روند کانی‌سازی عناصر پرتوزا و ارتباط آنها با سریم و ایتریم با استفاده از داده‌های لیتوژئوشیمیایی در محدوده آنومالی پنج ساغند

معصومه خلج‌معصومی [۱*]، محمد لطفی [۲]، ایوب معمار کوچه‌باغ [۳]، احمد خاکزاد [۴] و پیمان افضل [۵]

[۱] دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

[۲] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

[۳] استادیار، پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران

[۴] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال؛ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۵] استادیار، گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۴/۲۷

چکیده

منطقه مورد مطالعه در آنومالی پنج ساغند، در پهنه ساختاری ایران مرکزی و در کمربند فلززایی بافق- رباط پشت‌بادام قرار دارد. کانی‌سازی اورانیم، توریم و عناصر خاکی کمیاب در منطقه ساغند، به‌طور چیره از نوع گرمابی و متاسوماتیسم وابسته به توده‌های نفوذی منطقه (گرانیت موجود در شمال آنومالی پنج) است. تمرکز اورانیم نوع گرمابی، از سامانه شکستگی‌های ژرف پیروی می‌کند و در حواشی عدسی‌ها و توده‌های مگنتیت به جا گذاشته شده است. علت آن، ایجاد محیط‌های ژئوشیمیایی مناسب است و پدیده متاسوماتیسم آلکالن و همراهی توریم و اورانیم با عناصر خاکی کمیاب یکی از آشکارترین ویژگی‌های این چرخه فلززایی در ایران مرکزی و منطقه مورد مطالعه است. در منطقه ساغند و به‌ویژه محدوده مورد مطالعه، سریم و ایتریم همبستگی مثبت زیادی با کانی‌سازی عناصر پرتوزا (اورانیم و توریم) نشان می‌دهند. به خاطر رابطه ژنتیکی این عناصر (سریم و ایتریم)، با کمک روش آمار کلاسیک و با استفاده از محاسبه متغیرهای آماری روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی برداشت‌شده در منطقه، جدایش جوامع بی‌هنجار صورت پذیرفت، سپس نمودارهای ستونی پراکندگی فراوانی آن رسم و متغیرهای آماری عناصر محاسبه و در پایان جدایش جوامع بی‌هنجار صورت گرفت. نتایج حاصل از همبستگی مثبت و بالای توریم و اورانیم با عناصر سریم و ایتریم در منطقه نشان می‌دهد که فازهای کانی‌سازی این عناصر یکسان است و از یک سازوکار پیروی می‌کند. با تلفیق نقشه‌های ژئوشیمیایی با زمین‌شناسی مشخص شدکه کانی‌سازی عناصر پرتوزا در منطقه از نوع متاسوماتیت است که سنگ‌های اولیه منطقه، شامل واحدهای سنگی آذرآواری، دیابازها، داسیت‌پورفیری و گابرو را تحت تأثیر متاسوماتیسم قرار داده و انواع سنگ‌های اصلی منطقه آمفیبول‌متاسوماتیت، آمفیبول – آلبیت‌متاسوماتیت، آلبیت‌متاسوماتیت، آمفیبول- کوارتز- فلدسپار متاسوماتیت، آمفیبول- فلدسپار- اپیدوت‌متاسوماتیت و آمفیبول- بیوتیت- ارتوز- تالک- کلریت- اپیدوت‌متاسوماتیت را در منطقه به‌وجود آورده است. بی‌هنجاری به‌دست‌آمده برای اورانیم، با روش آمار کلاسیک، در باختر متمایل به جنوب باختری، مرکز و جنوب نقشه مشخص شد. این روش برای بی‌هنجاری توریم، نواحی باختر متمایل به جنوب باختری، مرکز و جنوب نقشه- که بخش مرکزی توریم بیشتری نسبت به اورانیم دارد- را آشکار کرد و برای بی‌هنجاری سریم و ایتریم نیز همان مناطق بی‌هنجار بالا را نشان داد، با این تفاوت که مقدار ایتریم نسبت به عناصر دیگر در مرکز، بی‌هنجاری بیشتری را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: عناصر پرتوزا، لیتوژئوشیمیایی، سریم، ایتریم، آنومالی پنج، ساغند، ایران مرکزی.

***نویسنده مسئول:** معصومه خلج‌معصومی

E-mail: Khalajmasoumi@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

آنومالی پنج ساغند، بخشی از منطقه پرتوزای ساغند است که این منطقه در عملیات اکتشافات هوایی در سال ۱۳۵۷ کشف شد. این محدوده توسط شرکت "یورا ایران" مورد عملیات پی‌جویی مقدماتی و مطالعات ژئوشیمی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ قرار گرفت و در فرایندهای اکتشاف، با بررسی‌های ژئوفیزیک، ژئوشیمی، زمین‌شناسی و حفر گمانه‌های بسیار در سطح و ژرفا شناسایی شد (سامانی و طالع‌زاده لاری، ۱۳۶۶). در زمستان و پاییز سال‌های ۱۳۵۸ و ۱۳۵۹، حمزه‌پور و همکاران بر پایه عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، شبکه رادیومتری به فواصل ۲۰۰ متر را روی زمین پیاده کردند و در مقیاس ۱:۵۰۰۰ رادیومتری با فواصل ۵۰ متر قرائت انجام دادند (سامانی و طالع‌زاده لاری، ۱۳۶۶). مهم‌ترین کانسار اکتشاف‌شده در محدوده منطقه ساغند، کانسار اورانیم ساغند است. آنومالی پنج در جنوب خاوری منطقه پرتوزای ساغند، در پایانه خاوری کویر ساغند، ارتفاعات دوزخ‌دره و در پهنه ساختاری ایران مرکزی و در کمربند متالوژنی بافق- رباط پشت بادام قرار دارد (شکل ۱- الف). از نظر راه‌های دسترسی در ۱۸۹ کیلومتری فرودگاه یزد در جاده یزد- طبس قرار گرفته است، در حدود ۴۰ کیلومتری معدن، مسیری خاکی در سمت راست جاده، که روستای ساغند است و جاده فرعی که از روستا تا کمپ ساغند ۲۵ کیلومتر و از کمپ تا آنومالی حدود ۵ کیلومتر است (شکل ۱- ب).

۲- روش پژوهش

روش کار بدین صورت است که از منطقه مورد مطالعه ۹۱ نمونه لیتوژئوشیمیایی برداشت شد (شکل۲)، که این نمونه‌ها برای عناصر خاکی کمیاب، اورانیم و توریم با روش ICP OES در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد تجزیه قرار گرفتند. برای جدایش جوامع بی‌هنجاری عناصر پرتوزا و روند کانی‌سازی آنها با عناصر ایتریم و سریم در منطقه، از روش آمار کلاسیک (حسنی پاک، ۱۳۸۹) با کمک داده‌های لیتوژئوشیمیایی (Harris et al., 1999) استفاده شد. روابط عناصر پرتوزا (اورانیم و توریم) (Razumovsky, 1940, Muecke & Chatterjee, 1983) با عناصر سریم و ایتریم با توجه به نقشه‌ها و نمودارهای مختلف به‌دست آمد و با داده‌های زمین‌شناسی مقایسه شد. برای محاسبات و رسم نقشه‌ها از نرم‌افزار RockWorks 15 استفاده می‌شود.

۳- زمین‌شناسی آنومالی پنج ساغند

این بی‌هنجاری جزو پهنه ایران مرکزی است و در کمربند فلززایی بافق- رباط پشت بادام قرار دارد (Berberian & King, 1981; Mohajjel et al., 2003; Azizi & Moinevaziri, 2009). با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰ تهیه شده (شکل ۲) توسط سازمان انرژی اتمی (سامانی و طالع‌زاده لاری، ۱۳۶۶) بخش

شمال باختری این بی‌هنجاری، رخنمونی از سنگ‌های کربناتی متبلور، لایه‌های گچ و تبخیری‌ها با میان‌لایه‌های آذرآواری (توفی) و شیل و ماسه‌سنگ است. در این مجموعه توده‌های نیمه‌آتشفشانی بازی از جنس دیاباز وجود دارد و به‌صورت محلی تحت تأثیر فلدسپاری شدن و در مواردی سرپانتینی شدن قرار گرفته‌اند. میان‌لایه‌هایی با ستبرای متفاوت (از حدود سانتی‌متر تا متر) از سنگ آهن چرتی سرخ‌رنگ و هماتیت- مگنتیت در این مجموعه توده‌های نیمه‌آتشفشانی دیده می‌شود. پیگیری لایه‌شناسی به علت زمین‌ساخت شدید منطقه مشکل بود. سن این واحد سنگی، اگر چه به ظاهر ویژگی‌های سازند ریزو و دزو را دارد، نامشخص است. در بیشتر این ناحیه پرتوزا، که تحت تأثیر متاسوماتیسم قرار گرفته‌اند، تعیین جنس و ویژگی‌های اولیه سازند میزبان مشکل است. چرخه اول سنگ‌شناسی این محدوده از لایه‌های بازالتی یا بالشتک‌های گدازه‌ای و قلوه‌های درشت شروع می‌شود که به‌سوی بالا به‌تدریج به لایه‌های آذرآواری و شیلی دارای میان‌لایه‌های مگنتیت می‌انجامد. در بالایی‌ترین بخش چرخه زیرین، لایه‌های بسیار نازک شیل و توف آهن دار وجود دارد که نشان از شرایط رسوب‌گذاری آرام دارد. چرخه دوم با گدازه‌های حد واسط تا اسیدی (ریولیتی) شروع می‌شود و به تدریج به لایه‌های کنگلومرایی توفی و سپس توف و شیل می‌انجامد. در بالایی‌ترین بخش، دو واحد (با ستبرای حدود ۱۰ تا ۲۵ متر) از ماسه‌سنگ کوارتزیتی وجود دارد که افق میان این واحدها از جنس توف و شیل است. در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه، رخنمون به‌نسبت گسترده‌ای از توده متبلور و سفید رنگ گرانیتوییدی وجود دارد که این واحد سنگی از سوی خاور و جنوب به‌صورت تدریجی به لایه‌ها و واحدهای متاسوماتیتی تبدیل می‌شود. این توده گرانیتوییدی هم‌ارز توده گرانیتی زریگان در کوه دوزخ‌دره است که به‌صورت نفوذی‌های نیمه‌ژرف و گسترش قابل توجهی در منطقه دارد. در کوه‌های تاشک و ناتک سنگ‌های دگرگونی تاشک و توده‌های دیوریتی و گرانودیوریتی را یک سری توده‌های گرانیتی قطع کرده است که با نام گرانیت زریگان معرفی شده‌اند (Haghipour, 1974)؛ صورتی و سفیدرنگ هستند و بیشتر از کوارتز و فلدسپار تشکیل شده‌اند. در جنوب دوزخ‌دره برونزد کوچکی از این توده نفوذی دیده می‌شود. همچنین Ramezani & Tucker (1995) یک نمونه از لوکوگرانیت‌های دوزخ‌دره را به روش اورانیم- سرب تعیین سن و زمانی برابر با ۱+۵۲۵/۷ میلیون سال را گزارش کرده‌اند. در پایانه جنوب خاوری منطقه مطالعه‌شده، رخنمونی با گوناگونی کنگلومرا با قلوه‌ها و تخته‌سنگ‌های کربناتی، ملات توفی- گدازه‌ای و لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و کنگلومرای دانه‌ریز وجود دارد. در بخش بالایی این افق، پدیده متاسوماتیسم (Gresens, 1967) رخ نداده و این پدیده در قاعده این افق متوقف شده است. گسترش نیافتن پدیده متاسوماتیسم در واحدهای بالاتر از این افق کنگلومرایی و وجود مواد فرسایش یافته از سازندهای کهن‌تر (به‌ویژه مواد پرتوزا از واحدهای متاسوماتیتی) و سن کانی‌سازی اورانیم (حدود ۵۰۰ تا ۵۵۰ میلیون سال) نوید این را می‌دهد که این مرز نه تنها به عنوان مرز چینه‌شناسی بلکه به عنوان مرزی در رخدادهای پرکامبرین رفتار کرده است (سامانی و طالع‌زاده لاری، ۱۳۶۶). در ناحیه ساغند اورانیم با سن پرکامبرین در مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرآواری زیردریایی قرار دارد که در فاصله چینه‌نگاشتی میان سازند تاشک و سری ریزو قرار دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). دگرسانی‌ها و ساختارهای آنومالی پنج ساغند، که با پردازش تصاویر ماهواره‌ای Aster جدا شده‌اند، نشانگر این است که در محدوده مورد مطالعه اصلی‌ترین دگرسانی، اپیدوتی و کلریتی شدن (شکل ۹) است، که در واحدهای سنگی متاسوماتیت، شامل آلبیت متاسوماتیت، آمفیبول- آلبیت متاسوماتیت (شکل ۱۰) و آمفیبول متاسوماتیت رخ داده است (شکل ۸).

پدیده متاسوماتیسم در آنومالی پنج را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد؛ ۱) تولید گرانیت از منشأ تفریق ماگمایی، یا به احتمال قوی در اثر پدیده متاسوماتیسم و حرکت آن به‌صورت دایک‌ها و نفوذی‌های مختلف در سنگ میزبان، که سبب متاسوماتیسم همبری شده است؛ ۲) مرحله دوم تحت تأثیر محلول‌های ناشی از ماگمای آلکالن و نفوذی‌های منطقه است که به‌طور چیره با کانی‌سازی اورانیم، توریم و عناصر کمیاب همراه است.

۳- ۱. متاسوماتیسم ناحیه‌ای با تولید توده‌های گرانیتی

توده‌های شبه‌گرانیتی به‌وجود آمده از سنگ‌های آذرآواری و سازندهای منطقه به علت پدیده متاسوماتیسم غنی از بخار و محلول‌های مختلف توانسته‌اند پدیده‌های فلدسپارزایی و آمفیبول‌زایی را در منطقه مورد مطالعه به‌وجود آورند. مقیاس این تغییرات از حدود چند ده سانتی‌متر تا کیلومتر است و ما را به این پرسش وا می‌دارد که آیا گرانیت ناشی از متاسوماتیسم است یا متاسوماتیسم معلول گرانیت است. این مسئله ما را مردد می‌سازد، و به این باور که احتمالاً گرانیت محصول متاسوماتیسم است و خود سبب تغییرات دگرنهادی در سنگ‌های پیرامون در مرحله تزریق شده باشد را قوت می‌بخشد و پدیده‌های دیده‌شده در رخنمون آن را تأیید می‌کند. این فاز دگرنهادی تنها جابه‌جایی و تحرک عناصری مانند اورانیم، آهن و ... دارد و توانسته است دگرنهادی مگنتیت را به وجود آورد.

۳- ۲. متاسوماتیسم پسین، پس از تشکیل توده گرانیتی

پدیده متاسوماتیسم پسین، در پی فاز آغازی به‌صورت عملکردهای محدود از آلبیت‌زایی، آمفیبول‌زایی، کربناتی شدن و مگنتیتی شدن نمود می‌یابد. این رخداد، معلول تزریق محلول‌های گرمابی قلیایی منشأ گرفته از ماگمای قلیایی ژرف است که به‌صورت نفوذی‌های مخروطی با ماهیت کربنات- متاسوماتیت، دایک‌های دیابازی، پیروکسنیت، رگه‌ها و لکه‌های سینیتی در منطقه دیده می‌شود. همخوانی ویژه‌ای میان نقاط پرتوزا و تغییرات متاسوماتیسم وجود دارد. هسته‌های حرارتی و مناطق نفوذ، به‌طور چیره دارای کانی‌سازی توریم و اورانیم است. حال آنکه، به‌سوی حاشیه و با دور شدن از مراکز حرارتی- ماگمایی مقدار توریم کاهش و به عکس میزان اورانیم افزایش می‌یابد.

به نظر می‌رسد، نوعی پهنه‌بندی قائم و افقی در این بی‌هنجاری وجود دارد. اگر چه، بخش‌های تکتونیزه بیانگر شدت تغییر بیشتری هستند. فلدسپارزایی در این بی‌هنجاری را می‌توان به دو گروه مستقل تقسیم کرد. فلدسپارهای فاز اول بیشتر آلبیتی و کرم تا سفیدرنگ است؛ حال آنکه، آلبیت‌های متاسوماتیت پسین صورتی‌رنگ هستند و در بیشتر موارد پرتوزایی بالایی دارند. آمفیبول‌ها از گروه ترمولیت- اکتینولیت بوده است. متاسوماتیت‌های قلیایی و آلبیتیت‌ها به‌همراه گرانیت‌های قلیایی میزبان‌های خوب عناصر کمیاب به‌شمار می‌روند. ترکیب عناصر کمیاب در آلبیتیت‌ها به درجه قلیاییتگی، طبیعت سنگ مادر و ترکیب رسوبات تغییر یافته در محل بستگی دارد.

۴- مطالعات آمار کلاسیک روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی

آمار کلاسیک شاخه‌ای از آمار است که پراکندگی کمیت مورد نظر را در یک یا چند جامعه، بدون در نظر گرفتن موقعیت فضایی آنها نسبت به یکدیگر، مورد بررسی قرار می‌دهد (Journel & Huijbregets, 1989; Olea, 1999; Davis, 2002; Afzal et al., 2010). این روش، به روش غیرساختاری معروف است و تنها مقدار اندازه‌گیری‌شده برای هر داده مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت نمونه در نظرگرفته نمی‌شود. یعنی در واقع، اصول محاسبات آماری در این روش در یک چهارچوب مشخص و استاندارد قرار می‌گیرد و محاسبات و عملیات تنها روی مقدار اندازه‌گیری‌شده انجام می‌شود (Reimann et al., 2005). در روش‌های بر پایه آمار کلاسیک، اگر پراکندگی عادی باشد، می‌توان از فرمول‌هایی، که بر پایه میانگین و انحراف معیار استوار است، جوامع گوناگون بی‌هنجاری را از زمینه جدا کرد. درصورتی‌که پراکندگی داده‌ها عادی نباشد، حد آستانه‌ای داده‌ها برابر میانه آنها در نظرگرفته می‌شود (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰، مدنی، ۱۳۷۳).

به عبارت دیگر، پراکندگی فضایی داده‌ها مدنظر قرار نمی‌گیرد و تحلیل، مستقل از موقعیت و پراکندگی فضایی آنها صورت می‌پذیرد (Armstrong, 1998). در روش آمار کلاسیک، پایه کار، محاسبه متغیرهای آماری مربوط به کل منطقه است، که با استفاده از متغیرهای مختلف و نوع تابع پراکندگی فراوانی، جداسازی جوامع انجام می‌گیرد (Ahrens, 1954; Carranza, 2008; Sarma, 2009). به دلیل این که داده‌های اکتشافی دارای دامنه گسترده‌ای هستند، باید رده‌بندی شوند تا یک پراکندگی فراوانی معنی‌دار حاصل شود. برای این کار، لازم است که نخست نمودار میله‌ای پراکندگی فراوانی داده‌ها (Histogram) رسم شود و بر پایه آن حدود آستانه‌ای عناصر مورد نظر انتخاب شود (شکل ۳). همچنین ویژگی‌های آماری داده‌ها در جدول ۱ آورده شده است. 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 (حسنی پاک، ۱۳۸۹) که این متغیرها برای عناصر اورانیم، توریم (ضیاظریفی، ۱۳۸۷ و جعفری، ۱۳۸۸)، ایتریم و سریم آنومالی پنج ساغند محاسبه شد. با توجه به نبود پراکندگی عادی در هر یک از این عناصر باید حد آستانه‌ای هر عنصر را برابر میانه آن در نظر گرفت. از این رو، حد آستانه‌ای بی‌هنجاری، برای عناصر اورانیم، توریم، سریم و ایتریم به‌ترتیب برابر با ۱۱۳، ۳۶، ۴۹۸ و ۴۶۵ ppm است که میانه محاسبه‌شده این عناصر است (جدول ۱).

بر پایه این مقادیر، نقشه‌های جدایش بی‌هنجاری عناصر اورانیم، توریم، سریم و ایتریم از زمینه توسط نرم‌افزارهای ArcGIS و Rockworks تهیه شد (شکل ۴). از این رو، بی‌هنجاری‌های اورانیم در بخش‌های جنوب باختری، مرکز و جنوب منطقه قرار دارد. در بخش‌های باختری متمایل به جنوب باختر، مرکزی و جنوب محدوده توریم بی‌هنجاری نشان می‌دهد. بی‌هنجاری‌های عناصر سریم و ایتریم منطبق بر بی‌هنجاری‌های عناصر پرتوزا است. البته بی‌هنجاری سریم و ایتریم در مرکز محدوده شدیدتر نسبت به عناصر پرتوزاست.

برای یافتن ارتباط میان عناصر، ضرایب همبستگی میان آنها محاسبه شد. عناصر ایتریم و سریم همبستگی مثبت زیادی با عناصر پرتوزا در آنومالی پنج ساغند دارد، که سریم دارای ضرایب همبستگی ۰/۹۲ با توریم و ۰/۸۵ با اورانیم است؛ همچنین ایتریم ضریب همبستگی ۰/۸۹ با توریم و ضریب همبستگی ۰/۷۷ با اورانیم دارد. اورانیم و توریم همبستگی ۰/۸۶ و سریم و ایتریم نیز همبستگی ۰/۹۸ دارند. همبستگی بالای این عناصر و روابط آنها با هم نشان می‌دهد که فازهای کانی‌سازی عناصر پرتوزا با عناصر سریم و ایتریم یکسان است و از یک سازوکار پیروی می‌کند؛ یعنی به طور کامل با هم همزاد هستند (شکل ۵).

۵- تلفیق داده‌های زمین‌شناسی با بی‌هنجاری‌های عناصر

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰ آنومالی پنج ساغند، بخش‌های باختری آلبیت‌های گوشتی رنگ دارند و در بخش‌های مرکزی محدوده مورد مطالعه بی‌هنجاری پرتوزا بیشتر مربوط به سنگ‌های آمفیبول متاسوماتیت و آمفیبول- آلبیت متاسوماتیت است که دارای عناصر پرتوزای اورانیوم و توریوم با پرتوزایی بالا هستند. پس به‌طورکلی، گستره پرتوزایی در باختر و جنوب باختری و مرکز بیشتر است و وجود عناصر سریم و ایتریم به‌همراه اورانیم و توریم می‌تواند مجموعه‌ای از پتانسیل‌های مختلف همچون عناصر خاکی کمیاب به‌شمار آید، که این عناصر بیشتر در متاسوماتیت‌های دارای عناصر پرتوزا یافت می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه، پدیده متاسوماتیسم (Gresens, 1967) حالتی پیشرونده داشته که سنگ‌های اولیه منطقه را (سنگ‌های آذرآواری، گدازه‌های بازی و اسیدی) به سنگ‌های مختلف همچون آلبیت متاسوماتیت، آمفیبول- آلبیت متاسوماتیت، کربنات متاسوماتیت، آمفیبول- کوارتز- فلدسپار متاسوماتیت، آمفیبول- فلدسپار- اپیدوت متاسوماتیت و آمفیبول- بیوتیت- ارتوز- تالک- کلریت- اپیدوت متاسوماتیت تبدیل کرده است. پراکندگی این عناصر در این محدوده تمرکز بی‌هنجاری دارد که بیانگر کانی‌سازی عناصری مانند سریم و ایتریم است. این عناصر در سنگ‌های قلیایی و محلول‌های ناشی از فعالیت ماگمایی قلیایی یافت می‌شوند. پس می‌توان ادعا کرد که کانی‌سازی اورانیم، توریم و عناصر خاکی کمیاب در این منطقه بیشتر از نوع گرمابی و متاسوماتیسم وابسته به توده‌های نفوذی منطقه است که در بخش زمین‌شناسی شرح کامل از تشکیل این توده‌های نفوذی ارائه شد. در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه، رخنمون به‌نسبت گسترده‌ای از توده متبلور و سفیدرنگ گرانیتی وجود دارد که این واحد سنگی از سوی خاور و جنوب به‌صورت تدریجی به لایه‌ها و واحدهای متاسوماتیتی تبدیل می‌شود.

تلفیق لایه زمین‌شناسی و بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی در این منطقه نشانگر عبور گسل‌ها از مناطق بی‌هنجار عناصر و نیز تطبیق دگرسانی‌ها با مناطق بی‌هنجار این عناصر است (شکل ۶). اپیدوتی‌شدن با شدیدترین بی‌هنجاری‌های عناصر در بخش باختری و جنوب باختری منطقه همپوشانی دارد. همچنین بی‌هنجاری‌های اورانیم و سریم در بخش مرکزی محدوده با آلبیتی‌شدن محدود، کلریتی‌شدن و اپیدوتی شدن همپوشانی دارد (شکل۹). دگرسانی‌های اپیدوتی و کلریتی‌شدن موجود در مرکز و جنوب باختر منطقه که در واحدهای متاسوماتیت رخ داده، با بی‌هنجاری‌های به‌دست آمده از روش آمار کلاسیک همخوانی دارد و دگرسانی آلبیتی (Porto da Silveira et al., 1990) گوشتی‌رنگ، (معمارکوچه باغ و امیله، ۱۳۷۳)، که دارای عناصر پرتوزا است، در واحد زمین‌شناسی آلبیتیت به خوبی جواب داده است (شکل ۷). بر پایه نظریه Zerum et al. (1990) وجود آلبیت‌های سرخ‌رنگ، ساختمان توده‌ای از نوع درجه حرارت پایین و وجود آثار باقیمانده از پلاژیوکلازها و فلدسپارهای قلیایی تأثیرات پدیده آلبیت متاسوماتیسم در ناحیه را مورد تأیید قرار می‌دهند، همچنین ایشان به این مسئله باور دارند که فرایندهای اپیدوت و کلریت‌زایی در منطقه متاسوماتیسم‌شده به‌وجود آمده است. با توجه به پراکندگی واحدهای سنگی متاسوماتیت‌شده، که در مرکز نقشه ۱:۲۰۰۰ آنومالی پنج ساغند بیشترین رخنمون را دارند، بیشترین عامل کنترل‌کننده متاسوماتیسم است که در راستای آن دگرسانی‌های اپیدوتی، سنگ‌های وابسته به متاسوماتیسم را همراهی می‌کند. نظر به اینکه این نوع متاسوماتیسم در نیمه شمالی منطقه رخ نداده است، انتظار نمی‌رود که در آنجا بی‌هنجاری رخ داده باشد، چرا که انتشار واحدهای نیمه آتشفشانی کوارتزدیوریتی این پدیده را به‌طورکامل همراهی نکرده است.

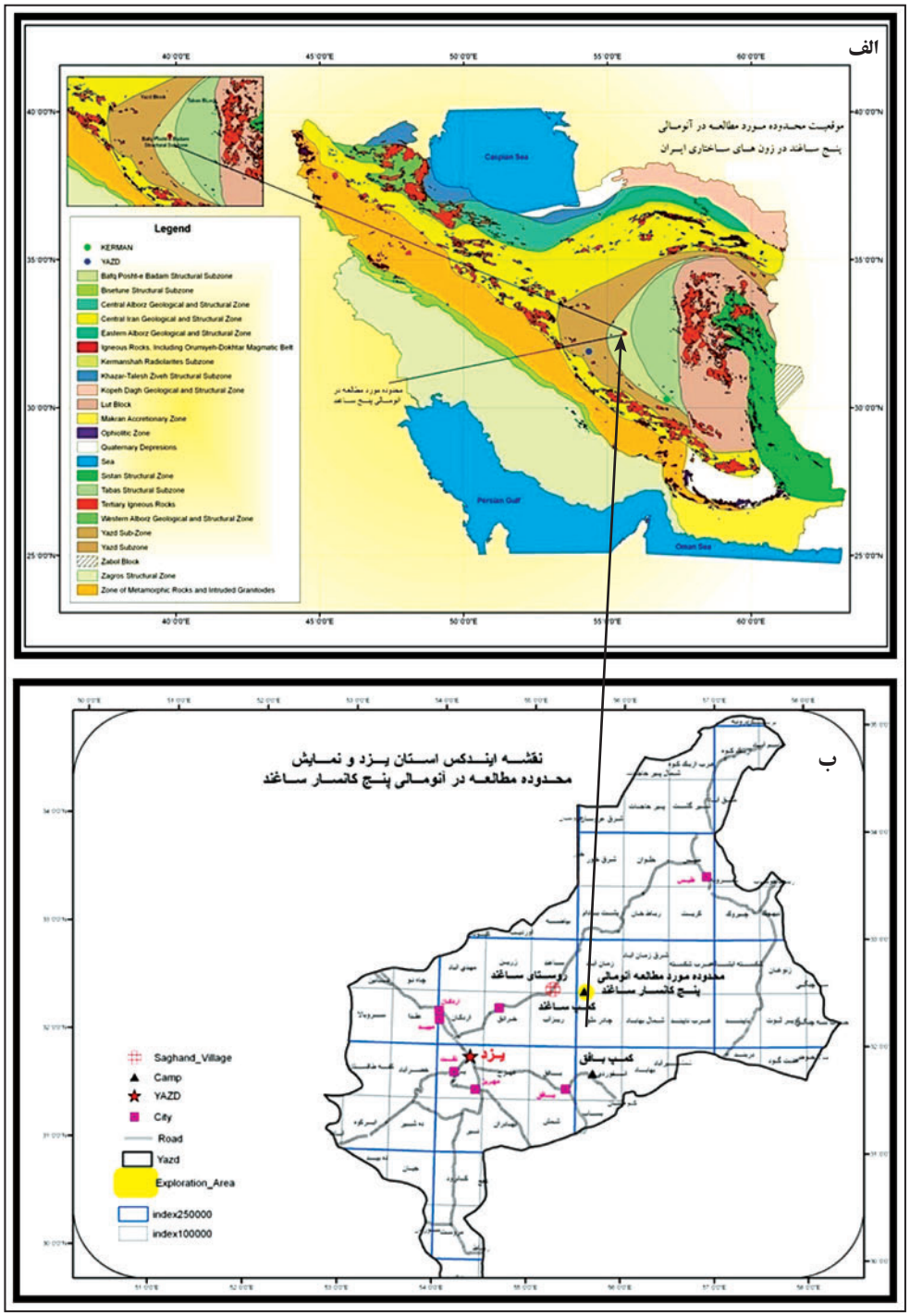
۶- نتیجه‌گیری

مطالعات نشان می‌دهد که در این منطقه پتانسیل مناسبی از عناصر پرتوزا و نیز سریم و ایتریم دیده می‌شود. بالاترین میزان عیار عناصر پرتوزا در بخش باختری و جنوب باختری و منطبق بر بی‌هنجاری عناصر سریم و ایتریم دیده می‌شود. همچنین اورانیم و سریم بی‌هنجاری شدیدی را در بخش مرکزی محدوده نشان می‌دهند. بخش بزرگی از نیمه جنوبی منطقه جزو مناطق بی‌هنجار، منطبق بر روند گسل‌ها و تمرکز یافته در کنار گسل‌هاست. دگرسانی اپیدوتی همپوشانی با بی‌هنجاری‌های بخش باختر و جنوب باختری محدوده دارد. در حالی که، دگرسانی کلریتی و بخشی از دگرسانی آلبیتی در بخش مرکزی و منطبق با بی‌هنجاری‌های اورانیم و سریم است. در منطقه مورد مطالعه، پدیده متاسوماتیسم حالتی پیشرونده داشته که سنگ‌های اولیه منطقه را (سنگ‌های آذرآواری، گدازه‌های بازی و اسیدی) به سنگ‌های مختلف همچون آلبیت متاسوماتیت، آمفیبول- آلبیت متاسوماتیت (شکل۱۰)، آمفیبول متاسوماتیت (شکل ۸) و کربنات متاسوماتیت تبدیل کرده است. فعالیت ماگمایی قلیایی سبب پدیده متاسوماتیسم و ایجاد انواع واحدهای سنگی شده است و محلول‌های همراه، که غنی از سدیم و کربنات بوده‌اند، توانسته‌اند عناصر فلزی را از سنگ‌های میزبان (در آنومالی پنج سنگ‌های آذرآواری، دیابازها، گرانیت‌ها و گابروها) و سر راه آزاد و با

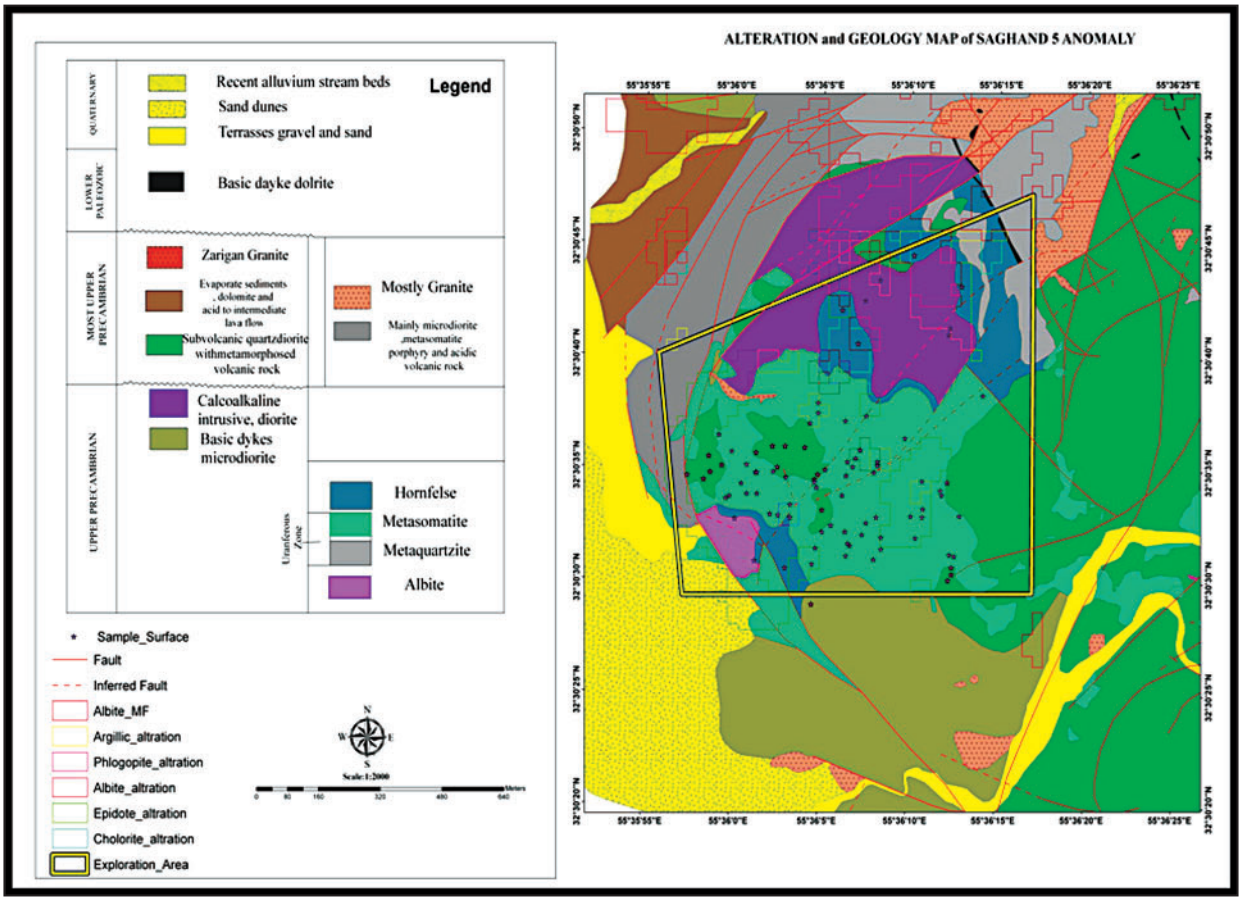
خود حمل کنند و به فراخور شرایط ژئوشیمیایی در میدان پایداری، هر یک را به‌طور مستقل بر جای گذارند. اورانیم به‌صورت کمپلکس سدیم و کربنات و در حالت اکسیدان (۶ ظرفیتی) حمل و در برخورد محلول‌های گرمابی با کانی‌ها و عناصر احیاکننده مانند آمفیبول، سولفیدها و مگنتیت به‌صورت کانی‌های چهارظرفیتی اورانیم مانند دیویدایت در میزبان‌های مختلف نهشته می‌شود و به خاطر رابطه ژنتیکی این عناصر با مواد پرتوزای اورانیم و توریم (نوع متاسوماتیت و آذرین)، دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی اورانیم با روش دورسنجی شناسایی و جدا شد؛ نتیجه اینکه در منطقه مورد مطالعه بیشتر سنگ‌ها از نوع آلبیت متاسوماتیت، آمفیبول- آلبیت متاسوماتیت (شکل ۱۰) و آمفیبول متاسوماتیت هستند که میزبان‌های خوبی برای عناصر خاکی کمیاب هستند.

سپاسگزاری

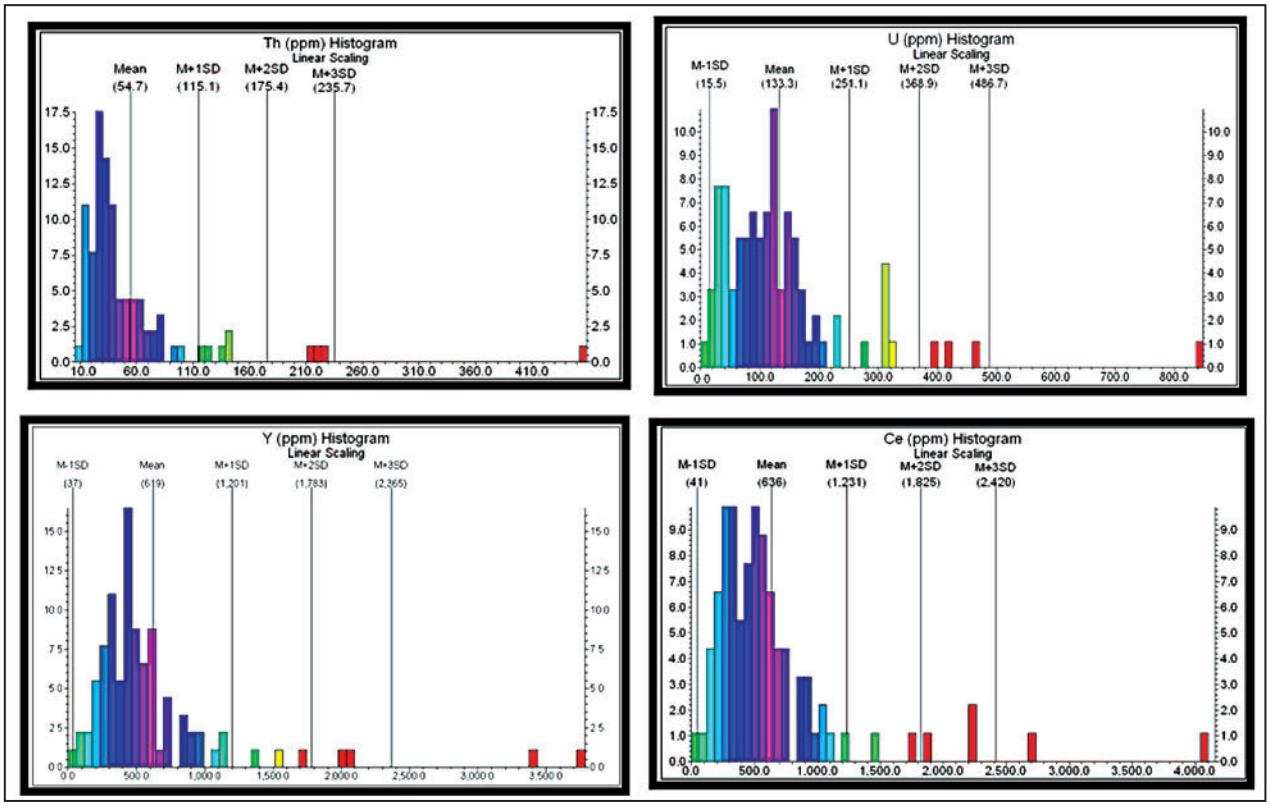
نگارندگان از سازمان انرژی اتمی که شرایط را برای نمونه‌برداری و انجام این پژوهش فراهم کردند و همچنین از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور که تجزیه‌های ICP OES مرتبط با عناصر پرتوزا و عناصر خاکی کمیاب را انجام دادند، سپاسگزاری می‌کنند.



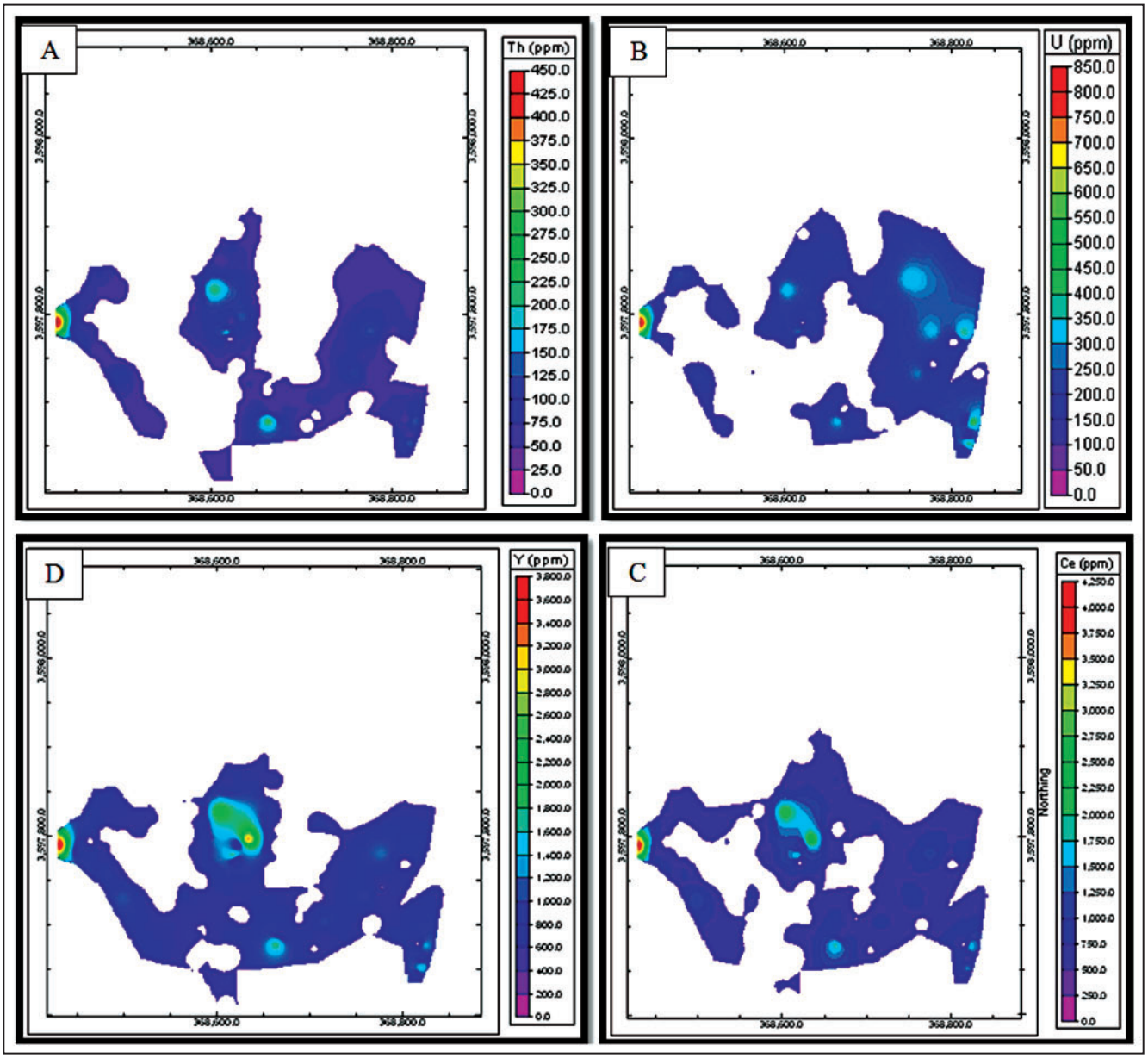
شکل۱- الف) نمایی از پهنه‌های ساختاری ایران که محدوده مورد مطالعه در پهنه ایران مرکزی و کمربند فلززایی بافق- رباط پشت بادام قرار دارد (Berberian & King, 1981; Mohajjel et al., 2003; Azizi & Moinevaziri, 2009)؛ ب) موقعیت محدوده آنومالی پنج ساغند و راه‌های دسترسی به آن در استان یزد.



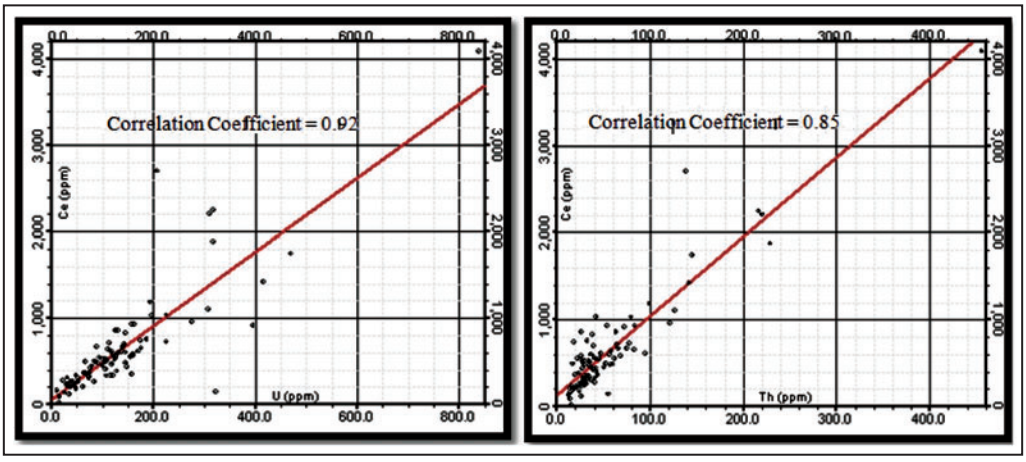
شکل ۲- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و نمایش دگرسانی‌های استخراج شده از دورسنجی از منطقه آنومالی پنج ساغند به‌همراه موقعیت نقاط نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی.



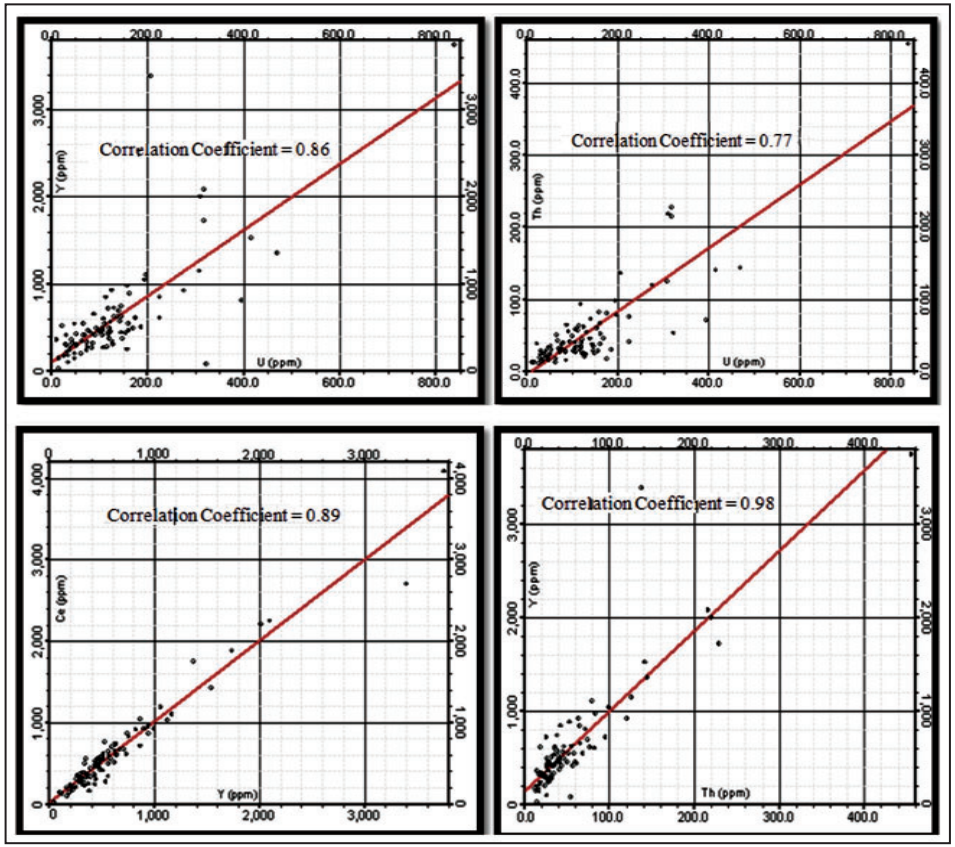
شکل ۳- نمودارهای ستونی عناصر اورانیم، توریم، ایتریم و سریم در آنومالی ۵ ساغند.



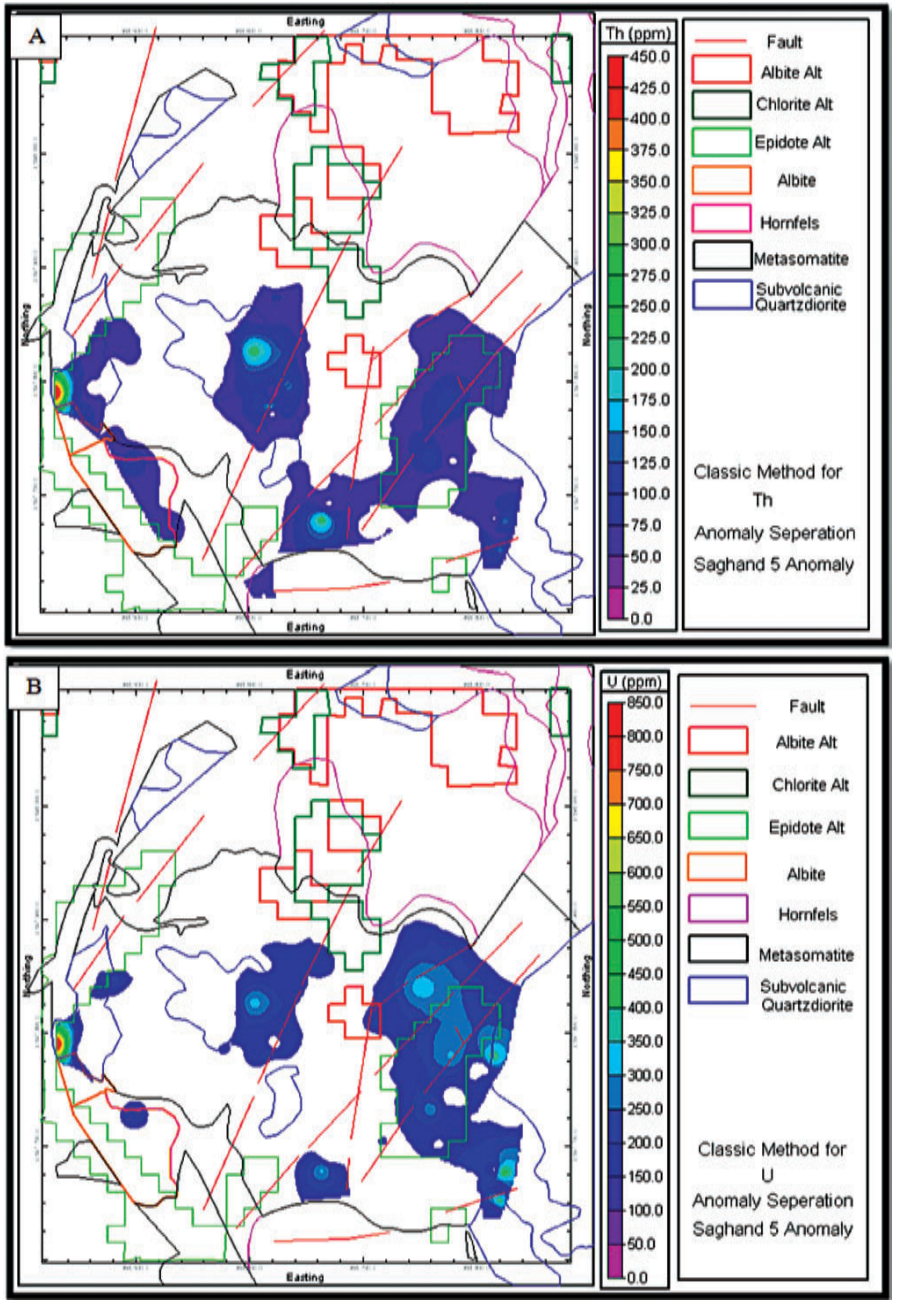
شکل ۴- نقشه بی‌هنجاری‌های عناصر اورانیم، توریم، سریم و ایتریم در آنومالی شماره ۵ ساغند با روش آمار کلاسیک.



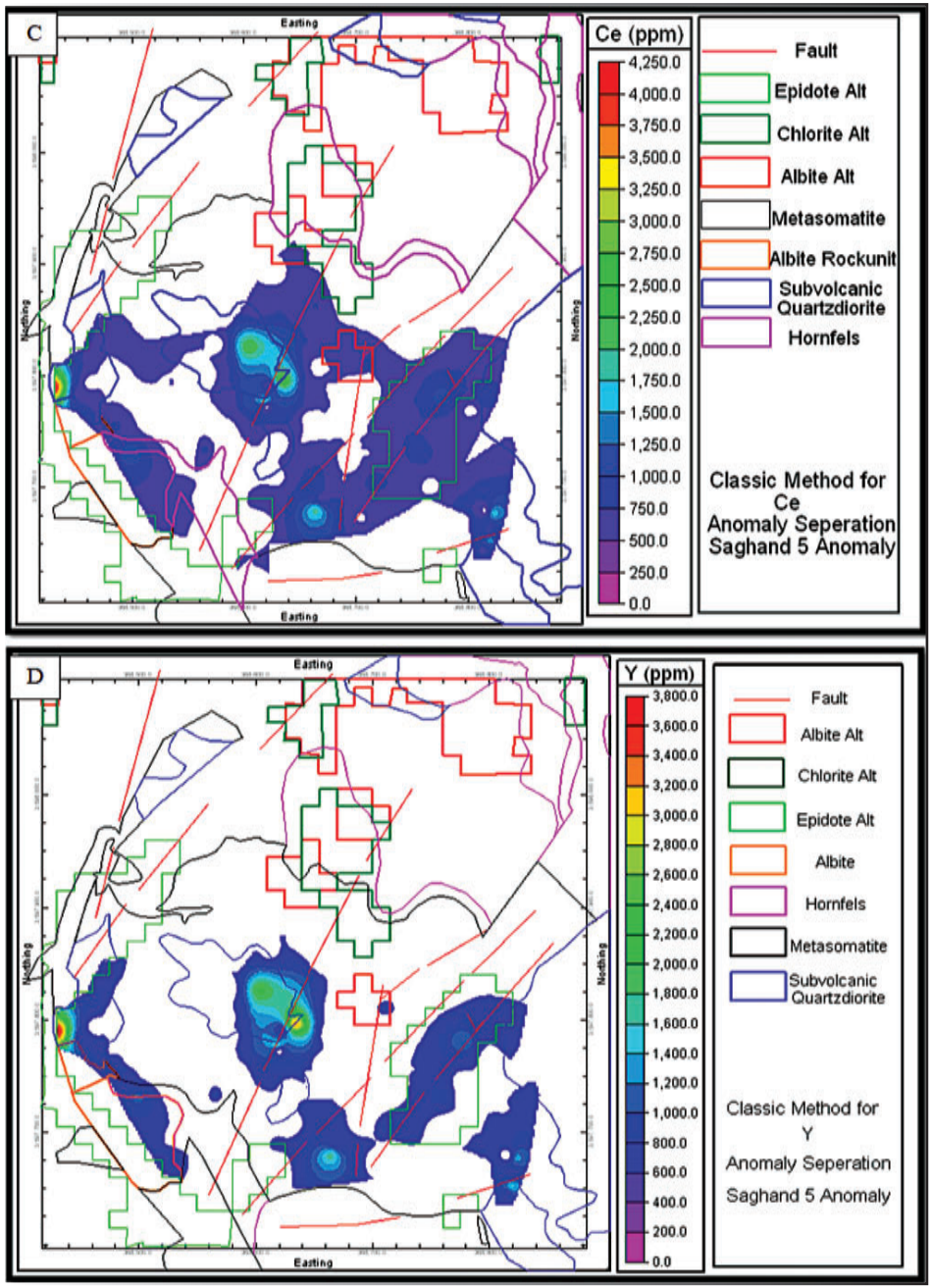
شکل ۵- ضرایب و نمودارهای همبستگی میان عناصر اورانیم، توریم، سریم و ایتریم در آنومالی ۵ ساغند.



ادامه شکل ۵



شکل ۶- انطباق بی‌هنجاری‌های عناصر توریم، اورانیم، سریم و ایتریم با دگرسانی‌ها و ساختارها در محدوده مورد مطالعه.

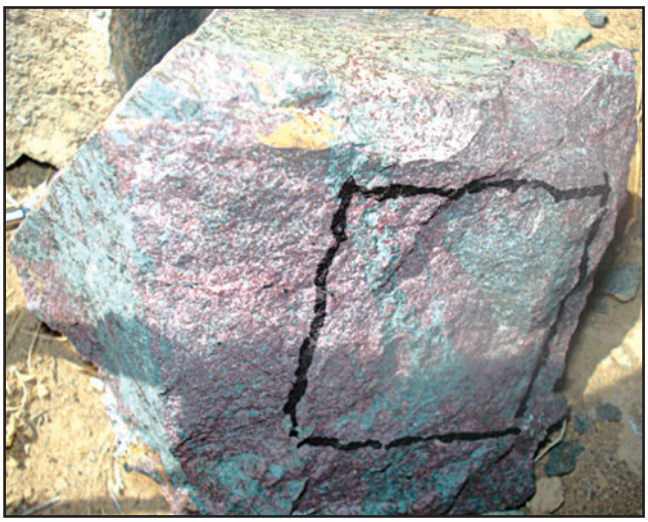


ادامه شکل ۶

شکل ۷- آلبیت‌های متاسوماتیت گوشتی‌رنگ با پرتوزایی بالا، در آنومالی ۵ ساغند.

شکل ۸- آمفیبول متاسوماتیت با پرتوزایی بالا، در آنومالی ۵ ساغند.

شکل ۹- دگرسانی اپیدوتی و کلریتی در واحدهای متاسوماتیت، در آنومالی ۵ ساغند.



شکل ۱۰- آلبیت آمفیبول متاسوماتیت در آنومالی ۵ ساغند.

جدول ۱- متغیرهای آماری و نتایج حاصل از آن برای عناصر اورانیم، توریم، سریم و ایتریم در آنومالی ۵ ساغند.

متغیر	میانگین	واریانس	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه	میانه
U (ppm)	۱۳۳/۳۱۸۶۸۱۳	۱۳۸۷۱/۶۹	۱۱۷/۷۷۸۱	۰/۸۸۳۴۳۳	۳/۰۳۴۰۶۳۷۸۶	۱۳/۹۹۰۷۷۴۵۷	۱۰	۸۳۷	۱۱۳
Th (ppm)	۵۴/۷۳۶۰۴۹	۳۶۳۸/۳۷	۶۰/۳۱۸۹	۱/۱۰۱۹	۴/۱۰۷۹	۲۲/۲۴۲۳۷۹	۱۱/۶۵۱	۴۵۵/۰۱	۳۵/۷۰
Ce (ppm)	۶۳۶/۰۲۸۲۸	۳۵۳۶۰۶/۴	۵۹۴/۶۹	۰/۹۳۴۹۴	۳/۲۷۸۹۹۵	۱۴/۰۲۱	۳۱/۹	۴۰۹۵	۴۹۸/۲۰
Y (ppm)	۶۱۸/۹۰۰۰۱۲	۳۳۸۷۱۱/۹۳	۵۷۸/۷۸	۰/۹۴۰۳۶۱	۳/۴۲۲۰	۱۴/۲۹۲۳۷	۳۴/۴	۳۷۵۵	۴۶۵/۳۳

کتابنگاری

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

جعفری، ح.، ۱۳۸۸- معرفی ناهنجاری اورانیوم منطقه ده‌سیاهان در برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ سیرجان، فصلنامه علمی و پژوهشی زمین و منابع لاهیجان، سال اول، شماره اول.

حسنی‌پاک، ع. ا. و شرف‌الدین م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی (جدایش زمینه از آنومالی، آمار و احتمال مهندسی، تخمین ذخیره)، انتشارات دانشگاه تهران.

حسنی‌پاک، ع. ا.، ۱۳۸۹- زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.

سامانی، ب. و طالع‌زاده لاری، ی.، ۱۳۶۶- گزارش فاز اول طرح اکتشاف اورانیوم در آنومالی پنج ناحیه ساغند (ایران مرکزی)، سازمان انرژی اتمی ایران واحد اکتشاف، گزارش داخلی، شماره ۲۲۵.

ضیاظریفی، ا.، ۱۳۸۷- اکتشاف ناحیه‌ای اورانیوم در برگه ۱:۵۰۰۰۰ ترک و اونلیق (آذربایجان شرقی)، رساله دکترای تخصصی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، فصل سوم.

مدنی، ح.، ۱۳۷۳- مبانی زمین‌آمار، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

معمار کوچه‌باغ، ا. و امیله، ا.، ۱۳۷۳- ارتباط کانی‌سازی اورانیوم با پدیده متاسوماتیسم سدیک در آنومالی پنج ساغند در ایران، مجله سازمان انرژی اتمی، شماره ۱۷، صفحه ۲۴- ۲۷.

References

Afzal, P., Khakzad, A., Moarefvand, P., Rashidnejad Omran, N., Esfandiari, B. & Fadakar Alghalandis, Y., 2010- Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 104, p.p. 34-46.

Ahrens, L. H., 1954- the lognormal distribution of the elements (a fundamental law of geochemistry and its subsidiary), Geochim. Cosmochim. Acta. Vol. 5, p.p. 49–73.

Armstrong, M., 1998- Basic Linear Geostatistics, Springer. E.H. Isaaks and R.M. Srivastava, 1989, An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, 561 pages.

Azizi, H. & Moinevaziri, H., 2009- Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran. Journal of Geodynamics, 47, 167-179.

Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards the Paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, 18, 210-265.

Carranza, E. J. M., 2008- Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS, Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol. 11. Elsevier, Amsterdam. 351 pp.

Davis, J. C., 2002- Statistics and Data Analysis in Geology, 3th ed. John Wiley & Sons Inc, New York.

Gresens, R. L., 1967- Composition-volume relationships of metasomatism, Chemical Geology, Volume 2, 1967, Pages 47–65.

Haghipour, A., 1974- Petrology and tectonic activity of the pre-cambrian sediments of Biabanak and Bafgh regions of Central Iran, Geol. Surv. Iran., Rep.34, p.403.

Harris, J. R., Wilkinson, L., Grunsky, E., Heather, K. & Ayer, J., 1999- Techniques for analysis and visualization of lithogeochemical data with applications to the Swayze Greenstone Belt, Ontario, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 67, p.p. 301–334.

Journel, A. G. & Huijbregets, C. J., 1989- Mining Geostatistics, ACADEMIC PRESS.

Mohajjel, M., Fergosson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21, 397-412.

Muecke, G. K. & Chatterjee, A. K., 1983- Lithogeochemistry as an indicator of uranium and tin mineralization, South Mountain Batholith, Nova Scotia, Canada, Journal of Geochemical Exploration, Journal of Geochemical Exploration, Volume 19, Issues 1–3, December 1983, Pages 589-594.

Olea, R. A., 1999- Geostatistics for Engineers and Earth Scientists, Kluwer Academic Publishers, 303 pages.

Porto da Silveira, C. L., Schorscher, H. D. & Miekeley, N.,1990- The geochemistry of albitization and related uranium mineralization, Espinharas, Paraiba (PB), Brazi, Journal of Geochemical Exploration, Volume 40, Issues 1–3, 5 August 1991, Pages 329–347.

Ramezani, J. & Tucker, R. D., 1995- the Saghand Region, Central Iran: U-Pb Geochronology, Petrogenesis and Implications for Gondwana Tectonics, American Journal of Science, vol.303, September, 2003, p.622-655.

Razumovsky, N., 1940- Distribution of metal values in ore deposits, Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS, Vol. 9, p.p. 814–816.

Reimann, C., Filzmoser, P. & Garrett, R. G., 2005- Background and threshold: critical comparison of methods of determination, Sci. Total Environ., Vol. 346, p.p. 1–16

Sarma, D. D., 2009- Geostatistics with Applications in Earth Sciences, Springer, Second Edition.

Zerum, G. U., Zhizhag, H. & Xi Heng, F., 1990- Report on research programe at Saghand District, Iran, report by Atomic Energy Department of Iran.

Mineralization Trend Radioactive Elements and Their Relation to Serium and Yttrium Using Data Lithogeochemical in Saghand Fifth Anomaly

M. Khalajmasoumi [1*], M. Lotfi [2], A. Memar Kuchebagh [3], A. Khakzad [4] & P. Afzal [5]

[1] Ph.D. Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

[2] Associate Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch ; Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[3] Assistant Professor, Institute of Nuclear Fuel Cycle Atomic Energy Organization, Tehran, Iran

[4] Associate Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch ; Geology Department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[5] Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2012 February 22 Accepted: 2012 July 17

Abstract

The studied area in the Saghand fifth anomaly is located in the Bafgh-Posht-e-Badam metalogeny belt in the Central Iran zone. Uranium, Thorium and Rare Earth Elements mineralization are hydrothermal and metasomatism type related to area intrusion bodies (Granite and Gabbro available in the north of study area). Uranium of hydrothermal type followed by deep fracture systems and concentrated around the magnetite bodies. The reasons are geochemical environment and alkaline metasomatism of Uranium - Thorium and Rare Earth Elements produced under an important metalogeny cycle in the Central Iran and studied area. The tudied area in special case, Cerium and Yttrium show positive correlation with mineralization of radioactive materials (Uranium – Thorium). Considering the genetic relationship between these elements (Cerium and Yttrium), popular separation of anomalous elements carried out by using classical statistical methods for lithogeochemical data and calculated statistical parameters. Then, the frequency distribution histograms along the calculation were plotted and consequently, the separation of anomalous element populations carried out. High positive correlation among the radioactive elements (U & Th) and Rare Earth Elements such as Cerium and Yttrium indicated that their mineralization phase generated from the same origin. Compilation of geochemical and geological rock unit maps designated that the radioactive ore mineralization was controlled by metasomatism, which produced different types of albite metasomatite, amphibole metasomatite, and albite-amphibole metasomatite from the rocks of pyroclastics, diabase, dacite and gabbro in the area. Uranium and Thorium anomalies calculated by classical statistical methods are mostly distributed in the west, southwest, and central part of the area, but in the central part the Th-intensity relatively was stronger than the Uranium. The anomaly trend for Cerium and Yttrium are the same as the Uranium and Thorium, but Yttrium anomaly in the central part is more intensive than the others.

Keywords: Radioactive Elements, Lithogeochemical, Serium, Yttrium, Fifth Anomaly, Saghand, Central Iran.

For Persian Version see pages 201 to 210

*Corresponding author: M. Khalajmasoumi; E-mail: Khalajmasoumi@gmail.com