

برش‌های ترازمند و برآورد میزان کوتاه‌شدگی در افیولیت ملانژ شمال مکران، جنوب شرقی ایران

عزیزالله تاج‌ور^(۱)، محمدمهدی خطیب^(۲) و محمدحسین زرین‌کوب^(۲)

۱. استادیار گروه اقیانوس‌شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

۲. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

چکیده

ویژگی‌های هندسی و جنبشی عناصر ساختاری مکران شمالی در پنج برش ساختاری اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. پس از آن به کمک برش‌های ترازمند، موازنه کردن برش‌ها و بازگرداندن ساختارها به حالت قبل از دگرشکلی، میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف گستره تعیین شده است. گسل‌های راندگی بشاگرد، درانار، آب‌نما، کوه بهارک و ورن‌چ با روند WNW-ESE و شیب بین ۲۰ تا ۳۵ درجه به سمت NNE، کنترل‌کننده‌های اصلی دگرشکلی در این پهنه بوده و عامل اصلی کوتاه‌شدگی هستند. موقعیت محور اصلی تنش به دست آمده بر اساس هندسه‌ی این گسل‌های راندگی برابر با N209/09 انطباق بسیار نزدیکی با محور فشردگی پدیدآورنده‌ی چین‌های پهنه داشته و نمایانگر آن است این ساختارها در نتیجه رژیم ساختمانی یکسانی شکل گرفته‌اند. تفاوت میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران نیز ارتباط مستقیمی با عملکرد گسل‌های راندگی دارد. به‌گونه‌ای که در بخش‌های غربی پهنه و در برش‌های ساختاری A-A'، B-B' و C-C' با توجه به عملکرد گسل‌های راندگی، میزان کوتاه‌شدگی به ترتیب برابر ۲۲/۶۶، ۲۲/۸۵ و ۱۴/۳۲ درصد است. در بخش‌های شرقی به سبب نبود گسل‌های راندگی و حضور بیشتر گسل‌های امتدادلغز، در برش‌های D-D' و E-E' میزان کوتاه‌شدگی به ترتیب به ۴/۵۲ و ۶/۶۷ درصد کاهش یافته است. ترازمند کردن برش‌های ساختاری و بازگرداندن ساختارها به مرحله‌های قبل از دگرشکلی نمایانگر پهنای باریک حوضه اقیانوسی اولیه در شمال مکران است.

واژه‌های کلیدی: افیولیت ملانژ شمال مکران، برش‌های ترازمند، کوتاه‌شدگی، گسل‌های راندگی.

مقدمه

اگر چه برهم‌کنش فرایندهای زمین‌ساختی در یک رژیم همگرا سبب ایجاد پیچیدگی‌های ساختاری در واحدهای سنگی مجموعه‌های افیولیتی شده و توالی منظم سنگ‌کره

اقیانوسی را تغییر می‌دهد. با این حال، با مطالعه‌ی برخی ساختارها و بازگرداندن آن‌ها به مراحل قبل از دگرشکلی، امکان برآورد میزان کوتاه‌شدگی و ارزیابی هندسه‌ی اولیه سنگ‌کره‌ی اقیانوسی وجود دارد (Almalki et al., 2016).

* نویسنده مرتبط: Tajvar@cmu.ac.ir

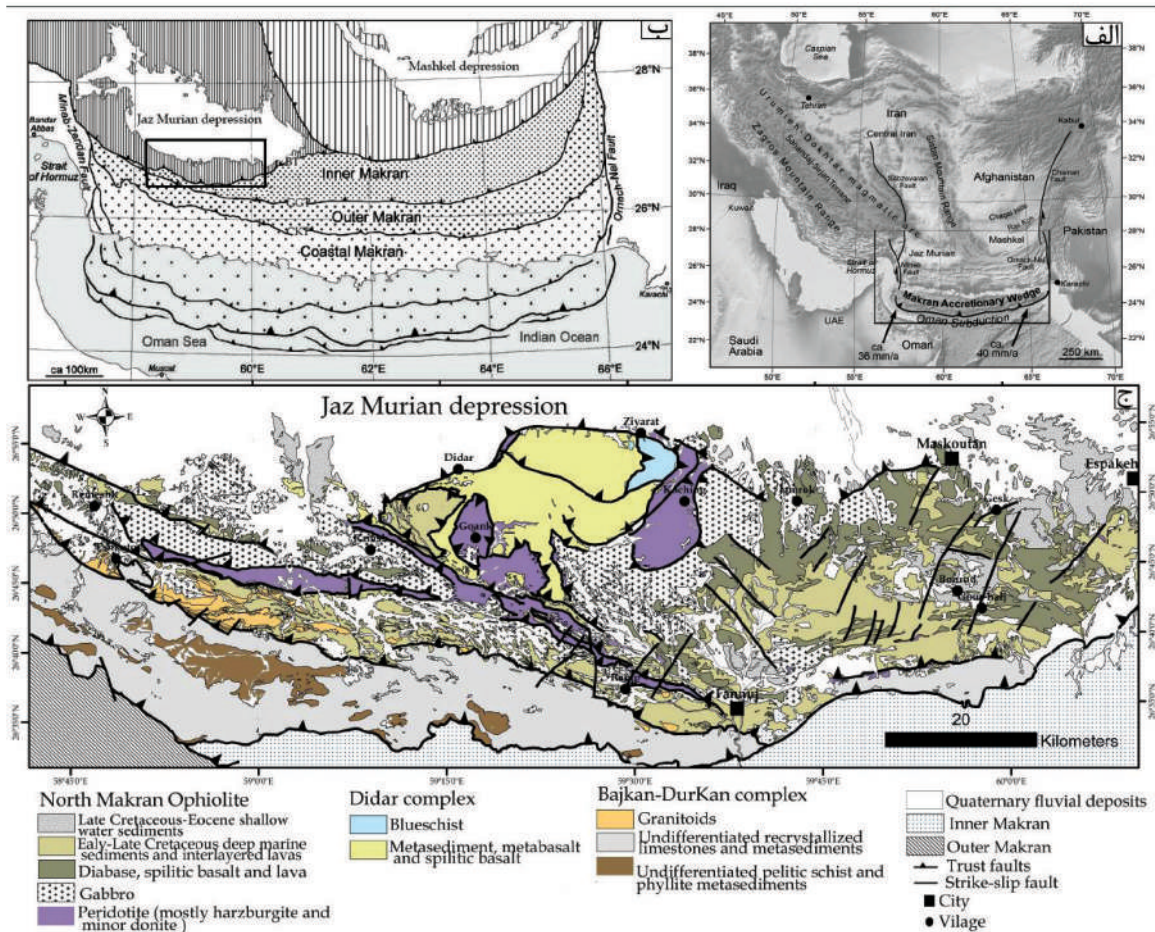
جایگاه زمین‌ساختی

منشور برافزایشی مکران از چهار واحد نکتونواستراتیگرافی اصلی تشکیل شده و به‌وسیله راندگی‌های بزرگ از هم جدا می‌شوند (Burg, 2019; Haghipour et al., 2012; Dolati, 2010) (شکل ۱-الف و ب)؛ این واحدها از جنوب به شمال عبارتند از: مکران ساحلی، مکران بیرونی، مکرانی درونی و مکران شمالی (Haghipour et al., 2012; Dolati, 2010) (شکل ۱-ب). مکران شمالی (گستره مورد مطالعه در این پژوهش) دارای قدیمی‌ترین سنگ‌های پهنه‌ی مکران است و از سه واحد اصلی تشکیل شده که از SSW به NNE عبارتند از: (تاج‌ور، 2010; Dolati, 2010; Hunziker, 2017) (شکل ۱-ج: ۱) مجموعه باجکان-دورکان، در بخش شمالی از سنگ‌های آذرین درونی حد واسط تا اسیدی به سن ژوراسیک میانی-پسین تشکیل شده (Hunziker et al., 2015) و در بخش جنوبی آن بیشتر سنگ آهک‌های تجدید تبلور یافته به همراه واحدهای دگرگونی تفکیک نشده به سن پرمین تا ژوراسیک حضور دارند (McCall et al., 1985). (۲) افیولیت ملانژ شمال مکران، یک توالی کامل افیولیتی شامل توده‌های الترامافیک که چندین توده نفوذی مافیک در آن‌ها نفوذ کرده و کل این مجموعه به‌وسیله گدازه‌های آتشفشانی و نهشته‌های ژرف دریایی پوشیده می‌شوند (تاج‌ور و همکاران، ۱۳۹۹). (۳) مجموعه دگرگونی دیدار شامل جریان‌های بازالتی، گدازه‌های بالشی، سیلت، مادستون و رسوباتی متحمل دگرگونی درجه پایین تا خیلی پایین شده و عدسی‌هایی از شیسست آبی در آن‌ها دیده می‌شود (Hunziker et al., 2017).

با وجود تفسیرهای متفاوت، منشاء و جایگاه زمین‌ساختی این مجموعه‌ی افیولیتی همچنان مبهم و مورد بحث است. با این حال، سه نظریه اصلی در مورد نحوه‌ی شکل‌گیری و خاستگاه زمین‌ساختی افیولیت ملانژ شمال مکران وجود دارد: الف) شکل‌گیری در یک حوضه جلوی کمان ماگمایی در یک حاشیه قاره‌ای پرتکاپو (Shahabpuor, 2010; Monsef et al., 2018; Moghadam and Stern, 2015) ب) مهاجرت ورقه‌ی اقیانوسی فرورونده از حاشیه‌ی

میزان کوتاه‌شدگی در مقیاس‌های مختلف زمین‌شناسی قابل اندازه‌گیری است. در مقیاس ناحیه‌ای به کمک برش‌های ترازمند، موازنه کردن برش‌ها و بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه، میزان کوتاه‌شدگی تعیین می‌شود (Fossen, 2010). هدف نهایی ترازمند سازی عبارت است از بازسازی یک مجموعه سنگ دگرریخت شده به حالت نخست و یا به وضعیت صحیح و تعیین توالی رخدادهای زمین‌شناسی که در گستره‌ی مورد مطالعه به وقوع پیوسته است. همچنین درک بهتر و دقیق‌تر از هندسه ساختارها، تعیین موقعیت دقیق روندهای زمین‌شناسی و ساختاری و بررسی ارتباط ساختارها با یکدیگر از جمله نتایج و کاربردهای این روش است (قاسمی، ۱۳۸۷). پژوهش‌های متعددی در این زمینه در کمربندهای رورانده-چین‌خورده در ایران، به‌ویژه در زاگرس و سایر نقاط جهان انجام شده است (Yamato et al., 2011; Sherkati et al., 2006; Molinaro et al., 2004; McQuarrie, 2005). اما پهنه مکران در این گونه مطالعات مغفول باقی مانده است. از این‌رو، افیولیت ملانژ شمال مکران در جنوب شرقی ایران برای پژوهش انتخاب شده است. این توالی افیولیتی ادامه کمربندی است که از شرق اروپا آغاز شده و در سرتاسر پهنه مدیترانه، آسیای میانه و شرق آسیا گسترش دارند و به افیولیت‌های نوع نئوتتسیسی معروف هستند (Dilek and Furnes, 2014; Moghadam and Stern, 2011). از این‌رو، در پژوهش پیش‌رو سعی شده با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و اندازه‌گیری ساختارهای گستره مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل در کنار روش‌های نرم‌افزاری و بازگرداندن ساختارها به حالت قبل از دگرریختی، سیمای مناسبی از فرآیندهای ساختاری پهنه ترسیم و برآورد به نسبت دقیقی از میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران به دست آید. بدین منظور، پنج برش ساختاری در راستای SSW-NNE انتخاب شده تا پس از اندازه‌گیری ساختارهای مختلف در راستای این برش‌ها و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های هندسی-جنشی این ساختارها، با بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه و ترازمند کردن برش‌ها، میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران برآورد شود.

فروافتادگی جازموریان به سمت جنوب و قرار گرفتن در مکان امروزی (Farhoudi and Karig, 1977)، (ج) شکل‌گیری باجکان-دورکان (Burg, 2019; McCall et al., 1985; Berberian and King, 1981) و تاجور، ۱۳۹۹).



شکل ۱. الف) تصویر ماهواره‌ای ایران و پهنه مکران که موقعیت منشور پرافزایشی مکران در آن آشکار است، میزان همگرایی ورقه‌ی عربی و اوراسیا بر اساس (DeMets et al., 2010) آورده شده است، ب) نقشه ساده شده منشور پرافزایشی مکران (Haghipour et al., 2012). در الف و ب گستره مورد مطالعه به وسیله چهارگوش نشان داده شده است، ج) نقشه زمین‌شناسی افیولیت شمال مکران (برگرفته و تصحیح شده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی اسپکه (Aghanabati et al., 1987)، فوج (Arshadi et al., 1987)، رامک (Morgan et al., 1987a) و رمشک (Morgan et al., 1987b)).

روش مطالعه

(مکران درونی)، باریکه قاره‌ای باجکان-دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران هستند. به منظور برآورد گستره‌ی عرضی سنگ‌کره‌ی اقیانوسی اولیه، برش ساختاری برای بخش افیولیت ملانژ شمال مکران به صورت جداگانه رسم شده است. با توجه به نبود داده‌های زیرسطحی از گستره مورد مطالعه، برداشت داده‌های صحرایی در مسیر هر برش، شامل تفکیک واحدهای سنگی از یکدیگر و تعیین مرز آن‌ها، ارتباط واحدها با یکدیگر، اندازه‌گیری و برداشت

به منظور برآورد میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران از پنج برش ساختاری استفاده شده است. هر یک از برش‌های پنج‌گانه طوری رسم شده است تا کل واحدهای تکتونواستراتیگرافی اصلی پهنه مکران شمالی را پوشش دهد. بر این اساس، واحدهای سنگی اصلی در مسیر هر برش از سمت SSW به سمت NNE شامل بخش کوچکی از منشور پرافزایشی مکران

نتایج

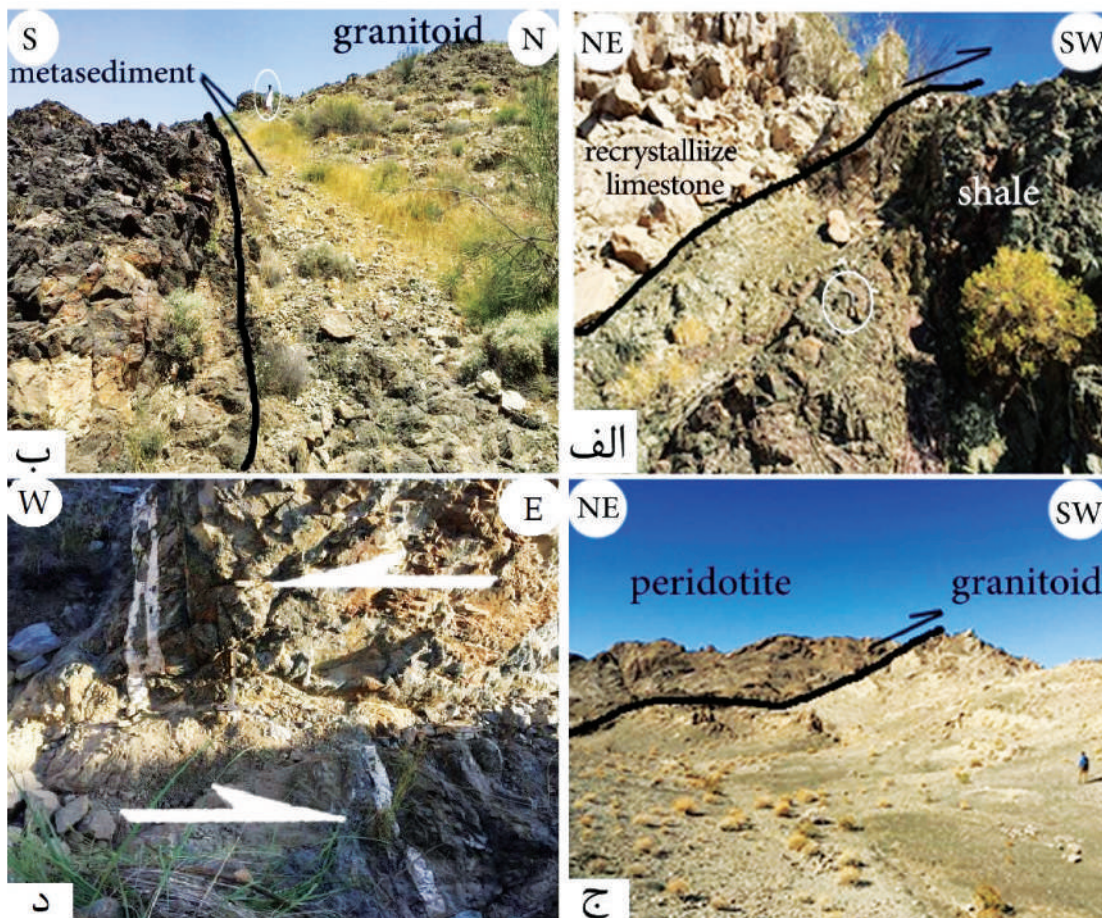
ویژگی‌های ساختاری

روند عمومی ساختارها و واحدهای سنگی گستره مورد مطالعه WNW-ESE است (شکل ۱-ج). بیش‌ترین ساختارهای موجود در افیولیت ملانژ شمال مکران گسل‌های راندگی با روند WNW-ESE و شیب به سمت NNE هستند و در نتیجه عملکرد آن‌ها، واحدهای سنگی در جهت SSW رانده شده‌اند. شیب بیشتر گسل‌های راندگی اندازه‌گیری شده در این گستره بین ۲۰ تا ۳۵ درجه بوده و مرز بیشتر واحدهای سنگی به وسیله این گسل‌ها آشکار شده است (شکل ۲-الف، ب، ج). گسل‌های راندگی بشاگرد، درانار، آب‌نما، کوه بهارک و ورنج کنترل‌کننده‌های اصلی دگرشکلی در این گستره هستند و مرز بین واحدهای تکتونواستراتیگرافی را نیز تشکیل می‌دهند. به‌گونه‌ای که راندگی بشاگرد در جنوبی‌ترین بخش مکران شمالی، این پهنه را از مکران درونی و مکران بیرونی جدا کرده است. در این مرز، واحدهای رسوبی-دگرگونی مجموعه‌ی باجکان-دورکان بر روی نهشته‌های توریدایتی و شیل‌های منشور برافزایشی مکران رانده شده‌اند (شکل ۲-الف). راندگی درانار بخش باجکان را از دورکان جدا کرده (شکل ۲-ب)، و راندگی آب‌نما بین دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران قرار دارد (شکل ۲-ج). عملکرد گسل‌های امتدادلغز بیشتر در شرق گستره مورد مطالعه چشم‌گیر است. گسل‌های امتدادلغز چپ‌گرد با روند چیره N-S تا NNE-SSW در بخش‌های شرقی افیولیت ملانژ شمال مکران پدید آمده‌اند (شکل ۲-د). گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد نیز با روند NW-SE در شمال و شمال شرقی فنوج حضور دارند. به‌منظور برآورد موقعیت مولفه‌های اصلی تنش بر مبنای روش برگشتی و با استفاده از نرم‌افزار Win Tensor، راستای تنش فشاری بیشینه، کمینه و بینابین در بخش‌های مختلف گستره مورد مطالعه تعیین و بر روی نقشه‌ی ساختاری پیاده شد (شکل ۳). از آنجائی که استفاده از نرم‌افزار برای تعداد داده‌های کم ممکن است موجب خطا در نتیجه شود، بنابراین برای دستیابی به اطمینان بیشتر، داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف که بر روی یک گسل برداشت شده و ویژگی‌های سنگ‌شناسی نیز تفاوت چندانی با هم نداشت،

هندسه‌ی گسل‌ها و سرانجام استفاده از نرم‌افزار 2DMove از پایه‌های اصلی این پژوهش هستند. همچنین با توجه به نبود اطلاع از ستبرای حقیقی واحدهای سنگی، ستبرای استاندارد هر یک از واحدهای سنگی نسبت به یکدیگر در یک توالی افیولیتی سازنده‌ی سنگ‌کره اقیانوسی به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شده است. بر پایه‌ی این داده‌ها، برای ترسیم برش‌ها، موازنه کردن آن‌ها، برگرداندن ساختارها به حالت اولیه و برآورد میزان کوتاه‌شدگی از نرم‌افزار 2DMove استفاده شده است (Midland Valley, 2017). به کمک این نرم‌افزار، دو مرحله ترازمند کردن هر برش صورت گرفته است. در مرحله نخست، برش ساختاری از حالت دگرریخت شده با اعمال حرکت بر روی گسل‌های موجود در هر برش به حالت دگرریخت نشده بازسازی شده است. در این مرحله، حرکت بر روی ساختارها از سمت NNE به سمت SSW صورت گرفته است. در مرحله دوم، عکس مرحله‌ی نخست انجام شده است. این دو روش، یعنی حرکت ساختارها از سمت پیش‌بوم به سمت پس‌بوم و بر عکس آن، روشی مرسوم در استفاده از نرم‌افزار 2DMove به‌منظور اعتبارسنجی عمل بازسازی ساختارها محسوب می‌شود (Midland Valley, 2017). در این پژوهش، برش‌ها به‌صورت طول خط بازسازی شده و نقطه‌ی مبنا جهت بازسازی برش‌ها در افیولیت ملانژ شمال مکران، در بخش SSW گسل راندگی آب‌نما برای برش‌های A-A', B-B' و C-C' و راندگی بشاگرد برای برش‌های D-D' و E-E' بوده است. در سمت NNE نیز برای هر برش، مرز فروافتادگی جازموریان نقطه‌ی مبنا در نظر گرفته شده است. ترازمند کردن هر برش ساختاری بر مبنای روش لایه سینوسی انجام شده است. در این روش، سه عامل ستبرا، طول خط هر واحد سنگی و مساحت آن ثابت در نظر گرفته می‌شود (Dahlstorm, 1969). مبنای برآورد درصد کوتاه‌شدگی نیز در هر برش ساختاری رابطه‌ی ذیل است:

$$e = L - L_0 / L_0$$

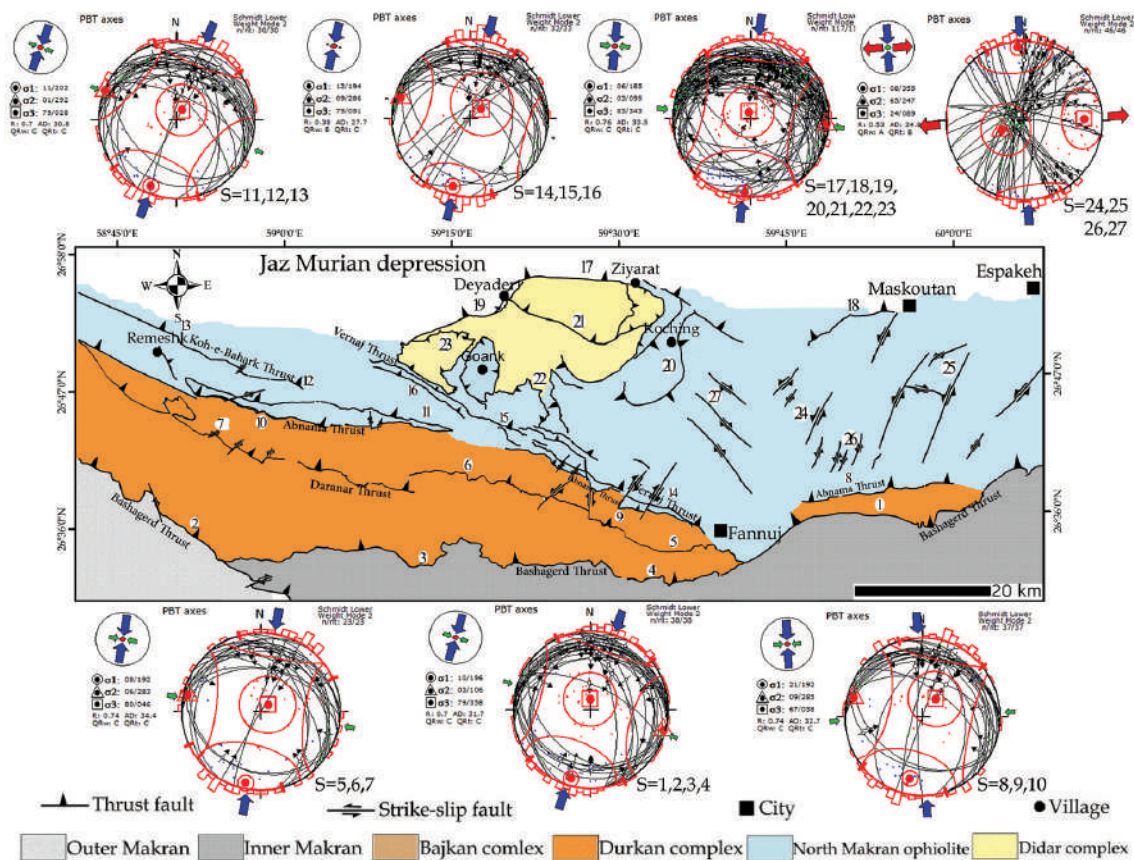
در این رابطه e میزان کوتاه‌شدگی، L طول برش قبل از بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه و L_0 طول برش پس از بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه است.



شکل ۲. تصاویری از عناصر ساختاری در مکران شمالی، الف) گسل راندگی در مرز بین مکران شمالی و مکران درونی، جایی که واحدهای رسوبی-دگرگونی مجموعه‌ی باجکان-دورکان بر روی رسوبات منشور برافزایشی مکران رانده شده‌اند، ب) مرز بین واحدهای دگرگونی باجکان با گرانیتوئیدهای دورکان، این مرز به وسیله راندگی درانار آشکار شده است، ج) گسل راندگی در مرز بین افیولیت ملانژ شمال مکران و مجموعه باجکان-دورکان، جایی که واحدهای پریدوتیت بر روی گرانیتوئیدها رانده شده‌اند، د) جابه‌جا شدن دایک در نتیجه عملکرد گسل امتدادلغز

برآورد شده به وسیله‌ی بورگ و همکاران (Burg et al., 2013) و دولتی و بورگ (Dolati and Burg, 2013)، برای بخش‌های جنوبی پهنه مکران دارد. با این حال، تفاوت‌هایی در بخش‌های شرقی دیده می‌شود که به سبب عملکرد گسل‌های امتدادلغز، راستای تنش فشاری بیشینه به صورت NNW-SSE و تنش کمینه در جهت WSW-ENE تغییر کرده است. به نظر می‌رسد گسل‌های امتدادلغز به لحاظ سنی از سایر ساختارها جوان‌تر هستند (تاجور و همکاران، ۱۴۰۱) و نبود انطباق جزئی بخش‌های شرقی نسبت به سایر بخش‌ها نیز می‌تواند به سبب چرخش ساختارها حول محور قائم (Dolati and Burg, 2013)، و یا در ارتباط با خمیدگی‌های رهایی ناشی از عملکرد این گسل‌های امتدادلغز باشد (Cunningham and Mann, 2007).

با یکدیگر تلفیق شده است. همان‌گونه که در شکل ۳ نیز نشان داده شده است، در بیشتر ایستگاه‌ها جهت عمومی تنش بیشینه به صورت SSW-NNE تعیین شده است. بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه یک رژیم فشاری با میل کم برای σ_1 به نمایش می‌گذارند. موقعیت محور اصلی تنش به دست‌آمده بر اساس هندسه‌ی گسل‌های راندگی برابر با N209/09 با انطباق بسیار نزدیکی با محور فشردگی پدیدآورنده‌ی چین‌ها برابر با N210 داشته و نمایانگر آن است هر دو در نتیجه رژیم زمین‌ساختی یکسانی شکل گرفته‌اند (تاجور و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین این تنش فشاری افقی انطباق بسیار نزدیکی با جهت‌گیری محورهای تنش امروزی با روند N010 برآورد شده به وسیله داده‌های GPS ایستگاه جاسک نسبت به اوراسیا (Vernant et al., 2004)، موقعیت تنش SSW-NNE



شکل ۳. جهت‌گیری محورهای اصلی تنش در بخش‌های مختلف افیولیت ملائز شمال مکران

برش‌های ساختاری ترازمند

پریدوتیت‌ها، گابروها، به مقدار کمتر دیابازها و گدازه‌های بازالتی و اسپیلیتی و اندکی نهشته‌های پلاژیک هستند (Morgan et al., 1987b). ساختارهای اصلی نیز در راستای این برش گسل‌های راندگی هستند. این گسل‌ها دارای روند NW-SE هستند و شیب عمومی آن‌ها در جهت NE است. از مهم‌ترین گسل‌های موجود در مسیر این برش، می‌توان به راندگی‌های آب‌نما و کوه بهارک اشاره کرد. افزون بر گسل‌های راندگی، گسل‌های امتداد لغز راست‌گرد نیز در مسیر برش ساختاری قرار دارند (شکل ۵-الف، ب).

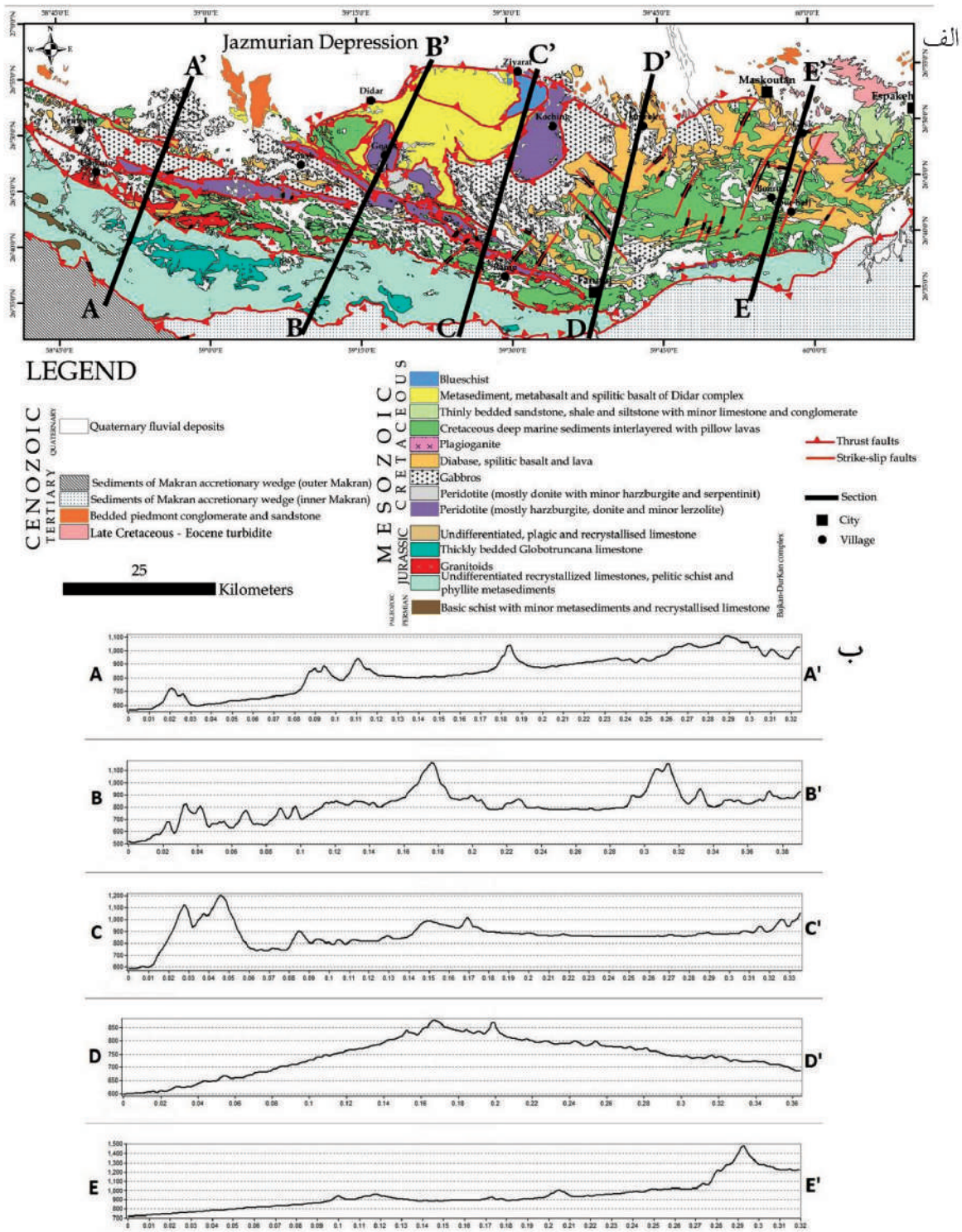
به‌منظور برآورد میزان کوتاه‌شدگی سنگ‌کره‌ی اقیانوسی و رسیدن به پهنای حوضه اقیانوسی اولیه در مکران شمالی، همان‌طور که اشاره شد، دو بخش مکران بیرونی و مجموعه باجکان-دورکان از برش ساختاری حذف، و این برش برای افیولیت ملائز شمال مکران به‌صورت جداگانه رسم شده است (شکل ۶-الف). با توجه پراکندگی واحدهای سنگی

در شکل ۴ موقعیت هر یک از این برش‌های ساختاری بر روی نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه نشان داده شده است. طول هر یک از برش‌ها به شرح ذیل است:

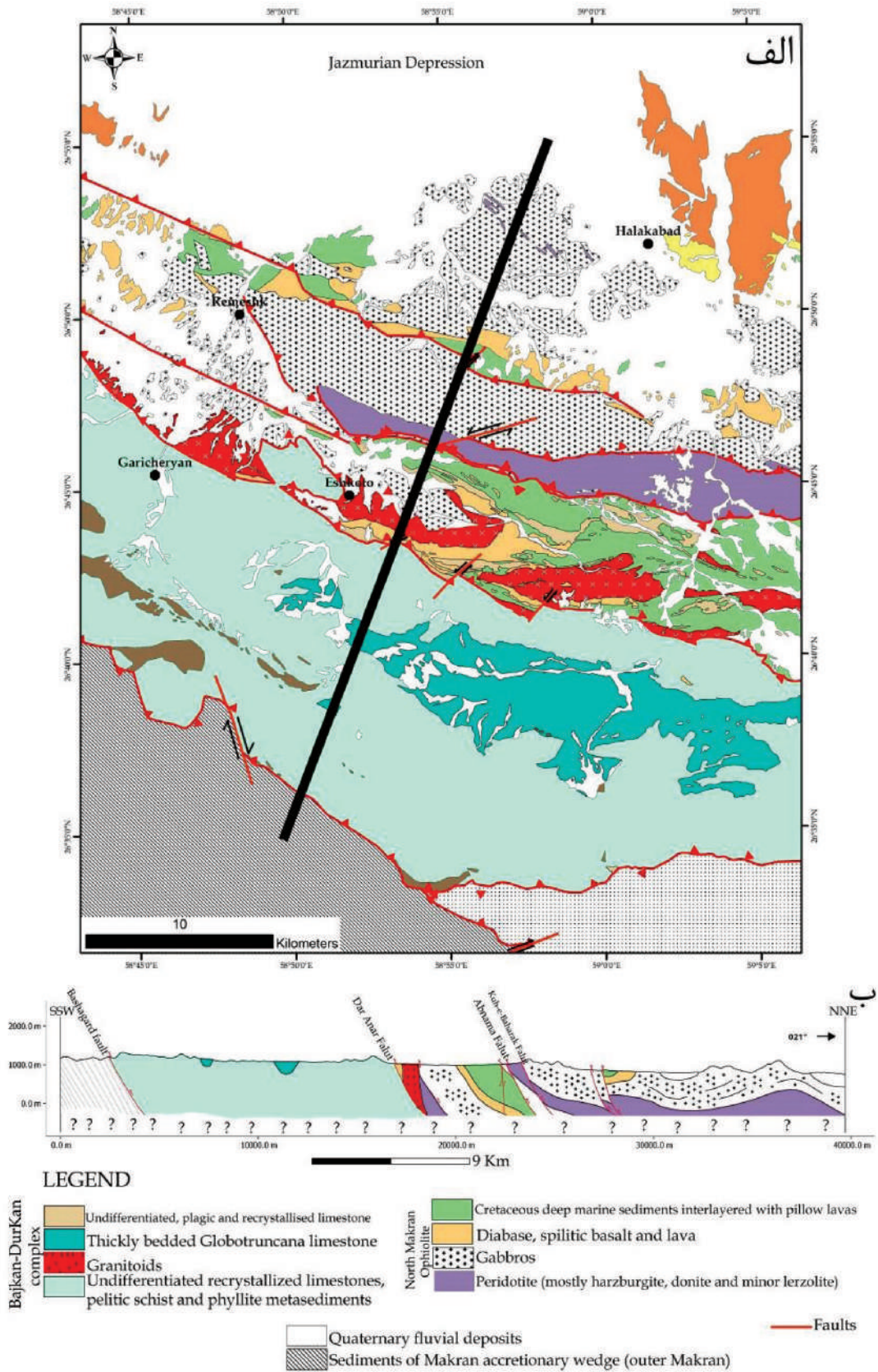
$$A-A' = 38.9 \text{ Km} \quad B-B' = 49.8 \text{ km} \quad C-C' = 46.8 \text{ km} \\ D-D' = 45.1 \text{ km} \quad E-E' = 36.3 \text{ km}$$

برش ساختاری A-A'

این برش ساختاری با راستای N021 در بخش غربی گستره مورد مطالعه قرار دارد (شکل ۵). طول اولیه این برش ۳۸/۹ کیلومتر است و از سمت SSW به سمت NNE شامل بخشی از منشور برافزایشی مکران (مکران بیرونی)، باریکه‌ی قاره‌ای باجکان-دورکان و افیولیت ملائز شمال مکران است (شکل ۵). همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی مربوط به این برش نیز نشان داده شده است، بیشتر واحدهای سنگی که در راستای برش A-A' برونزد دارند،



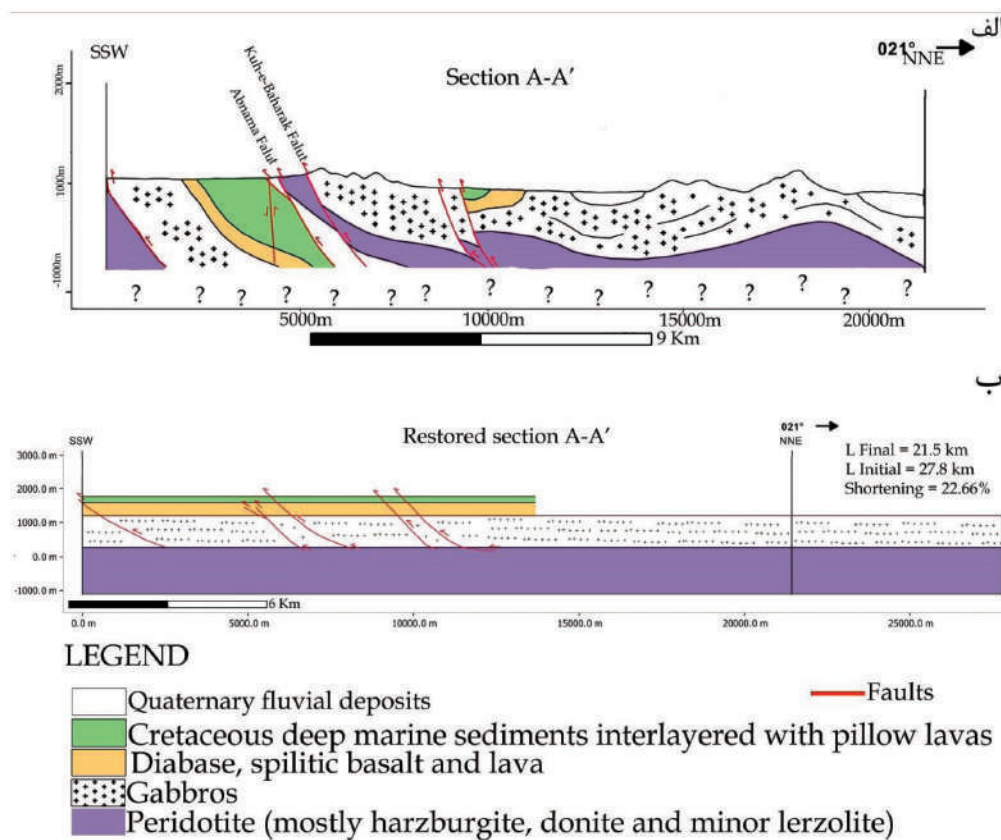
شکل ۴. الف) نقشه زمین‌شناسی مکران شمالی، بر روی آن پراکندگی انواع گسل‌ها و موقعیت برش‌های ساختاری نشان داده شده است، ب) نیم‌رخ‌های توپوگرافی برش‌های ساختاری



شکل ۵. الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی مربوط به برش A-A'، ب) برش ساختاری A-A'، سه بخش مکران بیرونی، باجکان-دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران در آن مشخص است

۶-الف). همان گونه که در نقشه زمین‌شناسی این برش نیز آشکار است، در بخش مرکزی برش A-A' نیز واحدهای رسوبی بر روی دیابازها و گدازه‌های بازالتی قرار گرفته‌اند. درازای این برش ۲۱/۵ کیلومتر است؛ پس از بازگرداندن لایه‌ها و ساختارها به حالت اولیه و قبل از دگرشکلی، درازای اولیه آن به ۲۷/۸ کیلومتر افزایش پیدا کرده است. بنابراین با توجه به رابطه $e = L - L_0 / L_0$ میزان کوتاه‌شدگی در برش A-A' برابر ۲۲/۶۶ درصد برآورد شده است (شکل ۶-ب).

که در مسیر این برش ساختاری برونزد دارند، مرز زیرین این برش با توجه به توالی سنگ‌کره اقیانوسی، پریدوتیت‌های گوشته‌ای، و مرز بالایی آن‌ها نهشته‌های پلاژیک در نظر گرفته شده است. سایر مرزهای ساختاری بین واحدهای سنگی نیز با توجه به رانده شدن آن‌ها بر روی یکدیگر تعیین شده است. به طوری که واحدهای گابرویی با جابه‌جایی در جهت SSW بر روی واحدهای پریدوتیتی و به همین ترتیب دیابازها و بازالت‌های اسپیلیتی بر روی گابروها رانده شده‌اند (شکل



شکل ۶. الف) برش ساختاری A-A' در افیولیت ملانژ شمال مکران، ب) برش ساختاری A-A' پس از بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه و برآورد میزان کوتاه‌شدگی

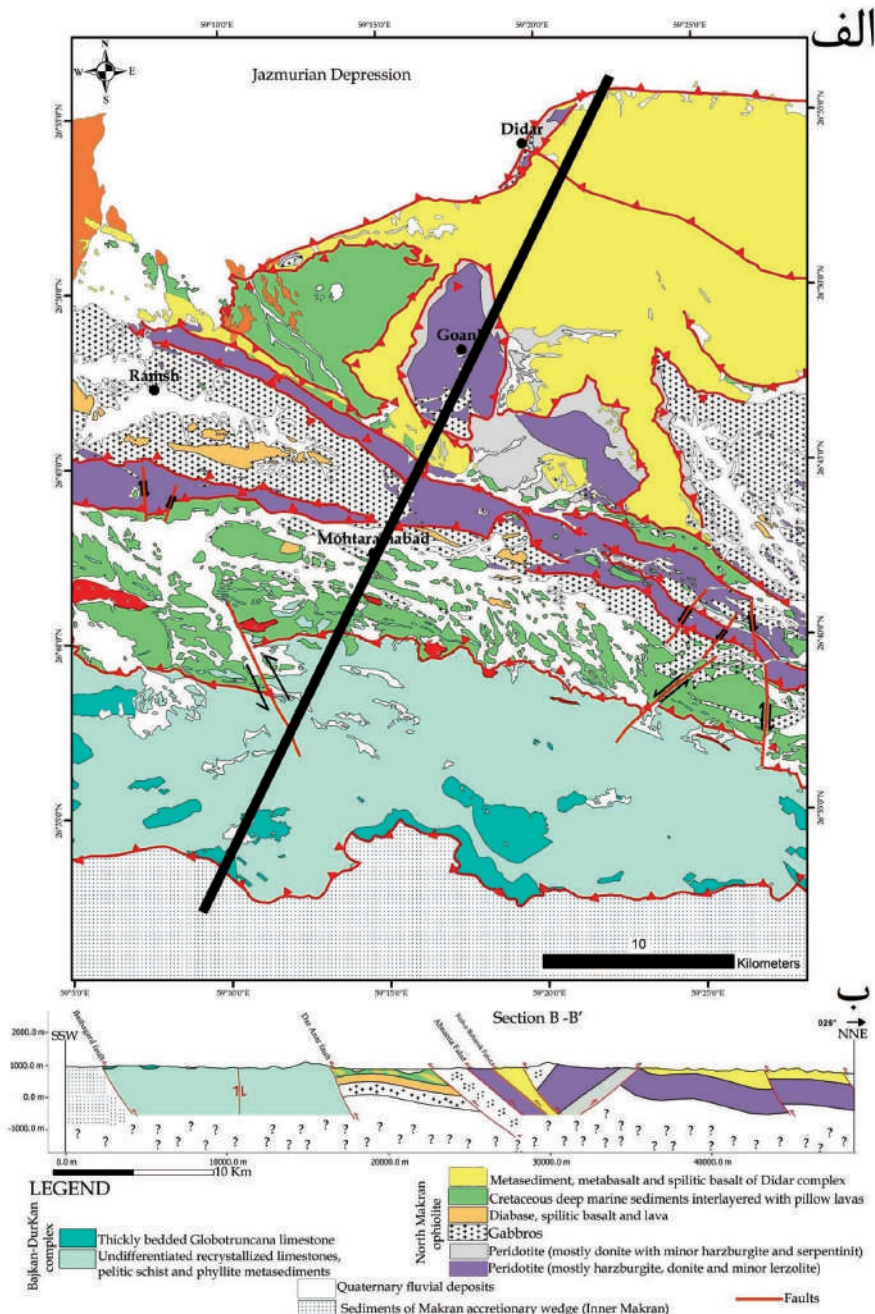
برش ساختاری B-B'

تعیین شده است. اما در بخش‌های شمال شرقی، پریدوتیت‌ها مرز زیرین واحدهای سنگی را تشکیل داده و واحدهای رسوبی-دگرگونی مجموعه دیدار بر روی آن‌ها قرار گرفته‌اند. شواهدی که در صحرا نیز وجود دارند و در نقشه‌ی زمین‌شناسی این برش نیز به نمایش درآمده است (شکل ۷-الف). در بخش جنوب

این برش با راستای N026 عمود بر روند ساختارها و واحدهای سنگی گستره مورد مطالعه رسم شده است (شکل ۷-الف). برخلاف برش قبلی، در این برش با توجه به نبود واحدهای پریدوتیتی در بخش جنوب غربی، مرز زیرین برش با واحدهای الترامافیک گوشته‌ای آغاز نشده و به وسیله گابروها

فراوانی واحدهای پریدوتیتی آشکار شده و به‌وسیله واحدهای دگرگونی مجموعه دیدار پوشانده شده‌اند. گسل‌های راندگی در مسیر این برش به‌خوبی نشان می‌دهند واحدهای دگرگونی مجموعه دیدار به لحاظ ساختاری بر روی واحدهای الترامافیک و مافیک افیولیت ملانژ شمال مکران قرار گرفته و در حال رانده شدن به سمت SSW هستند (شکل ۷-الف، ب).

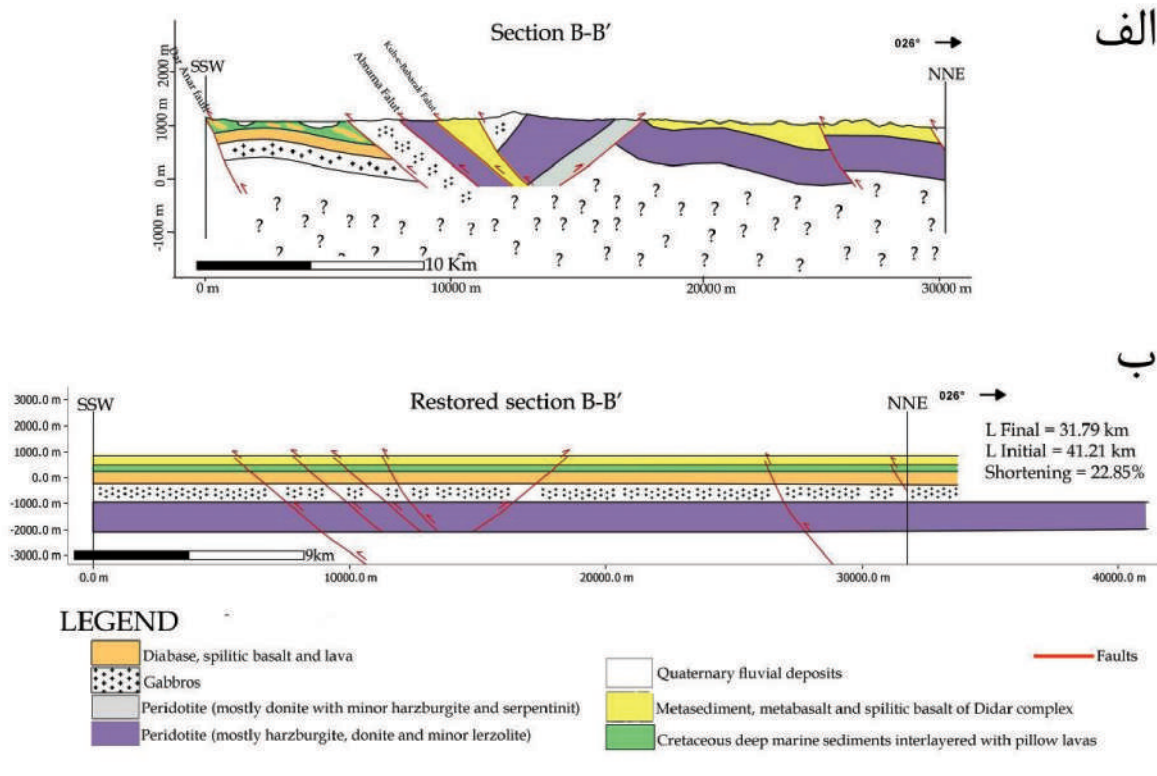
غربی این برش، مخلوطی از واحدهای دیابازی، گدازه‌های بازالتی به همراه نهشته‌های رسوبی پوشاننده آن‌ها بر روی گابروها قرار می‌گیرند. پریدوتیت‌ها نیز به‌وسیله راندگی آب‌نما با جابه‌جایی در جهت SSW بر روی واحدهای گرانیتوئیدی مجموعه باجکان-دورکان رانده شده‌اند. در راستای این برش، در برخی نقاط نهشته‌های پلاژیک به‌طور مستقیم بر روی پریدوتیت‌ها قرار می‌گیرند. بخش شمال شرقی این برش با



شکل ۷. الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی مربوط به برش B-B'، ب) برش ساختاری B-B'، در آن سه بخش مکران درونی، باجکان-دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران در آن مشخص است

و لایه‌ها به حالت قبل از دگرشکلی، طول اولیه آن در حالت قبل از دگرشکلی ۴۱/۲۱ کیلومتر شده است. بر این اساس میزان کوتاه‌شدگی در راستای این برش ۲۲/۸۵ درصد تعیین شده است (شکل ۸-ب).

طول نهایی این برش با در نظر گرفتن مجموعه باجکان-دورکان و بخشی از منشور برافزایشی مکران (مکران درونی)، ۴۹/۸ کیلومتر است (شکل ۷-ب). پس از حذف بخش منشور برافزایشی و مجموعه باجکان-دورکان از این برش، طول آن ۳۱/۷۹ کیلومتر رسید و پس از بازگرداندن ساختارها



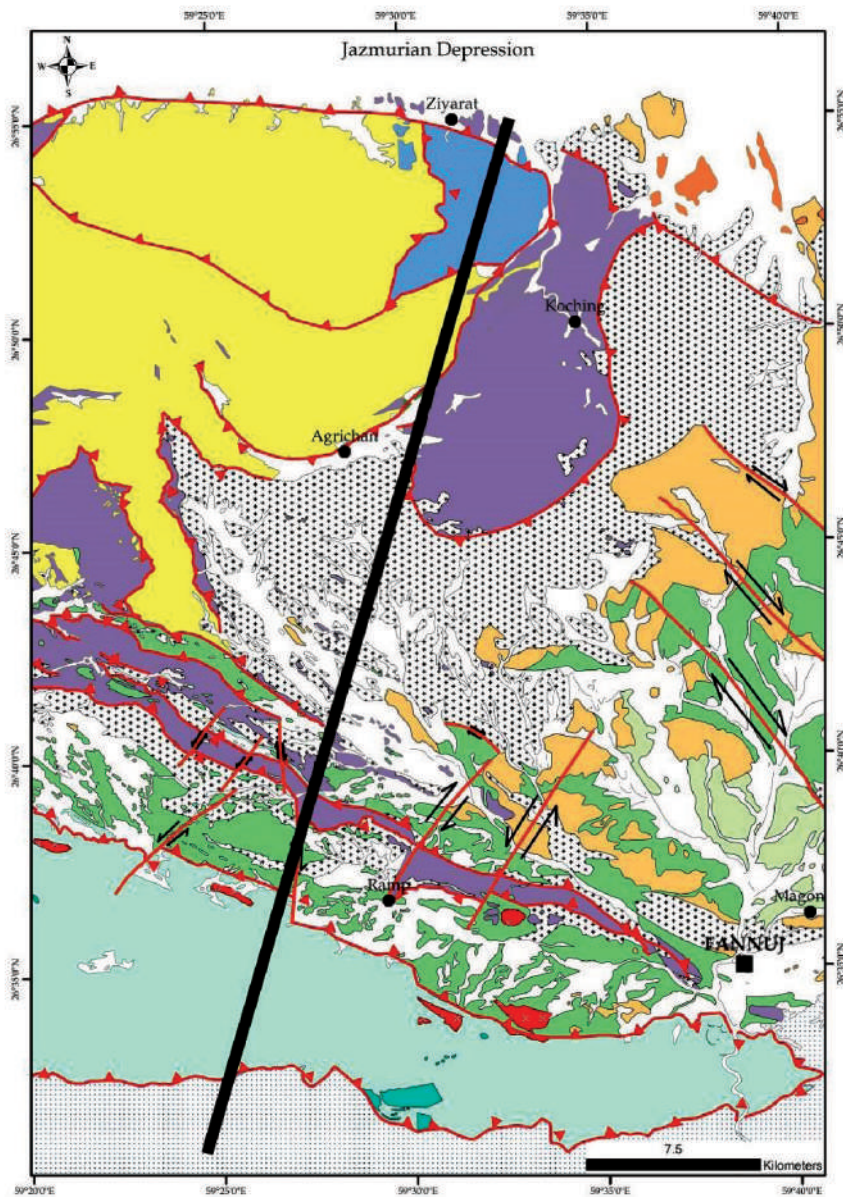
شکل ۸. الف) برش B-B' که برای افیولیت ملانژ شمال مکران رسم شده است، ب) برش ساختاری B-B' پس از بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه و برآورد میزان کوتاه‌شدگی

برش ساختاری C-C'

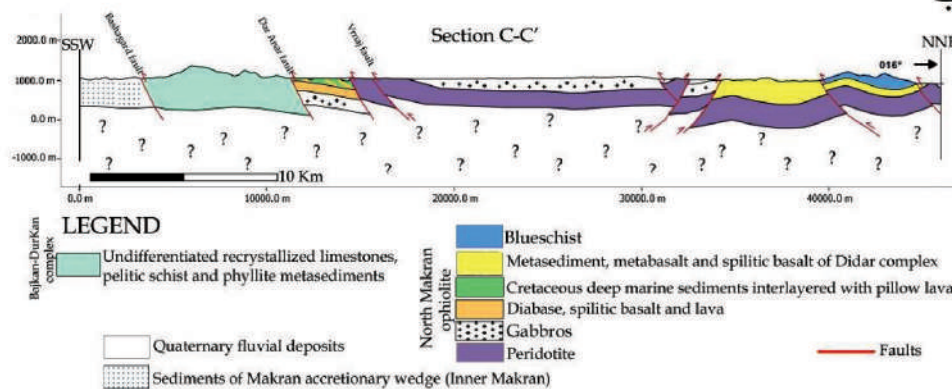
نیز واحدهای دگرگونی مجموعه دیدار و در انتهای شمال شرقی این برش، شیست‌های آبی بر روی واحدهای رسوبی-دگرگونی دیدار رانده شده و تمامی این مجموعه سنگی بر روی پریدوتیت‌ها قرار می‌گیرند. در بخش انتهایی این برش در مرز با فروافتادگی جازموریان برونزد واحدهای پریدوتیتی به شکل نوارهای باریک و ناپیوسته و یا به صورت قطعاتی کوچک در حاشیه جازموریان احتمال مدفون شدن این واحدهای الترامافیک به وسیله نهشته‌های آبرفتی جازموریان را نشان می‌دهد (تاجور، ۱۳۹۹).

این برش ساختاری با راستای 16N در بخش میانی گستره مورد مطالعه رسم شده است (شکل ۹-الف). با توجه به نقشه زمین‌شناسی و برش C-C' تهیه شده، گسل راندگی درانار در انتهای جنوب غربی این برش مرز آن را با بخش قاره‌ای باجکان-دورکان تعیین کرده است. پریدوتیت‌ها به همراه گابروها بیشترین برونزد را در مسیر این برش دارند. پریدوتیت‌ها مرز زیرین واحدهای سنگی این برش را تشکیل داده و در بخش‌های مرکزی آن، واحدهای گابرویی در نتیجه عملکرد گسل ورنچ با جابه‌جایی در جهت SSW بر روی پریدوتیت‌ها رانده شده‌اند. در بخش‌های شمال شرقی

الف



ب

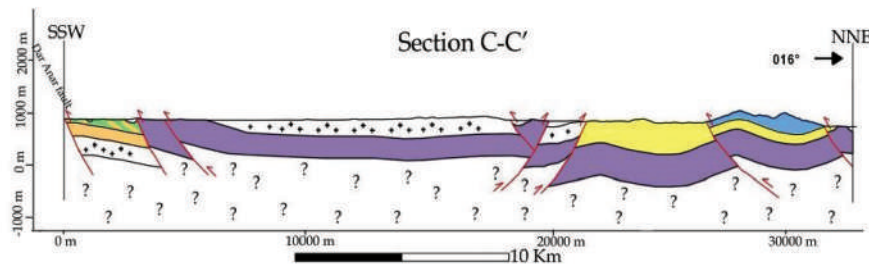


شکل ۹. الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی مربوط به برش C-C'، ب) برش ساختاری C-C'، در آن سه بخش مکران درونی، باجکان-دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران در آن مشخص است

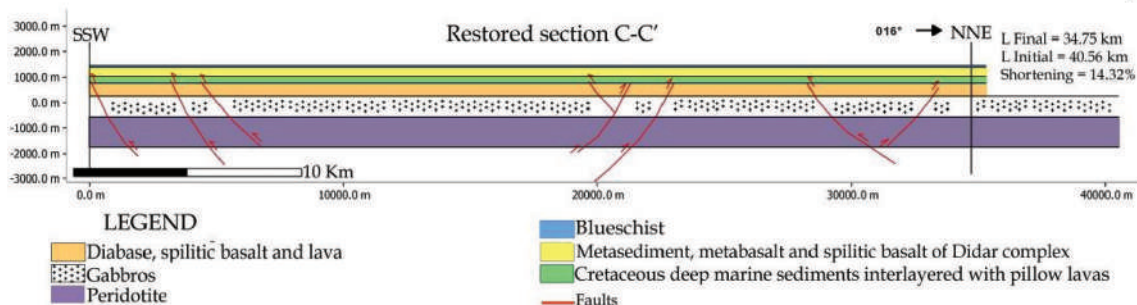
بازگرداندن ساختارها و لایه‌ها به حالت دگرریخت نشده، طول اولیه آن ۴۰/۵۶ کیلومتر است. از این رو میزان کوتاه‌شدگی در راستای این برش ۱۴/۳۲ درصد برآورد شده است (شکل ۱۰-ب).

طول برش ساختاری C-C' برابر ۴۶/۸ کیلومتر است و پس از حذف منشور برافزایشی مکران (مکران درونی) و مجموعه باجکان-دورکان از این برش، طول نهایی آن به ۳۴/۷۵ کیلومتر رسیده است. با اعمال کوتاه‌شدگی و

الف



ب



شکل ۱۰. الف) برش ساختاری C-C' پس از حذف مجموعه باجکان-دورکان و مکران درونی، ب) برش ساختاری C-C' پس از بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه و برآورد میزان کوتاه‌شدگی

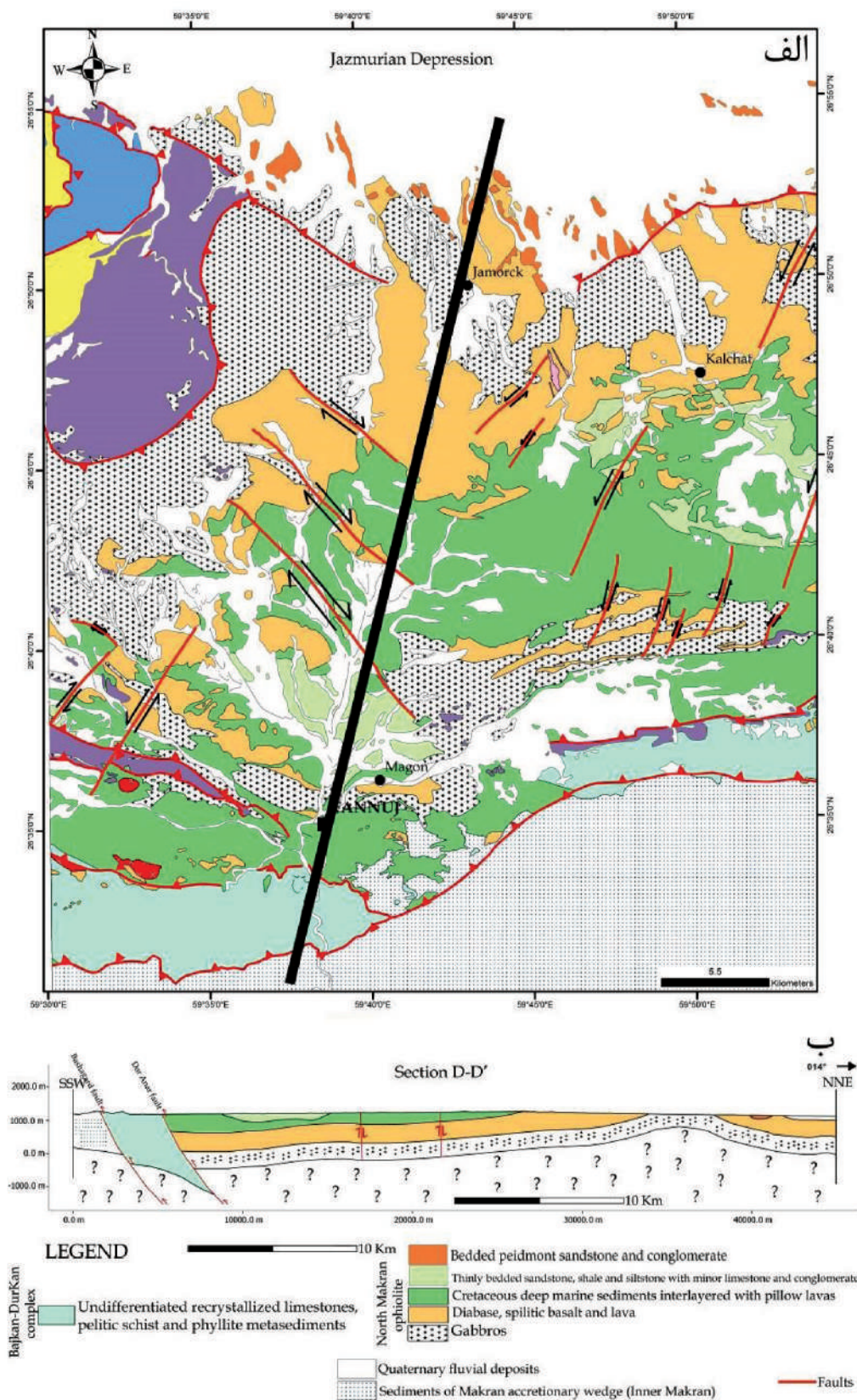
برش ساختاری D-D'

در برش‌های ساختاری D-D' و E-E' روند عمومی بیشتر ساختارهای گسترده مورد مطالعه از WNW-ESE به E-W تغییر کرده و وارد بخش شرقی افیولیت ملانژ شمال مکران می‌شوند (شکل ۴). برخلاف برش‌های قبلی، در این دو برش، واحدهای پریدوتیتی حضور نداشته و سنگ‌های رسوبی به همراه گدازه‌های بازالتی، بازالت‌های اسپیلیتی، دیاباز، گابرو و نهشته‌های رسوبی بیشترین برونزد را دارند (شکل ۱۱-الف).

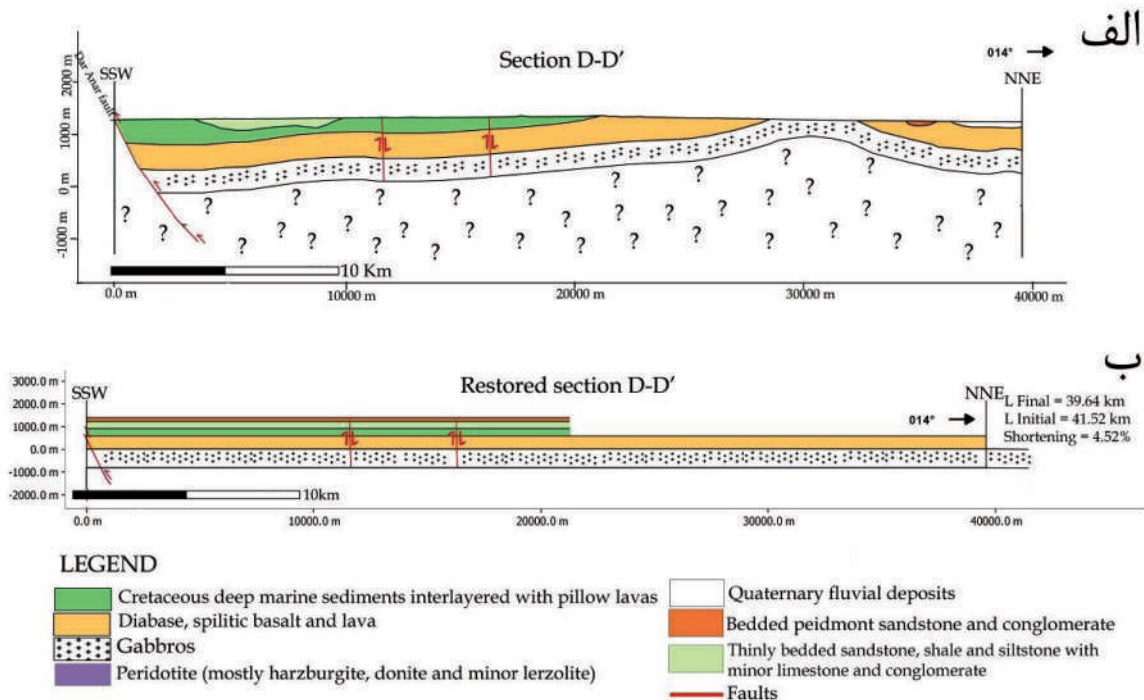
برش ساختار D-D' با راستای N014 و طول نهایی ۴۵/۱ کیلومتر با در نظر گرفتن باریکه قاره‌ای باجکان-دورکان و بخشی از منشور برافزایشی مکران تهیه شده است (شکل ۱۱-ب). مرز زیرین این برش به وسیله واحدهای گابرویی و مرز بالایی آن با نهشته‌های کم‌زرفای کرتاسه پسین

مکران سبب شده بخش زیادی از جابه‌جایی به صورت حرکت در امتداد گسل‌های امتدادلغز صورت گرفته و راندگی و کوتاه‌شدگی کمتر اتفاق افتد.

به منظور برآورد میزان کوتاه‌شدگی در برش ساختاری D-D' پس از حذف بخش منشور برافزایشی و مجموعه



شکل ۱۱. الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی مربوط به برش D-D'، ب) برش ساختاری D-D'، در آن سه بخش مکران درونی، باجکان-دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران مشخص است



شکل ۱۲. الف) برش ساختاری D-D' که برای افیولیت ملانژ شمال مکران رسم شده است، ب) برش ساختاری D-D' پس از بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه و برآورد میزان کوتاه‌شدگی

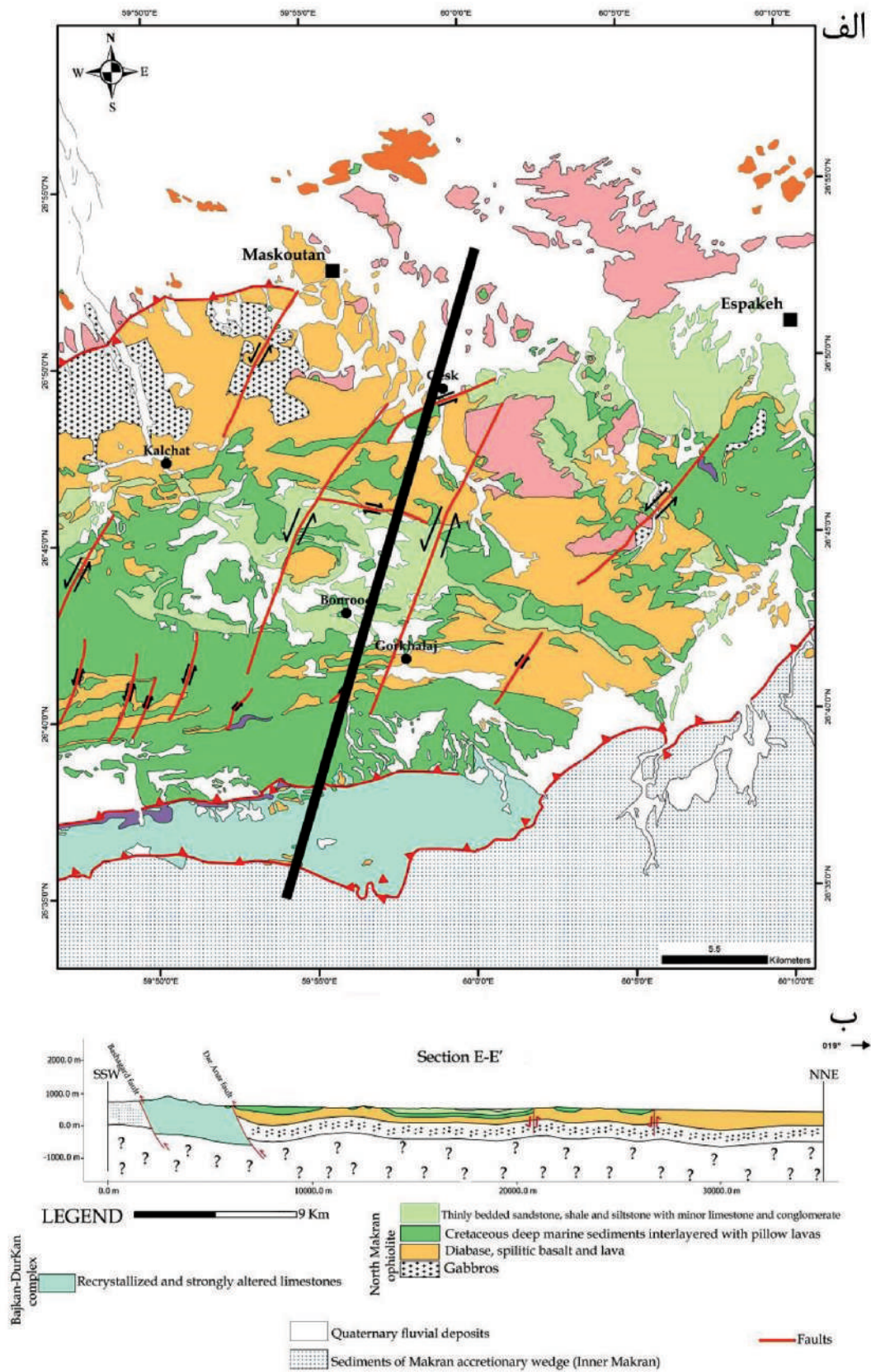
تنها گسل راندگی در مسیر برش E-E'، راندگی بشاگرد است و در این ناحیه مرز بین مجموعه قاره‌ای باجکان-دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران را تشکیل داده است. سایر گسل‌های موجود در راستای این برش، گسل‌های امتدادلغز چپ‌گرد با روند چیره NE-SW هستند، نسبت به گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد که امتداد عمومی آن‌ها NW-SE است، از گسترش بیشتری برخوردار هستند.

بر پایه داده‌های بالا این برش ساختاری تهیه و میزان کوتاه‌شدگی در این بخش از افیولیت ملانژ شمال مکران نیز برآورد شده است. طول نهایی این برش با در نظر گرفتن باریکه قاره‌ای باجکان-دورکان و بخشی از مکران درونی ۳۶/۳ کیلومتر است (شکل ۱۳-ب). پس از حذف بخش‌های مکران درونی و مجموعه باجکان-دورکان از این برش، درازای نهایی آن به ۲۸/۹۴ کیلومتر تبدیل شده است و پس از اعمال بازگرداندن ساختارها به حالت قبل از دگرشکلی، طول اولیه آن ۳۱/۰۱ کیلومتر گردیده است (شکل ۱۴-الف). بر این اساس میزان کوتاه‌شدگی در راستای این برش ۶/۶۷ درصد تعیین شده است (شکل ۱۴-ب).

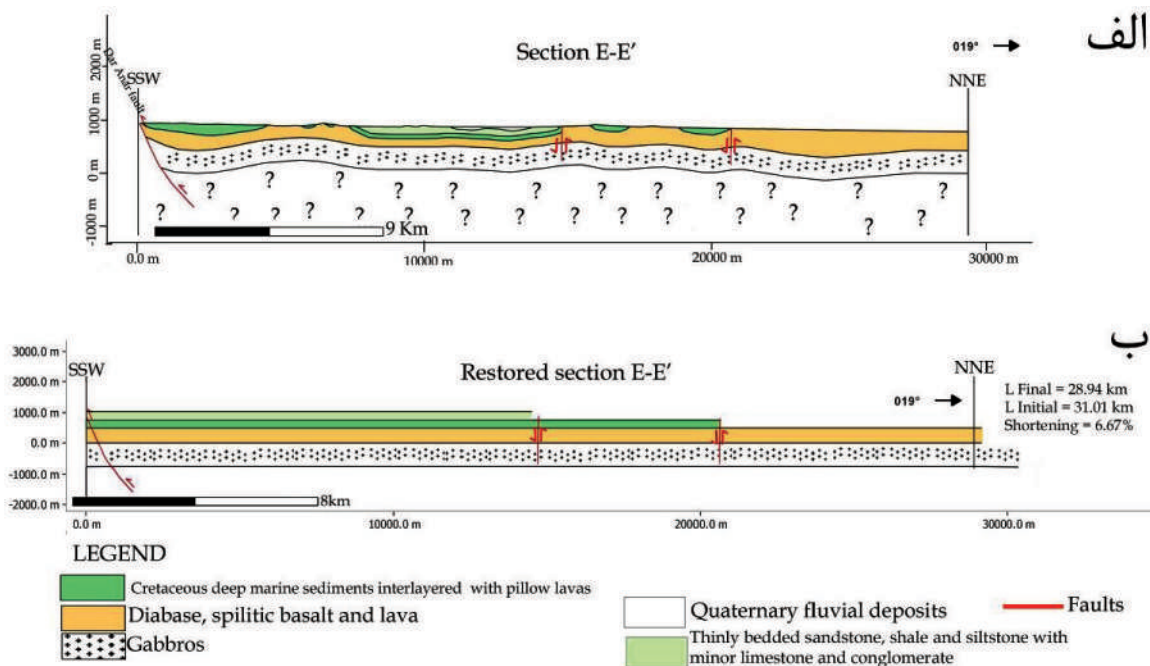
باجکان-دورکان، برش ساختاری D-D' برای افیولیت ملانژ شمال مکران دوباره رسم شده است (شکل ۱۲-الف). در این حالت، درازای این برش ۳۹/۶۴ کیلومتر است و پس از اعمال کوتاه‌شدگی و بازگرداندن ساختارها و لایه‌ها به حالت اولیه، طول اولیه آن به ۴۱/۵۲ کیلومتر افزایش یافته است (شکل ۱۲-ب). بر این اساس، میزان کوتاه‌شدگی در راستای این برش ۴/۵۲ درصد تعیین شده است.

برش ساختاری E-E'

این برش ساختاری با راستای N019 در بخش شرقی افیولیت ملانژ شمال مکران واقع شده است (شکل ۱۳-الف). بیشتر واحدهای سنگی در راستای این برش، نهشته‌های ژرف دریایی به کرتاسه پیشین، نهشته‌های کم‌ژرفای کرتاسه پسین به همراه واحدهای توربیدیتی و کنگلومرا به سن ائوسن هستند. برونزد پراکنده واحدهای گابرویی در سرتاسر راستای این برش نشان می‌دهد این واحد سنگی در زیر نهشته‌های رسوبی کرتاسه مدفون هستند، از این رو مرز زیرین این برش واحد گابرو در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۳. الف) نقشه‌ی زمین‌شناسی مربوط به برش ساختاری E-E'، ب) برش ساختاری E-E'، در آن سه بخش مکران درونی، باجکان-دورکان و افیولیت ملانژ شمال مکران مشخص است



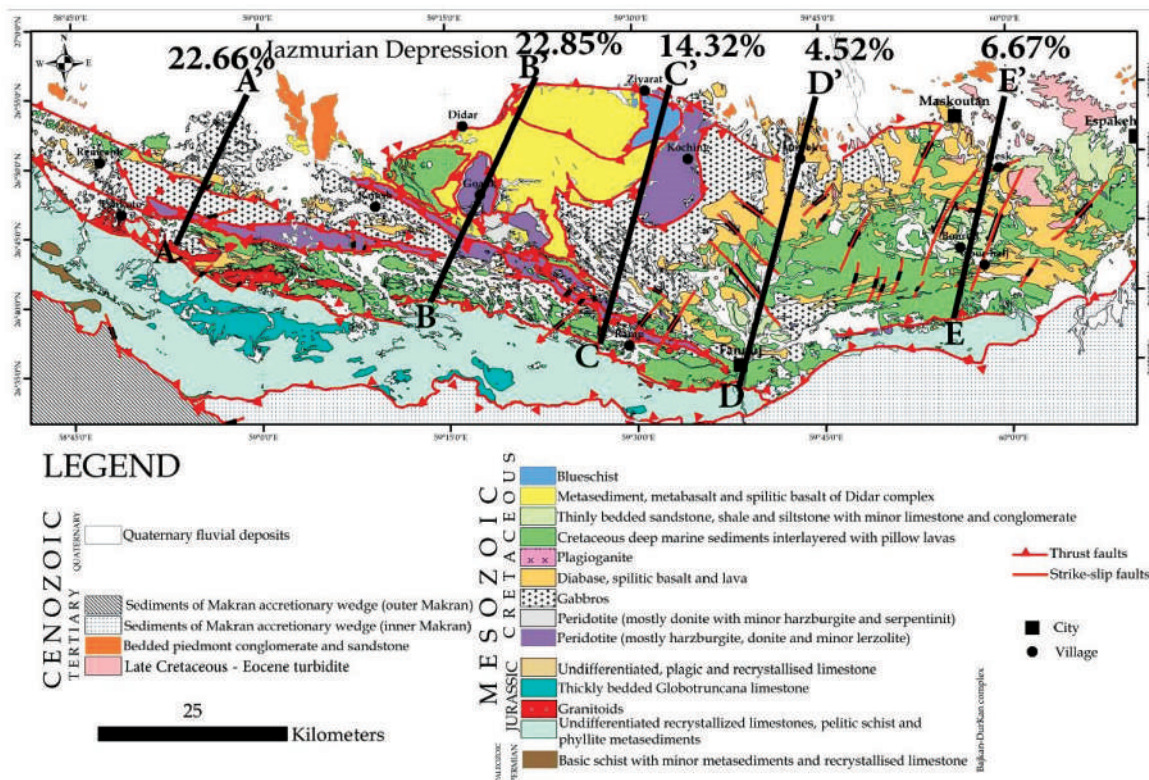
شکل ۱۴. الف) برش ساختاری E-E' پس از حذف مجموعه باجکان-دورکان و مکران درونی، ب) برش ساختاری E-E' پس از بازگرداندن ساختارها به حالت اولیه و برآورد میزان کوتاه‌شدگی

بحث

بسیار بیشتر از بخش شرقی است. به طوری که در برش‌های A-A'، B-B' و C-C' که در بخش غربی قرار دارند، میزان کوتاه‌شدگی به ترتیب برابر ۲۲/۶۶ درصد، ۲۲/۸۵ درصد و ۱۴/۳۲ درصد است. بر عکس در برش D-D' و E-E' که در بخش شرقی گستره مورد مطالعه واقع شده‌اند، میزان کوتاه‌شدگی افت قابل توجهی داشته و به ترتیب به ۴/۵۲ و ۶/۶۷ درصد کاهش یافته است.

افزون بر این‌ها، تفاوت دیگر بخش شرقی و غربی، برونزد و پراکندگی واحدهای سنگی است. به گونه‌ای که در بخش شرقی واحدهای الترامافیک حضور چندانی نداشته و شاهد گسترش چشم‌گیر واحدهای رسوبی، گدازه‌های بازالتی، بازالت‌های اسپیلیتی و دیابازها هستیم. به عبارت دیگر، در بخش غربی افیولیت ملانژ شمال مکران تمامی واحدهای سنگی یک توالی افیولیتی برونزد داشته و واحدهای گوشته‌ای دارای گسترش چشم‌گیری هستند. اما برعکس، در بخش شرقی تنها واحدهای سنگی بخش بالایی پوسته اقیانوسی برونزد دارند.

در شکل ۱۵ موقعیت هر یک از برش‌های عرضی به همراه میزان کوتاه‌شدگی برای هر کدام از آن‌ها در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز میزان کوتاه‌شدگی به همراه سایر مشخصات هر کدام از این برش‌ها آورده شده است. همان‌گونه که داده‌های جدول ۱ و شکل ۱۵ نیز نشان می‌دهند، میزان کوتاه‌شدگی به طور قابل ملاحظه‌ای در بخش‌های شرقی گستره مورد مطالعه کمتر از بخش‌های غربی آن است. همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز به آن اشاره شد، مهم‌ترین ساختارهای کنترل‌کننده‌ی میزان کوتاه‌شدگی در راستای این پنج برش و عامل اصلی جایگیری سنگ‌کره اقیانوسی و شکل‌گیری افیولیت ملانژ شمال مکران، گسل‌های راندگی با روند چیره WNW-ESE و شیب در جهت NNE هستند که در نتیجه عملکرد آن‌ها واحدهای سنگی تکرار شده و در جهت SSW رانده شده‌اند (تاجور و همکاران، ۱۴۰۱). به گونه‌ای که اگر افیولیت ملانژ شمال مکران از فوج به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شود؛ میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های غربی (با توجه به عملکرد قابل ملاحظه گسل‌های راندگی)



شکل ۱۵. نقشه‌ی زمین‌شناسی پهنه‌ی مکران شمالی، بر روی آن موقعیت پنج برش ساختاری به همراه میزان کوتاه‌شدگی هر کدام از آن‌ها نشان داده شده است

جدول ۱. مشخصات پنج برش ساختاری و میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران

نام برش	آزیموت برش	طول نهایی (km)	طول اولیه (km)	میزان کوتاه‌شدگی (%)
A-A'	N21E	۲۱/۵	۲۷/۸	۲۲/۶۶
B-B'	N26E	۳۱/۷۹	۴۱/۲۱	۲۲/۸۵
C-C'	N16E	۳۴/۷۵	۴۰/۵۶	۱۴/۳۲
D-D'	N14E	۳۹/۶۴	۴۱/۵۲	۴/۵۲
E-E'	N19E	۲۸/۹۴	۳۱/۰۱	۶/۶۷

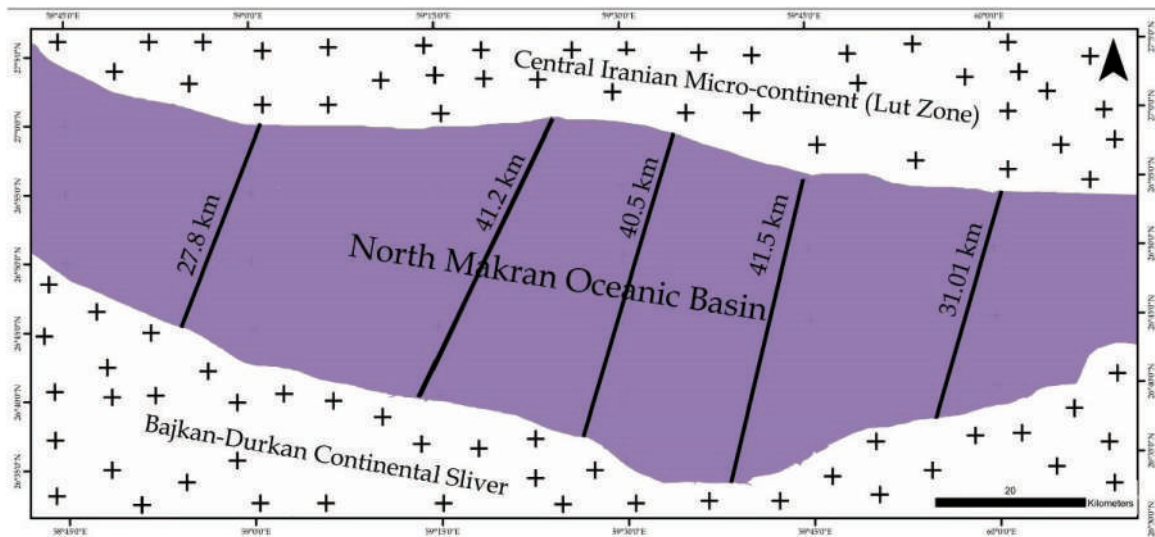
همچنین براساس ویژگی‌های هندسی-جنشی ساختارها آشکار شد، موقعیت محور اصلی تنش SSW-NNE است. بنابراین نحوه‌ی قرارگیری بخش‌های شرقی و غربی افیولیت ملانژ شمال مکران نسبت به محور اصلی تنش قدری تفاوت دارند. به طوری که در بخش‌های غربی، لبه‌ی حوضه به صورت عمود بر محور اصلی تنش بیشینه قرار داشته و نقش σ_n بیشتر است و گسل‌های راندگی و ارتفاعات بلند در این بخش شکل گرفته و میزان دگرشکلی‌ها در این بخش بیشتر است. اما بخش‌های شرقی به دلیل اینکه نسبت به محور اصلی تنش به صورت نزدیک به موازی قرار داشته‌اند، مولفه‌ی FS

به نظر می‌رسد رابطه بین موقعیت محور اصلی تنش و لبه‌ی حوضه، نقش مهمی در تفاوت نحوه پراکندگی واحدهای سنگی و توزیع انواع ساختارها و هندسه‌ی آن‌ها در این دو بخش از افیولیت ملانژ شمال مکران داشته است. افزون بر این، رابطه‌ی مورد اشاره نقش مهمی در ژرفای حوضه اقیانوسی، فعالیت‌های ماگمایی و شکل‌گیری ارتفاعات نیز داشته است. همان‌گونه که در بخش ویژگی‌های ساختاری نیز به آن اشاره شد، در بخش‌های شرقی افیولیت ملانژ شمال مکران، ساختارها روند W-E داشته و متفاوت از ساختارهای با روند NW-SE بخش‌های غربی هستند.

ساختارهای مختلف، گستره عرضی اولیه حوضه اقیانوسی در شمال مکران رسم شده است (شکل ۱۶). این تصویر شماتیک نمایانگر پهناي حوضه اقیانوسی شمال مکران در کرتاسه پیشین و قبل از آغاز فرایند بسته شدن سنگ کره‌ی اقیانوسی است.

با نقش پررنگ‌تری داشته و به این سبب عملکرد گسل‌های امتدادلغز بیشتر است، گسل‌های راندگی شکل نگرفته‌اند، ارتفاعات کمتر است و میزان کوتاه‌شدگی نیز نسبت به بخش‌های غربی کمتر رخ داده است (شکل ۱۵).

بر مبنای برآورد میزان کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران و ویژگی‌های هندسی و جنبشی



شکل ۱۶. تصویر شماتیک از گستره‌ی عرضی باریکه اقیانوسی شمال مکران قبل از آغاز همگرایی و فرایند بسته شدن باریکه اقیانوسی

نتیجه‌گیری

۳۵ درجه به سمت NNE، مهم‌ترین عامل در کوتاه‌شدگی در بخش‌های مختلف افیولیت ملانژ شمال مکران هستند. به‌گونه‌ای که در بخش‌های غربی گستره مورد مطالعه با توجه به عملکرد گسل‌های راندگی، میانگین میزان کوتاه‌شدگی ۱۹/۹۴ درصد و در بخش‌های شرقی به دلیل نبود گسل‌های راندگی و عملکرد چشم‌گیر گسل‌های امتدادلغز، میزان کوتاه‌شدگی به ۵/۵۹ درصد کاهش یافته است. با توجه به نبود داده‌های زیرسطحی در گستره مورد مطالعه، برداشت داده‌های ساختاری در مسیر هر برش تنها ابزار مناسب برای برآورد میزان کوتاه‌شدگی است. ترازمند کردن برش‌های ساختاری و بازگرداندن این ساختارها به مراحل قبل از دگرشکلی حاکی از پهناي باریک حوضه اقیانوسی اولیه در شمال مکران دارد. از این رو می‌توان تخمین زد حوضه اقیانوسی شمال مکران یک باریکه‌ی اقیانوسی کم‌عرض بین

مطالعه عناصر ساختاری مکران شمالی در پنج برش و تجزیه و تحلیل آن‌ها نشان داد، واحدهای سنگی افیولیت ملانژ شمال مکران حداقل دو مرحله از دگرشکلی را در خود ثبت کرده‌اند. مرحله نخست در یک رژیم زمین‌ساخت کششی بین دو بلوک قاره‌ای باجکان-دورکان در سمت SSW و پهناي لوت در سمت NNE رخ داده است، با توسعه ساختارهای کششی همراه بوده و منجر به جایگیری دایک‌های ورقه‌ای در توالی پوسته‌ای سنگ‌کره‌ی اقیانوسی شده است (تاجور، ۱۳۹۹). مرحله دوم در نتیجه همگرایی و تحت تاثیر دگرشکلی فشاری یا ترافشاری در کرتاسه‌ی پسین آغاز شده، با توسعه انواع گسل‌های راندگی و امتدادلغز، رانده شدن واحدهای سنگی بر روی یکدیگر و تکرار آن‌ها به همراه چین‌خوردگی واحدهای رسوبی آشکار شده است. گسل‌های راندگی با روند WNW-ESE و شیب بین ۲۰ تا

- Burg, J.-P., 2019. Geology of the onshore Makran accretionary wedge: Synthesis and tectonic interpretation. *Earth-Science Reviews*, 185, 1210-1231.

- Cunningham, W. D. and Mann, P., 2007. Tectonics of strike-slip restraining and releasing bends. *Geological Society, London, Special Publications* 290 (1), 1-12.

- Dahlstrom, C.D.A., 1969. Balanced cross-sections. *Canadian Journal of Earth Sciences* 6, 743-757.

- DeMets, C., Gordon, R.G. and Argus, D.F., 2010. Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), 1-80.

- Dilek, Y. and Furnes, H., 2014. Ophiolites and their origins. *Elements*, 10, 93-100.

- Dolati, A., 2010. Stratigraphy, structural geology and low-temperature thermochronology across the Makran accretionary wedge in Iran: [Ph.D. thesis]. Swiss Institute of Technology, 370.

- Dolati, A. and Burg, J. P., 2013. Preliminary fault analysis and paleo stress evolution in the Makran Fold-and-Thrust Belt in Iran. In *Lithosphere dynamics and sedimentary basins: The Arabian Plate and analogues* (261-277). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Farhoudi, G. and Karig, D.E., 1977. Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. *Geology*, 5, 664-668.

- Fossen, H., 2010. *Structural Geology*, 1st Edition, Cambridge University Press, 463.

- Haghypour, N., Burg, J.P., Kober, F., Zeilinger, G., Ivy-Ochs, S., Kubik, P.W. and Faridi, M., 2012. Rate of crustal shortening and non-Coulomb behavior of an active accretionary wedge: The folded fluvial terraces in Makran (SE, Iran). *Earth and Planetary Science Letters*, 355, 187-198.

- Hunziker, D., Burg, J.P., Bouilhol, P. and von Quadt, A., 2015. Jurassic rifting at the Eurasian Tethys margin: Geochemical and geo-

خردقاره ایران مرکزی (بلوک لوت) در شمال-شمال شرق و باریکه قاره‌ای باجکان-دورکان در سمت جنوب-جنوب غرب بوده است.

منابع

- تاجور، ع.ا. ۱۳۹۹. ارزیابی تکوین زمین‌جنبشی باریکه‌های اقیانوسی درون قاره‌ای به کمک تحلیل هندسی-جنبشی قطعات سنگ‌کره‌ی اقیانوسی فرارونده شده، مطالعه موردی: افیولیت ملانژهای شمال مکران، جنوب شرق ایران. رساله دکتری، دانشگاه بیرجند، ۳۹۴.

- تاجور، ع.ا.، خطیب، م.م. و زرین‌کوب، م.م.، ۱۳۹۹. جایگاه تکتونوماگمایی دیابازها و جریان‌های بازالتی افیولیت شمال مکران، جنوب شرقی ایران. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۵۵، ۶۷-۷۹.

- تاجور، ع.ا.، خطیب، م.م. و زرین‌کوب، م.م.، ۱۴۰۱. تحلیل تنش دیرین در آمیزه افیولیتی شمال مکران، جنوب خاوری ایران. فصلنامه علوم زمین، (۱) ۳۲، ۱-۱۴.

- قاسمی، م. ر.، ۱۳۸۷. پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران. ۲۳۰.

- Aghanabati, A., Mahdavi, M. A. and Arshadi, S., 1987. Geological map of Espakeh, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.

- Almalki, K.A., Betts, P.G. and Ailleres, L., 2016. Incipient seafloor spreading segments: Insights from the Red Sea. *Geophysical research letters*, 43, 2709-2715.

- Arshadi, S., Mahdavi, M.A. and Eftekharnezhad, J., 1987. Geological map of Fannuj, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.

- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleo-geography and tectonic evolution of Iran-Reply: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 1764-1766.

- Burg, J.-P., Dolati, A., Bernoulli, D. and Smit, J., 2013. Structural Style of the Makran Tertiary accretionary complexes in SE-Iran. In: Al Hosani, K., F. Roure, R. Ellison and S. Lokier (eds.) *Frontiers in Earth Sciences*, 239-259.

- chronological constraints from granitoids of North Makran, southeastern Iran. *Tectonics*, 34, 571-593.
- Hunziker, D., Burg, J.P., Moulas, E., Reusser, E. and Omrani, J., 2017. Formation and preservation of fresh lawsonite: Geothermobarometry of the North Makran Blueschists, southeast Iran. *Metamorphic Geology*, 7, 1-25.
 - McCall, G.J.H., Eftekhar-Nezhad, J., Samimi-Namin, M. and Arshadi, S., 1985. Explanatory text of the Fannuj quadrangle map 1:250,000. In: McCall, G.J.H. (Ed.). Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran.
 - Mc Quarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, 26, 519-535.
 - Midland Valley, 2017. Move, 2D software, Midland Valley Exploration Ltd, Glasgow, UK.
 - Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J. C. and Frizon de Lamotte, D., 2005. The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: from thin-skinned to thick-skinned tectonics. *Tectonics*, 24, TC3007.
 - Moghadam, H.S. and Stern, R.J., 2011. Late Cretaceous fore-arc ophiolites of Iran. *Island Arc*, 20, 1-4.
 - Moghadam, H. S. and Stern, R. J., 2015. Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia (II): Mesozoic ophiolites. *Journal of Asian Earth Sciences*, 100, 31-59.
 - Monsef, I., Rahgoshay, M., Pirouz, M., Chiaradia, M., Michel, G. and Georges, C., 2018. The Eastern Makran Ophiolite (SE Iran): Evidence for a Late Cretaceous fore-arc oceanic crust. *International Geology Review*, 61(11), 1313-1339.
 - Morgan, K.H., McCall, G.J.H. and Huber, H., 1987a. Geological map of Ramak, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
 - Morgan, K.H., McCall, G.J.H. and Huber, H., 1987b. Geological map of Remeshk, scale 1:100000. Geological Survey of Iran.
 - Shahabpour, J., 2010. Tectonic implications of the geochemical data from the Makran igneous rocks in Iran. *Island Arc*, 19, 676-689.
 - Sherkati, S., Letouzey, J. and Frizon de Lamotte, D., 2006. The Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation and sandbox modeling. *Tectonics*, 25, TC4007.
 - Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, M., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004. Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and Northern Oman. *Geophysical Journal International*, 157, 381-398.
 - Yamato, P., Kaus, B., Mouthereau, F. and Castelltort, S., 2011. Dynamic constraints on the crustal-scale rheology of the Zagros fold belt, Iran. *The Geological Society of America*, 39 (9), 815-818.