

زمین شیمی و توالی دیاژنزی سازند تله زنگ در جنوب باختر کرمانشاه

محمد شالوند^۱، محمدحسین آدابی^{۲*} و افشین زهدی^۳

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

در این مطالعه، سازند تله زنگ به سن پالئوسن پسین در جنوب باختر کرمانشاه از نظر ویژگی های زمین شیمی عصری و فرایندهای دیاژنزی تأثیر گذار در طی تدفین مورد بررسی قرار گرفته است. این سازند در توالی مطالعه شده ۲۸۲ متر ستبراً دارد که عمدتاً از سنگ آهک های دریایی کم ژرفا به همراه میان لایه های مارن و دولومیت تشکیل شده است. مهم ترین فرایندهای دیاژنزی این سازند شامل میکرایتی شدن، انواع تخلخل ها، سیمانی شدن، دولومیتی شدن و فشردگی می باشد. با توجه به نوع بافت سنگ و فراوانی ذرات اسکلتی ناپایدار (جلبک سبز و دو کفه ای)، تخلخل و سیمانی شدن بیشترین سهم را در بین فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده دارند. مطالعات میکروسکوپی و زمین شیمیایی نشان می دهد که این فرایندها در مراحل ائوژنز و مزوژنز ابتدایی و در محیط های دریایی، متاوریک و تدفینی کم ژرفا انجام شده اند. شواهد نشان می دهد که کربنات های سازند تله زنگ تدفین ژرف را پس از ته نشست در طی دیاژنز تحمل نکرده اند. سیالاتی که در طی تدفین بخش های زیرین این سازند را تحت تأثیر قرار داده اند، عمدتاً ماهیتی دریایی داشته و به سمت بالای توالی افزون بر آب دریا به میزان کمتر سیالات جوی (متاوریک) نیز در طی دیاژنز، کربنات های دریایی سازند تله زنگ را تحت تأثیر قرار داده است. بالا بودن نسبت استرانسیم به منگنز (میانگین ۲۷/۵) و نسبت استرانسیم به کلسیم (میانگین ۱/۶۱) و همچنین مقادیر پایین عناصر آهن (میانگین ۷۸ پی پی ام) و منگنز (میانگین ۲۷ پی پی ام) بیانگر سیستم دیاژنتیکی بسته با تبادل آب به سنگ پایین برای کربنات های سازند تله زنگ است که این مقدار در بخش های بالایی توالی به طور نسبی افزایش می یابد. دلیل این افزایش می تواند به تأثیر سیالات جوی با توجه به حضور ناپیوستگی فرسایشی بزرگ مقیاسی باشد که در رأس سازند تله زنگ و در زیر ماسه سنگ ها و کنگلومراهای قرمز رنگ سازند کشکان قرار گرفته است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۱/۰۱

کلیدواژه ها:

زمین شیمی

دیاژنز

سازند تله زنگ

تدفین کم ژرفا

کرمانشاه

۱- پیش نوشتار

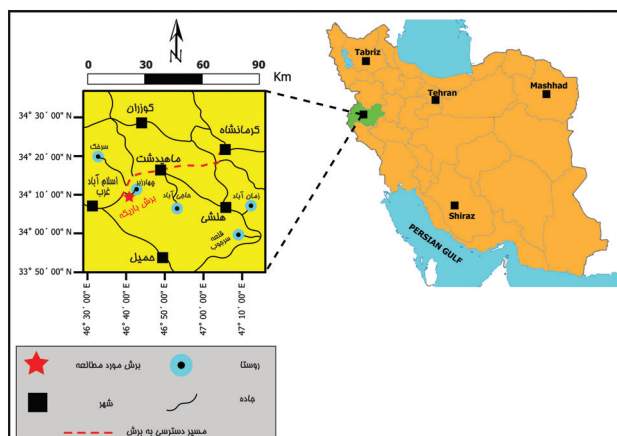
سازند تله زنگ در شمال باختر حوضه زاگرس (زیر حوضه لرستان) با سنگ شناسی چیره سنگ آهک دارای محدوده سنی پالئوسن تا ائوسن میانی است. مرز زیرین و بالایی این سازند به ترتیب با سازندهای امیران و کشکان مشخص می گردد (آقاباتی، ۱۳۹۲). مطالعات رسوب شناسی و محیط رسوبی صورت پذیرفته بر روی سازند تله زنگ به ویژه در منطقه کرمانشاه بیانگر یک محیط دریایی کم ژرفا برای این نهشته ها است که در طی تدفین عمدتاً تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی دریایی و به میزان کمتر جوی قرار گرفته است (زهدی و آدابی، ۱۳۸۸؛ شالوند و همکاران، ۱۳۹۸ الف و ب). تأثیر همزمان سیالات دریایی و جوی سبب تغییرات قابل ملاحظه ای در کربنات های کم ژرفا (نظیر سنگ آهک های سازند تله زنگ در منطقه کرمانشاه) در طی فرایند تدفین می شود؛ به گونه ای که در بسیاری از موارد این فرایندها هم پوشانی داشته و برای تشخیص آنها علاوه بر مطالعات سنگ نگاری با استفاده از میکروسکوپ های پلاریزان، مطالعات زمین شیمی عصری و استفاده از میکروسکوپ کاتدولومینسانس و الکترونی ضروری است. از این رو در پژوهش حاضر برای نخستین بار به بررسی و تأثیر فرایندهای پس از رسوب گذاری در زمان

پالئوسن پسین در منطقه کرمانشاه پرداخته می شود. امید است که نتایج مطالعه حاضر بتواند تصویر آشکارتری از تاریخچه پس از رسوب گذاری سازند تله زنگ در زمان پالئوسن پسین در حوضه زاگرس ارائه دهد.

۲- زمین شناسی و چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

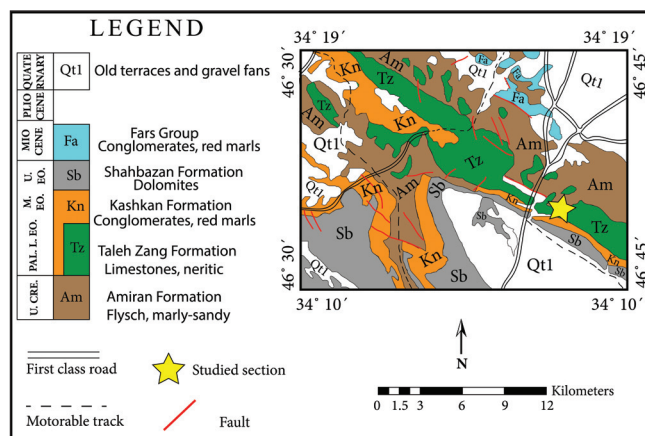
منطقه مورد بررسی بخشی از کمربند چین خورده زاگرس و قسمتی از حوضه لرستان طبق تقسیم بندی Falcon (1961) به حساب می آیند. با توجه به نقشه زمین شناسی، منطقه مورد مطالعه از مجموعه ای از رسوبات کربناته و تخریبی سنوزویک و عمدتاً متعلق به محیط دریایی کم ژرفا تشکیل شده است. این رسوبات به طور کلی در مجموعه ای از محیط های رسوبی قاره ای تا دریایی کم ژرفا رسوب نموده اند که در طی تدفین افزون بر سیالات دریایی تحت تأثیر سیالات جوی نیز قرار گرفته اند (شالوند، ۱۳۹۸). واحدهای زمین شناسی عمدتاً متعلق به دوران سنوزویک بوده و شامل سازندهای امیران (کرتاسه پسین - پالئوسن میانی)، تله زنگ (پالئوسن پسین - ائوسن پیشین)، کشکان (ائوسن میانی)، شهبازان (ائوسن پسین)، قسمتی از گروه

مختصات جغرافیایی "E: 46° 41' 00" و "N: 34° 13' 00" واقع شده است (شکل ۲). سازند تله‌زنگ در این برش ۲۸۲ متر ستبراً داشته که عمدتاً از سنگ‌های آهکی به همراه میان لایه‌هایی از مارن (۲۴۲ متر) و دولومیت (۴۰ متر) تشکیل شده است. سن سازند تله‌زنگ در برش باریکه، پالئوسن پسین در نظر گرفته شده است (شلالوند، ۱۳۹۸). در برش مورد مطالعه مرز زیرین به صورت پیوسته و هم‌شیب با سازند آواری امیران است. ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ سازند کشکان نیز در مرز بالا به صورت ناپیوسته و هم‌شیب قرار گرفته است. تصاویر صحرایی سازند تله‌زنگ در برش باریکه در شکل ۳ و ستون چینه‌شناسی مربوط به آن در شکل ۴ ارائه شده است.

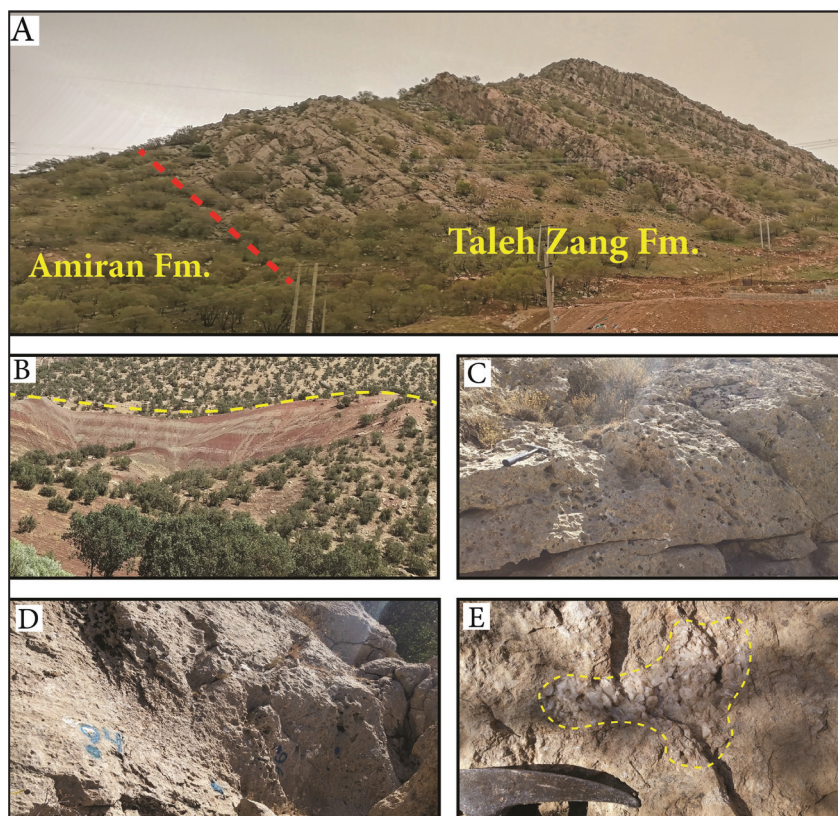


شکل ۲- موقعیت جغرافیایی و مسیر دسترسی به برش مورد مطالعه.

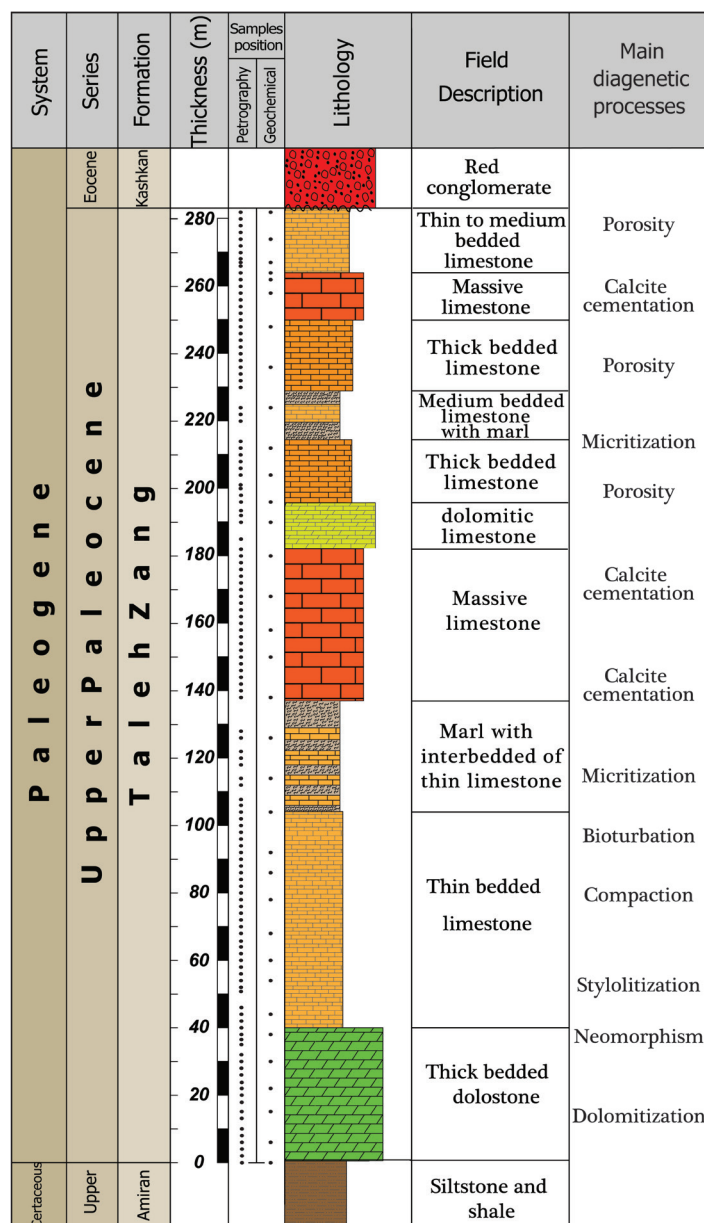
فارس (میوسن)، و همچنین ته‌نشست‌ها و مخروط افکنه‌های کواترنری می‌باشند (شکل ۱). در زمان پالئوسن پسین تا ائوسن رسوبات زاگرس در یک حوضه پیش‌گودال باقیمانده در حاشیه خاوری صفحه عربی نهشته شده‌اند (Alavi, 2004). در این زمان به سبب فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید، سیستم کرناته بارها توقف کرده و جای خود را به آواری‌ها داده است که در لرستان این آواری‌ها با سازند کشکان و کرنات‌ها با سازندهای شهبازان و تله‌زنگ شناخته می‌شوند (مطیعی، ۱۳۸۲). برش چینه‌شناسی باریکه (واقع در کوه باریکه) در جنوب باختر کرمانشاه و در ۴۰ کیلومتر جاده اصلی کرمانشاه-اسلام‌آباد غرب در ارتفاعات گردنه چهار زبر با



شکل ۱- قسمتی از نقشه زمین‌شناسی کرمانشاه که محل برش مورد مطالعه در آن مشخص شده است (Braud, 1978؛ با ترسیم مجدد).



شکل ۳- تصاویر صحرایی از سازند تله‌زنگ در برش باریکه. (A) مرز زیرین سازند تله‌زنگ با سازند امیران. جهت دید به سمت خاور. (B) نمایی نزدیک از مرز بالایی سازند تله‌زنگ با سازند کشکان. جهت دید به سمت شمال. (C) نمایی نزدیک از سنگ آهک‌های متوسط تا ستبر لایه. (D) نمایی نزدیک از سنگ آهک‌های توده‌ای (E) حفرات درشت ثانویه که با بافت کلیست اسپاری دروزی پر شده‌اند.



شکل ۴- ستون چینه‌شناسی سازند تل‌زنگ در برش باریکه.

۳- روش مطالعه

تشخیص انواع سیماها نیز تعداد ۴ نمونه جهت مطالعات کاتدولومینسانس انتخاب گردید. این مطالعات در دانشگاه فردوسی مشهد و توسط میکروسکوپ کاتد مدل CCL 8200mk3 در خلأ ۰/۱ تور با ولتاژ ۱۲ تا ۱۵ کیلو ولت و شدت جریان ۲۰۰ تا ۳۰۰ میکروآمپر انجام شده است. سپس تعداد ۲۸ نمونه از بخش‌های آهکی سازند تل‌زنگ که تحت تأثیر کمترین دیاژنیز قرار گرفته بودند و همچنین ۶ نمونه از دولومیت‌ها جهت انجام آزمایش‌های زمین‌شیمی عنصری انتخاب گردیدند. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه زمین‌شیمی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مدل Varian مورد تجزیه عنصری قرار گرفتند. عناصر اصلی (Ca, Mg) بر حسب درصد و عناصر فرعی (Sr, Na, Mn, Fe) بر حسب پی‌پی‌ام اندازه‌گیری شدند. دقت آنالیزها برای عناصر اصلی، حدود ۰/۵ درصد و برای عناصر فرعی، ۵ ± پی‌پی‌ام بوده است (Robinson, 1980). لازم به ذکر است که از تعداد کل نمونه‌ها، ۴ نمونه به دلیل مقادیر بالای مواد غیر قابل حل در اسید حذف گردیدند.

پس از مطالعه پژوهش‌های انجام شده در زمینه موضوع مورد بررسی، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ کرمانشاه (Braud, 1978)، مسیر پیمایش جهت مطالعه صحرایی و نمونه‌برداری مشخص گردید. پس از بررسی‌های صحرایی، در مجموع تعداد ۱۳۰ نمونه سنگی از نهشته‌های کربناته (۱۱۰ نمونه از سنگ آهک‌ها و ۲۰ نمونه از دولومیت‌ها) برداشت و از تمامی آنها مقطع نازک تهیه گردید. به منظور تشخیص و تفکیک سنگ آهک از دولومیت و همچنین کربنات‌های آهن‌دار و فاقد آهن، تمامی مقاطع نازک میکروسکوپی توسط محلول آلزارین قرمز (Alizarin- Red- Stain) و فروسیانید پتاسیم (K. Ferricyanide) به روش Dickson (1965) رنگ‌آمیزی شده و به کمک میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از مطالعات سنگ‌نگاری، تعداد ۴ نمونه جهت انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM) انتخاب گردید. این مطالعات در مرکز پژوهش متالوژی رازی تهران و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روشی مدل VEGA/TESCAN مجهز به آنالیز نقطه‌ای عنصری (EDX) انجام گردید. به منظور

۴- ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

ذرات تشکیل دهنده سازند تله‌زنگ در جنوب‌باختر کرمانشاه شامل جلبک‌های سبز داسی‌کلاداسه‌آ، روزن‌بران کفزی کوچک با پوسته تیره، دوکفه‌ای‌ها، شکم‌پایان (گاستروپودها) به همراه پلوییدها است (شلالوند، ۱۳۹۸). این سازند در منطقه مورد مطالعه در یک محیط دریایی کم‌ژرفا از نوع رمپ کربناته نهشته شده و دربرگیرنده ۶ ریزرخساره کربناته می‌باشد که در ۴ کمربند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی، لاگون، سد و ابتدای دریای باز قرار گرفته‌اند (شلالوند، ۱۳۹۸). ریزرخساره‌های معرفی شده در این برش به ترتیب افزایش ژرفا عبارتند از: (۱) پکستون حاوی فابریک فنسترال، (۲) وکستون حاوی پلویید، روزن‌بران کفزی و بایو‌کلاست، (۳) وکستون تا پکستون حاوی داسی‌کلاداسه‌آ و روزن‌بران کفزی، (۴) گریستون حاوی پلویید و روزن‌بران کفزی، (۵) وکستون حاوی روزن‌بران (کفزی و شناور (پلاتکتونیک) و بایو‌کلاست، (۶) مادستون تا وکستون حاوی بایو‌کلاست و روزن‌بران کفزی؛ که همگی بیانگر یک محیط دریایی نزدیک به ساحل می‌باشند (شلالوند، ۱۳۹۸).

۵- فرایندهای دیاژنری

به فرایندهای فیزیکی و شیمیایی که باعث ایجاد تغییراتی در ویژگی‌ها و ترکیب رسوبات از زمان نهشته‌شدن تا پس از رسوب‌گذاری می‌شوند، دیاژنر گفته می‌شود (Morad et al., 2013). فرایندهای دیاژنری مؤثر بر سازند تله‌زنگ عبارتند از: میکرایتی شدن، آشفستگی زیستی، فابریک ژئوپتال، بورینگ، تخلخل فنسترال، تخلخل بین دانه‌ای، تخلخل درون دانه‌ای، ریزتخلخل، تخلخل بین بلوری، تخلخل قالبی، تخلخل حفره‌ای، تخلخل کانالی، سیمان دانه‌ای هم‌بعد، سیمان کلسیت دروزی، سیمان کلسیت بلوکی، سیمان رورشدی هم‌محور، نوشکلی، دولومیتی شدن، فشردگی فیزیکی، فشردگی شیمیایی و تشکیل استیلولیت. در ادامه هر یک از این فرایندها و تأثیر آن بر کربنات‌های سازند تله‌زنگ از تدفین بسیار کم‌ژرفا (نزدیک به کف بستر دریا) به تدفین کمی ژرف‌تر بحث می‌شوند.

۵-۱. میکرایتی شدن (Micritization)

فرایندی است که در مراحل اولیه دیاژنر دریایی رخ می‌دهد و بر اثر آن حاشیه و یا کل دانه توسط بلورهای کربناته ریزبلور جایگزین می‌شود (Oluwajana et al., 2020). در طی این فرایند، بر اثر فعالیت موجودات حفار (جلبک‌های اندولیتیک، قارچ‌ها و سیانوباکتری‌ها) حاشیه دانه‌های اسکلتی مکرراً سوراخ شده و به وسیله رسوبات دانه‌ریز یا سیمان پر می‌شوند که این عمل سبب تشکیل پوشش‌های میکرایتی (Micritic envelope) از جمله کورتویید می‌گردد (Flugel, 2010; Awais et al., 2018). در صورتی که فعالیت موجودات خیلی شدید باشد، دانه‌های اسکلتی به طور کامل میکرایتی می‌شوند. میکرایتی شدن در نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر در بخش‌های میانی توالی و در بیشتر موارد به صورت پوشش میکرایتی در اطراف پوسته‌های فسیلی عمل کرده (شکل ۵-۸) و در برخی موارد بافت اولیه دانه‌ها را به‌طور کامل تخریب کرده است (Bahamite) (شکل ۵-۸).

۵-۲. آشفستگی زیستی (Bioturbation)

موجوداتی که در رسوبات حرکت، تغذیه و یا بر روی آن استراحت می‌کنند، اشکال و الگوهای مشخصی بر جای می‌گذارند که به عنوان آشفستگی زیستی شناخته می‌شود. آشفستگی زیستی عمدتاً گویای محیط‌های دریایی کم انرژی است (Aghajani and Aleali, 2019) و توسط عواملی از جمله نرخ تولید کربنات و تغییرات سطح آب دریا کنترل می‌شود (Hoseinabadi et al., 2016). این فرایند در مقاطع مطالعه شده به مقدار کم و تنها در رخساره‌های گل پشیمان حاضر در بخش‌های میانی توالی مشاهده می‌شوند (شکل ۵-۷). فراوانی رخساره‌های با بافت پکستون و سرشار از آلوکم در توالی مورد مطالعه مانع از تشکیل این فرایند به میزان گسترده شده است.

۵-۳. فابریک ژئوپتال (Geopetal fabric)

این فابریک که توسط فرایندهای رسوبی، بیولوژیکی و دیاژنری در مقیاس مختلف در سنگ‌های کربناته ایجاد می‌شود، شاخص خوبی جهت تعیین سطح بالایی و پایینی لایه در زمان رسوب‌گذاری است (Flugel, 2010). همچنین شناخت فابریک ژئوپتال برای درک تاریخچه رسوب‌گذاری و پس از رسوب‌گذاری سنگ‌های کربناته بسیار مهم است (Hosinabadi et al., 2016). در مقاطع مورد مطالعه از سازند تله‌زنگ، فابریک ژئوپتال عمدتاً در داخل حجرات شکم‌پایان مشاهده شده‌اند؛ به طوری که بخشی از حجرات خالی شکم‌پایان توسط میکرایت و بقیه توسط سیمان کلسیت اسپاری دانه‌درشت پر شده است (شکل ۵-۸).

۵-۴. بورینگ (Boring)

این فرایند شامل حفاری توسط موجودات می‌باشد که ممکن است خالی بماند و یا اینکه در ادامه با سیمان یا ماتریکس پر شود. فراوانی و نوع این آثار افزون بر نوع ارگانسیم‌ها توسط عوامل محیطی از قبیل نور، مواد غذایی، سرعت رسوب‌گذاری و ورود مواد آواری به حوضه، ژرفا و دمای آب کنترل می‌شود (Flugel, 2010). میکروبورینگ (Microboring) توسط فعالیت‌های جلبکی و یا باکتریایی و ماکروبورینگ (Macroboring) به وسیله موجوداتی نظیر روزن‌بران، اسفنج، دوکفه‌ای و شکم‌پایان به وجود می‌آید. بورینگ در مقاطع مورد مطالعه، فراوانی زیادی ندارد و بیشتر بر روی پوسته نرم‌تنان رخ داده است (شکل ۵-۹).

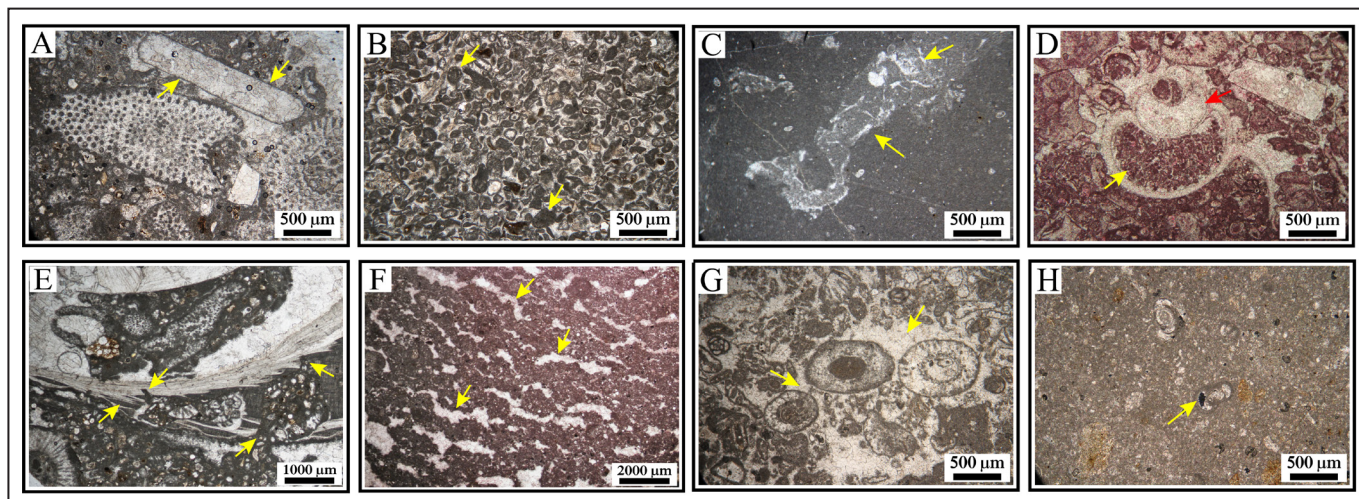
۵-۵. تخلخل (Porosity)

سنگ‌های کربناته به سبب عبور سیالات غیراشباع نسبت به فاز کربناته، دچار انحلال قرار گرفته و باعث ایجاد انواع تخلخل می‌گردند (Tucker, 2003). تخلخل‌ها از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنری سازند تله‌زنگ در برش مورد مطالعه هستند که با توجه به فراوانی ذرات ناپایدار در طی دیاژنر گسترش زیادی داشته‌اند. در ادامه به انواع تخلخل‌های شناسایی شده در سازند تله‌زنگ اشاره می‌شود.

الف) تخلخل فنسترال (Fenestral porosity): نوعی تخلخل اولیه است که بر اثر ترک‌خوردگی رسوبات گلی و یا تجزیه ماده آلی نظیر جلبک‌ها و تولید گاز در رسوبات نواحی جزرومدی ایجاد می‌شود (Guo et al., 2018). این تخلخل‌ها به اشکال کروی، عدسی، چشم پرنده‌ای و نامنظم معمولاً به موازات سطوح چینه‌ای و لایه‌های سنگ ایجاد می‌شوند. تخلخل فنسترال در بخش‌های انتهایی از سازند تله‌زنگ و در رخساره‌های پهنه جزرومدی گسترش دارد و تماماً به وسیله سیمان کلسیت اسپاری در طی مراحل تدفین پر شده‌اند (شکل ۵-۹). این تخلخل به‌عنوان یکی از شواهد حضور ناپیوستگی فرسایشی بین سازندهای تله‌زنگ و کشکان در نظر گرفته می‌شود.

ب) تخلخل بین‌دانه‌ای (Interparticle porosity): این تخلخل هم‌زمان با رسوب‌گذاری و در بین ذرات تشکیل دهنده سنگ ایجاد می‌شود. اما گاهی در اثر انحلال انتخابی زمینه دانه‌ریز یا میکرایت، بین دانه‌های درشت‌تر تشکیل می‌شود. میزان این تخلخل با توجه به بزرگی، جورشدگی، نحوه قرارگیری و شکل ذرات تغییر می‌کند (Ali et al., 2018). در نمونه‌های مطالعه شده از سازند تله‌زنگ این تخلخل در بین آلوکم‌ها اکثراً به‌صورت اولیه ایجاد شده است و بیشتر در ریزرخساره‌های دانه پشیمان دیده می‌شود که در تمامی موارد توسط سیمان کلسیت اسپاری پر شده‌اند (شکل ۵-۷).

پ) تخلخل درون دانه‌ای (Intraparticle porosity): این نوع تخلخل بیشتر در داخل دانه‌های اسکلتی مشاهده می‌شود (شکل ۵-۸). در این نوع تخلخل، حفره‌های درون دانه‌ای ممکن است به هم مرتبط نباشند و یا اینکه فضاهای خالی در مدت کوتاهی پس از رسوب‌گذاری توسط ذرات دانه‌ریز کلسیت پر شده و از بین بروند (Lucia, 2007). در نمونه‌های مورد مطالعه، فراوانی این نوع تخلخل بسیار کم بوده و بیشتر درون حجرات روزن‌بران دیده می‌شوند.



شکل ۵- A) میکرایتی شدن که به صورت پوشش میکرایتی بر روی آلومینا عمل کرده است. B) میکرایتی شدن به صورت کامل و تخریب بافت اولیه (باهامیت). C) آشتگی زیستی که تغییر رنگ نسبت به زمینه اصلی (فلش زرد رنگ) از ویژگی‌های بارز شناسایی آن است. D) فابریک ژئوتال درون یک گاستروپود که توسط سیمان گرانولار پر شده است. E) بورینگ که توسط موجودات حفار بر روی پوسته یک نرم‌تن اتفاق افتاده است. F) حفرات توسط میکرایت پر شده‌اند (فلش زرد رنگ). G) تخلخل فنسترال به صورت لامینوئید که توسط سیمان کلسیت اسپاری پر شده است. H) تخلخل درون دانه‌ای در داخل حفره یک روزن بر کفزی.

پرنشده (شکل ۶- E) ولی در برخی موارد توسط سیمان دانه‌ای هم‌بعد یا دروزی پر شده‌اند (شکل ۷- A و B).

ج) تخلخل کانالی (Channel porosity): این تخلخل به‌طور عمده در اثر انحلال در طول شکستگی‌ها و یا اتصال فضاهای خالی به یکدیگر ایجاد می‌شود (شکل ۶- F). بزرگ بودن مقیاس حفرات در این نوع تخلخل بیانگر بزرگی و توسعه انحلال در زمینه کربناتی می‌باشد (Irajian et al., 2017). این تخلخل در سازند تله‌زنگ به مقدار نسبتاً زیادی مشاهده می‌شود و نسبت به تخلخل‌های دیگر کمتر سیمانی شده است. این تخلخل احتمالاً در طی بالآمده‌گی توالی کربناته مورد مطالعه شکل گرفته است و سیمان‌های تشکیل شده در آن به احتمال زیاد دارای منشأ جوی می‌باشند.

۵-۶. سیمانی شدن (Cementation)

سیمانی شدن یکی از فرایندهای دیاژنری است و زمانی اتفاق می‌افتد که سیالات منفذی نسبت به فاز کربنات فوق‌اشباع باشند (Tucker, 2003). در سازند تله‌زنگ پس از ایجاد تخلخل در طی دیاژنر حفرات خالی تحت تأثیر سیالات غنی از کربنات کلسیم قرار گرفته و بیشتر تخلخل‌ها توسط سیمان پر شده‌اند. سیمان‌های شناسایی شده در سازند تله‌زنگ تماماً کربناته بوده و سیمان‌های آهن‌دار و تبخیری شناسایی نشدند.

الف) سیمان دانه‌ای هم‌بعد (Equant granular cement): این سیمان از بلورهای کوچک کلسیتی، نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و نسبتاً هم‌بعد تشکیل شده است. معمولاً در محیط‌های دیاژنری جوی (Ishaq et al., 2018) و محیط تدفینی (Flügel, 2010) تشکیل می‌شود. این سیمان همچنین می‌تواند از تبلور مجدد سیمان‌های پیشین حاصل شود. دلیل هم‌بعد بودن این سیمان پایین بودن نسبت Mg/Ca در آب‌های جوی و تدفینی است (Flügel, 2010). در نمونه‌های مطالعه شده این سیمان فراوانی بالایی نداشته و بیشتر به صورت سیمان پرکننده بین دانه‌ای و بعضاً به صورت پرکننده حفرات مشاهده می‌شود (شکل ۷- A).

ب) سیمان کلسیت دروزی (Drusy calcite cement): در این نوع سیمان اندازه بلورها از حاشیه به سمت مرکز حفره افزایش می‌یابد. سیمان دروزی در محیط‌های دیاژنری جوی نزدیک به سطح و محیط‌های تدفینی تشکیل می‌شود (Flügel, 2010). این سیمان فراوان‌ترین نوع سیمان شناسایی شده می‌باشد که بیشتر تخلخل‌های حفره‌ای

ت) ریز تخلخل (Microporosity): از انواع تخلخل‌های اولیه است که در بین بلورهای میکرایتی زمینه مشاهده می‌شوند. به علت اندازه فوق‌العاده ریز حفره‌ها در این نوع تخلخل (۵/۱۰ تا ۱۰ میکرومتر)، استفاده از میکروسکوپ الکترونی تنها راه تشخیص ریز تخلخل‌ها است (Flügel, 2010). با اینکه این نوع تخلخل در نمونه‌های دستی و یا میکروسکوپ پلاریزان قابل مشاهده نیست، اما از مهم‌ترین تخلخل در کربنات‌ها به شمار می‌رود (Tavakoli and Jamalian, 2018). این نوع تخلخل در مقاطع مورد مطالعه در ریزرخساره مادستونی سازند تله‌زنگ شناسایی شده است که بخش عمده زمینه از میکرایت تشکیل گردیده است (شکل ۶- A).

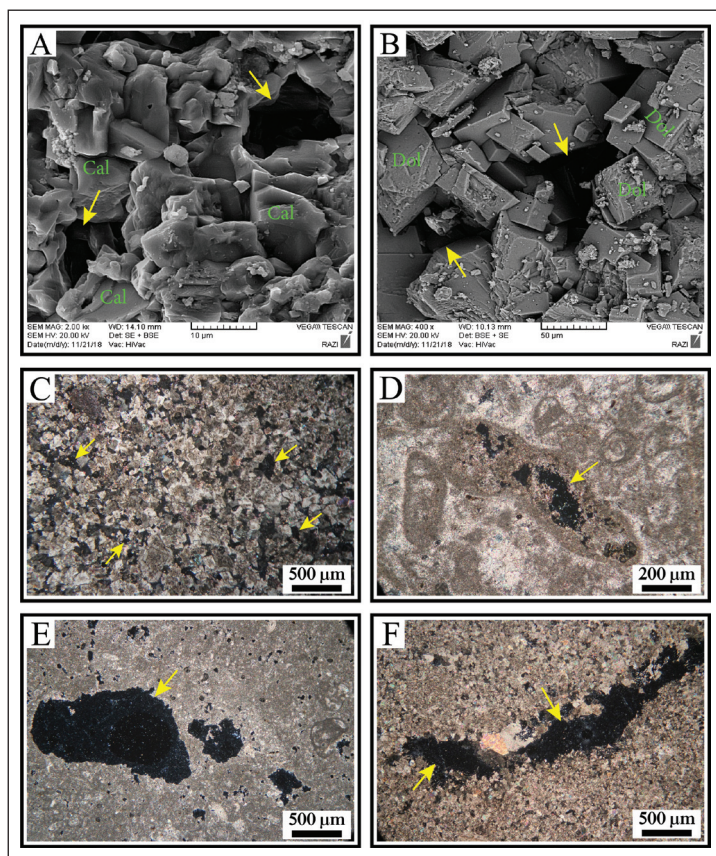
ث) تخلخل بین بلوری (Intercrystalline porosity): این تخلخل بیشتر در دولومیت‌های جانشینی یافت می‌شود و از نوع ثانویه به‌شمار می‌رود. اندازه این نوع تخلخل در دولومیت‌های درشت بلورتر مانند دولواسپاریت‌ها بیشتر آشکار است (Jamalian and Adabi, 2014). تخلخل بین بلوری در دولومیکروسپاریت‌های سازند تله‌زنگ گسترش خوبی دارد که اکثراً توسط سیمان پر نشده‌اند (شکل ۶- B و C).

ج) تخلخل قالبی (Moldic porosity): از انواع تخلخل‌های ثانویه در سنگ‌های کربناته است که معمولاً در اثر انحلال انتخابی اجزای تشکیل دهنده موجود در رسوبات ایجاد می‌شود (Tucker, 2003). این تخلخل بیشتر در سنگ‌هایی با ترکیب کانی شناسی اولیه آراگونیتی گسترش می‌یابد (Adabi and Asadi Mehmandosti, 2008). تخلخل قالبی ناشی از انحلال قطعات اسکلتی را اصطلاحاً بایومولدیک (Biomoldic) می‌نامند. در نمونه‌های مورد مطالعه این نوع تخلخل که فراوانی نسبتاً خوبی هم دارد در اثر انحلال قطعات اسکلتی ناپایدار به ویژه قطعات اسکلتی آراگونیتی نظیر دوکفه‌ای‌ها و جلبک‌های سبز داسی کلاداسه آ ایجاد شده‌اند (شکل ۶- D).

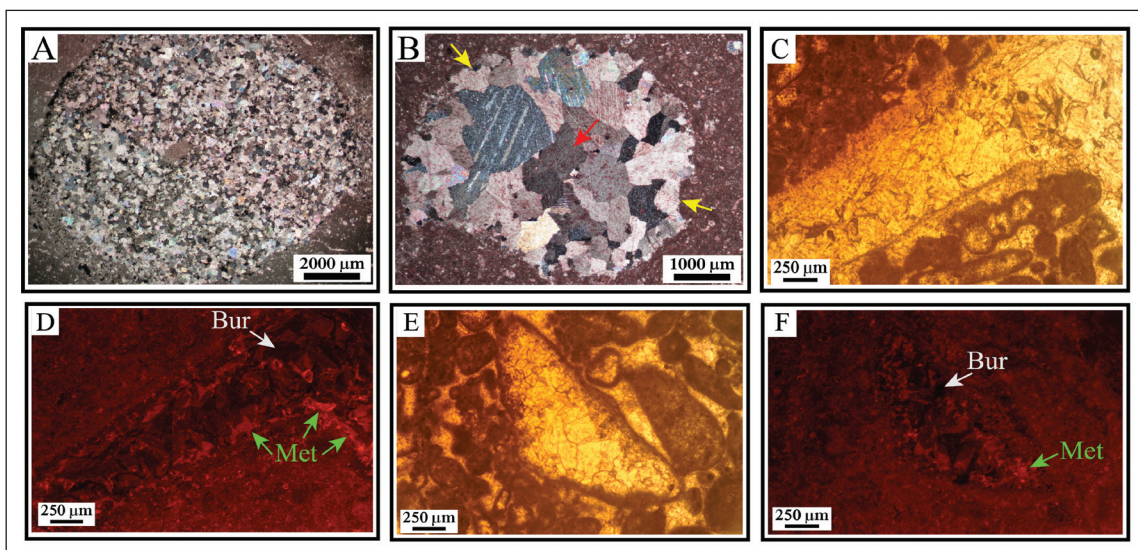
چ) تخلخل حفره‌ای (Vuggy porosity): این تخلخل جزو تخلخل‌های ثانویه می‌باشد که به صورت حفراتی هم‌بعد، نامنظم و بزرگ (با قطر بیش از ۱/۶ میلی‌متر) دانه‌ها و یا مرزهای سیمان‌ها را قطع می‌کنند (Teillet et al., 2019). به نظر می‌رسد که وجود سیالات تحت اشباع از کربنات کلسیم موجب انحلال بیشتر و تبدیل تخلخل‌های قالبی و بین دانه‌ای به تخلخل حفره‌ای شده است (Flügel, 2010). این تخلخل در نمونه‌های سازند تله‌زنگ احتمالاً بر اثر انحلال بیشتر حفرات بین دانه‌ای و بزرگ‌تر شدن این حفرات حاصل شده است. این نوع تخلخل در بیشتر موارد توسط سیمان

در محیط‌های دیاژنزی جوی به سمت محیط‌های تدفینی کم‌ژرفا باشد. این نوع سیمان در توالی کربناته پالئوسن پسین جنوب تونس نیز در محیط‌های دیاژنزی جوی تشخیص و شناسایی شده‌است (Messadi et al., 2016).

را پر کرده است (شکل B-۷ تا F). در تصاویر کاتدولومینسانس مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه، از حاشیه به طرف مرکز شاهد زون‌های نارنجی، قهوه‌ای تیره و تیره هستیم (شکل C-۷، D، E و F). این نوع زون‌بندی می‌تواند گویای تشکیل این سیمان



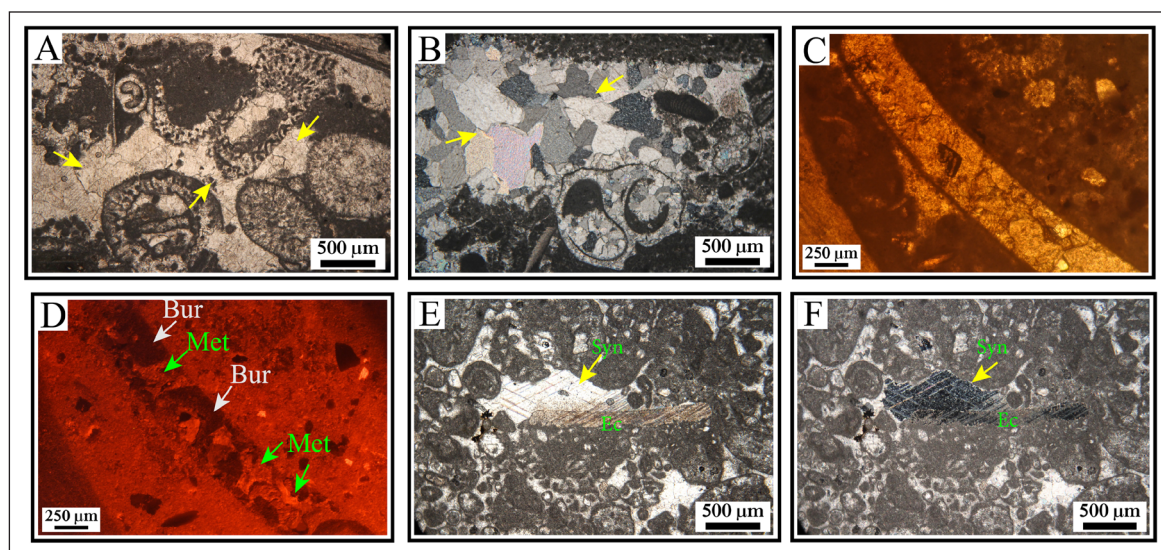
شکل ۶- A) تصویر میکروسکوپ الکترونی از ریز تخلخل‌ها که بین زمینه میکرایتی هستند. B) تصویر میکروسکوپ الکترونی از تخلخل بین بلوری و دولومیت‌های شناور در زمینه گل آهکی. C) تخلخل بین بلوری در بین بلورهای دولومیکرواسپارایت. D) تخلخل قالبی در جلبک سبز که تحت تأثیر انحلال توسط آب‌های جوی ایجاد شده است. E) تخلخل حفره‌ای که به صورت حفره‌ای تقریباً بزرگ دیده می‌شود. F) تخلخل کانالی که در طول شکستگی‌ها ایجاد شده است.



شکل ۷- A) سیمان دانه‌ای هم‌بعد که یک حفره نسبتاً بزرگ را پر کرده است. B) سیمان دروزی که رشد افزایشی بلورها از حواشی (فلش زرد رنگ) به سمت مرکز بلور (فلش قرمز رنگ) به خوبی مشاهده می‌شود. C) سیمان دروزی پرکننده داخل یک آلوکم. D) تصویر کاتدولومینسانس مربوط به تصویر C که لومینسانس نارنجی در حواشی (فلش سبز رنگ) بیانگر شرایط متاوریکی و لومینسانس تیره در مرکز (فلش سفید رنگ) بیانگر شرایط تدفینی است. E) سیمان دروزی داخل یک آلوکم. F) تصویر کاتدولومینسانس مربوط به تصویر E که لومینسانس نارنجی بیانگر شرایط متاوریکی (فلش سبز رنگ) و لومینسانس تیره (فلش سفید رنگ) بیانگر شرایط تدفینی است.

ت) سیمان رو رشدی هم‌محور (Syntaxial overgrowth cement): این سیمان معمولاً در اطراف یک دانه منفرد (مانند ذرات خارپوست) با ترکیب کانی‌شناسی کلسیت پرمینیم تشکیل می‌شود. سیمان رو رشدی معمولاً با دانه‌های میزبان خود، پیوستگی نوری یکسانی را نشان می‌دهد (Aghajani and Aleali, 2019). سیمان‌های هم‌محور که دارای منشأ دریایی هستند ظاهری ابری و کدر دارند، در صورتی که در محیط‌های تدفینی معمولاً شفاف هستند (Adams and Diamond, 2017). در نمونه‌های مورد مطالعه، این سیمان به صورت شفاف و روشن بر روی ذرات خارپوست مشاهده می‌شود (شکل E-8 و F)، که احتمالاً بیانگر تشکیل آنها در محیط‌های تدفینی کم‌ژرفا باشد.

پ) سیمان کلسیت بلوکی (Blocky calcite cement): این سیمان از بلورهای کلسیت دانه متوسط تا درشت با مرزهای بلوی مشخص تشکیل شده است. ترکیب کانی‌شناسی بلورهای سیمان، احتمالاً کلسیت پرمینیم یا کلسیت کم‌مینیم می‌باشد (Flügel, 2010). این سیمان به ندرت می‌تواند در ریف‌ها و هاردگراندهای دریایی مشاهده شود ولی به طور معمول خاص محیط‌های دیاژنزی جوی و تدفینی است (Javanbakht et al., 2018). در نمونه‌های مطالعه شده، این سیمان توسط بلورهای درشت، فضای باز بین دانه‌ها و حفرات موجود در سازند تله‌زنگ را پر کرده است (شکل A-8 تا D). در تصاویر میکروسکوپ کاتدولومینسانس، این سیمان دارای لومینسانس نارنجی تا قهوه‌ای تیره است (شکل D-8)، که می‌تواند گویای رشد آن در محیط‌های دیاژنزی جوی تا تدفینی کم‌ژرفا باشد.



شکل ۵- A) سیمان بلوکی در بین جلبک‌های سبز که تخلخل‌های بین دانه‌ای را پر کرده است. B) سیمان بلوکی پرکننده حفرات که اندازه‌ای نسبتاً بزرگ دارد. C) سیمان بلوکی پرکننده یک آلومک. D) تصویر کاتدولومینسانس مربوط به تصویر C. لومینسانس نارنجی شرایط متاوریک (فلش سبز رنگ) و لومینسانس تیره شرایط تدفینی (فلش سفید رنگ) را نشان می‌دهد. E) سیمان هم‌محور بر روی خارپوست در نور PPL. F) سیمان هم‌محور بر روی خارپوست در نور XPL.

نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار و به صورت بلورهای موزاییکی یک اندازه هستند که اندازه‌ای بین ۷۰ تا ۱۲۰ میکرون دارند. این دولومیت‌ها اغلب دارای هسته مه‌آلود (Cloudy core) و حاشیه شفاف (Clear rim) هستند (شکل ۹-C). سیمان‌های دولومیتی پرکننده حفرات: شامل بلورهای درشت با اندازه‌ای بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون هستند که به صورت سیمان‌های حفره پرکن، شکستگی‌ها را پر نموده است (شکل ۹-D). از ویژگی‌های این نوع دولومیت می‌توان به رنگ سفید شیری آنها، عدم وجود اینکلوزیون و در بعضی موارد داشتن گوشه‌های رومبوندی اشاره کرد.

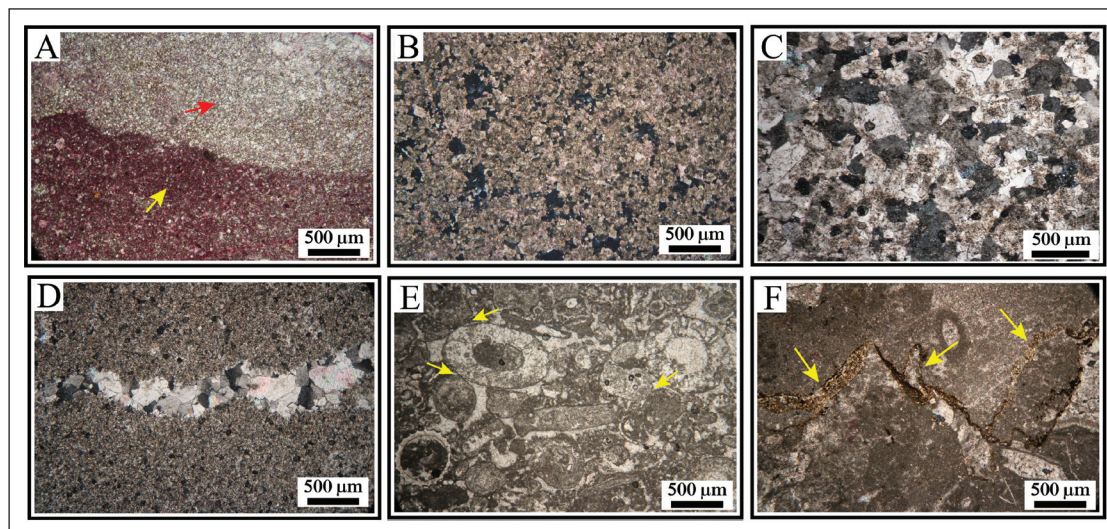
۵-۹. فشردگی (Compaction): هر نوع فرایندی که باعث کاهش حجم کلی سنگ شود، فشردگی نامیده می‌شود که شامل فشردگی فیزیکی و فشردگی شیمیایی می‌شود (Flügel, 2010). این فرایند در سازند تله‌زنگ به دو صورت فشردگی فیزیکی و شیمیایی مشاهده می‌شود که با توجه به گل‌پشتیان بودن بیشتر رخساره‌ها، اثر فشردگی فیزیکی چندان آشکار نیست. فشردگی فیزیکی تنها در رخساره‌های دانه‌پشتیان دیده می‌شود که با توجه به میزان فشردگی، تنها باعث متراکم‌تر شدن آرایش ذرات و ایجاد تماس‌های نقطه‌ای گردیده است (شکل ۹-E). فشردگی شیمیایی با تشکیل استیلولیت و رگچه‌های انحلالی در سازند تله‌زنگ مشخص می‌شود. وجود استیلولیت در سنگ‌های کربناته بیانگر محیط‌های دیاژنزی تدفینی است (Granier et al., 2016). در نمونه‌های مورد مطالعه، فشردگی شیمیایی و

۵-۷. نوشکلی (Neomorphism): نوعی تبلور مجدد است که در طی آن بلورهای ریزتر توسط موزاییک‌هایی از بلورهای درشت‌تر از همان کانی جانشین شده و باعث افزایش اندازه بلورها می‌شود. این فرایند همزمان با رسوب‌گذاری در محیط‌های دریایی و در نزدیک سطح آب-رسوب رخ می‌دهد (Flügel 2010). در مقاطع نازک مطالعه شده از سازند تله‌زنگ نوشکلی افزایشی با فراوانی کمی مشاهده می‌شود که در طی آن اندازه ذرات سیمان میکرباریتی بزرگ‌تر شده، ظاهر روشن‌تری را پیدا کرده و باعث تشکیل میکرواسپار شده است (شکل ۹-A).

۵-۸. دولومیتی‌شدن (Dolomitization): انواع دولومیت‌ها و فرایندهای دولومیتی‌شدن سازند تله‌زنگ توسط شلالوند و همکاران (۱۳۹۸ ب)، به طور کامل مورد بحث قرار گرفته است و در این مقاله در ارتباط با این فرایند دیاژنزی بحث نمی‌شود. البته به عنوان یکی از فرایندهای دیاژنزی چیره سازند تله‌زنگ در منطقه مورد مطالعه به اختصار به ویژگی‌های این فرایند اشاره می‌گردد. در برش مورد مطالعه از سازند تله‌زنگ دولومیت‌ها بخش قابل توجهی (۴۰ متر) از توالی این سازند را به خود اختصاص می‌دهند. این دولومیت‌ها به ۳ گروه مختلف تقسیم شده‌اند که عبارتند از: ۱- دولومیکرواسپاریت: بلورهای متراکم با اندازه‌ای بین ۱۶ تا ۷۰ میکرون هستند که به صورت رومبوندی‌های دولومیتی در بین ماتریکس گل‌آهکی شناورند. (شکل ۹-B). ۲- دولواسپاریت: این دولومیت‌ها متراکم بوده و با مرزهای مسطح

که سیالات ناشی از انحلال فشاری در آخرین مرحله تدفینی به وجود آمده‌است. در واقع انحلال فشاری منجر به افزایش تمرکز منیزیم و تحرک سیالات در این نقطه گردیده است (Flugel, 2010).

استیلولیت‌ها نیز به ندرت مشاهده گردیدند که در اکثر موارد توسط بلورهای دولومیت و یا ترکیبات آهن‌دار پر شده‌اند (شکل ۹-F). تمرکز بلورهای دولومیت در حواشی استیلولیت‌ها و درزه‌های انحلالی، هرچند به میزان کم، نشان‌دهنده این است



شکل ۹- A) نومورفیزم افزایشی به صورت تبدیل بلورهای میکرایت (فلش زرد رنگ) به میکرواسپارایت (فلش قرمز رنگ). B) دولومیکرواسپارایت. C) دولواسپارایت. D) سیمان دولومیتی پرکننده حفرات. E) فشردگی مکانیکی و تماس نقطه‌ای بین ذرات (فلش زرد رنگ). F) فشردگی شیمیایی به صورت وجود استیلولیت که اکسید آهن و کمی دولومیت در امتداد آن قرار گرفته است (فلش زرد رنگ).

۶- مطالعات زمین‌شیمی عنصری

مقدار کمی استرانسیم خواهد داشت (Asadi Mehmandosti et al., 2013). کاهش استرانسیم در نمونه‌های مورد مطالعه و به‌ویژه در بخش‌های بالایی توالی نسبت به مقادیر عهد حاضر می‌تواند به کاهش Sr در طی دیاژنز جوی مربوط دانست.

۶-۲. سدیم

میزان سدیم در سنگ آهک‌های سازند تله‌زنگ در برش باریکه بین ۳۵ تا ۱۰۶ پی‌پی‌ام (میانگین ۷۵ پی‌پی‌ام) است. تمرکز Na در سنگ آهک‌های آراگونیتی غیربیوتیک حاره‌ای عهد حاضر بین ۱۵۰۰ تا ۲۷۰۰ پی‌پی‌ام (میانگین ۲۵۰۰ پی‌پی‌ام) است، در صورتی که این مقدار در کلسیت غیر بیوتیک تقریباً ۲۷۰ پی‌پی‌ام می‌باشد (Rao and Adabi, 1992). تمرکز سدیم در سنگ‌های کربناته به درجه شوری، ژرفای آب، تفریق بیولوژیکی، اثرات جنبشی و کانی‌شناسی کربنات‌ها نسبت داده شده است. فرایندهای دیاژنتیکی به دلیل تفریق بیوشیمیایی یا تمرکز کم سدیم در آب‌های جوی، باعث کاهش این عنصر در سنگ‌های کربناته پس از دیاژنز می‌گردد (Adabi and Rao, 1991; Jamalian and Adabi, 2014). مقدار نسبتاً پایین سدیم در نمونه‌های مورد بررسی نسبت به معادل‌های عهد حاضر آنها نیز می‌تواند دلیل دیگری بر تأثیر فرایندهای دیاژنزی جوی باشد (Adabi and Asadi Mehmandosti, 2008; Adabi and Rao, 1991).

۶-۳. منگنز

مقدار منگنز در نمونه‌های آهکی سازند تله‌زنگ در برش باریکه بین ۱۱ تا ۶۳ پی‌پی‌ام (میانگین ۲۷ پی‌پی‌ام) در نوسان است. مقدار منگنز در نمونه‌های کربناته آراگونیتی دریا‌های گرم و کم‌ژرفای عهد حاضر حدود ۳۰ پی‌پی‌ام است (Milliman, 1974).

ترکیب عنصری و ایزوتوپی سنگ‌های رسوبی توسط عوامل گوناگونی همچون سنگ‌شناسی، محیط‌های دیاژنزی و همچنین سیالات پس از رسوب‌گذاری و ... کنترل می‌شود (Hood et al., 2018). در طی دیاژنز، کانی‌شناسی و ترکیب سنگ‌های کربناته پایدارتر شده و کانی‌های ناپایدار به فرم‌های پایدار تبدیل می‌شوند. به همین دلیل شناسایی دقیق فرایندها و محیط‌های دیاژنزی کربنات‌ها صرفاً بر اساس مطالعات پتروگرافی دقیق نخواهد بود (Javanbakht et al., 2018; Lan et al., 2020). بنابراین شناسایی صحیح ماهیت سیالات و فرایندهای دیاژنزی با استفاده از آنالیزهای زمین‌شیمیایی و تعیین عناصر اصلی و فرعی و مطالعات ایزوتوپی ضروری به نظر می‌رسد (Hoseinabadi et al., 2016). بر این اساس در این مطالعه از عناصر اصلی و فرعی موجود در نمونه‌های کربناته همراه با مطالعات سنگ‌نگاری برای تعیین نوع سیال و محیط دیاژنزی چیره سازند تله‌زنگ استفاده شده است. نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی کربنات‌های سازند تله‌زنگ در برش مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

۶-۱. استرانسیم

مقدار استرانسیم در سنگ آهک‌های سازند تله‌زنگ در برش باریکه بین ۲۷۲ تا ۱۰۹۸ پی‌پی‌ام (میانگین ۶۲۵ پی‌پی‌ام) در نوسان است. میزان Sr در نمونه‌های کل کربناته مناطق حاره‌ای عهد حاضر بین ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام است (Milliman, 1974). در حالی که این میزان در نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر محدوده کمتری داشته و بین ۱۶۴۲ تا ۵۰۰۷ (میانگین ۳۲۷۰) پی‌پی‌ام می‌باشد (Rao and Adabi, 1992; Rao and Amini, 1995). تمرکز استرانسیم در آب‌های جوی کم و ضریب توزیع آن کمتر از ۱ است، لذا کلسیت دیاژنتیکی

پایانگر سرعت پایین رسوب‌گذاری و ورود کم مواد تخریبی به حوضه است (آدابی، ۱۳۹۰). روند تغییرات دو عنصر آهن و منگنز در نمونه‌های مورد مطالعه، ارتباط مستقیمی دارد (شکل ۱۰)، که نشان‌دهنده تأثیر دیازنری جوی و یا شرایط نیمه‌احیایی بر روی نمونه‌ها می‌باشد.

۷- سیستم دیازنری سازند تله‌زنگ در برش باریکه

۷-۱. نسبت استرانسیم به منگنز

مقادیر Sr/Mn در کربنات‌های مطالعه شده، بین ۵/۱۳ تا ۴۷/۲۲ (میانگین ۲۷/۵) در نوسان است. در طی انحلال آراگونیت و کلسیت پرمینیزیم و تبدیل آنها به کلسیت کم‌مینیزیم، مقدار Sr کاهش و مقدار Mn افزایش پیدا می‌کند. در طی دیازنری جوی نیز مقدار Sr کاهش و مقدار Mn افزایش یافته که در نتیجه، نسب Sr/Mn کاهش می‌یابد. بنابراین نسبت Sr/Mn در برابر Mn شاخص مهمی جهت تخمین میزان انحلال سنگ‌آهک‌ها می‌باشد (Adabi and Rao, 1991). ترسیم نمودار تغییرات Sr/Mn در برابر Mn، یک روند کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۱۱) که بیانگر انحلال آنها توسط فرایندهای دیازنری جوی است (Rao, 1991).

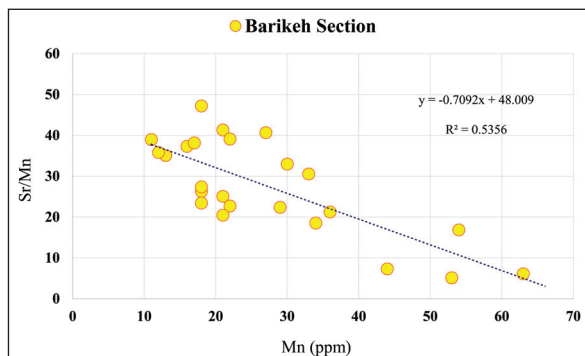
پایین بودن مقدار منگنز در کربنات‌ها به تبادل کمتر آب به سنگ (Water/rock interaction) نیز نسبت داده می‌شود (آدابی، ۱۳۹۰). مقادیر پایین منگنز در نمونه‌های مورد مطالعه به‌ویژه در نمونه‌های مربوط به بخش‌های پایین توالی احتمالاً به سبب بسته بودن سیستم دیازنری می‌باشد. در مواردی که مقدار منگنز در نمونه‌ها افزایش نسبی می‌یابد می‌توان به نقش سیالات جوی ناشی از ناپیوستگی فرسایشی رأس سازند تله‌زنگ اشاره نمود. همچنین تمامی نمونه‌های آهکی مورد بررسی دارای نسبت Mn/Sr بسیار پایینی هستند (میانگین ۰/۰۵) که گویای حفظ‌شدگی خوب ویژگی‌های زمین‌شیمیایی اولیه آنها است (Hua et al., 2013).

۶-۴. آهن

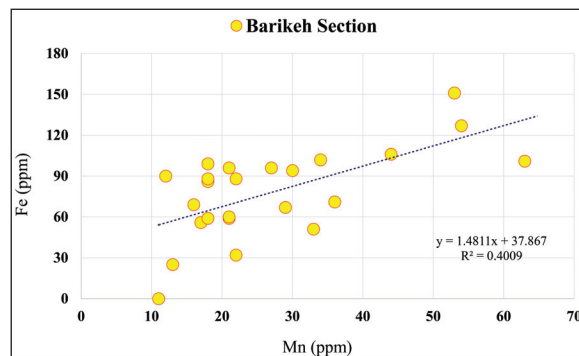
تمرکز آهن در نمونه‌های آهکی سازند تله‌زنگ در برش مورد مطالعه، بین ۰ تا ۱۵۱ پی‌پی‌ام (میانگین ۷۸ پی‌پی‌ام) در تغییر است. تمرکز آهن با افزایش ژرفای آب، افزایش ورود مواد آواری، افزایش شرایط جوی و شرایط احیایی و همچنین افزایش مواد غیرقابل حل در اسید، افزایش می‌یابد (Hoseinabadi et al., 2016). در مقابل، مقادیر پایین آهن و منگنز در کربنات‌ها

جدول ۱- تغییرات عناصر اصلی و فرعی و نسبت‌های آنها در نمونه‌های کربناته مورد بررسی از سازند تله‌زنگ در برش باریکه.

Sample No.	Ca (%)	Mg (%)	Sr (ppm)	Na (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Sr/Mn	Mn /Sr	1000*Sr/Ca (wt%)
B-54	37.44	0.27	850	51	18	86	47.22	0.02	2.27
B-60	38.05	0.25	631	54	34	102	18.55	0.05	1.65
B-78	40.35	0.11	1098	64	27	96	40.66	0.02	2.72
B-92	39.9	0.16	868	75	21	59	41.33	0.02	2.17
B-104	39.84	0.21	765	90	36	71	21.25	0.04	1.92
B-114	40.03	0.11	650	54	29	67	22.41	0.04	1.62
B-126	39.12	0.12	912	74	54	127	16.88	0.05	2.33
B-138	37.44	0.19	500	68	22	88	22.72	0.04	1.33
B-150	38.31	0.17	861	85	22	32	39.13	0.02	2.24
B-158	38.18	0.22	1009	84	33	51	30.57	0.03	2.64
B-168	37.5	0.65	322	35	44	106	7.31	0.13	0.85
B-180	40	0.12	991	56	30	94	33	0.03	2.47
B-190	32.78	3.12	386	106	63	101	6.12	0.16	1.17
B-196	34.91	2.58	272	78	53	151	5.13	0.19	0.78
B-204	40	0.16	473	97	18	88	26.27	0.03	1.18
B-212	37.57	0.27	597	90	16	69	37.31	0.02	1.58
B-224	38.29	0.25	649	88	17	56	38.17	0.02	1.69
B-236	40.05	0.14	527	72	21	60	25.09	0.03	1.31
B-248	39.14	0.22	456	82	13	25	35.07	0.02	1.16
B-262	39.3	0.15	429	80	11	0	39	0.02	1.09
B-264	36.43	0.31	422	93	18	59	23.44	0.04	1.15
B-267	36.5	0.3	430	95	21	96	20.47	0.04	1.17
B-274	38.73	0.14	430	59	12	90	35.83	0.02	1.11
B-282	39.43	0.13	493	64	18	99	27.38	0.03	1.25
Max	40.35	3.12	1098	106	63	151	47.22	0.19	4.51
Min	32.78	0.11	272	35	11	0	5.13	0.02	1.95
Average	38.30	0.43	625	74	27	78	27.51	0.05	3.19



شکل ۱۱- تغییرات Sr/Mn در برابر Mn در نمونه‌های آهکی که روندی منفی را نشان می‌دهد.



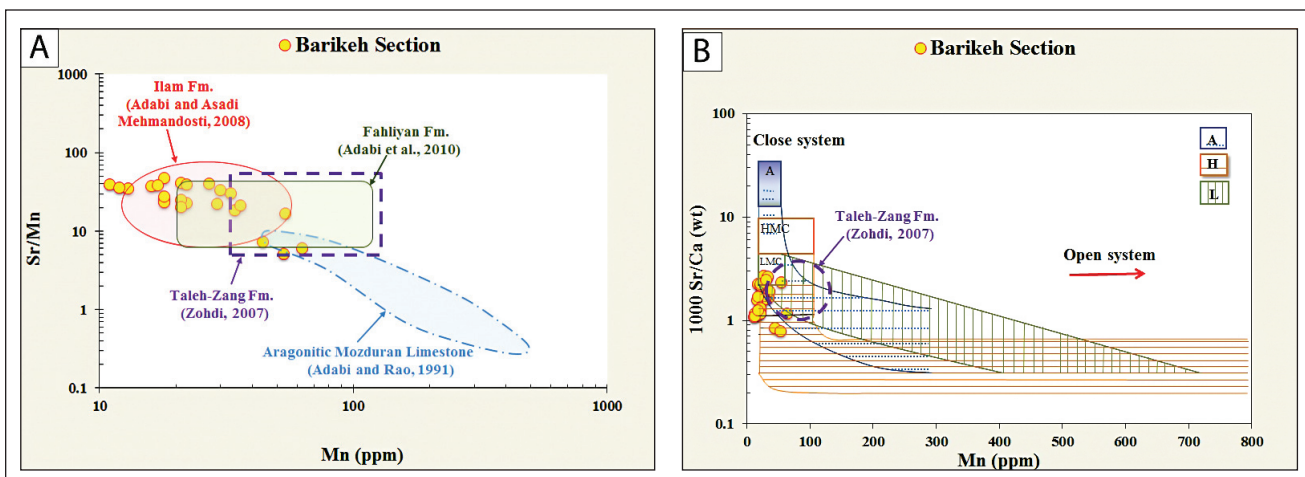
شکل ۱۰- ترسیم مقادیر Fe در برابر Mn در نمونه‌های آهکی که روندی مثبت و افزایشی دارد.

بسته مشخص نمود (Li et al., 2013). در سیستم دیاژنزی باز، با افزایش تبادل آب به سنگ (water/rock interaction) میزان Sr/Ca نسبت به ترکیبات اولیه کاهش می‌یابد. اما در سیستم‌های بسته و نیمه‌بسته که تبادل آب به سنگ کم می‌باشد، نسبت Sr/Ca فازهای دیاژنزی تغییرات محسوسی نسبت به ترکیبات اولیه نخواهند داشت (Asadi Mehmandosti et al., 2013). نمونه‌های آهکی مطالعه شده از سازند تله‌زنگ به دلیل مقادیر متوسط تا بالای Sr/Ca و نیز پایین بودن مقادیر منگنز، تحت تأثیر دیاژنزی جوی در محدوده سیستم دیاژنزی بسته قرار گرفته‌اند (شکل ۱۲-B). تغییرات نسبت Sr/Ca در برابر دو عنصر Fe و Mg بودن سیستم (Asadi Mehmandosti et al., 2013) نیز تأییدی بر بسته بودن سیستم دیاژنزی سازند تله‌زنگ به‌ویژه در بخش‌های پایینی توالی مورد مطالعه است (شکل ۱۳-A و B).

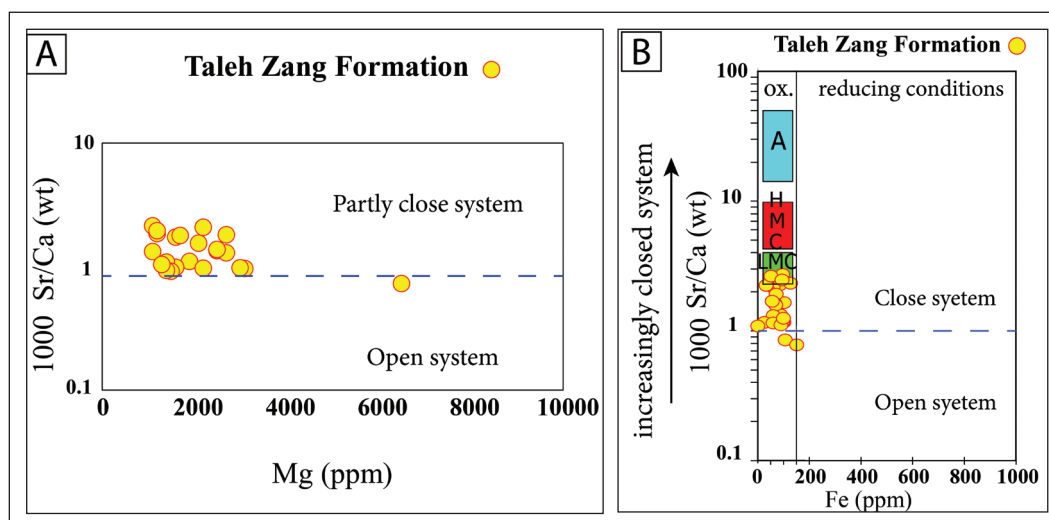
نمودار نسبت Sr/Mn در برابر Mn در نمونه‌های آهکی برش باریکه ترسیم و با محدوده سنگ‌های آهکی سازند مزدوران (مربوط به بخش کم‌ژرفای حوضه) به سن ژوراسیک بالایی (Adabi and Rao, 1991)، نمونه‌های آهکی سازند تله‌زنگ در برش نمونه و برش سطحی تاقدیس کیالو (زه‌دی، ۱۳۸۶)، سازند ایلام (Adabi and Asadi Mehmandosti, 2008) و سازند فهلیان (Adabi et al., 2010) مقایسه شده است (شکل ۱۲-A). تمامی نمونه‌ها در داخل محدوده‌های مربوط به سازند تله‌زنگ، سازند ایلام و سازند فهلیان قرار می‌گیرند. نمونه‌های آهکی مورد مطالعه، دارای مقادیر Sr/Mn بالایی هستند که می‌تواند دلیلی بر بسته بودن سیستم دیاژنزی (Closed system) و انحلال کم آنها باشد.

۲-۷. نسبت استرانسیم به کلسیم

بر اساس ترسیم Sr/Ca در برابر Mn می‌توان روند دیاژنزی را در سیستم‌های باز و



شکل ۱۲-A) نمودار تغییرات Sr/Mn در برابر Mn. نسبت بالای Sr/Mn در نمونه‌های سازند تله‌زنگ نسبت به سنگ‌آهک‌های مزدوران، بیانگر سیستم دیاژنزی بسته در نمونه‌های مورد مطالعه است. B) تغییرات $Sr/Ca \times 1000$ در برابر Mn که بیانگر سیستم دیاژنزی بسته برای نمونه‌های آهکی سازند تله‌زنگ در برش مورد مطالعه است.

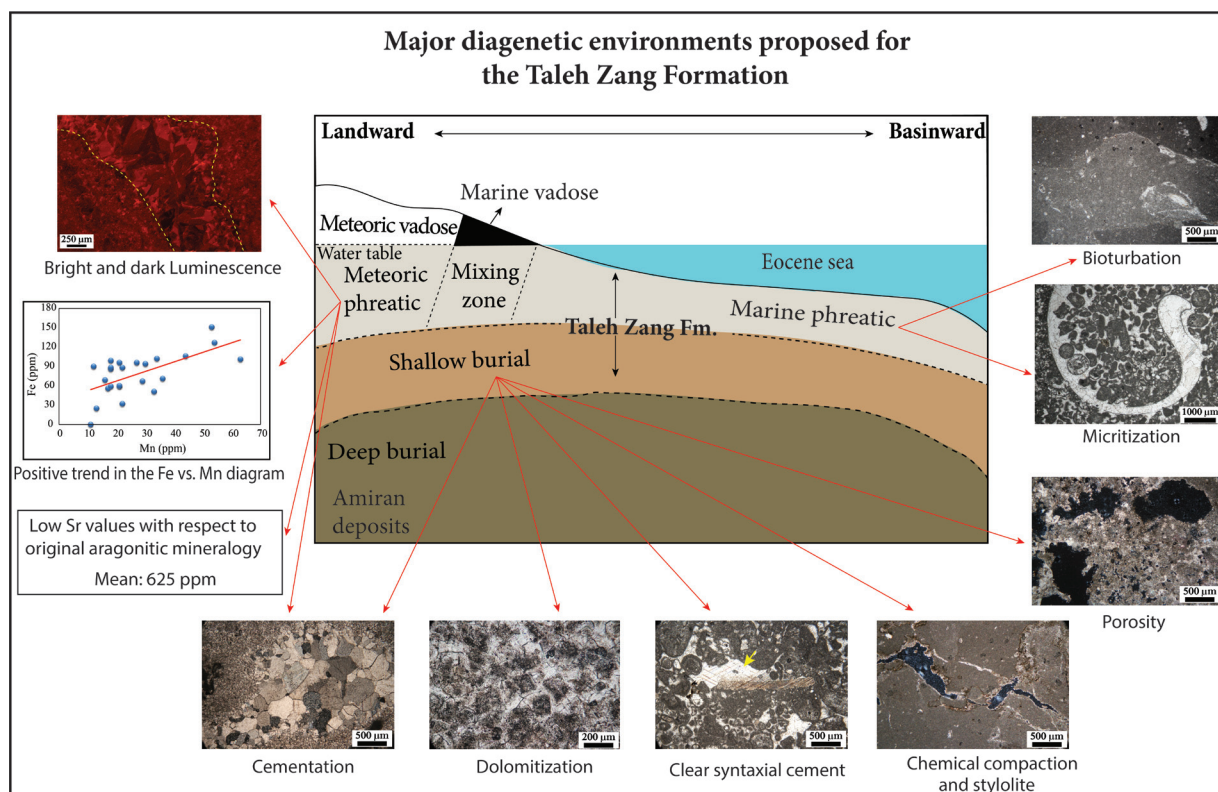


شکل ۱۳- (A) تغییرات $\text{Sr/Ca} \times 1000$ در برابر Mg و همچنین (B) در برابر Fe که بیانگر سیستم دیانژی بسته و البته تأیید کننده شکل ۱۲ برای نمونه‌های آهکی برش باریکه است.

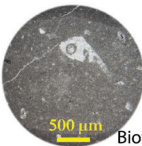
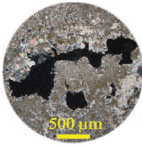
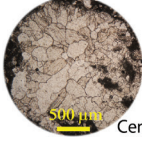
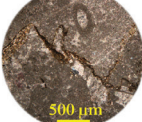
۸- بحث و توالی پاراژنزی

نیز در این مرحله به وقوع پیوسته است (Beigi et al., 2017). همان‌گونه که در بخش زمین‌شیمی نیز اشاره شد، تخلیه مقادیر استرانسیم (از ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام به حدود ۶۲۵ پی‌پی‌ام) و سدیم (از ۲۷۰۰ پی‌پی‌ام به ۷۵ پی‌پی‌ام) نیز به دلیل تأثیر آب‌های جوی بوده است. همچنین وجود لومینسانس نارنجی در مطالعات میکروسکوپ کاتدولومینسانس نشان از شرایط جوی موجود در توالی دارد (Javanbakht et al., 2018). از شواهد مؤثر دیگر بر تأیید دیانژی جوی می‌توان به ناپیوستگی بخش بالایی سازند تله‌زنگ در محل تماس با ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای قرمز رنگ سازند آواری کشکان اشاره نمود. پس از اینکه رسوبات و سنگ‌های کربناته در حین تدفین از محیط‌های دیانژی دریایی و جوی عبور کرده، در محیط دیانژی تدفینی و مرحله مزوژنز ابتدایی قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین شواهد این محیط دیانژی می‌توان به فشردگی بیشتر دانه‌ها، اشاره کرد که در ادامه و با افزایش ژرفای تدفین و در اثر انحلال فشاری، استیلولیت و درزه‌های انحلالی تشکیل شده است (Ishaq et al., 2018). جریان سیالات از مجاری استیلولیت‌ها و درزه‌های انحلالی منجر به تشکیل دولومیت هرچند به مقدار ناچیز، گردیده است و مقداری از تخلخل استیلولیتی را کم کرده است. نوشکلی افزایشی به صورت تبدیل میکرایت به میکرواسپار مشاهده می‌شود. تشکیل سیمان‌های رو رشدی هم‌محور با ظاهری شفاف و بدون ادخال، وجود دولومیت‌های دانه درشت، تخلخل‌های حفره‌ای و کانالی و همچنین فابریک ژئوپتال (بخش سیمانی) از ویژگی‌های دیگر این محیط در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. در مطالعات میکروسکوپ کاتدولومینسانس نیز وجود رنگ تیره در سیمان‌ها گویای محیط تدفینی برای نمونه‌های سازند تله‌زنگ است. نبود سیمان پوکی‌لوتاپییک، مقادیر پایین استیلولیت و درزه‌های انحلالی و همچنین نبود دولومیت‌های زین‌اسبی با خاموشی موجی، گویای ژرفای کم تدفین در توالی مورد مطالعه است. مدل دیانژیکی ساده‌ای از فرایندهای رخ داده در سازند تله‌زنگ در شکل ۱۴ و توالی پاراژنتیکی مربوط به این نهشته‌ها در شکل ۱۵ ارائه شده است.

با وجود اینکه هر یک از فرایندهای دیانژی به‌طور مجزا قابل تشخیص و مطالعه هستند، این فرایندها در طی تدفین رسوبات کربناته از نظر زمانی و مکانی هم‌پوشانی دارند و بر روی همدیگر تأثیر می‌گذارند (Seibel and James, 2017). از این رو در کنار مطالعات سنگ‌نگاری با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان، روش‌های تکمیلی دیگر از جمله به کارگیری آنالیزهای زمین‌شیمیایی و همچنین استفاده از میکروسکوپ کاتدولومینسانس و الکترونی درک کامل‌تری از روند دیانژی در کربنات‌ها را ارائه می‌دهد (Hood et al., 2018). در پژوهش حاضر نیز نتایج حاصل از مطالعات سنگ‌نگاری، میکروسکوپ کاتدولومینسانس و آزمایش‌های زمین‌شیمیایی بر روی نمونه‌های کربناته سازند تله‌زنگ گویای آن است که این فرایندها به‌طور کلی در دو مرحله اوژنز و مزوژنز رخ داده است. اوژنز اولین مرحله تأثیر فرایندهای دیانژی در سازند تله‌زنگ است که بلافاصله پس از ته‌نشست و پیش از مراحل تدفین، رسوبات را تحت تأثیر قرار داده است. از فرایندهای تأثیرگذار در این مرحله می‌توان به میکرایتی شدن، حفاری توسط موجودات حفار (بورینگ)، آشفستگی زیستی، فابریک ژئوپتال (بخش میکرایتی)، تخلخل‌های بین دانه‌ای، درون دانه‌ای و فنسترال اشاره کرد (Hoseinabadi et al., 2016; Javanbakht et al., 2018). در این مرحله رسوبات بیشتر تحت تأثیر شرایط آب‌های دریایی و به مقدار کمتر جوی قرار گرفته‌اند. در ادامه، به دلیل پایین آمدن سطح آب دریاها که با حضور رخساره‌های کم‌ژرفا و لاگونی و فراوانی جلبک‌های سبز و روزن‌بران کف‌زی با پوسته تیره مشخص می‌شود، توالی مورد مطالعه تحت تأثیر دیانژی جوی قرار گرفته است. اجرای تشکیل‌دهنده و ریزرخساره‌های سازند تله‌زنگ در بخش‌های میانی و بالایی توالی بیانگر محیط دریایی کم‌ژرفا است که با توجه به نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی و مطالعات میکروسکوپ کاتدولومینسانس شاهد تأثیر سیالات جوی همراه با سیالات دریایی در این بخش از توالی می‌باشیم. برخی سیمان‌های نسل دوم از جمله سیمان‌های دروزی، و دانه‌ای می‌توانسته‌اند در این مرحله از دیانژی نهشته شده باشند (Li et al., 2017). همچنین فرایند انحلال



شکل ۱۴- محیط‌های دیاژنزی اصلی کربنات‌های سازند تله‌زنگ در برش باریکه.

Time		Eogenesis		Mesogenesis		Thin section observations
Diagenetic Environment		Marine	Meteoric	Burial		
Diagenetic Process				Shallow	Deep	
Micritization		_____				 Bioturbation
Bioturbation		_____			-----	
Boring		_____			-----	
Geopetal Fabric		_____	-----	-----	-----	
Porosity	Fenestral	_____		_____		 Channel porosity
	Intergranular	_____		_____	-----	
	Intragranular	_____				
	Microporosity	_____				
	Moldic		-----	-----	-----	
	Vuggy		-----	-----	-----	
	Intercrystalline		-----	-----	-----	
	Channel			-----	-----	
Cementation	Equant granular		-----	-----	-----	 Cementation
	Drusy		-----	-----	-----	
	Blocky		-----	-----	-----	
	Syntaxial overgrowth			-----	-----	
Dolomitization			-----	-----	-----	 Stylolite
Neomorphism			-----	-----	-----	
Compaction	Physical		-----			
	Chemical			-----	-----	

شکل ۱۵- توالی پاراژنزی سازند تله‌زنگ در برش باریکه.

- Awais, M., Hanif, M., Khan, M. Y., Jan, I. U., and Ishaq, M., 2018- Relating petrophysical parameters to petrographic interpretations in carbonates of the Chorgali Formation, Potwar Plateau, Pakistan. *Carbonates and Evaporites*, 34(3), 581–595. <https://doi.org/10.1007/s13146-017-0414-x>.
- Beigi, M., Jafarian, A., Javanbakht, M., Wanas, H. A., Mattern, F., and Tabatabaei, A., 2017- Facies analysis, diagenesis and sequence stratigraphy of the carbonate-evaporite succession of the Upper Jurassic Surmeh Formation: Impacts on reservoir quality (Salman Oil Field, Persian Gulf, Iran). *Journal of African Earth Sciences*, 129, 179–194. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.01.005>.
- Braud, J., 1978- Geological map of Kermanshah, 1:250000 scale. Geological Survey of Iran.
- Dickson, J. A. D., 1965- A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205:578. <https://doi.org/10.1038/205587a0>.
- Falcon, N. L., 1961- Major earth-flexing in the Zagros Mountains of South-west Iran: *Quarterly Journal of Geological Society of London*, 117(4), 367-376. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.117.1.0367>.
- Flügel, E., 2010- *Microfacies Analysis of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*. Springer, Berlin, 976 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03796-2>.
- Granier, B., Clavel, B., and Charollais, J., 2016- Comments on “Estimating the impact of early diagenesis on isotope records in shallow-marine carbonates: A case study from the Urgonian platform in western Swiss Jura”. *Carnets de Géologie (Notebooks on Geology)*, 16(17), 417–429. <https://doi.org/10.4267/2042/61385>.
- Guo, C., Chen, D., Zhou, X., Ding, Y., Wei, W., and Zhang, G., 2018- Depositional facies and cyclic patterns in a subtidal-dominated ramp during the Early-Middle Ordovician in the western Tarim Basin (NW China). *Facies*, 64(3), 29 p. <https://doi.org/10.1007/s10347-018-0529-0>.
- Hood, A. V. S., Planavsky, N. J., Wallace, M. W., and Wang, X., 2018- The effects of diagenesis on geochemical paleoredox proxies in sedimentary carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 232, 265–287. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.04.022>.
- Hoseinabadi, M., Mahboubi, A., Shabestari, G. M., and Motamed, A., 2016- Depositional environment, diagenesis, and geochemistry of Devonian Bahram formation carbonates, Eastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(1), 70, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2056-4>.
- Hua, G., Yuansheng, D., Lian, Z., Jianghai, Y., Hu, H., Min, L., and Yuan, W., 2013- Trace and rare earth elemental geochemistry of carbonate succession in the Middle Gaoyuzhuang Formation, Pingquan Section: implications for Early Mesoproterozoic ocean redox conditions. *Journal of Palaeogeography*, 2: 209-221. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1261.2013.00027>.
- Irajian, A. A., Bazargani-Guilani, K., Mahari, R., Solgi, A., Moshrefizadeh, A., and Alnaghian, H., 2017- Rock types of the Kangan Formation and the effects of pore-filling minerals on reservoir quality in a gas field, Persian Gulf, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10 (272). 21 p. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3014-0>.
- Ishaq, M., Jan, I. U., Hanif, M., and Awais, M., 2018- Microfacies and diagenetic studies of the early Eocene Sakesar Limestone, Potwar Plateau, Pakistan: approach of reservoir evaluation using outcrop analogue. *Carbonates and Evaporites*, 34(3), 623–656. <https://doi.org/10.1007/s13146-018-0430-5>.
- Jamalian, M., and Adabi, M. H., 2014- Geochemistry, microfacies and diagenetic evidences for original aragonite mineralogy and open diagenetic system of Lower Cretaceous carbonates Fahliyan Formation (Kuh-e Siah area, Zagros Basin, South Iran). *Carbonates and Evaporites*, 30(1), 77–98. <https://doi.org/10.1007/s13146-014-0211-8>.
- Javanbakht, M., Wanas, H. A., Jafarian, A., Shahsavan, N., and Sahraeyan, M., 2018- Carbonate diagenesis in the Barremian-Aptian Tigran Formation (Kopet-Dagh Basin, NE Iran): Petrographic, geochemical and reservoir quality constraints. *Journal of African Earth Sciences*, 144, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.04.016>.
- Lan, X., Liu, H., Lü, X., Yang, Y., and Dong, L., 2020- Geological and geochemical implications of the complicated carbonate diagenetic process in the Lower Ordovician buried hills of the eastern Tazhong Low Rise, NW China, using Well M1 as an example. *Carbonates and Evaporites*, 35(14), 15 p. <https://doi.org/10.1007/s13146-019-00542-y>.
- Li, F., Yan, J., Algeo, T., and Wu, X., 2013- Paleooceanographic conditions following the end-Permian mass extinction recorded by giant ooids (Moyang, South China). *Global and Planetary Change*, 105, 102–120. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.09.009>.
- Li, Z., Goldstein, R. H., and Franseen, E. K., 2017- Meteoric calcite cementation: diagenetic response to relative fall in sea-level and effect on porosity and permeability, Las Negras area, southeastern Spain. *Sedimentary Geology*, 348, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.12.002>.
- Lucia, F. J., 2007- *Carbonate Reservoir Characterization*. 2nd edition, New York, Springer-Verlag, 336 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72742-2>.
- Messadi, A. M., Mardassi, B., Ouali, J. A., and Touir, J., 2016- Sedimentology, diagenesis, clay mineralogy and sequential analysis model of Upper Paleocene evaporite-carbonate ramp succession from Tamerza area (Gafsa Basin: Southern Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, 118, 205–230. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.02.020>.

- Milliman J. D., 1974- Marine Carbonates, Springer-verlag, New York, 375p.
- Morad, S., Ketzer, J. M., and De Ros, L. F., 2013- Linking Diagenesis to Sequence Stratigraphy: An Integrated Tool for Understanding and Predicting Reservoir Quality Distribution. International association of sedimentologists, special publications, 45, 1-36. <https://doi.org/10.1002/9781118485347.ch1>.
- Oluwajana, O. A., Ehinola, O. A., Ofiwe, C. U., Akhayere, E., and Egunjobi, K., 2020- Depositional environment and diagenesis of Late Cretaceous-Early Paleogene carbonates on the Benin flank, southwestern Nigeria. Journal of African Earth Sciences, 163, p. 103762. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103762>.
- Rao, C. P., and Adabi, M. H., 1992- Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia. Marine Geology, 103(1-3), 249–272. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(92\)90019-e](https://doi.org/10.1016/0025-3227(92)90019-e).
- Rao, C. P., and Amini, Z. Z., 1995- Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonates, western Tasmania, Australia. Carbonates and Evaporites, 10(1), 114–123. <https://doi.org/10.1007/bf03175247>.
- Rao, C. P., 1991- Geochemical differences between subtropical (Ordovician), cool temperate (Recent and Pleistocene) and subpolar (Permian) carbonates, tasmania, australia. Carbonates and Evaporites, 6(1), 83–106. <https://doi.org/10.1007/bf03175385>.
- Robinson, P., 1980- Determination of calcium, magnesium, manganese, strontium and iron in the carbonate fraction of limestones and dolomites. Chemical Geology, 28: 135-146. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(80\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(80)90041-8).
- Seibel, M. J., and James, N. P., 2017- Diagenesis of Miocene, incised valley-filling limestones; Provence, Southern France. Sedimentary Geology, 347, 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.09.006>.
- Tavakoli, V., and Jamalian, A., 2018- Microporosity evolution in Iranian reservoirs, Dalan and Dariyan formations, the central Persian Gulf. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 52, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2018.01.028>.
- Teillet, T., Fournier, F., Gisquet, F., Montaggioni, L. F., Borgomano, J., Villeneuve, Q., and Hong, F., 2019- Diagenetic history and porosity evolution of an Early Miocene carbonate buildup (Upper Burman Limestone), Yadana gas field, offshore Myanmar. Marine and Petroleum Geology, 109, 589–606. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.06.044>.
- Tucker, M.E., 2003- Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks, Third edition, Blackwell, Oxford, 260 p.

Original Research Paper

Geochemistry and the diagenetic sequence of the Taleh Zang Formation in southwest of Kermanshah

Mohammad Shalalvand¹, Mohammad Hossein Adabi^{2*} and Afshin Zohdi³

¹M.Sc, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2020 May 05

Accepted: 2020 August 10

Available online: 2022 March 21

Keywords:

Geochemistry

Diagenesis

Taleh Zang Formation

Shallow burial

Kermanshah

ABSTRACT

In this study, the Late Paleocene Taleh Zang Formation in the southwest of Kermanshah has been investigated for elemental geochemistry and effective diagenetic processes during burial. The thickness of the studied section is 282 meters that mainly composed of shallow marine limestones with interbedded of marl and dolomite. The main diagenetic processes affecting the Taleh Zang Formation include micritization, various types of porosity, cementation, dolomitization and compaction. Due to the texture and the abundance of unstable skeletal particles (green algae and bivalve), porosity and cementation are more common among the identified processes. Microscopic and geochemical studies have shown that these processes have taken place in eogenesis and early mesogenesis stages in marine, meteoric and shallow burial environments. Evidences indicate that the carbonates of the Taleh Zang Formation did not tolerate deep burial after the deposition during diagenesis. Fluids that affected the lower parts of the formation during burial were mainly marine. Moreover, to the top of the sequence in addition to seawater less meteoric fluids have affected the marine carbonates of the Taleh Zang Formation during diagenesis. The high amounts of Sr/Mn (mean 27.51) and Sr/Ca (mean 1.61) and also low Mn (mean 27 ppm) and Fe (mean 78 ppm) values indicate close diagenetic system with low water/rock interaction for the carbonate samples of the Taleh Zang Formation. These values are relatively increased in the upper parts of the sequence. The reason for this increase can be due to the effect of meteoric fluids along of the large-scale erosion discontinuity, which is located at the top of the Taleh Zang Formation and below the red conglomerates and sandstones of the Kashkan Formation.

* Corresponding author: Mohammad Hossein Adabi, E-mail: m-adabi@sbu.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2020.230000.1790

 dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.1.1.1

