

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

معصومه خلیج معصومی^{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 فلزایی بافق-رباط پشت بادام قرار دارد. کانی‌سازی اورانیم، توریم و عناصر خاکی کمیاب در منطقه ساغند، به‌طور چیره از نوع گرمایی و متاسوماتیسم وابسته به توده‌های نفوذی منطقه (گرانیت موجود در شمال آنومالی پنج) است. تمرکز اورانیم نوع گرمایی، 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 فلزایی در ایران مرکزی و منطقه مورد مطالعه است. در منطقه ساغند و به‌ویژه محدوده مورد مطالعه، سیریم و ایتریم همبستگی مثبت زیادی با کانی‌سازی عناصر پرتوزا (اورانیم و توریم) نشان می‌دهند. به خاطر رابطه ژنتیکی این عناصر (سیریم 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 پراکنندگی 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 سیریم 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 شد که کانی‌سازی عناصر پرتوزا در منطقه از نوع متاسوماتیت است که سنگ‌های اولیه منطقه، شامل واحدهای سنگی آذرآواری، دیابازها، داسیت پورفیری و گابرو را تحت تأثیر متاسوماتیسم قرار داده و انواع سنگ‌های اصلی منطقه آمفیبول متاسوماتیت، آمفیبول - آلپیت متاسوماتیت، آلپیت متاسوماتیت، آمفیبول - کوارتز - فلدسپار متاسوماتیت، آمفیبول - فلدسپار - اپیدوت متاسوماتیت و آمفیبول - بیوتیت - ارتوز - تالک - کلریت - اپیدوت متاسوماتیت را در منطقه به وجود آورده است. بی‌هنجاری به‌دست آمده 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 سیریم 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، سیریم، ایتریم، آنومالی پنج، ساغند، ایران مرکزی.

* نویسنده مسئول: معصومه خلیج معصومی

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 پی‌جی‌وی 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 کانساز اکتشاف‌شده در محدوده منطقه ساغند، کانساز 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 (شکل ۲)، 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 سیریم در منطقه، از روش آمار کلاسیک (حسینی 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 سیریم 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 فلزایی 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

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 وامی‌دارد 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 به‌وجود آورد.

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

پدیده متاسوماتیسم پسین، در پی فاز آغازی به‌صورت عملکردهای محدود از آلپیت‌زایی، آمفیبول‌زایی، کربناتی شدن و مگنتیتی شدن نمود می‌یابد. این رخداد، معلول تزریق محلول‌های گرمایی قلیایی منشأ گرفته از ماگمای قلیایی ژرف است که به‌صورت نفوذی‌های مخروطی با ماهیت کربنات-متاسوماتیت، دایک‌های دیابازی، پیروکسنیت، رگ‌ها 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 به‌عکس میزان اورانیم افزایش می‌یابد.

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

۴- مطالعات آمار کلاسیک روی داده‌های لیتوزئوشیمیایی

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 (Olea, 1999; Journeil & Huijbregets, 1989; Davis, 2002; Afzal et al., 2010). این روش، به روش غیرساختاری معروف است و تنها مقدار اندازه‌گیری شده برای هر داده مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت نمونه در نظر گرفته 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 اندازه‌گیری شده 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. در صورتی که پراکندگی داده‌ها عادی نباشد، حد آستانه‌ای داده‌ها برابر میانه آنها در نظر گرفته می‌شود (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰، مدنی، ۱۳۷۳).

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 سبترای 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 قله‌های 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 سبترای حدود ۱۰ تا ۲۵ متر) از ماسه‌سنگ کوارتزی 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 گرانیتویدی وجود دارد که این واحد سنگی از سوی خاور و جنوب به‌صورت تدریجی به لایه‌ها و واحدهای متاسوماتیتی تبدیل می‌شود. این توده گرانیتویدی هم‌ارز توده گرانیتی زیرین 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 زیرین 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 $525/7 \pm 1$ میلیون سال را گزارش کرده‌اند. در پایانه جنوب خاوری منطقه مطالعه‌شده، رخنمونی با گوناگونی کنگلومرا با قله‌ها 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 (آق‌ناباتی، 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 آلپیت متاسوماتیت، آمفیبول-آلپیت 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

این محدوده تمرکز بی‌هنجاری دارد که بیانگر کانی‌سازی عناصری مانند سریم و ایتریوم 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 گرمایی 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 به نسبت گسترده‌ای از توده متبلور و سفیدرنگ گرانیتی وجود دارد که این واحد سنگی از سوی خاور و جنوب به صورت 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). اپیدوتی شدن با شدیدترین بی‌هنجاری‌های عناصر در بخش باختری و جنوب باختری منطقه همپوشانی دارد. همچنین بی‌هنجاری‌های اورانیم و سریم در بخش مرکزی محدوده با آلینتی شدن محدود، کلریتی شدن و اپیدوتی شدن همپوشانی دارد (شکل ۹). دگرسانی‌های اپیدوتی و کلریتی شدن موجود در مرکز و جنوب باختر منطقه که در واحدهای متاسوماتیت رخ داده، با بی‌هنجاری‌های به دست آمده از روش آمار کلاسیک همخوانی دارد و دگرسانی آلینتی (Porto da Silveira et al., 1990) گوشتی‌رنگ، (معمارکوپه باغ و امیله، ۱۳۷۳)، که دارای عناصر پرتوزا است، در واحد زمین‌شناسی آلینتیت به خوبی جواب داده است (شکل ۷). بر پایه نظریه Zerum et al. (1990) وجود آلینتیت‌های سرخ‌رنگ، ساختمان توده‌ای از نوع درجه حرارت پایین و وجود آثار باقیمانده از پلاژیوکلازها و فلدسپارهای قلیایی تأثیرات پدیده آلینتیت متاسوماتیسم در ناحیه را مورد تأیید قرار می‌دهند، همچنین ایشان به این مسئله باور دارند که فرایندهای اپیدوت و کلریت‌زایی در منطقه متاسوماتیسم شده به وجود آمده است. با توجه به پراکندگی واحدهای سنگی متاسوماتیت شده، 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 کوارتزادیوریتی این پدیده را به‌طور کامل همراهی نکرده است.

۶- نتیجه‌گیری

مطالعات نشان می‌دهد که در این منطقه پتانسیل مناسبی از عناصر پرتوزا و نیز سریم و ایتریوم دیده می‌شود. بالاترین میزان عیار عناصر پرتوزا در بخش باختری و جنوب باختری و منطبق بر بی‌هنجاری عناصر سریم و ایتریوم 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 آلینتی 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 آلینتیت متاسوماتیت، آمفیبول-آلینتیت متاسوماتیت (شکل ۱۰)، 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

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 (ضیاضریفی، ۱۳۸۷ و جعفری، ۱۳۸۸)، ایتریوم 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 ایتریوم به ترتیب برابر با ۱۱۳، ۳۶، ۴۹۸ و ۴۶۵ ppm است که میانه محاسبه شده این عناصر است (جدول ۱).

بر پایه این مقادیر، نقشه‌های جدایش بی‌هنجاری عناصر اورانیم، توریم، سریم و ایتریوم 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 ایتریوم منطبق بر بی‌هنجاری‌های عناصر پرتوزا است. البته بی‌هنجاری سریم و ایتریوم در مرکز محدوده شدیدتر نسبت به عناصر پرتوزاست.

برای یافتن ارتباط میان عناصر، ضرایب همبستگی میان آنها محاسبه شد. عناصر ایتریوم 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 ایتریوم ضریب همبستگی ۰/۸۹ با توریم و ضریب همبستگی ۰/۷۷ با اورانیم دارد. اورانیم و توریم همبستگی ۰/۸۶ و سریم و ایتریوم 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 ایتریوم یکسان است و از یک سازوکار پیروی می‌کند؛ یعنی به‌طور کامل با هم همزاد هستند (شکل ۵).

۵- تلفیق داده‌های زمین‌شناسی با بی‌هنجاری‌های عناصر

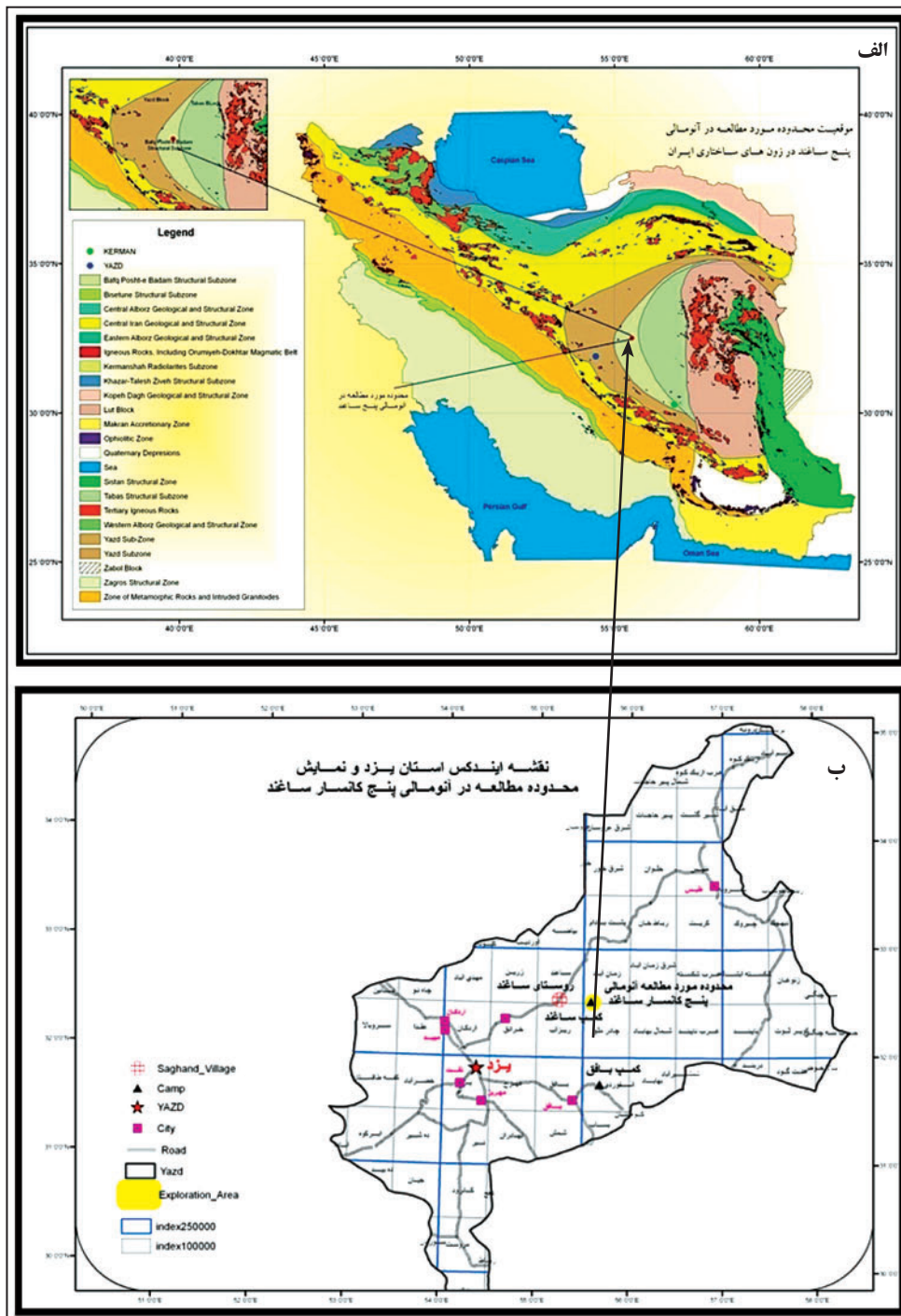
با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰ آنومالی پنج ساغند، بخش‌های باختری آلینتیت‌های گوشتی رنگ دارند و در بخش‌های مرکزی محدوده مورد مطالعه بی‌هنجاری پرتوزا بیشتر مربوط به سنگ‌های آمفیبول متاسوماتیت و آمفیبول-آلینتیت متاسوماتیت است که دارای عناصر پرتوزای اورانیم و توریم با پرتوزایی بالا هستند. پس به‌طور کلی، گستره پرتوزایی در باختر و جنوب باختری و مرکز بیشتر است و وجود عناصر سریم و ایتریوم به همراه 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 آلینتیت متاسوماتیت، آمفیبول-آلینتیت 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

آلیت متاسوماتیت (شکل ۱۰) و آمفیبول متاسوماتیت هستند که میزبان‌های خوبی برای عناصر خاکی کمیاب هستند.

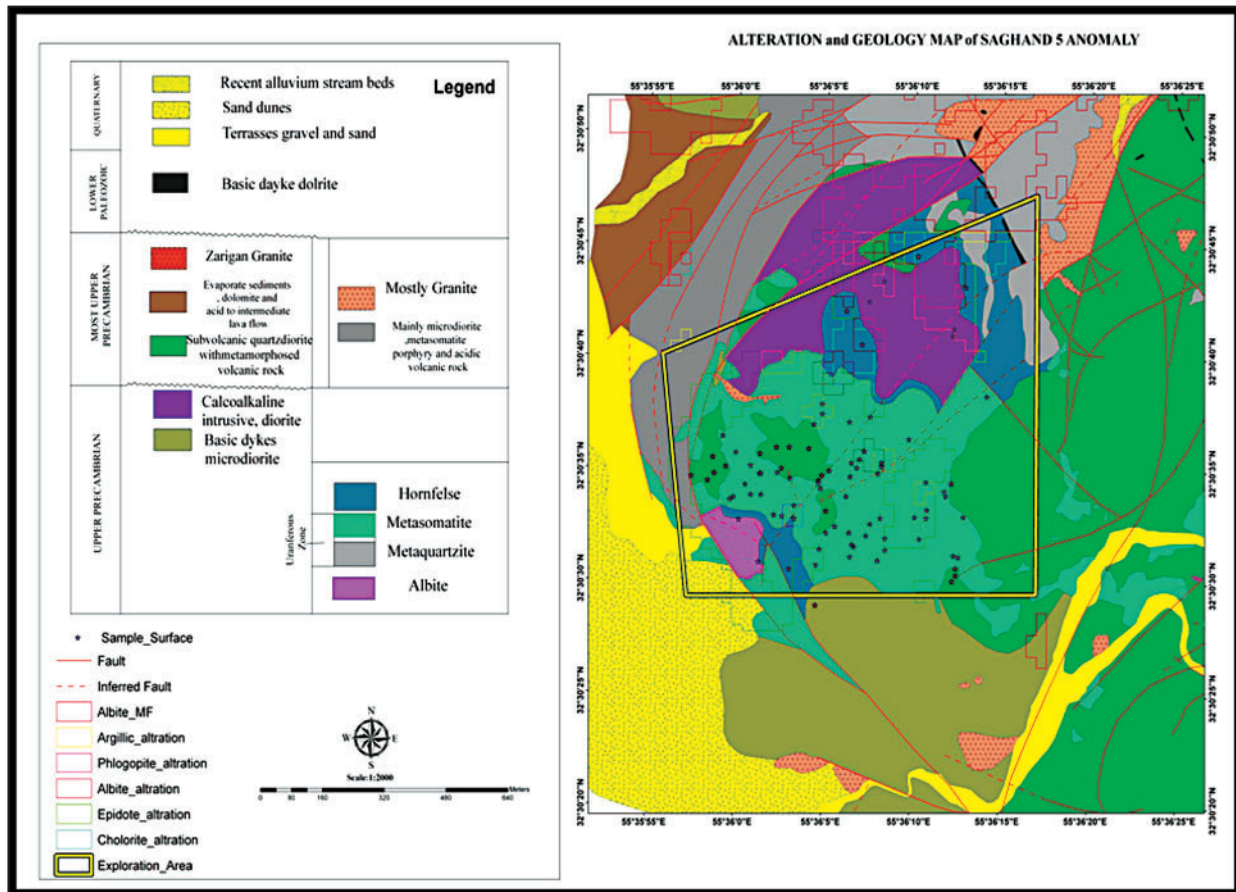
سپاسگزاری

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.

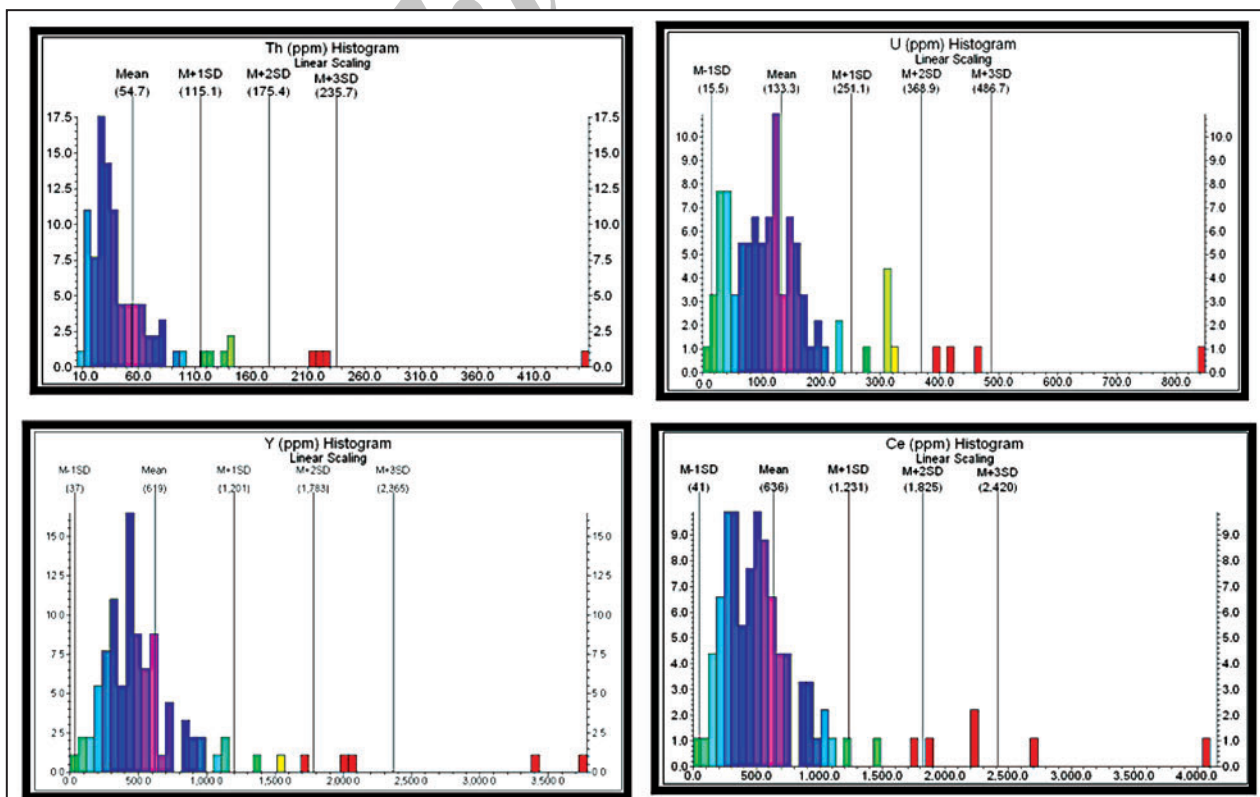
خود حمل‌کنند و به فراخور شرایط ژئوشیمیایی در میدان پایداری، هر یک را به‌طور مستقل بر جای گذارند. اورانیم به‌صورت کمپلکس سدیم و کربنات و در حالت اکسیدان (۶ ظرفیتی) حمل و در برخورد محلول‌های گرمایی با کانی‌ها و عناصر احیاکننده مانند آمفیبول، سولفیدها و مگنتیت به‌صورت کانی‌های چهارظرفیتی اورانیم مانند دیویدایت 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 آلیت متاسوماتیت، آمفیبول-



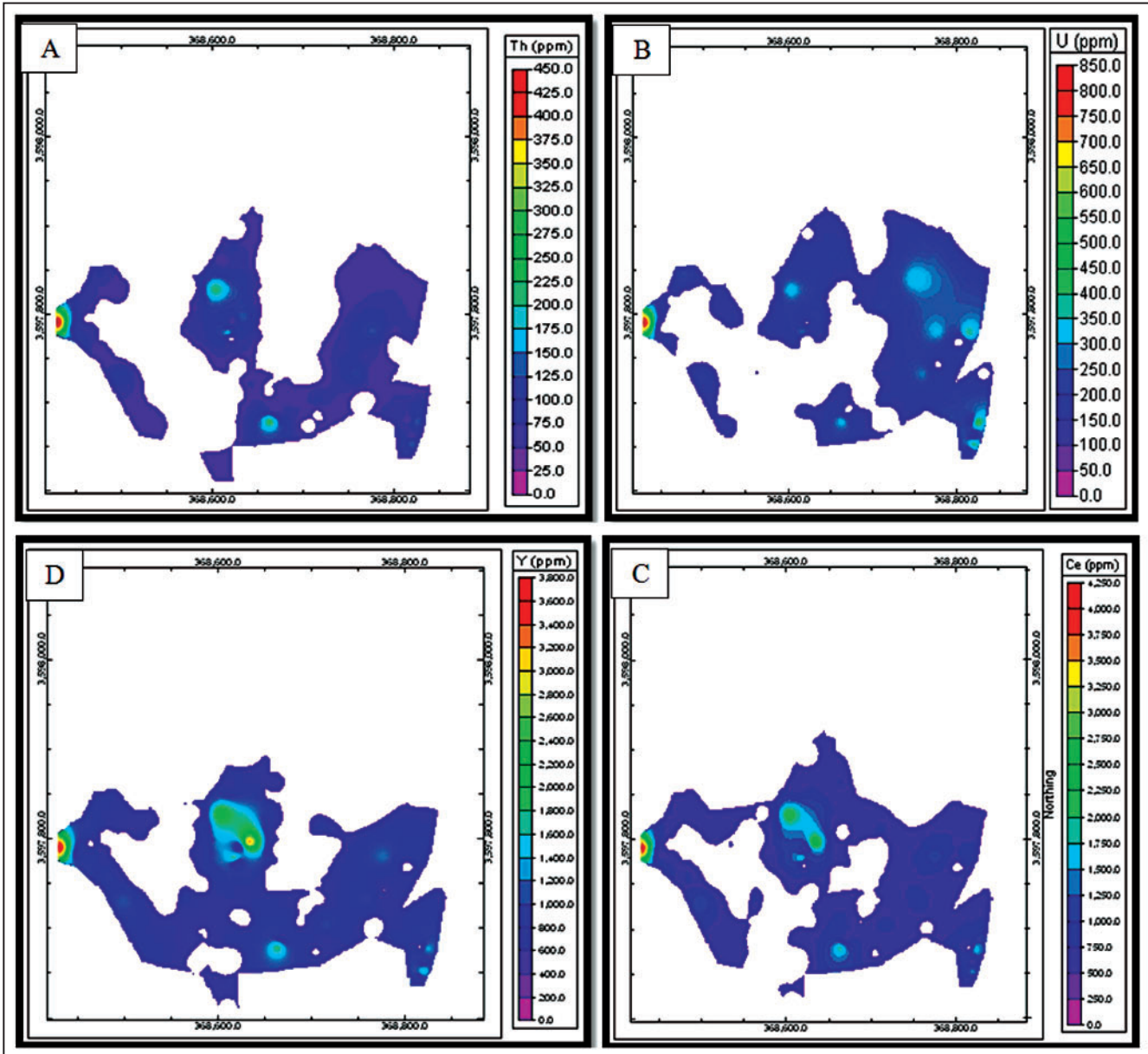
شکل ۱- الف) نمایی از پهنه‌های ساخاری ایران که محدوده مورد مطالعه در پهنه ایران مرکزی و کمربند فلزایی بافق- رباط پشت بادام قرار دارد (Berberian & King, 1981; Mohajjel et al., 2003; Azizi & Moinevaziri, 2009) ب) موقعیت محدوده آنومالی پنج ساغند و راه‌های دسترسی به آن در استان یزد.



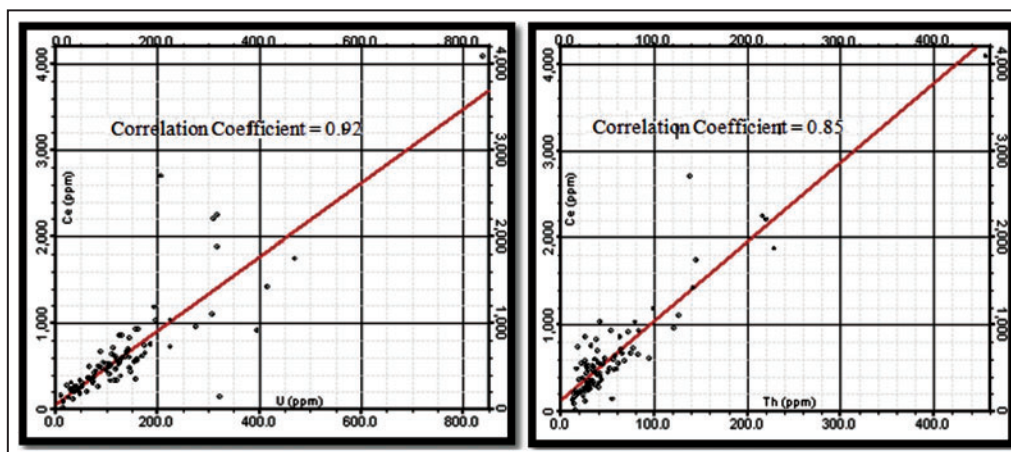
شکل ۲- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و نمایش دگرسانی‌های استخراج شده از دورسنجی از منطقه آنومالی پنج ساغند به همراه موقعیت نقاط نمونه برداری لیتوژنوشیمیایی.



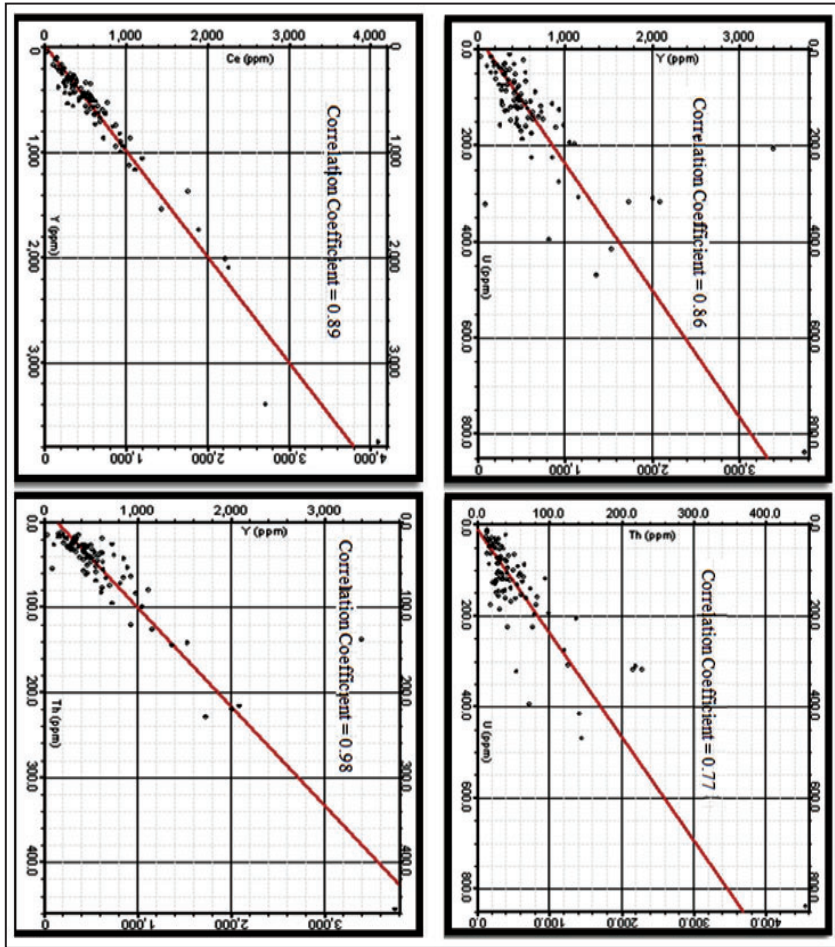
شکل ۳- نمودارهای ستونی عناصر اورانیم، توریم، ایتریم و سریم در آنومالی ۵ ساغند.



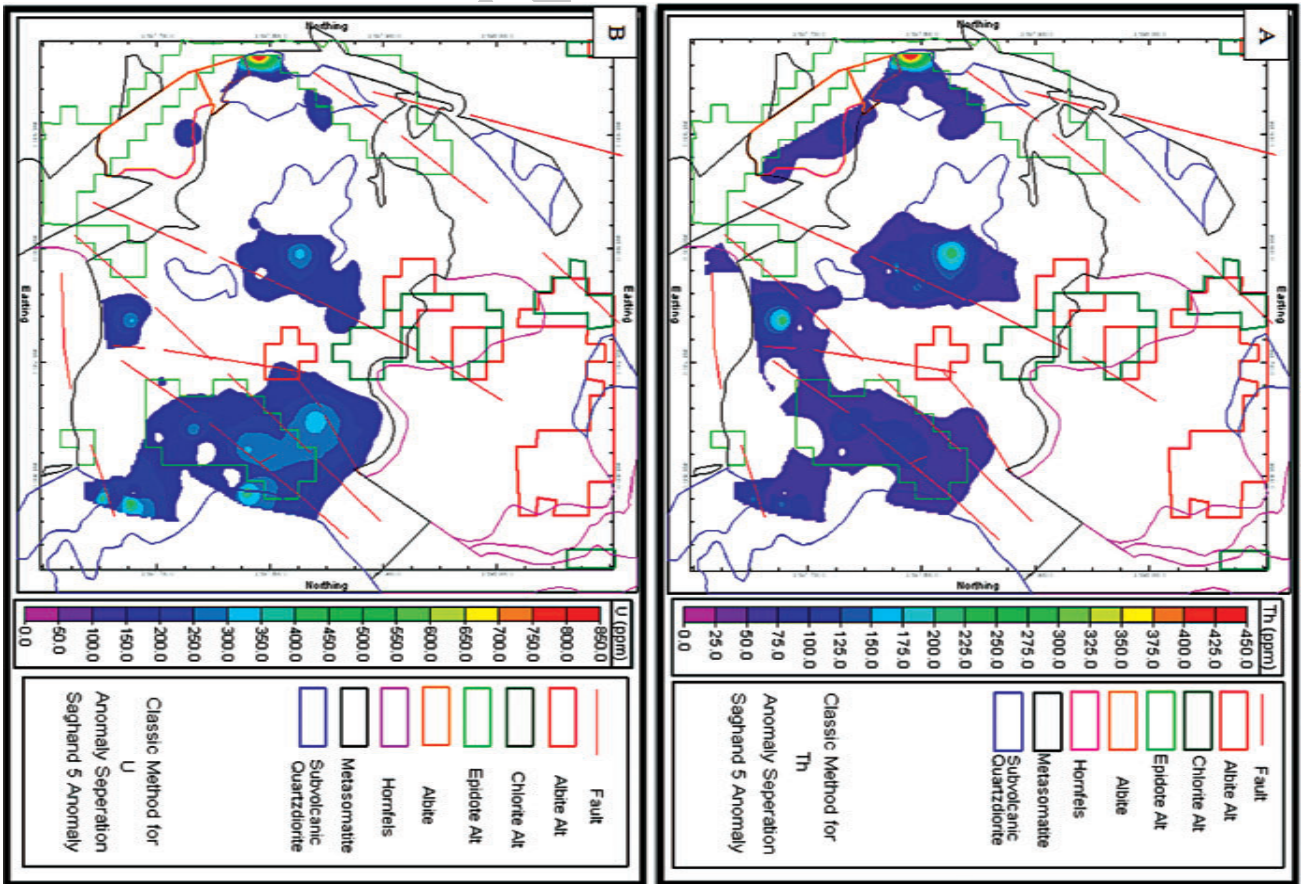
شکل ۴- نقشه بی‌هنجاری‌های عناصر اورانیم، توریم، سربیم و ایتیریم در آنومالی شماره ۵ ساغند با روش آمار کلاسیک.



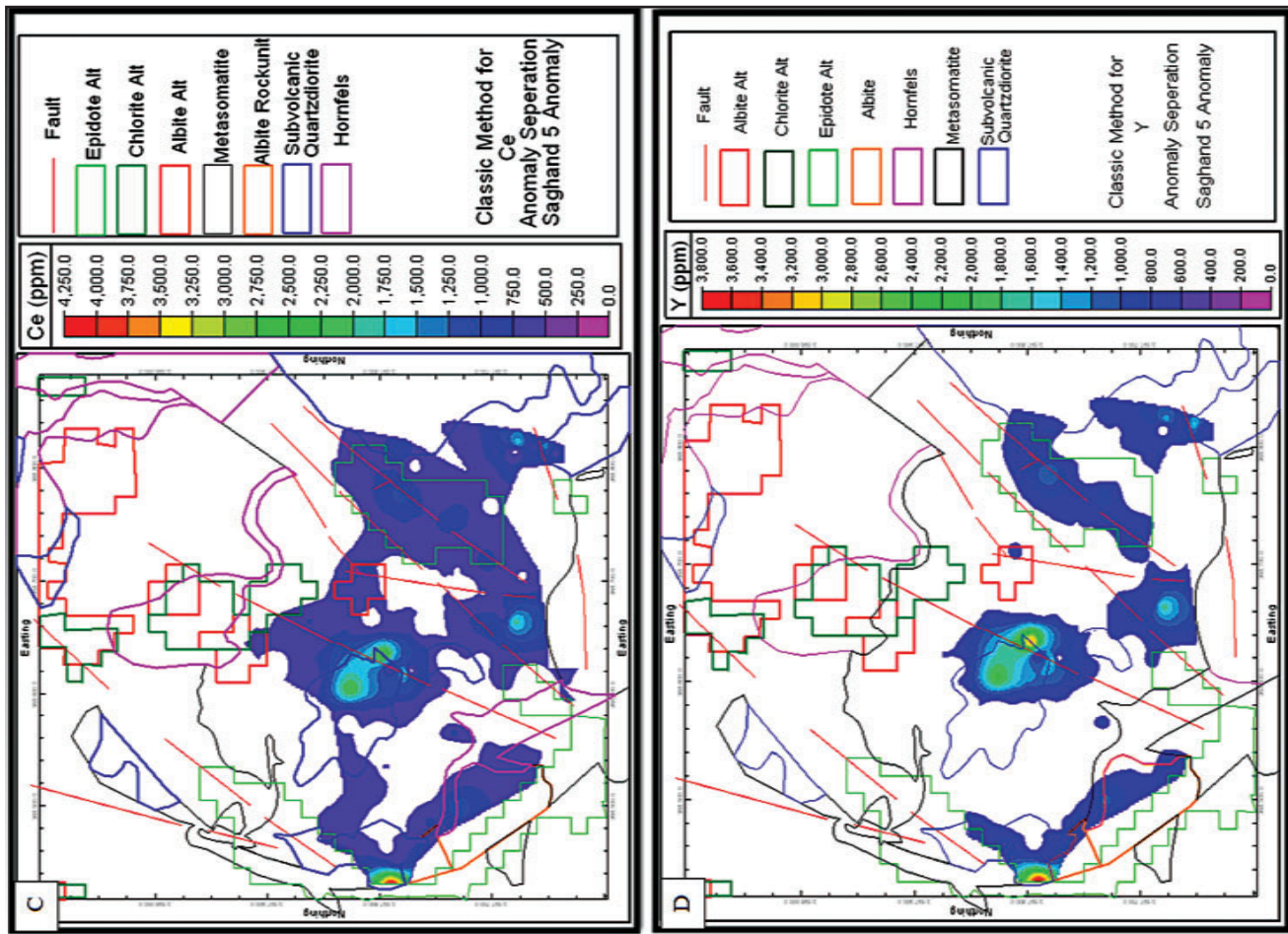
شکل ۵- ضرایب و نمودارهای همبستگی میان عناصر اورانیم، توریم، سربیم و ایتیریم در آنومالی ۵ ساغند.



ادامه شکل ۵



شکل ۶- انطباق نیمی هنجاری های عناصر توریم، اورانیوم، سربیم و اینتریم با دیگر سنگی ها و ساختارها در محدوده مورد مطالعه.



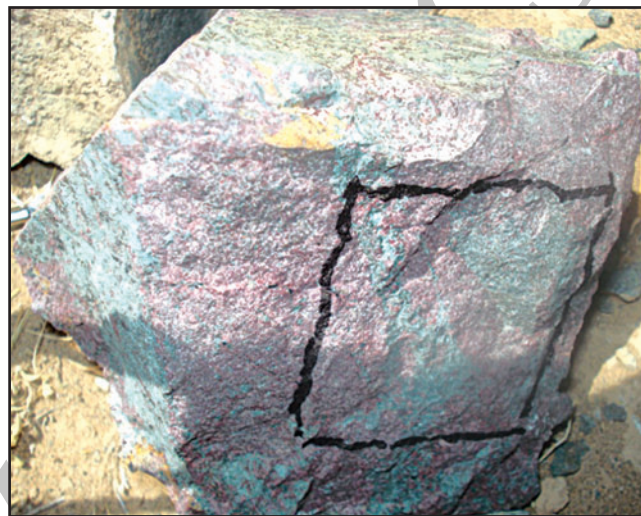
شکل ۷- آیت‌های متاسوماتیت گوشه رنگ با پرتوهای بالا، در آنومالی ۵ ساختند.



شکل ۸- آمفیبول متاسوماتیت با پرتوهای بالا، در آنومالی ۵ ساختند.



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



شکل ۱۰- آلپیت آمفیبول متاسوماتیت در آنومالی ۵ ساغند.

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

| متغیر | میانگین | واریانس | انحراف معیار | ضریب تغییرات | چولگی | کشدگی | کمینه | بیشینه | میانه |
|----------|-------------|-----------|--------------|--------------|------------|-------------|--------|--------|--------|
| U (ppm) | ۱۳۳/۳۱۸۶۸۱۳ | ۱۳۸۷۱/۶۹ | ۱۱۷/۷۷۸۱ | ۰/۸۸۳۴۳۳ | ۳/۳۴۰۶۳۷۸۶ | 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

- آفانباتی، 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.
- حسینی‌پاک، ع.ا. و شرف‌الدین م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی (جدایش زمینه از آنومالی، آمار و احتمال مهندسی، تخمین ذخیره)، انتشارات دانشگاه تهران.
- حسینی‌پاک، ع.ا.، ۱۳۸۹- زمین‌آمار (ژئواستاتستیک)، 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 کوچ‌باغ، 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 litho-geochemical data with applications to the Swayze Greenstone Belt, Ontario, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 67, p.p. 301-334.
- Journel, A. G. & Huijbregts, 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- Litho-geochemistry 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, Paraíba (PB), Brazil, 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 Cerium and Yttrium Using Data Lithochemical 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 studied 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 lithochemical 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, Lithochemical, Cerium, Yttrium, Fifth Anomaly, Saghand, Central Iran.

For Persian Version see pages 201 to 210

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

Archive SID.ir