

مقایسه مدل‌های دولومیتی‌شدن کربنات‌های تریاس-نئوکومین در خاور زاگرس بلند

علی حسین جلیلیان^۱

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۳

چکیده

سنگ‌های کربناته به‌خصوص دولومیت‌ها از رخساره‌های چیره توالی رسوبی مزوزوئیک زاگرس هستند و در بسیاری از میدان‌های نفت و گاز منطقه نقش مخزن را ایفا می‌کنند. به‌منظور آگاهی از نحوه عملکرد فرایندهای رسوبی و دیاژنتیکی در تشکیل دولومیت‌های تریاس تا نئوکومین بخش خاوری زاگرس بلند، در این تحقیق رخنمون‌های کربناته کوه خانه‌کت بررسی شده‌اند. داده‌های زمین‌شناسی، پتروگرافی و زمین‌شیمی به‌شناخت چهار مدل دولومیتی‌شدن در این کربنات‌ها منجر شد. دولومیت‌های تریاس-زیرین-میانی و ژوراسیک بالایی از لایه‌های ضخیم تا متوسط و بلورهای متوسط تا ریز نسبتاً منظم تشکیل شده‌اند. ترکیب ایده‌آل و نسبت ایزوتوپی اکسیژن سنگین ($1/25 - 3/20\%$ PDB) در کنار حضور چشمگیر تبخیری‌ها نشانه ارتباط این دولومیت‌ها با تغلیظ و فرونشست شورابه‌های تبخیری (مدل برگشتی) است. بخش دولومیتی تریاس بالایی زاگرس، شامل دولومیت‌های توده‌ای با بلورهای درشت و متوسط دارای ترکیب ایزوتوپی اکسیژن سبک ($2/35 - 8/10\%$ PDB) است. کانی‌شناسی و زمین‌شیمی این دولومیت‌ها حاکی از دمای نسبتاً زیاد محیط تشکیل و دخالت عوامل دیاژنتیک زیرسطحی از جمله تجدید تبلور در اعماق زمین (مدل دفنی) است. دولومیت‌های ژوراسیک زیرین غالباً ریزبلور هستند و نسبت ایزوتوپی اکسیژن سنگین ($2/20 - 2/61\%$ PDB) دارند. ساختمان‌های رسوبی اولیه نظیر لامیناسیون، ترک‌های گلی و فابریک چشم‌پرنده‌ای در این دولومیت‌ها حاصل فرایندهای رسوبی و دولومیتی‌شدن فراگیر ناشی از اقلیم گرم و خشک لیا در پهنه‌های کشتی (مدل سیخا) است. رسوب‌شناسی و زمین‌شیمی دولومیت‌های نئوکومین با انواع مربوط به تریاس و ژوراسیک تفاوت اساسی دارد که نشانه تغییر مدل تشکیل کربنات‌های این زمان است. حضور پراکنده دولومیت‌های کلسیم‌دار با ترکیب ایزوتوپی متوسط ($2/45 - 2/18\%$ PDB) و نبود معنادار تبخیری‌ها، نتیجه دولومیتی‌شدن از نوع دریایی (مدل دریایی) است. برخلاف دوره‌های تریاس و ژوراسیک، دولومیت‌های نئوکومین در اقلیم نسبتاً مرطوب کرتاسه پیشین و همزمان با بالا آمدن سطح آب دریا تشکیل شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: مدل، دولومیت، زاگرس، تریاس، ژوراسیک، نئوکومین

***نویسنده مسئول:** علی حسین جلیلیان

E-mail: jalilian@pnu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

در ارتباط با جنبه‌های گوناگون دولومیت‌ها از جمله، سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی و فرایندهای مؤثر در تشکیل آنها در مناطق مختلف جهان، مطالعات بسیار زیادی انجام شده‌است (e. g., Allan and Wiggins, 1993; Purser et al., 1994; Warren, 2000; Machel, 2004). یکی از موارد مهم در این زمینه، تغییر مدل دولومیتی‌شدن حاکم بر یک منطقه همزمان با مراحل مختلف تکامل حوضه رسوبی و ایجاد توالی‌های کربناته متفاوت با گذشت زمان است (Chen et al., 2004; Ronchi et al., 2010; Iannace et al., 2011). زاگرس یکی از بهترین نمونه‌هایی است که همه مراحل تکامل یک حوضه رسوبی اعم از فلات قاره غیرفعال (پالئوزویک) تا انشقاق و تشکیل کافت (Rift and drift phase) (مزوزویک) و مراحل متعدد چین‌خوردگی و گسلش همراه با برخورد صفحات (سنوزویک) را به نمایش می‌گذارد (Koop and Stoneley, 1982; Alavi, 2007). نتیجه این تحولات، تشکیل حدود ۱۲ کیلومتر رسوبات و نهشته‌سنگ‌های گوناگون به سن پرکامبرین پسین تا عهد حاضر است که با نام رشته‌کوه زاگرس شناخته می‌شود (Berberian and King, 1981; Alavi, 2007; Heydari, 2008). توالی رسوبی مزوزویک حوضه زاگرس از نهشته‌های عمدتاً تبخیری تریاس، کربنات‌های همراه با شیل و تبخیری‌های ژوراسیک و تناوب‌های شیلی-کربناته کرتاسه تشکیل شده‌است (James and Wynd, 1965; Setudehnia, 1978; Alavi, 2004). دولومیت یکی از سنگ‌های چیره این توالی رسوبی است که نقش بارزی در ایجاد مخازن نفت و گاز منطقه زاگرس و خلیج فارس دارد (Kashfi, 2000; Alsharhan and Naim, 2003; Ghazban, 2007). اغلب سنگ‌های مزوزویک زاگرس به‌خصوص تریاس و ژوراسیک در هسته تاقدیس‌های بلند و سخت‌گذر پروتزد دارند که دسترسی به آنها دشوار است؛ به‌همین دلیل کمتر مورد بررسی‌های همه‌جانبه قرار گرفته‌اند. با این حال، قسمت‌هایی از رخنمون‌های دولومیتی مزوزویک در منطقه فارس از جمله سازند سورمه (ژوراسیک) و بخش دولومیتی سفیدار (تریاس بالایی) به‌ترتیب توسط جلیلیان و همکاران (۱۳۹۰) و

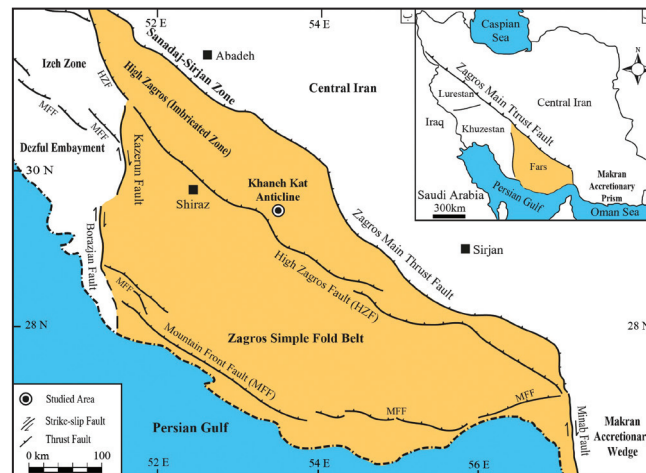
جلیلیان (۱۳۹۶) مطالعه شده‌اند. هدف این مقاله، مقایسه مدل‌های دولومیتی‌شدن سنگ‌های کربناته تریاس تا آغاز کرتاسه زیرین (نئوکومین) متشکل از سازندهای خانه‌کت، نیریز، سورمه و فهلیان در بخش خاوری زاگرس بلند با استناد به داده‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی است.

۲- زمین‌شناسی و چینه‌نگاری

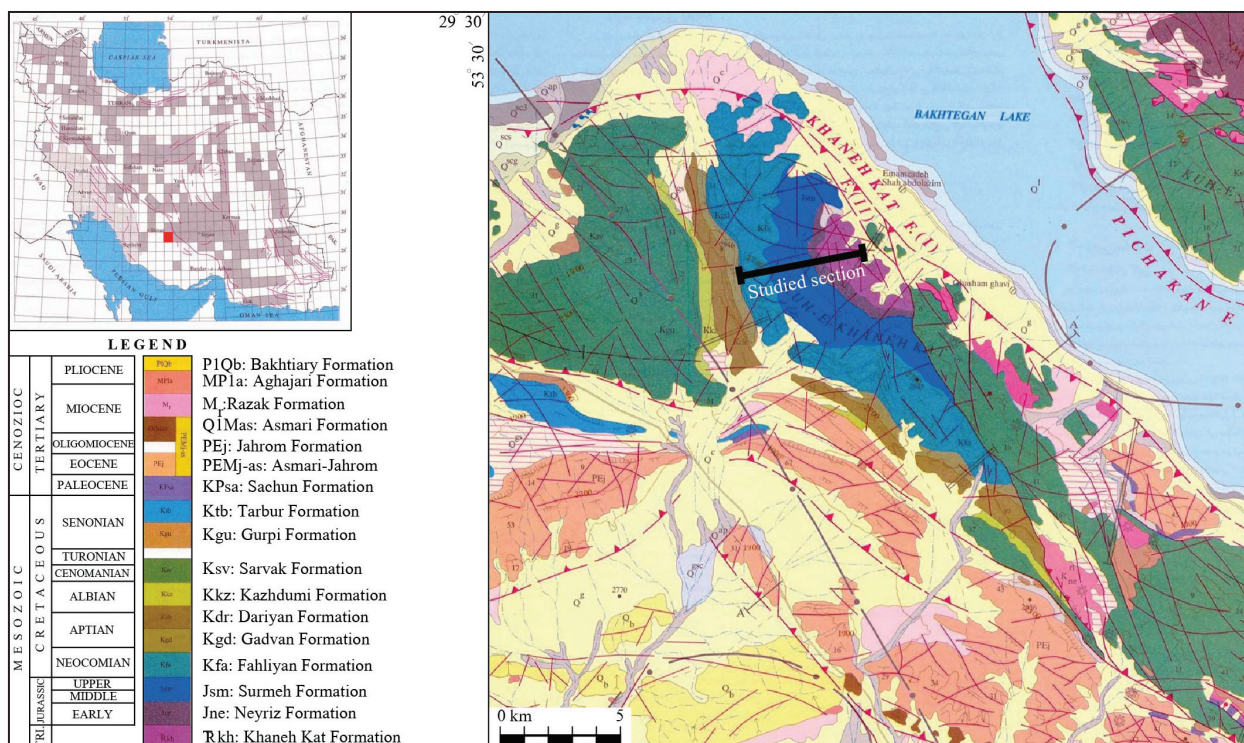
رشته‌کوه زاگرس با طول حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از جنوب خاوری ترکیه تا جنوب ایران گسترش یافته است و مهم‌ترین منطقه نفت‌خیز جهان محسوب می‌شود (Alsharhan and Naim, 2003; Alavi, 2004; 2007). در حقیقت، زاگرس نتیجه تغییرات ساختاری شمال ورقه عربی به‌عنوان بخشی از حاشیه غیرفعال جنوب اقیانوس نوتتیس (Neothetys Ocean) است (Berberian and King, 1981; Mouthereau et al., 2012). تکامل حوضه زاگرس اساساً نتیجه باز و بسته‌شدن نوتتیس بوده‌است؛ به‌گونه‌ای که همزمان با کافت پرمین پسین و باز شدن اقیانوس یاد شده، سامانه رسوبی غالباً آواری پالئوزویک به پلاتفرم‌های کربناته پرمین، مزوزویک و سنوزویک تغییر یافت (Leturmy and Robin, 2010). با همگرا شدن ورقه‌های عربی و ایران در کرتاسه پسین، اقیانوس نوتتیس بسته شده (Golanka, 2004; Alavi, 2007) و حوضه فورلند زاگرس پدید آمده‌است (Fakhari et al., 2008; Pirouz et al., 2011). تداوم فاز فشارشی و چین‌خوردگی ناشی از برخورد ورقه‌ها، منجر به ایجاد رشته‌کوه‌هایی شد که خاستگاه نهشته‌های آواری پس از کرتاسه بوده‌اند (Piryaei et al., 2010). بررسی‌های جغرافیای دیرینه نشان می‌دهد که جنوب ایران در مزوزویک، در مناطق استوایی یا عرض‌های نزدیک به استوای آن زمان واقع شده بود که رسوب‌گذاری کربنات‌های دریای کم عمق و تبخیری‌ها از وجوه بارز آن است (Zeigler, 2001; Ghazban, 2007). با توجه به تغییرات جانبی رخساره‌های رسوبی زاگرس توسط گسل‌های کازرون و بالارود، این منطقه به زیرپهنه‌های زاگرس

شمال و زاگرس چین‌خورده (بیرونی) در جنوب جدا کرده‌اند (Sherkati et al., 2006; Allen and Talebian, 2011). تاقدیس خانه‌کت در شمال منطقه فارس و بخش خاوری زاگرس بلند قرار دارد (شکل ۱). در این ناحیه مجموعه‌ای نسبتاً کامل از توالی‌های رسوبی تریاس تا عهد حاضر به ضخامت چند هزار متر برنزد دارد (شکل ۲).

خاوری (فارس)، زاگرس مرکزی (خوزستان) و زاگرس باختری (لرستان) تفکیک شده‌است (Berberian, 1995; Sepehr and Cosgrove, 2004). همچنین، عبور گسل زاگرس بلند (High Zagros Fault) از میان این منطقه، تغییرات قابل توجهی در ساختار آن ایجاد کرده‌است که بر این اساس نیز آن را به دو بخش زاگرس بلند (داخلی) در



شکل ۱- الف) نقشه‌ای ساده از موقعیت رشته‌کوه زاگرس در جنوب و جنوب باختری ایران و زیرپهنه‌های لرستان، خوزستان و فارس؛ ب) چارچوب ساختاری منطقه فارس در میان گسل‌های کازرون، میناب، پیشانی کوهستان و راندگی اصلی زاگرس؛ بخش‌های زاگرس بلند و چین‌خورده با گسل زاگرس بلند از هم جدا شده‌اند. محدوده تاقدیس خانه‌کت با دایره مشخص شده‌است (بر اساس داده‌های (Berberian, 1995; Sepehr and Cogrove, 2004).



شکل ۲- قسمتی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ گستره رونیز در استان فارس که تاقدیس خانه‌کت و دریاچه بختگان در محدوده شمال باختری آن جای گرفته‌اند. مجموعه نسبتاً کاملی از نهشته‌سنگ‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک زاگرس بلند در این ناحیه رخنمون دارند. موقعیت گستره رونیز در جنوب نقشه ایران با مستطیل قرمز مشخص است. همچنین، محل بُرش مورد مطالعه در پایانه شمال باختری تاقدیس خانه‌کت نشان داده شده‌است (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با اندکی تغییرات).

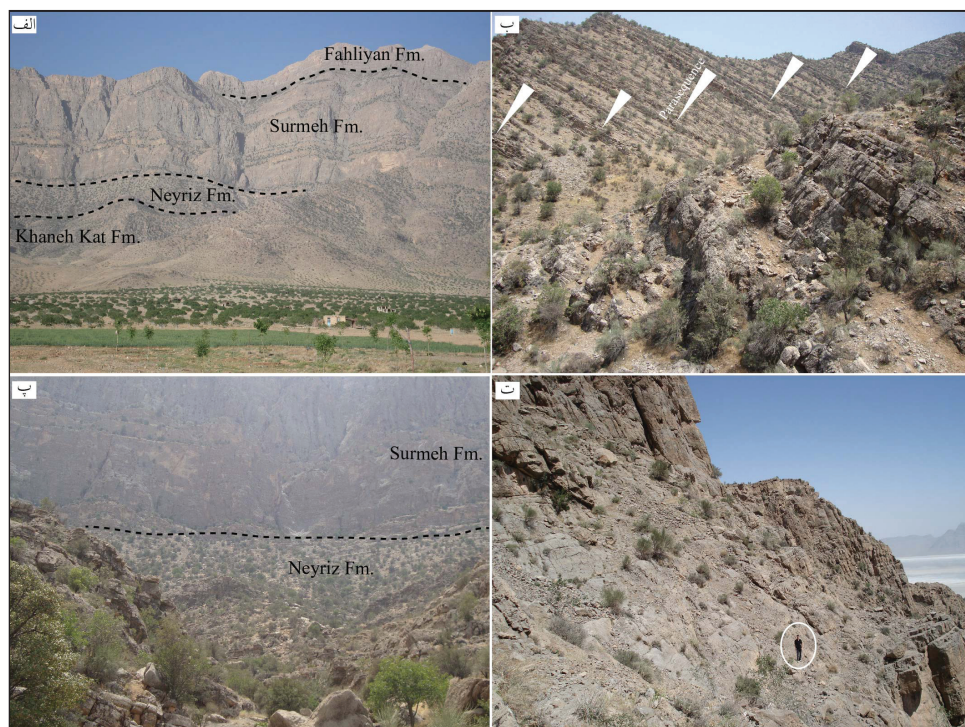
ضخامت سازندهای مختلف و توجه به گسترش جانبی واحدهای دولومیتی، خواص سنگ‌شناسی آنها از جمله ساخت‌های رسوبی نیز مورد توجه قرار گرفت. از چهار سازند مورد نظر با مجموع ضخامت حدود ۲۰۲۴ متر ۴۶۰ نمونه دستی برداشت و در نهایت از ۲۰۰ عدد آنها مقطع نازک تهیه شد. مقاطع نازک با محلول آلزارین قرمز (ARS) به روش Dickson (1965) رنگ‌آمیزی و با میکروسکوپ پلاریزان بررسی شدند تا جزئیات کانی‌شناسی و بافت آنها مشخص شود.

نمونه‌های دولومیت بر اساس طبقه‌بندی Sibley and Gregg (1987) و بر مبنای تغییرات اندازه، شکل مرز یا نحوه تماس بین بلورها تفکیک و نام‌گذاری شده‌اند. ملاک تعیین اندازه بلورهای دولومیت، مقیاس ارائه شده توسط Folk (1980) برای سنگ‌های کربناته بوده‌است. پس از بررسی مقاطع نازک، برای اطلاع از مقادیر کلسیم و منیزیم و ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و کربن، پودر تهیه شده از ۷۰ نمونه نسبتاً خالص دولومیت (با ناخالصی کمتر از ۱۰٪) به آزمایشگاه علوم زمین دانشگاه بوخوم در آلمان ارسال شد. برای تهیه پودر به صورت نمونه بالک (Bulk Carbonate) از مته دندان‌پزشکی تنگستن-کاربید استفاده شد. در آزمایشگاه با انجام مراحل مختلف از جمله حذف کربن آلی با اکسیداسیون در پلاسما اکسیژن و واکنش با اسید کلریدریک یک نرمال و اسید فسفریک ۱۰۰٪ نمونه‌ها برای آنالیز دستگاهی آماده شدند. در نهایت، نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر جذب اتمی (AAS) مدل Pye-unicam SP9، طیف‌سنج جرمی Finnigan delta plus XP و دستگاه XRD مدل Philips PW 1380 تجزیه شدند. نتایج ترکیب ایزوتوپی نمونه‌ها بر حسب قسمت در هزار (‰) و نسبت به استاندارد PDB محاسبه و گزارش شده‌اند.

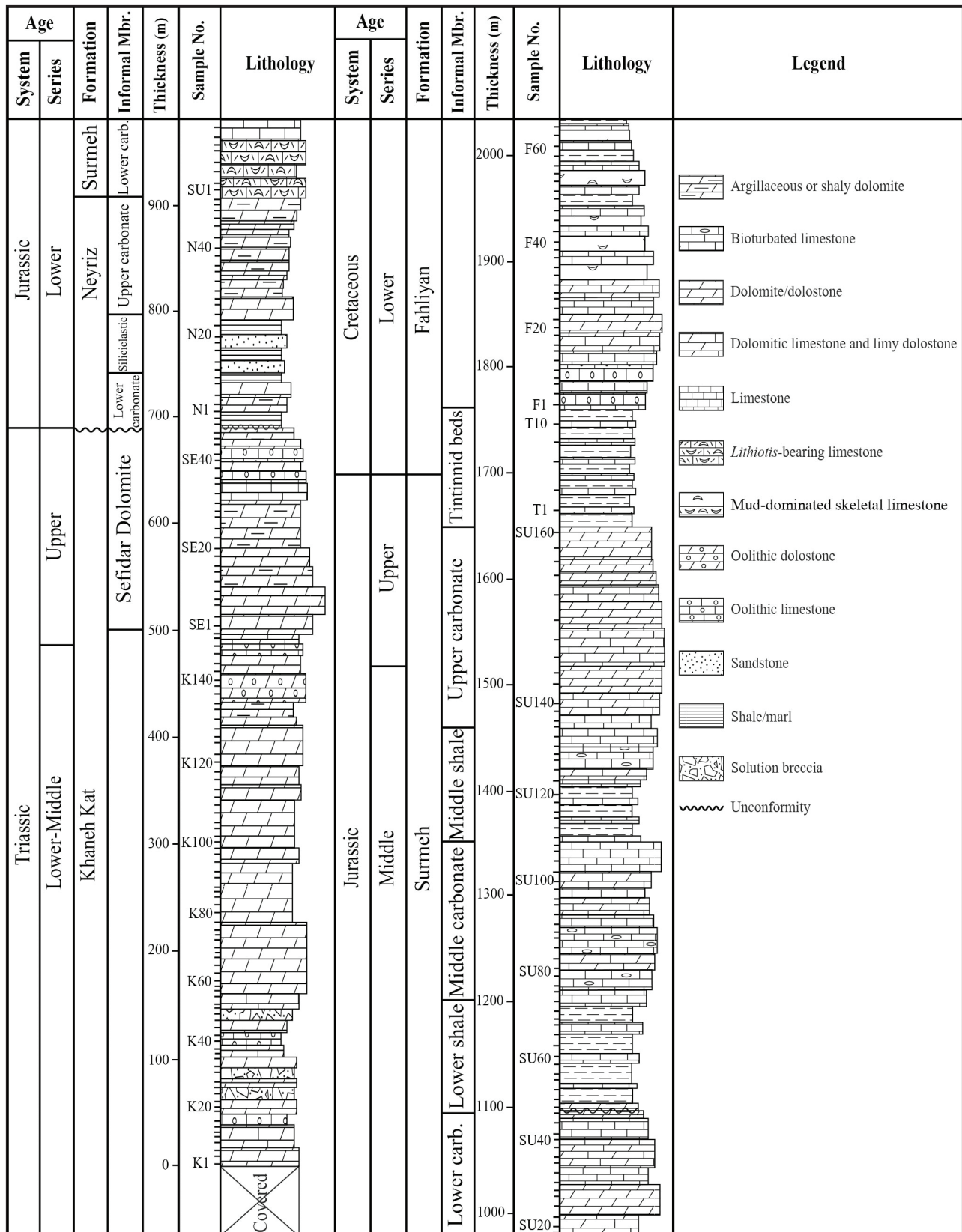
کهن‌ترین سنگ‌های رخمون یافته در هسته تاق‌دیس خانه‌کت، متشکل از کربنات‌های بُرش الگوی سازند خانه‌کت است که ۶۹۱ متر ضخامت دارد. این سازند با ناپوستگی فرسایشی مرتبط با مرز تریاس- ژوراسیک از بُرش الگوی سازند نیریز (ژوراسیک زیرین) جدا شده‌است (Setudehnia, 1978). سازند اخیر شامل ۲۳۳ متر کربنات‌های نازک تا متوسط لایه و سنگ‌های آواری (عمدتاً شیل) است که با ۷۲۰ متر کربنات‌های کوه‌ساز همراه با بخش‌های شیلی سازند سورمه (ژوراسیک) در یال جنوبی تاق‌دیس پوشانده شده‌است. در نواحی شمالی فارس، رسوب‌گذاری بدون وقفه از ژوراسیک تا نئوکومین تداوم داشته و رخساره تین‌تینید (Tintinnid facies) مربوط به آب‌های عمیق معرف مرز ژوراسیک و کرتاسه است (مطیعی، ۱۳۷۲؛ Scholle and Ulmer-Scholle, 2003). این بخش حدواسط در کوه خانه‌کت حدود ۱۱۰ متر ضخامت دارد و با ۲۷۰ متر سنگ‌های آهکی پلتی و آلئیتی ضخیم و برجسته سازند فهلان (نئوکومین) پوشانده شده‌است (شکل‌های ۳ و ۴). حد بالایی سازند فهلان در شمال خلیج فارس با آهک و شیل‌های سازند گدون (بارمین-آپتین) ناپیوسته و فرسایشی است (Setudehnia, 1978; Ghazban, 2007).

۳- روش مطالعه و مواد

در این تحقیق برونزدهای کربناته تریاس-نئوکومین در تاق‌دیس خانه‌کت مورد بازدیدهای میدانی و بررسی‌های آزمایشگاهی قرار گرفته‌اند. واحدهای دولومیتی مورد نظر در بخش شمال باختری کوه خانه‌کت و در جنوب دریاچه بختگان به فاصله ۱۱۰ کیلومتری خاور شیراز رخمون دارند. مختصات جغرافیایی این ناحیه به صورت $29^{\circ}25'58''\text{N}$ و $53^{\circ}37'33''\text{E}$ ثبت شده است. در مطالعات میدانی ضمن اندازه‌گیری



شکل ۳- تصاویر میدانی از واحدهای سنگ‌چینه‌ای تریاس-نئوکومین در تاق‌دیس خانه‌کت: الف) نمای کلی هسته و بخشی از یال جنوبی تاق‌دیس (نگاه دوربین به سوی جنوب)؛ ب) قسمتی از توالی رسوبی عمدتاً کربناته سازند خانه‌کت؛ به تکرار چرخه‌های رسوبی در مقیاس متر (پاراسکانس) توجه کنید که از مشخصات نهشته‌های تریاس است. پ) مجموعه سنگ‌های ژوراسیک شامل شیل و کربنات‌های سازند نیریز با ریخت فرسوده و کربنات‌های ضخیم و کوه‌ساز سازند سورمه؛ ت) بخشی از کربنات‌های ضخیم‌لایه و توده‌ای شروع سازند فهلان به سن کرتاسه پیشین (نئوکومین).



شکل ۴- ستون چینه‌نگاری توالی رسوبی تریاس-نئوکومین در ناقدیس خانه کت

۴- بحث

زیادی مطرح است. در حال حاضر، بیشترین تمرکز مطالعه دولومیت‌ها بر ارائه مدل‌هایی است که با استناد به آنها بتوان هندسه مجموعه‌های دولومیتی بسیار گسترده را پیش‌بینی کرد. این موضوع، در شناخت خواص پتروفیزیکی کربنات‌های سنگ مخزن و افزایش تولید نفت و گاز بسیار حائز اهمیت است (Braithwaite et al., 2004). در این بخش داده‌های حاصل از زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی دولومیت‌های بخش‌های مختلف توالی رسوبی مورد مطالعه به تفکیک ارائه و مدل تشکیل آنها تعیین می‌شود. نتایج تجزیه نمونه‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌است.

تشکیل دولومیت (اولیه یا جانشینی) اساساً مستلزم تأمین منیزیم و سازوکاری است که حجم کافی از سیال دولومیت‌ساز را در رسوبات یا سنگ‌های میزبان به گردش در آورد (Warren, 2000, 2006; Machel, 2004). دولومیت‌ها در شرایط متفاوت و دماهای ۲ درجه سانتی‌گراد (آب سرد) تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد (گرمابی) تشکیل می‌شوند. برای توضیح نحوه تشکیل این سنگ‌ها، مدل‌های مختلف پیشنهاد شده‌است (برای نمونه آدابی، ۱۳۸۳؛ رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۴؛ ارزانی، ۱۳۹۱). با وجود این، در ارتباط با پیچیدگی‌های ساختمان و ترکیب و توزیع زمانی دولومیت‌ها هنوز هم پرسش‌های

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه دولومیت‌های تریاس تا نئوکومین در تاق‌دیس خانه‌کت.

Locality	Age	Formation/Member	Sample No.	MgCO ₃ %	¹⁸ O (‰ PDB)	¹⁸ C (‰ PDB)
Khaneh Kat Anticline (Eastern High Zagros)	Neocomian	Fahliyan Fm	F63	۴۲/۸۷	۰/۱۵	۳/۲۱
			F51	۴۳/۶۳	-۰/۹۸	۱/۲۰
			F48	۴۳/۴۴	-۱/۱۷	۳/۷۲
			F43	۴۲/۶۸	-۲/۱۸	۲/۶۳
			F40	۴۳/۵۲	۰/۴۵	۱/۸۰
			F35	۴۳/۸۲	-۰/۲۴	۱/۴۱
			F32	۴۴/۰۱	۰/۲۰	۲/۱۸
			F27	۴۳/۲۵	-۱/۶۴	۱/۹۲
			F20	۴۴/۶۰	-۰/۳۱	۳/۸۰
			F17	۴۲/۴۹	-۱/۷۳	۳/۴۶
			F12	۴۳/۰۶	-۱/۵۲	۲/۰۱
			F03	۴۲/۳۰	-۱/۳۱	۲/۵۰
	Late Jurassic	Upper Surmeh	SU148	۴۲/۷۸	۰/۹۰	۱/۴۱
			SU143	۵۱/۴۸	۰/۱۶	۰/۵۵
			SU138	۵۱/۳۰	-۰/۲۴	۱/۷۷
			SU130	۴۹/۹۶	-۰/۴۶	۰/۹۲
			SU124	۵۱/۱۲	-۱/۳۴	۰/۲۵
			SU120	۴۹/۶۰	-۱/۹۶	۰/۸۵
			SU115	۵۱/۸۷	-۱/۱۰	۱/۰۳
			SU110	۵۰/۶۸	۰/۲۷	۰/۱۶
			SU106	۵۰/۴۲	-۱/۸۵	۲/۲۰
			SU101	۵۰/۶۰	۰/۲۴	۱/۳۰
			SU97	۵۰/۲۴	-۱/۹۰	۲/۳۵
			SU92	۵۰/۷۶	-۲/۰۸	۰/۳۳
	Early Jurassic	Lower Surmeh	SU25	۴۶/۰۱	-۰/۲۶	۳/۳۰
			SU21	۴۵/۸۴	۰/۷۵	۳/۴۶
			SU18	۴۶/۱۸	۱/۶۲	۴/۱۲
			SU14	۴۶/۶۹	۰/۸۱	۲/۸۷
			SU11	۴۵/۶۷	-۲/۲۰	۳/۲۸
			SU08	۴۴/۹۸	۱/۰۳	۲/۹۲
			SU02	۴۷/۳۰	-۱/۶۳	۳/۷۴
		Neyriz Fm	N45	۴۵/۵۰	۱/۲۰	۳/۹۰
			N40	۴۵/۳۳	۱/۶۰	۳/۵۰

Locality	Age	Formation/Member	Sample No.	MgCO ₃ %	¹⁸ O (‰ PDB)	¹⁸ C (‰ PDB)
Khanch Kat Anticline (Eastern High Zagros)	Early Jurassic	Neyriz Fm	N35	۴۶/۳۵	۰/۷۰	۳/۶۰
			N31	۴۵/۱۶	۲/۶۱	۲/۸۲
			N25	۴۶/۵۲	۰/۵۳	۳/۹۴
			N19	۴۶/۸۶	۰/۲۴	۳/۳۴
			N15	۴۴/۶۵	۱/۹۳	۳/۷۸
			N11	۴۴/۸۲	-۰/۲۲	۲/۱۰
	Late Triassic	Sefidar Mbr	SE23	۴۸/۶۷	-۶/۲۰	۱/۴۸
			SE18	۴۸/۹۳	-۵/۱۸	۱/۶۱
			SE16	۴۹/۳۸	-۵/۹۱	۱/۸۳
			SE13	۴۵/۵۰	-۳/۷۲	۲/۸۷
			SE11	۴۷/۸۰	-۴/۱۷	۲/۲۷
			SE10	۴۹/۵۵	-۳/۱۷	۲/۱۸
			SE08	۵۰/۳۵	-۶/۶۳	۱/۶۲
			SE06	۵۰/۹۳	-۷/۱۶	۱/۱۴
			SE05	۵۰/۴۸	-۷/۲۳	۱/۹۵
			SE02	۵۰/۱۶	-۸/۱۰	۱/۳۸
	Early-Middle Triassic	Khanch Kat Fm	K141	۵۰/۸۵	۱/۲۸	۲/۲۳
			K132	۴۹/۶۰	۱/۰۵	۱/۳۷
			K126	۵۱/۰۵	-۱/۲۵	۱/۱۶
			K119	۴۹/۷۳	۳/۲۰	۱/۳۲
			K112	۵۰/۷۲	۱/۵۱	۳/۷۸
			K104	۵۰/۰۶	۰/۸۲	۳/۶۲
			K98	۵۰/۳۹	-۱/۰۲	۱/۴۸
			K93	۵۱/۵۵	۰/۵۹	۲/۳۴
			K85	۴۹/۶۵	۱/۷۴	۲/۱۸
			K78	۵۱/۱۶	-۰/۷۹	۳/۴۶
			K71	۴۹/۸۴	۳/۱۲	۱/۶۴
			K65	۵۰/۸۳	۰/۱۳	۳/۸۵

۴-۱. دولومیت‌های تریاس

رخساره‌های کربناته تریاس زاگرس بلند به نام سازند خانه‌کت معرفی شده‌اند که به سمت جنوب به توالی کربناته-تبخیری سازندهای کنگان و دشتک در زاگرس چین‌خورده تغییر می‌یابد (Szabo and Kheradpir, 1978; Alavi, 2004). کربنات‌های سازند خانه‌کت در یک پلاتفرم مرتبط با اقیانوس نوتیس و متأثر از جریان‌های کشندی و توفانی نهشته شده‌اند (جلیلیان, ۱۳۹۵). رنگ لایه‌ها، ویژگی‌های بافتی و ترکیب دولومیت‌های تریاس در تاقدیس خانه‌کت به گونه‌ای است که می‌توان آنها را به دو دسته تفکیک کرد. بخش زیرین سازند خانه‌کت را شامل می‌شود و سن تریاس پیشین و میانی دارد (Seyed-Emami, 2003). بخش بالایی به دولومیت سفیدار معروف است و به تریاس بالایی (نورین) تعلق دارد (Sharland et al., 2001). دولومیت‌های سازند خانه‌کت عموماً رنگ خاکستری تیره دارند و از لایه‌های ضخیم تا متوسط همراه با افق‌هایی از برش‌های انحلالی تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۵-الف و ب). بلورهای دولومیت متوسط تا خیلی ریز (۲۰۰ تا ۱۰ میکرون) و نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل هستند (شکل ۶-الف). بنابراین، با تیپ مسطح (Planar-s) طبقه‌بندی (Sibley and Gregg, 1987) قابل مقایسه‌اند. در بعضی نمونه‌ها آثار سنگ میزبان قابل مشاهده و حضور کانی‌های تبخیری کاملاً مشهود است (شکل‌های ۶-ب و پ). درصد مولی کربنات منیزیم این دولومیت‌ها ۵۱/۷۷ تا ۴۹/۶۰ (میانگین ۵۰/۶۵) به دست آمد که به ترکیب ایده‌آل نزدیک است (شکل ۷-الف). نسبت ایزوتوپی اکسیژن نمونه‌ها ۱/۲۵- تا ۳/۲۰+ ‰ PDB و کربن آنها ۱/۱۶ تا ۳/۸۵ ‰ PDB گزارش شده که نسبت به میانگین ترکیب ایزوتوپی کربنات‌های دریایی تریاس سنگین‌تر

است (شکل ۷-ب). بافت و ترکیب دولومیت‌های سازند خانه‌کت بیانگر پایین‌تر بودن دمای محیط تشکیل آنها از حد بحرانی (کمتر از ۶۰-۵۰ °C) و ارتباط با تبخیری‌هاست (Allan and Wiggins, 1993; Warren, 2000). رنگ تیره دولومیت‌ها و نبود اجزای آواری نشان می‌دهد که کربنات‌های میزبان در بخش پایین پهنه کشندی و تالاب تشکیل شده‌اند، در زمانی که تبخیری‌های سازند دشتک در بخش ساحلی و محدود پلاتفرم (بالای پهنه کشندی) نهشته می‌شدند (Lasemi et al., 2012; Najafi et al., 2014). تکرار چرخه‌های رسوبی کم‌عمق‌شونده کمتر از ۱۰ متر (پاراسکانس Parasequence) حاکی از جابه‌جایی مکرر زیرمحیط‌های پلاتفرم کربناته-تبخیری آن زمان است (شکل ۳-ب). این چرخه‌ها سازندگان اصلی توالی‌های رسوبی تریاس و نتیجه گسترش دریا‌های گرم و کم‌عمقی هستند که امکان تشکیل مقادیر قابل توجه دولومیت‌های سطحی را در مناطق مختلف جهان فراهم کردند (Iannace and Frisia, 1994; Haas et al., 2007, 2015). سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی دولومیت‌های سازند خانه‌کت به انضمام تغییرات عمودی و جانبی رخساره‌های رسوبی تریاس زاگرس با دولومیت‌های مدل برگشتی (Reflux) مطابقت دارد (شکل ۸-الف). این مدل برای توضیح تشکیل دولومیت‌های قدیمی ضخیم همراه با رسوبات تبخیری به کار می‌رود و گویای آب و هوای گرم و خشک به‌هنگام پایین بودن سطح آب دریاهاست (آدابی, ۱۳۸۳؛ ارزانی, ۱۳۹۱). تشکیل دولومیت‌های ضخیم و تبخیری‌های تریاس با اقلیم خشک حاکم بر حوضه زاگرس (Murriss, 1980) و افت سطح جهانی آب دریاها در آن دوره (Golunka and Kiessling, 2002) همخوانی دارد. بنابراین، با توجه به ارتباط محیط

در پهنه‌های کشتی و تالاب‌های بسیار وسیع نهشته شده‌اند (جلیلیان، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶). دولومیت‌های ژوراسیک زیرین در تاکدیس خانه‌کت، متوسط تا نازک‌لایه هستند (شکل‌های ۵-ت و ۵-ث) و از بلورهای ریز تا خیلی ریز (میانگین ۲۰ میکرون) غالباً بی‌شکل با مرزهای مسطح تشکیل شده‌اند. در مقاطع نازک آنها بافت‌های رسوبی اولیه مثل لامیناسیون، ترک‌های گلی و فابریک چشم‌پرنده‌ای (Fenestral fabric) دیده می‌شود (شکل‌های ۶-چ تا خ). با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌ها، دولومیت‌ها نسبتاً کلسیتی هستند و درصد مولی کربنات منیزیم آنها بین ۴۷/۳۰ تا ۴۴/۶۵ (میانگین ۴۵/۹۰) تغییر می‌کند. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن بین ۲/۲۰- تا PDB ۲/۶۱٪ و کربن ۲/۱۰ تا PDB ۴/۱۲٪ در نوسان است که دمای پایین و محیط سطحی تشکیل دولومیت‌ها را بازگو می‌کند (Meister et al., 2013; Blendinger et al., 2015). بلورهای ریز دولومیت، نتیجه اشباع زیاد سیال دولومیت‌ساز برای غلبه بر موانع جنبشی محیط هستند که تعداد زیادی هسته باهم تشکیل می‌شوند (Swart et al., 2005; Boggs, 2009). چنین ویژگی‌هایی معرف دولومیت‌های سیخایی است که در دما و فشار معمول حاکم بر بخش بالایی پهنه‌های کشتی (Supratidal) توسط آب دریاهای کم‌عمق و شور به‌وجود می‌آیند (Wright and Wacey, 2004; Rahimpour-Bonab et al., 2010). از محیط‌های امروزی تشکیل دولومیت‌های سیخایی، می‌توان دریاچه کورونگ در استرالیا و سواحل جنوبی خلیج فارس به خصوص ابوظبی را نام برد (Warren, 2006; Flugel, 2010).

ژوراسیک میانی منطقه فارس با تغییرات مهمی در ساختار حوضه و محیط رسوبی همراه بود. به‌گونه‌ای که، با تفکیک پلاتفرم لیا و ایجاد حوضه درون شلفی پارس در باژوسین، رخساره‌های دریای عمیق به‌وجود آمدند (Lasemi and Jalilian, 2010). این موضوع، همراه با اقلیم نسبتاً مرطوب دوگر (Murriss, 1980) سبب شد که دولومیت‌های اولیه و تبخیری‌ها در این زمان چندان فراگیر نباشند. به‌همین خاطر، بخش آهکی مند (Mand Member) به‌عنوان کربنات شاخص ژوراسیک میانی در فارس شناخته شده‌است (Setudehnia, 1978). برخلاف این، در ژوراسیک پسین حوضه زاگرس دولومیت‌ها و تبخیری‌ها حضوری قابل ملاحظه دارند (Alsharhan and Nairn, 2003; Ziegler, 2001). کربنات‌های بخش بالایی سازند سورمه (عرب) و تبخیری‌های سازندهای هیث و گوتیا در این زمان تشکیل شده‌اند (Sharland et al., 2001; Ghazban, 2007). دولومیت‌های ژوراسیک بالایی تاکدیس خانه‌کت، متوسط تا ضخیم‌لایه و از بلورهای متوسط تا ریز (۲۰۰ تا ۲۰) و میانگین ۷۵ میکرون) نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل تشکیل شده‌اند. درصد مولی کربنات منیزیم آنها ۵۱/۸۷ تا ۴۹/۶۰ (میانگین ۵۰/۷۴) است که به‌ترکیب ایده‌آل نزدیک است. ترکیب ایزوتوپی این دولومیت‌ها ۰/۹۰ تا PDB ۲/۰۸- برای اکسیژن و ۰/۱۶ تا PDB ۲/۳۵ برای کربن است. قطع‌شدن دولومیت‌ها با استیلولیت‌ها و درزهای انحلالی، نشانه دولومیتی‌شدن سطحی و پیش از دفن عمیق است (شکل ۶-د). ویژگی‌های دولومیت‌های ژوراسیک بالایی به‌خصوص نسبت ایزوتوپی سنگین و همراهی تبخیری‌ها تقریباً مشابه دولومیت‌های سازند خانه‌کت است. بنابراین، می‌توان آنها را به دولومیتی‌شدن در مدل برگشتی نسبت داد که طی آن شورابه‌های غلیظ و سنگین باقی‌مانده از رسوب‌گذاری تبخیری‌های مالم، منیزیم لازم را به کربنات‌های مجاور منتقل و آنها را دولومیتی کرده‌اند (Allan and Wiggins, 1993; Alsharhan and Whittle, 1995). مجموعه دولومیت‌های تریاس و دوگر در تاکدیس خانه‌کت می‌تواند به‌همراهی تبخیری‌ها و سیستم هیدرولوژیکی نسبتاً باز تشکیل آنها مربوط باشد (Warren, 2000; Ren and Jones, 2017).

۴-۳. دولومیت‌های نئوکومین

توالی رسوبی نئوکومین منطقه فارس با نام کربنات‌های سازند فهلیان شناخته می‌شود (James and Wynd, 1965; Alavi, 2004). این سازند نتیجه پیشروی دریای کوتاه و برقراری پلاتفرم کربناته در مناطق فارس و خوزستان است (Setudehnia, 1978;).

رسوب‌گذاری کربنات‌ها و تبخیری‌های تریاس زاگرس، شورابه‌های غنی از منیزیم حاصل از تغلیظ کولاب‌ها به‌خصوص در بخش جنوبی حوضه به کربنات‌های سازند خانه‌کت نفوذ و آنها را در اعماق کم دولومیتی کرده‌اند.

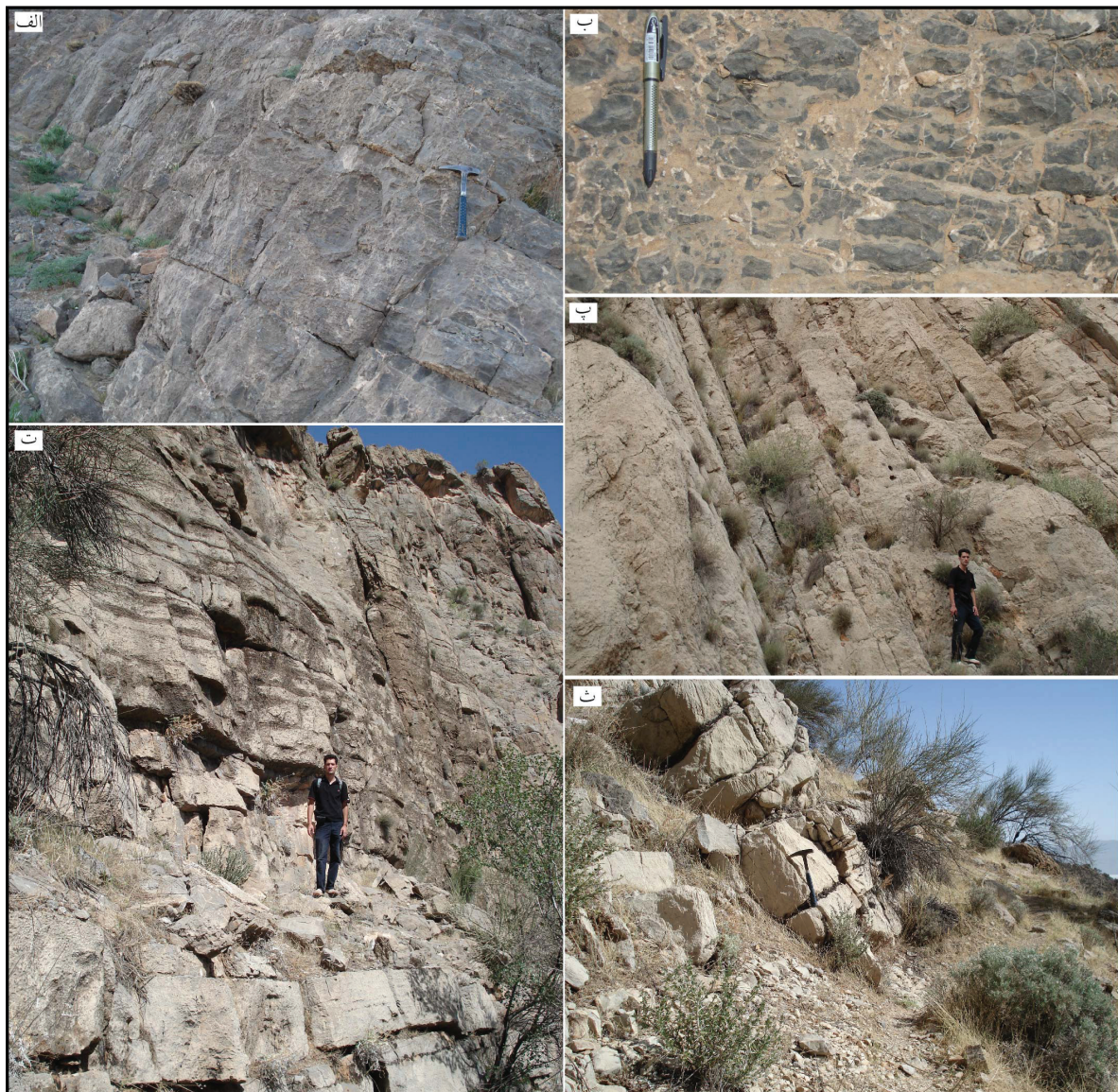
بخش سفیدار آخرین واحد سنگ‌چینه‌ای تریاس زاگرس بلند است که از دولومیت‌های توده‌ای با بلورهای متوسط و درشت تشکیل شده‌است (Setudehnia, 1978; Szabo and Kheradpir, 1978). این بخش، وجه مشترک توالی رسوبی تریاس در زیرپهنه‌های مختلف زاگرس است و به‌عنوان یک واحد سنگ‌چینه‌ای شاخص در جنوب ایران تا شمال عربستان شناخته شده‌است. در کوه خانه‌کت، ضخامت دولومیت سفیدار ۲۰ متر و رنگ عمومی آن قهوه‌ای است (شکل ۵-پ). اندازه دولومیت‌های متوسط (۲۴۰ تا ۷۰ میانگین ۲۰۰ میکرون) است. مرز بین بلورها مسطح و مستقیم است و بعضی از آنها فصل مشترک متعدد دارند. بلورها در هم فشرده و تقریباً فضای خالی وجود ندارد؛ با این حال اغلب خاموشی یکنواخت نشان می‌دهند (شکل ۵-ت). این دولومیت‌ها با تیپ نیمه‌شکل‌دار و مسطح طبقه‌بندی (Sibley and Gregg, 1987) قابل مقایسه‌اند که تشکیل آنها را نتیجه رشد آرام بلورها در جریان پیوسته از سیال دولومیت‌ساز می‌دانند (Machel, 2004; Pokrovsky, 2017). دمای تشکیل آنها کمتر از حد بحرانی (کمتر از ۶۰°C) است و در اثر جانشینی سنگ‌های آهکی یا تجدید تبلور دولومیت‌های اولیه در اعماق کم زمین به‌وجود می‌آیند (Wierzbicki et al., 2006; Kaczmarek and Sibley, 2014; Blendinger et al., 2015). درشت‌بلور بخش سفیدار ۹۰۰ تا ۲۸۰ میکرون (میانگین ۴۰۰) قطر دارند و اغلب نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با مرزهای منحنی هستند. تمرکز اذخال‌های (Inclusion) متعدد ظاهر غبارآلود به بلورها داده‌است و خاموشی موحی نشان می‌دهند (شکل‌های ۵-ث و ج). این دولومیت‌ها با تیپ غیرمسطح (Nonplanar) طبقه‌بندی (Sibley and Gregg, 1987) معادل هستند. میانگین درصد مولی کربنات منیزیم در دولومیت‌های متوسط و درشت‌بلور تریاس بالایی به‌ترتیب ۴۹/۲۶ و ۵۰/۴۸ گزارش شده که نزدیک به‌حالت استوکیومتری (Stoichiometric) یا ایده‌آل است. مقادیر ایزوتوپ اکسیژن دولومیت‌های سفیدار بین ۲/۳۵- تا PDB ۸/۱۰- و کربن آنها ۱/۱۴ تا PDB ۲/۷۷٪ است. عامل اصلی منفی بودن نسبت ایزوتوپی اکسیژن در دولومیت‌ها، تجدیدتبلور در دماهای نسبتاً زیاد درون زمین است (Adam and Al-Aasm, 2017; Winkelstern and Lohmann, 2017). ویژگی‌های بافتی و زمین‌شیمی دولومیت‌های درشت‌بلور بخش سفیدار، مشابه دولومیت زین‌اسبی یا باروک (Baruque/Saddle dolomite) و شاخص دولومیتی‌شدن در محیط دفن عمیق است (Searl, 1989; Spötl and Pitman, 2009). تراکم شیل‌ها و تغییر کانی‌های رسی از جمله اسمکتیت به ایلیت، انحلال فشاری و تبدیل ژپس به انیدریت به‌عنوان مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده منیزیم در دولومیت‌های دفنی مطرح شده‌اند (Boggs, 2009; Kaczmarek and Sibley, 2014). در این مدل، گسل‌ها در انتقال و گردش سیال دولومیت‌ساز در اعماق درون زمین نقش اساسی ایفا می‌کنند (Green, 2005). تعیین میزان تأثیر هر یک از این فرایندها در تأمین منیزیم و تشکیل دولومیت سفیدار، نیازمند بررسی‌های بیشتر و تکمیلی است.

۴-۲. دولومیت‌های ژوراسیک

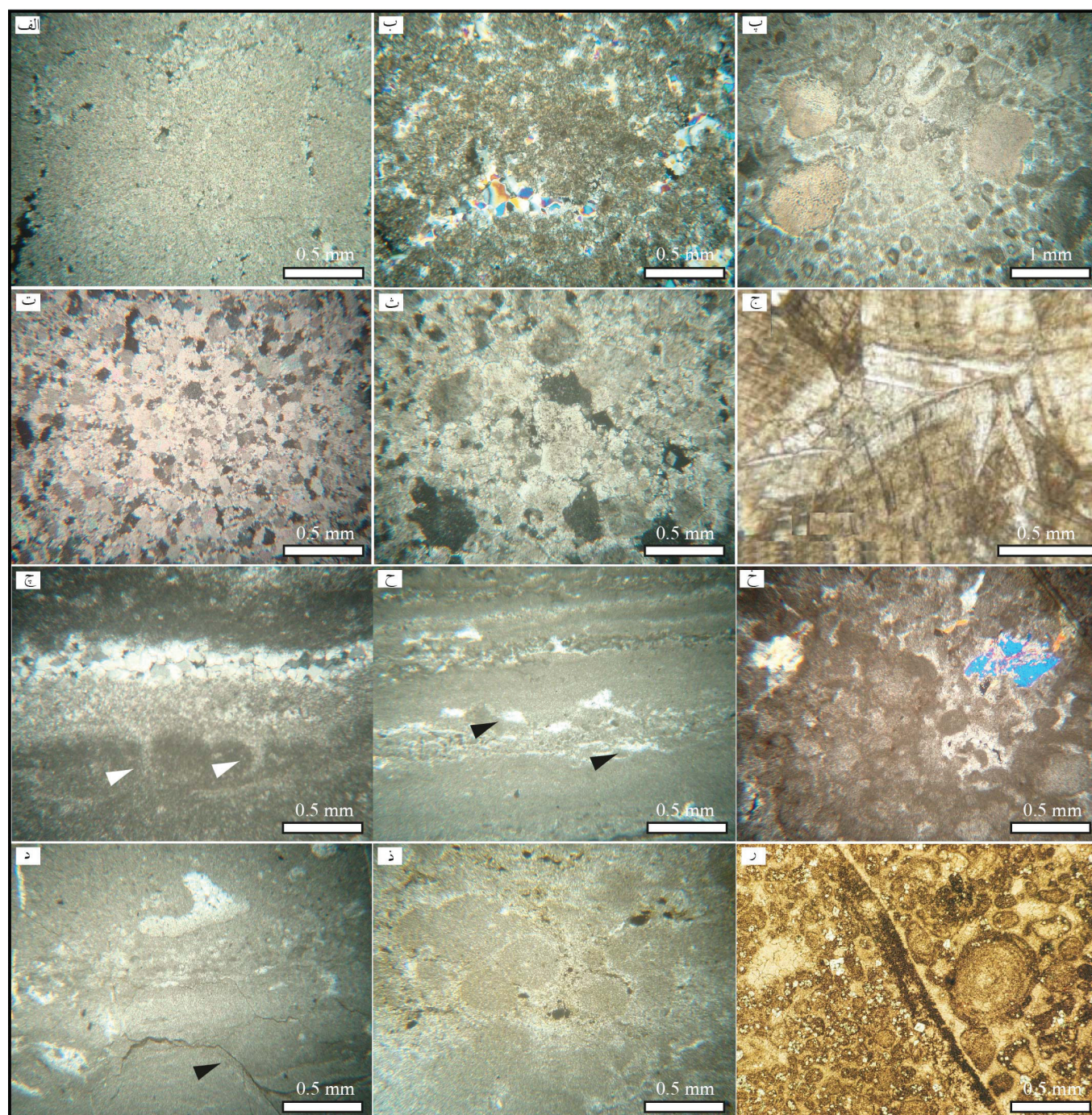
توالی رسوبی دوره ژوراسیک در منطقه فارس شامل سازندهای نیریز و سورمه است (James and Wynd, 1965; Alavi, 2004). نتایج سنگ‌نگاری و تجزیه نمونه‌ها حاکی از تنوع دولومیت‌ها در توالی رسوبی این دوره است. قسمت زیرین متعلق به لیا و متشکل از سازند نیریز و کربنات‌های قاعده سازند سورمه است. این بخش با رخساره‌های تقریباً یکسان در تمام زاگرس و مناطق پیرامون خلیج فارس گسترش یافته‌است (Sharland et al., 2001; Ghazban, 2007). از ویژگی‌های قابل توجه لیا، فرونشینی کم حوضه زاگرس (Koop and Stonely, 1982) و پایین بودن سطح جهانی آب دریاهاست (Haq and Al-Ghahtani, 2005). بنابراین، مجموعه رسوبات این زمان

به‌صورت پراکنده و اغلب در واحدهای توده‌ای پایین سازند فهلان قابل مشاهده‌اند. افزون بر این، فقدان کانی‌های تیخیری به‌خوبی مشهود است. دولومیت‌های سازند فهلان عموماً ریزبلور (۲۰ تا ۵۰ میکرون) و شکل‌دار با مرزهای مسطح (Planar-e) هستند (شکل‌های ۶- ذ و ر). ترکیب این دولومیت‌ها غیرایده‌آل است و با توجه به درصد مولی کربنات منیزیم آنها (۴۴/۶۰ تا ۴۲/۳۰ میانگین ۴۳/۵۲) کلسیتی هستند. مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن آنها ۰/۴۵ تا PDB ‰ ۲/۱۸- و کربن ۱/۲۰ تا PDB ‰ ۳/۸۰- گزارش شده‌است.

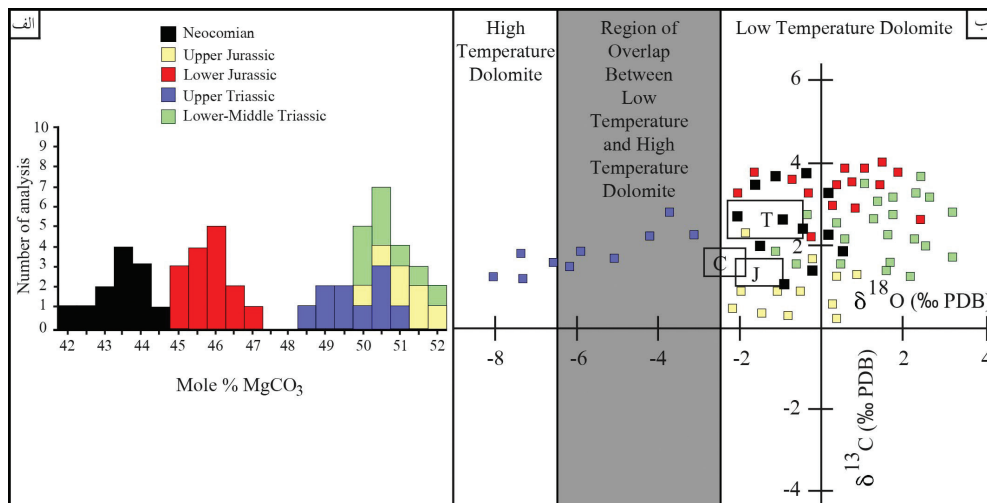
توالی رسوبی سازند فهلان با کربنات‌های توده‌ای عمدتاً حاصل از پهنه‌های کشتی‌جلبکی و سدهای آلیتی-پلوئیدی آغاز شده و با سنگ آهک‌های متوسط تا نازک‌لایه غنی از میلیولیدها و شکم‌پایان (رخساره تالاب) پوشانده شده‌است (Sahraeyan et al., 2013). این مجموعه گویای یک توالی به‌سمت بالا عمیق‌شونده است که با آهک‌های رُسی و مارن‌های آبی‌رنگ سازند گدون (رخساره دریای باز) کامل شده‌است. برخلاف دوره‌های تریاس و ژوراسیک، دولومیت از رخساره‌های فرعی نئوکومین در تاقدیس خانه‌کت است.



شکل ۵- تصاویر میدانی از واحدهای دولومیتی مورد مطالعه: الف و ب) دولومیت‌های ضخیم‌لایه خاکستری تیره تا سیاه‌رنگ و پرش‌های انحلالی همراه آنها در سازند خانه‌کت؛ پ) بخش دولومیتی سفیدار با رنگ عمومی قهوه‌ای و ریخت کوه‌ساز که شاخص تریاس بالایی زاگرس بلند است؛ ت) واحدهای کربناته شروع سازند سورمه (قسمت پایانی توالی رسوبی لیاس) متشکل از تناوب دولومیت‌های متوسط‌لایه و روشن با آهک‌های استروماتولیتی نازک‌لایه و تیره پهنه کشتی‌جلبکی که با رخساره‌های ضخیم تالاب پوشانده شده‌اند؛ ث) نمای نزدیک از شیل و دولومیت‌های سازند نیریز (بخش زیرین ژوراسیک زیرین).



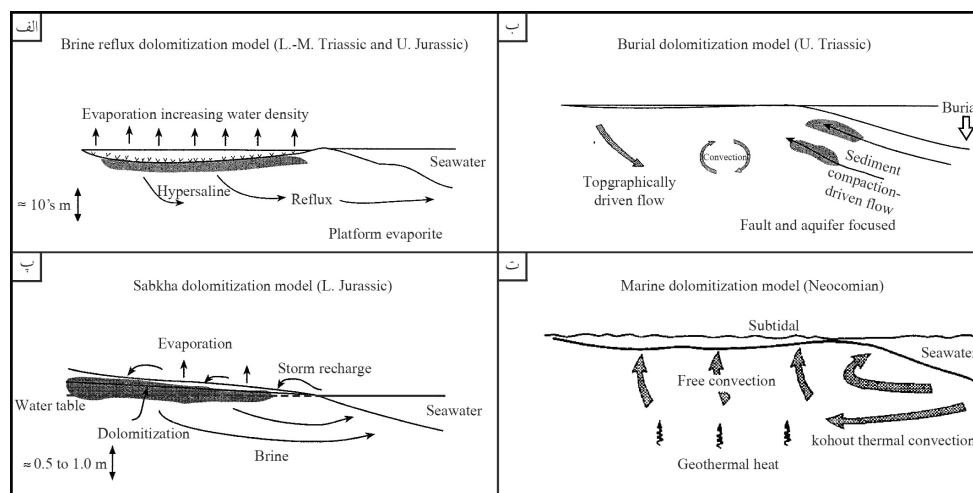
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از انواع دولومیت‌های شناخته شده در توالی رسوبی تریاس-نئوکومین تاقدیس خانه‌کت: الف) دولومیت‌های ریزبلور نیمه‌شکل‌دار سازند خانه‌کت؛ ب و پ) کانی‌های تبخیری (ژپس و اندریت) همراه با دولومیت‌ها و آثار باقی‌مانده از سنگ میزبان (بقایای خارپوستان) تریاس زیرین-میانی که تحت تأثیر سیال دولومیت‌ساز قرار نگرفته‌اند؛ ت) دولومیت‌های متوسط‌بلور با مرزهای مسطح در بخش دولومیتی سفیدار؛ ث و ج) دولومیت‌های درشت‌بلور با مرزهای منحنی و خاموشی موجی (دولومیت باروک یا زین‌اسی) در بخش سفیدار؛ ج، ح و خ) لامیناسیون، ترک‌های گلی، فابریک چشم‌پرنده‌ای و کانی‌های تبخیری در دولومیت‌های ژوراسیک زیرین (سازند نیریز و بخش زیرین سازند سورمه)؛ د) دولومیت‌های ریزبلور و بی‌شکل ژوراسیک بالایی که درزهای انحلالی انتظام و بافت اولیه آنها را قطع و جابه‌جا کرده است. ذ و ر) دولومیت‌های ریز و شکل‌دار پراکنده در رخساره گرینستون آئیدی پلوئیدی سازند فهلپان (XPL).



شکل ۷-الف) نمودار مقادیر درصد کربنات منیزیم نمونه‌های دولومیت تریاس-نئوکومین در کوه خانه‌کت؛ ترکیب دولومیت‌های تریاس و ژوراسیک بالایی نسبتاً منظم (ایده‌آل) است؛ در حالی که دولومیت‌های لیا و نئوکومین اغلب نامنظم و کلسیتی هستند. ب) مقادیر نسبت ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و کربن در نمونه‌های دولومیت مورد مطالعه؛ تقریباً همه نمونه‌ها به‌جز دولومیت‌های بخش سفیدار (تریاس بالایی) در محدوده دولومیت‌های سطحی (دمای پایین) قرار گرفته‌اند. دامنه تغییرات مقادیر ایزوتوپی سنگ‌آهک‌های دریایی دوره‌های تریاس (T)، ژوراسیک (J) و کرتاسه (C) نیز برای مقایسه نشان داده شده‌اند (بر اساس داده‌های Allan and Wiggins, 1993; Moretini et al., 2000; Korte et al., 2005).

اقلیمی و حاکم شدن آب و هوای مرطوب در آن دوره رخساره‌های تبخیری امکان حضور نیافتند (Murriss, 1980; Frakes and Francis, 2005). بنابراین، سنگ‌های آهکی و شیل‌ها رخساره‌های رسوبی غالب کرتاسه زاگرس هستند و با نفوذ و چرخش طولانی مدت آب دریا در رخساره‌های تراوای پهنه کشندی و سد آلتی امکان تشکیل دولومیت‌های سطحی به‌صورت محدود و بخشی فراهم شده بود. در چنین شرایطی، با پمپاژ و گردش حجم زیادی از آب دریا توسط جریان‌های مختلف از جمله زمین‌گرمایی، همرفتی و یا کاهوت (Kohout convection) منیزیم کافی به آهک‌های میزبان منتقل و دولومیتی شده‌اند (Warren, 2000; Machel, 2004).

دولومیت‌های میکروکریستالین با ترکیب ایزوتوپی متوسط و بدون رسوبات تبخیری محصول چرخش آب‌های دریایی هستند (Allan and Wiggins, 1993; Braithwaite et al., 2004). این موضوع، نشان از تغییر مدل دولومیتی‌شدن کربنات‌های ناحیه مورد مطالعه در نئوکومین دارد که به‌شرایط محیطی حاکم بر حوضه زاگرس در کرتاسه مربوط است (شکل ۸). در دوره کرتاسه سطح آب دریاها به بالاترین حد خود در تاریخ زمین رسید (Golonka and Kiessling, 2002; Haq and Al-Ghahtani, 2005) که منجر به گسترش فوق‌العاده پلاتفرم‌های کربناته شد (Flügel, 2010; Van Buchem et al., 2010). همچنین، با تغییر محسوس شرایط



شکل ۸- مدل‌های پیشنهادی نحوه تشکیل دولومیت‌های تریاس-نئوکومین در تاق‌دیس خانه‌کت: الف) مدل برگشتی در تریاس پیشین-میانی (سازند خانه‌کت) و ژوراسیک پسین (سورمه بالایی)؛ ب) مدل دفنی در تریاس پسین (بخش دولومیتی سفیدار)؛ پ) مدل سبک‌دار ژوراسیک پیشین (سازند نیز و سورمه زیرین) که مشابه مدل برگشتی با اقلیم گرم و خشک و تبخیری‌ها همراه است؛ تفاوت این دو در مقیاس بزرگ‌تر مدل برگشتی است. ت) دولومیتی‌شدن دریایی در نئوکومین (سازند فلهیان) بدون حضور تبخیری‌ها (برگرفته از Allan and Wiggins, 1993; Warren, 2000 با اندکی تغییرات).

۵- نتیجه گیری

نتیجی کومین بآنوی مریوط به تریاس و ژوراسیک تفاوت دارند که نشانه تغییر مدل تشکیل کربنات‌ها در آن زمان است. نبود معنادار تبخیری‌ها، نتیجه اقلیم نسبتاً مرطوب کوتاه است و دولومیت‌های کلسیم‌دار و پراکنده با ترکیب ایزوتوپی متوسط در زمان بالا آمدن سطح آب دریا (مدل دریایی) تشکیل شده‌اند.

سپاسگزاری

از زحمات بی‌دریغ و پیگیری‌های مستمر دست‌اندرکاران ارجمند مجله علوم زمین به‌خاطر فراهم کردن امکان انتشار این مقاله صمیمانه قدردانی می‌شود. همچنین، داوران گرامی با صرف وقت باارزش و مطالعه دقیق مقاله اشکالات آن را یادآوری کردند و با ارائه پیشنهادات ارزنده امکان اصلاح آن را فراهم نمودند. تلاش این عزیزان بسیار ارزشمند و ستودنی است و برای یکان یکان آنها تندرستی و توفیق آرزو مندیم.

مشاهدات میدانی و داده‌های آزمایشگاهی حاکی از آن است که مجموعه کربنات‌های تریاس-نئوکومین در خاور زاگرس بلند از چهار مدل دولومیتی شدن متفاوت تأثیر پذیرفته‌اند. بخش عمده دولومیت‌های این محدوده زمانی تحت تأثیر فرایندهای سطحی مرتبط با تبخیر ناشی از اقلیم گرم و خشک تریاس و ژوراسیک تشکیل شده‌اند. دولومیت‌های تریاس زیرین-میانی و ژوراسیک بالایی غالباً میکروکریستالین، منظم و با تبخیری‌ها همراهند که نشانه ارتباط آنها با فرونشست شورابه‌های غلیظ در کربنات‌های میزبان (مدل برگشتی) است. دولومیت‌های تریاس بالایی، متوسط و درشت‌بلور با ترکیب ایزوتوپی اکسیژن سبک هستند که دمای نسبتاً زیاد محیط تشکیل و دخالت عوامل دیاژنتیکی در اعماق درون زمین (مدل دفنی) را نشان می‌دهند. دولومیت‌های ژوراسیک زیرین اغلب ریزیلورند و لامیناسیون، ترک‌های گلی و فابریک چشم پرنده‌ای در آنها دیده می‌شود که نتیجه دولومیتی شدن فراگیر در پهنه‌های کشندی (مدل سبختا) است. دولومیت‌های

کتابنگاری

- آدابی، م. ح.، ۱۳۸۳- ژئوشیمی رسوبی. انتشارات آرین زمین، ۴۴۸ صفحه.
- ارزانی، ن.، ۱۳۹۱- ژئوشیمی رسوبی. انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۰۴ صفحه.
- جلیلیان، ع. ح.، ۱۳۹۳- رخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند سورمه (ژوراسیک) در منطقه فارس. مجله رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۳، صفحات ۱۰۲-۹۰. https://psj.basu.ac.ir/article_950.html
- جلیلیان، ع. ح.، ۱۳۹۵- نهشته‌های پیراکشندی و توفانی در بُرش الگوی سازند خانه‌کت، تریاس زاگرس بلند، خاور شیراز. مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۷، صفحات ۳۱-۱۸. DOI: 10.22084/psj.2016.1619
- جلیلیان، ع. ح.، ۱۳۹۶- سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی و تاریخچه دیاژنتیکی بخش دولومیتی سفیدار (تریاس بالایی) در منطقه فارس، جنوب ایران. مجله رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۱۰، صفحات ۹۶-۸۱. DOI: 10.22084/psj.2017.2497
- جلیلیان، ع. ح.، لاسمی، ی. و آفانباتی، ع.، ۱۳۹۰- پتروگرافی و ژئوشیمی دولومیت‌های سازند سورمه در منطقه فارس داخلی، جنوب باختری ایران. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، جلد ۱، صفحات ۶۷-۶۹. http://aag.scu.ac.ir/article_11555.html
- رحیم‌پور بناب، ح.، ۱۳۸۴- سنگ‌شناسی کربناته ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ صفحه.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- چینه‌شناسی زاگرس. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ صفحه.

References

- Adabi, M. H., Salehi, M. A. and Ghabeishavi, A., 2010- Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39: 148-160. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.03.011>.
- Adam, J. and Al-Aasm, I. S., 2017- Petrologic and geochemical attributes of calcite cementation, dolomitization and dolomite recrystallization: an example from the Mississippian Pekisko Formation, west-central Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 65(2): 235-261. DOI: 10.2113/gscpgbull.65.2.235.
- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304: 1-20. DOI: 10.2475/ajs.304.1.1.
- Alavi, M., 2007- Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307: 1064-1095. DOI: 10.2475/09.2007.02.
- Allan, J. R. and Wiggins, W. D., 1993- Dolomite Reservoirs: Geochemical Techniques for Evaluating Origin and Distribution. *American Association of Petroleum Geologists, Continuing Education Course Notes No. 36*, 129 p.
- Allen, M. B. and Talebian, M., 2011- Structural variation along the Zagros and the nature of the Dezful Embayment. *Geological Magazine*, 148: 911-924. DOI: 10.1017/s0016756811000318.
- Alsharhan, A. S. and Nairn, A. E. M., 2003- *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*. Elsevier, 878 p.
- Alsharhan, A. S. and Whittle, G. L., 1995- Carbonate-Evaporite Sequences of the Late Jurassic, Southern and Sothwestern Persian Gulf. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79: 1608-1630. <https://doi.org/10.1306/7834DE2C-1721-11D7-8645000102C1865D>.

- Berberian, M., 1995- Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241: 193-224. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00185-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00185-C).
- Berberian, M. and King, C. G. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Blendinger, W., Lohmeier, S., Bertini, A., Meibner, E. and Sattler, C. D., 2015- A new model for the formation of dolomite in the Triassic dolomites, northern Italy. *Journal of Petroleum Geology*, 38(1): 5-36. <https://doi.org/10.1111/jpg.12596>.
- Boggs, S., 2009- *Petrology of Sedimentary Rocks*. Cambridge University Press, 600 p.
- Braithwaite, C. J. R., Rizzi, G. and Darke, G., 2004- The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs. Geological Society of London, Special Publication No. 235, 413 p.
- Chen, D., Qing, H. and Chao, Y., 2004- Multistage hydrothermal dolomites in the Middle Devonian (Givetian) carbonates from the Guilin area, South China. *Sedimentology*, 51: 1029-1051. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2004.00659.x.
- Dickson, J. A. D., 1965- Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36: 491-505. <https://doi.org/10.1306/74D714F6-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Fakhari, M. D., Axen, G. J., Horton, B. K., Hassanzadeh, J. and Amini, A., 2008- Revised age of proximal deposits in the Zagros foreland basin and implications for Cenozoic evolution of the High Zagros. *Tectonophysics*, 451(1-4): 170-185. DOI: 10.1016/j.tecto.2007.11.064.
- Flügel, E., 2010- *Microfacies of carbonate rocks*. Springer, 984 p.
- Folk, R. L., 1980- *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, 182 p.
- Frakes, L. A. and Francis, J. E., 2005- *Climate Modes of the Phanerozoic*. Cambridge University Press, 274 p.
- Ghazban, F., 2007- *Petroleum geology of the Persian Gulf*. Tehran University Press, 707 p.
- Golonka, J., 2004- Plate tectonic evolution of the Southern Margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics*, 381(1-4): 235-273. DOI: 10.1016/j.tecto.2002.06.004.
- Golonka, J. and Kiessling, W., 2002- Phanerozoic Time Scale and definition of time slices. *Society for Sedimentary Geology, Special Publication No. 72*, p. 11-20. DOI: 10.2110/pec.02.72.0011.
- Green, D. G., 2005- Fault and conduit controlled burial dolomitization of the Devonian west-central Alberta Deep Basin. *Bulletin of Canadian Petroleum Geologists*, 53: 101-129. DOI: 10.2113/53.2.101.
- Haas, J., Lobitzer, H. and Monostori, M., 2007- Characteristics of the Lofer cyclicity in the type locality of the Dachstein Limestone (Dachstein Plateau, Austria). *Facies*, 53: 113-126. DOI: 10.1007/s10347-006-0087-8
- Haas, J., Lukoczki, G., Budai, T. and Demeny, A., 2015- Genesis of Upper Triassic peritidal dolomites in the Transdanubian Range, Hungary. *Facies*, 61(8): 1-28. DOI: 10.1007/s10347-015-0435-7.
- Haq, B. U. and Al-Qahtani, A. M., 2005- Phanerozoic cycles of sea-level change on the Arabian Platform. *GeoArabia*, 10(2): 127-160. <https://pdfs.semanticscholar.org/ab96/f7804c7f1f367041687759c805ea43f88e74.pdf>.
- Heydari, E., 2008- Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. *Tectonophysics*, 451: 56-70. DOI: 10.1016/j.tecto.2007.11.046.
- Iannace, A., Capuano, M. and 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. DOI: 10.1016/j.palaeo.2011.07.025.
- Iannace, A. and Frisia, S., 1994- Changing dolomitization styles from Norian to Rhaetian in southern Tethys realm. In: Purser, B., Tucker, M. and Zenger, D., (Eds) *Dolomites: A Volume in Honour of Dolomieu*. Blackwell Scientific Publications No. 21, p. 75-89. <https://doi.org/10.1002/9781444304077.ch6>.
- James, G. A. and Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 49(12): 2182-2245. DOI: 10.1306/a663388a-16c0-11d7-8645000102c1865d.
- Kaczmarek, S. E. and Sibley, D. F., 2014- Direct physical evidence of dolomite recrystallization. *Sedimentology*, 61: 1862-1882. DOI: 10.1111/sed.12119.
- Kashfi, M. S., 2000- The greater Persian Gulf Permian-Triassic stratigraphic nomenclature requires study. *Oil and Gas Journal*, Tulsa, 6: 36-44. DOI: 10.1306/bf9ab714-0eb6-11d7-8643000102c1865d.
- Koop, W. J. and Stoneley, R., 1982- Subsidence history of the Middle East Zagros Basin, Permian to Recent, *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 305: 149-168. DOI: 10.1098/rsta.1982.0031.
- Korte, Ch., Kozur, H. W. and Veizer, J., 2005- $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of Triassic brachiopods and carbonate rocks as proxies for coeval seawater and palaeotemperature. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 226: 287-306. DOI: 10.1016/j.palaeo.2005.05.018.
- Lasemi, Y. and Jalilian, A. H., 2010- The Middle Jurassic basal deposits of the Surmeh Formation in the Central Zagros Mountains, southwest Iran: Facies, Stacking pattern and Controls. *Carbonates and Evaporites*, 25: 283-295. DOI: 10.1007/s13146-010-0032-3.

- Lasemi, Y., Jahani, D., Amin-Rasouli, H. and Lasemi, Z., 2012- Ancient Carbonate Tidalites. In: Davis, J. R. A. and Dalrymple, R. W., (Eds). Principles of Tidal Sedimentology. Springer, pp. 567-607. DOI: 10.1007/978-94-007-0123-6_21.
- Leturmy, P. and Robin, C., (Eds) 2010- Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic–Cenozoic. Geological Society of London, Special Publications No. 330, 360 p. DOI: 10.1017/S0016756811000264.
- Machel, H. G., 2004- Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal. In: Braithwhite, C. J. R., Rizzi, G. and Darke, G., (Eds) The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs. Geological Society of London, Special Publication No. 235, p. 7-64. DOI: 10.1144/GSL.SP.2004.235.01.02.
- Meister, P., McKenzie, J. A., Bernasconi, S. M. and Brack, P., 2013- Dolomite formation in the shallow seas of the Alpine Triassic. Sedimentology, 60: 270–291. DOI: 10.1111/sed.12001.
- Morettini, E., Baumgartner, P.O., Hunziker, J.C., Monaco, P. and Ripepem, M., 2000- Stable Isotopic signal of carbon and oxygen in Jurassic Marlstone–Limestones rhythms (Italy, Central Apennines). GeoResearch Forum 6: 487–498. https://www.researchgate.net/publication/233588869_Stable_Isotopic_Signal_of_Carbon_and_Oxygen.
- Mouthereau, F., Lacombe, O. and Verges, J., 2012- Building the Zagros collisional orogen: timing, strain distribution, and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence. Tectonophysics, 532-535: 27-60. DOI: 10.1016/i.tecto.2012.01.022.
- Murris, R. J., 1980- Middle East: Stratigraphic evolution and oil habitat. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 64(5): 597-618. DOI: 10.1306/2f918a8b-16ce-11d7-8645000102c1865d.
- Najafi, M., Yassaghi, A., Bahroudi, A., Vergés, J. and Sherkati, Sh., 2014- Impact of the Late Triassic Dashtak intermediate detachment horizon on anticline geometry in the Central Frontal Fars, SE Zagros fold belt, Iran. Marine and Petroleum Geology, 54: 23-36. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.02.010>.
- Pirouz, M., Simpson, G., Bahroudi, A. and Azhdari, A., 2011- Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system: Geological Magazine, Cambridge University Press, 148(5-6): 838-853. DOI: 10.1017/s0016756811000392.
- Piryaei, A., Reijmer, J. J. G., Borgomano, J. and van Buchem, F. S. P., 2010- Late Cretaceous tectonic and sedimentary evolution of the Bandar Abbas area, Fars region, Southern Iran. Journal of Petroleum Geology, 34(2): 157-180. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2011.00499.x>.
- Pokrovsky, O. S., 2017- Dolomite: Formation, Characteristics and Environmental Impact. Nova Science Publication Inc, 190 p.
- Purser, B., Tucker, M. and Zenger, D., 1994- Dolomites: A Volume in Honour of Dolomieu. Blackwell Scientific Publications No. 21, 451 p.
- Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B. and Tavakoli, V., 2010- Dolomitization and Anhydrite Precipitation in Permo-Triassic Carbonates at the South Pars Gasfield, Offshore Iran: Controls on Reservoir Quality. Journal of Petroleum Geology, 33(2): 1-24. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00463.x>.
- Ren, M. and Jones, B., 2017- Spatial variations in the stoichiometry and geochemistry of Miocene dolomite from Grand Cayman: Implications for the origin of island dolostone. Sedimentary Geology, 348: 69–93. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2016.12.001.
- Ronchi, P., Jadoul, F., Ceriani, A., Di Giulio, A., Scotti, P., Ortenzi, A. and Massara, P.E., 2010- Multistage dolomitization and distribution of dolomitized bodies in Early Jurassic carbonate platforms (Southern Alps, Italy). Sedimentology, 58(2): 532-565. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2010.01174.x>.
- Sahraeyan, M., Bahrami, M., Hooshmand, M., Ghazi, Sh. and Al-Juboury, A. I., 2013- Sedimentary facies and diagenetic features of the Early Cretaceous Fahliyan Formation in the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Journal of African Earth Sciences, 87: 59–70. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2013.07.004.
- Scholle, P. A. and Ulmer-Scholle, D. S., 2003- A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis. American Association of Petroleum Geologists Memoir 77, 459 p.
- Searl, A., 1989- Saddle dolomite: a new view of its nature and origin. Mineralogical Magazine, 53: 547-555. DOI: 10.1180/minmag.1989.053.373.05.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Marine and Petroleum Geology, 21: 829–843. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006.
- Setudehnia, A., 1978- The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent area. Journal of Petroleum Geology, 1(1): 3-42. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00599.x>.
- Seyed-Emami, K., 2003- Triassic in Iran. Facies, 48: 91-106. DOI: 10.1007/BF02667532.
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, H. P., Horbory, A. D. and Simons, M. D., 2001- Arabian plate sequence stratigraphy. GeoArabia, Gulf Petrolink, Bahrain, 370 p.
- Sherkati, S., Letouzey, J. and Frizon de Lamotte, D., 2006- Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. Tectonics, 25, 1-27. <https://doi.org/10.1029/2004TC001766>.
- Sibley, D. F. and Gregg, J. M., 1987- Classification of dolomite rock texture. Journal of Sedimentary Petrology, 57: 967-975. DOI: 10.1016/0148-9062(88)92447-3.

- Spötl, C. and Pitman, J. K., 2009- Saddle (Baroque) Dolomite in Carbonates and Sandstones: A Reappraisal of a Burial-Diagenetic Concept. In: Morad, S., (Ed) Carbonate Cementation in Sandstones: Distribution Patterns and Geochemical Evolution. International Association of Sedimentologists, Special Publication No. 26, p. 437-460. DOI: 10.1002/9781444304893.CH19.
- Swart, P. K., Cantrell, D. L., Westphal, H., Handford, C. R. and Kendall, C. G., 2005- Origin of dolomite in the Arab-D reservoir from the Ghawar Field, Saudi Arabia: evidence from petrographic and geochemical constraints. *Journal of Sedimentary Research*, 75:476-491. DOI: 10.2110/jsr.2005.037.
- Szabo, F. and Kheradpir, A., 1978- Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south-west Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 1(2): 57-82. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00611.x>.
- Van Buchem, F. S. P., Gerdes, K. D. and Esteban, M., 2010- Mesozoic and Cenozoic Carbonate Systems of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and Diagenetic Reference Models. Geological Society, London, Special Publications No. 329, 422 p. <https://epdf.pub/queue/mesozoic-and-cenozoic-carbonate-systems-of-the-mediterranean-and-the-middle-east.html>.
- Warren, J. K., 2000- Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*, 52: 1-81. DOI: 10.1016/S0012-8252(00)00022-2.
- Warren, J. K., 2006- Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons. Springer, 1035 p. <http://dx.doi.org/10.1007/3-540-32344-9>.
- Wierzbicki, R., Dravis, J. J., Al-Aasm, I. and Harland, N., 2006- Burial dolomitization and dissolution of Upper Jurassic Abenaki platform carbonates, Deep Panuke reservoir, Nova Scotia, Canada. *American Association of Petroleum Geologists*, 90(11): 1843-1861. DOI: 10.1306/03200605074.
- Winkelstern, I. Z. and Lohmann, K. C., 2017- Shallow burial alteration of dolomite and limestone clumped isotope Geochemistry. *Geology*, 44(6): 467-470. DOI: 10.1130/g37809.1.
- Wright, D. T. and Wacey, D., 2004- Sedimentary dolomite: a reality check. In: Braithwaite, C. J. R., Rizzi, G. and Darke, G., (Eds) The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs. Geological Society of London, Special Publication No. 235, p. 65-74. DOI: 10.1144/GSL.SP.2004.235.01.03.
- Ziegler, M. A., 2001- Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 6: 445-504. <http://www.searchanddiscovery.com/documents/ziegler/images/ziegler.pdf>.

Comparison of dolomitization models of Triassic-Neocomian carbonates in the Eastern High Zagros

A. H. Jalilian^{1*}

¹ Assistant Professor, Geology department of Payame Noor University, I. R. Iran

Received: 2020 April 12

Accepted: 2020 June 23

Abstract

The Mesozoic sequence in the Zagros Region (SW Iran) consists dominantly of carbonates especially dolomite that play the role of reservoir in many oil and gas fields of the region. To investigate the function of sedimentary and diagenetic processes in the formation of Triassic-Neocomian dolomites of the eastern High Zagros, this study focuses on petrography and geochemistry of the carbonates crop out in the Khaneh Kat anticline. Field and laboratory data led to the recognition of four different dolomitization models within the studied carbonates. The Lower-Middle Triassic and Upper Jurassic dolomites are medium to thick-bedded and composed of fine to medium-grained relatively ordered dolomite. The stoichiometric chemistries and heavier oxygen isotope ratios of these dolomites as well as the considerable presence of evaporites indicate the favorable conditions for the formation of early dolomite due to downward-percolating of concentrated evaporate brines (reflux model). The Upper Triassic dolomitic portion of the Zagros consists of medium to coarse-crystalline, massive-bedded dolomites with relatively light isotopic composition. Mineralogy and geochemistry of these dolomites indicate a high temperature origin as well as their relationship to diagenetic processes, including recrystallization in a deep-subsurface environment (burial model). In the Upper Jurassic portion of the succession, dolomites are remarkably fine crystalline with heavier oxygen isotopic values. Sedimentological evidence such as lamination, mud cracks and bird's eye fabric confirm their relationship to surface processes and pervasive early dolomitization due to dry climate in the inner-part of carbonate ramps (Sabkha model). The sedimentology and geochemistry of the Neocomian dolomites of the eastern High Zagros significantly differ from those of the Triassic and Jurassic times that indicate a marked change in the dolomitization style. The presence of scattered calcian dolomites with moderate isotopic composition and the absence of nearby evaporites are the results of dolomitization by marine fluids (marine model). It can be concluded that unlike the Triassic-Jurassic periods, the Neocomian dolomites were formed in the relatively humid climate of the Early Cretaceous coincided with relative sea-level rise.

Keywords: Model, Dolomite, Zagros, Triassic, Jurassic, Neocomian

For Persian Version see pages 165 to 178

*Corresponding author: A. H. Jalilian; E-mail: jalilian@pnu.ac.ir