



## سن سنجی و زمین شناسی ایزوتوپی گنیس ها و گرانیتهای نئوپروتروزوئیک پایانی مجموعه نی باز (غرب ساغند)

سیدعلی اکبر اسدی، قاسم قربانی\*، هادی شفائی مقدم

دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۲۲، نسخه نهایی: ۹۸/۲/۲)

**چکیده:** مجموعه آذرین - دگرگونی نی باز (غرب ساغند، شمال یزد) یکی از سرزمین های پی سنگی ایران به سن نئوپروتروزوئیک پایانی است که طیف گسترده ای از سنگ های دگرگونی و آذرین را شامل می شود. در برخی بخش های رسی دگرگونه این مجموعه می توان شواهد بارزی از ذوب بخشی، میگماتیت زایی و میلونیت زایی را مشاهده کرد. سن سنجی های انجام شده به روش Rb-Sr، K-Ar و حتی U-Pb بر این مجموعه و مجموعه های سنگی هم جوار (چون چاپدونی، تاشک و زمان آباد) چندین گستره سنی از پروتروزوئیک پایانی تا میوسن را نشان می دهند، ولی وجود کنگلومرای سرشار از قله های گرانیتهای و گنیسی سرچشمه گرفته از سرزمین های پی سنگی در قاعده توالی رسوبی کرتاسه جنوب غرب ساغند بیانگر نادرست بودن سن های جوان تر از کرتاسه نسبت داده شده به مجموعه نی باز است. بعضی از سن های گزارش شده نیز تنها می توانند بازتابی از رخداد های زمین ساختی و زمین ساختی دگرگونی باشند که در دوره های مختلف، بر این مجموعه و مجموعه های پی سنگی هم جوار تأثیر گذاشته اند که از آن جمله می توان به دگرگونی در ژوراسیک میانی و فعالیت های ماگمایی در ائوسن تا میوسن اشاره کرد. براساس شواهد منطقه ای و روابط صحرائی، گستره زمانی ۵۷۰ تا ۵۳۰ میلیون سال پیش با واقعیت های زمین شناسی منطقه ای بیشتر همخوانی دارد. رخداد های این گستره زمانی به احتمال زیاد بخشی از دگرگونی های کوه زایی کادومین بوده است. بررسی ایزوتوپ های هافنیم گرانیتهای این مجموعه نشان می دهد که  $\epsilon_{\text{Hf}}$  نمونه های مورد بررسی دارای مقادیر منفی بوده و از  $-1.02$  تا  $-18.87$  متغیر است. مقادیر منفی  $\epsilon_{\text{Hf}}$  با سرچشمه گرفتن مذاب های گرانیتهای از ذوب سنگ های پوسته ای یا همان گنیس های مجموعه نی باز (غرب ساغند) همخوانی دارد.

**واژه های کلیدی:** سن سنجی؛ نئوپروتروزوئیک؛ هافنیم؛ گرانیتهای گنیس؛ نی باز؛ ساغند.

### مقدمه

بسیاری در تشکیل آنها سهیم بوده اند و می توانند زمین شناسان را در فهم دگرگونی های آنها یاری نمایند [۱]. برخی از نمونه های بارز سرزمین های نئوپروتروزوئیک پایانی که تاکنون بررسی شده اند عبارتند از: طرود- بیارجمند- خارتوران - میامی (مجموعه های دگرگونی- آذرین دلبر، بند هزارچاه، سفید سنگ، شترکوه، جنوب دوچاه، ماجراد، شمال غرب احمدآباد خارتوران، غرب رضاآباد خارتوران و گرانیتهای جنوب غرب میامی) [۲-۸]؛ مرز بین جندق- عروسان- آیراکان [۹]، شمال- غرب بردسکن (مجموعه بورنورد) [۱۰-۱۵]، جنوب غرب

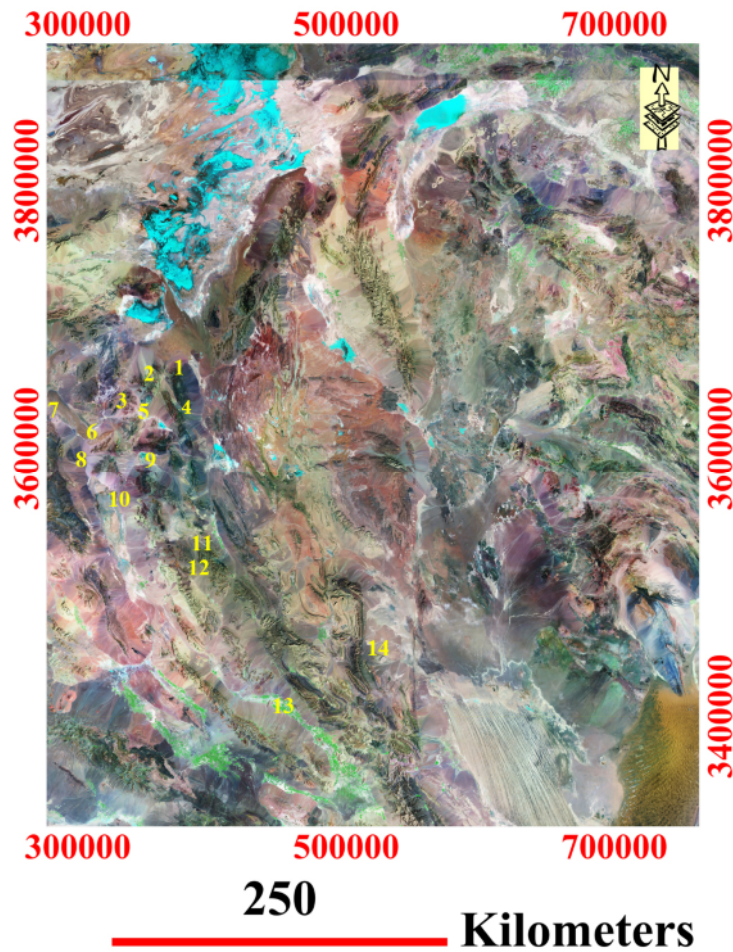
جز پهنه های ساختاری کپه داغ و فلیش های شرق ایران، در سایر پهنه های ساختاری ایران (به ویژه ایران مرکزی، شکل ۱)، سرزمین های گندوانایی پروتروزوئیک پایانی - کامبرین پیشین، از جنوب تا شمال و از شرق تا غرب به طور پراکنده رخنمون دارند. این سرزمین ها، طیف گسترده ای از سنگ های دگرگونی و آذرین را شامل می شوند که در تشکیل آنها فرایندهای سنگ- ساز متنوعی (رسوبی، دگرگونی و آذرین) دخیل بوده اند. با شناخت نسبی آنها، می توان دریافت که فرایندهای مشابه

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۳۲۲۷۵۸، شماره: ۰۲۳۳۵۲۲۰۹۹۱، پست الکترونیکی: ghorbani@du.ac.ir

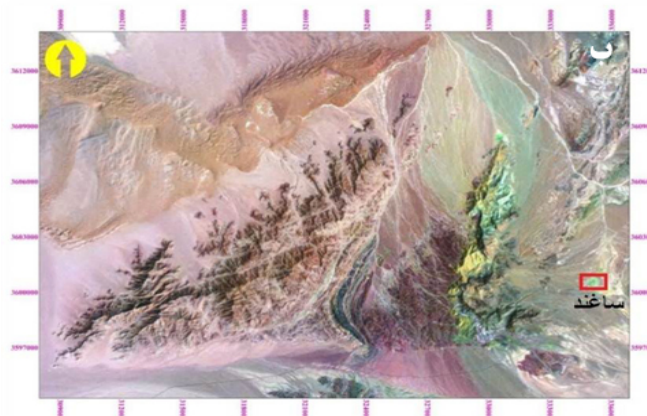
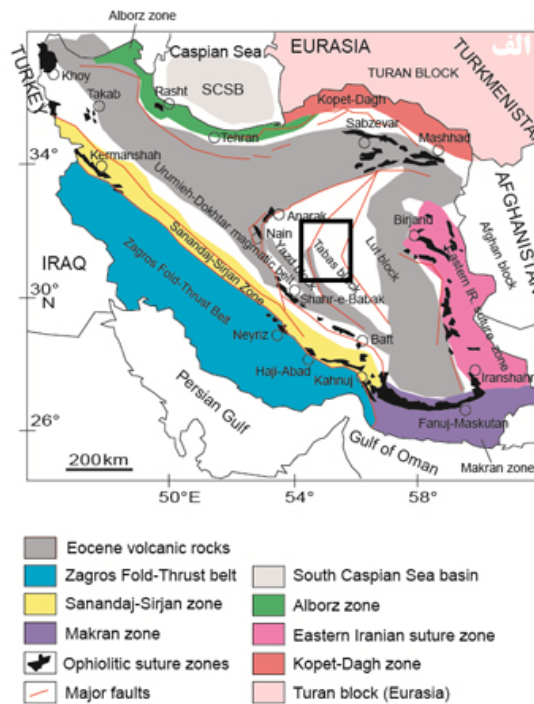
لاهیجان (گرانیت‌های لاهیجان) [۴].

مجموعه آذرین - دگرگونی نی‌باز که از جمله این سرزمین‌هاست در غرب ساغند (شمال یزد) رخنمون دارد و طیف گسترده‌ای از سنگ‌های دگرگونی و آذرین را شامل می‌شود (شکل ۲). بررسی این سرزمین‌ها و سنگ‌های آنها می‌تواند روند تکامل پی‌سنگ ایران را در این بخش از ایران مرکزی بهتر مشخص کند. با توجه به اینکه سنگ‌های منطقه از سنگ‌های بسیار قدیمی بوده (سن نئوپروتروزویک) و گاه دگرسان شده نیز هستند، بهتر است در کنار بررسی‌های زمین‌شیمیایی، از نتایج سن سنجی U-Pb به روش طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه (SIMS) بر زیرکن و اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های هافنیم نیز استفاده شود. این کار در این پژوهش انجام شده و گزیده‌ای از نتایج آن در این مقاله ارائه شده است.

بردسکن (کوه‌سرهنگی و لاخ برقشی) [۱۶-۱۸]، فریمان - تربت جام (مجموعه قلندر آباد) [۱۹، ۲۰]، ساغند - پشت بادام (مجموعه‌های دگرگونی - آذرین نی‌باز، بنه شور، تاشک، چاپدون، زمان آباد، خشومی، زرین، مزرعه توت و ...) [۲۱-۲۳]، بافق - کوشک - بهاباد (زریگان، نارینگان، بهاباد، کوه پشت‌سرخ و ...) [۲۲، ۲۴، ۲۵]، زرد (مجموعه شمال و شمال غرب زرد تا کوه‌بنان) [۲۶، ۲۷]، لکرکوه [۲۸]، شمال گلپایگان (مجموعه گلپایگان) [۴]، جنوب ابهر - خرمدره و گرانیت‌های لاهیجان [۴]، مغانلو (غرب زنجان) [۴]، گرانیت دوران (غرب زنجان) [۴]، ماهنشان - تکاب - شاهین دژ (مجموعه‌های خیرآباد، سورسات، تکاب و شاهین‌دژ) [۲۹-۳۲]، شیچ چوپان - بوباکتان (کردستان) [۴]، خوی - سرو (مجموعه خوی - سرو) [۳۳]، البرز (سازند کهر) [۳۴] و



شکل ۱ تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده پراکندگی مجموعه‌های دگرگونی - آذرین به سن اواخر نئوپروتروزویک (اواخر ادیاکارن - اوایل کامبرین) در بخش مرکزی پهنه ساختاری ایران مرکزی (شمال شرق تا جنوب شرق یزد). ۱: زمان آباد، ۲: اسماعیل آباد، ۳: چاپدون، ۴: تاشک، ۵: بنه شور، ۶: نی‌باز، ۷: زرین، ۸: خشومی، ۹: پشت‌سرخ، ۱۰: زریگان، ۱۱: بهاباد، ۱۲: بافق - نارینگان، ۱۳: زرد و ۱۴: لکرکوه.

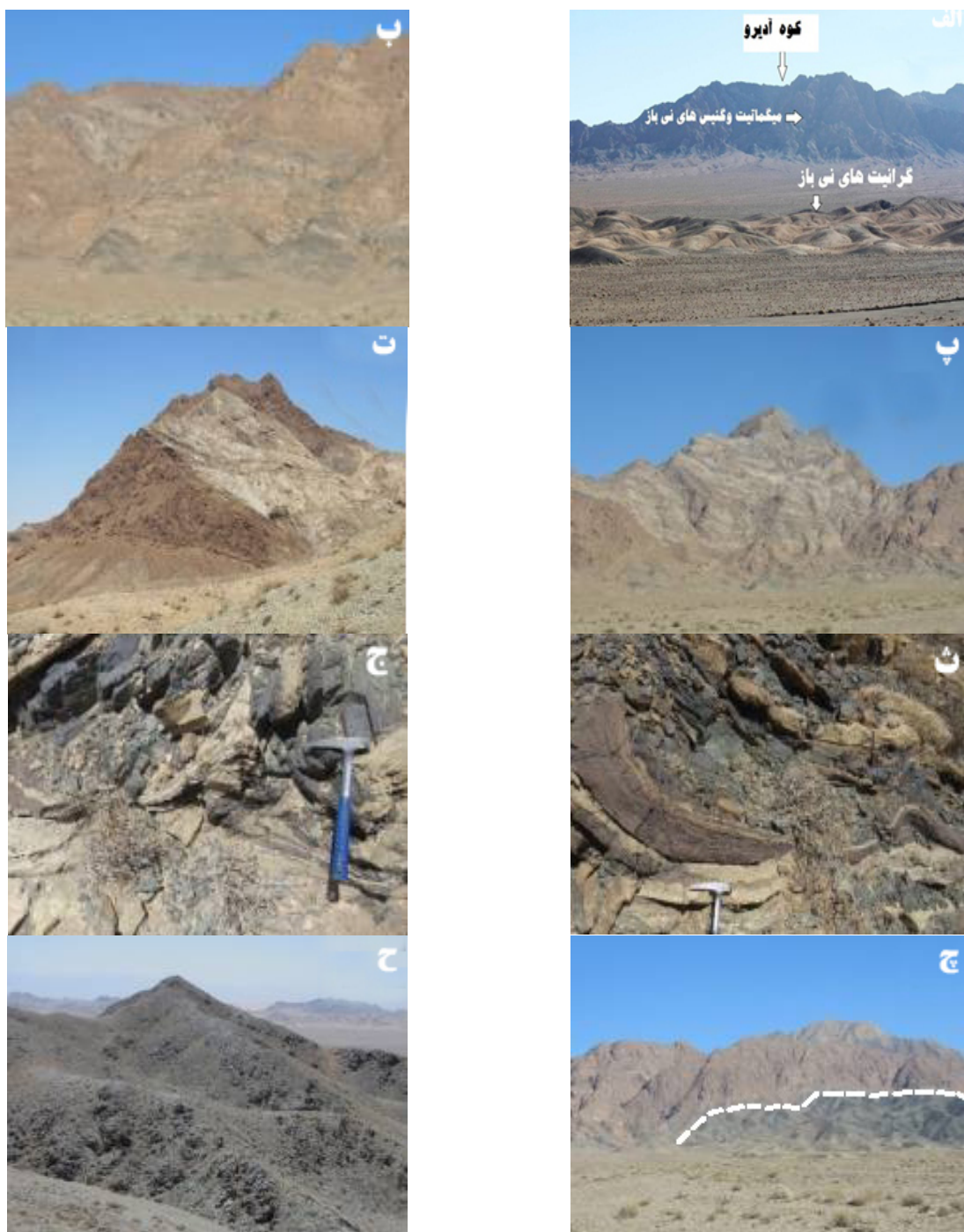


شکل ۲ الف- نقشه پهنه‌های ساختاری ایران و جایگاه تقریبی مجموعه نی‌باز (مستطیل مشکی) بر آن و ب- تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده مجموعه دگرگونی - آذرین نی‌باز. دور تصویر بر حسب سیستم مختصات جهانی رکتور معکوس UTM مدرج، است.

### زمین‌شناسی عمومی منطقه

مجموعه نی‌باز طیف گسترده‌ای از سنگ‌های دگرگونی و آذرین را در بر می‌گیرد و در غرب ساغند و به طور دقیق‌تر در جنوب-غربی روستای مغستان رخمون دارد (شکل ۲). این منطقه بخشی از پهنه ساختاری ایران مرکزی به حساب می‌آید [۲۲]، [۳۵]. سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای که بخش قابل‌توجهی از این مجموعه را به خود اختصاص می‌دهند، دارای ماهیت متاپلیتی، متاگزیوکی، متاپسامیتی، متاکریناته و متابازیتی هستند. ضخامت ظاهری توالی سنگی مجموعه نی‌باز حدود ۲۰۰۰ متر است. متاپلیت‌ها دارای طیف سنگی متنوعی شامل میکاشیست، گارنت‌میکاشیست و بیوتیت - گارنت گنیس هستند. متاکرینات‌ها، مرم‌های آهکی و دولومیتی با بازتبلور نسبتاً

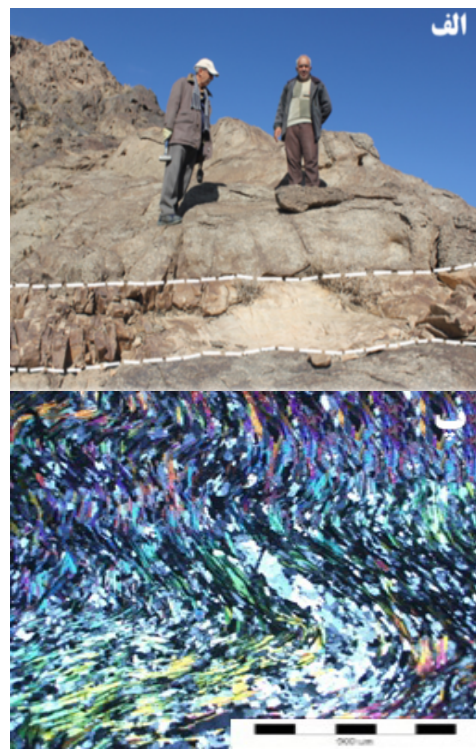
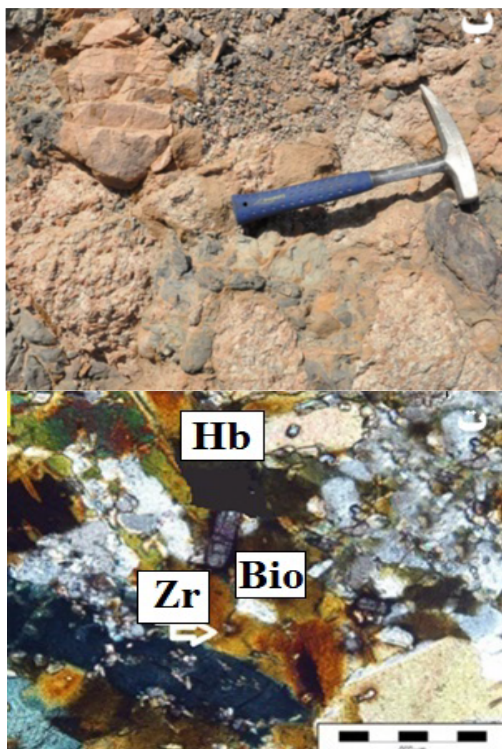
پیشرفته‌ای را شامل می‌شوند. ضخامت متاکرینات‌ها به چند صد متر می‌رسد و اغلب بالاترین بخش توالی سنگی اولیه را به خود اختصاص داده‌اند [۳۶] (شکل ۳). متابازیت‌ها دارای ترکیب غالب آمفیبولیتی هستند و بر اساس شواهد صحرایی از جمله درهم آمیختگی گدازه‌های بازالتی با سنگ‌های آهکی (که اکنون به مرم‌ دگرگون شده‌اند) (شکل‌های ۳ و ج)، سنگ مادر سنگ‌های بازی دارای ماهیت گدازه‌ای (اغلب زیرآبی)، انباشته‌های دایکی بازی (دیابازی) و توده‌های آذرین کوچک مقیاس بوده‌اند. متابازیت‌ها در بسیاری نقاط دگرریختی و میولینیتی شدن نشان می‌دهند. رخساره‌های دگرگونی در این مجموعه‌ها در حد آمفیبولیت تا آمفیبولیت‌بالایی هستند.



شکل ۳ الف - دورنمایی از بخش شمالی مجموعه نی باز. بخش سفیدرنگ جلوی تصویر، رخنمون سنگ های گرانیتی و مناطق مرتفع بخش عقبی تصویر رخنمون گنیس ها و میگماتیت ها را نشان می دهد. ریخت شناسی سنگ های لوکوگرانیتی مورد توجه است. جهت دید به سمت جنوب غرب است. ب و پ- دورنمایی از تناوب متابازیت ها و متاکربنات ها در مجموعه دگرگونی نی باز. در بخش بالایی این توالی فقط متاکربنات ها (مرمرهای آهکی و دولومیتی) رخنمون دارند. به ضخامت زیاد متاکربنات ها مورد توجه است. جهت دید به سمت جنوب شرق است. ت - تصویری از متاکربنات های آهکی و دلومیتی (بخش مایل به قهوه ای). ث و ج - تصاویری از درهم آمیختگی بازالت ها و کربنات ها که اکنون به مجموعه ای از آمفیبولیت و مرمر دگرگون شده اند. چ- دورنمایی از همبری یا مرز تماس دیوریت ها و مرمرها. این مرز گسلی است و نشان می دهد که مرمرهای آهکی بر دیوریت ها رانده شده اند. جهت دید به سمت جنوب است. ح- دورنمایی از دیوریت های قطع کننده مجموعه دگرگونی نی باز. جهت دید به سمت جنوب غرب است. تصاویر ب تا ح همه مربوط به منطقه جنوب و جنوب غربی روستای مغستان است.

دگرگونی در بالاترین درجه خود، تا حد ذوب‌بخشی و تشکیل گرانیت‌های روشن تورمالین‌دار دانه‌ریز پیش‌رفته است. گرانیت‌های برآمده از ذوب‌بخشی به صورت توده‌های کوچک و بزرگ از چند متر مربع تا چندین کیلومتر مربع رخمون دارند. در برخی نقاط نیز فرآورده‌های ذوب‌بخشی به صورت دایک دیده می‌شوند (شکل ۴). شواهد بارزی از وجود میگماتیت‌های فلسی در مجموعه نی‌باز وجود دارد. در این مجموعه طیف گسترده‌ای از دگرشکلی مومسان و دگرشکلی شکننده میکروسکپی تا صحرایی و بسیار بزرگ مقیاس چون میلونیتی- شدن از نوع درجه پایین تا درجه بالا دیده می‌شود. شواهد بارزی از ریزساخت‌های پری، سین و پست زمین ساخت بین پورفیروبلانست‌ها و زمینه‌سنگ‌های دگرگونی مشاهده می‌شود. تعدادی توده گابرویدیوریتی سنگ‌های دگرگونی مجموعه نی‌باز را قطع کرده‌اند (شکل‌های ۳ چ و ح) که با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ [۳۷]، سن ژوراسیک میانی برای آنها در نظر گرفته شده است، البته این سن تنها بر اساس مستندات صحرایی است. مشاهدات صحرایی این پژوهش نشان می‌دهد که مرز تماس در محل تماس یا همبری این توده‌های

گابرویدیوریتی مرز تماس گسلی است (شکل ۳ چ) و در نتیجه سن نسبت داده شده به این توده‌های نفوذی باید با احتیاط در نظر گرفته شود و بهتر است از روش‌های سن‌سنجی نوین چون روش U-Pb بر زیرکن برای تغییر دقیق‌تر سن آنها براساس نسبت‌های ایزوتوپی استفاده شود. مجموعه نی‌باز در بخش جنوب غربی توسط توالی رسوبی - تخریبی کرتاسه پیشین با ضخامت چند صد متر و ترکیب غالب کنگلومرای سرشار از قلوه‌های سنگی گرانیتی و میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی پوشیده شده است. بالاترین بخش این توالی را آهک‌های به رنگ کرم - خاکستری اریتولین‌دار به خود اختصاص داده‌اند. این مجموعه-های دگرگونی در ارتباط با کوهزایی کادومین تشکیل شده‌اند [۳۶]. گفتنی است که با توجه به تشابه توالی‌های سنگی نئوپروتوزوئیک پایانی در مناطق مختلف از جمله ماجراد، دلبر، دوچاه (جنوب شرق شاهرود) [۷، ۳۸]، شمال انارک [۹]، شمال غربی رباط پشت‌بادام (شمال و شمال شرقی روستای چمگو [۳۹] به نظر می‌رسد که بخش بالایی توالی مجموعه سنگی نی‌باز به اشتباه به پالئوزوئیک (دونین تا پرمین) نسبت داده شده است.



شکل ۴ الف- قطع‌شدگی سنگ‌های گنیسی میزبان توسط دایک‌های گرانیتی آپلیتی در غرب مغستان (شمال مجموعه نی‌باز، دید به سوی جنوب). ب- کنگلومرای قاعده کرتاسه در جنوب غرب ساغند که سرشار از قلوه‌های سنگی میکاشیستی، گنیسی، آمفیبولیتی، مرمری، گرانیتی و گابرویدیوریتی است. پ- تصویر میکروسکپی میکاشیست‌های چین‌خورده با بافت لپیدوبلاستی بارز. ت- تصویر میکروسکپی گنیس‌های بیوتیت‌دار سرشار از زیرکن. دگرشکلی مومسان از ویژگی بارز این سنگ‌هاست (هورنبلند سبز: Hb، بیوتیت: Bio، زیرکن: Zr)

نیز اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با مجموعه‌های پی‌سنگی ایران مرکزی از جمله بنه‌شورو، چاپدونی، خشومی، تاشک و نی‌باز ارائه کرده‌اند. گفتنی است که برخی پژوهشگران [۴۲-۴۶، ۴۸] در ارتباط با مجموعه‌های پی‌سنگی ایران مرکزی از جمله بنه‌شورو، چاپدونی، خشومی، تاشک و نی‌باز بررسی‌های گسترده‌ای انجام داده‌اند و با توجه به تعیین سن‌هایی که بیشتر به روش Ar-Ar صورت گرفته است برخی رخدادهای تحمیل شده بر مجموعه‌های پی‌سنگی ایران از جمله بنه‌شورو و تاشک را به دگرگونی‌های زمین‌ساختی و دگرگونی نسبت داده‌اند. برخی از زمان‌های مهم این دگرگونی‌ها اوایل ژوراسیک، ژوراسیک پسین، اوایل کرتاسه و ائوسن معرفی شده‌اند. اگرچه از پژوهش‌های انجام شده نتایج ارزشمندی به دست آمده است، ولی دگرگونی‌های سنگ‌شناسی منطقه هنوز نیازمند بررسی‌های دقیق و جامع بیشتری در این زمینه است.

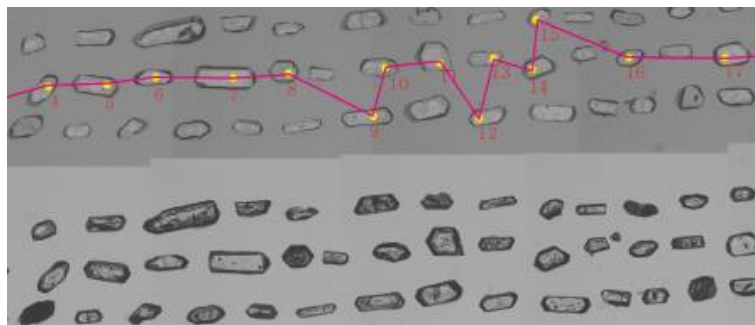
#### سن‌سنجی

##### روش کار

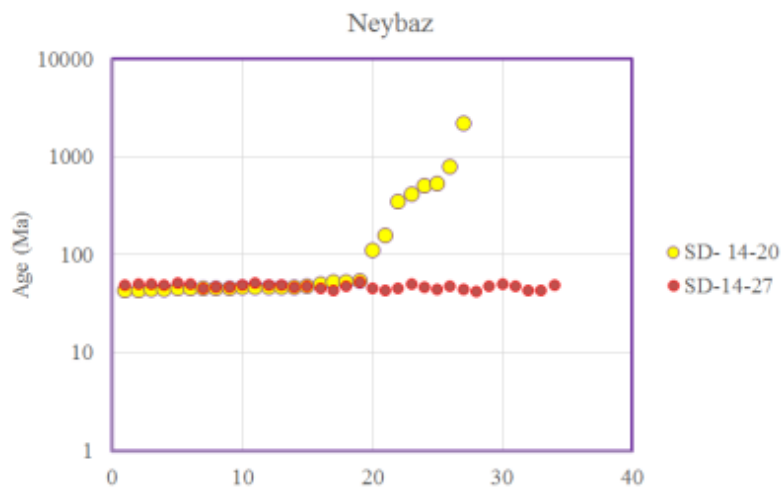
برای آزمایش‌های سن‌سنجی به روش پرتوسنجی، سه نمونه از سنگ‌های گرانیتی و گنیسی انتخاب و به آزمایشگاه State Key دگرگونی سنگ کره‌ای انجمن علوم چین ارسال شد. در آنجا زیرکن‌ها با استفاده از روش‌های خردایش، دانه‌بندی کردن، آب شویی، به کارگیری مایعات سنگین، جدایش مغناطیسی و جدایش دستی در زیر میکروسکوپ دوچشمی، زیرکن‌ها جدا گردیدند. زیرکن‌های جدا شده بر لام ویژه‌ای چسبانده شده و جهت بررسی دستگاهی آماده شدند. اندازه‌گیری نسبت‌های ایزوتوپی U و Pb به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی سایش لیزری (LA-ICPMS) در آزمایشگاه دگرگونی سنگ کره‌ای دانشگاه Northwest چین و در دانشگاه Macquarie استرالیا انجام شد. نتایج سن‌سنجی‌های انجام‌شده در رسم نمودارهای سازگاری و سایر تجزیه و تحلیل استفاده شد.

در نقشه زمین‌شناسی ساغند [۳۷]، به گرانیت‌های قطع‌کننده مجموعه نی‌باز سن پس از کرتاسه نسبت داده شده است، ولی شواهد صحرایی در شمال‌شرقی مغستان نشان می‌دهد که همین گرانیت‌ها توسط کنگلومرای قاعده کرتاسه پوشیده شده‌اند (شکل ۵)، از این رو سن نسبت داده شده به آنها نادرست است. تعیین سن‌هایی که به تازگی بر این نوع از گرانیت‌ها در غرب مغستان انجام شده است این موضوع را تأیید می‌کند (بخش سن‌سنجی را ببینید). در شکل‌های ۶ و ۷، تصاویری از ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی میکاشیست‌ها و گنیس‌ها نشان داده شده است. میکاشیست‌ها و گارنت-میکاشیست‌ها، بافت‌های پورفایروبلاستی و لپیدوبلاستی بارزی نشان می‌دهند. بیوتیت، مسکوویت و گارنت کانی‌های بارز سازنده آنها هستند. آثار دگرشکلی به صورت گسترش برگوارگی و چین‌خوردگی در این سنگ‌ها نمایان است. گنیس‌ها و گنیس‌های گارنت‌دار بافت پورفایروبلاستی و گرانوبلاستی نشان می‌دهند. میلونیتی‌شدن و در پی آن رخداد پدیده دانه‌ریز شدن، مرزهای دانه‌های دنداندار و درهم فرورفته و خاموشی موجی از ویژگی‌های بارز گنیس‌هاست.

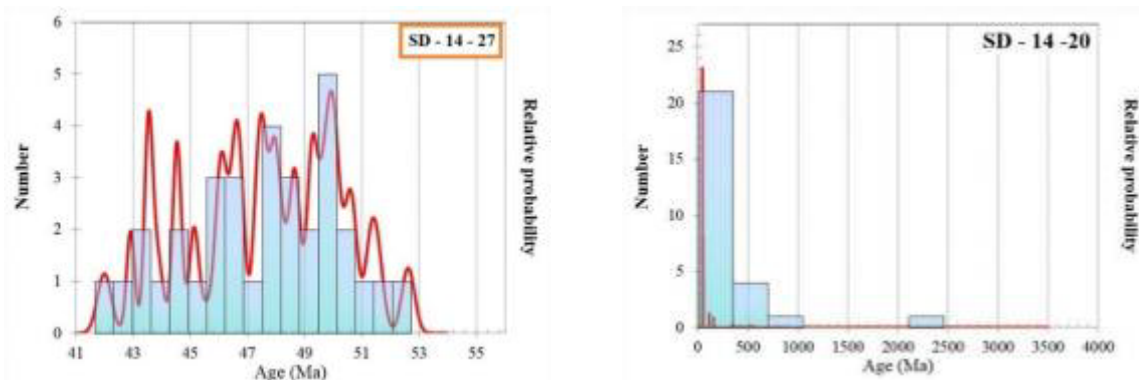
پیچیدگی روابط صحرایی در سرزمین‌های پی‌سنگی مانند مجموعه نی‌باز بیانگر آن است که این روابط باید در مقیاس گسترده‌تر و دقیق‌تر بررسی شوند و همچنین تا جای ممکن از روش‌های صحیح سن‌سنجی ایزوتوپی متناسب با این سرزمین‌های کهن و اغلب دگرریخت یا دگرگون شده استفاده کرد. پژوهش‌هایی بر سرزمین‌های پی‌سنگی جنوب - جنوب‌شرق شاهرود برخی از این پیچیدگی‌ها و مسائل را بررسی کرده و نتایج با ارزشی به دنبال داشته‌اند (مراجع [۱-۳، ۵، ۷، ۸، ۱۱، ۳۸-۴۰] را ببینید). پژوهش‌های انجام شده پیرامون مجموعه کوه سرهنگی [۱۶] و مجموعه بردسکن [۱۰، ۱۱، ۴۱] نیز دربردارنده اطلاعات ارزشمندی هستند. کارگران بافقی و همکاران [۴۲-۴۶]؛ و پژوهشگرانی دیگر [۹، ۲۲، ۲۵، ۴۷].



شکل ۵ تصاویری از زیرکن‌های انتخاب‌شده برای سن‌سنجی به روش اورانیوم - سرب از گرانیت‌های مجموعه نی‌باز.



شکل ۶ تغییرات فراوانی سن‌های به دست آمده به روش U-Pb برای نمونه‌های سنگی مورد بررسی. سن‌های بیش از ۶۰۰ میلیون سال سن هسته‌های موروثی زیرکن هستند. سن‌های جوان‌تر از ۵۰۰ میلیون سال نیز اغلب با رخداد تشکیل سنگ‌ها سازگار نیست و بازتابی از رخدادهای زمین‌ساختی ماگمایی و زمین‌ساختی دگرگونی هستند که در دوره‌های زمانی مختلف بر این مجموعه‌های پی‌سنگی تأثیر گذاشته‌اند.



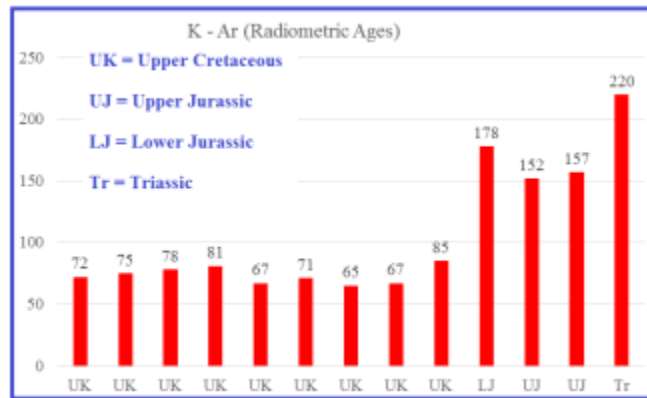
شکل ۷ نمودار فراوانی انباشتی زیرکن‌های تعیین‌سن شده به روش U-Pb برای دو نمونه سنگی.

جمله می‌توان به دگرگونی در ژوراسیک میانی و فعالیت‌های ماگمایی در ائوسن و میوسن اشاره کرد (شکل ۱۰). پیدا شدن قطعات گرانیت‌ها و گنیس‌های موجود در کنگلومرای قاعده توالی کرتاسه رخنمون یافته در جنوب غرب ساغند بیانگر این است که به احتمال زیاد سن به دست آمده مربوط به فرآیندهای بعدی است و سن واقعی سنگ باید بیشتر از مقدار به دست آمده باشد.

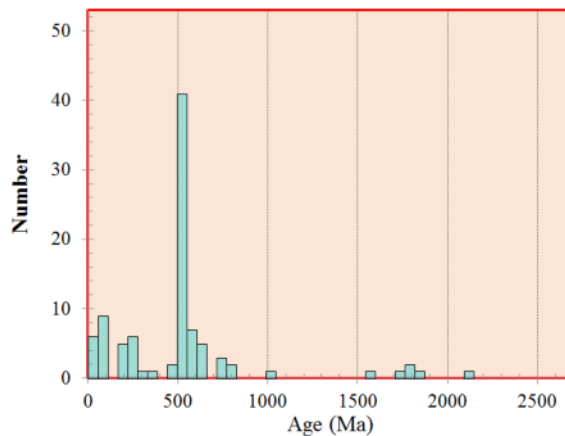
برخی از پژوهشگران [۲۵، ۴۲، ۴۷] نیز که در ارتباط با مجموعه‌های پی‌سنگی ایران مرکزی از جمله بنه‌شورو، چاپدون، خشومی، تاشک و نی‌باز بررسی‌های گسترده‌ای انجام کرده‌اند به وجود این گونه گستره‌های سنی اشاره کرده‌اند و برخی از آنها را به دگرگونی، دگرشکلی و فعالیت‌های ماگمایی بعدی تحمیل شده بر مجموعه‌های پی‌سنگی نسبت داده‌اند.

### تجزیه و تحلیل نتایج سنی سنجی

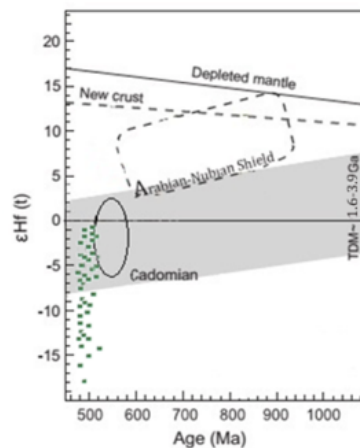
نتایج به دست آمده از سن‌سنجی به روش U-Pb بر کانی زیرکن نمونه‌های گرانیتی و گنیسی مجموعه دگرگونی نی‌باز نشانگر چندین گستره زمانی (۵۸۷ تا ۱۶۳۷، ۵۷۲ تا ۵۱۳، ۵۱۲ تا ۳۹۴، ۲۲۳ تا ۱۷۴، ۵۴ تا ۴۲ و ۱۳ تا ۱۱ میلیون سال) است (شکل‌های ۸ و ۹ را ببینید). البته شواهد منطقه‌ای و روابط صحرائی نشان می‌دهد که گستره زمانی ۵۷۰ تا ۵۳۰ میلیون سال سنی است که با واقعیت‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای همخوانی دارد و رخدادهای صورت گرفته در آن به احتمال زیاد بخشی از دگرگونی‌های کوهزایی کادومین بوده است. ولی سایر سن‌ها می‌توانند بازتابی از رخدادهای زمین‌ساختی ماگمایی و زمین‌ساختی دگرگونی باشند که این مجموعه‌های پی‌سنگی در دوره‌های زمانی مختلف، دستخوش آنها شده‌اند که از آن



شکل ۸ نمودار تغییرات سن‌های K-Ar به دست آمده از ۱۳ مورد سن‌سنجی بر طیف گسترده‌ای از ترکیبات سنگی مجموعه‌های آذرین - دگرگونی ایران مرکزی (شامل نی‌باز، چاپدونی، زمان آباد، اسماعیل‌آباد و ...). داده‌ها برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ ساغند، چادرملو و رباط پشت‌بادام هستند. بسیاری از این مقادیر با توجه به نتایج به دست آمده از سن‌سنجی‌های جدید به روش U-Pb بر زیرکن [۲۲]، در حاله‌ای از ابهام قرار دارند و در مواردی نیز نادرستی آن‌ها تأیید شده است.



شکل ۹ تغییرات فراوانی سن‌های U-Pb به دست آمده از ۹۵ مورد سن‌سنجی (به ازای هر دانه زیرکن) بر طیف گسترده‌ای از ترکیبات سنگی مجموعه‌های آذرین - دگرگونی ایران مرکزی (شامل نی‌باز، چاپدونی، خشومی، زمان آباد، زیرگان، دوزغ (دوزخ) دره، اسکمبیلو، اسماعیل‌آباد، آریز و ...). بیش‌ترین فراوانی سن‌ها در گستره سنی ۵۰ تا ۵۵۰ میلیون سال است. داده‌ها برگرفته از مرجع [۲۲] بوده و نمودار فراوانی آن‌ها به طور یکجا یا همزمان رسم شده است. اگرچه این نتایج ارزشمند و شایان توجه است ولی با توجه به روابط صحرائی در آنها، در مورد سن‌های جوان‌تر چون تریاس و آئوسن باید احتیاط کرد.



شکل ۱۰ تغییرات زمانی  $\epsilon Hf$  (بر حسب میلیون سال) برای زیرکن‌های گرانیت‌های نی‌باز.



## نسبت‌های ایزوتوپی Hf

به منظور شناخت فرآیندهای درگیر در میگماتیته شدن و گرانیت‌زایی، زیرکن نمونه‌های منطقه نی‌باز برای بررسی‌های ایزوتوپ هافنیوم استفاده شدند. تغییرات زمانی  $Hf_{initial}$  ( $^{176}Hf/^{177}Hf$ ) نسبت به یک مخزن هم شکل کندریتی (CHUR) با  $\epsilon Hf$  نشان داده می‌شود.  $\epsilon Hf$  نمونه‌های مورد بررسی منفی و از  $-1.02$  تا  $-18.87$  متغیر است. مقادیر  $\epsilon Hf$  بیانگر این است که نمونه در مقایسه با مخزن هم شکل کندریتی از  $^{176}Hf$  پرتوزا تهی شده است و احتمالاً از منبعی سرچشمه گرفته که در مقایسه با کندریت از Lu/Hf پایین‌تری برخوردار بوده است [۴۹]. تغییرات مشابه در سن‌های مدل ایزوتوپ هافنیوم برای زیرکن‌ها نشان می‌دهد که زیرکن‌ها از فرآیندهای تحلیل-بازتبلور (همراه با ذوب‌بخشی) هسته‌های زیرکن‌های قدیمی در یک سیستم بسته به وجود آمده‌اند و یا می‌تواند نشان‌دهنده مذاب‌های بخشی باشند از یک خاستگاه متفاوت باشند [۵۰، ۵۱]. مقادیر منفی  $\epsilon Hf$  با سرچشمه گرفتن مذاب‌های گرانیتی از ذوب سنگ‌های پوسته‌ای یا همان گنیس‌های مجموعه نی‌باز در غرب ساغند (یا به عبارتی سنگ‌های میزبان خود) همخوانی دارد. شواهد صحرایی و زمین‌شیمیایی نیز این امر را تأیید می‌کند.

## برداشت

مجموعه آذرین - دگرگونی نی‌باز از جمله سرزمین‌های پی-سنگی ایران است که در غرب ساغند (شمال یزد) رخنمون دارد و طیف گسترده‌ای از سنگ‌های دگرگونی متاپلیتی، متابازیتی و متاکریناته را شامل می‌شود. شواهد بارزی از ذوب‌بخشی، میگماتیته‌زایی و میلونیت‌زایی در برخی نقاط این مجموعه دیده می‌شود. سنگ‌هایی با ترکیب گابرو تا دیوریتی نیز این مجموعه را قطع کرده‌اند که جایگاه چینه‌شناسی آن‌ها هنوز به طور دقیق مشخص نیست.

اگرچه پیشتر تعیین سن‌هایی به روش‌های K-Ar و Rb-Sr بر این مجموعه و سایر مجموعه‌های سنگی هم‌جوار چون چاپدون، تاشک و زمان آباد صورت گرفته و بیانگر گسترده‌های سنی  $28 \pm 220$  تا  $5 \pm 65$  میلیون سال است، ولی با شواهد صحرایی از جمله وجود کنگلومرای سرشار از قطعات سنگی سرچشمه گرفته از سرزمین‌های پی‌سنگی در قاعده توالی رسوبی ژوراسیک - کرتاسه غرب ساغند تناقض نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر، سن‌سنجی جدید به روش U-Pb بر زیرکن-

های استخراج شده از گرانیت‌ها و گنیس‌ها نشان دهنده چند گستره زمانی (۵۸۷ تا ۱۶۳۷، ۵۷۲ تا ۵۱۳، ۵۱۲ تا ۳۹۴، ۲۲۳ تا ۱۷۴، ۵۴ تا ۴۲ و ۱۳ تا ۱۱ میلیون سال) است. شواهد منطقه‌ای و روابط صحرایی نشان می‌دهد که گستره زمانی ۵۷۰ تا ۵۳۰ میلیون سال سنی است که با واقعیت‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای سازگارتر بوده و نشانگر بخشی از دگرگونی‌های کوهزایی کادومین است. ولی سایر سن‌ها می‌توانند بازتابی از رخداد‌های زمین‌ساختی ماگمایی و زمین‌ساختی دگرگونی باشند که این مجموعه‌های پی‌سنگی در دوره‌های زمانی مختلف، دستخوش آنها شده‌اند که از آن جمله می‌توان به دگرگونی در ژوراسیک میانی و فعالیت‌های ماگمایی در ائوسن و میوسن اشاره کرد. البته این نتیجه‌گیری هنوز نیازمند داده‌های سنی بیشتر و تطبیق آنها با شواهد منطقه‌ای و صحرایی است. با توجه به داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری مقادیر ایزوتوپی هافنیوم،  $\epsilon Hf$  نمونه‌های مورد بررسی دارای مقادیر منفی بوده و از  $-1.02$  تا  $-18.87$  متغیر است. مقادیر منفی  $\epsilon Hf$  با سرچشمه گرفتن مذاب‌های گرانیتی از سنگ‌های پوسته‌ای یا همان گنیس‌های مجموعه نی‌باز در غرب ساغند (یا به عبارتی سنگ‌های میزبان خود) همخوانی دارد. شواهد صحرایی و زمین‌شیمیایی نیز این امر را تأیید می‌کند.

## مراجع

- [1] Sadeghian M., "Typical geological characteristic of the Late Proterozoic-Cambrian Iranian Gondwana land, as indicators for their better recognize. In: Proceeding of the 24<sup>th</sup> Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran", Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 1395, p 70-77. In Persian.
- [2] Balaghi Einalou M., "Petrology and geochemistry of Delbar igneous-metamorphic complex Biarjemand (southeast of Shahrood), Ph.D. thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 1393, In Persian.
- [3] Hosseini S.H., "Petrology, geochemistry and geochronology of Bande Hezar Chah granitoid of Biarjmand (southeast of Shahrood)", Ph.D. thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 1394, In Persian.
- [4] Hassanzadeh J., Stockli D., Horton B., Axen G., Stockli L., Grove, M., Shmitt A., Walker D., U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic -Early Cambrian granitoids in

National and the 2<sup>th</sup> International Geosciences Congress, Geological Survey of Iran, 2016.

[13] Karimpour M.H., Lang Farmer G., Stern C.R., Salati E., "U-Pb zircon geochronology and Sr-Nd isotopic characteristic of Late Neoproterozoic Bornaward granitoids (Taknar zone exotic block), Iran", Iranian journal of crystallography and mineralogy, (2011) No 1. PP: 1-18.

[14] Karimpour M. H., Rahimi B., Zirjanizadeh S., Salati A., "Petrology of intrusive bodies of Taknar mine area, Bardaskan (Kashmar)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 1389, vol. 18, No.1, p. 67-78. In Persian

[15] Malekzadeh Shafaroodi A., Karimpour M. H., Mazaheri S. h., "Geology, mineralization and chemistry of Tak I, Taknar polymetal massive sulfide (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit, Khorasan, Bardaskan", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 1383,2004, vol. 12, No.2, p1-12. In Persian.

[16] Rossetti F., Nozaem R., Lucci F., Vignaroli G., Gerdes A., Nasrabadi, M., Theye T., "Tectonic setting and geochronology of the Cadomian (Ediacaran-Cambrian) magmatism in Central Iran, Kuh-e-Sarhangi region (NW Lut Block)", Journal of Asian Earth Sciences, (2015) v. 102, p.24-44. Doi: 10.1016/j.jseae.2014.07.034.

[17] Sahandi M. R., "Geological Quadrangle Map of Ghasem Abad 1:100000. Geological Survey of Iran" (2002) Tehran.

[18] Mosavinejad Sough S., Nasrabadi M., Nouzaeim R., Davoudi Z., "Geothermobarometry and geological setting of metamorphic basement of Central Iran, Lakh Barghshi area (southwest of Khorasan Razavi)", Journal of Petrology, 1395, vol. 7, No. 26, p. 171-186. In Persian.

[19] Gramont X.B., Guillou Y., "Geological map of Kariznow", Geological Survey of Iran, (1979) Scale 1:100,000.

[20] Homam M., "Petrology and geochemistry of Proterozoic hornblendegabbros from southeast Fariman ( Khorasan Razavi province)", Journal of Economic Geology, 1394, vol. 7, No. 1, p. 91-110. In Persian.

[21] Razavi S.M.H., Moein Vaziri H., "Petrography and petrology of metamorphic rocks of Khoshmi and Nybaz", In: Proceeding of geology conference, 1371, Tarbiat Moallem University. In Persian.

[22] Ramezani J., Tucker R.D., "The Saghand Region, Central Iran: U-Pb geochronology petrogenesis and implications for Gondwana

Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement", Tectonophysics, (2008) 451: 71- 96.

[5] Shafaii Moghadam H., Khademi M., Hu H., Stern R.J., Santos J.F., Wu Y., "Cadomian (Ediacaran Cambrian) arc magmatism in the ChahJam-Biarjmand Metamorphic Complex (Iran): magmatism along the northern active margin of Gondwana", Gondwana Research., (2015) v. 27, no. 1, p.439-452.

[6] Rahmati-Ilkhchi M., Faryad S. W., Holub F.V., Košler J., Frank W., "Magmatic and metamorphic evolution of the Shotur Kuh metamorphic complex (centralIran)", Int. J. Earth. Sci. 100: 45–62. doi :10.1007/s00531-009-0499-0.

[7] Balaghi Z., Sadeghian M., Ghasemi H., Zhai M.G., Mohajjel M., "Zircon U-Pb ages, Hf isotopes and geochemistry of the schists, gneisses and granites in Delbar Metamorphic-Igneous Complex, SE Shahrood (Iran): implications for Neoproterozoic geodynamic evolutions of central Iran", J. Asian Earth Sci., (2014) 06.011. 10.1016/j.jseae.

[8] Hosseini S. H., Sadeghian M., Zhai M., Ghasemi H., "Petrology, geochemistry and zircon U-Pb dating of Band-e-Hezarchah metabasites (NE Iran): An evidence for back-arc magmatism along the northern active margin of Gondwana", Chemie der Erde 75, (2015) 207–218.

[9] Bagheri S., Stampfli G.M., "The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications", Tectonophysics. (2008) 451: 123–155. 10.1016/j.tecto.2007.11.047.

[10] Monazzami Bagherzadeh R., Karimpour M. H., Lang Farmer G., Stern C.R., Santos J.F., Rahimi B., Heidarian F Shahri M. R., "U-Pb zircon geochronology, petrochemical and Sr-Nd isotopic characteristic of Late Neoproterozoic granitoid of the Bornaward Complex (Bardaskan-NE Iran)", Journal of Asian Earth Sciences. (2015) 111: 54 –71.

[11] Shafaii Moghadam H., Li X.H., Santos J.F., Stern R.J., Griffin W., Ghorbani Gh., Sarebani N., "Neoproterozoic magmatic flare-up along the N. margin of Gondwana: The Taknar complex, NE Iran", Earth and Planetary Science Letters (2017) 474, p.83-96.

[12] Sarebani N., Ghorbani Gh., Shafaii Moghadam H., "Zircon U-Pb dating of plutonic rocks of Taknar zone, northeast of Iran", 34<sup>th</sup>

- Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashhad Branch, Iran, (2010) 26-28.
- [32] Saki A., "Proto-Tethyan remnants in northwest Iran: geochemistry of the gneisses and metapelitic rocks", *Gondwana Res.* (2010) 17: 704-714.
- [33] Haghypour A., Bolourchi M., Houshmandzadeh A., Sabzehei M., Stöcklin J., Hubber H., Sluiter W., Aghanabati A., "Exploration Text of the Ardekan Quadrangle map", Geological Survey of Iran. (1977) (Tehran, Iran, 88 pp.
- [34] Horton B.K., Hassanzadeh J., Stockli D.F., Axen G.J., Gillis R.J., Guest B., Amini A., Fakhari M.D., Zamanzadeh S.M., Grove M., "Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics", *Tectonophysics*, 2008, 451: 97-122. doi:10.1016/j.tecto.2007.11.063.
- [35] Haghypour A., "The evolution of geological events of Central Iran", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1968. In Persian.
- [36] Asadi S.A.A., "Geochemistry and geochronology of the igneous-metamorphic Neybaz complex in the Central Iran", M.Sc. teses, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran, 1396, In Persian.
- [37] Babakhani A.R., Majidi J., "Geological map of Saghanda, 1:100000 scale", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1374.
- [38] Shekari S., Sadeghian M., Zhai M., Ghasemi H.A., "The first report of gabbrodiorites dating of Shotorkuh igneous-metamorphic complex (southeast of Shahrood)", In: Proceeding of the 24<sup>th</sup> Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 1395. In Persian.
- [39] Haghypour A., Pelissier G., "Geology of the Saghanda Sector", In: Haghypour, A., Valeh, N., Pelissier, G., Davoudzadeh, M. (Eds.), Explanatory Text of the Ardekan Quadrangle Map: Geological Survey of Iran, H8, (1977), pp. 10-68.
- [40] Vase karami M., Sadeghian M., Shekari S., "Geochronology of late Proterozoic granitoids of north Aghol kando (south of Dochah, southeast of Shahrood)", In: Proceeding of the 24<sup>th</sup> Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 1395, p.392-398. In Persian.
- "Tectonics", *American Journal of Science*, (2003) 303: 622-665.
- [23] Asadi S.A.A., Ghorbani Gh., Shafaii Moghadam H., "Geochronology of the Late Proterozoic granitic and gneissic of the Neybaz complex by U-Pb method on zircon, a strategy to better understanding Cadomian orogenic", In: Proceeding of the 24<sup>th</sup> Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, 1395, p 70-77.
- [24] Karagaranbafghi F., Foeken J.P.T., Guest B., Stuart F.M., "Cooling history of the Chapedony metamorphic core complex, Central Iran: implications for the Eurasia-Arabia collision", *Tectonophysics*, (2012) 524-525, 100-107.
- [25] Masoodi M., Yassaghi A., Nogole Sadat M.A.A., Neubauer F., Bernroider M., Friedl G., Genser J., Houshmandzadeh A., "Cimmerian evolution of the Central Iranian basement: Evidence from metamorphic units of the Kashmar-Kerman Tectonic Zone", *Tectonophysics* 588, (2013) 189-208.
- [26] Darvishzadeh A., Aleh Taha B., "Magmatism and tectonomagmatism of Late Precambrian in Central Iran", *Journal of Sciences of Tehran University*, vol. 22, No. 1, 1375.
- [27] Ahlesada S.M., Ghorbani Gh., Shafaii Moghadam H., "Geochemistry of Akbar Abad igneous rocks, E Zarand", 8<sup>th</sup> Symposium Iranian Society of Economic geology, 1395, Zanjan University, Zanjan.
- [28] Alavi Naeini M., "Geological map of Ikar Kuh, 1:250000 scale", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 1360.
- [29] Shafaii Moghadam H., Li H. X., Stern R. J., Ghorbani Gh., Bakhshizad F., "Zircon U-Pb ages and Hf-O isotopic composition of migmatites from the Zanjan - Takab complex, NW Iran: Constraints on partial melting of metasediments", *Lithos* (2016) (240-243): 34-48.
- [30] Jamshidi Badr M., Collins A.S., Masoudi F., Cox G., Mohajjel M., "The U-Pb age, geochemistry and tectonic significance of granitoids in the Soursat Complex", *Northwest Iran. Turkish Journal of Earth Sciences* (2013) 22,1- 31.
- [31] Jamshidi Badr M., Collins A., Masoudi Fariborz S., "The age of metasedimentary rocks and their regional metamorphism in the Soursat Complex, NW IRAN: U-Pb dating of zircon and monazite, using LA-ICP-MS", The 1<sup>st</sup> International

of a metamorphic core complex and subsequent formation of the Iranian plateau", GSA Today 25 (7), (2015) 4–8.

[47] Verdel C., Wernicke B.P., Ramezani J., Hassanzadeh J., Renne P.R., Spell T.L., "Geology and thermochronology of Tertiary Cordilleran-style metamorphic core complexes in the Saghand region of central Iran", Geological Society of America Bulletin 119, (2007) (7 – 8): 961 – 977. 10.1130/B26102.1.

[48] Yassaghi A., Masoodi M., "A Metamorphic Core Complex model for the host of Uranium mineralization in the Khoshoumi Mountain, Central Iran", Resource Geology 61 (3), (2011) 259–269.

[49] Faure G., Mensing T. M., "Isotopes: Principles and Applications", John Wiley and Sons, New Jersey (2005).

[50] Wu F.Y., Li X.H., Zheng Y.F., Gao S., "Lu–Hf isotopic systematics and their applications in petrology", Acta Petrologica Sinica 23 (2), (2007a) 185–220.

[51] Liu Q., Wu Y.B., Wang H., Gao S., Qin Z.W., Liu X.C., Yang S.H., Gong H.J., "Zircon U–Pb ages and Hf isotope compositions of migmatites from the North Qinling terrane and their geological implications", Journal of Metamorphic Geology (2014) 32 (2), 177–193.

[41] Karimpour M.H., Lang Farmer G., Stern C.R., Salati E., "U–Pb Zircon geochronology and Sr–Nd isotopic characteristic of late Neoproterozoic Bornaward granitoids (Taknar zone exotic block)", Iran. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 1390/2011, vol. 19, No.1, p. 1-18.

[42] Kargaranbafghi F., Neubauer F., Genser J., Faghih A., Kusky T., "Mesozoic to Eocene ductile deformation of western Central Iran: from Cimmerian collisional orogeny to Eocene exhumation", Tectonophysics, 564–565, (2012) 83–100.

[43] Kargaranbafghi F., Neubauer F., Genser J., Houshmandzadeh A., "The Eocene Chapedony metamorphic core complex in Central Iran: preliminary structural results", Geophysical Research Abstracts 8, (2006) (EGU06-A-05008).

[44] Kargaranbafghi F., Neubauer F., Genser J., Houshmandzadeh A., "40Ar/39Ar constraints on the tectonothermal evolution of the Chapedony metamorphic core complex, Central Iran". Geophysical Research Abstracts 9, (2007) (EGU07-A-07387).

[45] Kargaranbafghi, F., Neubauer, F., Genser, J., "The Mesozoic–Cenozoic tectonic evolution of western Central Iran seen through detrital white mica", Geophysical Research Abstracts 11, (2009) (EGU 09-A-7969).

[46] Kargaranbafghi F., Neubauer F., "Lithospheric thinning associated with formation