

تحلیل کشش در حوضه رسوبی گروه شمشک (دره بلده، البرز مرکزی)

مسعود میرزایی سوزنی^۱، علیرضا شهیدی^۲، رمضان رضائی اومالی^۳ و فاطمه علیزاده صوری^۴

^۱ کارشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲ دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۴ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۱۸

چکیده

برای بررسی نیروی کششی حاکم بر البرز مرکزی در بازه زمانی تریاس پایانی (نورین) تا ژوراسیک میانی (بازوسین آغازین)، سیستم‌های گسلی عادی و امتدادلغز همزمان با رسوب‌گذاری فعال در حوضه شمشک (دره بلده واقع در البرز مرکزی) مورد مطالعه قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه، از ستبرای قابل توجهی از نهشته‌های گروه شمشک تشکیل شده است. با تحلیل جهت‌گیری σ_3 حاصل از ۴۰۴ سطح گسل در قالب ۳۵ مجموعه گسلی نرمال، دو جهت اصلی کشش در راستاهای $NNE (0.2^\circ)$ و $NE (0.7^\circ)$ تشخیص داده شد. همچنین جهت کشش فرعی در راستای $WNW (3.0^\circ)$ نیز مشاهده شده است. جهت کشش سیستم‌های گسلی امتدادلغز همزمان با تشکیل این رسوبات در این راستا، نشانگر وجود حوضه‌های برشی - کششی در منطقه است. در طول زمان تریاس - ژوراسیک لبه جنوبی اوراسیا ضمن حرکت به سمت جنوب (از حدود مدار 30° درجه به 15° درجه) در راستای حدود $40^\circ - 50^\circ$ درجه در جهت عقربه‌های ساعت گردش می‌کند، این امر موجب می‌شود که کششی شمالی - جنوبی در ابتدای رسوب‌گذاری گروه شمشک حاکم باشد که پس از گردش صفحه اوراسیا، کشش شمال خاوری - جنوب باختری غالب شود؛ افزون بر این در بازه زمانی نورین - رتین و توآرسین - آلنین رسوب‌گذاری و فرونشست حوضه رسوبی شمشک شدیدتر بوده و سبب شده است که راستاهای اصلی یاد شده به صورت مجزا از هم دیده شوند. کشش فرعی که در راستای $WNW-ESE (3.0^\circ - 2.7^\circ)$ دیده می‌شود؛ در واقع چرخش 90° درجه‌ای (permutation) همان راستای کشش اصلی شمالی - جنوبی است. هنگامی که نسبت Φ به صفر نزدیک (کمتر از 0.4) می‌شود احتمال جابه‌جایی بین محوره‌های σ_2 و σ_3 بالا می‌رود و حوضه‌هایی با ساختار کششی دوجبهتی شکل می‌گیرند. در حدود 80% از ایستگاه‌هایی که کشش $WNW-ESE$ را نشان می‌دهند، نسبت Φ پایینی دارند؛ که همین امر سبب جابه‌جایی محور σ_3 آنها با σ_2 راستای اصلی کشش شده است. در نواحی ایستگاه‌های یادشده و همچنین ایستگاه‌هایی با سیستم امتدادلغز که جهت σ_3 در آنها با این راستای کشش همراه است؛ انیزوتروپی در سنگ‌های پوسته‌ای حوضه تشکیل، بالا بوده است.

کلیدواژه‌ها: کشش، گروه شمشک، فرونشست، اوراسیا، جابه‌جایی، چرخش، تنش دیرینه، گسل‌های عادی همزمان با رسوب‌گذاری.

E-mail: mmsmasoud@gmail.com

*نویسنده مسئول: مسعود میرزایی سوزنی

۱- پیش‌نوشتار

باختر در کیلومتر ۴۵ جاده هراز در محور ارتباطی تهران - آمل و سه‌راهی پل زنگوله به سمت خاور در جاده تهران - چالوس است (شکل ۴).

این دره از دید ریخت‌زمین‌ساختی بسیار حائز اهمیت بوده، زیرا گسل معکوس بلده با روند خاوری - باختری که در تمام طول آن گسترش دارد این دره را به یک زون گسلی مهم تبدیل کرده است. از طرفی، چون گروه شمشک در این دره گسترش قابل ملاحظه‌ای دارد و به علت مقاومت پایین سنگ‌شناسی این گروه در مقابل عوامل فرسایشی، این دره دارای ریخت‌شناسی پست و شیب ملایمی است. این عوامل سبب تشدید عملکرد فرسایشی رودخانه‌های مهم این منطقه مانند نوررود و لاریز در امتداد زون گسلی شده و دره بلده را با ابعاد تقریبی 20 کیلومتر در 100 کیلومتر ایجاد کرده است (شکل ۳) (علیزاده صوری و همکاران، ۱۳۹۰).

گروه شمشک به سن نورین - بازوسین زیرین شامل تناوبی از رسوبات سیلتی - رسی، سیلتستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرا همراه با تعداد زیادی عدسی زغال است که به‌طور ناپیوسته و همشیب سازند الیکا و گاه سنگ‌های کهن‌تر پرمین و حتی دونین را می‌پوشاند. این گروه در یک چرخه رسوبی - زمین‌ساختی نهشته شده و توسط دو رویداد مهم سیمیرین آغازین در قاعده و سیمیرین میانی در بالا محصور شده است (Assereto, 1966; Alavi, 1996; Fursich et al., 2005). ماهیت مولاسی این ردیف رسوبی و تغییرات سریع جانبی و عمودی رخساره‌ای، حاکی از رسوب‌گذاری آن در یک حوضه پرتکاپو و فعال زمین‌ساختی است که در یک محیط دریایی کم‌ژرفا تا محیط مردابی - ساحلی رسوب‌گذاری کرده است (Fursich et al., 2005; Fursich et al., 2009a).

پس از برخورد صفحه ایران مرکزی با توران و تشکیل رشته‌کوه‌های سیمیرین

با برخورد ورقه توران - ایران مرکزی در تریاس پایانی و بسته شدن اقیانوس تیس کهن رشته‌کوه سیمیرین در شمال این ورقه شکل گرفت (شکل‌های ۱ و ۲) (Shahidi, 2008; Stampfli & Borel, 2002; Şengör, 1984; Stocklin, 1977). فرسایش این ارتفاعات سبب تشکیل نهشته‌های آواری (گروه شمشک) بر روی نهشته‌های کربناتی فلات قاره‌ای تریاس میانی (سازند الیکا) شد (Assereto, 1966; Alavi, 1996; Seyed-Emami, 2003). ستبرای زیاد گروه شمشک (حدود 4000 متر) و وجود بازالت‌های قلیایی در بخش قاعده‌ای، بیانگر محیط درون‌قاره‌ای حاصل از کشش (کافت) است (Şengör, 1984; Berberian & King, 1981; Shahidi, 2008; Seyed-Emami, 2003). با مطالعات انجام شده توسط Shahidi (2008) بر روی گسل‌های نرمال همزمان با رسوب‌گذاری گروه شمشک (نورین تا بازوسین زیرین) و همچنین شواهد چینه‌شناسی ارائه شده توسط پژوهشگرانی چون Fursich et al. (2005), Shahidi (2008) و Wilmsen et al. (2009) فعالیت کششی در این حوضه را مشخص کرده است. هدف از این پژوهش بررسی دقیق‌تر این فعالیت کششی و ارائه مدلی استنتاجی برای روند پراکنش تنش در زمان تریاس پایانی - ژوراسیک میانی حوضه البرز مرکزی در محدوده دره بلده است.

۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

دره بلده در بین عرض‌های جغرافیایی $36^\circ 09'$ و $36^\circ 15'$ شمالی قرار داشته و همچنین از طول جغرافیایی $51^\circ 18'$ تا $52^\circ 23'$ خاوری گسترش دارد (شکل ۳). راه‌های دسترسی به منطقه، شامل جاده فرعی رویان به بلده، سه‌راهی بلده به سمت

(شکل ۵-الف)، حوضه پیش‌پوم رسوب‌گذاری گروه شمشک در جنوب آن به وجود آمد و به علت فرونشست حرارتی و کشش حاصل از آن (شکل ۵-ب) گسل‌های عادی همزمان با رسوب‌گذاری شکل گرفتند (شکل ۵-ج). میزان نرخ رسوب‌گذاری شدید گروه شمشک و فعالیت گسل‌های عادی به‌ویژه در بخش‌های قاعده‌ای بیانگر آن است که گروه شمشک در شرایط کششی مرتبط با ریف‌ت درون قاره‌ای (Brunet et al., 2007; Shahidi, 2008) در ارتباط با گسترش حوضه خزر جنوبی تشکیل شده است (شکل ۵-د) (Shahidi, 2008؛ نظری و شهیدی، ۱۳۹۰).

۳- روش مطالعه

اندازه‌گیری محلی برای تنش امروزی و تنش دیرینه به طور قابل توجهی در توصیف سازوکارهای محلی و شناخت زمین‌ساخت صفحه‌ای در مقیاس ناحیه‌ای کمک می‌کند. یکی از روش‌های مورد توجه برای اندازه‌گیری تعیین سوی تنش دیرینه، روش‌های ریاضی مبتنی بر وارون‌سازی داده‌های لغزش گسلی است که می‌تواند برای سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها نیز کاربرد داشته باشد. در این پژوهش، داده‌ها بر مبنای مشاهدات میدانی و داده‌های لغزش گسلی است. برای شناخت و بررسی محورهای تنش، تشخیص سوی لغزش بسیار مهم است که با توجه به معیارهایی همچون پله‌های گسلی و نشانه‌های ابراری زمین‌ساختی می‌تواند قابل تشخیص باشد (شکل ۶). افزون بر این اطلاعات، موقعیت و جهت‌گیری صفحات لایه‌بندی در هر ایستگاه نیز برداشت شده است. به منظور تحلیل و طبقه‌بندی داده‌ها همراه با جزییات، محاسبات انجام شده در این پژوهش با روش وارون‌سازی (Angelier, 1994) صورت گرفته است.

روش وارون‌سازی بدین معناست که با داشتن موقعیت خش‌لغزها روی چندین سطح گسلی و دانستن سوی حرکت بلوک‌ها نسبت به یکدیگر می‌توان تنشور تنش میانگین را به دست آورد. فرضیات این روش از این قرار است که (۱) هر لغزش گسلی در جهت و سوی تنش برشی تنشور تنش منفرد صورت می‌گیرد؛ (۲) گسل‌هایی که در طی یک حادثه زمین‌ساختی فعالیت می‌کنند، به طور مستقل از یکدیگر حرکت می‌کنند (Angelier, 1994).

یکی از مشکلات چنین محاسبه‌ای، اختلافی است که میان جهت بیشینه تنش برشی اندازه‌گیری شده (خش‌لغز (s)) و جهت بیشینه تنش برشی محاسبه شده (توسط روابط فیزیکی (τ)) حاصل می‌شود (زاویه α) (شکل ۷). به این اختلاف زاویه‌ای که میان این دو مقدار به دست می‌آید زاویه نابرازش (misfit angle) گفته می‌شود که میزان سازگاری میان جهت بیشینه تنش برشی اندازه‌گیری شده (خش‌لغزها) و جهت بیشینه تنش برشی محاسبه شده را روی هر یک از سطوح گسلی بیان می‌کند. برای به کمینه رساندن این زاویه، روش‌های بسیاری وجود دارد که در روش INVD (New Direct Inversion Method) از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$F_4 = \lambda^2 + [\tau]^2 - 2\lambda \cdot (s, \tau) \quad (\text{رابطه ۱}) \quad (\text{Angelier, 1994})$$

در رابطه یادشده، λ بیشترین مقدار ممکن برای تنش برشی (محاسبه شده از روی تنشور تنش کاهش یافته) است. به عقیده Angelier (1994) مقادیر بیش از ۴۵° برای زاویه α غیر قابل قبول بوده و سطح گسلی مربوطه باید با استناد به نقطه نظر زمین‌شناسی حذف شود.

شکل بیضوی تنش و یا به عبارت دیگر نسبت R که در نرم‌افزار آتزو لیه Φ نامیده می‌شود به علت ارائه بهترین وضعیت تنش سه‌بعدی، نقش مهمی در سازوکار گسل‌ها دارد. نسبت R میان دو مقدار صفر و یک نوسان می‌کند و به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$R = \Phi = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3), \quad (0 < R < 1) \quad (\text{رابطه ۲}) \quad (\text{Angelier, 1994})$$

با توجه به رابطه بالا، می‌توان سه حالت مهم و ساده برای بیضوی تنش تعریف کرد:

$$R = 0: \text{مقدار محورهای اصلی } \sigma_2 \text{ و } \sigma_3 \text{ با هم برابرند.}$$

$$R = 0.5: \text{به ترتیب محورهای اصلی } \sigma_1 \text{ بزرگ‌تر از } \sigma_2 \text{ و } \sigma_3 \text{ است و یا رابطه } \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2 \text{ برقرار است.}$$

$$R = 1: \text{مقدار محورهای اصلی } \sigma_1 \text{ و } \sigma_2 \text{ با هم برابرند.}$$

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Tector v1994 و TectonicsFP v1/75 و برای رسم نمودارهای گل‌سرخ از نرم‌افزارهای Oriana v4 و TectonicsFP v1/75 بهره گرفته شده است. در استریوپلات‌های مربوط به هر ایستگاه از نیمکره پایینی شبکه اشمیت استفاده شده است و موقعیت‌های σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب با ستاره‌های پنج‌پر (قرمز)، چهارپر (سبز) و سه‌پر (آبی) مشخص شده‌اند؛ همچنین لایه‌بندی با خط‌چین و گسل‌ها با خطوط ممتد به همراه نقاط توپر که بیانگر خش‌لغزهای آن می‌باشند، نشان داده شده‌اند.

۴- مطالعه تنشور تنش دیرینه

تشکیل محیط رسوبی گروه شمشک تحت کنترل شدید زمین‌ساخت کششی حاصل از گسل‌های نرمال همزمان با رسوب‌گذاری است (Shahidi, 2008). از این رو برای بررسی تنش دیرینه، از تحلیل سیستم گسل‌های عادی و امتدادلغز همزمان با رسوب‌گذاری به همراه خش‌لغزهای آنها (شکل ۶) استفاده شده است. بدین منظور تقریباً ۵۰۰ سطح گسل در محدوده دره بلده برداشت شد و پس از حذف گسل‌های دارای زاویه نابرازش بیش از ۴۵°، بالغ بر ۴۷۰ سطح گسل (جدول ۱) در قالب ۴۱ ایستگاه (جدول ۱) مورد تحلیل قرار گرفت. از آنجایی که به علت فشارهای وارده به منطقه و خارج شدن لایه‌ها از موقعیت اولیه خود، ممکن است عملکردی که امروزه گسل‌ها نشان می‌دهند نسبت به زمان شکل‌گیری آنها متفاوت باشد؛ برای به دست آوردن ماهیت اولیه این ساختارها ابتدا باید لایه‌ها را افقی کرد، سپس سامانه گسل‌ها را پس از چرخش مورد تحلیل قرار داد. همانطور که در شکل ۸ دیده می‌شود روند کلی لایه‌ها خاوری-باختری بوده و شبیه بین ۲۰ تا ۶۰ درجه دارند.

از ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه، ۳۵ ایستگاه سیستم گسلش عادی و ۶ عدد از آنها سیستم گسلش امتدادلغز همزمان با رسوب‌گذاری را نشان می‌دهند (شکل ۱۷). برای تعیین بازه فعالیت گسل‌ها، از اصول قطع‌شدگی لایه‌ها و معیارهای مهم چینه‌شناسی همچون تغییر ستبرای لایه‌ها در طرفین گسل کمک گرفته شده که می‌توان از آنها به عنوان اصلی برای پی‌بردن به رسوب‌گذاری همزمان با فعالیت گسل‌ها استفاده کرد (شکل ۹).

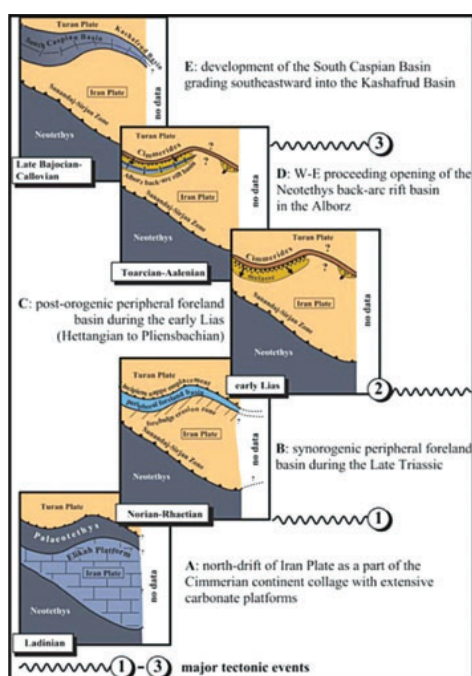
۴-۱. سیستم گسل‌های عادی همزمان با رسوب‌گذاری

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، سیستم گسلش عادی، کنترل‌کننده رسوب‌گذاری در دوره تریاس پایانی-ژوراسیک میانی در شمال ایران بوده است. تحلیل‌هایی که بر روی تمامی ایستگاه‌های برداشت شده در این پژوهش صورت گرفته است سه روند کلی را برای جهت‌گیری σ_3 نشان می‌دهند که در سه راستای ۰۲۰°، ۰۷۰° و ۲۹۰° درجه هستند (شکل ۱۰). ایستگاه‌هایی که کشش را در راستای ۰۲۰° (NNE) و یا ۰۷۰° (NE) بیان می‌کنند (جدول ۱) عملکرد عادی همزمان با رسوب‌گذاری دارند و می‌توان چنین نتیجه گرفت که در زمان تشکیل گروه شمشک، حوضه رسوب‌گذاری تحت تأثیر نیروهای کششی بوده که این امر به واسطه فرونشست زمین‌ساختی موجب افزایش ستبرای رسوبات این گروه چینه‌شناسی شده است.

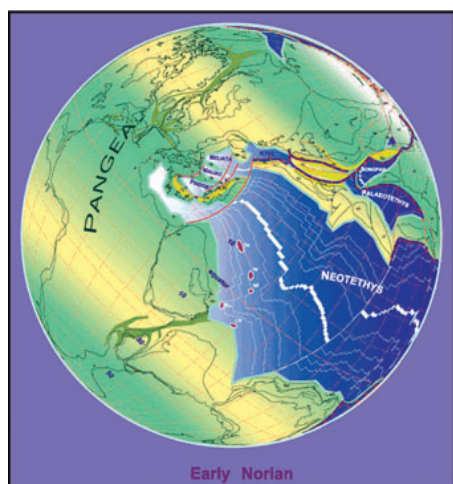
یکی از راستاهای جهت‌گیری σ_3 برای سیستم‌های گسلی عادی در جهت ۲۹۰° بوده که شامل ایستگاه‌های ۴/۳، ۱۱، ۱۳، ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۲۵، ۲۷ و ۳۳ است (جدول ۱، شکل ۱۰-ج). هنگامی که نسبت Φ به صفر نزدیک (کمتر از ۰/۴) می‌شود احتمال جابه‌جایی بین محورهای σ_2 و σ_3 بالا می‌رود (Stress permutation)، و حوضه‌هایی با ساختار کششی دوجتهی شکل می‌گیرند (Angelier, 1994؛ Hu & Angelier, 2004) (شکل ۱۱-الف). با توجه به نزدیک بودن نسبت فی به صفر در حدود ۸۰٪ از این سیستم‌های گسلی، این نکته حاصل می‌شود که در این ایستگاه‌ها حوضه‌هایی با کشش دوجتهی شکل گرفته‌اند؛ در نتیجه این جهت برای

زمین‌ساختی در حوضه رسوب‌گذاری شمشک شدید بوده است (Shahidi, 2008)، که این امر منجر به تفکیک این دو راستا به صورت مجزا از هم شده است.

کشتی فرعی که در راستای WNW-ESE (278° – 307°)، دیده می‌شود؛ در واقع چرخش 90° درجه‌ای همان راستای کشت اصلی شمالی-جنوبی است؛ که به دلیل نزدیک بودن نسبت Φ به صفر (کمتر از 0.4) احتمال جابه‌جایی بین محورهای σ_2 و σ_3 بالا رفته (Hu & Angelier, 2004; Angelier, 1994)، و حوضه‌هایی با ساختار کشتی دوجبه‌ای شکل می‌گیرند. حدود 80% از ایستگاه‌هایی که کشت WNW-ESE را نشان می‌دهند، نسبت پایینی دارند؛ که این امر سبب جابه‌جایی محور σ_3 آنها با σ_2 راستای اصلی کشت شده است. بنابراین در نواحی ایستگاه‌های یادشده و همچنین ایستگاه‌هایی با سیستم امتدادلغز که جهت σ_3 در آنها با این راستای کشت همراه است؛ انیزوتروپی در سنگ‌های پوسته‌ای حوضه تشکیل، بالا بوده است.



شکل ۱- تکامل جغرافیای دیرینه ورقه ایران طی تریاس میانی- ژوراسیک به همراه رخداد‌های ژئودینامیکی آن (برگرفته از Fursich et al., 2005).



شکل ۲- نقشه جغرافیای دیرینه ابرقاره پانگه‌آ (برگرفته از Stampfli & Borel, 2002).

σ_3 ، همان راستای کشت اصلی شمالی-جنوبی است که 90° درجه چرخش داشته است.

۴-۲. سیستم گسل‌های امتدادلغز همزمان با رسوب‌گذاری

در شش ایستگاه شامل گسل‌های امتدادلغز راستای کشت فرعی 290° را نشان می‌دهند (شکل ۱۲). هنگامی که گسلش امتدادلغز همزمان با کج‌شدگی لایه‌ها اتفاق می‌افتد خشلغزها بر روی ستبرای لایه دیده ثبت می‌شود (شکل ۱۳). با توجه به بالا بودن نسبت فی در این ایستگاه‌ها که سبب بیشتر شدن احتمال جابه‌جایی بین محورهای تنش σ_1 و σ_2 می‌شود (Hu & Angelier, 2004; Angelier, 1994)، نتیجه گرفته می‌شود که در این مناطق، حوضه‌های برشی-کشتی بیشتری حکمفرما بوده است (شکل ۱۱-ب).

یکی از عوامل جابه‌جایی میان محورهای اصلی تنش، انیزوتروپی سنگ کره در آن ناحیه است (Hu & Angelier, 2004). در نتیجه می‌توان اینگونه بیان کرد که در نواحی ایستگاه‌های یادشده و همچنین ایستگاه‌هایی با سیستم امتدادلغز که جهت σ_3 در آنها با این راستای کشت همراه است؛ انیزوتروپی در سنگ‌های پوسته‌ای حوضه تشکیل بالا بوده است.

۵- سن‌بایی رخداد‌های کشتی

ستون چینه‌شناسی گروه شمشک در دره بلده به طور دقیق مطالعه نشده است از این رو می‌توان با استفاده از مدل‌های استنتاجی، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه (وحدتی‌دانشمند، ۱۳۸۳) و همچنین شباهت مقاطع چینه‌شناسی آن با بخش‌هایی از این گروه در طرزه و شه‌میرزاد (Fursich et al., 2009a; Fursich et al., 2009b; Wilmsen et al., 2009)، رخداد‌های کشتی را به طور نسبی تعیین سن کرد.

در بخش‌های باختری دره نهشته‌های شمشک بر روی سازند الیکا قرار دارد و نمی‌توان حد بالایی گروه را در محدوده دره پیدا کرد؛ در صورتی که در بخش‌های خاوری آن نهشته‌های ژوراسیک میانی-پایانی بر روی آن قرار گرفته‌اند؛ همچنین در ایستگاه‌های باختری مانند ایستگاه ۲۱، ۲۹ و ۱۸ رسوبات شمشک شباهت بسیاری به سازند شه‌میرزاد و آلاشت به سن نورین-پلینسباخین دارند (شکل ۱۴). همانطور که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود در بخش‌های باختری بیشتر شاهد کشت شمالی-جنوبی بوده و در بخش‌های خاوری، کشت شمال خاوری-جنوب باختری غالب است. بنابراین با استفاده از شواهد چینه‌شناسی می‌توان نتیجه گرفت که در ابتدای رسوب‌گذاری نهشته‌های شمشک، کشت شمالی-جنوبی غالب بوده و رفته رفته به کشت شمال خاوری-جنوب باختری تبدیل شده است (شکل ۱۶).

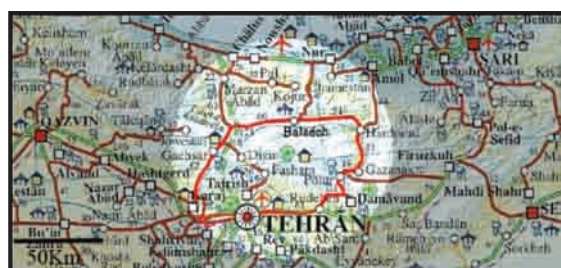
۶- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات انجام شده بر روی گسل‌های نرمال همزمان با رسوب‌گذاری شمشک (شکل ۱۷ و جدول ۱) سه راستای کشت را در جهات 020° ، 070° و 290° درجه را به وضوح نشان می‌دهند. در شکل ۱۸ سیر حرکت صفحه اوراسیا (حاشیه فعال جنوبی) در بازه زمانی تریاس تا ژوراسیک (Barrier & Vrielynck, 2009) دیده می‌شود. در نقشه‌های زمین‌ساخت دیرینه، لبه جنوبی به سمت جنوب حرکت کرده (از حدود مدار 30° درجه به 15° درجه) و راستای آن در حدود 40° – 50° درجه در جهت عقربه‌های ساعت گردش می‌کند. طبق مدل ارائه شده در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ حرکت دو صفحه اوراسیا و گندوانا طی تریاس بالایی و ژوراسیک دیده می‌شود.

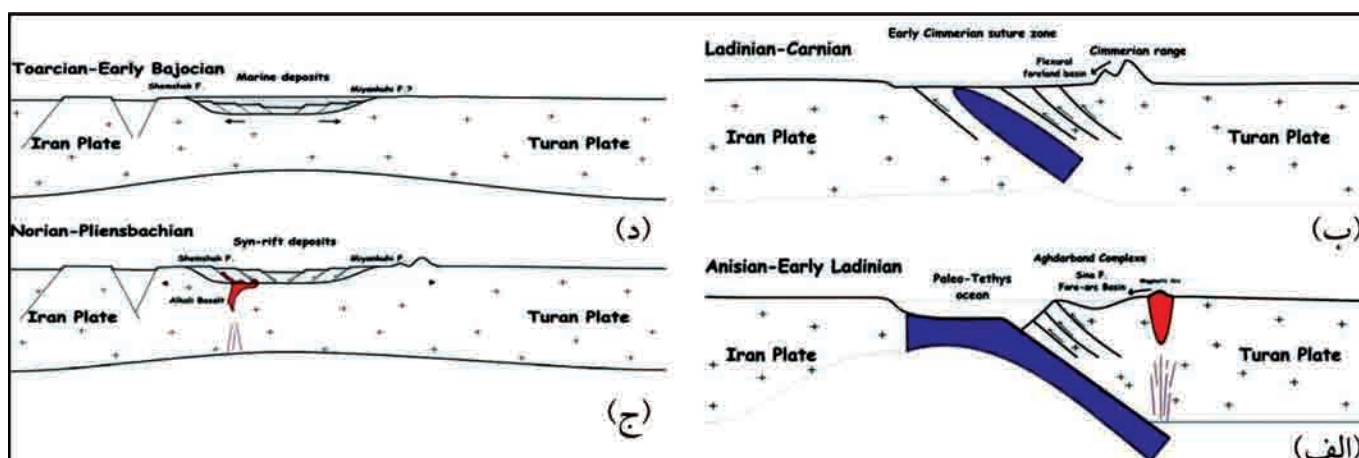
در دره بلده دو جهت کشت اصلی در راستاهای NNE-SSW و NE-SW، دیده می‌شود (شکل ۱۰). بنابر شواهد چینه‌شناسی، می‌توان اینطور نتیجه گرفت که در ابتدای رسوب‌گذاری گروه شمشک کشت شمالی-جنوبی غالب بوده و پس از گردش صفحه اوراسیا کشت شمال خاوری-جنوب باختری حاکم شده است. همچنین در بازه زمانی نورین-رتین و توآرسین-آلنین رسوب‌گذاری و فرونشست



شکل ۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های برداشت میدانی (بر گرفته از Google Earth v6.01).



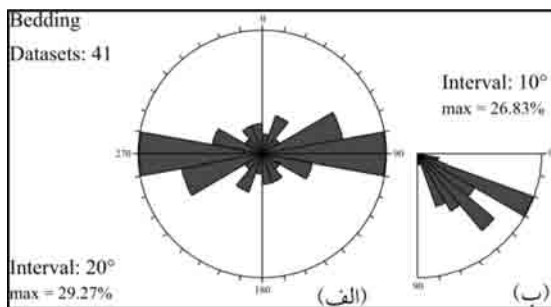
شکل ۴- موقعیت راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.



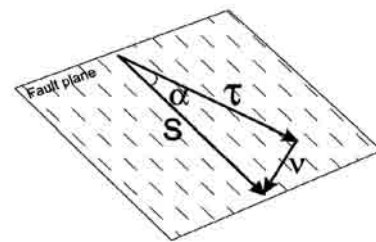
شکل ۵- مدل ژئودینامیکی شمال ایران. الف) فروانش اقیانوس تتیس کهن به زیر ورقه توران در آیزین تا لادینین آغازین؛ ب) برخورد ورقه‌های ایران و توران و بسته شدن کامل اقیانوس تتیس کهن در لادینین-کارنین؛ ج) فرونشست حرارتی و تشکیل گسل‌های عادی همزمان با رسوب‌گذاری و شروع نهشته شدن گروه شمشک در نورین در حاشیه شمالی گندوانا؛ د) افزایش کشش و فعالیت گسل‌های عادی و نهشته شدن بخش‌های دریایی گروه شمشک تا زمان بازوسین آغازین (بر گرفته از Shahidi, 2008).

شکل ۶- نمونه‌هایی از سطوح گسلی دیده شده در ایستگاه‌های الف) ۳۸ و ب) ۲۳، به جهت حرکت بلوک فرسایش یافته که به سمت چپ تصویر در شکل الف و به سمت پایین و چپ تصویر در شکل ب است، توجه کنید.

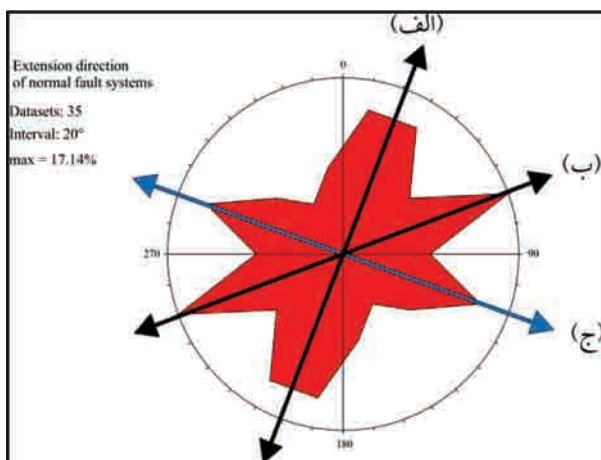




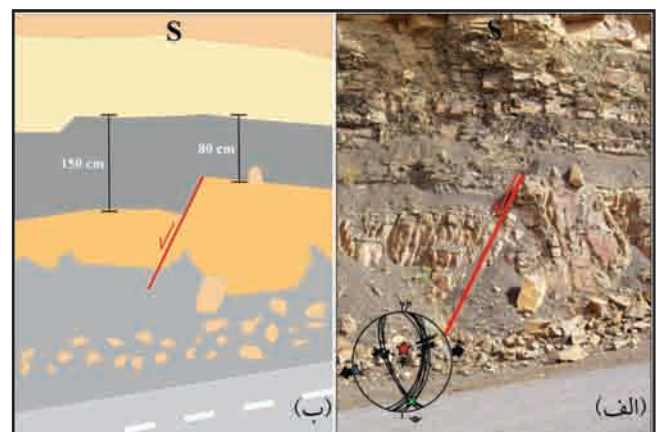
شکل ۸- نمودار گل سرخی موقعیت لایه‌ها. (الف) نمودار امتدادی با بازه‌های ۲۰° و (ب) نمودار شبیهی با بازه‌های ۱۰°.



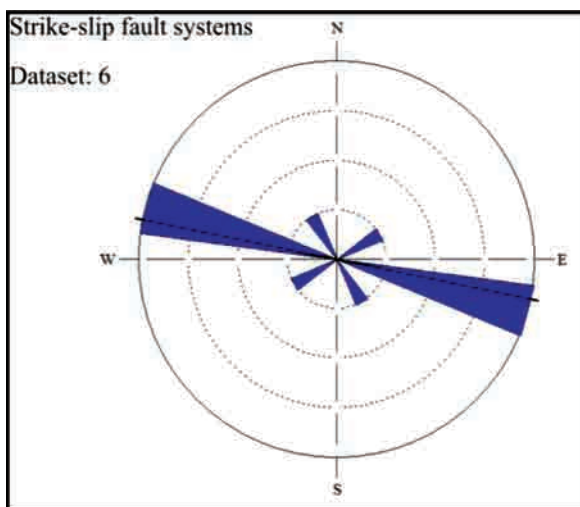
شکل ۷- سطح گسل، لغزش واقعی (S)، بیشینه تنش برشی محاسبه شده (τ)، (برگرفته از Angelier, 1990).



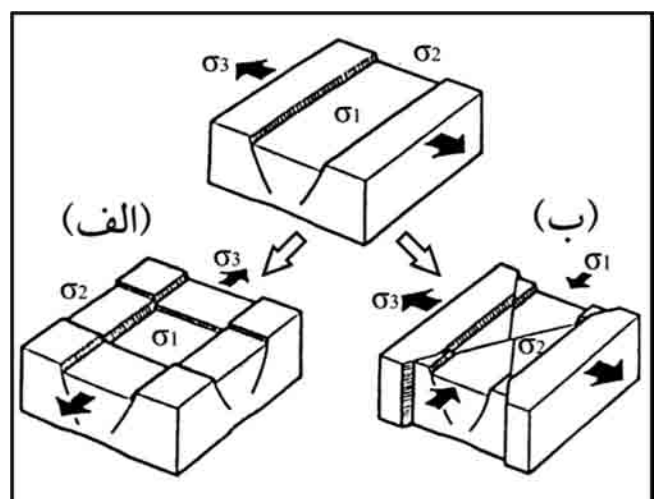
شکل ۱۰- نمودار گل سرخی جهت گیری σ_3 برای سیستم‌های گسلی عادی با بازه‌های ۲۰°، (الف و ب) جهات اصلی کشش در راستاهای ۰۲۰ و ۰۷۰ درجه؛ (ج) جهت فرعی کشش در راستای ۲۹۰ درجه.



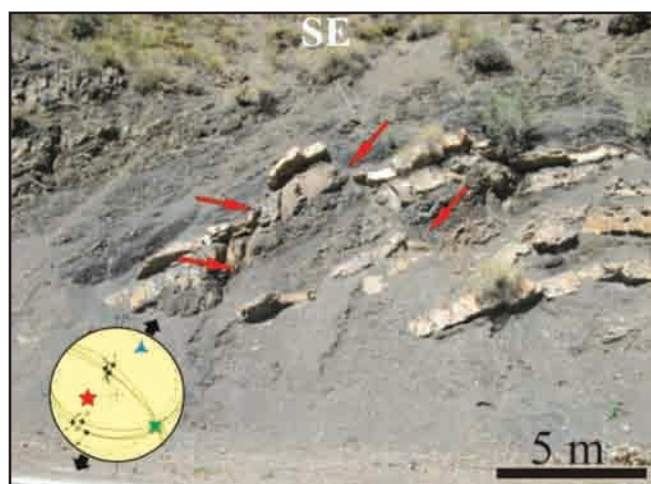
شکل ۹- (الف) نمایی از گسلش عادی همزمان با رسوب گذاری مشاهده شده در ایستگاه ۲۹ و (ب) طرح نمادین از همین ایستگاه. به افزایش ستبرای لایه شیلی در فرادیواره گسل توجه کنید.



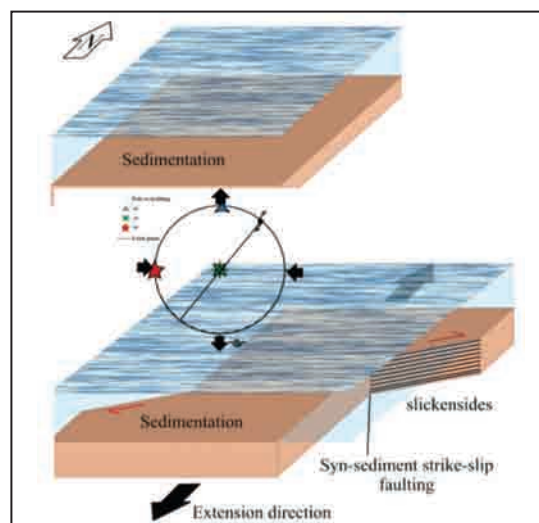
شکل ۱۲- نمودار گل سرخی راستای σ_3 در سیستم‌های گسلی امتدادلغز همزمان با رسوب گذاری.



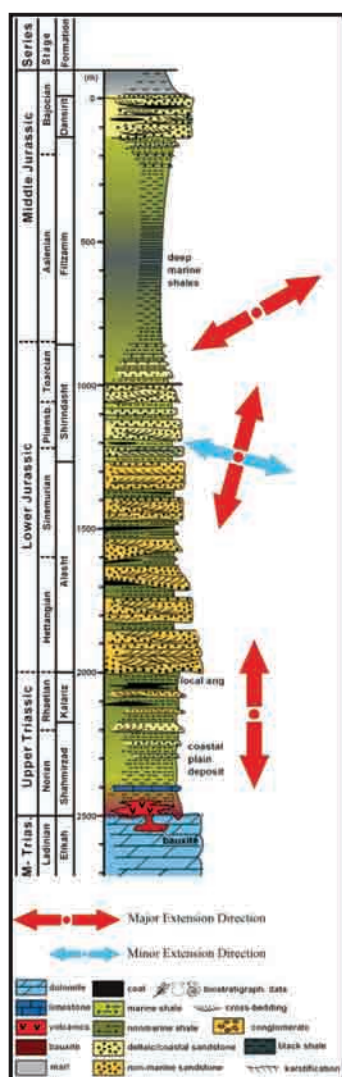
شکل ۱۱- جابه‌جایی بین محوره‌های تنش در رژیم کششی. (الف) جابه‌جایی بین (کشش دوجبهتی)؛ (ب) جابه‌جایی بین (تشکیل حوضه‌های کششی- برشی)، برگرفته از Angelier (1994).



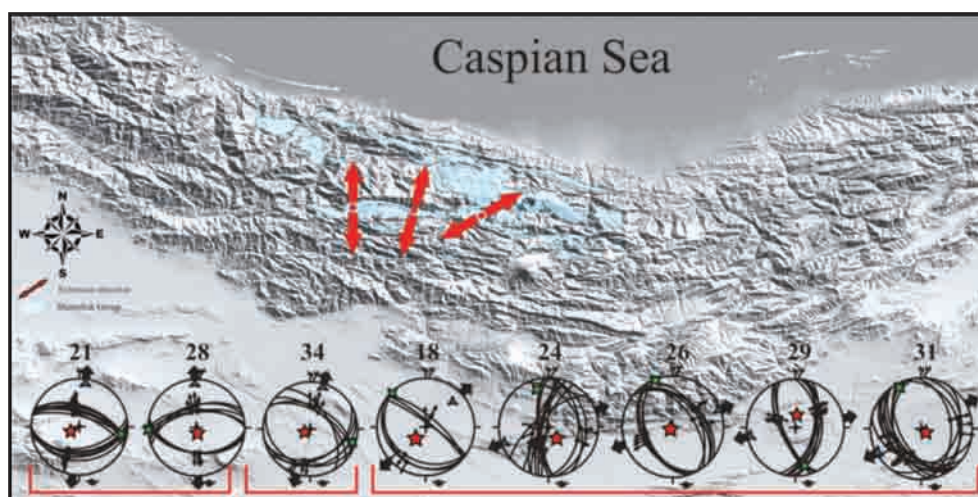
شکل ۱۴- ساختار فرازمین و فروزمین ایجاد شده توسط گسل‌های عادی همزمان با رسوب‌گذاری و تسور تنش آنها در ایستگاه ۱۸ (σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب با ستاره‌های پنج، چهار و سه پر مشخص شده‌اند).



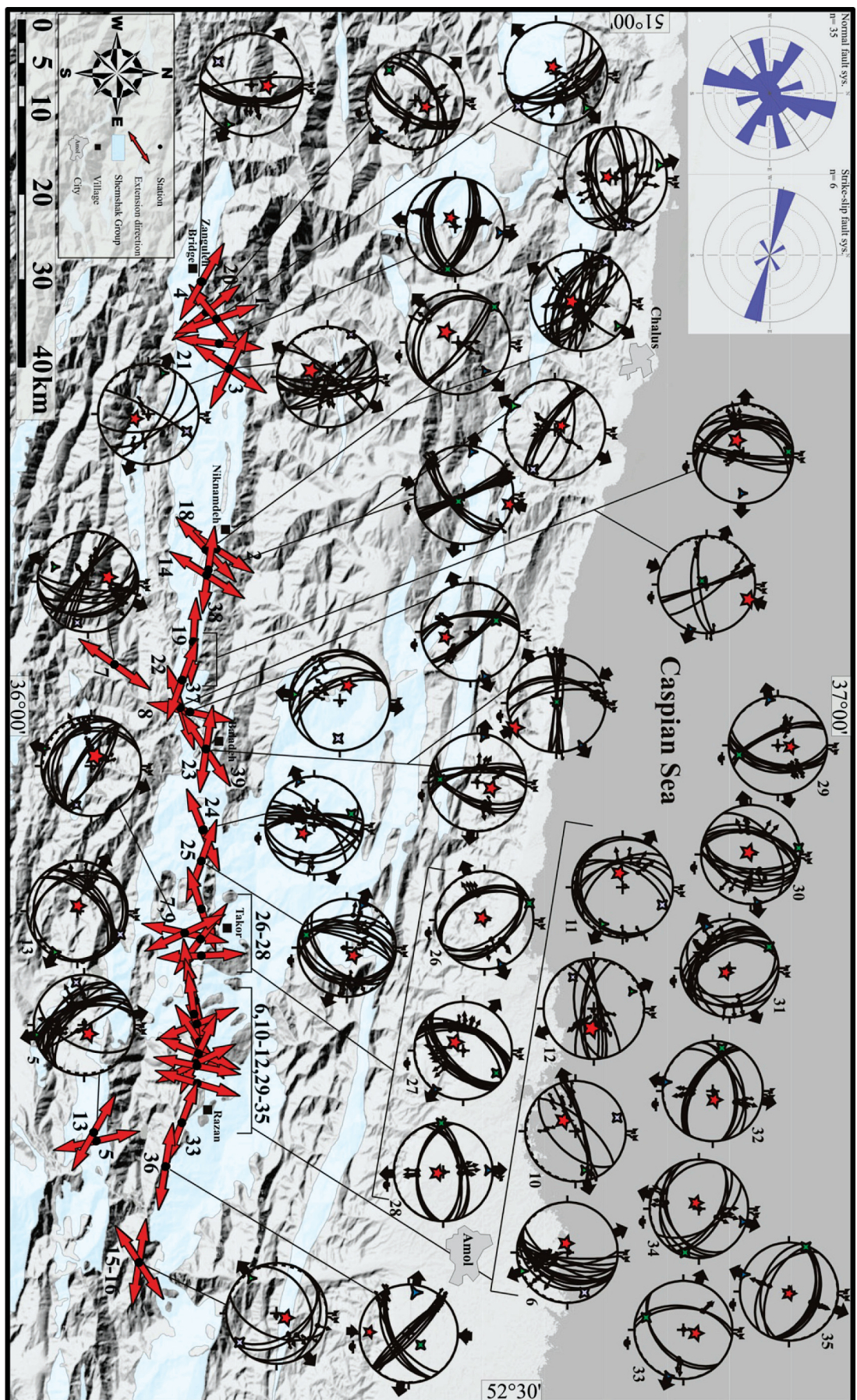
شکل ۱۳- الف) نهشته‌شدن رسوبات و ب) تنش کششی و گسلش امتدادلغز، همانطوری که مشاهده می‌کنید هنگامی که گسلش امتدادلغز همزمان با کج شدگی در لایه‌ها اتفاق می‌افتد خش‌لغزها بر روی سترای لایه دیده می‌شود.



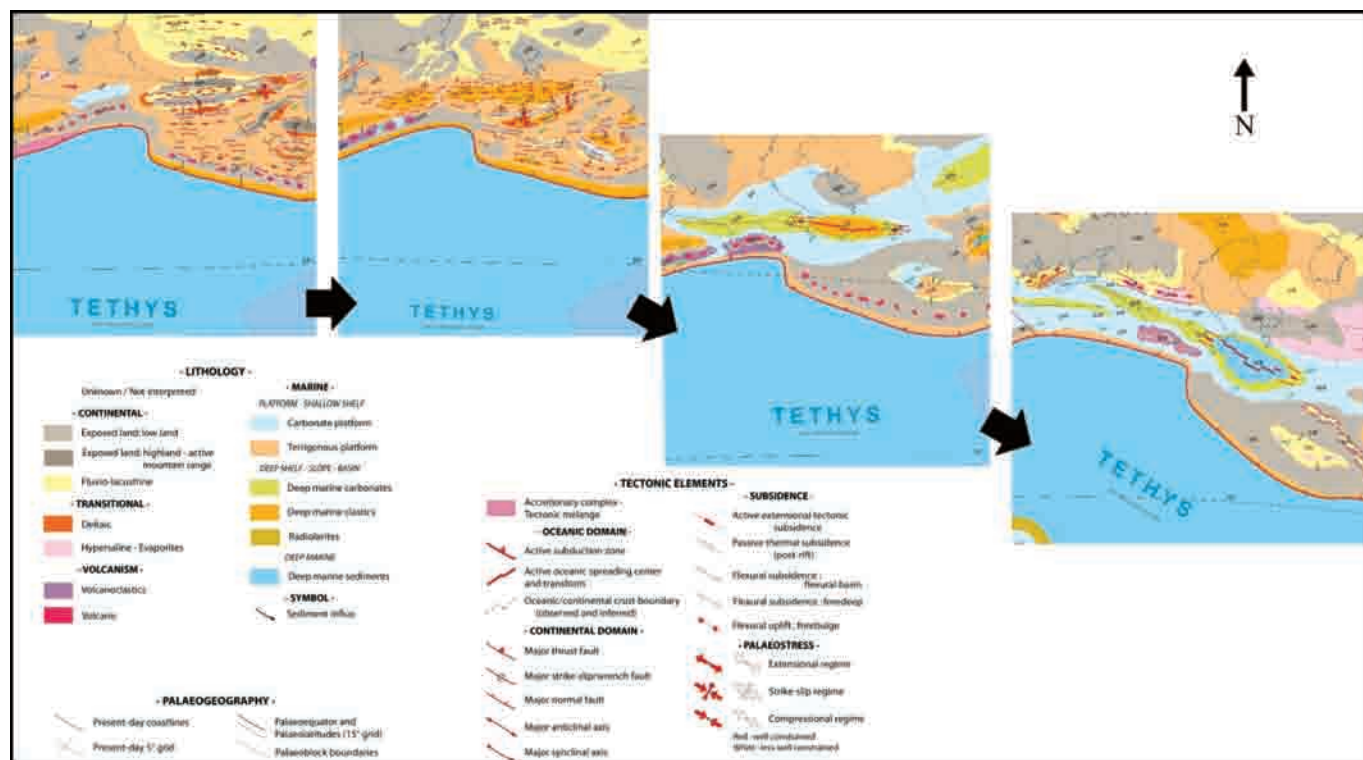
شکل ۱۶- ستون نکتونواستراتیگرافی گروه شمشک در محدوده دره بلده (ستون چینه‌شناسی برگرفته شده از Wilmsen et al., 2009).



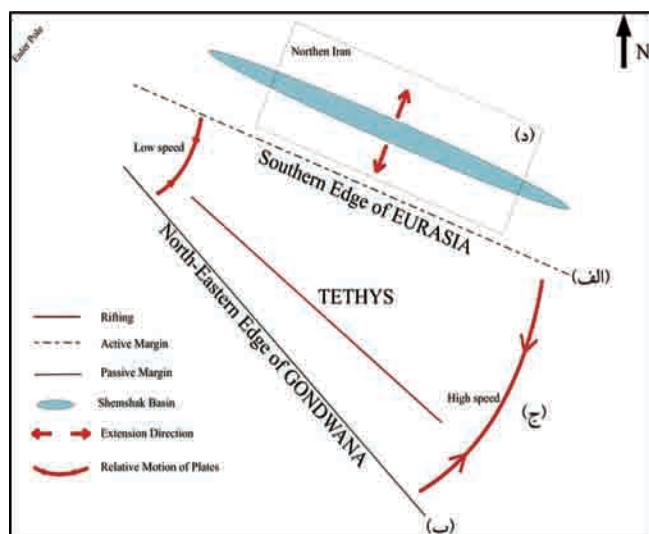
شکل ۱۵- پراکنش راستای کشش در منطقه مورد مطالعه.



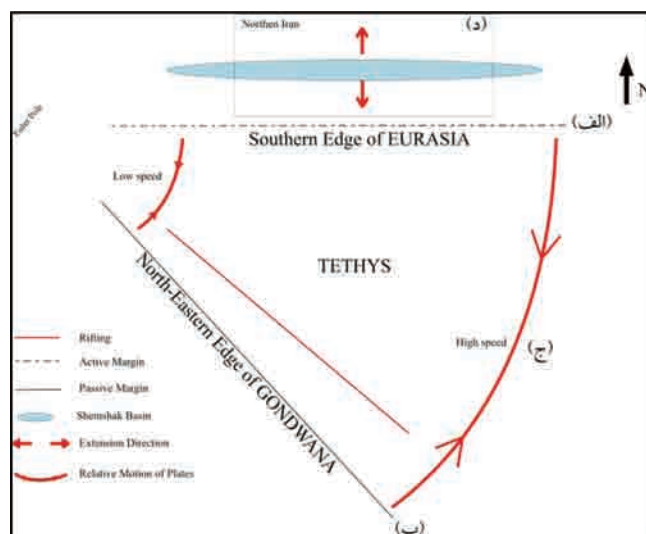
شکل ۱۷- موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی به همراه تنش محاسبه شده آنها (ایکان‌های توپر: راستای کشش در هر ایستگاه، خط چین: لایندگی، خطوط مماس: گسل. استریو پلات‌ها در نیکمره پاشی شبکه اسمیت و موقعیت‌های σ_1 ، σ_2 و σ_3 به ترتیب با ستاره‌های پنج، چهار و سه‌بر منبسط شده‌اند.



شکل ۱۸- نقشه‌های پالئوتکتونیک در بازه زمانی تریاس بالایی- ژوراسیک (نقشه اولیه برگرفته از Barrier & Vrielynck, 2009). طی تشکیل حوضه خزر جنوبی و قفقاز، لبه جنوبی اوراسیا به سمت جنوب حرکت کرده و در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد (نقشه‌ها نسبت به شمال امروزی توجیه شده‌اند).



شکل ۲۰- مدل قرارگیری صفحات گندوانا و اوراسیا در ژوراسیک میانی- بالایی. الف) لبه جنوبی اوراسیا (فعال)؛ ب) لبه شمال- خاوری گندوانا (غیرفعال)؛ ج) حرکت نسبی دو صفحه؛ د) شمال ایران.



شکل ۱۹- مدل قرارگیری صفحات گندوانا و اوراسیا در نورین. الف) لبه جنوبی اوراسیا (فعال)؛ ب) لبه شمال- خاوری گندوانا (غیرفعال)؛ ج) حرکت نسبی دو صفحه و د) شمال ایران.

جدول ۱- ویژگی‌های ایستگاه‌های برداشت و تفسیر تنش آنها با استفاده از روش وارون‌سازی داده‌های خش‌لغز گسل (INVD)، σ_1 ، σ_2 و σ_3 : محورهای اصلی تفسیر تنش، TS: نوع سیستم گسلی، N: تعداد گسل‌ها، Φ : نسبت فی، α : زاویه نابرازش، کیفیت نتایج (A: خوب، B: متوسط، C: ضعیف).

Site No.	Coordinates		Bedding				σ_1		σ_2		σ_3				
	Long. E	Lat. N	Dip Dir.	Dip	TS	N	Dir.	Plung	Dir.	Plung	Dir.	Plung	Φ	α	Q
1.1	51.22.17	36.12.58	82	19	N	10	245	78	139	3	49	12	0.44	13	B
1.2	51.22.18	36.12.59	82	20	N	13	190	77	74	6	343	11	0.47	8	A
2	51.36.36	36.12.58	228	36	N	20	188	76	303	6	34	13	0.26	21	B
3.1	51.25.25	36.13.47	181	42	N	12	200	75	305	3	33	25	0.25	27	A
3.2	51.25.26	36.13.48	181	43	N	4	167	73	27	13	295	11	0.25	27	B
4	51.19.57	36.12.00	158	20	N	9	4	65	215	22	120	12	0.34	8	B
5	52.13.31	36.05.27	5	66	N	16	60	81	255	10	165	5	0.17	16	B
6	52.06.13	36.11.46	50	44	N	13	261	75	67	15	158	4	0.41	24	C
7	51.43.48	36.06.37	152	43	N	13	338	68	122	18	216	12	0.46	7	A
8	51.46.45	36.11.20	156	48	N	8	299	62	92	25	188	11	0.38	35	C
9	52.00.32	36.11.00	115	29	N	10	275	71	117	12	190	6	0.46	19	B
10	52.04.47	36.11.34	69	51	N	7	222	64	342	14	78	22	0.26	34	C
11	52.07.58	36.11.52	63	81	N	9	270	62	19	10	114	26	0.29	18	B
12	52.08.40	36.11.40	200	45	N	14	97	57	236	26	335	19	0.11	12	A
13	52.12.58	36.05.19	19	71	N	11	275	81	28	4	119	8	0.38	6	B
14	51.38.13	36.12.21	152	43	N	15	328	77	119	11	210	6	0.55	11	A
15	52.21.06	36.08.06	185	64	N	26	23	73	144	9	236	15	0.35	12	B
16	52.21.06	36.08.06	185	64	SS	17	8	1	272	78	98	12	0.73	21	B
17	52.00.32	36.11.00	115	29	SS	7	239	23	93	63	335	14	0.56	7	A
18	51.36.38	36.12.18	145	25	N	6	221	65	316	2	47	25	0.41	11	A
19	51.42.25	36.11.32	161	27	N	14	244	66	358	10	92	22	0.25	27	A
20	51.21.51	36.12.19	49	27	N	10	31	69	229	20	137	6	0.12	23	A
21	51.23.48	36.13.09	258	50	N	15	243	73	100	13	8	10	0.54	5	A
22	51.46.32	36.10.43	170	60	N	9	168	47	337	42	72	6	0.49	25	A
23	51.49.06	36.12.17	162	35	N	11	22	65	185	24	278	7	0.27	25	A
24	51.54.05	36.12.09	10	18	N	13	144	67	343	22	250	7	0.38	23	A
25	51.56.03	36.12.01	176	20	N	15	51	73	198	14	290	9	0.47	18	A
26	51.59.02	36.12.01	164	27	N	9	222	85	340	3	70	5	0.05	17	A
27	52.00.55	36.11.58	25	23	N	14	226	71	34	19	125	4	0.07	28	A
28	52.01.58	36.12.01	100	41	N	8	169	80	268	2	358	10	0.55	11	A
29	52.04.10	36.11.30	170	35	N	11	7	69	167	20	259	7	0.7	14	A
30	52.05.36	36.11.35	185	35	N	15	226	85	352	3	83	4	0.16	23	A
31	52.07.19	36.11.54	170	33	N	14	132	80	332	9	241	3	0.55	28	A
32	52.08.49	36.11.45	110	60	N	9	80	75	282	13	191	5	0.32	19	A
33	52.12.21	36.10.50	190	25	N	4	15	69	198	21	108	1	0.51	9	A
34	52.09.54	36.11.47	280	50	N	8	242	79	107	8	16	8	0.5	18	A
35	52.08.04	36.11.52	114	50	N	9	88	87	291	3	201	1	0.73	11	A
36	52.15.05	36.09.50	189	50	SS	12	187	6	76	73	279	15	0.71	19	A
37	51.44.48	36.10.49	188	58	SS	6	20	9	218	80	110	3	0.85	20	A
38	51.37.55	36.12.28	168	40	SS	14	12	7	130	76	280	12	0.84	14	A
39	51.49.06	36.12.19	149	30	SS	11	150	2	297	88	60	1	0.22	28	A

کتابنگاری

علیزاده‌صوری، ف.، شهیدی، ع.، رضایی‌اومالی، ر.، طاهری، ع. و میرزایی سوزنی، م.، ۱۳۹۱- تحلیل تنش دیرینه در گروه شمشک، نورین تا باژوسین زیرین دره بلده (البرز مرکزی)، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز، شهریور ۱۳۹۱.

نظری، ح. و شهیدی، ع.، ۱۳۹۰- زمین‌ساخت ایران (البرز)، چاپ اول، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۴۳ ص.

وحدتی‌دانشمند، ف.، ۱۳۸۳- نقشه زمین‌شناسی آمل، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

References

- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic Synthesis and Structural Style of The Alborz Mountain System in Northern Iran. *Journal of Geodynamics*, 21(1), pp.1-33.
- Angelier, J., 1990- Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress—III. A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophysical Journal International*, 103(2), pp.363-76.
- Angelier, J., 1994- Fault Slip Analysis and Palaeostress Reconstruction. In P.L. Hancock, ed. *Continental Deformation*. Oxford: Pergamon Press. Ch. 4. p.421.
- Assereto, R., 1966-The Jurassic Shemshak Formation in central Elburz (Iran). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 72, p.1133–1182.
- Barrier, E. & Vrielynck, B., 2009- Paleotectonic Maps of The Middle-East. Middle-East Basins Evolution Program (MEBE).
- Berberian, M. & King, G., 1981- Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, pp.210-65.
- Brunet, M. F., Shahidi, A., Barrier, E., Muller, C. & Saïdi, A., 2007- Subsidence evolution of Alborz and Kopet-Dagh (northern Iran): Inferences on the south Caspian basin opening. *International Symposium on Middle East Basins Evolution*. December 4-5, 2007. Paris-France, C16.
- Fursich, F. T., Wilmsen, M., Seyed- Emami, K. & Majidifard, M. R., 2009a- Lithostratigraphy of the Upper Triassic-Middle Jurassic Shemshak Group of Northern Iran. *Geological Society of London, Special Publications*, 312, pp.129-60.
- Fürsich, F. T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Cecca, F. & Majidifard, M. R., 2005- The upper Shemshak Formation (Toarcian–Aalenian) of the eastern Alborz (Iran): Biota and palaeoenvironments during a transgressive–regressive cycle. *Facies*, 51, pp.365-84.
- Fursich, F. T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K. & Majidifard, M. R., 2009b- The Mid-Cimmerian tectonic event (Bajocian) in the Alborz Mountains, Northern Iran: evidence of the break-up unconformity of the South Caspian Basin. *Geological Society of London, Special Publications*, 312, pp.189-203.
- Hu, J. C. & Angelier, J., 2004- Stress permutations: Three-dimensional distinct element analysis accounts for a common phenomenon in brittle tectonics. *Journal of geophysical research*, pp.B09403, doi:10.1029/2003JB002616.
- Şengör, A. M. C., 1984- The Cimmeride orogenic system and tectonics of Eurasia. *Geological Society of America*.
- Seyed-Emami, K., 2003- Triassic in Iran. *Facies*, 48, p.91–106.
- Shahidi, A., 2008- Evolution Tectonique du Nord de l'Iran (Alborz et Kopet-Dagh). Paris: Université Pierre et Marie Curie.
- Stampfli, G. M. & Borel, G. D., 2002- A Plate Tectonic Model For The Paleozoic and Mesozoic Constrained by Dynamic Plate Boundaries and Restored Synthetic Oceanic Isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196, pp.17-33.
- Stocklin, J., 1977- Structural Correlation of The Alpine Ranges Between Iran and Central Asia. *Geological Society of France*, 8, pp.333-53.
- Wilmsen, M., Fursich, F. T., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. R. & Taheri, J., 2009- The Cimmerian Orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland. *Terra Nova*, 21(3), pp.211-18.

Extension Analysis in Shemshak Sedimentary Basin (Balladeh Valley, Central Alborz)

M. Mirzaei Souzani ^{1*}, A. Shahidi ², R. Ramazani ³ & F. Alizadeh Sevari ⁴

¹B. Sc., Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³Assitant Professor, Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁴M.Sc., Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2013 April 22

Accepted: 2013 November 09

Abstract

In order to survey the extensional forces dominated in central Alborz since Late Triassic (Norian) to Middle Jurassic (Early-Bajocian), synsedimentary normal and strike-slip fault systems in Balladeh valley which contains significant distribution of Shemshak Group have been studied. Analysis of σ orientation for 404 fault planes in 35 normal fault systems, show two major extension directions at NNE (020°) and NE (070°) trends during sedimentation of Shemshak Group. Also, the presence of a minor extension direction trending WNW (300°) which is coincident with extension direction of synsedimentary strike-slip fault systems implies the existence of transtentional basins in the Shemshak basin at that time. The southward movement of southern edge of Eurasia (from latitude of 30° to 15°) and its clockwise rotation for some 40°-50° during Triassic-Jurassic periods led to domination of N-S extension in early times of Shemshak Group sedimentation, and as soon as the Eurasian plate rotated, the extension direction was changed into a NE-SW trend. These separated records of paleostress axis trends are also due to the high sedimentation rates and subsidence in Norian-Rhaetian and Toarcian-Aalenian during Shemshak Group sedimentation. The minor extension trending WNW-ESE (278°-307°) is due to σ_2/σ_3 permutation between N-S σ_3 direction of stress tensor and its σ_2 axis. Low values of Φ (less than 0.4) generally correspond to situation characterized by σ_2/σ_3 permutation; therefor it causes multidirectional extension in extensional stress regimes. About 80 percent of sites which show WNW-ESE paleostress extension trend have low Φ values. This issue explains σ_2/σ_3 permutation of N-S major extension trend. The areas of mentioned stations and also those ones with strike-slip fault systems σ_3 directions of which are directed WNW-ESE had high basin crustal anisotropy.

Keywords: Extension, Shemshak Group, Subsidence, Eurasia, Permutation, Rotation, Paleostress, Synsedimentary Normal Faults.

For Persian Version see pages 39 to 48

*Corresponding author: M. Mirzaei Souzani; E-mail: mmsmasoud@gmail.com