

تاریخچه دیاژنز سازند مزدوران و ارتباط دولومیتی شدن با سکانس‌های رسوبی در دشت گنبد، غرب کپه‌داغ

سیده زهرا پورحیدر^۱، محمد حسین محمودی قرائی^{۲*}، اسدالله محبوبی^۳، سید رضا موسوی حرمی^۳

۱- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*پست الکترونیک: mhmgharaie@ferdowsi.um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۷

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۱

چکیده

سازند کربناته مزدوران در برش سطح‌الارضی چشمه‌خان در غرب حوضه کپه‌داغ در شمال غرب شهرستان جاجرم، متشکل از دولومیت در بخش‌های قاعده‌ای و بالایی و سنگ آهک‌های نازک تا ضخیم لایه در بخش‌های میانی برش است. این سازند در چاه قزل‌تپه ۲ از لایه‌های متناوب سنگ آهک و شیل تشکیل شده است. فرآیندهای سیمانی شدن، میکریتی شدن، نمورفسیم، انحلال، فشرده‌گی، دولومیتی شدن، ددولومیتی شدن، ایجاد درزه و شکستگی، هماتی شدن، پیریتی شدن و سیلیسی شدن این رسوبات را تحت تأثیر قرار داده‌اند. دولومیتی شدن، گسترده‌ترین فرآیند دیاژنزی در این سازند به شمار می‌رود. انواع سیمان کربناته شامل سیمان‌های هم‌ضخامت به همراه سیمان‌های هم‌محورحاشیه‌ای، بلوکی، دروزی، شعاعی در نمونه‌های گرینستونی قابل مشاهده هستند. دولومیت‌های سازند مزدوران بر اساس فابریک به چهار گروه بسیار ریز بلور، ریز بلور، متوسط بلور و درشت بلور تقسیم می‌شوند که به جز مورد اول، بقیه ثانویه هستند. این فرآیندها در سه محیط دیاژنزی دریایی، متئوریک و دفنی صورت گرفته‌اند. نتایج آنالیز عنصری سنگ‌های مورد مطالعه نشان دهنده تأثیر فرآیندهای محیط دیاژنز به خصوص متئوریک (افزایش مقدار عناصر آهن و منگنز و همبستگی مثبت‌شان با یکدیگر و کاهش چشمگیر مقادیر استرانسیم) در یک سیستم دیاژنتیکی نیمه بسته تا نیمه باز بوده و به احتمال زیاد کانی‌شناسی اولیه سازند مزدوران از نوع کلسیت (رابطه بین نسبت استرانسیم به کلسیم و منگنز و دامنه تغییرات گسترده مقادیر منگنز) بوده است. دولومیت‌های نوع اول در بیشتر موارد در انتهای سکانس‌های کم‌عمق شونده رو به بالا دیده می‌شوند و مانند فرآیند ددولومیتی شدن نشانه افت سطح آب دریا هستند.

واژه‌های کلیدی: کپه‌داغ؛ سازند مزدوران؛ روستای چشمه‌خان؛ چاه قزل‌تپه ۲؛ دیاژنز، ژئوشیمی.

مقدمه

دریا و فعالیت‌های تکتونیکی است (افشارحرب، ۱۳۷۳). در این مطالعه، آخرین واحد سنگ‌چینه‌ای کربناته ژوراسیک بالایی در حوضه رسوبی کپه‌داغ (سازند مزدوران) در نواحی دشت گنبد تا غرب پارک جنگلی گلستان (سلامتی و همکاران، ۱۳۸۰) مورد بررسی قرار

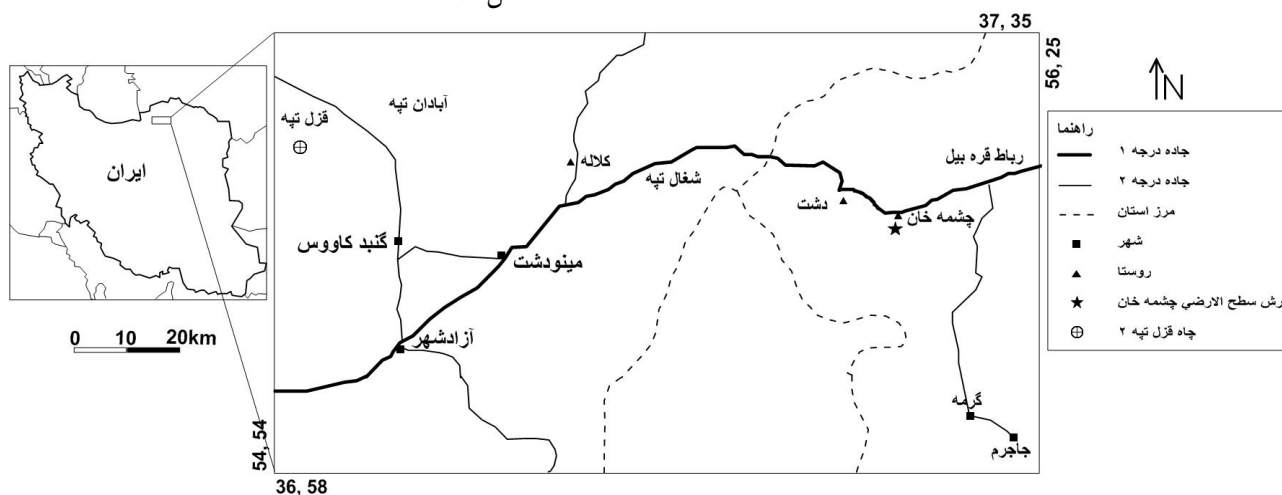
حوضه رسوبی کپه‌داغ در شمال شرقی ایران از حوضه‌های با پتانسیل هیدروکربنی است که از دوره تریاس و در طی کوه‌زایی سیمیرین پیشین شکل گرفته است. رسوبات این حوضه از ژوراسیک تا میوسن به پنج توالی پیش‌رونده و پس‌رونده تقسیم شده است که نتیجه تغییرات سطح آب

به تشکیل پنج سکانس رسوبی رده سوم در برش چشمه خان انجامیده است (پورحیدر و همکاران، ۱۳۹۳). لذا هدف این مطالعه، بررسی دقیق تاریخچه دیاژنز سازند مزدوران در غرب حوضه رسوبی کپه داغ و تفسیر ارتباط دولومیتی شدن با مطالعه چینه‌نگاری سکانسی است.

در ارتباط با اهمیت مطالعات ژئوشیمیایی می‌توان گفت از مهمترین کاربردهای این مطالعات در سنگ‌های کربناته، تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه، محیط رسوبی و شرایط تشکیل رسوبات، دمای قدیمه، میزان دگرسانی، تفکیک محیط‌های مختلف دیاژنزی و تعیین روندهای دیاژنتیکی می‌باشد (Adabi & Asadi, 2008). بنابراین استفاده از نتایج مربوط به بررسی ژئوشیمیایی می‌تواند در درک بهتر دیاژنز رسوبات مؤثر باشد.

روش مطالعه

در این مطالعه از نمونه‌های برش سطحی واقع در جنوب روستای چشمه خان و داده‌های چاه قزل تپه ۲ استفاده شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (برگرفته از google map)

کلسیت از دولومیت توسط محلول آلزاین قرمز به روش Dickson (1965) انجام شده است. برای طبقه‌بندی دولومیت‌ها از روش Sibley & Gregg (1987) و Warren (2000)، برای نام‌گذاری سنگ آهک‌ها از روش

گرفته است. سازند مزدوران در برش الگو بیشتر از سنگ آهک گلی حاوی گرهک‌های چرت، و لایه‌های مارن و شیل تشکیل شده که با یک مرز مشخص بر روی شیل‌های سازند کشف‌رود قرار گرفته است. ماسه‌سنگ‌های انتهایی سازند مزدوران به طور تدریجی به کنگلومرای قرمز رنگ سازند شورجیه تبدیل شده‌اند (افشارحرب، ۱۳۷۳).

تاکنون مطالعات زیادی بر روی این سازند در شرق حوضه کپه‌داغ انجام شده است (Kalantari, 1969؛ موسوی حرمی، ۱۳۶۸؛ Adabi & Rao, 1991؛ Lasemi, 1995؛ نجفی و همکاران، ۱۳۷۸؛ آقایی و همکاران، ۱۳۸۲؛ آل‌طه و همکاران، ۱۳۸۳؛ Mahboubi et al., 2010)، اما در غرب حوضه مطالعات کمتری تنها توسط شرکت‌های نفتی انجام شده است. از طرف دیگر، ارتباط بین تغییرات سطح آب دریا و فرآیندهای دیاژنزی می‌تواند به مدل‌سازی الگوی غالب دیاژنز در این سازند بی‌انجامد که خود از موضوعات مهم و کاربردی در صنعت نفت است. بررسی تغییرات نسبی سطح آب دریا در رسوبات سازند مزدوران

تعداد ۱۳۰ نمونه سنگ آهک و دولومیت و ۸ نمونه ماسه‌سنگ از برش چشمه خان به ضخامت ۲۳۶ متر و ۱۰۳ نمونه از خرده‌های حفاری چاه قزل تپه ۲ بررسی شده‌اند. رنگ آمیزی مقاطع نازک میکروسکوپی به منظور تفکیک

Shimatzu AA-670/670G در گروه شیمی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مورد آزمایش قرار گرفتند.

موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

برش سطحی چشمه‌خان در شمال غربی جاجرم و جنوب شرقی روستای دشت قرار در بخش غربی کپه‌داغ داشته (شکل ۱) و در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط قره‌بیل (سلامتی و همکاران، ۱۳۸۰) قابل مشاهده است. در این ناحیه، سازند مزدوران با موقعیت جغرافیایی $37^{\circ}57'15''$ شرقی و $54^{\circ}58'47''$ طول شرقی و $37^{\circ}23'53''$ عرض شمالی در حدود ۲۲ کیلومتری شمال غرب شهر گنبد کاووس و ۲۵۰ متری جنوب غرب چاه قزل‌تپه ۱ (شکل ۱) قرار دارد.

Dunham (1962)، برای نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها از روش Pettijohn *et al.* (1987) و برای بررسی چینه‌نگاری سکناسی از منحنی تغییرات جهانی سطح آب دریاها (Haq *et al.* 1987) استفاده شده است. به منظور مشاهده بهتر سطوح بلوری و مرز آن‌ها، اندازه‌گیری دقیق قطر بلورها، آنالیز نقطه‌ای عنصری (EDX) و مشاهده ریزتخلخل‌ها، تعداد ۴ نمونه دولومیت و ۲ نمونه پیریت از نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی مدل LEO 1450 VP در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد مورد بررسی قرار گرفت. به منظور مطالعه ژئوشیمی نمونه‌های سازند مزدوران در برش چشمه‌خان، ۲۰ نمونه از این سازند (۱۰ نمونه میکریت و ۱۰ نمونه دولومیت) انتخاب شده و جهت تعیین عناصر اصلی منیزیم و کلسیم بر حسب درصد و عناصر فرعی آهن، منگنز و استرانسیم بر حسب پی‌پی‌ام با دستگاه جذب اتمی مدل



شکل ۲: موقعیت چینه‌شناسی سازند مزدوران در برش چشمه‌خان و ارتباط آن با سازند چمن‌بید در پایین و سازند شورجه در بالا (جهت دید به سمت شمال غرب) و نمای نزدیکی از لایه‌های تشکیل‌دهنده هر سازند.

و دولومیت، دولومیت زرد رنگ متخلخل و لایه‌های نازک باندستون استروماتولیتی ادامه می‌یابد و در نهایت به دولومیت‌های نازک لایه کرمی رنگ با تخلخل فراوان ختم می‌شود. سازند مزدوران در چاه قزل‌تپه ۲ از

ضحامت سازند مزدوران در برش چشمه‌خان ۲۳۶ متر است. این سازند در ابتدا با چندین متر لایه‌های ماسه‌سنگی شروع می‌شود که بر روی رسوبات مارنی سازند چمن‌بید قرار گرفته و سپس توسط لایه‌های ضخیم تا نازک سنگ آهک

حوضه رسوبی - ساختاری کپه‌داغ محسوب شده و مرز احتمالی دو پهنه کپه‌داغ و البرز شرقی در حوالی شهر گرگان قرار دارد.

فرآیندهای دیاژنزی

توالی کربناته سازند مزدوران در برش مورد مطالعه از چهار کمر بند رخساره‌ای (به ترتیب از سمت دریا به ساحل شامل دریای باز، سد، لاگون و پهنه جزرومدی) متشکل از پانزده رخساره کربناته و سه رخساره آواری (جدول ۱) تشکیل شده است (پورحیدر، ۱۳۹۱). مهمترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر این رسوبات به شرح زیر است:

سنگ آهک و شیل به ضخامت ۲۷۴ متر (از عمق ۱۸۰۰۰ تا ۱۸۹۰۰ فوت) تشکیل شده است. سازند مزدوران در این چاه در زیر لایه‌های سازند شوربچه و بر روی شیل‌های سازند شمشک قرار دارد (Yassini, 1970) که بر اساس خصوصیات چینه‌سنگی شامل سنگ آهک و شیل، سنگ آهک دولومیتی و دولومیت و سنگ آهک با میان لایه‌های ماسه‌سنگی است. آقانباتی (۱۳۸۳) معتقد است مرز شرقی کپه‌داغ از شرق دریای خزر آغاز شده و دشت گرگان از نواحی فروافتاده کپه‌داغ است و در جایی دیگر، پهنه گرگان - رشت را که از جنوب گرگان شروع می‌شود بخشی از پهنه البرز می‌داند. از آن جا که چاه قزل‌تپه ۲ در شمال و شمال غربی گرگان و گنبد قرار دارد لذا جزیی از

جدول ۱: رخساره‌های کربناته و آواری سازند مزدوران در برش مورد مطالعه

آواری	کربناته				رخساره‌های سنگی
	جزر و مدی	لاگون	سد	دریای باز	محیط رسوب‌گذاری
(E1) شیل سیلتی (E2) کوارتزآرنایت (E3) ساب لیت‌آرنایت	(D1) باندستون استروماتولیتی (D2) دولومیت ریز بلور اولیه (D3) مادستون	(C1) مادستون حاوی بیوکست (C2) پکستون/وکستون پلوئیدی (C3) پکستون/وکستون بیوکستی (C4) وکستون حاوی داسی کلاسه	(B1) گرینستون آئیدی (B2) گرینستون اینتراکستی حاوی پلوئید (B3) گرینستون پلوئیدی اینتراکستی، حاوی بایوکست (B4) گرینستون/پکستون پلوئیدی	(A1) پکستون کالیپونل دار (A2) مادستون/وکستون کلسی-سفردار (A3) وکستون/مادستون بیوکستی (A4) وکستون اینتراکستی حاوی پلوئید	رخساره‌ها

بین اجزای اسکلتی، روزن‌داران و جلبک‌ها نسبت به سایرین، بیشتر در معرض این فرآیند قرار گرفته‌اند. بازوپایان و خارپوستان از این فرآیند مصون مانده‌اند.

سیمانی شدن

انواع مختلف سیمان در نمونه‌های مورد مطالعه به شرح زیر است:

سیمان هم‌ضخامت

این سیمان به صورت بلورهای سوزنی عمود بر سطح ذرات تشکیل می‌شود. نمونه‌های با سیمان هم‌ضخامت اولیه

میکریتی شدن

در بیشتر نمونه‌ها به ویژه در رخساره‌های بخش‌های کم‌عمق و کم‌انرژی محیط لاگونی، میکریتی شدن به خوبی قابل تشخیص بوده و به صورت پوششی اطراف دانه‌ها را احاطه کرده است. این فرآیند باعث از بین رفتن ساختمان داخلی بسیاری از دانه‌ها شده به طوری که یک شبح میکریتی از آن‌ها بر جای مانده است (شکل ۳، ج). اگرچه میکریتی شدن بر روی دانه‌های غیراسکلتی نظیر اینتراکست‌ها تأثیر کمتری نسبت به دانه‌های اسکلتی داشته است، ولی این فرآیند اووئیدها را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. از

نمونه‌های مورد مطالعه است. سیمان‌هایی که شکستگی‌های تکنونیک را پر کرده‌اند نیز بیشتر از این نوع هستند.

سیمان موزاییک هم‌بعد

در سازند مزدوران این سیمان به صورت موزاییک‌هایی از بلورهای ریز تا متوسط کلسیت و فاقد هرگونه جهت‌یابی ترجیحی در رخساره‌های گریستونی دیده می‌شود (شکل ۳الف). فراوانی آن‌ها نسبت به سایر انواع سیمان کمتر است و بیشتر در فضای بین دانه‌ها و به میزان کمتر، درون شکستگی‌ها را پر کرده است.

سیمان شعاعی

در سیمان شعاعی، بلورها از سطح رشد در جهت محور نوری خود و عمود بر سطح رشد می‌کنند. همان‌طور که در شکل ۳ث دیده می‌شود این سیمان درون یک پوسته فسیلی را پر کرده است. فرآیند میکریتی شدن در طی دیاژنز اولیه دریایی، باعث حفظ شکل اولیه دانه شده و سپس بلورهای باریک کلسیت اسپاری روی آن رشد کرده‌اند. تفاوت آن با سیمان هم‌ضخامت در این است که بلورها در سیمان شعاعی از یک نقطه شروع به رشد می‌کنند.

فشردگی

اثرات فشردگی مکانیکی (شکل ۳ج) در سازند مزدوران به دلیل گل‌پشتیان بودن اکثر رخساره‌ها چندان مشخص نیست؛ هرچند که پرشدگی حجره‌های فسیلی توسط سیمان کلسیتی نیز مانع از شکسته شدن فسیل‌ها در طی تدفین کم‌عمق شده است، ولی در بعضی موارد که پوسته‌های فسیلی در رخساره‌های گریستونی در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند، فشردگی مکانیکی به خمیدگی و شکستگی آن‌ها منجر شده است. در ادامه فشردگی مکانیکی، بسیاری از رسوبات در معرض فشردگی شیمیایی قرار می‌گیرند. در نمونه‌های مورد مطالعه، استیلولیت به صورت خطوط مضرّس و میکرواستیلولیت به صورت مرز مضرّس و یا انحنادار بین دو دانه مجاور بر اثر خوردگی شیمیایی ایجاد

مقاومت نسبتاً بیشتری را در مقابل تراکم نسبت به نمونه‌های فاقد این سیمان از خود نشان می‌دهند (Reuning *et al.*, 2002). در نمونه‌های مورد مطالعه، سیمان هم‌ضخامت در رخساره‌های محیط سدی به خصوص در رخساره گریستون اووئیدی و گریستون بیوکلاستی به خوبی گسترش پیدا کرده است و اولین نسل از سیمان‌های تشکیل شده در بین دانه‌ها و فضاهای خالی درون سنگ است (شکل ۳الف، پ، ت). در قسمت‌هایی که دانه‌ها در اثر فشردگی به یکدیگر چسبیده و در تماس هستند این نوع سیمان تشکیل نشده است.

سیمان دروزی

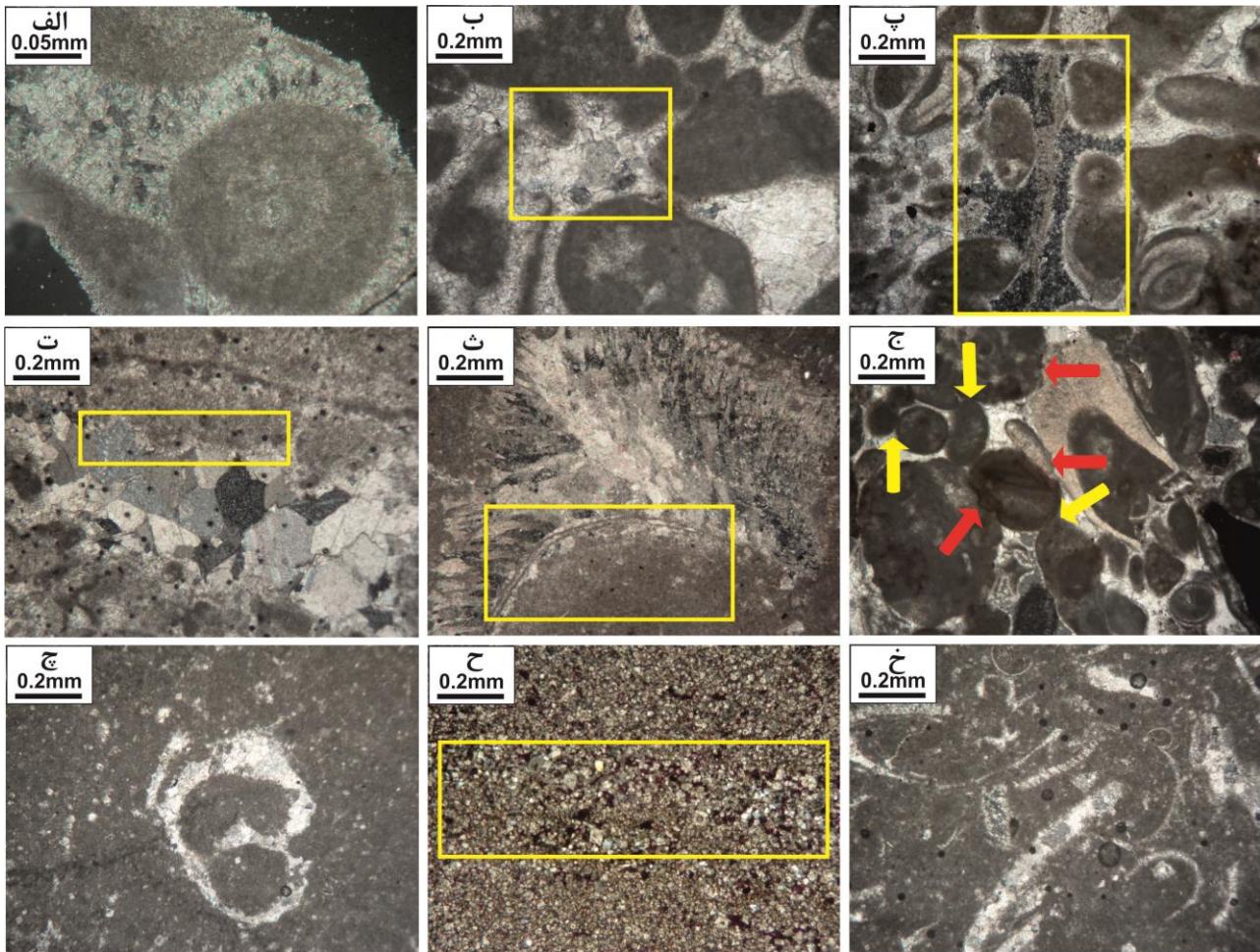
اندازه بلورها بزرگتر از ۱۰ میکرون بوده و به طرف مرکز حفره افزایش نشان می‌دهند. این سیمان به صورت پرکننده حفره‌های خالی بین دانه‌ای، درون دانه‌ای و شکستگی‌ها (شکل ۳ب) بر روی سیمان هم‌ضخامت اولیه تشکیل شده و نسبت به سایر سیمان‌ها فراوان‌تر است.

سیمان رورشدی هم‌محور

فراوانی این سیمان از دیگر انواع کمتر بوده و منحصراً در اطراف خرده‌های خارپوست در اندازه‌های مختلف تشکیل شده است (شکل ۳پ). سیمان رورشدی در مقایسه با محیط‌های دریایی نزدیک به سطح، وادوز دریایی و فریاتیکی متئوریک که غنی از میانبارا^۱ بوده و ظاهری غبارآلود دارند، دارای ظاهری تمیز و زلال می‌باشد (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۴).

سیمان بلوکی

این سیمان به صورت بلورهای کلسیت اسپاری درشت، با ظاهری شفاف و با مرزهای مشخص دیده می‌شود. در برخی از نمونه‌ها، فضای خالی بین ذرات را پر نموده و سیمان نسل اول را تشکیل داده است (شکل ۳ت). این سیمان بعد از سیمان دروزی، فراوان‌ترین نوع سیمان در



شکل ۳: فرآیندهای دیاژنزی مختلف در سنگ‌های کربناته سازند مزدوران (نور رنگی): (A) سیمان هم‌ضخامت در اطراف دانه‌های اووئید و سیمان موزاییکی هم‌بعد در فضای بین دانه‌ها، چاه قزل‌تپه ۲ و عمق ۱۸۴۳۰ فوت؛ (B) سیمان دروزی در فضای بین دانه‌ها، افزایش اندازه بلورها از حاشیه حفره به سمت مرکز؛ (C) سیمان هم‌ضخامت در اطراف دانه‌ها (نسل اول) و سیمان هم‌محور در اطراف یک خارپوست (نسل دوم)؛ (D) سیمان بلوکی در یک حفره بزرگ (نسل دوم)؛ در حاشیه داخلی حفره (کادر زرد رنگ) می‌توان سیمان هم‌ضخامت اولیه را مشاهده کرد (نسل اول). (E) سیمان شعاعی که بعد از انحلال پوسته فسیلی، در آن تشکیل شده است (به صورت بلورهای شعاعی با تجمع بادبزی شکل که از حاشیه داخلی پوسته به سمت بالا رشد کرده‌اند). حاشیه پوسته که در ابتدا میکریتی شده در کادر نشان داده شده است. (F) اثرات فشردگی مکانیکی که به تراکم دانه‌ها و تماس نقطه‌ای بین آن‌ها منجر شده است (پیکان زرد رنگ) و فشردگی شیمیایی که به انحلال دانه‌ها در محل تماس و تماس مضرس منجر شده است (پیکان قرمز). (G) انحلال در پوسته آراگونیتی شکم‌پا که در مراحل بعدی دیاژنز با سیمان کلسیت اسپاری پر شده است. (H) نوشکی در دولومیت و تبدیل دولومیت بسیار ریز بلور (بالا و پایین شکل) به دولومیت ریز بلور (در قسمت وسط شکل که با کادر مشخص شده است)؛ (I) نوشکی در خرده‌های بیوکستی و جایگزین شدن پوسته آراگونیتی آن‌ها توسط کلسیت؛ به غیر از شکل A، سایر شکلها مربوط به برش چشمه‌خان هستند.

این امر به خوبی در مقاطع مورد مطالعه در فسیل‌های دوکفه‌ای و شکم‌پا دیده می‌شود (شکل ۳ج). فرآیند انحلال در محل استیلولیت‌ها نیز اتفاق افتاده است. در این سازند انحلال در حد میکروسکوپی بوده و بیشتر آلوکم‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. تشکیل تخلخل ثانویه، مهمترین تأثیر این فرآیند است.

شده است (شکل ۳ج). در رخساره‌های گریستونی سطوح استیلولیتی دیده می‌شوند که از فابریک سنگ تبعیت نکرده و همه اجزا اعم از دانه و سیمان را قطع کرده است.

انحلال

فرآیند انحلال در فسیل‌هایی نظیر دوکفه‌ای، مرجان و جلبک‌های آهکی به دلیل ترکیب کانی‌شناسی ناپایدار اسکلت آن‌ها (آراگونیت) نقش مهمی را ایفا می‌کند.

نئومورفیسم

در قالب سه فرآیند متفاوت تبدیل گل آهکی به بلورهای درشت‌تر کلسیت در رخساره‌های گل پشیمان، کلسیتی شدن دانه‌های آراگونیتی (شکل ۳خ)، و تبدیل دولومیت‌های ریز بلور به دولومیت‌های درشت بلور (شکل ۳ح) دیده می‌شود. در نمونه‌های مورد مطالعه پوسته‌های دو کفه‌ای و شکم‌پا که در ابتدا دارای کانی‌شناسی آراگونیت بوده‌اند، غالباً به وسیله بلورهای کلسیت کم‌منیزیم جانشین شده و ساختمان داخلی آن‌ها به طور کامل از بین رفته است، ولی چارچوب و شکل اولیه خود را حفظ کرده‌اند.

تشکیل ترکیبات آهن‌دار و پیریتی شدن

فرآیند تشکیل ترکیبات آهن‌دار در نمونه‌ها به صورت پوشش در اطراف دانه‌ها، جانشینی در پوسته‌های اووئید، خرده‌های خارپوستان و روزن‌داران و پرکننده حفره‌ها و حجرات و گاه تأثیر بر ماتریکس گلی دیده می‌شود (شکل ۴الف، ب، چ). در نمونه‌های مورد مطالعه، پیریت به صورت بلورهای کوییک و گاه بلورهای کوچک گرد دیده می‌شود که در بسیاری از موارد همراه با دولومیت‌های روشن و شکل‌دار پراکنده در زمینه آهکی و یا در امتداد استیلولیت‌ها و تخلخل حفره‌ای (شکل ۴ت) یافت می‌شود. از طرف دیگر پیریت دانه تمشکی مشاهده شده در تصاویر میکروسکپ الکترونی (شکل ۴ث) نشان‌دهنده اولیه بودن آن‌هاست. نتایج آنالیز نقطه‌ای، عنصر گوگرد را نشان نمی‌دهد که علت آن تغییر پیریت در طی دیاژنز و تبدیل آن به اکسیدهای آهن است.

سیلیسی شدن

سیلیسی شدن در سنگ‌های کربناته سازند مزدوران به صورت کوارتز میکروکریستالین قابل مشاهده است. این فرآیند به ویژه در چاه قزل تپه ۲ در لامینه‌های اووئیدها دیده می‌شود که احتمالاً در اثر انحلال و سپس جانشینی

توسط سیالات سیلیسی در داخل توده سنگی شکل گرفته‌اند (شکل ۴ح).

شکستگی و پرشدگی

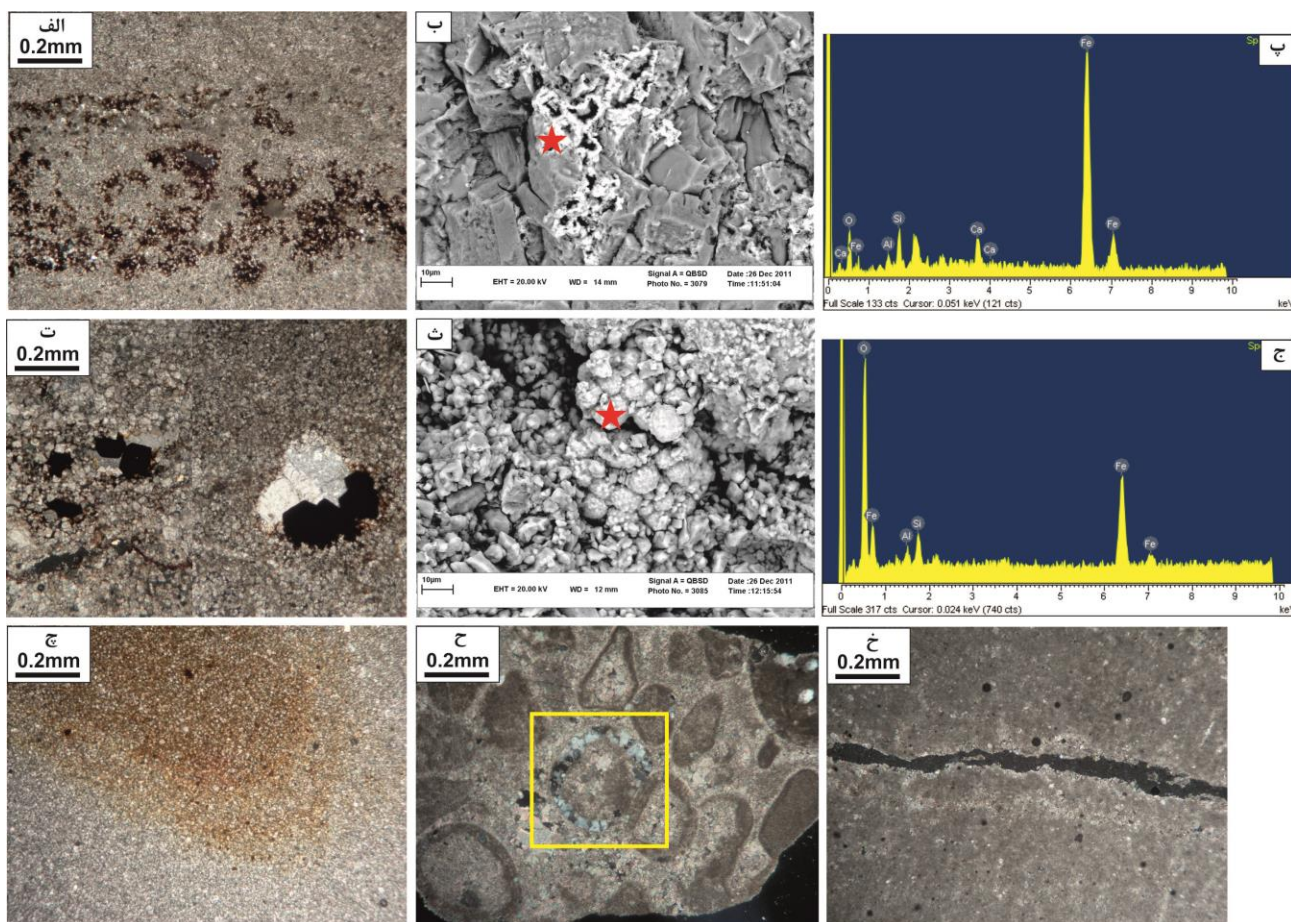
رگه‌های کلسیتی در نمونه‌های مورد مطالعه به خوبی قابل مشاهده هستند. این رگه‌ها عمدتاً توسط کلسیت اسپاری درشت بلور پر شده‌اند. قطر رگه‌ها از بسیار باریک تا ضخامت ۸-۷ میلی‌متر که در چندین مرحله مختلف به وجود آمده‌اند تغییر می‌کنند، به طوری که برخی از آن‌ها همدیگر را قطع کرده‌اند. سیمان پرکننده این رگه‌ها بیشتر از نوع بلوکی و تعدادی از نوع دروزی می‌باشند (شکل ۴خ). بعضی از شکستگی‌ها ایجاد تخلخل ثانویه کرده‌اند.

دولومیتی شدن

دولومیتی شدن یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین انواع جانشینی در سنگ‌های آهکی و گسترده‌ترین فرآیند دیاژنزی در سازند مزدوران در مناطق مورد مطالعه به شمار می‌رود. بافت متنوع این دولومیت‌ها بیانگر تشکیل آن‌ها در شرایط مختلف بوده و به دو گروه اصلی دولومیت‌های با بافت انتخابی (که عمل جانشینی فقط در برخی از دانه‌ها یا بخش‌هایی از زمینه رخ داده است) و دولومیت‌های فراگیر (که به طور یکسان جانشین زمینه و دانه‌های آهکی شده‌اند)، تقسیم می‌شوند. دولومیت‌های سازند مزدوران بر اساس اندازه بلورها و چگونگی مرز بلورها (مسطح و غیرمسطح) (Warren, 2000) به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

دولومیت بسیار ریز بلور (D1)

این دولومیت‌ها با اندازه‌ای در حدود ۳ تا ۱۲ میکرون (Warren, 2000) و مرزهای مسطح، نیمه‌شکل‌دار و متراکم بوده و به شکل موزاییک یک‌اندازه یافت می‌شوند. این نوع دولومیت‌ها فاقد فسیل بوده و اثراتی از لامیناسیون ظریف دارند. گاهی دارای ذرات کوارتز پراکنده می‌باشند، ولی اثری از کانی‌های تبخیری همراه آنها مشاهده نشده است (شکل ۵الف، ب).



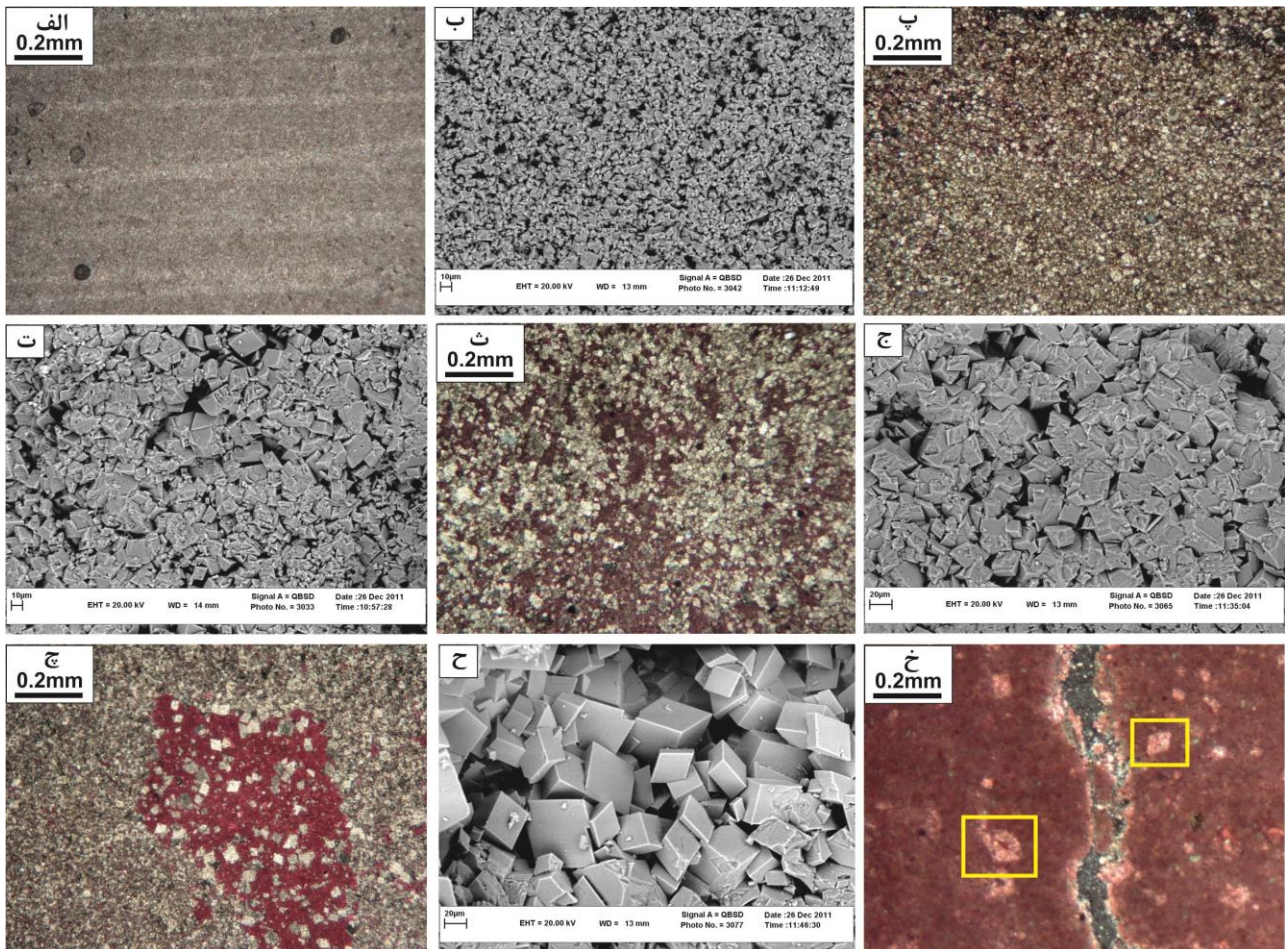
شکل ۴: فرآیندهای دیاژنزی در سنگ‌های کربناته سازند مزدوران (نور رنگی)؛ (A) تشکیل ترکیبات آهن‌دار در اطراف تخلخل حفره‌ای که مسیری برای عبور محلول‌های حاوی آهن است. (B) تصویر میکروسکپ الکترونی از تمرکز ترکیبات آهن‌دار در زمینه‌ای از دولومیت (مقیاس ۱۰ میکرون است)؛ (C) آنالیز نقطه‌ای مربوط به شکل B؛ (D) بلورهای خودشکل پیریت درون حفره؛ (E) تصویر میکروسکپ الکترونی از بلورهای پیریت به فرم دانه تمشکی (مقیاس ۱۰ میکرون است)؛ (F) آنالیز نقطه‌ای مربوط به شکل E؛ (G) ترکیبات آهن‌دار به صورت بلورهای بسیار ریز پراکنده در گل آهکی؛ (H) سیلیسی شدن لایه‌های اووئید، چاه قزل‌تپه ۲ و عمق ۱۸۶۵۰ فوت؛ (I) شکستگی که داخل آن هنوز پر نشده و به صورت تخلخل باقی مانده است (برش چشمه‌خان).

(1987) هستند. این دولومیت‌ها به طور انتخابی در ماتریکس میکریتی شروع به رشد نموده‌اند و قطعات فسیلی کمتر تحت تأثیر دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند. این بلورها به رنگ خاکستری و یا حالت ابری در متن دیده می‌شوند. اثرات میکریتی اولیه سبب کدر شدن بلورها شده است (شکل ۵پ، ت).

تفسیر: تعدادی از رومبوئیدهای دولومیتی در امتداد رشته‌های جلبکی و یا درز و شکاف‌های موجود در سنگ تشکیل شده‌اند و این نشان‌دهنده این است که استیلولیت‌ها و رشته‌های جلبکی به عنوان مجراهایی جهت حرکت

تفسیر: با توجه به اندازه بسیار ریز بلورها، نبود فسیل و حفظ بافت اولیه رسوبی، این نوع دولومیت کاملاً شاخص شرایط سطحی، دمای پایین و محیط سوپراتایدال می‌باشد (Adabi, 2009). شرایط فوق اشباع به همراه آلکالینیته و PH بالا نیز مناسب تشکیل این دولومیت‌های اولیه هستند (Deng, et al., 2010).

دولومیت موزاییکی ریز بلور بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار (D2)
 این نوع دولومیت به صورت موزاییک‌های هم‌اندازه متراکم و دارای مرزهای مسطح بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار است که اندازه‌ای در حدود ۱۸ تا ۵۵ میکرون داشته و معادل بافت Idiotope-S از تقسیم‌بندی Sibley & Gregg



شکل ۵: انواع دولومیت و تصاویر میکروسکپی الکترونی آن‌ها در سازند مزدوران در برش چشمه‌خان (نور رنگی): (A) دولومیت بسیار ریز بلور با لامیناسیون ظریف؛ (B) تصویر میکروسکپی الکترونی دولومیت بسیار ریز بلور (مقیاس ۱۰ میکرون)؛ (C) دولومیت ریز بلور؛ (D) تصویر میکروسکپی الکترونی دولومیت ریز بلور (مقیاس ۱۰ میکرون)؛ (E) دولومیت متوسط بلور؛ (F) تصویر میکروسکپی الکترونی دولومیت متوسط بلور (مقیاس ۲۰ میکرون)؛ (G) دولومیت ریز بلور به همراه بلورهای درشت و خودشکل رومبوهدری دولومیت درشت بلور (زمینه قرمز رنگ، میکریست است)؛ (H) تصویر میکروسکپی الکترونی دولومیت درشت بلور (قطر بلورها حدود ۱۰۰ میکرون است) (مقیاس ۲۰ میکرون)؛ (I) فرآیند دولومیتی شدن؛ کادرها نشان‌دهنده بلورهای رومبوهدر دولومیت هستند که به دلیل تغییر ترکیب و تبدیل شدن به کلسیت، طی رنگ‌آمیزی با آلزارین، رنگ قرمز به خود گرفته‌اند.

تفسیر: به طور کلی تغییر در فابریک دولومیت از بسیار ریز بلور به ریز و متوسط بلور در دولومیت‌های سازند مزدوران نشان‌دهنده افزایش درجه دگرسانی (تبدیل بلورهای ریز به درشت) در آن‌ها است. به نظر می‌رسد که دولومیت نوع D3 در اثر تبلور دولومیت‌های ریز بلور یا جانشینی سنگ آهک اولیه در طی تدفین تشکیل شده است. در بیشتر موارد این دولومیت‌ها باعث تخریب بافت رسوبی اولیه شده‌اند. گاهی جانشینی این دولومیت‌ها حالت انتخابی داشته و تنها بر روی زمینه میکریستی هسته‌زایی کرده‌اند و دانه‌ها دولومیتی نشده‌اند. چنین حالتی نشان‌دهنده این مطلب است

سیالات دولومیت ساز در شرایط تدفین عمل نموده‌اند (Warren, 2000). دولومیتی شدن انتخابی در ماتریکس گلی نسبت به خرده‌های اسکلتی می‌تواند بیان‌کننده آراگونیتی بودن ماتریکس و مراحل اولیه دیاژنز باشد.

دولومیت متوسط بلور بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار (D3)

این دولومیت‌ها مانند نوع دوم دارای مرزهای مسطح بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار، اندازه‌ای در حدود ۶۰ تا ۱۵۰ میکرون و معادل بافت Idiopic-E از تقسیم‌بندی Sibley & Gregg (1987) هستند. این دولومیت‌ها دارای مرکز کدر و حاشیه‌های شفاف هستند.

که محلول دولومیت ساز هنوز به حد فوق اشباع نرسیده است (Warren, 2000) و البته به ترکیب دانه‌های دولومیتی شده نیز بستگی دارد (شکل ۵، ج). بدین ترتیب که دانه‌هایی با ترکیب آراگونیتی و HMC^۲ نسبت به ترکیب LMC^۳ بیشتر مستعد دولومیتی شدن هستند.

دولومیت درشت بلور (D4)

این نوع دولومیت به صورت بلورهای درشت در زمینه پراکنده است (شکل ۵، ج) و یا در مناطقی که شرایط و فضای رشد مناسب داشته، بافت متراکمی را به وجود آورده است. لذا این دولومیت‌ها با مرزهای مسطح و بلورهای کاملاً شکل دار و اندازه ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون، معادل بافت Idiopic-E و Idiopic-P از تقسیم‌بندی Sibley & Gregg (1987) هستند. شکل رومبئردی در اطراف حفرات به خوبی قابل تشخیص است. گاهی این بلورها شکسته و خرد شده و در طی دیاژنز متوریک به صورت بخشی یا کامل ددولومیتی شده‌اند (شکل ۵، خ).

تفسیر: تجمع دولومیت‌ها در امتداد رگه‌های انحلالی و استیلولیتی و درشت بودن دولومیت‌های سازند مزدوران نشانگر این است که فرآیند تدفین، احتمالاً نقش مهمی در تشکیل این دولومیت‌ها داشته است. Sibley & Gregg (1987) فابریک مسطح نیمه شکل دار بلورهای این نوع دولومیت را نتیجه رشد آرام بلورها در دمای پایین طی تدفین نیمه عمیق و حاصل تجدید تبلور بلورهای ریزتر می‌دانند.

ددولومیتی شدن

این فرآیند نتیجه بالا آمدگی دولومیت تا نزدیک سطح زمین و تأثیر آب‌های جوی کلسیم‌دار و فقیر از منیزیم است (Railsback & Hood, 2001). ددولومیتی شدن در سازند مزدوران به خوبی قابل مشاهده است به طوری که در بعضی

از مقاطع رنگ آمیزی شده، بلورهایی وجود دارند که برخلاف داشتن شکل بلوری رومبئردی دولومیت، به رنگ قرمز درآمده و کمی آثار تجزیه و انحلال در آن‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۵، خ). این بلورها در واقع دولومیت‌های قبلی هستند که توسط موزاییک‌هایی از بلورهای ریز کلسیت اسپاری جانشین شده‌اند. در بعضی مقاطع، رگه‌ها و شکستگی‌ها به عنوان کانالی جهت ورود سیالات غنی از کلسیم عمل کرده و طی دیاژنز متوریک سبب ددولومیتی شدن بلورها و رسوب سیمان کلسیتی در فضاها می‌شده‌اند. این پدیده دیاژنزی بیشتر در قسمت‌های پایینی توالی سازند در برش چشمه‌خان قابل مشاهده است.

آنالیز عنصری

آنالیز عناصر اصلی و فرعی کربنات‌های سازند مزدوران در برش چشمه‌خان در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار کلسیم در میکریته‌ها بین ۳۴ تا ۳۷/۸ درصد (میانگین ۳۵/۵ درصد) و در دولومیت‌ها بین ۱۷/۳ تا ۲۰/۹ درصد (میانگین ۱۹/۴۵ درصد) و مقدار منیزیم در میکریته‌ها بین ۲ تا ۳/۶ درصد (میانگین ۲/۵۹ درصد) و در دولومیت‌ها بین ۱۱/۴ تا ۱۵/۲ درصد (میانگین ۱۳/۰۱ درصد) است. میزان استرانسیم در میکریته‌ها بین ۱۰۸/۷ تا ۳۸۲/۵ پی‌پی‌ام و در دولومیت‌ها بین ۸۵/۳ تا ۳۷۴/۱ پی‌پی‌ام در تغییر است. مقادیر آهن در سنگ‌های آهکی میکریته سازند مزدوران بین ۱۵۹/۷ تا ۱۴۰۰ پی‌پی‌ام و در دولومیت‌ها بین ۳۵۰۰ تا ۸۲۰۰ پی‌پی‌ام و مقادیر منگنز در میکریته‌ها بین ۲۸/۸ تا ۸۵/۹ پی‌پی‌ام و در دولومیت‌ها بین ۱۲۰/۸ تا ۴۵۵/۱ پی‌پی‌ام (شکل ۶) در تغییر است. مقادیر زیاد IR در بعضی از نمونه‌ها به دلیل ناخالص بودن سنگ کربناته و حضور مواد آواری مانند کانی‌های رسی و کوارتز در آن می‌باشد.

جدول ۲: مقدار عناصر اصلی و فرعی در نمونه‌های مورد مطالعه سازند مزدوران در برش چشمه‌خان

	Sample No.	Description	%IR	%Ca	%Mg	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)
1	M-11	Micrite	4.1	35.5	3.2	443.6	71.4	280.6
2	M-9	Micrite	0.2	35.5	3.6	965.8	73.6	269.2
3	8M	Micrite	0.4	37.8	2	682.6	28.8	108.7
4	15M	Micrite	3.8	34	2.6	1100	40.6	180.7
5	16M	Micrite	1.7	34.6	2.7	1400	39.7	197.5
6	21M	Micrite	0.2	36.1	2	1100	37.5	172.7
7	25M	Micrite	1.5	34.8	2.2	340.9	35.5	200
8	30M	Micrite	2.2	35.4	2.9	439.5	33.2	212.9
9	54M	Micrite	0.1	36.1	2.1	159.7	40.2	174
10	102M	Micrite	1.9	35.5	2.6	705.2	85.9	382.5
11	D-7	Dolomite (D ₂)	3.4	19.2	13.1	5800	455.1	98.7
12	6AD	Dolomite (D ₂)	2.1	19.6	14.1	5600	439.2	85.3
13	62D	Dolomite (D ₁)	7.6	20.2	12.8	4400	179.9	232.3
14	63D	Dolomite (D ₁)	6.2	17.3	14.2	8200	231	374.1
15	66D	Dolomite (D ₂)	9.1	18.3	12	6600	287.1	254.1
16	68D	Dolomite (D ₂)	2.6	20.4	13.6	7000	120.8	210.2
17	83D	Dolomite (D ₃ ,D ₄)	8.2	20.4	11.4	4100	180.2	246.8
18	92D	Dolomite (D ₃)	5.5	20.7	12.3	3500	146.7	258.4
19	114D	Dolomite (D ₃)	4.8	17.5	14.2	4600	234.7	218.1
20	123D	Dolomite (D ₃ ,D ₄)	3.4	20.9	12.1	5400	203.1	203.1

دو ظرفیتی (Mn^{2+}) محلول تبدیل شده و وارد شبکه کلسیت می‌شود (Marshall, 1992). روند مثبت نمودار آهن در برابر منگنز (شکل ۶) نشان‌دهنده تأثیر کاهش اکسیژن محیط و افزایش آهن دو ظرفیتی محلول است که می‌تواند ناشی از افزایش عمق تدفین باشد. نمودار نسبت استرانسیم به منگنز در مقابل منگنز (شکل ۷) یک روند منفی را نشان می‌دهد که با توجه به کاهش استرانسیم و بالعکس افزایش تمرکز منگنز در اثر انحلال، پایین بودن این نسبت می‌تواند معیاری مفید برای تخمین نفوذ آب‌های متئوریکی و افزایش میزان انحلال سنگ آهک‌ها باشد (Rao, 1991).

ترکیب کانی‌شناسی اولیه سنگ‌های کربناته سازند مزدوران

در زمان ژوراسیک پسین (زمان ته‌نشست سازند مزدوران) ترکیب آب دریا برای نهشت کلسیت بسیار مناسب بوده

تفسیر: مقادیر استرانسیم این نمونه‌ها کمتر از مقادیر معادل‌های آراگونیتی عهد حاضر آن‌ها (۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام) و حتی کلسیت غیرآلی (حداکثر ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام) است، زیرا تمرکز استرانسیم در طی دیاژنز متئوریک در کربنات‌های قدیمه به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد (Rao & Amini, 1995) و نشان‌دهنده افزایش کانی‌شناسی کلسیتی در مقایسه با کانی‌شناسی آراگونیتی است. کاهش میزان استرانسیم می‌تواند هم نشان‌دهنده دیاژنز متئوریک و تدفینی و هم کانی‌شناسی اولیه کلسیتی باشد (Winefield *et al.*, 1996). از عناصر آهن و منگنز می‌توان برای بررسی تأثیر دیاژنز تدفینی استفاده کرد. مقدار منگنز در کربنات‌های آراگونیتی مناطق حاره‌ای عهد حاضر کمتر از ۲۰ پی‌پی‌ام، ولی در کربنات‌های معتدله عهد حاضر بیش از ۳۰۰ پی‌پی‌ام است (Rao & Amini, 1995). مقادیر منگنز محلول با کاهش اکسیژن سیال افزایش می‌یابد زیرا منگنز چهار ظرفیتی (Mn^{4+}) نامحلول، در محیط احیایی به منگنز

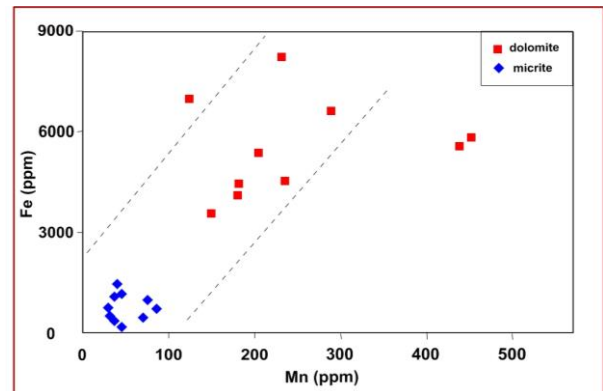
کانی‌شناسی اولیه غالب در نهشته‌های سازند مزدوران کلسیتی بوده است. شواهد ژئوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه که نشان‌دهنده کلسیتی بودن کانی‌شناسی اولیه نهشته‌های سازند مزدوران هستند عبارتند از:

۱- دامنه گسترده تغییرات مقادیر منگنز از ۱۲۰/۸ تا ۴۵۵/۱، در حالی که دامنه کم تغییر منگنز می‌تواند حاکی از کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی باشد.

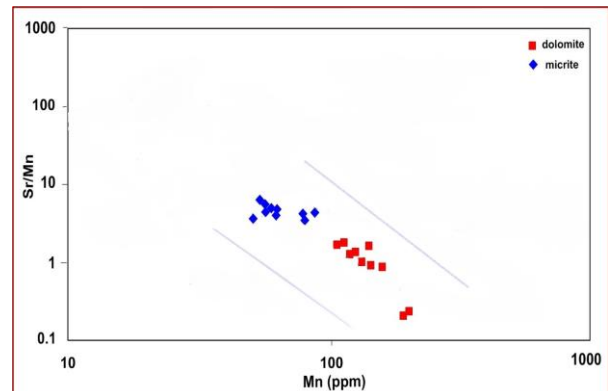
۲- ترسیم تغییرات نسبت استرانسیم به کلسیم در مقابل مقادیر منگنز در شکل ۸ نشان می‌دهد که نمونه‌های سازند مزدوران در محدوده کلسیت HMC قرار می‌گیرند. شکل ۹ پراکندگی انواع دولومیت و درصد آن‌ها را در سازند مزدوران در برش چشمه‌خان نشان می‌دهد.

ژئوشیمی دولومیت‌ها

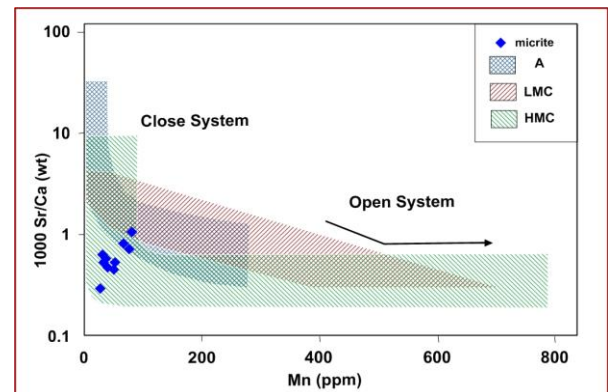
ترکیب عناصر اصلی و فرعی در دولومیت‌ها به ترکیب محلول‌های دولومیت‌ساز، ترکیب عنصری کانی‌های کربناتی که دولومیت جانشین آن‌ها می‌شود و ضریب توزیع عناصر در دولومیت بستگی دارد. در آب‌های دریایی شور تا فوق‌العاده شور مقادیر استرانسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم بالاست، در حالی که مقادیر منگنز و آهن پایین است. برعکس در آب‌های شیرین مقادیر استرانسیم، منیزیم، کلسیم و سدیم پایین بوده در حالی که مقادیر منگنز و آهن بالا می‌باشد (Allan & Wiggins, 1993). استرانسیم از جمله عناصری است که در تعیین خاستگاه دولومیت می‌تواند نقش بسیار مهمی ایفا کند. چنانچه مقدار آن در دولومیت در حدود ۵۵۰ پی‌پی‌ام باشد مؤید خاستگاه دریایی است و در صورتی که از این مقدار بیشتر باشد، دولومیت حاصل ته‌نشین شدن آب‌های با شوری بسیار بالاست (Rao, 1990). البته مقادیر استرانسیم در دولومیت‌های قدیمی‌تر از هولوسن کمتر از ۲۰۰ پی‌پی‌ام است (Mazullo, 1992). در سازند مزدوران نیز



شکل ۶: نمودار تغییرات عنصر آهن در مقابل منگنز دارای روند خطی مثبت

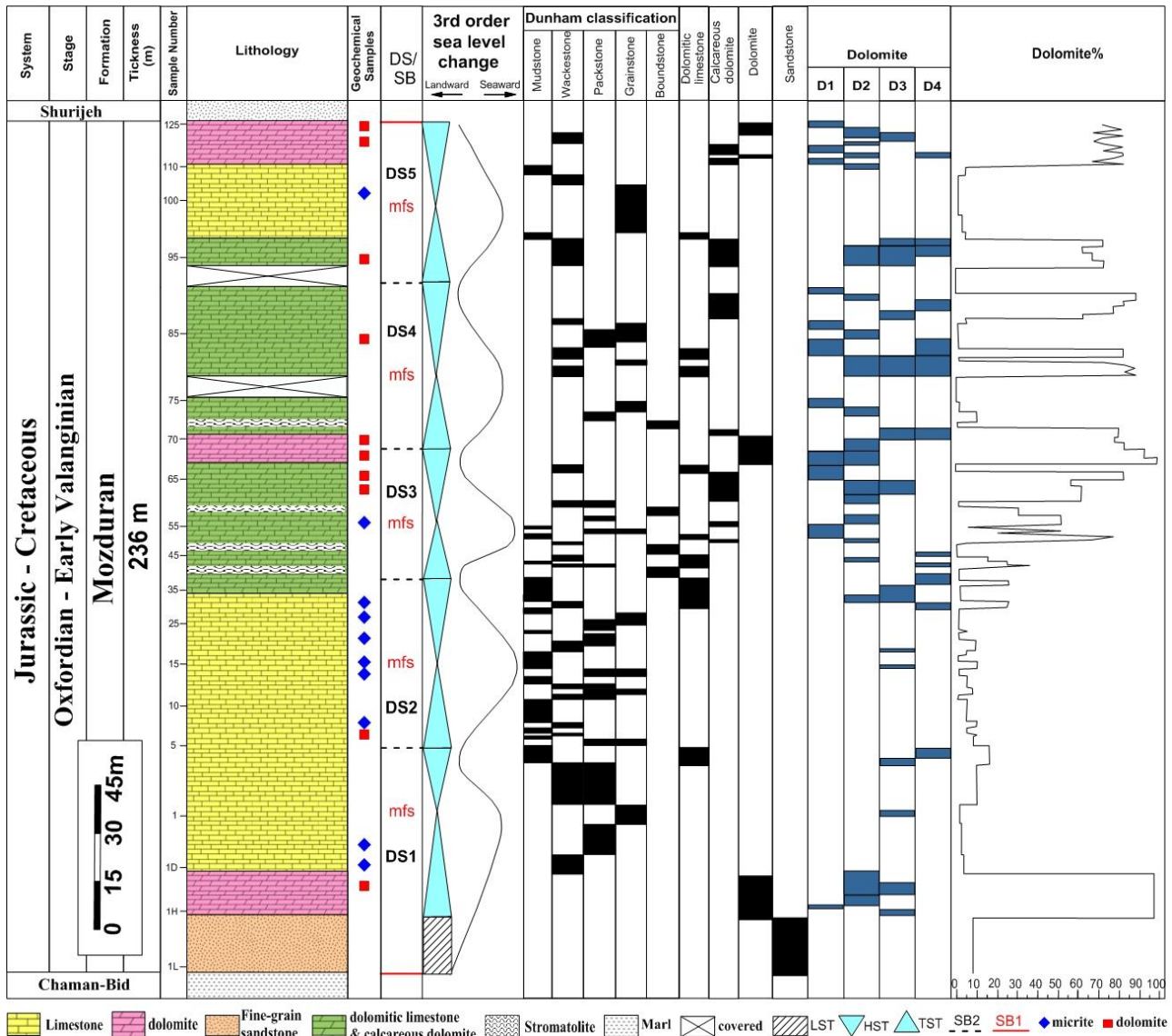


شکل ۷: نمودار تغییرات عنصر منگنز در مقابل نسبت استرانسیم به منگنز دارای روند خطی منفی



شکل ۸: تغییرات مقادیر منگنز در مقابل نسبت استرانسیم به کلسیم در نمونه‌های میکریتی سازند مزدوران. روند تغییرات دیاژنز آراگونیت و کلسیت توسط برند و وایزر (۱۹۸۰) مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کلیه نمونه‌ها در محدوده کلسیت HMC با سیستم دیاژنزی نیمه بسته قرار می‌گیرند.

است (Wilkinson *et al.*, 1985). اگرچه Adabi & Rao (1991) کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی را برای کربنات‌های سازند مزدوران در نظر گرفته‌اند، ولی Lasemi (1995) با استفاده از شواهد پتروگرافی اظهار نموده است که



شکل ۹: پراکندگی انواع دولومیت و درصد آن در سازند مزدوران در برش چشمه‌خان؛ رخساره‌های آواری فقط در پایین توالی دیده شده و رخساره‌های کربناته پراکندگی و تغییرات زیادی در طول توالی نشان می‌دهند. پنج سکناس رسوبی رده سوم در برش مورد مطالعه تشخیص داده شده است.

علاوه بر داشتن حداکثر مقدار استرانسیم و منیزیم، حداقل مقدار کلسیم را نیز نسبت به دولومیت‌های ثانویه دارند. آهن و منگنز بر خلاف استرانسیم در طی دیاژنز روند رو به افزایش دارند و تمرکز آن‌ها به شرایط احیایی حاکم بر محیط بستگی دارد (Rao, 1990). با تدفین دولومیت‌ها و فراهم شدن شرایط احیایی، آهن تمایل بیشتری برای وارد شدن به شبکه دولومیت از خود نشان می‌دهد. در شرایط نزدیک سطح زمین و محیط‌های اکسایشی، آهن به مقدار

دولومیت‌های اولیه به دلیل تشکیل شدن در محیط‌های فوق‌العاده شور (سبخا) و تأثیر کمتر دگرسانی بر روی آن‌ها، دارای مقادیر استرانسیم بیشتری نسبت به دولومیت‌های دریایی ثانویه هستند (جدول ۲). علاوه بر این، میزان استرانسیم در طول زمان دیاژنز کم می‌شود و با توجه به اینکه دولومیت‌های نوع دوم تا چهارم دست‌خوش تبلور دوباره شدیدی شده‌اند، لذا کاهش مقدار استرانسیم در آن‌ها امری عادی است. دولومیت‌های ریزبلور اولیه

و سوم در عمق و دمای بیشتری تشکیل شده است. به دلیل وجود سطوح بلوری مسطح و همچنین شکل دار بودن این بلورها می توان گفت که دمای تشکیل آن ها نیز کمتر از دمای بحرانی بوده و به منطقه دفن عمیق نرسیده اند (Sibley & Gregg, 1987). لذا می توان مدل دفن کم عمق را برای این دولومیت ها در نظر گرفت. فشردگی رسوبات در حوضه و آنومالی های حرارتی، دو سازوکار محتمل برای حرکت سیالات دولومیت ساز در تشکیل دولومیت های درشت بلور تدفینی هستند (Iannace et al., 2011).

در مورد گسترش دولومیتی شدن در سازند مزدوران می توان گفت که آلوکم هایی مثل اینتراکست کمتر از زمینه میکریتی تحت تأثیر دولومیتی شدن قرار گرفته اند. علاوه بر آن در یک نمونه، انواع مختلفی از بافت های ریزبلور و درشت بلور دولومیت در کنار یکدیگر و با مرزهای کاملاً مشخص وجود دارند. وجود منطقه بندی در بعضی از نمونه ها و قرارگیری دولومیت هایی با بافت متفاوت در کنار هم نشان می دهد که این دولومیت ها تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته اند (Allan & Wiggins, 1993). تنوع در بلورهای دولومیت و پدیده های مختلف دیاژنتیکی صورت گرفته، نشانگر پیچیدگی شرایط حاکم بر دولومیت های سازند مزدوران در طول زمان دیاژنز بوده است. در بعضی از نمونه های دولومیتی سازند مزدوران، حضور شبح هایی از آلوکم ها در دولومیت های دانه درشت می تواند تأییدی بر جاننشینی مستقیم و آرام سنگ آهک های قبلی سازند توسط دولومیت باشد.

ارتباط دولومیتی شدن با سکانس های رسوبی سازند مزدوران

مطالعات پتروگرافی و صحرایی در نمونه های مورد مطالعه سازند مزدوران به شناسایی پانزده رخساره کربناته و سه رخساره آواری منجر شده است که در یک رمپ کربناته

خیلی کمتری می تواند وارد شبکه دولومیت شود. بنابراین دولومیت های اولیه که در سطح زمین تشکیل می شوند مقادیر منگنز کمتر و دولومیت های دیاژنز تأخیری که در طی دفن کم عمق یا عمیق ایجاد می شوند مقادیر منگنز بیشتری دارند. از نظر محتوای عنصری دولومیت های نوع دوم دارای بیشترین مقادیر منگنز هستند. دولومیت های نوع سوم مقدار آهن، منیزیم و منگنز کمتر و مقدار کلسیم بیشتری نسبت به انواع دیگر دولومیت دارند، ولی از آن جا که این اختلاف زیاد نیست به نظر می رسد دیاژنز و خصوصاً دولومیتی شدن تغییر شدیدی در محتوای منگنز به وجود نیاورده است.

مدل دولومیتی شدن

وجود انواع مختلف دولومیت در سازند مزدوران با خصوصیات پتروگرافی و ژئوشیمیایی متفاوت، مؤید تشکیل طی چند مرحله است. دولومیت های بسیار ریزبلور با داشتن مقادیر بالای استرانسیم و پایین بودن منگنز، همزمان با رسوب گذاری تشکیل شده اند که مدل دولومیتی شدن دریایی (سبخایی) برای این نوع دولومیت پیشنهاد می گردد. ریزبلور بودن، بالا بودن مقدار آهن و منگنز و پایین بودن مقادیر استرانسیم و نیز حضور لخته هایی از دولومیت های ریز بلور اولیه، شکستگی، وجود میکرواستیلولیت ها و بقایای فسیلی حاکی از تشکیل دولومیت های نوع ۲ در شرایط تدفین است (Warren, 2000). وجود بلورهای متوسط با مرزهای مسطح بیانگر نرسیدن به دمای بحرانی و دفن عمیق است، به این معنی که تشکیل این دولومیت ها در دمای کمتر از ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد و در مراحل اولیه تا حدواسط دیاژنز تا قبل از اعمال فشردگی بر رسوبات بوده است (Warren, 2000) که چنین حالتی در دولومیت های نوع سوم دیده می شود. دولومیت نوع چهارم با توجه به اندازه درشت تر نسبت به دولومیت های نوع دوم

هموکلینال در کمربندهای رخساره‌ای دریای باز، محیطی سدی، لاگون و پهنه‌های جزر و مدی بر جای گذاشته شده‌اند. بررسی تغییرات سطح نسبی آب دریا در رسوبات سازند مزدوران به تشخیص پنج سکناس رسوبی رده سوم در برش چشمه‌خان انجامید (پورحیدر و همکاران، ۱۳۹۳). سازند مزدوران در منطقه مورد مطالعه با ماسه‌سنگ‌های سازند شورریجه در بالا مرز فرسایشی و با مارن‌های سازند چمن‌بید در پایین توالی، مرز سکناسی نوع اول دارد.

دولومیتی شدن یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین انواع جانیشینی در سنگ آهک‌ها و گسترده‌ترین فرآیند دیاژنزی در سازند مزدوران در مناطق مورد مطالعه به شمار می‌رود که به طور کلی در سکناس‌های سوم تا پنجم گسترده‌تری دارد (شکل ۹). از آن جا که دولومیت‌های بسیار ریزبلور (نوع اول) در نوشته Blendinger (2004) در محیط سوپراتایدال تشکیل می‌شوند، در انتهای برخی از سکناس‌های کم‌عمق شونده رو به بالا (سکناس‌های سوم، چهارم و پنجم) دیده می‌شوند. پراکنندگی و فراوانی سکناس‌هایی که به دولومیت‌های اولیه ختم می‌شوند نشان‌دهنده نوسان سطح آب دریا طی رسوب‌گذاری است (Khalifa, 2005). در این زمینه، سکناس‌های رسوبی کربناته پوشیده شده با دولوستون به طور مشابه از پلاتفرم کربناته اردوویسین میانی کره گزارش شده است (Yoo & Lee, 1998). دولومیت‌های نوع دوم فراوانی بیشتری در سکناس سوم و چهارم و به خصوص در مرحله HST دارند و بیشتر در رخساره‌های وکستون مربوط به محیط لاگون جانشین میکریت شده‌اند. این نوع دولومیت‌ها فراوانی بیشتری نسبت به انواع دیگر دارند و بیشتر به صورت جانیشینی انتخابی دیده می‌شوند. دولومیتی شدن انتخابی معمولاً مربوط به پایین بودن سطح آب دریا است (Khalifa, 2005). Meister et al. (2008) نیز نهشته‌های مربوط به زمان پایین بودن سطح آب دریا را برای تشکیل

دولومیت‌های دیاژنزی مناسب‌تر از رسوبات مراحل دیگر می‌دانند. دولومیت‌های نوع سوم پراکنندگی یکنواختی در بین سکناس‌های رسوبی دارند و در رخساره‌های وکستون و به میزان کمتر در مادستون‌ها مشاهده می‌شوند. دولومیت‌های نوع چهارم که با توجه به اندازه بزرگتر بلورها نسبت به انواع دیگر در مراحل تدفین عمیق‌تری تشکیل شده‌اند، در طول سکناس‌های رسوبی ارتباط نزدیکی با مادستون‌ها و وکستون‌های مناطق عمیق مانند دریای باز نشان می‌دهند. فرآیند دولومیتی شدن در مرحله دیاژنزی متوریک و زمانی که رسوبات بیرون از آب و در معرض هوا قرار گرفته‌اند رخ می‌دهد. بنابراین می‌تواند برای تشخیص افت سطح آب دریا و مرزهای سکناس‌های رسوبی مورد استفاده قرار گیرد (Khalifa et al. 2003; Khalifa, 2005). این فرآیند به خصوص در مرز پایین سکناس اول به فراوانی دیده می‌شود. به طور کلی به غیر از دولومیت‌های نوع اول، سایر انواع روند خاصی را در سکناس‌های رسوبی نشان نمی‌دهند و تأثیر سایر عوامل مؤثر در جانیشینی دولومیت نباید نادیده گرفته شود.

توالی پاراژنزی سازند مزدوران

با وجود این که هر یک از فرآیندهای دیاژنزی به طور معجزا قابل تشخیص و مطالعه هستند، این فرآیندها از نظر زمانی و مکانی هم‌پوشانی دارند و بر روی همدیگر تأثیر می‌گذارند. با توجه به نتایج مطالعات پتروگرافی سازند مزدوران در برش چشمه‌خان و چاه قزل‌تپه ۲، مشخص می‌گردد که این سازند در طول زمان تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی دریایی، متوریک و تدفینی قرار داشته است.

فابریک سیمان دروزی شاخص محیط‌های متوریک و تدفینی است و برای تفکیک این دو محیط باید به اطلاعات آنالیز عنصری یا ایزوتوپی سیمان کلسیتی دسترسی داشت

مخلوط غنی از سیلیس و ته‌نشینی سیلیس در شرایط PH پایین و شوری بالا شده است. البته ممکن است سیلیس از راه‌های دیگری مانند سازندهای آواری زیرین و بالایی این توالی تأمین شده باشد که در این صورت مربوط به مرحله تدفین است.

قطع شدگی برخی از اجزای اسکلتی و غیراسکلتی توسط رگه‌ها دلیلی بر تشکیل آن‌ها در مراحل انتهایی دیاژنز است. سطوح بلوری مسطح و بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار دولومیت در شرایط دمایی پایین یا درجه اشباع کم تشکیل می‌شوند (Wilson & Evans, 2002). همراهی بلورهای بسیار ریز دولومیت با رخساره‌های سبخایی (گل آهکی فاقد فسیل) نشان از تشکیل آن‌ها در شرایط تبخیر شدید در محیط سبخایی دارد (Warren, 2000). جانشینی دیاژنتیکی سنگ‌های آهکی پیشین و یا تبلور دوباره دولومیت‌های اولیه زیر دمای بحرانی (۶۰ درجه سانتی‌گراد) (Sibley & Gregg, 1987) عامل تشکیل دولومیت‌های نوع دوم به حساب می‌آیند. وجود استیلولیت‌ها، درشتی اندازه بلورها و حالت خاموشی موجی در بعضی از بلورهای دولومیت نوع سوم می‌تواند بیانگر تشکیل آن‌ها در طی مراحل تدفین باشد (Hood *et al.*, 2004). دولومیت‌های رگه‌ای در مراحل میانی و پایانی فرآیندهای دیاژنتیکی (در شرایط دفنی نیمه عمیق) در سازند مزدوران تشکیل شده‌اند، زیرا این بلورها عمدتاً به صورت جانشینی از نوع انتخابی توسط فابریک دیده می‌شوند. ددولومیتی شدن احتمالاً از آخرین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر سازند بوده است. فرآیندهای فوق‌الذکر در جدول ۳ آمده است که با توجه به آن می‌توان به تقدم و تأخر پدیده‌های دیاژنزی به طور نسبی پی برد.

(Railsback & Hood, 2001). به نظر می‌رسد سیمان شعاعی منشأ دریایی همزمان با رسوب‌گذاری و یا دفنی کم‌عمق دارد (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003). Reuning *et al.* (2002) معتقدند نبود فشردگی در سنگ آهک‌های قدیمی علاوه بر فابریک گل پشیمان، می‌تواند نشانه سیمانی شدن زودرس باشد که در بعضی از نمونه‌های پکستونی مورد مطالعه دیده می‌شود. از آن جا که استیلولیت‌ها در رسوبات سیمانی شده نیز دیده می‌شوند، بنابراین به احتمال زیاد در مراحل انتهایی تدفین ایجاد شده‌اند. به نظر می‌رسد که سازند مزدوران هم در محیط متوریک و هم در محیط دفنی تحت تأثیر انحلال قرار گرفته است. انحلال ذرات ناپایدار آراگونیتی و ایجاد تخلخل قالبی و حفره‌ای حاکی از انحلال در محیط دوز توسط آب‌های تحت اشباع از کربنات کلسیم می‌باشد، ولی انحلال در محیط تدفین می‌تواند سیمان اطراف دانه و دانه‌های دارای فشردگی را نیز دربرگیرد.

تشکیل پیریت در رسوبات غنی از مواد آلی متداول است. این کانی از واکنش گوگرد (حاصل از احیای سولفات‌ها) با آهن دو ظرفیتی حاصل از احیای باکتریایی آهن سه ظرفیتی (Fe^{+3}) تشکیل می‌شود (Taylor & Macquaker, 2000). همراهی پیریت با انحلال فشاری در امتداد استیلولیت‌ها نشان‌دهنده فرآیند دیاژنز تأخیری است که البته این پیریت‌ها فابریک دانه تمشکی ندارند. فرآیند سیلیسی شدن می‌تواند در محیط‌های دیاژنتیکی مختلف به وجود آید و مخصوص محیط خاصی نیست. به دلیل نبود موجودات سیلیسی در سنگ‌های آهکی سازند مزدوران، سیلیسی شدن می‌تواند قابل انطباق با مدل Knauth (1979) باشد. بر اساس این مدل آب‌های سطحی حاوی سیلیس (حاصل هوازدگی سنگ‌های حاوی سیلیس) توسط جریان‌های سطحی از طریق منطقه وادوز وارد منطقه فریاتیکی جوی شده و احتمالاً باعث تشکیل یک پهنه

جدول ۳: توالی پاراژنزی سازند مزدوران در مناطق مورد مطالعه

محیط فرایند	دریایی	متئوریک	تدفین	بالا آمدگی
میکریتی شدن و پوشش میکریتی				
دولومیت اولیه				
سیمان هم ضخامت				
سیمان دروزی				
سیمان هم بعد				
سیمان هم محور				
سیمان شعاعی				
سیمان بلوکی				
فشردگی مکانیکی				
فشردگی شیمیایی				
انحلال				
ایجاد تخلخل حفره‌ای				
نئومورفیسم				
هماتیته شدن				
سیلیسی شدن				
دولومیت ثانویه				
پیریتی شدن				
دولومیتی شدن				
شکستگی‌ها				

متداول

کمتر متداول

نتیجه گیری

مطالعه دیاژنز در این سازند نشان می‌دهد که مهمترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر این رسوبات به ترتیب فراوانی و اهمیت شامل دولومیتی شدن، سیمانی شدن، میکریتی شدن، انحلال، فشردگی فیزیکی و شیمیایی و نئومورفیسم است. این فرآیندها در سه محیط دریایی، متئوریک و محیط تدفینی بر روی رسوبات تأثیرگذار بوده‌اند. به طور کلی دیاژنز اولیه دریایی شامل میکریتی شدن، تشکیل سیمان‌های هم ضخامت و دولومیت اولیه است. فرآیندهای تشکیل سیمان‌های هم بعد، دروزی و هم محور، انحلال (تشکیل تخلخل حفره‌ای) و نئومورفیسم در مرحله دیاژنز متئوریک روی داده‌اند. فرآیندهای دیاژنز تأخیری (در مراحل تدفین کم عمق و عمیق)، دولومیتی شدن، فشردگی مکانیکی، استیلولیتی شدن و تشکیل شکستگی‌ها را

در برمی گیرد. چهار نوع دولومیت شامل دولومیت بسیار ریز بلور، دولومیت موزاییکی ریز بلور بی شکل تا نیمه شکل دار، دولومیت متوسط بلور بی شکل تا نیمه شکل دار و دولومیت درشت بلور در سنگ آهک‌های سازند مزدوران تکامل پیدا کرده‌اند. تشکیل این دولومیت‌ها به فرم اولیه و جانشینی در ماتریکس و آلوکم بوده است. تجمع دولومیت‌ها در امتداد رگه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها و درشت بلور بودن برخی از دولومیت‌های سازند مزدوران نشانگر این امر است که فرآیند تدفین کم عمق، احتمالاً نقش مهمی در تشکیل این دولومیت‌ها داشته است، ولی شکل یوهدرال و سطوح بلوری مسطح بیانگر این است که این دولومیت‌ها به دفن عمیق و دمای بحرانی نرسیده‌اند. آنالیز عنصری سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که تأثیر فرآیندهای دیاژنزی و به خصوص دیاژنز متئوریک در

احتمال زیاد کانی‌شناسی اولیه در سازند مزدوران از نوع کلسیت بوده است.

در خصوص ارتباط دولومیتی شدن با سکانس‌های رسوبی می‌توان گفت که دولومیت‌های نوع اول در بالای سکانس‌های کم عمق شونده رو به بالا تشکیل شده‌اند و به جز دولومیت‌های نوع اول، در مورد ارتباط تشکیل دولومیت‌های تدفینی با بافت سنگ اولیه تردید وجود دارد و لذا نمی‌توان اظهار نظر قطعی کرد.

یک سیستم دیاژنتیکی نیمه بسته همراه با تبادل زیاد آب به سنگ بر روی سنگ‌های سازند مزدوران، زیاد بوده و مقدار پایین نسبت استرانسیم به منگنز گویای انحلال زیاد در سازند است. افزایش مقدار عناصر آهن و منگنز و همبستگی مثبت‌شان با یکدیگر و کاهش چشمگیر مقادیر استرانسیم، تأثیر دیاژنز متوریک و همبستگی مثبت عناصر آهن و منگنز با استرانسیم، تأثیر دیاژنز دفنی را تأیید می‌کند. ضمناً رابطه بین نسبت استرانسیم به کلسیم و منگنز و دامنه تغییرات گسترده مقادیر منگنز نشان می‌دهد که به

منابع

- آقناباتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. *سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*، ۵۸۶ ص.
- آقایی، س.ع.، موسوی حرمی، ر.، محبوبی، ا.، ۱۳۸۲. تاریخچه و محیط رسوب‌گذاری سازند مزدوران در غرب آق‌دربند. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد*، ۲۳۷ ص.
- آل‌طه، ح.، موسوی حرمی، س.ر.، محبوبی، ا.، نجفی، م.، ۱۳۸۳. لیتواستراتیگرافی و تاریخچه رسوب‌گذاری رسوبات سیلیسی آواری سازند مزدوران در شرقی‌ترین بخش حوضه کپه‌داغ. *هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران*.
- افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳. زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی کپه‌داغ. *سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*، ۲۷۵ ص.
- پورحیدر، س.ز.، ۱۳۹۱. تاریخچه رسوب‌گذاری و پس از رسوب‌گذاری سازند مزدوران در دشت گنبد، غرب کپه‌داغ. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد*، ۱۲۰ ص.
- پورحیدر، س.ز.، محبوبی، ا.، محمودی قرائی، م.ح.، موسوی حرمی، س.ر.، ۱۳۹۳. تأثیر نوسانات سطح آب دریا بر رخساره‌های رسوبی در سازند مزدوران، غرب کپه‌داغ. *فصلنامه علوم زمین*، ۹۴: ۲۷۵-۲۸۶.
- رحیم‌پور بناب، ح.، ۱۳۸۴. سنگ‌شناسی کربناته (ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل). *دانشگاه تهران*، ۴۸۷ ص.
- سلامتی، ر.، شافعی، ا.، کریمی، ح.، وزیری، ح.، ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط قره‌بیل. *سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۶۸. لیتواستراتیگرافی و تاریخچه رسوب‌گذاری ژوراسیک فوقانی (آکسفوردین - کیمریجین) در محدوده کل‌ملک‌آباد در جنوب غرب آق‌دربند. *هشتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*، صص ۶-۸.
- نجفی، م.، فیضی، ا.، موسوی حرمی، ر.، ۱۳۷۸. لیتواستراتیگرافی و میکروفاسیس سازند مزدوران یک در شمال مشهد و معرفی آن به عنوان سازند خانه‌زو (باتونین - کالوین). *سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران*.
- Adabi, M.H., & Asadi Mehmandosti, E., 2008. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-e-Rashid area, Izeh, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33: 267-277.

- Adabi, M.H., & Rao, C.P., 1991. Petrographic and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of Upper Jurassic carbonate (Mozduran Formation) Sarakhs area, Iran. *Sedimentary Geology*, 72: 253-267.
- Adabi, M.H., 2009. Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet-Dagh Basin, NE Iran. *Carbonates and Evaporites*, 24: 1: 16-32.
- Allan, J.R., & Wiggins, W.D., 1993. Dolomite reservoir: geochemical techniques for evaluating origin and distribution. *American Association of Petroleum Geologists, Containing Education Course Notes Series*, 36: 1-136.
- Blendinger, W., 2004. Sea level changes versus hydrothermal diagenesis: origin of Triassic carbonate platform cycles in the Dolomites, Italy. *Sedimentary Geology*, 169: 21-28.
- Deng, S., Dong, H., Lv, G., Jiang, H., Yu, B., & Bishop, M.E., 2010. Microbial dolomite precipitation using sulfate reducing and halophilic bacteria: Results from Qinghai Lake, Tibetan Plateau, NW China. *Chemical Geology*, 278: 151-159.
- Dickson, J.A.D., 1965. A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205: 587.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1: 108-121.
- Gregg, J.M., & Shelton, K.L., 1990. Dolomitization and dolomite neomorphism in the back reef facies of the Bonnetere and Davis Formations (Cambrian), southeastern Missouri. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60: 539-562.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., & Vail, P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1166.
- Hood, S.D., Nelson, C.S., & Kamp, P.J.J., 2004. Burial dolomitisation in a non-tropical carbonate petroleum reservoir: the Oligocene, Tikorangi Formation, Taranaki Basin, New Zealand. *Sedimentary Geology*, 172: 117-138.
- Iannace, A., Capuano, M., & Galluccio, L., 2011. Dolomites and dolomites in Mesozoic platform carbonates of the Southern Apennines: Geometric distribution, petrography and geochemistry. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 310: 324-339.
- Kalantari, A., 1969. Foraminifera from the middle Jurassic-Cretaceous successions of Kopet-Dagh region (NE-Iran). *National Iranian Oil Company, Exploration and Production, Geological Laboratory Publication 3*, Tehran (Ph.D. thesis, London University). 298 p.
- Khalifa, M.A., 2005. Lithofacies, diagenesis and cyclicity of the Lower Member of the Khuff Formation (Late Permian), Al Qasim Province, Saudi Arabia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25: 719-734.
- Khalifa, M.A., Abou El Ghar, M.S., & El Belasy, M., 2003. Lithofacies, sequence stratigraphy and depositional history of the Abu Ghusun and Um Mahara formations (Oligo-Miocene), Ras Banas, Red Sea. *The Third International Conference on the Geology of Africa, Assiut University IB*, pp. 801-824.
- Knauth, L.P., 1979. A model for the origin of chert in limestone. *Geology*, 7: 274-277.
- Lasemi, Y., 1995. Platform carbonate of Upper Jurassic Mozduran Formation in the Kope-Dagh Basin, NE Iran, facies, Paleoenvironments and sequences. *Sedimentary Geology*, 99: 151-164.
- Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Carpenter, S.J., Aghaei, A., & Collins, L.B., 2010. Petrographical and geochemical evidences for paragenetic sequence interpretation of diagenesis in mixed siliciclastic-carbonate sediments: Mozduran Formation (Upper Jurassic), south of Agh-Darband, NE Iran. *Carbonates and Evaporites*, 25: 231-246.
- Mazullo, S.J., 1992. Geochemical and Neomorphic alternation of dolomite: a review. *Carbonates and Evaporites*, 7: 21-37.
- Meister, P., Bernasconi, S.M., Vasconcelos, C., & McKenzie, J.A., 2008. Sea level changes control diagenetic dolomite formation in hemipelagic sediments of the Peru Margin. *Marine Geology*, 252: 166-173.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., & Siever, R., 1987. Sand and sandstone. *Springer-Verlag*, New York, 553p.
- Railsback, L.B., & Hood, E.C., 2001. A survey of multi-stage diagenesis and dolomitization of Jurassic limestones along a regional shelf-to-basin transect in the Ziz Valley, Central High Atlas Mountains, Morocco. *Sedimentary Geology*, 139: 285-317.
- Rao, C.P., & Amini, Z.Z., 1995. Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonate, western Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporites*, 10: 114-123.

- Rao, C.P., 1991. Geochemical differences between subtropical (Ordovician), cool-temperate (recent and Pleistocene) and subpolar carbonates, Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporites*, 6: 83-106.
- Reuning, L., Reijmer, J.J.G., & Betzler, C., 2002. Sedimentation cycles and their diagenesis on the slope of a Miocene carbonate ramp (Bahamas, ODP Leg 166). *Marine Geology*, 185: 121-142.
- Scholle, P.A., & Ulmer-Scholle, D.S., 2003. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis. *American Association of Petroleum Geologists publishing*, 470p.
- Sibley, D.F., & Gregg, J.M., 1987. Classification of dolomitic rock textures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57: 957-965.
- Taylor, K.G., & Macquaker, J.H.S., 2000. Early diagenetic pyrite morphology in a mudstone-dominated succession: the Lower Jurassic Cleveland Ironstone Formation, eastern England. *Sedimentary Geology*, 131: 77-86.
- Warren, J., 2000. Dolomite: occurrences, evolution and economical important association. *Earth Science Review*, 52: 1-87.
- Wilkinson, B.H., Owen, R.M., & Carroll, A.R., 1985. Submarine hydrothermal weathering, global eustasy and carbonate polymorphism in Phanerozoic marine oolites. *Sedimentary petrology*, 55: 932-947.
- Wilson, M.E.J., & Evans, M.J., 2002. Sedimentology and diagenesis of Tertiary carbonates on the Mangkalihat Peninsula, Borneo: implications for subsurface reservoir quality. *Marine and Petroleum Geology*, 19: 873-900.
- Yassini, I., 1970. Etude Paleontologique du sodage QT-2, National Iranian oil company. *Final Paleontological Report*, 212: 1-25.
- Yoo, C.M., & Lee, Y., 1998. Origin and modification of early dolomites in cyclic shallow platform carbonates, Yeongheung Formation (Middle Ordovician), Korea. *Sedimentary Geology*, 118: 141-157.
- Zenger, D.H., & Dunham, J.B., 1988. Dolomitization of Siluro-Devonian limestones in a deep core (5,350 m), Southeastern New Mexico. In: Shukla, V., & Baker, P.A., (eds.), *Sedimentology and Geochemistry of Dolostones. Special Publication of Society Economical and Paleontological Mineralogist*, 43: 161-174.

Diagenetic history of Mozduran Formation and the relation between dolomitization and depositional sequences in Dasht-e-Gonbad area, west of the Kopet-Dagh basin

Pourheidar, Z.¹, Mahmudy-Gharaie, M.^{2*}, Mahboubi, A.³, Moussavi-Harami, R.³

1- M.Sc in Sedimentology & Sedimentary Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*E-mail: mhmgharaie@ferdowsi.um.ac.ir

Introduction

In this study, the Upper Jurassic carbonate strata in the Kopet-Dagh sedimentary basin (Mozduran Formation) has been investigated in the Gonbad plain in the west of Golestan Forest National Park. Mozduran Formation in the studied section is composed of muddy limestone containing chert nodules with interbeds of marl and shale that is conformably covered the shale beds of Kashaf-Rud Formation with a sharp boundary. The aim of this study is to interpret the diagenetic history of the Mozduran Formation and to interpret the relation between dolomitization and sequence stratigraphy. One of the most important applications of geochemical studies in carbonate rocks is to determine the composition of primary mineralogy, interpret sedimentary environment and depositional conditions, the palaeo temperature, alteration, differentiation of different diagenetic environments and determination of diagenetic trends (Adabi & Asadi Mehmandosti, 2008).

Material and methods

In this study, samples collected from surface section in south of Cheshmeh-Khan village and the data of Qezel-Tapeh well #2 have been used. 130 samples of limestone and dolomite and 8 samples of sandstone from Cheshmeh-Khan section (with thickness of 236 meters) and 103 samples from Qezel-Tapeh well #2 were analyzed and studied. Thin-sections stained with Alizarin Red-S, using Dickson (1965) method to differentiate calcite from dolomite. Global sea level curves presented by Haq et al. (1987) were used and compared with interpreted sea level curve for the sequence stratigraphic analysis. 4 samples of dolomite and 2 samples of pyrite were studied by scanning electron microscopy (SEM) and also analyzed by EDX. In order to study the geochemistry of Mozduran Formation in the Cheshmeh-Khan section, 20 samples (10 samples of micrite and 10 samples of dolomite) were selected for determination of the major elements (Mg and Ca) in terms of percentage and minor elements (Fe, Mn, Sr) in terms of ppm, samples were analyzed by atomic absorption (AAS).

Results and conclusion

Diagenetic studies indicate that the most important diagenetic processes affected these sediments are dolomitization, cementation, micritization, dissolution, physical and chemical compaction and neomorphism. These processes have affected sediments in three meteoric, marine and burial environments. In general, early diagenetic processes in marine environment include micritization, formation of isopachous cement and primary dolomite. Formation of isopachous, syntaxial and drusy cements, dissolution (formation of vugy porosity) and neomorphism have occurred at the stage of meteoric diagenesis. Last diagenetic processes (in shallow and deep burial stages) include dolomitization, mechanical compaction, stylolization and formation of fractures.

Neomorphism has seen to operate in three different processes: conversion of calcareous mud to coarse calcite crystals in mud-supported facies, replacement of calcite in aragonite grains, and converting fine-crystalline to coarse-crystalline dolomites. Based on the size and boundaries of crystals (Warren, 2000), four types of dolomite have been identified in the Mozduran Formation, including very fine-crystalline dolomite, mosaic microcrystalline dolomite, medium-crystalline dolomite and coarse-crystalline dolomite. Dolomites formed

as primary and replacement in matrix and allochems. The presence of dolomite along dissolution veins and stylolite as well as coarse crystal dolomites indicate that shallow burial processes probably played an important role in the formation of these dolomites. Microcrystalline dolomite (D1) is perfectly indicative of surface conditions, low temperature and probably supratidal environment, due to very small size of crystals, the absence of fossils and the preservation of the primary sedimentary texture (Adabi, 2009). Super saturated alkaline condition with high pH are also suitable for the formation of these primary dolomite (Deng, et al., 2010).

Sibley and Gregg (1987) are believed that semi-shaped straight fabric of coarse-crystalline dolomite (D4) are the result of the slow growth of crystals at low temperatures during shallow burial and formed from recrystallization of finer crystals. Elemental analysis of the studied rocks shows that the effect of diagenetic processes, specially diagenetic alteration on a semi-closed system with high water-to-rock exchange on Mozduran Formation was high and the low Sr/Mn ratio shows a high dissolution rate in the formation of dolomites (Rao & Amini, 1995). Very fine crystals of dolomite (the first type) formed in a supratidal environment (Blendinger, 2004), therefore they can form at the end of some shallowing upward sequences (third, fourth, and fifth sequences). The dispersion and abundance of fine crystals of dolomites in the upper parts of sequences represent sea level fluctuation during sedimentation (Khalifa, 2005).

Keywords: Kopet-Dagh; Mozduran Formation; Cheshme-Khan village; Qezel-Tapeh2 well; Diagenesis; Geochemistry.

Reference

- Adabi, M.H., & Asadi Mehmandosti, E., 2008. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-e-Rashid area, Izeh, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33: 267-277.
- Adabi, M.H., 2009. Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet-Dagh Basin, NE Iran. *Carbonates and Evaporites*, 24: 1: 16-32.
- Blendinger, W., 2004. Sea level changes versus hydrothermal diagenesis: origin of Triassic carbonate platform cycles in the Dolomites, Italy. *Sedimentary Geology*, 169: 21–28.
- Deng, S., Dong, H., Lv, G., Jiang, H., Yu, B., Bishop, M.E., 2010. Microbial dolomite precipitation using sulfate reducing and halophilic bacteria: Results from Qinghai Lake, Tibetan Plateau, NW China. *Chemical Geology*, 278: 151–159.
- Dickson, J.A.D., 1965. A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205: 587.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1166.
- Khalifa, M.A., 2005. Lithofacies, diagenesis and cyclicity of the ‘Lower Member’ of the Khuff Formation (Late Permian), Al Qasim Province, Saudi Arabia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25: 719–734.
- Rao, C.P., & Amini, Z.Z., 1995. Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonate, western Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporites*, 10: 114-123.
- Sibley, D.F. & Gregg, J.M., 1987, Classification of dolomitic rock textures, *J. Sed. Petrol*, 57: 957-965.
- Warren, J., 2000, Dolomite: occurrences, evolution and economical important association. *Earth Science Review*, 52: 1-87.