and Romeiro, M., 2011. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using tilt derivatives: part II application to real data: *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, p. 887-891.
- Filzmoser, P., Hron, K. and Reimann, C., 2009. Principal components analysis for compositional data with outliers, *Environmetrics*, v. 20, p. 621-632.
- Galoyan, G., Rolland, Y., Sosson, M., Corsini, M., Billo, S., Verati, C. and Melkonyan, R., 2009. Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Sevan Ophiolites, Lesser Caucasus, Armenia: Evidences for Jurassic Back-arc opening and hot spot event between the South Armenian Block and Eurasia: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 34, p. 135-153.
- Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic, *Tectonophysics*, v. 381, p. 235-273.
- Guest, B., Horton, B.K., Axen, G.J., Hassanzadeh, J. and McIntosh, W.C., 2007. Middle to late Cenozoic basin evolution in the western Alborz mountains: implications for the onset of collisional deformation in northern Iran: *Tectonics*, v. 60(11), p. 1-26.
- Hassanpour, S. and Afzal, P., 2013. Application of concentration-number (C-N) multifractal modeling for geochemical anomaly separation in Haftcheshmeh porphyry system, NW Iran: *Arab J Geosci.*, v. 6(3), p. 957-970.
- Henson, P.A., Blewett, R.S., Roy, I.G., Miller, J. and Czarnota, K., 2010. 4D architecture and tectonic evolution of the Laverton region, eastern Yilgarn Craton, Western Australia: *Precambrian Research*, v. 183, p. 338-355.
- Jebeli, M., Afzal, P., Pourkermani, M. and Jafarirad, A.R., 2018. Correlation between rock types and copper mineralization using fractal modeling in Kushk-e-Bahram deposit, Central Iran: *Geopersia Journal*, v. 8(1), p. 131-141.
- Jolliffe, T., 2002. *Principal component analysis*, 2nd edn, Springer, New York, p. 1-487.
- Journel, A.G. and Huijbregts, C.J., 1989. *Mining geostatistics*, ACADEMIC PRESS.
- Kazmin, V.G. and Tikhonova, N.F., 2006. Late Cretaceous-Eocene Marginal Seas in the Black Sea Caspian Region: *Paleotectonic Reconstructions, Geotectonics*, v. 40(3), p. 169-182.
- Li, C., Ma, T. and Shi, J., 2003. Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 77, p. 167-175.
- Majidi, B., 1981. The ultrabasic lava flows of Mashhad, North East Iran: *Geological Magazine*, v. 118(1), p. 49-58.
- Mandelbrot, B.B., 1983. *The fractal geometry of nature*, Freeman, San Francisco. mineralized zones in the Zaghia iron ore deposit, Central Iran, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 122, p. 9-19.
- Mao, Z., Peng, S., Lai, J., Shao, Y. and Yang, B., 2004. Fractal study of geochemical prospecting data in south area of Fenghuanshan copper deposit, Tongline Anhui: *Journal of Earth Sciences and Environment*, v. 26 (4), p. 11-14.
- Meng, X. and Zhao, P., 1991. Fractal method for statistical analysis of geological data, *Chinese Journal of Geosciences*, v. 2, p. 207-211.

- Moinevaziri, H., Khalili Marandi, SH. and Brousse, R., 1991. Importance doun volcanism potassique, au Miocene superier, en Azerbaijan, Iran: Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, v. 313, p. 1603-1610.
- Momeni, S., Shahrokhi, S.V., Afzal, P., Sadeghi, B., Farhadinejad, T. and Nikzad, M.R., 2016. Delineation of the Cr mineralization based on the stream sediment data utilizing fractal modeling and factor analysis in the Khoy 1:100,000 sheet, NW Iran: Bulletin of the Mineral Research and Exploration, v. 152, p. 143-151.
- Neawsuparp, K., Charusiri, P. and Meyers, J., 2005. New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand: ScienceAsia, v. 31, p. 283-298.
- Olea, R.A., 1999. Geostatistics for engineers and earth scientists, Kluwer Academic Publishers, 303 p.
- Pazand, K., Hezarkhani, A., Ataei, M. and Ghanbari, Y., 2011. Application of multifractal modeling technique in systematic geochemical stream sediment survey to identify copper anomalies: a case study from Ahar, Azarbaijan, Northwest Iran: Chem Erde, v. 71, p. 397-402.
- Rantitsch, G., 2000. Application of fuzzy clusters to quantify lithological background concentrations in stream-sediment geochemistry: Journal of Geochemical Exploration, v. 71, p. 73-82.
- Reimann, C. and Garrett, R.G., 2005. Geochemical background-concept and reality: Sci. Total Environ., v. 350(1-3), p. 12-27.
- Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R.G., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination, Science of the Total Environment Journal, v. 346, p. 1-16.
- Rezaei, S., Lotfi, M., Afzal, P., Jafari, M.R. and Shamseddin Meigoony, M., 2015. Delineation of Cu prospect utilizing multifractal modeling and stepwise factor analysis in Noubaran 1:100,000 sheet, Central of Iran: Arab J Geosci, v. 8, p. 7343-7357.
- Rolland, Y., Sosson, M., Adamia, SH. and Sadradze, N., 2011. Prolonged Variscan to Alpine history of an active Eurasian margin (Georgia, Armenia) revealed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating: Gondwana Research, v. 20, p. 798-815.
- Sengör, A.M.C., 1990. Plate tectonics and orogenic research after 25 years: A Tethyan perspective: Earth-Science Reviews, v. 27, p. 1-201.
- Shafaii Moghadam, H., Ghorbani, G., Zakikhedr, G., Fazlnia, N., Chiaradia, M., Eyuboglu, Y., Santosh, M., Galindo Francisco, C., Lopez Martinez, M., Gourgaud, A. and Arai, S., 2013. Late Miocene K-rich volcanism in the Eslamieh Peninsula (Saray), NW Iran: implications for geodynamic evolution of the Turkish-Iranian high plateau: Gondwana Research, v. 26, p. 1028-1050.
- Shahbazi Shiran, H. and Shafaii Moghadam, H., 2010. Geochemistry and petrogenesis of Paleocene-Eocene shoshonitic lavas in Lahrud region, NW of Iran: 6th Symposium of the International Geological Correlation Programme Project 516 (IGCP516) Geological Anatomy of East and South Asia, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Shamseddin Meigoony, M., Afzal, P., Gholinejad, M., Yasrebi, A.B. and Sadeghi, B., 2014. Delineation of geochemical anomalies using factor analysis and multifractal modeling based on stream sediments data in Sarajeh 1:100,000 sheet, Central Iran:

- Arabian Journal of Geosciences, v. 7, p. 5333-5343.
- Sheikholeslami, M.R. and Kouhpeyma, M., 2012. Structural analysis and tectonic evolution of the eastern Binalud Mountains, NE Iran: Journal of Geodynamics, v. 61, p. 23-46.
- Sillitoe, R.H., 2000. Role of gold-rich porphyry models in exploration, in S. G. Hagerman, and P. H. Brown, eds., Gold in 2000: Reviews in Economic Geology, v. 13, p. 311-346.
- Sosson, M., Rolland, Y., Muller, C., Danelian, T., Melkonyan, R., Kekelia, S., Adamia, S., Babazadeh, V., Kangarli, T., Avagyan, A., Galoyan, G. and Mosar, J., 2010. Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights: Geological Society, London, p. 329-352.
- Sudi Ajirlu, M. and Moazzen, M., 2014. Role of the Allahyarlu ophiolite in the tectonic evolution of NW Iran and adjacent areas (Late Carboniferous-Recent): Central European Geology, v. 57(4), p. 363-383.
- Turcotte, D.L., 1997. Fractal and chaos in geology and geophysics, University Press, Cambridge.
- Turcotte, D.L., 1986. A Fractal Approach to the Relationship between Ore Grade and Tonnage, Economic Geology, v. 18, p. 1525-1532.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M. and MacKenzie, C., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping: The Leading Edge, v. 23, p. 116-119.
- Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A. and Carranza, E.J.M., 2012. Geochemical mineralization probability index (GMPI): a new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping: Journal of Geochemical Exploration, v. 115, p. 24-35.
- Zuo, R., Cheng, Q. and Xia, Q., 2009. Application of fractal models to characterization of vertical distribution of geochemical element concentration: Journal of Geochemical Exploration, v. 102 (1), p. 37-43.
- Zuo, R., 2011a. Identifying geochemical anomalies associated with Cu and Pb-Zn skarn mineralization using principal component analysis and spectrum-area fractal modeling in the Gangdese Belt, Tibet (China): J Geochem Explor., v. 111, p. 13-22.
- Zuo, R., 2014. Identification of geochemical anomalies associated with mineralization in the Fanshan district, Fujian, China: Journal of Geochemical Exploration, v. 139, p. 170-176.
- Zuo, R. and Wang, J., 2016. Fractal/multifractal modeling of geochemical data, A review: Journal of Geochemical Exploration, v. 164, p. 33-41.
- Zuo, R., Xia, Q. and Wang, H., 2013a. Compositional data analysis in the study of integrated geochemical anomalies associated with mineralization: Applied Geochemistry, v. 28, p. 202-211.
- Zuo, R., Xia, Q. and Zhang, D., 2013b. A comparison study of the C-A and S-A models with singularity analysis to identify geochemical anomalies in covered areas: Applied Geochemistry, v. 33, p. 165-172.