

هندسه ساختاری کوه‌های طالقان، شاهدی بر تکامل ساختاری جنوب البرز مرکزی از زمین‌ساخت وارون تا ترافشارش چپ‌گرد

نوشته: سعید معدنی‌پور* و علی یسافی*

* گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۸/۲۷

چکیده

کوه‌های طالقان در جنوب البرز مرکزی قرار داشته و به دلیل داشتن توالی‌های کاملی از سنگ‌های پالئوزویک تا ترشیری محل مناسبی در تبیین تکامل ساختاری جنوب البرز مرکزی است. این رشته کوه از شمال به وسیله گسل طالقان و از جنوب به گسل مشا محدود شده است. این گسل‌ها مرز واحدهای پالئوزویک - مزوزویک کوه‌های طالقان را با ترشیری در دامنه‌های شمالی و جنوبی آن تشکیل می‌دهد. در این مقاله هندسه ساختاری گسل‌های رشته کوه، تحلیل و بر آن مینا الگویی بر تکامل ساختاری جنوب البرز مرکزی ارائه شده که نشانگر تکامل آن از زمین‌ساخت وارون تا ترافشارش چپ‌گرد است. گسل مشا در خاور کوه‌های طالقان پرشیب بوده و موجب رانده شدن نهشته‌های پرکامبرین کهر پوشاننده پی سنگ که در هسته تاقدیس بزرگ فرادیواره‌ای آن جای گرفته بر روی نهشته‌های ائوسن دارای ناو فرم‌های فرودیواره‌ای شده است. چنین هندسه‌ای از گسل مشا بیانگر پی‌سنگی بودن گسل و تکامل آن از وارون‌شدگی (Inversion) یک گسل نرمال اولیه است. بر همین اساس گسل پرشیب طالقان به‌عنوان گسل پس راند (Back thrust) فرادیواره‌ای مشا و کوه‌های طالقان به‌عنوان منطقه بالاجسته (Pop-up) مابین آنها تحلیل شده است. تحلیل جنبشی گسل طالقان برش‌های مختلف این گسل در منطقه کوه‌های طالقان در این مطالعه بیانگر وجود دو فاز حرکتی معکوس با مؤلفه‌های متفاوت راستالغز راستگرد و چپگرد است. حرکات معکوس راستگرد گسل طالقان با توجه به قرارگیری آن در فرادیواره گسل مشا مرتبط با فرایند وارون‌شدگی این گسل از زمان کرتاسه پایانی و حرکات چپگرد آن در نتیجه حاکمیت زمین‌ساخت ترافشارش چپ‌گرد بر البرز مرکزی از زمان پلیوسن تحلیل شده است.

کلیدواژه‌ها: کوه‌های طالقان، البرز مرکزی، زمین‌ساخت وارون، زمین‌ساخت ترافشارش.

۱- مقدمه

رشته کوه البرز با یک فرم سینوسی خاص در شمال فلات ایران و در حاشیه جنوبی دریای خزر قرار داشته و تغییر شکل فعالی را در میان منطقه برخوردی ورق‌های عربی-اوراسیا تشکیل داده است (شکل ۱-الف). در خصوص هندسه ساختاری البرز مدل‌های متفاوتی ارائه شده است که قدیمی‌ترین آنها مربوط به Stocklin (1974) است، از دیدگاه او البرز یک سین کلینوریوم حاشیه‌ای از ایران مرکزی است و پی‌سنگ البرز نیز در تغییر شکل‌های آن درگیر بوده و نوعی زمین‌ساخت ستبر پسته بر این گستره از ایران حاکم است. در حالی که Alavi (1996) زمین‌ساخت نازک پسته با توسعه ورقه‌های ساختاری و سیستم‌های دوبلکسی را برای البرز مطرح می‌نماید. به نظر وی دو گروه سیستم‌های راندگی در طول دوره‌های کوهزایی سیمین و آلبی جوان ایجاد شده‌اند. Axen et al. (2001) سیستم ترافشارش چپ‌گرد از پلیوسن را حاکم بر هندسه ساختارهای البرز مرکزی - باختری دانسته و معتقدند که بیشتر گسل‌ها با یک هندسه گل مانند به درون رشته کوه شیب پیدا کرده و جدایش معکوس از خود نشان می‌دهند. Allen et al. (2003) بر این باورند که تغییر شکل در البرز به صورت کوتاه شدگی مایل بوده و سبب تجزیه دگرریختی به دو مؤلفه امتداد لغز چپ‌بر موازی رشته کوه و راندگی عمود بر آن شده است. منبع این تغییر شکل را حرکت رو به شمال ایران مرکزی و نزدیک‌شدگی صفحات عربی و اوراسیا و حرکت رو به جنوب باختر حوضه خزر جنوبی نسبت به البرز و ایران مرکزی می‌دانند. این محققان زمین‌ساخت حاکم بر البرز را به صورت نازک پسته دانسته و شواهد بارزتر چنین زمین‌ساختی را به وجود افق‌های جدایشی و حضور توده‌های نابرجا اشاره کرده‌اند.

Footwall syncline) بوده است. پس راندهایی در منطقه وجود دارد که با اتصال به گسل‌های اصلی سبب بیرون زدگی واحدهای قدیمی به فرم بالاجسته شده است. این شواهد که در حوضه‌های وارون شده رایج است (McClay 2000) بیان کننده وارون‌شدگی از حالت نرمال گسل‌های اصلی البرز است. شواهد دیگری از زمین‌ساخت وارون با معرفی گسل‌های راندگی که وارون‌شدگی آنها تکمیل نشده در البرز مرکزی و در منطقه شهرستانک توسط Zanchi et al. (2006) (در خاور منطقه مورد مطالعه) معرفی شده است. به نظر این محققان فریبوم‌هایی در طی کوهزایی ائوسیمین در پالئوزویک پسین در پیش‌بوم (فورلند) پایدار ایران شکل گرفته‌اند که توسط نهشته‌های مزوزویک پر شده‌اند و در طی سنوزویک به صورت گسل‌های امتداد لغز و راندگی پر شیب تجدید فعالیت یافته‌اند.

۲- هندسه ساختاری کوه‌های طالقان

کوه‌های طالقان به وسیله گسل‌های طالقان در شمال و مشا در جنوب محدود می‌شود (شکل ۱-ب). این گسل‌ها با جهت شیب خلاف یکدیگر موجب رانده شدن مجموعه‌های قدیمی پالئوزویک - مزوزویک بر روی واحدهای سنگی ترشیری شده‌اند. این گسل‌ها از گسل‌های اساسی و لرزه‌زای البرز هستند و تاریخچه

لرزه‌خیزی طولانی دارند. کوه‌های طالقان یکی از مناطق البرز مرکزی است که دارای یکی از کامل‌ترین توالی‌های چینه‌شناسی البرز است و لذا می‌تواند تا حد زیادی در شناخت هندسه و تکامل ساختاری مرتبط با فرایندها و فازهای مختلف دگرریختی، که در شکل‌گیری آن نقش مهمی ایفا نموده‌اند، مؤثر باشد. در این راستا تحلیل هندسی و جنبشی گسل‌های اصلی مرز رشته کوه و دیگر گسل‌های میان آنها اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد. لذا در این بخش جزئیاتی از هندسه ساختاری این گسل‌ها و سازوکار تحلیلی بر راستای حرکت آنها ارائه شده است. به منظور تحلیل جنبشی گسل‌ها از ساختارهای موجود در پهنه گسلی در مقیاس‌های مزوسکوپی و ماکروسکوپی استفاده شده است. این ساختارها به طور عمده شامل ریزچین‌های کشیدگی، برگوارگی پهنه گسلی از نوع S-C و خطوط لغزشی موجود در پهنه گسلی بوده است. ساختارهای اصلی کوه‌های طالقان که در این بخش تحلیل شده‌اند شامل گسل‌های طالقان و مشا که به ترتیب مرزهای شمالی و جنوبی منطقه را تشکیل می‌دهند، برگه‌های رانندگی به موازات این گسل‌ها و گسل‌های عرضی قطع‌کننده آنها هستند (شکل ۲). برش‌های چهارگانه ترسیم‌شده (شکل ۳) از آنجا که ژرف‌ترین دره‌های موجود در منطقه ارتفاعی در حدود ۵۰۰ متر دارند، تا این ارتفاع قابل اعتماد هستند. همچنین رخنمون وسیع سازند کهار (پرکامبرین) که بر روی پی سنگ البرز واقع شده است تعمیم الگوهای ساختاری را در برش‌ها تا پی سنگ امکان‌پذیر می‌نماید.

۲-۱. گسل طالقان

گسل طالقان در منطقه مورد مطالعه با روند عمومی خاوری - باختری و طولی برابر ۴۵ کیلومتر (شکل ۲) مرز شمالی کوه‌های طالقان را در جنوب البرز مرکزی مشخص می‌نماید. به سمت خاور و در خارج از محدوده مورد مطالعه نیز تا بخش‌های خاوری کوه کهار دنبال شده و به نظر می‌رسد که در این بخش به گسل مشا متصل می‌شود (شکل ۱). شیب این گسل از ۵۵ تا ۷۰ درجه به سمت جنوب متغیر است. واحدهای سنگی فرادیواره‌ای گسل طالقان از خاور به باختر جوان‌تر می‌شود به طوری که در بخش‌های خاوری سازندهای پرکامبرین کهار و پرکامبرین-کامبرین سلطانیه در فرادیواره گسل بوده، به سمت مرکز منطقه سازندهای پالئوزویک و تریاس واحدهای سنگی فرادیواره‌ای گسل را تشکیل می‌دهند در حالی که به سوی باختر واحدهای ژوراسیک در فرادیواره گسل قرار می‌گیرد (شکل ۲).

واحدهای فرادیواره‌ای این گسل در سراسر منطقه کم و بیش یکسان و نهشته‌های ترشیری، واحدهای ائوسن سازند کرج یا واحدهای نئوژن، است. در قسمت‌هایی در امتداد گسل شاخه‌های فرعی فرادیواره‌ای ایجاد شده است که به نسبت کم شیب‌تر بوده و واحدهای جوان‌تری را نسبت به شاخه اصلی گسل در فرادیواره خود دارند (شکل ۴).

در این مطالعه ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل طالقان در ۳ برش ساختاری (برش‌های AA', BB' و CC' در شکل‌های ۲ و ۳) بررسی و تحلیلی شده است. در برش شمال هیو (AA' در اشکال ۲ و ۳) واحدهای سنگی کامبرین سازند میلا بر روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن سازند کرج رانده شده است. شیب گسل ۶۵ درجه به سمت جنوب است. تحلیل جنبشی گسل در این برش با استفاده از خطوط لغزشی موجود در پهنه گسلی سازوکار رانندگی با مؤلفه راستالغز چپگرد نشان می‌دهد (استریوگرام شکل ۴-الف). در برش میناوند (BB' در اشکال ۲ و ۳) گسل طالقان دارای ۳ شاخه است که همگی شیبی حدود ۶۵ درجه به سمت جنوب دارند (شکل ۴). در این برش سازندهای اینفراکامبرین-کامبرین بر روی سازند ائوسن کرج رانده شده‌اند. تحلیل ریزچین‌های کشیدگی و ساختار S-C در پهنه گسلی حرکت

غالب معکوس را برای گسل نشان می‌دهد

(استریوگرام شکل ۴-ب). در برش اورازان (CC' در اشکال ۳ و ۴) گسل طالقان به صورت دو شاخه است. شاخه جنوبی شیب بیشتری (۶۵ درجه) از شاخه اصلی گسل دارد (شکل ۳). شیل‌های کربناتی کامبرین-پرکامبرین سازند سلطانیه و تخریبی‌های سازند کهار واحدهای سنگی فرادیواره اصلی گسل را تشکیل می‌دهند در حالی که کربنات‌های پرمین و شیل‌های زغال‌دار ژوراسیک واحدهای فرادیواره شاخه شمالی است. تحلیل جنبشی گسل در این برش با استفاده از ساختار S-C و ریزچین‌های کشیدگی در پهنه گسلی صورت گرفته است که بیانگر یک گسل رانندگی با مؤلفه کوچک راستالغز راستگرد است (استریوگرام شکل ۴-د). در فرادیواره گسل در دامنه شمالی کوه‌های طالقان توده نابرجایی از جنس نهشته‌های پرمین برداشت شده که توده نابرجای اورازان نامگذاری شده است (اشکال ۳، ۴ و ۵).

۲-۲. گسل مشا

این گسل مهم‌ترین ساختار در جنوب البرز مرکزی است. بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی آن متمرکز به بخش‌های خاوری و مرکزی آن بوده است (Allen et al., 2003; Ashtari et al., 2005; Soleymani et al., 2003) باختری گسل مشا (منطقه کوه‌های طالقان) توسط Guest et al. (2006) مطالعه شده است. مطالعه Ehteshami & Yassaghi (2007) یکی از جزئی‌ترین مطالعات صورت گرفته بر روی گسل مشا در محدوده مرکزی گسل (منطقه کلها تانسا) است. گسل مشا در این محدوده سازوکار غالب معکوس داشته و حرکت راستالغز چپگرد (۳۰-۳۵ کیلومتر) که در بخش‌های خاوری گسل مشاهده شده (Allen et al., 2003) در این بخش دیده نمی‌شود. گرچه Guest et al. (2006) بر این موضوع معتقدند که جابه‌جایی چپگرد گسل مشا به طرف باختر آن در منطقه کوه‌های طالقان به گسل طالقان منتقل شده است. در منطقه کوه‌های طالقان گسل مشا با روند خاوری - باختری از خاور منطقه مطالعه شروع و تا دره ولیان ادامه می‌یابد، در امتداد این دره متأثر از گسل‌های با روند شمالی - جنوبی به سمت جنوب جابه‌جا شده و در ادامه روند گسل به سوی باختر تغییر می‌یابد (شکل ۲). گسل مشا در سمت باختر دره ولیان موجب رانده شدن واحدهای ژوراسیک سازند شمشک بر روی واحدهای ائوسن سازند کرج می‌شود و تا شمال باختر خور رخنمون سطحی داشته و در ادامه به سمت باختر در زیر واحدهای کوآرتنری مدفون مانده است. نکته قابل توجه تغییر مشخص هندسه گسل مشا در گذر از دره ولیان است. در این مطالعه گسل مشا به‌طور جزئی‌تر در ۲ برش مجزا مطالعه و هندسه آن معرفی شده است (برش‌های AA' و BB' در شکل‌های ۲ و ۳). در برش BB'، در امتداد دره ولیان، گسل مشا، واحدهای شیلی - ماسه‌سنگی سازند زایگون (کامبرین) و دولومیت‌های سازند سلطانیه (پرکامبرین) را بر روی واحدهای ائوسن سازند کرج رانده است (شکل‌های ۲ و ۳). در این برش گسل‌های با روند شمالی - جنوبی بر هندسه گسل مشا تأثیر گذاشته و موجب کاهش شیب آن به کمتر از ۴۵ درجه در باختر دره ولیان شده‌اند. در این برش چین‌های کشیدگی به‌خوبی توسعه یافته که دلیل آن قرارگیری طبقه‌های متناوب دولومیت و شیل در پهنه گسلی است. تحلیل جنبشی گسل نیز با استفاده از همین چین‌ها صورت گرفته است.

گسل مشا در خاور دره ولیان (خاور برش CC' در شکل ۲) مرز ساختاری شاخص بین واحدهای قدیمی‌تر از ترشیری و واحدهای ائوسن است. به سوی باختر برش CC' رخنمون واحدهای ائوسن در سطح دیده نمی‌شود چرا که به دلیل توسعه مجموعه‌ای از گسل‌های رانندگی فرادیواره‌ای (Hangingwall bypass thrust) (TF_۱ تا TF_۶) با شیب کمتر و توده‌های نابرجای آنها ادامه گسل مشخص نیست (شکل ۲). این برگه‌های رانندگی به‌طرف جنوب جوان‌تر می‌شوند و در ادامه به طرف باختر به گسل طالقان

مختلف این گسل در منطقه کوه‌های طالقان در این مطالعه بیانگر وجود دو فاز حرکتی معکوس با مؤلفه راستالغز چپگرد و معکوس با مؤلفه راستالغز راستگرد است. نتایج حاصل از تحلیل ریزچین‌ها و برگراری‌های گسلی از نوع S-C سازوکار مؤلفه راستالغز راستگرد (شکل‌های ۴-ج و ۴-د) و داده‌های به‌دست آمده از تحلیل خطوط لغزشی موجود در پهنه گسلی بیشتر مؤلفه راستالغز چپگرد را برای گسل نشان می‌دهند (شکل ۴-الف). چنین سازوکار متفاوتی برای گسل طالقان بیانگر دو فاز حرکتی متفاوت برای آن است به طوری که مجموعه توف سنگ‌های سازند کرج، که در آنها برگراری‌های گسلی از نوع S-C و ریزچین‌ها است، توسط دایک‌های میکرودیوریتی قطع شده‌اند. با استفاده از روش رادیومتری سنی در حدود ۶-۴ میلیون سال (میوسن پایانی) را برای دایک‌ها پیشنهاد می‌کند (Guest et al., 2006). لذا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که حرکت‌های راستگرد گسل که منجر به شکل‌گیری این ریزساختارها گشته است سنی قدیمی‌تر از ۶-۴ میلیون سال را دارند (قبل از پلیوسن)، در حالی که حرکت‌های جوان‌تر گسل (امتداد لغز چپگرد) که با گسترش صفحات گسلی دارای خطوط لغزشی همراه بوده و توده‌های نفوذی را نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند سنی جوان‌تر از ۶-۴ میلیون سال پیش را داشته و نمایانگر حرکات پس از پلیوسن گسل طالقان هستند.

همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) و در مقاطع عرضی ساختاری دیده می‌شود (شکل ۳)، گسل‌های طالقان و مشا دارای جهت شیبی خلاف یکدیگر هستند و موجب راندگی مجموعه سنگ‌های قدیمی‌تر از ترشیری در هر دو سو بر روی مجموعه‌های جوان‌تر شده‌اند. این هندسه با عنوان درون‌نهشته (Inlier) طالقان اولین بار توسط Annelis et al. (1975) به کار رفته است. امروزه این هندسه ساختاری با عنوان ساختار بالاجسته معروف بوده و بیشتر در رژیم‌های زمین‌ساختی وارون و امتدادلغز تشکیل می‌شوند (به‌طور مثال McClay, 1996). اصطلاح منطقه بالاجسته اولین بار توسط Allen et al. (2003) برای کوه‌های طالقان به کار رفته است. این محققان فرایند تشکیل چنین ساختارهایی را فقط در بخش‌های خاوری و مرکزی رشته کوه البرز (خاور کوه‌های طالقان) به بالاکشیدگی واحدهای سنگی متأثر از عملکرد امتدادلغز گسل‌های اصلی دانسته‌اند.

۳-۲. زمین‌ساخت وارون و هندسه بالاجسته کوه‌های طالقان

زمین‌ساخت وارون نقش مهم و اساسی در تکامل کمربندهای کوهستانی ویژه در بخش‌های خارجی کوهزادها و کمربندهای داخل قاره‌ای دارد (Coward, 1994). بحث زمین‌ساخت وارون در البرز مرکزی اولین بار توسط Yassaghi (2001) مطرح شده است. به نظر وی گسل‌های راندگی موجود در البرز مرکزی به خوبی ویژگی‌های گسل‌های کنترل‌کننده حوضه را نشان می‌دهند و اغلب همراه با گسل‌های پس‌راند (Backthrusts) بر روی فرادیواره خود هستند که این گسل‌های پس‌راند در ژرفا به گسل راندگی اصلی متصل شده و سبب به سطح رسیدن مجموعه‌های سنگی قدیمی‌تر به فرم بالاجسته به سطح شده‌اند. مقدار جابه‌جایی وارون در راستای گسل‌های کنترل‌کننده حوضه اغلب کمتر از جابه‌جایی موجود در گسل‌های پس‌راند آنها است (Coney et al., 1996). این هندسه از ویژگی‌های شاخص گسل‌های مناطق وارون شده‌ای است که در آن گسل‌های پس‌راند در فاز فشارشی تشکیل شده‌اند. (Coney et al., 1996) همچنین ادامه گسل خوردگی، در فرودیواره گسل وارون شده اصلی راندگی‌های میانبر فرودیواره‌ای (Footwall shortcut thrust) را سبب می‌شود. (Zanchi et al. (2006) با ارائه شواهدی از گسل‌های نرمال اولیه که در طی فازهای فشارشی وارون‌شدگی آنها کمتر بوده است، این الگوی زمین‌ساختی را در بخش باختری البرز مرکزی مورد استفاده قرار داده‌اند.

ختم می‌شوند (شکل ۲). در دشت‌های جنوب باختری منطقه کوه‌های طالقان، که از خاور به باختر است، مجموعه‌های سنگی قدیمی‌تر از تریاس تا پرکامبرین برونزد دارند که با مرز گسلی بر روی واحدهای جوان‌تر رورانده شده‌اند این روند برخلاف روند جوان‌شدگی واحدها در منطقه مورد مطالعه است (شکل‌های ۲ و ۳). این توده‌های نابرجای برداشت شده در این مطالعه در واقع کلیپ‌هایی هستند که از سفره‌های راندگی TF1 تا TF5 به‌وجود آمده‌اند (شکل‌های ۲ و ۳). مهم‌ترین این تودها و به ترتیب سنی از پرکامبرین تا تریاس و از شمال به جنوب عبارتند از توده‌های دوبرادر، قلعه‌گردان، آبیگ، خور و جابه‌بند (شکل‌های ۲ و ۳). مجموعه‌های از گسل‌های عرضی با روند تقریبی شمال-شمال خاور گسل مشا و برگه‌های راندگی فرادیواره‌ای آن را قطع می‌نماید. یکی از مناطقی که این گسل‌ها فراوانی بیشتری دارند، دره ولیان است (مسیر برش CC' در شکل ۲). گرچه شواهدی از وجود این گسل‌های عرضی در امتداد برش AA' (شکل ۲) نیز دیده می‌شود.

دره ولیان در جنوب بخش مرکزی کوه‌های طالقان واقع شده و روند تقریبی آن شمال-شمال خاور است. بیشتر ساختارهای موجود در منطقه مورد بررسی در عبور از این دره قطع و جابه‌جا شده و تغییر شکل هندسی را نشان می‌دهند. گسل مشا در امتداد دره ولیان با کاهش شیب بخش باختری نسبت به بخش خاوری آن همراه است. هندسه چین‌های موجود در این منطقه نیز در اثر عملکرد این گسل‌ها تغییر نموده به طوری که اثر محوری آنها دچار چرخش شده است. خمیدگی ساختاری مشخصی در دامنه جنوبی کوه‌های طالقان در امتداد این دره وجود آمده که به اثر این گسل تحلیل شده است (شکل ۲). از دیگر ویژگی‌های این دره حضور توده‌های نفوذی فراوان (به صورت سیل و دایک) است که در ادامه به سمت شمال در نزدیکی گسل جنوب طالقان به توده‌های نفوذی گرانودیوریتی ختم می‌شود (شکل ۲).

۳-۳. بحث

۳-۱. تحلیل جنبشی گسل‌های محدودکننده کوه‌های طالقان

تحلیل جنبشی گسل مشا در بخش‌های خاوری و مرکزی آن (خاور کوه‌های طالقان) توسط محققان مختلف بررسی شده است. این مطالعات سازوکار امتدادلغز چپگرد با جابه‌جایی بیش از ۳۵-۳۰ کیلومتر را برای بخش خاوری آن (Allen et al. (2003) و سازوکار چیره راندگی را برای بخش مرکزی گسل مشا (جاده کرج - چالوس) (Ehteshami & Yassaghi (2007) عنوان نموده‌اند. گسل مشا در بخش خاوری آن و در کوه‌های طالقان، سازوکاری معکوس با مؤلفه کوچک راستالغز چپ‌بر دارند (معدنی پور، ۱۳۸۶) که این اطلاعات بر مبنای تحلیل ساختارهای پهنه گسلی در شکل ۲ ارائه شده است. این سازوکار با تشکیل تاق‌فرم‌های فرادیواره‌ای و ناو‌فرم‌های فرودیواره‌ای همراه است. این در حالی است که به سوی باختر کوه‌های طالقان (باختر دره ولیان) گسل سازوکار راندگی را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به موارد یاد شده جابه‌جایی‌های چپگرد گسل مشا به طور عمده محدود به بخش‌های خاوری آن بوده و بخش‌های باختری‌تر آن (منطقه کوه‌های طالقان) سازوکار چیره معکوس تا راندگی دارد. گسل طالقان از نظر جنبشی تاریخچه متفاوتی را نسبت به گسل مشا ارائه می‌دهد. حرکت امتداد لغز چپگرد گسل برای حرکات جوان آن عنوان شده است (Allen et al., 2003; Vernant et al., 2003). گرچه مطالعه دیرینه‌لرزه‌شناسی صورت گرفته بر روی گسل طالقان (Ritz et al., 2006) مؤلفه نرمال را علاوه بر حرکت چپگرد برای این گسل نشان می‌دهد، ولی Guest et al. (2006) علاوه بر حرکت امتدادلغز چپگرد جوان گسل مؤلفه‌های راستگرد قدیمی را برای این گسل نیز معرفی کرده‌اند. جدیدترین تحلیل جنبشی گسل طالقان در برش‌های

است. از نظر زمانی (Ehteshami & Yassaghi, 2007) تجدید فعالیت گسل مشا به صورت راندگی را در کرتاسه پایانی می‌دانند زیرا کرنات‌های کرتاسه تنها در شمال این گسل نهشته شده و مجموعه‌های ائوسن در جنوب آن دیده شده است که این موضوع نشان دهنده برآمدگی بخش شمالی در زمان تشکیل واحدهای ائوسن بوده است. در منطقه کوه‌های طالقان نیز کرنات‌های کرتاسه تنها در شمال گسل مشا گسترش داشته و واحدهای ائوسن نیز در جنوب آن دیده می‌شود. این حادثه مصادف با فاز فشارشی در اقیانوس نئوتتیس است که به نظر می‌رسد، برخورد از نوع قاره‌ای-کمان اقیانوسی بوده است (Mohajjel et al., 2003). این برخورد می‌توانسته سبب تجدید فعالیت گسل‌های پی‌سنگی از قبل موجود باشد که تأثیر آن در منطقه کوه‌های طالقان بر روی گسل مشا و تغییر در هندسه و وارون‌شدگی آن باشد (شکل ۷-ج).

گسترش مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن به رژیم کششی پشت کمانی مربوط به فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی نسبت داده شده است (Allen et al., 2003; Hushmandzadeh, 2002; Berberian, 1983) این مجموعه آتشفشانی-رسوبی به طور عمده در لبه جنوبی البرز و در جنوب گسل مشا با عنوان سازند کرج گسترش یافته است. در میوسن برخورد نهایی صفحات عربی و ایران در راستای شمالی-جنوبی صورت گرفته و اقیانوس نئوتتیس بسته شده است (Mohajjel et al., 2003). در البرز در این زمان زمین‌ساخت ترافشارشی راست‌بر حاکم بوده است (Allen et al., 2003; Axen et al., 2001). نتیجه حاکمیت چنین زمین‌ساختی ادامه وارون‌شدگی گسل مشا به صورت گسترش راندگی‌های میان‌بر فرودپورهای در بخش‌های خاوری کوه‌های طالقان و خاور دره ولیان و راندگی‌های نازک پوسته فرادپورهای در بخش‌های باختری کوه‌های طالقان و باختر دره ولیان بوده است (شکل‌های ۶ و ۷-د). ادامه وارون‌شدگی گسل مشا با توسعه گسل پس‌راند طالقان نیز همراه بوده و موجب توسعه ساختار بالاجسته طالقان که تشکیل دهنده فرازای اصلی کوه‌های طالقان است شده است (شکل ۷-ه). این بالاجستگی کوه‌های طالقان همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد با تشکیل توده‌های نابرجا در دشت‌های جنوبی بخش باختری این کوه‌ها همراه بوده است (شکل ۷-ع). مؤلفه راندگی گسل طالقان در این زمان با گسترش شاخه‌های فرودپورهای کم‌شیب‌تر در دره طالقان همراه بوده (شکل ۷-ه) و موجب تشکیل توده‌های نابرجا مانند اورازان، (شکل ۲) شده است.

ادامه همگرایی ورق عربی با فلات ایران در پلیوسن پسین با حرکت به سوی جنوب باختر پوسته خزر نسبت به ایران مرکزی همراه بوده و موجب توسعه زمین‌ساخت ترافشار چپگرد در البرز شده است (Allen et al., 2003; Jackson et al., 2002). این حرکت تجدید فعالیت گسل‌های پی‌سنگی را در پی داشته است که اثر آنها به صورت جابه‌جایی‌های چپگرد بعد از پلیوسن گسل‌های طالقان و مشا و گسترش گسل‌های عرضی با روند شمال شمال خاور (شکل ۲) و با سازوکار چپگرد بوده است (شکل ۷-و). با توجه به شیب بیشتر گسل مشا در خاور کوه‌های طالقان و دره ولیان، گسل مشا با جابه‌جایی بیشتر همراه بوده و ساختار بالاجسته کوه‌های طالقان در این منطقه مرتفع‌تر شده و موجب بروز نهشته‌های پرکامبرین (سازند کهر) به سطح شده است (شکل ۷-و).

۴- نتیجه‌گیری

تحلیل جنبشی گسل طالقان در برش‌های مختلف این گسل در منطقه کوه‌های طالقان در این مطالعه بیانگر وجود دو فاز حرکتی معکوس با مؤلفه‌های متفاوت راستالغز راستگرد و چپگرد است. مجموعه توف سنگ‌های سازند کرج که در آنها بر گوارگی گسلی و ریزچین‌ها تشکیل شده‌اند و توسط دایک‌های میکرودیوریتی قطع

هندسه ساختاری کوه‌های طالقان شواهد دیگری را از بحث زمین‌ساخت وارون در البرز مرکزی نشان می‌دهد. این شواهد مشتمل بر منطقه بالاجسته کوه‌های طالقان، قرارگیری سازند کهر پوشاننده پی‌سنگ در فرادپور گسل مشا و شیب گسل‌های محدودکننده کوه‌ها است. در مورد تشکیل پس‌راند‌ها باید گفت که این ساختارها به‌طور معمول در ارتباط با گسل‌هایی هستند که به سمت رأس پرشیب می‌شوند که این تغییر شیب هم می‌تواند به صورت صفحه‌ای و هم به صورت قاشقی باشد. در این موقعیت همزمان با تجدید فعالیت گسل اصلی برای تعدیل کرنش در فرادپور گسل‌های پس‌راند تشکیل می‌شوند. در تفسیر چنین فرایندی برای تکامل ساختاری گسل مشا، ویژگی هندسی گسل و درگیر بودن آن در پی‌سنگ موجب می‌شود که گسل در خلال انتشار از پی‌سنگ به پوشش رسوبی به دلیل اختلاف مقاومت واحدهای سنگی پوشش رسوبی، رمپ‌شدگی در آن ایجاد شود و همین رمپ‌شدگی عاملی در توسعه گسل‌های پس‌راند فرادپورهای به‌جهت تعدیل کرنش است (Coney et al., 1996). گسل‌های پس‌راند تشکیل شده در زمین‌ساخت وارون جابه‌جایی بیشتری را نسبت به گسل اصلی نشان می‌دهند. از آنجا که گسل طالقان روند کلیه گسل‌های اصلی منطقه را قطع می‌نماید (شکل ۳) از جوان‌ترین ساختارهای منطقه به‌شمار می‌آید. این گسل از نظر ارتفاعی نیز شکل‌دهنده اصلی توپوگرافی کنونی کوه‌های طالقان است به گونه‌ای که طول آبراه‌های تشکیل شده بر روی دامنه پرشیب کوه‌های طالقان، فرادپور پس‌راند طالقان، کوتاه‌تر و مستقیم‌تر از دامنه جنوبی، فرادپور گسل اصلی وارون شده مشا، است که این خود در نتیجه میزان جابه‌جایی بیشتر آن نسبت به گسل مشا است.

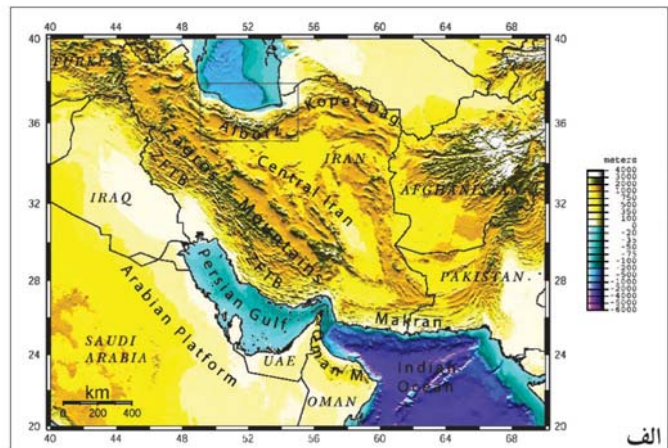
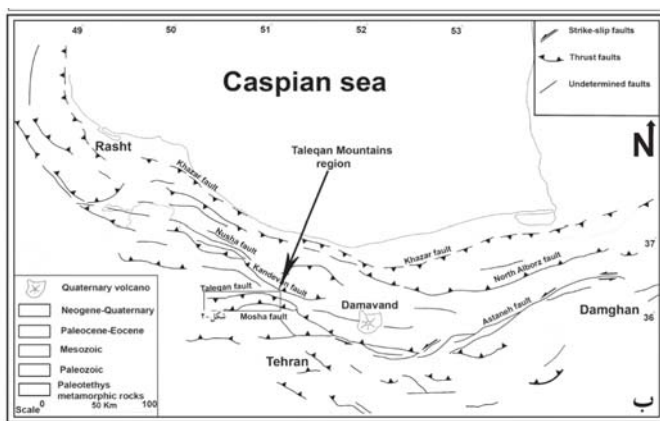
۳-۳. مدل تکامل زمین‌ساختی کوه‌های طالقان

در شکل ۶ طرح شماتیک از آرایش هندسی گسل طالقان، گسل مشا و راندگی‌های مجاور آن ارائه شده است. تکامل ساختاری کوه‌های طالقان در دو برش متفاوت (الف و ب در شکل ۶) در شکل ۷ ارائه شده است. منطقه کوه‌های طالقان یکی از مناطق البرز مرکزی است که توالی کامل چینه‌شناسی از پرکامبرین تا کواترنری را در خود جای داده است. اولین فعالیت ثبت شده در البرز کافت‌زایی پالنوزویک آغازی است (Alavi, 1996). اثر این فعالیت در منطقه کوه‌های طالقان با ردیف ستبری از آتشفشانی‌ها مشخص می‌شود که در قاعده آن گدازه‌های بالشی نیز قابل مشاهده است. به دلیل عدم گسترش این مجموعه در جنوب گسل مشا در سراسر البرز مرکزی به نظر می‌رسد در طی این فاز کششی گسل مشا به صورت نرمال تشکیل شده و بخش شمالی فرو افتاده آن کنترل کننده گسترش این مجموعه آتشفشانی در این بخش از البرز بوده است (شکل ۷-الف).

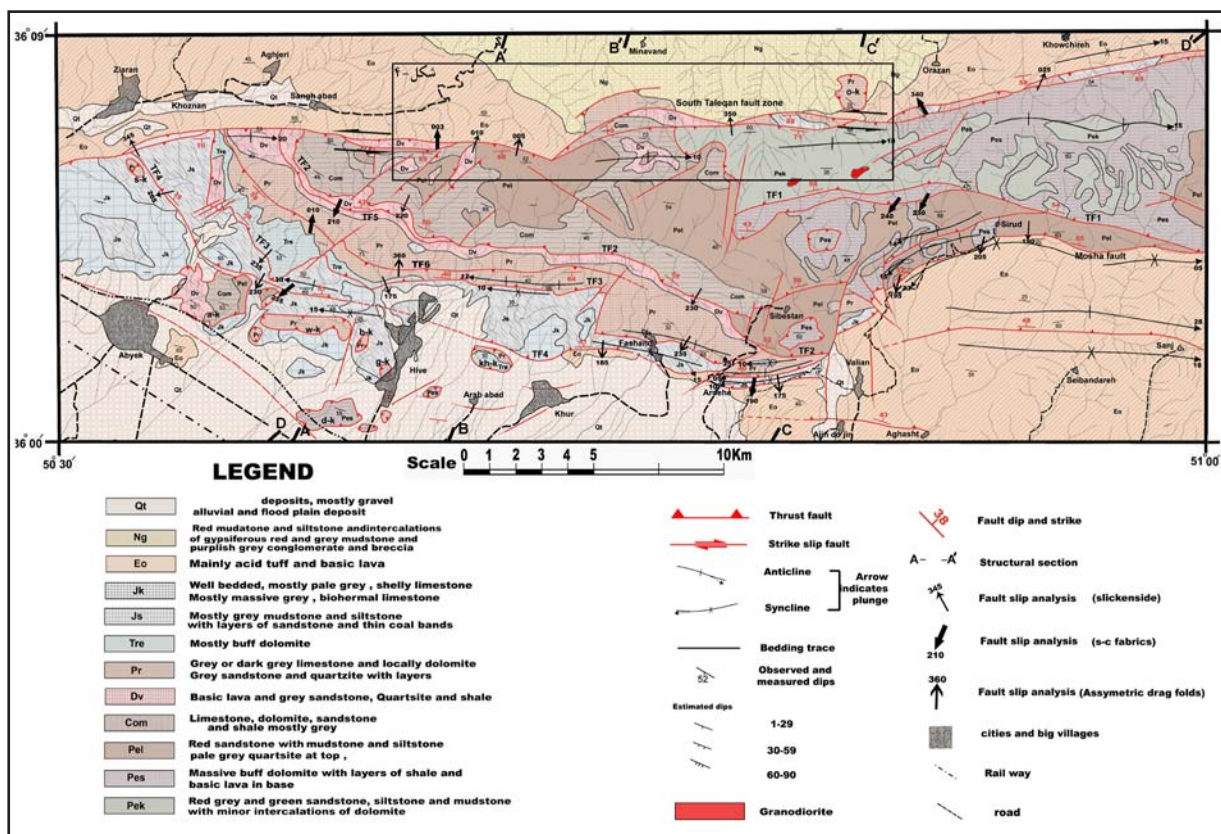
در ادامه، توالی به نسبت پیوسته‌ای از سنگ‌های دونین بالایی (آتشفشانی‌ها و گدازه‌ها) و سنگ آهک‌ها و ماسه‌سنگ‌های پرمین تا ردیف‌های آهکی و دولومیتی تریاس تشکیل شده است. بسته شدن حوضه اقیانوسی پالنوتتیس و برخورد اوراسیا و صفحه ایران به اثر کوهزاد سیمین آغازی در زمان پرموتریاس نسبت داده می‌شود که اثرات این کوهزاد به خوبی در شمال خاور ایران و در البرز خاوری توسط (Alavi, 1992) مطالعه شده است. اثر این کوهزاد در البرز مرکزی با برآمدگی پیرامونی گسل‌ها همراه بوده و از دیدگاه Zanchi et al. (2006) نتیجه آن، تشکیل گسل‌های نرمال جدید و یا ادامه حرکت گسل‌های نرمال از قبل موجود مانند گسل مشا بوده است (شکل‌های ۷-ب). این حوضه پایین افتاده که مرز جنوبی آن را گسل مشا تشکیل می‌داده، به‌طور منظم رسوبات تریاس تا کرتاسه را در خود جای داده

شده‌اند سازوکار راستگرد را نشان می‌دهند. با توجه به سن‌یابی انجام شده به روش رادیومتری برای دایک‌ها می‌توان نتیجه‌گیری نمود که حرکت‌های راستگرد گسل که منجر به شکل‌گیری این ریزساختارها گشته است سنی قدیمی‌تر از ۴-۶ میلیون سال را دارند (پیش از پلیوسن). در حالی که حرکت‌های جوان‌تر گسل (امتداد لغز چپگرد) که با گسترش صفحات گسلی دارای خطوط لغزشی همراه بوده و توده‌های نفوذی را نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند سنی معادل ۴-۶ میلیون سال پیش را داشته و نمایانگر حرکات پس از پلیوسن و پیش از کوتاه‌تر گسل طالقان هستند. سازوکار معکوس

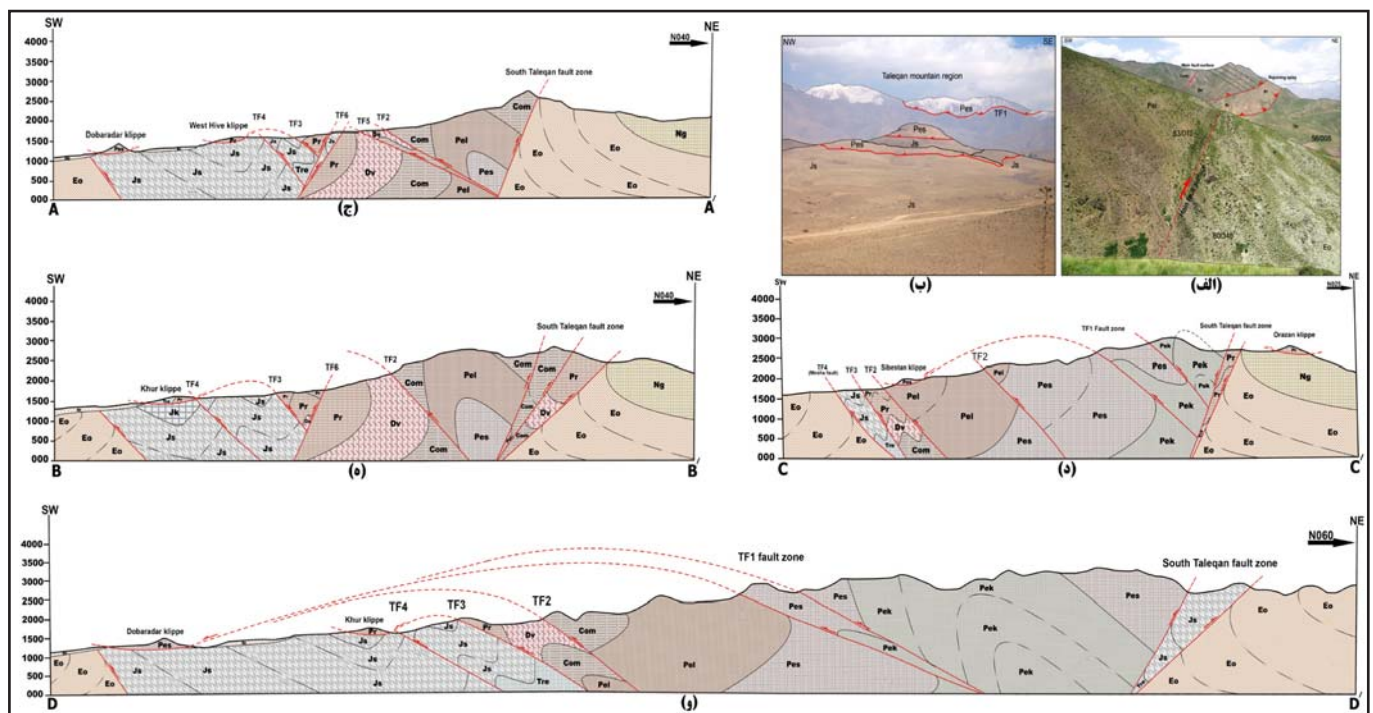
راستگرد گسل طالقان با توجه به قرارگیری آن در فرادیواره گسل مشا مرتبط با فرایند وارون‌شدگی این گسل از زمان کرتاسه پایانی است. در خلال این زمان گسل طالقان به صورت پس‌راند فرادیواره‌ای گسل وارون‌شده مشا بوده و موجب توسعه ساختار بالاجسته طالقان که تشکیل دهنده فرازای اصلی کوه‌های طالقان است شده است. در حالی که به نظر می‌رسد که حرکت به سمت جنوب‌باختر پوسته خزر نسبت به البرز و ایران مرکزی در پلیوسن پسین موجب حاکمیت زمین‌ساخت ترفشارش چپگرد در البرز و در نتیجه آن تغییر سازوکار گسل طالقان به معکوس چپگرد شده است.



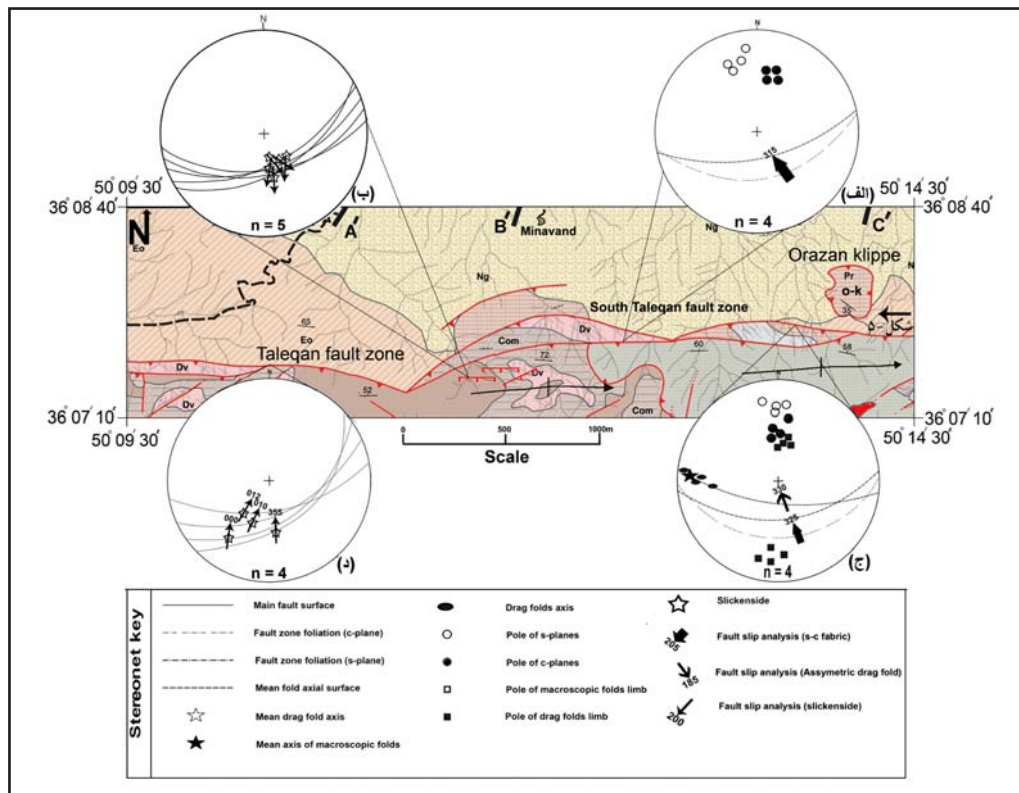
شکل ۱- الف) موقعیت فلات ایران مابین پلاتنوم عربی و ورقه اوراسیا و همچنین ویژگی‌های فیزیوگرافی و توپوگرافیکی آن. موقیت بخش (ب) به صورت مستطیل نشان داده شده است. ب) ویژگی‌های زمین‌شناسی - ساختاری البرز مرکزی. موقعیت منطقه کوه‌های طالقان (شکل ۲) به صورت مستطیل بر روی آن مشخص شده است (اقتباس از Nogol-e-Sadat, 1990).



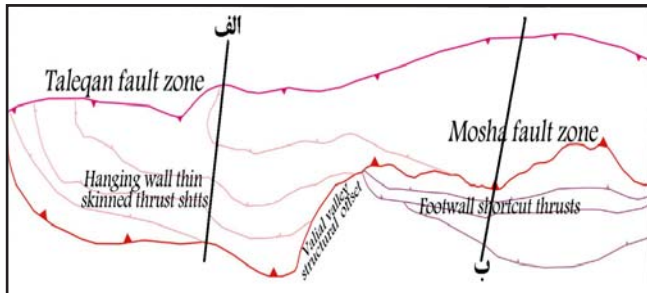
شکل ۲- نقشه ساختاری کوه‌های طالقان. محدوده مشخص شده با مستطیل موقعیت شکل ۴ است. برش‌های ترسیمی AA' تا DD' از باختر به خاور در شکل ۳ ارائه شده است.



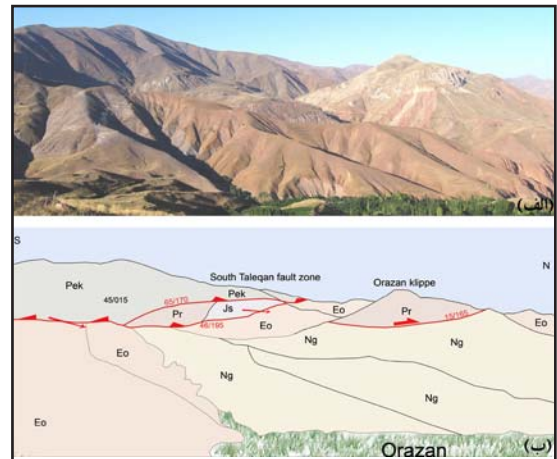
شکل ۳- الف) پهنه گسل طالقان و شاخه‌های فرعی فرودپورهای آن. (ب) نمایی از توده نابرجای دوبرادر که برگه راندگی اصلی آن در انتهای تصویر قابل مشاهده است. (ج) برش عرضی ساختاری A-A'. (د) (ب) برش ساختاری C-C'. (ه) برش عرضی ساختاری B-B'. (و) برش عرضی ساختاری D-D'.



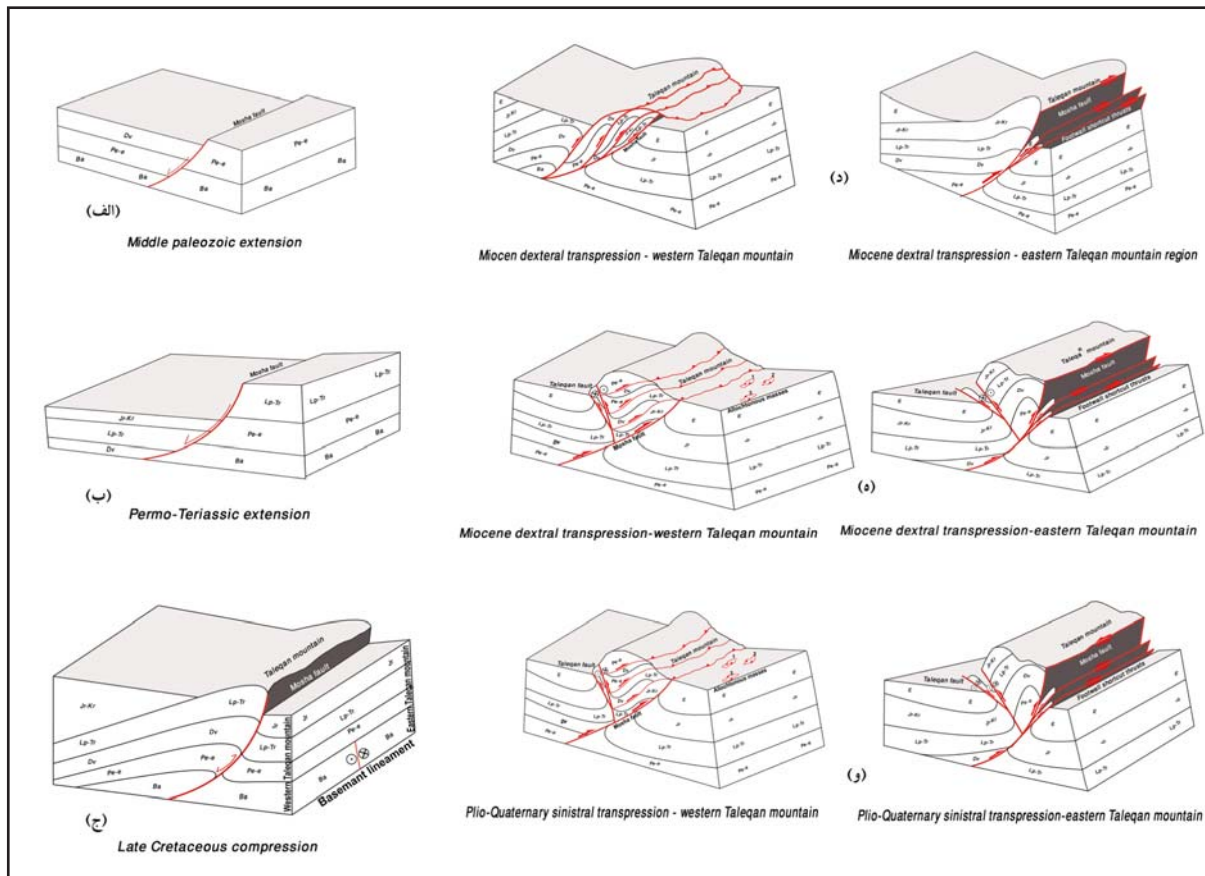
شکل ۴- نقشه ساختاری بخش مرکزی گسل طالقان و گسل‌های نرمال فرادپورهای آن. استریونت‌ها تحلیل راستای جابجایی گسل در نقاط مختلف را نشان می‌دهند. (راهنمای نقشه در شکل ۳ ارائه شده است). الف) تحلیل استریوگرافی ساز و کار گسل با استفاده از خطوط لغزشی سطح گسل. ب) تحلیل استریوگرافی گسل‌های نرمال فرادپورهای گسل طالقان با استفاده از خطوط لغزشی سطح گسل. ج) تحلیل استریوگرافی ساز و کار گسل با استفاده از برگوارگی (فابریک s-c) پهنه گسلی. د) تحلیل استریوگرافی ساز و کار گسل با استفاده از برگوارگی (فابریک s-c) پهنه گسلی و ریزچین‌های کشیدگی. فلش موقعیت شکل ۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۶- طرح شماتیک از گستره مورد مطالعه که در آن توزیع راندگی های میانبر فرودیواره ای و برکه های راندگی نازک پوسته فرادیواره ای گسل مشا نشان داده شده است. برش های الف و ب در شکل ۷ مقایسه شده است.



شکل ۵- الف) نمایی از پهنه گسل طالقان در دره اورازان. ب) تصویر شماتیک از بخش (الف) که در آن کلیه ساختارها نشان داده شده اند.



شکل ۷- الگوی تکامل ساختاری منطقه کوه های طالقان. توضیحات بیشتر در متن ارائه شده است. توده های نابرجایی که نشان داده شده اند به ترتیب از ۱ تا ۳ در ارتباط با برکه های راندگی TF1، TF2 و TF3 هستند.

کتابنگاری

معدنی پور، س.، ۱۳۸۶- تحلیل ساختاری کوه های طالقان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

References

- Alavi, M., 1992 - Thrust tectonics of the Binalood region, NE Iran: Tectonics, v. 11, p. 360-370.
 Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. Journal of Geodynamics, V.21, 1- 33.
 Allen, M. B., Ghassemi, M. R. Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003a - Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. J. Struct. Geol., 25, 659 - 672.

- Annellis, R.N., Arthurton, R.S., Bazley, R.A. and Davies, R.G., 1975- Explanatory text of the Qazvin and Rash quadrangles map: Tehran, Geological Survey of Iran, 94 p.
- Axen, G.J., Lam, P.J., Grove, M., Stockli, D.F. and Hassanzadeh, J., 2001a- Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics: *Geology*, v. 29, No. 6.
- Berberian, M., 1983- the southern Caspian: A compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 20, p. 163-183.
- Coney, P.J. et al., 1996 - Syntectonic burial and post-tectonic exhumation of the southern Pyrenees foreland fold-thrust belt, v. 153, 9-16.
- Coward, M., 1994 - Inversion tectonics. In: Hancock, p. (Ed) *Continental deformation*. Pergamon press, p.421.
- Delcaillau, B., Carozza, J., Laville, E., 2006- recent fold growth and drainage development: The Janauri and Chandigrath anticline in the Siwalik foothills, Northwest India. *Geomorphology*.V.74, 241-256.
- Ehteshami Moinabadi, M., Yassaghi, A., 2007- Gemometry and kinematics of the Mosha fault, south central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting. *J. Asian Earth science*, Article in press.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S., Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountain, northern Iran, by combined conjugate strike slip and thin-skinned deformation, *Geosphere*.V.2, No.1, 35-52.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M., 2002 - Active tectonics of the South Caspian Basin: *Geophysical Journal International*, v. 148, p. 214-245.
- McClay, K.R., Buchanan, P.G., 1990- Thrust faults in inverted extensional basins. In: McClay, K.R. (Ed.), *Thrust Tectonics*. Chapman & Hall, London, 93-104.
- Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 21, p. 397-412.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solymani, S., Vernant, P., 2006- Active transtension inside central Alborz: a new insight into northern Iran-Southern Caspian geodynamics, *Geology*, 34(6): 477-480.
- Soleymani, Sh., Feghhi, Kh., Shabani, E., Abbasi, M.R., Ritz, J.F., 2003- Preliminary Paleoseismological studies on the Mosha fault at Mosha valley. *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology*; 89p.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Bayer, R., Sedighi, M., Che'ry, J., Tavakoli, F., Masson, F., 2003- Present-day crustal deformation in central Alborz (Iran) inferred from GPS measurements. *Geophys. Res. Abstr.* 5, 11081.
- Yassaghi, A., 2001- Inversion tectonics in central Alborz Range. *European Union of Geosciences (EUG XI)*, Abstract. Symposium LS05, pp 335.
- Yassaghi, A., 2006- Integration of Landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, *International Journal of Remote Sensing*, Article in press.
- Zanchi, A., Berra, F., Mattei, M., Ghassemi, M.R., Sabouri, J., 2006- Inversion tectonics in central Alborz, Iran. *J. Structural Geology*, Article in press.