

# واکاوی محیط رسوبی و ارتباط رخساره‌های رسوبی با فرایندهای دیاژنزی در نهشته‌های بالایی سازند دالان در بخش مرکزی و غربی کمان قطر فارس

لیلا صمدپور<sup>۱</sup>، حسین مصدق<sup>۲</sup>، بیژن بیرانوند<sup>۳\*</sup>، حسین رحیم‌پور بناب<sup>۴</sup> و احمد یحیایی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران

۳. دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

۴. استاد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران

۵. کارشناس ارشد چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

## چکیده

سازند دالان به سن پرمین بالایی از پراهمیت‌ترین سنگ مخزن‌های موجود در زاگرس و خلیج فارس قلمداد می‌شود. در این پژوهش در سه چاه از سه میدان بخش غربی کمان قطر-فارس به بررسی ویژگی‌های رخساره‌ها و عوامل تأثیرگذار دیاژنزی در تغییرات رخساره‌ها پرداخته می‌شود. بر پایه مطالعات رخساره‌ای از ۲۵۲ مقطع نازک میکروسکوپی تعداد ۱۱ ریزرخساره رسوبی شامل انیدریت لایه‌ای تا توده‌ای، دولومادستون فابریک فنسترال، باندستون استروماتولیتی، مادستون دولومیتی، مادستون با آشفستگی زیستی، وکستون تا پکستون بیوکلستی با جلبک سبز و فرامینیفیرهای بنتیک، پکستون تا گرینستون آئیدی پلوئیدی، گرینستون آئیدی، گرینستون بیوکلستی اینتراکلستی، وکستون تا پکستون بیوکلستی اینتراکلستی و مادستون بیوکلستی شناسایی شدند. این رخساره‌های رسوبی از بخش بالایی پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته زیرآبی، دریای باز تا رمپ میانی امتداد یافته‌اند. تغییرات تدریجی ریزرخساره‌ها، نبود ساختارهای ریف سدی بزرگ، نبود رسوبات توربیدیتی و حضور آلوکم‌های اسکلتی از قبیل فرامینیفیر بنتیک، جلبک سبز، دوکفه‌ای، براکیوپود، خارپوست نشانگر این است که نهشته‌های این بخش در یک پلتفرم کربناته از نوع رمپ هموکلینال گسترده شده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که فرایندهای دیاژنزی میکریتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، نئومورفیسم، دولومیتی شدن، تراکم فیزیکی و تراکم شیمیایی در بخش‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شوند و گسترش فرایندهای دیاژنزی در چهار محیط دریایی، جوی، تدفینی و بالآمدگی تقسیر و طی سه مرحله ائوژن، مزوژن و تلوزن رسوبات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سیمانی شدن با رخساره‌های محیط کم‌انرژی و بالای جزرومدی همخوانی دارند و با رخساره‌های دانه‌درشت از قبیل پکستون بیوکلستی یا گرینستون آئیدی که مربوط به محیط‌های پرانرژی لاگون و پشته زیرآبی هستند، هم‌پوشانی دارند.

واژه‌های کلیدی: دالان بالایی، دیاژنزی، ریزرخساره، محیط رسوبی.

\* نویسنده مرتبط: Biranvandb@ripi.ir

## مقدمه

واحدهای K4 و K3 معادل عضو دالان بالایی و واحدهای K2 و K1 معادل سازند کنگان است. (Insalaco et al., 2006). کمان قطر فارس با روند تقریبی شمال شمال شرقی- جنوب جنوب غربی می‌باشد که به سمت جنوب تا شبه جزیره قطر امتداد می‌یابد و میدان شمالی قطر و میدان پارس جنوبی بر روی آن قرار گرفته‌اند. در این مطالعه ریزرخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی چاه B در غرب کمان قطر-فارس با دو چاه در میدان‌های مجاور مقایسه می‌شود (شکل ۱). پژوهشگران زیادی به دلیل جایگاه برجسته سازند خوف، آن را از دیدگاه‌های گوناگونی نظیر محیط‌های رسوب‌گذاری و ریزرخساره‌ها، چین‌نگاری سکانسی، ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات، فرایندهای دیاژنزی مورد مطالعه قرار داده‌اند (سفیداری و همکاران، ۱۳۹۷، امرایی و همکاران، ۱۳۹۸، سجادی و همکاران، ۱۴۰۰، Insalaco et al., 2006; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab, 2013; Mehrabi et al., 2015; Amel et al., 2015; Enayati-Bidgoli and Rahimpour-Bonab, 2016; Mehrabi et

کشف ذخایر عظیم گازی در خلیج فارس در طی سالیان گذشته بیانگر ضرورت مطالعات جامع‌تر زمین‌شناسی و مخزنی برای رسیدن به مدل رسوبی دقیق‌تر، تغییرات رخساره‌ها و تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر روی کیفیت مخزنی در مطالعات اکتشافی و مدیریتی حائز اهمیت است. مخازن هیدروکربنی سازند دالان و کنگان و هم‌ارز آن‌ها سازند خوف از ذخایر مهم گازی در گستره خاورمیانه و جهان است (Insalaco et al., 2006). نام این سازند از تأقدیس دالان در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز گرفته شده است (آقناباتی، ۱۳۹۲). سازند دالان براساس لیتواستراتیگرافی به سه بخش دالان پایینی، نار و دالان بالایی جدا شده است (Szabo and Kheradpir, 1978). سازند دالان به همراه سازند کنگان در بخش عربی خلیج فارس، عربستان، کویت، قطر، امارات متحده عربی معادل سازند خوف است (Konert et al. 2001). سازند خوف از نظر ویژگی‌های مخزنی به پنج واحد که از پایین به بالا شامل واحد K5 معادل دالان زیرین، واحد نار معادل بخش تبخیری نار،



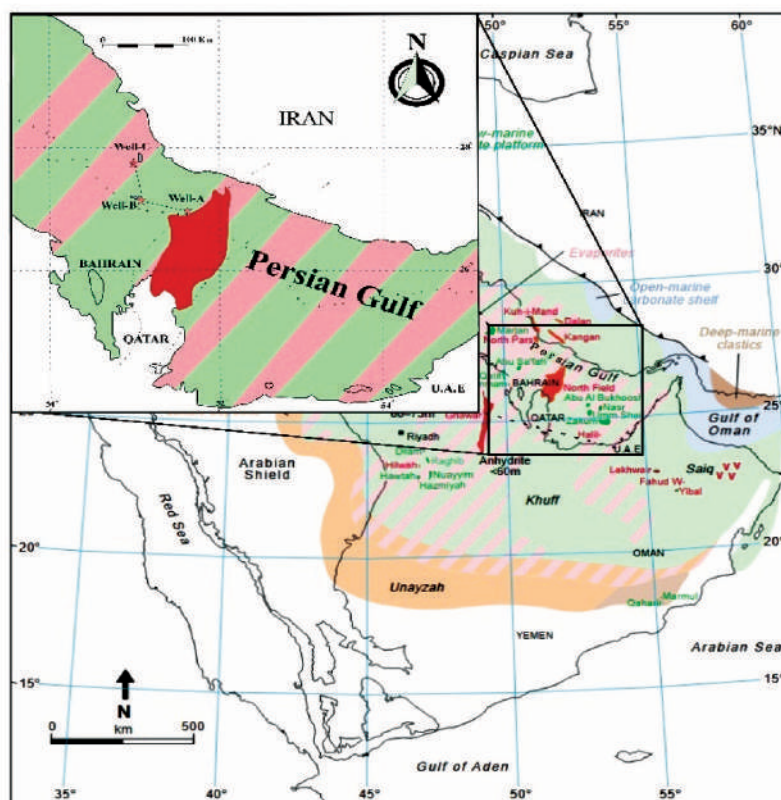
شکل ۱. موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در ورقه عربی در میدان‌های پارس جنوبی، گلشن و پارس شمالی (با تغییراتی از Aali et al., 2006)

گرم و خشک بوده و در همین زمان با شروع گسترش پوسته اقیانوسی، رسوب‌گذاری در یک حاشیه غیرفعال حاصل از باز شدن نئوتتیس در شمال شرق گندوانا شکل می‌گیرد (Angiolini et al., 2003). بعد از پرمین میانی و با گسترش نئوتتیس در بخش‌های شرقی ورقه عربی و حوضه خلیج فارس، رسوبات دریایی قابل توجهی تا زمان نئوژن نهشته می‌شود (Sharland et al., 2001). گسترش پلتفرم کربناته در طی پرمین پسین بر مبنای نقشه جغرافیای دیرینه نشان داده شده است (شکل ۲). از نگاه زمین‌شناسی حوضه زاگرس از مرز شمال غربی این کوه‌زایی به گسل امتدادلغز شرق آناتولی در جنوب شرقی ترکیه شروع می‌شود و مرز جنوب شرقی کوه‌زایی زاگرس، خط عمان است که تغییرات شدید رخساره‌ای در واحدهای چینه‌شناسی فانروزوئیک را دارد و تغییر از پوسته قاره‌ای زیر کمر بند زاگرس به پوسته اقیانوسی زیر منشور برفرازشی مکران به سمت جنوب شرقی مشخص می‌شود (Alavi, 2007). در پرمین شرایط اقلیمی به تدریج گرم و خشک شده و به همین دلیل در منطقه

al., 2016; Abdolmaleki et al., 2016; Jafarian et al., 2017; Rezavand et al., 2017; Tavakoli et al., 2018; Tavakoli and Barfizadeh, 2024; Moradi et al., 2024). به منظور درک بهتر از جایگاه این نهشته‌ها و اهمیت آن در مطالعات مخزنی به بررسی تغییرات تدریجی و شناخت نوع رخساره‌های رسوبی عضو دالان بالایی چاه‌های مورد مطالعه می‌پردازیم، تجزیه و تحلیل رخساره‌ها و تغییرات عمودی و جانبی آن و دید کلی از محیط رسوبی حوضه مورد مطالعه و تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر تغییرات رخساره‌ها، رسم توالی رخدادهای دیاژنزی و به عبارتی بررسی تاریخچه دیاژنزی نهشته‌ها می‌باشد.

## زمین‌شناسی و جغرافیای دیرینه

حوضه رسوبی خلیج فارس بخشی از واحد رسوبی ساختاری زاگرس جزو مهم‌ترین حوضه‌های رسوبی ساختاری در ایران می‌باشد که خود بخشی از ورقه عربی به شمار می‌رود (Alavi, 2007). شرایط اقلیمی در پرمین



شکل ۲. وسعت و گسترش پلتفرم کربناته پرمین پسین بر روی ورقه عربی (Ziegler, 2001)

### لیتواستراتیگرافی

چاه A: این چاه در میدان پارس جنوبی واقع شده است که بر اساس ویژگی‌های لیتولوژیکی و لیتواستراتیگرافی بخش بالایی سنگ‌های دالان بالایی شامل ۵۰ درصد آهک آرژیلیتی، ۷ درصد انیدریت، ۳۰ درصد سنگ‌آهک، ۱۰ درصد دولومیت و ۳ درصد شیل است و به ضخامت ۱۴۸ متر می‌رسد. واحد K3 شامل ۶۰ درصد آهک آرژیلیتی، ۲۰ درصد انیدریت، ۱۰ درصد سنگ‌آهک، ۱۰ درصد دولومیت می‌باشد و ۱۱۷ متر را شامل می‌شود. به‌صورت کلی ستبرای عضو دالان بالایی در این چاه ۲۶۵ متر بوده و فصل مشترک زیرین این عضو با نار به‌صورت افق انیدریتی مشخص می‌شود.

چاه B: واحد K3 از عضو دالان بالایی در میدان گلشن دارای ضخامت ۱۱۷ متر بوده که از لحاظ لیتولوژی ۳۰ درصد سنگ‌آهک با میان‌لایه‌های ژپیس و انیدریت، ۵۰ درصد آهک دولومیتی و ۲۰ درصد دولومیت است. همچنین واحد K4 ۷۰ درصد آهک دولومیتی، ۲۰ درصد سنگ‌آهک، ۸ درصد دولومیت و ۲ درصد انیدریت را شامل می‌شود که در مجموع ۲۴۱ متر ضخامت را تشکیل می‌دهد. بخش اعظمی از سنگ‌آهک و آهک دولومیتی این عضو حاوی فسیل‌ها و خرده‌های فسیلی، جلبک‌های آهکی، گاستروپودها و دوکفه‌ای‌ها است.

چاه C: این چاه در میدان پارس شمالی یک سازند کربناتی است که دارای ۱۶۹ متر ضخامت است که واحد K3 شامل تناوبی از ۱۵ درصد دولوستون آهکی، ۶۰ درصد سنگ‌آهک، ۲۰ درصد آهک دولومیتی و ۵ درصد انیدریت می‌باشد و ۹۰ متر ستبرای دارد. واحد K4 که ضخامتی ۷۹ متری را دارد از ۳۰ درصد آهک دولومیتی، ۴۰ درصد سنگ‌آهک، ۱۹ درصد دولوستون آهکی، ۱۵ درصد دولومیت و ۱ درصد انیدریت است. در واحد K4 تناوبات متعددی بین دو نوع لیتولوژی اصلی آهک دولومیتی و سنگ‌آهک دیده می‌شود. بخش زیرین این واحد با رخساره‌های گرینستون آئیدی و بخش بالایی این واحد با آهکی دولومیتی و دولومیت مشخص می‌شود

خلیج فارس بیشتر کربناته‌های دریایی کم‌عمق تا عمیق به همراه تبخیری‌های محیط اینترتایدال نهشته شده‌اند و سبب تشکیل توالی‌های ضخیم کربناته-تبخیری سازندهای دالان و کنگان شده‌اند. در طی رسوب‌گذاری توالی‌های دالان در پرمین، حوضه خلیج فارس در عرض‌های ۱۵ تا ۲۰ درجه جنوبی قرار داشته است که به تدریج به عرض‌های جغرافیایی بالاتر و حوالی خط استوا مهاجرت کرده است (Ziegler, 2001).

فراوانی آلوکوم‌های آراگونیتی از جمله آئیدها و وفور تبخیری‌های سبخایی و غلبه فرایندهای دیاژنزی مرتبط با حوضه‌های تبخیری بیانگر وضعیت اقلیمی گرمسیری تا نیمه‌گرمسیری نیمکره جنوبی هستند. پسروری دریاها در اواخر پرمین باعث افزایش فعالیت‌های فرسایشی و همچنین کاهش نهشته‌های رسوبی شده است (Insalaco et al., 2006).

### روش مطالعه

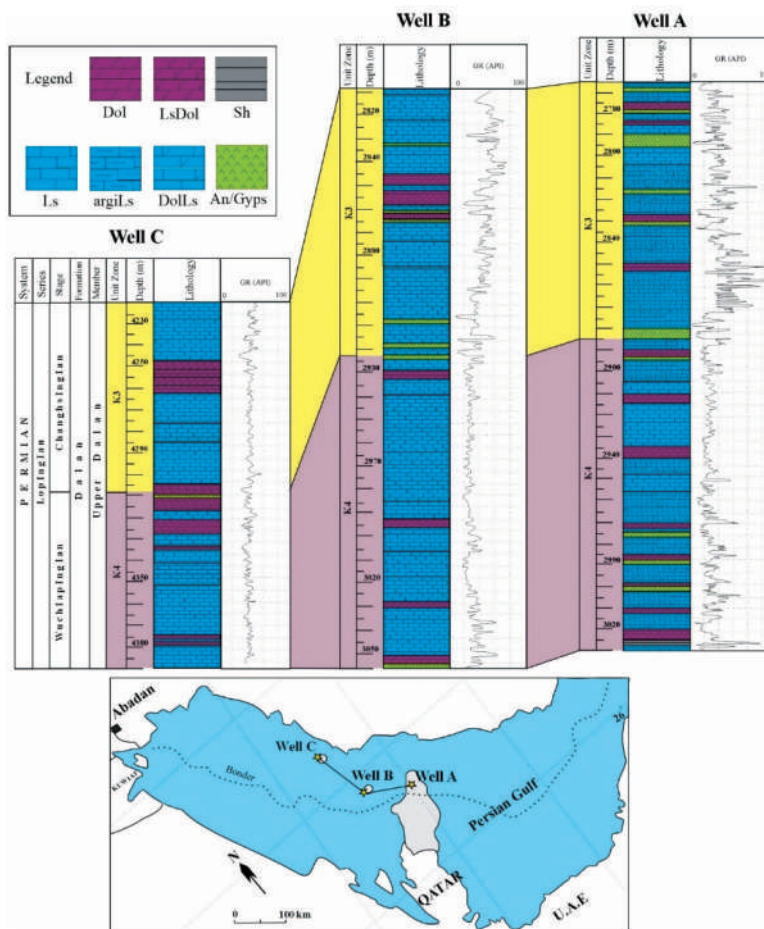
در این پژوهش با استفاده از داده‌های مغزه و خرده‌های حفاری مقاطع نازک میکروسکوپی به تعداد ۲۵۲ نمونه برای مطالعات رسوب‌شناسی عضو دالان بالایی از چاه‌های A در میدان پارس جنوبی، B در میدان گلشن و C در میدان پارس شمالی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و چاه B با دو چاه دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. نمونه‌ها پس از تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی با محلول آلزارین قرمز به روش دیکسون (Dickson, 1965) رنگ‌آمیزی شده‌اند. رنگ‌آمیزی به‌منظور تفکیک بهتر سنگ‌های آهکی از دولومیتی صورت گرفته است. سپس برای رده‌بندی سنگ‌های آهکی براساس طبقه‌بندی دانهم (Danhum, 1962)، امبری و کلوان (Embry and Klovan, 1971) و به‌منظور تفسیر جایگاه ریزرخساره‌های رسوبی شناسایی شده با ریزرخساره‌های استاندارد از دیدگاه فلوگل (Flügel, 2010) و ویلسون (Wilson, 1975) استفاده شده است. در چارچوب مطالعات محیط دیرینه، به‌منظور تفسیر و تعیین رخساره‌های رسوبی، ارزیابی دقیق آلوکوم‌های اسکلتی و غیر اسکلتی، محتوای فسیلی و فابریک‌های موجود صورت پذیرفت.

که با لایه‌های انیدریتی و فابریک فنسترال همراه است. ضخامت نهشته‌های دالان بالایی به همراه جنس اجزای بر طبق گزارش‌های داخلی شرکت نفت و گاز بخش تشکیل شده سنگ و درصد فراوانی آن‌ها به تفصیل نشان پایینی واحد K4 در این چاه حفاری نشده است. داده شده است (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های لیتواستراتیگرافی چاه‌های مورد مطالعه

چاه	میدان	ضخامت		لیتولوژی		مرز بالا و پایین (به متر)	
		K3	K4	K3	K4	K3	K4
چاه A	پارس جنوبی	۱۴۸ متر	۱۱۷ متر	آهک آرژیلیتی، دولومیت	آهک آرژیلیتی، دولومیت	مرز بالایی: ۲۷۶۸	مرز بالایی: ۲۸۸۵
				سنگ‌آهک، انیدریت و شیل	سنگ‌آهک، انیدریت	مرز پایینی: ۲۸۸۵	مرز پایینی: ۳۰۳۳
چاه B	گلشن	۱۳۲ متر	۱۰۹ متر	آهک دولومیتی، سنگ‌آهک، دولومیت، انیدریت	سنگ‌آهک با میان‌لایه‌های انیدریت، آهک دولومیتی و دولومیت	مرز بالایی: ۲۸۱۴	مرز بالایی: ۲۹۲۳
						مرز پایینی: ۲۹۲۳	مرز پایینی: ۳۰۵۵
چاه C	پارس شمالی	۷۹ متر	۹۰ متر	آهک دولومیتی، دولوستون، آهکی، سنگ‌آهک، انیدریت و دولومیت	آهک دولومیتی، دولوستون آهکی، سنگ‌آهک، انیدریت	مرز بالایی: ۴۲۱۹	مرز بالایی: ۴۳۰۹
						مرز پایینی: ۴۳۰۹	مرز پایینی: ۴۳۸۸

به لحاظ لیتواستراتیگرافی چاه A در بخشی از گنبد پارس جنوبی بوده و انیدریت و دولومیت بیشتری نسبت به دو چاه دیگر دارد و چاه C در بخش عمیق‌تری نسبت به چاه‌های A و B قرار گرفته است به علت خاصیت کیک لایه‌ای بودن چاه‌ها شباهت‌های رخساره‌ای و سنگی زیادی به یکدیگر دارند.



شکل ۳. تطابق چاه‌های مورد مطالعه در مرکز و غرب کمان قطر فارس

## رخساره‌های رسوبی

بر اساس مطالعات پتروگرافی ترکیب و بافت سنگ‌های رسوبی و اجزای رخساره‌ها آلوکم‌های اسکلتی از قبیل فرامینیفیر، دوکفه‌ای، گاستروپود، جلبک و آلوکم‌های غیراسکلتی شامل آئید و پلوییده‌ها شناسایی شدند. تجزیه و تحلیل رسوب‌شناختی مقاطع نازک عضو دالان بالایی یازده رخساره کربناتی تبخیری شناسایی شد که شامل انیدریت لایه‌ای تا توده‌ای، دولومادستون فابریک فنسترالی، باندستون استروماتولیتی، مادستون دولومیتی، مادستون با آشفستگی زیستی، وکستون تا پکستون بیوکلتی با جلبک سبز و فرامینیفیرهای بنتیک، پکستون تا گرینستون آئیدی پلوئیدی، گرینستون آئیدی، گرینستون بیوکلتی اینتراکلتی، وکستون تا پکستون بیوکلتی اینتراکلتی و مادستون بیوکلتی این رخساره‌ها به زیرمحیط‌های مربوط به رمپ داخلی شامل پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته زیرآبی، دریای باز و بخشی از رمپ میانی نهشته شده‌اند. نام‌گذاری ریزرخساره‌ها و تحلیل شرایط محیط رسوبی آن براساس طبقه‌بندی فلوگل (Flügel, 2010) و ویلسون (Wilson, 1975) تفسیر شده است.

### ریزرخساره‌های پهنه جزر و مدی

**ریزرخساره MF1:** ریزرخساره انیدریت لایه‌ای تا توده‌ای انیدریت در چاه پارس جنوبی به اشکال مختلفی شامل توده‌ای و لایه‌ای به صورت اولیه و همچنین به صورت ثانویه به اشکال توری مرغی، سوزنی و ندولی دیده می‌شود. ضخامت رخساره‌های تبخیری در میدان پارس جنوبی به بیش از ۱۷۰ متر هم می‌رسد که به صورت لایه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت است. ویژگی بارز این ریزرخساره در چاه گلشن بلورهای انیدریتی بوده و به صورت اشکال متنوعی از جمله سوزنی، تیغه‌ای و هم‌بعد دیده می‌شوند. دارای لایه‌های کم‌ضخامتی است که توسعه این رخساره به‌طور کلی اندک و بیشتر در بخش پایینی و انتهایی K4 در سازند دالان وجود دارد، در واحد K3 این رخساره بندرت دیده می‌شود. در مواردی نیز به صورت فیبری، فیبری شعاعی، پویکیلو تویپیک دیده می‌شوند. بلورهای انیدریت توده‌ای به صورت نامنظم

و فاقد جهت یافتگی خاصی می‌باشند ولی بلورهایی که به صورت منظم قرار گرفته‌اند انیدریت‌های لایه‌لایه را تشکیل می‌دهند. چاه پارس شمالی از انیدریت به صورت لایه‌ای یا ندول‌های بزرگ تشکیل شده است که عمدتاً در برخی از بخش‌های واحدهای K4 و K3 رسوب می‌کند.

تفسیر: به علت ایجاد شرایط فوق اشباع در حوضچه‌های محیط سابخا شورابه‌های غنی از سولفات به صورت ژئیس اولیه نهشته می‌شوند و سپس در حین تدفین ژئیس به انیدریت لایه‌ای تبدیل شده است (Lucia, 2007). این رخساره به صورت متناوب همراه با رخساره‌های مادستونی، دولومادستونی و استروماتولیتی محیط‌های پهنه بین جزر و مدی مشاهده می‌شود. رخساره انیدریت معادل با کمربند رخساره‌ای نه ویلسون (Wilson, 1975) و کمربند رخساره‌ای RMF 25 فلوگل (Flügel, 2010) می‌باشد. این رخساره تبخیری به صورت نهشته‌های سابخایی گرم و خشک و در محیط بالایی پهنه جزر و مدی گسترش دارد (Kakemem et al., 2023).

### ریزرخساره MF2: دولومادستون فابریک فنسترالی

این ریزرخساره شامل دولومیت‌های اولیه ریزبلور و همراه ندول‌ها و بلورهای پراکنده انیدریت و ژئیس با بافت شعاعی می‌باشد و از شاخصه‌های مهم بخش بالایی پهنه بین جزر و مدی تا بالایی جزر و مدی است (Flügel, 2010). انیدریت‌هایی به شکل ندول و سیمان به صورت فراوانی در این ریزرخساره دیده می‌شود. حداکثر گسترش این ریزرخساره در بخش K3 سازند دالان است، از جمله ویژگی‌های بارز این ریزرخساره می‌توان به پدیده فابریک فنسترال، دولومیتی شدن، قالب‌های بزرگ انیدریتی اشاره کرد. بیشترین بخشی که این ریزرخساره دیده شده در واحد K3 چاه پارس شمالی و در چاه‌های گلشن و پارس جنوبی به صورت میان لایه در قسمت‌هایی از K3 مشاهده شده است.

تفسیر: در این ریزرخساره به‌طور عمده دولومیت‌های ریزبلور با فابریک فنسترال، قالب کانی‌های تبخیری و ندول‌های انیدریت یافت می‌شود که در لاگون و حوضچه‌های هایپرسالین رسوب می‌کند (Waren, 2006). فرآیندهای

دولومیتی شدن ثانویه و نئومورفیسم در این رخساره‌ها دیده می‌شود. به دلیل انواع تخلخل بین‌بلوری و تخلخل انحلالی، ویژگی مخزن بالاتری در دولومادستون‌ها نسبت به مادستون‌های آهکی وجود دارد. این ریزرخساره را می‌توان معادل با کمر بند رخساره‌ای نه ویلسون (Wilson, 1975) و رخساره استاندارد RMF23 فلوگل (Flügel, 2010) دانست که به گستره بین جزر و مدی تعلق دارد.

#### ریزرخساره MF4: مادستون دولومیتی

این ریزرخساره خرده‌های بیوکستی متنوع و فراوانی ندارد و تنها دارای قالب‌های دولومیتی در زمینه میکرایتی است. پدیده دولومیتی شدن از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی این رخساره است.

**تفسیر:** گسترش این ریزرخساره در نواحی گلشن و پارس جنوبی بیشتر از پارس شمالی است. این ریزرخساره نشان‌دهنده افت سطحی آب دریاست. محیط تشکیل این رخساره به گودال‌های کوچک و پهنه‌های گلی در پهنه‌های بین جزرومدی نسبت داده می‌شود. امروزه شبیه به این رخساره در برخی پلتفرم‌های کربناته گرم و خشک با تبخیر بالا در بخش سابخای خلیج فارس مشاهده می‌شود (Tucker and Wright, 2009). ریزرخساره مربوطه را می‌توان با کمر بند رخساره‌ای شماره نه ویلسون (Wilson, 1975) و ریزرخساره استاندارد RMF22 فلوگل (Flügel, 2010) معادل دانست که به پهنه جزر و مدی تعلق دارد.

#### ریزرخساره‌های پهنه لاگون

##### ریزرخساره MF 5: مادستون با آشفستگی زیستی

این رخساره متشکل از مادستون با دوکفه‌ای‌های نازک و فرامینیفراهای کوچک با دیواره روشن است. رسوبات فوق دارای لامیناسیون و یا لایه‌بندی نازک است. رخساره فوق در محیط‌های با گردش محدود آب لاگون تشکیل می‌شود. همراهی با لایه نازک گل‌سنگ و شیل تیره رنگ بیانگر تشکیل در محیط‌های لاگون دریای باز است. در میدان‌های پارس جنوبی و گلشن رخساره از نوع لاگون بوده و به همین دلیل دولومیتی شده است. فراوانی این رخساره مربوط به

دولومیتی شدن ثانویه و نئومورفیسم در این رخساره‌ها دیده می‌شود. به دلیل انواع تخلخل بین‌بلوری و تخلخل انحلالی، ویژگی مخزن بالاتری در دولومادستون‌ها نسبت به مادستون‌های آهکی وجود دارد. این ریزرخساره را می‌توان معادل با کمر بند رخساره‌ای نه ویلسون (Wilson, 1975) و رخساره استاندارد RMF23 فلوگل (Flügel, 2010) دانست که به گستره بین جزر و مدی تعلق دارد.

#### ریزرخساره MF3: باندستون استروماتولیتی

ویژگی اصلی این ریزرخساره لامیناسیون و ساخت نواری تا موجی است که گاهی با آلوم‌هایی مانند جلبک‌های سبز و پلوئید دیده می‌شود. همچنین فابریک فنسترال در این رخساره دیده می‌شود که با سیمان انیدریت و کلسیت پر شده است. گسترش این ریزرخساره در بخش میانی و بالایی واحد K3 چاه پارس جنوبی و به صورت پراکنده در میان لایه‌های دولومیتی واحد K3 و در بخش‌های زیرین واحد K4 چاه گلشن مشاهده شده است و در چاه مربوط به میدان پارس شمالی وجود ندارد.

**تفسیر:** این رخساره در محیط‌های بین جزر و مدی دیده می‌شود که نشان‌دهنده پایین آمدن سطح آب دریا می‌باشد و دارای ساخت‌هایی همچون لامیناسیون ظریف و فابریک فنسترال است. اجزای اسکلتی به ندرت در استروماتولیت یافت می‌شوند هرچند که آن‌ها دارای ساختارهای زیستی رسوبی هستند که بر اثر به دام افتادن رسوبات توسط سیانوباکتری‌ها اصل شده‌اند (Scholle and Ulmer-Scholle, 2003). استروماتولیت‌ها نهشته‌های آهکی متعلق به رسوبات زیستی هستند که با لایه‌بندی‌های ظریف و ساختارهایی به اشکال مسطح، گنبدی و مخروطی شناخته می‌شوند. این نهشته‌ها در نتیجه به دام افتادن و تثبیت ذرات رسوبی و نیز رسوب‌گذاری کربنات توسط اجتماعات زیستی، به‌ویژه سیانوباکتری‌های کلسیت‌زا، شکل می‌گیرند. همچنین، استروماتولیت‌های مسطح اغلب با نهشته‌های تبخیری مرتبط با دیاژنز اولیه همراهی دارند (Scholle and Ulmer-Scholle, 2003). این ریزرخساره معادل با کمر بند رخساره‌ای شماره هشت ویلسون

### ریزرخساره‌های پهنه پشته زیرآبی ریزرخساره MF 7: پکستون تا گرینستون آئیدی پلوئیدی

این ریزرخساره متشکل از پلوئید، آئیدهای میکرایتی شده دانه‌ریز تا دانه‌متوسط به همراه مقادیری پلوئید و قطعات پراکنده بیوکلاستی همچون فرامینفرهای بنتیک، گاستروپود، دوکفه‌ای، خرده‌های جلبک سبز است. میکرایت کم حدود ۲۰ درصد همراه با پلوئید و آئیدهای فشرده شده است. حداکثر گسترش این رخساره در هر سه چاه مورد مطالعاتی و در واحدهای مخزنی K3 و K4 مشاهده می‌شود. آئیدهای میکرایتی شده در چاه میدان پارس جنوبی واحد K3 بیشتر وجود دارد. ریزرخساره فوق در چاه میدان گلشن در بخش‌های زیرین K4 بیشتر از بخش‌های دیگر دیده می‌شود.

**تفسیر:** این رخساره نمایانگر یک مجموعه با انرژی حد واسط است که توسط میکرایتی شدن آلوکم‌ها، اندازه کوچک دانه‌ها، فراوانی آئید و پلوئید، پراکندگی خرده‌های اسکلتی لاگونی مشخص می‌شود و بنابراین محیط تشکیل آن بخشی از پشته زیرآبی است که رو به لاگون قرار گرفته است. پلوئیدها شاید از خردشدگی مادستون‌های لاگونی و یا میکرایتی شدن آئیدهای آراگونیتی تشکیل شده‌اند. وجود سیمان‌های حاشیه‌ای هم ضخامت در اطراف آئیدها نشانگر تشکیل آن‌ها در محیط دریایی است. کاهش انرژی در محیط رسوبی یا خردشدگی و دفرمه شدن پلوئیدهای میکرایتی در اثر فرآیندهای مختلف دیاژنزی، به‌ویژه تراکم، از جمله عوامل مؤثر در ایجاد این ساختارها به‌شمار می‌روند. همچنین ریزرخساره مربوطه را می‌توان با کمربند رخساره‌ای شماره چهار ویلسون (Wilson, 1975) و ریزرخساره استاندارد RMF27 فلوگل (Flügel, 2010) معادل دانست که به محیط پشته زیرآبی تعلق دارد.

### ریزرخساره MF 8: گرینستون آئیدی

این ریزرخساره متشکل از آئیدهای دانه متوسط همراه با خرده‌های اسکلتی و گاهی کمی پلوئید است. این رخساره همانند رخساره پکستون تا گرینستون آئیدی در بخش میانی

واحد K3 از سازند دالان است. لازم به ذکر است که نوع مشابهی از رسوبات گلی فوق در بخش لاگون محدود تشکیل می‌شود که فاقد ساخت رسوبی و به‌صورت توده‌ای بوده و آثار بارووینگ و تخلخل فنسترال در آن دیده می‌شود.

تفسیر: شرایط خاص حاکم بر شیمی آب دریا در آن زمان و تأثیرات پالئواکولوژیکی انقراض جهانی پرموتریاس در تشکیل این رخساره نقش بسزایی داشته است. افق‌های دارای آشفته‌گی زیستی نشانگر حداکثر پیشروی آب دریا در نواحی مختلف پلتفرم کربناته است. ریزرخساره مربوطه را می‌توان با ریزرخساره استاندارد RMF19 فلوگل (Flügel, 2010) معادل دانست که به پهنه لاگونی تعلق دارد.

### ریزرخساره MF 6: وکستون تا پکستون بیوکلاستی با جلبک سبز و فرامینفرهای بنتیک

این ریزرخساره متشکل از فرامینفرهای بنتیک، دوکفه‌ای، گاستروپود و جلبک‌های سبز به‌عنوان اجزای اصلی می‌باشد. علاوه بر بیوکلاست‌های اصلی مذکور، درصد قابل توجهی پلوئید در چاه‌های خلیج‌فارس گلشن و پارس جنوبی دیده می‌شود. از نظر فرآیندهای دیاژنتیکی، تأثیر دیاژنتیکی انحلال نقش زیادی در افزایش مقدار تخلخل از جمله انواع تخلخل‌های قالبی و اسکلتی دارد.

**تفسیر:** برخی از آلوکم‌های آن شامل گاستروپود، جلبک سبز بخصوص جلبک داسی‌کلاداسه به‌عنوان شاخص محیطی بشمار می‌رود که قابل مقایسه با رخساره‌های مشابه در سایر نواحی دنیا است. با توجه به ویژگی‌های بافتی و توالی‌های همراه، محیط رسوب‌گذاری رخساره فوق به لاگون نسبت داده می‌شود. در مواردی که مقادیر پلوئید افزایش یافته و گاستروپودهای لاگون فراوان‌تر باشند نشانگر شرایط رسوب‌گذاری مناطق کم انرژی و عمق زیاد و گردش آب محدود در محیط تشکیل آن یک محیط با انرژی آرام تا متوسط لاگون است (Flügel, 2010). این ریزرخساره معادل با کمربند رخساره‌ای شماره ده ویلسون (Wilson, 1975) و ریزرخساره استاندارد RMF20 فلوگل (Flügel, 2010) است که به محیط لاگونی نسبت داده شود و در بخش‌هایی از K3 و K4 مشاهده می‌شوند.



بنتیک در یک زمینه گلی تا سیمانی است. فرآیندهای دیاژنتیکی مانند دولومیتی شدن، انحلال و جایگزینی انیدریت ثانویه در این ریزرخساره مشاهده می‌شود. حداقل مشخصه مخزن در دانه‌های سیمانی شده با سیمان انیدریت ثانویه در نظر گرفته می‌شود.

**تفسیر:** بیوکلست‌ها و اینتراکلست‌های زاویه‌دار می‌تواند ناشی از برخورد امواج با پشته زیرآبی و جدا شدن ذرات باشند. ذرات اینتراکلست نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در پرانرژی‌ترین بخش پشته زیرآبی و محیطی با انرژی متفاوت هستند. بخش رو به دریای پشته کربناته توسط رخساره‌های بایوکلاستی درشت دانه متشکل از صدف دوکفه‌ای، اکینودرم، جلبک و فرامینیفرهای بنتیک به همراه قطعات لیتوکلاستی و برخی نرم‌تنان کوچک حمل شده از بخش رمپ میانی مشخص می‌شود. رسوب‌گذاری با دیگر رخساره‌های پشته زیرآبی‌ای تا حدودی متفاوت است، به طوری که اندازه آلوکم‌ها و نوع خرده‌های اسکلتی آن بیانگر محیط پرانرژی و متصل به دریای آزاد است. این ریزرخساره معادل با کمربند رخساره‌ای شماره شش ویلسون (Wilson, 1975) و ریزرخساره استاندارد RMF27 فلوگل (Flügel, 2010) بوده که به محیط پشته زیرآبی تعلق دارد. این رخساره به بخش پشته زیرآبی رو به دریای باز مربوط است. بیشترین گسترش این رخساره‌ی مغزه در چاه پارس شمالی به‌ویژه در واحد مخزن K3 مشاهده شده است.

### ریزرخساره پهنه دریای باز

#### ریزرخساره MF 10: وکستون تا پکستون بیوکلستی اینتراکلستی

این ریزرخساره بر اساس گسترش نسبی استراکد و خرده‌های اکینودرم و خرده‌های جلبک و اینتراکلست با ۱۰ تا ۵۰ درصد دارای لیتولوژی آهکی است و در بخش زیرین عضو دالان بالایی در نواحی مذکور گسترش دارد. معدود لایه‌های آهکی این رخساره تنها در بخش‌های میانی وجود دارد که بر اساس وجود جلبک و استراکد، خرده‌های اکینودرم شناسایی شده است.

**تفسیر:** وجود قطعات فسیلی خرد شده و با درصد پایین

K4 فراوان‌تر است. فرایندهای دیاژنتی دولومیتی شدن، سیمان شدن و تخلخل قالبی در این ریزرخساره به فراوانی دیده می‌شود. این رخساره با دولیتولوژی آهکی و دولومیتی در این نواحی از گسترش قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. فرآیند انحلال در آئیدها و در برخی از بخش‌های توالی که تخلخل قالبی فراگیر را در توالی‌های دالان بالایی ایجاد می‌کنند. در چاه پارس شمالی نبود سیمان انیدریتی ویژگی‌های مخزن را بهبود می‌بخشد اما انیدریت ثانویه یا سیمان شدن کلسیت فراگیر، ویژگی‌های مخزن را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. توسعه آن به واحد K4 در چاه پارس شمالی محدود شده است. در بخش‌های بالایی چاه‌های گلشن و پارس جنوبی نیز این رخساره مشاهده شده است.

**تفسیر:** آئیدها آلوکم‌های غیر اسکلتی در محیط‌های نهشته پشته زیرآبی کربناته هستند. گسترش آئیدهای مذکور به دلیل نوسانات جهانی سطح آب دریا است که در زمان پرمین بالایی تا تریاس میانی که سطح جهانی آب دریا دچار افت نسبی شده بود. این ریزرخساره در بخش مرکزی پشته زیرآبی تشکیل می‌شود و به‌طور جانبی به ریزرخساره گرینستونی دیگری می‌تواند تبدیل شود. سیمان هم‌مخامت با ترکیب آراگونیتی که نشانه گردش خوب آب در محیط و سیمانی شدن اولیه دریایی است، اطراف دانه‌ها را پوشانده است. این رخساره که با فراوانی بالای آئیدها و بدون وجود گل مشخص می‌شود، معرف بخش مرکزی پشته زیرآبی است (Tucker and Wright, 2009). از ویژگی‌های برجسته این رخساره در برخی نواحی، ایجاد تخلخل قالبی ناشی از انحلال می‌باشد. ریزرخساره گرینستون آئیدی را می‌توان با کمربند رخساره‌ای شماره چهار ویلسون (Wilson, 1975) و ریزرخساره استاندارد RMF29 فلوگل (Flügel, 2010) معادل دانست که به محیط پشته زیرآبی تعلق دارد.

#### ریزرخساره MF 9: گرینستون بیوکلستی اینتراکلستی

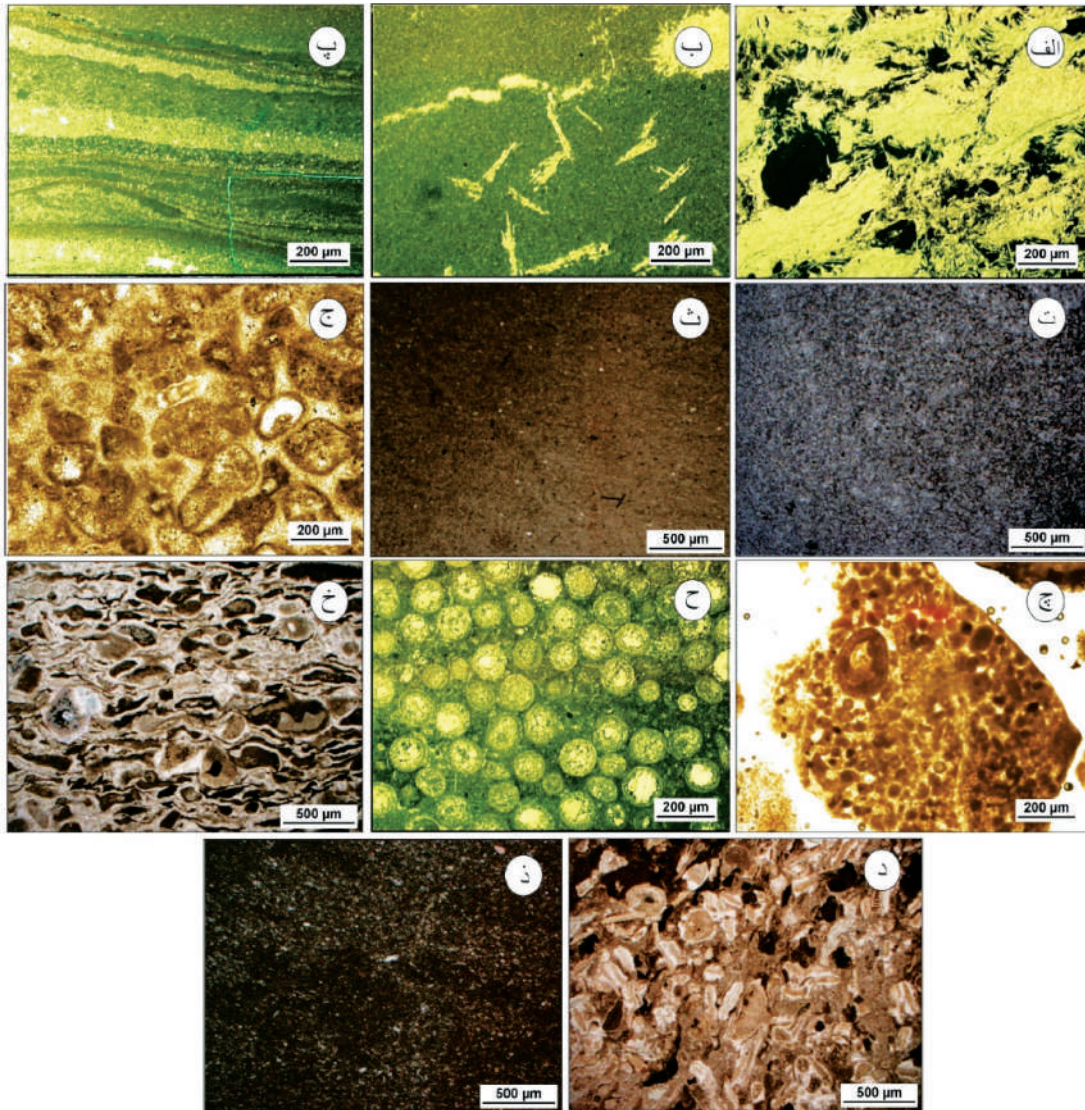
اجزای تشکیل‌دهنده این ریزرخساره شامل دانه‌های آئید ریز با پوشش آراگونیتی ناکامل به همراه اینتراکلست، خرده‌های دوکفه‌ای، گاستروپود، جلبک سبز و فرامینیفرهای

## ریزرخساره رمپ میانی

### ریزرخساره MF 11: مادستون بیوکلستی

این رخساره متشکل مادستون و همچنین حاوی سوزن اسفنج، خرده‌های اکینودرم، دوکفه‌ای‌های نازک و فرامینیفرهای کوچک با دیواره روشن است. در میدان پارس جنوبی رخساره ذکر شده بیشتر دولومیتی شده است ولی در میدان گلشن مشاهده شد و حداکثر توسعه این رخساره

نشانگر حمل و نقل امواج از محیط اصلی به مناطق نیمه عمیق و دریای باز و رسوب‌گذاری این قطعات همراه با کم شدن انرژی امواج است. این ریزرخساره مربوطه را منطبق بر کمربند رخساره‌های شماره یک ویلسون (Wilson, 1975) و ریزرخساره استاندارد RMF7 فلوگل (Flügel, 2010) معادل دانست که به نواحی جلویی دریای باز نسبت داده می‌شود.



شکل ۴. ریزرخساره‌های شناسایی شده عضو دالان بالایی در مناطق مورد مطالعه، الف) انیدریت لایه‌ای تا توده‌ای، چاه A عمق ۲۷۹۵ متری، ب) دولومادستون فابریک فنسترال چاه A عمق ۲۷۹۰ متری، پ) باندستون استروماتولیتی، چاه A عمق ۲۸۰۰ متری، ت) مادستون دولومیتی، چاه C عمق ۴۳۷۷/۷۵ متری، ث) مادستون با آشفستگی زیستی، چاه C عمق ۴۲۴۶ متری، ج) وکستون تا پکستون بیوکلستی با جلبک سبز و فرامینیفرهای بنتیک، چاه B عمق ۳۰۱۴ متری، چ) پکستون تا گرینستون آئیدی پلوتیدی، چاه B عمق ۲۹۵۶ متری، ح) گرینستون آئیدی، چاه A عمق ۲۹۶۰ متری، خ) گرینستون بیوکلستی اینتراکلستی، چاه C عمق ۴۲۲۱/۷۵ متری، د) وکستون تا پکستون بیوکلستی اینتراکلستی، چاه C عمق ۴۲۲۴/۷۵ متری، ذ) مادستون بیوکلستی، چاه C عمق ۴۲۳۳/۲۵ متری

مغزه را می‌توان در چاه پارس شمالی در واحد مخزنی K3 مشاهده کرد. بیشترین فراوانی این رخساره مربوط به واحد K3 از سازند دالان است.

**تفسیر:** گسترش ریزرخساره در ناحیه خلیج فارس بسیار محدود است. این رخساره تنها در بخش‌هایی از K3

جدول ۲. خلاصه‌ای از ریزرخساره‌های شناسایی شده عضو دالان بالایی در چاه A میدان پارس جنوبی، چاه B میدان گلشن، چاه C میدان پارس شمالی

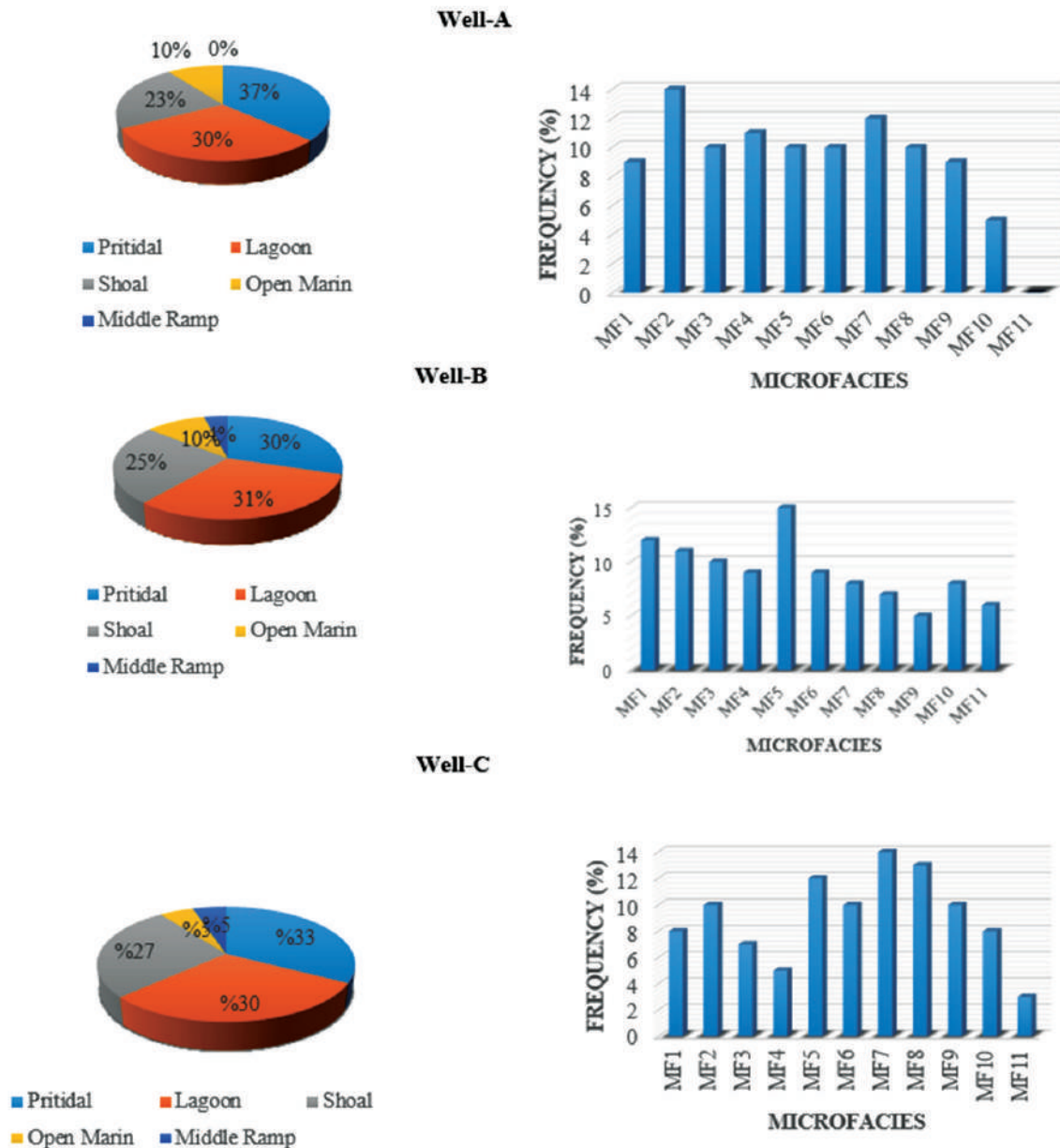
ردیف	نام ریزرخساره	کد ریزرخساره	آلوم‌های اسکلتی و غیراسکلتی	فرایندهای دیاژنی	رخساره‌های استاندارد (Flügel, 2010)	محیط رسوب‌گذاری و موقعیت زیر محیط	نام چاه‌ها
۱	انیدریت لایه‌ای تا توده‌ای	MF1	ندارد	سیمان پوئیکلیوتوپیک، سیمان انیدریتی، دولومیتی شدن	RMF25	پهنه بالای جزر و مدی	چاه A، چاه B، چاه C
۲	دولومادستون فابریک فنسترال	MF2	پلوئید	رشد ژیبس، دولومیتی شدن	RMF23	پهنه بین جزر و مدی	چاه A، چاه B
۳	باندستون استروماتولیتی	MF3	ندارد فیلامنت‌های میکروبی	استیلولیتی شدن، دولومیتی شدن	RMF25	پهنه بین جزر و مدی	چاه A، چاه B
۴	مادستون دولومیتی	MF4	ندارد	رشد ژیبس، دولومیتی شدن	RMF22	پهنه بین جزر و مدی	چاه B، چاه C
۵	مادستون با آشفستگی زیستی	MF5	جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها، فرامینفرهای بنتیک، گاستروپود، استراکد، پلوئید	انحلال و میکریتی شدن	RMF19	لاگون	چاه B، چاه C
۶	وکستون تا پکستون بیوکلتی با جلبک سبز و فرامینفرهای بنتیک	MF6	جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها، فرامینفرهای بنتیک، گاستروپود، استراکد،	سیمان پوئیکلیوتوپیک میکرایتی شدن	RMF20	لاگون	چاه A، چاه B، چاه C
۷	پکستون تا گرینستون آئیدی پلوئیدی	MF7	جلبک سبز، دوکفه‌ای‌ها، فرامینفرهای بنتیک، گاستروپود، استراکد، آئید، پلوئید	دولومیتی شدن میکرایتی شدن	RMF27	پشته زیرآبی	چاه B
۸	گرینستون آئیدی	MF8	جلبک سبز، دوکفه‌ای و فرامینفر بنتیک پلوئید، آئید، آرگات	سیمان دریایی (سیمان تیغه‌ای، دولومیتی شدن و سیمان انیدریتی) و سیمان متئوریک (سیمان بلوکی)، انحلال	RMF29	پشته زیرآبی	چاه A، چاه B، چاه C
۹	گرینستون بیوکلتی اینتراکلتی	MF9	جلبک سبز اینتراکلت، آئید	سیمان بین دانه‌ای سیمان پوئیکلیوتوپیک	RMF27	پشته زیرآبی	چاه A، چاه B، چاه C
۱۰	وکستون تا پکستون بیوکلتی اینتراکلتی	MF10	جلبک سبز، اکینودرم آئید و اینتراکلت	سیمانی شدن رگه‌ای و استیلولیتی شدن	RMF7	دریای باز	چاه A، چاه B، چاه C
۱۱	مادستون بیوکلتی	MF11	اسپیکول اسفنج	استیلولیتی شدن	RMF7	رمپ میانی	چاه B، چاه C

**فراوانی رخساره‌ها**

در چاه A ریزرخساره MF2 دولومادستون فابریک فنسترال فراوانی بیشتری نسبت به بقیه ریزرخساره‌ها دارد و ریزرخساره MF11 یا ریزرخساره مادستون بیوکلتی در این چاه مشاهده نشده است. در چاه B ریزرخساره MF5 یا ریزرخساره مادستون با آشفستگی زیستی فراوان‌ترین رخساره لاگونی است. در چاه C ریزرخساره MF7 یا ریزرخساره پکستون تا گرینستون آئیدی پلوئیدی فراوانی بیشتری

داشته و لاگون نسبت به سایر نواحی محدودتر بوده است. همچنین، به نظر می‌رسد که با حرکت از چاه A به سمت چاه C، محیط عمیق‌تر شده و فراوانی ریزرخساره‌های دریای باز و رمپ میانی افزایش یافته است.

داشته است (شکل ۵). در این بخش، رخساره‌های غالب به پهنه جزر و مدی و پشته زیرآبی تعلق دارند. به نظر می‌رسد که در زمان رسوب‌گذاری دالان بالایی پشته زیرآبی گسترش بیشتری



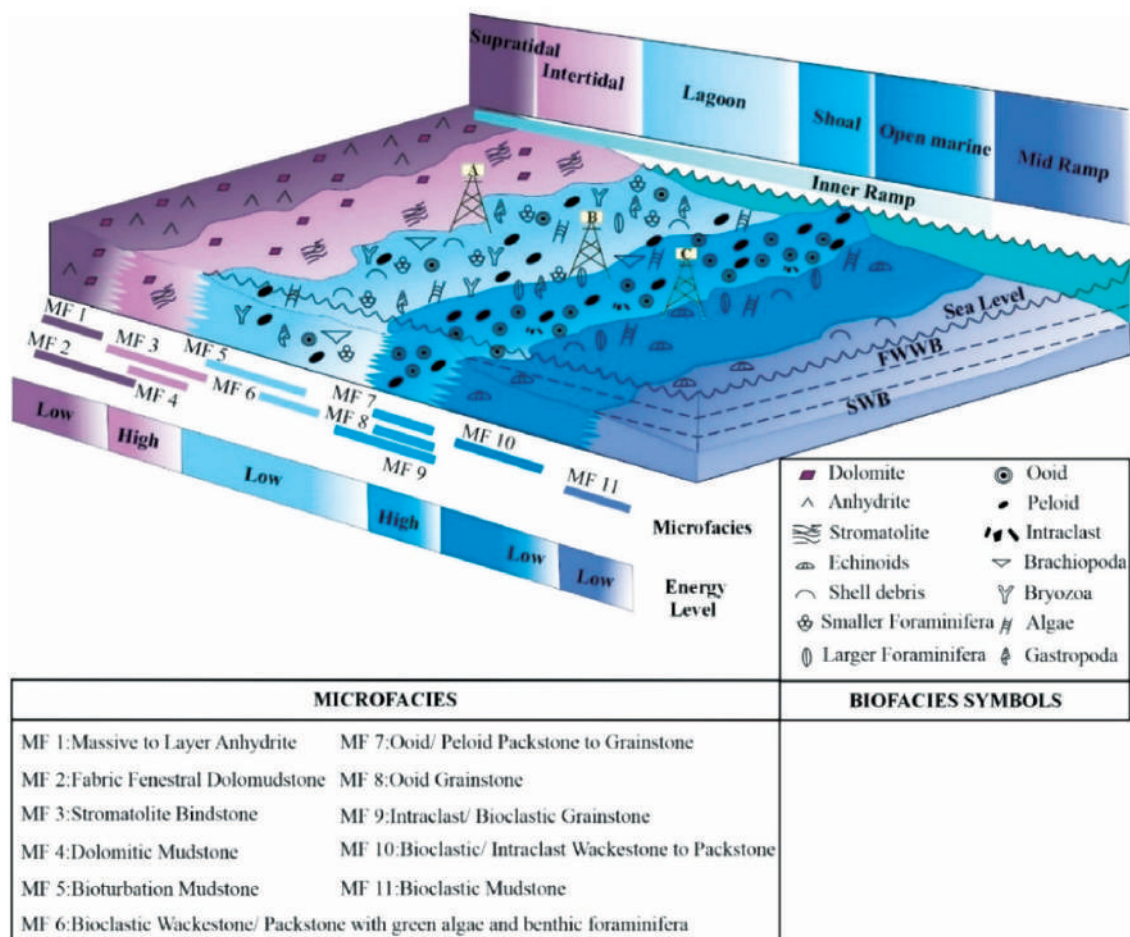
شکل ۵. درصد فراوانی ریزرخساره‌ها و محیط‌هایی که در آن این ریزرخساره‌ها شکل گرفته‌اند

کمربندها شامل رخساره‌های پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته زیرآبی، دریای باز و بخشی از رمپ میانی هستند (شکل ۶). نتایج شناسایی این کمربندهای رخساره‌ای، ساختارهای رسوبی، نبود توپوگرافی برجسته و همچنین

## مدل محیط رسوبی

مطالعه رخساره‌های میکروسکوپی و بررسی ماکروسکوپی مغزه‌های مربوط به چاه‌های مورد مطالعه، منجر به شناسایی پنج کمر بند رخساره‌ای در توالی دالان بالایی شد. این

تغییرات تدریجی رخساره‌ها نشان می‌دهند که محیط رسوبی دالان بالایی با سن پرمین پسین یک رمپ کربناته با شیب ملایم است (Pomar et al., 2004). گسترش رخساره‌های تبخیری همراه با دولومیت‌های اولیه، دلالت بر حاکم بودن اقلیم گرم و خشک در زمان تشکیل این رمپ کربناته دارد (Rezavand et al., 2017).



شکل ۶. مدل رسوبی ارائه شده برای توالی‌های کربناته تبخیری دالان بالایی بر اساس مطالعات رخساره‌های رسوبی و توالی رخساره‌ای حاصل از آن که شامل یک رمپ کربناته با شیب ملایم می‌باشد

دریا فراهم کرده است. رخساره‌های گل‌غالب لاگونی، به‌ویژه با تنوع زیستی کم، رخساره‌های بین جزر و مدی، تبخیری و همچنین رخساره‌های مادستونی و وکستونی رمپ میانی با گسترش محدود در تناوب با پشته زیرآبی‌های گرینستونی تشکیل شده‌اند. واحد K3 را می‌توان یک واحد گل‌غالب متشکل از رخساره‌های مادستونی، بایوکلاست و کستون تا پکستونی آهکی دانست که مربوط به رخساره‌های زیر جزر و مدی کم‌عمق لاگون تا نواحی رمپ میانی است. بر اساس ریزرخساره‌های شناسایی‌شده و دسته‌بندی رخساره‌ها به

کاهش سطح آب دریا باعث گسترش رخساره‌های تبخیری، کم‌عمق و حاشیه پلتفرمی و همچنین سطوح رخنمون می‌شود. عظیم‌ترین گسترش رخساره‌های گرینستون آئیدی و بایوکلاستی در واحد K4 اتفاق افتاده است که به دلیل ایجاد زون‌های حداکثر فضای رسوب‌گذاری به وجود آمده است که مکان‌های اولیه تشکیل و توسعه پشته زیرآبی‌های آئیدی هستند. وجود موجودات ریف‌ساز پراکنده در جلوی پشته‌های زیرآبی، آلوکم‌های سازنده رخساره گرینستون بیوکلاستی اینتراکلاستی را در بخش پراثرزی پشته زیرآبی رو به

## سیمانی شدن

فرآیند سیمانی شدن هم‌زمان با رسوب‌گذاری در محیط رسوبی آغاز و تا تدفین عمیق ادامه می‌یابد. سیمانی شدن با رخساره ارتباط زیادی دارد و همواره تابع محیط رسوبی بوده و از مرزهای رسوبی و الگوهای محیطی تبعیت می‌کند (Flügel, 2010). نرخ گردش سیالات در رسوبات، باعث کنترل توزیع سیمان‌های دریایی در حفرات آن‌ها می‌باشد (Moore, 2001). کانی‌شناسی سیمان‌های موجود در رخساره‌های مخزنی به‌طور کلی به دو گروه کلسیتی و انیدریتی جدا می‌شود. از انواع سیمان‌های کلسیتی که در نهشته‌های دالان بالایی مشاهده شدند می‌توان به سیمان هم‌بعد، سیمان دروزی، سیمان اسپاری، سیمان پوئیکیلوتوپیک اشاره کرد. سیمان هم‌بعد با بلورهای ریز و هم‌اندازه به حالت سوزنی و یا تیغه‌ای و سیمان دروزی در اطراف دانه‌ها و قطعات آهکی دیده می‌شود (Flügel, 2010). سیمان‌های انیدریتی به دلیل شرایط گرم و خشک حاکم در طی رسوب‌گذاری، انیدریت به‌عنوان مهم‌ترین و فراوان‌ترین تبخیری در این نهشته‌ها بشمار می‌رود (Rahimpour-Bonab, 2007; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab, 2013). سیمان‌های انیدریتی شناسایی شده شامل سیمان‌های انیدریتی پهنه جزر و مدی و سیمان انیدریت فراگیر می‌باشد. سیمان انیدریتی پهنه جزر و مدی در شرایط اقلیمی گرم و خشک توسعه یافته (Marenco et al., 2008) به‌صورت قالب‌های تبخیری، سوزن‌های شعاعی انیدریتی، فابریک فنسترال و چشم پرنده‌ای در دولومادستون‌های پهنه جزر و مدی طی فرآیند جان‌شینی تشکیل می‌شوند. سیمان انیدریت فراگیر ثانویه بوده و پرکننده تخلخل بین‌دانه‌ای در رخساره‌های دانه غالب دولومیتی می‌باشد (Jafarian et al., 2017). سیمان انیدریتی پرکننده در بخش‌هایی است که دارای شکستگی هستند.

## انحلال

در مقاطع مطالعه شده عضو دالان بالایی شواهد انحلال به‌صورت تخلخل قالبی در اثر حل شدن آلوکم‌های اسکلتی در رخساره‌های دانه‌غالب دیده می‌شود. از انواع

روش فلوگل (Flügel, 2010) می‌توان محیط رسوب‌گذاری را یک رمپ کربناته با شیب ملایم در نظر گرفت (شکل ۶). می‌توان این رمپ را در یک کمر بند آب و هوایی خشک و نیمه گرمسیری قرار داد که با شواهد رسوب‌شناسی شامل رسوبات تبخیری زیاد و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه مطابقت دارد (Rezavand et al., 2017).

## فرایندهای دیاژنتیکی

از فرایندهای دیاژنتیکی که براساس مطالعات انجام گرفته در عضو دالان بالایی میکرایتی شدن، سیمانی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، نوشکلی، تراکم مکانیکی و شیمیایی با فراوانی‌های متغیر در این نهشته‌ها شناسایی شدند.

## میکرایتی شدن

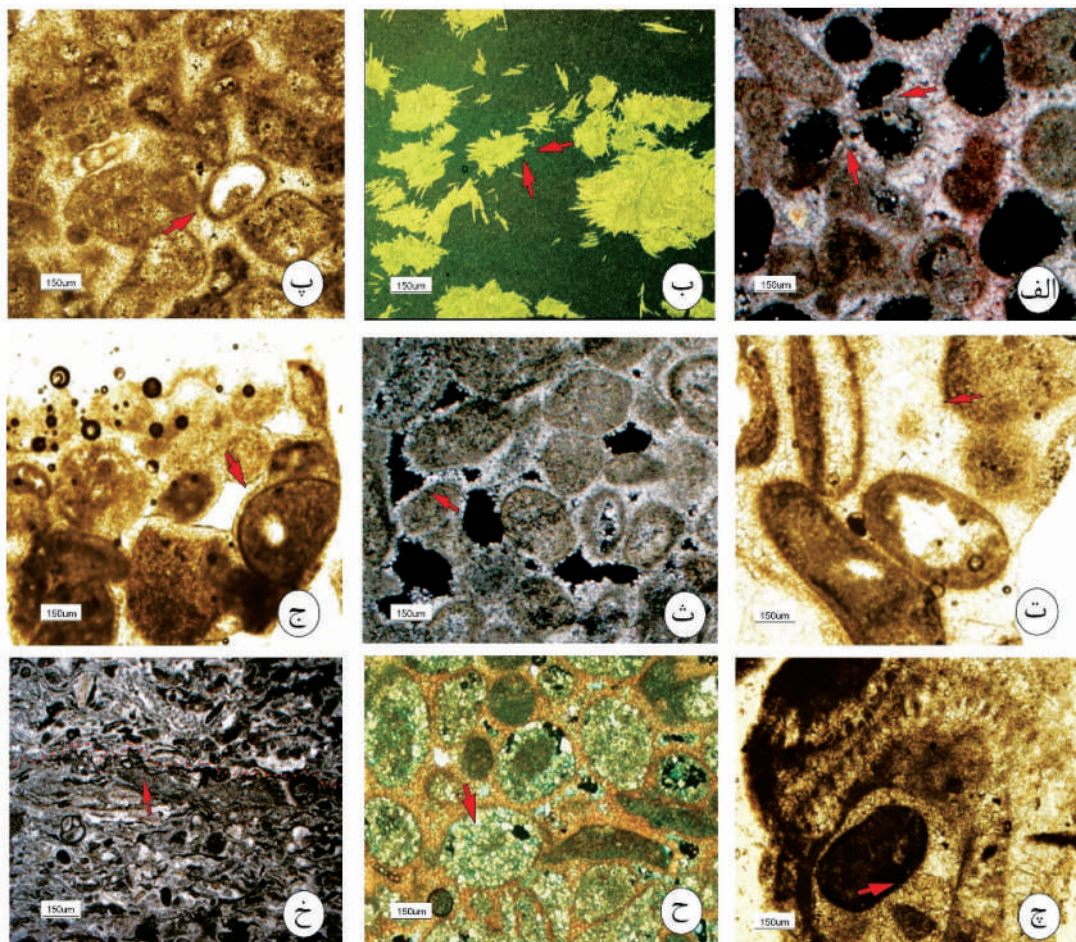
میکرایتی شدن از رایج‌ترین فرایندهای دیاژنزی در نهشته‌های دالان بالایی است و در شرایط برقراری آرامش در محیط رسوبی به‌ویژه در لاگون‌های محافظت شده توسعه می‌یابد. زمانی که دانه‌های اسکلتی و غیر اسکلتی دچار تغییرات در بافت دانه‌ها و تبدیل به میکرایت می‌شوند و پوشش میکرایتی را ایجاد می‌کنند که قابلیت شناسایی با دانه اولیه را ندارد، در اطراف پوسته فسیل‌ها یا به دور دانه‌های آئیدی گسترش می‌یابد (Flügel, 2010) و حاشیه دانه‌های اسکلتی خورده شده و حفره‌ها با رسوبات ریزدانه یا سیمان پر می‌شوند (Tucker, 1991). این فرایند در رخساره‌هایی همچون وکستون تا پکستون بیوکستی محیط لاگونی دیده می‌شود. در برخی از مقاطع مورد مطالعه ساختمان اولیه دانه به‌سختی قابل شناسایی است. میکرایتی شدن در محیط‌های آرام و لاگونی معمول است و در مواردی به‌صورت پوشش میکرایتی اطراف دانه‌ها عمل کرده و شکل اولیه دانه بعد از انحلال حفظ شده است. در اکثر مواقع به‌صورت کامل باعث میکرایتی شدن آئیدها و فسیل‌ها شده و ساختمان داخلی آن‌ها از بین رفته است و سپس می‌تواند با سیمان پر شوند. اولین فرایندهای توالی‌های پارازنزی و نوعی نوشکلی است که می‌تواند در محیط فریاتیکی دریایی تشکیل شود (Philip and Gari, 2005).

استیلولیت‌ها، درزه‌های انحلالی از متداول‌ترین آثار تراکم شیمیایی است. در عضو دالان بالایی، استیلولیت‌ها بیشتر در رخساره‌های مادستونی و دولومادستونی توسعه یافته‌اند و دارای دامنه متوسط تا بلند می‌باشند. رگچه‌های انحلالی به صورت یکنواخت و صاف هستند. این رگچه‌ها برخلاف استیلولیت‌ها، کل بافت سنگ را قطع نمی‌کنند و فقط از اطراف دانه‌ها عبور می‌کنند. تراکم شیمیایی از طریق کاهش حجم سنگ و تخلخل‌های اولیه، همراه با رسوب مجدد مواد حاصل از انحلال به صورت سیمان در فضاهای خالی ایجاد می‌شود (Machel, 2005). برخلاف تراکم فیزیکی که بلافاصله پس از رسوب‌گذاری، رسوبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تراکم شیمیایی نیازمند دفن عمیق، همواره در حدود چند صد متر، برای آغاز فرآیند خود است (Bathurst, 1975).

فابریک‌های که در نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان نام برد شامل فابریک‌های فشرده، رگه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها هستند. انحلال همواره مهم‌ترین عامل در ایجاد کیفیت مخزنی در رخساره‌های وکستونی تا پکستونی است (Buyukutku, 2009).

## تراکم فیزیکی

این فرآیند در مراحل اولیه دیاژنز بیشتر فعال است و بر اثر فشار حاصل از تدفین طبقات بالایی صورت می‌گیرد. این فرآیند موجب کاهش تخلخل، تراوایی و ضخامت رسوبات، آبدهی، شکست و تغییر در شکل، آرایش و جهت‌گیری دانه‌ها می‌شود (Flügel, 2010). مادستون‌ها و دولومادستون‌ها نسبت به رخساره‌های گرینستونی تراکم بیشتری دارند.



شکل ۷. الف) تخلخل قالبی انحلال آئیدها و سیمان هم‌ضخامت، ب) سوزن‌های انیدریتی، پ) میکریتی شدن حاشیه آلوکم‌ها، ت) سیمان بلوکی، ث) سیمان تیغه‌ای و سیمان کلسیت دروزی در فضای بین اینتراکلسیت‌ها و آئیدها، ج) سیمان هم‌ضخامت، چ) سیمان دروزی موزاییکی، ح) دولومیت درون دانه‌ای و سیمان دروزی در فضای بین آئیدها، خ) استیلولیت دامنه متوسط که در امتداد آن اکسید آهن باقی مانده است و همچنین تراکم فیزیکی نیز موجب دفرمه شدن برخی از آلوکم‌ها شده است

## نئومورفیسم

بیش از حد، تخلخل اولیه را کاهش می‌دهد (Lucia, 2007).  
دولومیت‌های یاد شده بر اساس اندازه بلورها و شکل مرز  
بلورها تقسیم شده‌اند.

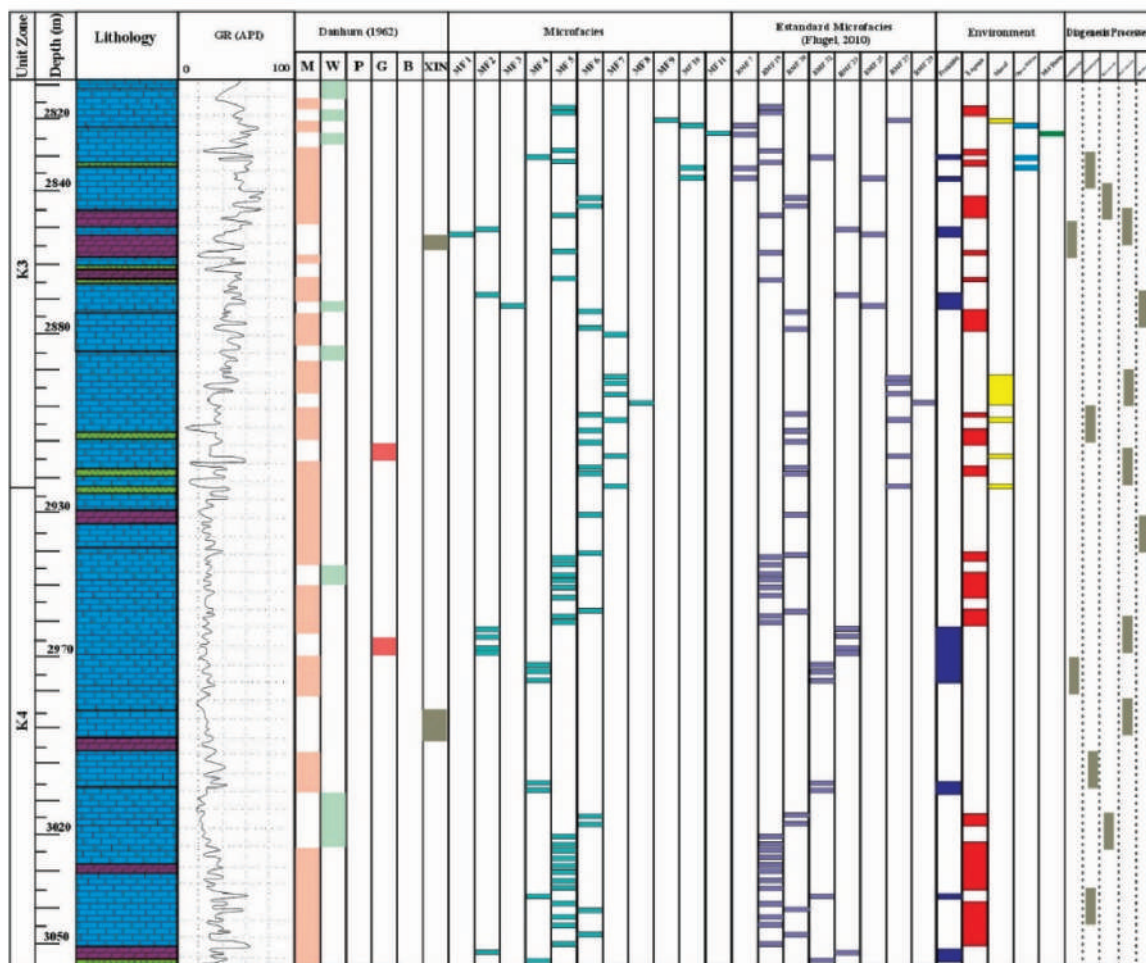
## توالی پاراژنتیکی

فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در ستون چینه‌شناسی  
شکل ۸ نشان داده شده است. این فرایندهای دیاژنزی طی  
سه مرحله ائوزنز، مزوزنز و تلوزنز رسوبات دالان بالایی را  
تحت تأثیر قرار داده است.

به تمام فرایندهایی که باعث تغییر و تبدیل درون یک  
کانی به کانی دیگر و یا اشکال دیگر همان کانی شود،  
نئومورفیسم گفته می‌شود. این فرایند در سنگ‌های آهکی  
شامل تبلور دوباره میکریت تشکیل میکرواسپار یا اسپار  
دروغین است (Tucker and Wright, 2009).

## دولومیتی شدن

فرایند دولومیتی شدن برخلاف تصور تخلخل ایجاد  
نمی‌کند و باعث کاهش حجم می‌شود و دولومیتی شدن



شکل ۸. فرایندهای دیاژنزی چاه B و تغییرات عمودی ریزرخساره‌های دالان بالایی و مقایسه آن با ریزرخساره‌های استاندارد فلوگل (Flügel, 2010)



## مرحله ائوژنز

فرایندهای دیاژنزی نهشته‌های دالان بالایی که بلافاصله پس از ته‌نشست رسوبات و در بستر دریا اتفاق می‌افتد شامل سیمانی شدن کلسیتی بخصوص سیمان فیبری، تشکیل میکرایت و گاهی دولومیتی شدن اولیه است (Moore et al., 2013). همچنین انحلال و تراکم فیزیکی است که پس از مرحله ته‌نشست و گاهی هم‌زمان با آن در نزدیکی سطح زمین و در دمای کمتر از ۷۳ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده‌اند (Seibel and James, 2017).

فرایندهای دیاژنزی نهشته‌های دالان بالایی که بلافاصله پس از ته‌نشست رسوبات و در بستر دریا اتفاق می‌افتد شامل سیمانی شدن کلسیتی بخصوص سیمان فیبری، تشکیل میکرایت و گاهی دولومیتی شدن اولیه است (Moore et al., 2013). همچنین انحلال و تراکم فیزیکی است که پس از مرحله ته‌نشست و گاهی هم‌زمان با آن در نزدیکی سطح زمین و در دمای کمتر از ۷۳ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده‌اند (Seibel and James, 2017).

## مرحله تلوژنز

با دفن بیشتر رسوبات و افزایش دما و فشار، فرایندهای دفنی آغاز می‌شوند. مهم‌ترین تحولات در این محیط شامل سیمانی شدن مجدد مانند کلسیت بلوکی، تراکم مکانیکی، دولومیتی شدن دفنی و استیلولیتی شدن است (Moore et al., 2013).

## مرحله مزوژنز

رسوبات کربناته‌ای که همواره در دریا‌های گرمسیری تشکیل می‌شوند، دارای آراگونیت و کلسیت پرمینیم می‌باشند که در طی قرارگیری در محیط دیاژنزی جوی تحت انحلال و سیمانی شدن قرار می‌گیرند. در صورت گردش سیالات تحت اشباع کربنات درون سنگ‌های آهکی، باعث

جدول ۳. توالی پاراژنزی پیشنهاد شده برای عضو دالان بالایی در منطقه مورد مطالعه

میکرایتی شدن	[Bar chart showing occurrence in the Aetozon stage]		
سیمانی شدن	یوئیکلوئیک	[Bar chart showing occurrence in the Aetozon and Mesozon stages]	
	هم ضخامت	[Bar chart showing occurrence in the Aetozon stage]	
	رگه ای	[Bar chart showing occurrence in the Mesozon and Telozon stages]	
	موزائیک دروزی	[Bar chart showing occurrence in the Aetozon and Mesozon stages]	
انحلال	[Bar chart showing occurrence in the Aetozon stage]		
تراکم	تراکم فیزیکی	[Bar chart showing occurrence in the Mesozon and Telozon stages]	
	تراکم شیمیایی	[Bar chart showing occurrence in the Mesozon and Telozon stages]	
نئومورفیسم	[Bar chart showing occurrence in the Mesozon and Telozon stages]		
دولومیتی شدن	[Bar chart showing occurrence in the Aetozon stage]		
فرایند دیاژنزی / محیط دیاژنزی	ائوژنز	مزوژنز	تلوژنز

## بحث

ارتباط میان رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی نشان‌دهنده محیط ته‌نشست دالان بالایی است. بر این اساس، سیمان‌های کلسیتی از نوع فیبری که پیرامون دانه‌ها تشکیل شده‌اند، حاصل جریان آب دریا در فضاهای

بر اساس مطالعات لیتواستراتیگرافی، لیتولوژی غالب در چاه A شامل آهک آرژیلیتی و دولومیت، در چاه B سنگ‌آهک با میان‌لایه‌هایی از انیدریت و دولومیت، و در چاه C آهک دولومیتی و دولوستون آهکی است. بررسی

رخساره‌ای جزر و مدی، لاگون، پشته زیرآبی، دریای باز و ابتدای رمپ میانی نهشته شده‌اند. رسوبات این بخش در یک پلتفرم کربناته از نوع رمپ هموکلینال نهشته شده‌اند و فرایندهای دیاژنزی گوناگونی بر این واحد تأثیر گذاشته است. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی شامل میکریتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، تراکم فیزیکی، تراکم شیمیایی، نئومورفیسم، دولومیتی شدن است. توالی دیاژنزی نشان‌دهنده تأثیر مجموعه‌ای از فرایندهای دیاژنزی هم‌زمان با رسوب‌گذاری و پس از رسوب‌گذاری و در طی دفن کم‌عمق تا عمیق است، بنابراین فرایندهای دیاژنزی عضو دالان بالایی را در سه مرحله ائوژنز، مزوژنز و تلوژنز تحت تأثیر قرار داده‌اند. در نمونه چاه‌های مورد مطالعه فرایندهایی چون آشفستگی زیستی، میکریتی شدن و سیمان هم‌ضخامت نشان‌دهنده محیط دیاژنزی دریایی است. با توجه به شواهدی چون انحلال گسترده و تشکیل تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای و تشکیل انواع سیمان‌های مربوط به محیط جوی و ترتیب تقدم و تأخر فرایندها می‌توان نتیجه گرفت که رسوبات یاد شده پس از طی محیط دیاژنزی دریایی به‌طور مستقیم وارد محیط دفنی نشده‌اند بلکه دست کم بخش‌هایی مانند پشته زیرآبی آئیدی ابتدا محیط دیاژنزی را تحمل کرده و پس از طی فرایندهای مربوط به این محیط وارد محیط دیاژنزی دریایی شده‌اند. تراکم فیزیکی به‌صورت خرد شدن قطعات زیستی و قالب‌های آئیدی و جهت‌یابی در نمونه‌های تراکم انحلالی به‌صورت انحلال، استیلولیت، دولومیت‌های مجاور استیلولیت‌ها، انیدریت به‌صورت فراگیر در ادامه فرایند دفن رخ داده است. دالان بالایی در منطقه مورد مطالعه، شرایط محیط رسوب‌گذاری پلتفرم داخلی و میانی را دارا بوده ولی گسترش و ضخامت رخساره‌های لاگونی و پشته زیرآبی به‌ویژه رخساره‌های آئیدی در این توالی بیشتر است. گسترش پشته زیرآبی، فراوانی رخساره‌های آئیدی و قالب‌های بلورهای تبخیری دلالت بر وجود آب‌وهوای گرم و خشک مشابه محیط امروزی خلیج فارس در طی رسوب‌گذاری دالان بالایی است که این تغییرات به سمت جنوب خلیج فارس نشانگر آب‌وهوای خشک‌تر بوده و رخساره‌های اینترتایدال و سوپراتایدال نسبت به بقیه رخساره‌ها افزایش می‌یابد.

بین دانه‌ای می‌باشند (Moore, 2001; Flügel, 2010). در رخساره‌های جزرومدی، فرایندهای دیاژنزی مانند سیمانی شدن، انیدریتی شدن و دولومیتی شدن بیشتر مشاهده می‌شوند. در برخی از رخساره‌های آن همانند باندستون استروماتولیتی، پدیده‌های دولومیتی شدن و استیلولیتی شدن قابل مشاهده است. این رخساره‌ها با بافت دانه‌پشتیبان، گاهی اوقات به‌عنوان سنگ‌پوش عمل می‌کنند (Kakemem et al., 2023). رخساره‌های لاگونی بیشتر با فرایندهایی نظیر انحلال، میکرایتی شدن و سیمان‌زایی از نوع پوئیکیلوتوپیک همراه هستند. فراوانی میکرایت به سمت بخش‌های انتهایی لاگون به سمت دریا کاهش می‌یابد (Kakemem et al., 2023). در رخساره‌های پشته، فرایندهای دولومیتی شدن، میکرایتی شدن، تشکیل سیمان تیغه‌ای، انیدریتی و بلوکی و نیز انحلال آئیدها غالب هستند. در رخساره‌های دریای باز و رمپ میانی، فرایندهای سیمانی شدن به‌صورت رگه‌ای و استیلولیتی شدن مشاهده شده است. بررسی توالی ریزرخساره‌ها در سه چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در چاه A، رخساره‌های جزرومدی نظیر دولومادستون با فابریک فنسترال نسبت به دو چاه دیگر فراوانی بیشتری دارند. در مقابل، در چاه C رخساره‌های پشته از نوع پکستون تا گرینستون آئیدی پلوئیدی فراوان‌تر هستند. فرایند میکرایتی شدن بیشتر در محیط‌های پشته‌ای و لاگونی رخ می‌دهد. سیمان انیدریتی نیز در رخساره‌های لاگونی دیده می‌شود، همواره فضاهای بین‌دانه‌ای را پر کرده و گاهی به‌صورت بلورهای درشت پوئیکیلوتوپیک تشکیل می‌شود. فرایند دولومیتی شدن در این سازند به دو صورت متفاوت رخ داده است، در یک حالت، بافت اولیه سنگ به‌طور کامل تخریب شده و از بین رفته است، درحالی‌که در حالت دیگر، دولومیتی شدن بدون تخریب ساختار اولیه انجام شده و بافت سنگ حفظ شده است (Rahimpour-Bonab et al., 2007).

## نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات انجام شده در گستره مورد مطالعه یازده ریزرخساره تشخیص داده شده است که در کمربندهای

## منابع

- Nicora, A., Tintori, A., Crasquin, S. and Muttoni, G., 2003. Permian climatic and paleogeographic changes in Northern Gondwana: the Khuff Formation of Interior Oman, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 191, 269-300.
- Bathurst R. G. C., 1975. Carbonate Sediments and their Diagenesis, 2nd edn., *Developments in Sedimentology* No. 12. Elsevier, Amsterdam, 658.
- Büyüktutku, A. G., 2009. Reservoir properties of Karaisalı formation in the Adana Basin, Southern Turkey. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 65(1-2), 33-44.
- Dickson, J. A. D., 1965. A modified staining technique for carbonates in thin section: *Nature*, 205, 587.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 1. 108-121.
- Embry, A.F. and Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19(4), 730-781.
- Enayati-Bidgoli, A.H. and Rahimpour-Bonab, H., 2016. A geological based reservoir zonation scheme in a sequence stratigraphic framework: A case study from the Permo-Triassic gas reservoirs, Offshore Iran, *Marine and Petroleum Geology*, 73, 36-58.
- Esrafil-Dizaji, B. and Rahimpour-Bonab, H., 2013. A review of Permo-Triassic reservoir rocks in the Zagros Area, Sw Iran: Influence of the Qatar-Fars Arch, *Journal of Petroleum Geology*, 36(3), 257-279.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*, Springer. Berlin. Heidelberg. New York. 976.
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfipour, - امرائی، ج.، رضایی، پ.، امینی، ع.، زمانزاده، س. م. و توکلی، و.، ۱۳۹۸. تحلیل ریزرخساره‌ها و پتروفاسیس‌ها، ویژگی‌های دیاژنتیکی و شرایط محیطی سازند فراقان در بخش مرکزی خلیج فارس، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۳(۵۰)، ۱۵-۳۲.
- آقانباتی، ع.، ۱۳۹۲. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶.
- سجادی، ف.، توکلی، و.، سفیداری، ا. و امامی نیری، م.، ۱۴۰۰. کاربرد توموگرافی نوع تخلخل در بازسازی تکامل مخازن کربناته، سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۵(۵۹)، ۱۳-۲۸.
- سفیداری، ا.، امینی، ع.، یوسف‌پور، م. و زمانزاده، س. م.، ۱۳۹۷. تعیین نقش محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنتزی در کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سورمه در میدان سلمان، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۱(۴۵)، ۱۱۹-۱۳۶.
- Aali, J., Rahimpour-Bonab, H. and Kamali, M.R., 2006. Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 50(3-4), 161-175.
- Abdolmaleki, J., Tavakoli, V. and Asadi-Eskandar, A., 2016. Sedimentological and diagenetic controls on reservoir properties in the Permian-Triassic successions of western Persian Gulf, southern Iran, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 141, 90-113.
- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran, *American Journal of Science*, 307(9), 1064-1095.
- Amel, H., Jafarian, A., Husinec, A., Koeshidayatullah, A. and Swennen, R., 2015. Microfacies, depositional environment and diagenetic evolution controls on the reservoir quality of the Permian Upper Dalan Formation, Kish Gas Field. *Journal of Marine and Petroleum Geology*, 67: 57-71.
- Angiolini, L., Balini, M., Garzanti, E.,

- M. and Monibi, S., 2006. Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *GeoArabia*, 11(2), 75-176.
- Jafarian, A., Javanbakht, M., Koeshidayatullah, A., Pimentel, N., Salad Hersi, O., Yahyaei, A. and Beigi, M., 2017. Paleo environmental, diagenetic, and eustatic controls on the Permo-Triassic carbonate-evaporite reservoir quality, Upper Dalan and Kangan formations, Lavvan Gas Field, Zagros Basin. *Journal of Geological*, 53: 1442-1457.
  - Kakemem, U., Ghasemi, M., Adabi, M. H., Husinec, A., Mahmoudi, A. and Anderskov, K., 2023. Sedimentology and sequence stratigraphy of automated hydraulic flow units-The Permian Upper Dalan Formation, Persian Gulf, Marine and petroleum geology 147:105965.
  - Konert, G., Afifi, A.M., Al-Hajri, S.I.A. and Droste, H.J., 2001. Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian Plate, *GeoArabia*, 6(3), 407-442.
  - Lucia, F.J., 2007. Limestone reservoirs. *Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach*, 181-215.
  - Machel, H. G., 2005. Investigations of burial diagenesis in carbonate hydrocarbon reservoir rocks. *Geoscience Canada*, 32(3), 103-128.
  - Marengo, P. J., Corsetti, F. A., Hammond, D. E., Kaufman, A. J. and Bottjer, D. J., 2008. Oxidation of pyrite during extraction of carbonate associated sulfate. *Chemical Geology*, 247(1-2), 124-132.
  - Mehrabi, H., Mansouri, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V. and Hassanzadeh, M., 2016. Chemical compaction features as potential barriers in the Permian-Triassic reservoirs of Southern Iran, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 145, 95-113.
  - Mehrabi, H., Rahimpour-Bonab, H., Enayati-Bidgoli, A. H. and Esrafil-Dizaji, B., 2015. Impact of contrasting paleoclimate on carbonate reservoir architecture: Cases from arid Permo-Triassic and humid Cretaceous platforms in the south and southwestern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 126, 262-283.
  - Moore, C. H. and Wade, W. J., 2013. Carbonate reservoirs: Porosity and diagenesis in a sequence stratigraphic framework, *Developments in Sedimentology*. Elsevier New York, 67, 347.
  - Moore, G., 2001. Corporate social and financial performance: An investigation in the UK supermarket industry. *Journal of Business ethics*, 34, 299-315.
  - Moradi, M., Kadkhodaie, A., Rahimpour-Bonab, H. and Kadkhodaie, R., 2024. Integrated reservoir characterization of the Permo-Triassic gas reservoirs in the Central Persian Gulf. *Petroleum*.
  - Philip, J. M. and Gari, J., 2005. Late Cretaceous heterozoan carbonates: Palaeoenvironmental setting, relationships with rudist carbonates (Provence, south-east France). *Sedimentary Geology*, 175(1-4), 315-337.
  - Pomar, L., Brandano, M. and Westphal, H., 2004. Environmental factors influencing skeletal grain sediment associations: a critical review of Miocene examples from the western Mediterranean. *Sedimentology*, 51(3), 627-651.
  - Rahimpour-Bonab, H., 2007. A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 58(1), 1-12.
  - Rezavand, N., Jahani, D. and Asilian, H., 2017. Facies, Depositional Environment and Sequence Stratigraphy of Dalan Formation in Persian Gulf (Qatar-South Fars Arch) Well SP-A Subsurface Section. *Journal of Science and Technology*, 10(34): 1-16.
  - Scholle, P.A. and Ulmer-Scholle, D.S., 2003. A color guide to the petrography of carbon-

- ate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis, AAPG Memoir 77(77).
- Seibel, M. J. and James, N. P., 2017. Diagenesis of Miocene, incised valley-filling limestones; Provence, Southern France. *Sedimentary Geology*, 347, 21-35.
  - Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D. and Simmons, M.D., 2001. Arabian Plate sequence stratigraphy. *GeoArabia Special Publication*, vol. 2. Gulf PetroLink, Bahrain. 371.
  - Szabo, F. and Kheradpir, A., 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south-west Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 1(2),57-82.
  - Tavakoli, V. and Barfizadeh, H., 2024. The Role of Plate Movements on Reservoir Development of the Iranian Carbonate Formations: A Review of the Interplay Between Tectonics, Paleoclimate, and Diagenesis. *Results in Earth Sciences*, 100037.
  - Tavakoli, V., Naderi-Khujin, M. and Seyedmehdi, Z., 2018. The end-Permian regression in the western Tethys: sedimentological and geochemical evidence from offshore the Persian Gulf, Iran. *Geo-Marine Letters*, 38, 179-192.
  - Tucker, M. E. and Wright, V. P., 2009. *Carbonate sedimentology*. John Wiley & Sons.
  - 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*, 148(6), 1019-1036.
  - Warren, J. K., 2006. *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*: Springer Verlag, Brunei, 1035.
  - Wilson, J.L., 1975. Principles of carbonate sedimentation, *Carbonate Facies in Geologic History*, 1-19.
  - Zeigler, M.A. and Martin, A.Z., 2001. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 6(3), 445-504.