

فرایندهای دیاژنزی سازند شهبازان در شرق پهنه لرستان

محدثه جانباز^۱، حسن محسنی^۲، علیرضا پیریایی^۳، رودی سونن^۴، بیژن یوسفی یکانه^۵ و حسن سرادقی صوفیانی^۶

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
^۳دکتر، بخش زمین‌شناسی، اداره اکتشاف، شرکت ملی نفت، تهران، ایران
^۴استاد، دانشکده علوم زمین و محیط زیست، دانشگاه KU Leuven، لئوون، بلژیک
^۵استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
^۶کارشناسی ارشد، بخش زمین‌شناسی، اداره اکتشاف، شرکت ملی نفت، تهران، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۶

چکیده

سازند شهبازان به سن ائوسن میانی تا پسین در شمال شرق پهنه لرستان گسترش دارد. برای مطالعه فرایندهای دیاژنزی سازند شهبازان پنج برش سطحی و چهار برش زیر سطحی در شرق پهنه لرستان انتخاب شده‌اند. مطالعه پتروگرافی بر روی ۷۰۰ مقطع نازک، کاتدولومینسانس بر روی ۴۰ نمونه، مطالعه با میکروسکوپ الکترونی بر روی شش نمونه و آنالیز میکروپروب بر روی ۱۱ نمونه از دولومیت‌ها و برخی سیمان‌ها صورت گرفته است. فرایندهای دیاژنزی سازند شهبازان شامل دولومیتی شدن، سیمانی شدن، نوشکلی، فشردگی فیزیکی و شیمیایی، انحلال و دولومیت‌زدایی است. گسترده‌ترین این فرایندها دولومیتی شدن است. نحوه توسعه دولومیت‌ها جهت جریان سیال دولومیت‌ساز را به سمت جنوب غرب محدوده مطالعاتی نشان می‌دهند. از آنجا که دولومیت‌های سازند شهبازان زیر سازند آسماری قرار دارند، دولومیتی شدن در انوژنز پیش از نهشت سازند آسماری روی داده است. سیمان‌های کلسیتی به جز بخشی از کلسیت بلوکی که در تلوزنز و کلسیت پویی کیلوتاپیک که در مزوژنز تشکیل شده‌اند، مربوط به پیش از دولومیتی شدن در انوژنز متوریک تا دریایی هستند. نوشکلی کاهش در مرحله انوژنز در قلمرو دریایی رخ است. فشردگی در انوژنز توسط فشار روباره ناشی از نهشت سازند شهبازان ایجاد و در مرحله با نهشت سازندهای آسماری و گچساران توسعه یافته است. بخشی از انحلال در مرحله انوژنز در قلمرو وادوز متوریک و بخش دیگر با دولومیت‌زدایی و تشکیل سیمان کلسیت بلوکی در مرحله تلوزنز، پس از بالا آمدن زاگرس رخ داده است. به جز دولومیت‌زدایی و نوشکلی، دیگر فرایندهای دیاژنزی در همه برش‌ها مشاهده می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: سازند شهبازان، دیاژنز، پهنه لرستان، ائوسن.

*نویسنده مسئول: حسن محسنی

E-mail: mohseni@basu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

با استفاده از روش‌های گوناگون پتروگرافی و ژئوشیمی، امروزه شناخت نسبتاً کاملی از تبدیل رسوب کربناته به سنگ‌آهک وجود دارد (Bathurst, 1975; Choquette and James, 1990; James and Choquette, 1990a and b; Tucker and Wright, 1990; James and Jones, 2015). این تغییر و تبدیل رسوبات کربناته می‌تواند در ۳ قلمرو دیاژنزی دریایی، متوریک و دفنی رخ دهد که فرایندها و محصولات آنها گرچه پیچیده به نظر می‌رسند، اما در سراسر تاریخ زمین‌شناسی قابل شناسایی هستند.

سازند شهبازان به سن ائوسن میانی تا پسین گسترش قابل توجهی در پهنه لرستان دارد و گستردگی فرایندهای دیاژنزی در آن قابل توجه است. دولومیتی شدن، این سازند و معادل زمانی آن را در نواحی فارس و فروافتادگی دزفول (سازند جهرم) به‌طور گسترده‌ای متأثر کرده است، به گونه‌ای که بیشتر اثرات محیط رسوبی اولیه از بین رفته است. به همین علت مطالعات دیاژنزی صورت گرفته بر روی این سازند نیز با رویکرد بررسی دولومیت‌ها و منشأ آنها صورت گرفته است که از جمله می‌توان به عبدی و آدابی (۱۳۸۸)، مدرس (۱۳۸۸)، حسن‌زاده نعمتی (۱۳۹۳)، محسنی و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد. هر یک از این مطالعات به یک یا دو برش محدود می‌شود. در این مطالعه به همه فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر سازند شهبازان و عوامل کنترل کننده آنها پرداخته شده است. در همین راستا ۵ برش سطحی و ۴ برش زیرسطحی در پهنه لرستان انتخاب و پس از نمونه‌برداری بررسی شد. بررسی این فرایندها در یک محدوده وسیع امکان ارزیابی مسیر عبور سیالات دیاژنزی را فراهم می‌کند.

۲- زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در بخش چین خورده ساده زاگرس و در پهنه لرستان واقع شده است. در زاگرس در طی پالئوسن پسین تا ائوسن رسوبات در یک

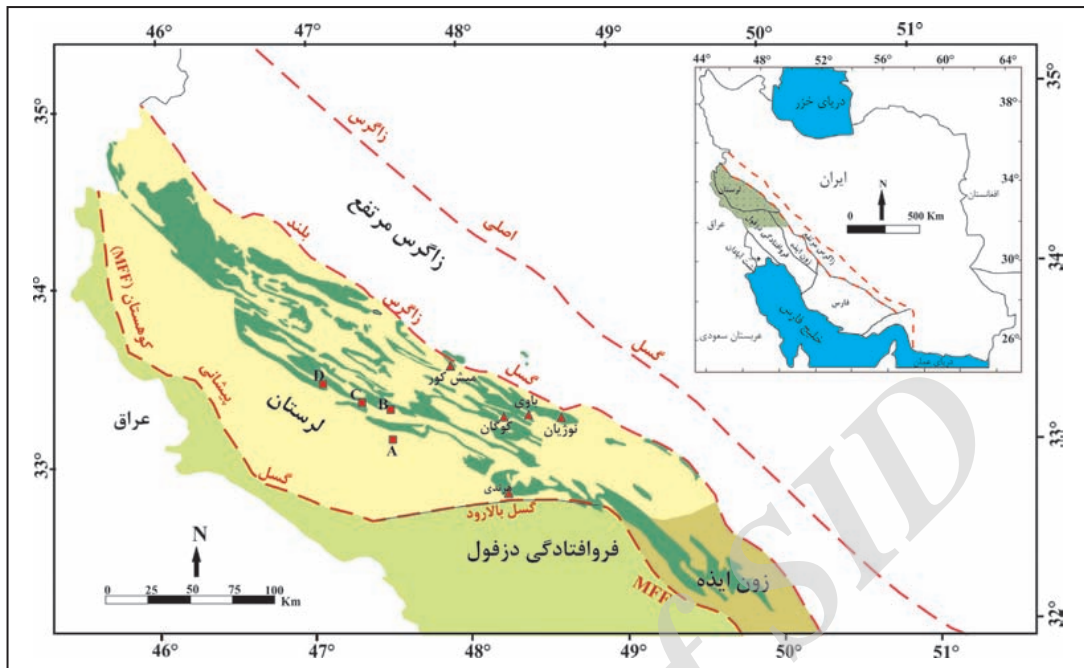
حوضه پیش‌گودال باقیمانده در امتداد حاشیه شرقی صفحه عربی نهشته شده‌اند (James and Wynd, 1965; Murriss, 1980; Zeigler, 2001; Alavi, 2004). در طی ائوسن گسترش حوضه پیش‌گودال کاهش یافته و با پلاتفرم جایگزین شده است. به دلیل فعالیت تکتونیکی شدید و شیب تند حوضه در این زمان، سامانه کربناته مکرراً متوقف شده و جای خود را به سیلیسی-آواری‌ها داده است (پیریایی و همکاران، ۱۳۹۳) که کربنات‌های آن در لرستان (شمال شرقی زاگرس) با سازند شهبازان و تله‌زنگ و سیلیسی-آواری‌ها با سازند کشکان شناخته می‌شوند (مطیعی، ۱۳۷۴). سازند شهبازان در برش نمونه از سنگ‌آهک دولومیتی و دولومیت‌های دانه شکر تشکیل شده که به‌صورت تدریجی روی سازند کشکان و با ناپیوستگی فرسایشی زیر سازند آسماری قرار گرفته است. تفکیک آن از سازند آسماری در بسیاری از مطالعات صحرائی امکان‌پذیر نیست و از این دو سازند تحت عنوان آسماری-شهبازان یاد می‌شود (James and Wynd, 1965). در بخش‌هایی که دیاژنز غالب اثرات محیط رسوبی اولیه را از بین نبرده، سن این سازند از ائوسن میانی تا پسین تعیین شده است (عبدل‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶).

۳- معرفی برش‌های مورد مطالعه

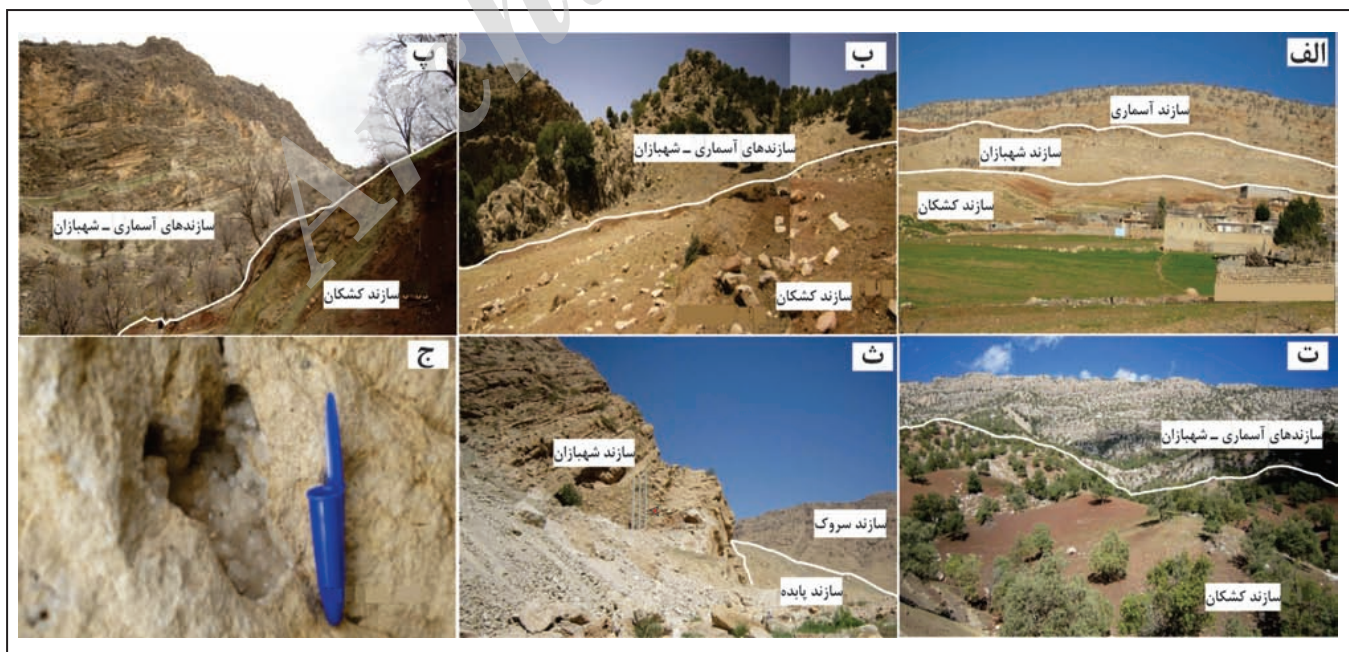
برش‌های مورد مطالعه شامل ۵ برش سطحی به نام‌های میش کور، نوژیان، کوگان، باوی و هرنندی و ۴ برش زیر سطحی است که برای معرفی آنها از علائم اختصاری A، B، C و D استفاده شده است (شکل ۱). در ۶ برش میش کور، باوی، کوگان، نوژیان، B و D سازند شهبازان بر روی سازند کشکان قرار دارد که در برش‌های سطحی مرز این دو سازند تدریجی است، اما در برش‌های هرنندی و C روی سازند پابده و در برش A به‌صورت بین‌انگشتی با سازند پابده قرار دارد. شکل‌های ۲-الف تا ه موقعیت سازند شهبازان را در برش‌های سطحی نشان می‌دهد. هر چند مرز بالایی سازند شهبازان

سطحی میش کور، نوژیان، کوگان و هرنندی افزایش می یابد که در مواردی پرشدگی با کلسیت را نشان می دهند (شکل ۲-ج).

و سازند آسماری در برش های سطحی به صورت دقیق قابل شناسایی نیست، اما با نزدیک شدن به مرز سازند آسماری آثار انحلالی در سازند شهبازان در برش های



شکل ۱- موقعیت برش های سطحی (دایره) و زیرسطحی (مربع) مورد مطالعه. توده های سبز رنگ، توزیع رخنمون تفکیک نشده سازندهای آسماری- شهبازان را نشان می دهند. نقشه تهیه شده تلفیقی از نقشه Zagros structures با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۰) و نقشه زمین شناسی جنوب غرب ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (بخش زمین شناسی و اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۶۹) است. پهنه های زاگرس چین خورده ساده (فروافتادگی دزفول، لرستان و ایذه) با رنگ های مختلف تفکیک شده اند. موقعیت جغرافیایی قاعده برش های سطحی به شرح زیر است: میش کور $33^{\circ} 35' 51/62'' N$ و $47^{\circ} 58' 16/62'' E$ ؛ باوی $33^{\circ} 10' 25/14'' N$ و $48^{\circ} 17' 59/76'' E$ ؛ کوگان $33^{\circ} 14' 28/32'' N$ و $48^{\circ} 15' 54'' E$ ؛ نوژیان $33^{\circ} 13' 39/48'' N$ و $48^{\circ} 34' 46/5'' E$ ؛ هرنندی $33^{\circ} 51' 30'' N$ و $48^{\circ} 06' 50/76'' E$.



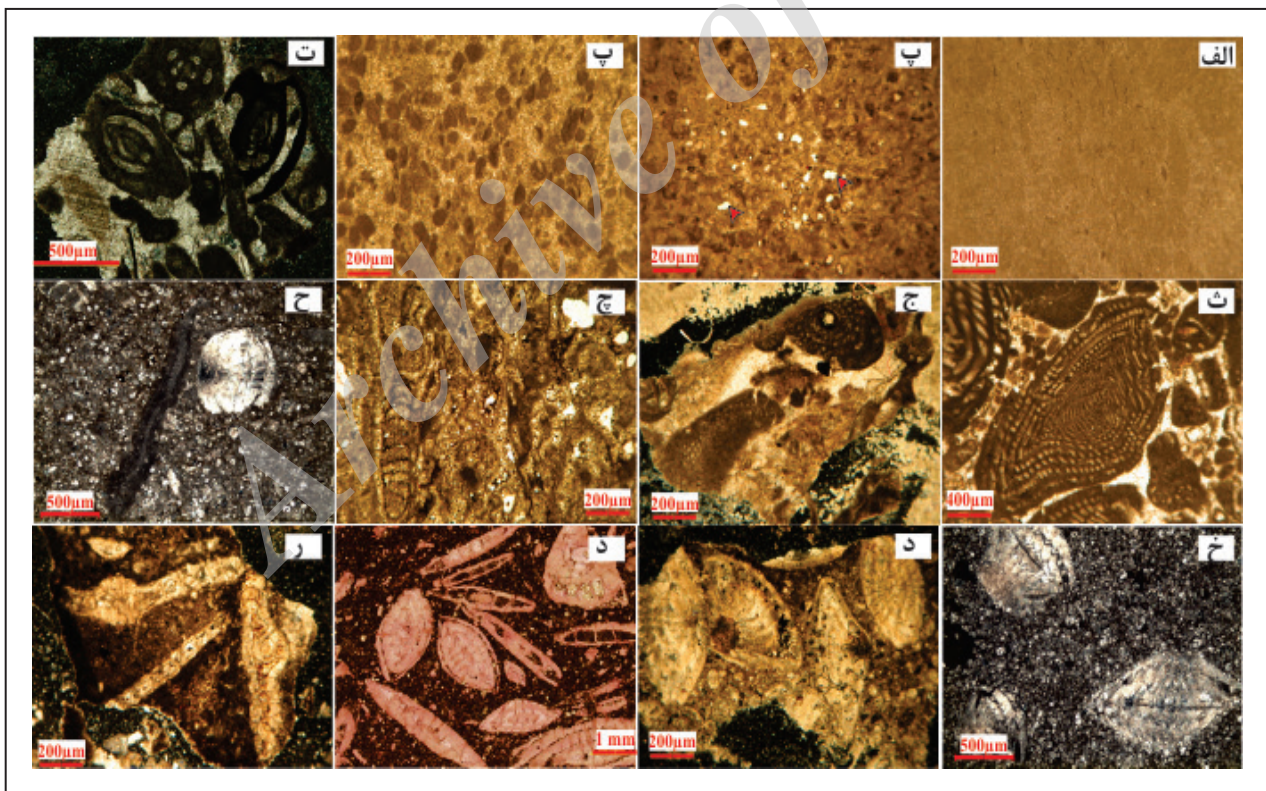
شکل ۲- موقعیت سازند شهبازان در برش های: الف) میش کور؛ ب) کوگان؛ پ) نوژیان؛ ت) باوی؛ ث) هرنندی؛ ج) حفرات انحلالی پر شده از کلسیت اسپاری. فراوانی این حفرات و اندازه آنها به سمت رأس سازند شهبازان افزایش می یابد.

۴- روش مطالعه

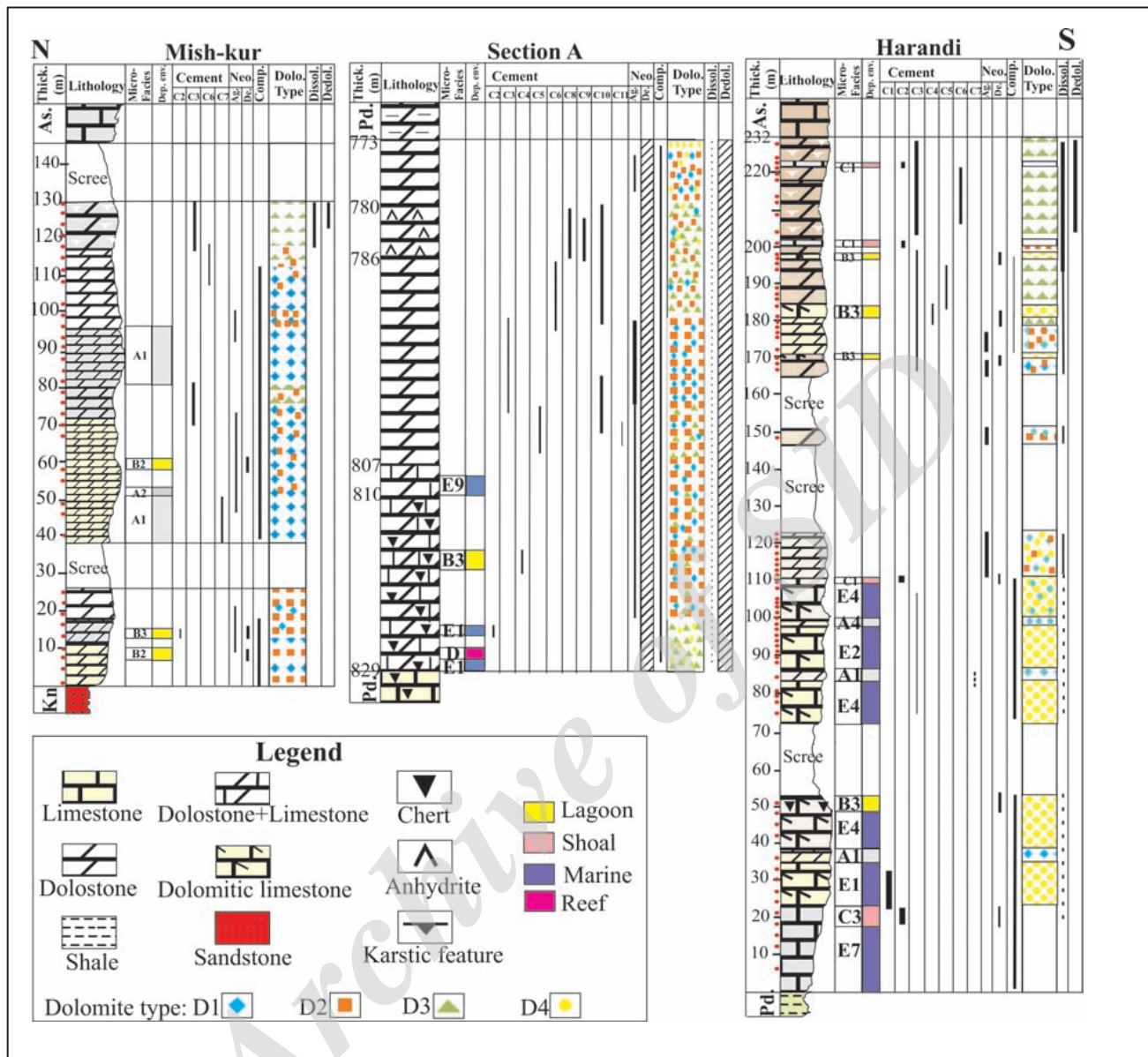
۳۰۰ نمونه با فاصله ۲/۵ متر از ۵ برش سطحی جمع آوری و پس از تهیه مقاطع نازک، برای تشخیص دولومیت از کلسیت با آلزارین قرمز و پتاسیم فری سیانید به روش (Dick-son 1965) رنگ آمیزی شدند. به علاوه، ۴۰۰ مقطع نازک از ۴ برش زیرسطحی نیز بررسی شد. نام گذاری و توصیف دولومیت ها بر اساس (Sibley and Gregg 1987) انجام شده است. پس از مطالعه مقاطع نازک، ۴۰ برش نازک صیقلی با میکروسکوپ کاتدولومینسانس سرد (CCL: Cold Cathodoluminescence) مطالعه شدند. شرایط میانگین در طی مطالعه با CCL با ولتاژ ۱۳ کیلوولت و جریان پرتو ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی آمپر درون خلأ با فشار کمتر از ۰/۰۵ torr بوده است. ۶ نمونه انتخاب و پس از پوشش با طلا با میکروسکوپ الکترونی مدل JEOL JSM-840A در شرایط ولتاژ ۱۵ تا ۲۰ کیلوولت با شدت جریان تقریبی ۳۰۰ میلی آمپر مطالعه شدند. آنالیز میکروپروب برای بررسی میزان عناصر کلسیم، منیزیم، آهن و منگنز با دستگاه JEOL JXA-8530F روی ۱۱ برش نازک صیقلی با پوشش کربن از نمونه های دولومیتی و سنگ آهک مربوط به برش های سطحی و زیر سطحی صورت گرفته است. شرایط آنالیز شامل ۱۵ کیلوولت و جریان یک پروب در محدوده ۱۰ تا ۰/۵ میکرون بوده است. مطالعات پتروگرافی و SEM در دانشگاه بوعلی سینا و مطالعات CL و آنالیز میکروپروب در دانشگاه KU-Leuven بلژیک انجام شده است.

۵- ریزرخساره ها و محیط رسوبی

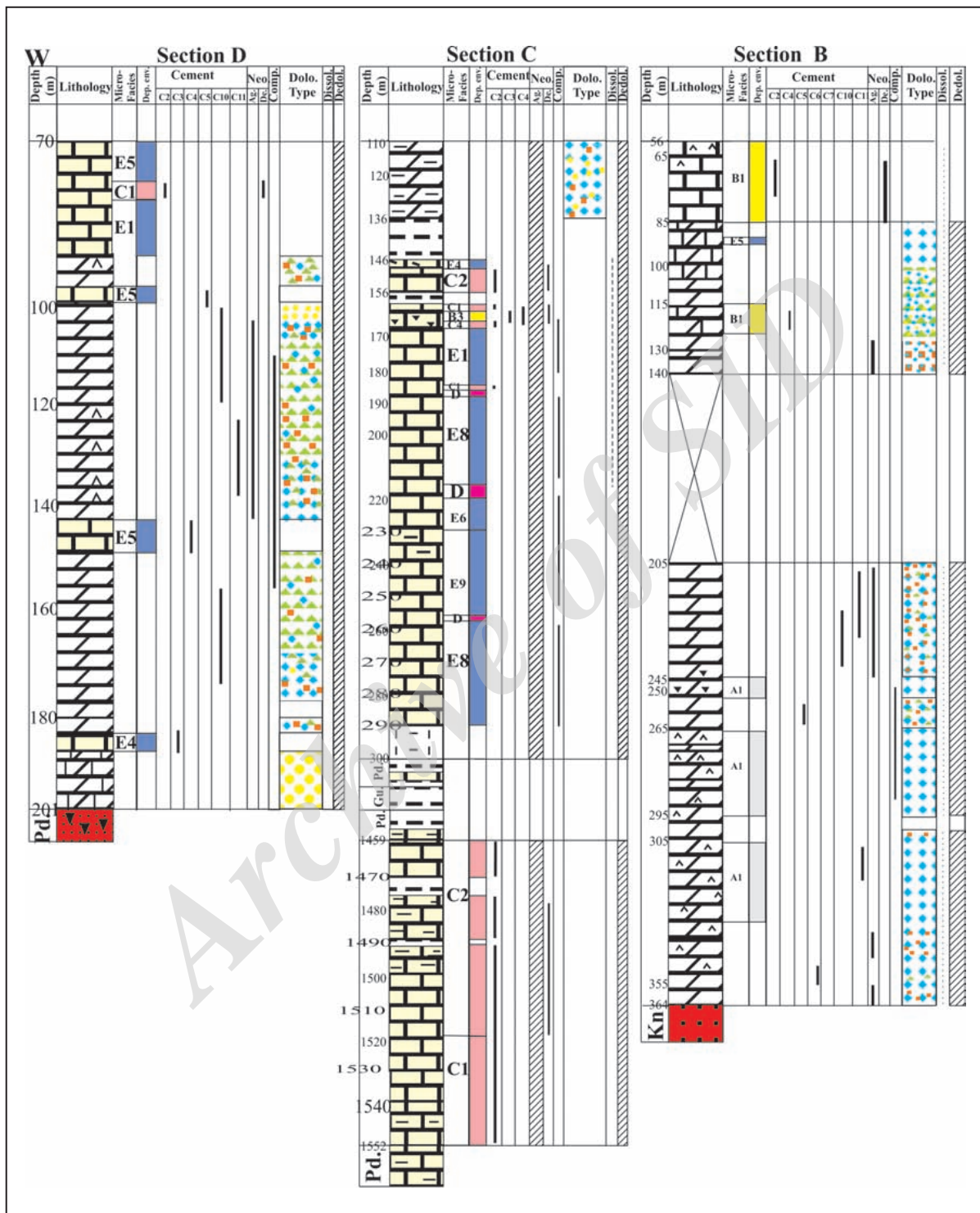
بررسی های پتروگرافی منجر به شناسایی ۲۲ ریزرخساره رسوبی در سازند شهبازان شده است که در کمرنده های رخساره ای پهنه جزرومدی (۴ ریزرخساره)، لاگونی (۴ ریزرخساره)، پشته زیرآبی (۴ ریزرخساره)، ریف (۱ ریزرخساره) و دریای باز (۹ ریزرخساره) نهشته شده اند. فراوان ترین ریزرخساره ها شامل دولومادستون (A1) در پهنه جزرومدی، بایوکلسیت پکستون دولومیتی شده (B2) و پلویید پکستون تا گرینستون دولومیتی شده (B4) در لاگون و میلیوید گرینستون (C1)، آلئولینا-دانه های پوشش دار گرینستون (C3) و ریزرخساره گرینستونی فرامینفرهای بنتیک (C4) در پشته زیرآبی است. در برش های C، A و هرندی مجموعاً ۱۲ متر از ریزرخساره آنگال باندستون (D1) مشاهده می شود. ریزرخساره های فراوان دریای باز شامل نومولیت-جلبک قرمز و کستون (E3)، نومولیت و کستون (E4)، نومولیت پکستون (E5)، نومولیت-آسلینا و کستون تا پکستون (E7) و اپرکولینا و کستون تا پکستون (E9) است (شکل ۳). توزیع کمرنده های رخساره ای در برش های عمود بر امتداد زاگرس (میش کور، A و هرندی) و در برش های موازی با روند زاگرس (از غرب به شرق شامل B، C، D، کوگان، باوی و نوژیان) به ترتیب در شکل های ۴ و ۵ ارائه شده است.



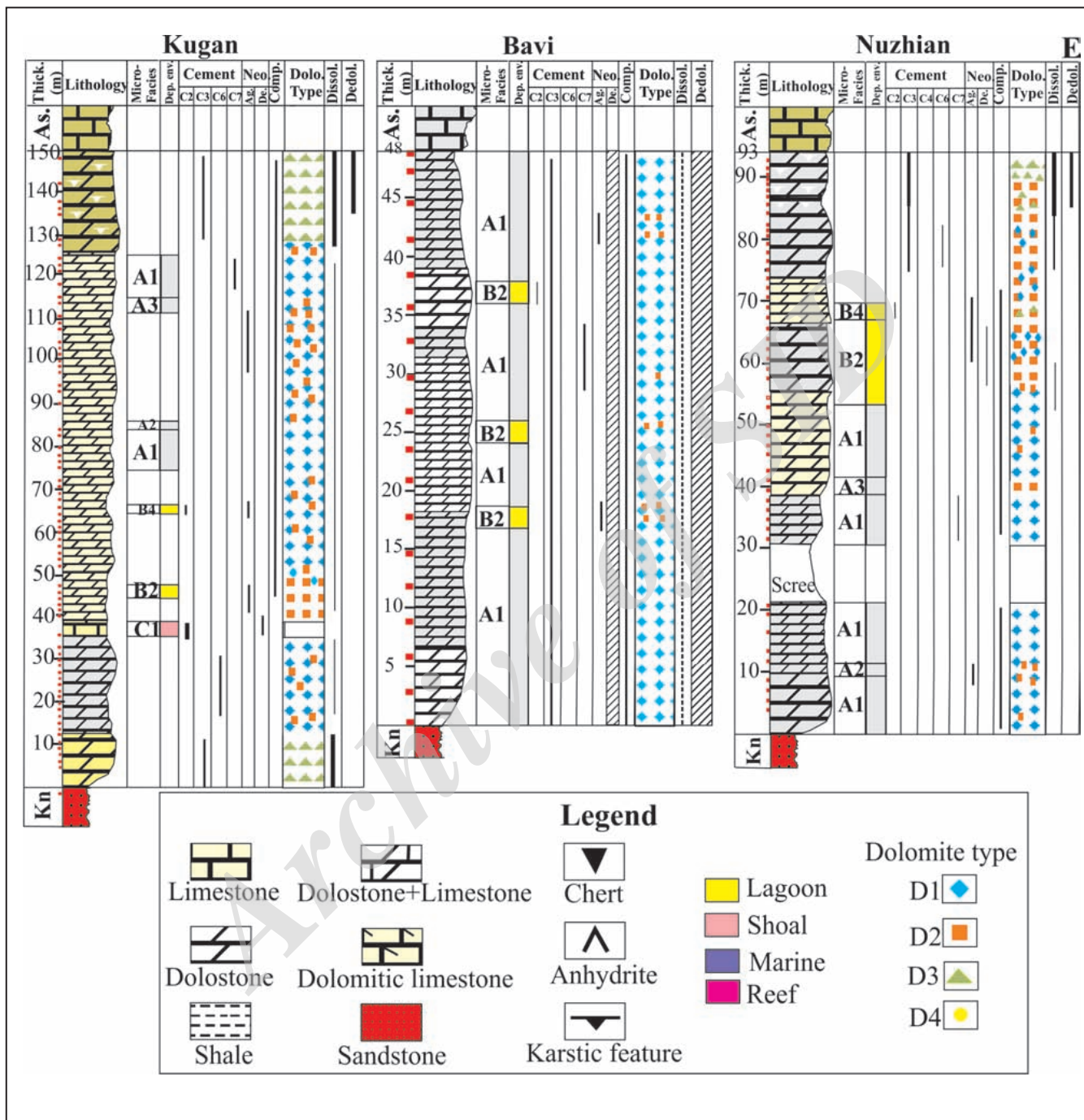
شکل ۳- فراوان ترین ریزرخساره های سازند شهبازان: الف) دولومادستون (A1)؛ ب) بایوکلسیت پکستون دولومیتی شده (B2)؛ با تخلخل های قالبی؛ پ) پلویید پکستون تا گرینستون دولومیتی شده (B4)؛ ت) میلیوید گرینستون (C1)؛ ث) آلئولینا-دانه های پوشش دار گرینستون (C3)؛ ج) ریزرخساره گرینستونی فرامینفرهای بنتیک (C4)؛ چ) ریزرخساره آنگال باندستون (D) که نوشکلی کاهشی و افزایشی را تجربه کرده است؛ ح) نومولیت-جلبک قرمز و کستون (E3)؛ خ) نومولیت و کستون (E4)؛ د) نومولیت پکستون (E5)؛ ذ) نومولیت-آسلینا و کستون تا پکستون (E7)؛ ر) اپرکولینا و کستون تا پکستون (E9).



شکل ۴- ستون چینه‌ای، توزیع ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی، نوع دولومیت‌ها و فرایندهای دیاژنزی در برش‌های عمود بر امتداد روند زاگرس. علائم اختصاری: Kn (سازند کشکان)، As (سازند آسماری)، Pd (سازند پابده). ریزرخساره‌ها معرفی نشده در متن شامل A2 (اینتراکلست و کستون دولومیتی شده)، A3 (اکستراکلست و کستون دولومیتی شده)، B3 (ریزرخساره و کستونی تا پکستونی فرامینفرهای بنتیک)، E1 (آلوئولینا-نومولیت پکستون).



شکل ۵- ستون چینه‌ای، توزیع ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی، نوع دولومیت‌ها و فرایندهای دیاژنزی در برش‌های در امتداد غرب به شرق که به ترتیب شامل برش‌های B, C, D کوگان، باوی و نوژیان است. ریزرخساره‌های معرفی نشده در متن: A2 (اینتراکست و کستون دولومیتی شده)، A3 (اکستراکست و کستون دولومیتی شده)، A4 (پلویید پکستون)، B1 (میلیولید و کستون)، B3 (ریزرخساره و کستونی تا پکستونی فرامینفرهای بنتیک)، E1 (آلونولینا- نومولیت پکستون)، E2 (نومولیت - جلبک قرمز- میلیولید و کستون)، E6 (اپر کولینا - میلیولید و کستون تا پکستون)، E8 (نومولیت اپر کولینا پکستون). بخش‌های هاشور خورده عدم رخداد فرایند دیاژنزی را نشان می‌دهند (علامت اختصاری همانند شکل ۱۰).



ادامه شکل ۵

۶- دیاژنز

بر اساس مطالعات صورت گرفته، مهم ترین فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر سازند شهبازان شامل سیمانی شدن، نوشکلی، فشردگی، دولومیتی شدن، انحلال و دولومیت زدایی است که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۱ رخداد این فرایندها را در برش های مختلف نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج آنالیز میکروپروب روی نقاط شکل ۴. نتایج بر حسب درصد وزنی است. برای موقعیت دقیق نقاط آنالیز شده به شکل ۴ و ۵ نگاه شود.

نقاط آنالیز شده	Mn	Fe
۱	۰/۲۳	۰/۰۶
۲	۰/۲۳	۰/۱
۳	۰/۰۹	۰
۴	۰/۲۸	۰/۱۳
۵	۰/۲۲	۰
۶	۰	۰
۷	۰	۰
۸	۰	۰
۹	۰	۰
۱۰	۰/۷۴	۰/۰۴
۱۱	۰/۳۱	۰/۱۹
۱۲	۰/۲۵	۰
۱۳	۰/۰۳	۰
۱۴	۰	۰/۱۹
۱۵	۰/۰۲	۰/۳۵
۱۶	۰/۰۸	۰/۰۱
۱۷	۰/۳۱	۰/۲۳

۶-۱. سیمانی شدن

حاصل نرخ رشد آهسته است و بنابراین شاخص محیط های دیاژنزی متئوریک و دفنی است (Tucker, 1991) که اندازه کوچک بلورها و نیز عدم شواهد دفن قابل توجه در رخساره های گربناته، محیط متئوریک فراتیک را پیشنهاد می دهد.

• **سیمان کلسیت بلوکی (C3):** سیمان کلسیت بلوکی شکستگی ها و تخلخل حاصل از انحلال سیمان و بیوکلاست ها را پر می کند. بلورها شفاف هستند و اندازه آنها تا بیش از ۳۰۰ میکرون نیز می رسد که مرزهای آنها غالباً به هم می رسند و مرزهای مشترک سه گانه را تشکیل می دهند (شکل های ۶-ث و ج). چنین سیمان های کلسیتی شفاف و درشت بلوری معمولاً از منشأ آب های با غلظت یونی پایین مانند آب های متئوریک (با Mg/Ca پایین، نرخ کم نهشت و شوری % ۲۴ تا ۳۰) و یا برخی سیالات دفنی عمیق منشأ می گیرند (Folk, 1974; Bathurst, 1975). لومینسانس متغیر بلورها به صورت نوارهای هم مرکز از زرد روشن تا نارنجی و قهوه ای (شکل ۶-ج) و حاصل گرادیان های شیمیایی در آبخوان های کربناته است (Edmunds and Walton, 1983) که نیترات اندک (برای واکنش های نیمه اکسیدی) و منگنز و آهن محدود دارند و با گذر سریع از شرایط اکسیدی به شرایط غیر اکسیدی (Tucker and Wright, 1990) باعث تشکیل نوارهای موازی در مطالعه CL می شود. چنین شرایطی با نتایج آنالیز میکروپروب روی این سیمان همخوان است (شکل ۵ و جدول ۱) که تغییر بسیار اندکی در میزان منگنز نشان می دهد (% wt ۰/۲ تا ۰/۳) و میزان آهن نیز صفر و یا قابل اغماض است (% wt ۰/۱ <).

• **سیمان کلسیت دندان سگی (C4):** بلورهای تقریباً مثلثی شکل در اندازه ۲۰ تا ۳۰

سیمان های سازند شهبازان شامل سیمان های کربناته (۹۵%) و تبخیری (۵%) است. نتایج مطالعات پتروگرافی، میکروسکوپ الکترونی و کاتدولومینسانس نشان می دهد که این سیمان ها در طیف متنوعی از محیط دیاژنزی دریایی تا متئوریک تشکیل شده اند.

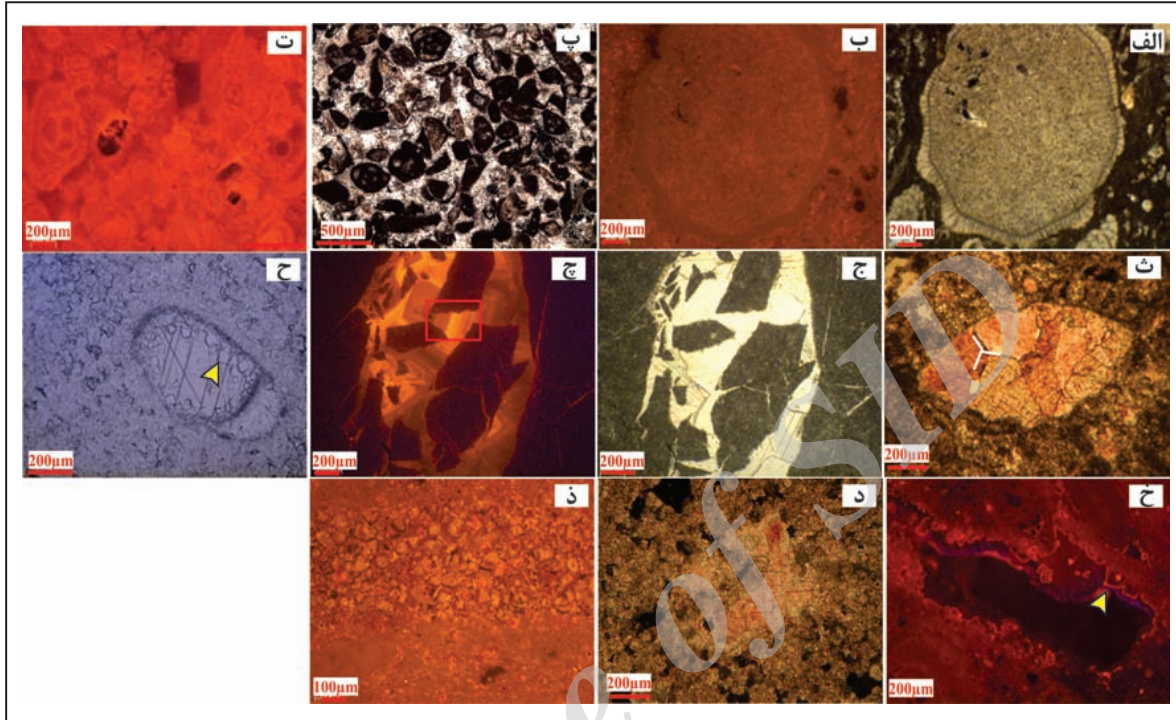
– **سیمان های کربناته:** سیمان های کربناته شامل کلسیت و دولومیت است. سیمان های کلسیتی بر اساس شفافیت بلور، فابریک بلوری و کاتدولومینسانس تفکیک (Barker and Kopp, 1991; Hiatt and Pufahl, 2014) و با توجه به مطالعات پیشین روی سنگ های کربناته رسوبی تفسیر شده اند (Bathurst, 1975; Schneidemann and Harris, 1985; James and Choquette, 1990a and b; Tucker and Wright, 1990; James and Jones, 2015).

• **سیمان کلسیت اپی تاکیال (C1):** این سیمان در حاشیه قطعات اکتینوید تشکیل شده است. طول بلورها از ۵۰ تا ۱۰۰ میکرون متغیر است (شکل ۶-الف) و زاویه خاموشی همسانی با اکتینوید ندارد. بلورهای سیمان کاتدولومینسانس تیره تری نسبت به اکتینوید دارند (شکل ۶-ب). این سیمان در محیط دریایی تشکیل شده است.

• **سیمان کلسیتی هم بعد موزاییکی (C2):** بلورها شفاف و در اندازه ۳۰ تا ۵۰ میکرون هستند. این سیمان فضای بین دانه ها را در رخساره های گربناته پر کرده و لومینسانس اندکی تیره تر از دانه ها نشان می دهد (شکل های ۶-پ و ت). بیشترین فراوانی آن در برش هرندی و برش C است. شفاف بودن بلورها نشان از منشأ غیردریایی آنها دارد (Sibel and Jones, 2017). بلورهای هم بعد این سیمان دیاژنزی

• **سیمان کلسیت پویی کیلوتاپیک (C5):** کلسیت پویی کیلوتاپیک از بلورهای درشت تشکیل شده است و فضای بین بلورهای دولومیت یا درون حفرات انحلالی را پر می کند (شکل ۶-د). این سیمان حاصل هسته زایی با نرخ بسیار پایین از بلورهای کلسیت و رشد آرام است که در محیط دفنی و از سیالات منفذی که تنها از CaCO_3 اشباع هستند، تشکیل می شود (Tucker and Wright, 1990).

میکرون و با لومینسانس قهوه ای تا قرمز قهوه ای که در حاشیه حفرات و اطراف دانه ها تشکیل شده اند و در مواردی باقیمانده فضای خالی با سیمان بلوکی پر شده است (شکل های ۶-ح و خ). لومینسانس تیره آن نشان دهنده محیط متتوریک، وجود آهن، نبود منگنز یا محیط شدیداً اکسیدی (Seibel and Jones, 2017) و در نتیجه محیط متتوریک است (Flügel, 2010).



شکل ۶- انواع سیمان های کربناته: الف) سیمان اپی تاکسیال در اطراف اکینودرم؛ ب) تصویر همان سیمان با کاتدولومینسانس؛ پ) سیمان کلسیت هم بعد شفاف که فضای بین بیوکلاست ها را در رخساره گریستون پر کرده است؛ ت) تصویر کاتدولومینسانس سیمان کلسیت اسپاری که اندکی تیره تر از بیوکلاست هاست؛ ث) سیمان کلسیت بلوکی که قالب بیوکلاست را پر کرده است. مرزهای سه گانه با خطوط سفید مشخص شده اند؛ ج) سیمان کلسیت بلوکی در یک شکستگی؛ چ) تصویر کاتدولومینسانس همان سیمان که زونینگ نواری را نشان می دهد. بخش مشخص شده تحت آنالیز میکروپروب قرار گرفته است (شکل ۷ و جدول ۱)؛ ح) سیمان کلسیت دندان سگی که حاشیه بخش مرکزی بایوکلاست را پر کرده است؛ خ) تصویر کاتدولومینسانس کلسیت دندان سگی در اطراف یک حفره؛ د) سیمان کلسیت پویی کیلوتاپیک که توسط دولومیت ها احاطه شده است؛ ذ) سیمان دولومیتی پر کننده شکستگی.



شکل ۷- نقاط آنالیز شده توسط آنالیز میکروپروب در بخش مشخص شده در شکل ۶-ج.

درصد هر یک از سیمان‌های کربناته در جدول ۲ ارائه شده است. از آنجا که دولومیتی شدن در سازند شهبازان بسیار گسترده است، درصدهای ارائه شده بر اساس فراوانی سیمان نسبت به کل ضخامت سازند در هر برش است.

• **سیمان دولومیتی (C6):** در داخل شکستگی‌ها دیده می‌شود و شامل بلورهای Planar-e با اندازه ۵۰ میکرون است. این بلورها حاشیه کلسیتی دارند (شکل ۶-ذ).

جدول ۲- درصد سیمان‌های کربناته در برش‌های مورد مطالعه. بیشترین سیمان کربناته از نوع موزاییکی هم‌بعد است.

	میش کور	نوژیان	باوی	کوکان	هرندی	A	B	C	D
اپی‌تکسیال (C1)	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰
موزاییکی هم‌بعد (C2)	۱	۱	۱>	۵	۱۱	۱	۵	۷۰	۲
بلوکی (C3)	۲	۱	۱۵	۱	۴	۱	۰	۱>	۱
دندان‌سگی (C4)	۰	۱>	۰	۰	۱	۱>	۱>	۱	۱
پویی کیلوناپیک (C5)	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱>	۲
دولومیتی (C6)	۱>	۱>	۱>	۱	۳	۲	۱	۰	۰

(شکل ۸-ح). مرزهای صاف بلورهای دولومیت دربرگیرنده این سیمان حاکی از تشکیل آن بعد از فرایند دولومیتی شدن است، بنابراین احتمالاً پس از دولومیتی شدن و با غنی شدن سیال دیاژنزی از کلسیم در مکان‌هایی که سولفات وجود داشته نهشته شده است (Wilson et al., 2001). درصد فراوانی هر یک از سیمان‌های تبخیری در جدول ۳ ارائه شده که درصدهای ارائه شده بر اساس فراوانی سیمان نسبت به کل ضخامت سازند در هر برش است.

۶-۲. نوشکلی

نوشکلی به دو شکل کاهش و افزایشی در سازند شهبازان مشاهده شد. در نوشکلی کاهش یا میکریتی شدن میکریتی جایگزین حاشیه قطعات اسکلتی شده و حاشیه میکریتی (micrite envelope) را شکل داده است (شکل ۹-الف). این فرایند دیاژنزی همزمان با رسوب‌گذاری، در محیط دریایی و در نزدیک سطح آب-رسوب رخ می‌دهد (Bathurst, 1975; Reid and Macintyre, 2000). نوشکلی افزایشی یا تبلور مجدد بلورهای دولومیت با مرزهای بین بلوری خمیده و در هم رفته مشخص می‌شود که لومینانس روشن تر از بلورهای مادر دارند (شکل ۹-ب).

۶-۳. فشردگی

فشردگی به دو صورت فشردگی شیمیایی و فیزیکی در سازند شهبازان رخ داده است. فشردگی فیزیکی عمدتاً در رخساره‌های دانه‌پشتیبان (پکستون و گرینستون) دیده می‌شود که باعث آرایش متراکم تر ذرات غیر اسکلتی، شکستگی بیوکلاست‌ها یا خمش دانه‌های نرم تر (مانند قطعات جلبکی) شده است (شکل‌های ۹-پ و ت). شواهد فشردگی شیمیایی (انحلال فشاری) در سازند شهبازان فابریک در هم فشرد (Fitted fabric)، رگچه‌های انحلال فشاری و استیلولیت است. فشردگی شیمیایی به ویژه در رخساره‌های دولومادستون و وکستون دیده می‌شود. در فابریک در هم فشرد سطوح بین دانه‌ها منحنی، صفحه‌ای و یا اندکی مضرسی است (شکل ۹-ث). رگچه‌های انحلال فشاری (شکل ۹-ج) سطوح صاف و مواجی هستند (Buxton and Sibley, 1981) که مرحله اولیه فشردگی شیمیایی را نشان می‌دهند (Granier et al., 2016). یک دسته از استیلولیت‌ها پیش از فرایند دولومیتی شدن (شکل ۹-چ) و دسته دیگر که بلورهای دولومیت را قطع کرده‌اند پس از دولومیتی شدن توسعه یافته‌اند (شکل ۹-ح).

– **سیمان‌های تبخیری:** فراوانی قابل توجه آنها در برش‌های زیر سطحی C، A و D است (در برش B فراوانی ناچیزی دارند) و غالباً از نوع انیدریت هستند. البته در نمونه‌های برش‌های سطحی با فراوانی ناچیز دیده می‌شوند (کمتر از یک درصد) که غالباً قالب‌های انحلالی نیمه پر شده آنها باقیمانده است.

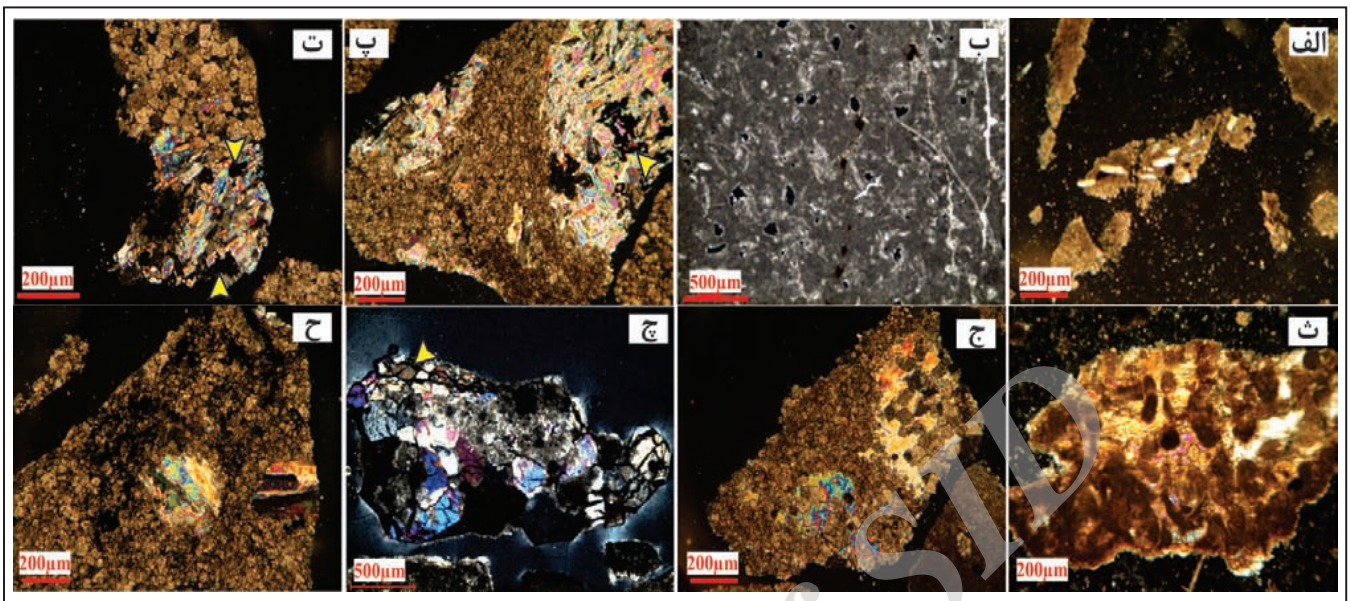
• **بلورهای تبخیری منفرد (C7):** این بلورها به شکل تیغه‌ای در اندازه تقریبی ۸۰ میکرون در رخساره‌های دولومادستونی گسترش یافته‌اند (شکل ۸-الف). علاوه بر آن شواهد تخلخل‌های قالبی حاصل از انحلال ژیبس نیز در دولومادستون‌ها دیده می‌شود (شکل ۸-ب). این تبخیری‌ها بیشتر در رخساره‌های سوپراتایدال تا اینترتایدال بالایی (Warren, 2006; Flügel, 2010) و طی مراحل اولیه دیاژنزی تشکیل شده‌اند (Kasprzyk and Orti, 1998).

• **سیمان انیدریت فیبری (C8: fibrous):** این سیمان از بلورهای فیبری انیدریت با طول تقریبی ۵۰ میکرون و جهت‌یابی موازی تا نیمه‌موازی تشکیل شده است که جهت‌یابی آنها از یک مکان به مکان تغییر می‌کند (شکل ۸-ب). این بافت در رخساره‌های گلی ناحیه سبخا و پهنه کشندی دیده می‌شود (Warren, 2006).

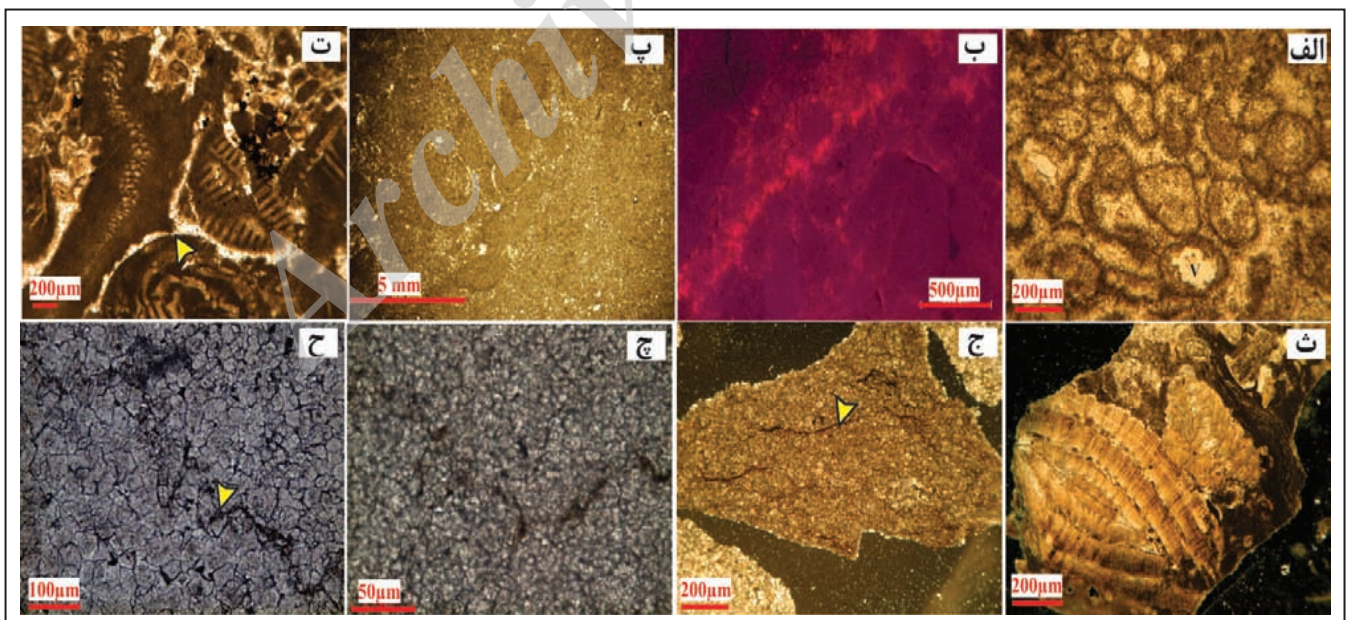
• **سیمان انیدریت تیغه‌ای (C9: Lath):** این سیمان از بلورهای تیغه‌ای کشیده، یوهدرال و جهت یافته انیدریت تشکیل شده (شکل ۸-ت) که ضخامت بیشتری نسبت به انواع فیبری دارند و پیش از مرحله دفن و تحت دیاژنزی اولیه تشکیل شده‌اند. این بافت در پهنه کشندی و لاگون دیده می‌شود (Aleali et al., 2013).

• **سیمان انیدریتی گسترده یا فراگیر (C10: Pervasive):** فراوان ترین سیمان تبخیری در برش‌های مطالعه شده بوده که از مجموعه بلورهای درشت (در اندازه ۲۰۰ میکرون) تشکیل شده است. این بلورها فضای بین دانه‌ای یا بین بلوری را پر کرده‌اند (شکل ۸-ث). تشکیل بلورهای یوهدرال دولومیت روی آنها (شکل ۸-ج) حاکی از تشکیل آنها پیش از فرایند دولومیتی شدن است. گسترش رگچه‌های انحلال فشاری (dissolution seam) روی بلورهای انیدریت نشان می‌دهد که پیش از فشردگی تشکیل شده‌اند (شکل ۸-چ). در مواردی می‌توان تشکیل مرز سه‌گانه را در سطوح تماس بین بلورهای درشت این سیمان مشاهده کرد.

• **سیمان انیدریت پویی کیلوناپیک (C11):** بلورهای در اندازه ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکرون را شامل می‌شود که گاهی میانبارهایی از دولومیت یا ماتریکس آهکی دارد. این بلورها جانشین ماتریکس و سیمان‌های مراحل قبلی شده‌اند و نیز پرکننده تخلخل هستند



شکل ۸- انواع سیمان‌های تیخیری. الف) بلورهای منفرد تیخیری در دولومادستون؛ ب) تخلخل‌های قالبی لوزن‌شکل که مشابه قالب‌های ناشی از انحلال ژئیس است؛ پ) سیمان فیبری انیدریتی که با ماده آلی آغشته شده است؛ ت) سیمان تیغه‌ای انیدریتی که با ماده آلی آغشته شده است؛ ث) سیمان فراگیر انیدریت در رخساره دانه‌غالب؛ ج) سیمان فراگیر انیدریت که بلورهای Planar-e دولومیت روی آن تشکیل شده‌اند؛ چ) سیمان فراگیر انیدریت که توسط استیلولیت و رگچه انحلال فشاری قطع شده است؛ ح) سیمان انیدریت پویی کیلوتاپیک.



شکل ۹- نوشکلی کاهش با تشکیل حاشیه‌های میکرویتی و پر شدن تخلخل قالبی با کلسیت اسپاری. برخی از سیمان‌های درون بیوکلاست‌ها دچار انحلال بعدی شده‌اند (V)؛ ب) نوشکلی افزایشی که باعث تبلور دوباره بلورهای دولومیت و رنگ لومینسانس روشن‌تر در آنها نسبت به زمینه شده است؛ پ) کشیدگی و تراکم فیزیکی آئیده‌های دولومیتی شده؛ ت و ث) فابریک در هم فشرده در بین بیوکلاست‌ها؛ ج) رگچه‌های انحلال فشاری در دولومادستون؛ چ) محو شدن استیلولیت‌ها در اثر دولومیتی شدن؛ ح) قطع شدن بلور دولومیت توسط استیلولیت.

جدول ۳- درصد فراوانی سیمان‌های تبخیری در برش‌های مورد مطالعه.

	میش کور	نوزبان	باوی	کوکان	هرندی	A	B	C	D
بلور منفرد (C7)	۲	۱>	۱>	۱>	۱>	۰	۲	۰	۰
فیبری (C8)	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
تیغهای (C9)	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰
فراگیر (C10)	۰	۰	۰	۰	۱>	۹	۵	۷	۱۳
بویکیولوتایپک (C11)	۰	۰	۰	۰	۱>	۱	۱	۲	۳

۴-۶. دولومیتی شدن

این فرایند در سازند شهبازان به‌طور گسترده‌ای عمل کرده است. به گونه‌ای که از مجموع ۶۵۵ متر ضخامت کل برش‌های سطحی مطالعه شده در حدود ۷۰ درصد و از ۶۸۴/۴ متر ضخامت مجموع برش‌های زیرسطحی در حدود ۵۰ درصد تحت تأثیر دولومیتی شدن گسترده قرار گرفته است و بیشتر آثار محیط رسوبی اولیه از بین رفته است. بر اساس مطالعات پتروگرافی، دو گروه دولومیت‌های جانشینی و سیمان تفکیک شده‌اند.

دولومیت‌های جانشینی دو نوع فابریک نشان می‌دهند:

– **فابریک نوع ۱:** از موزاییک‌های در هم قفل شده‌ای از بلورهای Planar-s تا non-Planar تشکیل شده است که در نور CL قرمز تیره تا بنفش هستند و زونینگ ندارند (ترکیب نسبتاً یکنواخت سیال دولومیتی کننده و یا نرخ نهشت آرام). بر اساس اندازه، این بلورها به سه گروه D1، D2 و D3 تقسیم شده‌اند.

D1: اندازه بلورها از کمتر از ۵ میکرون تا ۱۵ میکرون تغییر می‌کند. در بررسی با میکروسکوپ پلاریزان تخلخل‌های چشم پرنده‌ای و فنسترال و قالبی (سه درصد) و تخلخل‌های بین بلوری نیز در مطالعات میکروسکوپی SEM مشاهده می‌شوند. در مطالعه SEM بلورها غالباً Planar-e هستند و بافت دانه‌شکری دارند (شکل‌های ۱۰- الف، ب و پ). نتایج آنالیز میکروپروب بلورهای دولومیت مقدار میانگین ۴۲/۵۳ درصد وزنی MgO و ۵۷/۴۷ درصد وزنی CaO را نشان می‌دهد که بیانگر ترکیب غیراستوکیومتری آنهاست.

D2: اندازه بلورها ۱۵ تا ۴۰ میکرون است و ۲ درصد تخلخل بین بلوری دارند (شکل‌های ۱۰- ت، ث و ج). نتایج آنالیز میکروپروب مقدار میانگین ۴۱/۲۴ درصد وزنی MgO و ۵۸/۷۶ درصد وزنی CaO و در نتیجه ترکیب غیراستوکیومتری آنها را نشان می‌دهد.

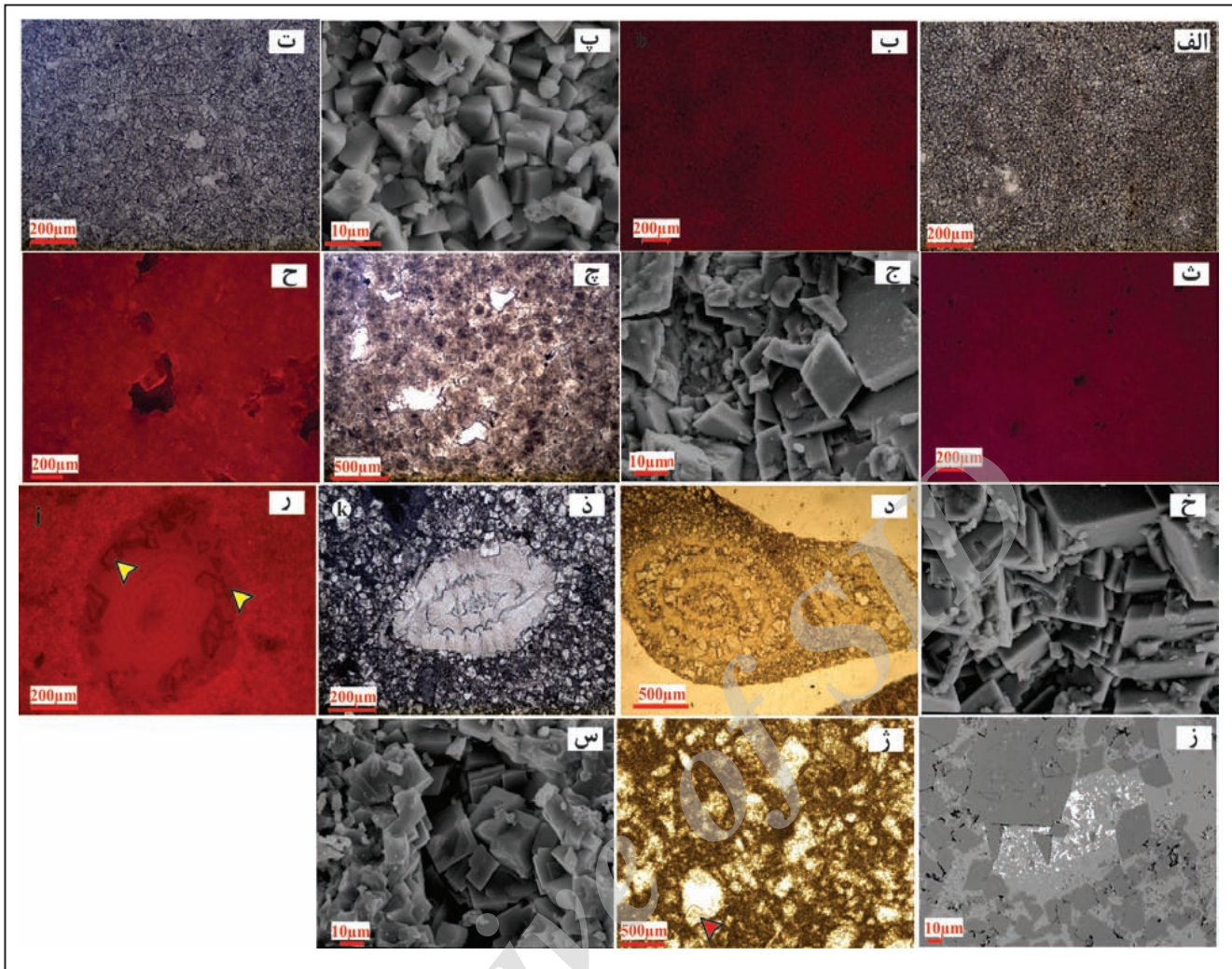
D3: میانگین اندازه بلورها در برش‌های سطحی ۴۰ تا ۷۰ میکرون است، اما در برش‌های زیر سطحی به ۱۰۰ میکرون نیز می‌رسد. برخی از بلورها مرکز ابری و حاشیه شفاف دارند (شکل‌های ۱۰- چ، ح و خ). ۵ درصد تخلخل بین بلوری در این فابریک مشاهده می‌شود. نتایج آنالیز میکروپروب حاکی از مقدار میانگین ۴۲/۳۶ درصد وزنی MgO و ۵۷/۶۴ درصد وزنی CaO در دولومیت‌ها و بیانگر ترکیب غیراستوکیومتری آنهاست.

– **فابریک نوع ۲:** از بلورهای Planar-e تا Planar-s در اندازه ۱۵ تا ۴۰ میکرون در برش‌های سطحی و تا ۱۰۰ میکرون در برش‌های زیرسطحی تشکیل شده است که جایگزین زمینه یا بیوکلاست‌ها شده‌اند (شکل‌های ۱۰- د، ذ و ر). این بلورها هسته ابری دارند و در تصاویر backscattered SEM حاشیه‌های خورده شده نشان می‌دهند (شکل ۱۰- ز) و با عنوان D4 نام‌گذاری شده‌اند. نتایج آنالیز میکروپروب مقدار میانگین ۳۹/۶۱ درصد وزنی MgO و ۶۰/۳۹ درصد وزنی CaO نشان می‌دهد و دولومیت کلسیم‌دار را به نمایش می‌گذارد.

سیمان‌های دولومیتی که با عنوان D5 نام‌گذاری شده‌اند، کمتر از ۱٪ دولومیت‌های مطالعه شده را شامل می‌شوند و از بلورهای Planar-e تا Planar-s در اندازه ۲۵ تا ۸۰ میکرون تشکیل شده‌اند که تا حدودی منافذ بین بلوری و در مواردی نیز درون تخلخل‌های قالبی و شکستگی‌ها را پر می‌کنند (شکل‌های ۱۰- ژ و س) و رنگ لومینسانس آنها بنفش تا قرمز تیره است (شکل ۱۰- ح). نتایج آنالیز میکروپروب ترکیب غیر استوکیومتری آنها را با مقدار میانگین ۴۲/۴۱ درصد وزنی MgO و ۵۷/۵۹ درصد وزنی CaO تأیید می‌کند. جدول ۴ توزیع فراوانی انواع دولومیت را در برش‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۴- توزیع فراوانی انواع دولومیت (بر حسب درصد) در برش‌های مطالعه شده.

	میش کور	نوزبان	کوکان	باوی	هرندی	A	B	C	D
D1	۷۵	۷۸	۵۰	۹۸	۱۳	۲	۶۰	۵۰	۱۰
D2	۱۴	۱۲	۳۷	۲	۶	۵۱	۳۳	۵۰	۱۹
D3	۱۰	۷	۱۰	–	۲۰	۲۹	۴	–	۶۵
D4	۱	۱	۲	–	۶۰	۱۸	۲	–	۵
D5	۱>	۲	۱	–	۲	۱>	۱	–	۱



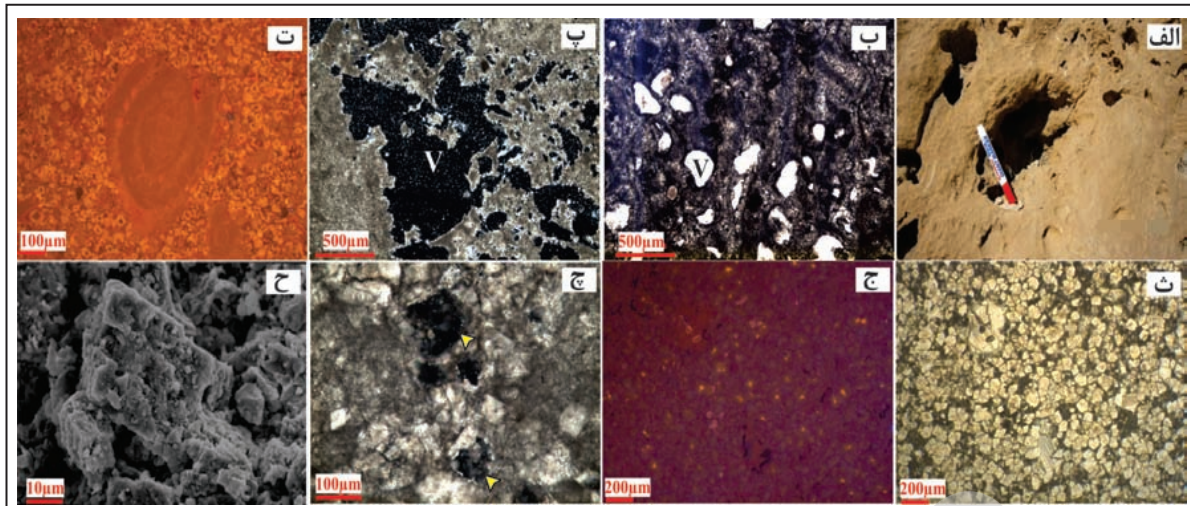
شکل ۱۰- انواع دولومیت. الف، ب و پ) تصویر میکروسکوپ پلاریزان، کاتدولومینسانسی و SEM از D1؛ ت، ث و ج) تصویر میکروسکوپ پلاریزان، کاتدولومینسانسی و SEM از D2؛ چ، ح، و خ) تصویر میکروسکوپ پلاریزان، کاتدولومینسانسی و SEM از D3؛ د) جانشینی دولومیت های D4 بر روی بیوکلاست؛ ذ) جانشینی زمینه با دولومیت های D4؛ ر) تصویر کاتدولومینسانس از تشکیل دولومیت های D4 در حاشیه نومولیت؛ ز) تصویر backscattered SEM از حاشیه خورده شده دولومیت های D4؛ ژ) تشکیل دولومیت های D5 در حاشیه حفرات (Pore-lining)؛ س) تصویر SEM از دولومیت های D5 در داخل حفره که کاملاً آن را پر نکرده اند.

در برش های زیرسطحی (رأس سازند در برش های D و B دولومیتی نشده است و در برش A نیز دولومیت های شهبازان در عمق ۷۷۳ متری در میانه سازند پاینده قرار گرفته اند) و نیز اینکه برش های زیرسطحی در غرب برش های سطحی قرار دارند، به نظر می رسد جهت حرکت شورابه ها از شمال شرق به جنوب غرب بوده است.

۶-۵. انحلال

بیشترین اندازه حفرات انحلالی در مطالعات صحرایی برش های سطحی در نزدیک مرز آسماری- شهبازان مشاهده می شود (شکل ۱۱- الف). در مقیاس میکروسکوپی انحلال در سازند شهبازان به دو صورت فابریک انتخابی و غیر انتخابی رخ داده است. در انحلال فابریک انتخابی، اجزای ناپایدار (آراگونیتی یا کلسیت پر منیزیم و یا کانی های تبخیری) حل شده و قالب های خالی از آنها به جای مانده است که در برخی موارد با کلسیت بلوکی پر شده اند. در گریستون ها و پکستون های با شستگی کم (poorly washed)، قالب های پر شده با سیمان دیده می شود (شکل ۶- ث)، در حالی که در بخش های خوب شسته شده (well washed)، قالب ها پر شده با سیمان و یا خالی (حاشیه های میکریتی دارند (شکل ۱۱- ب). در انحلال غیر انتخابی، حفره ها و کانال هایی تشکیل شده است که آلومک های پیشین، سیمان ها و ماتریکس به جز فاز آخر سیمان را قطع کرده اند. این نوع انحلال بیشتر در بخش های دولومیتی شده دیده می شود (شکل ۱۱- پ).

با توجه به گسترش سازند شهبازان (شکل ۱)، دولومیتی شدن گسترده این توالی کربناته به سیالی نیاز دارد تا بتواند منیزیم کافی را تأمین کند. بسیاری از مطالعات، آب دریا را تنها سیال با حجم زیاد، در دسترس و حاوی منیزیم کافی برای دولومیتی شدن گسترده و با گسترش زیاد می دانند (Land, 1985; Vahrenkamp et al., 1991; Warren, 2000). نحوه توزیع دولومیت ها در برش های سطحی (شکل های ۴ و ۵) حاکی از آن است که در ۴ برش میش کور، نوژیان، باوی و کوگان دولومیتی شدن گسترده است و دولومیت ها تنها از فابریک نوع ۱ هستند، اما در برش هرندی (جنوبی) فابریک نوع ۱ تنها در بخش بالایی سازند مشاهده می شود و در بخش های میانی فابریک نوع ۲ (D4) و در قاعده سنگ آهک وجود دارد. چنین الگویی از پراکندگی دولومیت ها، به همراه فابریک آنها (اندازه کوچک بلورهای دولومیت)، مدل brine reflux را به عنوان مکانیسم دولومیتی کننده بیشتر محتمل می کند. یعنی با نفوذ شورابه از بالا دولومیتی شدن رخ داده است. هر چند با توجه به شکل بلورهای دولومیت در فابریک ۲ به نظر می رسد که بخشی از آنها در زون مخلوط تشکیل شده باشند. این مدل با وجود تبخیری ها شناخته می شود (Swennen, 1986; Warren, 2000)، اما نبود تبخیری ها در برش های سطحی دلیل بر تشکیل نشدن آنها نیست (Warren, 2006)، زیرا ممکن است پس از تشکیل دچار انحلال شده و یا با کانی کربناته جانشین شده باشند. از سوی دیگر با توجه به نحوه توزیع دولومیت ها



شکل ۱۱- الف) آثار انحلال در سازند شهبازان در برش هرندی؛ ب) انحلال فابریک انتخاب در رخساره‌های خوب شسته شده و بدون گل، که تنها قالب ذرات با حاشیه میکریتی باقی مانده است (V بیانگر فضاهای خالی است)؛ پ) تخلخل حفره‌ای در دولومیت‌ها؛ ت) تصویر کاتدولومینسانس دولومیت‌های با حاشیه کلسیتی که شکل بلوری خود را حفظ کرده‌اند؛ ث) دولومیت‌های با مراکز ابری؛ ج) تصویر کاتدولومینسانس همان دولومیت‌ها. رنگ زرد نمایانگر کلسیت در مراکز ابری دولومیت‌هاست؛ چ) بلورهای توخالی دولومیت یا hollow dolomite؛ ح) تصویر SEM از بلور دولومیتی که دولومیت‌زدایی را تجربه کرده است.

۶-۶. دولومیت‌زدایی

غالب شده و نیز فابریک در هم فشرده و حتی رگچه‌های انحلال فشاری را تشکیل داده است. دولومیتی شدن نیز در مرحله انورژن رخ داده است. تبخیر آب دریا باعث تشکیل شورابه‌هایی شده که در سازند شهبازان نفوذ و زمینه دولومیتی شدن گسترده آن را فراهم کرده‌اند (D5، D3، D2، D1). با نفوذ شورابه و کاهش قدرت یونی آن (کاهش Mg/Ca) دولومیت‌های D4 تشکیل شده‌اند. بخشی از تبخیری‌ها نیز در همین مرحله پیش و یا اندکی پس از دولومیتی شدن تشکیل شده‌اند (سیمان انیدریتی فراگیر). انورژن در محیط متئوریک باعث شده است بخش‌های بالایی سازند شهبازان انحلال را تجربه کنند (شکل ۱۱- الف). انحلال آراگونیت و کلسیت منیزیم‌دار و نهشت کلسیت‌های بلوکی کم منیزیم در قالب‌های بیو کلاستی و کلسیت‌های هم‌بعد شفاف در رخساره گریستون و نیز نهشت کلسیت دندان‌سگی در متئوریک فواتیک رخ داده که با انحلال در متئوریک وادوز دنبال شده است. قالب‌های ژپس نیز در همین مرحله تشکیل شده‌اند.

چنین به نظر می‌رسد که سازند شهبازان پس از نهشت سازندهای آسماری و گچساران وارد مرحله مزورژن شده و توسعه استیلولیت‌ها و تجمع مواد آلی و بخشی از پیریت در امتداد رخ داده است. با بالا آمدن زاگرس، مرحله تلورژن آغاز شده که با انحلال بخشی و اندکی دولومیتی شدن همراه بوده است. همچنین نهشت بخشی از سیمان‌های متئوریک مانند کلسیت‌های بلوکی و یا دندان‌سگی در این مرحله رخ داده است.

دولومیت‌زدایی فرایند معکوس دولومیتی شدن است که در آن سیالات با نسبت بالای Ca/Mg با دولومیت واکنش می‌دهند و کربنات کلسیم تشکیل می‌شود (Evamy, 1967). دولومیت‌زدایی در فابریک‌های D3 و D4 دیده شده است و در آن بلورهای دولومیت هسته یا حاشیه کلسیتی (شکل‌های ۱۱- ت، ث و ج) و یا هسته‌های خالی (شکل ۱۱- چ) دارند که در حالت دوم hollow dolomite نامیده می‌شوند (Folk and Seidlecka, 1974; Jones, 2007). در SEM بلورهای شسته شده دولومیت کاملاً مشخص است (شکل ۱۱- ح). فراوانی hollow dolomite بسیار کم است و فرایندی که شار گسترده سیالات را تأیید کند، نشان نمی‌دهد. در جدول ۵ رخداد فرایندهای دیاژنزی در برش‌های مطالعه شده ارائه شده است. توزیع فرایندهای دیاژنزی در برش‌های عمود بر امتداد زاگرس (میش کور، A و هرندی) و برش‌های موازی با روند زاگرس (از غرب به شرق شامل B، C، D، کوگان، باوی و نوژیان) به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ رسم شده است.

۶-۷. سکانس پاراژنزی فرایندهای دیاژنزی

فرایندهای دیاژنزی در سه مرحله انورژن، مزورژن و تلورژن رخ داده‌اند (شکل ۱۲). در مرحله انورژن دریایی نهشت سیمان ایپی‌تاکسیال، میکریتی شدن رخ داده و در بخش‌های کم‌عمق حوضه (رخساره‌های سوپراتایدال و اینترتایدال بالایی) بلورهای تبخیری منفرد و سیمان انیدریتی با بافت تیغه‌ای و فیبری نهشته شده است. افزایش فشار دوباره باعث فشردگی فیزیکی قطعات اسکلتی و غیر اسکلتی در رخساره‌های دانه

جدول ۵- رخداد فرایندهای دیاژنزی در برش‌های مطالعه شده. منظور از ناچیز کمتر از یک درصد است.

		میش کور	نوژیان	باوی	کوگان	هرندی	A	B	C	D
سیمانی شدن	کربناته	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	تبخیری	✓	ناچیز	ناچیز	ناچیز	ناچیز	✓	✓	✓	✓
نوشکلی	کاهش	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
	افزایش	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
فشرده‌گی		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
دولومیتی شدن		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
انحلال		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
دولومیت‌زدایی		✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	-

مرحله	اَنُوژنز			مزوژنز		تلوژنز
	محیط	دریایی	زون مخلوط	متئوریک	دفن	متئوریک
فرایند				واتدوز	دفن عمیق	کم عمق
سیمانی شدن						
کلسیت اپی تاکسیال						
کلسیت هم بعد موزاییکی						
کلسیت بلوکی						
کلسیت دندان سگی						
کلسیت پویی کیلوتاپیک						
بلورهای منفرد تبخیری						
سیمان انیدریت فیبری						
سیمان انیدریت تیغه ای						
سیمان انیدریت فراگیر						
سیمان انیدریت پویی کیلوتاپیک						
نوشکلی کاهش						
نوشکلی افزایش						
فشرده‌گی						
فیزیکی						
شیمیایی						
دولومیتی شدن						
D1						
D2						
D3						
D4						
D5						
انحلال						
دولومیت زدایی						

شکل ۱۲- توالی پارائزی فرایندهای دیاژنزی سازند شهبازان.

۷- نتیجه‌گیری

دهند. هر چند که به دلیل دولومیتی شدن گسترده این سازند امکان تعیین دقیق سن آن و در نتیجه بررسی ارتباط بین شدت دولومیتی شدن و هیاتوس بین سازند آسماری و شهبازان وجود ندارد.

آثار فشرده‌گی فیزیکی، تشکیل رگچه‌های انحلال فشاری و بافت‌های به هم فشرده دیده می‌شود که در مراحل اولیه دیاژنز در اثر افزایش وزن رسوبات سازند شهبازان ظاهر شده‌اند و در مرحله مزوژنز با نهشت سازندهای آسماری و گچساران توسعه یافته‌اند. در مرحله تلوژنز انحلال روی داده و آثار انحلال مربوط به شواهد دولومیت‌زدایی نیز مربوط به همین مرحله است.

سپاسگزاری

از گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی‌سینا برای فراهم کردن وسیله برای بررسی‌های صحرائی و معاونت پژوهشی دانشگاه برای تأمین بخشی از هزینه‌های آزمایش‌ها؛ از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت برای تهیه برش‌های نازک و در اختیار گذاردن اطلاعات برش‌های زیر سطحی، از دانشگاه لوون بلژیک (KU-Leuven) برای تهیه برش‌های نازک صیقلی، مطالعات کاتدولومینسانس و انجام آنالیزهای میکروپروب و از آقای دکتر یزدی‌مقدم (بخش چینه‌شناسی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران) برای تعیین سن سازند آسماری در برش‌های سطحی سپاسگزاری می‌شود. از داوران محترم مجله علوم زمین که نظرات سازنده‌شان باعث ارتقای سطح علمی مقاله شده است نیز تشکر و قدردانی می‌شود.

غالب فرایندهای دیاژنزی سازند شهبازان در مرحله ائوژنز روی داده است. ائوژنز دریایی شامل نهشت سیمان کلسیت اپی تاکسیال بر روی اکتینودرم، نوشکلی کاهش و نهشت تبخیری‌ها در بخش‌های سوپراتیادل حوضه بوده است. فراوان‌ترین سیمان کربناته سیمان کلسیت هم‌بعد بلوکی است که در برش‌های هرندی و C مشاهده شد. فراوانی سیمان‌های تبخیری به سمت غرب محدوده مورد مطالعه نشان از کم‌عمق شدن حوضه در این بخش دارد. هر چند قالب‌های انحلالی ژیبس در محل برش‌های سطحی نیز نشان می‌دهد که شرایط نهشت تبخیری‌ها در شرق منطقه مورد مطالعه نیز وجود داشته، اما عدم حفظ آنها بیانگر این است که این شرایط تداوم نداشته است. نهشت سیمان کلسیت هم‌بعد موزاییکی، کلسیت دندان سگی و کلسیت بلوکی در مرحله ائوژنز متئوریک روی داده است.

از فرایندهای ذکر شده تنها دولومیت‌زدایی و نوشکلی در همه برش‌ها روی نداده است. دولومیت‌زدایی تنها در برش‌های سطحی میش کور، کوگان، نوژیان و هرندی دیده می‌شود که با فرایندهای توسعه کارست و کلسیت بلوکی در رأس سازند شهبازان همراه هستند.

دولومیتی شدن مهم‌ترین و گسترده‌ترین فرایند دیاژنزی سازند شهبازان است که توسط آب دریا در مرحله ائوژنز و با مکانیسم محتمل brine reflux صورت گرفته است. حرکت شورابه در زیر سطح به سمت جنوب غرب بوده است. چنین به نظر می‌رسد که ناپیوستگی اواخر ائوسن باعث شده است که آب‌های دریایی ائوسن فرصت نفوذ در کربنات‌های شهبازان را بیابند و دولومیتی شدن گسترده را شکل

کتابنگاری

- پیربایی، ع. ر.، فیضی، ا.، صوفیانی، ح.، همت، س. و معتمدی، ب.، ۱۳۹۳- پالئوژئوگرافی نهشته‌های تشریاری زاگرس، گزارش داخلی مدیریت اکتشاف نفت، شماره GR-۲۳۶۲، ۲۰۷ ص.
- حسن‌زاده نعمتی، م.، ۱۳۹۳- مطالعه پتروگرافی و دیاژنز سازند شهبازان بین معمولان و پل دختر در استان لرستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۲ ص.
- عبدلنیا، ا.، مغفوری‌مقدم، ا. و باغبانی، د.، ۱۳۹۶- چینه‌نگاری سازند شهبازان در حوضه لرستان، علوم زمین، سال بیست و ششم، شماره ۱۰۳، صص. ۱۵۷ تا ۱۶۸.
- عبدی، ا. و آدابی، م.، ۱۳۸۸- پتروگرافی انواع دولومیت‌ها، بررسی دیاژنز، مرز احتمالی سازند شهبازان- آسماری و تفکیک ریزرخساره‌ها براساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی دولومیکرایت‌ها، شواهد پتروگرافی و روش‌های آماری در برش دارابی (جنوب غرب ایران)، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۲۵، جلد ۱، ۸۱ تا ۱۰۰.
- محسنی، ح.، عبدالله‌پور، م. و رفیعی، ب.، ۱۳۹۴- عنصرسنجی، ساختار و نظم شبکه بلوری دولومیت بر پایه داده‌های سنگ‌نگاری XRD و XRF (بررسی موردی دولومیت‌های سازند شهبازان، جنوب غرب استان کرمانشاه)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲۳، جلد ۱، صص. ۴۳ تا ۵۵.
- مدرس، م.، ۱۳۸۸- بررسی فرایندهای دیاژنزی سازند شهبازان در برش سطحی کیالو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۸۳ ص.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین‌شناسی نفت زاگرس (جلد اول و دوم)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۱۰۱۰ ص.

References

- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforland evolution, *American Journal of Science*, V. 304, 1–20.
- Aleali, M., Rahimpour-Bonab, H., Moussavi-Harami, R. and Jahani, D., 2013- Environmental and sequence stratigraphic implications of anhydrite textures: A case from the Lower Triassic of the Central Persian Gulf, *Journal of Asian Earth Sciences*, V. 75, 110–125.
- Barker, C. E. and Kopp, O. C., (Eds.), 1991- Luminescence microscopy and spectroscopy: qualitative and quantitative applications, *SEPM Short Course 25. SEPM (Society for Sedimentary Geology)*, Dallas, Texas USA, 195 p.
- Bathurst, R. G. C., 1975- Carbonate sediments and their diagenesis, *Developments in Sedimentology*, Elsevier Science, Amsterdam, 658 p.
- Buxton, T. M. and Sibley, D. F., 1981- Pressure solution features in a shallow buried limestone, *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 51, 19–26.
- Choquette, P. W. and James, N. P., 1990- Limestone — the burial diagenetic environment. In: *McIlreath, I., Morrow, D. (Eds.), Diagenesis. Geological Association of Canada Reprint Series 4, St. John's, ND, Canada, 75–111.*
- Dickson, J. A. D., 1965- A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, V. 205, 587 p.
- Edmunds, W. M. and Walton, N. R. G., 1983- The Lincolnshire Limestone-hydrogeochemical evolution over a ten years period. *Journal of Hydrogeology*, V. 61, 201-211.
- Evamy, B. D., 1967- Dedolomitization development of rhombohedral pores in limestone, *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 37, 1204–1215.
- Flügel, E., 2010- *Microfacies of Carbonate Rocks*, Springer, 984 p.
- Folk, R. L. and Siedlecka, A., 1974- The Schizohaline environment: its sedimentary and diagenesis fabrics as exemplified by late Paleozoic rocks of Bear Island, Svalbard, *Journal of Sedimentary Geology*, V. 11, 1-15.
- Folk, R. L., 1974- The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity, *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 44, 40–53.
- Granier, B., Clavel, B., and Charollais, J., 2016- Comments on "Estimating the impact of early diagenesis on isotope records in shallow-marine carbonates: A case study from the Urganian platform in western Swiss Jura" *Carnets Geol*, V 16 (17), 417-429.
- Hiatt, E. E. and Pufahl, P. K., 2014- Cathodoluminescence petrography of carbonate rocks: a review of applications for understanding diagenesis, reservoir quality, and pore system evolution. In: *Coulsen, I. M. (Ed.), Cathodoluminescence and its Application to Geoscience., Mineralogical Association of Canada, 75–96.*
- James, G. A. and Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 49 (12), 2182-2245.
- James, N. P. and Choquette, P. W., 1990a- Limestone — the meteoric diagenetic environment. In: *McIlreath, I., Morrow, D. (Eds.), Diagenesis, Geological Association of Canada, Reprint Series 4, 35–74.*
- James, N. P. and Choquette, P. W., 1990b- Limestone — the sea floor diagenetic environment. In: *McIlreath, I., Morrow, D. (Eds.), Diagenesis, Geological Association of Canada Reprint Series 4, 13–34.*
- James, N. P. and Jones, B., 2015, *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks*, Wiley, American Geophysical Union, 464.
- James, N. P. and Jones, B., 2015- *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks*, Wiley, American Geophysical Union, 464 p.
- Jones, B., 2007- Inside-out dolomite, *Journal of Sedimentary Research*, V. 77, 539–551.
- Kasprzyk, A. and Otri, F., 1998- Palaeogeography and burial controls on anhydrite genesis: the Badenian basin in the Carpathian Fore deep (southern Poland, western Ukraine), *Sedimentology*, V. 45, 889-907.

- Land, L. S., 1985- The origin of massive dolomite, *Journal of Geoscience Education*, V. 33, 112-125.
- Murris, R. J., 1980- Hydrocarbon habitat of the Middle East, *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 6*, 765-800.
- Nader, F. H., Swennen, R. and Keppens, E., 2008- Calcitization/dedolomitization of Jurassic dolostones (Lebanon): results from petrographic and sequential geochemical analyses, *Sedimentology*, V. 55, 1467-1485.
- Reid, R. P. and Macintyre, I. G., 2000- Microboring versus recrystallization: further insight to the micritization process, *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 70(1), 25-28.
- Schneidermann, N. and Harris, P. M., (Eds.), 1985- Carbonate cements, *SEPM Special Publication 36*, 408 p.
- Sibel, M. J. and Jones, N. P., 2017- Diagenesis of Miocene, incised valley-filling limestones; Provence, Southern France, *Sedimentary Geology*, V. 347, 21-35.
- Sibley, D. F. and Gregg, J. M., 1987- Classification of dolomite rock texture. *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 57, 967- 975.
- Swennen, R., 1986- Lithogeochemistry of Dinantian carbonates in the Vesdre basin (Verviers synclinorium: E Belgium) and its relations to paleogeography, lithology, diagenesis and Pb-Zn mineralizations. *Academiae Analecta, Klasse der Wetenschappen*, V. 48, 67-108.
- Tucker, M. E. and Wright, V. P., 1990- *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482 p.
- Tucker, M. E., 1991- Sequence stratigraphy of carbonate-evaporite basins: models and application to the Upper Permian (Zechstein) of northeast England and adjoining North Sea, *Journal of the Geological Society, London*, V. 148, 1019-1036.
- Vahrenkamp, V. C., Swart, P. K. and Ruiz, J., 1991- Episodic dolomitization of Late Cenozoic Carbonates in the Bahamas: Evidence from strontium isotopes, *Journal of Sedimentary Research*, V. 61, 1002-1014.
- Warren, J. K., 2000- Dolomite: occurrence, evolution and economically important association, *Earth- Science Reviews*, V. 52, 1-81.
- Warren, J. K., 2006- *Evaporites: Sedimentes, Resources and Hydrocarbons*, Springer-Verlag, Brunei, 1035p.
- Wilson, A., Sanford, W., Whitaker, F. and Smart, P., 2001- Spatial patterns of diagenesis during geothermal circulation in carbonate platforms, *American Journal of Science*, V. 301,727-752.
- Zeigler, M. A., 2001- Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences, *GeoArabia*, V. 6 (3), 445-504.

Archive of SID

Diagenetic processes of the Shahbazan Formation in the east of the Lurestan zone

M. Janbaz¹, H. Mohseni^{2*}, A. R. Piryaei³, R. Swennen⁴, B. Yusefi Yeganeh⁵ and H. Saradeghi Sofiani⁶

¹Ph.D., Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

³Ph.D., Geology Department, Exploration Division, NIOC, Tehran, Iran

⁴Professor, Faculty of Earth and Environmental Sciences, KU Leuven, Leuven, Belgium

⁵Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Lurestan, Khorramabad, Iran

⁶M.Sc., Geology Department, Exploration Division, NIOC, Tehran, Iran

Received: 2015 July 14

Accepted: 2015 December 08

Abstract

Middle-late Eocene Shahbazan Formation is exposed in the Lurestan area (Zagros region). The diagenetic features have been studied based on the data from five surface sections and four additional exploration wells. This investigation was carried out on the petrography of 700 thin sections, Cathodoluminescence on 40 thin polished samples, Scanning Electron Microscope on six samples and Electron Probe Micro-Analysis on 11 thin polished sections. The most conspicuous diagenetic processes affected on the Shahbazan Formation are dolomitization, cementation, neomorphism, physical and chemical compaction, dissolution and dedolomitization, of which dolomitization is the most important. Dolomite distribution in studied sections suggest that fluid flow was probably toward SW of studied area, since the extend of dolomitization waning in this direction. Since the dolomites of the Shahbazan Formation are overlain by the Asmari Formation, the dolomitization predates deposition of the Asmari Formation and occurred in eogenesis. Majority of calcite cements deposited before dolomitization in eogenesis, excluding parts of the blocky and poikiloblastic calcite which may form in telogenetic and mesogenetic realms respectively. Degrading neomorphism occurred in marine realm. Part of dissolution occurred in meteoric vadose of eogenesis. Compaction commenced in meogenesis with increasing overburden due to deposition of the Shahbazan Formation and culminated after deposition of the Asmari and Gachsaran Formations. Telogenetic processes caused dissolution and dedolomitization of the Shahbazan Formation due to exhumation. by the exception of dedolomitization and neomorphism, other diagenetic features are occurred in all studied sections.

Keywords: The Shahbazan Formation, Diagenesis, Lurestan zone, Eocene.

For Persian Version see pages 67 to 82

*Corresponding author: H. Mohseni; E-mail: mohseni@basu.ac.ir

Archive of Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES