

## سنگ نگاری و ژئوشیمی دولومیت‌های ژوراسیک سازند مزدوران در بخش مرکزی کپه داغ - شمال شرق چناران

یاسمن رفیق دوست، اسداله محبوبی\*، محمدحسین محمودی قرائی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۹/۷/۹، نسخه نهایی: ۸۹/۱۰/۱۵)

**چکیده:** سازند مزدوران به سن ژوراسیک فوقانی (کیمبرجین - تایتونین) در حوضه‌ی رسوبی کپه داغ بیشتر از سنگ‌های آهکی و دولومیت همراه با مقدار کمی رسوب‌های سیلیسی آواری و تبخیری تشکیل شده است. هدف از این پژوهش شناسائی و جدایش انواع دولومیت‌های این سازند در شمال چناران است. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری دو فرایند دولومیتی (انتخابی و فراگیر) در سازند مزدوران مورد شناسائی قرار گرفته‌اند. بررسی‌های تفصیلی‌تر دولومیت‌های فراگیر، منجر به جدایی سه نوع دولومیت ریز تا متوسط بلور، درشت بلور و سیمان دولومیتی شد. همچنین آنالیزهای عنصری و ایزوتوپی نشان می‌دهد که دولومیت‌های مزدوران تحت تاثیر فرایندهای دیاژنتیکی پیچیده‌ای قرار گرفته‌اند. دمای تشکیل دولومیت‌های  $D_{p1}$ ،  $D_{p2}$  و  $D_{p3}$  به ترتیب ۵۸، ۶۴ و ۸۰ درجه‌ی سانتی-گراد محاسبه شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** مزدوران؛ ژوراسیک؛ دولومیت؛ آنالیز ایزوتوپی و عنصری.

### مقدمه

(شکل ۱).

تاکنون بررسی‌های زیادی در مورد دولومیت و فرایند دولومیتی شدن انجام گرفته و نظری‌های متفاوتی برای خاستگاه آن عنوان شده است [۶-۱۰]. جان‌شینی کانی‌های کربنات کلسیم به وسیله‌ی دولومیت و تشکیل سیمان دولومیتی ممکن است بلافاصله پس از ته‌نشینی رسوب‌ها، یعنی تقریباً همزمان با رسوب‌گذاری و طی دیاژنز اولیه، یا مدتی طولانی پس از رسوب‌گذاری و طی دیاژنز ثانویه انجام گیرد [۱۱]. هدف از این پژوهش شناسائی و جدایش دولومیت‌های سازند مزدوران در ناحیه‌ی شمال شرقی چناران با استفاده از داده‌های سنگ‌نگاری و ژئوشیمی و تفسیر سازوکار تشکیل آن‌ها است.

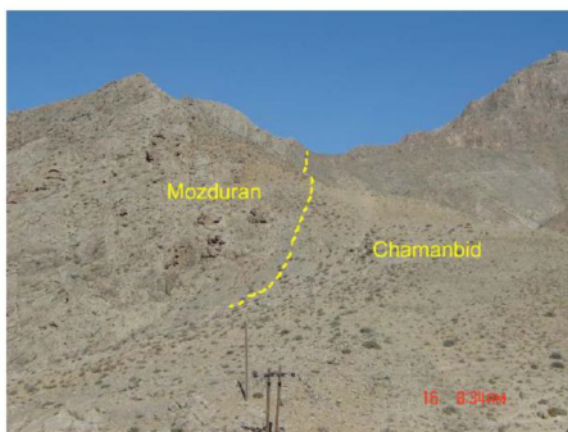
سازند مزدوران به سن ژوراسیک فوقانی بیشتر از سنگ آهک و دولومیت به‌همراه مقدار کمی رسوب‌های سیلیسی آواری و تبخیری تشکیل شده است. این سازند یکی از مخازن گازی در میدان‌های شمال شرقی کشور است که به سمت شرق حوضه‌ی کپه‌داغ نسبت دولومیت به سنگ آهک، به‌ویژه دولومیت‌های ریزبلور، به‌دلیل کم عمق شدن حوضه افزایش [۱] و به سمت غرب حوضه به دلیل عمیق شدن حوضه کاهش می‌یابد [۲،۳]. سازند مزدوران در منطقه‌ی مورد بررسی به‌صورت هم شیب روی سازند چمن بید [۴] و یا معادل آن  $J^m_2$  [۵] و در زیر سازند سیلیسی آواری شوربجه قرار گرفته است. بخش دولومیتی آن که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته در پائین‌ترین بخش دنباله و روی سازند چمن بید قرار گرفته است

\* نویسنده مسئول، تلفن- نامبر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱)، پست الکترونیکی: amahboobi2001@yahoo.co

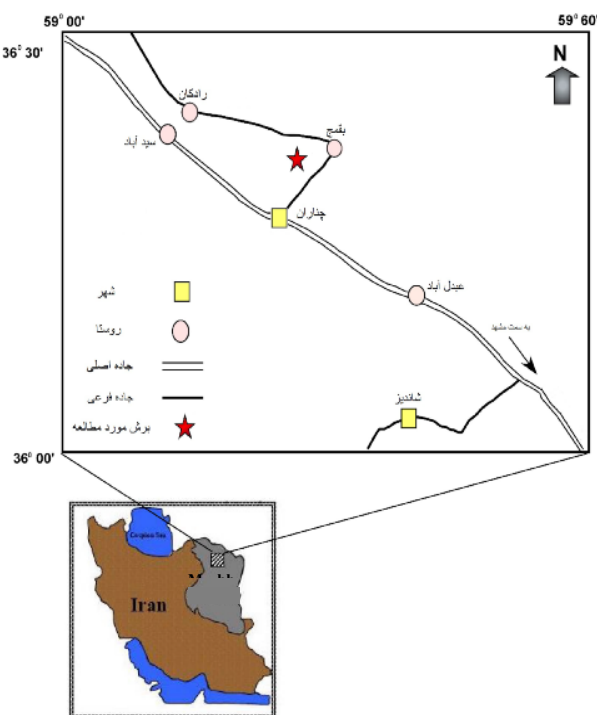
## روش بررسی

به منظور بررسی دولومیت‌های سازند مزدوران، یک برش چینه-شناسی در شمال شرق چناران نزدیک به روستای بقمج با عرض جغرافیائی  $36^{\circ} 49' 39''$  شمالی و طول جغرافیائی  $40^{\circ} 33' 59''$  شرقی (شکل ۲) به ضخامت ۷۸۰ متر برداشت شد که ۶۰ متر ابتدائی آن را یک واحد دولومیتی تشکیل می‌دهد (شکل ۳). در این پژوهش، تعداد ۴۵ مقطع نازک از دولومیت‌ها پس از رنگ آمیزی با محلول آلزارین قرمز و فرو سیانید پتاسیم [۱۲، ۱۳] به منظور جدایش کلسیت، دولومیت و کربنات‌های آهن‌دار به دقت بررسی شدند. رده بندی دولومیت‌ها بر مبنای تغییرات سنگ‌نگاری (اندازه، شکل و

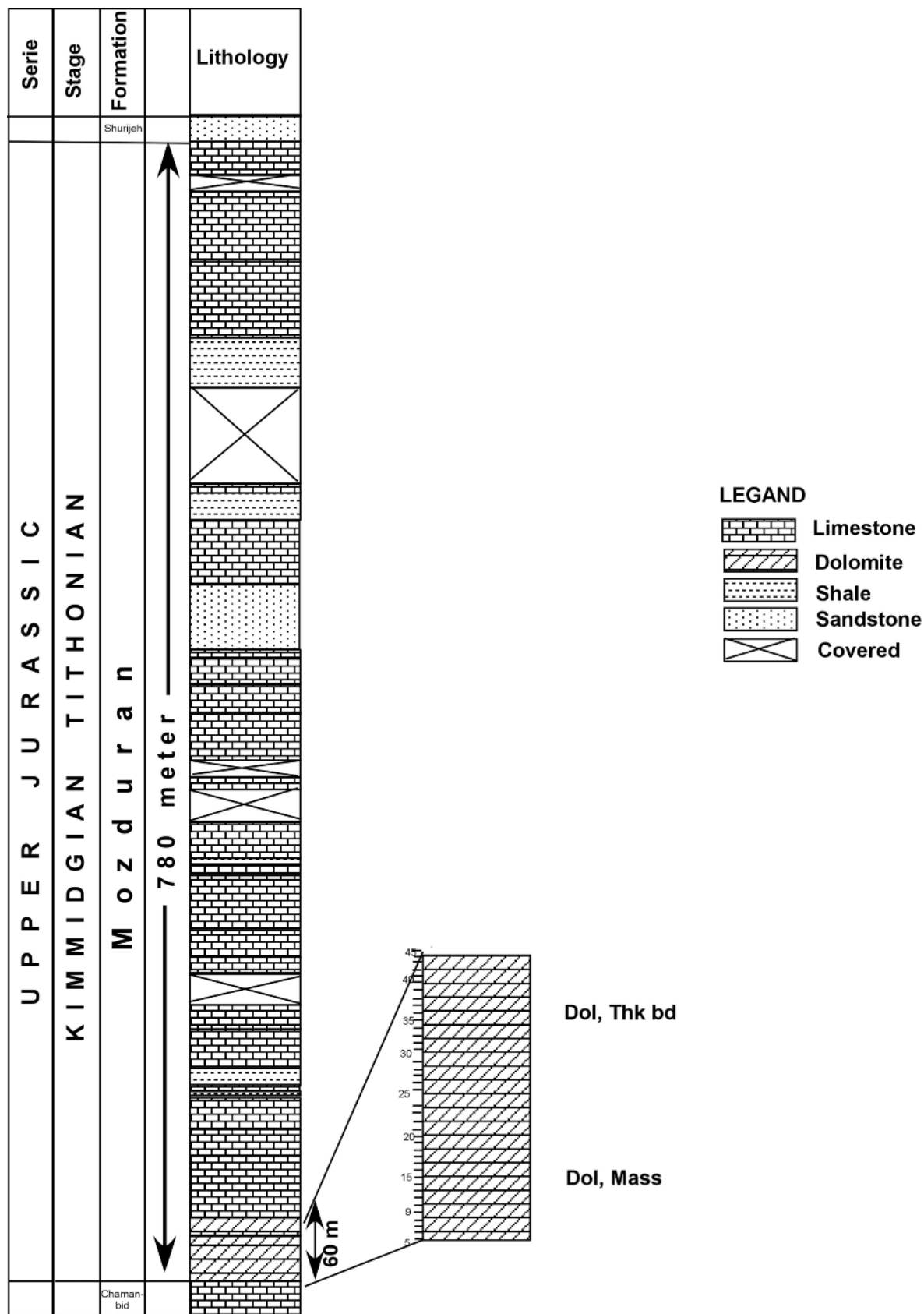
مرز بین بلورها) [۱۴] و ژئوشیمی صورت گرفته. به منظور بررسی دقیق تر دولومیت‌ها و بررسی روابط بافتی آن‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مجهز به EDS مدل Leo1450vp با حداکثر ولتاژ 35kv در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. تعداد ۲۰ نمونه از دولومیت‌های سازند مزدوران در ۱ مول HCl به مدت ۲ ساعت حل شد و سپس با بنیاب سنج جذب اتمی نوع Shimadzu AA-670/670G برای تعیین میزان عناصر Ca, Mg, Sr, Mn, Fe در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد آنالیز شده است (جدول ۱).



شکل ۱ تصویر صحرائی از برخوردگاه تحتانی بخش دولومیتی سازند مزدوران با سنگ‌های کربناتی چمن بید (Im2) (نگاه به سوی شمال).



شکل ۲ موقعیت جغرافیائی منطقه‌ی مورد بررسی.



شکل ۳ ستون چینه‌شناسی سازند مزدوران در برش بقمج که موقعیت نمونه‌ها در بخش دولومیتی تحتانی مشخص شده است.

جدول ۱ آنالیز ایزوتوپی و عنصری انواع دولومیت‌ها در ناحیه‌ی مورد بررسی.

Sample	Ca%	Mg%	Sr (ppm)	Fe (ppm)	Mn(ppm)	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Type
Mb-۴						-۵٫۷	۰٫۲	D <sub>P1</sub>
Mb-۹	۳۲٫۹	۹٫۸۵	۱۱۶	۱۸۵۰	۷۳	-۶٫۶	۲٫۷	D <sub>P1</sub>
Mb-۱۰	۳۲٫۶	۹٫۴	۱۷۹	۱۷۱۲	۵۰	-۶٫۱	۳	D <sub>P1</sub>
Mb-۲۴	۳۱٫۷	۱۰٫۵	۱۰۳	۹۳۸	۵۲	-۸٫۱	۲٫۴	D <sub>P2</sub>
Mb-۲۶	۳۴٫۲	۱۱٫۸	۸۷	۶۱۰	۴۶	-۷٫۲	۲٫۷	D <sub>P2</sub>
Mb-۲۷	۳۱٫۸	۱۱	۸۱	۶۷۰	۵۲	-۷	۲٫۵	D <sub>P2</sub>
Mb-۲۷ S	۳۲٫۸	۱۱	۷۵	۸۰۶	۷۳	-۷٫۱	۲٫۶	D <sub>P3</sub>
Mb-۲۸	۳۰٫۷	۱۰٫۲۵	۷۱	۹۳۰	۶۴	-۷	۲٫۸	D <sub>P2</sub>
Mb-۲۹	۳۲٫۶	۱۱٫۳	۸۴	۱۰۷۵	۶۰	-۷٫۹	۲٫۷	D <sub>P2</sub>
Mb-۲۹ S	۳۲٫۱	۱۱٫۹	۷۸	۸۱۰	۸۰	-۹٫۸	۲٫۷	D <sub>P3</sub>
Mb-۳۰	۳۱	۱۰٫۵	۶۴	۴۱۲	۴۴	-۷٫۱	۲٫۷	D <sub>P2</sub>
Mb-۳۱	۳۲٫۵	۱۰٫۵	۵۵	۶۹۹	۵۹	-۶٫۹	۲٫۸	D <sub>P2</sub>
M-۴	۳۳٫۲	۹٫۲	۱۰۰	۴۸۰	۵۰	-۷٫۸	۲٫۲	D <sub>P1</sub>
M-۵	۳۰٫۲	۱۲٫۲۵	۱۰۰٫۶۵	۹۰	۴۶٫۷	-۷	۲٫۶	D <sub>P2</sub>
M-۶	۳۲٫۱	۱۱٫۱	۷۵	۷۰	۹۲٫۴۸	-۷٫۱	۲٫۳	D <sub>P2</sub>
M-۷	۳۳٫۸	۹٫۵	۸۶	۶۰	۵۰	-۶٫۲	۲٫۶	D <sub>P1</sub>
M-۸	۳۲٫۲	۱۱٫۸	۲۰	۷۷۰	۷۰	-۶٫۸	۲٫۶	D <sub>P2</sub>
M-۹	۳۲٫۴	۱۰	۷۰	۱۶۰	۵۰٫۷			D <sub>P2</sub>
M-۱۰	۳۲٫۷	۱۲٫۵۵	۳۰	۶۴۰	۱۰۰	-۶٫۵	۲٫۷	D <sub>P2</sub>
M-۱۱	۳۱٫۱	۱۲٫۴	۸	۱۰۰	۴۶٫۹	-۷٫۳	۲٫۴	D <sub>P2</sub>
M-۱۲S	۳۱٫۸	۱۱٫۳۵	۷۹	۱۰۰	۳۰	-۸٫۱	-۰٫۰۴	D <sub>P3</sub>

### دولومیت‌های با بافت انتخابی (Fabric selective dolomites):

دولومیت‌ها در این نوع به صورت انتخابی جانشین برخی از دانه‌های اسکلتی و غیر اسکلتی نظیر اکینودرم، بریوزوئر، براکیوپود و ائید شده‌اند و یا عمل جانشینی فقط در زمینه رخ داده است. این دولومیت‌ها دارای بلورهای xenotopic تا hypidiotopic بوده و مرز آن‌ها نیمه مسطح است. اندازه بلورها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون در تغییرند (شکل ۴ الف تا پ).

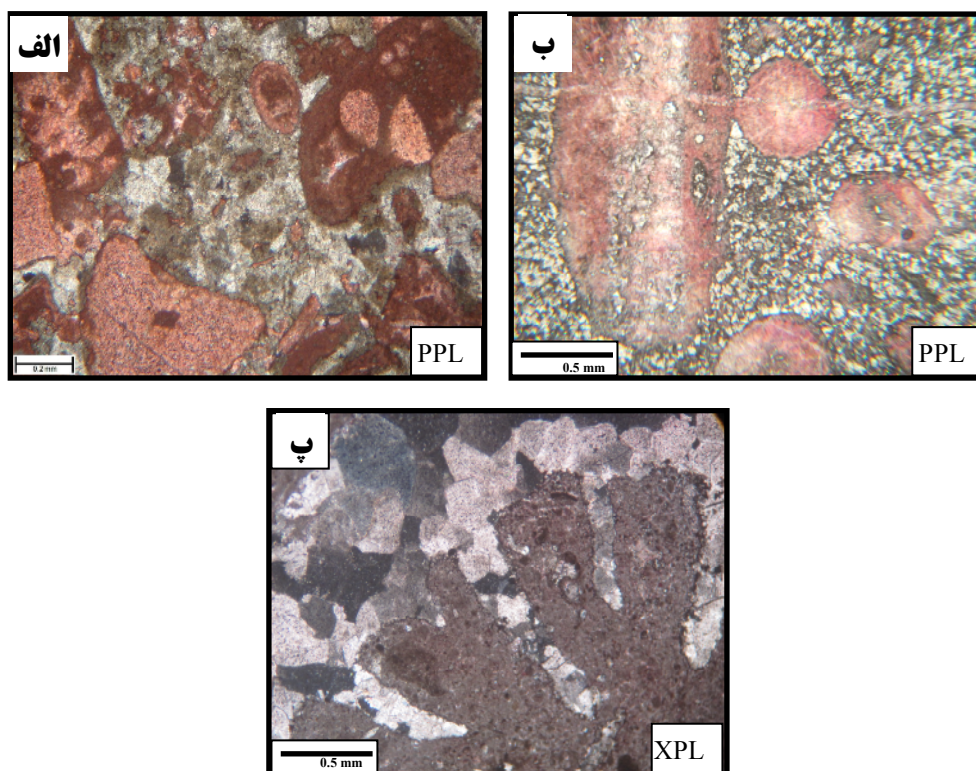
**دولومیت‌های فراگیر (Pervasive dolomites):** این دولومیت‌ها زمینه و دانه‌های آهکی را تحت تاثیر قرار داده و جانشینی به صورت فراگیر است. این گروه بر اساس ویژگی‌های بافتی به سه دسته تقسیم می‌شود:

**نوع اول (دولومیت ریز تا متوسط بلور D<sub>P1</sub>):** این دولومیت‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری تیره و در نمونه‌ی میکروسکوپی به صورت بلورهای متراکم مشاهده می‌شوند که دارای بافت xenotopic تا idiotopic با مرزهای مسطح تا نیمه مسطح بوده و در اندازه‌های ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون در تغییرند (شکل ۵ الف تا ت). در بخش‌هایی از این نوع دولومیت‌ها اندازه بلورها در اثر تبلور دوباره به بلورهای درشت‌تر تغییر یافته است.

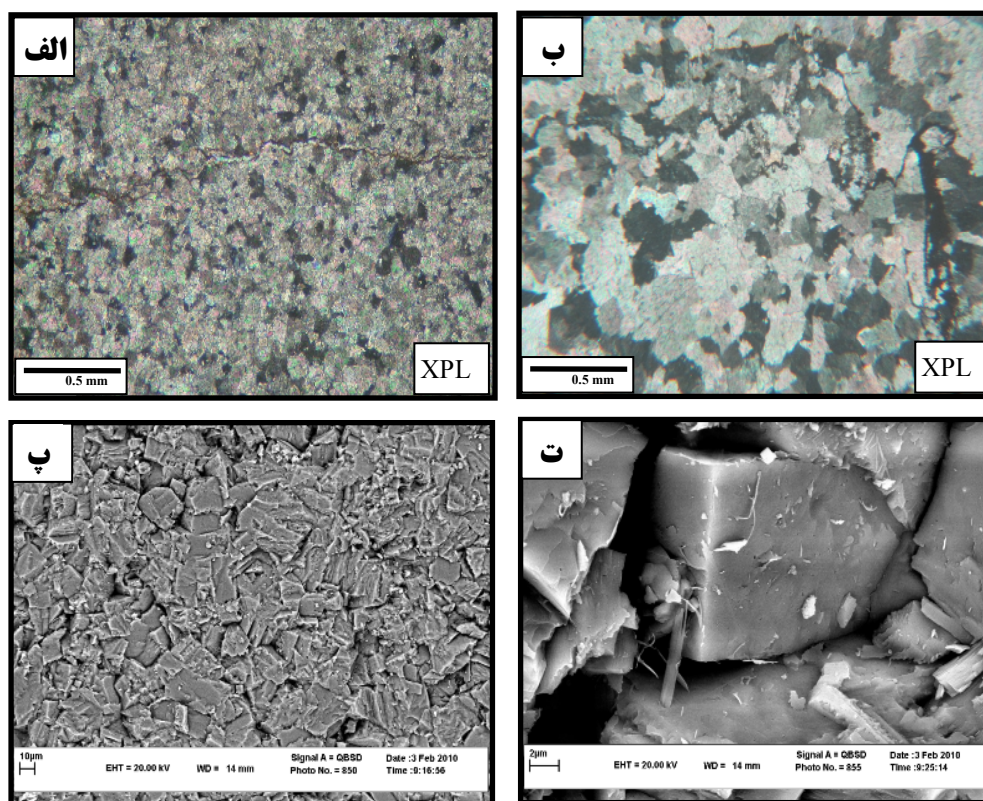
از طرف دیگر تعداد ۲۰ نمونه دولومیت به صورت پودر شده برای بررسی ایزوتوپی کربن و اکسیژن به آزمایشگاه مرکزی دانشکده‌ی علوم دانشگاه توکیو-ژاپن ارسال شدند که با بیناب سنج جرمی مدل MAT 252 مورد بررسی قرار گرفتند. در این کار نخست ۲۰ میلی گرم از پودر نمونه‌ها، به مدت ۲۴ ساعت تحت تاثیر اسید فسفریک در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد قرار گرفتند تا از گاز CO<sub>2</sub> متصاعد شده، نسبت ایزوتوپی اندازه-گیری و با نمونه‌های استاندارد (VPDB) مقایسه شوند (جدول ۱). به علاوه، نمونه‌های دولومیتی با میکروسکوپ کاندولومینسانس در آزمایشگاه رسوب‌شناسی دانشگاه مشهد مورد بررسی قرار گرفتند.

### سنگ نگاری

بخش دولومیتی سازند مزدوران در منطقه‌ی مورد بررسی از لایه‌های دولومیتی متوسط لایه تا توده‌ای تشکیل شده است. این دولومیت‌ها بافت‌های متنوعی را نشان می‌دهند که بیانگر تشکیل آن‌ها در شرایط مختلف است. بر اساس اینکه دولومیت-ها به شکل جانشینی یا به صورت سیمان و پرکننده‌ی فضای خالی دیده شده‌اند به دو گروه اصلی زیر تقسیم شده‌اند:



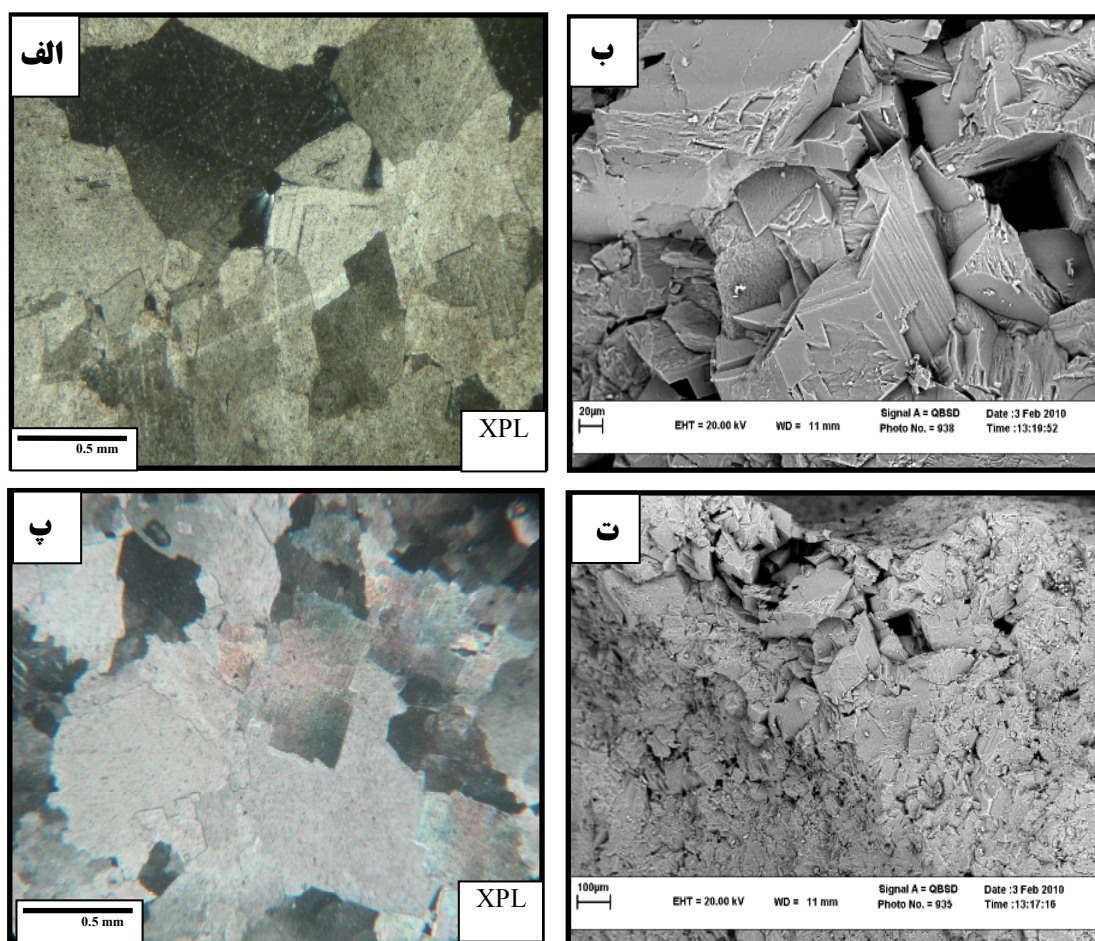
شکل ۴ دولومیت‌های با بافت انتخابی. الف و ب) عمل جانشینی دولومیت به طور انتخابی در زمینه صورت گرفته است پ) جانشینی در خرده‌های اسکلتی (بریزوئتر) ایجاد شده است .



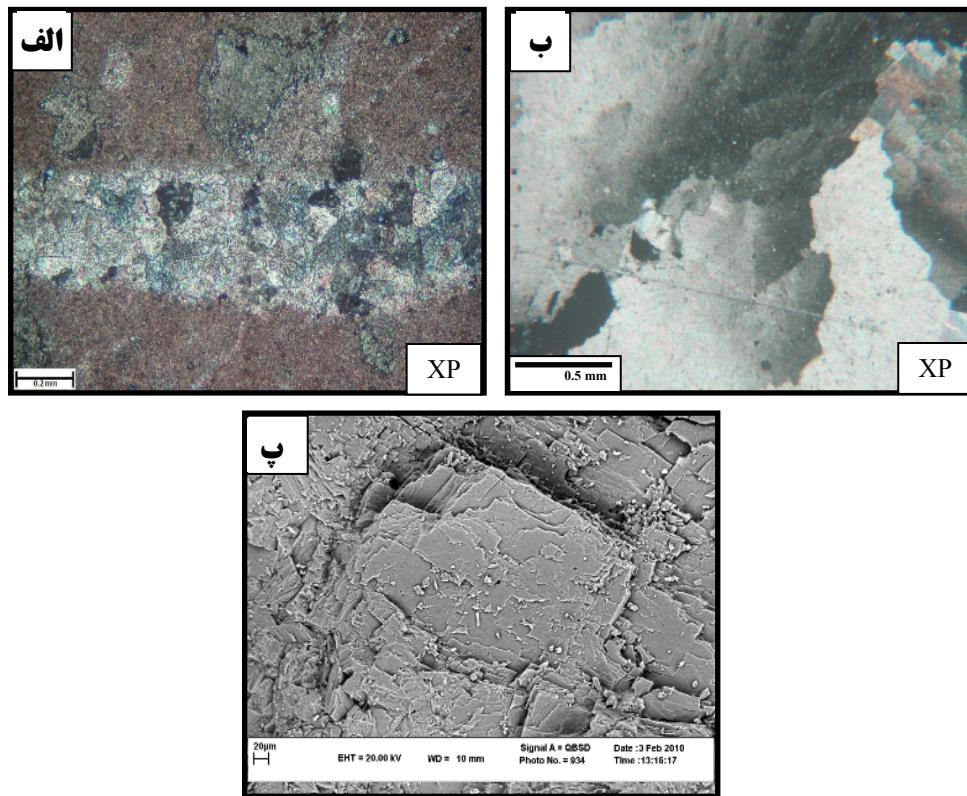
شکل ۵ دولومیت‌های فراگیر نوع اول (DP1). الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از دولومیت ریز تا متوسط بلور با مرزهای مسطح نیمه شکل‌دار (پ) تصویر SEM که مرز مسطح و وجود تخلخل را نشان می‌دهد (ت) نمای نزدیک از تصویر پ.

دولومیت شبحی از دانه‌های آهکی شامل اکینودرم و ائید نیز مشاهده می‌شود که به‌نظر می‌رسد رخساره اولیه آن‌ها bioclast packstone یا bioclast wackestone بوده است. نوع سوم (سیمان دولومیتی  $DP_3$ ): این نوع دولومیت در نمونه‌ی دستی نسبت به دولومیت‌های دیگر روشن‌تر است. در نمونه‌ی میکروسکوپی به‌صورت پرکننده‌ی فضاهای خالی، رگه‌ها و شکستگی‌ها دیده می‌شود (شکل ۷ الف). اندازه‌ی بلورهای دولومیت بین ۳۰۰ میکرون تا حدود ۱ سانتیمتر در تغییر است که بستگی به اندازه‌ی فضاهای خالی موجود داشته و اغلب از بلورهای نیمه شکل‌دار با مرز نامسطح تشکیل شده‌اند. این سیمان‌ها گاه به‌صورت زین اسبی (saddle) دیده می‌شوند که سطوح بلوری آن‌ها به‌صورت خمیده و دارای خاموشی موجی است (شکل ۷ ب) [۱۵].

نوع دوم (دولومیت درشت بلور  $DP_2$ ): این نوع دولومیت‌ها از فراوانترین انواع دولومیت در سازند مزدوران است که به‌صورت مخرب (fabric destructive) باعث از بین رفتن بافت اولیه‌ی سنگ شده و به‌صورت فراگیر کل زمینه را در بر گرفته است به‌طوری‌که تمام اجزای سنگ کاملاً دولومیتی شده‌اند (شکل ۶). این نوع دولومیت در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری روشن و از نظر سنگ نگاری بیشتر به‌صورت بلورهای متراکم با بافت idiopathic تا xenotopic با سطوح planar-e تا planar-s دیده می‌شود (شکل ۶ الف و ب). مرز برخی بلورها به‌صورت غیرمسطح و به شکل‌های خمیده و نامنظم نیز مشاهده می‌شوند (شکل ۶ پ و ت). رومبوئیدرهای دولومیت معمولاً در اندازه‌های متفاوت وجود دارند (بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میکرون). تخلخل در این دولومیت‌ها از نوع ریز تخلخل است و گاه منطقه‌بندی در آن‌ها به‌خوبی مشاهده می‌شود. در این نوع



شکل ۶ دولومیت‌های فراگیر نوع دوم ( $DP_2$ ). الف) بلورهای درشت هم‌اندازه با مرزهای بلورین سازشی و وجود منطقه‌بندی در لوز و جهی‌ها، ب) تصویر SEM، وجود منطقه‌بندی در دولومیت را نشان می‌دهد پ) بلورهای درشت دولومیت با حواشی نامسطح و ت) تصویر SEM از بلورهای دولومیت که تخلخل بین بلوری را نشان می‌دهد



شکل ۷ دولومیت‌های فراگیر نوع سوم (DP3). الف) بلورهای دولومیت که به صورت سیمان فضاهای خالی را پر کرده‌اند، ب) دولومیت زین آسی (saddle) که بافت غیر مسطح داشته و حاکی از تشکیل در دمای بالاتر از دمای بحرانی است و پ) تصویر SEM از دولومیت نوع سوم.

### ژئوشیمی

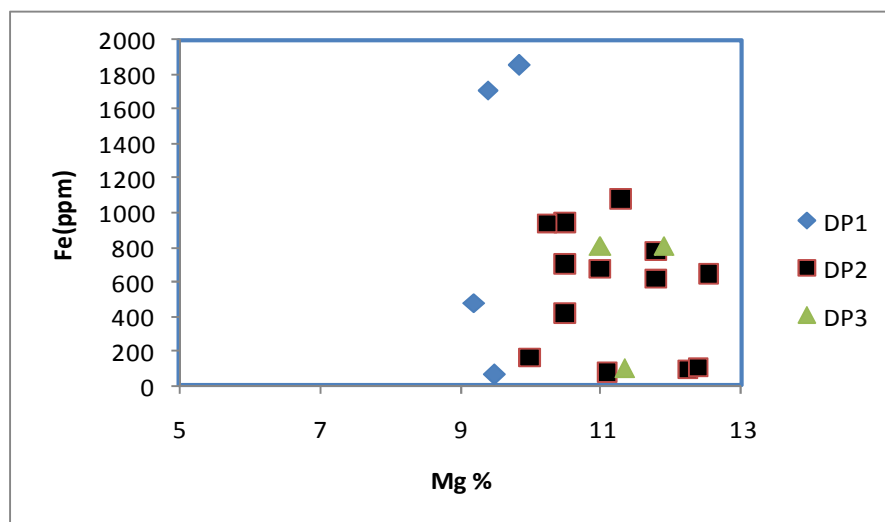
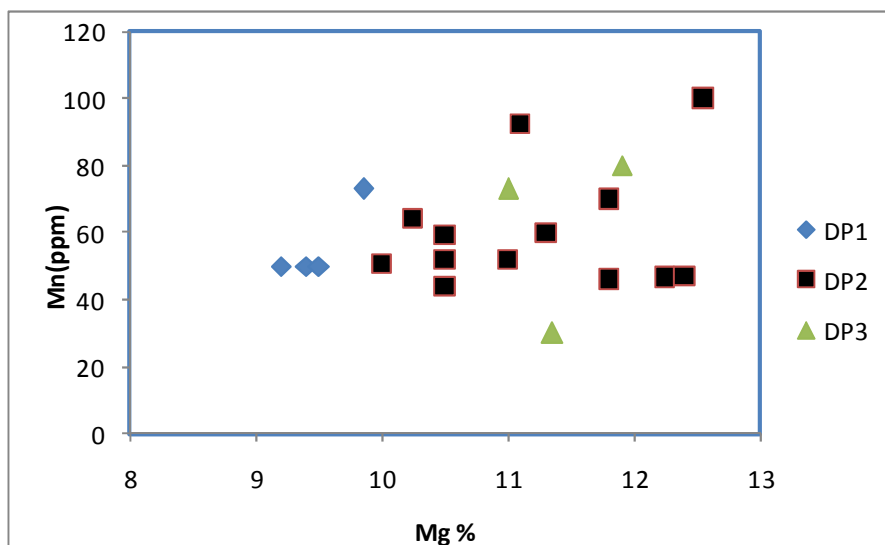
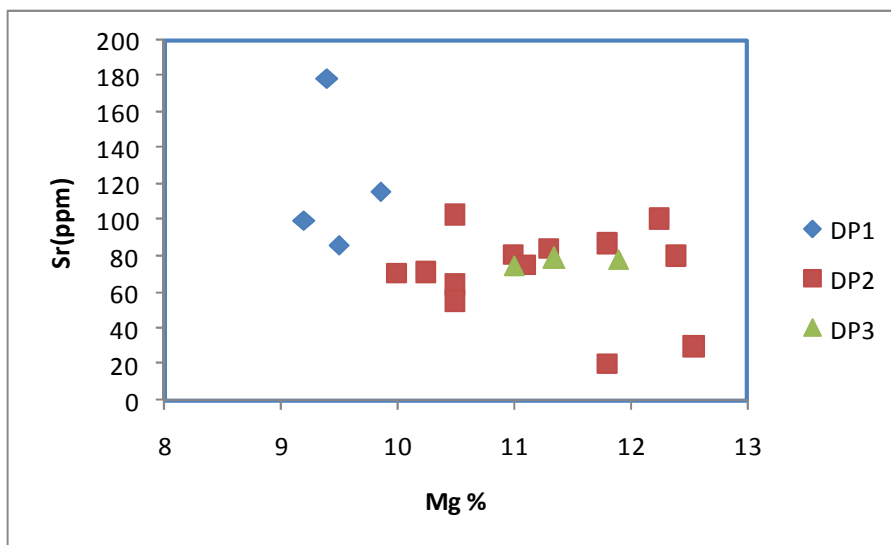
بر مبنای نتایج سنگ نگاری به دست آمده و شناسائی انواع مختلف دولومیت‌ها در ناحیه مورد بررسی، آنالیز عنصری (Mg, Ca, Sr, Mn, Fe) و ایزوتوپی ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) نیز صورت گرفته است (جدول ۱).

آنالیز عنصری نشان می‌دهد که میزان منیزیم از ۹ تا ۱۲/۵ درصد در تغییر است که این مقدار در دولومیت نوع اول کمترین مقدار (۹٪) و در دولومیت نوع سوم بیشترین مقدار (۱۲/۵٪) است (جدول ۱). میزان درصد کلسیم در این دولومیت‌ها نیز از ۳۰ تا ۳۴ درصد در تغییر است.

میزان استرانسیوم کمتر از سنگ‌های آهکی [۱۶] بوده و از حدود ۲۰ تا ۱۷۹ ppm (میانگین ۸۶ ppm) در تغییر است. پائین بودن میزان استرانسیوم در دولومیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی نسبت به سنگ آهک به علت ضریب توزیع کمتر استرانسیوم در دولومیت‌هاست [۱۷، ۱۸] زیرا استرانسیوم جانشین کلسیم شده و از آنجا که مقدار کلسیم در دولومیت نصف کلسیت است، میزان استرانسیوم در دولومیت نیز کمتر از کلسیت است. میزان استرانسیوم در دولومیت نوع اول تا سوم

به ترتیب ۱۱۵، ۶۸ و ۷۰ ppm است. نمودار پراکندگی استرانسیوم نسبت به منیزیم نشان می‌دهد که مقدار استرانسیوم با افزایش منیزیم کاهش می‌یابد (شکل ۸). میزان Mn در دولومیت‌های مورد بررسی در مقایسه با سنگ آهک-های مزدوران بیشتر است [۱۶] و در حدود ۳۰ تا ۱۰۰ ppm (میانگین ۶۴ ppm) در تغییر است که میانگین آن در نوع اول تا سوم به ترتیب ۵۰، ۸۰، ۷۰ ppm در تغییر است. نمودار مقدار پراکندگی Mn نسبت به منیزیم نشان می‌دهد که میزان Mn با افزایش منیزیم افزایش می‌یابد و ارتباط مستقیمی با یکدیگر دارند (شکل ۸). میزان Fe در دولومیت‌های سازند مزدوران بین ۶۰ تا ۱۸۵۰ ppm در تغییر است که همانند Mn دارای ارتباط مستقیمی با Mg است (شکل ۸).

آنالیز ایزوتوپی نشان می‌دهد که دامنه‌ی تغییرات  $\delta^{18}\text{O}$  در دولومیت‌های مزدوران بین -۵ تا -۱۰ در هزار PDB در تغییر است به طوری که نوع سوم دارای سبکترین مقدار است. میزان  $\delta^{13}\text{C}$  در دولومیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی دامنه تغییرات پائینی را نسبت به ایزوتوپ اکسیژن نشان می‌دهد که بین -۰/۴ تا ۲/۸ است (جدول ۱).



شکل ۸ تغییرات مقادیر Sr, Mn, Fe نسبت به Mg



## دمای تشکیل دولومیت

برای تعیین دمای تشکیل دولومیت از معادله فریدمن و انیل [۱۹] استفاده شده است:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{dol}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (3.2 * 10^6 / T^2) - 1.5$$

در این معادله  $\delta^{18}\text{O}_{\text{dol}}$  مقدار ایزوتوپ اکسیژن دولومیت بر حسب PDB،  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  مقدار ایزوتوپ اکسیژن آب در زمان ژوراسیک بر حسب SMOW و T دمای تشکیل بر حسب درجه‌ی کلون است.

اگر مقدار ایزوتوپ اکسیژن انواع دولومیت‌های ناحیه‌ی مورد بررسی با استفاده از معادله‌ی بالا محاسبه شود، دولومیت‌های نوع اول  $58^\circ\text{C}$ ، دولومیت نوع دوم  $64^\circ\text{C}$  و دولومیت نوع سوم  $80^\circ\text{C}$  سانتی‌گراد به دست خواهد آمد.

## بحث و بررسی

با توجه به تلفیق داده‌های سنگ‌نگاری و ژئوشیمی، شرایط تشکیل انواع دولومیت‌های ناحیه‌ی مورد بررسی به شرح زیر است:

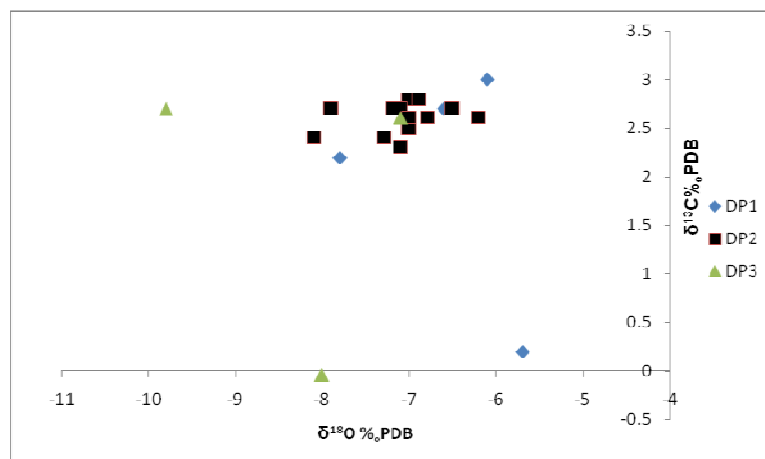
**دولومیت‌های با بافت انتخابی:** سیلی و گرگ (۱۹۸۷) فرایندهای مختلفی برای تشکیل این نوع دولومیت‌ها ارائه کرده‌اند. اگر محلول دولومیت ساز ابر اشباع نباشد، زمینه می‌تواند دولومیتی شود ولی فسیل‌ها دولومیتی نشده باقی می‌ماند (شکل ۴ الف). اگر زمینه گلی اولیه آراگونیتی، و فسیل‌ها کلسیتی باشند، دولومیت می‌تواند به‌طور انتخابی در زمینه آراگونیتی هسته‌زائی کند که این نظر در دولومیت‌های مزدوران به دلیل کانی‌شناسی اولیه مخلوط آراگونیت-کلسیت [۱۶،۲۰] محتمل‌تر است.

**دولومیت‌های فراگیر نوع اول (DP1):** با توجه به اندازه‌ی نسبتاً ریز و نیمه شکل‌دار بودن بلورها، بالا بودن میزان Sr (میانگین  $150\text{ ppm}$ ) و پائین بودن نسبی میزان Mn ( $50\text{ ppm}$ )، این نوع

دولومیت در شرایط دفن کم عمق تشکیل شده‌اند. درصد منیزیم و کلسیم نشان می‌دهد که این دولومیت به‌صورت ناپایدار و ناریخت شناخت بوده که این حالت بیانگر کاهش نسبت Mg/Ca طی تشکیل است [۲۱]. وجود دولومیت همراه با استیلولیت نیز این شرایط را تأیید می‌کند.

بالا بودن میزان استرانسیوم در این دولومیت‌ها نشان می‌دهد که محلول‌های منفذی دارای میزان Sr/Ca بیشتری در مقایسه با آب دریا هستند. این شرایط را می‌توان به ترکیب کانی‌شناسی اولیه‌ی آراگونیت-کلسیت طی ژوراسیک [۱۶] نسبت داد. در این نوع دولومیت میزان  $\delta^{18}\text{O}$  نسبت به دولومیت‌ها دیگر در ناحیه‌ی مورد بررسی سنگین‌تر و به‌طور متوسط  $6\text{‰}$  PDB است [۲۲]. دامنه‌ی کم تغییرات  $\delta^{13}\text{C}$  در دولومیت‌های منطقه نشان می‌دهد که آب‌های آسمانی نقش موثری در تشکیل آن‌ها نداشته‌اند (شکل ۹). به دلیل پائین بودن میزان منگنز، در این نمونه‌ها لومینسانسی مشاهده نمی‌شود. دمای تشکیل این دولومیت  $58^\circ\text{C}$  محاسبه شده است.

**دولومیت‌های فراگیر نوع دوم (DP2):** تشکیل این دولومیت‌ها زمانی رخ داده است که میزان اشباع شدگی شاره دولومیت ساز بالا بوده است. افزایش اندازه‌ی بلورها با بافت xenotopic و نیز در بخش‌هایی وجود منطقه بندی، نشان می‌دهد که این دولومیت‌ها تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند [۲۲]. رشد بلورهای بی‌شکل در این نوع دولومیت‌ها به دمای تشکیل آن‌ها نیز ارتباط دارد [۲۲]. در دمای بالاتر از دمای بحرانی (بالاتر از  $60^\circ\text{C}$  درجه‌ی سانتیگراد)، اتم‌ها به‌طور گستره‌ای به سطح بلورها اضافه شده و باعث می‌شود که وجوه بلورها تشکیل نشود و در نتیجه بافت حاصل به شکل موزائیک‌های درگیر شده و بلورهای بی‌شکل در آید [۲۲].



شکل ۹ ترسیم مقادیر  $\delta^{18}\text{O}$  در مقابل  $\delta^{13}\text{C}$  در انواع دولومیت‌ها.

سبک‌ترین میزان  $\delta^{18}\text{O}$  (PDB)  $-9.8\%$  برخوردارند که می‌تواند به علت افزایش دما همزمان با افزایش عمق تدفین است. در این دولومیتها Sr کمترین مقدار (۷۵ ppm) در حالی که Mn (۷۰ ppm) بیشترین مقدار را نسبت به دولومیت‌های دیگر داراست. به‌طور کلی بر اساس بررسی‌های که با میکروسکوپ کاتدولومینسانس در انواع دولومیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی انجام شد هیچ‌گونه نورافشانی در این دولومیت‌ها مشاهده نمی‌شود که می‌تواند بالا بودن میزان Fe و نیز بالا بودن عمق تدفین باشد.

#### خاستگاه منیزیم

خاستگاه منیزیم مورد نیاز برای انواع دولومیت‌های ناحیه مورد بررسی می‌تواند از راه‌های مختلف شکل گرفته باشد. آب دریا، انحلال کلسیت دارای منیزیم بالا طی تدفین [۶،۲۸]، دیاژنز کانی‌های رسی در شیل‌های سازند زیرین [۱۰،۲۹] و شورابه‌های حوضه‌ای [۷،۳۰] از مواردی است که می‌تواند در تشکیل این دولومیت‌ها نقش مهمی داشته باشد. از آنجا که شیل‌های سازند چمن بید از مقدار بالایی کانی رسی برخوردار است، تبدیل اسمکتیت به ایلیت طی تدفین یکی از محتملترین منابع تامین منیزیم در تشکیل دولومیت‌های ناحیه‌ی مورد بررسی است. بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM, EDS) وجود کانی‌های رسی در بین بلورهای دولومیت را تایید می‌کند که موید خاستگاه منیزیم برای دولومیتی شدن است (شکل ۱۰ الف-ب).

#### برداشت

دولومیت‌های بخش تحتانی سازند مزدوران در شمال شرق چناران بیشتر به‌صورت جانیشینی انتخابی و یا فراگیر تشکیل شده‌اند. نوع فراگیر شامل دولومیت‌های (۱) ریز تا متوسط بلور با سنگینترین مقدار ایزوتوپ اکسیژن (۲) درشت بلور با مقدار ایزوتوپ اکسیژن سبکتر نسبت به نوع اول و (۳) در نهایت ته نشینی به‌طور مستقیم در فضاهای خالی که تشکیل بلورهای درشت دولومیت را داده است و نتیجه‌ی تشکیل در دمای بالاتر از  $80^\circ\text{C}$  است که این نوع دولومیت کمترین میزان ایزوتوپ اکسیژن را داراست. تنوع این دولومیت‌ها بر اساس تغییر در شکل، اندازه و مرزهای بلوری است که بیانگر تشکیل در شرایط دیاژنز و عمق تدفین متفاوت است.

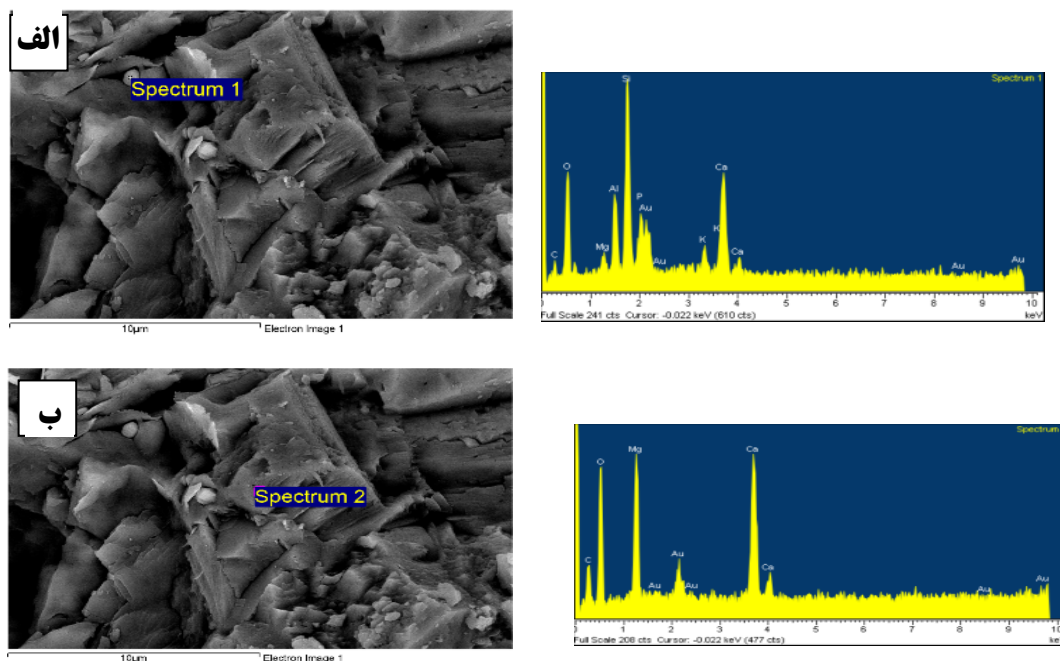
بررسی‌ها نشان می‌دهد که بافت درشت دانه غیرمسطح و بی‌شکل، بر اثر جانیشینی سنگ آهک‌های اولیه در دمای بالاتر از  $60^\circ\text{C}$  درجه‌ی سانتی‌گراد [۲۳] و در شرایط تدفین کم عمق طی فرونشینی تشکیل شده‌اند. میزان درصد Mg و Ca در این نوع دولومیت به ترتیب ۱۱ و ۳۲ درصد است که نشان می‌دهد روند دولومیتی شدن به سمت پایداری و حالت ریخت‌شناخت است [۲۴].

در این نوع دولومیت میزان درصد Ca کمتر و میزان درصد Mg بیشتر از نوع اول است. میزان ایزوتوپ اکسیژن با درصد Ca ارتباط مثبت و با درصد Mg ارتباط وارون نشان می‌دهد که موید پایدار شدن این دولومیت‌ها طی تدفین است [۱۵]. میزان  $\delta^{18}\text{O}$  در این نوع دولومیت در حدود میانگین PDB  $-7.8\%$  است که نسبت به انواع قبلی کاهش یافته است. سبک شدن ایزوتوپ اکسیژن می‌تواند به دلیل تغییرات دیاژنتیکی (تبلور دوباره و یا نئومورفیسم) دولومیت‌های نوع اول در طی تدفین در عمق بیشتر باشد.

$\delta^{13}\text{C}$  در این دولومیت‌ها تغییرات کمتری را نشان می‌دهد که حاکی از این است که میزان  $\delta^{13}\text{C}$  طی تدفین کمتر تغییر می‌کند. به‌طور کلی ایزوتوپ کربن بر خلاف ایزوتوپ اکسیژن هنگام تدفین تغییرات کمی دارد.

در این نوع دولومیت میزان Sr نسبت به نوع قبلی کاهش یافته (۹۰ ppm) و میزان منگنز افزایش یافته است که این حالت را می‌توان در ارتباط با شرایط احیائی و محیط تدفینی دانست. در این دولومیت‌ها نیز به‌دلیل دفن عمیق و شرایط احیائی بالا هیچ نورفشانی مشاهده نشده است. دمای محاسبه شده برای تشکیل این نوع دولومیت  $64^\circ\text{C}$  درجه‌ی سانتیگراد است. بنابراین شواهد وجود تبلور دوباره طی تدفین در این نوع دولومیت را می‌توان با افزایش در اندازه‌ی بلورها، سبک شدن میزان  $\delta^{18}\text{O}$ ، کاهش در میزان Sr و افزایش در میزان Mn نشان داد.

**دولومیت نوع سوم (Dp3):** سیمان‌های دولومیتی معمولاً آخرین نسل تشکیل دولومیت‌ها هستند به‌طوری که هیچ نوع شکل‌های جانیشینی دوباره در آن‌ها دیده نمی‌شود [۲۵]. این نوع دولومیت‌ها که دارای بافت زئوتوپیک با مرزهای بلورین نامنظم است، در دمای بالای  $80^\circ\text{C}$  و حتی گاه بیش از  $100^\circ\text{C}$  درجه‌ی سانتیگراد تشکیل می‌شود [۲۶،۲۷]. دولومیت نوع سوم از



شکل ۱۰ الف) تصاویر SEM و آنالیز EDS از بلور دولومیت. ب) تصاویر SEM و آنالیز EDS از حضور کانی رسی (اسمکتیت) در زمینه‌ی دولومیت را نشان می‌دهد

*sequence interpretation of diagenesis in mixed siliciclastic-carbonate sediments: Mozduran Formation (Upper Jurassic), south of Agh-Darband, NE Iran*, Carbonates and Evaporites 25 (2010) 231-246.

[۴] ترشیزیان ح، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چناران"،

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۱)

[۵] افشار حرب ع، "زمین شناسی کپه داغ"، انتشارات سازمان

زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۳) ۲۷۵ صفحه

[6] Warren J., "Dolomite: occurrence, evolution and economically important Associations", Earth-Science Reviews 52 (2000) 1-81.

[7] Qing H., Bosence W. J., Rose E., "Dolomitization by penesaline sea water in Early Jurassic peritidal platform carbonates, Gibraltar, western Mediterranean", Sedimentology 48 (2001) 153-163.

[8] Schimidt M., Xeflide S., Botz R., Mann S., "Oxygen isotope fractionation during synthesis of Ca Mg-carbonate and implication for sedimentary dolomite formation", Geochemica et Cosmochemica Acta 69 (2005) 4665-4674.

[9] Dill G.H., Wehner H., Kus J., Botz R., Berner Z., Stuben D., Al-Sayigh A., "The Eocene Rusayl Formation, Oman, Carbonaceous rocks in calcareous shelf sediments: Environment of deposition, alteration and hydrocarbon potential",

چندین خاستگاه برای منیزیم مورد نیاز جهت دولومیتی شدن در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از (۱) منیزیم موجود در آب دریا (۲) منیزیم حاصل از تبدیل HMC به LMC (۳) منیزیم حاصل از دیاژنز کانی‌های رسی در شیل‌ها که در بخش پائینی (سازند چمن بید) این دولومیت‌ها قرار دارد و (۴) شورابه‌های حوضه‌ای عوامل مهم کنترل کننده‌ی این فرایندها به احتمال زیاد می‌توان کانی اولیه‌ی اجزای آهکی، اندازه‌ی بلورهای آن‌ها، زمان دولومیتی شدن و ماهیت شاره‌های دولومیتی کننده نام برد.

#### مراجع

- [1] Adabi M.H., Rao C.P., *Petrographic and geochemical evidence of original mineralogy of Upper Jurassic carbonate (Mozduran Formation), Sarakhs Area, Iran*, Sedimentary Geology 72 (1991) 253-267.
- [2] Moussavi-Harami R., "Depositional history of Upper Jurassic (Oxfordian-Kimmeridgian) carbonates and evaporites in northeastern Iran", (abs.). In Proceedings of the 28th international Geological Congress, Washington DC (1989) 2471.
- [3] Mahboubi A., Moussavi-Harami R., Carpenter S. J., Aghaei A., Collins L. B., "Petrographical and geochemical evidences for paragenetic

بخش حوضه کپه داغ، نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۶۹ صفحه ۳۴)

- [21] Searl A., "Discontinuous solid solution in Car-rich dolomites: the evidence and implications for the interpretation of dolomite petrographic and geochemical data", In: Purser, B., Tucker, M., Zenger, D. (Eds.), Dolomites. A Volume. Honour of Dolomieu. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ. 21 (1994) 361-376.
- [22] Gregg, J.M., Shelton K.L., "Dolomitization and dolomite neomorphism in the back reef facies of the Bonnetterre and Davis Formations (Cambrian), southeastern Missouri", Journal of Sedimentary Petrology 60 (1990) 539-562.
- [23] Jackson K.A., Gilmer G.H., "Critical surface roughening: Farady discussions of the chemical Society", The Farady Division, Chemical Society, London 61 (1976) 53-62.
- [24] Tzen-Fu Yuia, Shou-Yeh Gong., "Stoichiometry effect on stable isotope analysis of dolomite", Chemical Geology 201 (2003) 359-368.
- [25] Al-Aasm I.S., Lonnee J., Clarke J., "Multiple fluid flow event and the formation of saddle dolomite: case studies from middle Devonian of Western Canada Sedimentary Basin", Marine and Petroleum Geology 19 (2007) 209-217.
- [26] Radke B.M., Mathis R.L., "On the formation and occurrence of saddle dolomite", Journal of Sedimentary Petrology 56 (1980) 1149-1168.
- [27] El-Saiy A.K., Jordan B.R., "Diagenetic aspects of Tertiary carbonates west of the northern Oman Mountains", United Arab Emirates: Journal of Asian Earth Science 31 (2007) 35-43.
- [28] Mukhopadhyay J., Chanda S.K., Fukuoka M., Chaudhuri A.K., "Deep-water dolomites from the protozoic Penganga Group in the Pranhita-Godavari Valley, Andhra Pradesh, India", Journal of Sedimentary Research 66 (1996) 223-230.
- [29] Sternbach C.A., Friedman G.M., "Ferroan carbonates formed at depth require porosity well-log correction: Hunton Group, Deep Anadarko Basin (Upper Ordovician to Lower Devonian) of Oklahoma and Texas. Transactions of Southwest Section", American Association of Petroleum Geologists Bulletin (1984) 167-173.
- [30] Qing H., Mountjoy E.W., "Multistage dolomitization in Rain bow buildups, Middle Devonian Keg River Formation, Alberta, Canada", Journal of Sedimentary Research 59 (1989) 114-126.
- International Journal of Coal Geology 72 (2007) 89-123.
- [10] Adabi M.H., "Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet-Dagh Basin, N.E. Iran", Carbonates and Evaporites 24 (2009) 16-32.
- [11] Tucker M.E., "Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy", In: V.P. Wright (ed), Sedimentology Review, Blackwell, Oxford (1993) 51-72.
- [12] Dickson J.A.D., "A modified staining technique for carbonates in thin section", Nature 205 (1965) 587.
- [13] Lindholm R.C., Finkleman "Calcite staining: semiquantitative determination of ferrous iron", Journal of Sedimentary Petrology 42 (1972) 239-242.
- [14] Sibley D.F., Gregg J.M., "Classification of dolomite rock textures", Journal of Sedimentary Research 57 (1987) 967-975.
- [15] Reinhold C., "Multiple episodes of dolomitization and dolomite recrystallization during shallow burial in Upper Jurassic shelf carbonates: eastern Swabian Alb, southern Germany", Journal of Sedimentary Research 121 (1998) 71-95.
- [۱۶] رفیق دوست ی.، موسوی حرمی ر.، محبوبی ا.، جوانبخت م.، "تاریخچه رسوبگذاری، ژئوشیمی و چینه نگاری سکانسی سازند مزدوران (ژوراسیک فوقانی) در شمال چناران (شمال شرق ایران)"، مجله پژوهش های علوم زمین. شماره ۱ (۱۳۸۷) صفحه ۲۳-۱.
- [17] Land L.S., "The isotopic and trace element geochemistry of dolomite: the state of the art. In: Zenger, D.H., Dunham, J.B., Ethington, R.L. Eds., Concepts and Models of Dolomitization", Society of Economic Paleontology and Mineralogy Special Publication 28 (1980) 87-110.
- [18] Veizer J., "Chemical Diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique: Stable Isotopes in Sedimentary Geology", Society of Economic Paleontology and Mineralogy Short Course, no.10 (1983) 03-1 to 3-100.
- [19] Friedman I., O'Neil J.R., "Complication of stable isotope fractionation factors of geochemical interest", in: M.Fleischer (ed.), Data of Geochemistry (6<sup>th</sup>ed.) U.S. Geological Survey. Profitional Paper. 440-KK (1977) 12 pp.
- [۲۰] آدابی م.، "مطالعه ایزوتوپ های کربن و اکسیژن و عنصر فرعی سنگ های آهکی سازند مزدوران واقع در شرقی ترین