فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال هشتم، شماره ۲۷، تابستان ۱۳۹۳

ارزیابی دوره‌های فعالیت پاره‌های گسل گیو با استفاده از تراورتن های همزاد با زمین‌لرزه

معصومه زمانی[۱]، محمد مهدی خطیب[۲]، غلامرضا میراب شبستری[۳]، محسن علی آبادی[٤]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه بیرجند m.zamani321@gmail.com
۲- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند
۳- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند
٤- دانش آموخته کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه بیرجند
تاریخ دریافت: ۹۱/٦/۹ تاریخ تصویب:۹۲/۱۲/۱٦

چکیده

گسل امتدادلغز گیو به عنوان یکی از گسلهای فعال در ۳۰ کیلومتری جنوب بیرجند واقع شده است. سیمای این گسل به صورت یک گسل ناپیوسته است و از پاره‌های متعددی تشکیل شده است.گسل خوردگی نهشته‌های کواترنر و رخداد زمین‌لرزه‌های ۱۳۲٤ و ۱۳٦۹ بر روی این گسل از نشانه‌های فعال بودن این گسل می‌باشند. یکی از ویژگیهای منحصر بفرد گسل گیو تشکیل نهشته‌های تراورتن پس از هر مرحله فعالیت آن می‌باشد.با توجه به اینکه هر مرحله فعالیت پاره‌های گسل گیو با یک مرحله تراورتن‌زایی همراه بوده است لذا بررسی مراحل تراورتن‌زایی نشان می‌دهد که میزان فعالیت پاره‌های گسل در طول زمان متفاوت است، از این رو با بررسی تعداد مراحل تراورتن‌زایی برای هر پاره‌گسل یک دیرینه‌لرزه‌خیزی به صورت نسبی مشخص شده است، مطالعات صحرایی حداقل سه مرحله تراورتن‌زایی را درامتداد بعضی پاره‌های گسل گیو نشان می‌دهند بر این اساس گسل گیو به ٤ پاره‌گسل اصلی تقسیم شده است بطوریکه پاره‌گسل گاریجگان قدیمی‌ترین و دارای بیشترین فعالیت و پاره‌گسل گیو دارای کمترین فعالیت و بعنوان جوانترین پاره‌گسل شناخته شد.

واژگان کلیدی: گسل گیو، گسلش فعال، پاره‌های گسل، مراحل تراورتن‌زایی، دوره‌های فعالیت.

مقدمه

تراورتونیک به عنوان روشی به نسبت نوین می‌تواند در بررسی تکتونیک فعال مناطق و ارزیابی میزان فعالیت گسلهای فعال کواترنری مورد استفاده قرار گیرد. تراورتن های مربوط به چشمه‌های آب گرم در بسیاری از جاهای دنیا دیده می‌شوند. موضوع تحقیقات زیادی از جمله هیدروژئولوژی، پتروگرافی، میکروبیولوژی و دیرینه آب و هوایی می‌باشند. همچنین مشخص شده است که نهشته‌های تراورتن مربوط به گسلهای نئوتکتونیک و دیگر سیستمهای شکستگی هستند. اما این جنبه از تراورتن تلاش نسبتاً کمی را به خود جذب کرده است [7]. فکر استفاده از واژه تراورتونیک که همه حالتهای تکتونیک تراورتن را

در برمی‌گیرد اولین بار در سال ۱۹۱۲ بوسیله Folk رسوب‌شناس کربنات پیشنهاد شد[9]. اما مطالعه نهشته‌های تراورتن از جنبه تکتونیکی تاکنون محدود به مطالعات [4, 9] می‌شود که در بررسی های خود جنبه‌های ساختاری شکافهای پر شده با تراورتن را مشخص کرده و با استفاده از آنها جهت کشش در عهد حاضر را تعیین کردند [9]. گسل‌های امتدادلغز به دلیل شیب بیشتری که نسبت به گسل‌های نرمال و معکوس دارند می‌توانند به اعماق بیشتری در داخل زمین نفوذ کنند. در اعماق زمین به دلیل درجه زمین گرمایی بالا و فشار بالا $CaCO_3$ به صورت محلول در سیالات گرمابی وجود دارد. زمانی که گسلش رخ می‌دهد مفری برای سیالات موجود در اعماق زمین ایجاد می‌شود در نتیجه سیالات گرمابی که در اعماق زمین تحت فشار زیادی می‌باشند، با برداشته شدن فشار به سرعت از راه گسل به سطح زمین راه می‌یابند، در سطح زمین به دلیل تغییر شرایط فیزیکی کلسیت از محلول جدا شده و به صورت نهشته‌های تراورتن در محل چشمه‌ها، در سطح گسل و داخل رگه‌ها رسوب می‌کنند. به دلیل شرایط ویژه گسل گیو که فعالیت آن با تراورتن‌زایی همراه است لذا تراورتن‌زایی با میزان فعالیت گسل رابطه مستقیمی دارد و در جایی که فعالیت گسل بیشتر بوده میزان تراورتن‌زایی نیز بیشتر می‌باشد اما جایی که فعالیت گسل کمتر بوده میزان تراورتن‌زایی کمتر می‌باشد. لازمه تراورتن‌زایی این است که مفری برای سیالات گرمابی فراهم شود اما میزان فعالیت بعضی پاره‌های گسل هنوز به به حدی نرسیده که صفحه گسلی در سطح زمین نمایان شود و فقط تغییر ارتفاع کمتر از یک متر در رسوبات نرم کواترنر ایجاد شده است لذا هنوز مفری برای خروج سیالات فراهم نشده در نتیجه چشمه‌های گسلی تشکیل نشده و تراورتن‌زایی صورت نگرفته است. این گسل به عنوان یکی از گسلهای راستالغز پویا با مؤلفه معکوس از سرشاخه‌های جوان گسل نهبندان و در بین دو اریب اصلی آن یعنی اریب‌های بیرجند و سهل‌آباد با درازای ۸۰ کیلومتر در دشت مختاران جنوب بیرجند در شرق ایران واقع شده است [۳] به طوریکه رخداد زمین‌لرزه‌های بهمن ۱۳۲٤ و خرداد ۱۳٦۹ بیانگر فعال بودن این گسل می‌باشد. به دلیل نزدیکی این گسل به بیرجند مطالعه آن ضروری به نظر می‌رسد به طوریکه در صورت فعالیت این گسل شدت زمین‌لرزه در بیرجند حدود ۷ درجه مرکالی خواهد بود [۲].

روش تحقیق

در این تحقیق با مطالعه تعداد مراحل تراورتن‌زایی در هر پاره‌گسل تعداد مراحل فعالیت آن به طور نسبی مشخص گردید. به منظور تفکیک مراحل تراورتن‌زایی در مقیاس میکروسکوپی با مطالعه مقاطع نازک حداقل سه مرحله تزریق سیال کربنات‌ساز در داخل شکستگیهای حاصل از فعالیت های گسل شناسایی شد. در مقیاس مزوسکوپی با مطالعه سطح صیقلی تهیه شده برخی از نمونه‌ها بعضی از ویژگی های ساختاری متفاوت تراورتن ها با توجه به شرایط تشکیل نمایان شد. سرانجام با تلفیق اطلاعات حاصل و مشاهدات صحرایی برای هر پاره‌گسل یک دیرینه‌لرزه‌خیزی معرفی گردید. مطالعات صحرایی، بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی و بررسی مزوسکوپی سطوح صیقلی نشان می‌دهد که فعالیت گسل با تراورتن‌زایی همراه بوده است بطوریکه تراورتن‌زایی فقط در امتداد پاره های گسل قابل مشاهده است و تعداد مراحل تراورتن‌زایی بیانگر تعداد مراحل فعالیت است به این ترتیب فعالیت گسل از شمال‌غرب به سمت جنوب شرق جوانتر می‌شود. لذا قطعه گاریجگان با بیشترین

تعداد فعالیت قدیمیترین قطعه و قطعه گیو با کمترین تعداد فعالیت جوانترین قطعه شناخته شده است.

در نتیجه احتمال وقوع زمین‌لرزه در پاره‌های گسلی جنوب‌شرق با توجه به الگوی لرزه‌خیزی منطقه در آینده بیشتر است.

تراورتن، فرایند رسوبگذاری و ویژگی های سنگ‌شناسی آن

تراورتن ها با فرمول شیمیایی $CaCO_3$ آهک های غیردریایی و متعلق به آبهای شیرین می‌باشند که از آبهای اشباع یا فوق‌اشباع از کربنات‌کلسیم راسب شده‌اند [10,8].

این نهشته‌ها بیشتر در سیستم های دمای بالا به صورت یک سنگ متراکم با رنگ های سفید، کرم و قهوه‌ای روشن در چشمه‌های گرمابی یا کارستیک، رودخانه‌های کوچک، دریاچه‌ها وباتلاقها یافت می‌شوند.

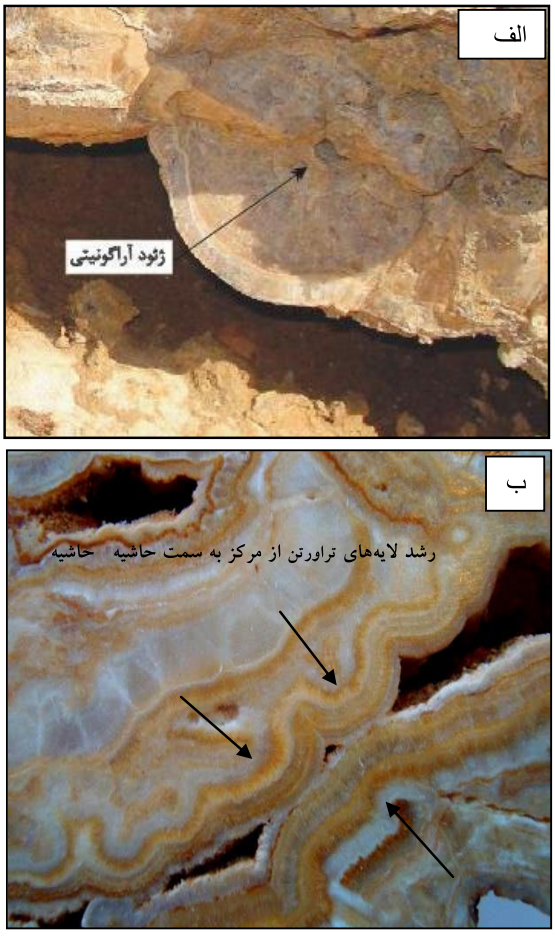
نهشته‌های تراورتن معمولاً وقتی که سیال نسبت به یون های Ca^{2+} و $(CO_3)^{2-}$ اشباع شود و در محیط با فشار کم در سطح زمین قرار گیرد تشکیل می‌شوند.

در چنین مواردی کلسیت در نتیجه کاهش فشار CO_2 نهشته می‌شود که این مربوط به کاهش pH در نتیجه تعادل سیال با اتمسفر است [6].

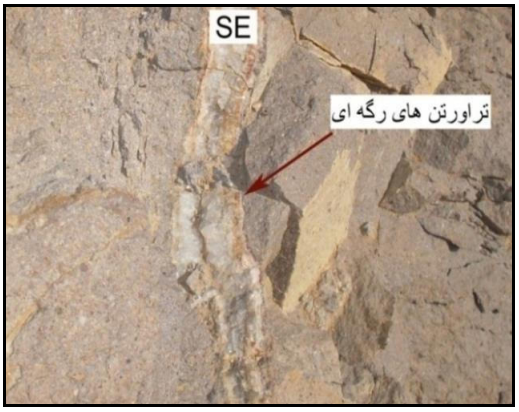
با توجه به شرایط محیطی، انتقال هیدروژئولوژیک، آب و هوا و تجمعات میکروبی، تراورتن ها ساخت های مختلفی دارند که شامل: ساخت های گل‌کلمی، ساده، نواری– موجی، حفره‌دار، نواری، رگه‌ای و ژئود مانند می‌باشند که به طور مختصر انواع تشکیل شده در منطقه را بررسی می‌کنیم.

ساخت ژئود مانند: در مرحله هجوم سیالات کربنات ساز به دلیل ایجاد گسیختگی و تشکیل فضا در میان حفره‌ها و درزه‌های کوچک، تراورتن ها تشکیل ژئود آراگونیتی را می‌دهند که همانند کاسه کوچک وارونه با لایه‌های بسیار ظریف در حد میلی‌متر می‌باشند (شکل ۱ الف).

ساخت حفره‌دار: خروج سیالات کربنات‌ساز با آبدهی بالا توأم با گاز موجب تشکیل تراورتن های متخلخل می‌گردد[۱]. (شکل ۱ ب).



شکل ۱– الف– ساخت ژئود مانند، ب– ساخت حفره‌دار



شکل ۲- ساخت رگه‌ای.

ساخت رگه‌ای: بر اثر بالاآمدن آبهای آهکی و نهشته شدن در امتداد گسلها و شکافها ایجاد شده است. در سیستمهای تکتونیکی فعال ترکها با مواد سیال پر می‌شوند. از آنجا که فشار در محل ترک پایین است و فاز مایع موادی را به صورت محلول همراه دارد که در مناطق فشار پایین رسوب می‌کنند، ترک با مواد بلورین پر می‌شود و یک رگه را بوجود می‌آورد (شکل ۲).

مزیت رسوبات تراورتن در بررسی نئوتکتونیک

الف) یکی از مزایای اصلی تراورتن ها این است که می‌توان آنها را به روشهای گوناگون از جمله روش سری های اورانیوم تاریخ‌گذاری کرد.

ب) چون تراورتن ها رسوبات خاکی با گسترش جانبی محدود می‌باشند، به آسانی بوسیله فرسایش از بین می‌روند و پتانسیل حفظ‌شدگی کمی در ایجاد سنگ دارند. به هر حال این پتانسیل حفظ شدگی کم یک مزیتی دارد که ما می‌توانیم مطمئن باشیم جایی که تراورتن ها باقی مانده‌اند آنها جوان هستند و به طور بالقوه به مفهوم نئوتکتونیک است.

ج) تراورتن ها در مقایسه با سنگ های سطحی به سنگ تبدیل می‌شوند، از این رو جایی که آنها حفظ می‌شوند به صورت عارضه‌های ایستاده‌ای نمایان می‌شوند و معمولاً به رنگ زرد کمرنگ، قهوه‌ای روشن، خاکستری مایل به سبز دیده می‌شوند.

د) یک مزیت قطعی هنگام بررسی تراورتن ها این است که آنها به عنوان راهنمایی از اثرات دقیق گسل های فعال می‌باشند.

ه) تاریخ‌گذاری دقیق زمین‌لرزه‌ها ممکن است ارزش زیادی را برای مطالعات خطر زمین‌لرزه و بررسی پیش بینی زمین‌لرزه داشته باشد و می‌توانند ابزاری برای تخمین دقیقی از دوره بازگشت زمین‌لرزه باشند[11] .

ارتباط تراورتن با گسلش فعال

ارتباط بین نهشته‌های تراورتن و گسل های فعال و سایر سیستم های گسیختگی کاملاً به اثبات رسیده است، به طوریکه اظهار کردند که یک رابطه جهانی بین نهشته‌های تراورتن و جریان های هیدرو ترمال بازی توف با زون های فعال تکتونیکی برقرار است. این به این دلیل است که گسلش نقش کلیدی را در انتقال (شکل۳). بنابراین محل یک رسوب تراورتن چشمه آب گرم می‌تواند به عنوان شاخصی از موقعیت تقریبی اثر یک گسل فعال باشد. اطمینان از چنین تفسیری وقتی افزایش می‌یابد که چندین نهشته تراورتن نزدیک هم در طول یک گسل ردیف شده‌اند (شکل٤).

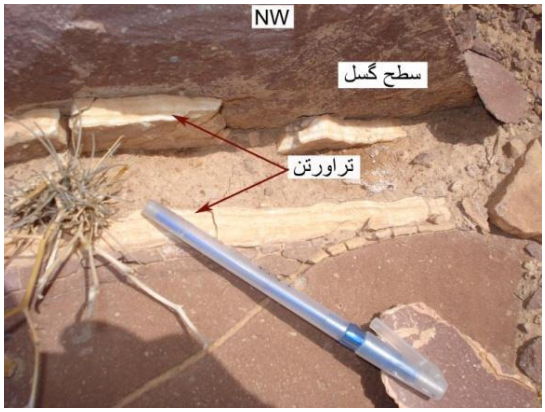
سن تراورتن های موجود در امتداد گسل گیو مربوط به کواترنری بالایی می‌باشد چون این نهشته‌ها بر روی رسوبات آهکی مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی قرار گرفته‌اند آنها در شکستگی های سنگ‌های مربوط به زمان الیگوسن نهشته شده‌اند.

واضح است که گسل گیو یک گسل فعال است به دلیل اینکه رسوبات تراورتن مربوط به کواترنر را جابجا کرده است .

توزیع تراورتن در محدوده گسل گیو

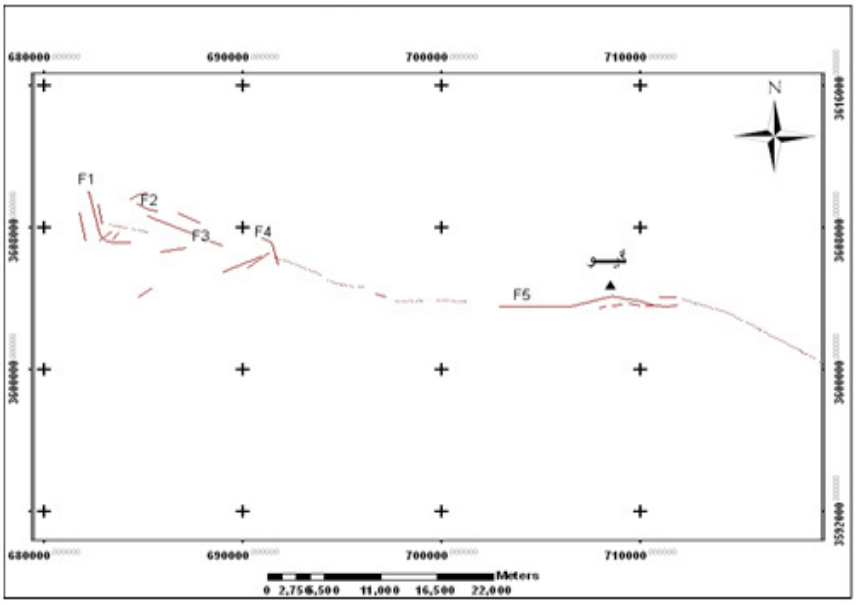
نقشه ساختاری گسل گیو و نیز توزیع رسوبات تراورتن در امتداد پاره‌گسل‌ها بر هم منطبق شده است. بررسی نقشه مربوط به توزیع رسوبات تراورتن نشان می‌دهد(شکل٦و٥). نهشته شدن این رسوبات تحت کنترل رژیم هیدرولوژیکی نبوده ویک رژیم تکتونیکی پیروی می‌کند زیرا شواهد صحرایی نشان می‌دهد تراورتن ها فقط در محدوده پاره‌های گسل و بر روی پرتگاه‌های گسلی یافت می‌شوند.

در جاهای دیگر منطقه که تحت تأثیر گسل نبوده تراورتن وجود ندارند، بطوریکه مرز اصلی گسل ها که در اعماق نفوذ کرده به عنوان کانال عمیق اصلی در بالا آمدن آب های گرم غنی از کربنات به سطح در طول گسل عمل می‌کند.

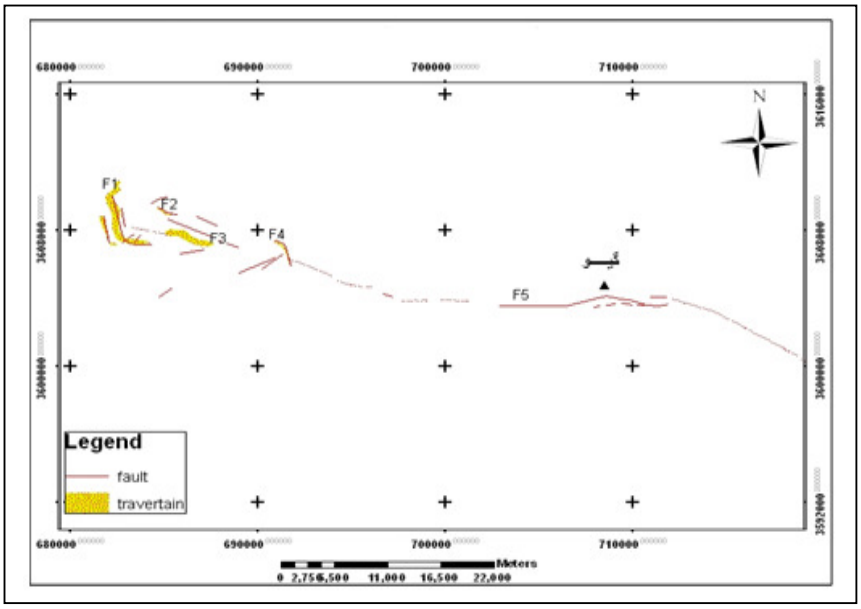


شکل ۳- تراورتن های همزاد روی سطح گسل

شکل ٤- وجود چشمه‌های تراورتنی خطی قدیمی در امتدادگسل گیو در شمال‌شرق پیرود



شکل ۵- نقشه ساختاری گسل گیو



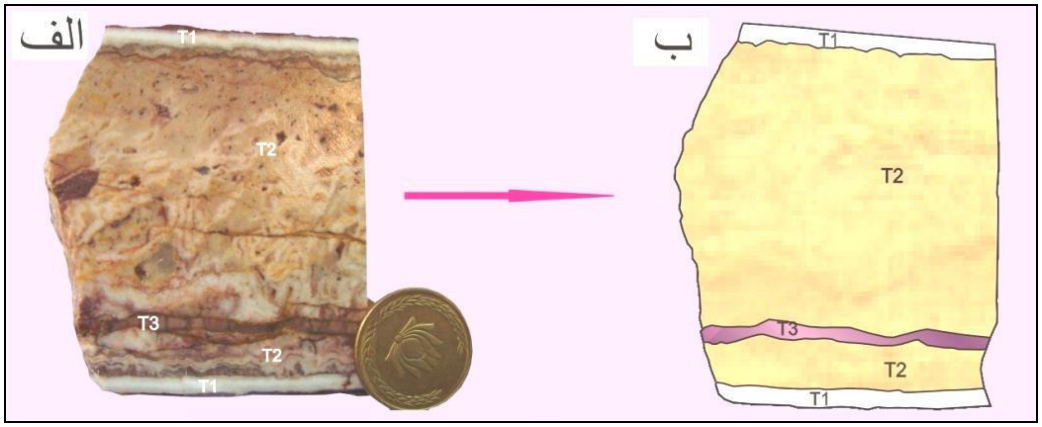
شکل ٦- نقشه ساختاری گسل گیو و توزیع تراورتن در محدوده گسل

بررسی صحرایی

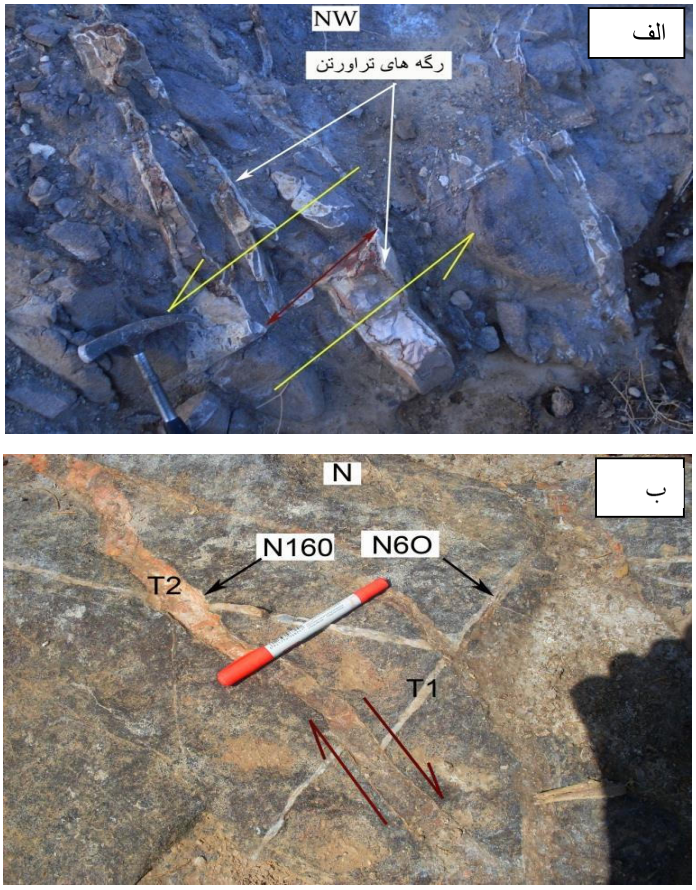
رژیم تکتونیکی قدیمی مشخص می‌کند که مقداری از جریان های هیدروترمال منجر به ته‌نشست کانی مهمی پیرو حوادث گسیختگی در محل اتساع شکستگی در زونهای گسل می‌شود. بطوریکه رسوبات تراورتن نهشته شده در داخل رگه‌ها یک ناپیوستگی در زمان نهشته شدن را نشان می‌دهند. در شکل ۷ رگه تراورتنی به ضخامت۷ سانتی‌متر در داخل شکستگی سنگ های آذرین منطقه برداشت شده است که در این رگه می‌توان سه ناپیوستگی در زمان نهشته شدن تراورتن و در نتیجه سه مرحله گسیختگی گسل را با تغییرات واضح در رنگ و خصوصیات متفاوت آنها جستجو کرد. در اولین گسیختگی که میزان بازشدگی رگه به اندازه ۹ میلی‌متر می‌باشد تراورتن T_1 از نوع دولومیت سفید رنگ نهشته شده است. مرحله دوم گسیختگی میزان بازشدگی رگه به اندازه ۵/۸ سانتیمتر است و تراورتن موجود T_2 از نوع دولومیت زرد مایل به قهوه‌ای می‌باشد و در مرحله سوم میزان بازشدگی رگه ۳ میلی‌متر می‌باشد و تراورتن تزریق شده در آن T_3از دولومیت صورتی رنگ می‌باشد.

مطالعات مزوسکوپی نشان می‌دهد که تراورتن به طرف بخش میانی جوان می‌شود و این جوانشدگی به صورت تدریجی نمی‌باشد بلکه به صورت ناگهانی روی داده است که این نوع رشد شکاف‌ها مشخص می‌کند که اتساع شکافها به صورت ناگهانی رخ داده است اگر چه فاصله زمانی بین ایجاد ناگهانی شکافها ممکن است از نظر زمین‌شناختی مشخص نباشد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که هر سیستم شکستگی بوسیله حوادث لرزه‌ای مجزا ایجاد شده است بطوریکه منبع تولید سیال بعد از تشکیل کانی در هر رگه مسدود می‌شود و زمانهایی که فرایند رسوبگذاری متوقف شده است منطبق بر زمانهای توقف اتساع شکافها می‌باشد.

با توجه به اینکه اتساع شکافها حاصل حرکت گسل می‌باشد، می‌توان فواصل زمانی توقف رسوبگذاری تراورتن را به تجمع انرژی در گسل نسبت داد. بطوریکه در هنگام آزاد شدن ناگهانی انرژی در گسل و در نتیجه رویداد زمین لرزه‌ای مهیب، شکافها به طور آنی باز می‌شوند که این فرایند با الگوی لرزه‌خیزی منطقه همخوانی دارد.



شکل۷- مراحل مختلف بازشدگی رگه و تزریق سه نسل تراورتن



شکل ۸- جابجایی رگه‌های تراورتن نسل اول بوسیله رگه‌های نسل دوم

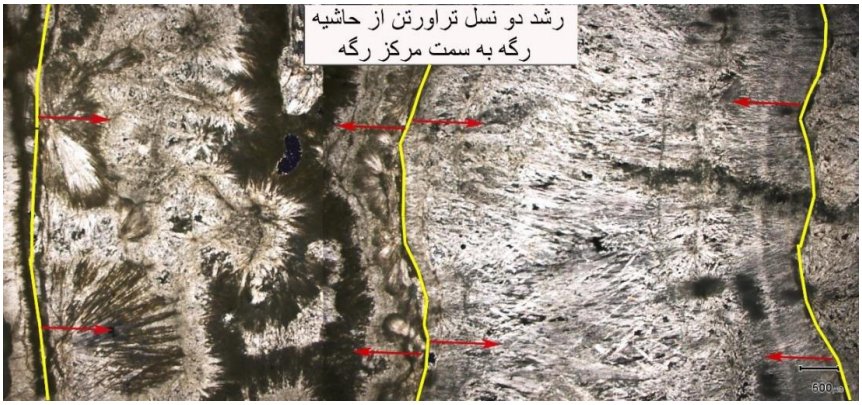
شکل ۸ الف در امتداد پاره گسل پیرود برداشت شده است که رگه تراورتنی اول در نتیجه فعالیت بعدی گسل برش خورده است. شکل ۸ ب نیز در امتداد پاره‌گسل گاریجگان برداشت شده که تراورتن صورتی رنگ باعث قطع شدن تراورتن سفید رنگ شده است.

بررسی میکروسکوپی

مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک تهیه شده از رگه‌های تراورتنی نهشته شده در شکستگی‌های همزاد با زمین‌لرزه نیز چندین فاز تراورتن‌زایی را نشان می‌دهد. به طوریکه با هر بار فعالیت گسل یک مرحله بازشدگی رگه صورت گرفته و تراورتن مربوط به آن زمان فعالیت نهشته شده است که دارای ویژگی های متفاوتی از نظر رنگ و بافت می‌باشد و شواهدی از شکستگی های ایجاد شده در یک سیستم شکستگی بسته را نشان می‌دهد که بوسیله توسعه بازشدگی جدید ادامه یافته است.

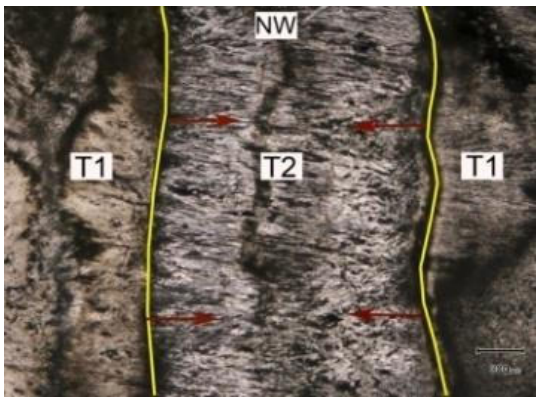
در شکل ۹ دو رگه تراورتنی وجود دارد در رگه T_1 بلورهای سوزنی پر مانند از حاشیه رگه و به حالت عمود نسبت به دیواره به سمت مرکز رگه رشد کرده‌اند، این بلورها به دلیل وجود ناخالصی ها دارای رنگ قهوه‌ای می‌باشند، با فعالیت مجدد گسل و ایجاد یک شکستگی جدید رگه تراورتنی T_2 در کنار رگه قبلی با ویژگی های بافتی متفاوت ایجاد شده است.

این رگه بلورها به طور متقارن ازحاشیه تا مرکز با بافت رشته ای کشیده شده‌اند.



شکل ۹- دو نسل تراورتن در شکستگی‌های همزاد با زمین‌لرزه

(شکل ۱۰)در نتیجه بازشدگی ثانویه یک رگه کربنات متفاوت تشکیل شده است. نکته قابل توجه مرزهای واضح و نظم شعاعی فیبرهای کربنات جدید از دیواره‌های رگه زاده شده بعدی است. کربنات این رگه نیز دارای بافت سوزنی رشته‌ای می‌باشد.



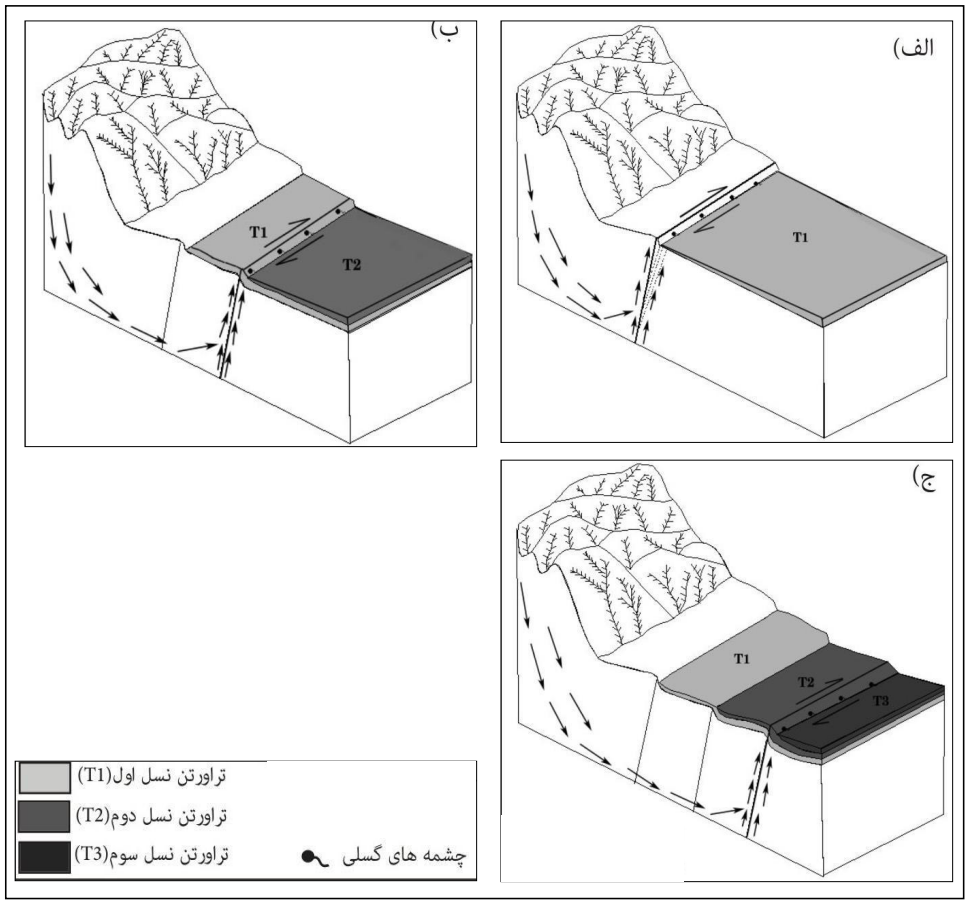
شکل ۱۰- بازشدگی ثانویه رگه و تشکیل کربنات جدید

تراورتن‌زایی مرتبط با گسل

مشاهدات صحرایی از تروتن‌زایی در امتداد گسل گیو و تحلیل آنها حاکی از آن است که در نتیجه ایجاد پارگی ناگهانی مقدار زیادی سیال گرمابی حاوی کربنات کلسیم با فشار از راه گسل به سطح زمین راه یافته است. این تراوش سیال تا مدتی ادامه داشته که حاصل تداوم این روند تشکیل لایه‌ای از تراورتن بر روی سطح زمین است.این مرحله از فعالیت گسل را می‌توان به رخداد یک زمین‌لرزه مهیب در امتداد گسل نسبت داد. ترکیب کانی‌شناسی تراورتنهای ایجاد شده توسط این گسل بیشتر دولومیت می‌باشند بطوریکه می‌توان چنین استنباط کرد که گسل موجب تأمین یون منیزیم از سنگهای معبر و در نتیجه تشکیل دولومیت $(Ca,Mg(CO_3)_2)$ شده است.

برای درک بهتر مراحل تراورتن‌زایی در امتداد پاره‌های گسل گیو با استفاده از بلوک دیاگرام این مراحل نشان داده شده‌اند. (شکل۱۱) فلشها مسیر حرکت آب را نشان می‌دهند، آبها از تمام سطح زمین به داخل آن نفوذ می‌کنند و پس از رسیدن به اعماق زمین دمای آنها بالا می‌رود و در نتیجه قدرت انحلال بالایی پیدا می‌کنند و در هنگام صعود، Ca^{2+} موجود در سنگ های معبر را حل می‌کنند و در محل چشمه‌ها رسوب می‌دهند. تکامل تراورتن‌زایی در امتداد پاره‌های گسل گیو در سطح زمین در محل چشمه‌ها با توجه به مشاهدات صحرایی به این صورت قابل توجیه است که ابتدا شاخه‌ای از گسل فعال شده و در نتیجه

سیالات برای خروج به سطح پیدا کرده‌اند و باعث نهشته شدن یک لایه افقی از تراورتنT_1 در سطح زمین شده‌اند (شکل ۱۲ الف). در مرحله دوم با فعال شدن شاخه‌ای دیگر از گسل و ایجاد گسیختگی، لایه‌های تراورتن T_1 از حالت افقی خارج شده‌اند و به حالت شیب دار درآمده‌اند در این مرحله تراورتن T_2 از طریق شاخه دوم گسل به سطح زمین راه پیدا کرده است و بر روی تراورتن های T_1 نهشته شده است (شکل ۱۲ ب). در مرحله سوم نیز مسیرهای قبلی مسدود شده‌اند و تراورتن T_3 توسط شاخه سوم گسل بالا آمده و بر روی تراورتن T_1 و T_2 نهشته شده است (شکل ۱۲ ج). مشاهدات صحرایی میزان فرسایش متفاوتی را در تراورتن های نسلهای مختلف نشان می‌دهد بطوریکه با حرکت به سمت پایین‌دست از میزان فرسایش کاسته می‌شود که این با الگوی تکتونیکی منطقه مطابقت دارد. به عبارت دیگر تراورتن های نسل سوم که در نتیجه آخرین عملکرد گسل نهشته شده‌اند جوانتر می‌باشند.



شکل ۱۲- تکامل تراورتن‌زایی در امتداد پاره‌گسل پیرود

نتیجه اینکه نهشته شدن تراورتن با ویژگی های متفاوت معرف دوره‌های فعال و غیرفعال بودن در ارتباط با فعال شدن گسلها و خروج سیالات کربنات سازمی‌باشد. با توجه به اینکه تراورتن های نهشته شده در حاشیه چشمه‌های گسلی در امتداد پاره‌گسل گاریجگان به شدت دچار فرسایش و گسلش شده‌اند و تا ارتفاع زیادی جابجا شده‌اند لذا می‌توان گفت که اولین مراحل تراورتن‌زایی بر روی این پاره‌گسل انجام شده است و در نتیجه اولین فعالیتهای مربوط به گسل گیو مربوط به این پاره‌گسلی می‌باشد با استناد به مشاهدات صحرایی و شناسایی سه مرحله تراورتن-زایی در امتداد این پاره‌گسل بنابراین می‌توان گفت احتمالاً حداقل سه زلزله کاری بر روی آن رخ داده است. بر اساس مشاهدات صحرایی، مطالعه مزوسکوپی نمونه‌های تراورتن و بررسی میکروسکوپی مقاطع نازک، سه مرحله تراورتن‌زایی در پاره‌گسل پیرود شناسایی گردید در نتیجه احتمال وقوع حداقل سه زلزله کاری در امتداد این پاره‌گسل به اثبات رسید. در پاره‌گسل ماژان علیرغم دگریختی نهشته‌های کواترنر، تراورتن‌زایی بجز در امتداد صفحه گسلی مشاهده نشد ولی در حال حاضر تراورتن در حاشیه چشمه گسلی در امتداد اسکارپ گسلی در حال نهشته شدن می‌باشد. بنابراین ما شواهدی را برای اثبات تعداد مراحل گسیختگی بااستفاده از تراورتن در زمان گذشته مشاهده نکردیم ولی دگریختی در امتداد آن بیانگر این است که احتمالاً این قطعه بعد از پاره‌گسل گاریجگان و پیرود و قبل از پاره‌گسل گیو فعال شده است. بررسی آمار زمین‌لرزه‌های قرن اخیر بیانگر این است که آخرین و جوان‌ترین فعالیت های رخداده بر روی گسل گیو مربوط به پاره‌گسل گیو می‌باشد. بطوریکه مهم ترین فعالیت آن مربوط به زمین‌لرزه بهمن‌ماه ۱۳۲٤ با شدت حدود ۸ درجه در مقیاس مرکالی و مرکزیت روستای گیو که موجب تخریب صددرصد آن گردید. همزمان با این زمین‌لرزه آبدهی کلیه قنوات برای مدت چند سال افزایش یافته و در چند سال اولیه بسیار گل‌آلود بوده است [۳]. همچنین در خرداد ماه ۱۳٦۹، زمین‌لرزه‌ای با شدت حدود ٦ درجه در مقیاس مرکالی رخ داده است که باز هم بیشترین تخریب در روستای گیو گزارش شده است [۳]. با توجه به اینکه فعالیت گسلی در امتداد این پاره گسل فقط به اندازه ۱.۵ متر باعث جابجایی رسوبات نرم کواترنر شده است و صفحه گسلی در سطح زمین قابل مشاهده نیست لذا مسیری برای نفوذ جریان های سیال فراهم نشده است و تراورتن‌زایی در امتداد این پاره‌گسل هنوز صورت نگرفته است. با استناد به مشاهدات صحرایی مانند دگریختی های سطحی و آمار زمین‌لرزه‌های تاریخی، دو زلزله کاری در قرن اخیر بر روی این پاره‌گسل رخ داده است. برای درک تکامل تکتونیکی پاره‌های گسل گیو یک چارچوب کرونولوژی ساده با استفاده از تفکیک زمانی نهشته شدن تراورتن ترسیم شده است. اطلاعات نمایش داده شده در (جدول۱) حاصل تلفیق مشاهدات صحرایی و بررسیهای میکروسکوپی می‌باشند. بر اساس این جدول می‌توان گفت که احتمالاً قدیمی‌ترین و اولین فعالیت گسل گیو مربوط به پاره‌گسل گاریجگان در زمان a باعث نهشته شدن اولین نوع تراورتن شده است. وقوع زمین‌لرزه بعدی که باعث نهشته شدن تراورتن نوع دوم در این پاره‌گسل شده است در زمان

b رخ داده است و در زمان c نیز سومین نوع تراورتن نهشته شده است بر پایه این شواهد حداقل سه مرحله تراورتن‌زایی در امتداد این پاره‌گسل تشخیص داده شده است. پاره‌گسل پیرود بعد از پاره‌گسل گاریجگان فعال شده است حجم تراورتن‌زایی در امتداد این پاره گسل نیز قابل توجه است در این پاره‌گسل نیز حداقل سه مرحله تراورتن‌زایی به کمک رگه‌های تراورتنی تشخیص داده شد. در امتداد پاره‌گسل ماژان در حال حاضر تراورتن‌زایی صورت می گیرد و درزلزله ۱۳۲٤ یعنی ٦٧ سال قبل و ۱۳٦۹ یعنی ۲۲ سال قبل این پاره‌گسل فعال شده است.

جدیدترین و آخرین فعالیت های گسل گیو نیز مربوط به پاره‌گسل گیو می‌باشند بطوریکه زمین‌لرزه‌های سال ۱۳۲٤ و ۱۳٦۹ بر روی این پاره‌گسل باعث دگریختی هایی در امتداد این پاره‌گسل در رسوبات کواترنری شده است.

		توالی پاراژنتیکی تراورتن								
		زمان	a	b	c	d	e		٦٦ سال قبل	۲۱ سال قبل
		گسل	×	×	×				×	×
پاره‌گسل گاریجگان	تراورتن زایی	نسل اول	*							
		نسل دوم		*						
		نسل سوم			*					
		بدون تراورتن‌زایی							●	●
پاره‌گسل پیرود	تراورتن زایی	نسل اول		*						
		نسل دوم			*					
		نسل سوم				*				
		بدون تراورتن‌زایی								
پاره‌گسل ماژان	تراورتن زایی	نسل اول							*	
		نسل دوم								*
		نسل سوم								
		بدون تراورتن‌زایی								
پاره‌گسل گیو	تراورتن زایی	نسل اول								
		نسل دوم								
		نسل سوم								
		بدون تراورتن‌زایی							●	●

جدول ۱- توالی پاراژنتیکی تراورتن(×: فعالیت گسل، *: زمین‌لرزه‌های همراه با تراورتن‌زایی، ●:زمین‌لرزه‌های بدون تراورتن‌زایی)

نتیجه‌گیری

به استناد مطالعات صحرایی، بررسی مزوسکوپی نمونه‌های تراورتن و بررسی میکروسکوپی مقاطع نازک تهیه شده از تراورتن های زاده شده در امتداد گسل گیو نتایج زیر در خصوص ارزیابی دوره‌های فعالیت پاره‌های گسل گیو با استفاده از مطالعه تراورتن‌زایی بدست آمد:

۱- فعالیت گسل گیو در گذشته با تراورتن‌زایی همراه بوده است و در حال حاضر نیز تراورتن‌زایی در حاشیه چشمه‌های گسلی در امتداد پرتگاه گسلی ماژان صورت می‌گیرد.

۲- جوان‌ترین فعالیت لرزه‌زمین‌ساختی آن مربوط به پاره‌گسل گیو و قدیمی ترین فعالیت مربوط به پاره گسل گاریجگان می‌باشد.

۳- بررسی نقشه توزیع تراورتن ها نشان می‌دهد که این نهشته‌ها فقط در امتداد پاره‌های گسلی واقع شده‌اند، لذا این نهشته‌ها دارای منشأ تکتونیکی می‌باشند.

٤- حداقل سه مرحله تراورتن‌زایی در صحرا و به کمک مطالعات پتروگرافی تشخیص داده شده است.

۵- با بررسی تراورتن‌زایی مشخص شد که پاره‌های گسلی شمال‌غرب نسبت به پاره‌های گسلی جنوب شرق قدیمی‌ترند بنابراین فعالیت گسل از سمت شمال‌غرب به سمت جنوب‌شرق در حال پیشروی است و در نتیجه احتمال وقوع زمین‌لرزه در پاره‌های گسلی جنوب‌شرق با توجه به الگوی لرزه خیزی منطقه در آینده بیشتر است.

منابع

۱- حاج ملاعلی، ع.، (۱۳٦۷)؛ پدیده‌های نوین "تراورتن های گنبدی شکل" سازمان زمین‌شناسی کشور، گروه چینه شناسی،انتشارات سازمان زمین شناسی، ۲۸ ص.

۲- خطیب، م.م.،(۱۳۷۳) ؛ مقدمه‌ای بر تحلیل ریخت‌زمین ساختی و نوزمین‌ساختی گسل پویای گیو. خلاصه مقالات سیزدهمین گردهمایی علوم زمین،سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷ ص.

۳- خطیب، م.م.، (۱۳۷۷)؛ هندسه پایانه گسل های امتداد لغز (با نگاهی ویژه بر گسلهای خاور ایران). پایان‌نامه دوره دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۱۳ص.

4- Altunel, E. & Hancock, P.L., 1996,Structural attributes of travertine-filled extensional fissures in the Pamukkale Plateau,Western Turkey, Int. Geol. Rev., Vol. 38,. 768–777pp.

5- Barnes. I., Irwin, W.P.& White, D.E., 1978, Global distribution of carbon-dioxide discharges and major zones of seismicity, United States Geological Survay, Water Resources Investigations,., Open File report. 78-39pp.

6-Dreybrodt, W., Buhmann, D., Michaelis, J., & Usdowski, E., 1992, Geochemically controlled calcite precipitation by CO_2 outgassing: field measurements of precipitation rates in comparison to theore-tical

7-predictions, Chemical Geology, Vol. 97,. 285-294pp.

8-Dunn, J.R., 1953. The origin of the deposits of tufa in Mono Lake, J. sed.Petrog, Vol. 23,. 18-23pp.

9-Ford, T.D.& Pedley. H.M., 1996, A review of tufa and travertine deposite of the world, Earth-Science Reviews, Vol. 41,. 117- 175pp.

10-Hancock, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E., Cakir, Z., 1999, Travertonic: using travertines in active fault studies, Journal of Stractural Geology, Vol. 21. 903-916pp.

11- Muir-Wood, R., 1993, Neohydrotectonic, Zeitschrift Geomorphologie Suoolementary, Vol. 94,. 275-284pp.

12- Uysal, T., Feng, Y., Zhao, J., Altunel, E., Weatherley, D., Karabacak, V., Cengiz, O., Golding, S.D.,U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary Travertinein co-