

بررسی پراکندگی عناصر پرتوزا بر پایه داده‌های ژئوفیزیک رادیومتری هوابرد در جنوب باختر ماسوله

افشار ضیاظریفی^۱، سینا مهری سوخته کوهی^۲، پیمان افضل^۳ و حمیدرضا جعفری^۴

^۱استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

^۳استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

^۴استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۲۴

چکیده

برای بررسی پراکندگی عناصر پرتوزا در یک محدوده مورد مطالعه بهترین ابزار اکتشافی داده‌های رادیومتری هوابرد هستند. در این نوشتار ابتدا به وسیله روش آمار کلاسیک و با استفاده از محاسبه متغیرهای آماری روی داده‌های برداشت‌شده ژئوفیزیک هوایی منطقه، جدایش جوامع بی‌هنجاری انجام و سپس جداول پراکندگی فراوانی عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم و نمودارهای ستونی پراکندگی فراوانی این عناصر رسم شده است. پس از رسم نمودارهای ستونی پراکندگی، متغیرهای آماری این عناصر محاسبه شده و در پایان جدایش جوامع بی‌هنجاری بر اساس پراکندگی پیرامون میانگین صورت گرفته است. نقشه‌های پراکندگی عناصر رادیواکتیو رسم شد. کنترل زمینی با برداشت‌های رادیومتری و انجام تجزیه شیمیایی انجام شد. در پایان نتایج برداشت‌های رادیومتری و تجزیه‌های شیمیایی تأکید بر غیراقتصادی بودن کانه‌زایی عناصر پرتوزا در منطقه داشتند.

کلیدواژه‌ها: رادیومتری، عناصر پرتوزا، پراکندگی فراوانی، ماسوله، ایران.

*نویسنده مسئول: افشار ضیاظریفی

E-mail: afshar_zarifi@yahoo.com

۱- پیش‌گفتار

عناصر پرتوزای موجود در طبیعت در بیشتر سنگ‌های موجود در سازندها و واحدهای سنگ‌شناسی وجود دارند. در کشور ایران نیز با توجه به وجود معادن اورانیم مختلف مانند ساغند در ایران مرکزی و گچین در بندرعباس، پراکندگی و وجود عناصر پرتوزا از دو دیدگاه اکتشاف آنها برای مصارف نیروگاه‌های هسته‌ای و همچنین بررسی آلودگی‌های زیست‌محیطی حاصل از وجود بیش از اندازه استاندارد عناصر پرتوزا در محیط‌های مختلف مورد نظر هستند (Mulloy et al., 2001). بر این اساس برای دستیابی به سرنخ‌هایی از وجود مواد رادیواکتیو در سنگ‌ها روش‌های مختلف اکتشافی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های استاندارد ارایه شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای اکتشاف کانسارهای پرتوزا شامل مطالعات زمین‌شناسی، برداشت‌های ژئوفیزیک رادیومتری هوابرد ناحیه‌ای، برداشت‌های طیف‌سنجی تابش‌های گامای تابیده شده از زمین به روش‌های هوابرد و زمینی با استفاده از هوایما و اتومبیل‌های صحرایی، اندازه‌گیری گاز رادون در خاک و آب، برداشت‌های ژئوشیمیایی و ژئوبوتانی، روش‌های مکمل ژئوفیزیک مغناطیس‌سنجی، حفاری‌های اکتشافی و چاه‌نگاری پرتوسنجی می‌شوند (ضیاظریفی و همکاران، ۱۳۸۴؛ ضیاظریفی، ۱۳۸۹). در کشور ایران بر مبنای مطالعات زمین‌شناسی و پتانسیل وجود مواد رادیواکتیو بخش‌هایی از ایران مرکزی، شمال باختر و جنوب کشور زیر پوشش برداشت‌های رادیومتری هوابرد قرار گرفتند. در برداشت‌های رادیومتری در مراحل شناسایی پرتوسنجی تابش گامای مناطق مختلف ثبت و اندازه‌گیری شده‌اند. معادن موجود اورانیم کشور نیز بر مبنای این برداشت‌های رادیومتری هوابرد و ادامه مراحل اکتشاف مقدماتی و تفضیلی در محدوده‌های امیدبخش مشخص شدند (ضیاظریفی، ۱۳۸۴).

در این پژوهش نیز پردازش و تحلیل داده‌های رادیومتری هوابرد در محدوده مورد مطالعه جنوب باختر ماسوله در استان گیلان برای دستیابی به مدل پراکندگی عناصر پرتوزا در این منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- معرفی موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در شمال باختر ایران قرار دارد و در تقسیمات نقشه‌های زمین‌شناسی کشور در نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰۰ بندرانزلی و نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ماسوله قرار گرفته است. داده‌های اکتشاف رادیومتری هوابرد مربوط به یکی از ۴ بخش نقشه ماسوله یعنی محدوده ۱/۵۰۰۰۰ جنوب باختر ماسوله است.

محدوده مورد مطالعه ایران در جنوب خاوری استان اردبیل و شمال خاوری استان زنجان در میان عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه و طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه قرار دارد. از مهم‌ترین روستاهای منطقه می‌توان به روستاهای برندق، سفیدآب، جعفرآباد، زاویه، سرخ‌آباد، ولیس و کله‌سرا اشاره کرد. در شکل ۱ موقعیت برکه و همچنین راه‌های دسترسی به منطقه نشان داده شده است. توپوگرافی در بیشتر جاها شدید است ولی به‌طور محدود در بخش‌های خاور و جنوب خاوری محدوده مورد مطالعه، توپوگرافی ملایم‌تری دیده می‌شود. دسترسی به منطقه مورد مطالعه از دو راه امکان‌پذیر است؛ راه اول از مسیر خلخال-هشتجین که از راه جاده خاکی هشتجین - برندق می‌توان وارد روستای برندق در شمال باختر محدوده مورد مطالعه شد. راه دوم از راه جاده زنجان- طارم که پس از گذر از روستای ذاکر و سه‌راهی درام- آب بر و شهر درام از سوی جنوب خاوری محدوده مورد مطالعه می‌توان به این منطقه دسترسی پیدا کرد.

۳- مطالعه زمین‌شناسی عمومی و زمین‌ساخت منطقه

واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای سنگی پالئوزویک بالایی، مزوزویک و سنوزویک است که واحدهای سنگی پالئوزویک تشکیل‌دهنده مهم‌ترین ساختارهای سنگ‌شناسی محدوده در شمال خاوری ناحیه با امتدادی شمال باختری- جنوب خاوری دیده می‌شوند و از واحدهای دگرگونی متعلق به دوین بالایی با ترکیبی در حد اسلیت تا فیلیت، واحدهای آتشفشانی شامل گدازه‌های آندزیتی با میان‌لایه‌های ماسه‌ای و واحدهای کربناتی شامل توالی ستبری از آهک‌های تیره، خاکستری، سفید رنگ با میان‌لایه‌های دولومیتی ساخته شده است. (شکل ۲).

هوایی منطقه جنوب باختر ماسوله شامل ۵۳۱۵۴ داده رقمی به صورت ۳ مؤلفه طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و شدت پرتوسنجی عناصر رادیواکتیو است. در ابتدا برای مرتب‌سازی، داده‌های ژئوفیزیک هوایی در کلاس‌هایی رده‌بندی شدند. برای رده‌بندی، دامنه کوچک‌ترین مقدار تا بزرگ‌ترین مقدار اندازه‌گیری شده برای هر دسته از اطلاعات داده‌ها رادیومتری که شامل اورانیم، توریم و پتاسیم است، مشخص شد و به کلاس‌هایی با فواصل یکسان تقسیم‌بندی شدند. طول هر کلاس و یا دامنه هر کلاس بر اساس قاعده استورج انتخاب شد و تا حد امکان عدد صحیحی انتخاب شدند (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). رده‌بندی اطلاعات داده‌های اورانیم منطقه در ۱۱ کلاس با دامنه ۱۰۰ ppm، توریم در ۱۴ کلاس با دامنه ۴۰۰ ppm و پتاسیم ۱۱ کلاس با دامنه ۵۰ ppm انجام و نمودار ستونی داده‌ها بر اساس این رده‌بندی رسم شد (شکل ۳).

برای انجام محاسبات آماری داده‌های ژئوفیزیک هوابرد منطقه، برای پردازش و تفسیر آنها و دست‌یابی به نقشه‌های هم‌شدت و معرفی بی‌هنجاری‌ها منطقه ابتدا داده‌های اکتشافی رادیومتری هوابرد مرتب‌سازی شدند. بر این اساس همه داده‌های ژئوفیزیک رادیومتری هوابرد که ۵۳۱۵۴ داده اکتشافی رقمی بر مبنای ۳ متغیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و مقادیر شدت پرتوزایی اندازه‌گیری شده عناصر اورانیم و توریم بودند، برای اعمال مرتب‌سازی وارد نرم‌افزار اکسل و مقادیر داده‌های عیار و شدت پرتوزایی عناصر بر مبنای مقادیر کمینه تا بیشینه مرتب شدند. پس از فیلترینگ داده‌های خارج از محدوده از میان داده‌های اکتشافی، با اعمال توابع آماری بر همه داده‌های موجود با استفاده از نرم‌افزار متغیرهای آماری مورد نیاز برای داده‌های اکتشافی به‌دست آمدند (جدول ۱). پس از این مراحل جداول متغیرهای آماری این عناصر محاسبه شدند. سپس جدایش جوامع بی‌هنجاری بر پایه پراکندگی پیرامون میانگین صورت گرفته است، مهم‌ترین متغیرهای آماری که در تعبیر و تفسیر داده‌ها و جدایش جوامع بی‌هنجاری از زمینه مورد استفاده قرار گرفت شامل متغیرهای آماری میانگین، میانه، مد، پراش، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی هستند. پس از بررسی‌های آماری و برای تهیه نقشه‌های هم‌عیار، داده‌ها وارد نرم‌افزار شد. برای درون‌یابی داده‌های اکتشافی ژئوفیزیک رادیومتری منطقه جنوب باختر ماسوله با توجه به روش‌های مختلف مجذور عکس فاصله، کریجینگ و ... برای درون‌یابی داده‌ها از روش کریجینگ که برای عناصر پرتوزا معمول‌تر است استفاده شد. سپس با استفاده از روش کریجینگ، این داده‌ها برآورد شدند و نقشه‌های هم‌شدت و هم‌عیار پراکندگی عناصر پرتوزای اورانیم و توریم بر پایه متغیرهای آماری برای محدوده تهیه شدند (شکل‌های ۴ و ۵).

بررسی نقشه‌های پراکندگی عناصر پرتوزای منطقه جنوب باختر ماسوله که بر پایه روش آماری و با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ تهیه شدند، نشان‌دهنده روند گسترش محدوده‌های بی‌هنجاری عناصر پرتوزا با یک روند مشخص شمال باختر- جنوب خاور هستند و همه عناصر پرتوزا در گسترش محدوده‌های هم‌شدت از این روند پیروی می‌کنند. شدیدترین بی‌هنجاری منطبق بر نقشه‌های تهیه شده در بخش پایین نقشه به سمت جنوب باختر برای عناصر اورانیم و توریم دیده می‌شوند. همپوشانی این نقشه‌ها با نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان داد که محدوده‌های بی‌هنجاری با شدت بالا در واحدهای سنگی گرانیتی منطقه قرار دارند از این رو برای کنترل زمینی و بررسی اندازه‌گیری پرتوسنجی این سنگ‌های گرانیتی در مرحله بعد کنترل صحرائی انجام شد.

۵- کنترل زمینی محدوده‌های بی‌هنجاری عناصر پرتوزای جنوب باختر ماسوله

برای کنترل زمینی بر پایه نقشه‌های پراکندگی عناصر پرتوزا (شکل ۴)، محدوده‌های با شدت بالای تابش گاما که منطبق بر واحدهای گرانیتی منطقه جنوب باختر ماسوله

واحد سنگ‌شناسی آشکار دیگر در محدوده توده‌های نفوذی الیگوسن متشکل از استوک‌ها و دایک‌های گرانودیوریتی تا دیوریتی است که در بخش جنوبی منطقه رخنمون دارند. همچنین گسترش سازندهای نئوژن شامل رس‌های سرخ تا نارنجی، مارن با میان‌لایه‌های ژپسی، کنگلومرا حاوی پیل‌های ژپس و نمک با امتدادی شمال باختری- جنوب خاوری از روستای برندق (در پایانه شمال باختری منطقه) تا روستای انزر (جنوب خاوری منطقه) نیز در محدوده قابل توجه است. از دید زمین‌ساختی گسل‌های اصلی منطقه به ترتیب اهمیت عبارتند از:

- گسل‌هایی با امتدادهای $N50^{\circ}W$ تا $N55^{\circ}W$ که اصلی‌ترین گسل‌های منطقه را تشکیل می‌دهند.

- گسل‌هایی با امتداد $N70^{\circ}W$ تا $N75^{\circ}W$ که گسل‌های فرعی هستند و گسل‌هایی با روند $N10^{\circ}W$ تا $N25^{\circ}W$.

۴- پردازش و تحلیل داده‌های اکتشافی رادیومتری محدوده مورد مطالعه

۴-۱. ماهیت داده‌های ژئوفیزیک هوابرد جنوب باختر ماسوله
برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد که توسط هواپیما یا بالگرد انجام می‌گیرد شامل اندازه‌گیری تغییرات چندین متغیر فیزیکی زمین است. مهم‌ترین متغیرهای قابل اندازه‌گیری رسانایی، خودپذیری مغناطیسی، چگالی و تجمع عناصر رادیواکتیو شامل پتاسیم و توریم و اورانیم است. از مزایای ژئوفیزیک هوایی می‌توان به سرعت بالای برداشت، پوشش مناطق با گسترش زیاد و هزینه پایین اشاره کرد. یک روش هوابرد ممکن است تنها نشانه‌ای از مناسب بودن شرایط برای حضور کانی مورد نظر را ارائه دهد. برخی از ایزوتوپ‌های عناصر ناپایدار هستند و با انتشار تشعشعات یونی فعال به هسته پایدارتری تبدیل می‌شوند. اینها ایزوتوپ‌های رادیواکتیو یا رادیوایزوتوپ نامیده می‌شوند (قنادی مراغه، ۱۳۸۶).

از ناپودی مواد رادیواکتیو ۳ نوع پرتو اصلی منتشر می‌شود که عبارتند از پرتوهای آلفا، بتا و گاما. پرتو آلفا دو پروتون و دو نوترون دارد و از آنجایی که دارای بار و جرم است به آسانی توسط چند سانتی‌متر از هوا جذب می‌شود. ذرات بتا یک بار منفی منفرد را حمل می‌کنند و می‌توانند تا یک متر در هوا سیر کنند. ناپودی یک ذره آلفا یا بتا معمولاً هسته جدیدی را در یک حالت برانگیخته باقی می‌گذارد و انرژی اضافی به‌صورت پرتوهای گاما تشعشع می‌یابد. این پرتوها بار و جرم ندارند و از این رو بسیار نافذ هستند، به‌گونه‌ای که می‌توانند تا ۳۰ سانتی‌متر در سنگ و چند صد متر در هوا نفوذ کنند. هر فوتون پرتو گاما انرژی مجزایی دارد که مشخصه ایزوتوپ چشمه تشعشعات است. این روش، اساس طیف‌سنج پرتو گاما را تشکیل می‌دهد. روش رادیومتری بر پایه اندازه‌گیری جریان و انرژی پرتو گامای منتشر شده در طول واپاشی ایزوتوپ‌های رادیواکتیو پتاسیم، اورانیم و توریم و برآورد نسبی این مواد در سنگ‌های سطحی است. به‌دلیل تفاوت‌های موجود میان تشعشعاتی که از واپاشی پتاسیم، اورانیم و توریم به‌دست می‌آید، اندازه‌گیری کل این تشعشعات در یک بازه انرژی معین، با عنوان یک کانال شناخته‌شده، صورت می‌گیرد (IAEA-OECD, 2008)

۴-۲. پردازش و تحلیل داده‌های رادیومتری

داده‌های ژئوفیزیک هوابرد منطقه شامل اطلاعات رادیومتری تابش کلی، عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم در مقیاس محلی هستند که در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۷۸ برای سازمان انرژی اتمی و با روش برداشت هوایی تهیه شده است. برداشت داده‌ها در یک شبکه مستطیلی 1000×500 متری و فاصله خطوط کنترلی ۱۵ کیلومتری و ارتفاع پرواز ۱۰۰ متری توسط شرکت خارجی پراکلای آلمان در نواحی از ایران برای سازمان انرژی اتمی برداشت شده است، که شامل اندازه‌گیری عناصر اورانیم، توریم، پتاسیم و تابش کلی است (ضیاظریفی، ۱۳۸۵). داده‌های ژئوفیزیک

ب) نمودار (Kleemann & Twist (1989)

این نمودارها بر پایه مقدار Nb و Zr بر حسب گرم بر تن در برابر درصد وزنی SiO_2 و شامل دو محدوده گرانیتهای نوع I و A هستند. با توجه به مقادیر نتایج تجزیه شیمیایی نمودار شکل ۶ برای ۱۰ نمونه برداشت شده از محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزای منطقه جنوب باختر ماسوله جاگذاری و رسم شد.

با مشاهده نمودار شکل ۶ و بررسی شکل ۷ که بر پایه قرارگیری نتایج نمونه‌های سنگی محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزا مشخص شده است، بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده نوع I قرار می‌گیرند.

ج) نمودار تغییرات Na_2O در برابر K_2O برای جدایش گرانیتهای نوع I و S از یکدیگر (Chappell & White, 1974)

آخرین رده بندی انواع گرانیتهای بر پایه تغییرات Na_2O در برابر K_2O بررسی می‌شوند. با توجه به نتایج تجزیه ۱۰ نمونه برداشت شده از محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزای منطقه جنوب باختر ماسوله و قرارگیری نمونه‌ها در این نمودار که در شکل ۸ نشان داده شده است، بیشتر نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده گرانیتهای نوع I قرار می‌گیرند.

همان‌گونه که در این نمودارها دیده می‌شود، به نظر می‌رسد گرانیتهای مورد مطالعه نوع I هستند و در زمان پس از برخورد و در محیط کمان قاره‌ای تشکیل شده‌اند. دو نمونه‌ای که در نمودارهای تعیین نوع در گروه S قرار می‌گرفتند به دلیل هوازگی و کاهش اکسیدهای سدیم و پتاسیم و افزایش نسبت سیلیس به دیگر اکسیدها در این محدوده قرار گرفته‌اند.

با توجه به نمودارهای به‌دست آمده (شکل‌های ۶، ۷ و ۸) و با در نظر داشتن تقسیم‌بندی باروری گرانیتهای از دید استعداد تجمع اورانیم، گرانیتهای نوع I به گرانیتهای عقیم یا نابارور معروفند؛ چون بیشتر گرانیتهای حاصل از ذوب گوشته زمین هستند و اورانیم در گوشته وجود ندارد، این سنگ‌ها از دید وجود اورانیم نابارور هستند. ولی گرانیتهای نوع S به گرانیتهای بارور معروفند چرا که حاصل ذوب پوسته هستند و به دلیل شکل‌گیری اورانیم بیشتر در پوسته زمین محیط‌های مناسبی برای همراه داشتن اورانیم دارند. بیشتر شواهد نمودارهای موجود نشان از وجود گرانیتهای نوع I در منطقه دارد.

۶- نتیجه‌گیری

بررسی پراکندگی عناصر پرتوزا بر پایه دو دیدگاه اکتشافی و تأثیرات زیست‌محیطی آنها مورد اهمیت است. در این مقاله با توجه به روش‌های مختلف شناسایی پراکندگی عناصر رادیواکتیو که از سوی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی رایج شده است، استفاده از داده‌های رادیومتری هوابرد و زمینی در راستای شناسایی و اکتشاف عناصر پرتوزا در منطقه جنوب باختر ماسوله بررسی شد. در روند پردازش و تحلیل داده‌ها ابتدا ۵۳۱۵۴ داده رادیومتری هوابرد منطقه مرتب‌سازی شد و با اعمال توابع آماری روی داده‌ها متغیرهای مورد نیاز جدایش زمینه، حد آستانه و بی‌هنجاری به‌دست آمد. مقادیر پیرامون میانگین برای جداسازی جوامع مختلف در نظر گرفته شد و در ادامه نقشه بی‌هنجاری‌های عناصر رادیواکتیو با استفاده از روش کریجینگ و متغیرهای آماری داده‌ها تهیه شد. همان‌گونه که در نقشه‌های رادیومتری هوابرد نیز مشخص است روند شدت گسترش پراکندگی عناصر رادیواکتیو در منطقه با امتداد شمال باختر- جنوب خاور مطابقت دارد و در هر ۳ نقشه عناصر پرتوزا این روند تقریبی مورد تأیید قرار گرفته است. در مرحله بعدی با کنترل زمینی، محدوده‌های بی‌هنجاری مشخص شد که در این محدوده‌ها واحدهای سنگی گرانیتهای میزبان پراکندگی با شدت بالای عناصر رادیواکتیو هستند.

در واحدهای گرانیتهای رادیومتری زمینی با دستگاه‌های سنتیلومتر و طیف‌سنج برای ثبت پرتوزایی این واحدها از دید تابش کلی گاما و جدایش عناصر سهیم در ۱۸۹

شدند مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس با استفاده از سامانه تعیین موقعیت جهانی (GPS) مختصات جغرافیایی بی‌هنجاری از نقشه‌های پراکندگی استخراج و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و سامانه تعیین موقعیت جغرافیایی دسترسی به محدوده‌های بی‌هنجاری عناصر پرتوزا مهیا شد. همان‌گونه که از تطبیق با نقشه‌های زمین‌شناسی انتظار می‌رفت واحدهای سنگی محدوده‌های بی‌هنجار گرانیتهای در کنار روستای ولیس ماسوله بودند. برای ارزیابی پرتوسنجی این واحدها با استفاده از دستگاه‌های سنتیلومتر و طیف‌سنج مقادیر تابش گاما و جدایش عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم برای محدوده‌های بی‌هنجاری با ۶ نقطه برداشتی انجام شد (شکل ۵) و نتایج اندازه‌گیری‌های رادیومتری و طیف‌سنجی سنگ‌های گرانیتهای محدوده بی‌هنجاری برای مشخص کردن مقادیر پرتوزایی تابش گامای سنگ‌ها و سهم هر عنصر رادیواکتیو در تابش گامای کلی ثبت شدند (جدول ۲).

با توجه به مقادیر اندازه‌گیری و ثبت شده پرتوزایی عناصر رادیواکتیو در واحد سنگی گرانیتهای محدوده بی‌هنجاری، برداشت‌های رادیومتری نشان دادند مقادیر پراکندگی عناصر پرتوزا در سنگ‌های گرانیتهای در حد زمینه سنگ بوده است و مقادیر قابل توجهی که برای ادامه کار اکتشافی مناسب باشند را نشان نمی‌دهند. احتمالاً ثبت این واحد سنگی در برداشت‌های رادیومتری منطقه جنوب باختر ماسوله به سبب تفاوت سنگ‌شناسی در محدوده است. چنان که واحدهای گرانیتهای که زمینه بالاتری نسبت به واحدهای موجود منطقه جنوب باختر ماسوله دارند در برداشت‌های رادیومتری هوابرد به عنوان بی‌هنجاری مشخص شدند. برای اطمینان بیشتر از بارور بودن یا نابارور بودن این واحدهای گرانیتهای از دید وجود عناصر پرتوزای اورانیم و توریم در برداشت‌های زمینی ۱۰ نمونه برای تجزیه شیمیایی به روش XRF از گرانیتهای محدوده بی‌هنجاری برداشت شدند (جدول ۳) تا مطالعات باروری سنگ گرانیتهای از دید وجود عناصر پرتوزا بررسی شود.

۵- ۱. بررسی خاستگاه ماگمایی گرانیتهای محدوده بی‌هنجاری عناصر رادیواکتیو

به‌طور کلی سنگ‌های گرانیتهای، از دید خاستگاه ماگمایی به انواع S، I، A و M تقسیم می‌شوند که هر کدام از آنها ویژگی‌های خاصی دارند (درویش‌زاده، ۱۳۸۳):

- **نوع I یا سری مگنتیتی:** از تبلور ماگمای بازالتی گوشته‌ای یا از ذوب سنگ‌های آذرینی که پیش‌تر در پوسته جایگزین شده‌اند، حاصل می‌شود. این نوع گرانیتهای به دو نوع کردیلرایی (در حاشیه فعال قاره‌ای) و کالدونیایی (بالا آمدگی پس از برخورد) تقسیم می‌شوند. کانی‌های آن شامل هورنبلند، آپاتیت، بیوتیت، تیتانیت، احتمالاً آلانیت و مگنتیت است.

- **نوع S یا سری ایلمنیتی:** از ذوب مواد رسوبی دارای نسبت Na/K بالا، کلسیم و سدیم پایین و Al بالا حاصل می‌شوند. این گرانیتهای حاوی بیوتیت، مونازیت، مسکوویت و احتمالاً کردیریت، گارنت و ایلمنیت هستند و آپاتیت در آنها به‌صورت بلورهای مجزا دیده می‌شود.

- **نوع A:** در مناطق کافتی و نواحی پایدار قاره‌ای دیده می‌شوند. $\text{Na}+\text{K}$ ، F، Zr و Ca و Al پایین دارند. دارای نسبت بالایی از Fe/Mg هستند و میکاهای غنی از آهن، آمفیبول‌ها، پیروکسن‌ها و در انواع پرآلکالن، آمفیبول آلکالن مشخصه آنهاست.

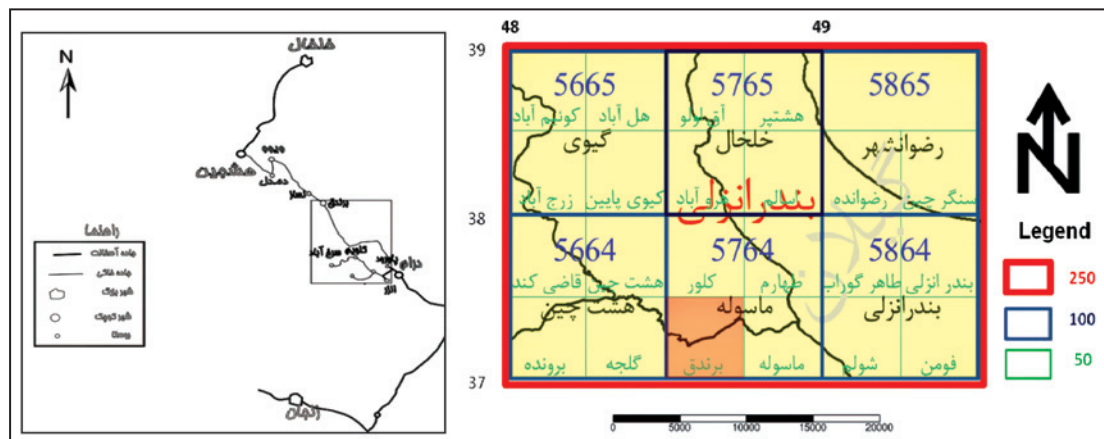
- **گرانیتهای نوع M:** زیرگروه نوع I هستند و تنها در جزایر کماتی اقیانوسی یافت می‌شود. کانی‌های آن هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن و فلدسپار پتاسیم است. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی ۱۰ نمونه برداشت شده در نمودارهای مختلف خاستگاه گرانیتهای جاگذاری و بررسی شدند.

الف) نمودار مثلثی (Bowden et al. (1984

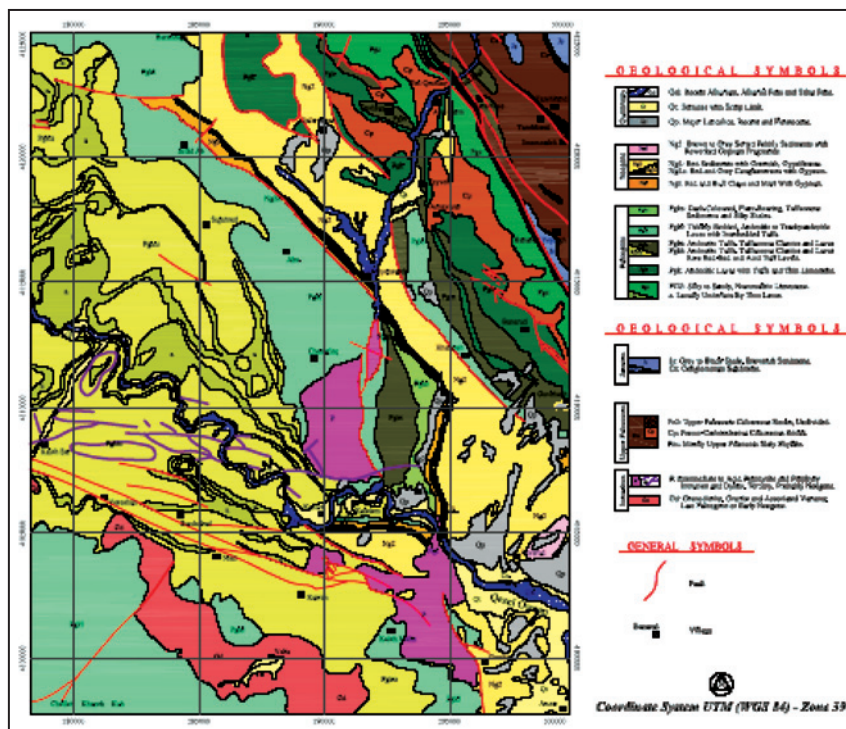
این نمودار بر پایه تجزیه مودال کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی است و بیشتر نمونه‌های محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزای جنوب باختر ماسوله همان‌گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود در محدوده I قرار گرفته‌اند.

برداشت ۱۰ نمونه برای تجزیه شیمیایی به روش فلورسانس پرتو ایکس انجام شد تا بر پایه نمودارهای استاندارد خاستگاه گرانیت‌ها باروری و ناباروری آنها در ارتباط با کانی‌سازی عناصر رادیواکتیو بررسی شود. نتایج حاصل از نمودارهای خاستگاه گرانیت‌ها نشان از تأیید نوع سنگ‌های گرانیتی با نوع I دارد که این گرانیت‌ها از دید وجود عناصر پرتوزا در رده گرانیت‌های نابارور هستند. بنابراین با نتایج مختلف برداشت‌های رادیومتری زمینی و نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی سنگ‌های محدوده بی‌هنجاری، روند پراکندگی عناصر پرتوزا در جنوب باختر ماسوله روند گسترشی شمال باختر- جنوب خاوری را نشان می‌دهند؛ ولی بر پایه اندازه‌گیری زمینی پرتوزایی سنگ‌ها و نتایج حاصل از انجام تجزیه شیمیایی، نمونه‌های سنگی محدوده بی‌هنجاری ارزش اقتصادی برای ادامه کار اکتشاف عناصر پرتوزا ندارند.

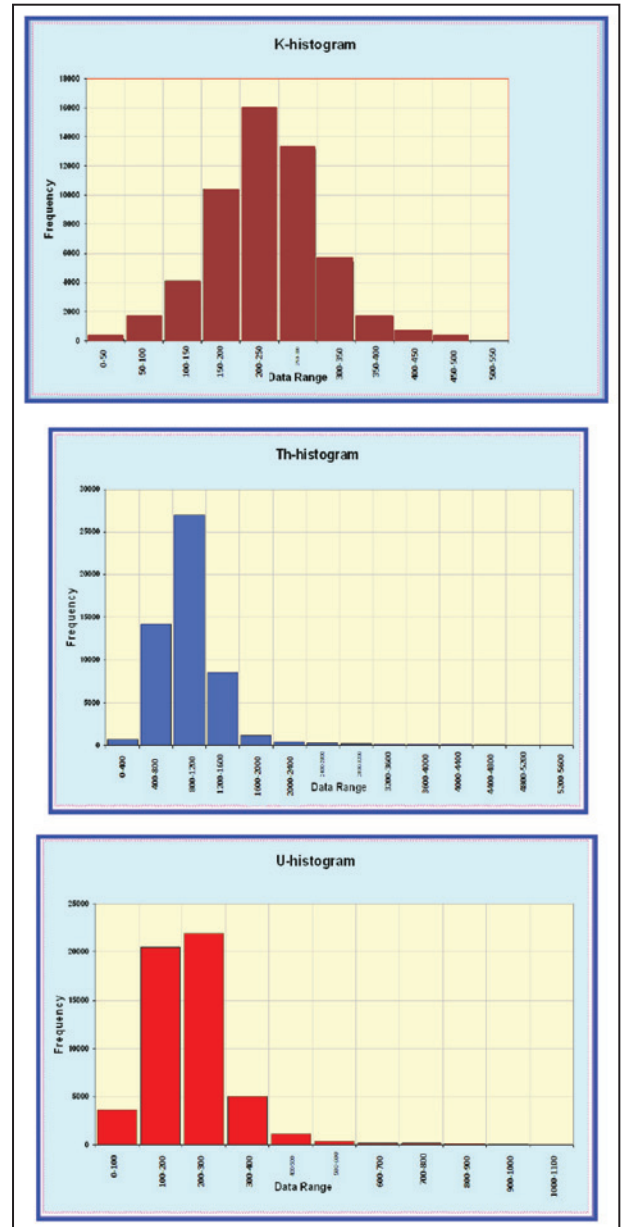
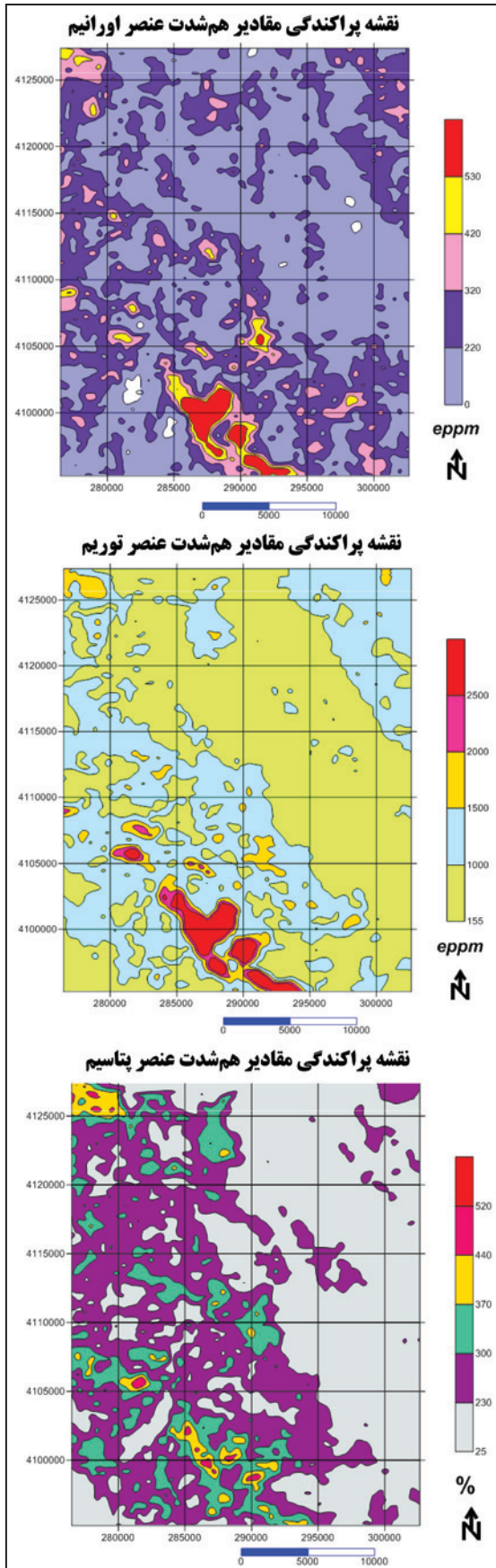
این تابش انجام شد. در برداشت‌های زمینی رادیومتری که توسط سنتیلومتر برای تابش گاما و طیف‌سنج برای جدایش سهم عناصر پرتوزا در تابش گاما انجام شد مقادیر تابش گامای سنگ‌های گرانیت محدوده بی‌هنجاری جنوب باختر ماسوله با مقدار کیمنه ۳۲۰ تابش گاما شمارش در ثانیه و مقدار بیشینه ۴۰۰ شمارش در ثانیه اندازه‌گیری شد. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده طیف‌سنجی در سنگ‌های گرانیتی بی‌هنجاری‌هایی با مقادیر ۱۳ تا ۲۲ گرم بر تن اورانیم و ۶۴ تا ۸۰ گرم بر تن توریم را نشان دادند. با توجه به واحدهای سنگی گرانیتی دارای عناصر پرتوزا و مقایسه آنها با گرانیت‌های منطقه ساغند ایران مرکزی که مقادیری بالای ۱۰۰۰ گرم بر تن اورانیم را نشان می‌دهند می‌توان نتیجه گرفت مقادیر ثبت‌شده واحدهای سنگی جنوب باختر ماسوله ارزش اقتصادی ندارند. برای بررسی بیشتر از گرانیت‌های منطقه



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه جنوب باختر ماسوله.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ماسوله.

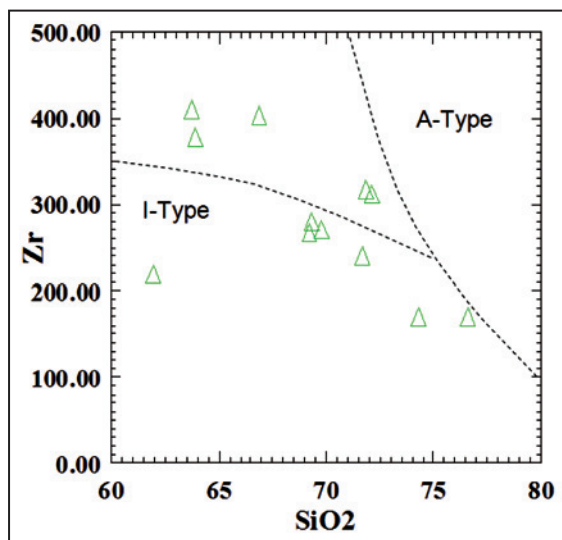


شکل ۳- نمودار ستونی (هیستوگرام) پراکندگی فراوانی داده‌های رادیومتری عناصر پرتوزا در جنوب باختر ماسوله.

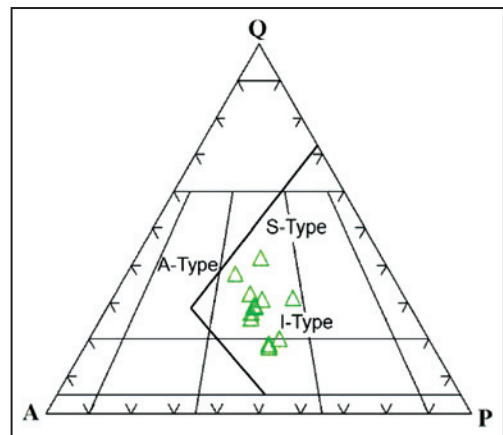
شکل ۴- نقشه‌های پراکندگی مقادیر هم شدت عناصر پرتوزای منطقه جنوب باختر ماسوله.



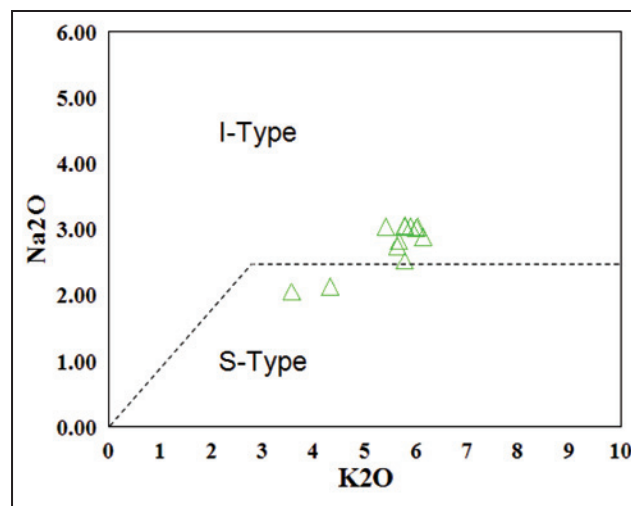
شکل ۵- برداشت‌های رادیومتری زمینی گرانیت‌های محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزا با استفاده از سستیلومتر و طیف‌سنج در منطقه جنوب باختر ماسوله.



شکل ۷- نمودار Zr و Nb در برابر وزنی SiO_2 برای جدایش انواع گرانیت‌ها (Kleemann & Twist, 1989) و موقعیت سنگ‌های محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزای منطقه جنوب باختر ماسوله.



شکل ۶- نمودار مودال QAP برای جدایش انواع گرانیت‌های I، S و A (Bowden et al., 1984) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در آن.



شکل ۸- نمودار تغییرات Na_2O در برابر K_2O برای جدایش انواع I و S از یکدیگر (Chappell & White, 1974) و موقعیت نمونه‌های محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزای مورد مطالعه در آن در منطقه جنوب باختر ماسوله.

جدول ۱- محاسبه متغیرهای آماری داده‌های رادیومتری هواپرد منطقه جنوب باختر ماسوله.

| پارامتر | Mean | Variance | SD | CV | Skewness | Kurtosis | Min | Median | Mode | Max |
|--|------|----------|-----|------|----------|----------|-----|--------|------|------|
| مقدار | ۲۲۰ | ۱۰۸۹۴ | ۱۰۴ | -/۴۷ | ۲/۲۳ | ۱۱/۰۲ | - | ۲۰۸ | ۲۰۲ | ۱۰۸۱ |
| Low Back ground = Mean = ۲۲۰ (اورانیم) | | | | | | | | | | |
| High Back ground = Mean + ۱SD = ۳۲۴ | | | | | | | | | | |
| Possible Anomaly = Mean + ۲SD = ۴۲۸ | | | | | | | | | | |
| Probable Anomaly = Mean + ۳SD = ۵۳۲ | | | | | | | | | | |
| پارامتر | Mean | Variance | SD | CV | Skewness | Kurtosis | Min | Median | Mode | Max |
| مقدار | ۱۰۲۸ | ۲۲۹۷ | ۴۷۹ | -/۴۶ | ۳/۶۳ | ۲۰/۳۱ | ۱۵۵ | ۹۵۹ | ۸۵۷ | ۵۵۰۰ |
| Low Back ground = Mean = ۱۰۲۸ (Th) | | | | | | | | | | |
| High Back ground = Mean + ۱SD = ۱۵۰۸ | | | | | | | | | | |
| Possible Anomaly = Mean + ۲SD = ۱۹۸۷ | | | | | | | | | | |
| Probable Anomaly = Mean + ۳SD = ۲۴۶۶ | | | | | | | | | | |
| پارامتر | Mean | Variance | SD | CV | Skewness | Kurtosis | Min | Median | Mode | Max |
| مقدار | ۲۳۱ | ۴۷۱۷ | ۶۸ | -/۲۹ | -/۰۷ | -/۲۷ | ۲۵ | ۲۳۲ | ۲۳۷ | ۵۱۷ |
| Low Back ground = Mean = ۲۳۱(K) | | | | | | | | | | |
| High Back ground = Mean + ۱SD = ۲۹۹ | | | | | | | | | | |
| Possible Anomaly = Mean + ۲SD = ۳۶۸ | | | | | | | | | | |
| Probable Anomaly = Mean + ۳SD = ۴۳۷ | | | | | | | | | | |

جدول ۲- برداشت‌های سنتیلومتری و طیف‌سنجی گرانیت‌های محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزای منطقه جنوب باختر ماسوله.

| نام نقطه برداشت | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | تابش گاما (شمارش بر ثانیه) | اورانیم (گرم بر تن) | توریم (گرم بر تن) | پتاسیم (درصد) |
|-----------------|---------------|---------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| ۱ | ۲۸۷۸۷۵ | ۴۱۰۰۴۴۲ | ۳۸۰ | ۱۷ | ۷۹ | ۸ |
| ۲ | ۲۸۷۹۹۱ | ۴۰۹۹۹۴۴ | ۴۰۰ | ۲۲ | ۷۲ | ۸ |
| ۳ | ۲۸۸۵۱۴ | ۴۰۹۹۸۲۷ | ۳۳۰ | ۱۹ | ۷۲ | ۶ |
| ۴ | ۲۸۸۸۹۴ | ۴۰۹۹۹۸۲ | ۳۵۰ | ۲۱ | ۷۸ | ۷ |
| ۵ | ۲۸۹۱۱۳ | ۴۱۰۰۳۵۱ | ۴۰۰ | ۱۹ | ۸۰ | ۹ |
| ۶ | ۲۸۷۹۰۲ | ۴۱۰۰۴۴۴ | ۳۲۰ | ۱۳ | ۶۴ | ۹ |

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی مربوط به ۱۰ نمونه برداشت‌شده از واحدهای سنگی محدوده بی‌هنجاری عناصر پرتوزای جنوب باختر ماسوله.

| Sample | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|--------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| 1 | 69.226 | 0.329 | 13.751 | 1.83 | 0.483 | 0.042 | 0.766 | 1.778 | 2.826 | 5.676 | 0.089 |
| 2 | 76.602 | 0.139 | 13.116 | 1.64 | 0.322 | 0.077 | 0.122 | 0.209 | 2.126 | 4.322 | 0.011 |
| 3 | 72.124 | 0.37 | 14.105 | 1.87 | 0.729 | 0.051 | 0.767 | 1.661 | 3.035 | 5.412 | 0.096 |
| 4 | 69.801 | 0.324 | 14.43 | 1.82 | 0.533 | 0.067 | 0.428 | 1.445 | 3.022 | 6.002 | 0.088 |
| 5 | 71.836 | 0.35 | 14.749 | 1.85 | 0.549 | 0.035 | 0.532 | 1.538 | 3.033 | 5.884 | 0.084 |
| 6 | 39.831 | 1.162 | 15.588 | 2.66 | 6.802 | 0.214 | 4.414 | 12.215 | 1.921 | 1.777 | 0.456 |
| 7 | 69.33 | 0.333 | 14.578 | 1.83 | 0.381 | 0.035 | 0.727 | 1.855 | 2.879 | 6.147 | 0.087 |
| 8 | 74.317 | 0.253 | 11.369 | 1.75 | 0.053 | 0.039 | 0.33 | 0.81 | 2.518 | 5.782 | 0.041 |
| 9 | 71.651 | 0.301 | 13.725 | 1.8 | 0.231 | 0.056 | 0.544 | 1.398 | 2.743 | 5.645 | 0.073 |
| 10 | 61.932 | 0.75 | 15.337 | 2.25 | 2.142 | 0.014 | 2.328 | 3.642 | 2.04 | 3.577 | 0.19 |

کتابنگاری

- حسینی پاک، ع. ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم)، انتشارات امیرکبیر تهران.
- ضیاظرفی، ا.، ۱۳۸۴- مقایسه روش‌های آمار کلاسیک و فرکتال در معرفی اندیس‌های معدنی اورانیوم، با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی هوایی در فاز شناسایی منطقه برندق، مجموع مقالات دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- ضیاظرفی، ا.، ۱۳۸۵- بررسی ناهنجاری‌های ژئوفیزیک هوایی اورانیوم در نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ بندر انزلی، گزارش اکتشافی شماره ۰۷۳۷-۸۵ شرکت تولید مواد اولیه و سوخت هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، بخش اکتشاف و استخراج.
- ضیاظرفی، ا.، ۱۳۸۹- مبانی اکتشافات رادیومتریکی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ۳۰۸ صفحه.
- ضیاظرفی، ا.، علوی گیوی، س. ر. و سمساریلر، م.، ۱۳۸۴- بررسی نقشه‌های رادیومتری و مغناطیس هوایی در ناحیه شمال غربی ایران و معرفی ناهنجاری‌های مواد پرتوزا مخصوصاً اورانیوم در ۲۳ نقشه ۱/۵۰۰۰۰ با طبقه‌بندی و اولویت‌بندی آنها از دیدگاه آماری و ژئوفیزیکی، گزارش اکتشافی شماره ۰۶۹۰-۸۴ سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.
- قنادی مراغه، م.، ۱۳۸۶- چرخه سوخت هسته‌ای از معدن تا پسماننداری، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران.

References

- Bowden, P., Batchelor, R. A., Chapell, B. W., Didier, J. & Lameyre, J., 1984- Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion., *Physics. Earth Planet Sciences*: 1-11.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R., 1974- Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8, 173-174.
- IAEA-OECD, 2008- Uranium 2007: Resources, Production and Demand, A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency (Read book 2007).
- Kleemann, G. J. & Twist, D., 1989- The compositionally zoned sheet-like granite pluton of the Bushveld Complex: Evidence bearing on the nature of A-type magmatism. *Journal of Petrology* 30: 1383-1414.
- Mulloy, K. B., James, D. S., Mohs, K. & Kornfeld, M., 2001- Lung cancer in a Nonsmoking Underground Uranium Mine, *Environmental Health Perspectives*, Vol.109, number3, March 2001, p305-309.

Investigation on Distribution of Radioactive Elements in SW Masuleh Based on the Airborne Radiometer Data, Gilan Province, Iran

A. Zia Zarifi ^{1*}, S. Mehri ², P. Afzal ³ & H. R. Jafari ⁴

¹ Assistant Professor, Mining Engineering Department, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran

² M.Sc. Student, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Mining Engineering Department, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Islamic Azad University, Jiroft Branch, Jiroft, Iran

Received: 2012 July15

Accepted: 2012 October15

Abstract

Airborne radiometer data is the best to study the distribution of radioactive elements of an area. In this paper, separation of anomaly values have been performed by means of the classical statistics, the tables of frequency distribution of uranium, thorium and potassium have been produced, the frequency distribution histograms that are introducer of distribution and dispersion of these elements have been plotted, and the statistical parameters of these elements have been estimated. The separation of anomaly value has been done based on the dispersion around the average. The distribution maps of radioactive elements were drawn. These mentioned data were controlled in the field by the radiometric measurements and chemical analysis. Finally, the results of radiometric measurements and chemical analysis revealed non-economic mineralization in the region.

Keywords: Radiometer, Radioactive elements, Frequency distribution, Masuleh, Iran.

For Persian Version see pages 187 to 194

*Corresponding author: A. Zia Zarifi; E-mail: afshar_zarifi@yahoo.com