



تأثیر تبخیری ها بر کیفیت مخزنی توالی پرمو-تریاس در بخش مرکزی خلیج فارس

مجید فخار^۱، امیر کریمیان طرقله^{۲،۳،۴}، جواد شریفی^۵، پیمان رضائی^۱

^۱گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان

^۲بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

^۳گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

^۴رئیس کارگروه اکتشاف، مرکز پژوهشی انرژی های فسیلی، دانشگاه شیراز

^۵فارغ التحصیل دکتری ژئوفیزیک، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

*ایمیل نویسنده مسئول: gm.fakhar@gmail.com

چکیده: بخش مرکزی خلیج فارس دارای بزرگترین میدان گازی دنیا است. مخزن گازی این منطقه به سن پرمو-تریاس می باشد. توالی مورد مطالعه شامل کربنات-تبخیری با میان لایه های شیل است. بخش مخزنی دارای رخساره های گرینستون آئیدی و دولوستون با تخلخل های بین دانه ای، درون دانه ای و بین بلوری است. در این منطقه تبخیرها بصورت چیره شامل انیدریت/ژیپس هستند. تبخیرها در بخش مرکزی خلیج فارس تأثیر دوگانه بر کیفیت مخزن دارند. تبخیری های اولیه که حاصل نهشته شدن مستقیم از آب دریا هستند در محیط بسته هایپرسالین و حاصل تبخیر شدید در آب و هوای گرم و خشک هستند. انیدریت/ژیپس های اولیه با توجه به داشتن سبزی قابل توجه مخزن را به بخش های متمایزی تبدیل می کنند و نقش پوش سنگ برای هر پهنه مخزنی دارند. این تبخیری ها موجب بالا رفتن فشار مخزنی می شوند که در روند تولید می توانند حلقه اهمیت باشند. در توالی مورد مطالعه انیدریت/ژیپس های ثانویه بصورت سیمان مشاهده می گردند. تبخیری های ثانویه که حاصل دیاژنز و نفوذ محلول های هایپرسالین سولفات درون تخلخل ها هستند به شدت کیفیت مخزن را کاهش می دهند.

واژگان کلیدی: تبخیری ها، کیفیت مخزنی، توالی پرمو-تریاس، بخش مرکزی خلیج فارس

1- مقدمه

بخش مرکزی خلیج فارس دارای بزرگترین میدان گازی دنیا (پارس جنوبی) است. مخزن اصلی گازی در بخش مرکزی خلیج فارس در توالی پرمو-تریاس قرار دارد. توالی پرمو-تریاس شامل سازندهای فراقان، دالان و کنگان (از گروه دهرم) هستند. توالی مورد مطالعه دارای لیتولوژی کربناته-تبخیری با میان لایه های نازک و پراکنده ای از شیل است. تبخیری های توالی پرمو-تریاس غالباً انیدریت هستند اما در برخی محدوده ها بلورهای ژپس نیز مشاهده می گردد. بلورهای انیدریت/ژیپس به اشکال: فیبری (Fibrous)، فیبری شعاعی (Radial Fibrous)، تیغه ای



(Bladed)، ریزبلور (Fine Crystalline)، سوزنی (Acicular)، و بلوکی (Blocky) مشاهده می گردد (شکل 1: الف، ب، ج، د). تبخیری های توالی پرمو-تریاس به دو صورت نهشته های اولیه و ثانویه مشاهده می گردند. نهشته های تبخیری اولیه بصورت مستقیم از آب دریا و حاصل تبخیر در محیط بسته (restrict environment) نهشته شده اند. این نهشته ها بصورت میان لایه ای (Interlayering) یا توده های انیدریتی (Anhydrite patch) در بین توالی کربناته تشکیل شده است. نهشته های تبخیری ثانویه محصول دیاژنز هستند و بصورت های جانیشینی (Replacement Anhydrite)، سیمان پرکننده حفرات و شکستگیها (Porefilling cement)، سیمان پویی کیلوتاپیک (Poeikilotopic) و سیمان فراگیر (Pervasive) مشاهده می گردد (Fakhar et al. 2023).

2- ریز رخساره های تبخیری توالی پرمو-تریاس در بخش مرکزی خلیج فارس

ریز رخساره های دارای تبخیری در توالی پرمو-تریاس شامل

1-2. رخساره انیدریت توده ای (Massive Anhydrite)

توصیف: انیدریت توده ای به صورت کامل از بلورهای انیدریت/ژیپس خالص سفید تا کمی تیره، به صورت چیره لایه ای یا توده ای با ستبرای کمتر از 1 متر با بلورهای متراکم و فشرده در توالی مورد مطالعه مشاهده می گردد. ریزرخساره انیدریت توده ای به علت نفوذناپذیر بودن نقش پوش سنگ، مخزن پرمو-تریاس را دارد و به همین دلیل مواد هیدروکربنی در این لایه ها متوقف و به دام می افتد و نمی تواند از آنها عبور کند (شکل 1: ه). رخساره انیدریت توده ای در جهت قائم با ریز رخساره های، انیدریت گلی، مادستون تا دولومادستون انیدریتی و رخساره دولوستون انیدریتی و در جهت جانبی با ریز رخساره های، دولوستون، وکستون تا پکستون آلییدی و پکستون پلو آلییدی (همراه با مقداری بایوکلست یا اینتراکلست) مجاور می باشد.

تفسیر: تشکیل این رخساره از نهشته های شورابه ای غلیظ غنی از سولفات و بصورت انیدریت های اولیه در محیطی کاملاً آرام و بدون انرژی و در شرایط آب و هوای گرم و خشک و در محیط های محصور و ایزوله نهشته می گردد. چرا؟ در توالی مورد مطالعه این ریز رخساره در پایین ترین سطح آب یا عقب نشینی دریا تشکیل شده و با داده های پتروفیزیکی (لاگ سونیک DT) به خوبی مشخص می گردد. این ریز رخساره معادل زون رخساره ای 9-A (FZ9-A) ویلسون (Wilson 1975) و 25 استاندارد (SMF25) و تقریباً معادل ریز رخساره رمپ 25 (RMF25) فلوگل (Flugel 2010) دانست (فخار و همکاران 1400).

2-2. رخساره انیدریت گلی (Muddy Anhydrite)

توصیف: رخساره انیدریت گلی از دو بخش انیدریت/ژیپس و گل (40-10٪) تشکیل شده است. این دو بخش می توانند از هم جدا یا تا حدودی با یکدیگر امتزاج پیدا کنند (شکل 1: و، ز). ساختهای مشاهده شده در این رخساره ساخت توری مرغی (Chicken wire) (Insalaco et al. 2006; Aleali et al. 2013; Abdolmaleki et al. 2016) (شکل 1: ح) ساخت لامیناسیون (Lamination structure) و ساخت انترولیتی (Enterolith structure) است (شکل 1: ط، ی). دیاژنز غالب در این ریز رخساره تبلور دوباره و نئومورفیسم ژیبس به انیدریت است (Fakhar et al. 2023). در این رخساره تخلخل یا وجود ندارد یا به میزان بسیار پایین می باشد.

تفسیر: این ریز رخساره در محیط های هایپرسالین و در مجاورت گل و شرایط آرام و یا با کمی آشفتنگی تشکیل می شود چرا؟ این ریز رخساره در جهت قائم با ریز رخساره های انیدریت توده ای و دولوستون انیدریتی و در جهت جانبی با ریز رخساره های دولوستون، وکستون تا پکستون



آبیدی و پکستون پلوآبیدی مجاور باشد. این ریز رخساره معادل زون رخساره ای 9 (FZ9-A) ویلسون (Wilson 1975) و 25 استاندارد فلوگل (SMF25) و معادل ریز رخساره رمپ 25 (RMF25) فلوگل (Flugel 2010) است (فخار و همکاران 1400).

2-3. رخساره دولوستون انیدریتی (Anhydrite dolostone)

توصیف: در این ریز رخساره بلورهای دولومیت بسیار ریز (اندازه بلورها کمتر از 10 میکرون)، بدون شکل منظم بلورین و به صورت دانه های تقریبا کروی با رنگ سفید تا خاکستری روشن مشاهده می گردند. انیدریت در این رخساره با مقدار 30%-10٪ بصورت ثانویه و پر کننده شکستگیها (شکل 1: ک) و یا بصورت اولیه و ساخت لامینه ای یا نودلار (شکل 1: ل) مشاهده می گردد. دیاژنهای این ریز رخساره سیمان انیدریتی، تبلور دوباره و تا حدودی شکستگی می باشد. تخلخل در این رخساره پایین و گاهی بدون تخلخل دیده می شود.

تفسیر: تشکیل این نوع دولومیت ها و انیدریت های اولیه در نتیجه تبخیر شدید آب و ایجاد محلول های هایپرسالین و بصورت رسوب مستقیم از شورابه ها صورت می گیرد (شکل 1: م). (رفرنس؟) وجود سیمان های انیدریتی در بین فضای خالی یا شکستگی ها نیز احتمالا حاصل نفوذ محلول های فوق اشباع از یون سولفات کلسیم صورت گرفته است. انیدریت در فضای بین بلورهای دولومیت، ثانویه بوده و پس از رسوبگذاری و طی دیاژن و معمولا بصورت سیمان پویی کیلوتاپیک (Poikilotopic Cement) و ساخت کی استون (Keystone Structure) مشاهده می گردند (شکل 1: ن). این ریز رخساره در جهت قائم با ریز رخساره های انیدریت توده ای تا گلی و در جهت جانبی با ریز رخساره دولوستون و ریز رخساره وکستون تا پکستون آبیدی در مجاورت است. این ریز رخساره معادل با زون رخساره ای 8 ویلسون (FZ8) و تقریبا معادل با رخساره 23 (SMF23) و ریز رخساره رمپ 25 (RMF25) فلوگل می باشد (فخار و همکاران 1400).

2-4. رخساره مادستون تا دولومادستون انیدریتی (Anhydrite Mudstone to Dolomudstone)

توصیف: این ریز رخساره از زمینه مادستون تا دولومادستون با حضور 30-10 درصد انیدریت بصورت توده ای (نودل) درون مادستون با بافت رشته ای مانند (بافت نمدی) (Felted Fabric) نهشته شده است (شکل 1: س). گاهی توده های انیدریت در این ریز رخساره بصورت لنزی و رگه های پراکنده در مادستون مشاهده می گردد. در این ریز رخساره تخلخل به میزان کم و از نوع شکستگی، فنسترال و انحلالی می باشد (فخار و همکاران 1400).

تفسیر: این ریز رخساره گل غالب در شرایط محیط هایپرسالین و غنی از محلولهای سولفات و آب و هوای گرم و خشک غالب در تالاب و بخش عمیق و کم انرژی آن تشکیل می گردد (Flugel 2010, Abdolmaleki et al. 2016). همچنین میزان قابل توجه انیدریت که بصورت نودول و بافت پراکنده و مجزا (Sparse and Isolated Texture Anhydrite) در این رخساره مشاهده می گردد که نشانه قطع ارتباط محیط تالاب با دریای باز است. این ریز رخساره در جهت قائم با ریز رخساره های مادستون تا دولومادستون و مادستون تا وکستون پلوآبیدی و در جهت افقی با ریز رخساره های پکستون تا گرینستون پلو آبیدی تا آبیدی در مجاورت است. این ریز رخساره معادل با زون رخساره ای 9-A ویلسون (FZ9-A) و معادل با ریز رخساره استاندارد 23 (SMF23) و ریز رخساره رمپ 25 (RMF25) فلوگل است (فخار و همکاران 1400).

2-5. رخساره گرینستون آبیدی انیدریتی (Anhydrite ooid grainstone)

توصیف: اجزای این ریز رخساره شامل دانه های آبیید (70%-80٪)، سیمان انیدریتی (20%-30٪) و مقادیر کمی (کمتر از 5٪) نیز قطعات اینتراکست یا بایوکست در این ریز رخساره مشاهده می گردند. در بیشتر موارد آلوکم ها با سیمان انیدریتی جایگزین یا تخلخل های آنها با

نهمین همایش ملی انجمن رسوب شناسی ایران

9th

Symposium of
Sedimentological
Society of Iran

Tabas UNESCO Global Geopark 19–20 Feb 2025

۱ و ۲ اسفندماه ۱۴۰۳ ژئوپارک جهانی طبس



انجمن رسوب شناسی ایران



tabasgeopark



Global Geopark



کد اختصاصی: ۰۲۲۲۰۰۳۰۵۰۱



انیدریت پر شده اند و موجب کاهش قابل توجه تخلخل و تراوایی (پروپرم) در ریز رخساره شده اند. در این ریز رخساره انیدریت غالباً بصورت دیاژنز ثانویه و بصورت های، انیدریت های پر کننده شکستگی ها، انیدریت های پر کننده تخلخل قالبی آئیدی، نودل های انیدریتی، سیمان فراگیر و انیدریت های پر کننده قالب دانه های آئید (Filled oomoldic) مشاهده می گردد (شکل 1: ع، ف). گاهی در این ریز رخساره دانه های آئید شعاعی مشاهده می گردد که نشانه تشکیل در محیط پشته سدی به طرف تالاب و محیط آرام تشکیل آنها است (Flugel 2010) (شکل 1: ص).

تفسیر: به دلیل مقادیر بالای دانه های آئید، ریز رخساره اصلی (قبل از فاز دیاژنز) در محیط پشته سدی کم عمق با انرژی بالا ایجاد شده است (Flugel 2010) در طی فرایند دیاژنزی سیمان انیدریتی فضای خالی درون دانه ها و بین دانه ها را پر کرده است (حسین یار و رحیم پور بناب 1390). این ریز رخساره در جهت قائم به ریز رخساره های گرینستون آئید اینتراکست بایوکست و گرینستون آئیدی دولومیتی، و در جهت افقی با ریز رخساره های مادستون تا وکستون بایوکلستی و وکستون تا پکستون پلو آئیدی در مجاورت می باشد. این ریز رخساره معادل با زون رخساره ای 6 و 7 ویلسون (FZ6 and FZ7) و معادل با ریز رخساره استاندارد 15 (SMF15) و ریز رخساره رمپ 29 (RMF29) فلوگل است (فخار و همکاران 1400).

نهمین همایش ملی انجمن رسوب شناسی ایران

9th Symposium of
Sedimentological
Society of Iran

Tabas UNESCO Global Geopark 19–20 Feb 2025

۱ و ۲ اسفندماه ۱۴۰۳ ژئوپارک جهانی طبس



انجمن رسوب شناسی ایران



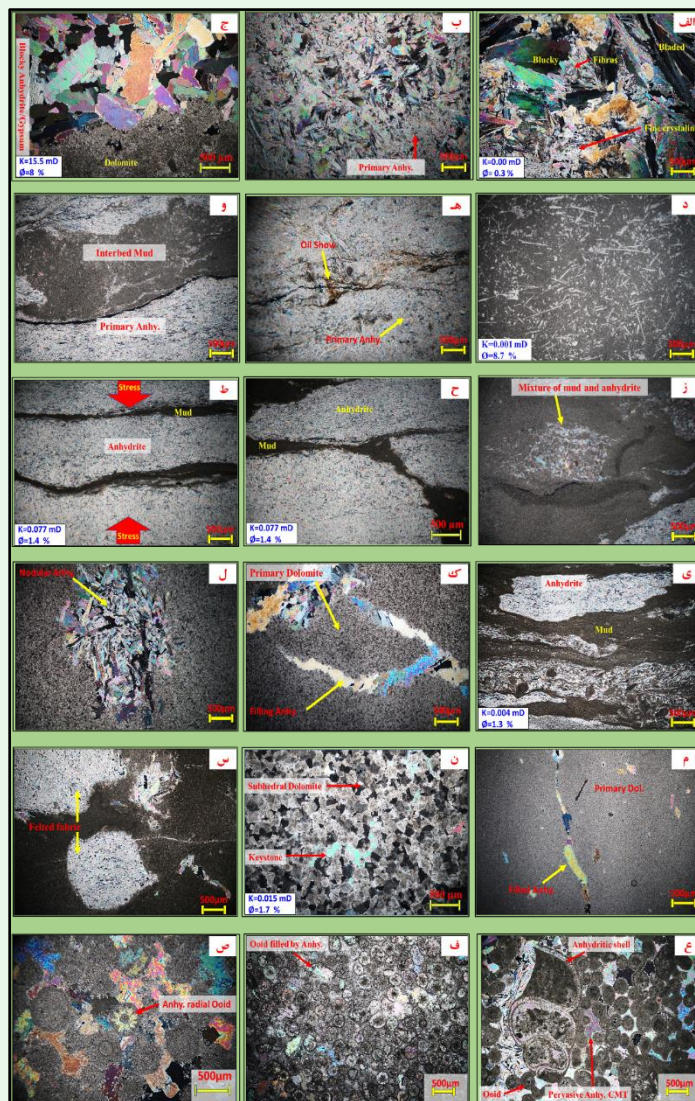
tabasgeopark



unesco
Global Geopark



کد اختصاصی: ۰۳۲۲۰۰۳۰۵۰۱



شکل ۱: الف، ب، ج، د) انواع بلورهای انیدریت. ه) به دام افتادن آثار نفتی در رخساره انیدریت توده ای. و، ز) رخساره انیدریت گلی حاصل امتزاج انیدریت و گل. ح، ط، ی) ساخت های حاصل از امتزاج گل و انیدریت به ترتیب شامل توری مرغی، لامیناسیون و انترولیتی. ک، ل) انیدریت پر کننده شکستگیها و نودلار. م) انیدریت اولیه همزمان با رسوب گذاری در کنار دولومیت های اولیه. ن) ساخت کیستون بر اثر نفوذ سیمان انیدریتی در فضای بین بلورهای دولوستون. س) ایجاد بافت نمدی توسط انیدریت در رخساره مادستون تا دولومادستون. ع، ف) سیمان انیدریتی به شکل فراگیر (Pervasive)، پرکننده بین دانه ها، درون دانه ها و جانشینی در پوسته گاستروپود. ص) سیمان انیدریتی جانشینی در آایدهای شعاعی در محیط پشته سدی بسمت تالاب.

۳- مکانیسم تشکیل تبخیری ها در توالی پرمو-تریاس در بخش مرکزی خلیج فارس



مطالعات انجام شده نشان می دهد که محیط رسوبی پرمو-تریاس یک محیط رمپ هموکلینال است که در آب و هوای گرم و خشک تشکیل شده است. مطالعات نشان داد که نهشته های تبخیری در بخش های کمر بند بالای کشندی، کشندی، تالاب و بخش رو به ساحل پشته سدی (Leeward shoal) می توانند تشکیل شوند. نهشته های تبخیری بالای کشندی بعلاوه عمق کم آب معمولاً بصورت میان لایه های بسیار نازک (کمتر از 10 سانتیمتر) و بصورت توده در رخساره های مادستون انیدریت دار و دولوستون انیدریت دار مشاهده می گردند. ساخت متداول در کمر بند بالای کشندی نهشته های تبخیری ساخت توری مرغی است. رسوبات تبخیری در کمر بند کشندی شامل ساخت کی استون در رخساره پکستون تا گرینستون پلو آئید ریز دانه است. رخساره های تبخیری در کمر بند تالاب شامل انیدریت توده ای و مادستون تا دولومادستون انیدریت دار است. نهشته های تبخیری در این محیط بدلیل عمق بیشتر آب تشکیل میان لایه های ضخیم (بیشتر از 30 سانتیمتر) را در توالی پرمو-تریاس داده اند. تشکیل رخساره مادستون تا دولومادستون انیدریت دار نیز بر اثر نفوذ محلول های فوق اشباع از سولفات کلسیم در محیط دریایی یا فریاتیک ایجاد شده اند. نهشته تبخیری بخش پشته سدی رخساره گرینستون آئیدی انیدریت دار است. در این رخساره فضای خالی بین دانه ها یا درون دانه های آئید بوسیله سیمان انیدریتی در مرحله دیاژنز دریایی فریاتیک و به روش نشستی ایجاد شده اند.

3- تاثیر تبخیری ها بر کیفیت مخزن توالی پرمو-تریاس در بخش مرکزی خلیج فارس

مطالعات زیادی در مورد تاثیر تبخیری ها بر کیفیت مخزنی وجود دارد که در تمام آنها تبخیری ها بعنوان عامل مخرب معرفی شده اند (فرنس). تحقیقات نشان داد با توجه به اینکه تبخیری ها تخلخل و تراوایی بسیار پایینی دارند نمی توانند خاصیت مخزنی داشته باشند. نتایج نشان داد با توجه به نحوه تشکیل و جایگاه تبخیری ها در توالی رسوبی این نهشته ها دارای 2 تاثیر متفاوت بر کیفیت مخزنی هستند.

3-1. تاثیر مخرب تبخیری ها بر کیفیت مخزنی در توالی رسوبی:

مطالعات نشان داد که انیدریت/تپس های دیاژنزی بدلیل نفوذ در فضاهای خالی رسوبات موجب کاهش تخلخل و تراوایی در سنگ شده و کیفیت مخزنی را کاهش می دهند. این نهشته ها بصورت های پرکننده شکستگی ها، فضای بین بلوری و دانه ای، فضای درون دانه ای، و فضاهای خالی دیگر موجود در سنگ شده اند. مطالعات نشان داد که در دیاژنز تدفینی عمیق انیدریت می تواند در مجاورت یون های آهن به پیریت و گاز سولفید هیدروژن تبدیل شود. گاز سولفید هیدروژن علاوه بر ایجاد مشکلات حفاری مخازن گازی موجب کاهش کیفیت گاز استخراج شده از میادین گازی دارد و برای مصارف صنعتی و خانگی مشکلات فراوان ایجاد می کند.

3-2. تاثیر مثبت تبخیری ها بر کیفیت مخزنی در توالی رسوبی:

نهشته های تبخیری اولیه که بصورت میان لایه ای و با حجم قابل توجه در توالی پرموتریاس نهشته شده اند موجب زونبندی مخزن شده اند. این لایه های تبخیری بدلیل نداشتن تراوایی در نقش پوش سنگ (Caprock) موجب تجمع مواد هیدروکربنی در مخزن شده اند و موجب بالا بردن فشار مخزنی شده اند. از طرف دیگر وجود این لایه های نفوذ ناپذیر موجب جلوگیری از بالا آمدن آب های زیر سطح مخزن شده و سطح تماس گاز-آب (Water Gas Contact) را پایین نگه می دارند. به عبارت بهتر می توان چنین گفت که لایه های ضخیم تبخیری مخزن را مانند کیک های لایه لایه به بخش های مختلف تراوا و ناتراوا (Net and Gross) تقسیم می کنند. این لایه ها به دلیل سبزی قابل توجه می توانند بعنوان مرزهای سکانشی نیز در نظر گرفته شوند و از آنها در جهت چینه نگاری سکانشی مخازن استفاده کرد (Tucker et al. 1993).



۵- نتیجه گیری

نتایج نشان داد که انیدریت/ژیپس های توالی پرمو-تریاس به دو شکل اولیه و ثانویه مشاهده می گردد. انیدریت/ژیپس های اولیه که بیشترین حجم تبخیریه را به خود اختصاص می دهد بصورت مستقیم از محلول های هایپر سالین و معمولاً در مجاورت دولومیت نهشته می گردند. این تبخیریه بصورت لایه هایی با ستبرای 0.3-1m تشکیل شده و نقش پوش سنگ مخازن گازی بخش مرکزی خلیج فارس دارند و مخزن را به زونهای مجزایی تقسیم می کنند. تبخیریه های اولیه به دلیل گسترش جانبی و عمودی قابل توجه و نقش پوش سنگ می توانند فشار مخزنی را بالا برده و امکان استخراج از زونهای مختلف را امکان پذیر کنند. در مقابل انیدریت/ژیپس های ثانویه که بصورت دیاژنزی تشکیل شده اند بصورت چیره فضاهای خالی سنگ را اشغال کرده و تراوایی و تخلخل سنگ را بشدت کاهش داده و در پی آن کیفیت مخزنی را پایین می آورند.

منابع

حسین یار، غلامرضا، رحیم پور بناب، حسین. 1390. عوامل کنترل کننده خصوصیات مخزنی رخساره های اوئیدی و مادستونی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی. پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی دانشگاه اصفهان، ص. 1-16.

فخار، مجید، رضائی، پیمان، کریمیان طرقله، امیر. 1400. ریز رخساره ها، شرایط ته نشینی و چینه نگاری سکانشی توالی کربناته-تبخیری سازند کنگان در بخش مرکزی خلیج فارس. پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی دانشگاه اصفهان، شماره 68، ص. 115-146.

Abdolmaleki, J., Tavakoli, V., 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 Engineering*. 141, 90–113, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.01.020>.

Aleali, M., Rahimpour-Bonab, H., Moussavi-Harami, R., 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*. 75: 110–125.

Fakhar, M., Rezaee, P., Karimian Torghabeh, A., 2023. Investigating the reservoir quality of the Early Triassic succession with a new perspective on diagenesis and sequence stratigraphy in the center of the Persian Gulf, South Pars. *Journal of Geoenergy Science and Engineering, Part A*, 212367.

Flügel, E., 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation, and Application*. Springer, New York, p. 996.

Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M., 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.

Tucker, M E., Calvet, F., Hunt, D., Posamentier, H W., Summerhayes, C P., Haq, B U., Allen, GP., 1993. Sequence stratigraphy of carbonate ramps: systems tracts, models and application to the Muschelkalk carbonate platforms of eastern Spain. In *Sequence Stratigraphy and Facies Associations*, 18: 397-415.

Wilson, B.R., 1975. *Carbonate Facies in Geological History*. Springer, Berlin, 471pp. Yang, L., Yu, L., Chen, D., Liu, K., Yang, P., Li, X., 2020. Effects of dolomitization on porosity during various sedimentation-diagenesis processes in carbonate reservoirs. *Minerals* 10 (6), 574.