

Investigate the effect of Sedimentary Environments and Diagenesis Processes on the Reservoir Quality of the Asmari Formation in Kupal field by Combining the Results of Seismic Sequence Stratigraphy, Petrophysical Evaluation, Seismic Attributes and Inversion

Mehdipour, Z.¹  | Shad Manaman, N.¹ 

1. Department of Mining Exploration, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

Corresponding Author E-mail: shmanaman@ut.ac.ir

(Received: 20 March 2023, Revised: 29 April 2023, Accepted: 26 Sep 2023, Published online: 5 May 2024)

Summary

The purpose of the present study is to investigate the effect of sedimentary environments and diagenesis processes on the reservoir quality of the Asmari Formation in Kupal field by combining the results of seismic sequence stratigraphy, petrophysical evaluation, seismic attributes and the inversion of three-dimensional seismic data to determine more precisely the process of changes in the reservoir properties of zones 1 to 5 of the sequences of the carbonate part of the Asmari Formation. In this study, the inversion method was used to extract acoustic impedance from 3D seismic data by Hampson Russell software. There are different methods of inversion of seismic data, according to the available data and the conditions of the Kupal field, in this study, model-based inversion is chosen due to its higher accuracy and separation power.

The special aim of this article is to determine the changes in the reservoir properties of the Asmari formation by combining the results of the inversion of seismic data and seismic indicators with the results of sedimentological studies, sequence stratigraphy.

According to sequence of stratigraphic studies, Asmari Formation has three sequences. The lower sequence is in the sandstone section and the middle and upper sequences are in the carbonate section. According to petrophysical studies, Asmari reservoir has 7 main zones. Zones 1 to 5 are in the upper and middle sequences of the carbonate section, zones 6 and 7 are in the lower sequence of the sandstone section.

After matching the results of inversion with the results of sedimentology, the stratigraphic sequence was identified as the middle sequence, which includes zones 3, 4, and 5. It settled in a carbonate platform sedimentary environment. This sedimentary sequence is influenced by diagenesis factors after deposition and the conditions of the sedimentary environment during deposition. Zones 3, 4, and 5 have sporadic changes in acoustic impedance indicators, layer thickness, and porosity. The most important factor of these changes can be due to the presence of mounds and reefs in these sediments. According to the dissolution or cementation of reefs, these zones may have high porosity and low impedance (dissolution) or low porosity and high impedance (cementation) in reefs.

The final sequence of the Asmari formation, which includes zones 1 and 2, was deposited in the Sabkhai environment. This condition has caused primary or secondary porosity between the dolomite crystals. The changes in porosity and acoustic impedance and the amplitude of zones 1 and 2 are very small. Due to the low depth of the sedimentary basin, we see the activity of river systems in some places, which have caused erosion and deposition. The sediments of these rivers can have high porosity and low acoustic impedance. These sediments have high reservoir quality.

The implications of this study suggest that in Maron and Aghajari fields are adjacent to the Kupal field and they have three-dimensional seismic data. Coincidentally, they can indicate a interpretation of three-dimensional seismic data and stratigraphic seismic sequence in these fields.

Keywords: Carbonate Reservoir, Acoustic Impedance, Seismic Inversion, Porosity, Diagenesis Processes.

Cite this article: Mehdipour, Z., & Shad Manaman, N. (2024). Investigate the effect of Sedimentary Environments and Diagenesis Processes on the Reservoir Quality of the Asmari Formation in Kupal field by Combining the Results of Seismic Sequence Stratigraphy, Petrophysical Evaluation, Seismic Attributes and Inversion. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(1), 93-112. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.356145.1007506>

E-mail: (1) mehdipourzargham52@gmail.com



Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.356145.1007506>

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

بررسی تأثیر محیط‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان کوپال با استفاده از تلفیق نتایج چینه‌نگاری لرزه‌ای، ارزیابی پتروفیزیکی، نشانگرها و وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای سه‌بعدی

ضرغام مهدی‌پور^۱ | نوید شادمان^۱ ✉

۱. گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: shmanaman@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۹، بازنگری: ۱۴۰۲/۲/۹، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۷/۴، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۲/۱۶

چکیده

سازند آسماری مخزن اصلی میدان کوپال متشکل از دو توالی کاملاً مشخص رسوبات آواری در قسمت تختانی و کربناته در قسمت فوقانی می‌باشد. مخزن آسماری دارای ۷ زون اصلی است، زون‌های ۱ الی ۵ در بخش کربناته، زون‌های ۶ و ۷ در بخش ماسه‌سنگی می‌باشند. هدف اصلی این مقاله، بررسی تأثیر محیط‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی زون‌های ۱ الی ۵ بخش کربناته سازند آسماری به‌وسیله تلفیق نتایج مطالعات زمین‌شناسی با نتایج وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای سه‌بعدی است. جهت تعیین محیط‌های رسوبی سازند آسماری مقاطع نازک و مغزه‌ها بررسی شده است ولی به‌علت این که این اطلاعات محدود به اطراف چاه هستند، تعیین نحوه گسترش ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. ابتدا مقاومت صوتی از اطلاعات لرزه‌ای سه‌بعدی با روش وارون‌سازی بر پایه مدل به‌وسیله نرم افزار همپسون استخراج شد. سپس نتایج وارون‌سازی با نتایج مطالعات رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری لرزه‌ای انطباق داده شد، مشخص شد که زون‌های ۳، ۴ و ۵ به‌صورت پراکنده دارای تغییرات مقاومت صوتی و نشانگر دامنه و میزان تخلخل می‌باشند. مهم‌ترین عامل این تغییرات می‌تواند بر اثر انحلال یا سیمانی شدن اشکال کربناته (ریف) موجود در این توالی کربناته باشد. زون‌های ۱ و ۲ در بعضی نقاط دارای تغییرات بسیار زیاد مقاومت صوتی و نشانگر دامنه و تخلخل می‌باشند. این تغییرات می‌تواند بر اثر فعالیت فرسایشی رودخانه مائندری و رسوب‌گذاری رسوبات متخلخل باشد. از ویژگی‌های این مقاله تعیین مکانی ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها می‌باشد. با تعیین دقیق مکانی این پدیده‌های محیطی می‌توان مکان‌هایی که دارای رسوبات با کیفیت مخزنی خوب هستند، جهت حفاری پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: مخزن کربناته، مقاومت صوتی، وارون‌سازی لرزه‌ای، تخلخل، دیاژنز.

۱. مقدمه

(ارنبرگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ آدابی و همکاران، ۲۰۰۸؛ علوی، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۴؛ آورجانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ دباغ و همکاران، ۲۰۲۱؛ هنرمند و امینی، ۲۰۱۲؛ مصدق و همکاران، ۲۰۰۹؛ صادقی و همکاران، ۲۰۱۱؛ رحمانی و همکاران، ۲۰۱۲؛ صیرفیان و همکاران، ۲۰۱۱). هتروژن بودن رسوبات توالی‌های مختلط کربنات سیلیسی باعث می‌شود مخازنی که جنس‌شان از این رسوبات است دارای خواص مخزنی بسیار متغیر باشند. یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که محققین در اکتشاف و

سازند آسماری یک توالی رسوبی مختلط کربناته سیلیسی آواری می‌باشد (جعفری و همکاران، ۲۰۲۰؛ امیرشاه کرمی و همکاران، ۲۰۰۷؛ اکراوی و همکاران، ۲۰۰۶؛ اکراوی و ونبرگ، ۲۰۰۷). رسوبات مختلط کربنات سیلیسی آواری با توجه به این که ۸۰ درصد نفت مخازن ایران را در خود جای داده‌اند (اسرافیلی و رحیم‌پور بناب، ۲۰۱۹؛ غضبان، ۲۰۰۷)، توسط پژوهشگران زیادی از نظر ترکیب کانی‌شناسی، نحوه رسوب‌گذاری، محیط رسوب‌گذاری در میداین جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار گرفته‌اند

استناد: مهدی‌پور، ضرغام و شادمان، نوید (۱۴۰۳). بررسی تأثیر محیط‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان کوپال با استفاده از تلفیق نتایج چینه‌نگاری لرزه‌ای، ارزیابی پتروفیزیکی، نشانگرها و وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای سه‌بعدی. مجله فیزیک زمین و فضا، ۵۰(۱)، ۹۳-۱۱۲. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.356145.1007506>

رایانامه: (۱) mehdipourzargham52@gmail.com

صوتی است. مقاومت صوتی یکی از داده‌های می‌باشد که با مشاهده تغییرات آن در یک لایه با ویژگی‌های سنگ‌شناسی مشخص، می‌توان به تغییرات رخساره سنگی در لایه پی‌برد؛ بنابراین مقاومت صوتی به‌عنوان یک نشانگر لرزه‌ای عمل می‌کند. برای وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای روش‌های مختلفی می‌باشد، که از آن جمله می‌توان روش بر پایه مدل (Model Based) را نام برد. این روش نخستین‌بار توسط کوک و اشنايدر (۱۹۸۳) معرفی شد. برخلاف روش‌های وارون‌سازی بازگشتی (Recursive Inversion) که دارای حساسیت به نوفه موجود در اطلاعات لرزه‌ای می‌باشد. روش وارون‌سازی بر پایه مدل حساسیت کمتری دارد (راسل، ۱۹۸۸). مدل اولیه و نوع موجک از فاکتورهای مؤثر در نتایج این روش محسوب می‌شوند.

سازند آسماری مخزن اصلی میدان کوپال می‌باشد. این سازند حدود ۴۰۰ متر ضخامت دارد. دارای ۷ زون و دو زیر زون می‌باشد. زون یک به‌صورت دگرشیب و چین‌خوردگی مشخص در زیر سازند تبخیری گچساران قرار دارد و زون ۷ به‌صورت تدریجی در تماس با سازند پابده می‌باشد. سازند آسماری متشکل از دو توالی کاملاً مشخص رسوبات آواری در قسمت تحتانی و رسوبات کربناته در بخش فوقانی می‌باشد. ون‌بوخم و همکاران (۲۰۱۰) براساس مطالعات زیست‌چینه‌ای و رسوب‌شناسی پیشنهاد داد میدان کوپال در زمان شاتین در قسمت عمیق این حوضه بوده و در زمان آکی‌تاین و بوردیگالین در بخش میانی و ساحلی پلاتفرم قرار داشته است (شکل ۵ و ۶). امیری (۱۳۹۰) به‌وسیله مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی و نمودارهای چاه‌پیمایی مدل رمپ کربناته را برای سازند آسماری میدان کوپال پیشنهاد داد (شکل ۵). نیکفرد (۱۴۰۱) با استفاده از مطالعات چینه‌شناسی و چینه‌نگاری لرزه‌ای (Seismic Sequence Stratigraphy) توالی رسوبات سازند آسماری را بررسی کردند و سه سکانس مجزای برای این سازند معرفی کردند.

با توجه به این‌که بخش کربنات سازند آسماری میدان کوپال تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی در حین

توسعه بهره‌برداری از میداین هیدروکربنی با آن مواجه بوده‌اند در رابطه با عدم قطعیت مدل‌های پیشنهادی است. مخازن مخلوط کربنات سیلیسی اغلب دارای پیچیدگی فراوانی می‌باشند. اگر این توالی‌ها به‌وسیله روش‌های مرسوم ژئوفیزیکی و مطالعات رسوب‌شناسی مطالعه شوند، قطعاً نتایج دارای عدم قطعیت بسیار خواهند بود. گسترش استفاده از اطلاعات لرزه سه‌بعدی باعث پیشرفت در پیش‌بینی نحوه تغییرات شکل هندسی لزه‌های ماسه‌ای و ساختار کربنات با میزان ریسک کم شده است. اطلاعات لرزه‌ای در پیش‌بینی لیتولوژی و تغییرات سیال نتایج واقعی‌تری را به ما می‌دهند. این مزایا باعث شد که مدل‌سازی و وارون‌سازی از تکنیک‌های بسیار کاربردی در صنعت نفت باشند.

مدل‌سازی وارون‌سازی ژئوفیزیکی عبارت است از به نقشه درآوردن ساختار فیزیکی و خواص لایه‌های زیر سطحی زمین با استفاده از اندازه‌گیری‌هایی که در سطح زمین انجام می‌پذیرد (راسل، ۱۹۸۸؛ شریف و گلدرت، ۱۹۹۵). وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای را می‌توان به‌عنوان مدل‌سازی وارون‌سازی در نظر گرفت. هدف از وارون‌سازی لرزه‌ای تخمین مقاومت صوتی جهت بررسی بهتر مخزن از نظر سنگ‌شناسی، تخلخل و محیط سیال مخزنی می‌باشد (آنسلمتی و ابرلی، ۱۹۹۷؛ ماریون و جزبا، ۱۹۹۷). برای وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای و رسیدن به مدل زمین‌شناسی روش‌های مختلفی وجود دارد که هر روشی از دیدگاه خاصی این مدل را مورد بررسی قرار می‌دهد (بیتینگ و بیکن، ۱۹۹۹؛ وجب و کریستین، ۲۰۰۰). در وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای سعی می‌شود از ترکیب داده‌های لرزه‌ای با سایر داده‌های موجود مانند داده‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس و داده‌های حاصل از نمودارهای چاه، اطلاعاتی به دست بیاید که به راحتی بتوان آنها را به خصوصیات نظیر نوع سنگ، میزان تخلخل، میزان هیدروکربن مرتبط کرد (ماور و راسموسن، ۱۹۹۵؛ بیتینگ و بیکن، ۱۹۹۹؛ ون‌ریل، ۲۰۰۰؛ استوری و همکاران، ۲۰۰۰؛ ویکن و داسیلوا، ۲۰۰۴). یکی از این نتایج حاصل وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای مقاومت

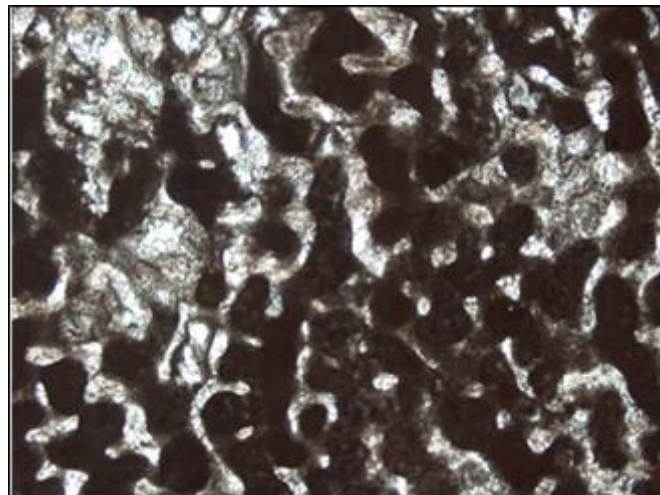
مشخص کند (شکل ۲ و ۳). با تعیین دقیق مکانی این پدیده‌های محیطی می‌توان مکان‌هایی که دارای شرایط مخزنی مناسبی هستند جهت حفاری پیشنهاد داد.

هدف از این مقاله ارائه تحلیل بهتری از نحوه تغییرات سنگ‌شناسی و خواص مخزن زون‌های ۱ تا ۵ بخش کربناته با استفاده از تلفیق نتایج مطالعات رسوب‌شناسی و پتروفیزیکی و چینه‌نگاری لرزه‌ای با نتایج حاصل از وارون‌سازی اطلاعات لرزه سه‌بعدی می‌باشد. لازم به ذکر است که این تحقیق برای اولین بار بر روی سازند آسماری میدان کوپال انجام می‌شود.

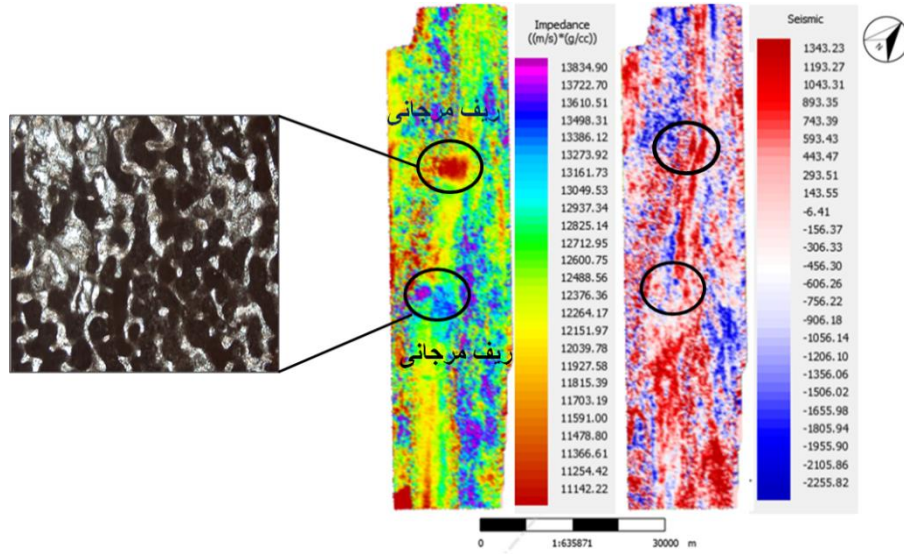
۲. موقعیت میدان کوپال

از نظر جغرافیایی میدان نفتی کوپال در مناطق نفت‌خیز جنوب قرار دارد. میدان کوپال از سمت جنوب شرق به میدان آغاچاری، از شمال شرق به میدان هفتکل و از جنوب غرب به میدان مارون ختم می‌شود (شکل ۴). از دیدگاه ساختمانی این میدان در زون چین خورده و رورانه زاگرس واقع می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۲). مطالعات سطحی و زیر سطحی نشان می‌دهد که ستون سنگ چینه‌ای ترشیاری زاگرس در میدان کوپال دارای روند نرمال می‌باشد. سازندهای بختیاری، آغاچاری، گچساران، میشان، آسماری، پابده در این میدان قابل مشاهده می‌باشند.

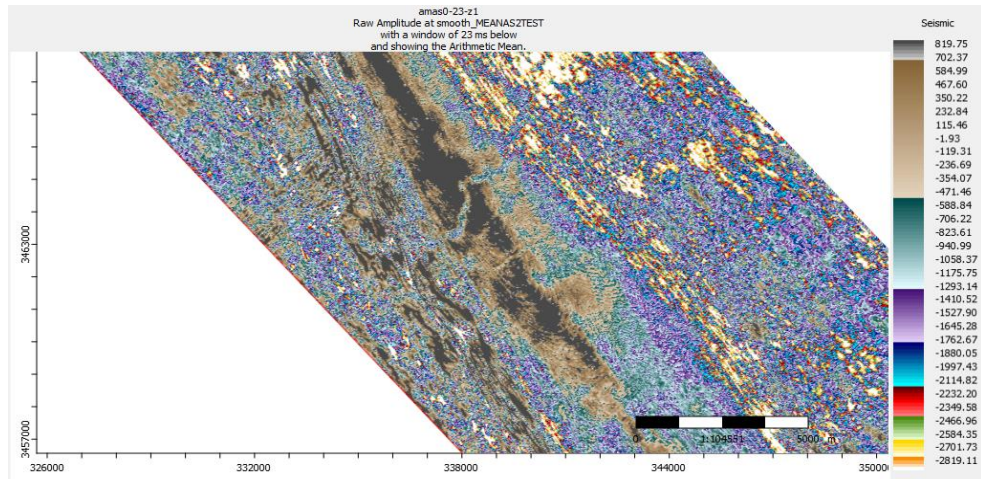
رسوب‌گذاری و بعد از رسوب‌گذاری است لذا دارای پیچیدگی بسیار زیادی می‌باشد. ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها دو پدیده مؤثر بر خواص مخزنی توالی‌های کربنات هستند. محتوای فسیلی بخش کربناته سازند آسماری متشکل از فرامینفرهای بنتیک بزرگ و نمولیتیدها به صورت متورم و کشیده و خرده‌های فراوان کورالیناسه می‌باشد (شکل ۱). با توجه به محتوای فسیلی این بخش، محیط رسوبی کم‌عمق، حاشیه پلتفرم همراه با ریف‌های مرجانی برای بخش میانی سازند آسماری پیشنهاد شده است (نیکفرد، ۱۴۰۱؛ امیدپور، ۱۳۸۳). همچنین با وجود دولومیت‌های مضرس و داشتن لایه‌های ماسه‌سنگ پراکنده، محیط رسوبی سبخایی و لاگون به همراه رودخانه مئاندری برای قسمت فوقانی سازند آسماری پیشنهاد شده است (نیکفرد، ۱۴۰۱) (شکل ۳). نیکفرد (۱۴۰۱) و امیدپور (۱۳۸۳) جهت تعیین محیط رسوبی سازند آسماری مقاطع نازک میکروسکوپی و مغزه‌های حفاری مورد بررسی قرار دادند؛ ولی به علت این که اطلاعات چاه‌پیمایی محدود به اطراف چاه می‌باشد، امکان تعیین محل دقیق و نحوه گسترش ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها وجود نداشت. این مقاله سعی بر آن دارد با استفاده از تلفیق و تطبیق نتایج مطالعات رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی با مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای سه‌بعدی محل احتمالی و روند تغییرات ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها را در بخش کربناته



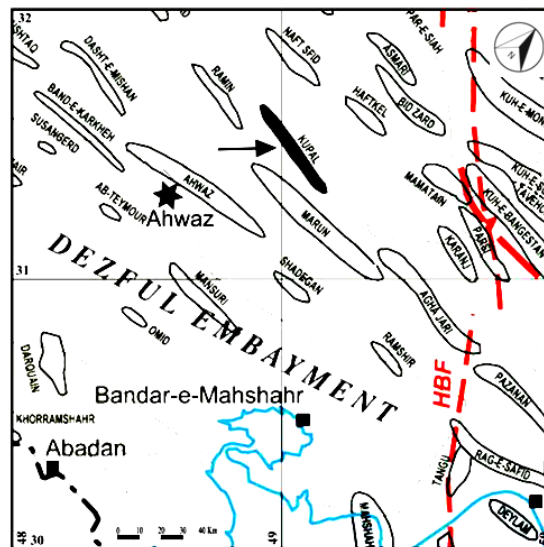
شکل ۱. مقطع نازک میکروسکوپی مرجان‌های سازند آسماری در چاه ۶ میدان کوپال.



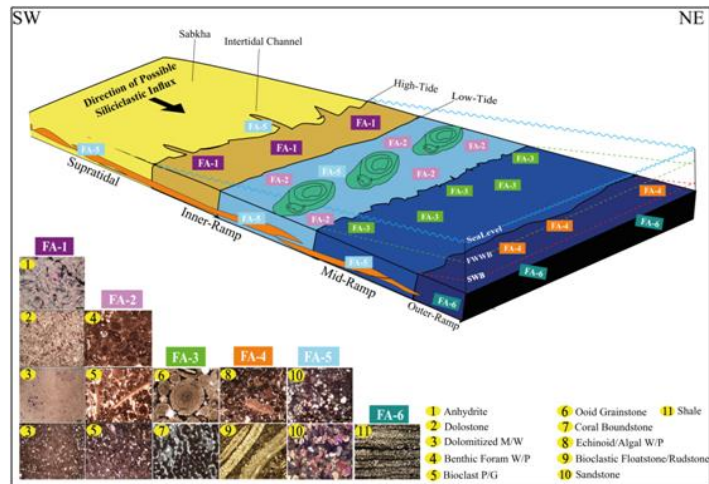
شکل ۲. برش مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای و نشانگر دامنه در امتداد افق زون ۵ به‌همراه مقطع نازک میکروسکوپی ریف مرجانی.



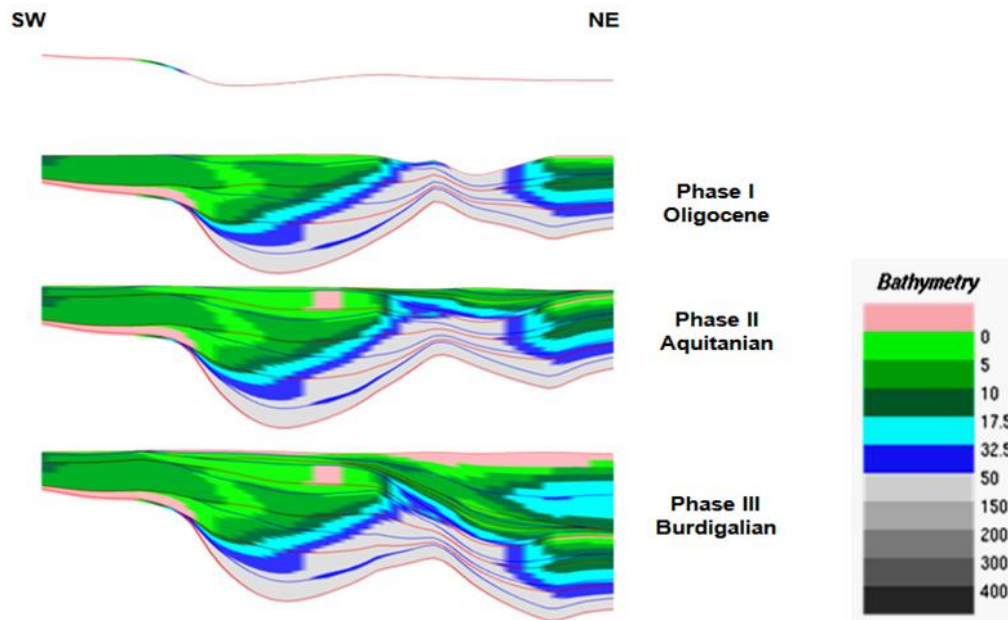
شکل ۳. برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۱ (grid slice) رودخانه مئاندری در آن به‌وضوح قابل مشاهده می‌باشد، امتداد رودخانه از جنوب شرق به سمت شمال غرب می‌باشد.



شکل ۴. نقشه شماتیک از میداین مناطق نفت‌خیز جنوب غرب ایران و موقعیت میدانی نفتی کوپال در فروافتادگی دزفول، میدان کوپال در مجاورت میداین مارون آغاچاری هفتکل می‌باشد (مطبعی، ۱۳۷۲).



شکل ۵. مدل رسوب‌گذاری سازند آسماری میدان کوپال، دریای آسماری دارای چهار بخش رمپ خارجی، رمپ میانی، رمپ داخلی و ساحلی می‌باشد (امیری، ۱۳۹۰).



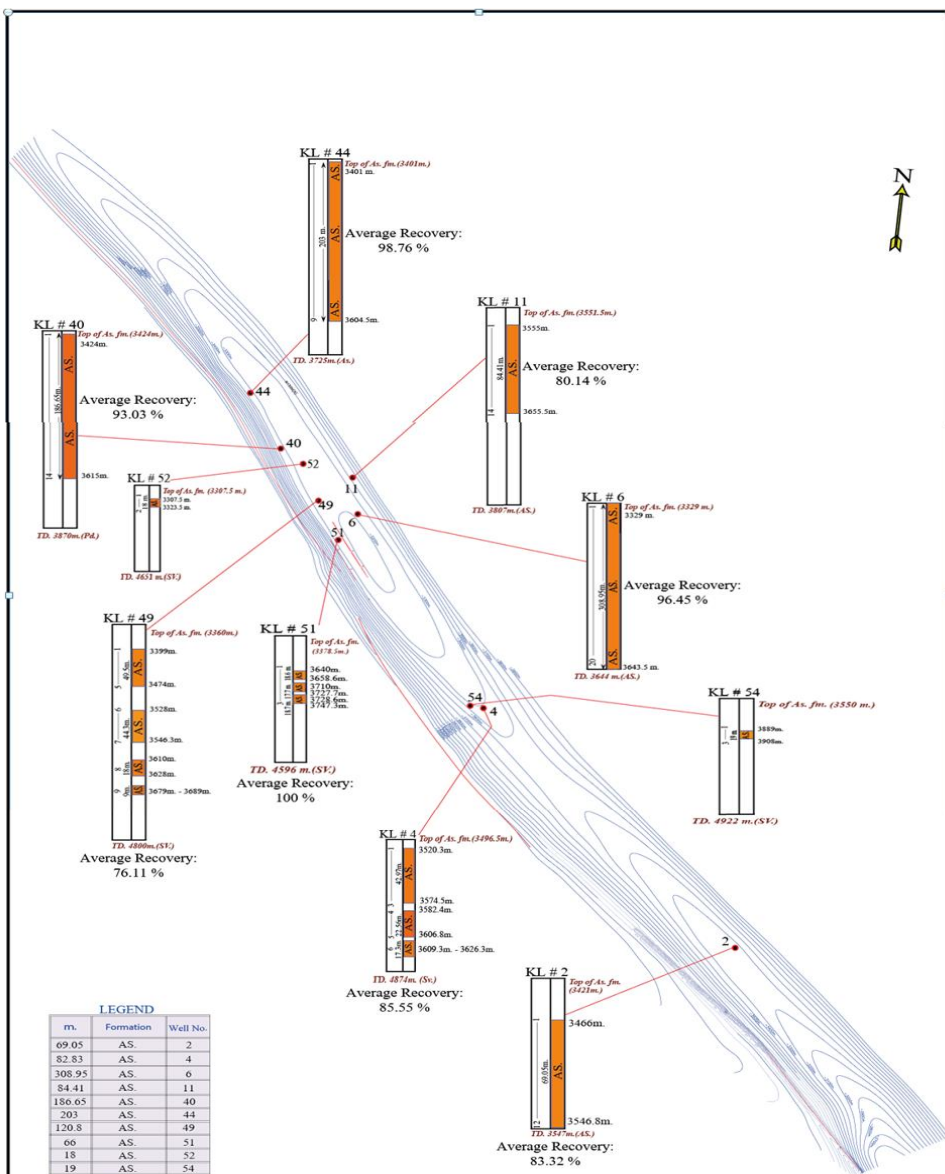
شکل ۶. تغییرات نحوه رسوب‌گذاری دریای آسماری در زمان الیگوسن زمین‌شناسی، در زمان الیگوسن دریای آسماری در منطقه زاگرس عمیق بوده، در زمان آکی تائین دریای آسماری در منطقه زاگرس نیمه‌عمیق بوده و در زمان بوردیگالین دریای آسماری در منطقه زاگرس کم‌عمق بوده است (ون‌بوخم و همکاران، ۲۰۱۰).

۳. داده‌ها و شیوه پژوهش
 پروژه لرزه‌نگاری سه‌بعدی میدانی آغاجاری، مارون و کوپال توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در سال‌های ۸۴ و ۸۵ در منطقه وسیعی به وسعت ۳۰۰۰ کیلومتر مربع انجام شد. منطقه پروژه در ۶۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز واقع می‌باشد. فاصله نمونه‌برداری داده‌های لرزه‌ای ۴ میلی‌ثانیه می‌باشند. طول موج غالب در این داده‌ها ۱۵ الی ۲۵ متر می‌باشد.

سرعت بین لایه‌ای سطحی در حدود ۱/۵ تا ۲/۵ کیلومتر بر ثانیه می‌باشد. همچنین میدان کوپال دارای ۵۷ حلقه چاه می‌باشد. نمودارهای مختلف از جمله جرم‌مخصوص، نوترون، صوت و گاما در چاه‌ها اندازه‌گیری شده است. تمامی اطلاعات نمودارگیری مربوط توالی مخزنی آسماری می‌باشند. مغزه‌گیری از سازند آسماری در ۱۰ حلقه انجام شده است (شکل ۷). از مغزه‌های حفاری ۵۶۰ مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده

(راسل، ۱۹۸۸). جهت تعیین درک بهتر از علل تغییرات سنگ‌شناسی و خواص مخزنی نیاز به بررسی‌ها و تحلیل نتایج مطالعات رسوب‌شناسی و پتروفیزیک و چینه‌نگاری می‌باشد. لذا نتایج مطالعات پتروفیزیک که مرتبط با خواص مخزنی (تخلخل، تغییرات ضخامت زون‌های مخزنی) است، بررسی شدند، در ادامه نتایج مطالعات رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری لرزه‌ای و مدل‌های رسوبی پیشنهادی ارزیابی شد. در مرحله پایانی نتایج مطالعات رسوب‌شناسی، پتروفیزیک و چینه‌نگاری با مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی بر مدل پایه تلفیق شدند.

است. در مرحله اول تحقیق، مقاومت صوتی (Acoustic Impedance) توالی رسوبی سازند آسماری با استفاده از روش وارون‌سازی بر پایه مدل از اطلاعات لرزه‌ای سه‌بعدی استخراج شد. مراحل وارون‌سازی لرزه‌ای شامل انطباق نمودارها با اطلاعات لرزه‌ای، استخراج موجک، ساختن مدل زمینه‌ای مقاومت صوتی اطلاعات لرزه‌ای به وسیله روش‌های آماری می‌باشد. جهت انجام وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای از نمودارهای چاه‌پیمایی ۱۷ حلقه چاه استفاده شده است. به وسیله تغییرات در مقاومت صوتی می‌توان تغییرات سنگ‌شناسی و خصوصیات مخزنی را به صورت نسبی بررسی کرد



شکل ۷. منحنی هم‌عمق سر سازند آسماری و مکان‌های ده حلقه چاه دارای مغزه حفاری سازند آسماری میدان کوپال.

۴. مراحل انجام پژوهش

۴-۱. بررسی نتایج مطالعات قبلی زمین‌شناسی و پتروفیزیکی

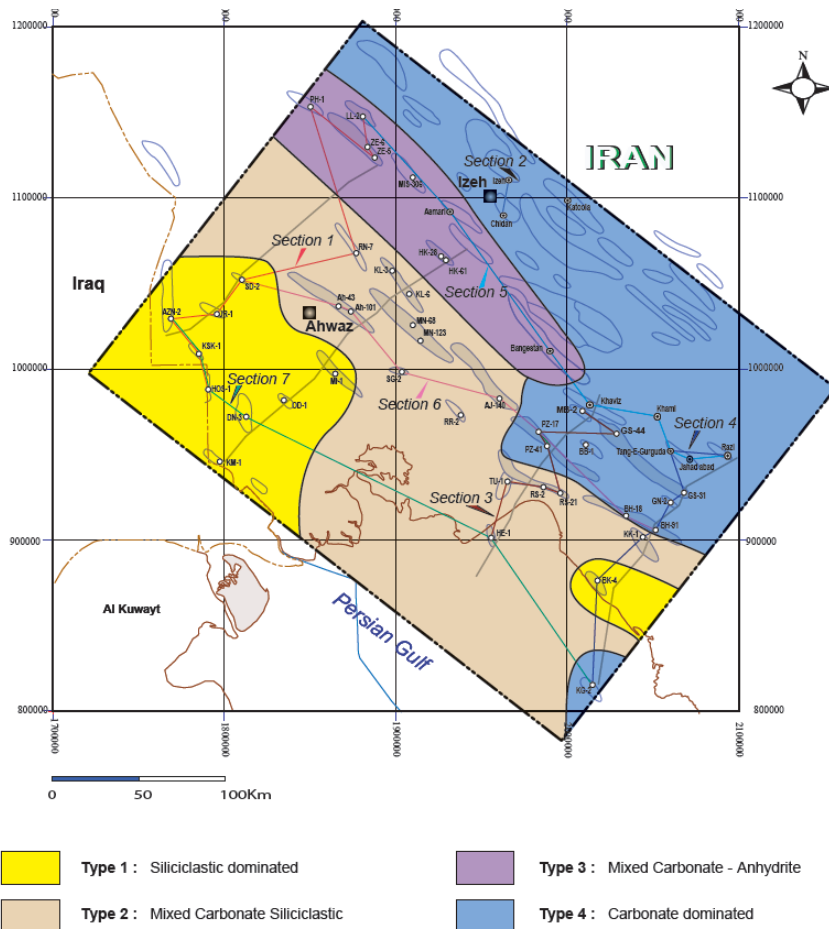
جهت بررسی مشخصات سنگ‌شناسی از روی مغزه‌های حفاری مرز واحدهای مختلف با یکدیگر، ساخت‌های رسوبی (در صورت وجود)، ماهیت واحدها (ریزشوندگی یا درشت‌شوندگی)، عوارض دیاژنتیکی ماکروسکوپی و وضعیت شکستگی‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. جهت نام‌گذاری سنگ‌های آواری از طبقه‌بندی پتی‌جان (۱۹۷۵) و برای نام‌گذاری سنگ‌های کربناته از طبقه‌بندی دانهام (۱۹۶۲) و در مواردی نیز از طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) و ویلسون (۱۹۷۵) و تاکر (۲۰۰۱) استفاده شد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده از دیدگاه زمین‌شناسی سازند آسماری میدان کوپال دارای دو بخش عمده شامل بخش کربناته و بخش تخریبی می‌باشد (امیدپور، ۱۳۸۳). رسوبات کربناته سازند آسماری در زمان زمین‌شناسی آکی‌تاین و بوردیگالین ته‌نشست شده‌اند (نیکفرد و همکاران، ۲۰۲۰). سازند آسماری در یک محیط پلاتفرم مختلط کربنات-سیلیسی آواری از نوع رمپ هم‌شیب (Homoclinal) نهشته شده است (امیدپور و همکاران، ۲۰۲۱؛ ون‌بوخم و همکاران، ۲۰۱۰) (شکل ۵ و ۸). با توجه به اهمیت رخساره‌های محیط‌های پلاتفرم مختلط کربناته-سیلیسی آواری (Mixed Carbonate-Siliciclastic) افراد زیادی این رخساره‌ها را مورد مطالعه قرار دادند عبارت‌اند از آورجانی و همکاران (۲۰۱۵)، وزیری مقدم و همکاران (۲۰۰۶)، هالند-هنسن و مارتینسن (۱۹۹۸)، شب افروز و همکاران (۲۰۱۵)، براندانو و همکاران (۲۰۰۹a)، براندانو و همکاران (۲۰۰۹b)، گیل (۲۰۰۰)، امیرشاه‌کرمی و همکاران (۲۰۰۷)، اله کرم پور دیل و همکاران (۲۰۱۸)، هاول و همکاران (۲۰۰۸)، آدامز (۱۹۶۹) و آدامز و بورژوا (۱۹۶۷). نیکفرد (۱۴۰۱) پس از بررسی اطلاعات لرزه‌ای، سه چینه لرزه‌ای در سازند آسماری تشخیص دادند عبارت‌اند از سکانس اول، شامل رسوبات

ماسه‌آواری با سن شاتین که دارای بازتاب‌های نامنظم و متقاطع می‌باشند. سکانس دوم، شامل رسوبات کربناته با سن آکی‌تاین (Aquitaniens) به صورت بازتاب‌های موازی و در بعضی مواقع کلینفرم (clinoform) می‌باشند. سکانس پایانی، شامل رسوبات دولومیتی و آهک دولومیتی با سن بوردیگالین (Burdigalian) می‌باشد که دارای بازتاب‌های موازی می‌باشند.

مطالعات پتروفیزیکی چاه‌های میدان کوپال بر روی نمودارهای چاه‌پیمایی که شامل جرم‌مخصوص، نوترون، اشعه گاما و مقاومت می‌باشد، انجام شد. از این نمودارها برای تعیین لیتولوژی و مرز بین واحدها (در جاهایی که مغزه و خرده‌های حفاری موجود نبود) و ریزشوندگی یا درشت‌شوندگی واحدهای تخریبی و تفکیک بخش‌های مختلف یک سکانس و تشخیص سطوح اصلی لایه‌بندی استفاده شده است.

۴-۲. زون بندی سازند آسماری

جهت تعیین زون‌های مختلف سازند آسماری مقاطع نازک میکروسکوپی و مغزه‌های حفاری و نمودارهای چاه‌پیمایی و ارزیابی‌های پتروفیزیکی (شامل احجام کانی‌ها، اشباع‌شدگی و تخلخل) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مطالعه مغزه‌های حفاری و مقاطع نازک میکروسکوپی تغییرات سنگ‌شناسی، ساخت‌های رسوبی، دانه‌بندی (ریزشوندگی یا درشت‌شوندگی)، عوارض دیاژنتیکی (سیمان‌شدگی و انحلال) مشخص شد. بر اساس نمودارهای چاه‌پیمایی که شامل جرم‌مخصوص، نوترون، اشعه گاما و ارزیابی‌های پتروفیزیکی (احجام کانی‌ها، اشباع‌شدگی و تخلخل) تغییرات سنگ‌شناسی و ریزشوندگی یا درشت‌شوندگی واحدهای تخریبی و خواص مخزنی (اشباع‌شدگی و تخلخل) تعیین شد. بر اساس مطالعات پتروفیزیکی، زمین‌شناسی می‌توان سازند آسماری را به ۷ زون و ۴ زیر زون تقسیم کرد. زون‌های ۶ و ۷ دارای دو زیر زون می‌باشند (شکل ۹).



شکل ۸. شرایط رسوب‌گذاری دریای آسماری در منطقه زاگرس، میدان کوپال در بخش خاکستری (کربنات-سیلیسی) قرار دارد (ون‌بوخم و همکاران، ۲۰۱۰).

میزان تخلخل مفید و اشباع آب در این زون به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۱۱۵ و ۰/۳۹ و ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۶۷ می‌باشد.

۴-۲-۲. زون ۲

این زون با یک لایه شیلی یا ماسه‌ای شروع و به یک لایه متراکم آهکی ختم می‌شود. سنگ‌های این زون اغلب دولومیتی همراه با سنگ آهک‌های سفید می‌باشند. تغییرات زیادی در ضخامت و تخلخل آن مشاهده نمی‌شود. یکنواختی نسبی ضخامت حقیقی آن به میزان متوسط ۳۵ متر در سرتاسر میدان برقرار می‌باشد. نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۴۰ محاسبه شده است. میزان تخلخل مفید و اشباع آب به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۵۳ می‌باشد. توزیع تخلخل مفید زون ۲ در تمام میدان دارای تغییرات زیادی نمی‌باشد. بیشترین مقدار

۴-۲-۱. زون ۱

حد بالایی این زون آخرین لایه انیدریتی پوش سنگ می‌باشد. مرز پایینی آن سر زون ۲ می‌باشد که در اکثر قسمت‌های میدان با یک لایه نازک شیل و یا ماسه سنگ آغاز می‌شود. این زون عمدتاً از دولومیت، همراه با لایه‌های آهک دولومیتی تشکیل شده است. ضخامت حقیقی این زون به‌طور میانگین ۵۵ متر می‌باشد و به سمت غرب مخزن روند افزایشی را نشان می‌دهد (مالگرد، ۱۳۹۱؛ امیری، ۱۳۹۰). با توجه به این که زون ۱ در شرایط رسوب‌گذاری پهنه سبخایی تشکیل شده است این موضوع باعث فراهم آمدن شرایط دولومیتی شدن و ایجاد تخلخل اولیه به صورت بین کریستال می‌شود، لذا تغییرات تخلخل در این زون دارای نوسان کمی می‌باشد. اختلاف میزان تخلخل مفید این زون در میدان اندک است در محدوده چاه ۳۳ تا ۳۶ بالاترین مقدار را دارا می‌باشد.

تخلخل از چاه شماره ۴۱ به سمت غرب (نیمه غربی میدان) مشاهده می شود (امیری، ۱۳۹۰).

۳-۲-۴. زون ۳

این زون در اکثر قسمت های مخزن با یک لایه دولومیت یا آهک دولومیتی متخلخل آغاز و به یک لایه شیل ختم می شود. عمده سنگ های این زون دولومیت و دولومیت های آهکی می باشد که به صورت پراکنده دارای نازک لایه هایی از ماسه سنگ می باشد. ضخامت زون ۳ به جز در دامنه شمالی و قسمت غربی میدان، در بقیه میدان به طور میانگین ۴۶ متر می باشد. تخلخل مفید و اشباع آب در زون ۳ به طور میانگین به ترتیب ۰/۱۰۲ و ۰/۴۴ و نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۵۷ می باشد. نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۵۷ بوده و میزان تخلخل مفید از مرکز به سمت غرب مخزن افزایش چشم گیری را نشان می دهد.

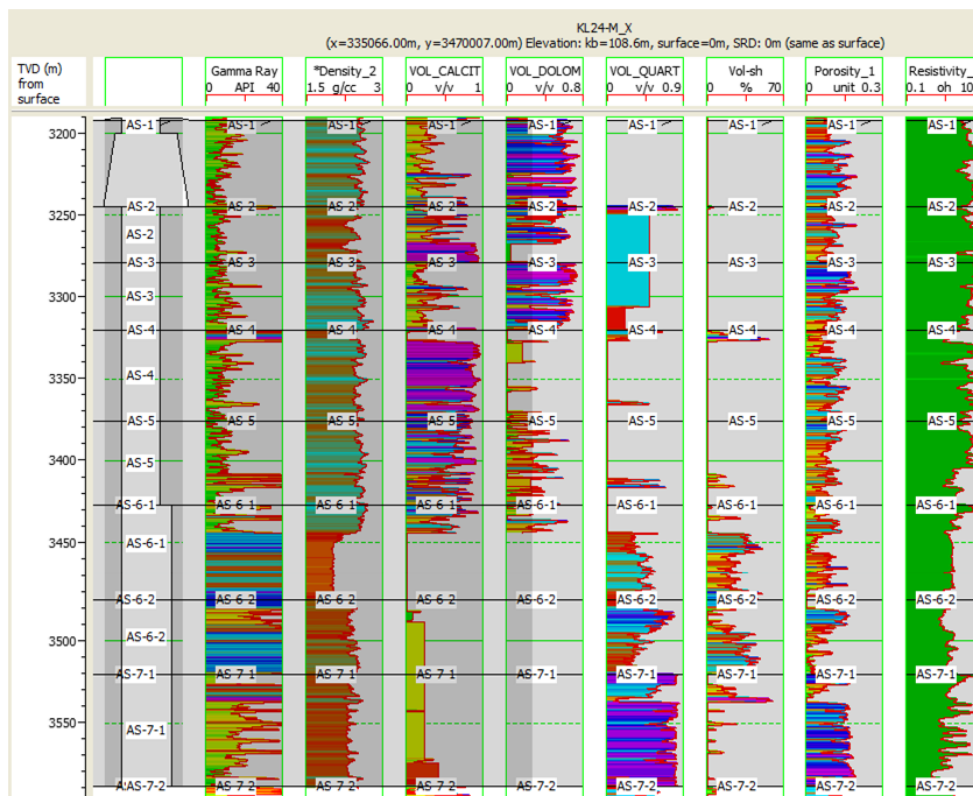
۴-۲-۴. زون ۴

حد بالایی این زون، یک لایه شیلی و شروع مرز پایینی

آن یک لایه سنگ آهک متراکم می باشد. عمده سنگ های تشکیل دهنده این زون سنگ آهک می باشد. به طور پراکنده در اغلب چاه های میدان لایه های نازکی از ماسه سنگ دیده می شود. ضخامت این زون به طور متوسط ۵۲ متر است. نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۴۲ و میزان تخلخل مفید و اشباع آب در این زون به طور میانگین به ترتیب ۰/۰۷۶ و ۰/۵۰ می باشد.

۵-۲-۴. زون ۵

عمده سنگ های تشکیل دهنده این زون سنگ آهک می باشد. قاعده این زون به یک لایه ماسه سنگ یا شیل ختم می شود. این زون عمدتاً حاوی بافت های مادستون و وکستون بوده و در بعضی قسمت های دولومیت ها حالت بلورین می باشند. میانگین ضخامت این زون ۵۴ متر است. میانگین مقدار تخلخل مفید مخزن ۰/۰۷۸، نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۲۵ می باشد. میانگین مقدار تخلخل مفید و اشباع آب مفید به ترتیب ۰/۰۷۸ و ۰/۶۴ و نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۲۵ می باشد.



شکل ۹. زون های مخزنی سازند آسماری و نمودارهای چاه پیمایی در چاه ۲۴ میدان کوپال.

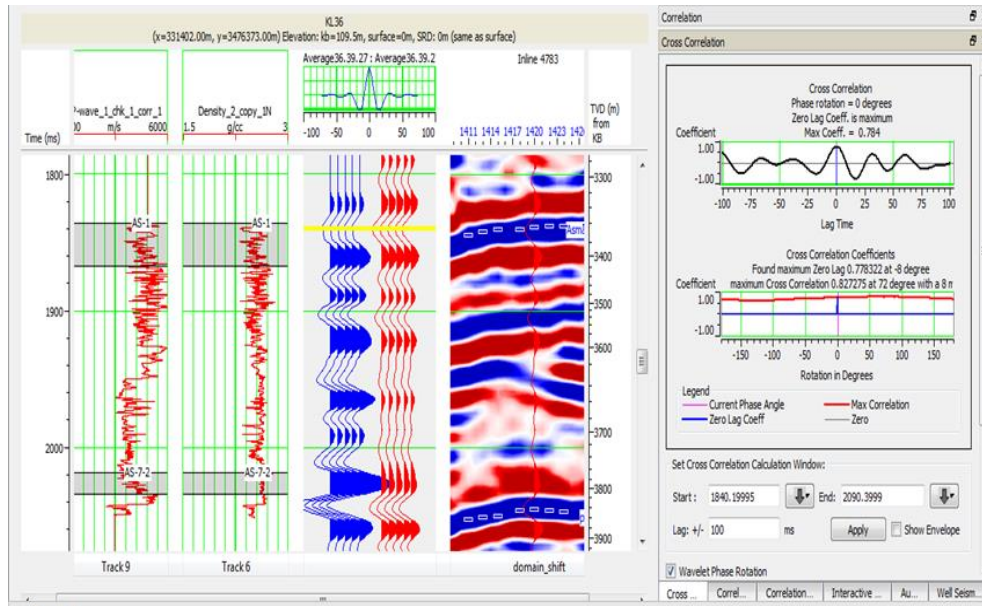
۳-۴. وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی

فرایند وارون‌سازی لرزه‌ای یکی از ابزارهای بسیار مهم جهت توصیف لرزه‌ای مخزن محسوب می‌شود. روش‌های مختلفی به‌منظور وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای پس از برابارش مانند وارون‌سازی بانده محدود، وارون‌سازی خارهای پراکنده و وارون‌سازی بر پایه مدل وجود دارد که با توجه به داده‌های موجود و شرایط میدان کوپال در این مطالعه وارون‌سازی به روش برپایه مدل به دلیل دقت و قدرت تفکیک بالاتر انتخاب شد. به‌دست‌آوردن موجک لرزه‌ای مناسب حساس‌ترین و مهم‌ترین قسمت در وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای است. موجک‌های مختلفی به روش آماری در محدوده مخزنی سازند آسماری میدان کوپال که در محدوده زمانی بین ۱۸۶۰ تا ۲۱۰۰ میلی‌ثانیه از داده‌های لرزه‌ای می‌باشد، استخراج شد. با توجه به این که تخمین تغییرات فاز موجک در طول مسیر مشکل است، فاز (Phase) موجک نهایی تخمینی را ثابت (صفر) در نظر گرفته شد. پهنای بانده فرکانس این موجک بین ۱۰ الی ۵۵ هرتز می‌باشد (شکل ۱۰).

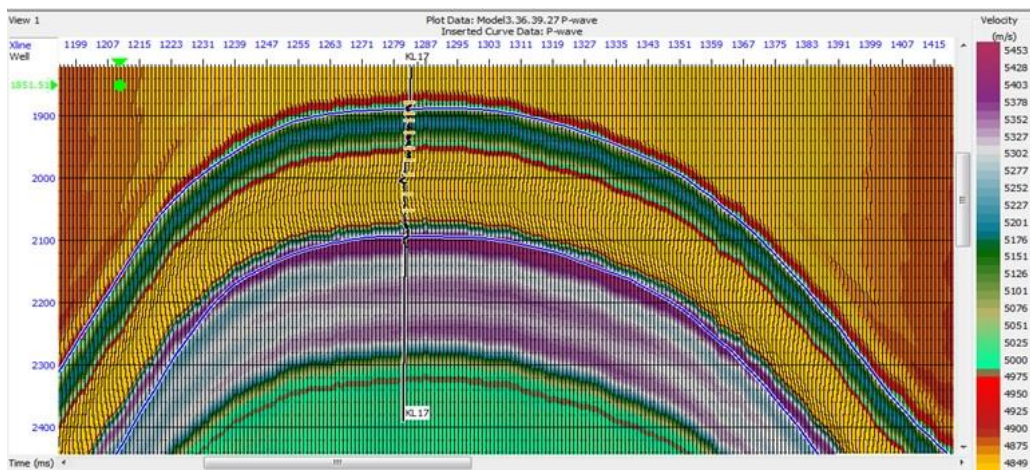
مرحله بعد ایجاد لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی (Syntactic Seismogram) برای چاه‌های میدان می‌باشد. لرزه‌نگاشت مصنوعی با استفاده از فرایندهای مختلف از قبیل کشیدگی (Stretch)، فشردگی و جابه‌جایی اندک با لرزه‌نگاشت مرکب تا جایی که میزان همبستگی نتیجه قابل‌قبولی از خود نشان دهد، مطابقت داده شد. همان‌طور در شکل ۱۰ برای نمونه چاه ۳۶ میدان کوپال مشاهده می‌شود، میزان همبستگی بین لرزه‌نگاشت مصنوعی و لرزه‌نگاشت مرکب که شامل تعدادی از رد لرزه موجود در مجاورت چاه ۱۷ میدان کوپال ۷۸ درصدی می‌باشد. به‌علت تغییر در ماهیت موجک به سبب جابه‌جایی، سعی بر آن شد که میزان فشردگی و جابه‌جایی حداقل لازم جهت تطابق اعمال شود. جهت ایجاد این همبستگی به میزان ۲ میلی‌ثانیه فشردگی و ۸ میلی‌ثانیه جابه‌جایی بر روی لرزه‌نگاشت مصنوعی اعمال شد.

جهت ساخت مدل اولیه (Initial Model) ابتدا نمودار مقاومت صوتی با استفاده از نگارهای صوتی و چگالی محاسبه شد (شکل ۱۱). مدل اولیه در واقع مدل مقاومتی هست که از درونیابی مقاومت صوتی نمودارهای چاه‌ها به‌دست می‌آید. مؤلفه فرکانس پایین (LowFrequenc) این مدل گزینه‌ای معتبر، جهت وارون‌سازی استفاده می‌شود. داده‌های لرزه‌ای دارای بانده محدود می‌باشند. بنابراین فرکانس این داده‌ها شامل فرکانس‌های پایین و بالا نمی‌شود. لذا علاوه بر داده‌های لرزه‌ای، یک مدل مقاومتی فرکانس پایین نیز به‌عنوان اطلاعات اولیه در وارون‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (راسل، ۱۹۸۸). اولین مزیت این مدل محدود کردن جواب‌های ممکن در مرحله وارون‌سازی است چراکه جواب حاصل از وارون‌سازی، واحد و یکتا نیست. دومین مزیت آن، مدل زمین‌شناسی حاوی اطلاعات فرکانس پایین می‌باشد (مالیک، ۱۹۹۵). از مدل اولیه، برای تخمین اولیه ساختار سرعتی لایه‌های مخزنی سازند آسماری میدان کوپال جهت انجام فرایند وارون‌سازی استفاده شد.

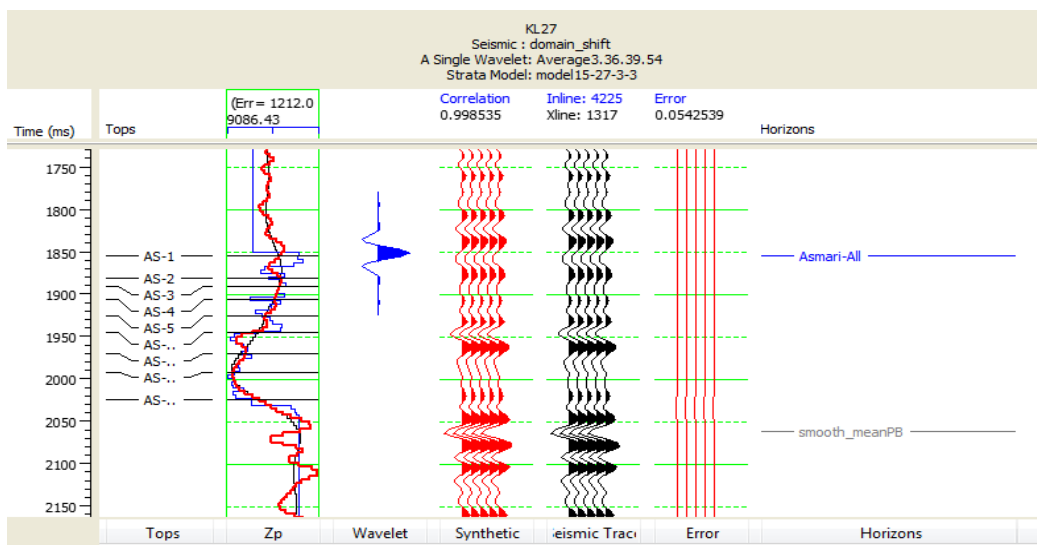
در روش وارون‌سازی برپایه مدل، برای هر رد لرزه‌ای که نیاز به وارون‌سازی دارد، حتماً باید یک مدل اولیه فرضی ایجاد شود. این رد لرزه مدل اولیه با نسبت دادن اطلاعات نمودارهای چاه با جفت سرعت-زمان در نقاط مختلف حاصل می‌شود. تفسیر این نقاط باعث تولید امپدانس برای هر رد لرزه می‌شود. اختلاف در مدل با داده‌های واقعی به‌صورت مکرر محاسبه می‌شود تا جایی که مدل حاصل با داده‌های واقعی لرزه‌ای انطباق قابل‌انتظار را داشته باشد (کوک و اشنايدر، ۱۹۸۳). از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در این روش بر پایه مدل اندازه بلوک‌های مقاومت صوتی (Block Size) و تعداد تکرار (Number of Iteration) می‌باشد. اندازه بلوک‌ها ۴ میلی‌ثانیه و تعداد تکرار ۲۰ مرتبه در مرحله آنالیز داده‌های لرزه‌ای در محدوده سازند آسماری میدان کوپال تعیین شدند (شکل ۱۲ الی ۱۴).



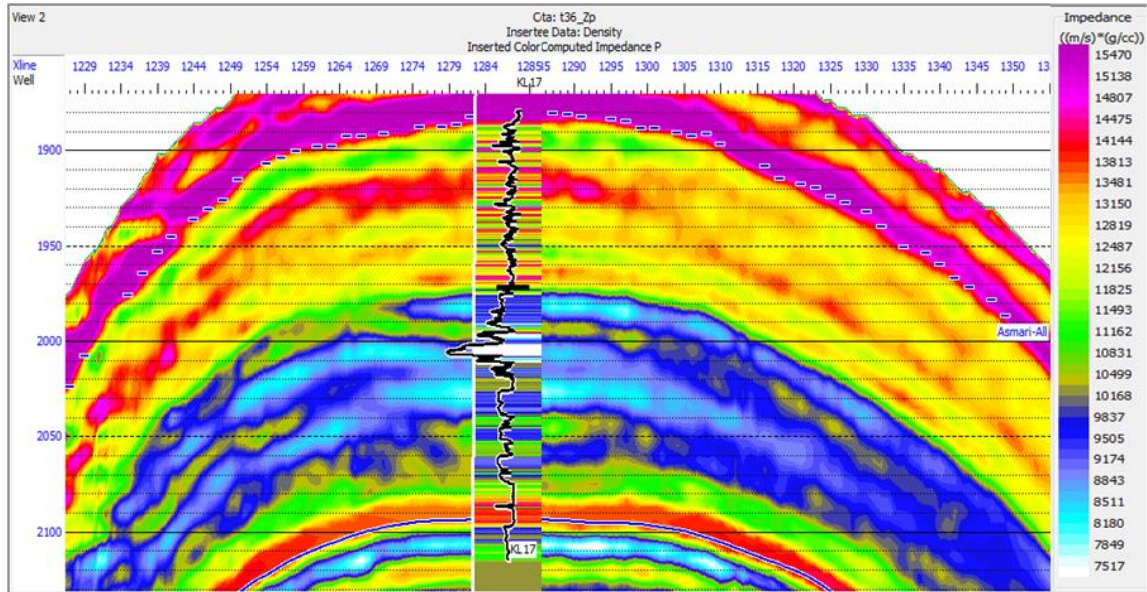
شکل ۱۰. تطابق لرزه‌نگاشت مصنوعی و داده‌های لرزهای و نگارهای چاه‌پیمایی در محل چاه ۳۶. به‌علت جلوگیری تغییر در ماهیت موجک به سبب جابه‌جایی، جهت ایجاد این همبستگی به میزان ۲ میلی‌ثانیه فشرده‌گی و ۸ میلی‌ثانیه جابه‌جایی بر روی لرزه‌نگاشت مصنوعی اعمال شد.



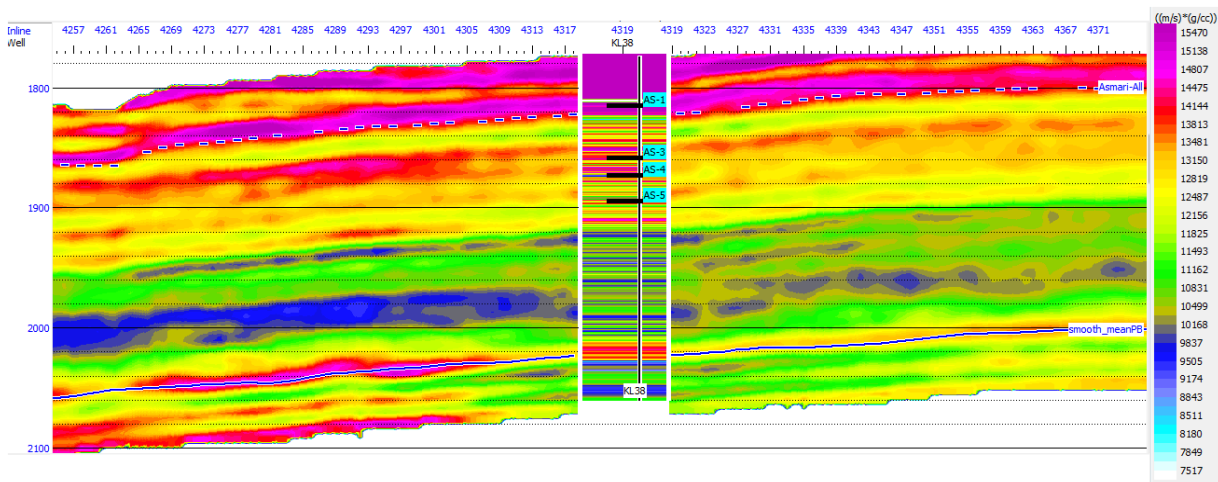
شکل ۱۱. برش عرضی مدل اولیه میدان کوپال در محل چاه ۱۷ و تاپ‌های سازند آسماری.



شکل ۱۲. میزان همبستگی و خطا بین مقاومت صوتی در چاه ۲۷ و مقاومت صوتی حاصل از آنالیز روش وارون‌سازی بر پایه مدل. اندازه بلوک ۴ میلی‌ثانیه و تعداد تکرار ۲۰ مرتبه در آنالیز داده‌های لرزهای در محدوده سازند آسماری میدان کوپال تعیین شد.



شکل ۱۳. برش عرضی از اطلاعات مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای میدان کوپال در محل چاه ۱۷ با نمودار چاه‌پیمایی جرم مخصوص.



شکل ۱۴. برش طولی از اطلاعات مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای میدان کوپال در محل چاه ۳۸ با تاپ زون‌های الی ۵ بخش کرناته.

۴-۴. تجزیه و تحلیل نتایج

جهت تحلیل نحوه تغییرات سنگ‌شناسی و خواص مخزنی زون‌های مختلف در مرحله اول نتایج حاصل از مطالعات قبلی انجام شده زمین‌شناسی و پتروفیزیکی و چینه‌نگاری لرزه‌ای بر روی سازند آسماری میدان کوپال بررسی شد، سپس تغییرات مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی آنالیز شد که نتیجه این ارزیابی به قرار ذیل می‌باشد.

۴-۴-۱. زون ۱

این زون بخشی از سکانس پایانی سازند آسماری با سن

بوردیگالین می‌باشد (نیکفرد و همکاران، ۲۰۲۰). مقادیر نشانگر دامنه در یال‌ها و بخش میانه میدان متفاوت می‌باشد (شکل ۱۵-الف). در قسمت میانه میدان شاهد تغییرات نشانگر دامنه می‌باشیم که می‌تواند نشانگر فعالیت یک سیستم رودخانه‌ای باشد (شکل ۱۵-الف). این زون در شمال شرق و میانه میدان دارای بخش‌های با مقاومت صوتی بالا می‌باشد و در قسمت جنوب غربی و میانه میدان دارای مقاومت صوتی متوسط است (شکل ۱۵-ب). از عوامل ثانویه که بر روی خصوصیت مخزنی این زون تأثیر داشته وجود رودخانه می‌باشد که باعث فرسایش رسوبات

و ایجاد کانال در این زون شده است (ارزانی و همکاران، ۱۳۹۳). کانال این رودخانه دارای رسوبات با مقاومت صوتی پایین می‌باشد. این رودخانه‌ها به صورت پراکنده در این زون قابل مشاهده می‌باشند. در قسمت مرکزی میدان اشکال مئاندری دیده می‌شود که نشان از فعالیت سیستم رودخانه دارد. تغییرات نشانگر دامنه رسوبات در محل مئاندر به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۳).

۲-۴-۴. زون ۲

زون ۲ بخشی از سکانس پایانی سازند آسماری با سن بوردیگالین می‌باشد. با توجه به شرایط رسوبی این سکانس، محیط رسوب‌گذاری آن به صورت سبخایی (Sabkha) می‌باشد. نشانگر دامنه زون ۲ دارای دو بخش متفاوت در قسمت‌های شمالی جنوبی میدان می‌باشد (شکل ۱۶-الف). مقاومت صوتی در شمال شرق میدان دارای یک بخش با مقاومت صوتی پایین و در قسمت مرکزی میدان به سمت جنوب غرب دارای بخشی با مقاومت صوتی بالا است (شکل ۱۶-ب).

۳-۴-۳. زون ۳

این زون در میانه یال جنوبی دارای مقاومت صوتی بالا می‌باشد. در بخش مرکزی میدان دو قسمت با مقاومت صوتی پایین قابل تشخیص است (شکل ۱۷-ب). نشانگر دامنه در شمال یال جنوبی و جنوب یال شمالی دارای تغییرات زیادی می‌باشد که به صورت کاملاً مشهود قابل تشخیص است (شکل ۱۷-الف).

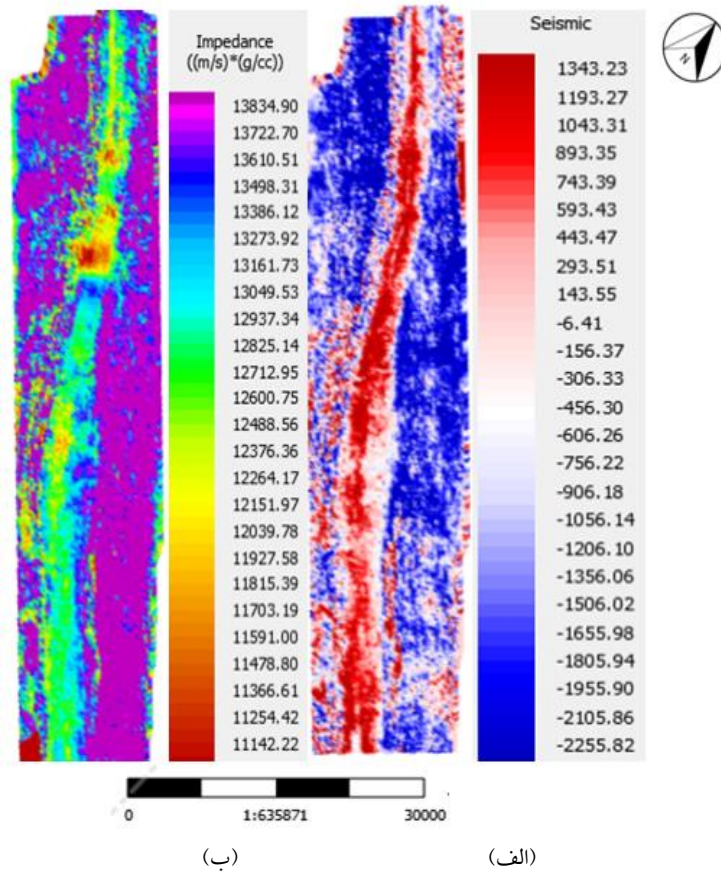
۴-۴-۴. زون ۴

این زون بخشی از سکانس دوم سازند آسماری با سن آکی‌تاین می‌باشد (نیکفرد و همکاران، ۲۰۲۰). زمان نهشته‌شدن رسوبات این زون همزمان با بالا آمدن سطح آب حوضه همراه بوده است که باعث پیشروی دریا به

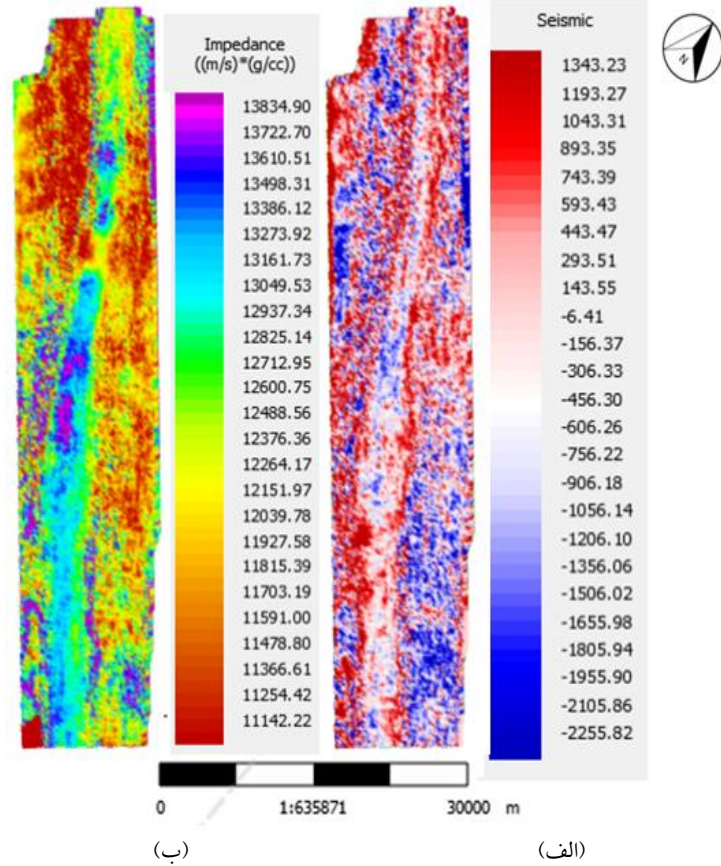
سمت جنوب و موجب نهشته‌شدن رسوبات کربناته بر روی رسوبات مختلط زون پنج شده است. این زون در کلینوفرم‌های سکانس دوم تشکیل شده است، در این زمان امکان رشد مرجان‌ها (Coral) فراهم بوده است (مرسیلی و همکاران، ۲۰۱۲؛ پومر، ۲۰۱۷)، لذا در بعضی نقاط می‌توان شاهد برجستگی‌های کربناته مرجانی (Carbonate Buildup) با تخلخل بالا باشیم (گراهام و همکاران، ۲۰۱۵). تغییرات دامنه و مقاومت صوتی این زون در سه ناحیه متفاوت می‌باشند. این تغییرات نشان دهنده لیتولوژی و تخلخل‌ها متفاوت می‌باشد. در این زون در شمال یال جنوبی و قسمت میانه بخش مرکزی میدان دو بخش با مقاومت صوتی بسیار بالا قابل تشخیص می‌باشد (شکل ۱۸-ب). این زون در شمال شرقی بخش مرکزی میدان دارای مقاومت صوتی بسیار پایین است بقیه نواحی این زون دارای مقاومت صوتی متوسط می‌باشد (شکل ۱۸-ب). نشانگر دامنه در بخش مرکزی میدان و شمال شرق میدان دارای تغییرات بسیارزادی می‌باشد (شکل ۱۸-الف).

۵-۴-۴. زون ۵

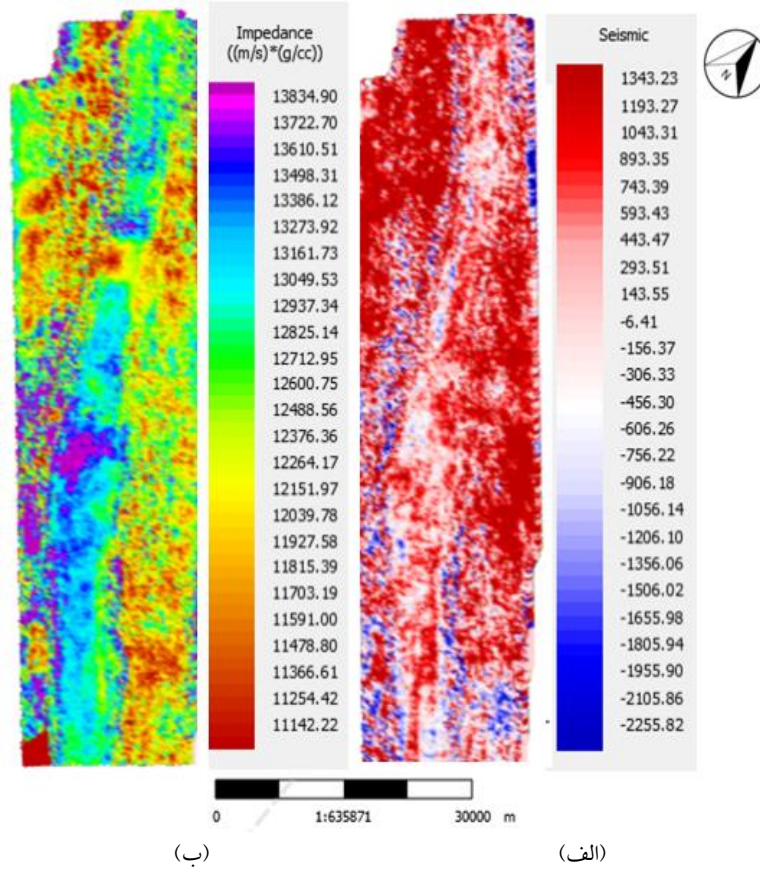
این زون بخشی از سکانس دوم سازند آسماری با سن شاتین فوقانی می‌باشد (اله کرم‌پور دیل و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به شرایط رسوبی، محیط رسوب‌گذاری این سکانس قسمت فوقانی پلاتفرم کربناته (Carbonate platform) یا شیب حوضه (Basin Slop) می‌باشد، لذا امکان تغییرات زیاد در ضخامت و تخلخل آن وجود دارد. در شمال یال جنوبی و جنوب یال شمالی در زون ۵ قسمت‌هایی با مقاومت صوتی بالا قابل تشخیص می‌باشد. زون ۵ در بخش مرکزی میدان دارای مقاومت صوتی متوسط می‌باشد (شکل ۱۹-ب). مقادیر نشانگر دامنه در این زون دارای تغییرات نامنظم است. در قسمت شمال یال جنوبی و جنوب یال شمالی آنومالی‌های در دامنه قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۱۹-الف).



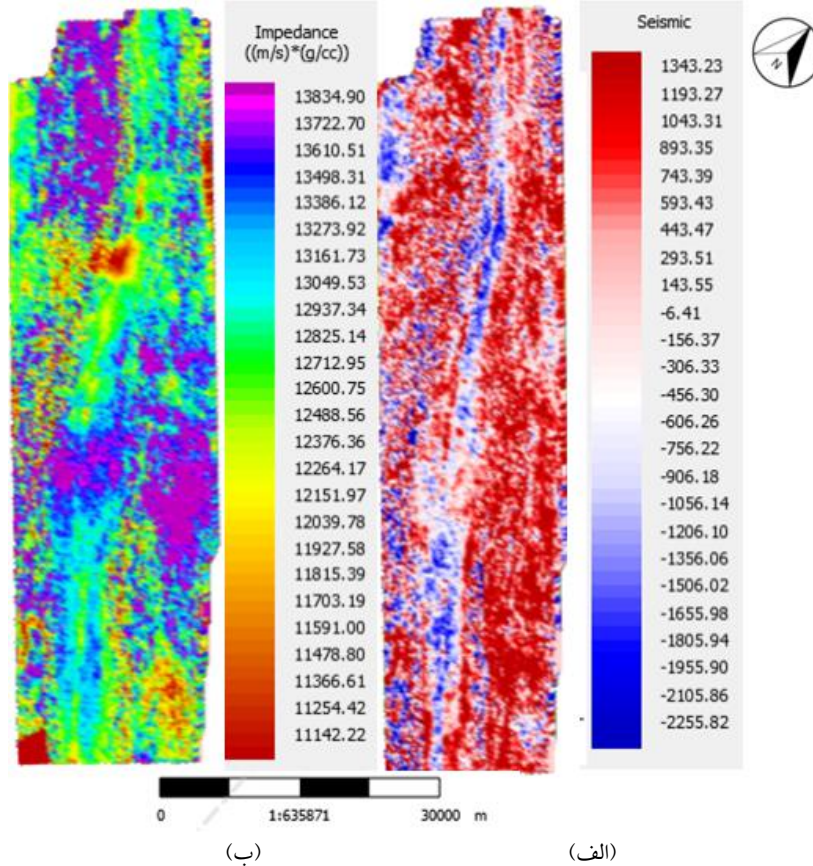
شکل ۱۵. الف) برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۱ (grid slice) ب) برش مقاومت صوتی در امتداد افق تفسیری زون ۱ (grid slice).



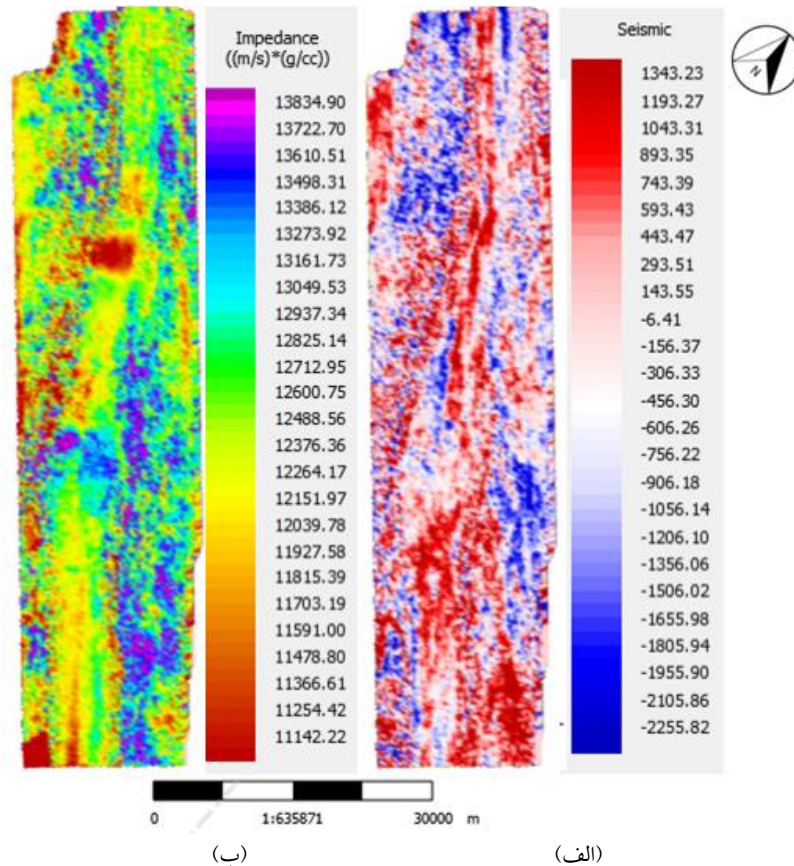
شکل ۱۶. الف) برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۲ (grid slice) ب) برش مقاومت صوتی در امتداد افق تفسیری زون ۲ (grid slice).



شکل ۱۷. الف) برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۳ (grid slice)، ب) برش مقاومت صوتی در امتداد افق تفسیری زون ۳ (grid slice).



شکل ۱۸. الف) برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۴ (grid slice)، ب) برش مقاومت صوتی در امتداد افق تفسیری زون ۴ (grid slice).



شکل ۱۹. الف) برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۵ (grid slice)، ب) برش مقاومت صوتی در امتداد افق تفسیری زون ۵ (grid slice).

۵. نتیجه گیری

آخرین سکانس رسوبی این سازند می‌باشد که شامل رسوبات دولومیتی، تغییرات در تخلخل و مقاومت صوتی و دامنه بسیار کم است؛ ولی در قسمت میانه میدان نشانگر دامنه و مقاومت صوتی دارای تغییرات به صورت مناندری هستند که نشان از فعالیت سیستم رودخانه دارند. فعالیت سیستم‌های رودخانه‌ای می‌تواند باعث فرسایش رسوبات آهکی و راسب شدن رسوبات آواری شود، این رسوبات می‌تواند دارای تخلخل بالا و مقاومت صوتی پایین باشند. محل کانال این رودخانه می‌تواند مکان مناسبی برای حفاری چاه‌های توسعه‌ای مخزن آسماری میدان کوپال به علت داشتن رسوبات متخلخل باشد.

مراجع

ارزانی، ع.، حسینی‌فر، م. و اشتری تلخستانی، ا. (۱۳۹۳)، تفسیر ساختمانی، وارون‌سازی لرزه‌ای و تجزیه طیفی مخزن آسماری میدان کوپال، شرکت ملی مناطق

بخش کربناته سازند آسماری میدان کوپال شامل زون‌ها ۳، ۴ و ۵ می‌باشد. این زون‌ها به صورت پراکنده دارای تغییراتی در نشانگرهای مقاومت صوتی و دامنه و ضخامت لایه و همچنین میزان تخلخل هستند. مهم‌ترین عامل این تغییرات را می‌توان وجود احتمالی ماندها (Mound) و ریف‌ها (Reef) در این توالی‌ها قلمداد کرد که با توجه به انحلال یا سیمانی‌شدن‌شان، این اشکال در محل‌هایی که دارای انحلال (Dissolution) و تخلخل بالا هستند مقاومت صوتی پایین داشته باشند. همچنین در محل‌هایی که دارای پدیده سیمانی‌شدن (Cementation) هستند تخلخل‌شان کم می‌شود و این اشکال دارای مقاومت صوتی بالایی می‌باشند. در بخش‌هایی از ریف‌ها که تخلخل بالاست و مقاومت صوتی پایین می‌باشد، می‌تواند مکان مناسبی جهت حفاری چاه‌های توسعه‌ای مخزن آسماری میدان کوپال باشند. بخش انتهایی توالی کربناته سازند آسماری در میدان کوپال

مخزن آسماری میدان کوپال با نگرشی ویژه بر توالی سیلیسی آواری، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب گزارش شماره پ ۷۵۶۰.
 مالگرد، ش. (۱۳۹۱). مطالعه تکمیلی زمین‌شناسی و مدل‌سازی مخزن آسماری میدان کوپال، شرکت ملی مناطق، نفت‌خیز جنوب، گزارش شماره پ ۷۵۸۰.
 مطیعی، ه. (۱۳۷۲). زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ ص.

نفت‌خیز جنوب، گزارش شماره پ ۸۱ امیری، ح. (۱۳۹۰). مطالعه مغزه‌ها، توزیع رخساره‌ها، محیط رسوبی و تعیین الکتروفاسیس‌های مخزن آسماری میدان کوپال، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، گزارش شماره پ ۸۵۹۶.
 امیدپور، آ. (۱۳۸۳). تحلیل رخساره‌ها و محیط رسوب‌گذاری سازند آسماری در میدان نفتی کوپال. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
 نیکفرد، م. (۱۴۰۱). چینه‌شناسی و تکامل حوضه رسوبی

Adabi, M.H., Zohdi, A., Ghabeshavi, A., & Amiri-Bakhtiyar, H. (2008). Applications of nummulitids and other larger benthic foraminifera in depositional environment and sequence stratigraphy: an example from the Eocene deposits in Zagros Basin, SW Iran. *Facies*, 54, 499–512.
 Adams, C. & Bourgeois, E. (1967). Asmari biostratigraphy. Geological and Exploration Div. Iranian Oil Offshore Company. Report 1074. Unpublished
 Adams, T.D. (1969). The Asmari Formation of Lurestan and Khuzestan provinces. Iranian Oil Operating Companies, Geological and Exploration Division, Report, no. 1154.
 Anselmetti, F.S., & Eberli, G.P. (1997). Sonic velocity in carbonate sediments and rocks. In: Palaz, I., Marfurt, K.J. (Eds.), Carbonate seismology, SEG Geophysical Developments Series, 6, 53–74.
 Allahkarampour Dill, M., Vaziri-Moghaddam, H., Seyrafian, A., & Behdad, A. (2018). Oligo-Miocene carbonate platform evolution in the northern margin of the Asmari intra-shelf basin, SW Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 92, 437-461.
 Alavi, M. (2004). Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304, 1–20.
 Alavi, M. (2007). Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307, 1064–1095.
 Amirshakarami, M., Vaziri-Moghaddam, H., & Taheri, A. (2007b). Sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Asmari Formation at Chaman-Bolbol, Zagros Basin, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 947-959.
 Aqrabi, A.A.M., & Wennberg, O.P. (2007). The Control of Fracturing and Dolomitisation on 3D Reservoir Property Distribution of the Asmari Formation (Oligocene-Lower Miocene), Dezful Embayment, SW

Iran. International Petroleum Technology Conference (IPTC), Dubai, U.A.E., 1–7.
 Aqrabi, A.A.M., Keramati, M., Ehrenberg, S.N., Pickard, N., Moallemi, A., Svånå, T.A., Darke, G., Dickson, J.A.D., & Oxtoby, N.H. (2006). The origin of dolomite in the Asmari Formation (Oligocene-Lower Miocene), Dezful embayment, Sw Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 29(4), 381-402.
 Avarjani, S., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., & Amiri-Bakhtiar, H. (2014). Provenance, Tectonic Setting and Geochemistry of Ahwaz Sandstone Member (Asmari Formation, Oligo-Miocene), Marun Oil Field, Zagros Basin, SW Iran, *Acta Geologica Sinica* (English Edition).
 Avarjani, S., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Amiri-Bakhtiar, H., & Brenner, R.L. (2015). Facies, depositional sequences, and biostratigraphy of the Oligo- Miocene Asmari Formation in Marun oil field, north dezful embayment, Zagros Basin, Sw Iran. *Palaeoworld*, 24(3), 336–358.
 Brandano, M., Frezza, V., Tomassetti, L., & Cuffaro, M. (2009a). Heterozoan carbonates in oligotrophic tropical waters: The Attard member of the lower coralline limestone formation (Upper Oligocene, Malta). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 274(1-2), 54-63.
 Brandano, M., Frezza, V., Tomassetti, L., Pedley, M., & Matteucci, R. (2009b). Facies analysis and palaeoenvironmental interpretation of the Late Oligocene Attard Member (Lower Coralline Limestone Formation), Malta. *Sedimentology*, 56(4), 1138-1158.
 Buiting, J.J.M., & Bacon, M. (1999). Seismic inversion as a vehicle for integration of geophysical, geological and petrophysical information for reservoir characterization: some North Sea examples. In: Fleet, A.J., Boldy, S.A.R. (Eds.), *Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 5th Conference*. Geological Society, London, pp.

- 1271–1280.
- Cooke, D.A., & Schneider, W.A. (1983). Generalized linear inversion of reflection seismic data. *Geophysics*, 48(6), 665-676.
- Dabbagh, A., George, S.t., Ch., & Kendall, C. (2021). Deep-T-platform responses to the global sea-level fluctuations, Oligocene Asmari and Pabdeh Formations of the Zagros foredeep Kalhur sub-basin SW Iran. *J. Asian Earth Sci.*, 206.
- Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (Editor), Classification of Carbonate Rocks, AAPG Mem, 108-121.
- Ehrenberg, S.N., Pickard, N.A.H., Laursen, G.V., Monibi, S., Mossadegh, Z.K., Svâna, T.A., Aqravi, A.A.M., Mcarthur, J.M., & Thirlwall, M.F. (2007). Strontium isotope stratigraphy of the Asmari formation (Oligocene-lower Miocene), Sw Iran. *J. Pet. Geol.*, 30, 107–128.
- Esfarili-Dizaji, B., & Rahimpour-Bonab, H. (2019). Carbonate reservoir rocks at giant oil and gas fields in Sw Iran and the adjacent offshore: a review of stratigraphic occurrence and poro-perm characteristics. *J. Petrol. Geol.* 42 (4), 343–370. <https://doi.org/10.1111/jpg.12741>.
- Folk, R. (1974). Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas. 182p.
- Ghazban, F. (2007). *Petroleum Geology of the Persian Gulf*. University of Tehran Press, Tehran. 707 p.
- Geel, T. (2000). Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analysis of Palaeogene deposits in southeastern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 155, 211-238.
- Graham, G.H., Jackson, M.D., & Hampson, G.J. (2015). Three-dimensional modeling of clinoforms in shallow-marine reservoirs: Part 1. Concepts and application. *AAPG Bulletin*, 99(6), 1013-1047.
- Holland-Hansen, W., & Martinsen, O.J. (1998). Shoreline trajectories and sequences; description of variable depositional-dip scenarios. *Journal of Sedimentary Research*, 66(4), 670-688.
- Howell, J., Vassel, A., & Aune, T. (2008). Modelling of dipping clinoform barriers within deltaic outcrop analogues from the Cretaceous Western Interior Basin, USA. Geological Society, London, Special Publications, 309(1), 99-121.
- Honarmand, J., & Amini, A. (2012). Diagenetic processes and reservoir properties in the ooid grainstones of the Asmari Formation, Cheshmeh Khush oil field, Sw Iran. *J. Petrol. Sci. Eng.*, 81, 70–79.
- Jafari, J., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., & Al-Aasm, I.S. (2020). The effects of diagenesis on the petrophysical and geochemical attributes of the Asmari Formation, Marun oil field, Southwest Iran. *Petrol. Sci.*, 17, 292–316.
- Mallick, S. (1995). Model-based inversion of amplitude-variations-with-offset data using a genetic algorithm. *Geophysics*, 60(4), 939-954.
- Maver, K.G., & Rasmussen, K.B. (1995). Seismic inversion for reservoir delineation and description. Soc. Pet. Eng. Paper SPE 29798, 267–275.
- Marion, D., & Jizba, D. (1997). Acoustic properties in carbonate rocks: use in quantitative interpretation of sonic and seismic measurements. In: Palaz, I., Marfurt, K.J. (Eds.), Carbonate seismology, SEG Geophysical Developments Series, 6, 75–93.
- Mossadegh, Z.K., Haig, D.W., Allan, T., Adabi, M.H., & Sadeghi, A. (2009). Salinity changes during Late Oligocene to Early Miocene Asmari Formation deposition, Zagros Mountains, Iran. *Palaeogeo. Palaeoclim. Palaeoeco.* 272, 17–36.
- Morsilli, M., Bosellini, F.R., Pomar, L., Hallock, P., Aurell, M., & Papazzoni, C.A. (2012). Mesophotic coral buildups in a prodelta setting (Late Eocene, southern Pyrenees, Spain): a mixed carbonate-siliciclastic system. *Sedimentology*, 59(3), 766-794.
- Nikfard, M., Vaziri-Moghaddam, H., Seyrafian, A., Behdad, A., & Shabafrooz, R. (2020). A review of the Oligo-Miocene larger benthic foraminifera in the Zagros basin, Iran; New insights into biozonation and palaeogeographical maps. *Revue de Micropaléontologie*, 66, 100408.
- Omidpour, A., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., & Rahimpour-Bonab, H. (2021). Application of stable isotopes, trace elements and spectral gamma-ray log in resolving high-frequency stratigraphic sequences of a mixed carbonate-siliciclastic Mar. reservoirs. *Petrol. Geol.*, 125, 104854.
- Pettijohn, F. J. (1975). Sedimentary rocks, Harper & Row New York. 450p.
- Pomar, L., Baceta, J.I., Hallock, P., Mateu-Vicens, G., & Basso, D. (2017). Reef building and carbonate production modes in the west-central Tethys during the Cenozoic. *Marine and Petroleum Geology*, 83, 261-304.
- Rahmani, A., Taheri, A., Vaziri-Moghaddam, H., & Ghabeishavi, A. (2012). Biostratigraphy of the Asmari Formation at Khaviz and Bangestan Anticlines, Zagros Basin, Sw Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 263(1), 1-16.

- Russell, B.H. (1988). Introduction to seismic inversion methods. Society of Exploration Geophysicists, 250p.
- Sadeghi, R., Vaziri-Moghaddam, H., & Taheri, A. (2011). Microfacies and sedimentary environment of the Oligocene sequence (Asmari Formation) in Fars sub-basin, Zagros Mountains, southwest Iran. *Facies*, 57, 431–446.
- Seyrafian, A., Vaziri-Moghaddam, H., Arzani, N., & Taheri, A. (2011). Facies analysis of the Asmari Formation in central and north-central Zagros basin, southwest Iran: biostratigraphy, paleoecology and diagenesis. *Rev. Mex. Cienc. Geol*, 28, 635–645.
- Shabafrooz, R., Mahboubi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Ghabeishavi, A., & Moussavi-Harami, R. (2015). Depositional architecture and sequence stratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari platform; Southeastern Izeh Zone, Zagros Basin, Iran. *Facies*, 61(1).
- Sheriff, R. E., & Geldart, L.P. (1995). Exploration seismology, 2nd ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge, USA, 870p.
- Story, C., Peng, P., & Lin, J.D. (2000). Liuhiua 11-1 field, South China Sea: a shallow carbonate reservoir developed using ultrahigh resolution 3-D seismic, inversion, and attribute-based reservoir modelling. *Lead. Edge*, 19, 834–844.
- Tucker, M. E. (2001). Sedimentary Petrology, (3rd edition), Blackwells, Oxford, 260 p.
- Van Buchem, F.S.P., Allan, T.L., Laursen, G.V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N.A.H., Tahmasbi, A.R., Vedrenne, V., & Vincent, B. (2010). Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) Sw Iran. Geological Society, London, Special Publications, 329(1), 219-263.
- Van Riel, P. (2000). The past, present, and future of quantitative reservoir characterization. *Lead. Edge* 19, 878–881.
- Vaziri-Moghaddam, H., Kimiagari, M., & Taheri, A. (2006). Depositional environment and sequence stratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari Formation in Sw Iran. *Facies*, 52(1), 41-51.
- Veeken, P.C.H., & Da Silva, M. (2004). Seismic inversion methods and some of their constraints. *First Break*, 22, 47–70.
- Vejbæk, O.V., & Kristensen, L. (2000). Down flank hydrocarbon potential identified using seismic inversion and geostatistics: upper Maastrichtian reservoir unit, Dan Field, Danish Central Graben. *Pet. Geosci.*, 6, 1–13.
- Wilson, J.L. (1975). Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag, New York, 471p.