

دگرگونه‌های زاینده‌رود، شمال شهر کرد: دو تفسیر به کلی متفاوت از یک مجموعه پی‌سنگی در نقشه‌های زمین‌شناسی نجف‌آباد و چادگان

رضوانه جمالی آشتیانی^۱، جمشید حسن‌زاده^{۲*} و محمد رهگشای^۳

^۱دکتر، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲محقق، مؤسسه فناوری کالیفرنیا، کالیفرنیا، ایالت متحده آمریکا
^۳استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۸

چکیده

دگرگونه‌های زاینده‌رود در نقشه زمین‌شناسی یکصد هزارم نجف‌آباد به پرکامبرین و در نقشه چادگان به ژوراسیک نسبت داده شده‌اند. این تفسیرهای بسیار متفاوت سبب شده که این دو نقشه از ناسازگارترین نقشه‌های زمین‌شناسی همسایه باشند. طبق نقشه نجف‌آباد دگرگونه‌های زاینده‌رود به‌طور ناهمبند با سنگ‌آهک‌های پریمین پوشیده شده‌اند و در نتیجه سن نسبی آنها پیش از پریمین است. از سوی دیگر این دگرگونه‌ها با توده‌های گرانیتوئیدی قطع شده‌اند که سن تبلور آنها به روش U-Pb روی زیرکن نئوپروتروزوییک پایانی است؛ بنابراین سن پروتولیت دگرگونه‌ها پرکامبرین است. در برابر آن، در نقشه چادگان سن پروتولیت دگرگونه‌ها و توده‌های گرانیتوئیدی قطع‌کننده آنها ژوراسیک منظور شده است. در این مقاله دلایل قابل شدن سن ژوراسیک برای پروتولیت دگرگونه‌ها و ارتوگنیس‌های میلوئیتی در نقشه چادگان در قالب خط در مشاهده میدانی تحلیل شده است. همچنین بحث شده است که سن‌های ژوراسیک به دست آمده به روش $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ نشان‌دهنده زمان دگرگونی است و تأییدی بر سن خط‌آمیز ژوراسیک برای پروتولیت آنها شمرده نمی‌شود.

کلیدواژه‌ها: دگرگونه‌های زاینده‌رود، نقشه زمین‌شناسی نجف‌آباد، نقشه زمین‌شناسی چادگان، پرکامبرین، ژوراسیک.

E-mail: Jamshid@caltech.edu

نویسنده مسئول: جمشید حسن‌زاده

۱- پیش‌نوشتار

وجود اختلاف میان نقشه‌های زمین‌شناسی همسایه غیرمعمول نیست و روش جاری برای رفع آنها یکسان‌سازی‌های لازم پیش از چاپ پایانی است؛ هر چند که استثنایی هم وجود دارد. برداشت‌های بسیار متفاوت از سن دگرگونه‌های زاینده‌رود نمونه آشکاری از اجرا نشدن یکسان‌سازی نقشه‌هاست. این مجموعه مرکب از شیست‌ها و ارتوگنیس‌های میلوئیتی شده با گسترش بیش از ۸۰۰ کیلومتر مربع است که با روندی موازی ساختارهای اصلی زاگرس در استان‌های اصفهان و چهارمحال بختیاری رخنمون دارند. رخنمون‌های مربوط در چهارگوش‌های دویست و پنجاه هزارم اصفهان (زاهدی، ۱۳۵۵) و شهرکرد (زاهدی و رحمتی ایلخچی، ۱۳۸۴) جای دارند و به‌عنوان مجموعه‌های پی‌سنگی معرفی شده‌اند که به‌طور ناهمبند زیر سنگ‌های کربناتی پریمین جای گرفته‌اند (شکل ۱). در نقشه‌های زمین‌شناسی یکصد هزارم، بیشتر این دگرگونه‌ها در برکه‌های نجف‌آباد (زاهدی، ۱۳۵۴) و چادگان (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۵) جای می‌گیرند که اولی به درستی نشان از سن پرکامبرین برای این سنگ‌ها دارد؛ اما دومی با تفسیری از پایه متفاوت، سن این دگرگونه‌ها را ژوراسیک معرفی می‌کند (شکل ۲). این ناهمخوانی گراف درباره سن دگرگونه‌های زاینده‌رود سبب شده است که برکه‌های نجف‌آباد و چادگان نمونه‌ای از نقشه‌های زمین‌شناسی متناقض کنار هم از آب در آیند. داده‌های U-Pb زیرکن که در این جا ارائه می‌شود، درستی تفسیر تهیه‌کنندگان نقشه نجف‌آباد را تأیید می‌کند.

اندازه‌گیری‌های رادیومتری اخیر با استفاده از روش U-Pb روی زیرکن دو دسته سن را برای گرانیتوئیدهای قطع‌کننده این مجموعه به دست داده است که دسته قدیمی‌تر شامل سن‌های نئوپروتروزوییک پایانی است (Nutman et al., 2014)؛ جمالی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Davoudian et al., 2016). بنابراین سن پروتولیت دگرگونه‌ها بی‌گمان پرکامبرین است. اکنون پرسش این است که تهیه‌کنندگان نقشه‌های نجف‌آباد و چادگان بر پایه کدام مشاهده‌های میدانی به دیدگاه‌هایی چنین متفاوت رسیده‌اند؟ آیا این تفاوت از این رو است که یکی سن پروتولیت دگرگونی را معیار قرار داده است و دیگری زمان دگرگونی را؟ هر چند که اگر هم دلیل آن بوده است؛ قابل دفاع نیست. چرا که در روش معمول تهیه نقشه در مجموعه‌های دگرگونی، با آنها به شکل واحدهای رسوبی و آتشفشانی برخورد می‌شود. یعنی سن

پروتولیت دگرگونه‌ها ملاک قرار می‌گیرد (Compton, 1985)؛ اما حقیقت این است که به‌نظر می‌رسد مشکل در تفاوت سلیقه نبوده است. چون بررسی نقشه زمین‌شناسی چادگان نشان می‌دهد که سن ژوراسیک نسبت داده شده به دگرگونه‌های زاینده‌رود، از نگاه تهیه‌کنندگان نقشه بر مشاهده فسیل بوده؛ یعنی اسناد چینه‌شناختی داشته است. بدون تردید کاوش در فهم چگونگی شکل‌گیری این دو دیدگاه ناسازگار، اهمیت بسزایی دارد. این مقاله با استفاده از روابط قطع‌شدگی دیده شده روی زمین و همچنین بر پایه یافته‌های ژئوکرونولوژیک در مورد این اختلاف تفسیر داوری می‌کند.

۲- همبری ناهمبند میان رسوبات پریمین و دگرگونه‌ها

دگرگونه‌های زاینده‌رود بیشتر شامل میکاشیست، گرافیت‌شیست، متاولکانیک، ارتوگنیس و آمفیولیت است که دستخوش برش (shearing) شدید شده‌اند (شکل ۳). نرم‌فرسای این کمپلکس، جز در دیواره‌های سترگ رودخانه زاینده‌رود، چشم‌اندازهایی از نوع تپه‌ماهور و عاری از پستی و بلندی زیاد در کل منطقه پدید آورده است. روی این پی‌سنگ آذرین-دگرگونی نرم‌فرسا ستیخ‌هایی مرکب از لایه‌های رسوبی جوان‌تر به‌طور ناهمبند یا گسلی قرار دارند. کهن‌ترین این واحدهای رویی لایه‌های رسوبی پریمین هستند که آثار دگرگونی ندارند و بر پایه نقشه نجف‌آباد با کنگلومرای پایه روی شیست‌های پرکامبرین نشسته‌اند. چون این همبری اهمیت کلیدی در گشودن معمای اختلاف گراف میان دو نقشه زمین‌شناسی مورد بحث دارد، توصیف دقیق آن ضروری است.

سنگ‌آهک پریمین، ستیخ‌های کم‌ارتفاعی را به‌دنبال هم و در امتداد شمال غربی در نیمه جنوبی هر دو برکه تشکیل می‌دهد (شکل‌های ۱ و ۴). در نظر گرفتن سن پریمین برای این واحد سنگی، بر پایه گزارش زاهدی (۱۳۵۵) از محدوده نقشه یکصد هزارم نجف‌آباد است که بقایای میکروفسیل‌های فوزولینید را در همین سنگ‌ها دید و سن پریمین میانی تا بالایی را برای آنها در نظر گرفته است. وی ستبرای رخنمون‌های پریمین را میان ۲۰ تا ۱۰۰ متر گزارش کرده که به‌طور دگرشیب با رسوبات ژوراسیک پوشیده شده‌اند.

مطالعات صحرائی نشان می‌دهد کنگلومرا و ماسه‌سنگ پایه پریمین، با ستبرای متغیر

ضمن شاهد میدانی برای آن وجود ندارد. صرف نظر از نبود شواهد میدانی برای دگرشیبی یاد شده، ادعای وجود بلمنیت در هر دو سری دگرگونه‌ها لزوم بازه زمانی به نسبت کوتاهی را برای این دگرشیبی زاویه‌دار مطرح می‌کند که با زمان بسیار طولانی‌تر لازم برای شکل‌گیری آن (شامل تدفین بسیار ژرف، چین‌خوردگی و دگرگونی، برخاست زمین‌ساختی، فرسایش مجموعه دگرگونی پایینی، نشست ناحیه‌ای، پیشروی دریایی، نهشته شدن لایه‌های بالایی، تدفین بسیار ژرف دوباره، چین‌خوردگی و دگرگون شدن لایه‌ها و برخاست زمین‌ساختی) منافات دارد. حتی پذیرش این مدل ذهنی وقتی دشوارتر می‌شود که نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهد دو مجموعه دگرگونی منتسب به ژوراسیک به‌طور دگرشیب با ردیف‌هایی از نهشته‌های رسوبی دگرگون نشده ژوراسیک شامل کنگلومرای قاعده‌ای، سنگ‌آهک‌های سبتر لایه بلمنیت‌دار و شیل پوشیده شده است. به عبارت دیگر نتیجه این مدل ذهنی آن است که آهنگ رویدادهای زمین‌شناختی زمان ژوراسیک در ناحیه چادگان به‌طور کاملاً استثنایی با دیگر نقاط جهان در همه زمان‌ها متفاوت و از آنها بس تندتر بوده است.

۳-۳. نادگرگون بودن نهشته‌های پیش از ژوراسیک

نهشته‌های رسوبی-آتشفشانی پرمین و تریاس در محدوده این نقشه دگرگون نشده‌اند و این با دگرگونه بودن واحدهای سنگی ژوراسیک، آن گونه که در نقشه چادگان رسم شده است، همخوان نیست. همان‌طور که تصویر میدانی (شکل ۳) و نتایج دماشناسی (جدول‌های ۱ و ۲) نشان می‌دهد؛ دگرگونه‌ها و میلیونیت‌ها در دما و فشار بالا یعنی در ژرفای زیاد تبلور دوباره یافته‌اند و دچار دگرشکلی خمیری شکل شدیدی شده‌اند. برای نمونه، گسترش نوارهای برشی در گرانیتوئیدها (شکل ۳-ه) و نازک‌شدگی خیلی زیاد در دایک‌های دایبازی (شکل ۳-و) بیانگر کشیدگی شدید در دگرگونه‌ها در دمای بالاست. نبود چنین تغییرات بافتی در واحدهای سنگی پرمین و تریاس خود نشان می‌دهد که برخلاف استناد نقشه چادگان، سن پروتولیت دگرگونه‌ها نمی‌تواند ژوراسیک باشد. به عبارت دیگر اگر نهشته‌های ژوراسیک چنان تدفین ژرفی یافته باشند که دگرگونه‌های زاینده‌رود از آنها بوجود آمده باشد؛ چگونه ممکن است که نهشته‌های پرمین و تریاس چنان رویداد دگرگونی را تجربه نکرده باشند.

۳-۴. ابهام در فرض سن ژوراسیک برای همه گرانیتوئیدها

پرسش دیگر، چگونگی قائل شدن سن ژوراسیک برای گرانیت‌های گنیسی شده نئوپروتروزوییک است (جدول ۳). این نتیجه‌گیری باید حاصل فرض کردن ارتباط دگرگون‌شدگی سنگ‌های زاینده‌رود با فعالیت آذرین درونی باشد. اگر چه این ارتباط در مقیاس ناحیه‌ای ممکن است به دلیل فراوانی گرانیتوئیدهای ژوراسیک در پهنه سندانج-سیرجان منطقی به نظر برسد؛ اما دگرگونی فشار بالا (Izadyar et al., 2013) نمی‌تواند از نفوذ گرانیتوئیدهای ژوراسیک زاینده‌رود (حسینی و احمدی، ۱۳۹۵) نتیجه شده باشد.

۴-آزمون دو دیدگاه مختلف با استفاده از یافته‌های ژئوکرونولوژیک

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، مشاهده میدانی نشان از سن کهن‌تر از پرمین برای دگرگونه‌ها دارد (شکل ۳). تعیین سن تبلور گرانیتوئیدهایی که به ارتوگنیس و میلیونیت بدل شده‌اند، با روش U-Pb روی بلورهای زیرکن ماگمایی، این مشاهده را تأیید و زمان نئوپروتروزوییک پایانی را برای بخشی از فعالیت آذرین درونی مشخص می‌کند (جدول ۳). بنابراین سنگ‌های قطع شده توسط گرانیتوئیدها از آن هم قدیمی‌ترند و به احتمال، معادل سنی سازند کهر و شاید هم معادل واحدهای سنگی قدیمی‌تر از آن باشند که به‌طور پراکنده از جمله در ناحیه ماه‌نشان رخنمون دارند؛ اما سن دقیق آنها هنوز معلوم نیست (Horton et al., 2008; Hassanzadeh et al., 2008; Jamshidi-Badr et al., 2010; Etemad-Saeed et al., 2016; Fergusson et al., 2016). گفتنی است که واحدهای سنگی کهن‌تر از سازند کهر هنوز با قطعیت در پهنه سندانج-سیرجان معرفی نشده است. با این حال دگرگونه‌های زاینده‌رود نمونه دیگری از پی‌سنگ

۱۵ تا ۳ متر و به رنگ خاکستری تیره دارای خرده‌های شست سیاه و کوارتز شیری رنگ از پی‌سنگ است که با خرده‌سنگ‌های آهکی و کوارتزی همراهی می‌شوند. بعضی نمونه‌ها دارای دانه‌های پیریت آواری هستند که به نظر می‌رسد از پی‌سنگ سرچشمه گرفته‌اند (شکل ۴-ب). شست‌های سیاه‌رنگ (غنی از مواد آلی) می‌توانند دارای پیریت فراوان باشند. در این حالت باید فرسایش مکانیکی شدیدی رخ داده باشد تا پیریت بتواند به‌صورت آواری انتقال و رسوب دوباره یابد. گرفت-شست، از سنگ‌های شاخص مجموعه دگرگونی زاینده‌رود، اصلی‌ترین خرده‌سنگ‌های تشکیل‌دهنده این واحد است. بر پایه این همبری، سن نسبی دگرگونه‌ها بی‌گمان کهن‌تر از سنگ‌آهک‌های پرمین روی آنهاست. شایان توجه است که رخنمون‌های آشکار این همبری ناهمشیب و کلیدی، در برگه زمین‌شناسی چادگان به کلی نادیده گرفته شده است. رخنمون آشکاری از این همبری ناهمشیب، در معدن سنگ لاشه قادرآباد با موقعیت جغرافیایی $34^{\circ} 34' 11''$ عرض شمالی و $50^{\circ} 59' 45''$ طول خاوری در ارتفاع حدود ۲۱۴۰ متری در کنار جاده تیران-سامان، و در حاشیه خاوری برگه چادگان در برابر دید است (شکل ۴-الف). هر چند گفتنی است که در این رخنمون هیچ خرده‌سنگی از میکاشیست‌ها و گنیس‌ها درون کنگلومرا دیده نمی‌شود.

۳-دیگر برداشت‌های نادرست در برگه چادگان

نقشه زمین‌شناسی چادگان از چند منظر دیگر نیز دستخوش خطا در مشاهدات و تفسیر آنهاست که در ادامه بررسی خواهد شد.

۳-۱. انتساب خطا آمیز همراهی سنگ‌های فسیل‌دار ژوراسیک با دگرگونه‌ها

افزون بر نادیده گرفتن همبری ناهمشیب رسوبات پرمین با دگرگونه‌های زیر آن، در برگه یکصد هزارم چادگان ادعا شده که بخش میانی مجموعه دگرگونی زاینده‌رود با درجه دگرگونی در حد رخساره آمفیبولیت و اکلوزیت با لایه‌های سنگ‌آهک بلمنیت‌دار همراه است (شکل ۱) و همین فرض موجب نسبت دادن پروتولیت دگرگونه‌های زاینده‌رود به ژوراسیک شده است. فرض یاد شده به کلی خطاست؛ زیرا حفظ فسیل در سنگ‌هایی گرم شده تا حد تبلور گارنت و آمفیبول ممکن نیست. محاسبات زمین‌دماسنجی روی زوج کانی گارنت-کلینوپیروکسن در سنگ‌های یاد شده دامنه دمای ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد که به معنی تبلور دوباره کامل است (جدول ۱). حال باید پرسید این خطا، یعنی دیدن سنگ‌آهک بلمنیت‌دار در میان دگرگونه‌هایی با آن شدت دگرگونی از کجا ناشی شده است؟ نهشته‌های سنگ‌آهکی دگرگون نشده ژوراسیک رخنمون‌های گسترده دارند و به‌طور گسلی روی دگرگونه‌ها قرار گرفته‌اند. برای نمونه در نقطه B (شکل ۵) بلوک‌های پراکنده کم‌ارتفاع و محدودی از این سنگ‌های آهکی روی دگرگونه‌های نرم‌فرسا قرار دارند. به‌نظر می‌رسد دربرگرفته شدن رخنمون سنگ‌آهک با دگرگونه‌ها سبب ایجاد این ذهنیت شده است که سنگ‌آهک‌های فسیل‌دار به‌شکل میان‌لایه درون دگرگونه‌ها هستند. اما صرف نظر از ناهمخوانی گراف دمای تشکیل سنگ‌های آهکی فسیل‌دار و دگرگونه‌های رخساره آمفیبولیت، بررسی قاعده رخنمون‌ها نشان می‌دهد که فرض میان‌لایه‌ای بودن سنگ‌آهک‌ها درست نیست. همبری سنگ‌های آهکی ژوراسیک با دگرگونه‌های زیرین آنها گسلی است (شکل ۵-ب). جالب توجه است که این همبری گسلی میان سنگ‌های رسوبی ژوراسیک و دگرگونه‌های زاینده‌رود پیش از این هم در بخش‌هایی از نقشه چادگان و نیز در نقشه یک دویت و پنجاه هزارم شهرکرد نشان داده شده است. همبری گسلی مشابه در ورقه یکصد هزارم محلات میان سنگ‌های رسوبی دگرگون نشده ژوراسیک با دگرگونه‌های پراکامبرین گزارش شده است (شیخ‌الاسلامی و زمانی پدram، ۱۳۸۴).

۳-۲. دگرشیبی زاویه‌دار بحث‌انگیز در میان دو مجموعه دگرگونی منتسب به ژوراسیک

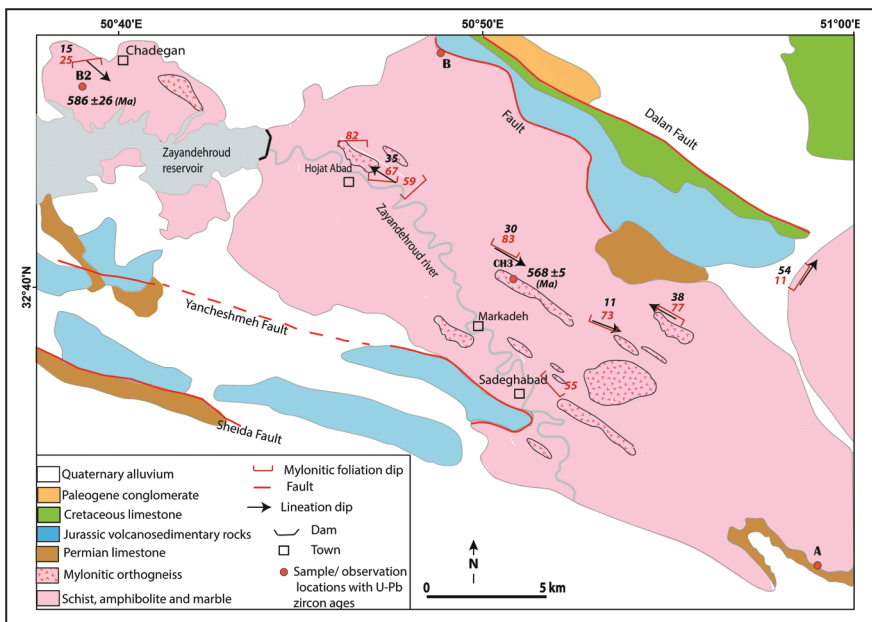
دگرشیبی نمایش داده شده میان دو دسته دگرگونه‌های پایینی و بالایی در مقطع عرضی پایین نقشه چادگان، از دیدگاه اصول زمین‌شناسی قابل توجیه نیست و در

می‌کند و سن نئوپروتروزویک پابانی را برای گنیس‌های میلوئیتی شده و قطع‌کننده دگرگونه‌ها به دست می‌دهد. نقشه نجف‌آباد از این رو که دگرگونه‌های زاینده‌رود را به عنوان پی‌سنگ پرکامبرین معرفی می‌کند، با داده‌های ژئوکرونولوژی نوین همخوانی دارد. سن ژوراسیک نسبت داده شده به دگرگونه‌ها در نقشه زمین‌شناسی چادگان نادرست بوده و از دو اشتباه در مشاهدات میدانی نتیجه شده است. نخست، نادیده گرفتن همبری ناهمشبب سنگ‌آهک‌های پرمین و دگرگونه‌ها و دوم، فرض مجاورت نهشتی (Depositional contact) سنگ‌آهک‌های فسیل‌دار ژوراسیک با دگرگونه‌ها. صرف نظر از اینکه سن تبلور گرانتیویدهای پروتولیت گنیس‌های زاینده‌رود اینک با روش‌های پرتوسنجی مناسب پرکامبرین تعیین شده است؛ سن‌یابی آرگون نیز همراهی نهشتی (Depositional assemblage) رسوبات ژوراسیک و دگرگونه‌ها را تأیید نمی‌کند. دمای بسته شدن این کانی‌ها بازه ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سلسیوس دارند و این در حالی است که دماسنجی کانی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین دمای دگرگونی بالاتر از این دامنه بوده است. بر پایه فشارسنجی کانی، سنگ‌ها در فشار ۱۷ کیلوپار معادل ژرفای حدود ۵۰ کیلومتری بوده‌اند. بنابراین با توجه به لزوم تدفین ژرف در ژوراسیک چگونگی ممکن است که دگرگونه‌ها در همان زمان در سطح زمین تصور شوند که رسوبات روی آنها را بپوشانند؟

بازنگری و به‌روز کردن نقشه‌ها از جمله مسئولیت‌های بنیادی و درازمدت سازمان زمین‌شناسی کشور است که زمان پابانی برای آن متصور نیست. یکسان‌سازی برگه‌های یکصد هزارم چادگان و نجف‌آباد به دلیل ناهمخوانی‌های آشکاری که با یکدیگر دارند کاری ضروری است و انجام آن با استفاده از پرسش‌ها و توصیه‌های مطرح شده در این مقاله و لحاظ کردن داده‌های ژئوکرونولوژیک انجام‌شدنی و بسیار آموزنده خواهد بود.

سپاسگزاری

این پژوهش از دستاوردهای علمی مرحوم دکتر محمد محجل سود برده است که سالیان درازی را وقف پاسخگویی به پرسش‌های مرتبط با دگرگونه‌های زاینده‌رود و دیگر مجموعه‌های پی‌سنگی پهنه سنندج-سیرجان نمود. از خدمات علمی تهیه‌کنندگان نقشه‌های زمین‌شناسی نجف‌آباد و چادگان سپاسگزاری می‌شود که با کوشش‌های بی‌دریغ و ایده‌های چالش‌برانگیز خود باب بحث در مورد سن و منشأ دگرگونه‌های زاینده‌رود را گشودند. تفکر نگارش پرسش‌های مطرح شده در این مقاله از آن دکتر سعید علیرضایی است که برای انگیزه بخشیدن به نگارندگان جای سپاس دارد.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده دگرگونه‌های زاینده‌رود در محدوده برگه یکصد هزارم چادگان (برگرفته از زاهدی و رحمتی ایلخچی، ۱۳۸۴؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۸۵). نقطه A موقعیت ناهمشبب میان سنگ‌های رسوبی دگرگون نشده پرمین با دگرگونه‌های پرکامبرین و نقطه B موقعیت ناهمشبب میان نهشته‌های دگرگون نشده ژوراسیک با دگرگونه‌های پرکامبرین را نشان می‌دهد. نقطه B2 محل نمونه ارتوگنیس سن‌یابی شده توسط Nutman et al. (2014) و نقطه CH3 موقعیت نمونه ارتوگنیس میلوئیتی سن‌یابی شده توسط جمالی آشتیانی و همکاران (۱۳۹۵) و نتایج سنی آنها را نشان می‌دهد.

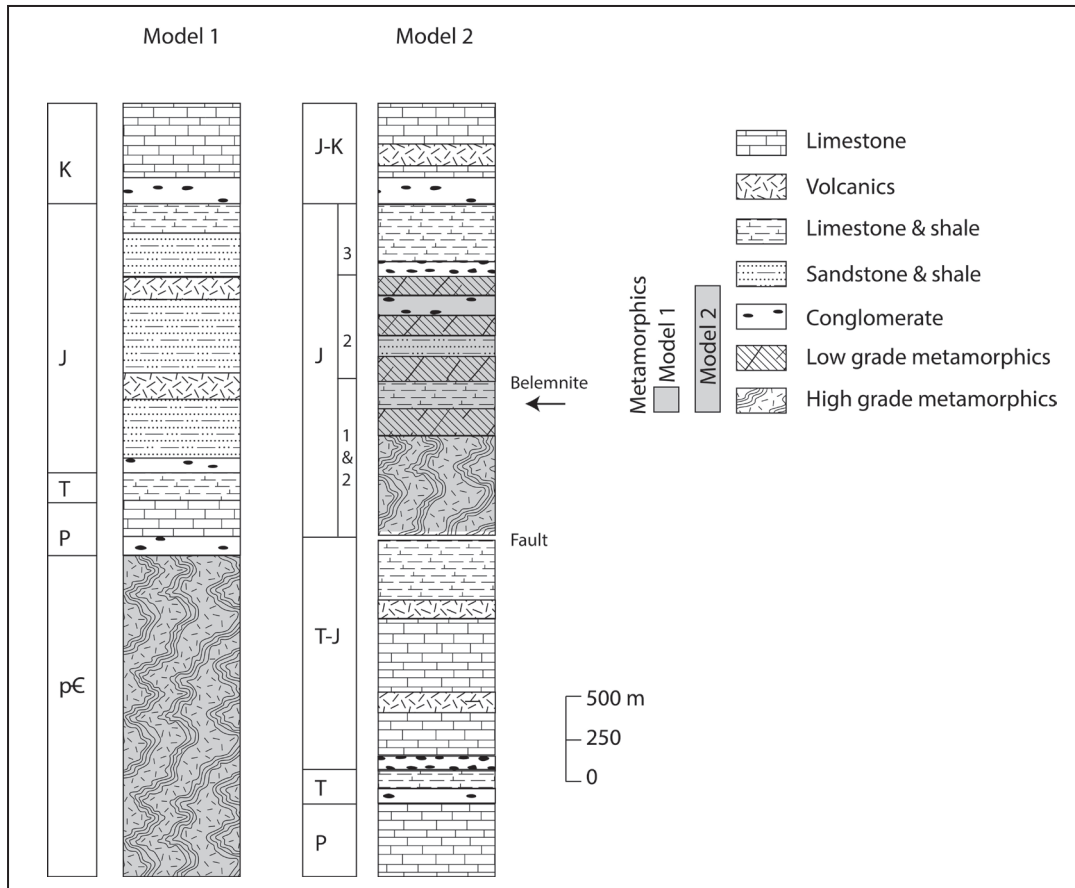
پرکامبرین در ایران هستند که پیشتر رخنمون آنها از جاهای دیگر پهنه سنندج-سیرجان گزارش شده است (Eftekharnazhad, 2004; Hassanzadeh et al., 2008; Nutman et al., 2014; Hassanzadeh and Wernicke, 2016).

۵- نتایج سن‌یابی آرگون - آرگون و معانی آن در ارتباط با دو دیدگاه مختلف

Davoudian et al. (2016) و داودیان و همکاران (۱۳۹۰) با تجزیه ایزوتوپی آرگون میکای سفید از گنیس‌ها و اکلوزیت چادگان، سن ژوراسیک را گزارش کرده‌اند (جدول ۴). بدون تردید این سن‌ها بیانگر آخرین زمان دگرگونی ناحیه‌ای برای مجموعه زاینده‌رود هستند و همان‌طور که از سن‌های نئوپروتروزویک U-Pb زیرکن در جدول ۳ بر می‌آید؛ ربطی به سن پروتولیت دگرگونه‌ها ندارد (Davoudian et al., 2016) و (جمالی آشتیانی و همکاران، ۱۳۹۵). این سن دگرگونی برای دیگر نقاط پهنه سنندج-سیرجان از جمله همدان (Agard et al., 2005; Sepahi et al., 2014) موه-گلپایگان (Rashidneja-Omran et al., 2002) و نیریز-چاه دزدان (Fazlnia et al., 2009; Hosseini et al., 2012) نیز گزارش شده است. اما انتشار اولیه این داده‌ها (داودیان و همکاران، ۱۳۹۰) موجب تقویت فرض خط‌آزمی سن ژوراسیک برای دگرگونه‌های زاینده‌رود شده و از سوی دیگر به فرضیه‌پردازی در مورد تشکیل حوضه اقیانوسی جدید در میانه پهنه سنندج-سیرجان در زمان ژوراسیک انجامیده است (Arfania and Shahriari, 2009). شایان توجه است که نتایج سن‌سنجی آرگون، محکم مناسبی برای سن ژوراسیک نسبت داده شده به دگرگونه‌های زاینده‌رود است. زیرا با توجه به اینکه دمای بسته شدن شبکه بلوری میکای سفید بر روی آرگون حدود ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد است (McDougall and Harison, 1999; Pourteau et al., 2013)؛ پس دگرگونه‌های فشار بالای مطالعه شده در زمان ژوراسیک در ژرفای زیاد مدفون بوده‌اند. با این تفسیر، مجاورت نهشتی (Depositional contact) سنگ‌آهک‌های فسیل‌دار ژوراسیک با دگرگونه‌های زاینده‌رود در مدل B (شکل ۲) غیر ممکن است.

۶- نتیجه‌گیری

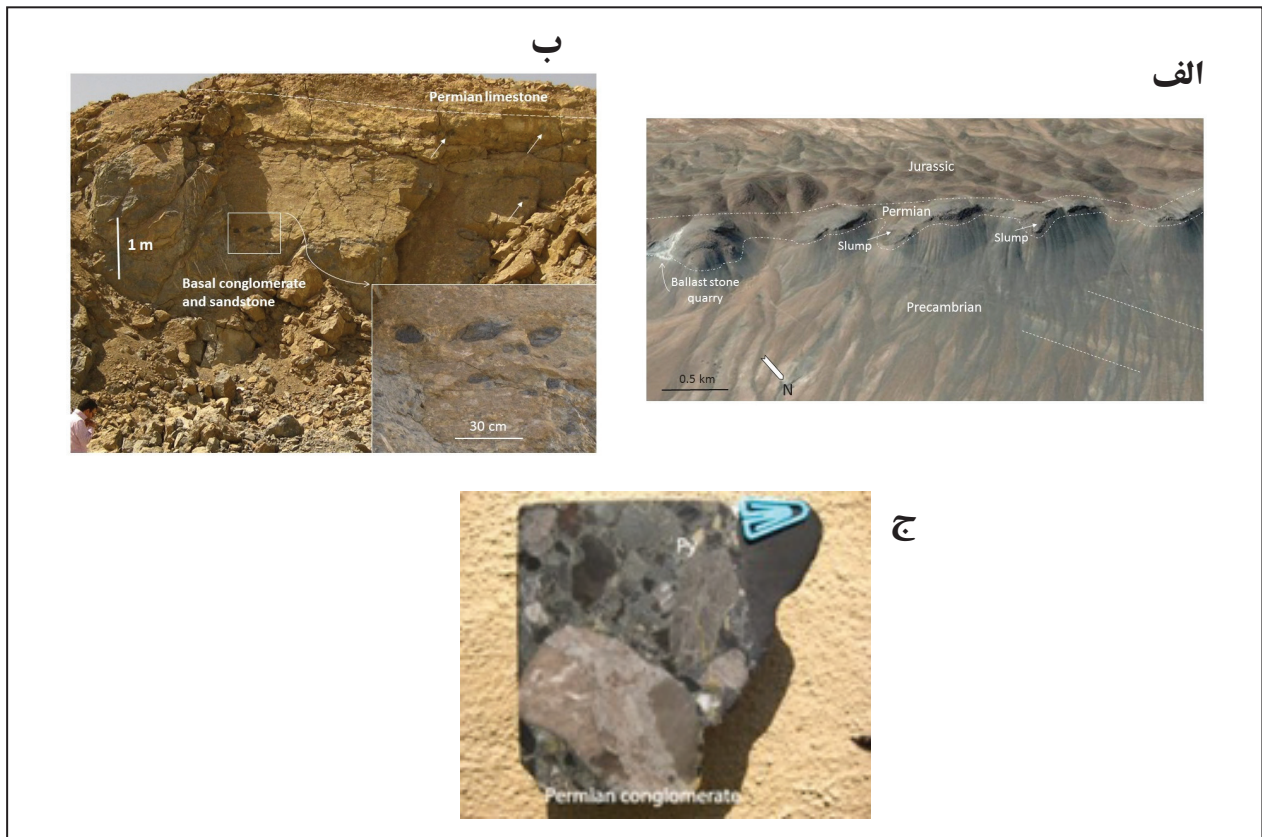
روش جاری برای نمایش سنگ‌های دگرگونی در نقشه‌های زمین‌شناسی، بر پایه سن پروتولیت رسوبی یا آذرین آنهاست. بنابراین درست آن است که دگرگونه‌های زاینده‌رود بر پایه سن پروتولیت به پرکامبرین نسبت داده شوند. یعنی همان‌طور که در مدل A شکل ۲ نمایش داده شده است. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که سن نسبی دگرگونه‌های زاینده‌رود پیش از پرمین است. داده‌های U-Pb زیرکن نیز آن را تأیید



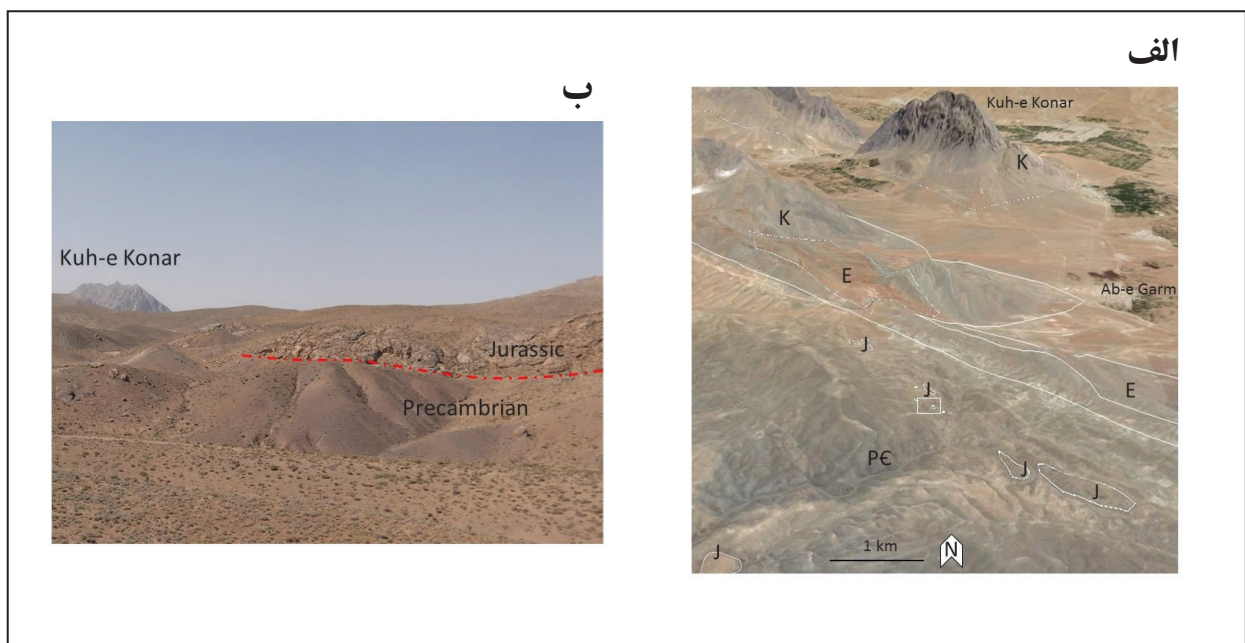
شکل ۲- نمایش ستون‌های چینه‌شناسی برگرفته از نقشه‌های نجف‌آباد (مدل ۱) و چادگان (مدل ۲). تفاوت برجسته‌ای که دیده می‌شود انتساب سن‌های بسیار متفاوت به دگرگونه‌هاست: نقشه نجف‌آباد (مدل ۱) سن آنها را به درستی پر کامبرین معرفی می‌کند؛ اما نقشه چادگان همان سنگ‌ها را به ژوراسیک نسبت می‌دهد. متن برای توضیح بیشتر دیده شود.



شکل ۳- تصاویری از واحدهای دگرگونه در مجموعه دگرگونی زاینده‌رود که نمایانگر برخی بافت‌ها، ساخت‌ها و شدت دگرشکلی است. الف) گرانیت- میلونیت نفوذ یافته در سنگ‌های دگرگونی در ۵ کیلومتری خاور صادق‌آباد. زمین‌شناسان در روی خط‌الرأس برای نشان دادن مقیاس در دایره سفید مشخص شده‌اند. گفتنی است که همبری نفوذی اولیه در ادامه در بسیاری جاها گسلی شده است؛ ب) گرانیت- میلونیت نفوذ یافته در سنگ‌های دگرگونی در ۴ کیلومتری خاور صادق‌آباد. خط‌چین سفید، همبری نفوذی را نشان می‌دهد که در برخی جاها گسلی شده است؛ ج) رخنمونی از گرانیت- میلونیت که در اثر برش شدید لایه‌بندی دروغین در آن ایجاد شده است. موقعیت ۵ کیلومتری شمال خاور صادق‌آباد، $32^{\circ} 38.022'$ ، $50^{\circ} 53.863'$ ؛ د) نمای نزدیک از رخنمون دیگری از گرانیت- میلونیت در ۲/۶ کیلومتری شمال باختر حجت‌آباد $32^{\circ} 43.829'$ ، $50^{\circ} 46.350'$ ؛ ه) نوارهای برشی S-C در گرانیت- میلونیت مربوط به رخنمون شکل ج؛ و) دایک‌های دیابازی کشیده شده و بودین شده در گرانیت- میلونیت مربوط به رخنمون شکل د. متن برای توصیف روابط سنی واحدهای سنگی دیده شود.



شکل ۴- الف) نمای کلی موقعیت نقطه A در نقشه زمین‌شناسی شکل ۱ (تصویر از Google Earth)؛ ب) کنگلومرای قاعده پرمین، موقعیت: معدن سنگ لاشه قادرآباد در کنار جاده تیران- سامان، پیکان‌ها به قلوه سنگ‌های درشت اشاره می‌کند که به دلیل قرارگیری در سایه وضوح کاملی ندارند؛ ج) نمونه دستی صیقلی شده از کنگلومرای پرمین که شامل قطعات مرمر، اسلیت، شیست سبز، سنگ آهک خاکستری، کوارتزیت، کوارتز شیری و دانه‌های آواری پیریت (Py) است.



شکل ۵- الف) نمای کلی موقعیت نقطه B در نقشه زمین‌شناسی شکل ۱. مستطیل سفید محدوده شکل ب را نشان می‌دهد (نگاه به سوی شمال باختر) (تصویر از Google Earth)؛ ب) قرارگیری گسلی بلوک‌های پراکنده از سنگ‌های آهکی دگرگون‌نشده ژوراسیک روی دگرگونه‌های زاینده‌رود، خط چین سرخ نمایشگر یک گسل بسیار کم‌شیب است. (PE: Precambrian; J: Jurassic; K: Cretaceous; E: Paleogene red beds)

جدول ۱- نتایج داده‌های ژئوترموتری گارنت- کلینوپروکسن اکلوزیت‌های زاینده‌رود (جمالی آشتیانی، ۱۳۹۵) (محاسبات دماسنجی بر پایه معادلات 1979 Ellis and Green, 1989 Pattison and Newton, 2000; Krogh, 1988 and Powell, 1985 انجام شده است).

Sample	Rock Type	P (in kbar)	Garnet- Clinopyroxene thermometry (in °C)				Krogh (2000)
			Ellis & Green (1979)	Powell (1985)	Krogh (1988)	Pattison & Newton (1989)	
CH18	Eclogite	17	575	553	530	432	491
		20	582	560	537	441	503
CH19.1	Eclogite	17	591	568	545	461	534
		20	598	575	552	462	536
CH001	Eclogite	17	660	640	619	514	584
		20	667	646	627	524	598

جدول ۲- نتایج فشارهای به دست آمده بر پایه روش زمین‌دماسنجی گارنت- کلینوپروکسن- فنزیت در اکلوزیت‌های زاینده‌رود (جمالی آشتیانی، ۱۳۹۵) (در محاسبه از معادله Ravna and Terry, 2004 استفاده شده است).

Sample	Rock Type	Garnet- Clinopyroxene- Phengite thermobarometry (P in Kbar and T in °C)		
		T (°C)	750	600
CH18	Eclogite	16.67	17.1	17.38
		20.26	20.1	19.82
CH001	Eclogite	22.63	22.46	22.35

جدول ۳- نتایج سن‌سنجی اورتوگنیس‌های میلونیتی شده به روش ایزوتوپ‌های U-Pb روی زیرکن.

Sample ID	Coordinates		Age, Ma	Reference
CH3	N 32° 39' 58.2"	E 50° 50' 43.6"	568 ± 5	Jamali et al., in press
B2	N 32° 45' 32"	E 50° 38' 43.6"	586 ± 26	Nutman et al., 2014
-	-	-	569 ± 19	Davoudian et al., 2016

جدول ۴- نتایج سن سنجی $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ دگرگونه‌های زاینده توسط Davoudian et al. (2016)؛ دمای بسته شدن کانی‌ها برای انتشار ^{40}Ar از McDougall and Harrison (1999) است.

Sample ID	Rock type	Mineral	Plateau age (Ma)	Closure temperature* (°C)
M40-14A	Eclogite	Phengite	184.3±0.9	~ ۳۵۰
M40-14B	Eclogite	Phengite	179.6±0.9	~ ۳۵۰
M40-57	Eclogite	Phengite	179.9±۰٫۹	~ ۳۵۰
M40-2	Eclogite	Phengite	178.1±1	~ ۳۵۰
M40-13	Eclogite	Phengite	175.2±0.9	~ ۳۵۰
M38-5A	Eclogite	Phengite	182.9±0.9	~ ۳۵۰
M38-5B	Eclogite	Phengite	173.3±0.8	~ ۳۵۰
M38-11A	Eclogite	Phengite	181.5±1	~ ۳۵۰
M38-11B	Eclogite	Phengite	175.6±1.3	~ ۳۵۰
M38-11C	Eclogite	Phengite	172.5±0.8	~ ۳۵۰
S19-2A	Paragneiss	Phengite	175.3±0.8	~ ۳۵۰
S19-2B	Paragneiss	Phengite	175.3±0.9	~ ۳۵۰
M48-2	metagranite	Amphibole	170.1±1	~ 500
M48-2	Metagranite	Biotite	101.7±0.3	300-350

کتابنگاری

- جمالی آشتیانی، ۱۳۹۵- سنگ‌های دگرگونی درجه بالا در منطقه شمال شهرکرد، زون سندج- سیرجان: سن، ساختار، منشأ، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
- جمالی آشتیانی، ر.، حسن‌زاده، ج.، رهگشای، م.، اشعیت، ا.، شریفی، آ. و سوبل، ا.، ۱۳۹۵- سنگ‌های دگرگونی فشار بالای منطقه زاینده‌رود: تطابق با اکلوزیت- گنیس‌های ماسیف مندرس و کاربرد آن در بازسازی نهایی گندوانا، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰۱، ص. ۱۸۳ تا ۱۹۶.
- حسینی، ب. و احمدی، ا.، ۱۳۹۵- ژئوشیمی و سن سنجی اورانیم- سرب سنگ‌های گرانیتوبیدی شمال سامان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰۰، ص. ۱۰۹ تا ۱۲۰.
- داوودیان دهکردی، ا.، گنسر، ه.، نوی بائر، ف. و شبانیان، ن.، ۱۳۹۰- یافته‌های نوین از زمان فرورانش نئوتتیس بر مبنای سن‌نگاری مطلق $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ نمونه‌های اکلوزیت شمال شهرکرد، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- زاهدی، م. و رحمتی ایلخچی، م.، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی شهرکرد، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- زاهدی، م.، ۱۳۵۴- نقشه زمین‌شناسی نجف‌آباد، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- زاهدی، م.، ۱۳۵۵- شرح نقشه زمین‌شناسی اصفهان، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شیخ‌الاسلامی، م.ر. و زمانی پدارام، م.، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی محلات، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قاسمی، ع.، حاجی حسینی، ا. و حسینی، م.، ۱۳۸۵- نقشه زمین‌شناسی چادگان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal Earth Science* 94: 401-419.
- Arfania, R. and Shahriari, S., 2009- Role of southeastern Sanandaj-Sirjan Zone in the tectonic evolution of Zagros Orogenic Belt, Iran. *Island arc* 18: 555-576.
- Compton, R. R., 1985- *Geology in the field*. John Wiley and Sons, Inc.
- Davoudian, A., Genser, J., Neubauer, F. and Shabanian, N., 2016- $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral ages of eclogites from North Shahrekord in the Sanandaj-Sirjan Zone, Iran: Implications for the tectonic evolution of Zagros orogen. *Gondwana Research* 37: 216-240.
- Eftekharneshad, J., 2004- Explanatory text of geological map of the Mahabad quadrangle B-4, scale 1: 250,000, Geological Survey of Iran.
- Ellis, D. J. and Green, D. H., 1979- An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 71: 13-22.

- Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., Adabi, M. H., Miller, N. R., Sadeghi, A., Houshmandzadeh, A. and Stockli, D. F., 2016- Evidence for ca. 560 Ma Ediacaran glaciation in the Kahar Formation, Central Alborz Mountains, northern Iran. *Gondwana Research* 31: 169-183.
- Fazlnia, A., Schenk, V., Straaten, F. and Mirmohammadi, M., 2009- Petrology, geochemistry and geochronology of trondhjemites from Qori complex, Neyriz, Iran. *Lithos* 112: 413-433.
- Fergusson, C. L., Nutman, A. P., Mohajjel, M. and Bennett, V. C., 2016- The Sanandaj- Sirjan Zone in the Neo- Tethyan suture, western Iran: Zircon U-Pb evidence of late Paleozoic rifting of northern Gondwana and mid- Jurassic orogenesis. *Gondwana Research* 40: 43-57.
- Hassanzadeh, J. and Wernicke, B. P., 2016- The Neotethyan Sanandaj- Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin- arc transitions. *Tectonics*, 10.1002/2015TC003926.
- Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Horton, B. K., Axen, G. J., Stockli, L. D., Grove, M., Schmit, A. K. and Walker, J. D., 2008- U- Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic- Early Cambrian granitoids in Iran: implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement. *Tectonophysics* 451(1- 4): 71- 96.
- Horton, B. K., Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Axen, G. J., Gillis, R. J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M. D., Zamanzadeh, S. M. and Grove, M., 2008- Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Tectonophysics* 451: 97-122.
- Hosseini, B., Ghorbani, M., Pourmoafi, S. M. and Ahmadi, A. R., 2012- Identification of two different phases of metamorphosed granitoid in Kuh-Sefid Tootak anticline based on U-Pb Age dating. *Geoscience Quarterly Journal* 21: 57-66, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Izadyar, J., Mousavizadeh, M. and Eram, M., 2013- Metamorphic evolution of high- pressure Quartz Schists in the Chadegan metamorphic complex, Sanandaj- Sirjan zone, Iran. *JGeope* 3(2): 1-20.
- Jamshidi-Badr, M., Masoudi, F., Collins, A. S. and Cox, G., 2010- Dating of Precambrian metasedimentary rocks and timing of their metamorphism in the Soursat metamorphic complex (NW Iran): using LA-LCP MS, U-Pb dating of zircon and monazite. *Journal of Science, Islamic Republic of Iran* 21(4): 311-319.
- Krogh, E. J., 1988- The garnet- clinopyroxene Fe-Mg geothermometer- a reinterpretation of existing experimental data. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 99: 44-48.
- Krogh, E. J., 2000- The garnet- clinopyroxene Fe-Mg geothermometer: An updated calibration. *Journal of Metamorphic Geology* 18: 211-219.
- McDougal, I. and Harrison, T. M., 1999- Geochronology and thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method. Oxford University press.
- Nutman, A. P., Mohajjel, M., Bennett, V. C. and Fergusson, C. L., 2014- Gondwanan Eoarchean–Neoproterozoic ancient crustal material in Iran and Turkey: zircon U–Pb–Hf isotopic evidence. *Canadian Journal of Earth Sciences* 51: 272–285.
- Pattison, D. R. M. and Newton, R. C., 1989- Reversed experimental calibration of the garnet–clinopyroxene Fe–Mg exchange thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 101: 87–103.
- Pourteau, A., Sudo, M., Candan, O., Lanari, P., Vidal, O. and Oberhansli, R., 2013- Neotethys closure history of Anatolia: insights from ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology and P-T estimation in high-pressure metasedimentary rocks. *Journal of Metamorphic Geology* 31:585-608.
- Powell, R., 1985- Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet– clinopyroxene geothermometer revisited. *Journal of Metamorphic Geology* 2: 33–42
- Rachidnejad-Omran N., Emami, M. H. Sabzehei, M. Rastad, E. Bellon, H. and Piqué, A., 2002- Lithostratigraphie et histoire paléozoïque à paléocène des complexes métamorphiques de la région de Muteh, zone de Sanandaj-Sirjan (Iran méridional). *Comptes rendus Geoscience* 334: 1185–1191.
- Ravna, E. G. and Terry, M. P., 2004- Geothermobarometry of UHP and HP eclogites and schists- an evaluation of equilibria among garnet-clinopyroxene- kyanite- phengite- coesite/quartz. *Journal of Metamorphic Geology* 22: 579-592.
- Sepahi, A., Shahbazi, H., Siebel, W. and Ranin, A., 2014- Geochronology of plutonic rocks from the Sanandaj-Sirjan zone, Iran and new zircon and titanite U-Th-Pb ages for granitoids from the Marivan pluton. *Geochronometria* 41: 207–215.
- Shekholeslami, M. R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H. and Hashem Emami, M., 2008- Tectono-metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri-Kor-e-Sefid area (Sanandaj–Sirjan Zone, SW Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 31: 504–521.

The Zayanderud metamorphic complex, North of Shahrekord: two entirely different interpretations of a basement complex in the Najafabad and Chadegan maps

R. Jamali Ashtiani¹, J. Hassanzadeh^{2*} and M. Rahgoshay³

¹Ph.D., Department of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Researcher, California Institute of Technology, California, USA

³Professor, Department of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2016 October 16

Accepted: 2016 December 28

Abstract

Two different ages of Precambrian and Jurassic are considered for the Zayanderud metamorphic complex in the Najafabad and Chadegan geology maps, respectively. This disagreement has made these two maps to be the most incompatible adjacent maps. The metamorphic complex is nonconformably covered by fossiliferous Permian limestones suggesting a Pre-Permian age. This relative age is supported by $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ zircon ages of Neoproterozoic for the cross-cutting mylonitic orthogneisses. In this paper we discuss the Jurassic age considered for protolith of the metamorphic and granitoid rocks in the Chadegan map as an misunderstanding in field observations. Also we argue that Ar/Ar Jurassic ages represent the time of metamorphism and do not reflect the protolith age.

Keywords: Zayanderud metamorphic complex, Geological map of Najafabad, Geological map of Chadegan, Precambrian, Jurassic.

For Persian Version see pages 95 to 102

*Corresponding author: J. Hassanzadeh, Jamshid@caltech.edu.