

دگر یختی ستبر پوست و نازک پوست در گستره ماه‌نشان، زنجان، شمال باختر ایران

اصغر احمدی ترکمانی^۱ و محمدرضا قاسمی^{۲*}

^۱ مربی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۲۱

چکیده

این پژوهش با کمک داده‌های صحرایی دقیق به تهیه یک بُرش ساختاری ترازمند برای گستره ماه‌نشان پرداخته است تا گسترش ساختارهای اصلی آن را مورد کاوش قرار دهد. بررسی‌های ساختاری ما آشکار می‌سازد دو گسله شمال باختری-جنوب خاوری و اصلی ماه‌نشان و انگوران، گسله‌هایی بنیادی هستند که با نفوذ در ژرفای پوسته سبب مقدار قابل ملاحظه‌ای کوتاه‌شدگی در این گستره شده‌اند. از این میان، گسله انگوران با سرچشمه گرفتن در پوسته زیرین تا ژرفای حدود ۲۱ کیلومتری پوسته نفوذ می‌کند و تمام توالی فانروزوییک و حتی بخشی از پی‌سنگ پرکامبرین در پوسته زیرین را دچار راندگی می‌کند. بر پایه پژوهش حاضر که راندگی یادشده نه از یک سطح فِرَاکتَش کم‌قوام که از یک پهنه بُرش نرم در ژرفا سرچشمه می‌گیرد. نشانه‌های شکل‌گیری و شرایط تشکیل چنین پهنه‌ای در سنگ‌های پرکامبرین موجود در فرادیواره انگوران دیده می‌شود. بر این پایه، سطح فِرَاکتَش راندگی ماه‌نشان، که در ژرفای کمتری (۱۳ کیلومتری) قرار گرفته است، می‌تواند در پیوند با وجود احتمالی مواد تبخیری هم‌ارز سری هرمز در زیر سازند کهر باشد. دگر یختی همزمان با نهشتگی در سازند قم در فرادیواره راندگی انگوران و شواهد دیگر در نهشته‌های نئوژن گستره نشان می‌دهند که راندگی انگوران از الیگوسن به این سو فعال بوده است. بر پایه بازسازی جابه‌جایی در پهنای گسله انگوران و مقایسه آن با سن آغاز فعالیت این گسله پیشنهاد می‌کند این گسله با نرخ لغزشی در حدود یک میلی‌متر در سال در حال فعالیت بوده است. ویژگی‌های ساختاری گستره ماه‌نشان گویای آن است که در این گستره، علاوه بر زمین‌ساخت نازک پوست، کارکرد گسلش ستبر پوست نیز سبب ستبرشدگی قابل ملاحظه پوسته شده است. بر پایه نتیجه این پژوهش، ستبرشدگی قابل ملاحظه پوسته در گستره ماه‌نشان با ویژگی یادشده در پوسته کمربند سهندج-سیرجان سازگار است.

کلید واژه‌ها: ماه‌نشان، زنجان، گسلش ستبر پوست، راندگی ماه‌نشان، راندگی انگوران، پهنه‌های بُرش

*نویسنده مسئول: محمدرضا قاسمی

E-mail: m.r.ghassemi@gsi.ir

۱- پیش‌گفتار

در آن پهنه‌های ساختاری-زمین‌شناختی البرز، ایران مرکزی، ارومیه-دختر، سهندج-سیرجان و زاگرس کمترین فاصله را با هم دارند و می‌توان آن را نوعی پهنه گذر بین آنها برشمرد که بخش‌هایی از تاریخچه همه این پهنه‌ها را در خود ثبت کرده است. برجستگی‌های اصلی البرز در کوهپایه‌های شهر زنجان و پیرامون آن به پایان می‌رسند. در واقع کوهزاد البرز در گستره خاور و شمال زنجان بخش بزرگی از کمربند ماگمایی ارومیه-دختر را در بر می‌گیرد. واحدهای سنگی نوپروتروزوییک، پالئوزوییک و مزوزوییک گستره زنجان همانندی‌های زیادی با واحدهای سنگی همزمان در البرز و ایران مرکزی دارند (نقشه شکل ۱). برش نمونه برخی از واحدهای سنگی معروف پرکامبرین پسین-پالئوزوییک پیشین البرز در این گستره مورد شناسایی قرار گرفته‌اند (آقاباتی، ۱۳۸۹). برای نمونه می‌توان به سازندهای بایندور، سلطانیه و باروت اشاره کرد. رخنمون سنگ‌های دگرگونی، گستره ماه‌نشان را به پهنه سهندج-سیرجان همانند می‌سازد اگرچه این رخنمون‌ها تا باختری‌ترین بخش پهنه سهندج-سیرجان در گستره بانه دست کم ۱۵۰ کیلومتر فاصله دارند. یک ویژگی مهم دیگر گستره ماه‌نشان آن است که علاوه بر رخنمون به نسبت کامل سنگ‌های فانروزوییک، دارای رخنمون برخی واحدهای سنگی کهن تر است که می‌توان آنها را به بخش‌های ژرف تر پوسته و به پی‌سنگ ایران نسبت داد. بنا بر پژوهش لطفی (۱۳۸۰) این واحدهای سنگی دربردارنده گنایس‌های مومسنگی (میلونیتی)، میکاشیست، آمفیبولیت، مرمر و کالک شایست هستند که حضور مجموعه کانی‌های دگرگونی در برخی از این واحدها آشکار می‌سازد که آنها تا رخساره آمفیبولیت و در فشارهای به نسبت بالا دگرگون شده‌اند. اطلاعاتی از تعیین سن این واحدهای کهن در دست نیست اما تمایز و دگرگونی آنها در مقایسه با سازند کهر در همین گستره آشکار می‌سازد آنها دست کم از سازند اخیر کهن تر هستند. برخی واحدهای سنگی رخنمون یافته در خاور شاهین‌دژ (در مناطق باختری تر) از دیدگاه

بیشتر کمربندهای چین و راندگی دارای ترکیبی از گسلش نازک پوست (thin-skinned) و ستبر پوست (thick-skinned) هستند. (Giambiagi et al., 2008) این ویژگی ترکیبی را پیامد جنبش دوباره ناهمسانگردی‌ها و پهنه‌های سست از پیش موجود در پوسته بالایی می‌دانند. گسلش نازک پوست و ستبر پوست در کوهزاد زاگرس نیز شناخته شده است؛ برخی پژوهشگران (Molinari et al., 2005) بر این باورند که دگر یختی در این کوهزاد پس از میو-پلیوسن از نازک پوست به ستبر پوست تبدیل شد اما برخی دیگر (Mouthereau et al., 2007; Ahmadhadi et al., 2007) پیشنهاد می‌کنند که این دو شیوه دگر یختی به صورت کم و بیش همزمان بر یکدیگر فرانهاد شده‌اند. گستره ماه‌نشان، که در پس‌بوم (hinterland) کوهزاد زاگرس قرار گرفته است، نیز باید حتی دچار دگر یختی‌های شدیدتری نسبت به کمربند چین-راندگی زاگرس شده باشد، اما به نظر می‌رسد پیچیدگی‌های پهنه سهندج-سیرجان در این گستره نیز از آشکار سازی ساختارهای دقیق تر پوسته در ژرفا پیشگیری کرده باشد. رخنمون‌های واحدهای سنگی کهن تر از پوشش فانروزوییک در این گستره و بخش‌های دیگر پهنه سهندج-سیرجان فرصت مناسبی را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد تا با دقت بیشتری شیوه و مقیاس دگر یختی بخش‌های ژرف پوسته ایران مرکزی و زاگرس را مورد کاوش قرار دهند. ما در این پژوهش ضمن برداشت دقیق ساختارها، تلاش کرده‌ایم با رسم یک بُرش ساختاری ترازمند (balanced cross-section) به تفسیر ساختارهای ژرف پوسته در گستره ماه‌نشان بپردازیم و به کمک مجموعه داده‌ها و اطلاعات به دست آمده، تاریخچه ساختاری این بخش مهم از فلات ایران را مورد واکاوی قرار دهیم.

۲- جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی

در شمال باختر ایران، گستره ماه‌نشان در باختر استان زنجان جایی است که

رخمون یافته‌اند. رخمون‌های گسترده‌ای از سنگ‌های کهن کم و بیش همانند به سنگ‌های فرادیواره راندگی انگوران در فرادیواره راندگی تخت سلیمان (بیرون از گستره مورد بررسی) نیز دیده می‌شود. اثر سطحی راندگی تخت سلیمان در ۳۲ کیلومتری باختر اثر سطحی گسله انگوران قرار می‌گیرد. مهم‌ترین راندگی بعدی به سوی باختر در گستره بانه با فاصله ۱۲۵ کیلومتر نسبت به راندگی تخت سلیمان قرار دارد و راندگی نیستان نامیده می‌شود. این راندگی مومسنگ‌ها و مجموعه سنگ‌های با درجه دگرگونی پایین را که برخی از آنها به پرکامبرین پسین-پالئوزویک پیشین نسبت داده می‌شوند، بر روی سنگ‌های کرتاسه رانده است.

سنوزویک گستره ماه‌نشان با گسترده‌ی نهشته‌های سازنده‌های سرخ‌زیرین، قم و به ویژه سرخ‌بالایی همراه است. این رسوب‌ها که در پیش‌بوم جنوبی البرز و در پس‌بوم زاگرس نهشته شده‌اند، گستره ماه‌نشان را به ایران مرکزی همانند می‌کنند.

۳- گسلش ستبر پوست

رخمون قابل ملاحظه سنگ‌های کهن و دگرگونی به سن پرکامبرین در فرادیواره دو گسله راندگی ماه‌نشان و انگوران آشکار می‌سازد، این دو گسله از ژرفای پوسته زیرین سرچشمه گرفته‌اند و باعث جدایش چینه‌نگاشتی قابل ملاحظه‌ای شده‌اند. مقدار این جدایش برای راندگی انگوران بیشتر است (در حدود ۲۰ کیلومتر) زیرا سنگ‌های پرکامبرین کهن (کهن‌تر از سازند کهر) را در کنار سنگ‌های میوسن قرار داده است. بخش میانی این گسله در زیر نهشته‌های آبرفتی پلیوسن پنهان شده است (نقشه شکل ۱) و اگرچه ما شاهد آشکاری از این گسله در محل رخمون سنگ‌های پرکامبرین نیافتیم، گسله را می‌توان در بخش جنوبی آن در محل همبری سازند قم و سازند سرخ‌بالایی مشاهده کرد. در مورد گسله ماه‌نشان، این راندگی سبب همبری سنگ‌های سازند کهر و سازند سرخ‌بالایی شده است. راندگی ماه‌نشان در فرادیواره خود با پس‌راندگی‌هایی (backthrust) نیز همراه شده است. نمونه‌ای از این دست گسله‌ها را می‌توان در بریدگی جاده مادآباد به زنجان دید که در آن سازند کهر بر روی توالی آبرفتی پلیوسن-کواترنری رانده شده است (شکل ۲). نمونه‌ای دیگر از این پس‌راندگی‌ها را می‌توان در جنوب روستای وهران یافت که در آن سازند سرخ‌بالایی به سوی شمال‌خاور بر روی توالی پلیوسن رانده شده است (شکل ۳).

ناپوستگی سازنده‌های سرخ‌زیرین و قم بر روی برجستگی کهن فرادیواره گسله‌های راندگی یادشده در بالا آشکار می‌سازد که جنبش این گسله از الیگوسن آغاز شده است. رخمون‌های سازند قم در فرادیواره گسله انگوران دارای نشانه‌های گسترده‌ای از لغزش‌های زیرآبی (slumping) است که با لغزش بر روی شیبی به سوی خاور-شمال‌خاور، همسو با شیب راندگی انگوران سازگار است (شکل ۴). این پدیده آشکار می‌سازد که راندگی یادشده در زمان نهشتگی سازند قم (الیگوسن پسین-میوسن پیشین) فعال بوده است.

سنگ‌های کربناته بازتبلور یافته (مرمر) در فرادیواره راندگی انگوران دارای چین‌های میانه مقیاس بسته و خوابیده‌ای هستند که گرایشی به سوی باختر-جنوب باختر را نشان می‌دهند (شکل ۵ و نقشه شکل ۱). این چین‌ها به احتمال زیاد در ژرفای بیشتر و بر روی راندگی یادشده شکل گرفته‌اند و تاریخچه دگر ریختی بر روی این راندگی و شرایط فعالیت این گسله را در ژرفا نشان می‌دهند. ما مجموعه داده‌های برداشت شده از ساختارهای تُرد (brittle) و نرم (ductile) را مورد استفاده قرار دادیم تا یک برش ساختاری ترازمند (balanced cross-section) برای گستره ماه‌نشان تهیه کنیم (شکل ۶). برداشت‌های جنبش‌شناختی (kinematic) ما از ساختارهای گستره آشکار کرد که گسلش راستالغز نقش مهمی در دگر ریختی گستره ندارد و بنابراین از این دیدگاه رسم برش ترازمند محدودیتی ایجاد نمی‌کرد. پیشنهاد می‌کنیم راندگی انگوران از یک پهنه بُرش کم‌شیب در ژرفای پوسته شکل گرفته است که به سوی بالا با افزایش شیب به گسله راندگی تُرد (brittle) تبدیل شده است

سنگ‌شناسی همانند واحدهای کهن یادشده در گستره ماه‌نشان هستند. یک واحد رسوبی (پلیتی) دگرگونی در این گستره با نام همتافت (complex) سورات با روش اورانیم-سرب بر روی زیرکن تعیین سن شده است (Jamshidi Badr et al., 2010). بر پایه این پژوهش، بیشینه سن نهشتگی این سنگ‌ها 60.5 ± 4.3 میلیون سال برآورد شده است. تعیین سن به روش اورانیم-سرب بر روی موناژیت این نمونه‌ها سن میانگین جوان‌تری (61 ± 8 میلیون سال) را نشان می‌دهد که (Jamshidi Badr et al., 2010) آن را به دگرگونی ناحیه‌ای مجموعه در پالیوسن بر اثر بسته شدن تئیس نو و برخورد صفحه تازی با صفحه ایران نسبت می‌دهند. تزریق برخی توده‌های گرانیتویدی که هم‌ارز سنی گرانیته دوران هستند، از دیگر ویژگی‌های زمین‌شناختی گستره ماه‌نشان است. (Hassanzadeh et al., 2008) به کمک روش اورانیم-سرب بر روی زیرکن برای گرانیته آف‌کند در فرادیواره راندگی انگوران و گرانیته مغالو در فرادیواره راندگی ماه‌نشان به ترتیب سن‌های واپسین نوپروتروزویک 56.8 و 54.8 میلیون سال را ارائه کرده‌اند.

ستبرای به نسبت زیاد پوسته (نزدیک به 70 کیلومتر) در پهنه سندج-سیرجان که با بررسی تابع گیرنده (receiver function) موج‌های زمین‌لرزه آشکار شده است (Paul et al., 2006)، نیازمند آن است که گسلش ژرف در پوسته این بخش از فلات ایران سبب این ستبرشدگی در طی برخورد بین صفحه تازی با صفحه ایران شده باشد. بسیاری از پژوهشگران (Blanc et al., 2003; Molinaro et al., 2004; Sherkati et al., 2005; Hatzfeld et al., 2010) اکنون بر این باورند که دگر ریختی در کوهزاد زاگرس با ویژگی نازک پوست آغاز شده است و به صورت ستبر پوست ادامه یافته است. شواهد ساختاری فرایند گسلش ستبر پوست برای بخش‌هایی از این کوهزاد ارائه شده است (برای نمونه Mouthereau et al., 2012 را ببینید) اما بررسی ما برای اولین بار به واکاوی دقیق‌تر فرایند گسلش ستبر پوست و دلیل‌های آن در گستره مهم ماه‌نشان می‌پردازد.

(Stockli et al., 2004) بر این باورند که پهنه گسه‌های راندگی گستره تکاب-زنجان با گرایش (vegence) به سوی جنوب باختر به کوتاه‌شدگی پهنه برخورد زاگرس-البرز در سنوزویک مربوط می‌شوند. آنها بر پایه تعیین سن به روش اورانیم-سرب، توده‌های نفوذی گستره را به پلوتونیسم پان‌آفریکن و آتشفشانی گسترده آن را به ماگماتیسم کم‌انرژی ائوسن نسبت می‌دهند. داده‌های دماگاه‌نگاری آنها به روش (اورانیم-توریم) اهلیم (U-Th/He thermochronology) آشکارکننده سنی در حدود 3 تا 4 میلیون سال است که همراه با شواهد وجود چینه‌های رشد (growth strata) درشت‌دانه همزمان با کوتاه‌شدگی، پیشنهاد می‌کند سن روباره‌برداری (exhumation) ورقه‌های راندگی در این گستره بسیار جوان است. آنها به گسله‌های عادی کم‌شیب در نزدیکی ماه‌نشان اشاره می‌کنند که راستای خاورشمال‌خاوری دارند و یک گرانیته مومسنگی با سن حدود 25 میلیون سال در فرودیواره خود را در برابر گنایس‌های گرانیته 560 میلیون ساله و مرمرها و میکاشیست‌های پرکامبرین در فرادیواره قرار می‌دهند. داده‌های تعیین سن (اورانیم-توریم) اهلیم بر روی کانی آپاتیت از فرودیواره این گسله (در حدود 20 تا 22 میلیون سال) نشان می‌دهد روباره‌برداری کشتی سریع این توده نفوذی با فاصله کمی پس از تزریق آن روی داده است. فرادیواره این گسله در بردارنده توالی ستبری از سازنده‌های سرخ‌زیرین، قم و سرخ‌بالایی است، بنابراین استاکلی و همکاران پیشنهاد می‌کنند که دست کم بخشی از این رسوبات از دیدگاه منشأ همزمان با رویداد کشش یادشده نهشته شده‌اند. آنها در پایان نتیجه می‌گیرند که گستره مورد بررسی آنها در الیگو-میوسن دچار نوعی کشش درون‌کمانی (intra-arc) همراه با ماگماتیسم و رسوب‌گذاری همزمان با کشش شده است.

به طور کلی سنگ‌های پرکامبرین گستره در فرادیواره راندگی انگوران و سنگ‌های پرکامبرین پسین جوان‌تر و فانروزویک در فرادیواره راندگی ماه‌نشان

فرادیواره راندگی های ماه نشان و انگوران دیده می شود. با توجه به طول موج به نسبت کوتاه این چین ها (بین ۲ تا ۴ کیلومتر) ما پیشنهاد می کنیم که آنها بر روی یک سطح فراکش از مواد تبخیری پایه سازند سرخ بالایی شکل گرفته اند. برداشت لایه بندی سازند سرخ بالایی در ۹۸ رخنمون نشان می دهد وضعیت عمومی محور این چین ها ۱۲/۱۳۹ (روند/میل) است (شکل ۹). چین خوردگی و گسلش در سازند سرخ بالایی به همراه عملکرد دیاپیرسم مواد تبخیری یادشده، سبب جایگیری و تمرکز توده های معدنی، بُور، پتاسیم و نمک در گستره ماه نشان شده است (قاسمی، ۱۳۸۰؛ احمدی ترکمانی، ۱۳۸۴).

۶- پیشینه دگرریختی

گستره ماه نشان را شاید بتوان گستره ناپیوستگی ها نامید؛ وجود چندین ناپیوستگی چینه شناختی مهم در گستره ماه نشان بیانگر بخش هایی از تاریخچه زمین ساختی آن است. یک ناپیوستگی مهم در پایه توالی پرمین (سازندهای دورود و روته) دیده می شود. سازند روته گاه با واسطه سازند دورود و گاه بدون آن بر روی سازندهای کهر، زاگون، لالون و میلا می نشیند. این ناپیوستگی به ویژه در بلندی های خاور روستاهای لولک آباد و مغانلو (فرادیواره راندگی ماه نشان) به خوبی دیده می شود. گوناگونی شدید واحدهای زیر سطح ناپیوستگی آشکار می سازد این ناپیوستگی به تغییرات جهانی تراز دریا یا جنبش های خشکی زایی وابسته نبوده است و به احتمال با یک رویداد ساختاری در پیوند است که در کربنفر پسین تا پرمین پیشین روی داده است.

دو ناپیوستگی دیگر در پایه سازندهای شمشک و لار دیده می شود. واحدهای سنگی تریاس بنا بر نقشه زمین شناسی ماه نشان (لفتی، ۱۳۸۰) در این گستره رخنمون ندارند و سازند شمشک با ناپیوستگی بر روی سازندهای کهر، باروت و روته می نشیند؛ این پدیده را می توان به کارکرد رویداد سیمین نسبت داد. سازند لار نیز با ناپیوستگی بر روی سازندهای باروت، روته و شمشک می نشیند. این ناپیوستگی ممکن است نتیجه تغییر جهانی تراز دریا و پیشروی دریای ژوراسیک پسین بر روی بلندی های بازمانده از رویدادهای کهن تر یادشده در بالا باشد.

ناپیوستگی چینه شناختی مهم دیگر این گستره مربوط به پیشروی دریای اتوسن است؛ واحدهای آذر آواری و رسوبی اتوسن در گستره میرجان بر روی سازندهای لار، شمشک و گاهی کهن تر از آنها نهشته شده است. آثار دست کم یک رویداد گسلش عادی در نهشته های سازندهای سرخ زیرین، قم و سرخ بالایی در گستره دیده می شود. برداشت هندسه و بررسی جنبش شناسی ۶ گسله از این دست نشان دهنده جهت کشش در راستای آزمون ۱۹۷ است. ممکن است این گسلش عادی با آنچه که Stockli et al. (2004) در زمینه رویداد کشش در الگو-میوسن در گستره ماه نشان به آن اشاره کرده اند، مطابقت داشته باشد. یکی از مهم ترین ناپیوستگی های گستره ماه نشان در الیگوسن شکل گرفته است. سازند سرخ زیرین و به ویژه سازند قم پیشروی گسترده ای را بر روی سنگ های پرکامبرین کهن، کهر و نیز بخش های جوان تری همچون باروت، روته و لار در بخش های گوناگون گستره از خود نشان می دهند.

آخرین ناپیوستگی مهم در گستره مورد پژوهش به صورت موضعی در محل ساختارهای به نسبت جوان و در بین سازند سرخ بالایی و نهشته های آبرفتی پلیوسن دیده می شود. نمونه ای از این نوع ناپیوستگی به تقریب بی مانند را می توان در ساختار (تاقدیس) معدنی بُور قره گل مشاهده کرد (شکل ۱۰). در یک رخنمون از محل معدن، لایه های زیر (سازند سرخ بالایی) و روی (سنگ جوش پلیوسن) به ترتیب دارای وضعیت های N42W/33NE و N38E/71SE هستند. به این ترتیب راستا و جهت شیب آنها به اندازه ۸۰ درجه با هم تفاوت دارد. چین خوردگی لایه های پلیوسن با روند عمومی چین خوردگی گستره یکسان است اما به نظر می رسد تاقدیس معدن قره گل،

(بُرش شکل ۶). راندگی انگوران در پایانه جنوبی خود در نزدیکی روستای قره دره راستایی به تقریب خاوری-باختری به خود می گیرد و با رخنمون های سازند قم در فرادیواره خود همراه می شود. در این گستره، رخنمونی از گسله انگوران دیده می شود که در راستای آن سازند قم بر روی سازند سرخ بالایی رانده می شود؛ در نهشته های سازند اخیر تکه هایی از سازند قم دیده می شود که آشکار می سازد راندگی انگوران در طی نهشتگی سازند سرخ بالایی نیز فعال بوده است (شکل ۷). با تقسیم مقدار جابه جایی چینه نگاشتی بر روی راندگی انگوران (۲۰ کیلومتر) بر سن آغاز فعالیت این گسله از الیگوسن پسین (۲۸/۴ میلیون سال پیش) می توان متوسط نرخ لغزش بر روی این راندگی را در حدود ۱ میلی متر در سال برآورد نمود.

۴- دگرریختی نازک پوست

رویداد گسلش و چین خوردگی در توالی مزوزوییک و چین خوردگی فرائکشی در توالی سازند سرخ بالایی آشکار می سازد سطح های فرائکش کم ژرفا تر نیز در دگرریختی گستره ماه نشان اثرگذار بوده اند. گسلش نوع اول در هسته تاقدیس تکه قیه سی دیده می شود که در آن سازند لار بر روی توالی کرتاسه و ایوسن رانده شده است؛ ما سطح فرائکش این راندگی را به روی سازند شمشک نسبت می دهیم. چین خوردگی فرائکشی در توالی سازند سرخ بالایی بیش از همه در فرادیواره راندگی ماه نشان بین اند آباد و مشمپا دیده می شود و به طور محدود می توان آن را در فرودیواره گسله یادشده در گستره ینگچه نیز دید. مواد تبخیری (گچ و نمک) موجود در پایه سازند سرخ بالایی، سطح فرائکش یادشده را پدید آورده اند. در شمال خاوری ترین بخش از گستره مورد بررسی، راندگی توالی سازند قم را می توان دید که با واسطه سنگ های تبخیری رخنمون یافته در گستره گوگلر (ابراهیم آباد بر روی سازند سرخ بالایی رانده شده است. ما این گسله را گوگلر (ابراهیم آباد) می نامیم و بر این باوریم که یک بخش تبخیری کهن تر در مرز بین توالی اتوسن و سازند قم در شمال گستره وجود دارد که این سطح فرائکش را فراهم آورده است. جالب است که بخش های بالایی سازند سرخ بالایی در فرادیواره راندگی گوگلر به سوی شمال خاور (با نزدیک شدن به گستره زنجان) به تدریج افقی می شود و گسله های عادی به سازوکار اصلی دگرریختی این توالی تبدیل می شود. راندگی گونی که نزدیک به بخش میانی راندگی ماه نشان رخنمون دارد از این دست است. اثر سطحی این گسله در حدود ۱۲ کیلومتر درازا دارد و در فرادیواره خود با یک چین پیشروی گسله (fault propagation fold) در سازند سرخ بالایی و نهشته های پلیوسن همراه شده است. گسله گونی که در هسته این تاقدیس رخنمون یافته است، ۵۸ درجه به سوی خاور شمال خاور شیب دارد. شیب و جهت شیب میانگین پال شمال خاوری این تاقدیس ۳۹/۰۷۵ است. تاقدیس گونی در پیش پال (forelimb) خود با چینه های رشد (growth strata) در نهشته های پلیوسن همراه است (شکل ۸) که آشکار می سازد راندگی گونی یک ساختار به نسبت جوان است. برداشت ویژگی های جنبش شناختی ۱۸ گسله معکوس در گستره مورد بررسی و تحلیل دینامیک آنها آشکار می سازد تنش اصلی پیشینه در زمان شکل گیری آنها دارای وضعیت ۰۱/۲۳۳ (روند/میل) بوده است.

۵- چین خوردگی

به جز ناودیس نصیر آباد در شمال خاور گستره که سنگ های پالیوزوییک و سازند شمشک در آن رخنمون یافته اند، دیگر چین های موجود در سنگ های کهن تر، طول موج بلندی دارند (در حدود ۱۵ کیلومتر) و در پیوند با راندگی اصلی گستره، یعنی گسله های ماه نشان و انگوران شکل گرفته اند. چین های میانه مقیاس نرم (ductile) در فرادیواره راندگی انگوران نیز از دیدگاه مقیاس و شرایط شکل گیری با بقیه چین های گستره تفاوت دارند. دسته ای از چین های میانه مقیاس در توالی سازند سرخ بالایی در

ارومیه-دختر، البرز، ایران مرکزی و سهند-سیرجان به یکدیگر نزدیک شده‌اند آشکار می‌سازد. برخی گامه‌های (stage-phase) ساختاری مهم گستره در ناپوستگی‌های مهم پایه سازند درود (و روته) به سن پیش از پرمین و پایه سازند شمشک به سن پیش از رتین قابل پیگیری هستند. برداشت‌های صحرایی دقیق و بازسازی اولیه ساختار عمومی گستره ماه‌نشان اهمیت دو گسله اصلی این گستره با نام‌های راندگی ماه‌نشان و راندگی انگوران را آشکار می‌سازد. این دو گسله سنگ‌های ژرف پرکامبرین را در همبری با توالی پیش‌بوم گستره یعنی نهشته‌های سازند سرخ بالایی و آبرفت‌های پلیوسن قرار می‌دهند. بازسازی نیم‌رخ ساختاری گستره پیشنهاد می‌کند که راندگی انگوران از یک فراکنش در ژرفای حدود ۲۱ کیلومتری پوسته سرچشمه می‌گیرد. شرایط لازم برای تشکیل چنین فراکنشی به احتمال نه محصول حضور واحدهای سنگی کم‌قوام (مانند مواد تبخیری یا شیل) که حاصل تشکیل پهنه‌های بُرش نرم در ژرفای یادشده است. احتمال می‌رود سطح فراکنش راندگی ماه‌نشان، که در ژرفای کمتری (۱۳ کیلومتری) قرار گرفته است، با وجود احتمالی مواد تبخیری هم‌ارز سری هرمز در زیر سازند کهر پیوند داشته باشد.

چند سطح فراکنش کم‌ژرف‌تر را نیز می‌توان در توالی سازند شمشک، مواد تبخیری پایه سازند قم و مواد تبخیری پایه سازند سرخ بالایی یافت. فراکنش زیر سازند سرخ بالایی به طور عمده سبب شکل‌گیری چین‌های فراکنشی در این سازند شده است.

دگر ریختی شدید همزمان با رسوب‌گذاری در سازند قم در فرادیواره راندگی انگوران، وجود واریزه‌های فرادیواره گسله در سازند سرخ بالایی و تغییرات بافتی نهشته‌های پلیوسن و کواترنری در نزدیکی این گسله همگی نشانه‌هایی هستند که آشکار می‌سازند راندگی انگوران از الیگوسن به این سو فعال بوده است. با توجه به مقدار جدایش چین‌نگاشتی راندگی انگوران (در حدود ۲۰ کیلومتر) و در نظر گرفتن زمان آغاز فعالیت این گسله از الیگوسن پسین (۲۸/۴ میلیون سال پیش) نرخ لغزش پیوسته برای این گسله را می‌توان در حدود ۱ میلی‌متر در سال برآورد کرد.

پیشنهاد می‌شود بررسی‌های ریزساختاری به‌ویژه بر روی واحدهای مرمی (بررسی ماکل‌های کلسیت و شرایط دگر ریختی کوارتز و فلدسپار) پرکامبرین فرادیواره گسله انگوران انجام شود تا به کمک آن بتوان شرایط دمایی (و ژرفایی) تشکیل پهنه بُرش انگوران را آشکار ساخت و فرضیه این پژوهش در زمینه پهنه بُرش یادشده را مورد آزمایش قرار داد.

برای اطمینان از وجود و تعیین ویژگی‌های دقیق ساختاری رویداد کشش و تشکیل احتمالی همتافت هسته دگرگونی (metamorphic core complex) در گستره ماه‌نشان، آن گونه که (Stockli et al. 2004) به آن اشاره کرده‌اند، باید بررسی‌های میدانی دقیق‌تر صورت گیرد.

که محل تمرکز ماده معدنی بُور می‌باشد، بر اثر یک میدان تنش موضعی در راستایی متفاوت شکل گرفته است. چینه‌های رشد بخش‌های پایانی توالی میوسن تا آغاز پلیوسن در گستره باختر مادآباد نیز نشان‌دهنده بخشی از تاریخچه رشد ساختارهای جوان گستره است.

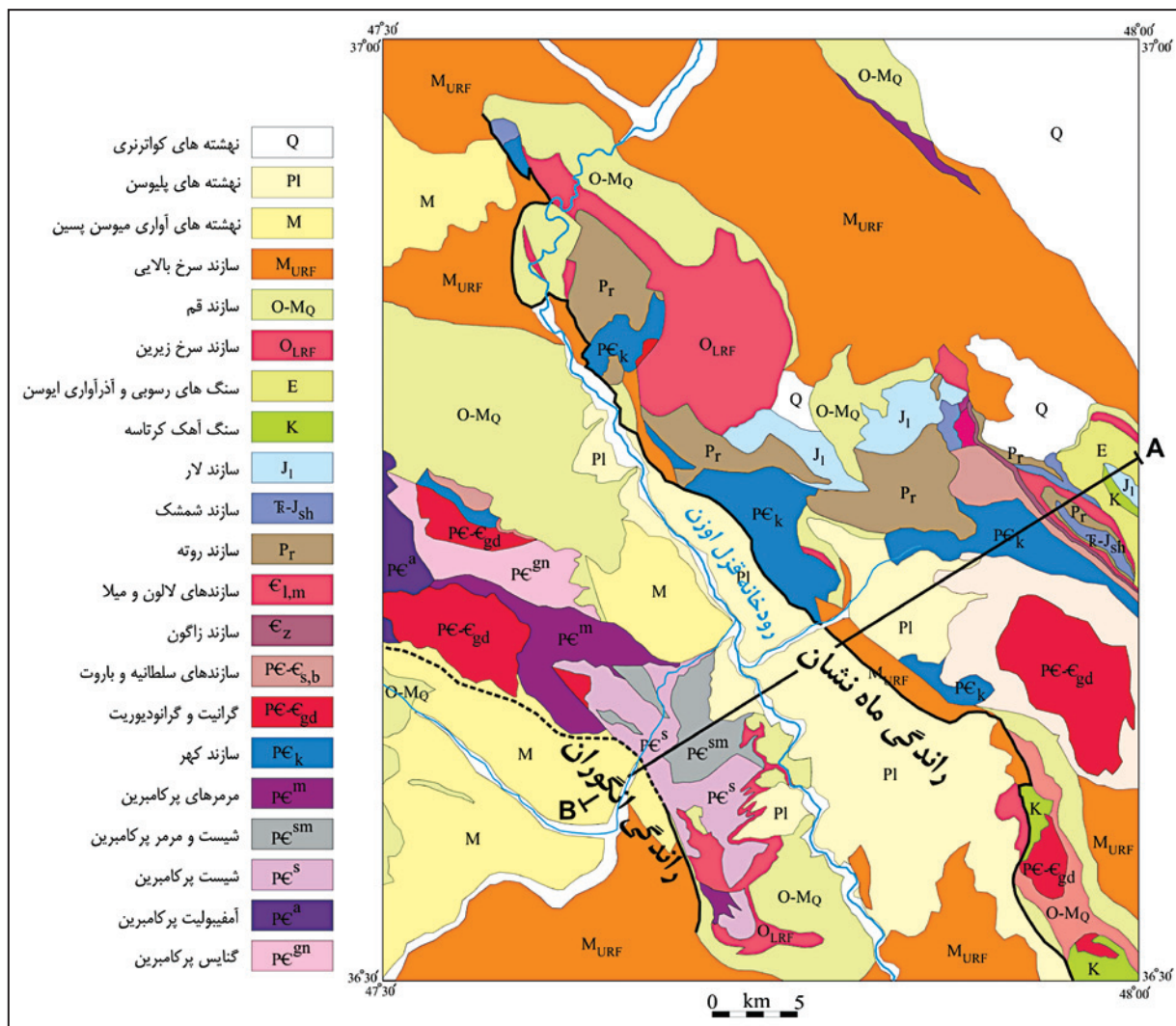
شواهد بافتی رسوب‌شناختی در نهشته‌های آبرفتی پلیوسن و کواترنری در بخش‌هایی از گستره ماه‌نشان دربردارنده نشانه‌هایی از تاریخچه جوان جنبایی گسله‌های اصلی این گستره هستند. در محل گسله خلج که بخشی از راندگی ماه‌نشان است و در کوه قره یال، در محلی که نهشته‌های آبرفتی یادشده بر روی راندگی انگوران قرار می‌گیرد، با دور شدن از محل گسله‌ها، اندازه دانه‌ها کاهش می‌یابد و بافت عمومی آنها تغییر می‌کند که آشکار می‌سازد این دو راندگی در پلیوسن نیز به جنبایی خود ادامه داده‌اند.

برخی پدیده‌های ریخت‌شناختی نیز از تاریخچه دگر ریختی گستره حکایت می‌کنند. رودخانه بزرگ قزل‌اوزن در این بخش از درازای خود به طور کامل با گسله‌های ماه‌نشان و انگوران موازی می‌شود؛ مجرای این رودخانه در فرونشستگی پشت‌خوکی (piggyback basin) فرادیواره راندگی ماه‌نشان و فرادیواره راندگی انگوران شکل گرفته است. رودخانه قزل‌اوزن در حاشیه‌های این بخش از دره خود با پادگانه‌های برخاسته گسترده‌ای همراه است که نشان می‌دهد رودخانه در فرادیواره راندگی انگوران همچنان در حال برپایی است. در این گستره، برخی از این پادگانه‌ها پس از فرسایش ریخت‌شناسی زیبایی مانند دودکش‌های جن را پدید آورده‌اند (شکل ۱۱). رودخانه انگوران که سرشاخه رودخانه قزل‌اوزن به شمار می‌آید، به صورت یک پیشین‌رود (antecedent river) عرض بلندی‌های جنوب شهر ماه‌نشان را می‌بُرد. با دانستن این که راندگی انگوران دست‌کم از الیگوسن فعال بوده است، این ویژگی رودخانه انگوران آشکار می‌سازد که رودخانه قزل‌اوزن و سرشاخه‌های آن بسیار کهن هستند و پیش از شکل‌گیری بلندی‌های گستره (به احتمال در میوسن و پلیوسن) به سوی شمال خاور جریان داشته‌اند.

شاید یکی از مهم‌ترین دستاوردهای بررسی تاریخچه ساختاری گستره ماه‌نشان در این باشد که شواهد مستقیمی از آغاز یا ادامه دگر ریختی ستبر پوست گستره در الیگوسن را آشکار می‌سازد. بسیاری از شواهد مستقیم یا غیرمستقیم آغاز کوهزایی ناشی از برخورد صفحه‌های تازی با صفحه ایران به میوسن باز می‌گردد، اما دگر ریختی همزمان با رسوب‌گذاری سازند قم در فرادیواره گسله انگوران نشان می‌دهد دگر ریختی ستبر پوست در پس‌بوم (hinterland) این بخش از کوهزاد زاگرس دست‌کم از الیگوسن آغاز شده است.

۷- نتیجه‌گیری

شواهد ساختاری، چین‌نگاشتی و زمین‌ریخت‌شناختی گستره ماه‌نشان بخش مهمی از فرگشت زمین‌ساختی پوسته ایران را در جایی که پهنه‌های گوناگون



شکل ۱- نقشه زمین شناسی گستره ماه نشان (بر گرفته با تغییر از لطفی، ۱۳۸۰). مسیر بُرش ساختاری این پژوهش بر روی نقشه نشان داده شده است.



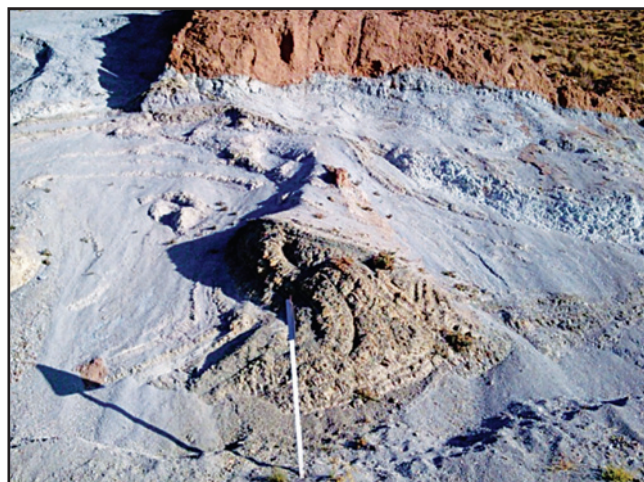
شکل ۳- پس راندگی سازند سرخ بالایی بر روی توالی پلیوسن در فرادیواره راندگی ماه نشان؛ جنوب روستای وهران؛ نگاه به سوی ENE.



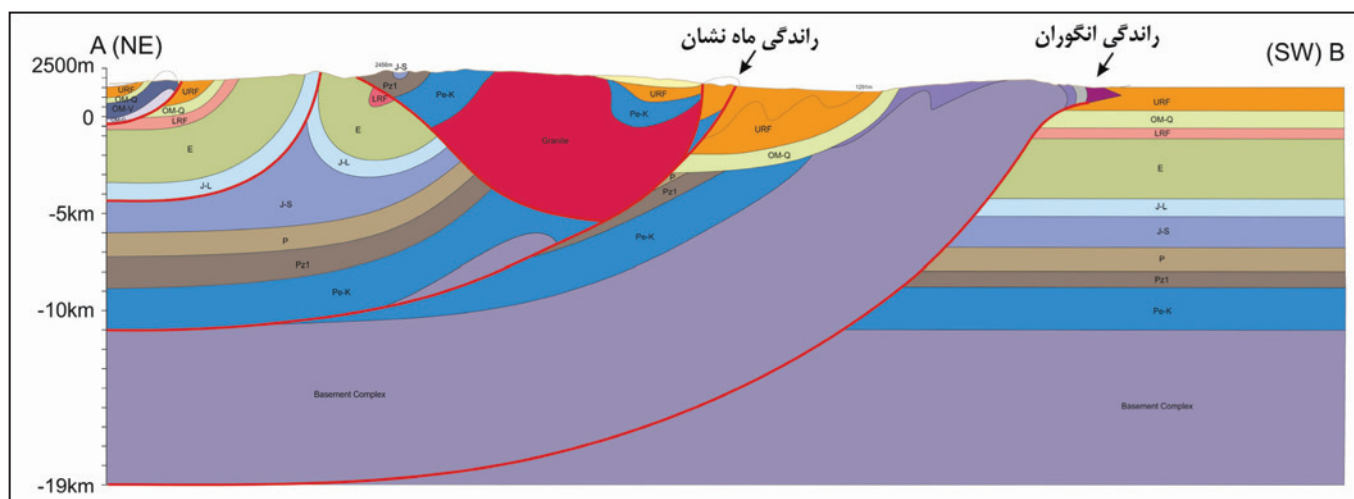
شکل ۲- یک نمونه از پس راندگی های شکل گرفته در فرادیواره راندگی ماه نشان که در آن سازند کهر بر روی نهشته های آبرفتی پلیوسن-کواترنری رانده شده است؛ جاده مادآباد-زنجان؛ نگاه به سوی WNW.



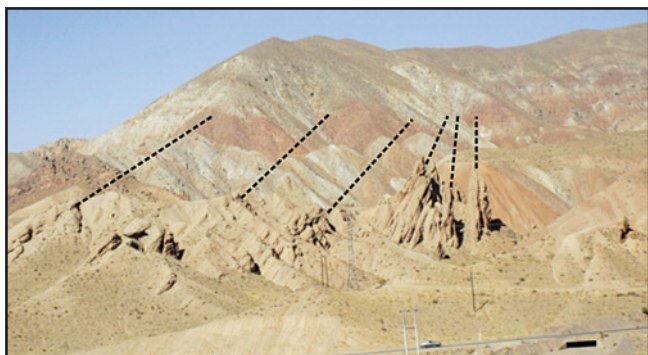
شکل ۵- چین‌های میانه‌مقیاس خوابیده در سنگ‌های کربناته پرکامبرین با گرایش به سوی باختر-جنوب‌باختر در فرادیواره راندگی انگوران؛ جاده دندی-ماه‌نشان؛ نگاه به سوی NW.



شکل ۴- سُرخوردگی زیرآبی در سازند قم نهشته شده بر فرادیواره گسله انگوران؛ سوی سُرخوردگی لایه‌ها به جهت شیب راندگی انگوران همسو است؛ جاده دندی-ماه‌نشان؛ نگاه به سوی ENE.



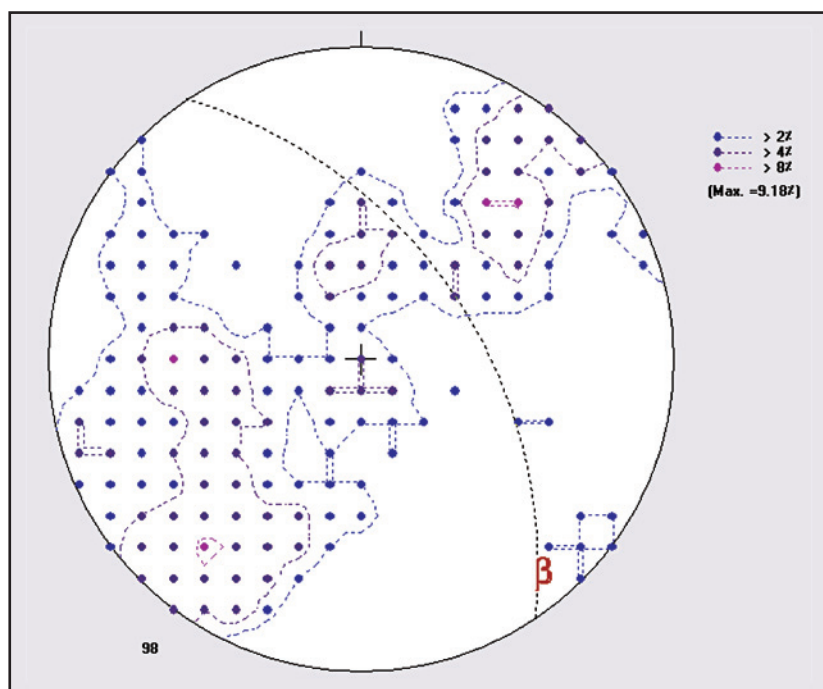
شکل ۶- بُرش زمین‌شناختی ترازمند از گستره مورد بررسی؛ محل بُرش بر روی نقشه ارائه شده در شکل ۱ نمایش داده شده است.



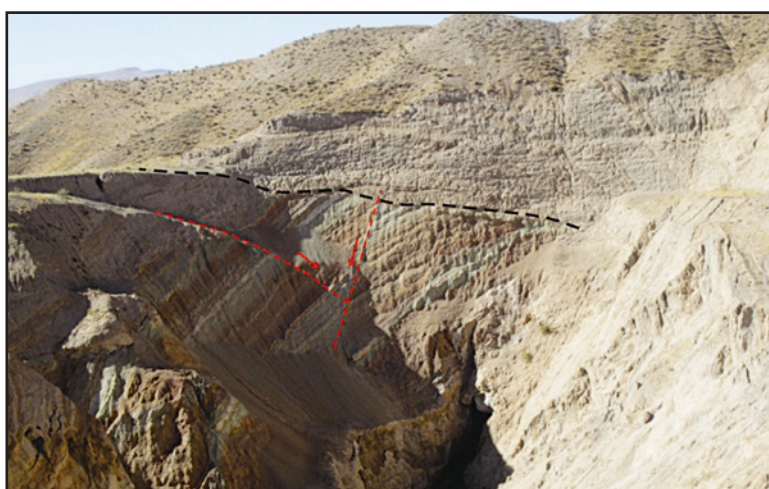
شکل ۸- چین‌های رشد در نهشته‌های آبرفتی میوسن-پلیوسن پیش‌بال (forelimb) تاقدیس گونی. به کاهش سریع شیب لایه‌ها به سوی بالای توالی (از راست به چپ) توجه کنید. جاده ماه‌نشان-مادآباد؛ نگاه به سوی NW.



شکل ۷- راندگی سازند قم بر روی سازند سرخ بالایی در راستای پایانه جنوبی راندگی انگوران؛ نزدیک روستای قره‌دره؛ نگاه به سوی NW.



شکل ۹- نمودار کنتوردار وضعیت لایه بندی در گستره ماه نشان؛ تعداد برداشت ها: ۹۸. روند چین خوردگی عمومی گستره با راستای راندگی های اصلی یکسان است.



شکل ۱۰- ناپوستگی زاویه ای بین نهشته های سازند سرخ بالایی و نهشته های پلیوسن (خط چین سیاه) در معدن پُر قره گُل. نگاه به سوی SW.



شکل ۱۱- دودکش جن که از بازمانده های فرسایشی نهشته های آبرفتی جوان در پادگانه های دره ماه نشان شکل گرفته است. جاده ماه نشان-مادآباد؛ نگاه به سوی NW.

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ سوم، ۵۸۶ص.
- احمدی ترکمانی، ا.، ۱۳۸۴- بررسی ساختاری گستره ماه‌نشان با نگاهی ویژه به تأثیر زمین‌ساخت در جایگیری تخییری‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش تکنیک، پژوهشکده علوم زمین، ۱۷۷ص.
- قاسمی، م.ر.، ۱۳۸۰- گزارش بازدید از منطقه‌های معدنی کانسارهای تخییری جنوب استان زنجان (دیدگاه ساختاری). گزارش داخلی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- طفی، م.، ۱۳۸۰- نقشه زمین‌شناسی ماه‌نشان. مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Ahmahadi, F., Lacombe, O. and Daniel, J.M., 2007- Early reactivation of basement faults in Central Zagros (SW Iran): evidence from pre-folding fracture populations in the Asmari Formation and Lower Tertiary paleogeography. *In Thrust Belts and Foreland Basins; From fold kinematics to hydrocarbon systems* (eds O. Lacombe, J. Lavé, J. Vergès, F. Roure), pp. 205–28. Springer Verlag.
- Blanc, E.J.-P., Allen, M.B., Inger, S. and Hassani, H., 2003- Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran. *Journal of the Geological Society, London*, 160, 401–412.
- Giambiagi, L., Bechis, F., García, V., Clark, A.H., 2008- Temporal and spatial relationships of thick- and thin-skinned deformation: A case study from the Malargüe fold-and-thrust belt, southern Central Andes. *Tectonophysics*, v. 459 (1-4), p. 123-139.
- Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Horton, B.K., Axen, G.J., Stockli, L.D., Grove, M., Schmitt, A.K., 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, p. 71-96.
- Hatzfeld, D., Authemayou, C., van der Beek, P., Bellier, O., Lavé, J., Oveisi, B., Tatar, M., Tavakoli, F., Walpersdorf, A. and Yamini-Fard, F., 2010- The kinematics of the Zagros Mountains (Iran), *Geological Society, London, Special Publications* 2010; v. 330; p. 19-42, doi:10.1144/SP330.3
- Jamshidi Badr, M., Collins, A.S. and Masoudi, F., 2010- 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 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran, 26-28 April 2010.
- Molinaro, M., Guezou, J.C., Leturmy, P., Eshraghi, S.A., and Frizon De Lamotte, D., 2004- The origin of changes in structural style across the Bandar Abbas syntaxis, SE Zagros (Iran). *Marine and Petroleum Geology*, 21, 735–752.
- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J.C., Frizon De Lamotte, D. and Eshraghi, S.A., 2005- The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: from thin-skinned to thick-skinned tectonics. *Tectonics* 24, TC3007, doi:10.1029/2004TC001633, 19 pp.
- Mouthereau, F., Lacombe, O. and Vergès, J., 2012- Building the Zagros collisional orogen: Timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence. *Tectonophysics* 532–535 (2012) 27–60.
- Mouthereau, F., Tensi, J., Bellahsen, N., Lacombe, O., De Boissrogollier, T. and Kargar, S., 2007- Tertiary sequence of deformation in a thin-skinned/thick-skinned collision belt: The Zagros Folded Belt (Fars, Iran). *Tectonics* 26, TC5006, doi: 10.1029/2007TC002098, 28 pp.
- Paul, A., Kaviani, A., Hatzfeld, D., Vergne, J., Mokhtari, M., 2006- Seismological evidence for crustal-scale thrusting in the Zagros mountain belt (Iran). *Geophysical Journal International* 166, 227–237.
- Sherkati, S., Molinaro, M., Frizon De Lamotte, D. and Letouzey, J., 2005- Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control. *Journal of Structural Geology*, 27, 1680–1696.
- Stockli, D.F., Hassanzadeh, J., Stockli, L.D., Axen, G.J., Walker, J.D., Dewane, T.J., 2004- Structural and geochronological evidence for Oligo-Miocene intra-arc low-angle detachment faulting in the Takab–Zanjan area NW Iran. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 36 (5), 319.

Thick- and Thin-Skinned Deformation of the Mahneshan Area, Zanjan, Northwest Iran

A. Ahmadi-Torkmani¹ & M. R. Ghassemi^{2*}

¹ Instructor, Department of Geology, Payame Noor University, Iran

² Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2013 February 19

Accepted: 2013 August 12

Abstract

The present research uses precise field data to provide a balanced cross-section of the Mahneshan area, and investigate nature of depth distribution of its major structures. Our structural studies indicate that the Mahneshan and Anguran faults are two major faults, which penetrate deep into the crust and cause a considerable amount of horizontal shortening in the area. In a more specific way, the Anguran fault roots deep into the middle crustal levels of about 21 km, and thrusts the whole Phanerozoic sequence and even parts of the Precambrian basement rocks over the younger strata. We believe that the abovementioned thrust originates not from a low-competency decollement plane, but from a ductile shear zone in deep crust. Evidences for development and conditions of such shear zone are present in the Precambrian basement rocks of the Anguran fault's hanging-wall. We suggest that the decollement surface for the Mahneshan thrust, which is located in the shallower depths (13 km), is related to probable occurrence of evaporitic materials equivalent to the Hormoz Series beneath the Kahar Formation. Syn-sedimentary deformation within the Qom Formation in the hanging-wall of the Anguran thrust, as well as other evidences present in Neogene deposits of the area suggest that the thrust fault has been active since Oligocene. Restoration of displacements across the Anguran fault, and comparing the results with inception age for the fault suggests that the Anguran fault has been active with a slip rate of about 1 mm/yr. The structural features in the Mahneshan area indicate that thick-skinned faulting along with thin-skinned tectonics have resulted in a considerable amount of thickening of the crust in the region; this observation is in accordance with abovementioned characteristic of the crust in the Sanandaj-Sirjan zone.

Keywords: Mahneshan, Zanjan, Thick-skinned faulting, Mahneshan thrust, Anguran thrust, Shear zones

For Persian Version see pages 299 to 306

*Corresponding author: M. R. Ghassemi; E-mail: m.r.ghassemi@gsi.ir