



فصلنامه زمین ساخت

بهار ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۱

doi 10.22077/JT.2023.5902.1145

مراحل تغییر شکل امتدادلغز نئوژن در پهنه رسوبی قم، ایران مرکزی

شهریار صادقی^{۱*}، زینب داودی^۲، فهیمه اسمعیلی^۳

- ۱- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
- ۲- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
- ۳- کارشناس ارشد زمین ساخت، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

چکیده:

در این مقاله اثر جنبش های امتدادلغز در تکوین ساختاری نئوژن حوضه رسوبی قم در گستره باختر شهر قم مطالعه شده است. در این راستا ضمن تهیه نقشه زمین شناسی، ساختارهای موجود برداشت و تحلیل شده اند. دو مرحله دگرشکلی در راستای پهنه ای با راستای شمال باختر- جنوب خاور هم راستا با گسل قم رخ داده است. در مرحله اول دگرشکلی چین های اصلی گستره نظیر تاقدیس های میل و کمرکو بعلاوه ناودیس یزدان ایجاد و دچار چرخش شده اند؛ سپس گسل میل-دوچاه و گسل چپ بر مرتبط با آن ایجاد شده و چین های ثانویه با اثر محوری شمال شمال باختر تشکیل شده اند. در مرحله دوم، گسل های امتدادلغز راست بر با راستای شمال شمال باختر تا شمال باختر ایجاد شده اند که در پهنه فشردگی بین آنها گسل میل-دوچاه به صورت معکوس حرکت نموده و در نتیجه پهلوهای تاقدیس میل برگشته شده اند. گسل های نرمال زمان رسوبگذاری در این مرحله به صورت نرمال فعال شده اند. مراحل اول و دوم دگرشکلی به ترتیب با حرکت امتدادلغز چپ بر و راست بر پهنه سازگارند. وجود ناپوستگی زاویه دار حاصل از همزمانی زمین ساختی و رسوبگذاری سازند قرمز فوقانی، سن مرحله اول دگرشکلی را می توان میوسن پسین در نظر گرفت. مرحله دوم که سبب بریده شدن ساختارهای قدیمتر یا حرکت دوباره گسل ها شده است در پلیوسن آغاز شده است.

واژه های کلیدی: تحلیل ساختاری، ایران مرکزی، حوضه رسوبی قم، دگرشکلی امتدادلغز، گسل میل-دوچاه

* ایمیل: shsadeghi@sci.ikiu.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۲۲۷۹۹۲۳۸

Neogene stages of strike-slip deformation of the Qom sedimentary basin-Central Iran

Shahriar Sadeghi^{1*}, Zeinab Davoodi², Fahimeh Esmaili³

1. Assistant Professor, Department of Geology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2. Assistant Professor, Department of Geology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
3. Msc. in Tectonics, Department of Geology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Abstract

In this paper effect of the strike-slip deformation on the Neogene structural evolution of the Qom sedimentary basin, western area of Qom city is investigated. For this purpose, after preparing geological map, structural study has been performed. Two stages of deformation are identified in the study area as the effect of NW trending strike-slip zone parallel to the Qom fault. In the first stage of deformation the main folds such as Mil and Kamarkuh anticlines and Yazdan syncline are formed and rotated counterclockwise. Then the Mill-Dochah fault and relevant sinistral fault are formed and folded. In the second stage, NNW to NW dextral strike-slip faults were initiated which in turn created restraining zone where the Mil-Dochah fault reactivated reversely and limbs of the Mil anticline were overturned. The syn-sedimentation normal folds are also reactivated normally in this stage. Sinistral and dextral strike-slip deformation of the zone is compatible with the first and second stage of deformation respectively. According to the angular unconformity that is formed as the effect of syn-sedimentation folding in the Upper Red formation, it is proposed that the age of first stage deformation is Miocene and second stage of deformation, which cut the first stage structures and reactivated the faults, is initiated in Pliocene.

Keywords: Structural analysis, Central Iran, Qom sedimentary basin, strike-slip deformation, Mill-Dochah fault.

*Email: shsadeghi@sci.ikiu.ac.ir

Tel: +989122799238

۱- مقدمه

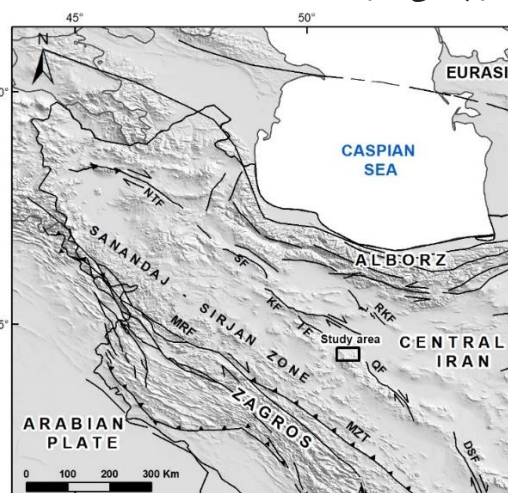
(2010) نیز از جمله گسل‌های شناخته شده گستره به حساب می‌آیند (شکل ۲).

تاقدیس میل یک تاقدیس با اثر محوری خاوری-باختری است که سبب چین‌خوردن لایه‌های سنگی سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی شده است. این تاقدیس دارای دماغه‌ای با میل به سمت باختر است. لایه‌های سنگی تاقدیس چه در پهلوهای شمالی و جنوبی و چه در دماغه تاقدیس برگشته هستند و وضعیت تاقدیس را شبیه یک چین بادبزی کرده‌اند (نوگل سادات، ۱۳۶۴). همچنین اثر محوری تاقدیس میل بعلاوه چین‌های دیگر (تاقدیس کمرکوه و ناودیس یزدان) و امتداد گسل میل-دوچاه دارای انحنا است که نشان از چین‌خوردگی ثانویه دارد (شکل ۲). ارائه مدلی که بتواند به توجیه جنبش‌های موثر بر تکوین ساختارهای گستره کارایی داشته باشد دارای اهمیت است.

از جنبه زمین‌شناسی ساختاری، در منطقه مورد مطالعه تحقیقاتی انجام گرفته است. نوگل سادات (۱۳۶۴) روندهای ساختاری شامل امتداد گسل‌ها و محور چین‌ها در این محدوده را هم راستا با روند نوار تبریز-بزمان می‌داند و رژیم زمین‌ساختی حاکم در این منطقه را یک رژیم ترافشارشی راستبر معرفی می‌نماید. ایشان تنها گسل‌هایی که روند خاوری-باختری دارند را شیب‌لغز و سایر گسل‌ها را دارای مولفه جابجایی افقی (امتدادی) دانسته است. خمیدگی اثر محوری چین‌ها و گسل‌ها از دید ایشان به احتمال زیاد از کوتاه‌شدگی بعدی در جهت خاوری-باختری است. از نظر مورلی و همکاران (Morley et al. 2009) همزمان با رسوبگذاری سازند قرمز بالایی شواهد ترافشارش و گسل‌های معکوس دیده می‌شود که با شواهدی از قبیل وجود آنلپ و لایه‌های رشدی شناخته می‌شوند. ایشان در خصوص نحوه تکوین ساختاری در اثر ترافشارش و علت خمیدگی اثر محوری چین‌ها و گسل‌ها مطلبی بیان نکرده‌اند.

گستره مورد مطالعه تحت تاثیر همگرایی میل ورقه عربی قرار دارد (Talebian and Jackson, 2002; Allen et al., 2004; Sadeghi and Yassaghi, 2016) که در ایران مرکزی و پهنه ارومیه-دختر به صورت حرکات امتدادلغز راست بر نمود پیدا می‌کند (Meyer et al.,

در این تحقیق، حوضه رسوبی قم و ساختارهای موجود در آن در گستره‌ای مابین عرض‌های ۳۴°، ۴۵' تا ۳۴°، ۳۰' شمالی و طول‌های ۳۰°، ۵۰' تا ۵۰°، ۵۰' خاوری مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱). گستره مورد مطالعه در حوضه رسوبی قم (Furrer and Soder, 1955) و در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری باختر شهر قم قرار گرفته است. از نظر زمین‌شناسی این حوضه بخشی از پهنه ایران مرکزی (Stöcklin, 1968) به شمار می‌رود (شکل ۱). گستره مورد بررسی در شمال باختر گسل قم قرار گرفته است که از جمله گسل‌های با جنبش جوان امتدادلغز راست بر محسوب می‌شود (Babaahma- di et al., 2010, Allen et al., 2011) و بخشی از سامانه گسله قم-زفره (Berberian, 1976, Jamali et al., 2011) محسوب می‌شود.



شکل ۱- موقعیت گستره مورد مطالعه بر روی نقشه زمین‌ساخت ناحیه‌ای. DSF: گسل دهشیر؛ QF: گسل قم؛ IF: گسل ایندس؛ KF: گسل کوشک نصرت؛ SF: گسل سلطانیه؛ NTF: گسل شمال تبریز؛ RKF: گسل رباط کریم؛ MRF: گسل اصلی جوان زاگرس؛ MZT: راندگی اصلی زاگرس

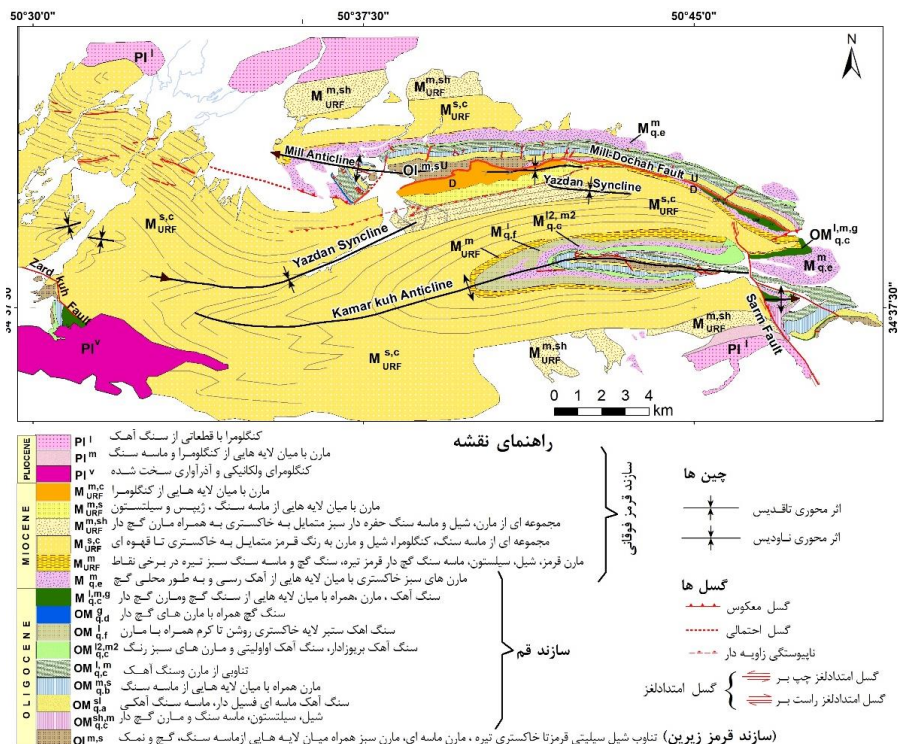
ساختارهای قابل توجه در این منطقه تاقدیس‌ها و ناودیس‌های بزرگ مقیاس می‌باشد. از مهمترین ساختارهای این محدوده می‌توان به تاقدیس میل اشاره کرد که در کنار تاقدیس کمرکوه، دو تاقدیس بزرگ منطقه محسوب می‌شوند و در بین آنها ناودیس یزدان قرار گرفته است. گسل میل-دوچاه (نوگل سادات، ۱۳۶۴) و گسل سرم (Baba Ahmadi et al.,

۲- روش تحقیق

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ قم گسل‌های اصلی در منطقه مشخص شده، و پس از برداشت‌های صحرایی از این ساختارها، نقشه زمین‌شناسی گستره تهیه شده است (شکل ۲). داده‌های ساختاری مورد استفاده در این تحقیق داده‌های سطوح گسله و خش‌لغزهای مربوطه در ایستگاههای مختلف برداشت شده است، به گونه‌ای که ضمن ایجاد پراکندگی مناسب از برداشت‌ها، از گسل‌های دارای راستا و جنبش مختلف اطلاعات بدست آید. در تعیین جنبش گسل‌ها از خش‌لغزها به عنوان نشانگرهای سوی لغزش (Doblas, 1998) استفاده شده است. همچنین در راستای یک برش، با برداشت اطلاعات ساختاری و تفکیک واحدهای سنگ-چینه‌ای، مقطع زمین‌شناسی تهیه شده است. به شواهد تأثیرات زمین‌ساخت در رسوبگذاری، سازندها توجه شده است. این شواهد شامل ناپوستگی زاویه‌دار و گسل‌های نرمال همزمان با رسوبگذاری در گستره مورد مطالعه قابل برداشت بوده‌اند. در نهایت با استفاده از داده‌های ساختاری به دست آمده و با به کار بردن مدل‌های ساختاری، تحلیل جنبشی گستره مورد مطالعه انجام گرفته است.

(Hessami and Jamali, 2006) و در لرزه خیزی (Nilforoushan et al., 2003; Vernant et al., 2004) نمایان است. از سوی دیگر در سال‌های اخیر پس از نتایجی که در خصوص خمش کوهزاد البرز (Hollingsworth et al., 2008, Mat-) و حرکت به سمت باختر بلوک خزر جنوبی بدست آمده است، اثرات جنبش‌های البرز بر روی گسل‌های ایران مرکزی مورد بحث قرار گرفته است. وارونگی جنبشی از جمله بحث‌های اخیر بوده است، ولیکن بین نتایج تفاوت وجود دارد. بدین ترتیب که در شمال گستره مورد مطالعه، مهرابیان و همکاران (۱۳۹۸) وارونگی جنبشی در راستای گسل رباط کریم را از جنبش امتدادلغز چپ‌بر به امتدادلغز راست‌بر معرفی نموده‌اند و خداپرست و همکاران (Khodaparast et al., 2020) وارونگی جنبشی در گسل کوشک نصرت را به صورت تغییر از جنبش راست‌بر به چپ‌بر تفسیر نموده‌اند.

در این تحقیق از یافته‌های ساختاری و شواهد زمین‌ساخت-رسوبی و با استفاده از الگوهای شناخته شده ساختاری پهنه‌های امتدادلغز، مراحل تغییر شکل ایجاد شده در گستره مورد مطالعه در زمان نوژن مورد بحث قرار می‌گیرد.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه (برگرفته از زمانی پدرام و حسینی، ۱۳۷۸ با تغییرات)

قرمز فوقانی به سن میوسن-پلیوسن است که از تناوب مارن، ماسه سنگ، کنگلومرا با بین لایه‌هایی از سنگ گچ تشکیل شده است. در این سازند ۸ واحد سنگی تفکیک شده است (شکل ۲).

۴- ساختارهای زمین‌شناسی در گستره مورد

مطالعه

ساختارهای گستره مورد مطالعه شامل چین‌خوردگی و گسل‌های دارای جنبش مختلف است.

۴-۱- چین‌خوردگی‌ها

چین‌خوردگی‌ها از مشهودترین شواهد ساختاری در گستره مورد مطالعه هستند که از مهمترین آنها می‌توان به تاقدیس میل، ناودیس یزدان و تاقدیس کمرکوه اشاره کرد (شکل‌های ۲ و ۳).

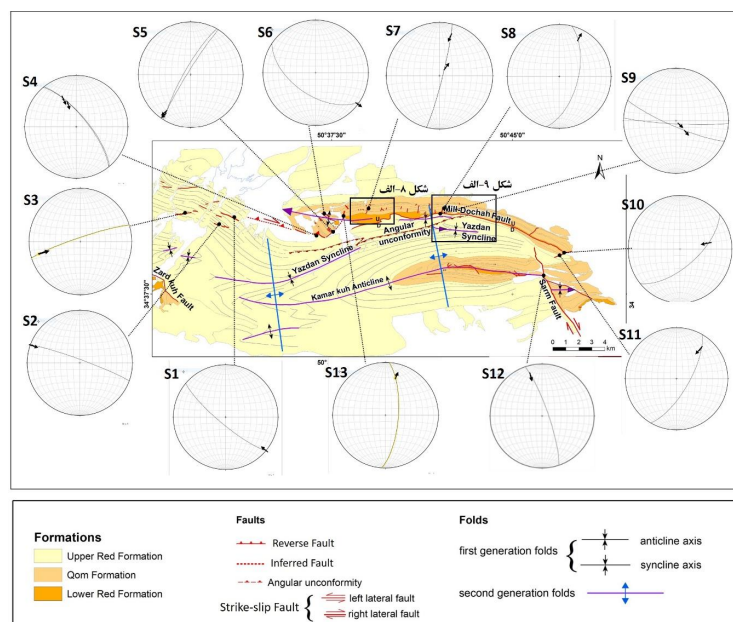
تاقدیس میل یک تاقدیس با میل دوسویه است که طول آن به حدود ۲۰ کیلومتر می‌رسد و واحدهای سنگی موجود در هسته‌ی آن خرد شده و لایه‌های سنگی در پهلوها و دماغه آن برگشته می‌باشند (شکل ۴). در جنوب این تاقدیس گسل میل-دوچاه با روند خاوری-باختری قرار دارد. تاقدیس کمرکوه نیز یک تاقدیس با امتداد خاوری-باختری و میل دوسویه است که پهلوهای جنوبی آن در بخش میانی برگشته است. ناودیس یزدان نیز یک چین‌خوردگی است که در قسمت جنوبی تاقدیس میل قرار دارد و محور آن به سمت شمال تحذب دارد و در بخش مرکزی در زیر یک سطح ناپیوستگی چین‌خورده قرار گرفته است.

۳- جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی گستره

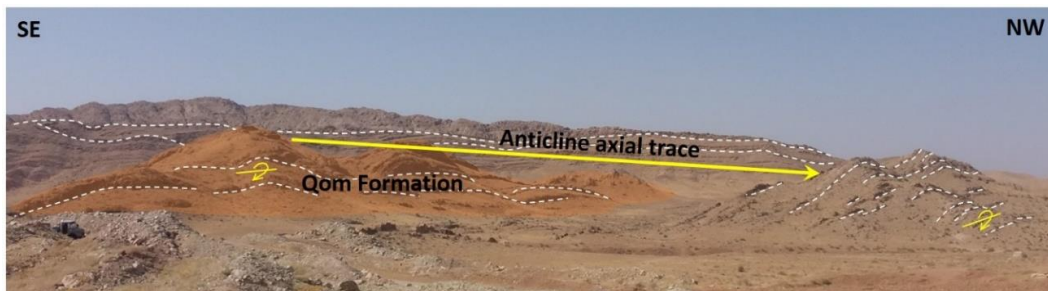
حوضه رسوبی قم در کرتاسه فوقانی به وجود آمده و رسوبات دوران سوم در آن نهشته شده است. این حوضه از یک چرخه متقارن اصلی که شامل رسوبات غیردریایی (سازند قرمز زیرین به سن الیگوسن)، رسوبات دریایی (سازند قم به سن میوسن) و رسوبات غیردریایی (سازند قرمز بالایی به سن میوسن بالایی) تشکیل شده است (ایران پناه، ۱۳۴۸).

شرایط رسوبگذاری و شکل حوضه رسوبی توسط گسل‌های پی‌سنگی موجود در منطقه کنترل شده است. رژیم تراکشی که در اولیگومیوسن اتفاق افتاده به صورت تغییرات ضخامت و رخساره در سازند قرمز پایینی و سازند قم در اثر جابجایی نرمال بلوک‌ها نمود یافته است (Morley et al., 2009).

قدیمی‌ترین سازند رخنمون یافته در گستره مورد مطالعه سازند قرمز زیرین به سن الیگومیوسن است (شکل ۲) که از تناوب شیل سیلتی قرمز تا خاکستری تیره، مارن و میان‌لایه‌هایی از گچ و نمک تشکیل شده است. بر روی این سازند به طور پیوسته سازند قم به سن الیگو-میوسن قرار گرفته است که از تناوب شیل، مارن، سنگ آهک، ماسه‌سنگ تشکیل شده که در مقاطعی دارای بین‌لایه‌هایی از سنگ گچ و مارن گچ‌دار هستند (شکل ۲). در گستره مورد مطالعه تعداد ۹ واحد سنگ‌چینه‌شناسی در سازند قم تفکیک شده است (شکل ۲). جدیدترین سازند گستره سازند



شکل ۳. تصاویر استریوگرافیک گسل‌ها در ایستگاه‌های (S1 تا S7) بر روی نقشه زمین‌شناسی ساده شده.



شکل ۴. نمایی از دماغه باختری تاقدیس میل. سازند قم در هسته تاقدیس و سازند قرمز فوقانی در پهلوهای چین قابل مشاهده هستند. لایه‌های برگشته با علایم زرد رنگ نشان داده شده اند

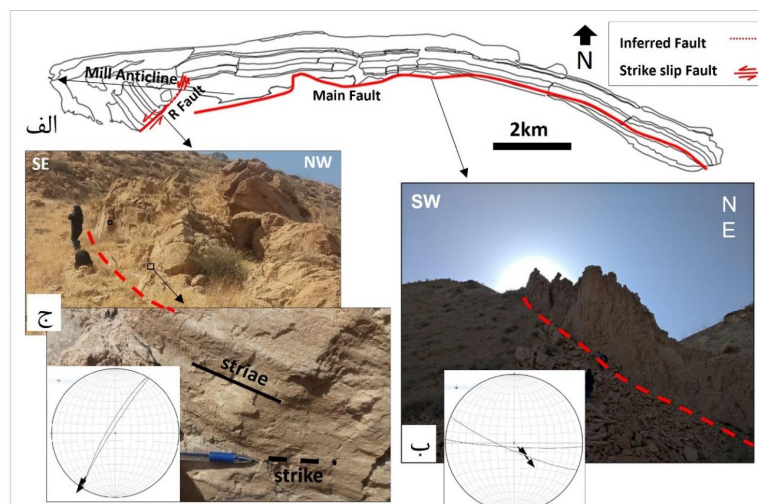
جهت شیب به سمت شمال عوض می شود (Morley et al., 2009)، لذا جابجایی نرمال در سطح، در اصل به واسطه بالا آمدن بلوک شمالی در اثر مولفه معکوس عمقی گسل ایجاد شده است.

یک گسل فرعی مرتبط با گسل میل-دوچاه نیز در گستره برداشت شده (شکل ۵) که در جنوب (ایستگاه S5 و شکل ۳ و ۵)، دارای امتداد شمال خاور-جنوب باختر بوده و در شمال دارای امتداد شمال-شمال باختر است (ایستگاه S13 در شکل ۳)، استنباط می شود که این گسل فرعی R ریدل مرتبط با گسل میل-دوچاه باشد. گسل میل-دوچاه در باختر و خاور توسط گسل‌های دیگر قطع می شود که به عنوان گسل‌های متاخر در بخش بعد مورد بحث قرار می گیرند (ایستگاه‌های S4 و S10 در شکل ۳).

انحنای اثر محوری چین خوردگی‌های این گستره قابل توجه است که در این تحقیق به صورت چین خوردگی‌های متأخر (second generation folds) (شکل ۳) با روند شمال-شمال باختر معرفی می شوند.

۲-۴- گسل میل - دوچاه

مهمترین گسل در گستره، گسل میل-دوچاه است. گسل میل-دوچاه در خاور گستره دارای امتداد شمال باختر-جنوب خاور بوده و بر اثر چین خوردگی متأخر چین خورده است. در پهنه گسله این گسل دو نوع جابجایی به صورت شیب لغز با بلوک شمالی بالا آمده و مورب لغز چپ بر-نرمال اندازه گیری شده است (ایستگاه S6 در شکل ۲؛ شکل ۳). با توجه به مقاطع لرزه نگاری بازتابی شیب گسل میل دوچاه در بخش‌های سطحی به سمت جنوب است و در عمق



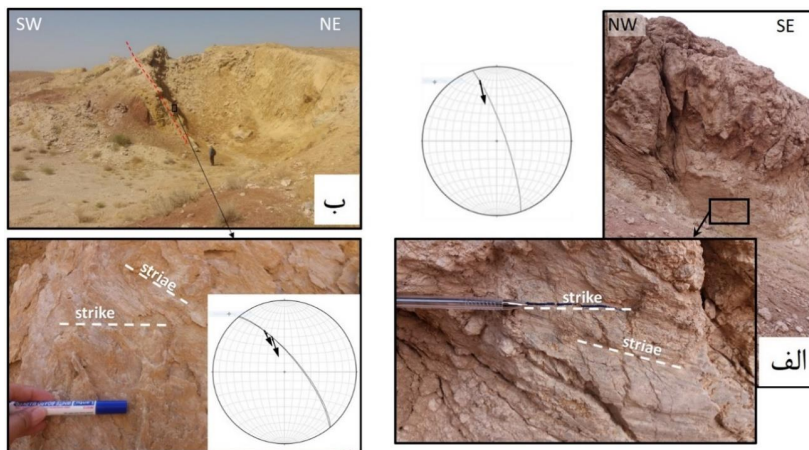
شکل ۵. الف) وضعیت گسل میل-دوچاه و گسل فرعی مرتبط با آن؛ ب) رخنمون گسل میل-دوچاه (ایستگاه S6 در شکل ۳؛ ب) جابجایی امتداد لغز چپ بر در گسل فرعی ریدل (R) مرتبط با گسل (ایستگاه S1 در شکل ۳).

هستند. این گسل‌ها با نام گسل‌های متأخر نامگذاری شده اند. این گسل‌ها در سه دسته قرار می گیرند که عبارتند از:

۳-۴- گسل‌های متأخر

پاره ای از گسل‌های گستره اثراتی از قبیل بریدن ساختارهای دیگر از قبیل گسل‌ها و چین خوردگی‌ها

شده است (شکل ۳ و ۶-الف). این گسل‌ها در شمال باختر گستره نیز برداشت شده‌اند که به گسل میل-دوچاه ختم می‌شوند (شکل ۶-ب و ایستگاههای S1 و S2 و S4 در شکل ۳).



شکل ۶- گسل‌های امتدادلغز راست‌بر با مولفه معکوس در الف) گسل سرم در جنوب خاور گستره (ایستگاه S12 در شکل ۳) و ب) در شمال باختر گستره (ایستگاه S4 در شکل ۳).

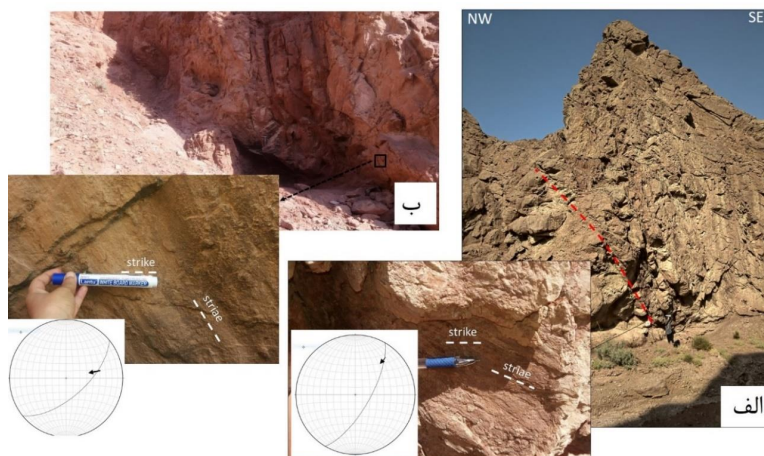
۱-۳-۴- گسل‌های راست‌بر

این گسل‌ها دارای امتداد شمال-شمال باختر تا شمال‌باختر هستند و دارای مولفه شیب‌لغز می‌باشند. شناخته شده ترین گسل از این نوع، گسل سرم است که سبب جابجایی دماغه خاوری تاقدیس کمرکوه

شکل ۳؛ این گسل‌ها گسل میل را در جنوب خاور بریده‌اند.

۲-۳-۴- گسل‌های معکوس

این گسل‌ها دارای امتداد شمال خاور-جنوب باختر بوده و مولفه‌ای از امتدادلغز نیز دارند (ایستگاههای S10 و S11 در



شکل ۷- الف) گسل معکوس با مولفه امتدادلغز راست‌بر ایستگاه S7 (شکل ۳). ب) جابجایی امتدادلغز راست‌بر با مولفه معکوس (ایستگاه S5 در شکل ۳۲)

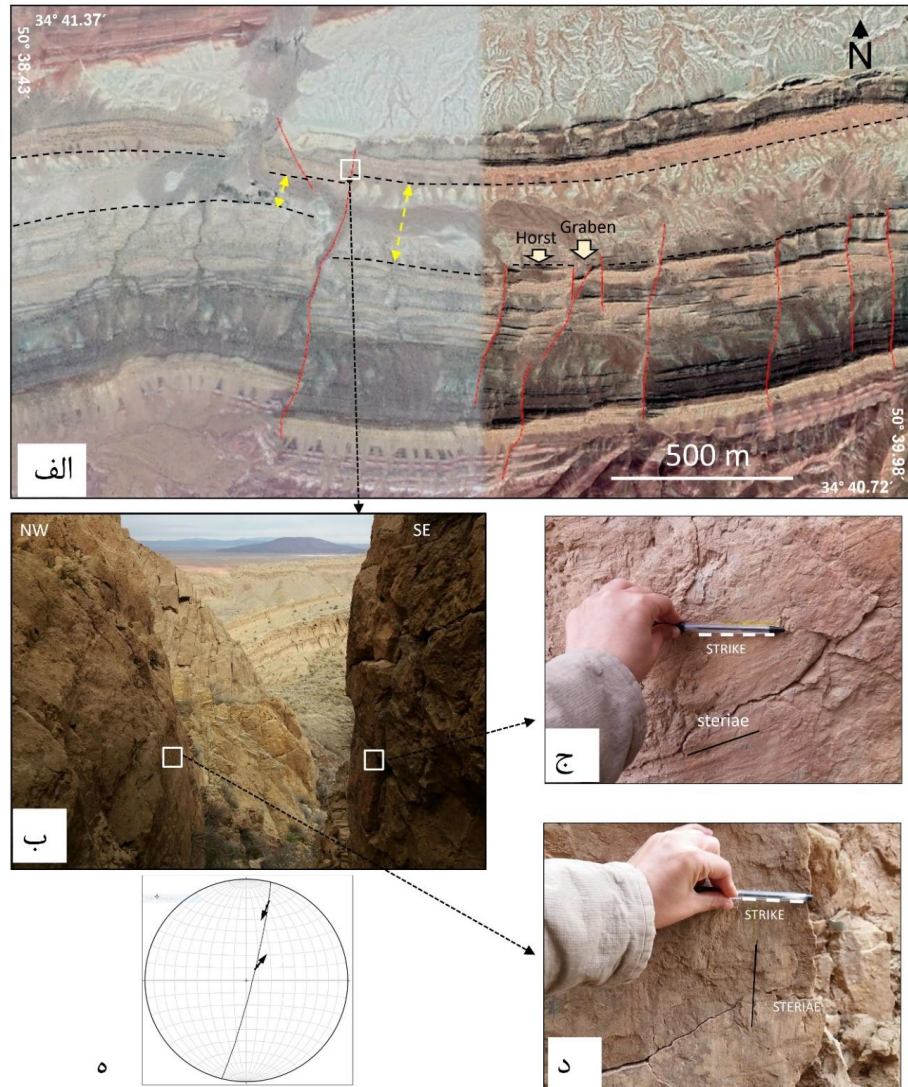
مشخصی از لایه‌های رسوبی سازند قم قابل مشاهده است (شکل ۸-الف) که نشان دهنده این است که این گسل‌ها در زمان رسوبگذاری فعال بوده‌اند. لذا با در نظر گرفتن جدایش امتدادی لایه‌های سنگی، در صورتی که گسل‌ها را در زمان افقی بودن لایه‌ها در نظر بگیریم، این گسل‌ها در زمان رسوبگذاری دارای جابجایی شیب‌لغز (نرمال) بوده‌اند. این مطلب پس

۴-۴- گسل‌های نرمال همزمان با رسوبگذاری

در پهلوی شمالی تاقدیس میل و در بخش‌های سازند قم گسل‌های فراوانی با راستای شمال شمال‌خاور دیده می‌شوند (شکل ۸-الف). در دو سوی این گسل‌ها جدایش امتدادی لایه‌های سنگی هم به صورت راست‌بر و هم به صورت چپ‌بر قابل مشاهده است (شکل ۸-الف). در مواردی در دو سوی گسل تغییر ضخامت

گسل در زمان رسوبگذاری است، خش لغز نرمال نیز قابل مشاهده است که می تواند نشان حرکت جوانتر این گسل باشد (شکل ۸-ب).

از توضیح رخ داده‌های زمین ساختی در بخش ۵ مورد بحث قرار می گیرد. در ایستگاه S5 علاوه بر خش لغز امتدادلغز که طبق تفسیر فوق نشان از جابجایی نرمال

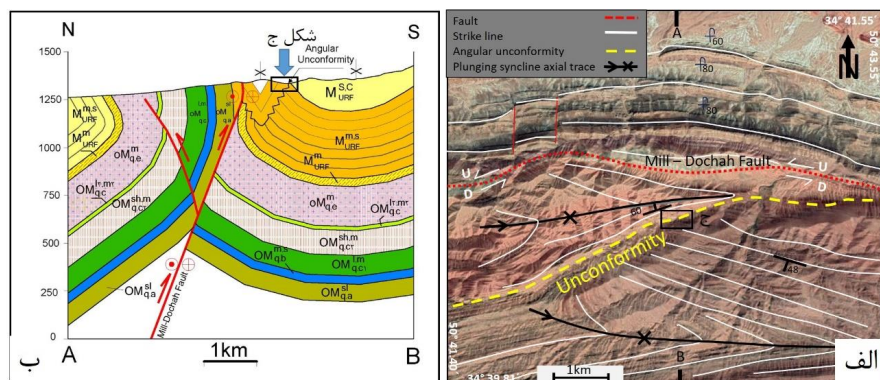


شکل ۸- الف) گسل های نرمال اولیه در سازند قم که به دلیل پر شیب شدن لایه‌های سنگی با جدایش امتدادی در تصویر ماهواره‌ای قابل شناسایی است. تغییراتی از قبیل تغییر ضخامت لایه‌های سنگی در دو سوی گسل (فلش های زرد رنگ) و ساختارهای فرازمین (Horst) و فروزمین (Graben) قابل مشاهده است. ب) رخنمون گسل دارای دو نوع جابجایی مختلف به صورت چ) جابجایی امتدادلغز راست بر (نرمال اولیه)؛ د) جابجایی نرمال ثانویه. ه) تصویر استریوگرافیک نشان دهنده این دو نوع حرکت گسل است.

میوسن فوقانی) و بعد از رسوبگذاری سازند قم رخ داده است. لایه‌های زیر سطح ناپیوستگی جهت شیبی به سمت جنوب-جنوب باختر دارند و پهلوی شمالی یک ناودیس محسوب می شوند (شکل ۹) و لایه‌های بالای سطح ناپیوستگی نیز هم شیب با این سطح هستند و در مراحل بعدی دچار چین خوردگی به صورت ناودیس شده‌اند.

۴-۵- ناپیوستگی

در جنوب تاقدیس میل و در محلی که در مطالعات قبلی (Morley et al., 2009)؛ نوگل سادات (۱۳۶۴) و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (زمانی پدرام، ۱۳۷۰) به عنوان گسل یزدان مشخص شده است، گسلش دیده نمی شود و به جای آن یک ناپیوستگی زاویه دار با قاعده‌ای از جنس کنگلومرا وجود دارد. این ناپیوستگی در زمان تشکیل سازند قرمز فوقانی



شکل ۹. الف) موقعیت سطح ناپوستگی در سطح زمین (خطوط زرد رنگ سطح ناپوستگی)؛ ب) نیم‌رخ زمین‌شناسی از محدوده ناپوستگی در جهت A-B؛ ج) موقعیت سطح ناپوستگی در تصویر ماهواره‌ای نقاط A و B موقعیت ابتدا و انتهای برش زمین‌شناسی ارائه شده در شکل الف هستند.

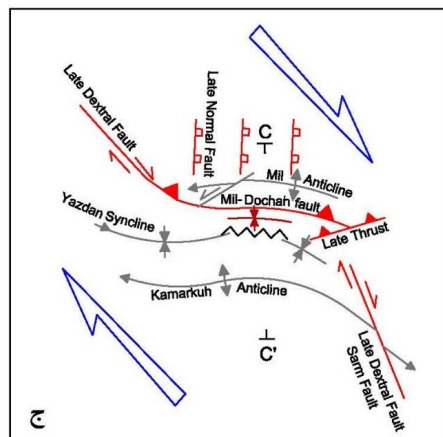
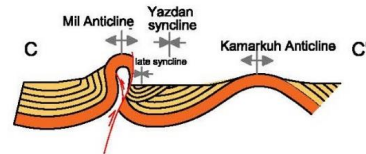
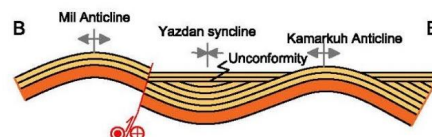
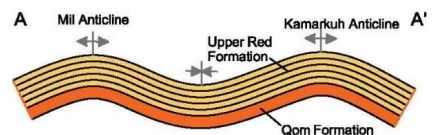
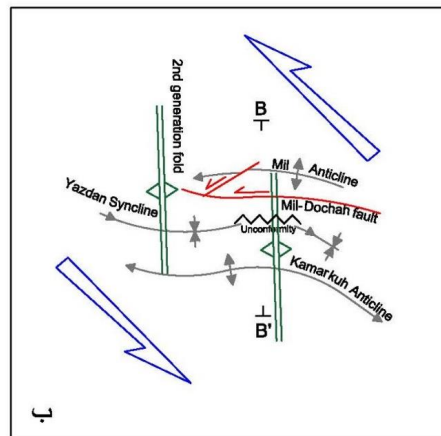
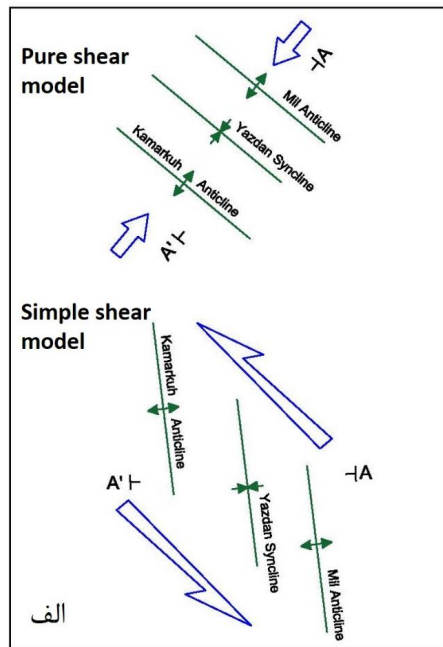
می‌تواند در تطابق با فشارش خاوری-باختری حاصل از جابجایی راستالغز چپ‌بر برای پهنه گسله قم باشد. با این تفسیر می‌توان تاقدیس میل و تاقدیس یزدان و تاقدیس کمرکوه را حاصل جابجایی امتدادلغز چپ‌بر پهنه گسله قم دانست (مدل برش ساده در شکل ۱۰-الف). محور چین‌های نسل دوم که سبب انحنای اثر محوری چین‌ها و گسل میل-دوچاه شده‌اند، با راستای شمال تا شمال‌شمال خاور نیز با جنبش امتدادلغز چپ‌بر در راستای پهنه گسله سازگاری دارند. وجود سطح ناپوستگی در سازند قرمز بالایی، نشان‌دهنده عملکرد چین‌خوردگی و در نتیجه جنبش امتدادلغز چپ‌بر پهنه گسله در زمان رسوبگذاری این سازند (میوسن پایانی) است. دیگر گسل‌های موجود در گستره شامل گسل‌های نرمال دارای راستای شمال تا شمال‌شمال خاور (حاصل حرکت مجدد گسل‌های نرمال اولیه) گسل‌های امتدادلغز راست‌بر دارای امتداد شمال‌باختر-جنوب خاور و شمال‌باختر-جنوب خاور و گسل‌های معکوس دارای راستای خاور شمال خاور با جنبش راستالغز راست‌بر پهنه گسله قم سازگاری دارند (شکل ۱۰-ج). جنبش معکوس گسل

۵- بحث

وجود ساختارهای فشارشی و کششی و امتدادلغز در کنار یکدیگر می‌تواند به عنوان شاهدهی برای عملکرد دگرشکلی امتدادلغز در یک پهنه گسله هم‌راستا با گسل قم باشد. شاهدهی از قبیل وجود دو نوع حرکت مختلف در راستای گسل میل-دوچاه (شکل ۵) و دو نوع خش‌لغز بر روی گسل‌های نرمال قدیمی (شکل ۸) به عنوان شاهدهی برای تغییر الگوی جنبشی پهنه مورد نظر تلقی می‌شود. ایجاد چین‌های اولیه نظیر تاقدیس‌های میل و کمرکوه و ناودیس میل هم‌با مدل برش محض و هم‌برش ساده قابل توجیه است (شکل ۱۰-الف). ولیکن با در نظر گرفتن راستای شمال-شمال‌خاور گسل‌های نرمال اولیه در سازند قرمز فوقانی در پهلوی شمالی تاقدیس میل، با توجه به راستای اولیه باختر-شمال‌باختر این گسل‌ها (Morely et al., 2009) می‌توان استنباط نمود که تاقدیس میل دارای راستای اولیه شمال-جنوب بوده است و سپس چرخیده است و به وضعیت نزدیک به وضعیت کنونی در آمده است. با توجه به راستای شمال‌باختر-جنوب خاور پهنه گسله قم، راستای شمال-جنوب تاقدیس میل

امتدادلغز راست‌بر و امتدادلغز چپ‌بر در پهنه گسله قم وجود داشته است.

میل نیز با حرکت امتدادلغز راست بر پهنه گسله قم سازگار است. با توضیحات فوق مشخص می‌شود که از دیدگاه جنبشی، دو مرحله دگرشکلی به صورت



شکل ۱۰. مراحل دگرشکلی رخ داده در گستره مورد مطالعه (الف) ایجاد چین‌های اصلی گستره در اثر مرحله اول دگرشکلی در اثر برش محض (Pure shear) یا برش ساده (Simple shear) حرکت امتدادلغز چپ‌بر؛ (ب) چرخش محور چین‌ها، ایجاد گسل میل-دوچاه سپس چین‌خوردگی ثانویه تمامی ساختارها در اثر مرحله اول دگرشکلی با حرکت امتدادلغز چپ‌بر؛ (ج) ایجاد گسله‌های امتدادلغز راست‌بر، حرکت مجدد گسل میل-دوچاه به صورت معکوس، ایجاد گسل معکوس متاخر، چین‌خوردن لایه‌های روی سطح دگرشکلی زاویه‌دار و حرکت مجدد گسل‌های نرمال در اثر مرحله دوم دگرشکلی با حرکت امتدادلغز راست‌بر؛ مقاطع زمین‌شناسی شماتیک A-A', B-B' و C-C' به ترتیب از شکل‌های الف تا ج زده شده‌اند.

در سازند قرمز فوقانی نشان‌دهنده این است که فرایند چین‌خوردگی در زمان رسوبگذاری این سازند (میوسن فوقانی) رخ داده است. مرحله دوم دگرشکلی در اثر تغییر جنبش پهنه امتدادلغز به راست‌بر ایجاد شده است (شکل ۱۰-ج). در این مرحله گسلش متاخر امتدادلغز راست‌بر در شمال باختر و جنوب‌خاور گستره ایجاد شده است و تاثیر وضعیت پلکانی (Stepover) بین

در مرحله اول دگرشکلی سبب تشکیل چین‌های گستره (شکل ۱۰-الف)، چرخش چین‌ها و ایجاد گسل میل-دوچاه رخ داده است. در ادامه این مرحله چین‌های گستره و گسل میل-دوچاه دچار چین‌خوردگی ثانویه شده‌اند که راستایی شمال-جنوبی دارد (شکل ۱۰-ب). استنباط می‌شود که این وقایع در اثر حرکت امتدادلغز چپ‌بر پهنه گسله رخ داده باشند. وجود ناپیوستگی زاویه‌دار

Event	Stereonet
الف	
ب	
ج	
د	
ه	

شکل ۱۱- مدل پیشنهادی از مراحل ایجاد، چرخش و جنبش مجدد گسل‌های نرمال اولیه؛ الف) ایجاد گسل‌های نرمال اولیه با راستای باختر شمال باختر؛ ب) چین‌خوردن لایه‌های سنگی در پهلوهای تاقدیس میل و چرخش گسل‌های اولیه؛ ج) چرخش تاقدیس میل به صورت پادساعتگرد به همراه گسل‌های نرمال؛ د) برگشته شدن پهلوهای تاقدیس میل و چرخش گسل‌ها که سبب بوجود آمدن جابجایی امتداد لغز آنها شده است؛ ه) حرکت متاخر نرمال گسل‌ها به صورت نرمال (فلش قرمز رنگ روی استریونت جهت حرکت متاخر نرمال را نشان می‌دهد و فلش خاکستری نشان دهنده جهت حرکت اولیه گسل است). مراحل «الف» تا «ج» مرتبط با حرکت امتداد لغز چپ‌بر پهنه اصلی و مرحله «د» و «ه» مربوط به حرکت امتداد لغز راست‌بر پهنه اصلی هستند؛ توضیح: دوایر توپیر قطب سطح گسله هستند. گسل و خش لغز مربوطه، در زمان جنبش با رنگ قرمز و در مراحل چرخش با رنگ خاکستری نمایش داده شده‌اند. در هر مرحله دایره عظیمه گسل قبل و بعد از لغزش با خط چین و خط توپیر نشان داده شده است و قطب آنها نیز نمایش داده شده‌اند. فلش‌های سیاه چرخش پل صفحات گسله را نشان می‌دهند. MAA محور تاقدیس میل است.

آنها سبب حرکت معکوس بر روی گسل میل-دوچاه و بالا آمدگی تاقدیس میل و برگشتگی تمامی پهلوهای آن در زمان بالا آمدگی (pop up) شده است. چین خوردگی به صورت ایجاد ناودیس در رسوبات رویی ناپیوستگی در فرود یواره تاقدیس میل دیده می‌شود (Late syn-cline در شکل ۱۰-ج). سن این رخداد به بازه زمانی بعد از میوسن باز می‌گردد.

با در نظر گرفتن وقایع زمین‌ساختی و چرخش ساختارها می‌توان در خصوص تاثیر تغییرات جنبش و چرخش ساختارها بر چرخش گسل‌های نرمال و حرکت مجدد آنها اظهار نظر نمود (شکل ۱۱). در وضعیت کنونی امتداد گسل‌های نرمال دارای امتداد شمال شمال خاور هستند و اثر محوری تاقدیس میل خاوری-باختری است، لذا گسل‌ها راستایی با زاویه حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه نسبت به اثر محوری تاقدیس میل دارند. با توجه به اینکه بر اساس زمین‌ساخت ناحیه‌ای، گسل‌های نرمال در زمان تشکیل قاعدتا باید راستای باختر شمال باختر-خاور جنوب خاور داشته باشند (Morley et al., 2009)، می‌توان برای وقایع رخ داده بر روی این گسل‌ها یک سناریوی محتمل در نظر گرفت (شکل ۱۰). مطابق این سناریو، گسل‌های نرمال با راستای شمال باختر-جنوب خاور قبل از چین خوردگی وجود داشته‌اند (شکل ۱۰-الف). سپس با تشکیل تاقدیس میل با محوری با روند شمال شمال باختر، گسل‌های نرمال همساز با لایه‌های پهلوئی خاوری چین چرخیده‌اند (شکل ۱۰-ب)، پس از آن با چرخش پادساعتگرد محور تاقدیس، این گسل‌ها نیز دچار چرخش شده‌اند (شکل ۱۰-ج). در ادامه در اثر برگشته شدن پهلوهای تاقدیس، این گسل‌ها به وضعیت کنونی خود در آمده‌اند و خش لغزهای امتداد لغز قابل مشاهده بر روی آنها در واقع همان خش لغزهای نرمال در زمان تشکیل است (شکل ۱۰-د). رخداد نهایی بر روی گسل‌ها جنبش نرمال است که به واسطه جنبش امتداد لغز راست بر پهنه گسله ایجاد شده است (شکل ۱۰-ه).



شهر قم در اثر یک پهنه امتدادلغز که ادامه شمال باختری گسل قم محسوب می شود رخ داده است. - ارتباط ساختاری و هندسی عناصر ساختارهای منطقه مورد بررسی وجود دو مرحله دگرشکلی امتدادلغز در پهنه مذکور قابل استنباط است. مرحله اول دگرشکلی به صورت یک دگرشکلی امتدادلغز چپ بر پیش رونده سبب تشکیل چین های اصلی گستره و چرخش آنها، تشکیل گسل میل-دوچاه و در نهایت چین خوردگی عناصر ساختاری شده است. در مرحله دوم گسل های امتدادلغز راست بر در شمال باختر و جنوب خاور گستره تشکیل شده و در پهنه فشارشی مابین آنها گسل میل-دوچاه به صورت معکوس حرکت نموده است. این جنبش علت تغییر شکل شدید تاقدیس میل و برگشته شدن پهلوه های آن بوده است. همچنین گسل های نرمال اولیه در زمان رسوبگذاری در این مرحله در وضعیتی قرار گرفته اند که بر روی آنها جنبش با مولفه غالب نرمال رخ داده است.

- وجود یک ناپیوستگی زاویه دار درون سازندی در توالی های رسوبی سازند قرمز فوقانی کلید تعیین سن رخدادهای ساختاری در گستره است. تشکیل ناپیوستگی نشان دهنده همزمانی چین خوردگی و رسوبگذاری است و نشان از این است که مرحله اول دگرشکلی در زمان رسوبگذاری سازند قرمز فوقانی (میوسن بالایی) رخ داده است. سطح ناپیوستگی در فرودیهواره گسل میل دچار چین خوردگی به صورت ناودیس شده است که نشان از حرکت گسل میل-دوچاه به صورت معکوس است که در مرحله دوم دگرشکلی رخ داده است.

- سن جنبش امتدادلغز چپ بر میوسن بالایی (زمان رسوبگذاری سازند قرمز بالایی) است. جابجایی امتدادلغز راست بر متاخر بوده و با توجه به رخدادهای زمین ساخت ناحیه ای، احتمالاً از پلیوسن آغاز شده است.

منابع

افلاکی، م. شبانیان، ا. داودی، ز.، ۱۳۹۶، شواهد دگرریختی برآمده از تنش دیرین پلیو-کواترنری در حوضه رسوبی ماهنشان-میانه (شمال باختر ایران)، فصل نامه علوم و مهندسی زلزله، دوره ۴، شماره ۴، ص ۲۹-۴۲.
ایران پناه، ا.، ۱۳۴۸، مطالعه تشکیلات حوضه رسوبی قم،

وجود ناپیوستگی در واحدهای میوسن، سن چین خوردگی آنها را به میوسن مرتبط می کند که همساز با مطالعات افلاکی و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه رسوبی ماهنشان-میانه می باشد. همچنین تغییر جنبش از امتدادلغز چپ بر به راست بر در گستره واقع در شمال گستره مورد مطالعه و در راستای پهنه گسله رباط کریم توسط مهراییان و همکاران (۱۳۹۸) تعیین شده است. در پهنه گسله رباط کریم نیز شواهد رسوبگذاری همزمان با حرکت امتدادلغز چپ بر در رسوبات میوسن پسین و حرکت امتدادلغز راست بر متاخر (پلیوسن به بعد) پیشنهاد شده است (مهراییان و همکاران، ۱۳۹۸) که با نتایج این تحقیق سازگار است.

از دیدگاه زمین ساخت ناحیه ای، حرکات امتدادلغز راست بر جوان گسل قم همسو با راستای گسل های دارای امتداد شمال باختر-جنوب خاور در ایران مرکزی (نظیر گسل های دهشیر-بافت، کوشک نصرت، سلطانیه، گسل شمال تبریز) و مرز آن با زاگرس (نظیر گسل اصلی جوان زاگرس) قابل ملاحظه است. عامل اصلی جنبش امتدادلغز در راستای این گسل ها همگرایی مایل ورقه عربی نسبت به ایران پس از برخورد است (Talebian and Jackson, 2002; Allen et al., 2004; Sadeghi and Yassaghi, 2016). لیکن حرکات امتدادلغز در راستای گسل های شمال باختر ایران مرکزی عمدتاً پس از بسته شدن اقیانوس بین ورقه افغان و هند (Treloar & Izatt 1993) در بازه زمانی ۵ تا ۲ میلیون سال قبل (پلیوسن) رخ داده اند که به فرار ورقه آناتولی شمالی به سمت غرب (McClusky et al. 2000) منجر شده است. توجیه اینکه چه عاملی در ایجاد جنبش امتدادلغز چپ بر در پهنه گسله قم اثرگذار بوده است را می تواند در وقایع رخ داده در البرز جستجو کرد. خمش کوهزاد البرز رخداد زمین ساختی میوسن البرز است (Mattei et al. 2019) که می تواند سبب لغزش بلوک ها به صورت چپ بر در کنار یکدیگر در البرز باختری شده و در بخش های شمالی ایران مرکزی سبب حرکت چپ بر پهنه های گسلی شده باشد.

۶- نتیجه گیری

بر اساس داده ها و تحلیل جنبشی انجام شده گستره مورد مطالعه نتایج زیر را می تون بیان نمود.
- دگرشکلی های رخ داده در پهنه رسوبی قم در باختر



Rome sect. I/A/5, 267-277.

Hessami, K., Jamali, F., 2006. Explanatory Notes to the Map of Major Active Faults of Iran, JSEE: Vol. 8, No. 1 / 1.

Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Nazari, H., 2008., Extrusion tectonics and subduction in the easter South Caspian region since 10 Ma. *Geology*, 36, 763–766. doi:10.1130/G25008A.1.

Jamali, F, Hessami, K., Ghorashi, M. 2011. Active tectonics and strain partitioning along dextral fault system in Central Iran: Analysis of geomorphological observations and geophysical data in the Kashan region. *Journal of Asian Earth Sciences* 40 (2011) 1015–1025.

Khodaparašt, S., Madanipour, S., Nozaem, R., Hessami, K., 2020. Structural evidence on strike-slip Kinematic inversion of the Kushk-eNosrat Fault zone, Central Iran. *Geopersia*, 10, 195-209.

Mattei, M., Francesca, C., and Nozaem, R., 2019. Clockwise paleomagnetic rotations in northeastern Iran: Major implications on recent geodynamic evolution of outer sectors of the Arabia-Eurasia collision zone. *Gondwana Research*, 71, 194-209.

McClusky, S., Reilinger, R., Ogubazghi, G., Amleson, A., Healeb, B., Vernant, P., Sholan, J., Fisseha, F., Asfaw, L., Bendick, R., and Kogan, L. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *J. geophys. Res.*, 105, 5695–5719.

Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O. & Agard P., 2006- Evidence of Quaternary activity along the Deshir Fault: implication for the Tertiary tectonics of Central Iran, *Geophys. J. Int.*, 164, 192–201.

Morley, C., Kongwung, B., Julapour, A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D.,

نشریه دانشکده فنی تهران، دوره ۱۹، ص ۸۹–۷۹.

زمانی پدram، م؛ حسینی، ح. ۱۳۷۰، نقشه زمین شناسی قم، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مهراییان، ز؛ صادقی، ش؛ داودی، ز؛ اسمعیلی، ف.، ۱۳۹۸، شواهد ساختاری از تغییرات الگوی جنبشی پهنه گسله رباط کریم، سی و هشتمین گردهمایی علوم زمین.

نوگل سادات، م، ۱۳۶۴، منطقه‌های برشی و خمیدگی‌های ساختاری در ایران " گزارش شماره ۵۵، سازمان زمین شناسی کشور.

Allen, M.B., Jones, S., Ismail-Zadeh, A., Simmons, M., Anderson, L., 2002. Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian basin. *Geology* 30, 775–778.

Allen, M., Jackson, J., and Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia–Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates, *Tectonics*, 23, TC2008. doi:10.1029/2003TC001530.

Allen, M., Kheirkhah M., Emami, H., Jones., S.J., 2011. Dextral shear across Iran and kinematic change in the Arabia–Eurasia collision zone, *Geophysical Journal International*, 184, 555-574.

Babaahmadi, A, Safaei, H, Yassaghi, A., Vafac H., Naeimi A., Madanipour S., Ahmadi M., 2010. A study of Quaternary structures in the Qom region, West Central Iran, *Journal of Geodynamics* 50 (2010) 355–367. doi: 10.1016/j.jog.2010.04.006.

Berberian, M., 1976., Contribution to the seismotectonics of Iran (part II), Report No. 39, Geological Survey of Iran, 518p.

Doblas, M., 1998., Slickenside kinematic indicators, *Tectonophysics* 295, 187–197.

Furrer, M. A., and Soder, P. A. 1955. The Oligo-Miocene marine formation in the Qom region (central Iran), *Proc. 4th world petrol. Congress.*

Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., and Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom-Saveh area". *Geosphere*, 5, 325-362. doi: 10.1130/GES00223.1.

Nilforoushan, F., Vernant, P., Masson, F., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignières, M., Collard, P. and

.Stöcklin, J., 1968. Structural History and Tectonics of Iran: A Review, *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 52 (7), 1229-1258.

Sadeghi, S., Yassaghi, A., 2016., Spatial evolution of Zagros collision zone in Kurdistan, NW Iran: Constraints on Arabia-Eurasia oblique convergence, *Solid Earth*, 7(2):659-72.

Talebian, M., and Jackson, J., 2002. Offset on the main recent fault of NW Iran and implications on the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone, *Geophys. J. Int.*, 150, 422-439.

Treloar, P.J. & Izatt, C.N., 1993. Tectonics of the Himalayan collision between the Indian Plate and the Afghan Block: a synthesis, *Geol. Soc. Lond. Spec. Pub.*, 74, 69-87.

Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ghafory-Ashtiany, M., Bayer, R., Tavakoli, F. & Chéry, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.*, 157, 381 – 398.