

## ساختار و نحوه تشکیل پشته‌های تراورتن در منطقه آذرشهر، آذربایجان، شمال باختر ایران

کریم تقی‌پور<sup>(۱\*)</sup> و محمد محجل<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری تکنونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۳

### چکیده

تراورتن‌های نوع شکاف - پشته منطقه وسیعی در آذرشهر و بخش خاوری دریاچه ارومیه را پوشش می‌دهند که بخش‌هایی از آن هم‌اکنون نیز در حال تشکیل می‌باشند. تشکیل این نهشته‌ها در این منطقه از آذربایجان، فعال بودن گسل‌های منطقه را نشان می‌دهد. بررسی‌های انجام گرفته مشخص ساخت که این پشته‌ها در ابعاد وسیعی با درازای تا ۲ کیلومتر و ارتفاع تا ۱۵۰ متر در امتداد شکاف‌های کششی بیرون آمده و به دو حالت رگه‌ای و لایه‌ای تشکیل شده‌اند. فعالیت آتشفشانی جوان سهند در مجاورت پشته‌های تراورتن در تشکیل سیالات محلول‌کننده نهشته‌های کربناته منطقه با سن ژوراسیک و کرتاسه نقش اساسی داشته و آنها را با ترکیبات آهن‌دار رنگ آمیزی کرده است. میزان بارندگی در افزایش و یا کاهش آبدی چشمه‌های تراورتن ساز، تاثیر داشته و این تاثیرات با وجود خاک‌های قدیمی در بین لایه‌های تراورتن و تغییرات شیب آنها نمود یافته است. کشش‌های مداوم در منطقه با شکستگی‌های کششی که لایه‌های تراورتن را بریده‌اند، مشخص می‌گردد.

امتداد شکاف‌ها در محدوده پشته‌های تراورتن ارتباط معنی داری با روند گسل‌های امتداد لغز فعال با راستای شمال باختر - جنوب خاور در منطقه دارند. تراورتن‌های رگه‌ای قائم در طرفین شکاف‌ها حاوی فیبرهای آراگونیت و کلسیت می‌باشند که عمود بر دیواره رگه‌ها رشد یافته‌اند. در این مطالعه امتداد فیبرها برای اندازه‌گیری جهت کشش در امتداد شکاف‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌است تا آرایش جهت‌های کشش محلی در محدوده پشته‌های تراورتن مشخص گردد. نتایج ساختاری روشن می‌سازد که تراورتن‌های شکاف-پشته آذرشهر در حوضه کششی در محل پله‌شدگی گسل‌های فعال امتداد لغز شکل گرفته‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** آذربایجان، آذرشهر، پشته‌های تراورتن، حوضه کششی، گسل‌های امتداد لغز فعال.

### مقدمه

موجب جوشش آب در چشمه‌های تراورتن ساز می‌شود. تجزیه بیکربنات کلسیم در چشمه‌های تراورتن ساز عمدتاً ناشی از: الف- کاهش فشار سیال، ب- آشفستگی در جریان سیال و ج- فعالیت‌های بیولوژیکی است که باعث خروج CO<sub>2</sub> از آب می‌شوند (Chafetz and Folk, 1984; Ford and Pedley, 1996; Brogi and Capezzuoli, 2009). بسته به محیطی که آب در آن جریان می‌یابد، دو یا چند فاکتور بر هم کنش یافته و مورفولوژی

اصطلاح تراورتن به تمامی نهشته‌های کربناته غیر دریایی گفته می‌شود که از آب‌های اشباع یا فوق اشباع از کربنات و در مجاورت چشمه‌ها، دریاچه‌ها، غارها و سیستم‌های کارستی تشکیل می‌گردند (Sanders and Friedman, 1967; Ford and Pedley, 1996). نهشت تراورتن در اثر تجزیه بیکربنات کلسیم و خروج گاز CO<sub>2</sub> صورت می‌گیرد. خروج گاز CO<sub>2</sub>، همچنین

\* نویسنده مرتبط taghipour@birjand.ac.ir

می‌دهند که همگرایی بین ورق عربی و اوراسیا، موجب حرکت گسل‌های با روند NW-SE در این ناحیه، به صورت امتدادلغز راستگرد شده است (Masson et al., 2006; Copley and Jackson, 2006). روند این گسل‌های امتدادلغز، با ساختارهای عمیق پی سنگی دارای روند NW-SE (Nogole Sadat, 1978) همخوانی دارد. حرکت راستگرد این گسل‌های امتدادلغز پی سنگی و همپوشانی آن‌ها با گسل‌های امتدادلغز مجاور، موجب ایجاد تراکشش و تشکیل حوضه‌های کششی<sup>۱</sup> در مناطقی از آذربایجان مانند کلیسا کندی و سیه چشمه (Karakhanian et al., 2009; Kherikhah et al., 2004)، دشت تبریز (Karakhanian et al., 2004) و دریاچه قوریگل (تقی‌پور، ۱۳۸۳) و یا ایجاد ترافشارش و تشکیل ساختارهای گلوار<sup>۲</sup> در کوه‌های تک آلتی (تقی‌پور، ۱۳۸۳) شده است.

مجموعه آتشفشانی سهند بخشی از کمان ماگمایی ارومیه - دختر می‌باشد (Alavi, 1994). مجموعه آتشفشانی سهند بر روی پی سنگی از سنگ‌های رسوبی با سن‌های مختلف قرار گرفته است. این مجموعه، بیشتر از گدازه‌های ریولیتی، داسیتی و آندزیتی تشکیل شده که در بین آن‌ها توف و خاکستر فراوان دیده می‌شود. وجود خاکستر با قطعات پامیس در فواصل بسیار دور از قله‌ها (تبریز، بستان آباد و مراغه) نشان می‌دهد که فوران‌های انفجاری سهند بسیار شدید بوده است (آقاناتی، ۱۳۸۳). تغییرات سن پرتوسنجی گدازه‌های سهند بین ۱۲ تا ۰/۱۴ میلیون سال را نشان می‌دهند (معین وزیری و امین سبحانی، ۱۳۵۶). Berberian and King (1981) فعالیت‌های آتشفشانی با سن پلیوسن - کوآترنری را ناشی از حرکت امتدادلغز بلوک‌های قاره‌ای در پاسخ به فشارش حاصل از همگرایی ورق عربی و اوراسیا و کشش‌های ناشی از این حرکات امتدادلغز می‌دانند.

قدیمی‌ترین واحد سنگی در منطقه مورد مطالعه، آهک‌های ضخیم و توده‌ای به سن ژوراسیک (هم ارز سازند لار) می‌باشند (شکل ۱). این واحد سنگی به صورت ناپیوسته و به وسیله کنگلومرای قاعده کرتاسه پوشیده شده است. کنگلومرای قاعده کرتاسه به تدریج به لایه‌هایی از سنگ آهک ضخیم لایه تا توده‌ای بیتومین‌دار با فسیل‌های دوکفه‌ای و براکیوپود تبدیل می‌شود. این واحدهای آهکی در بخش جنوب باختری با مجموعه نهشته‌های کرتاسه فوقانی همبری گسلی دارد. واحدهای سنگی کرتاسه فوقانی شامل شیل‌های سیاه، ماسه سنگ و شیل‌های آهکی همراه با میان لایه‌هایی از گدازه‌های اسیدی و بازیک می‌باشند (Shahrabi et al., 1985).

واحدهای سنگی نئوژن با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. این سنگ‌ها شامل کنگلومرای ولکانوکلاستیک و لاهار به سن میوسن و کنگلومرا، ماسه سنگ و سیلتستون به سن پلیوسن می‌باشند. در کوآترنری و هم‌زمان با فعالیت‌های آتشفشانی، رسوبگذاری واحدهای تراورتن آغاز شده

و رخساره تراورتن را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Chafetz and Folk, 1984; Ford and Pedley, 1996; Guo and Riding, 1998; Pentecost et al., 2003; Brogi and Capezuoli, 2009). تراویتونیک اصطلاحی است که به مطالعه و بررسی ارتباط بین نهشت تراورتن و گسلش داده شده است (Hancock et al., 1999). این ارتباط نشان می‌دهد که سن رسوبگذاری تراورتن می‌تواند به عنوان شاخصی برای تعیین سن گسلش بهکار رود. این ویژگی به عنوان یک روش کلیدی در بررسی‌های نئوتکتونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا رسوبگذاری تراورتن، ابزار بسیار مفیدی در مکان‌یابی گسل‌های فعال و بالقوه مخاطره آمیز است.

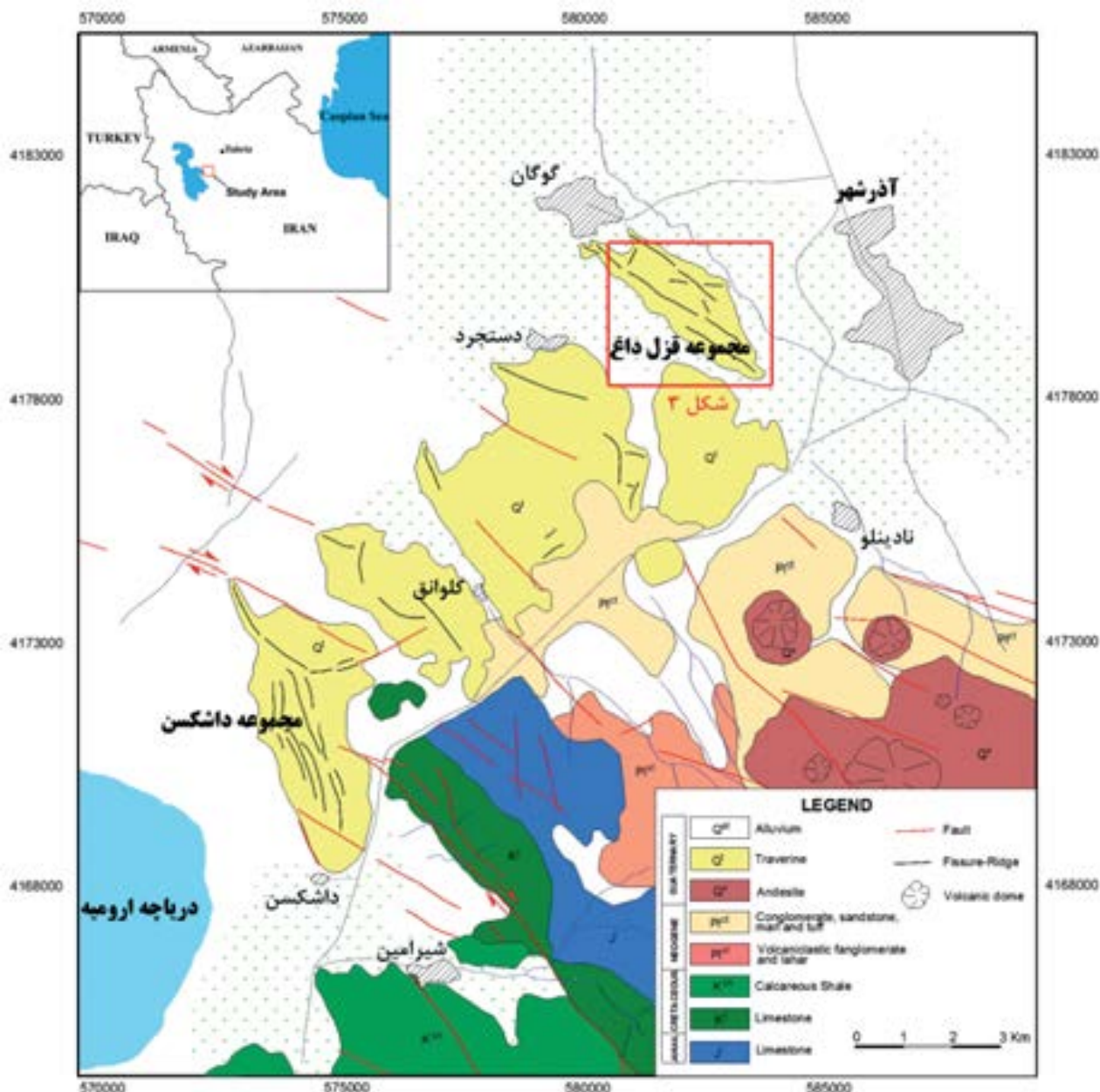
بر پایه مطالعات انجام یافته، نهشته‌های تراورتن در آذرشهر عمدتاً از نوع شکاف - پشته<sup>۱</sup> هستند (تقی‌پور و عباسی، ۱۳۸۴). تراورتن‌های شکاف - پشته عوارض مورفوتکتونیک هستند که از نهشت تراورتن از طریق آب‌های هیدروترمال صعودکننده در امتداد شکستگی‌های پی سنگ تراورتن‌ها ایجاد شده‌اند (Bargar, 1978; Chafetz and Folk, 1984; Guo and Riding, 1992; Ford and Pedley, 1996; Hancock et al., 1999; Atabay, 2002; Yanik et al., 2005). معماری و الگوی نهشته‌های تراورتن، به ویژه شکاف - پشته‌ها، اطلاعات بسیار مفیدی در مورد جایگاه تکتونیک و کینماتیک ساختارهای پی سنگ آنها در اختیار قرار می‌دهند. همچنین با آنالیز و بررسی مورفولوژی و نحوه پراکنش نهشته‌های تراورتن، اطلاعات بسیار با ارزشی در مورد هندسه گسل‌ها و آرایش و ارتباط آنها به دست می‌آید.

نهشته‌های تراورتن آذرشهر با وسعت بیش از ۵۰ کیلومتر مربع یکی از گسترده‌ترین نهشته‌های تراورتن در دنیا هستند. استخراج گسترده این نهشته‌ها و نیز فرسایش آن‌ها در بخش‌های مختلف، باعث شده تا مقاطع و برش‌های مختلفی از نهشته‌های تراورتن و به‌ویژه شکاف - پشته‌ها رخنمون یابند و امکان بررسی آنها فراهم شود. در این نوشتار ویژگی‌های هندسی، جنبشی، مورفوتکتونیک و رسوبی شکاف - پشته‌های تراورتن در آذرشهر بررسی شده و ارتباط بین آن‌ها و گسل‌های پیرامون تعیین شده است. همچنین، علاوه بر بررسی‌های صحرائی، از پردازش تصاویر ماهواره ASTER، داده‌های حاصل از گمانه‌های حفاری شده و نیز داده‌های ژئوفیزیکی برای شناسایی گسلها و شکاف - پشته‌های تراورتن استفاده شده است. در پایان خاستگاه ساختاری و تکتونیک آن‌ها نیز مورد بحث قرار گرفته است.

### جایگاه زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در حاشیه باختری مجموعه آتشفشانی سهند در جنوب آذرشهر قرار دارد (شکل ۱). منطقه آذربایجان بین دو کمربند تراسی قفقاز در شمال و زاگرس در جنوب قرار گرفته و تحت تاثیر دگرشکلی و لرزه‌خیزی شدید فعال قرار دارد (Jackson, 1992). مکانیزم کانونی زلزله‌ها و مطالعات GPS نشان

1. Fissure-Ridge  
2. Pull-apart  
3. Pop-up



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که بر اساس پیمایش‌های صحرایی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده است.

آب‌های اشباع از کربنات کلسیم از شکاف مرکزی بالا آمده و موجب رسوب تراورتن در دیواره شکاف و نیز در طرفین آن می‌شوند و در نتیجه یک پشته خطی ایجاد می‌گردد.

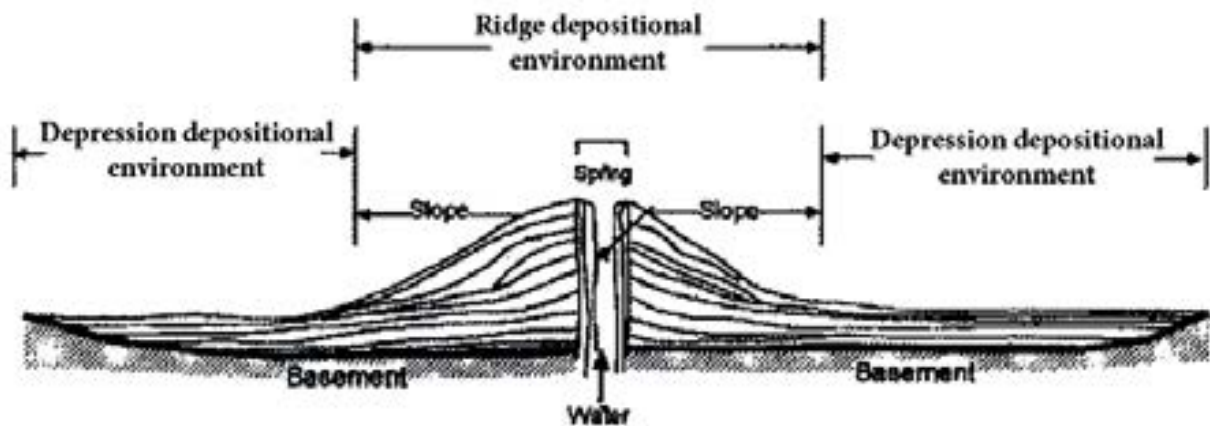
در منطقه آذرشهر، پشته‌های حاصل از رسوب تراورتن عموماً خطی بوده و در بعضی موارد انحنای دارند. ارتفاع زیاد و منحصر به فرد پشته‌های تراورتن در آذرشهر موجب شده است که این پشته‌ها به خوبی در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی باشند. این پشته‌ها در تصاویر ماهواره‌ای به صورت عوارض توپوگرافی خطی با درازای بیش از چند صد متر دیده می‌شوند که با زوایای مختلف نسبت به همدیگر آرایش

است. پی سنگ نهشته‌های تراورتن واحدهای به سن نئوژن است. فرآیند رسوبگذاری تراورتن هم اکنون نیز به طور محدود، در تعدادی از چشمه‌های فعال، از جمله چشمه‌های تاپ تاپان، قزل داغ و داشکسن ادامه دارد.

### ریخت‌شناسی نهشته‌های تراورتن

تراورتن‌های تپ شکاف - پشته (شکل ۲) از یک شکاف مرکزی که تراورتن‌های نواری<sup>۱</sup> در آن رسوب کرده‌اند و تراورتن‌های شیب‌دار<sup>۲</sup> مجاور آن تشکیل شده‌اند (Bargar, 1978; Chafetz and Folk, 1984). شکل‌گیری این مجموعه به این صورت است که

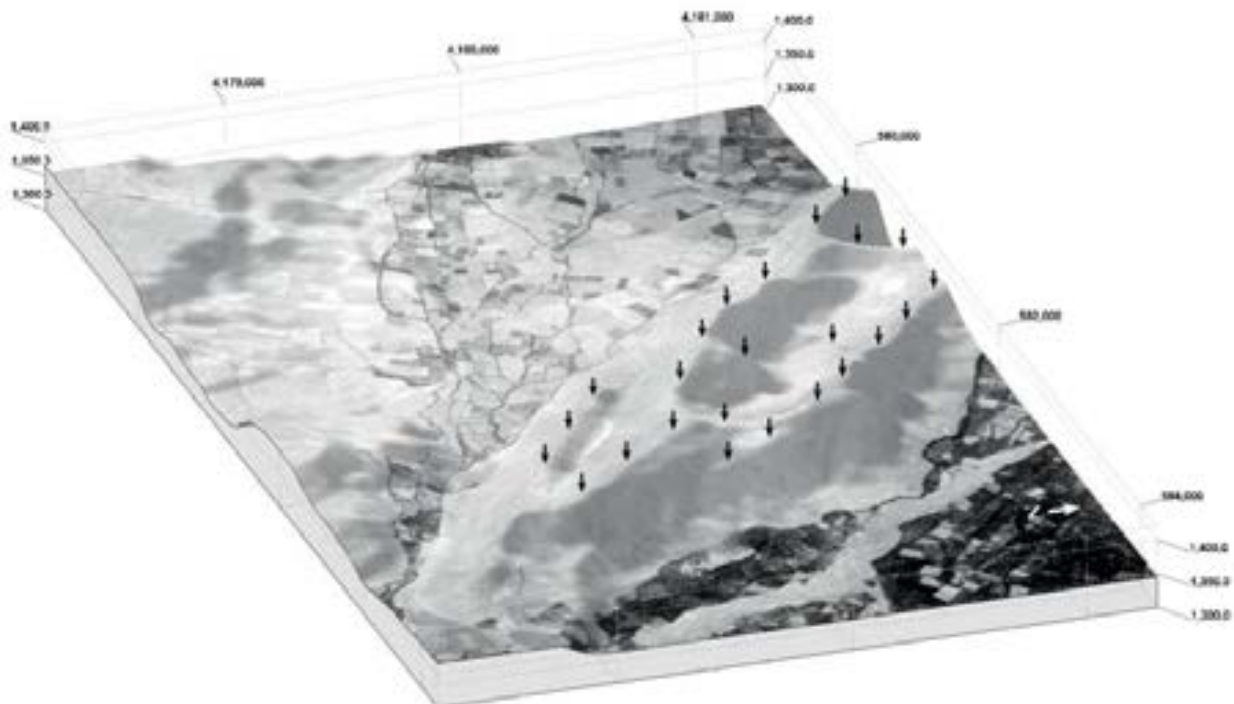
1. Banded travertines
2. Bedded travertines



شکل ۲. برش نمایشی از یک مجموعه تراورتن تیپ شکاف - پشته (نقل از Özkul et al., 2002).

Capezzuoli, 2009) حتی به ۱۵ متر نیز نمی‌رسد. اگر نرخ جریان آبی که از شکاف مرکزی بالا می‌آید زیاد باشد، پشته ایجاد شده ارتفاع کم داشته ولی عرض زیاد خواهد داشت ولی اگر نرخ جریان آب کم باشد، رسوبگذاری تراورتن در اطراف شکاف مرکزی بیشتر شده و در نتیجه ارتفاع پشته زیاد و عرض آن کم خواهد بود (Hancock et al., 1999). انباشته شدن رسوبات تراورتن در کنار شکاف مرکزی، باعث افزایش ارتفاع و شکل‌گیری یک تپه یا پشته کشیده می‌گردد. این مورفولوژی خاص باعث شکل‌گیری دو محیط رسوبی متفاوت در طرفین شکاف مرکزی می‌گردد (شکل ۲). این دو محیط رسوبی عبارتند

یافته‌اند. طول پشته‌های منفرد در بعضی موارد حتی به بیش از ۲ کیلومتر نیز می‌رسد (شکل‌های ۱۴ و ۱۷). ویژگی منحصر به فرد پشته‌های تراورتن در آذرشهر، ارتفاع بلند و گسترش بسیار زیاد آنها در مقایسه با انواع مشابه در سایر نقاط جهان می‌باشد. اختلاف ارتفاع این پشته‌ها با زمین‌های اطراف، حتی تا ۱۵۰ متر نیز می‌رسد (شکل‌های ۳ و ۵). برای مقایسه می‌توان گفت که ارتفاع معروف‌ترین پشته‌های تراورتن تیپ شکاف - پشته در دنیا مانند Bridgeport واقع در کالیفرنای آمریکا، Pamukkale و Balkayasi در غرب ترکیه (Hancock et al., 1999) و di Rapolan در ایتالیا (Ford and Pedley, 1996; Brogi and



شکل ۳. عکس هوایی مجموعه قزل داغ که با DEM تلفیق شده است (نگاه به سمت شمال غرب). در این تصویر سه بعدی، پشته‌ها و شکاف‌های مرکزی با بیکان سیاه نشان داده شده‌اند.



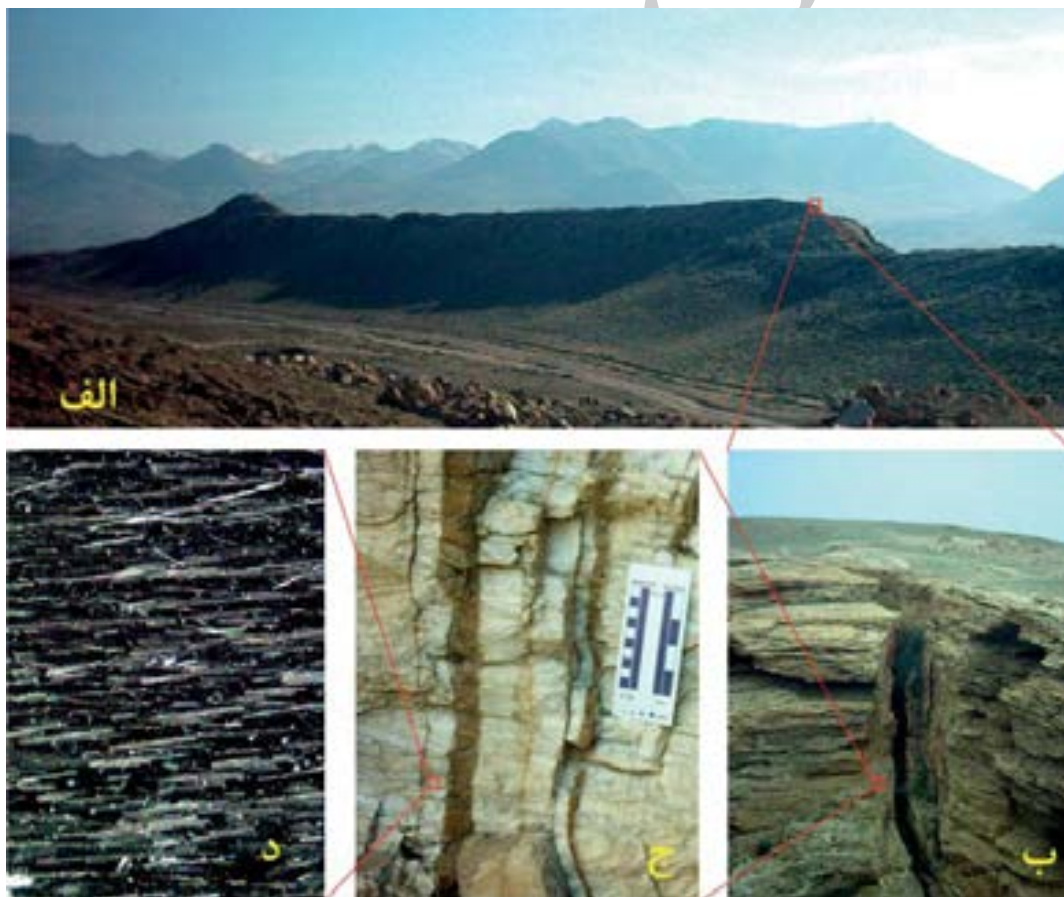
### کینماتیک شکاف‌های مرکزی

شکاف‌هایی که در مرکز پشته‌ها قرار دارند با تراورتن‌های نواری پر شده و در واقع تبدیل به رگه شده‌اند. تراورتن‌های نواری از بلورهای فیبری کربنات کلسیم و عمدتاً آراگونیت (بر اساس مطالعات پتروگرافی) تشکیل شده‌اند. فیبرهای آراگونیت در جهت عمود بر دیواره رگه رشد کرده‌اند. رگه‌های فیبری تراورتن از نوع رگه‌های هم محور<sup>۳</sup> هستند.

شکل‌گیری این رگه‌ها تقریباً مشابه فرایند ترک - پر شدن<sup>۴</sup> می‌باشد که Ramsay (1980) برای تشکیل رگه‌های فیبری پیشنهاد کرده است. در پشته‌های فعال و جدید، در سطح زمین عرض شکاف‌ها در حد چند میلیمتر است. ولیکن استخراج گسترده تراورتن به عنوان سنگ تزئینی، موجب رخنمون یافتن قسمت‌های مختلف نهشته‌های تراورتن از جمله پشته‌ها، شکاف‌های مرکزی و تراورتن‌های لایه‌ای افقی شده است. علاوه بر فعالیت‌های معدنی، فرایند فرسایش نیز موجب تخریب بخش‌های فوقانی و جوان‌تر نهشته‌های تراورتن شده و در نتیجه تراورتن‌های نواری در ترازهای مختلف رخنمون یافته است. در پشته‌های جوان

از: محیط رسوبی پشته<sup>۱</sup> و محیط رسوبی فرونشست<sup>۲</sup>. محیط رسوبی پشته در طرفین شکاف مرکزی قرار دارد (Özkul et al., 2002). ارتفاع گرفتن مجموعه پشته باعث می‌شود که تراورتن به صورت لایه‌های شیب دار رسوب کند. اگر دبی آب خارج شده از شکاف یا چشمه زیاد باشد، در این صورت تمامی آب در محیط رسوبی پشته تبخیر نمی‌شود و مابقی در بخش‌های پست تر جمع شده و محیط رسوبی فرونشست را تشکیل می‌دهند. همچنین بر خلاف نهشته‌های تراورتن در محیط پشته که شیب‌دار هستند، لایه‌های تراورتن در محیط فرونشست به صورت افقی رسوب می‌کنند (Özkul et al., 2002).

در منطقه مورد مطالعه، پشته‌های تراورتن در دو بخش تجمع بیشتری دارند. یکی از این محدوده‌ها کوه قزل داغ است که در شمال منطقه مورد مطالعه و باختر شهر آذرشهر قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۴) و در این نوشتار تحت عنوان مجموعه قزل داغ آمده است. محدوده دیگر در جنوب منطقه مورد مطالعه و شمال روستای داشکسن (شکل‌های ۱ و ۵) قرار دارد که در این نوشتار تحت عنوان مجموعه داشکسن آمده است.



شکل ۴. بخش‌های مختلف یک مجموعه تیپ شکاف - پشته (الف - تصویر از یک پشته (تپه خطی) در مجموعه قزل داغ، ب) نمایی نزدیک از مرکز پشته، ج) تراورتن‌های نواری یا رگه‌های syntaxial در مرکز پشته، د) تصویر میکروسکوپی از کریستال‌های فیبری مربوط به تراورتن‌های نواری.

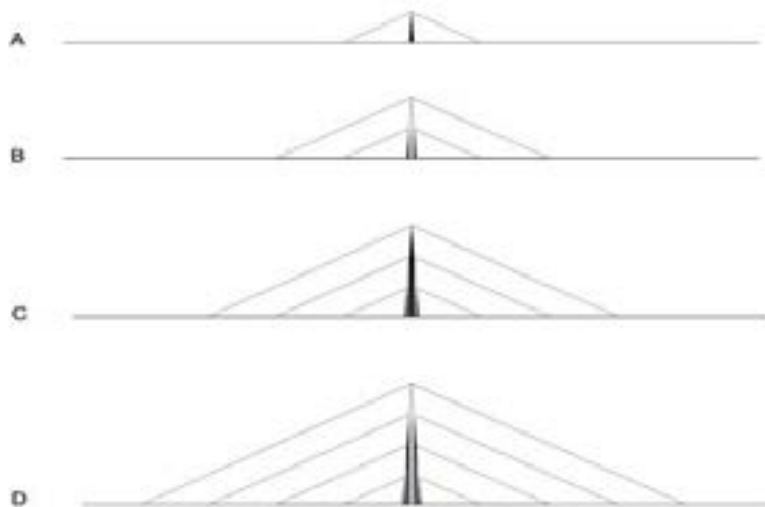
1. Ridge Depositional Environment
2. Depression Depositional Environment
3. Syntaxial
4. Crack-Seal



شکل ۵. تصاویری از پشته‌ها و رگه‌های تراورتن در منطقه آذرشهر: الف) نمایی از یک پشته تراورتن در مجموعه داشکسن. ب) رخنمون تراورتن‌های نواری (رگه) در سینه کار معدن قزل داغ. ج) تصویر یک پشته تراورتن در قزل داغ که تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته و قسمت ضخیم تراورتن‌های نواری در مرکز آن برونزد یافته است. ضخامت تقریبی رگه (تراورتن‌های نواری) در این بخش تقریباً ۵۰ متر است.

لایه‌ای نیز در اثر کشش مداوم گسیخته شده و با اتساع شکاف ایجاد شده، آب‌های حاوی بیکربنات کلسیم از شکاف به سمت بالا آمده و نسل جدیدی از تراورتن را بر روی تراورتن‌های قدیمی تر رسوب می‌دهند (شکل ۶). همزمان با رسوب تراورتن در سطح زمین، به دلیل افت شدید فشار  $CO_2$ ، در دیواره‌های شکاف نیز تراورتن رسوب می‌کند که این فرایند باعث شکل‌گیری تراورتن‌های نواری می‌شود. فرایند رسوب تراورتن‌های نواری باعث می‌شود که شکاف به طور کامل پر و بسته شود. بنابراین ادامه فرایند رسوب تراورتن‌های نواری مستلزم گسترش و اتساع شکاف (رگه) در امتداد خط میانی است (شکل ۶). لذا با اتساع مجدد شکاف، نسل جدیدی از تراورتن در شکاف و پشته اطراف آن رسوب می‌کند. گسترش و اتساع مداوم و پیشرونده شکاف (رگه) باعث افزایش ارتفاع پشته و بزرگتر شدن آن می‌شود ولی در مورد رگه (تراورتن‌های نواری) چون با افزایش عمق، رگه مراحل گسترش و اتساع بیشتری را تجربه کرده است، ضخامت بیشتری از تراورتن‌های نواری (فیبرهای آراگونیت و کلسیت) نیز در آن رسوب کرده‌اند. با توجه به این‌که فیبرها به موازات جهت طولی شدگی فزاینده رشد می‌کنند، می‌توان از آنها برای ردیابی

که کمتر تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته‌اند، عرض شکاف‌ها در حد چند سانتیمتر است (شکل ۴-الف) ولی در پشته‌های قدیمی عرض رگه‌ها به چند متر می‌رسد. در معدن قزل داغ که در حاشیه یک پشته قدیمی قرار دارد، فرسایش و معدنکاری موجب رخنمون رگه‌هایی با عرض تقریبی بیست متر شده است (شکل ۵-ب). با افزایش قدمت، و در نتیجه افزایش تاثیر فرسایش، عرض رخنمون رگه‌ها باز هم افزایش می‌یابد، به طوری که در شمال باختر مجموعه قزل داغ، عرض رخنمون رگه‌های آراگونیت در یک پشته قدیمی فرسایش یافته به حدود پنجاه متر می‌رسد (شکل ۵-ج). این رخنمون مربوط به قسمت‌های قاعده پشته است که پی سنگ کنگلومرایی تراورتن‌ها نیز در اطراف رگه‌ها رخنمون یافته است. این مشاهدات نشان می‌دهند که ضخامت شکاف‌های پرشده با تراورتن‌های نواری با افزایش عمق بیشتر می‌شود به طوری که ضخامت در راس پشته تقریباً صفر بوده و در قاعده پشته به حداکثر می‌رسد. شکل‌گیری این مجموعه بدین ترتیب است که در مرحله اول، گسیختگی و اتساع شکاف در پی سنگ تراورتن‌ها رخ می‌دهد و در پی آن مجموعه‌ای از تراورتن‌های لایه‌ای بر روی سطح زمین رسوب می‌کند. سپس مجموعه تراورتن



شکل ۶. تصویر نمایشی از مراحل شکل‌گیری یک پشته تراورتن و شکاف (رگه) مرکزی.

بخش‌های میانی آن‌ها بوده که بعضاً به چندین متر نیز می‌رسد (شکل ۸). نوع دیگری از عوارض که نشان‌دهنده حرکات کششی فعال است، ایجاد فرونشست در راس پشته‌ها می‌باشد. این عوارض که بیشتر در بخش‌های شمالی منطقه مانند مجموعه قزل داغ و باختر و جنوب باختر روستای دستجرد قابل شناسایی هستند، در نتیجه باز شدگی ناشی از حرکات کششی فعال ایجاد شده‌اند. بدین صورت که به محض باز شدن شکاف، خاک‌های سطحی و مقداری از سنگ‌های دیواره خرد شده به داخل شکاف ریخته‌اند. این فرایند علاوه بر پر شدن شکاف با قطعات تخریبی، موجب ایجاد فرونشست در سطح زمین شده است. طول این عوارض بین ۵۰ تا ۳۰۰ متر و بیشترین میزان فرونشست در بخش‌های میانی آن‌ها بوده که حداکثر به ۱/۵ متر می‌رسد (شکل ۹).

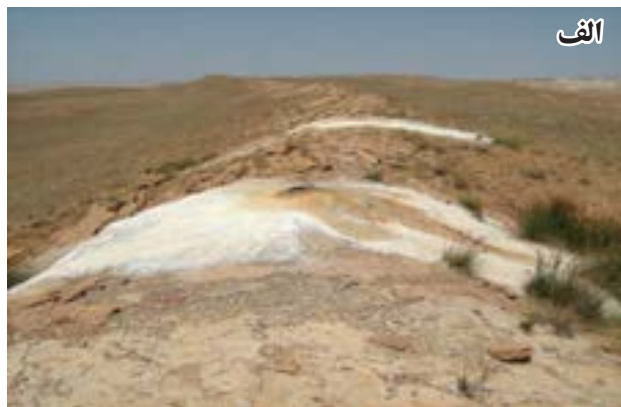
حرکات کششی و اتساع شکاف‌ها منحصر به پشته‌های تراورتن و شکاف‌های مرکزی نمی‌باشد. شواهد این حرکات در لایه‌های تراورتن افقی نیز قابل شناسایی می‌باشند. از جمله در معدن تراورتن سنگاب (سردارآباد) که تناوب لایه‌های تراورتن قرمز و لایه‌های سفید اسپلوتم<sup>۱</sup> توسط درزه‌های کششی که عمدتاً قائم بوده و یا شیب تند دارند، قطع شده‌اند. به همراه و موازات این درزه‌های کششی، مجموعه‌ای از دایک‌های رسوبی دیده می‌شوند که تمامی لایه‌های تراورتن و اسپلوتم را قطع کرده‌اند (شکل ۱۰). مواد تشکیل دهنده این دایک‌ها عمدتاً شامل رس به رنگ قهوه‌ای روشن و سبز مایل به خاکستری است. بر اساس آزمایشات مکانیک خاک انجام یافته بر روی چهار نمونه انتخابی، PI این مصالح بین ۲۵ و ۳۰ می‌باشد که نشان‌دهنده خاصیت خمیری بالای آنها است. این مواد به طور مشخصی از نظر ترکیب و رنگ با لایه‌های تراورتن مجاور تفاوت دارند و در نتیجه نمی‌توانند از تخریب لایه‌های تراورتن که در بالا و دیواره دایک قرار دارند منشأ گرفته باشند. منشأ مواد رسی تشکیل دهنده این دایک‌ها را می‌توان در پی سنگ لایه‌های تراورتن جستجو نمود. لایه‌های تراورتن قرمز به صورت ناپیوسته بر روی واحدهای مارن و گل‌سنگ به رنگ سبز مایل به خاکستری رسوب کرده‌اند که این واحدها به خوبی در اطراف معدن سنگاب رخ‌نمون یافته‌اند (شکل ۱۰-ج). در اثر



تاریخچه واتنش در منطقه استفاده نمود. در رگه‌هایی که در مرکز پشته‌ها قرار دارند، فیبرهای آراگونیت در تمامی مراحل گسترش و رشد خود، عمود بر دیواره‌ها رشد کرده‌اند، بنابراین جهت گسترش رگه‌ها در جهت عمود بر دیواره بوده است. همچنین در بررسی‌های صحرایی، هیچ مولفه شیب لغزی در رگه‌ها، شکاف‌های فعال و سایر سیستم‌های شکستگی شناسایی نشده است. لذا این شکاف‌ها از نوع شکستگی‌های کششی Mode I می‌باشند. با توجه به این که فرایند رسوبگذاری تراورتن در حال حاضر نیز در چشمه‌های خطی فعال در بخش‌هایی از منطقه مانند قزل داغ (شکل ۷-ب) و داشکسن (شکل ۷-الف) ادامه دارد، می‌توان از این شکاف‌ها برای به‌دست آوردن جهت محورهای کشش افقی در بازه زمانی آغاز نهشت تراورتن تا عهد حاضر استفاده نمود.

فعالیت چشمه‌های خطی، شواهدی بر فعال بودن حرکات کششی در منطقه است. میزان فعالیت و آبدهی این چشمه‌ها تابعی از میزان بارندگی فصلی بوده است. در فصولی که میزان بارندگی زیاد است، میزان آبدهی چشمه‌ها و در نتیجه رسوبگذاری تراورتن بیشتر ولی در فصول خشک، فعالیت چشمه‌ها تقریباً متوقف می‌شود. این پدیده نشان‌دهنده تأثیر فرایندهای جوی و میزان بارندگی بر نرخ نهشت تراورتن می‌باشد. البته لازم به توضیح است که میزان آبدهی چشمه‌ها به عوامل دیگری مانند برداشت آب از چاه‌های مجاور نیز ارتباط دارد. بر اساس اطلاعات حاصل از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، در محدوده مورد مطالعه در حدود ۱۰۰۰ حلقه چاه مورد بهره‌برداری قرار دارد که برداشت از آنها تأثیر زیادی بر آبدهی چشمه‌ها دارد.

با وجود توقف آبدهی چشمه‌های خطی، حرکات کششی در امتداد شکاف‌های مرکزی ادامه یافته است. شواهد مربوط به این حرکات به دو صورت در منطقه قابل مشاهده است. نخست شکاف‌هایی که در آن‌ها حرکات کششی موجب بازشدگی آشکار در امتداد آن‌ها شده است. میزان باز شدگی در این شکاف‌ها از چند میلیمتر تا چند متر متغیر است. طول این شکاف‌های فعال از چند متر تا ۶۰۰ متر می‌رسد که حداکثر میزان بازشدگی در

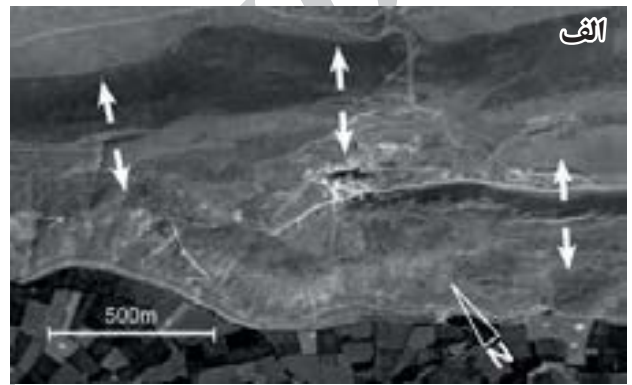


شکل ۷. نمونه‌هایی از چشمه‌های خطی فعال. الف) مجموعه داشکسن و ب) مجموعه قزل داغ.

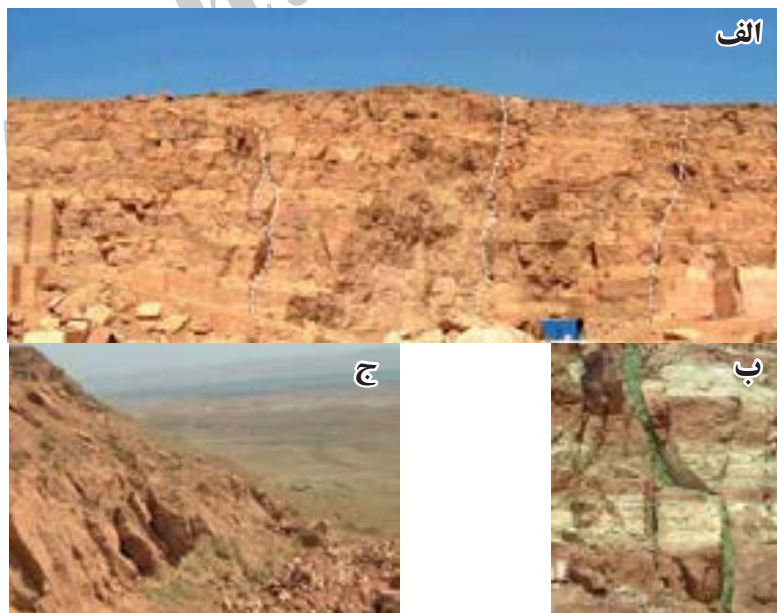




شکل ۸. نمونه‌هایی از شکستگی‌های کششی فعال در مجموعه قزل داغ.



شکل ۹. الف) عکس هوایی از جنوب مجموعه قزل داغ که در آن فرونشست‌های ناشی از حرکات کششی مشهود هستند. پیکان‌های سفیدرنگ نشان‌دهنده جهت کشش فعال می‌باشند. ب) یکی از فرونشست‌های کششی در جنوب مجموعه قزل داغ (فردی که در تصویر دیده می‌شود، به عنوان مقیاس می‌باشد).



شکل ۱۰. الف) نمایی از سینه کار معدن سنگاب آذرشهر (سردارآباد) که در آن محل دایک‌های رسوبی با خطوط چین سفید نشان داده شده است. ب) نمایی نزدیک از یک دایک رسوبی. مواد رسی (سبز رنگ) تناوبی از لایه‌های تراورتن (قرمز) و اسپلوتم (سفید) را قطع کرده‌اند. ج) رخنمون پی سنگ مارن و رسی لایه‌های تراورتن در بخش‌های جنوبی معدن سنگاب.

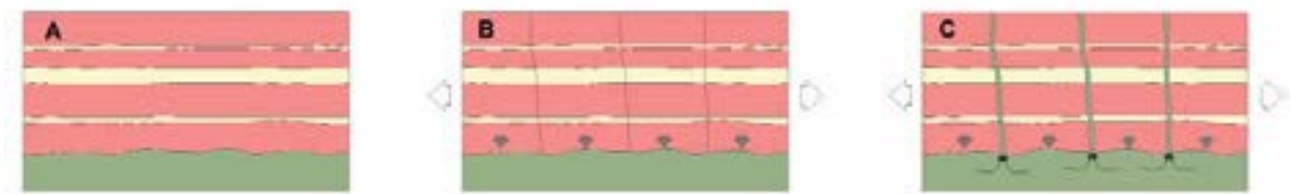


بیشتر شکاف - پشته‌ها در امتداد شکستگی‌های بزرگ پوسته‌ای مرتبط با مناطق کششی گسل‌های نرمال و یا محل پله‌شدگی گسل‌های امتدادلغز یا مورب لغز شکل گرفته‌اند (Hancock et al., 1999; Atabey, 2002; Altunel, 2005). زیرا در این مناطق، سیالات فشار بالای هیدروترمال می‌توانند به سمت بالا صعود کنند. در منطقه مورد مطالعه، بهترین ارتباط بین پشته‌های تراورتن و گسل‌های مجاور را می‌توان در مجموعه داشکسن مشاهده نمود (شکل ۱۴). در جنوب خاور مجموعه تراورتن داشکسن، گسلی قرار دارد که شواهد مورفوتکتونیک از جمله انحراف آبراهه‌ها در طول این گسل، موید حرکات جوان از نوع امتدادلغز راستگرد بر روی آن است (شکل ۱۴). با استفاده از این شاخص حداکثر میزان جابجایی بر روی این گسل نزدیک به ۲۰۰ متر تعیین شده است. انتهای جنوب خاوری این گسل به گسل شمال مراغه می‌رسد، و انتهای شمال باختری آن در مجاورت مجموعه تراورتن داشکسن به دو شاخه تقسیم می‌شود. یکی از شاخه‌ها با روند گسل اصلی در شمال مجموعه داشکسن پایان می‌یابد. شاخه دیگر، جنوب مجموعه داشکسن را محدود می‌کند. در شمال باختر مجموعه تراورتن داشکسن، یک گسل با آرایش پلکانی<sup>۱</sup> نسبت به گسل داشکسن و با همان روند شناسایی گردید که موجب گسیختگی آبرفت‌های جوان و نهشته‌های تراورتن مجموعه داشکسن شده است. نوع جابجایی بر روی این گسل شناخته شده نیست ولیکن

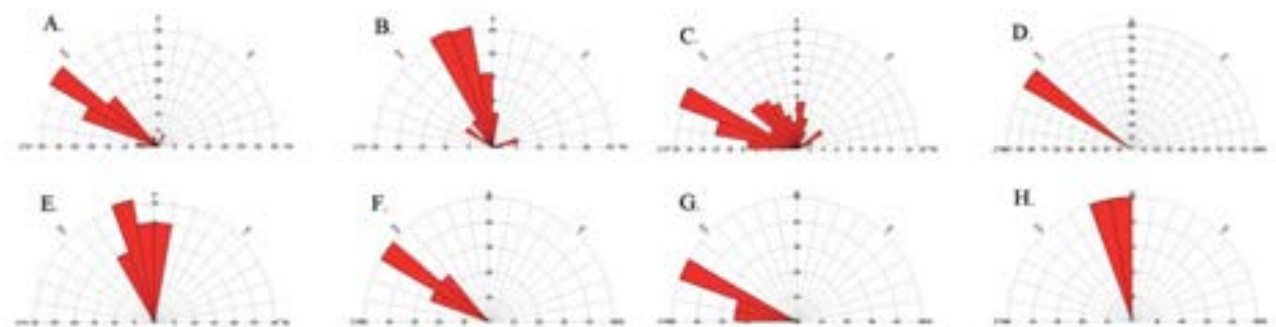
تداوم حرکات کششی، میزان بازشدگی درزه‌ها افزایش یافته است. در این حال فشار ناشی از وزن طبقات تراورتن بر لایه‌های مارن و گل‌سنگ که احتمالاً اشباع از آب بوده و حالت کاملاً خمیری داشته‌اند، اعمال شده و باعث شده این مواد مانند سیال عمل کرده و به داخل شکستگی‌های کششی نفوذ کنند (شکل ۱۱). آرایش شکاف‌ها و شکستگی‌های کششی در بخش‌های مختلف منطقه متفاوت است (شکل ۱۲). همچنین جهت محورهای کشش نیز که با استفاده از شکاف‌ها و سایر شکستگی‌های کششی بدست آمده آشفته به نظر می‌رسد. شکل ۱۳ نقشه‌ای را نشان می‌دهد که در آن جهت کشش بدست آمده از پشته‌ها و شکاف‌ها در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. جهت کشش به‌دست آمده از پشته‌ها هیچ الگوی مشخص و منظمی نشان نمی‌دهد و در واقع بیانگر یک میدان آشفته تنش در منطقه می‌باشند. همچنین این الگو هیچ ارتباط مستقیمی با جهت کوتاه شدگی عمومی در منطقه، در بازه زمانی بین پلیوسن تا عهد حاضر که بین N10E تا N10W می‌باشد، نشان نمی‌دهد (تقی پور، ۱۳۸۳; Jackson et al., 2002; Vernant et al., 2004; Vernant and Chery, 2006; Trifonov et al., 1999).

#### ارتباط شکستگی‌های کششی با گسل‌های منطقه

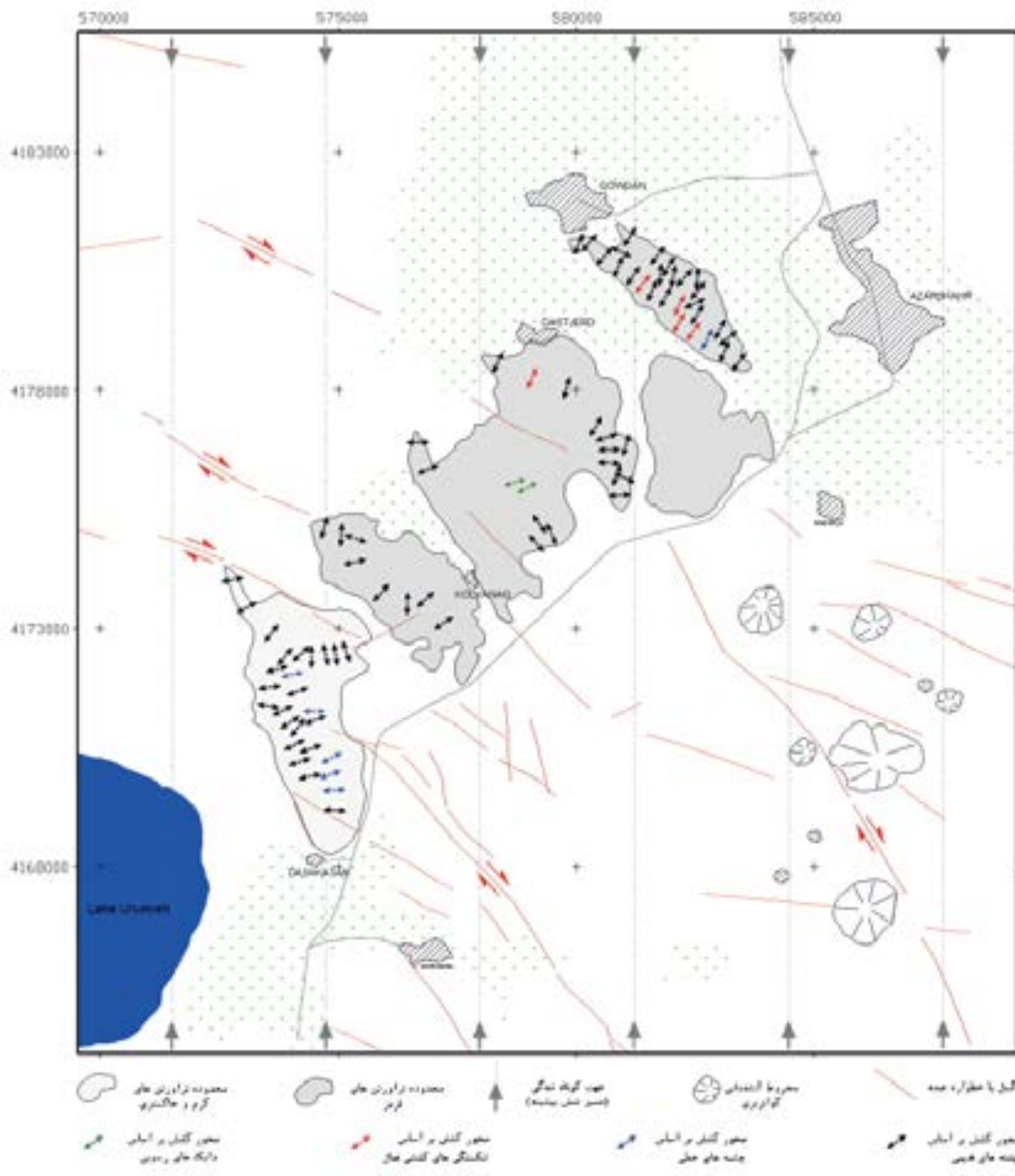
مطالعات انجام یافته توسط محققین مختلف نشان می‌دهد که



شکل ۱۱. تصویر نمایشی، مراحل ایجاد دایک‌های رسوبی را نشان می‌دهد. (A) تشکیل لایه‌های تراورتن (قرمز) و اسپلوتم (سفید) بر روی پی‌سنگ مارنی و رسی (سبز). (B) قرار گرفتن مجموعه تحت تاثیر کشش و ایجاد درزه‌های کششی. (C) وارد شدن وزن لایه‌های تراورتن بر روی لایه‌های رس و تزریق مواد رسی به داخل شکستگی‌های کششی.



شکل ۱۲. رزیدیاگرام شکاف‌های مرکزی و شکستگی‌های کششی در منطقه مورد مطالعه. (A) شکاف‌های مرکزی مجموعه قزل داغ. (B) شکاف‌های مرکزی مجموعه داشکسن. (C) شکاف‌های مرکزی در مرکز منطقه (کلوانق و سنگاب). (D) چشمه‌های خطی فعال در مجموعه قزل داغ. (E) چشمه‌های خطی فعال در مجموعه داشکسن. (F) شکستگی‌های کششی فعال در مجموعه قزل داغ. (G) شکستگی‌های کششی فعال در جنوب روستای دستجرد. (H) دایک‌های رسوبی در معادن سنگاب.



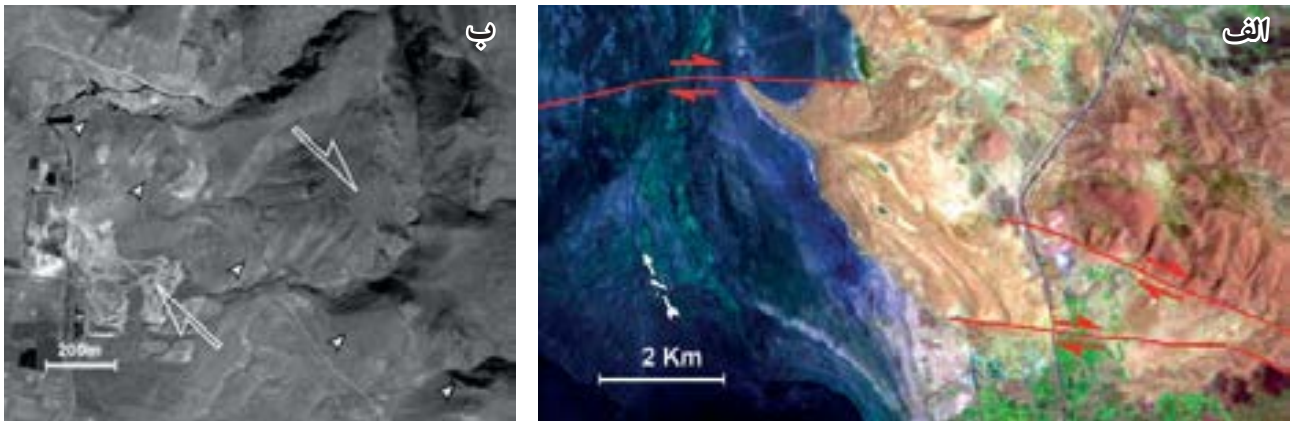
شکل ۱۳. نقشه محورهای کشش موضعی در منطقه مورد مطالعه که با استفاده از پشته‌ها و شکستگی‌های کششی، تهیه شده است.

در نقشه‌ها و گزارش‌های زمین‌شناسی به آن‌ها اشاره نشده، موجب گسیختگی آبرفت‌های عهد حاضر شده‌اند و اغلب می‌توان حرکات امتدادلغز راستگرد جوان را بر روی آن‌ها شناسایی کرد (شکل ۱۵). همانند وضعیتی که در مجموعه داشکسن دیده می‌شود، این گسل‌ها نیز با عبور از نهشته‌های تراورتن، با آرایش پلکانی، در خاور مجموعه‌های تراورتن نیز قابل پیگیری هستند. رز دیاگرام گسل‌ها و خطوط‌های منطقه نشان می‌دهد که روند عمده گسل‌ها در شمال منطقه مورد مطالعه N120E تا N140E و در بخش‌های مرکزی و جنوبی N120E تا N160E است (شکل ۱۶).

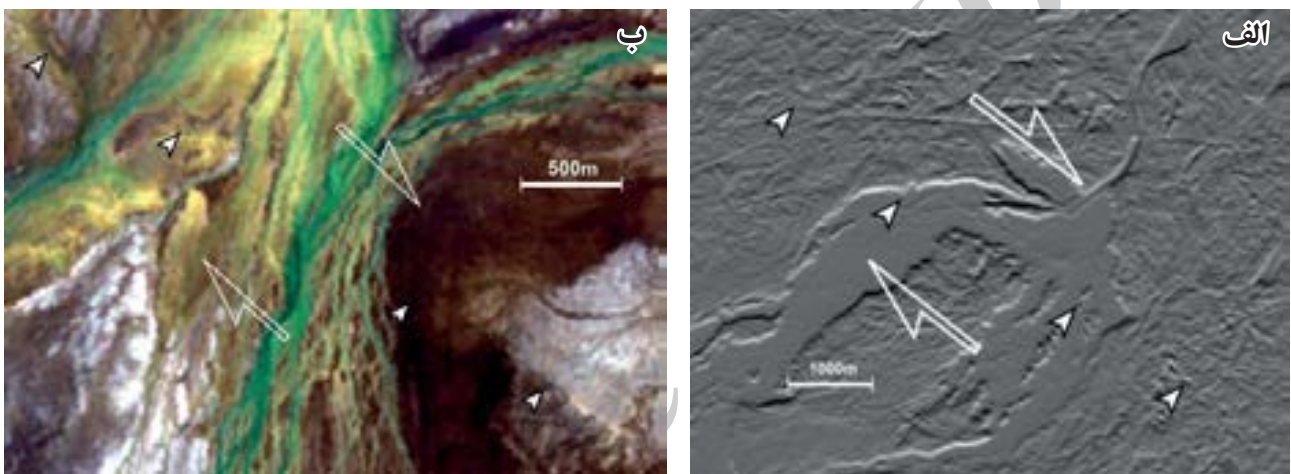
به دلیل هم راستا بودن با گسل داشکسن - بوکت، احتمال دارد این گسل نیز دارای حرکات امتدادلغز راستگرد باشد. این آرایش گسل‌های امتدادلغز، یک منطقه کششی<sup>۱</sup> ایجاد می‌کند که در تراکشش ناشی از آن، شکستگی‌های کششی و در ادامه پشته‌های تراورتن ایجاد شده است.

در باختر مجموعه داشکسن و در دشت مجاور دریاچه ارومیه، ادامه گسل شمال باختر داشکسن قابل پیگیری است. با پردازش تصاویر ماهواره ASTER، به موازات این گسل مجموعه‌ای از گسل‌ها با روند NW-SE نیز شناسایی شده است. این گسل‌ها که

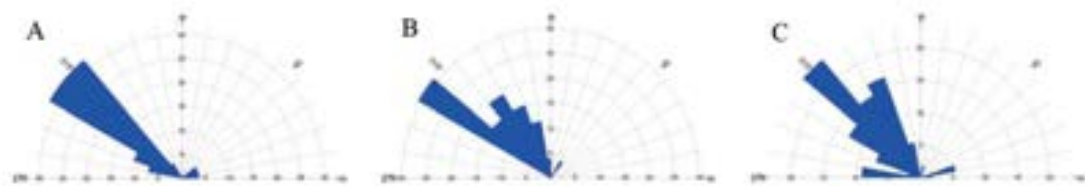
1. Releasing step-over  
2. Transtension



شکل ۱۴. گسل‌های امتدادلغز در مجموعه داشکسن: الف) تصویر ماهواره ASTER (باندهای ۱-۳-۶) از مجموعه داشکسن که در آن گسل‌های پیرامون نشان داده شده است. ب) عکس هوایی از خاور مجموعه داشکسن که نشان‌دهنده حرکات امتدادلغز راستگرد بر روی گسل داشکسن می‌باشد.



شکل ۱۵. شواهد حرکات امتدادلغز راستگرد در گسل‌های پیرامون نهشته‌های تراورتن، الف) تصویر بانده ۵ ماهواره ASTER از بخش‌های خاوری منطقه مورد مطالعه و دشت مجاور دریاچه ارومیه که فیلترهای جهت‌دار برای بارزسازی خطواره‌ها بر روی آن اعمال شده است. ب) تصویر ترکیبی ماهواره ASTER (باندهای ۱-۳-۶) از بخش‌های خاوری منطقه مورد مطالعه و دشت مجاور دریاچه ارومیه.



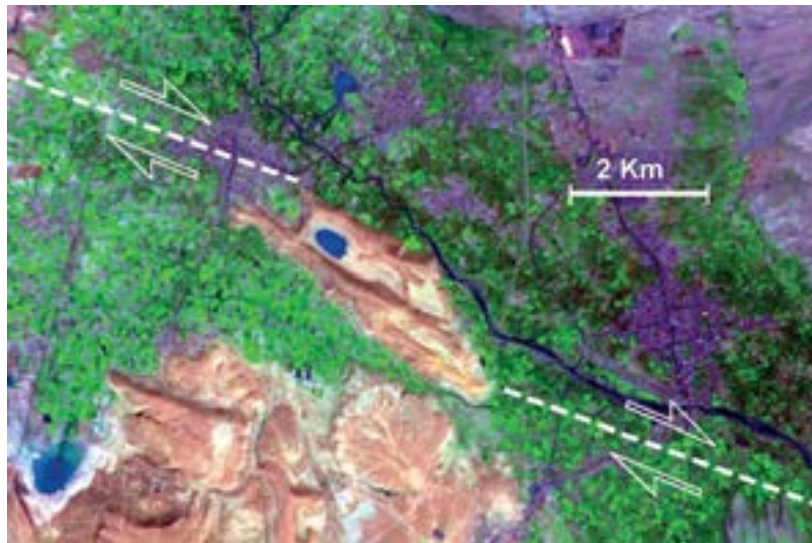
شکل ۱۶. رزدیگرام گسل‌ها و خطواره‌های عمده در منطقه مورد مطالعه: A) گسل‌های شمال منطقه B) گسل‌های بخش مرکزی C) گسل‌های جنوب منطقه.

همپوشانی گسل‌های امتدادلغز شباهت کامل دارد. با توجه به اینکه روند گسل‌های موجود در نواحی اطراف مجموعه قزل داغ تقریباً N120E می‌باشد (شکل ۱۶)، می‌توان آرایش پیشنهادی در شکل ۱۷ را برای گسل‌های امتدادلغزی که موجب شکل‌گیری مجموعه قزل داغ شده‌اند، در نظر گرفت.

قرار گرفتن در پهنه همپوشانی گسل‌های امتدادلغز به خوبی می‌تواند آشفتگی میدان تنش در مجموعه پشته‌های تراورتن را توجیه کند. میدان تنش در پهنه‌های همپوشانی گسل‌ها با میدان تنش در سرزمین‌های اطراف آنها متفاوت است. نتایج حاصل از مطالعات

بر خلاف مجموعه داشکسن که ارتباط بین گسل‌ها و پشته‌های تراورتن در آن به خوبی قابل مشاهده است، در شمال منطقه مورد مطالعه، یعنی مجموعه قزل داغ، به دلیل احاطه شدن با پوشش وسیع گیاهی و ساخت و ساز شهری، این ارتباط را نمی‌توان تشخیص داد. با در نظر گرفتن ارتباط بین گسل‌ها و پشته‌های تراورتن در مجموعه داشکسن و سایر مجموعه‌ها در بخش‌های مرکزی، می‌توان شکل‌گیری مجموعه قزل داغ را نیز در ارتباط با همپوشانی گسل‌های امتدادلغز مجاور آن دانست. به خصوص این‌که هندسه لوزی شکل مجموعه قزل داغ نیز با هندسه پهنه‌های





شکل ۱۷. تصویر ترکیبی ماهواره ASTER (باندهای ۱-۳-۶) از مجموعه قزل داغ (بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه). با توجه به پوشش گیاهی و غیرقابل تشخیص بودن گسل‌های مجاور پشته‌های تراورتن، آرایش و جهت‌گیری احتمالی گسل‌های مجاور پشته‌ها با خطوط سفید پیشنهاد شده است.

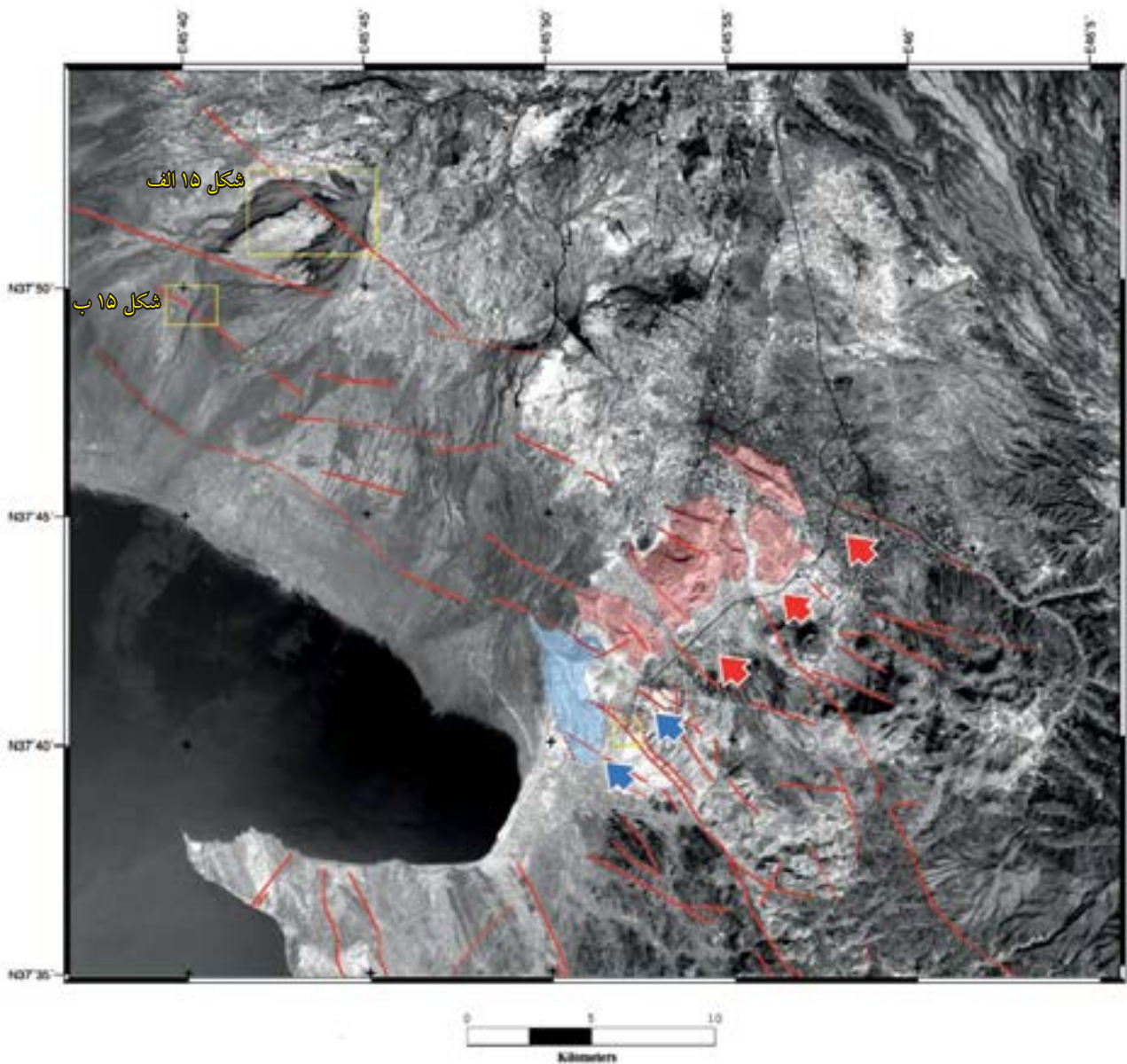
محلول‌ها هستند. ویژگی‌های اسیدی چنین محلول‌هایی باعث انحلال در این پهنه‌ها شده و موجب بالا رفتن نفوذپذیری می‌شود (Caine et al., 1996).

در منطقه مورد مطالعه آرایش گسل‌های امتدادلغز در راستای NW-SE، باعث زهکشی آب‌های جوی در این راستا شده است (شکل ۱۸ و ۲۳). آب‌های جوی که از ارتفاعات منطقه به خصوص مجموعه سه‌سهند منشأ گرفته و از یون بیکربنات اشباع هستند، در مسیر خود با سیالات گرمابی ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی مخلوط می‌شوند. برهم کنش بین آب‌های جوی و آتشفشانی در ترازهای عمیق باعث تشدید هوازدگی انحلالی و کارست‌زایی می‌شود (Romanov et al., 2003; Billi et al., 2007). وجود حفرات کارستی متعدد در جنوب منطقه مورد مطالعه، از جمله شیرامین (شکل ۱)، شاهدی بر این مدعا است. علت این امر افزایش محتوای گاز  $CO_2$  سیالات است که تحت فشارهای زیاد اعماق زمین با آب‌های زیرزمینی ترکیب شده و اسیدیته آنها را افزایش می‌دهند. اختلاط آب‌های جوی با سیالات گرمابی و آتشفشانی، علاوه بر افزایش فشار  $CO_2$ ، باعث اضافه شدن یون‌های  $Fe^{2+}$  به آب‌های زیرزمینی می‌شود. پس از رسیدن سیالات به سطح زمین و آزاد شدن گاز  $CO_2$ ، pH محیط افزایش می‌یابد. همچنین در نتیجه تماس سیالات با جو زمین، آهن فرو محلول به آهن فریک غیر محلول تبدیل می‌شود. آهن فریک نامحلول به شکل‌های گوناگون مانند لیمونیت و هماتیت متبلور می‌شود. تشکیل کانی‌های هماتیت و لیمونیت همراه با نهشت تراورتن موجب رنگین شدن لایه‌های تراورتن می‌گردد. مطالعه مغزه‌های حفاری در معدن کلوانق نیز موید این پدیده می‌باشد. در هنگام بررسی این مغزه‌ها، در بین لایه‌های مختلف تراورتن، لایه‌های توف و سنگ‌های آذرآواری نیز مشاهده گردید که نشان‌دهنده همزمانی رسوبگذاری تراورتن و فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه می‌باشد

محققین متعدد نشان می‌دهد که در انتهای گسل‌های امتدادلغز و نیز در داخل پهنه‌های همپوشانی آنها، تنش‌های ناحیه‌ای به طور موضعی آشفته می‌شوند (Burgmann و Segall and Pollard, 1980) (and Pollard, 1994). البته لازم به ذکر است که در محل همپوشانی گسل‌های امتدادلغز و تراکشش ناشی از آن، شکستگی‌ها از نوع برشی و گسل‌ها اصولاً باید از نوع نرمال باشند که عملکرد آنها منجر به تشکیل یک حوضه رسوبی کششی می‌شود ولیکن در منطقه مورد مطالعه، فشار بالای سیالات موجود در پی سنگ موجب شده است که به جای شکستگی‌های برشی و گسل‌های نرمال، عمدتاً شکستگی‌های کششی محض و بدون هیچ مولفه برشی ایجاد شوند.

### تأثیر عوامل ساختاری بر رنگ نهشته‌های تراورتن

گسل‌ها و سیستم‌های شکستگی، مسیرهای مناسبی برای عبور و هدایت سیالات جوی و هیدروترمال هستند (Gabriellovet al., 2007). از نظر هیدروژئولوژیکی می‌توان گسل‌ها را به دو بخش هسته و پهنه آسیب دیده تقسیم کرد (Gudmundsson et al., 2001). خرد شدگی سنگ‌های کاتاکلاستیک در هسته گسل باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود. از آنجا که جنس سنگ میزبان در منطقه (خاور و جنوب خاور نهشته‌های تراورتن) عمدتاً آهک‌های ژوراسیک و کرتاسه می‌باشد، برشی شدن و خردشدگی موجب تشدید انحلال و کارستی شدن آنها می‌شود. فرایند انحلال، نفوذپذیری سنگ‌های کاتاکلاستی را به‌طور مضاعف افزایش می‌دهد. انتقال سیال در پهنه‌های آسیب دیده نیز از طریق شبکه مترامکی از شکستگی‌ها صورت می‌گیرد. محلول‌های  $H_2O - CO_2$  جوی از سطح زمین به لایه‌های کربناته دارای شکستگی نفوذ می‌کنند (Billi et al., 2007). شکستگی‌ها و پهنه‌های آسیب دیده گسلی مسیرهای ترجیحی برای نفوذ این



شکل ۱۸. موزاییک تصاویر باندها ۳ ماهواره ASTER که گسلها و خطوارههای عمده منطقه بر روی آن پیاده شده است. محدوده تراورتنهای رنگین (عمدتاً قرمز) با فیلتر قرمز رنگ و محدوده تراورتنهای کرم و خاکستری با فیلتر آبی مشخص شده است. پیکانهای آبی نشاندهنده مسیر جریان قدیمه آبهای زیر زمینی می باشند که توسط گسلها هدایت می شوند. پیکانهای قرمز نشاندهنده مسیر جریان قدیمه آبهای زیرزمینی هستند که با سیالات هیدروترمال مخلوط شده اند.

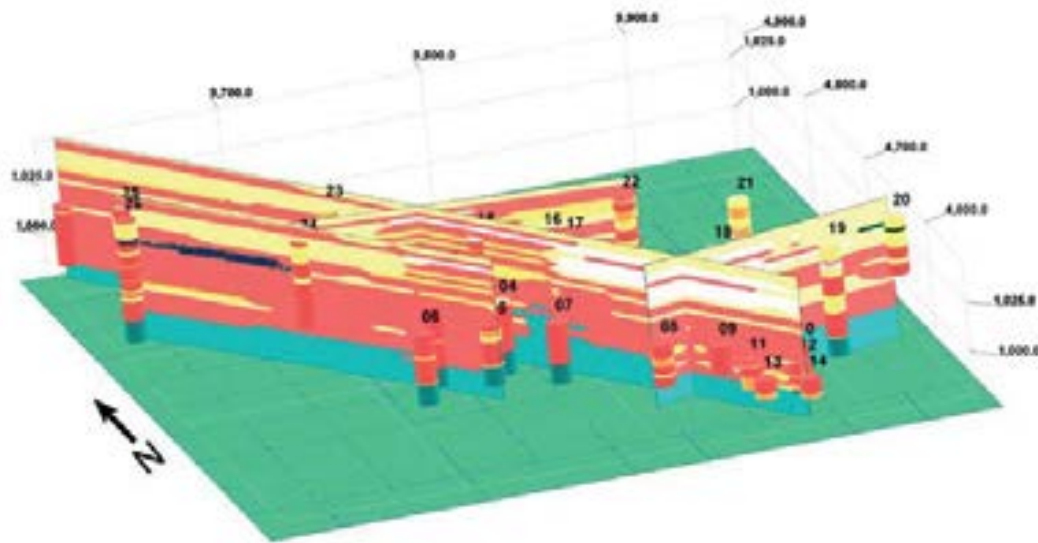
جنوبی منطقه مانند مجموعه داشکسن (شکل های ۱۳ و ۱۸) که در آن هیچ فعالیت ماگمایی و آتشفشانی در مسیر گسلها وجود ندارد، تنها تراورتنهای سفید و کرم رنگ رسوب کرده اند.

#### پشته های تراورتن و آهنگ لرزه خیزی منطقه

محققین مختلف، عامل حرکت و زهکشی آبهای جوی در پهنه های گسلی و رسوب تراورتن در شکافها را در ارتباط با اتساع آنی شکافها در اثر زلزله و گسلش می دانند (Muir-Wood, 1993; Uysal et al., 2007). همچنین حرکت سیالات و آبهای جوی در پهنه های گسلی، خود باعث افزایش فشار منفذی و

(شکل ۱۹). نکته قابل توجه دیگر، ارتباط بین فعالیت های آتشفشانی و روند گسل های امتدادلغز می باشد. همان طور که در شکل های ۱۳ و ۱۸ دیده می شود، پراکنش قله های آتشفشانی به سن پلیوسن-کواترنر، همبستگی مشخصی با روند گسل های امتدادلغز منطقه دارد. این موضوع فقط در مورد بخش های شمالی منطقه صادق است. یعنی مناطقی مانند مجموعه قزل داغ، معادن سنگاب و محدوده معدنی کلوانق (شکل های ۱۳ و ۱۸)، که در مسیر گسل هایی قرار گرفته اند که آب های هدایت شده توسط آنها با سیالات هیدروترمال مخلوط شده و موجب رسوب تراورتن های قرمز و گاهی لیمویی شده است. ولی در بخش های



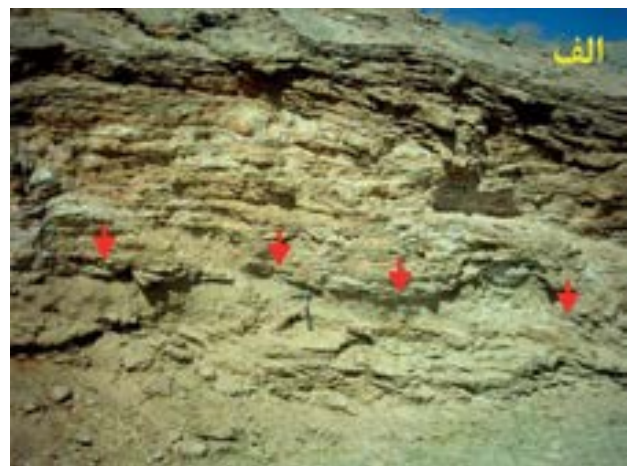


شکل ۱۹. شکل سه بعدی که از انطباق نتایج حاصل از گمانه‌های حفاری شده در معدن تراورتن کلوانق به دست آمده است. رنگ‌های قرمز، زرد و سفید نشان‌دهنده لایه‌های تراورتن با همان رنگ می‌باشند. رنگ سبز نشان‌دهنده پی‌سنگ مارنی نهشته‌های تراورتن و رنگ آبی تیره نیز نشان‌دهنده میان‌لایه‌های توف و آذرآواری می‌باشد.

رشد کرده‌اند، نشان‌دهنده این موضوع است. ولیکن شواهد حاکی از آن است که در بعضی مراحل، جریان آب در شکاف‌ها قطع شده است. با قطع جریان آب در شکاف‌ها، رسوبگذاری تراورتن متوقف شده و پشته‌ها و مجموعه‌های تراورتن تحت تاثیر هوازدگی و فرسایش قرار گرفته‌اند که نتیجه آن تخریب بخش‌های فوقانی پشته‌های تراورتن، رخنمون بخش‌های تحتانی و عریض رگه‌ها و تشکیل واریزه<sup>۲</sup> و افق‌های خاک قدیمه برجا بوده است (شکل ۲۰).

همزمان با هوازدگی فیزیکی و تشکیل واریزه و خاک برجا در سطح زمین، بر اثر نفوذ آبهای جوی، لایه‌های تراورتن که

کاهش اصطکاک و در نتیجه لغزش گسل در این پهنه‌ها می‌شود (Hickman et al., 1995). ارتباط بین شکاف‌ها و فعالیت‌های لرزه‌ای باعث شده که برخی از محققین با استفاده از سنیابی تراورتن‌های نواری که در شکاف‌ها رسوب کرده‌اند، اقدام به تخمین سن رویدادهای لرزه‌ای قدیمی و تعیین آهنگ لرزه خیزی نمایند (Uysal et al., 2007). بررسی روند رسوبگذاری تراورتن در شکاف‌ها و پشته‌های اطراف آنها نشان می‌دهد که فرآیند اتساع شکاف‌ها و رسوب تراورتن عمدتاً به صورت مداوم و پیوسته بوده است. نبود رسوبات تخریبی<sup>۱</sup> و واریزه‌های سطحی و همچنین پر شدن شکاف‌ها با فیبرهای آراگونیت که به صورت هم‌محور



شکل ۲۰. تصاویری از نهشته‌های تراورتن در منطقه مورد مطالعه که نشان‌دهنده توقف و آغاز مجدد نهشت تراورتن می‌باشد. الف) افق خاک قدیمه (پیکان‌های قرمز) در بین لایه‌های تراورتن در شمال مجموعه قزل داغ. ب) ناپیوستگی زاویه‌دار (پیکان‌های زرد) در نهشته‌های تراورتن مجموعه داشکسن که نشان‌دهنده فرسایش نهشته‌ها در اثر توقف رسوبگذاری تراورتن و آغاز مجدد رسوبگذاری نسل جدید تراورتن می‌باشد.

1. Terrestrial
2. Paleosols





شکل ۲۱. نمونه ای از نهشته‌های اسپلوتیم (سفید) که به‌طور ثانویه در بین لایه‌های افقی تراورتن (قهوه‌ای روشن) در جنوب مجموعه داشکسن رسوب کرده‌اند.

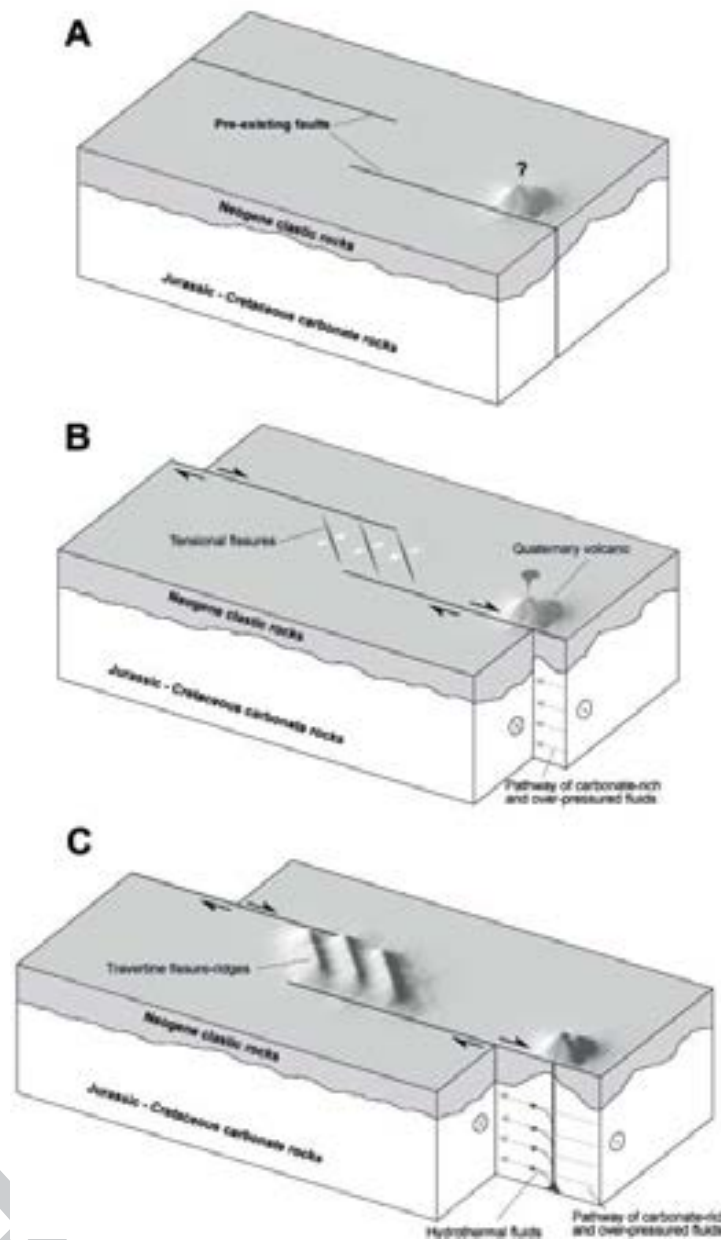
می‌باشند. این پدیده در معادن سنگاب و کلوانق به خوبی دیده می‌شود (شکل ۲۱).

رسوبگذاری مجدد تراورتن مستلزم ایجاد کشش و اتساع شکاف و جریان مجدد آب در شکاف‌ها بوده است. خرد شدگی و تخریب سنگ‌های دیواره بعضی از شکاف‌ها و پرشدن آنها با واریزه‌ها و رسوبات تخریبی که توسط کلسیت سیمانی شده‌اند، نشان‌دهنده اتساع و کشش به صورت سریع و آنی می‌باشد (شکل‌های ۸، ۹ و ۲۲). با جریان مجدد سیالات در شکاف‌ها، نسل جدیدی از تراورتن بر روی خاک قدیمه و سطوح فرسایشی رسوب کرده و باعث ایجاد ناپیوستگی‌های موازی و زاویه‌دار شده است (شکل ۲۰). با در نظر گرفتن ارتباط بین شکاف‌ها و فعالیت‌های لرزه‌ای، وضعیت رگه‌ها و شکاف‌های مرکزی

قبلا رسوب کرده‌اند، تحت تاثیر هوازدگی انحلالی قرار می‌گیرند. مستعدترین بخش‌ها برای هوازدگی انحلالی، محل انفصال بین لایه‌های مختلف تراورتن می‌باشد، بنابراین بیشتر حفره‌های کارستی نیز از لایه‌بندی‌ها تبعیت می‌کنند. در ادامه با جریان آب‌های جوی فروری اشباع از بیکربنات کلسیم در حفرات کارستی، نسل جدیدی از تراورتن که اسپلوتیم نامیده می‌شود در محیط کارستی رسوب می‌کند. در نزدیکی راس پشته‌ها (محیط رسوبی پشته) که لایه‌های تراورتن شیب‌دار هستند، حفره‌های کارستی نیز به تبعیت از لایه‌بندی تراورتن، شیب‌دار هستند. این وضعیت بیشتر در مجموعه قزل داغ و مجموعه داشکسن دیده می‌شود. ولی در محیط رسوبی فرونشست که لایه‌های تراورتن تقریباً افقی هستند، حفره‌های کارستی ایجاد شده نیز افقی



شکل ۲۲. تراورتن‌های نواری (V)، تراورتن‌های لایه‌ای قرمز (T) و شکاف پرشده با رسوبات تخریبی (F) که در اثر استخراج در معدن قزل داغ برونزد یافته‌اند. دگرشکلی پیشرونده و فعال باعث ایجاد شکستگی کششی در رسوبات تخریبی (سمت چپ تصویر) نیز شده است.



شکل ۲۳. شکل شماتیک سه بعدی که مراحل تشکیل پشته‌های تراورتن در آذرشهر را نشان می‌دهد. (A) مرحله قبل از رسوبگذاری تراورتن. گسل‌های پی‌سنگی در منطقه فعال نیستند و یا دارای حرکات امتدادلغز نمی‌باشند ولیکن احتمالاً آتشفشانی فعال وجود دارد. (B) با آغاز حرکت امتدادلغز گسل‌های پی‌سنگی، شکاف‌های کششی در محل همپوشانی این گسل‌ها ایجاد شده و سیالات به سمت آنها زهکش می‌شوند. (C) با ادامه حرکات مداوم گسل‌ها، سیالات جوی و هیدروترمال جدا شده از فعالیت‌های آتشفشانی، در مسیر گسل‌ها حرکت کرده و رسوبگذاری مداوم تراورتن، باعث ارتفاع گرفتن پشته‌های تراورتن می‌شود.

تشکیل افق‌های خاک، کارست‌زایی و نهشت اسپلوتم دیده می‌شود. توقف حرکت در پهنه‌های گسلی منطقه، موجب انباشت استرین در این پهنه‌ها گردیده که در نتیجه زمین‌لرزه‌های ایجاد شده با شدت و بزرگی بیشتری رخ داده است. متعاقب وقوع این زمین‌لرزه‌ها، حرکات کششی در شکاف‌ها نیز با شدت و سرعت بیشتری رخ داده است که اثرات آن علاوه بر رسوبگذاری مجدد تراورتن، به صورت تخریب دیواره شکاف‌ها و پر شدن آن‌ها با رسوبات تخریبی دیده می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده یک چرخه لرزه‌خیزی در منطقه می‌باشد که در آن لرزه‌خیزی با دوره‌های بازگشت کوتاه مدت و یا حرکت به صورت خزش در گسل‌های منطقه موجب رسوبگذاری مداوم در پشته‌ها و شکاف‌ها شده است. با توقف فعالیت‌های لرزه‌خیزی و یا توقف حرکت گسل‌ها به صورت خزش، حرکت سیالات در پهنه‌های گسلی و به تبع آن آبدی چشمه‌ها و رسوبگذاری تراورتن نیز متوقف شده است. با توقف رسوبگذاری، پشته‌های تراورتن تحت تأثیر فرسایش و هوازدگی فیزیکی و شیمیایی قرار گرفته اند که اثرات آن‌ها به صورت

## نتیجه گیری

- Alavi, M., 1994. Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238.

- Altunel, E., 2005. Travertines: neotectonic indicators. In: Ozkul, M., Yagiz, S., Jones, B., (eds). *Travertine, Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, September 21-25. Denizli-Turkey, 120-127, Kozan Offset, Ankara.*

- Atabey, E., 2002. The formation of fissure-ridge type laminated travertine-tuff deposits microscopical characteristics and diagenesis, Kirsehir, central Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 123, 59-65.

- Bargar, K.E., 1978. Geology and thermal history of Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park. *Bulletin of the United States Geological Survey*, 1444, 1-55.

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

- Billi, A., Valle, A., Brilli, M., Faccenna, C. and Funicello, R., 2007. Fracture-controlled fluid circulation and dissolutional weathering in sinkhole-prone carbonate rocks from central Italy. *Journal of Structural Geology*, 29, 385-395.

- Boullier, A.M., Fujimoto, K., Ohtani, T., Roman-Ross, G., Lewin, E., Ito, H., Pezard, P. and Ildefonse, B., 2004. Textural evidence for recent co-seismic circulation of fluids in the Nojima fault zone, Awaji Island, Japan. *Tectonophysics*, 378, 165-181.

- Brogi, A. and Capezzuoli, E., 2009. Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure-ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy). *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, 98, 931-947.

- Burgmann, R. and Pollard, D.D., 1994. Strain accommodation about strike-slip fault discontinuities in granitic rock under brittle to ductile conditions. *Journal of Structural Geology*, 16, 1655-1678.

- Caine, J.S., Evans, J.P. and Forster, C.B., 1996. Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24, 1025-1028.

- Chafetz, H.S. and Folk, R.L., 1984. Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 289-316.

- Copley, A. and Jackson, J., 2006. Active tectonics of

نتایج حاصل از مطالعه نهشته‌های تراورتن در منطقه آذرشهر نشان می‌دهد که بین این نهشته‌ها و پهنه‌های گسلی فعال ارتباط مشخصی وجود دارد. بررسی نهشته‌های تراورتن آذرشهر و آرایش شکاف‌های (رگه‌های) مرکزی پشته‌های تراورتن نسبت به گسل‌های پیرامون آن‌ها نشان می‌دهد که این نهشته‌ها در تراکشن ناشی از همپوشانی رهایی گسل‌های امتدادلغز مجاور خود ایجاد شده‌اند. این ارتباط در مجموعه داشکسن به خوبی نمایان است. وجود چشمه‌های خطی فعال در راس پشته‌ها و نیز شکستگی‌های کششی فعال نشان می‌دهد که تراکشن ناشی از همپوشانی گسل‌های امتدادلغز در حال حاضر نیز فعال می‌باشد. حرکت این گسل‌ها همانند سایر گسل‌های امتدادلغز شمال باختر ایران که روند NW-SE دارند، از نوع راستالغز راستبر می‌باشد.

در منطقه مورد مطالعه، پر شدن شکاف‌های مرکزی پشته‌ها با فیبرهای آراگونیت که به صورت هم محور و اغلب پیوسته رشد کرده‌اند، نشان می‌دهد که حرکت سیالات در پهنه‌های گسلی و در نتیجه فعالیت پهنه‌های گسلی نیز بطور پیوسته بوده است. ولیکن بررسی روند رسوبگذاری تراورتن در منطقه نشان می‌دهد که این فرایند در طول زمان پیوسته نبوده است. شواهدی مانند انواع ناپیوستگی‌ها، خاک‌های قدیمه و گسترش حفرات کارستی نشان‌دهنده دوره‌های متعدد توقف و آغاز رسوبگذاری تراورتن می‌باشد. با در نظر گرفتن ماهیت تکتونیکی نهشته‌های تراورتن، احتمال دارد که دوره‌های متناوب رسوبگذاری تراورتن، در ارتباط با توقف فعالیت گسل‌ها و در نتیجه توقف حرکت سیالات و رسوبگذاری تراورتن باشد. فعالیت مجدد پهنه‌های گسلی موجب باز شدن شکاف‌های پر شده و جریان سیالات هیدروترمال و در نتیجه رسوبگذاری نسل‌های جدید تراورتن شده است. با توجه به اینکه روند گسل‌های منطقه عمدتاً NW-SE می‌باشد، زهکشی و هدایت سیالات جوی نیز در این روند بوده است. این جهت‌گیری و ارتباط آن‌ها با فعالیت‌های آتشفشانی منطقه، باعث جدایش مشخص نهشته‌های تراورتن با رنگ‌های مختلف شده است.

## منابع

- آقائاتی، ع، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۷.
- تقی پور، ک، ۱۳۸۳. بررسی گسل شمال تبریز (در فاصله بین تبریز و بستان‌آباد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز، ۹۸.
- تقی پور، ک. و عباسی، م.ر، ۱۳۸۴. تراویتونیک: کاربرد نهشته‌های تراورتن در تکتونیک فعال. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- معین وزیری، ح. و امین سبحانی، ا. ۱۳۵۶. سهند از نظر ولکانولوژی و ولکانوسدیماتولوژی، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۲۸۰.



- the Turkish-Iranian Plateau. *Tectonics*, 25, 1-19.
- Ford, T.D. and Pedley, H.M., 1996. A review of tuff and travertine deposits of the world. *Earth Science Review*, 41, 117-175.
  - Gabriellov, A.M., Keilis-Borok, V.I., Pinsky, V., Podvigin, O.M., Shapira, A. and Zheligovsky, V.A., 2007. Fluids migration and dynamics of blocks-and-faults system. *Tectonophysics*, 429, 229-251.
  - Gudmundsson, A., Berg, S.S., Lyslo, K.B. and Skurtveit, E., 2001. Fracture networks and fluid transport in active fault zones. *Journal of Structural Geology*, 23, 343-353.
  - Guo, L. and Riding, R., 1998. Hot-spring travertine facies and sequences, late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 45, 163-180.
  - Hancock, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E. and Çakir, Z., 1999. Travertines: using travertines in active fault studies. *Journal of Structural Geology*, 21, 903-916.
  - Hickman, S., Sibson, R.H. and Bruhn, R., 1995. Introduction to special section: mechanical involvement of fluids in faulting. *Journal of Geophysical Research*, 100, 12831-12840.
  - Jackson, J., 1992. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey and the Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 97, 471-479.
  - Jackson, J., Priestly, K., Allen, M. and Berberian, M., 2002. Active tectonics of the south caspian basin. *Geophysical Journal International*, 148, 214-245.
  - Karakhanian, A.S., Trifonov, V.G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V. and Adilkhanyan, A., 2004. Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwest Iran. *Tectonophysics*, 380, 189-219.
  - Kheirkhah, M., Allen, M.B. and Emami, M., 2009. Quaternary syn-collision magmatism from the Iran/Turkey borderlands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 182, 1-12.
  - Muir-Wood, R., 1993. Neo-hydrotectonics. *Zeitschrift Geomorphologie Supplementary*, 94, 275-284.
  - Masson, F., Djamour, Y., Van Grop, S., Chery, J., Tatar, M., Tavakoli, F., Nankali, H. and Vernant, P., 2006. Extension in NW Iran driven by the motion of the South Caspian Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 252, 180-188.
  - Nogole Sadat, M.A.A., 1978. Les zones de décrochement et les virgations structurales en Iran. Consequences des resultants de la analyse structurale de la region de Qom. These Univ. Scientifique et medicate de Grenoble, 201.
  - Özkul, M., Varol, B. and Alciçak, M.C., 2002. Depositional environments and petrography of Denizli travertines. *Mineral Research Exploration Bulletin*, 125, 13-29.
  - Pentecost, A., Jones, B. and Renaut, W., 2003. What is a hot spring? *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40, 1443-1446.
  - Ramsay, J.G., 1980. The crack-seal mechanism of rock deformation. *Nature*, 284, 135-139.
  - Romanov, D., Gabrovsek, F. and Dreybrodt, W., 2003. The impact of hydrochemical boundary conditions on the evolution of limestone karst aquifers. *Journal of Hydrology*, 276, 240-253.
  - Sanders, J.E. and Friedman, G.M., 1967. Origin and occurrence of limestones, In: Chilingar, G.V., Bissell, H.J., Fairbridge, R.W., (eds.) *Carbonate rocks*. Amsterdam, Elsevier, *Development in Sedimentology*, 9, 322.
  - Segall, P. and Pollard, D.D., 1980. Mechanics of discontinuous faults. *Journal of Geophysical Research*, 85, 4337-4350.
  - Shahrabi, M., Alavi Naini, M., Saidi, A. and Haghypour, A., 1985. Geological map of the Urumyieh in 1:250000 scale. Geological Survey of Iran.
  - Trifonov, V.G., Vostrikof, G.A., Trifonov, R.V., Karakhanian, A.S. and Soblova, O.V., 1999. Recent geodynamic characteristics in the Arabian-Eurasian and Indian-Eurasian collision region by active fault data. *Tectonophysics*, 308, 119-131.
  - Uysal, I.T., Feng, Y., Zhao, J., Altunel, E., Weathely, D., Kaeabacak, V., Cengiz, O., Golding, D., Lawrence, K. and Collerson, M., 2007. U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertine in co-seismic fissures. *Earth and Planetary Science Letters*, 257, 450-462.
  - Vernant, P. and Chery, J., 2006. Low fault friction in Iran implies localized deformation for the Arabia- Eurasia collision zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 246, 197-206.
  - Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, 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.

- Yanik, G., Uz, B. and Esenli, F., 2005. An example of the fissure-ridge type travertine occurrences: the Cambazli

travertine, Turgutly, west Anatolia. In: Ozkul, M., Yagiz, S. and Jones, B., (eds). *Travertine, Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, September, 21-25, 2005, Denizli-Turkey, 120-127, Kozan Ofset, Ankara.

Archive of SID