



## **Dolomitization and evaporate mineralization of Sachun Formation at type locality (SE Shiraz)**

**R. Shabafrooz, A. Mahboubi<sup>\*</sup>, R. Moussavi-Harami**

*Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran*

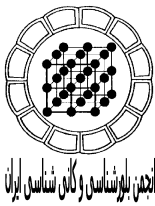
(Received: 19/4/2009, in revised form: 1/7/2009)

**Abstract:** The Sachun Formation (Paleocene-Lower Eocene) is mainly composed of carbonates and evaporates that were deposited in shallow-marine evaporitic mudflat environments. The Sachun Formation in the study area has been divided into three units including: lower evaporate; middle bioclastic limestone and upper evaporate. It is mainly composed of diagenetic gypsum, which originated from dehydration of anhydrite precursor. This gypsum in the Sachun Formation generally displays alabastrine and porphyroblastic textures with corroded anhydrite relics. Petrological studies reveal that the most important diagenetic processes affected the middle Part of the Sachun Formation are dolomitization and evaporate mineralization. Four types of dolomite, ranging from early to burial diagenetic environments, were identified. These are including very fine-to-fine crystalline (D<sub>1</sub>), neomorphic dolomite (D<sub>2</sub>), fine-to-medium crystalline euhedral to subhedral dolomite (D<sub>3</sub>) and pore- and fracture-filling dolomite (D<sub>4</sub>).

**Keywords:** *gypsum, anhydrite, alabastrine, porphyroblastic, dolomite, Sachun Formation.*

---

\*Corresponding author, Tel.: +98 (0511) 8797275, Fax: +98 (0511) 8797275, E-mail: amahboobi2001@yahoo.com



## دولومیتی شدن و کانی‌زایی تبخیری‌های سازند ساچون در برش الگو (جنوب شرق شیراز)

روح اله شب افروز، اسداله محبوبی\*، رضا موسوی حرمی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۸۸/۱/۳۱، نسخه نهایی: ۸۸/۴/۱۱)

**چکیده:** سازند ساچون (پالئوسن-ائوسن پایینی) متشکل از کربنات‌ها و تبخیری‌هایی است که در شرایط دریایی کم عمق و ساحلی سیخا نهشته شده‌اند. سازند ساچون در ناحیه مورد بررسی از سه بخش تبخیری زیرین، سنگ آهک بیوکلاستی میانی و تبخیری بالایی تشکیل شده است. واحد تبخیری زیرین و بالایی بیشتر از ژئوسپس‌های ثانویه حاصل از دیانژن انیدریت-ژئوسپس تشکیل شده است. ژئوسپس‌های ثانویه بیشتر دارای بافت آلاباستری و پورفیروبلاستی به همراه آثار باقیمانده از بلورهای انیدریت هستند. بررسی سنگ‌شناختی نمونه‌های بخش میانی سازند ساچون در این منطقه نشان می‌دهد که مهم‌ترین فرایندهای تاثیر گذار، دولومیتی شدن و کانی‌زایی تبخیری است. بر مبنای بررسی‌های سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی چهار نوع دولومیت اولیه تا مراحل دفنی کم عمق شامل دولومیت خیلی ریز تا ریز (نوع یک)، نتومورفیک (نوع دوم)، لوزی رخ‌های شکل‌دار و مسطح در اندازه ریز تا متوسط (نوع سوم) و دولومیت پر کننده حفره‌ها و شکستگی‌ها (نوع چهارم) از یکدیگر تفکیک شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** ژئوسپس، انیدریت، آلاباستری، پورفیروبلاستی، دولومیت، سازند ساچون.

### مقدمه

مارنی و مارن سرخ رنگ است. مرز پایینی آن با دولومیت و سنگ آهک‌های رودیستی سازند تاربور به صورت همساز (Conformable) و ناگهانی (Sharp) است که با یک افق خاک دیرینه (Paleosol) مشاهده شده است (شکل ۱، B و C). مرز بالایی ساچون با سازند جهرم نیز همساز و ناگهانی است [۱].

هدف از این بررسی تفکیک انواع دولومیت و شناسایی ساز و کار تشکیل آن‌ها و ارتباطشان با واحدهای تبخیری سازند ساچون در برش الگو است.

### روش بررسی

به منظور شناسایی ساز و کار تشکیل دولومیت‌های بخش میانی سازند ساچون به ضخامت ۳۰۱ متر در برش الگو، تعداد ۲۷۵ نمونه به فواصل یک تا سه متری برداشت شده‌اند. برای تشخیص

نهشته‌های تبخیری-کربناتی سازند ساچون به طور ناپیوسته در بالای سنگ آهک‌های سازند تاربور و در زیر کربنات‌های جهرم قرار گرفته و معرف محیط‌های کنار قاره‌ای مزوزوئیک-سنوزوئیک، به ویژه در نواحی فارس داخلی است. سازند ساچون (پالئوسن-ائوسن پایینی) در ناحیه مورد بررسی از سه بخش تبخیری زیرین، سنگ آهک‌های بیوکلاستی میانی و تبخیری بالایی تشکیل شده است. واحدهای زیرین و بالایی حاوی میان لایه‌های نازک دولومیتی و سنگ آهک‌های به شدت دولومیتی شده است.

برش الگوی سازند ساچون در نزدیکی روستای ساچون (۲۵ کیلومتری جنوب داراب)، ۹۴۶ متر ضخامت دارد (شکل ۱، A و B) و بیشتر شامل ژئوسپس، دولومیت، سنگ آهک‌های

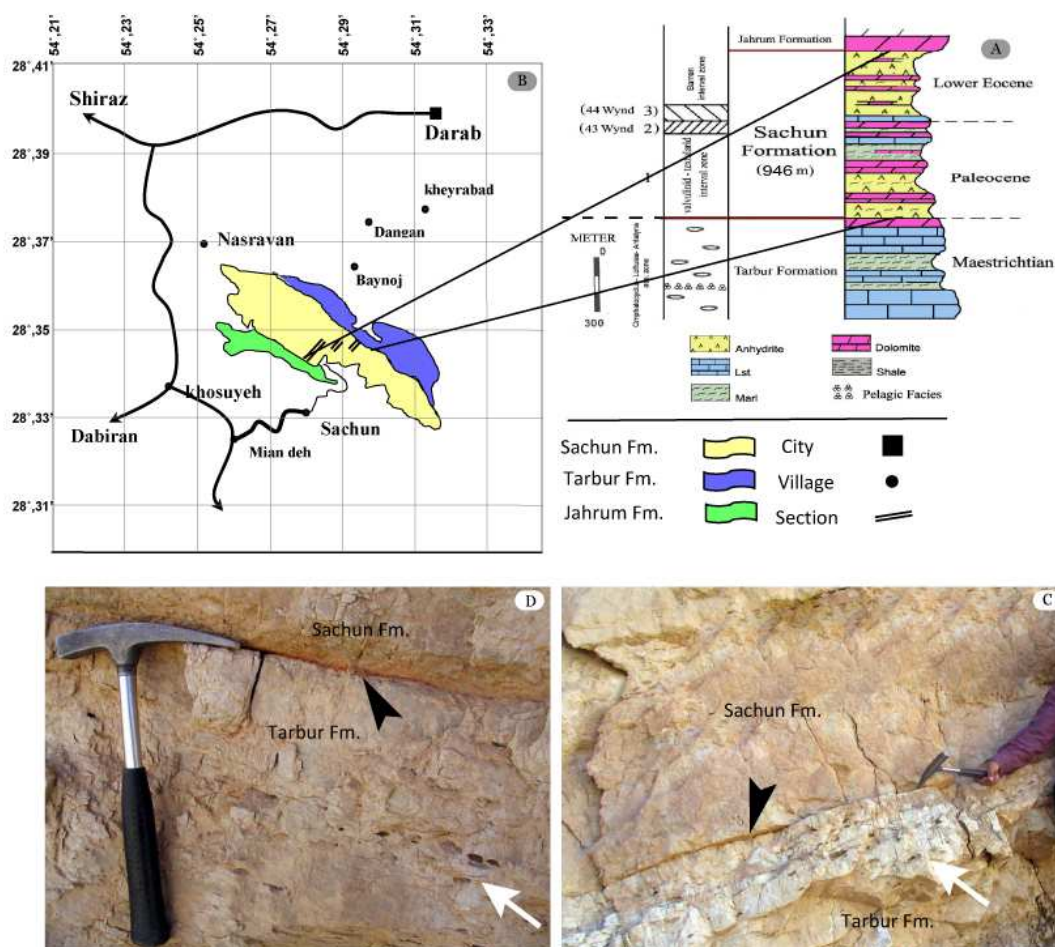
\* نویسنده مسئول، تلفن: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱) ۹۸+، نمابر: ۸۷۹۷۲۷۵ (۰۵۱۱) ۹۸+، پست الکترونیکی: amahboobi2001@yahoo.com

مختلف (مخلوط آب‌های متئوریکی و دریایی، آب دریا و آب‌های بسیار شور) تشکیل شود [۳]. بنا بر بررسی‌های انجام شده معلوم شد که اگر زمان، دما و میزان شاره‌های دولومیت ساز کافی و مناسب باشد طیف گسترده‌ای از انواع دولومیت‌ها تشکیل می‌شوند [۴]. بر مبنای اندازه و شکل مرز بلورها می‌توان انواع دولومیت‌ها را در مقاطع نازک سازند ساچون تشخیص داد. سیبلی و گرگ [۵] معتقدند دولومیت‌های یک اندازه (تک مدی) در نتیجه توزیع یکنواخت مکان‌های هسته سازی همراه با رشد همگن بلورها حاصل شده‌اند، در حالی که دولومیت‌های با اندازه‌های متفاوت (چند مدی) به توزیع ناهمگن مکان‌های هسته‌سازی، هسته‌سازی چند مرحله‌ای و یا تغییر در میزان رشد بلورها نسبت داده شده‌اند. بر مبنای بررسی‌های سنگ-شناختی چهار نوع دولومیت در سازند ساچون از یکدیگر تفکیک شدند:

کلسیت از دولومیت مقاطع نازک با محلول آلیزاین به روش دیکسون [۲] رنگ آمیزی شدند. پس از بررسی سنگ‌شناختی اولیه تعداد ۱۹ نمونه به منظور تعیین عناصر آهن، منگنز، سدیم، استرانسیم و منیزیم، دولومیت‌های نوع یک (D<sub>1</sub>) و دو (D<sub>2</sub>)، در آزمایشگاه شیمی دانشگاه فردوسی مشهد با طیف سنج جذب اتمی آنالیز شدند. ۵۰ نمونه از مقاطع نازک نیز با میکروسکوپ کاندولومینسانس بررسی شدند. میکروسکوپ مورد استفاده در این کار پژوهشی از نوع Technosyn Cold، مدل Km3 8200 بود که در شرایط خلاء 0.15 تور (Torr)، ولتاژ ۱۲ کیلوولت و شدت جریان ۱۸۰ تا ۱۹۵ میلی آمپر مورد استفاده قرار گرفت.

### سنگ‌شناختی دولومیت‌ها

دولومیت می‌تواند در بیشتر مراحل دیازنز، یعنی بلافاصله پس از ته‌نشینی تا دفن عمیق، از آب‌های با ترکیب شیمیایی



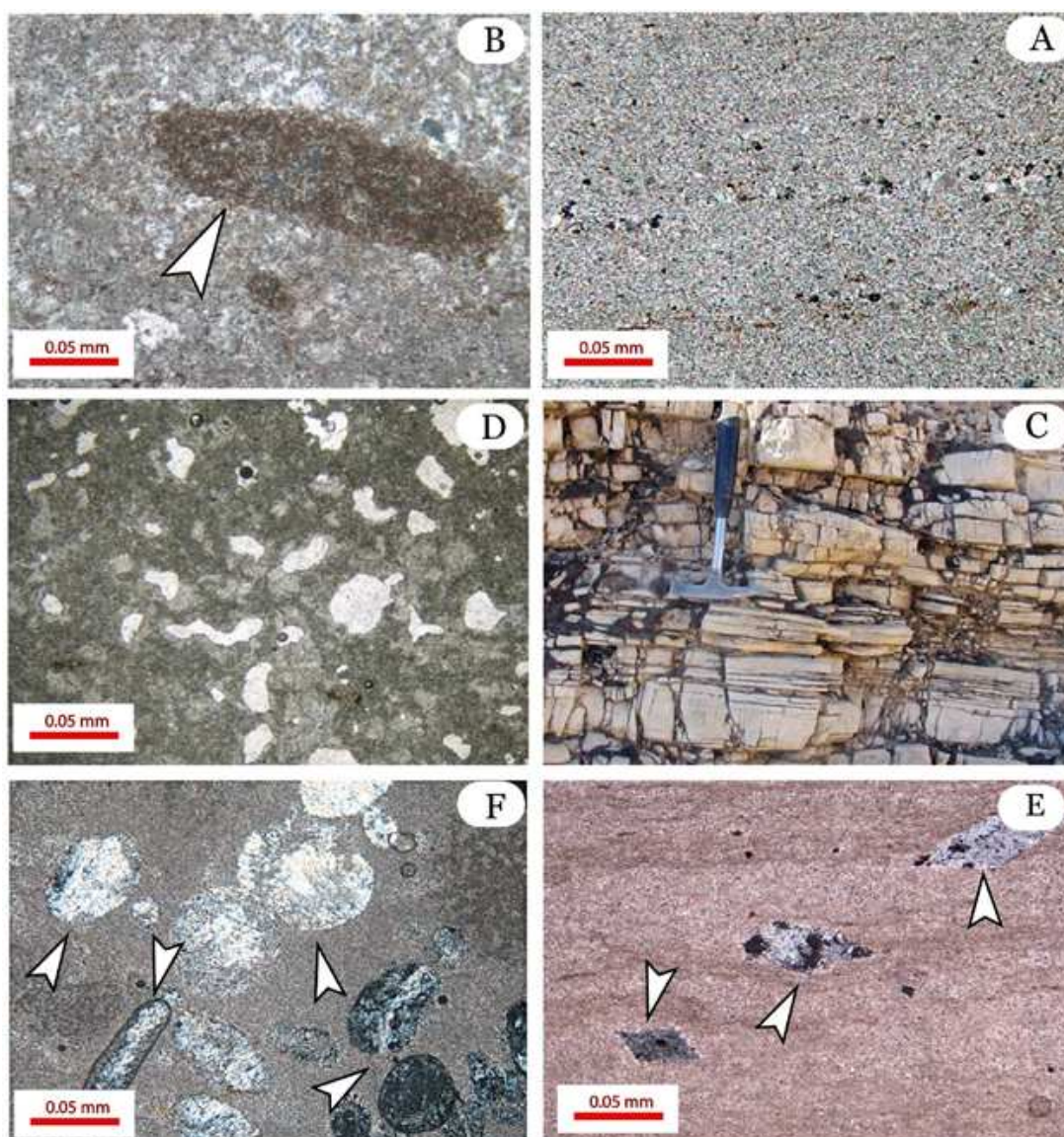
شکل ۱ (A)، ستون چینه‌شناسی خلاصه شده (امیری بختیار و همکاران، ۱۳۸۵)، (B) نقشه موقعیت جغرافیایی سازند ساچون در برش مورد بررسی، (C و D) تصاویری از مرز زیرین سازند ساچون به صورت ناپیوسته با سازند تاربور با حضور افقی از خاک قدیمی (فلش مشکی)، به گسترش فرایند انحلال در زیر این افق توجه شود (پیکان سفید).



دولومیت‌های نوع اول (D<sub>1</sub>)

این نوع دولومیت به صورت موزائیک‌های یک اندازه (تک مدی) به صورت بلورهای خیلی ریز تا ریزند و براساس رده‌بندی گرگ و سیبلی [۵] از نوع صفحه‌ای (Planar) و دمای پائین هستند. اندازه بلورها کمتر از ۵۰ میکرون است و بسیار متراکم، خاکستری، حاوی ذرات ریز کوارتز در اندازه سیلت و فاقد

فسیلاند (شکل ۲، A) و اغلب دارای آثاری از بافت‌های اولیه نظیر اینتراکلاست (شکل ۲، B) و لامیناسیون هستند (شکل ۲، C). از دیگر ویژگی‌های این دولومیت‌ها می‌توان به وجود بافت نرده‌ای (شکل ۲، D)، بلورهای تبخیری به صورت منفرد (شکل ۲، E)، گرهک‌های ریز تبخیری (شکل ۲، F) و ترک گلی اشاره کرد.



شکل ۲ تصاویر دولومیت نوع یک (D<sub>1</sub>).

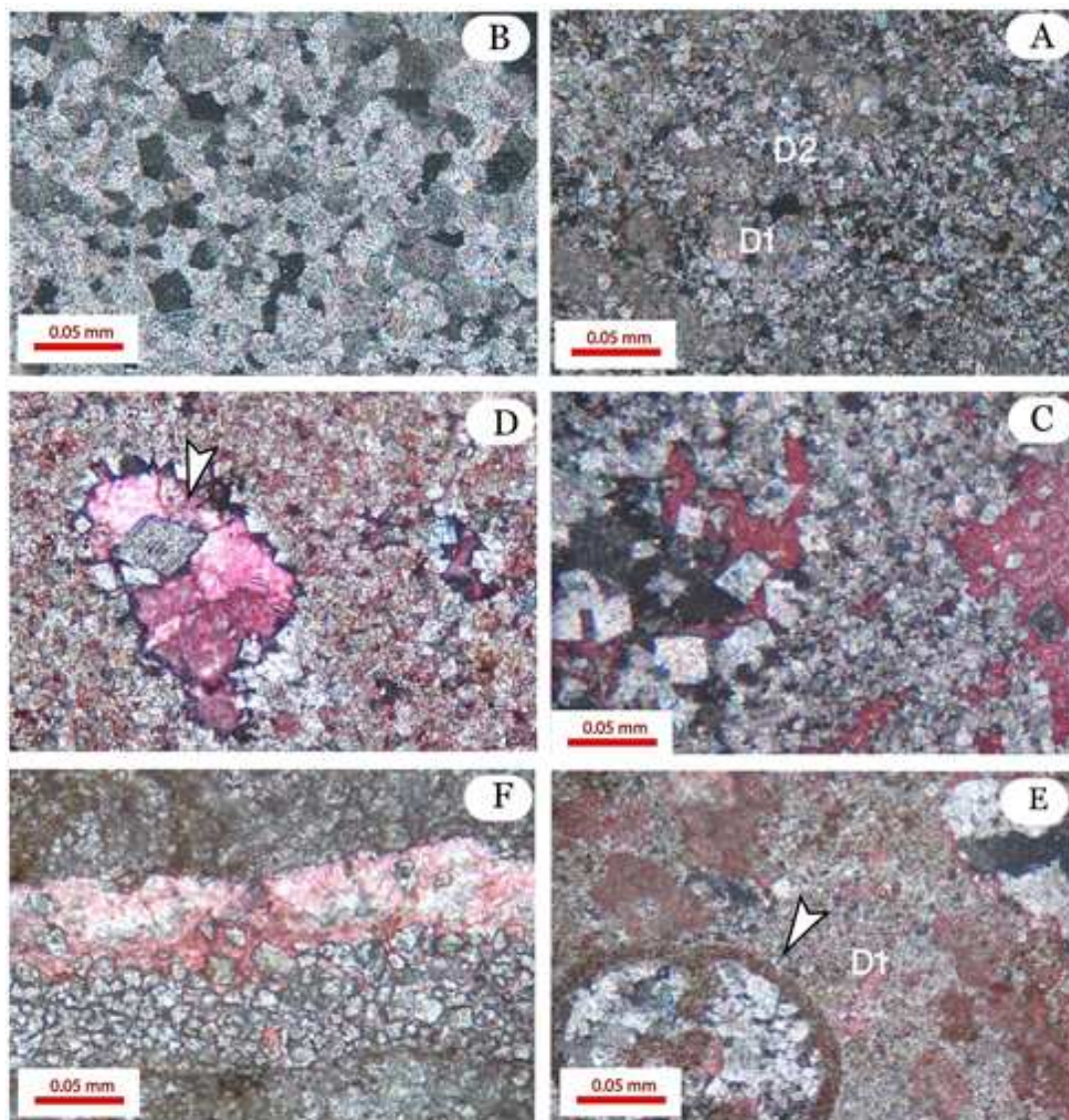
(A) دولومیت‌های خیلی ریز تا ریز بلور یک اندازه همراه با دانه‌های پراکنده‌ای از کوارتز در اندازه سیلت (XPL)، (B) تصویر اینتراکلاست (فلش) دولومیتی در دولومیت نوع یک (XPL) (C) دولومیت نوع یک به صورت لامیناسیون‌های نازک، ضخامت آن‌ها گاه به ۲ متر می‌رسد، (D) رخساره دولستونی با بافت نردبانی (XPL)، (E) تصویری از اشکال دروغین ژپس (فلش) در دولومیت نوع یک (XPL)، (F) پراکندگی ندول‌های ژپس با بافت آلاباستری (فلش) در دولومیت نوع یک (XPL).



دارد که تحت تاثیر شرایط نوریختی قرار گرفته‌اند (شکل ۳، A و B). این نوع دولومیت ( $D_2$ ) نتیجه تبلور دوباره دولومیت‌هایی است که نزدیک به سطح زمین ( $D_1$ ) تشکیل شده‌اند. همراه این نوع دولومیت ( $D_2$ )، کانی‌های تبخیری به‌طور پراکنده به صورت‌های پرکننده حفره‌ها، شکستگی‌ها و نیز جانشینی دیده می‌شوند.

### دولومیت‌های نوع دوم ( $D_2$ )

این دولومیت‌ها، شکل‌دار تا نیمه شکل‌دارند و اندازه بلورها از ۳۰۰ تا ۴۰۰ میکرون در تغییر است. اغلب مرز بلورها مسطح است و با توجه به رده‌بندی سیبلی و گرگ [۵] از نوع Planar- $s$  و  $e$  هستند. بلورهای این نوع دولومیت بیشتر به صورت نوریختی است و بافت آن‌ها به سنگ آهک‌هایی شباهت



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از فرایند دولومیتی شدن در سازند ساچون (تمام مقاطع با محلول آلیزارین رنگ آمیزی شده‌اند). A- تصویر دولومیت نفومرفیک (نوع دوم) نیمه شکل‌دار ( $D_2$ ) و دولومیت نوع یک ( $D_1$ ) در کنار هم (XPL)، B- تصویر دولومیت نفومرفیک (نوع دوم) نیمه شکل‌دار ( $D_2$ ) (XPL)، C- تصویری از جانشینی میکریکیت توسط بلورهای ریز دولومیت (نوع سوم) که هنوز بخشی از میکریکیت در بین بلورهای دولومیت دیده می‌شود (XPL)، D- تصویر بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار دولومیت پرکننده حفره (نوع چهارم) در سیمان کلسیتی (فلش)، به گوشه‌های دولومیت در مجاورت حفره پر شده با سیمان کلسیتی توجه شود (فلش) (XPL)، E- بلورهای نیمه شکل‌دار دولومیت (نوع چهارم) که جانشین قطعات فسیلی شده است (PPL)، F- بلورهای شکل‌دار دولومیت (نوع چهارم) که در داخل شکستگی تشکیل شده‌اند. به گوشه‌های دولومیت در مجاورت حفره پر شده با سیمان کلسیتی توجه شود (XPL).

(شکل ۳، E) و نیز روزنه‌ها و شکستگی‌های موجود در دولومیت‌های ریز بلور قبلی را پر کرده است. بلورهای نسبتاً درشت‌تر با شکل منظم بیشتر پیرامون روزنه‌ها و شکستگی‌ها دیده می‌شوند (شکل ۳، F). این دولومیت‌ها بیشتر رخساره‌های لاگونی به سمت ساحل و بخشی از رخساره‌های سدی مشاهده می‌شوند و از سمت رخساره‌های ساحلی به بخش‌های عمیق‌تر لاگون از شدت دولومیتی شدن کاسته شده است.

#### ژئوشیمی دولومیت‌ها

برای شناخت خاستگاه آبگون‌های دولومیت‌زا و فرایندهای دولومیتی شدن، تعیین عناصر اصلی و فرعی و بررسی‌های ایزوتوپی دولومیت‌ها می‌تواند کمک موثری بنماید. در این زمینه بررسی‌هایی توسط مازولا [۴]، ال آسم [۶]، آدابی [۷] و محبوبی و همکاران [۸، ۹] انجام شده است تا بتوان خاستگاه دولومیت‌های اولیه و ثانویه، زمان دولومیتی شدن، ترکیب شاره‌های دولومیت ساز و مدل‌های دولومیتی شدن را مشخص کنند. به دلیل اینکه تنها در دولومیت‌های متوسط و درشت دانه می‌توان بر اساس شواهد سنگ‌شناختی دولومیت‌های اولیه را از ثانویه تشخیص داد. لذا در این کار پژوهشی، با توجه به شباهت دولومیت‌های نوع یک (D1) و نوع دو (D2) از نظر اندازه بلور، سعی شده تا از روش آنالیز عنصری برای جدایش هر چه بهتر آن‌ها استفاده شود، که نتایج آن به شرح زیراند (جدول ۱-).

#### دولومیت‌های نوع سوم (D3)

این نوع دولومیت به صورت لوزی رخ‌های شکل‌دار و مسطح [۵] در اندازه ریز تا متوسط‌اند (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون). در برخی از نمونه‌ها بلورها بین ماتریکس میکریتی شناور است (شکل ۳، D&C) و در برخی دیگر نیز درون سیمانی از کلسیت اسپاری شناور بوده و بافت پویکیلو تاپیک را به وجود می‌آورد. این نوع دولومیت در سازند ساچون، در رخساره‌های گل آهکی ساحلی و رخساره‌های پکستونی لاگون به سمت سبخا، به وفور مشاهده می‌شود، و از آنجا که قطعات فسیلی کمتر تحت تأثیر این نوع دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند، به احتمال زیاد فرایند دولومیتی شدن ترجیحاً زمینه ریز دانه میکریتی را تحت تأثیر قرار داده و لوزی رخ‌های دولومیت شروع به رشد کرده‌اند. به نظر سیلی و گرگ [۵] این نوع دولومیتی شدن در زمانی رخ می‌دهد که محلول‌های دولومیت ساز هنوز به حد ابر اشباع نرسیده‌اند.

#### دولومیت‌های نوع چهارم (D4)

این نوع دولومیت به دلیل داشتن بلورهای درشت به راحتی از طریق بررسی‌های سنگ‌شناختی قابل تشخیص‌اند. اندازه بلورها بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ میکرون است. دولومیت‌های نوع چهارم از بلورهای شفاف و اغلب شکل‌دار با مرزهای مسطح تشکیل شده و به صورت سیمان پرکننده روزنه‌ها (Planar-c) و گاه به صورت جزئی جانشین بعضی از خرده‌های اسکلتی شده

جدول ۱ نتایج آنالیز عنصری دولومیت‌های سازند ساچون در برش الگو

Sampel No	Dolomite	Fe(ppm)	Mn(ppm)	Sr(ppm)	Na(ppm)
s-100	D1	۵۸۰	۱۷	۲۴۰	۵۷۸۰
s-198	D1	۱۴۰۰	۲۵	۳۳۰	۵۰۰۰
s-215	D1	۳۷۰	۱۴	۱۱۰	۴۸۵۰
s-214	D1	۹۶۰	۲۲	۴۲۰	۷۵۷۰
s-189	D1	۳۷۰	۲۴	۳۷۰	۸۷۲۰
s-202	D1	۲۴۰	۱۶	۱۱۰	۱۶۸۰
s-211	D1	۳۰۰	۲	۲۵۰	۵۳۷۰
s-188	D1	۱۱۰۰	۴۳	۳۵۰	۳۳۵۰
s-107	D1	۱۳۰۰	۵۹	۱۴۰	۶۱۷۰
s-102	D1	۸۰۰	۱۸	۴۹۰	۵۶۰
s-199	D1	۱۱۰۰	۷	۳۰۰	۳۱۷۰
s-181	D1	۱۱۳۰	۵۷	۱۷۰	۶۱۵۰
s-106	D1	۶۷۰	۶۱	۸۹۰	۲۵۰
s-220	D1	۷۵۰	۱۲	۲۱۰	۴۱۲۰
s-100	D1	۹۶۰	۱۹	۲۴۰	۸۴۴۰
s-122	D2	۱۴۲۰	۱۸	۹۰	۴۵۰
s-154	D2	۱۳۸۰	۲۲	۱۰۰	۴۳۷۰
s-163	D2	۱۷۵۰	۶۸	۱۳۰	۳۱۸۰
s-137	D2	۱۲۰۱	۵۶	۱۴۰	۵۷۰

## نتایج

مقدار سدیم در دولومیت‌های سازند ساچون بین ۲۵۰ تا ۸۷۲۰ پی‌پی‌ام (میانگین ۴۴۸۵ پی‌پی‌ام) و مقدار استرانسیم بین ۹۰ تا ۸۹۰ پی‌پی‌ام در تغییر است. میانگین استرانسیم در دولومیت‌های نوع اول (۳۰۸ پی‌پی‌ام) به مراتب بیشتر از دولومیت‌های نوع دوم (۱۱۵ پی‌پی‌ام) است. دامنه تغییرات آهن و منگنز در این دولومیت‌ها به ترتیب بین ۲۴۰ تا ۱۴۰۰ پی‌پی‌ام و ۲ تا ۶۸ پی‌پی‌ام است.

## تفسیر

مقدار سدیم در دولومیت‌های عهد حاضر (خلیج فارس) بین ۱۰۰ تا ۲۵۰۰ پی‌پی‌ام در نوسان است. ولی با گذشت زمان و قدمت دولومیت، مقدار سدیم آن همانند استرانسیم کم می‌شود [۱۰]. مقدار سدیم در دولومیت‌های سازند ساچون بین ۲۵۰ تا ۸۷۲۰ پی‌پی‌ام (میانگین ۴۴۸۵ پی‌پی‌ام) در تغییر است که این مقدار، از مقدار میانگین سدیم در دولومیت‌های سبخایی خلیج فارس و خلیج بافین با مقدار متوسط سدیم ۲۵۰۰ پی‌پی‌ام بسیار بالاتر است [۱۱].

ترکیب عناصر اصلی و فرعی در دولومیت‌ها به ترکیب شاره‌های دولومیت‌ساز، ترکیب عنصری کانی‌های کربناتی که دولومیت جانشین آن‌ها می‌شود و ضریب توزیع عناصر در دولومیت بستگی دارد [۱۱، ۱۲]. ترکیب شاره‌های دولومیت‌ساز به مقدار قابل توجهی تعیین کننده ترکیب عناصر اصلی و فرعی در دولومیت‌هاست. در آب‌های دریایی شور تا فوق‌العاده شور مقادیر  $Ca$ ،  $Mg$ ،  $Sr$  و  $Na$  بالا، در حالی که مقادیر  $Mn$  و  $Fe$  پایین است. بر عکس در آب‌های شیرین مقادیر  $Ca$ ،  $Mg$ ،  $Sr$  و  $Na$  پایین، در حالی که مقادیر  $Mn$  و  $Fe$  بالاست. علاوه بر این شرایط اکسایش و احیاء نیز می‌تواند ورود و یا عدم ورود عناصر آهن و منگنز را در ساختار دولومیت کنترل کند [۱۲].

سدیم از عناصری است که مقدار آن می‌تواند راهنمای خوبی برای تعیین سرنوشت دولومیت باشد. بررسی‌ها نشان داده است که ارتباط تنگاتنگی بین سدیم و درجه شوری شاره-ها وجود دارد، لذا مقادیر بالای سدیم در دولومیت‌های سازند ساچون ( $D_1$ ) به دلیل شوری زیاد شاره‌های دولومیت‌ساز محیط سبخاست. همچنین با توجه به ویژگی‌های سنگ-شناختی، احتمالاً این نوع دولومیت تحت شرایط سطحی، دمای

پایین و در محیط‌های ابرکشدی تا بخش بالایی میان کشندی تشکیل شده‌اند [۱۳].

استرانسیم نیز از عناصری است که در تعیین خاستگاه دولومیت می‌تواند نقش بسیار مهمی ایفا کند، چنانچه مقدار آن در دولومیت در حدود ۵۵۰ پی‌پی‌ام باشد موید خاستگاه دریایی است [۱۱]. در صورتی که از این مقدار بیشتر باشد، دولومیت حاصل ته‌نشین شدن آب‌های با شوری بسیار بالاست [۱۴]. مقدار استرانسیم در دولومیت‌های عهد حاضر بین حدود ۱۵۰ تا ۳۵۰۰ پی‌پی‌ام در تغییر است [۱۱]. مقدار استرانسیم در دولومیت‌های باهاما [۱۵] پایین است زیرا تشکیل آن‌ها به محیط دریایی تا زون مخلوط نسبت داده شده است. در صورتی که در دولومیت‌های دریایی بافین و خلیج فارس افزایش می‌یابد [۷]. مقدار استرانسیم، همانند سدیم، به ترکیب شاره‌های بستگی دارد. بنابراین دولومیت‌های زون مخلوط مقادیر کمتری استرانسیم و دولومیت‌های تشکیل شده در محیط‌های فوق‌العاده شور (سبخا)، دارای مقادیر بالاتری استرانسیم نسبت به دولومیت‌های دریایی هستند. نمونه‌های کربناتی که توسط راثو و جایاواردان [۱۵] از شرق تاسمانیا مورد بررسی قرار گرفته، نشان می‌دهد که مقدار  $Sr$  در کلسیت خالص بدون آراگونیت بین ۷۰۰ تا ۲۷۰۰ پی‌پی‌ام تغییر می‌کند که به علت کانی-شناسی مخلوط کلسیت  $HMC$  و  $LMC$  است. بنابراین کاهش  $Sr$  از ۲۷۰۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام به علت افزایش مقادیر کلسیت  $LMC$  است زیرا دارای مقادیر پائینی  $Sr$  (۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ پی‌پی‌ام) است. راثو و آدابی [۱۶] نشان دادند که مقدار  $Sr$  با آراگونیت ارتباط مستقیمی دارد یعنی با افزایش کلسیت  $Sr$  کاهش و با افزایش آراگونیت  $Sr$  افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که روند عمومی کاهش  $Sr$  با افزایش عمق آب در کربنات‌های غرب تاسمانیا به علت کاهش مقادیر آراگونیت با افزایش عمق است. تمرکز  $Sr$  در کربنات‌ها به کانی‌شناسی آن‌ها و عمق آب بستگی دارد، بنابراین تمرکز بالای  $Sr$  نمونه‌های مورد بررسی به علت کاهش عمق آب، کانی‌شناسی آراگونیتی اولیه آن‌ها و افزایش شوری شاره‌ها دولومیت‌زاست. علاوه بر این، با توجه به اینکه دولومیت‌های نوع دوم دستخوش تبلور دوباره شدیدی شده‌اند لذا کاهش مقدار  $Sr$  در آن‌ها امری عادی است.

کاهشی داشته‌اند، در صورتی که آهن و به‌خصوص منگنز روند افزایشی دارند. مقدار دولومیت به سمت پایین از قاعده‌ته نشست‌های بالا کشندی کاهش می‌یابد، زیرا شورابه‌ای که غلظت زیادی دارد از محیط بالا کشندی ریشه می‌گیرد. در مدل نشتی-برگشتی، بلورهای دولومیت به‌صورت انتخابی جانشین ماتریس میکریتی و قطعات اسکلتی می‌شوند. ساز و کار این مدل شباهت زیادی به مدل سبختا دارد، ولی این مدل به‌طور معمول برای توضیح دولومیت‌های قدیمی که در مقیاس گسترده‌تر و ضخیم‌تر تشکیل شده و با تبخیری‌ها همراهند به کار برده می‌شود و مستلزم تبخیر آب دریا و تشکیل آب‌های شور است که پس از فرونشست از میان لایه‌های ته نشستی لاگون و سد عبور کند و منجر به تشکیل دولومیت شود. دولومیت‌های نوع چهارم در مرحله‌ی دیاژنز دفنی کم عمق طی خارج شدن شارهای میان ذره‌ای در اثر تراکم و مهاجرت آن‌ها به سمت بالا تشکیل شده‌اند. ارتباط پاراژنتیکی بین انواع مختلف دولومیت حاکی از این است که این نوع دولومیت (D4) از نظر زمانی آخرین نوع دولومیت تشکیل شده در سازند ساچون است.

با توجه به شکل‌های A-4 و B-4 ترسیم مقادیر Sr نسبت به Na و Mn نشان می‌دهد که مقدار Sr با افزایش Mn کاهش و با افزایش Na افزایش می‌یابد.

ضریب توزیع Fe و Mn در کلسیت و دولومیت بیشتر از یک است [۱۷]. از آنجا که مقادیر Fe و Mn در آب‌های شیرین بیشتر از آب دریاست، لذا تمرکز این عناصر در دولومیت‌های زون مخلوط و به ویژه در محیط‌های احیایی بیشتر است. در شکل C-4 تغییرات Fe نسبت به Mn برای نمونه‌های بررسی شده ترسیم شده‌اند.

#### کانی‌زایی تبخیری

چنانکه یادآوری شد، واحدهای زیرین و بالایی سازند ساچون از ته نشست‌های تبخیری همراه با میان لایه‌های دولومیتی تشکیل شده است. بر اساس بررسی‌های صحرایی و سنگ-شناختی، ته نشست‌های تبخیری بیشتر از دو نوع ژئوپس تشکیل شده‌اند:

الف) ژئوپس توده‌ای و ندولار: این ژئوپس‌ها به مقدار زیاد در واحد زیرین و به ضخامت حدود چند سانتی‌متر تا ده‌ها متر قرار دارد و بیشتر به شکل ندول‌ها در کنار هم قرار گرفته و

آهن و منگنز بر خلاف سدیم و استرانسیم طی دیاژنز روند رو به افزایش دارند [۱۴]. 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 با آهن به‌مقدار خیلی کمتری می‌تواند وارد شبکه دولومیت شود. تمرکز آهن در نمونه‌های مورد مطالعه (دولومیت نوع یک) احتمالاً به‌دلیل حاکم بودن شرایط احیایی است.

بررسی عناصر شیمیایی در این دولومیت‌ها نشان می‌دهد که با پیشرفت دولومیتی شدن و تبلور مجدد، مقدار Sr و Na روند کاهشی را طی کرده، در صورتی که آهن و به‌خصوص منگنز روند تقریباً افزایشی دارند. (البته روند تغییرات منظم نیست). به‌دلیل پایین بودن مقدار منگنز در این نمونه‌ها (به‌طور متوسط  $<55\text{ppm}$ ) بررسی مقاطع نازک این نمونه‌ها با میکروسکوپ کاتدولینانی نتایج رضایت بخشی را نداشته است. لذا تمامی شواهد سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی بیانگر حاکم بودن شرایط محیط سبختا و شورابه‌های حاصل از این محیط است که احتمالاً با پیشرفت دیاژنز منجر به تبلور مجدد برخی از نمونه‌ها شده است.

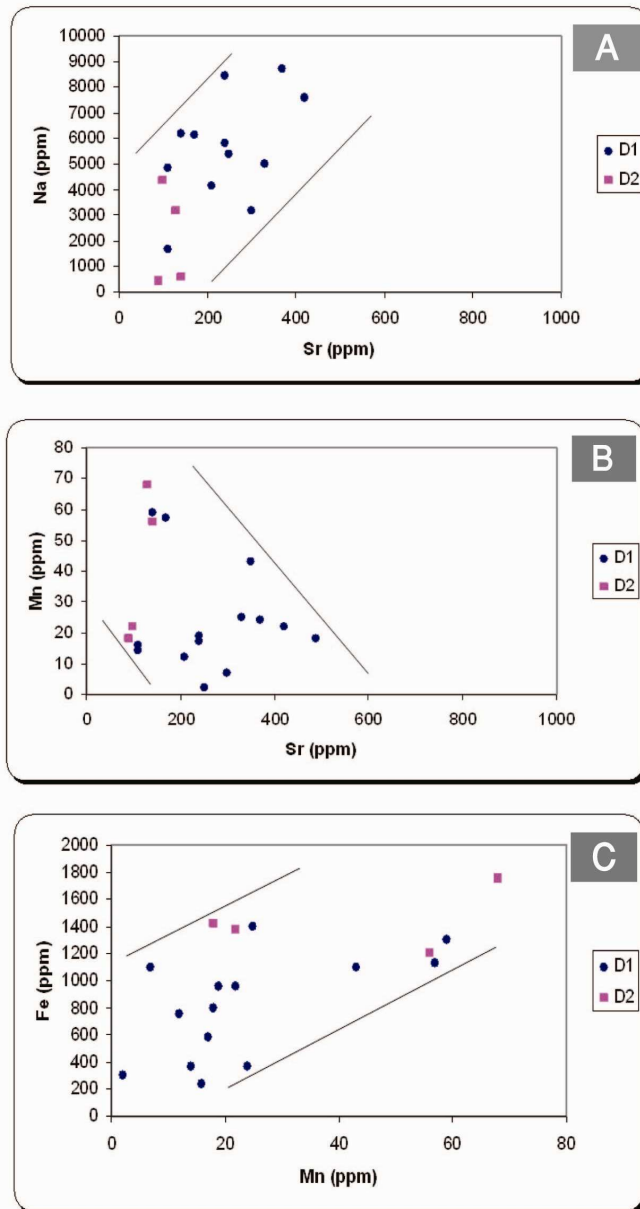
با توجه به نتایج سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی مدل‌های سبختا و نشتی-برگشتی برای تشکیل دولومیت‌های سازند ساچون در ناحیه مورد بررسی پیشنهاد می‌شود. دولومیت‌های نوع اول، با توجه به بافت و اندازه خیلی ریز بلورها، وجود ذرات پراکنده کوارتز در حد سیلت، لامیناسیون، عدم وجود فسیل و فراوانی ندول‌های تبخیری، بالا بودن مقادیر Na، Sr، Mg و پایین بودن نسبی مقادیر Mn و Fe، احتمالاً تحت شرایط سطحی، دمای پایین و در محیط‌های بالا کشندی تا بخش بالای میا کشندی و در شرایط سبختا تشکیل شده‌اند.

دولومیت‌های نوع دوم و سوم دولومیت‌هایی هستند که بلورهای نسبتاً درشت‌تری دارند و در ته‌نشست‌های کم کشندی و میان کشندی بلافاصله در زیر دولومیت‌های اولیه منطقه سبختا تشکیل شده‌اند. دولومیت‌های نوع دوم، با توجه به شواهد سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی، حاصل تبلور مجدد دولومیت‌های نوع اول هستند. بررسی عناصر شیمیایی در این دولومیت‌ها نشان می‌دهد که با پیشرفت دولومیتی شدن و تبلور مجدد مقدار Sr و Na در دولومیت نوع دوم نسبت به نوع یک، روند



۵، B). ژپس‌های پورفیروبلاستیک معمولاً بلورهای کوچک و بزرگی را تشکیل می‌دهند که بیشتر دارای کناره‌های در هم قفل شده‌اند (شکل ۵، C) [۱۸]. به‌علاوه، رگه‌هایی که طی فرایند آگیری بین ژپس‌های سازند ساچون تشکیل می‌شوند بسیار فراوان و بیشتر با ژپس ساتین - اسپار پر شده‌اند (شکل ۵، D).

فشرده شده‌اند. برخوردگاه بین ندول‌ها با ساتین - اسپار سیمانی شده‌است. در بیشتر موارد فضای بین ندول‌ها را دولومیت پر می‌کند (شکل ۵، A). در زیر میکروسکوپ ندول‌ها بیشتر با بافت آلباستری و پورفیروبلاستی به همراه آثار باقیمانده از بلورهای انیدریت‌اند. بافت آلباستری به صورت شیخی با خاموشی موجی نامنظم زیر میکروسکوپ دیده می‌شود (شکل

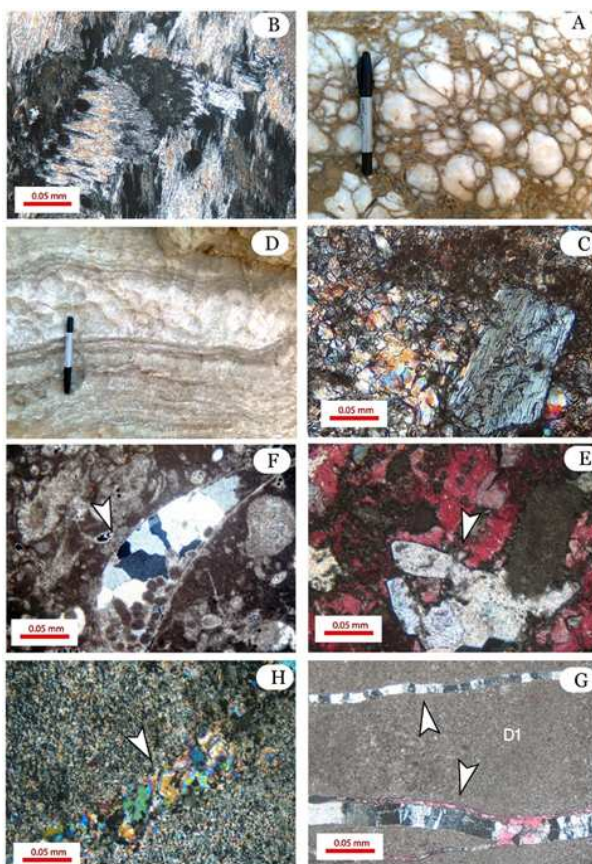


شکل ۴ نمودارهای تغییرات مقدار عناصر در دولومیت‌های نوع یک (D<sub>1</sub>) و نوع دو (D<sub>2</sub>).

A- تغییرات مقدار عناصر استرانسیم و سدیم با روند مثبت.

B- تغییرات مقدار عناصر استرانسیم و منگنز با روند منفی.

C- تغییرات مقدار عناصر آهن و منگنز با روند مثبت.



شکل ۵ اشکال مختلف تبخیری‌های

موجود در سازند ساچون.

A- نمایی از بخش پایینی بخش بالایی که بیشتر از ژپس‌های نودولار و توده‌ای با میان لایه‌های دولومیتی تشکیل شده است. B- ژپس با بافت الیاستری و به صورت فراگیر در دولومیت نوع یک (D1). C- ژپس با بافت پورفیروبلستی در دولومیت نوع یک (D1). D- تصویری از ضخامت زیاد و لامیناسیون ژپس لایه‌ای. E- ژپس‌های فراگیر که در اثر جانشینی انیدریت ایجاد شده است (فلش) (مقطع با محلول آلیزارین رنگ آمیزی شده است). F- ژپس پر کننده در فضاهای خالی جلبک سبز (فابریک ژئوپتال) (فلش). G- رگه‌های ژپس ساتین - اسپار (فلش) در دولومیت نوع یک (D1) (مقطع با محلول آلیزارین رنگ آمیزی شده است)، H- رگه‌های ژپس ساتین - اسپار موجود در ژپس (فلش)

سبخاها، بلورهای ژپس با بلورهای خیلی ریز هم بعد و با شکل نازک و کشیده انیدریت جانشین می‌شود [۱۹، ۲۰]. تبخیری‌ها ته نشست‌های هستند که مشکل به توان آن‌ها را در تفسیر محیط‌های ته‌نشستی مورد استفاده قرار داد، زیرا بافت‌های اولیه در اثر تبلور دوباره و جانشینی طی دیاژنز پیشین، پسین و حتی حین ته‌نشستی تغییر شکل می‌دهند [۲۱-۲۳].

بر پایه مشاهدات صحرایی و سنگ‌شناختی، تبخیری‌های سازند ساچون، بیشتر ثانویه هستند. از مهم‌ترین ویژگی‌های ژپس‌های ثانویه، بافت آلیاستری و پورفیروبلستی به همراه آثار باقیمانده از بلورهای انیدریت است. ژپس ساتین-اسپار در نتیجه افزایش حجم به وجود می‌آید که این خود تایید کننده تغییر شکل از انیدریت به ژپس است [۲۴-۲۷].

ب) ژپس برگه‌ای: این نوع ژپس به شکل لایه‌های ادامه دار با ضخامت چند سانتی‌متر تا ده‌ها متر در سازند ساچون یافت می‌شود که به شکل ژپس از آب‌های خیلی شور ته‌نشین، و سپس به انیدریت تبدیل شده‌اند. این شکل از انیدریت ممکن است به صورت برگه‌ای یا ندول‌های به هم پیوسته باشد (شکل ۵، E). این تبخیری‌ها بیشتر در تناوب با مارن‌های سرخ، شیل-های ژپس‌دار و مادستون‌های استروماتولیتی هستند.

دولومیتی شدن، در نتیجه بالا بودن نسبت  $Mg/Ca$ ، معمولاً با ته‌نشستی ژپس همراه است، و این فرایند، یون‌های کلسیم را برای ته‌نشستی بیشتر ژپس آزاد می‌کند. چنانچه تبخیر به اندازه کافی شدید باشد (همانند سواحل جنوبی خلیج فارس) آنگاه با افزایش غلظت شاره‌های درون حفره‌ای در سطح

بلورها درشت‌تر شده و برخوردگاه نامنظم به خود گرفته و نوع دوم را تشکیل می‌دهد. بنابراین دولومیت‌های نوع دوم، با توجه به شواهد سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی، حاصل تبلور دوباره دولومیت‌های نوع اول هستند. دولومیت‌های نوع چهارم در مرحله دیانژن دغنی کم عمق طی خارج شدن شاره‌های میان ذره‌ای در اثر تراکم و مهاجرت آن‌ها به سمت بالا تشکیل شده‌اند. زیرا در محیط دغنی کم عمق انحلال کانی‌های ناپایدار بویژه تبخیری‌ها، کلسیت پر منیزیم و دولومیت‌های قبلی در راستای رگه‌های انحلالی باعث به وجود آمدن آنگون‌های غنی از منیزیم شده که در درون شکاف‌ها و حفره‌ها وارد شده، و به صورت سیمان یا جانشینی دولومیت نوع یک و یا نوع دوم، حفره‌ها را پر کرده است.

براساس بررسی‌های صحرایی و سنگ‌شناختی دو نوع ژئوپس توده‌ای - ندولار و لامینه‌ای قابل تشخیص است. به علاوه ژئوپس‌های فراگیر، میکروندولار، پر کننده فضای خالی (ساتین-اسپار) و به شکل‌های دروغین، نیز از دیگر شکل‌های مشاهده شده هستند. نهشته‌های تبخیری سازند ساچون، بیشتر ثانویه-اند که از مهم‌ترین ویژگی‌های آن‌ها داشتن بافت‌های آلاباستری و پورفیروبلاستی همراه با آثار باقیمانده از بلورهای انیدریت است.

#### مراجع

[۱] امیری بختیار ح، شمیرانی ا، صادقی ع، آدابی م. ح، وزیری مقدم ح، "بازنگری مرز بین سازندهای تارپور و ساچون در کوه ساچون"، جنوب داراب فارس (محل برش الگوی سازند ساچون)، مجله علوم زمین، فصل نامه شماره ۱۶، ۱۳۸۵، نشریه دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

[2] Dickson J.A.D., "Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal Sedimentary Petroleum*", 1966, 36: p. 491-505.

[3] Hood S.D., Nelson C. S., Kamp P.J., "Burial dolomitization in a non-tropical carbonate petroleum reservoir: the Oligocene Tikorangi Formation", *Taranaki Basin, New Zealand, Sedimentary Geology*, 2004. 172: p. 117-138.

[4] Mazzullo S.J., "Organogenic dolomitization in pritidal to deep sea sediments. *Journal of Sedimentary Research*", 2000, 70: p. 10-23.

[5] Sibley D.F., Greeg J.M., "Classification of dolomite rock Textures. *Journal of Sedimentary Petroleum*", 1987, 57: p. 967-975.

[6] Al-Aasm I.S., "Chemical and Isotopic constrains for recrystallization of Sedimentary Dolomites from the West Canada Sedimentary basin" *Aquatic Geochemistry*, 2000, 6: p. 227-248.

ژئوپس و انیدریت دیانژنی معمولاً با دولومیتی شدن همراه‌اند و بیشتر در مخازن دولومیتی، به چهار شکل فراگیر، پرکننده حفره‌ها، شکل‌های دروغین و ژئوپس‌های میکروندولار دیده می‌شوند [۲۸] که در تبخیری‌های سازند ساچون به خوبی قابل مشاهده و تفکیک‌اند:

انیدریت فراگیر به صورت بلورهای بزرگ همراه با نفوذی‌های دولومیتی است و اغلب بی‌قاعده در زمینه مادستون و دولوستون به صورت پراکنده مشاهده می‌شود (شکل ۵، E). ژئوپس پر کننده فضاهای خالی (ساتین-اسپار)، به صورت انتخابی فضاهای خالی در رخساره داسی کلاداً پکستون (شکل ۵، F) و به فرم رگه‌ای که طی فرایند آگیری ایجاد می‌شوند، در دولومیت نوع یک سازند ساچون بسیار معمول است (شکل ۵، H&G). شکل‌های دروغین ژئوپس به شکل توده‌های ریزبلور، در دولوستون فراوان یافت می‌شود (شکل ۲، E) که معمولاً در اثر جانشینی ژئوپس و انیدریت ایجاد شده است. ژئوپس‌های میکرو ندولار با شکل‌های کروی تا دایره‌ای، بی‌قاعده در زمینه-ای از دولومیت نوع یک پراکنده است (شکل ۲، F). بیشتر ندول‌ها دارای بافت آلاباستری و پورفیروبلاستی همراه با آثار باقیمانده از بلورهای انیدریت‌اند. ندول‌ها معمولاً درصد بالایی از حجم توده سنگ را اشغال کرده و اندازه آن‌ها بین ۰/۵ تا ۰/۱ میلیمتر در تغییر است.

#### برداشت

سازند ساچون در بخش زیرین با ته‌نشست‌های تبخیری همراه با میان لایه‌های نازک دولومیت شروع شده و به سنگ آهک-های گرم رنگ متوسط لایه و سپس تبخیری‌های بخش بالایی ختم می‌شود. بخش میانی این سازند در برش الگو به شدت دولومیتی شده است. بررسی‌های سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی منجر به شناسایی چهار نوع دولومیت شده است.

دولومیت نوع اول، با توجه به بافت و اندازه خیلی ریز بلورها، وجود ذرات پراکنده کوارتر در اندازه سیلت، لامیناسیون، عدم وجود فسیل و فراوانی ندول‌های تبخیری، بالا بودن مقادیر Mg, Sr, Na و پایین بودن نسبی مقادیر Mn و Fe، به نظر می‌رسد که تحت شرایط سطحی، دمای پایین و در محیط‌های بالای کشندی تا بخش بالایی میان کشندی در شرایط سبختی تشکیل شده‌اند.

دولومیت‌های نوع دوم و سوم بلورهای نسبتاً درشت‌تری دارند و در ته‌نشست‌های زیر کشندی و میان کشندی بلافاصله زیر دولومیت‌های اولیه منطقه سبختی تشکیل شده‌اند. در محیط دغنی کم عمق، دولومیت نوع اول دستخوش تبلور دوباره شده،

- Editors. 1992, Springer Berlin / Heidelberg. p. 13-48.
- [18] Gundogana, I., Onalb, M., and Depc, T., Sedimentology, petrography and diagenesis of Eocene-Oligocene evaporates: the Tuzhisar Formation, SW Sivas Basin, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2005, 25 p. 791-803.
- [19] Alsharhan, A.S., and Kendall, C.G.ST.C., Holocene coastal carbonates and evaporites of the southern Arabian Gulf and their ancient analogues *Earth Science Review*, 2003. 61: p. 191-243.
- [20] Alssaran, N.A., Origin and geochemical reaction path of sabkha brine: Sabkha Jayb Uwayyid, eastern Saudi Arabia *Arabian Journal of Geosciences*, 2008. 1: p. 63-74.
- [21] Warren, J., Evaporate, their evolution and economics. 1999: Black-Well Science Publ. 438.
- [22] Rubio, E.S., Sanchez-Moral, S., Canaaveras, J.C., Calvo, J.P., and Rouchy, J.M., , Calcitization of Mg-Ca carbonate and Ca sulphate deposits in a continental Tertiary basin (Calatayud Basin, NE Spain). *Sedimentary Geology*, 2001. 140: p. 123-142.
- [23] Playa, E., and Gimeno, D., Evaporate deposition and coeval volcanism in the Fortuna Basin (Neogene, Murcia, Spain) *Sedimentary Geology*, 2006. 188-189(205-218).
- [24] Testa, G., and Lugli, S., Gypsum-anhydrite transformations in Messinian evaporates of central Tuscany (Italy). *Sedimentary Geology*, 2000, 130: p. 249-268.
- [25] Orszag-Sperber F., Plaziat J.C., Baltzer F., Purser B.H., "Gypsum salina-coral reef relationships during the Last Interglacial (Marine Isotopic Stage 5e) on the Egyptian Red Sea coast: a Quaternary analogue for Neogene marginal evaporates", *Sedimentary Geology*, 2001. 140: p. 61-85.
- [26] Kasprzyk A., "Sedimentological and diagenetic patterns of anhydrite deposits in the Badenian evaporate basin of the Carpathian Fore deep", southern Poland. *Sedimentary Geology*, 2003, 158: p. 167-194.
- [27] El Khoriby E.M., "Origin of the gypsum-rich silica nodules", Moghra Formation, Northwest Qattara depression, Western Desert, Egypt. *Sedimentary Geology*, 2005, 177: p. 41-55.
- [28] Lucia F.J., "Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1995, 79, no. 9: p. 1275-1300.
- [7] Adabi M.H., "Petrography and geochemical criteria for recognition of unaltered cold water and diagenetically altered neomorphic dolomite. Western Tasmania", Australia, 16th AGC, 2002: p. 350.
- [8] Mahboubi A., Moussavi-Harami R., Brenner R.L., Gonzalez L.A., "Diagenetic history of late Paleocene potential carbonate Reservoir Rocks", Kopet-Dagh basin, NE Iran, . *Journal of petroleum Geology*, 2002, 25: p. 465-484.
- [9] Mahboubi A., Moussavi-Harami R., Yahya-Sheibani V., Najafi M., Gonzalez L., "Petrography and Geochemical Evidence for Paragenetic Sequence Interpretation of the Lower Cretaceous Limestone in the Eastern Binalood Mountain Range", NE Iran. *Iranian international Journal of Science*, 2004. 5 (2): p. 181-201.
- [10] Sass E., Bein A., "Dolomites and salinity: a comparative geochemical study. In: Shukla, V. and Baker", P.A. (eds.): Sedimentology and geochemistry of dolostones. Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 1988, 43: p. 223-233.
- [11] Rao C.P., "Elemental composition of marine calcite from modern temperate shelf brachiopods", bryozoans and bulk carbonates, eastern Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporate*, 1996 11(1-18).
- [12] Allan j.R., Wiggins W.D., "Dolomite reservoir: geochemical techniques for evaluating origin and distribution". *American Association of Petroleum Geologists Containing Education Course Notes Series*, 1993, 36: p. 136.
- [13] Al-Assam I.S., Pakard J. J., "Stabilization of early-formed dolomite", relate of divergence from two Mississippian dolomites. *Sedimentary Geology*, 2000, 131: p. 97-108.
- [14] Toker M.E., Wright V.P., "Carbonate Sedimentology. 1990: Black-Well's", Oxford. 482.
- [15] Rao C.P., Jayawardane M.P.J., "Major minerals, elemental and isotopic composition in modern temperate shelf carbonates", eastern tasmania, Australia: Implications for the occurrence of extensive ancient non-tropical carbonates. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 1994, 107: p. 49-63.
- [16] Rao C.P., Adabi M.H., "Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool", temperate carbonates, western Tasmania, Australia: *Mar. Geology*, 1993. 103: p. 249-272.
- [17] Vizer J., "Depositional and diagenetic history of limestone, in Isotopic signatures and sedimentary records N. Clauer and S. Chaudhuri",