پهنه‌بندی ساختاری و ریخت‌زمین‌ساختی کپه‌داغ خاوری

لطف‌الله آقاجری[۱*]، سید احمد علوی[۲]، محمدرضا قاسمی[۳] و محمدعلی کاوسی[۴]

[۱]دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲]دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۳]دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۴]دکترا، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱

چکیده

ویژگی‌های گوناگون زمین‌شناختی، ساختاری و ریخت‌شناسی در پهنه کپه‌داغ خاوری در شمال خاور ایران، به شناسایی چندین زیرپهنه ریخت‌زمین‌ساختی انجامیده است که با گسل‌های بزرگ و بنیادی از هم جدا شده‌اند. در این پژوهش بر پایه داده‌های میدانی، نیمرخ‌های بازتاب لرزه‌ای، تصاویر ماهواره‌ای و رسم برش‌های ساختاری، بخش‌های چین‌خورده در میان گسل‌های بنیادی که ویژگی‌های گوناگونی با هم دارند، به‌عنوان زیرپهنه‌های ساختاری شناسایی شده‌اند. این زیرپهنه‌ها به‌ترتیب از جنوب باختر به شمال خاور به‌نام «هزار مسجد»، «دره‌گز- سرخس» و «پیش‌ژرفای کپه‌داغ» نام‌گذاری و با گسل‌های کشف‌رود، مزدوران و شمال کپه‌داغ در بر گرفته شده‌اند. زیرپهنه‌های نام برده از زمان ژوراسیک میانی و همزمان با آغاز گامه کششی در پهنه کپه‌داغ و روی صفحه‌ی توران پدید آمدند. گسل‌های در برگیرنده آنها در آغاز به‌گونه گسل‌های کششی بودند که فروبوم (graben) و نیم‌فروبوم‌هایی (half grabens) را در حوضه نهشتگی ساخته بودند. بیشترین کشش و فرونشینی در زمان ژوراسیک میانی و همزمان با نهشته شدن سازند کشف‌رود رخ داد. نرخ فرونشست متفاوت و پیکربندی پدید آمده در حوضه رسوبی سبب تغییر جانبی سنگ‌رخساره و ستبرای سازند کشف‌رود در جاهای گوناگون حوضه شد. در پی آغاز بسته شدن اقیانوس تتیس جوان در میان صفحه‌های ایران و عربی در زمان ائوسن پسین، گامه فشارشی در پهنه کپه‌داغ آغاز شد که سبب وارونگی زمین‌ساختی، کارکرد دوباره گسل‌های کششی کهن و تبدیل آنها به گسل‌های وارون و چین‌خوردگی نهشته‌ها شد.

کلیدواژه‌ها: کپه‌داغ خاوری، ریخت‌زمین‌ساخت، کشش، وارونگی زمین‌ساختی، زیرپهنه ریخت‌زمین‌ساختی.

***نویسنده مسئول:** لطف‌الله آقاجری
E-mail: l_aghajari@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

ایالت زمین‌ساختی کپه‌داغ به‌عنوان بخشی از کوهزاد آلپ- هیمالیا در آسیای باختری، کمربندی چین خورده با راستای میانگین N ۱۲۰ و درازای نزدیک به ۷۰۰ کیلومتر در طول مرز ایران و ترکمنستان، از دریای کاسپین تا افغانستان گسترش یافته است (Lyberis and Manby, 1999).

حوضه رسوبی کپه‌داغ پس از کوهزایی سیمرین، که سبب بسته شدن اقیانوس تتیس کهن در تریاس پسین- ژوراسیک پیشین شد، با رسوب‌گذاری سازند کشف‌رود در یک حوضه کششی پس از برخورد، در ژوراسیک میانی پدید آمد (Robert et al., 2014). سازند کشف‌رود با یک ناپیوستگی زاویه‌ای بر روی واحدهای کهن‌تر (تریاس و یا پالئوزوییک) جای گرفته است. این دگرشیبی به روشنی در رخنمون‌های سطحی پنجره آق‌دربند و همچنین در نیمرخ‌های بازتاب لرزه‌ای ناحیه دیده می‌شود. پس از سازند کشف‌رود، ستبرایی بیش از ۷۰۰۰ متر از نهشته‌ها تا زمان سنوزوییک در این ناحیه نهشته شدند که در برخی موارد نبودهای رسوبی ناشی از خشکی‌زایی میان آنها دیده می‌شود. گامه اصلی فشارش در ناحیه کپه‌داغ در زمان ائوسن پسین و در پی بسته شدن اقیانوس تتیس جوان رخ داده است (Robert et al., 2014). از آنجا که شکل‌گیری حوضه کپه‌داغ در یک رژیم زمین‌ساختی کششی بوده است، این گامه فشارشی سبب وارونگی زمین‌ساختی (tectonic inversion) حوضه و کارکرد دوباره گسل‌های پی‌سنگی و تبدیل آنها به گسل‌های وارون شده است. به باور Berberian and King (1981) وارونگی حوضه کپه‌داغ در زمانی پس از الیگوسن پیشین- میانی رخ داده است.

ویژگی‌های متفاوت زمین‌شناختی و ساختاری در بخش‌های گوناگون کمربندهای چین‌خورده، که در نتیجه فرگشت زمین‌ساختی و تاریخچه رسوب‌گذاری آن پدید می‌آید؛ می‌تواند پایه‌ای برای تقسیم‌بندی آن کمربند به بخش‌های کوچک‌تر باشد. ایالت زمین‌ساختی کپه‌داغ از دیرباز در راستای درازای خود به سه زیرپهنه کپه‌داغ خاوری، کپه‌داغ میانی و کپه‌داغ باختری بخش شده است (افشارحرب، ۱۳۷۳)؛ ولی تا کنون در راستای پهنای آن بخش‌بندی نشده است. این در حالی است که پهنه‌های دیگر سرزمین ایران، مانند کمربند زاگرس، توسط پژوهشگران زیادی به زیرپهنه‌های کوچک‌تر بخش‌بندی شده است که ویژگی‌های به نسبت یکسانی دارند (Falcon, 1974; Berberian, 1995; Sherkati and Letouzey, 2004؛ مطیعی، ۱۳۷۴).

در این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های میدانی، لرزه‌نگاری، ماهواره‌ای و رسم برش ساختاری تلاش شده است تا بر پایه ویژگی‌های گوناگون زمین‌شناسی، ساختاری و ریخت‌زمین‌ساختی، ناحیه کپه‌داغ خاوری در راستای پهنای خود از جنوب به شمال به زیرپهنه‌های دیگری بخش شود.

۲- جایگاه زمین‌شناسی

کوتاه‌شدگی و دگرشکلی در پهنه ایران‌زمین ناشی از حرکت سپر عربی به سوی اوراسیا است. اندازه‌گیری‌های جدید GPS نشان می‌دهد که این حرکت رو به شمال نزدیک به ۲۳ میلی‌متر در سال است (Hollingsworth, 2007). بخشی از این کوتاه‌شدگی به صورت چین‌خوردگی، راندگی و سامانه‌های راستالغز در کپه‌داغ جبران می‌شود.

حوضه رسوبی کپه‌داغ پس از برخورد صفحه‌های ایران و توران (بخشی از سپر اوراسیا) و بسته شدن اقیانوس تتیس کهن ناشی از رخداد سیمرین در تریاس پایانی، پدید آمد. نهشته‌های پس از تریاس با یک دگرشیبی ناحیه‌ای مهم روی واحدهای کهن‌تر جای گرفته‌اند. این نهشته‌ها در ناحیه‌ای گسترده از قفقاز تا شمال افغانستان در حوضه‌ای کششی تشکیل شدند (Thomas et al., 1999). حوضه کپه‌داغ ادامه جنوب خاوری حوضه کاسپین جنوبی و ژرف‌ترین بخش حوضه کاسپین جنوبی در دریای کاسپین است که در آنجا هنوز هم پوسته اقیانوسی وجود دارد. بازشدگی این حوضه رسوبی به سوی جنوب خاور شبیه زیپ است (Thierry, 2000; Taheri et al., 2009)؛ از این رو، ژرفا و گسترش این حوضه از شمال باختر به سوی جنوب خاور کمتر می‌شود.

به باور بسیاری از پژوهشگران، مرز جنوبی کپه‌داغ و همچنین زمین‌درز

تتیس کهن در راستای دره اترک - کشف‌رود جای دارد (Stocklin, 1968; Berberian and king, 1981; Alavi, 1991; Sheikholeslami and Kouhpeyma, 2012; Zanchetta et al., 2013; Robert et al., 2014, Zanchi et al., 2015). بنابراین پی‌سنگ کپه‌داغ و همچنین رخنمون‌های پالئوزوییک و تریاس پنجره آق‌دربند، بخشی از صفحه توران به شمار می‌آیند. با این حال Eftekharnezhad and Behroozi (1991) سنگ‌های کهن پنجره آق‌دربند را همانند دیگر بخش‌های البرز می‌دانند و وجود زمین‌درز تتیس کهن در این ناحیه را رد می‌کنند. به باور آنها پی‌سنگ ناحیه کپه‌داغ، بخشی از صفحه ایران است. همچنین Trifonov (1978) گسل عشق‌آباد در ترکمنستان و ادامه آن را در گستره سرخس ایران، جداکننده گستره کپه‌داغ از گستره توران می‌داند.

۳- زیرپهنه‌های کپه‌داغ خاوری

ویژگی‌های هندسی و ساختاری کمربندهای چین‌خورده در سرتاسر آنها یکسان نیست. بیشتر کمربندهای چین‌خورده در راستای درازا و پهنای خود دارای ویژگی‌های گوناگونی هستند. این گوناگونی سبب می‌شود تا کمربندهای چین‌خورده به زیرپهنه‌های دیگری بخش شوند. پایه این دسته‌بندی‌ها می‌تواند شدت چین‌خوردگی، گسل‌خوردگی، بالاآمدگی، فرسایش، رسوب‌گذاری و لرزه‌خیزی باشد. در رشته‌کوه‌های کپه‌داغ خاوری، توپوگرافی و سیمای ریخت‌شناسی ناحیه، پیوندی یکسان با ساختمان‌های زمین‌شناسی دارد. سازندهای آهکی و مقاوم مزدوران، تیرگان و کلات، برجستگی‌ها و بلندی‌های ناحیه را پدید آورده‌اند. در پنجره فرسایشی آق‌دربند کهن‌ترین سنگ‌های کپه‌داغ به سن دونین تا کربنیفر زیرین برونزد دارند و روی آنها مجموعه‌های دیگری به سن پرمین و تریاس با چندین دگرشیبی جای دارند (شکل ۱) که همگی در پی بسته شدن اقیانوس تتیس کهن به شدت دگرشکل شده‌اند (Ruttner, 1991). پس از آن سازند کشف‌رود به سن ژوراسیک میانی آغازگر نهشته‌های حوضه رسوبی کپه‌داغ است که با یک ناپیوستگی زاویه‌ای بر روی سنگ‌های کهن‌تر نهشته شده است.

میزان دگرشکلی در بخش داخلی و میانی کپه‌داغ خاوری (رشته‌کوه هزارمسجد) بسیار زیاد است. به سوی شمال و تا مرز مشترک ایران- ترکمنستان از میزان دگرشکلی کاسته می‌شود. در بخش‌هایی از این مرز سیاسی، به ناگهان میزان دگرشکلی افزایش می‌یابد و سبب پر شیب شدن و یا برگشتگی لایه‌ها در دامنه شمال خاوری چین‌ها شده است که به نظر می‌رسد دلیل آن تمرکز دگرشکلی روی گسل شمال کپه‌داغ باشد. پس از آن و درون خاک ترکمنستان دشت هموار دیده می‌شود که از نهشته‌های جوان کواترنری پوشیده شده است. بنابراین از دیدگاه زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی رشته‌کوه کپه‌داغ درون خاک ایران به دلیل در برداشتن چین‌ها و گسل‌های فراوان، اهمیت بسیار بیشتری دارد. با نگاه به ویژگی‌های ساختاری و میزان دگرشکلی بخش کپه‌داغ خاوری، می‌توان این پهنه را به سه زیرپهنه هزارمسجد، دره‌گز- سرخس و پیش‌ژرفای کپه‌داغ بخش‌بندی کرد که مرز آنها با گسل‌های بزرگ و بنیادی شناخته شده است.

۳- ۱. زیرپهنه هزار مسجد

رشته‌کوه‌های هزارمسجد در میان گسل کشف‌رود در جنوب باختر و گسل مزدوران در شمال خاور جای گرفته‌اند (شکل‌های ۲ و ۳). در این گستره که بیشترین بلندی‌ها دیده می‌شود؛ سازند مزدوران با رخنمون زیاد، دچار دگرشکلی، چین‌خوردگی و گسلش فراوان شده است. در این زیرپهنه سازندهای خانه‌زو، چمن‌بید و مزدوران به‌روشنی دیده می‌شود که در این پژوهش با نام کلی سازند مزدوران یاد شده است. چین‌های باریک و کشیده این گستره نشان می‌دهند که ژرفای چین‌خوردگی چندان زیاد نیست. رخنمون‌هایی از سازند کشف‌رود در هسته چین‌ها و یا در محل راندگی‌ها نشان از این دارد که این سازند می‌تواند نقش یک افق گسستگی بنیادی را بازی کند.

آرایش پلکانی دماغه چین‌ها به‌سوی جنوب خاور، سبب شده است تا پهنای گستره دگرشکلی در کوه‌های هزارمسجد به‌آرامی کاهش یابد تا به رشته قره‌داغ برسد (شکل ۳). رشته‌کوه دراز و تک‌شیب قره‌داغ از سازند مزدوران ساخته شده است که در جنوب آن سازند کشف‌رود برونزد گسترده‌ای دارد و در شمال آن زمین‌های کم‌بلندای کپه‌داغ و دشت سرخس جای دارد.

در بخش شمالی کوه‌های هزارمسجد، چین‌ها تمایلی به سوی شمال خاور دارند و دامنه شمال خاوری آنها پرشیب و گاه برگشته است (شکل ۴- الف). در این بخش دماغه باختری چین‌ها به روشنی دیده نمی‌شود؛ ولی دماغه خاوری آنها ساختار آشکاری را نشان می‌دهد. در بخش جنوبی و نزدیک دره کشف‌رود، ساختارها تمایلی به سوی جنوب باختر دارند (شکل ۴- ب). در این بخش ساختارها بیشتر به‌گونه برگه‌های راندگی هستند و چین‌هایی با دو دامنه آشکار به سختی یافت می‌شوند.

۳- ۲. زیرپهنه دره‌گز- سرخس

این زیرپهنه از کپه‌داغ خاوری در میان گسل مزدوران در جنوب باختر و گسل شمال کپه‌داغ در شمال خاور جای گرفته است (شکل‌های ۲ و ۳). سازندهای آهکی و سخت تیرگان و کلات برجستگی‌های این زیرپهنه را می‌سازند. کهن‌ترین سنگ‌های این زیرپهنه، بخش‌های بالایی سازند شوریجه است که در هسته تاقدیس اشلر (شکل ۳) رخنمون یافته‌اند. کارکرد گسل شمال کپه‌داغ را در این زیرپهنه تا طول جغرافیایی ′۱۰ °۶۰ با توجه به پرشیب شدن دامنه شمال خاوری چین‌ها می‌توان به خوبی روی زمین دید. از این طول جغرافیایی به‌سوی جنوب خاور، دگرشکلی رخنمون‌های سنگی کمتر می‌شود. در سرتاسر مرز شمال خاوری این زیرپهنه، اثر گسل شمال کپه‌داغ را می‌توان با توجه به بالاآمدگی نهشته‌های کواترنری و دیگر سیماهای ریخت‌زمین‌ساختی دنبال کرد (شکل ۳). بیشتر چین‌های این زیرپهنه نامتقارن هستند؛ به‌گونه‌ای که دامنه شمال خاوری آنها شیب بیشتری دارد (شکل ۵). این موضوع با سوی فشارش و راندگی‌های ناحیه سازگاری دارد. در این زیرپهنه دماغه جنوب خاوری چین‌ها با الگوی پلکانی بر روی زمین نمایان شده است (شکل ۲). گستره دگرشکلی و شمار چین‌ها در این زیرپهنه از طول جغرافیایی ′۳۰ °۶۰ به‌سوی جنوب خاور به‌آرامی کاهش می‌یابد.

۳- ۳. پیش‌ژرفای کپه‌داغ

سرزمین‌های شمال رشته‌کوه کپه‌داغ که به‌نام حوضه آمودریا شناخته می‌شود، تا فاصله زیادی از نهشته‌های جوان کواترنری پوشیده شده است. بخشی از حوضه آمودریا که از جنوب باختر به گسل شمال کپه‌داغ محدود می‌شود، پیش‌ژرفای کپه‌داغ (Kopeh Dagh Foredeep) نام دارد که گستره‌ای با بیشترین فرونشینی است. پژوهش‌های پیشین در این گستره که بیشتر بر پایه نیمرخ‌های لرزه‌نگاری بوده (Thomas et al., 1999)، گویای ستبرای زیاد نهشته‌های مزوزوییک و سنوزوییک (تا ۱۶ کیلومتر) است. در بخش‌های گوناگون حوضه آمودریا بلندی‌های پی‌سنگی وجود دارد که با نهشته‌های جوان‌تر پوشیده شده‌اند (شکل ۶) و به‌همین سبب تغییرات ستبرا زیاد است. در این گستره به‌دلیل حفظ‌شدگی نهشته‌ها و دگرشکلی کمتر آنها، شرایط مناسبی برای انباشت هیدروکربن، به‌ویژه بر روی بلندی‌های پی‌سنگی فراهم آمده است.

۴- گسل‌های دربرگیرنده زیرپهنه‌ها

زیرپهنه‌های شناسایی شده در کپه‌داغ خاوری با گسل‌های بزرگ و بنیادی در برگرفته شده‌اند. این گسل‌ها به‌ترتیب از جنوب باختر به شمال خاور، گسل‌های کشف‌رود، مزدوران و شمال کپه‌داغ نام دارند (شکل ۲).

به باور Hollingsworth (2007) در بخش کپه‌داغ خاوری بیشتر دگرشکلی بر روی گسل‌های راندگی کشف‌رود و شمال کپه‌داغ رخ می‌دهد و مؤلفه راستالغز راست‌بر که در همه این گستره کارکرد داشته باشد، دیده نمی‌شود.

۴- ۱. گسل کشف‌رود

گسل وارون کشف‌رود بخشی از ساختار مهم دره اترک- کشف‌رود است. دره اترک- کشف‌رود محل زمین‌درز میان کپه‌داغ (اوراسیا) و البرز خاوری- بینالود (ایران مرکزی) است (Motaghi et al., 2012). هیچ زمین‌لرزه بزرگی در زمان‌های

جدید روی گسل کشف‌رود رخ نداده است. این گسل اختلاف توپوگرافی آشکاری از واحدهای ژوراسیک و کرتاسه نسبت به نهشته‌های کواترنری و کف دره ایجاد کرده است (Hollingsworth, 2007). پژوهش‌های نوین در زمینه اندازه‌گیری حرکات گسل با استفاده از شبکه نقاط و اندازه‌گیری با موقعیت‌یاب جهانی (GPS) از سوی سازمان نقشه‌برداری مرکز خراسان نیز نشان‌دهنده پویایی این گسل است (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۲). شیب گسل کشف‌رود به‌سوی شمال خاور و راستای آن شمال باختر- جنوب خاور و به موازات رشته‌کوه کپه‌داغ خاوری است (شکل ۳). این گسل به سوی خاور به دسته‌ای از گسل‌های راستالغز با روند شمال شمال باختر- جنوب جنوب خاور می‌رسد که دره کشف‌رود را بریده‌اند و به مجموعه فریمان در جنوب دره کشف‌رود وارد می‌شوند. گسل کشف‌رود مرز جنوب باختری کوه‌های هزارمسجد است. در شمال خاور این گسل اصلی، گسل‌های راندگی دیگری به موازات آن دیده می‌شوند که بخش‌های گوناگون سنگ‌های ژوراسیک را روی هم رانده و سبب تمایل چین‌ها به‌سوی جنوب باختر شده‌اند (شکل ۴- ب).

۴- ۲. گسل مزدوران

رشته‌کوه‌های هزارمسجد اختلاف بلندی آشکاری با کوهپایه‌های شمالی خود می‌سازند که از سنگ‌های جوان‌تر پدید آمده‌اند. سازند مزدوران که در کوه‌های هزارمسجد به فرازای بیش از ۳۰۰۰ متر نیز می‌رسد، در ناودیس‌های کوهپایه شمالی در ژرفای ۳۹۰۰ متر زیر سطح دریا (بر پایه نیمرخ‌های لرزه‌نگاری) جای دارد (شکل ۷). دامنه شمالی کوه‌های هزارمسجد در بیشتر نقاط پرشیب و گاه برگشته است (شکل ۴- الف). این نشانه‌ها دلیلی بر وجود عارضه ساختاری مهمی در این ناحیه است. از سوی دیگر تا کنون در نقشه‌ها و پژوهش‌های زمین‌شناختی به چنین ساختاری اشاره نشده است که شاید دلیل اصلی آن نبود نشانه‌های آشکار سطحی از جمله راندگی و حذف‌شدگی واحدهای سنگی باشد.

نیمرخ‌های لرزه‌نگاری اکتشافی که در سال‌های گذشته توسط شرکت ملی نفت ایران- مدیریت اکتشاف، در کپه‌داغ خاوری برداشت شده‌اند و در برخی موارد دامنه شمالی کوه‌های هزارمسجد و قره‌داغ را نیز پوشش می‌دهند؛ به‌خوبی اختلاف تراز واحدهای سنگی و جابه‌جایی آنها را نشان می‌دهند (شکل‌های ۷- الف و ۸). این ساختار به روشنی بالاآمدگی بخش‌های جنوبی نسبت به بخش‌های شمالی را نشان می‌دهد که در این پژوهش با نام گسل مزدوران نام‌گذاری شده است. این گسل را می‌توان یک مرز ساختاری مهم در کپه‌داغ خاوری انگاشت که واحدهای ریخت‌زمین‌ساختی را از هم جدا می‌کند؛ همچنین رخنمون سازند مزدوران را در جنوب باختر محدود کرده است، به‌گونه‌ای که در شمال خاور این ساختار، سازند مزدوران برونزد ندارد. میزان کارکرد گسل پنهان مزدوران در بخش جنوب خاوری رشته قره‌داغ به آرامی کاهش می‌یابد و دامنه شمالی رشته‌کوه شیب ملایم‌تری پیدا می‌کند. این گسل با شیب به‌سوی جنوب باختر، که به موازات گسل کشف‌رود با شیب به سوی شمال خاور پدید آمده است، در نمای نقشه سیمای پیوسته‌ای ندارد و در طول خود به چندین پاره بخش می‌شود.

بالاآمدگی و فرسایش کوه‌های هزارمسجد پس از کرتاسه، مواد آواری لازم برای نهشته‌های تخریبی و فرونشینی بخش‌های شمالی را فراهم آورده است. این نهشته‌های آواری با نام سازند پستلیق هم‌اکنون در ناحیه دره‌گز و نیز در ناودیس کلات بر جای مانده‌اند.

۴- ۳. گسل شمال کپه‌داغ

گسل شمال کپه‌داغ بخشی از سامانه گسل بزرگ اشک‌آباد (عشق‌آباد) است. گسل اشک‌آباد سیمای ساختاری آشکاری است که کوه‌های کپه‌داغ را از سرزمین‌های هموار شمال خاور ترکمنستان جدا می‌کند. این گسل در سرتاسر راستای خود رفتار یکسانی ندارد؛ به‌گونه‌ای که در نیمه شمال باختری آن رفتار راستالغز راست‌بر چیره است و در نیمه جنوب خاوری آن، رفتار راندگی بیشتر دیده می‌شود. بنابراین در بیشتر پژوهش‌های زمین‌شناسی، به بخش شمال باختری با درازای نزدیک به ۳۵۰ کیلومتر، گسل اشک‌آباد گفته می‌شود (Lyberis and Manby, 1999) و بخش جنوب خاوری آن را گسل اصلی کپه‌داغ (Robert et al., 2014) و یا گسل شمال کپه‌داغ (Hollingsworth, 2007) نامیده‌اند.

گسل شمال کپه‌داغ در سرتاسر مرز شمالی کپه‌داغ خاوری به‌درازای ۳۰۰ کیلومتر دیده می‌شود که بالاآمدگی گسترده‌ای در فرادیواره آن پدید آمده است و نشانه‌هایی از یک راندگی کم‌ژرفا با شیب به‌سوی جنوب باختر را نشان می‌دهد (Hollingsworth, 2007).

در ۵۰ سال گذشته تنها سه زمین‌لرزه بزرگ در ناحیه کپه‌داغ خاوری رخ داده است که همگی آنها ناشی از کوتاه‌شدگی بر روی این گسل راندگی بوده‌اند (Hollingsworth, 2007). برخلاف گسل اشک‌آباد، گسل شمال کپه‌داغ یک روند خطی و راست ندارد و با نگاه به شکل کمانی پیشانی دگرشکلی در کپه‌داغ خاوری، دست کم می‌توان سه پاره گسل به‌نام‌های دره‌گز، کلات و سرخس برای این گسل نشان داد (شکل ۳). همه چین‌های پدید آمده در راستای گسل شمال کپه‌داغ، نامتقارن هستند به‌گونه‌ای که دامنه شمال خاوری آنها پرشیب تا برگشته است. تاقدیس زرینه‌کوه در فرادیواره پاره گسل دره‌گز، تاقدیس‌های یکه‌توت (شکل ۵- الف) و نادر (شکل ۵- ب) در فرادیواره پاره گسل کلات و تاقدیس خانگیران (شکل ۹) در فرادیواره پاره‌گسل سرخس از جمله چین‌های نامتقارن وابسته به گسل شمال کپه‌داغ هستند. بالاآمدگی نهشته‌های کواترنری و رودخانه‌هایی با شکاف ژرف از دیگر نشانه‌های این گسل هستند. شواهد سطحی نشان می‌دهند که کارکرد گسل شمال کپه‌داغ به سوی جنوب خاور به آرامی کاهش می‌یابد. میدان‌های گازی خانگیران و گنبدلی در این گستره جای دارند.

۵- لرزه‌خیزی کپه‌داغ خاوری

در بخش شمال خاور ایران تنها یک زمین‌لرزه تاریخی شناخته شده است که در سال ۱۶۷۳ میلادی و احتمالاً بر روی گسل شاندیز در جنوب مشهد رخ داده است (Hollingsworth, 2007 برگرفته از Ambraseys and Melville, 1982). در ۵۰ سال گذشته تنها سه زمین‌لرزه بزرگ در بخش کپه‌داغ خاوری روی داده است که به باور Hollingsworth (2007) همگی آنها وابسته به کوتاه‌شدگی بر روی گسل شمال کپه‌داغ هستند؛ در حالی که با نگاه به نقشه (شکل ۱۰) می‌توان یکی از این زمین‌لرزه‌ها را، که در کناره جنوب خاوری نقشه است، به گسل مزدوران نسبت داد. نقشه پراکندگی زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۳ ریشتر از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ میلادی در پهنه کپه داغ خاوری نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌ها بیشتر در کوه‌های بینالود و همچنین در زیرپهنه هزارمسجد پراکنده شده‌اند (شکل ۱۰). این دو بخش از دیدگاه زمین‌ساختی دارای گسل‌های پویای بیشتری هستند و دگرشکلی بیشتری پیدا کرده‌اند. با توجه به پراکندگی زیاد جمعیت در بین این دو بخش، نیاز است که پژوهش‌های بیشتری از دید لرزه‌زمین‌ساختی در این منطقه صورت گیرد.

۶- بحث

گسل‌های کشف‌رود و مزدوران، که زیرپهنه هزارمسجد را در بر گرفته‌اند، به‌ترتیب به‌سوی شمال خاور و جنوب باختر شیب دارند. کوه‌های هزارمسجد در میان این دو گسل یک ساختار بالاجسته (pop up) نشان می‌دهند. با نگاه به تاریخچه حوضه رسوبی کپه‌داغ و شرایط زمین‌ساخت کششی در زمان ژوراسیک میانی، می‌توان دریافت که این دو گسل که به سوی یکدیگر شیب دارند، زمانی گسل‌هایی عادی بوده‌اند که در دو سوی یک فروبوم جای داشته‌اند (شکل ۱۱) و اکنون به دلیل نیروهای فشارشی و وارونگی حوضه رسوبی، به‌گونه گسل‌های وارون نمایان شده‌اند. هم‌اکنون نیز می‌توان نشانه‌هایی از ساختارهای کششی را در نیمرخ‌های بازتاب لرزه‌ای دید که به‌گونه افزایش ستبرا در نهشته‌های همزمان با کشش روی فرادیواره گسل‌های کششی کهن دیده می‌شود (شکل ۷- الف). همچنین Kavoosi et al. (2009) نشانه‌های دیگری همانند واحدهای رسوبی گوه‌ای شکل،

سطوح هم‌پوشان، نرخ نهشتگی زیاد به‌همراه ژرف‌شدگی و ریزشدگی به‌سوی بالا را به‌عنوان نشانه‌هایی از کشش ناشی از کافت در زمان ژوراسیک میانی می‌دانند. کوه‌های هزارمسجد را می‌توان مکان فروبوم مرکزی کپه‌داغ خاوری انگاشت. در این مکان نهشته‌های ژوراسیک همزمان با کشش، بیشترین ستبرا را دارند (شکل ۱۱). نهشته‌های موجود در فروبوم مرکزی در هنگام وارون شدن حوضه، دچار بیشترین دگرشکلی و بالاآمدگی شده‌اند (شکل ۱۲).

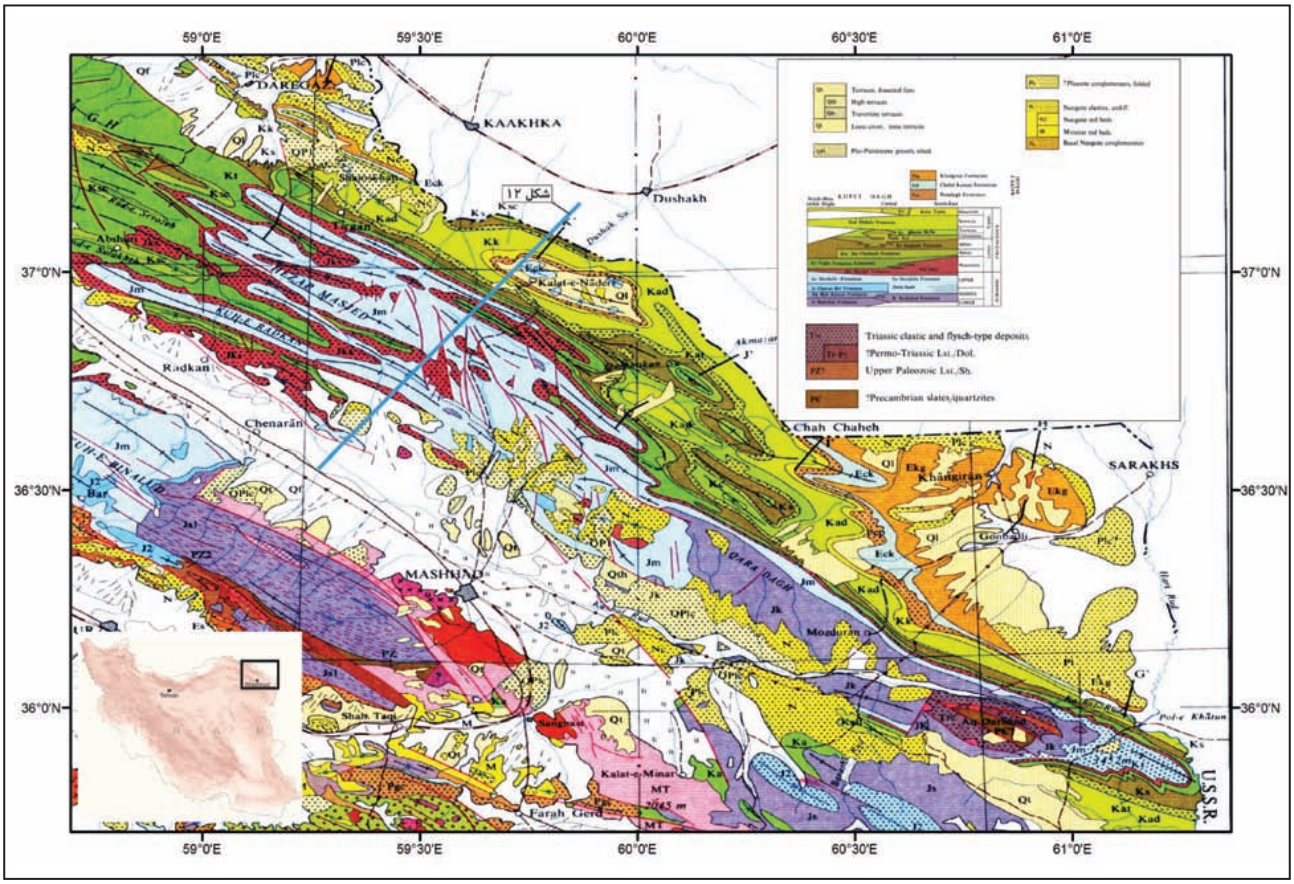
هنگامی که نهشته‌های فروبوم با لایه‌ای شکل‌پذیر از پی‌سنگ جدا شده باشند، وارونگی حوضه سبب پیدایش گسل‌های راندگی در طول مرزهای فروبوم و گسل‌های راستالغز با روند مایل نسبت به مرزهای فروبوم می‌شود (Brun and Nalpas, 1996). در ناحیه کپه‌داغ خاوری، می‌توان سازند کشف‌رود را به‌همراه برخی واحدهای تریاس همانند سازندهای سینا و میان‌کوهی به‌عنوان لایه‌های شکل‌پذیر در نظر گرفت که روی پی‌سنگ سخت جای دارند. گسل‌های راندگی در پهنه کپه داغ خاوری هم‌راستا با دو گسل اصلی کشف‌رود و مزدوران شکل گرفته‌اند. دسته‌ای از گسل‌های راستالغز راست‌بر در زیرپهنه‌ی هزارمسجد دیده می‌شوند که با روند شمال شمال باختر- جنوب جنوب خاور از نزدیکی گسل مزدوران تا مجموعه فریمان در جنوب رودخانه کشف‌رود ادامه دارند (شکل ۳). این گسل‌ها جوان‌تر از ساختارهای دیگر هستند؛ چون راندگی‌ها و چین‌های ناحیه را بریده‌اند.

۷- نتیجه‌گیری

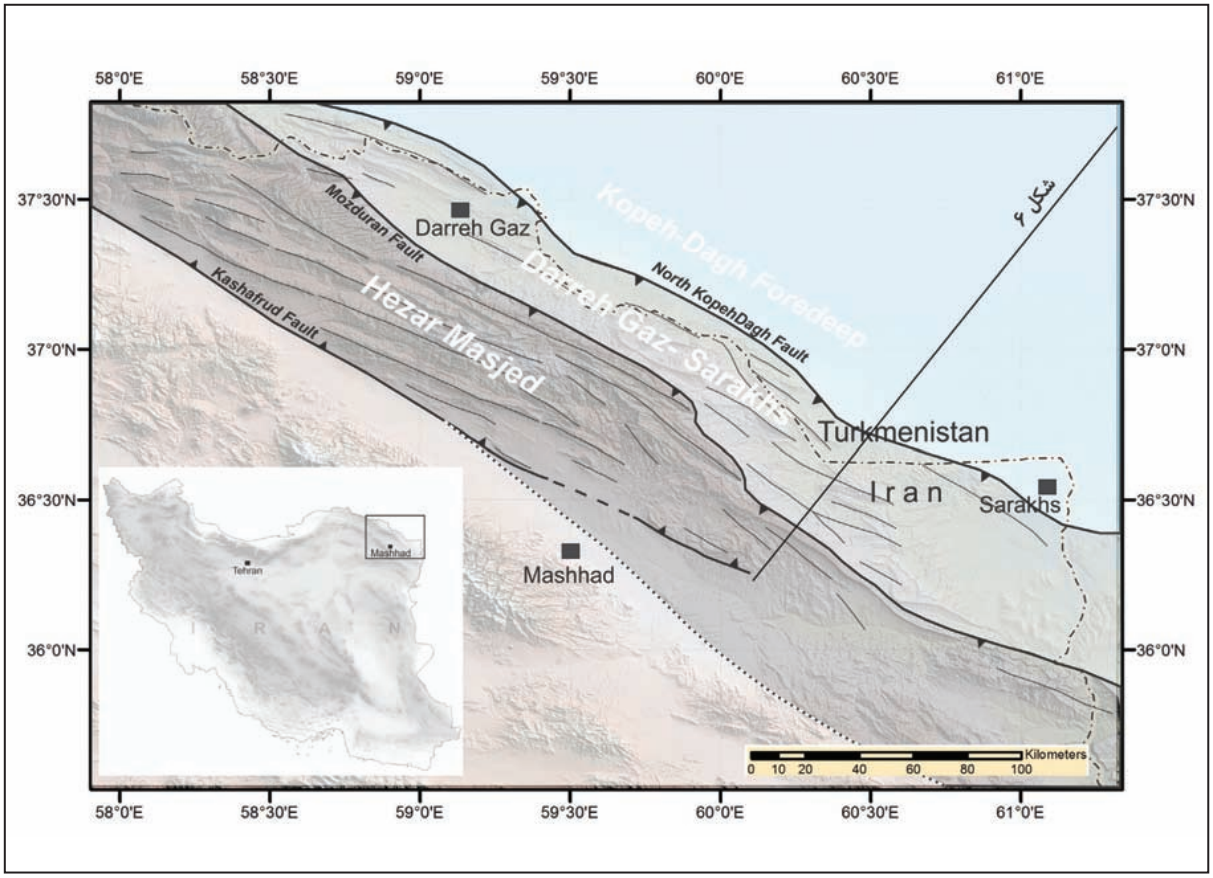
پیکربندی پی‌سنگ یک حوضه رسوبی پیش از آغاز نهشتگی و یا تغییرات آن در هنگام نهشتگی، می‌تواند سبب تغییر سنگ‌رخساره و ستبرای نهشته‌های جدید شود. در پهنه کپه‌داغ خاوری نشانه‌هایی از رخنمون‌های سنگی و یا نیمرخ‌های لرزه‌نگاری یافت شده است که نشان می‌دهند سازند کشف‌رود در زمان ژوراسیک میانی و همزمان با گامه کششی نهشته شده و با یک ناپیوستگی زاویه‌ای واحدهای دگرشکل شده پیشین را پوشانده است. گسل‌های کششی در پی‌سنگ حوضه رسوبی کپه‌داغ، مناطق فرورفته و برجسته را پدید آوردند که بعدها و در هنگام وارونگی زمین‌ساختی حوضه، ساختارهای سطحی را کنترل کرده‌اند. سیمای کنونی پهنه کپه‌داغ خاوری نشان می‌دهد که با نگاه به ویژگی‌های ساختاری، میزان دگرشکلی و بالاآمدگی، الگوی چین‌خوردگی و ریخت‌شناسی می‌توان چندین زیرپهنه را شناسایی کرد که از جنوب باختر به شمال خاور به‌ترتیب زیرپهنه‌های هزارمسجد، دره‌گز- سرخس و پیش‌ژرفای کپه‌داغ نام‌گذاری شده‌اند که با گسل‌های بنیادی کشف‌رود، مزدوران و شمال کپه‌داغ دربرگرفته شده‌اند. میزان دگرشکلی و بالاآمدگی در زیرپهنه هزارمسجد زیاد است و به‌سوی شمال خاور به آرامی کاهش می‌یابد؛ بنابراین فراوانی گسل‌های راندگی و چین‌های فشرده و نامتقارن و همچنین شدت لرزه‌خیزی در این زیرپهنه بیشتر است. زیرپهنه هزارمسجد در زمان کشش ژوراسیک میانی، بیشترین فرونشینی، گسل‌های کششی و نهشته‌ها را در خود داشته است. به همین دلیل این زیرپهنه در هنگام وارونگی زمین‌ساختی حوضه، دچار بیشترین دگرشکلی شده است. دگرشکلی ساختاری در زیرپهنه‌های هزارمسجد و دره‌گز- سرخس به‌سوی جنوب خاور به‌آرامی کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

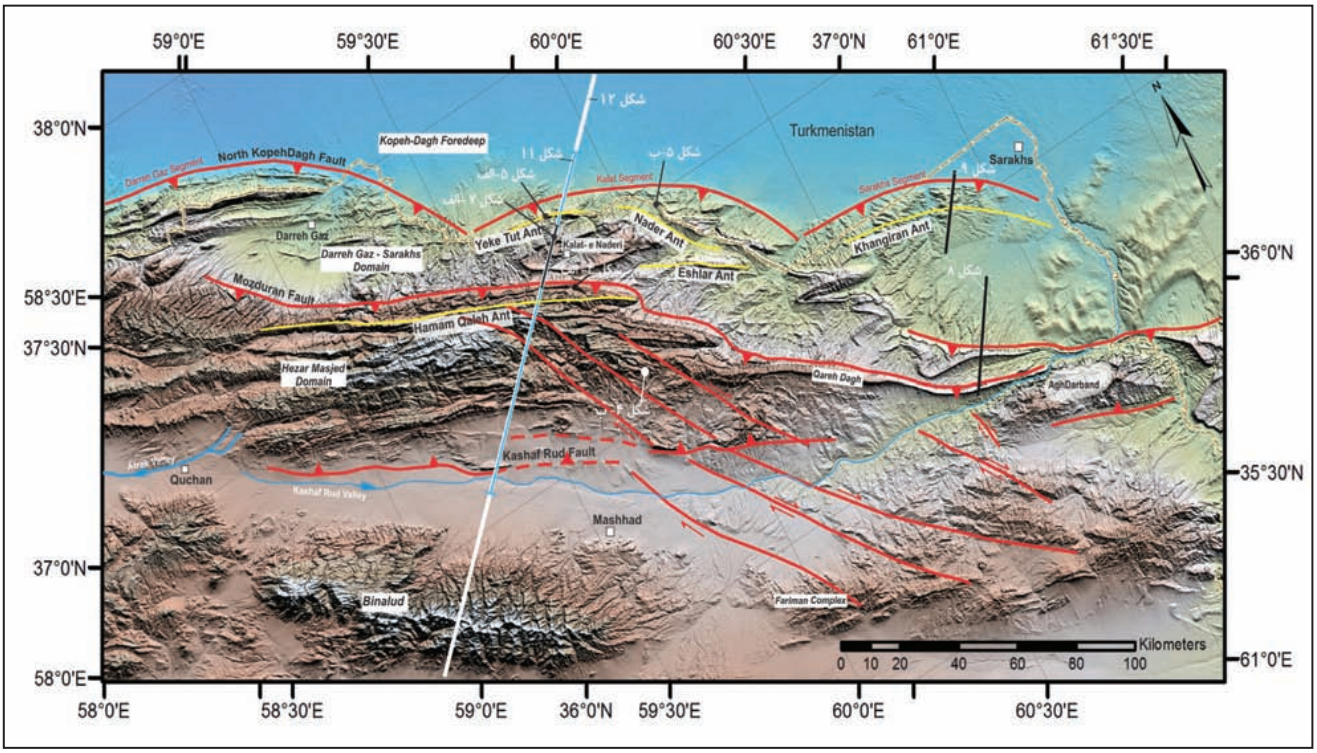
از مسئولان گرامی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران برای در اختیار گذاشتن داده‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی و از داوران گرامی فصلنامه که با دیدگاه‌های ارزشمند خود، سبب بهبود این پژوهش شدند، سپاسگزاری می‌شود.



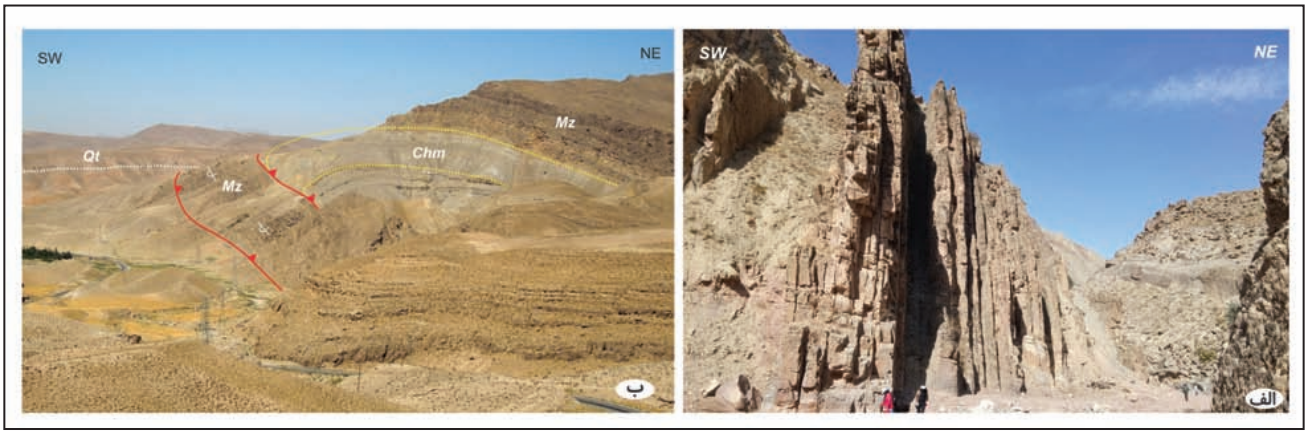
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه (بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ ایران، برگه شماره ۳ شمال خاور، شرکت ملی نفت ایران). پهنه کپه‌داغ خاوری با راستای شمال باختر- جنوب خاور در شمال دشت آبرفتی مشهد گسترش دارد. به‌طور نسبی از جنوب باختر به سوی شمال خاور، رخنمون‌های سنگی جوان‌تر می‌شوند.



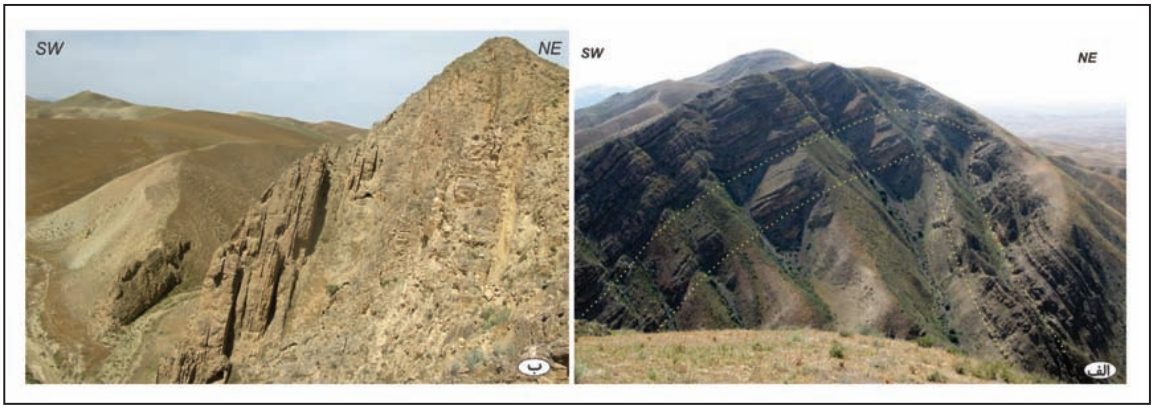
شکل ۲- زیرپهنه‌های کپه‌داغ خاوری به همراه گسل‌های بزرگ گستره مورد مطالعه. مرز جنوب باختری زیرپهنه هزار مسجد در شمال و جنوب‌خاور مشهد به‌گونه تقریبی رسم و محور تاقدیس‌ها روی شکل نشان داده شده است. در زیرپهنه هزارمسجد تعداد و تراکم چین‌ها بیشتر است. در پیش‌ژرفای کپه‌داغ چین‌خوردگی سطحی دیده نمی‌شود و این ناحیه پوشیده از آبرفت است.



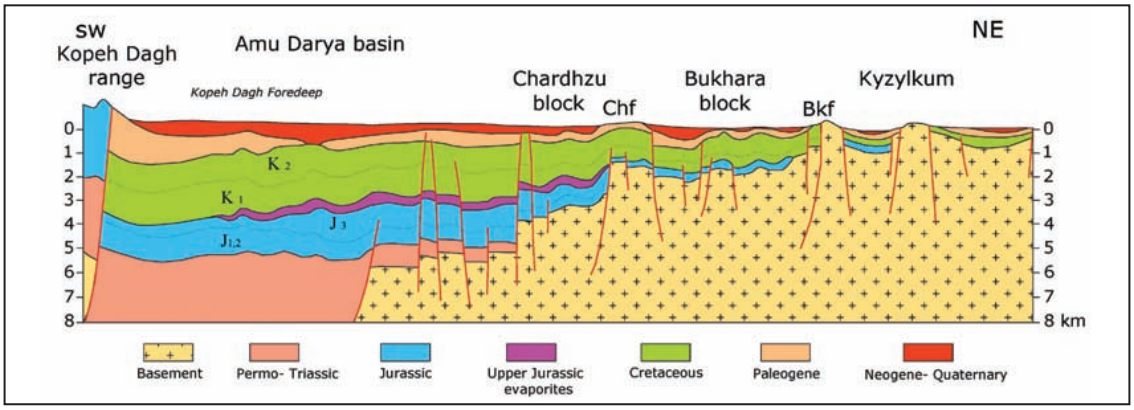
شکل ۳- نقشه برجسته کپه‌داغ خاوری که ساختارهای اصلی ناحیه را نشان می‌دهد. گسل‌های راستالغز راست‌بر از زیرپهنه هزار مسجد تا مجموعه فریمان گسترش دارند.



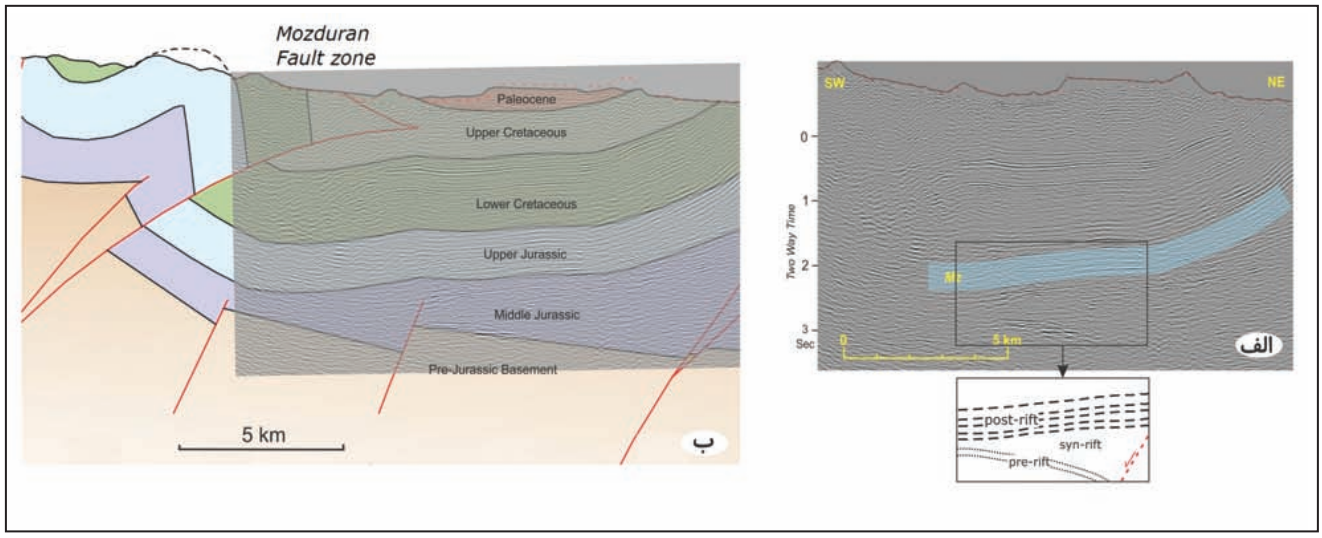
شکل ۴- الف) لایه‌های پرشیب سازند تیرگان در دامنه شمالی تاقدیس حمام قلعه در فرادیواره گسل مزدوران؛ ب) چین‌خوردگی نامتقارن در سازندهای چمن بید و مزدوران با تمایل به سوی جنوب باختر. موقعیت ساختارها روی شکل ۳ نشان داده شده است.



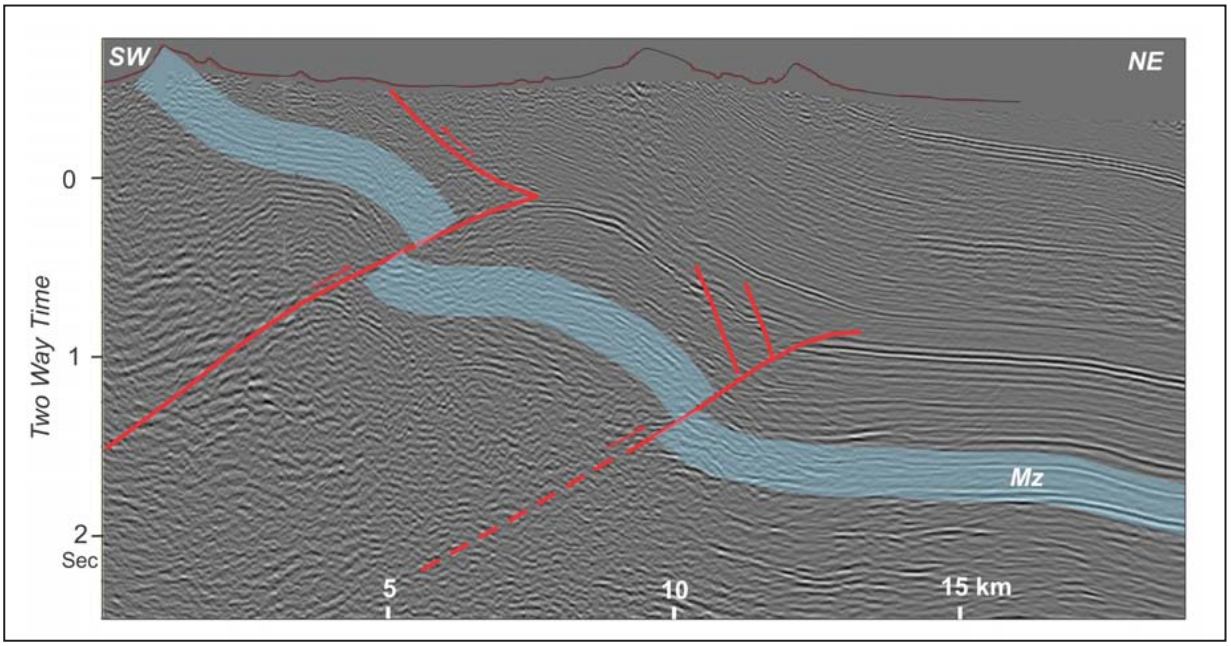
شکل ۵- الف) چین‌خوردگی نامتقارن سازند تیرگان در تاقدیس یکه توت روی فرادیواره گسل شمال کپه‌داغ؛ ب) لایه‌های پرشیب سازند کلات در دامنه شمالی تاقدیس نادر در فرادیواره گسل شمال کپه‌داغ. موقعیت ساختارها روی شکل ۳ نشان داده شده است.



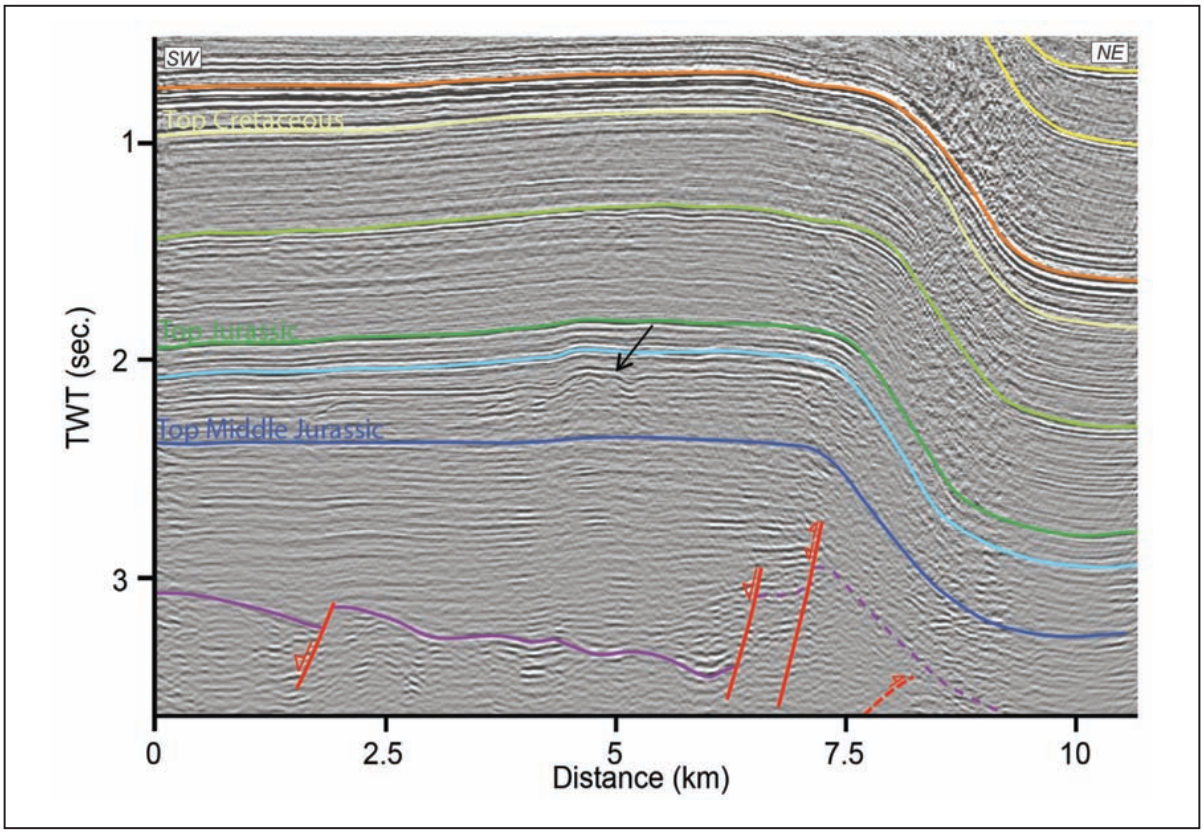
شکل ۶- برش ساختاری از حوضه آمودریا که فروافتادگی شدید در شمال کوه‌های کپه‌داغ و پیش‌ژرفای کپه‌داغ را نشان می‌دهد. بلندی‌های پی‌سنگی سبب تغییر سنگ‌رخساره و ستبرای نهشته‌ها و همچنین نبودهای چینه‌شناسی شده‌اند (برگرفته از Thomas et al., 1999 با کمی اصلاح). موقعیت برش روی شکل ۲ نشان داده شده است.



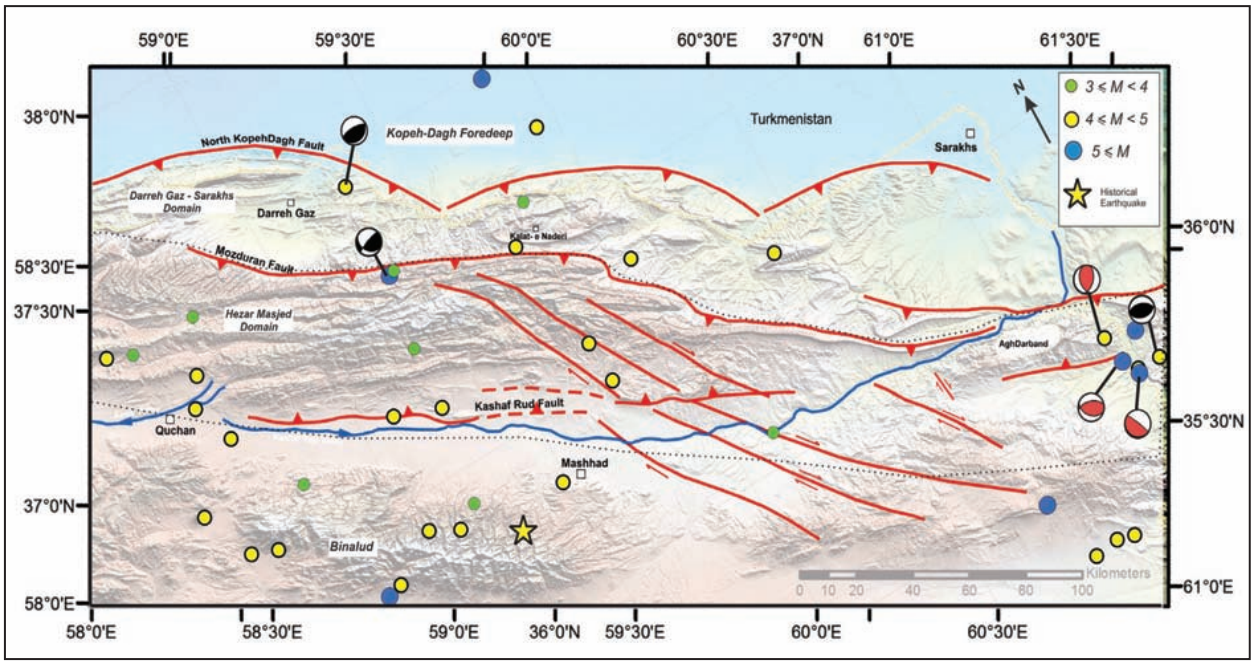
شکل ۷- الف) نیمرخ لرزه‌نگاری از ناودیس کلات در زیرپهنه دره‌گز- سرخس (شرکت ملی نفت ایران- مدیریت اکتشاف). سازند مزدوران با رنگ آبی روی شکل رسم شده است که در ژرفای زیادی جای دارد؛ در حالی که در فاصله کمی به سوی جنوب باختر این سازند با ارتفاع زیادی در تاقدیس حمام قلعه رخنمون دارد. بخشی از نشانگرهای پی‌سنگ پیش از ژوراسیک نیز در این نیمرخ دیده می‌شود. اختلاف شیب نشانگرهای سازند مزدوران با نشانگرهای پی‌سنگ، نشان‌دهنده کارکرد گسل‌های کششی در زمان نهشته شدن سازند کشف‌رود به‌عنوان نهشته‌های همزمان با کشش است؛ ب) ترکیب نیمرخ لرزه‌نگاری با برش ساختاری برای نشان دادن ارتباط برونزدهای سطحی با نشانگرهای لرزه‌ای. اختلاف ارتفاع زیاد رخنمون سازند مزدوران در سطح زمین با نشانگرهای آن در نیمرخ لرزه‌ای نشان از کارکرد یک گسل بزرگ دارد. موقعیت نیمرخ لرزه‌ای روی شکل ۳ نشان داده شده است.



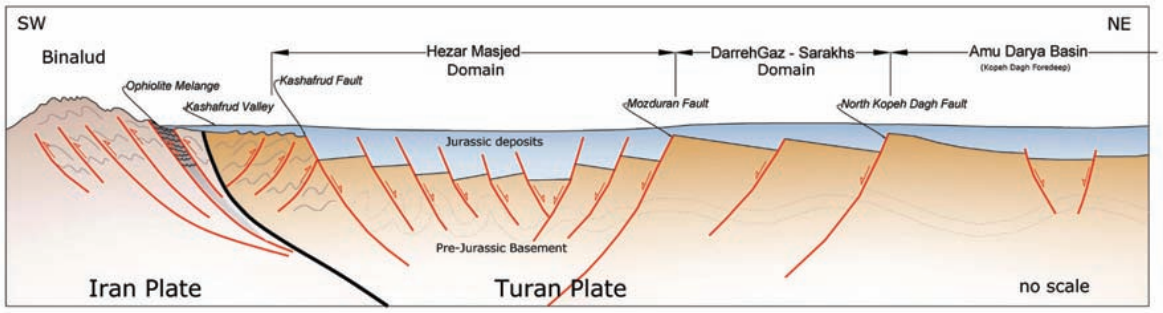
شکل ۸- نیمرخ لرزه‌نگاری در بخش جنوب خاوری زیرپهنه دره‌گز- سرخس(شرکت ملی نفت ایران- مدیریت اکتشاف). سازند مزدوران با رنگ آبی روی شکل رسم شده است که در جنوب باختر در رشته قره‌داغ روی سطح زمین رخنمون دارد و به سوی شمال خاور با جابه‌جایی ناشی از گسل در ژرفای زیادی جای گرفته است. موقعیت نیمرخ لرزه‌ای روی شکل ۳ نشان داده شده است.



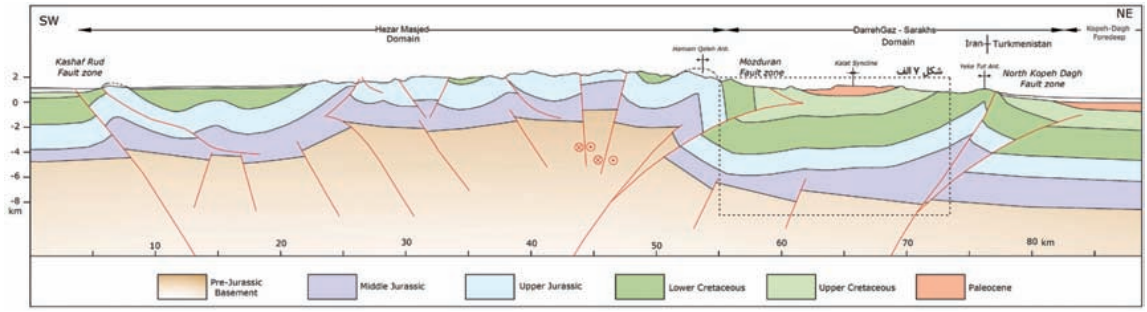
شکل ۹- نیمرخ لرزه‌نگاری از تاقدیس خانگیران که کارکرد گسل شمال کپه‌داغ را به‌صورت یک گسل واژگون شده در ژرفا نشان می‌دهد (Robert et al., 2014). موقعیت نیمرخ لرزه‌ای روی شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نقشه پراکندگی زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۳ ریشتر از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ میلادی در پهنه کپه‌داغ خاوری (برگرفته از سایت USGS). سازوکار کانونی برخی زمین‌لرزه‌ها نشان داده شده که از (2007) Hollingsworth گرفته شده است. به باور (2007) Hollingsworth هر سه سازوکار که با رنگ سیاه نشان داده شده‌اند؛ وابسته به گسل شمال کپه‌داغ هستند؛ در حالی که با توجه به موقعیت زمین‌لرزه‌ها و گسل‌های رسم شده می‌توان یکی از آنها را که در کناره جنوب خاوری نقشه است؛ به گسل مزدوران نسبت داد.



شکل ۱۱- شکل نمادین از شرایط حوضه رسوبی کپه‌داغ در زمان ژوراسیک. موقعیت این شکل روی شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- برش ساختاری رسم شده بر پایه داده‌های میدانی، نیمرخ لرزه‌نگاری و نقشه‌های زمین‌شناسی. موقعیت برش روی شکل ۳ نشان داده شده است.

کتابنگاری

افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳- زمین‌شناسی کپه‌داغ، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۱۱، ۲۷۵ ص.

شهیدی، ع.، نظری، ح. و قائمی، ف.، ۱۳۹۲- زمین‌ساخت ایران «کپه‌داغ». انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۹۷ ص.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین‌شناسی نفت زاگرس، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۲۵، جلد اول، ۵۸۹ ص.

References

Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103, p. 983-992.

Ambraseys, N. and Melville, C., 1982- A History of Persian Earthquakes, Cambridge University Press, New York, p. 219.

Berberian, M. and King, G.C.P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Sciences, 18, p.210-265.

Berberian, M., 1995- Master blind thrust faults hidden under the Zagoros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. Tectonophysics, 241, p. 193–224.

Brun, J. P. and Nalpas, T., 1996- Graben inversion in nature and experiments. Tectonics, Vol. 15, No. 2, p. 677-687.

Eftekharnejad, J., and Behroozi, A., 1991- Geodynamic significance of recent discoveries of ophiolites and late Paleozoic rocks in NE Iran (including Kopet Dagh): Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, v. 38, p. 89–100.

Falcon, N., 1974- Southern Iran: Zagros mountains. In A. Spencer (Ed.), Mesozoic- Cenozoic orogenic belts. Geological Society of London, Special Publication, 4, p. 199-211.

Hollingsworth, J., 2007- Active tectonics of NEiran. Ph.D. thesis, Queen's college, University of Cambridge, p. 239.

Kavoosi, M. A., Sepehr, M. and Sherkati, S., 2009- Kopeh Dagh basin evolution during Middle-Late Jurassic.First International Petroleum Conference & Exhibition, Shiraz, Iran.

Lyberis, N. and Manby, G., 1999- Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the Post-Miocene. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 83, p. 1135-1160.

Motaghi, K., Tatar, M., Shomali, Z. H., Kaviani, A. and Priestley, K., 2012- High resolution image of uppermost mantle beneath NE Iran continental collision zone. Physics of the Earth and Planetary Interiors 208–209 , p. 38–49.

Robert, A. M. M., Letouzey, J., Kavoosi, M. A., Sherkati, S., Müller, C., Vergés, J. and Aghababei,A., 2014- Structural evolution of the Kopeh Dagh fold-and-thrust-belt (NE Iran) and interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin. Marine and Petroleum Geology 57, p. 68-87.

Ruttner, A., 1991- The Triassic of Aghdarband (AgDarband), NE-Iran, and its pre-Triassic frame. In: Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, vol. 38, p.252.

Sheikholeslami, M. R. and Kouhpeyma, M., 2012- Structural analysis and tectonic evolution of the eastern Binalud Mountains, NE Iran. Journal of Geodynamics, 61, p. 23-46.

Sherkati, S. and Letouzey, J., 2004- Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. Marine and Petroleum Geology, 21, p. 535–554.

Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, a review. AAPG Bull., v.52, No.7, p. 1229-1258.

Taheri, J., Fürsich, F. T. and Wilmsen, M., 2009- Stratigraphy, depositional environments and geodynamic significance of the Upper Bajocian-Bathonian Kashafrud Formation, NE Iran.Geological Society, London,Special Publications 312, p. 175-188.

Thierry, J., 2000- Middle Callovian (157–155 Ma). In: Dercourt, J., Gaetani, M. etal. (eds) Atlas Peri-Tethys Palaeogeographical Maps. CCGM/CGMW, Paris, p. 71–97.

Thomas, J., Cobbold, P., Shein, V. and Douaran, S. L., 1999- Sedimentary record of Late Paleozoic to recent tectonism in Central Asia–analysis of subsurface data from the Turan and South Kazak domains. Tectonophysics 313, p. 243–263.

Trifonov, V., 1978- Late Quaternary Tectonic Movement of Western and Central Asia. Geological Society of America Bulletin, 89, p. 1059–1072.

Zanchetta, S., Berra, F., Zanchi, A., Bergomi, M., Caridroit, M., Nicora, M. and Heidarzadeh, G., 2013- The record of the Late Palaeozoic active margin of the Palaeotethys in NE Iran: Constraints on the Cimmerian orogeny. Gondwana Research 24, p. 1237-1266.

Zanchi, A., Zanchetta, S., Balini, M. and Ghassemi, M. R., 2015- Oblique convergence during the Cimmerian collision: evidencefrom theTriassic Aghdarband basin, NE Iran, Gondwana Research, doi:10.1016/j.gr.2015.11.008.

Structural and morphotectonic zonation of the Eastern Kopeh-Dagh

L. Aghajari[1*], S. A. Alavi[2], M. R. Ghassemi[3] and M. A. Kavoosi[4]

[1]Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2]Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[3]Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

[4]Ph.D., Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

Received: 2016 August 14 Accepted: 2016 November 01

Abstract

Different geological, structural and morphological characteristics of the eastern Kopeh-Dagh Province in NE Iran resulted in identification of several morphotectonic domains separated by major basement faults. Based on various field surveys, seismic reflection data, satellite images and cross-sections construction we introduce the fault-bounded deformed areas with different characteristics as the structural domains. These domains are the Hezar-Masjed, Darreh-Gaz- Sarakhs, and the Kopeh-Dagh foredeep from southwest to northeast, respectively. They are bounded by the Kashafrud, Mozduran, and the North Kopeh-Dagh faults. The domains were formed on the Turan plate since Middle Jurassic times when the extensional phase commenced in the Kopeh-Dagh Province. The bounding faults were initially of normal mechanism which generated grabens and half-grabens within the sedimentary basin. The maximum extension and subsidence in the basin occurred during Middle Jurassic, synchronous with the deposition of the Kashafrud Formation. Differential subsidence and configuration of the basin resulted in lateral lithofacies variations and thickness changes of the Kashafrud Formation throughout the basin. The main compression event in the Kopeh-Dagh Province started following the closure of the Neo-tethys ocean between the Iranian and Arabian plates in the Late Eocene, which caused inversion tectonics and reactivation of pre-existing normal faults as well as folding of sedimentary cover.

Keywords: Eastern Kopeh-Dagh, Morphotectonics, Extension, Tectonic inversion, Morphotectonic domain.

For Persian Version see pages 125 to 134

*Corresponding author: L. Aghajari; E-mail: l_aghajari@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional