

تنظیم زمین ساختی از دریاچه Barm Firuz، کوه های زاگرس، ایران: استنباط شده از

شواهد سازه ای و کارستیک (مربوط به رسوبات بزرگ سنگ آهک)

چکیده

این مقاله، نقش فرآیندهای زمین ساختی و کارستیک در شکل گیری و تکامل دریاچه Barm Firuz در کوه های زاگرس ایران را ارائه می دهد. این دریاچه با ارتفاع 3340 متر از سطح دریا در تاج تاقدیس Barm Friuz واقع شده است. نتایج نشان می دهد که تکامل ساختاری دریاچه Barme Firuz مربوط به هر دو فرایند های زمین ساختی و کارست (رسوبی سنگ آهک) است. بنابراین عبارت زمین ساختی کارستیک برای تکامل ساختاری دریاچه استفاده شده است. مطالعات سازه ای به ویژه در مورد ساختارهای ستون سنگی (ستون سنگی همجنس صخره متصل بخود) وقوع یک جزء مهم از تغییر شکل برشی ساده را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. بر اساس شواهد ساختاری و کارستیک در اطراف دریاچه، مدل فرونشستن انحلال-گسل با جزء مورب برشی خالص به عنوان مدل حرکتی از تکامل دریاچه Barm Firuz در کوه های زاگرس ایران پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی: زمین ساختی، کارست، دریاچه Barm Firuz، کوه های زاگرس، ایران.

0. مقدمه

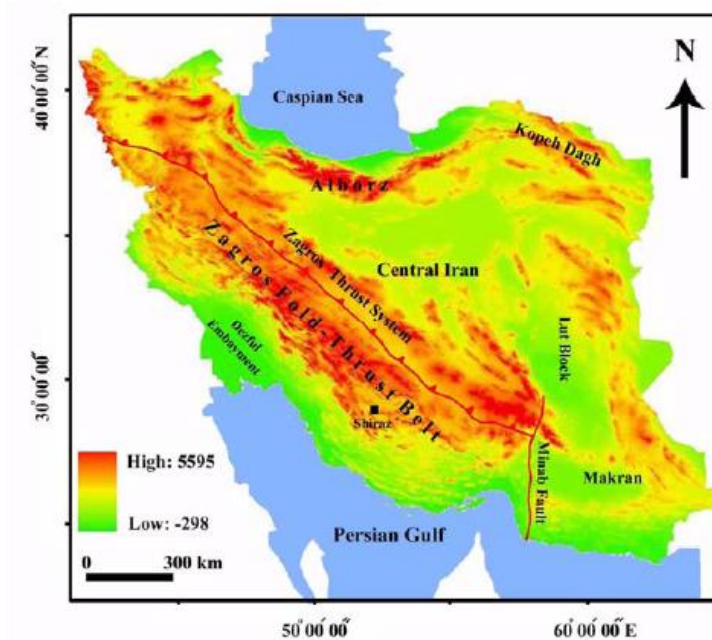
منجلا ب ها توسط انحلال سازندهای کربناتی توسط نفوذ سطحی و آبهای زیرزمینی و فروپاشی سنگ ها به دلیل نیروی گرانش (Filipponi و همکاران، 2009) تشکیل می شوند. در بسیاری از موارد، اثرات زمین ساختی برای افزایش چگالی شکستگی ها برای تکامل ویژگی های کارست بسیار مهم است. بنابراین ویژگی های زمین ساختی می تواند به عنوان پدیده مکمل برای تشکیل ویژگی های کارست عمل نماید. گاهی اوقات یک شوک زمین ساختی از

جمله زلزله، نیروی محرکه ای را برای تکان خوردن سنگ ها تولید می نماید. به هر حال، نقش آب در تولید حفره های کارست مهم ترین عامل است. به طوری که در بسیاری از موارد، مستقل از اثرات زمین ساختی و تنها با بهره برداری از آب اسیدی تشکیل یک منجلاب کارست امکان پذیر است. اما در برخی از موارد شواهدی از اثرات زمین ساختی را می توان در سراسر منجلاب ها (Neal, 2004) دید. در چنین مواردی، شرایط منجلاب ها تکنوکراستیک می توانند مورد استفاده قرار گیرند. تعیین تقدم و تاخر انحلال و یا عملیات زمین ساختی در تشکیل منجلاب ها بسیار دشوار است و گاهی اوقات عمل همزمان این دو پدیده به یک منجلاب تکنوکراستیک شکل می دهند. بسیاری از ساختارهای تکنوکراستیک در جهان وجود دارند. Gregorio San در Magno و Dasht Arjan در ایتالیا و ایران نمونه هایی از دو ویژگی شناخته شده تکنوکراستیک هستند. این کار به بررسی اهمیت تجزیه و تحلیل ساختاری در توصیف فرآیندهای زمین ساختی و کارستیک در تکامل دریاچه Barm Firuz می پردازد.

1. تنظیم زمین شناسی منطقه ای

کمر بند چین خوردگی-محوری زاگرس بخشی از کمر بند کوهزایی آلپ-همالیا (Berberian و King, 1981) است و در حاشیه شمال شرقی صفحه عربستان قرار گرفته است. این کمر بند شامل ردیف Cambrian-اخیر حاوی 8-14 کیلومتر ضخامت می شود که در طبقه زیرزمین Precambrian قرار می گیرد. این رسوبات روی یک پلت فرم واقع بودند که تا زمان برخورد بین صفحات عربستان و ایرانی در اواخر کرتاسه تا دوران ترشیاری نسبتا از Cambrian پایدارتر بودند (Berberian و King, 1981؛ Falcon, 1974). کوتاه شدن در سراسر کمر بند چین خوردگی-محوری زاگرس در پوشش سنگ پیدایستی، که تخمین زده می شود حدود 30-85 کیلومتر باشد (McQuarrie, 2004؛ Blanc و همکاران، 2003؛ Falcon, 1974)، توسط فشار محوری و چین خوردگی بالای کران های مختلف لغزندگی صخره های مجاور رخ داد. کوتاه شدن پوسته پس از برخورد (Allen و همکاران، 2004؛ Tatar و همکاران، 2004؛ Jackson و Talebian، 2002؛ Jackson و McKenzie، 1984) با نرخ همگرایی N-S جهت یافته از حدود $20 \pm 2 \text{ mmyr}^{-1}$ هنوز هم فعال است (Molinaro و همکاران، 2005؛).

Vernant و همکاران، 2004). کوتاه شدن در طبقه زیرزمین غالباً توسط گسل رخ می دهد. Cambrian Hormuz Salt ضخیم، در پایه جانشینی رسوبی، و دیگر کران های تبخیر (به عنوان مثال، سازندهای Dashtak و Gachsaran) در جانشینی (Sepehr و Cosgrove، 2005؛ Talebian و Jackson، 2002)، مانع از این شد که گسل های طبقه زیرزمین، سنگ های پوششی را گسسته نمایند و به سطح برسند. به عنوان یک نتیجه از این کران های تجزیه کننده، تغییر شکل در زیرزمین و پوشش رسوبی به طور مستقل رخ داد. این کمربند چین خوردگی-محوری حدوداً 1800 کیلومتر طول و 200-300 کیلومتر عرض دارد. از از شرق ترکیه تا تنگه هرمز است، که در روبروی گسل میناب پایان می یابد (شکل 1)، که کمربند زاگرس را از منشور به هم پیوسته Makran جدا می کند (Molinaro و همکاران، 2005). منطقه مورد مطالعه در تاقدیس Barm Friuz در نزدیکی شهر اردکان 110 کیلومتر شمال غرب شیراز واقع شده است. تاقدیس Barm Friuz همانند تاقدیس های بسیاری در کمربند چین خوردگی-محوری زاگرس نشان دهنده روند محوری با جهت گیری NW-SE است. تاقدیس، هندسه غوطه وری مضاعف را نشان می دهد. بخش اصلی این تاقدیس شامل سازند Cretaceous Sarvak تشکیل شده عمدتاً از سنگ های کربناتی است که یکی از سنگ های اصلی هیدروکربن در جنوب غربی ایران است. در منطقه مورد مطالعه، شامل سازند Sravak شامل سنگ آهک سبک تا خاکستری برش آهکی و بستریافته متوسط. نمودارهای 2 و 3 نشان دهنده تصویر ماهواره ای مایل و نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه است.

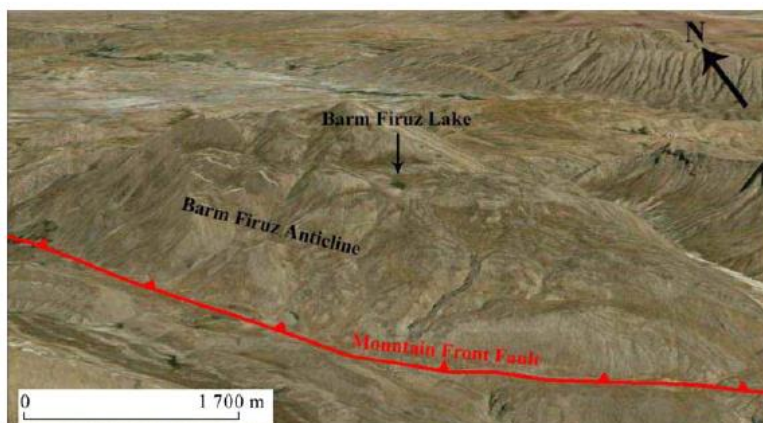


شکل 1. تنظیم زمین ساختی کمربند چین خوردگی-محوری زاگرس و محل آن در ایران.

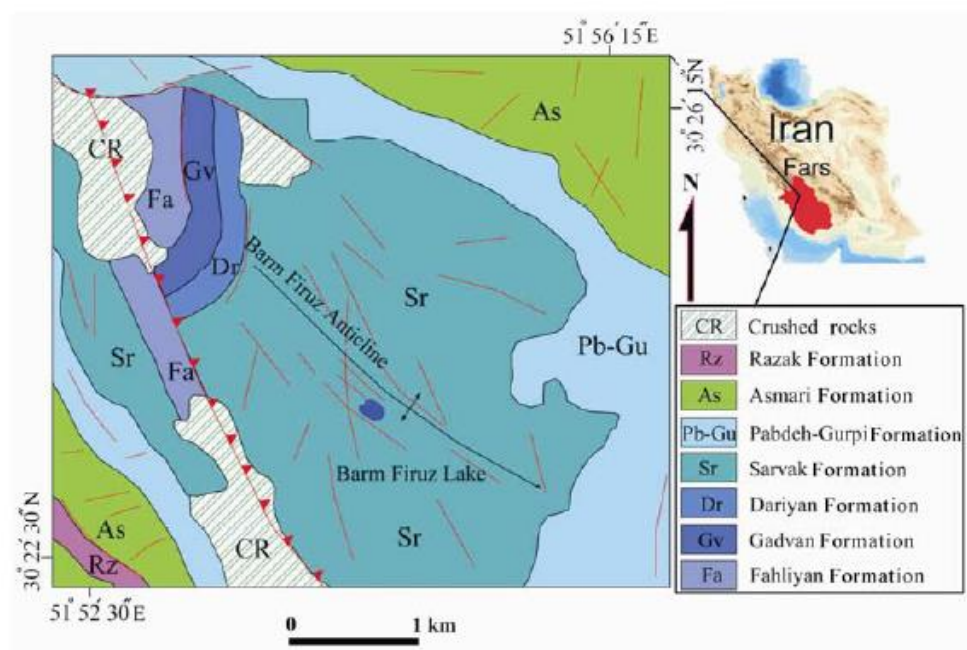
2. شواهد سازه ای و کارستیک

به علت موقعیت منحصر به فرد از دریاچه Barm Firuz، این موضوع علاقه برای بسیاری از زمین شناسان است. چند مطالعه هیدروژئولوژیک روی دریاچه (Eftekhari, 1993؛ Pezeshkour, 1991) انجام شده است. این مطالعات به طور عمده روی روابط هیدرولوژیکی از دریاچه با بوته های کوچک در سراسر تاقدیس Barm Friuz متمرکز شده است. در این تحقیق یک مدل حرکتی می تواند برای تکامل دریاچه Barm Firuz با استفاده از ساختارهای ستون سنگی مورد بررسی قرار گیرد. تجزیه و تحلیل و تشخیص تصاویر ماهواره ای عناصر خطی نشان دهنده چندین سیستم گسل اصلی در اطراف دریاچه است. به نظر می رسد که این دو سیستم گسل در این منطقه غالب هستند. گسل ها با روند موازی و گسل ها با نگرش 30 تا 40 درجه نسبت به محور چین خوردگی Barm Anticline Friuz (شکل 4). مرتبط با گسل ها، اجزای حرکت عمودی در امتداد محور طولی دریاچه به خصوص در لبه جنوبی، منطقه دریاچه به عنوان یک منطقه با ارتفاع کم بین صفحات گسل مشخص شد (شکل 5a, 5b). سطوح برش عمودی سنگ آهک در اطراف دریاچه نشان دهنده بسیاری از حفره های انحلال، karrens و ویژگی های گسل صیقلی صخره می باشند. در برخی از موارد صفحات گسل نشان دهنده یک سطح صاف با لغزش خراشی

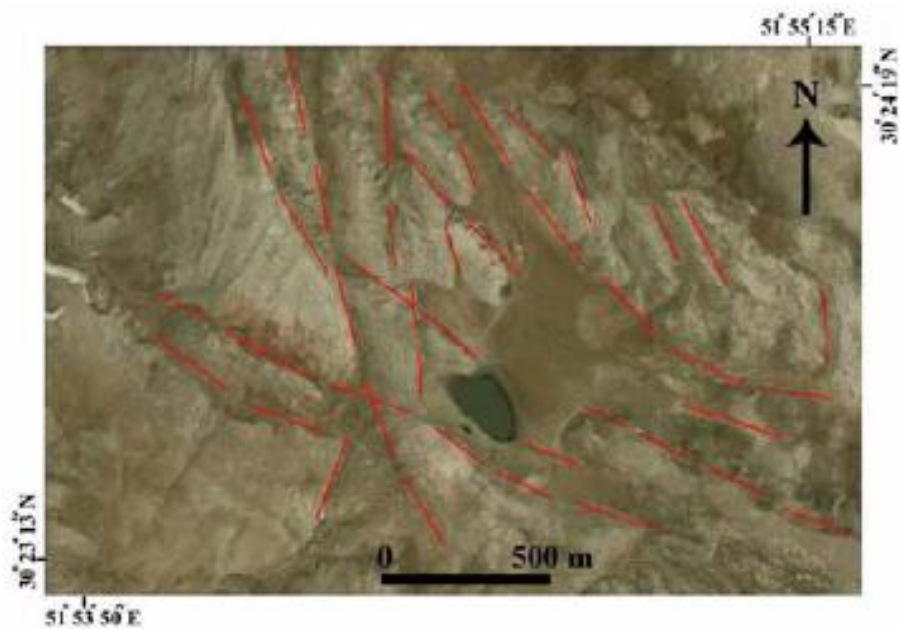
مشخص و در مکان های دیگر یک سطح خشن و انحلال را نشان می دهند. فیبرهای صخره های صیقلی روی صفحات گسل عمدتاً نشان دهنده زاویه غوطه وری بالا است که غلبه حرکت عمودی در صفحات گسل را تایید می نماید. همانطور که در بالا اشاره شد، ویژگی های کارن در سطوح کرنات در اطراف دریاچه شکل گرفته است.



شکل 2. تصویر مورب ماهواره ای از منطقه مورد مطالعه.



شکل 3. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.

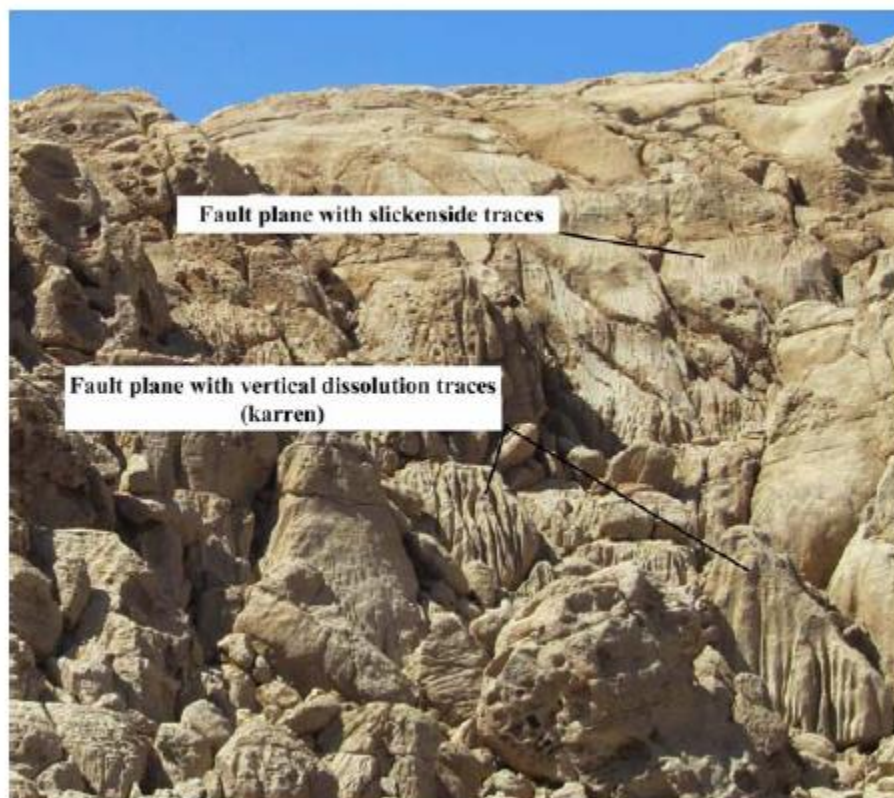


شکل 4. گسل های اصلی و مشترک در اطراف دریاچه.



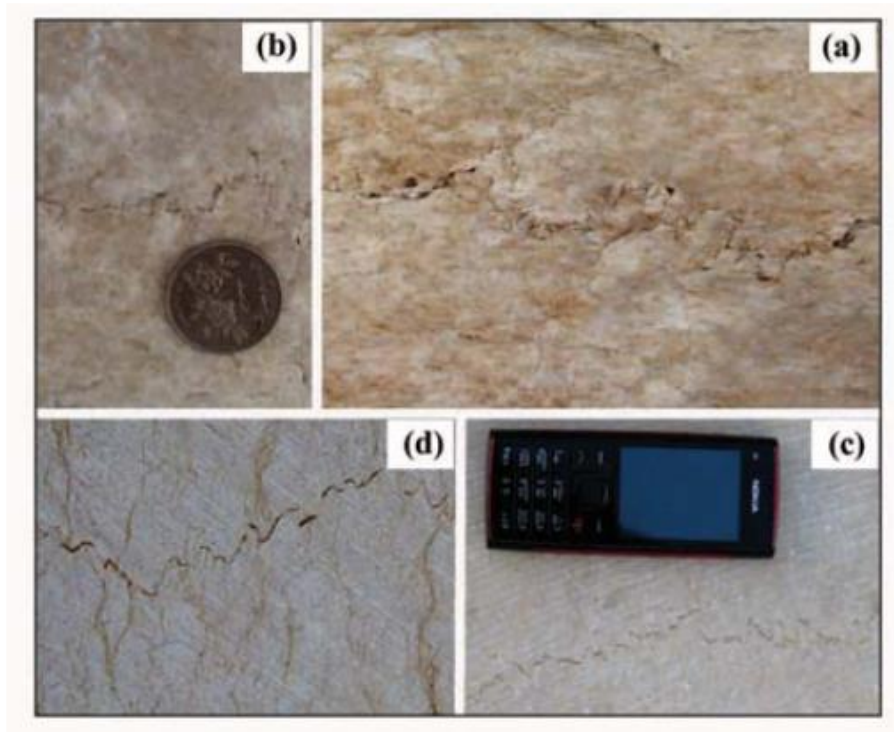
شکل 5. صفحات گسل با جابجایی عمودی در حاشیه های دریاچه

این شیارهای انحلال به طور عمده دارای حالت عمودی هستند و در تمام سطوح کربنات قابل مشاهده نیستند، بنابراین می توان استنباط نمود که گسل ها و پیوستگی های عمودی، نقش مهمی در کنترل جهت جریان آب بازی کرده اند. حرکات گسل جوان باعث شده است که شیارهای کارستیک قطع شود و سطوح کربنات با هر دو ویژگی های کارن و سطح صیقلی صخره تشکیل شود (شکل 6).

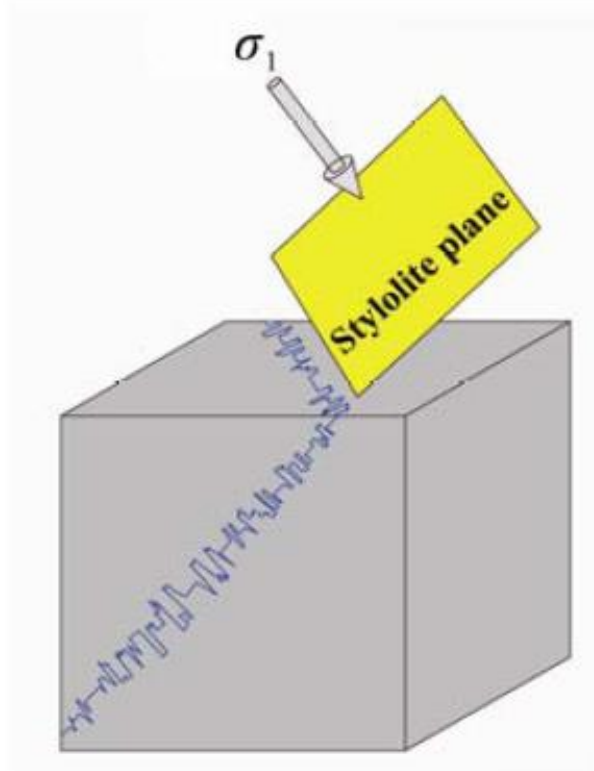


شکل 6. ویژگی های سطح صیقلی صخره و کارن روی بریدگی عمودی حول و حوش دریاچه Barm-Firuz
با توجه به شباهت های سنگ شناسی و آب و هوای محلی در منطقه مورد مطالعه، انحلال دیفرانسیل روی سطوح گسل را نمی توان به فرآیندهای فرسایشی پس از گسل دار شدن مرتبط دانست. به منظور معرفی یک مدل تکامل ساختاری برای دریاچه Barm Firuz، ساختارهای ستون سنگی در منطقه مورد مطالعه قرار گرفتند. ستون سنگیها سطوح دنداندار هستند که در آن ماده معدنی توسط انحلال فشار، در یک فرایند باعث کاهش حجم کل سنگ می شود. مواد معدنی نامحلول مانند رس، پیریت، و اکسیدها در ستون های سنگی باقی می مانند و آنها را قابل مشاهده

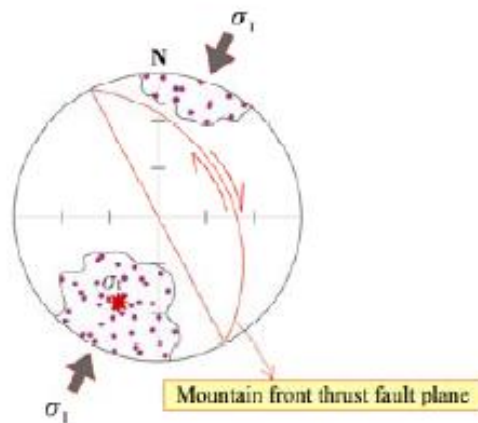
می سازند. گاهی اوقات سنگ های میزبان، که در آن ستون سنگیها را می توان با تغییر در بافت سنگ شناخت، حاوی هیچ مواد معدنی نامحلول نیستند. آنها اغلب در سنگ های همگن، کربناتها، چرت ها، ماسه سنگ رخ می دهند، اما می توان آنها را در برخی از سنگ های آذرین و یخ یافت. اندازه های آنها از تماس های میکروسکوپی بین دو دانه (ستون های سنگی ریز) تا ساختارهای بزرگ تا 20 متر طول و تا 10 متر در دامنه متغیر است. ستون های سنگی را می توان به واسطه هندسه آنها و یا رابطه آنها با بستر (Park و Schot, 1968) طبقه بندی نمود. ستون های سنگی را می توان به دو گروه اصلی تقسیم نمود، ستون سنگی موازی با بستر و ستون های سنگی با وضعیت اریب یا عمود بر بستر (Andrews و Railsbak, 1997). ستون های سنگی معمولاً به موازات بستر، به دلیل فشار بار زیاد شکل می گیرند، اما آنها می توانند به عنوان یک نتیجه از فعالیت های زمین ساختی مورب و یا حتی عمود بر بستر باشند (Anderson و Railsbak, 1997). ستون های سنگی در میدان های مختلف قابل توجه هستند. در پترولوژی، ستون های سنگی مهم هستند زیرا آنها پارچه های سنگ را تغییر می دهند و مواد جامد محلول را ایجاد می نمایند که به عنوان سیمان رسوب می نمایند. در زمینه شناسی، هوادهی از ستون های سنگی، بسترسازی آشکار را در بسیاری از بخش های زمینه شناسی تولید می کند و از دست دادن مواد در امتداد ستون های سنگی می تواند به چیزی شبیه به فرسایش، با نازک شدن قابل توجه زمینه منجر شود. در هیدرولوژی، ستون های سنگی از جریان سیال جلوگیری می نمایند و در تنظیمات دیگر، برای جریان سیال به کار گرفته می شوند. همچنین، ستون های سنگی، شاخص های تنش فشاری (σ_1) در مطالعات زمین ساختی می باشند. در این تحقیق با استفاده از ساختارهای ستون سنگی، جهت حداکثر محور اصلی استرس (σ_1) تعیین شد. به منظور تعیین موقعیت محور حداکثر تنش در رابطه با گسل مقابل کوه، حدود 80 ستون سنگی از تنه جنوبی Barm Friuz کلینال (شکل 7) مورد بررسی قرار گرفتند. برای تعیین گرایش واقعی صفحه ستون سنگی، خاطر نشان می شود که با استفاده از ستون های سنگی، مسیر در دو سطح متفاوت نشان داده می شود. قطب های سطوح ستون سنگی نشان دهنده حداکثر محور اصلی استرس (σ_1)، (شکل 8) است. طرح ریزی نیمکره پایین تر با مساحت برابر قطب های سطوح ستون سنگی، جهت (σ_1) را در حدود 30 درجه 205 درجه (شکل 9) نشان داد.



شکل 7. ساختارهای ستون سنگی در منطقه مورد مطالعه.



شکل 8. تصاویر شماتیک برای تعیین حداکثر تنش اصلی مطابق با جهت گیری ستون سنگی.

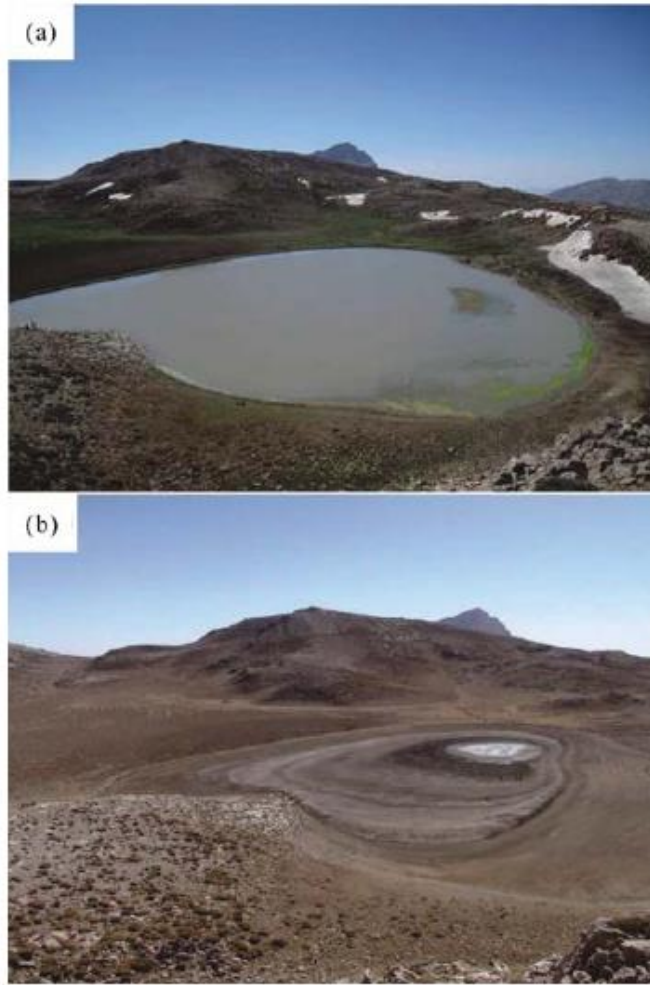


شکل 9. طرح ریزی نیمکره منطقه برابر پایین تر از قطب های سطوح ستون سنگی، گسل مقابل کوه و جزء راستگرد تنش برشی در این منطقه است.

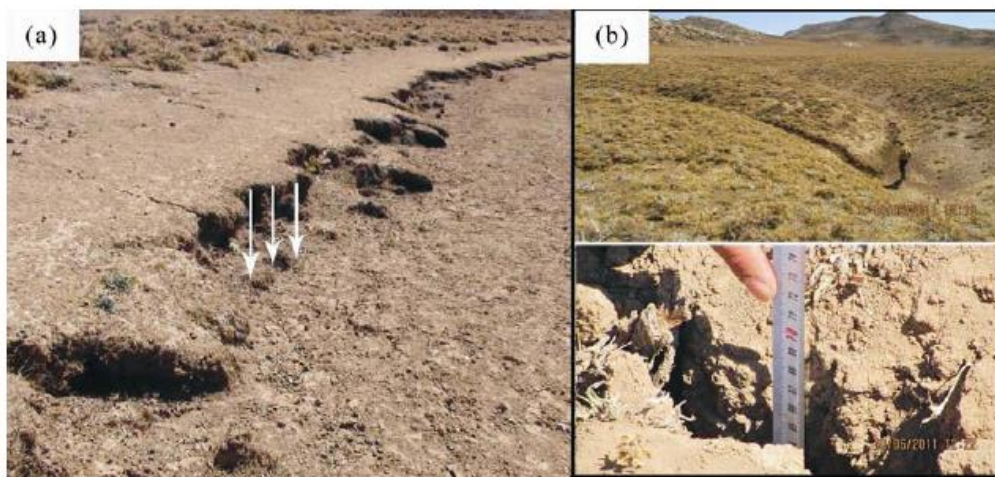
3. بحث

در این تحقیق عوامل مؤثر در شکل گیری دریاچه Barm Firuz مورد مطالعه قرار گرفتند و مدل ممکن برای تکامل ساختاری این دریاچه پیشنهاد شد. با استفاده از تجزیه و تحلیل تنش در مقیاس مزوسکوپی، سازگاری مدل های پیشنهادی با میدان استرس کلی در منطقه مورد مطالعه در مقایسه شد. به نظر می رسد که تکامل دریاچه Barm Firuz به هر دو فرایندهای زمین ساختی و کارستیک مرتبط است. در فصول بارانی دریاچه با آب پر شده و در زمان های دیگر آب دریاچه به سرعت در خاک و سنگ از بستر دریاچه نفوذ می کند. با توجه به ارتفاع و شرایط آب و هوایی در این منطقه، نرخ تبخیر نسبتاً کم بود و آب کمتر با فرار آب به واحدهای زمینی مرتبط است. شکل 10، مورفولوژی کلی دریاچه را در فصل های هیدراته و خشک فواصل 60 روزه نشان می دهد. تر و خشک شدن به صورت مکرر در رسوبات بستر ریز دانه باعث تشکیل یک نشست کلی و ترک های عمیق در منطقه می شود (شکل 11). تکامل ساختاری دریاچه Barm Firuz را احتمالاً می توان با دو مدل توضیح داد. در این مدل ها، مکانیزم گسل مقابل کوه دارای یک اثر مهم روی گسلش دیگر در منطقه محور و در نزدیکی محور تاقدیس است. با توجه به

اولین مدل، شکل گیری دریاچه Barm Firuz به اجزای کششی چین خوردگی در لولای تاقدیس مرتبط می شود. در این مدل، گسلش معکوس در گسل مقابل کوه به تنهایی دارای یک جزء شیب لغز است و به دلیل عدم مولفه امتداد لغز کوتاه، عمدتاً عمود بر گسل مقابل کوه رخ داده است. بر اساس این مدل، یک تورفتگی زمین با دیواره های تقریباً موازی با محور چین خوردگی رخ می دهد. بنابراین این مدل به عنوان ته نشینی انحلال-گسل با مولفه برشی خالص عمود بر گسل مقابل کوه (شکل 12a) نامگذاری شد. با توجه به مدل دوم، ترکیب شیب لغز و اجزای امتداد لغز در جنبش گسل در امتداد گسل مقابل کوه باعث شکل گیری شکستگی های برشی با گرایش مایل نسبت به محور چین خوردگی شده است. ترکیبی از استرس کششی در لولای چین خوردگی و اجزای استرس برشی باعث تشکیل یک منطقه فرورفتگی بین گسل اصلی و شکستگی شده است. بر اساس انحراف مولفه برشی خالص نسبت به گسل مقابل کوه، این مدل به عنوان گودال انحلال-گسل با جزء برشی خالص مورب به گسل مقابل کوه معرفی شد (شکل 12b). انحراف جزء برشی خالص نسبت به ساختار مسطح مانند صفحه گسل باعث تشکیل کوتاه شدن با هندسه ترافشارش می شود (Sanderson و Marchini، 1984). با توجه به جهت گیری حداکثر محور تنش نسبت به گسل جلوی کوه، تعیین حرکت شناسی گسل ممکن است. بر اساس نقشه زمین شناسی، گسل مقابل کوه در تاقدیس Barm Friuz، گرایش N30W و شیب ناشناخته به NE را نشان می دهد. فقدان اطلاعات دقیق در مورد شیب صفحه گسل دارای اثر قابل توجهی روی نتایج نیست. با توجه به رفتار معکوس گسل مقابل کوه، زاویه شیب 45 درجه برای گسل در نظر گرفته شد. بنابراین بر اساس موقعیت حداکثر تنش، یک جزء برشی راستگرد ساده، برای گسل مقابل کوه (شکل 9) آشکار است. از این رو می توان گفت که حرکت گسل تاثیر ترافشارش در تکامل ساختاری از تاقدیس Barm Friuz را نشان می دهد. به علت وقوع کوتاه شدن مایل نسبت به صفحات گسل اصلی در ترافشارش، به نظر می رسد که تکامل ساختاری دریاچه تحت مدل دوم یا مدل انحلال گسل با جزء برشی مورب خالص نسبت به گسل مقابل کوه رخ داده است.

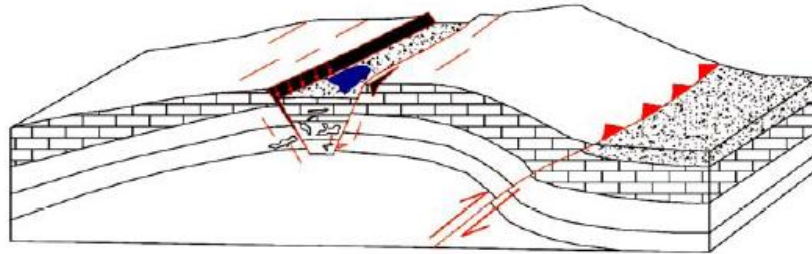


شکل 10. مورفولوژی عمومی دریاچه در سبک های آبدار و خشک شده.

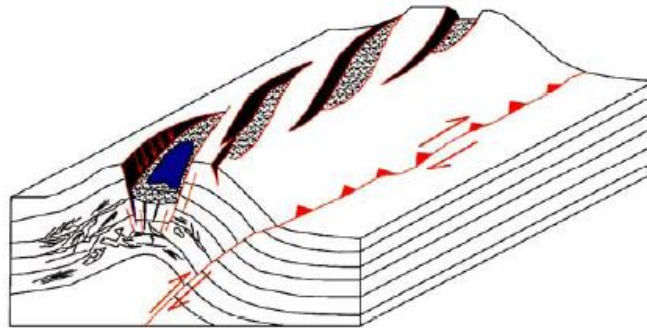


شکل 11. وقوع فرونشست عمومی و ترک های عمیق در منطقه مورد مطالعه.

(a)



(b)



شکل 12. (الف) تصاویر شماتیک از فرونشست انحلال گسل با کوتاه شدن عمود بر گسل مقابل کوه و (ب) فرونشست انحلال گسل با کوتاه شدن مورب به گسل مقابل کوه.

4. نتیجه گیری

شواهد سازه ای، نقش قابل توجهی از کارست و فرآیندهای زمین ساختی در تکامل ساختاری دریاچه Barm Firuz را نشان می دهد. بنابراین می توان دریاچه Barm Firuz را به عنوان یک ساختار تکنوکراستیک معرفی نمود. تجزیه و تحلیل استرئوگرافیک ساختارهای ستون سنگی، جهت گیری حداکثر تنش اصلی را در حد 205 درجه/30 درجه نمایش داد. انحراف از حداکثر جهت تنش اصلی نسبت به امتداد گسل مقابل کوه، وقوع یک جزء تنش برشی راستگرد را در امتداد Barm Friuz گسل مقابل کوه تایید می کند. بنابراین می توان پیشنهاد کرد که تکامل ساختاری دریاچه Barm Firuz تحت شرایط مدل فرونشستن انحلال گسل با کوتاه شدن مایل به گسل مقابل کوه انجام شده است.

REFERENCES CITED

- Allen, M., Jackson, J., 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.
- Andrews, L. M., Railsbak, L. B., 1997. Controls on Stylolite Development: Morphologic, Lithologic, and Temporal Evidence from Bedding-Parallel and Transverse Stylolites from the US Appalachians. *Journal of Geology*, 105: 59–73
- Berberian, M., King, G. C. P., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210–265
- Blanc, E. J. P., Allen, M. B., Inger, S., et al., 2003. Structural Styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran. *Journal of the Geological Society of London*, 160: 401–412
- Eftekhari, A. R., 1993. Application of Color Tracers in the Hydrogeological Characteristics of the Sepidan-Fars Karst Area: [Dissertation]. Shiraz University, Iran
- Falcon, N., 1974. Southern Iran: Zagros Mountains, in Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts. *Geological Society Special Publication*, 4: 199–211
- Filipponi, M., Jeannin, P. Y., Tacher, L., 2009. Evidence of Inception Horizons in Karst Conduit Networks. *Geomorphology*, 106: 86–99
- Jackson, J. A., McKenzie, D. P., 1984. Active Tectonics of Alpine-Himalayan Belt between Western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77: 185–264
- McQuarrie, N., 2004. Crustal Scale Geometry of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, 26: 519–535
- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J. C., et al., 2005. The Structure and Kinematics of the Southeastern Zagros Fold-Thrust Belt, Iran: From Thin-Skinned to Thick-Skinned Tectonics. *Tectonics*, 24: TC3007. doi: 10.1029/2004TC001633.
- Neal, A., 2004. Ground-Penetrating Radar and Its Use in Sedimentology: Principles, Problems and Progress. *Earth Sci. Rev.*, 66: 261–330
- Park, W. C., Schot, E. K., 1968. Stylolites: Their Nature and Origin. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38: 175–191
- Pezeshkour, P., 1991. Hydraulic and Hydrogeochemistry of Kohe Gar-Barm Firuz Springs: [Dissertation]. Shiraz University, Iran
- Sanderson, D. J., Marchini, W. R. D., 1984. Transpression. *Journal of Structural Geology*, 6: 449–458
- Sephehr, M., Cosgrove, J. W., 2005. Role of the Kazerun Fault Zone in the Formation and Deformation of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Tectonics*, 24: TC5005. doi: 10.1029/2004TC001725.
- Talebian, M., Jackson, J., 2002. Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and Implications for Late Cenozoic Tectonics of the Arabia-Eurasia Collision Zone. *Geophysical Journal International*, 150: 422–439
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Ghafory-Ashtiyani, M., 2004. Tectonics of the Central Zagros (Iran) Deduced from Microearthquake Seismicity. *Geophysical Journal International*, 156: 255–266
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., et al., 2004. Contemporary Crustal Deformation and Plate Kinematics in Middle East Constrained by GPS Measurement in Iran and Northern Oman. *Geophysical Journal International*, 157: 381–398