

بررسی تاثیر محیط‌های رسوی 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 سه بعدی

مشخصات	نام گروه	نام دانشگاه	مرتبه علمی	نام خانوادگی	نوبتده دوم	نوبتده اول	نام و نام منامن
				ضرغام مهدیپور	نوید شاد منامن		
				دانشجوی دکتری	دانشیار		
				اکتشاف معدن	اکتشاف معدن		
				دانشکده مهندسی معدن	دانشکده مهندسی معدن		
				دانشگاه صنعتی سهند	دانشگاه صنعتی سهند		
				تبریز	تبریز		
				ایران	ایران		

چکیده

سازند آسماری مخزن اصلی میدان کوپال متشکل از دو توالي کاملاً مشخص رسویات آواری در قسمت تحتانی 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 ماسه-سنگی می‌باشند. هدف اصلی این مقاله، بررسی تاثیر محیط‌های رسوی و فرایندهای دیاژنسی بر کیفیت مخزنی زون‌های ۱ الی ۵ بخش کربناته سازند آسماری بواسیله تلفیق نتایج مطالعات زمین‌شناسی با نتایج وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای سه بعدی است. جهت تعیین محیط‌های رسوی سازند آسماری مقاطع نازک و مغزه‌ها بررسی گردیده است ولی بعلت اینکه این اطلاعات محدود به اطراف چاه هستند تعیین نحوه گسترش ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها امکان پذیر نمی‌باشد. ابتدا مقاومت صوتی از اطلاعات لرزه‌ای سه بعدی با روش وارون‌سازی بر پایه مدل بواسیله نرم افزار همپسون استخراج گردید. سپس نتایج وارون‌سازی با نتایج مطالعات رسوی‌شناسی و چینه‌نگاری لرزه‌ای انطباق داده شد، مشخص گردید که زون‌های ۳ و ۴ و ۵ به صورت 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 کردن اینها 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 مثاندری 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 کردن، مقاومت صوتی، وارون‌سازی لرزه‌ای، تخلخل، دیاژنر.

مقدمه

سازندآسماری یک توالی رسوبی مختلط کردن آواری می‌باشد (جعفری و همکاران، ۲۰۲۰) و امیرشاهکرمی و همکاران، ۲۰۰۷ و اکراوی و همکاران، ۲۰۱۴). رسوبات مختلط کردن سیلیسی آواری با توجه به اینکه ۸۰ درصد نفت مخازن ایران را در خود جای داده‌اند (اسرافیلی و رحیم پور بناب، ۲۰۱۹ و غضبان، ۲۰۰۴)، توسط پژوهشگران زیادی از نظر ترکیب کانی‌شناسی، نحوه رسوبگذاری، محیط رسوبگذاری در میادین جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار گرفته‌اند (ارنبرگ و همکاران، ۲۰۰۷ و آدابی و همکاران، ۲۰۰۸ و علوی، ۲۰۰۷ و آورجانی و همکاران، ۲۰۱۵ و دباغ و همکاران، ۲۰۲۱ و هنرمند و همکاران، ۲۰۱۲ و مصدق و همکاران، ۲۰۰۹ و صادقی و همکاران، ۲۰۱۰ و صیرفیان و همکاران، ۲۰۱۱). هتروژن بودن رسوبات توالی‌های مختلط کردن 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 توسعه بهره‌برداری از میادین هیدروکربنی با آن مواجه بوده‌اند در رابطه با عدم قطعیت مدل‌های پیشنهادی است. مخازن مخلوط کردن سیلیسی اغلب دارای پیچیدگی فراوانی می‌باشند. اگر این توالی‌ها به وسیله روش‌های مرسوم ژئوفیزیکی و مطالعات رسوب‌شناسی مطالعه شوند، قطعاً نتایج دارای عدم قطعیت بسیار خواهد بود. گسترش استفاده از اطلاعات لرزه سه بعدی باعث پیشرفت در پیش‌بینی نحوه تغییرات شکل هندسی لزه‌های ماسه‌ای و ساختار کردن با میزان ریسک کم شده است. اطلاعات لرزه‌ای در پیش‌بینی لیتولوژی و تغییرات سیال نتایج واقعی تری را به ما می‌دهند. این مزایا باعث شد که مدل‌سازی و وارون‌سازی از تکنیک‌های بسیار کاربردی در صنعت نفت باشند.

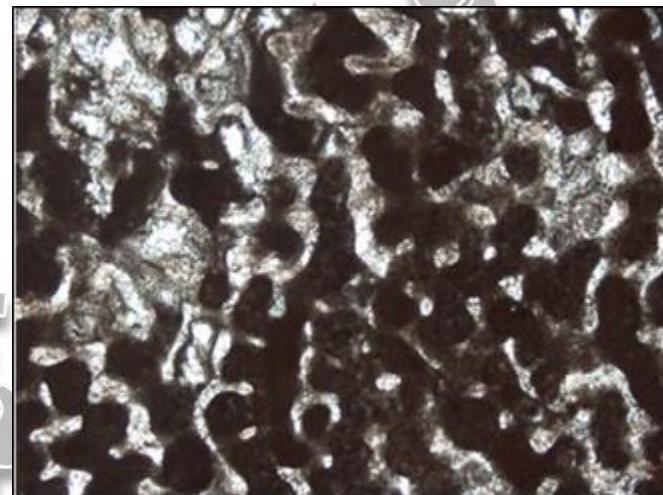
مدل‌سازی وارون‌سازی ژئوفیزیکی عبارت است از به نقشه درآوردن ساختار فیزیکی و خواص لایه‌های زیر سطحی زمین با استفاده از اندازه‌گیری‌هایی که در سطح زمین انجام می‌پذیرد (راسل، ۱۹۸۸ و شریف و گلدرت، ۱۹۹۵). وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای را می‌توان

به عنوان مدل‌سازی وارون‌سازی در نظر گرفت. هدف از وارون‌سازی تخمین مقاومت صوتی جهت بررسی بهتر مخزن از نظر سنگ‌شناسی، تخلخل و محیط سیال مخزنی می‌باشد (آنسلمتی و ابرلی، ۱۹۹۷ و 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، ۱۹۹۹ 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 یابید که به راحتی بتوان آنها را به خصوصیاتی نظیر نوع سنگ، میزان تخلخل، میزان هیدرولوژیکی مرتبط کرد (ماور و راسموسن، ۱۹۹۵ و بیتینگ و یکن، ۱۹۹۹ ون ریل، ۲۰۰۰ و استوری و همکاران، ۲۰۰۰ و یکن و داسیلو، ۲۰۰۴). یکی از این نتایج حاصل وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای مقاومت 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 به عنوان 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 نخستین بار توسط کوک و همکاران (۱۹۸۳) معرفی گردید. برخلاف روش‌های وارون‌سازی بازگشتی (Recursive Inversion) که دارای حساسیت به نویه موجود در اطلاعات لرزه‌ای می‌باشد. روش وارون‌سازی بر پایه مدل حساسیت کمتری دارد (راسل، ۱۹۸۸). مدل اولیه و نوع موجک از فاکتورهای موثر در نتایج این روش محسوب می‌شوند.

سازند آسماری مخزن اصلی میدان کوپال می‌باشد. این سازند حدود ۴۰۰ متر ضخامت دارد. دارای ۷ زون و دوزیر زون می‌باشد. زون یک به صورت دگرشیب و چین‌خوردگی مشخص در زیر سازند تبخیری گچساران قرار دارد و زون ۷ به صورت تدریجی در تماس با سازند پایده می‌باشد. سازند آسماری مشکل از دو توالی کاملاً مشخص رسوبات آواری در قسمت تحتانی و رسوبات کربناته دربخش فوقانی می‌باشد. ون بخوم (۲۰۱۰) براساس مطالعات زیست چینه‌ای و رسوب‌شناسی پیشنهاد داد میدان کوپال در زمان شانین در قسمت عمیق این حوضه بوده و در زمان آکی‌تائین و بوردیگالین در بخش میانی و ساحلی پلاتiform قرار داشته است (شکل ۵). امیری (۱۳۹۰) به وسیله مطالعه مقاطع نازک میکروскопی و نمودارهای چاه‌پیمایی مدل رمپ کربناته را برای سازند آسماری میدان کوپال پیشنهاد داد (شکل ۵). نیکفر و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از مطالعات چینه‌شناسی و چینه‌نگاری لرزه‌ای (Seismic Sequence) توالی رسوبات سازند آسماری را بررسی کردند و سه سکانس مجزای برای این سازند معرفی کردند. Stratigraphy

با توجه به اینکه بخش کربنات سازند آسماری میدان کوپال تحت تاثیر فرایندهای دیاژنز در حین رسوبگذاری و بعد از رسوبگذاری است لذا دارای پیچیدگی بسیار زیادی می‌باشد. ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها دو پدیده موثر بر خواص مخزنی توالی‌های کربنات هستند. محتوای فسیلی بخش کربنات سازند آسماری مشکل از فرامینفرهای بنتیک بزرگ و نمولیتیدها بصورت متورم و کشیده و خرده‌های فراوان کورالینا می‌باشد (شکل ۱). با توجه به محتوای فسیلی این بخش، محیط رسوبی کم عمق، حاشیه پلتiform همراه با ریف‌های مرجانی برای بخش میانی سازند آسماری پیشنهاد شده است (نیکفر، ۱۴۰۱ و امیدپور، ۱۳۸۳). همچنین با وجود دولومیت‌های مضرس و داشتن لایه‌های ماسه‌سنگ پراکنده، محیط رسوبی سبک‌ای و لاگون به همراه رودخانه مثاندری برای قسمت فوقانی سازند آسماری پیشنهاد شده است (نیکفر، ۱۴۰۱) (شکل ۳). نیکفر (۱۴۰۱)، امیدپور (۱۳۸۳) جهت تعیین محیط رسوبی سازند آسماری مقاطع نازک میکروسکوپی و مغزه‌های حفاری مورد بررسی قرار دادند ولی بعلت اینکه 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 سه بعدی محل احتمالی و روند تغییرات ریف‌های مرجانی و رودخانه‌ها را در بخش کربناته مشخص کند(شکل ۲ و ۳). با تعیین دقیق مکانی این پدیده‌های محیطی می‌توان مکان‌هایی که دارای شرایط مخزن 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 چینه نگاری لرزه‌ای با نتایج حاصل از وارون‌سازی اطلاعات لرزه سه بعدی می‌باشد. لازم به ذکر است که این تحقیق برای اولین بار بر روی سازند آسماری میدان کوپال انجام می‌گردد.



شکل ۱. مقطع

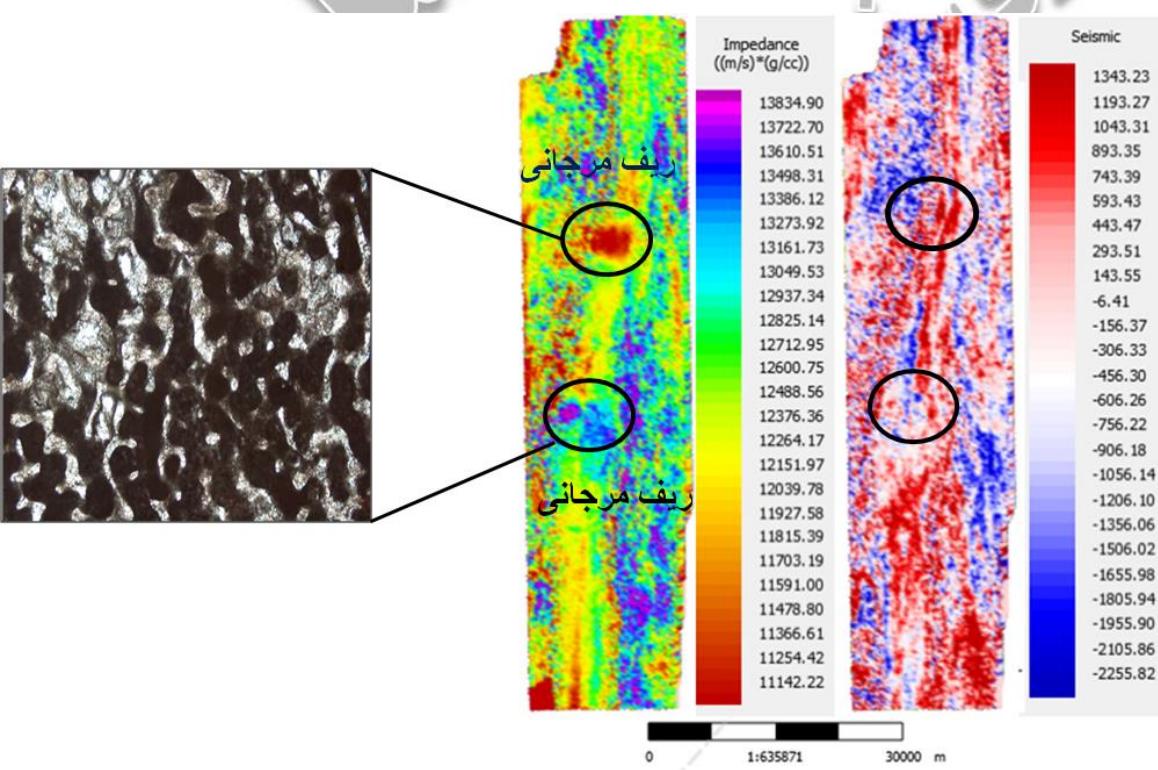
نازک

میکروسکوپی

مرجانهای سازند

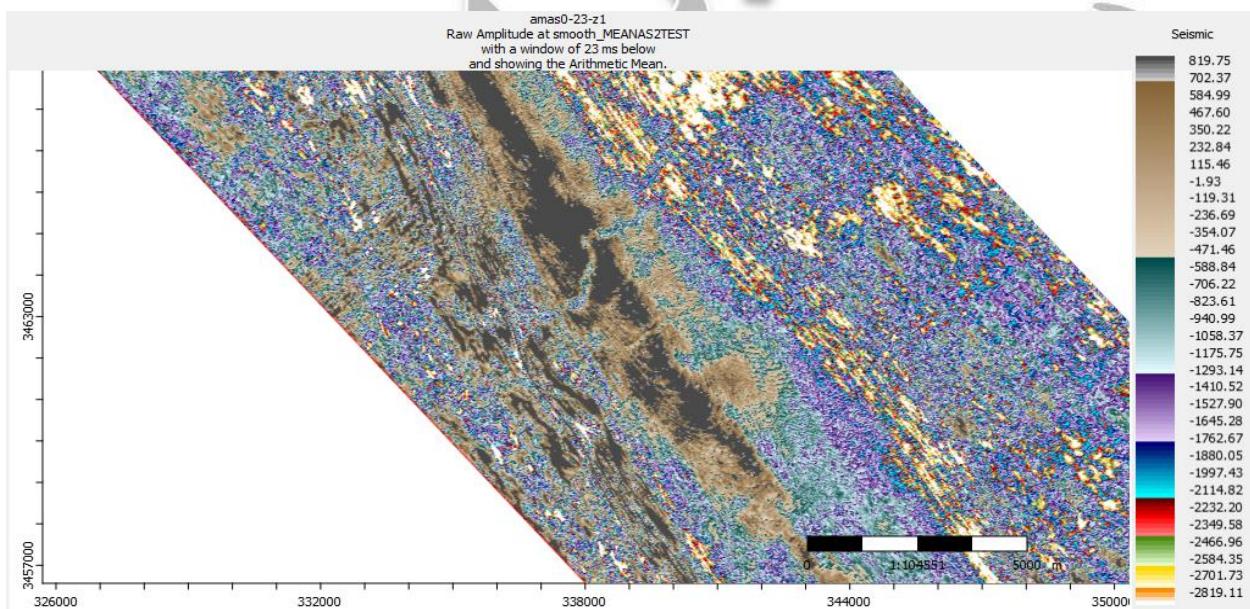
آسماری در چاه ۶

میدان کوپال.



معادله

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

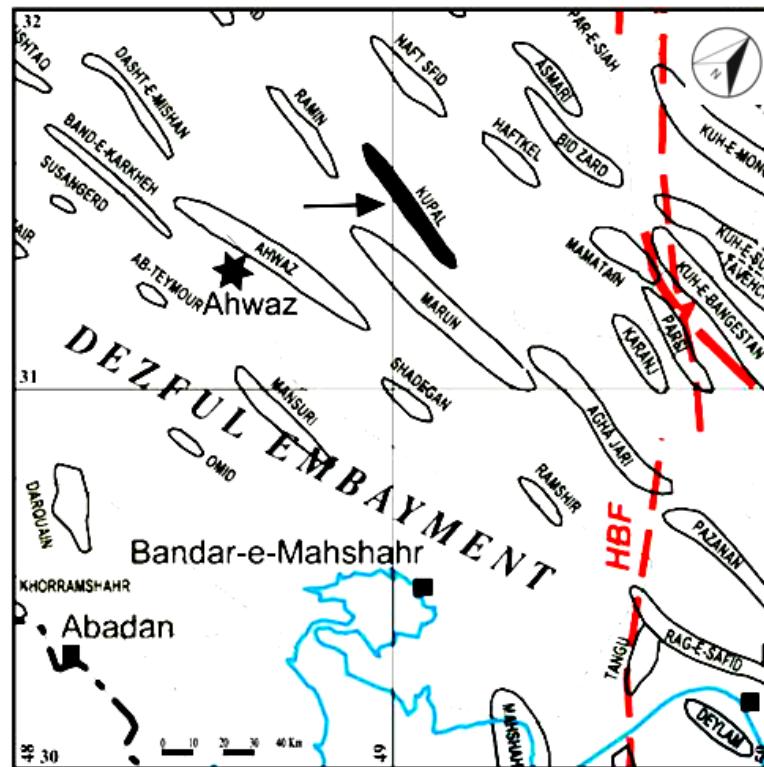


شکل ۳. برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۱ (grid slice) رودخانه مئاندری در آن به وضوح قابل مشاهده می‌باشد، امتداد رودخانه از جنوب شرق به سمت شمال غرب می‌باشد.

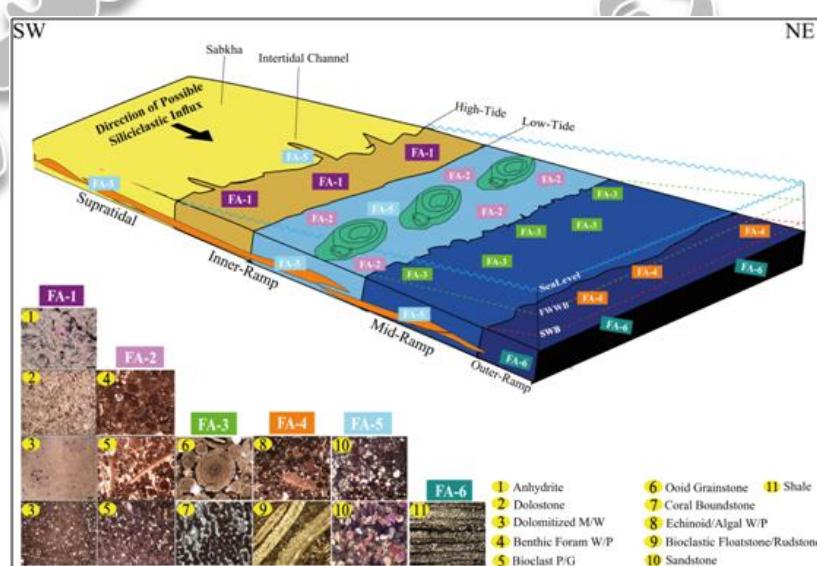
موقعیت میدان کوپال

از نظر جغرافیایی میدان نفتی کوپال در مناطق نفت خیز جنوب قرار دارد. میدان کوپال از سمت جنوب شرق به میدان آغازگاری، از شمال شرق به میدان هفتکل و از جنوب غرب به میدان مارون ختم می‌شود (شکل ۴). از دیدگاه ساختمانی این میدان در زون چن

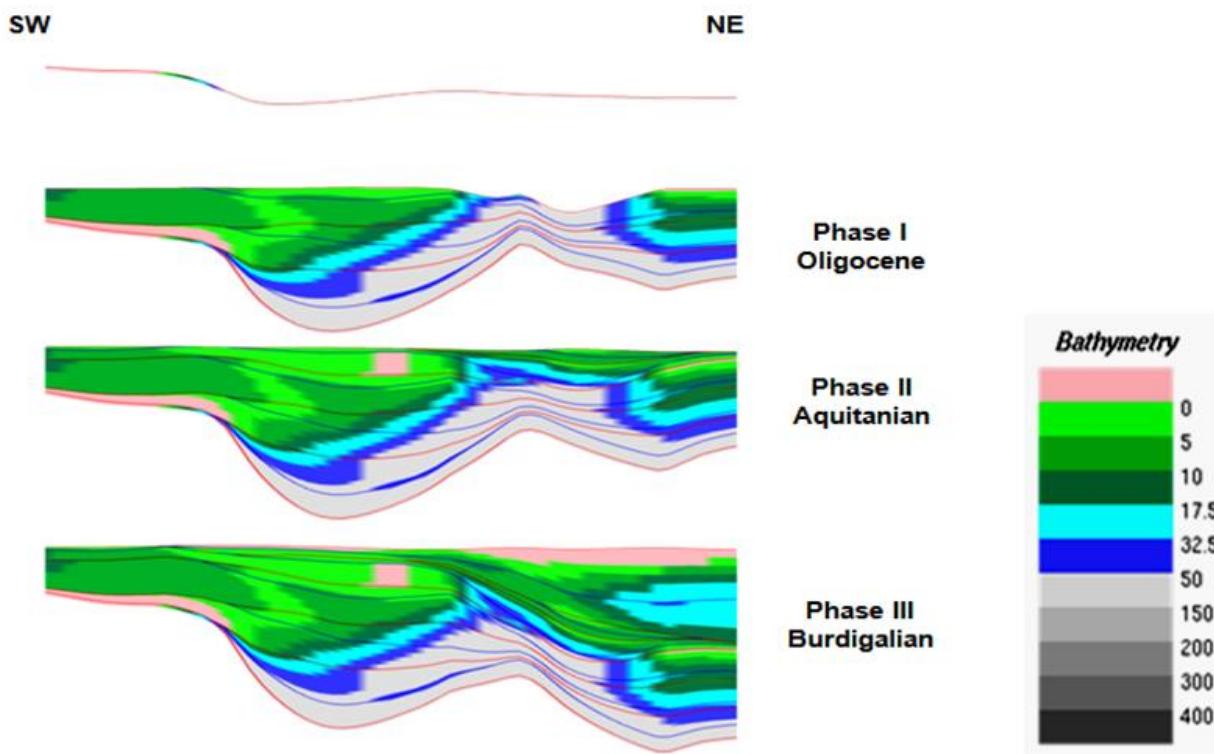
خورده و رورانده زاگرس واقع می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۲). مطالعات سطحی و زیر سطحی نشان می‌دهد که ستون سنگ چینه‌ای ترشیاری زاگرس در میدان کوپال دارای روند نرم‌النیزی باشد. سازندگان بختیاری، آغازاری، گچساران، میشان، آسماری، پابده در این میدان قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۴. نقشه شماتیک از میدان‌های مناطق نفت خیز جنوب غرب ایران و موقعیت میدان نفتی کوپال در فروافتادگی دزفول، میدان کوپال در مجاورت میدان‌های مارون آغازاری هفتکل می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۲).



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

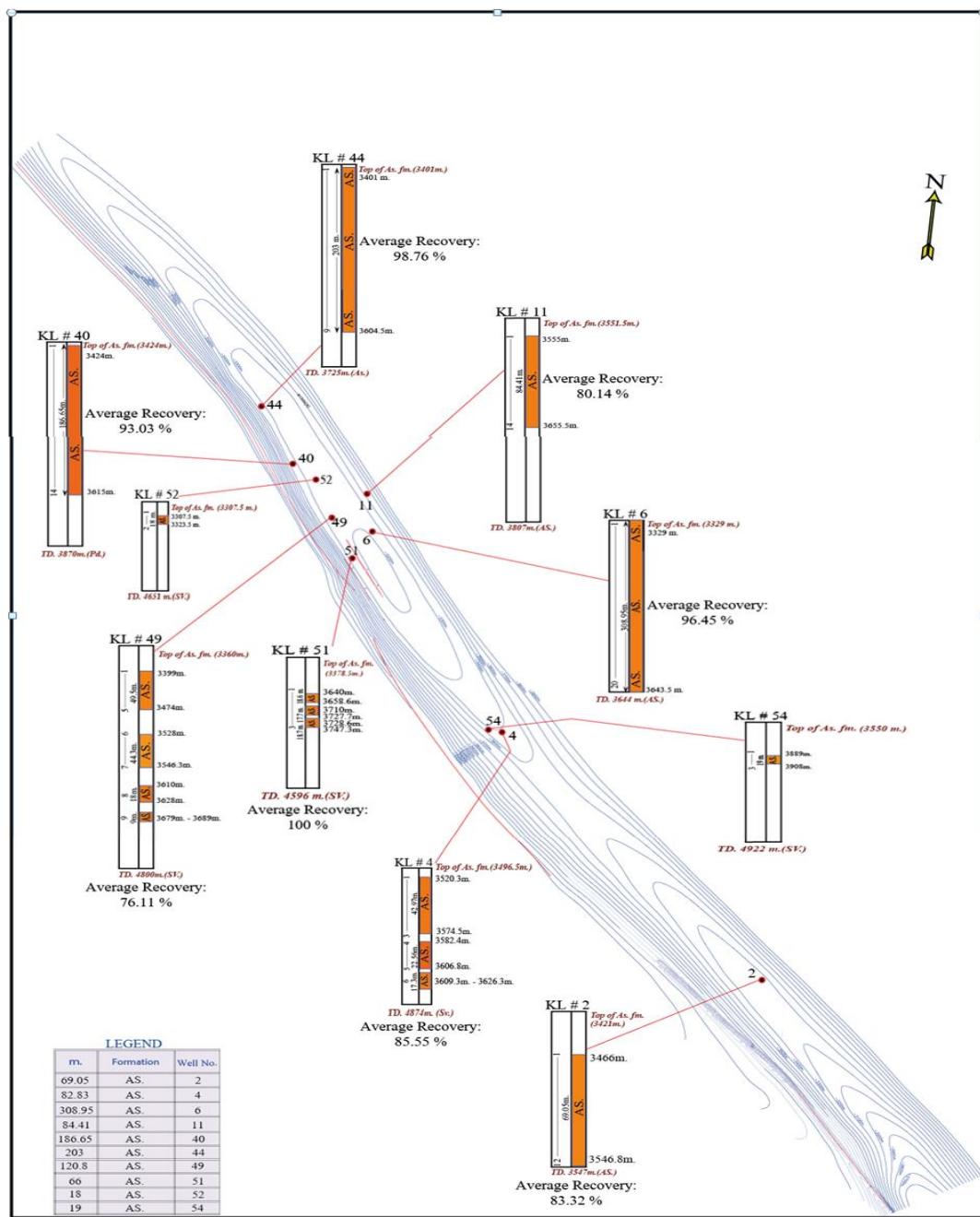


شکل ۶. تغییرات نحوه رسویگنگاری دریای آسماری در زمان الیگومیوسن زمین شناسی؛ در زمان الیگوسن دریای آسماری در منطقه زاگرس عمیق بوده، در زمان آکی تانین دریای آسماری در منطقه زاگرس نیمه عمیق بوده و در زمان بوردیگالین دریای آسماری در منطقه زاگرس کم عمق بوده است (ون بوخم، ۲۰۱۰).

اطلاعات و روش‌های تحقیق

پروژه لرزه‌نگاری سه بعدی میادین آغازگاری، مارون و کوپال توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در سال‌های ۸۴ و ۸۵ در منطقه وسیعی به وسعت 3000×3000 کیلومتر مربع انجام شد. منطقه پروژه در ۶۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز واقع می‌باشد. فاصله نمونه‌برداری داده‌های لرزه‌ای ۴ میلی ثانیه می‌باشد. طول موج غالب در این داده‌ها ۱۵ تا ۲۵ متر می‌باشد. سرعت بین لایه‌ای سطحی در حدود $1/5$ تا $2/5$ کیلومتر بر ثانیه می‌باشد. همچنین میدان کوپال دارای ۵۷ حلقه چاه می‌باشد. نمودارهای مختلف از جمله جرم مخصوص، 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 560 مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده است. در مرحله اول تحقیق، مقاومت صوتی (Acoustic Impedance) توالی رسوی سازند آسماری با استفاده از روش وارون‌سازی بر پایه مدل از اطلاعات لرزه‌ای سه بعدی استخراج گردید. مراحل وارون‌سازی لرزه‌ای شامل انطباق نمودارها با اطلاعات لرزه‌ای، استخراج موجک، ساختن مدل زمینه ای مقاومت صوتی اطلاعات لرزه‌ای به وسیله روش‌های آماری می‌باشد. جهت انجام وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای از نمودارهای چاه‌پیمایی 17 حلقه چاه استفاده گردیده است. به وسیله تغییرات در مقاومت صوتی می‌توان

تغییرات سنگ‌شناسی و خصوصیات مخزنی را به صورت نسبی بررسی نمود(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 گردیدند، 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 گردیدند.



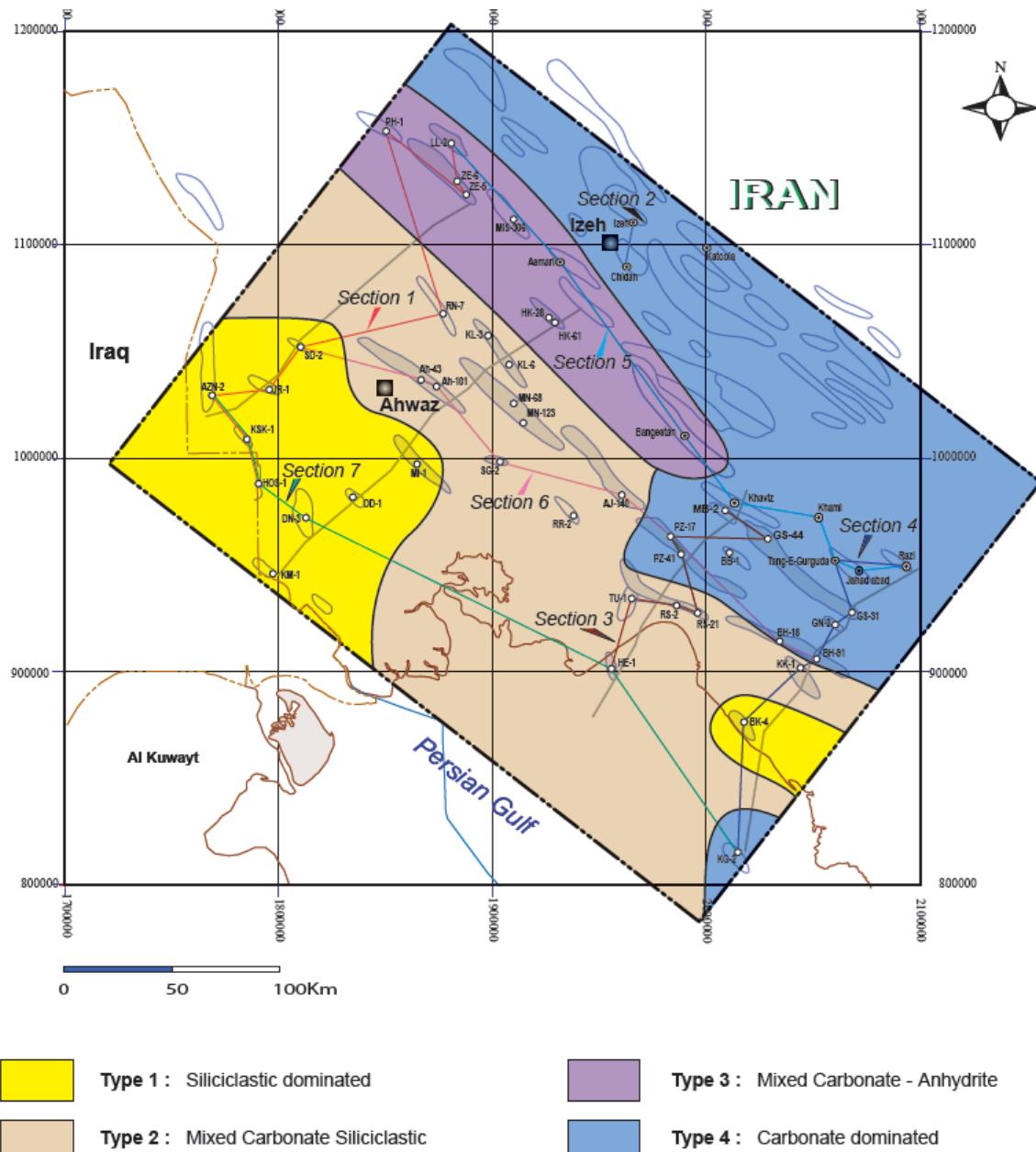
شکل ۷. منحنی هم عمق سر سازند آسماری و مکانهای ده حلقه چاه دارای مغزه حفاری سازند آسماری میدان کوپال.

مراحل انجام پژوهش

بررسی نتایج مطالعات قبلی زمین شناسی و پتروفیزیکی

جهت بررسی مشخصات سنگ‌شناسی از روی مغزه‌های حفاری مرز واحدهای مختلف با یکدیگر، ساختهای رسوی (درصورت وجود)، ماهیت واحدها (ریزشوندگی یا درشت شوندگی)، عوارض دیاژنتیکی ماکروسکوپی و وضعیت شکستگی‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. جهت نامگذاری سنگ‌های آواری از طبقه بندی پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۵) و برای نامگذاری سنگ‌های کربناته از طبقه بندی دانهام (۱۹۶۲) و در مواردی نیز از طبقه بندی فولک (۱۹۷۴) و ویلسون (۱۹۷۵) و تاکر (۲۰۰۱) استفاده شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده 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 آکی‌تائین و بوردیگالین تنشست شده‌اند (نیکفرد، ۲۰۲۰). سازند آسماری در یک محیط پلاتiform مختلط کربنات - سیلیسی آواری از نوع رمپ هم شیب (Homoclinal) نهشته شده است (امیدپور، ۲۰۲۱) (ون بوخ، ۲۰۱۰) (شکل ۵). با توجه به اهمیت رخساره‌های محیط‌های پلاتiform مختلط کربناته - سیلیسی آواری (Mixed Carbonate-Siliciclastic) افراد زیادی این رخساره‌ها را مورد مطالعه قرار دادند عبارتند از (آورجانی و همکاران، ۲۰۱۵ و وزیری و همکاران، ۲۰۰۶ و هیل لند و همکاران، ۱۹۹۸ و شب افروز، ۲۰۱۵ و برندانو، ۲۰۰۳ و گیل، ۲۰۰۰ و امیرشاکری و همکاران، ۲۰۱۸ و اله‌کرم پوردیل و همکاران، ۲۰۱۸ و هاول و همکاران، ۲۰۰۸ و آدامز، ۱۹۶۷). نیکفرد و همکاران (۱۴۰۱) پس از بررسی اطلاعات لرزه‌ای، سه چیزهای لرزه‌ای در سازند آسماری تشخیص دادند عبارتند از سکانس اول، شامل رسوبات ماسه‌آواری با سن شاتین که دارای بازتاب‌های نامنظم و متقطع می‌باشد. سکانس دوم، شامل رسوبات کربناته با سن آکی‌تائین (Aquitanian) به صورت بازتاب‌های موازی و در بعضی موقعیت کلینiform (clinoform) می‌باشد. سکانس پایانی، شامل رسوبات دولومیتی و آهک دولومیتی با سن بوردیگالین (Burdigalian) می‌باشد که دارای بازتاب‌های موازی می‌باشد.

مطالعات پتروفیزیکی چاه‌های میدان کوپال بر روی نمودارهای چاه‌پیمایی که شامل جرم مخصوص، نوترون، اشعه گاما و مقاومت می‌باشد، انجام گردید. از این نمودارها برای تعیین لیتوژئی و موزبین واحدها (در جاهایی که مغزه و خردنهای حفاری موجود نبود) ریزشوندگی یا درشت شوندگی واحدهای تخریبی و تفكیک بخش‌های مختلف یک سکانس و تشخیص سطوح اصلی لایه‌بندی استفاده شده است.



شکل ۸. شرایط رسوبگذاری دریای آسماری در منطقه زاگرس، میدان کوپال در بخش حاکستری (کربنات-سیلیسی) قرار دارد (ون بوخم، ۲۰۱۰).

زون بندی سازند آسماری

جهت تعیین زون‌های مختلف سازند آسماری مقاطع نازک میکروскопی و مغزه‌های حفاری و نمودارهای چاه‌پیمایی و ارزیابی‌های پتروفیزیکی (شامل احجام کائیها، اشباع شدگی و تخلخل) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مطالعه مغزه‌های حفاری و مقاطع نازک میکروскопی تغییرات سنگ‌شناسی، ساختهای رسوبی، دانه‌بندی (ریزشوندگی یا درشت‌شوندگی)، عوارض دیاژنتیکی

(سیمان شدگی و انحلال) مشخص گردید. براساس نمودارهای چاه‌پیمایی که شامل جرم مخصوص، نوترون، اشعه گاما و ارزیابی‌های پتروفیزیکی (احجام کانیها، اشباع شدگی و تخلخل) تغییرات سنگ شناسی و ریزشوندگی یا درشت‌شوندگی واحدهای تخریبی و خواص مخزنی (اشباع شدگی و تخلخل) تعیین شد. براساس مطالعات پتروفیزیکی، زمین‌شناسی می‌توان سازند آسماری را به ۷ زون و ۴ زیر‌زون تقسیم کرد. زون‌های ۶ و ۷ دارای دو زیر‌زون می‌باشند (شکل ۹).

زون ۱

حد بالایی این زون آخرین لایه اندریتی 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 می‌گردد. این زون عمدتاً از دولومیت، همراه با لایه‌های آهک دولومیتی تشکیل شده است. ضخامت حقیقی این زون به طور میانگین ۵۵ متر می‌باشد و به سمت غرب مخزن روند افزایشی را نشان می‌دهد (مالگرد، ۱۳۹۴ و امیری، ۱۳۹۰). با توجه به این که زون ۱ در شرایط رسوبگذاری پنهان سبخایی تشکیل گردیده 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. میزان تخلخل مفید و اشباع آب در این زون به طور میانگین به ترتیب ۱۱۵ و ۰/۳۹ و ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۶۷ می‌باشد.

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 نمی‌گردد. 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 به طور میانگین به ترتیب ۰/۰۷۳ و ۰/۵۳ می‌باشد. توزیع تخلخل مفید زون ۲ در تمام میدان دارای تغییرات زیادی نمی‌باشد. بیشترین مقدار تخلخل از چاه شماره ۴۱ به سمت غرب (نیمه غربی میدان) مشاهده می‌شود (امیری، ۱۳۹۰).

زون ۳

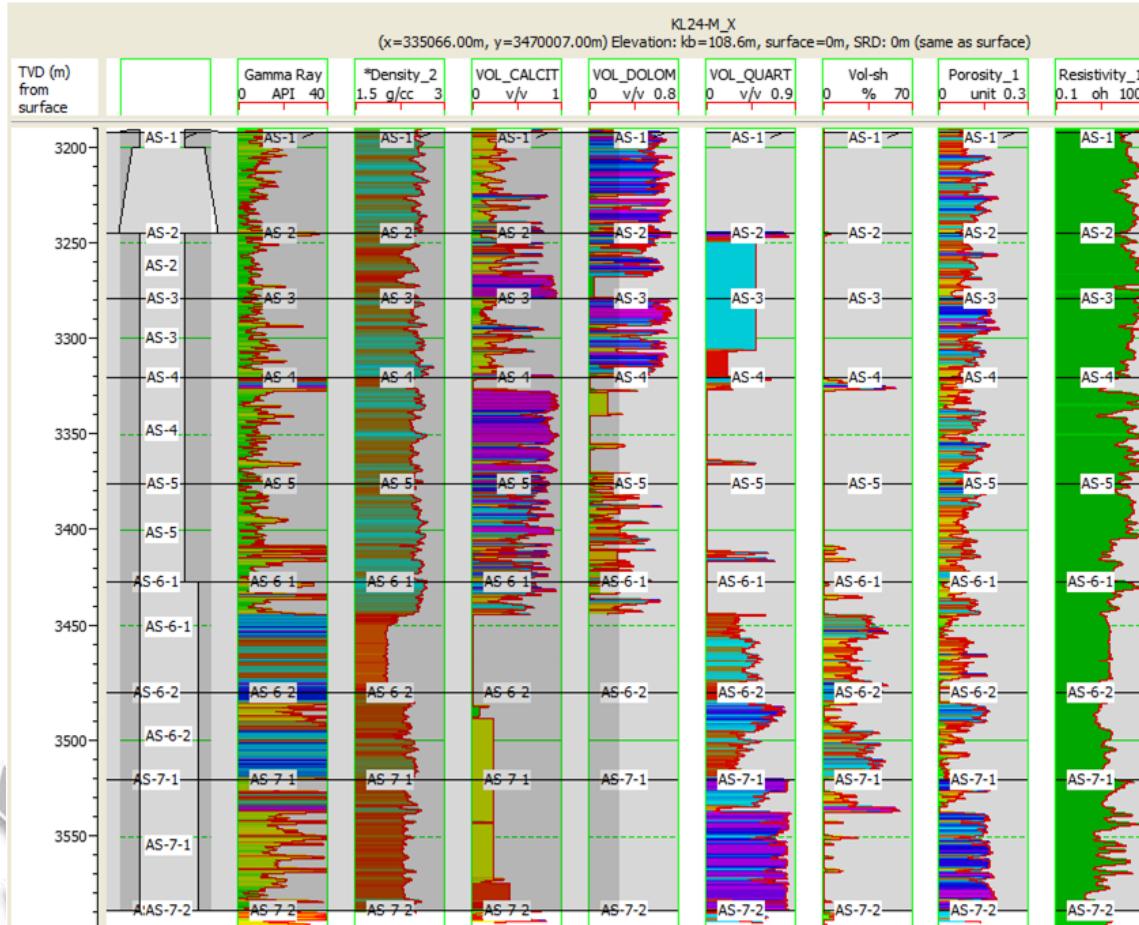
این زون در اکثر قسمت‌های مخزن با یک لایه دولومیت یا آهک دولومیتی متخلخل آغاز و به یک لایه شیل ختم می‌گردد. عده سنگ‌های این زون دولومیت و دولومیت‌های آهکی می‌باشد که به صورت پراکنده دارای نازک لایه‌هایی از ماسه سنگ می‌باشند. ضخامت زون ۳ به جز در دامنه شمالی و قسمت غربی میدان، در بقیه میدان به طور میانگین ۴۶ متر می‌باشد. تخلخل مفید و اشباع آب در زون ۳ بطور میانگین به ترتیب ۰/۱۰۲ و ۰/۴۴ و نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۵۷ می‌باشد. نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۵۷ بوده و میزان تخلخل مفید از مرکز به سمت غرب مخزن افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد.

زون ۴

حد بالایی این زون، یک لایه شیلی و شروع مرز پایینی آن یک لایه سنگ آهک متراکم می‌باشد. عده سنگ‌های تشکیل دهنده این زون سنگ آهک می‌باشد. به طور پراکنده در اغلب چاه‌های میدان لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ دیده می‌شود. ضخامت این زون بطور متوسط ۵۲ متر است. نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۴۲ و میزان تخلخل مفید و اشباع آب در این زون بطور میانگین به ترتیب ۰/۰۷۶ و ۰/۵۰ می‌باشد.

زون ۵

عمده سنگ‌های تشکیل دهنده این زون سنگ آهک می‌باشد. قاعده این زون به یک لایه ماسه‌سنگ یا شیل ختم می‌شود. این زون عمدتاً حاوی بافت‌های مادستون و وکستون بوده و در بعضی قسمت‌های دولومیت‌ها حالت بلورین می‌باشد. میانگین ضخامت این زون ۵۴ متر است. میانگین مقدار تخلخل مفید مخزن ۰/۰۷۸، نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۲۵ می‌باشد. میانگین مقدار تخلخل مفید و اشیاع آب مفید به ترتیب ۰/۰۷۸ و ۰/۰۶۴، و نسبت ضخامت خالص به ناخالص آن ۰/۲۵ می‌باشد.



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

وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای سه بعدی

فرآیند وارون‌سازی لرزه‌ای یکی از ابزاری بسیار مهم جهت توصیف لرزه‌ای مخزن محسوب می‌گردد. روش‌های مختلفی به منظور وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای پس از برآبشارش مانند وارون‌سازی باند 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 دقیق و قدرت تفکیک بالاتر انتخاب گردید.

بدست آوردن 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 میلی ثانیه از داده‌های لرزه‌ای

می‌باشد، استخراج شد. با توجه به اینکه تخمین تغییرات فاز موجک در طول مسیر مشکل است، فاز (Phase) موجک نهایی تخمینی را ثابت (صفر) در نظر گرفته شد. پهنانی باند 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 فرآیندهای مختلف از قبیل کشیدگی (Stretch)، فشردگی و جابجایی اندک با لرزه‌نگاشت مرکب تا جایی که میزان همبستگی نتیجه قابل قبولی از خود نشان دهد، مطابقت داده شد. همانطور در شکل ۱۰ برای نمونه چاه ۳۶ میدان کوپال مشاهده می‌گردد، میزان همبستگی بین لرزه‌نگاشت مصنوعی و لرزه‌نگاشت مرکب که شامل تعدادی از رد لرزه موجود در مجاورت چاه ۱۷ میدان کوپال ۷۸ درصدی می‌باشد. بعلت تغییر در ماهیت موجک به سبب جابجایی، سعی بر آن شد که میزان فشردگی و جابجایی حداقل لازم جهت تطابق اعمال گردد. جهت ایجاد این همبستگی به میزان ۲ میلی ثانیه فشردگی و ۸ میلی ثانیه جابجایی بر روی لرزه‌نگاشت مصنوعی اعمال شد.

جهت ساخت مدل اولیه (Initial Model) ابتدا نمودار مقاومت صوتی با استفاده از نگارهای صوتی و چگالی محاسبه گردید (شکل ۱۱). مدل اولیه در واقع مدل مقاومتی هست که از درون‌یابی مقاومت صوتی نمودارهای چاه‌ها به دست می‌آید. مؤلفه فرکانس پایین (LowFrequenc) این مدل گزینه‌ای معتبر، جهت وارون‌سازی استفاده می‌شود. داده‌های لرزه‌ای دارای باند محدود می‌باشند. بنابراین فرکانس این داده‌ها شامل فرکانس‌های پایین و بالا نمی‌شود. لذا علاوه بر داده‌های لرزه‌ای، یک مدل مقاومتی فرکانس پایین نیز به عنوان اطلاعات اولیه در وارون‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (راسل، ۱۹۸۸). اولین مزیت این مدل محدود کردن جواب‌های ممکن در مرحله وارون‌سازی است چرا که 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 فرآیند وارون‌سازی استفاده گردید.

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 امپانس برای هر رد لرزه می‌گردد. اختلاف در مدل با داده‌های واقعی به صورت مکرر محاسبه می‌شود تا جایی که مدل حاصل با داده‌های واقعی لرزه‌ای انباتق قابل انتظار را داشته باشد (کوک، ۱۹۸۳). از مهمترین پارامترهای موثر در این روش بر پایه مدل اندازه بلوک‌های مقاومت صوتی (Block Size) و تعداد تکرار (Number of Iteration) می‌باشد. اندازه بلوک‌ها ۴ میلی ثانیه و تعداد تکرار ۲۰ مرتبه در مرحله آنالیز داده‌های لرزه‌ای در محدوده سازند آسماری میدان کوپال تعیین گردیدند (شکل ۱۲ الی ۱۴).

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 گردید، سپس تغییرات مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی آنالیز شد که نتیجه این ارزیابی به قرار ذیل می‌باشد.

زون ۱

این زون بخشی از سکانس پایانی سازند آسماری با سن بوردیگالین می‌باشد (نیکفرد و همکاران، ۲۰۲۲). 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 تاثیر داشته وجود رودخانه می‌باشد که باعث فرسایش رسوبات و ایجاد کanal در این زون شده است (ارزانی، ۱۳۹۳). کanal 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 مثار بخوبی قابل مشاهده است(شکل ۳).

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 سبخابی(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).

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).

زون ۴

این زون بخشی از سکانس دوم سازند آسماری با سن آکی تانین می‌باشد(نیکفرد و همکاران، ۲۰۲۰). زمان نهشته شدن رسوبات این زون همزمان با بالا آمدن سطح آب حوضه همراه بوده است که باعث پیشروی دریا به سمت جنوب و موجب نهشته شدن رسوبات کربناته بر روی رسوبات مختلط زون پنج گردیده است. این زون در کلینوفرم‌های سکانس دوم تشکیل شده است، در این زمان امکان رشد مرجان‌ها(Coral) فراهم بوده است(مرسلی، ۲۰۱۲ و 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 بسیار زیادی می‌باشد(شکل ۱۸-الف).

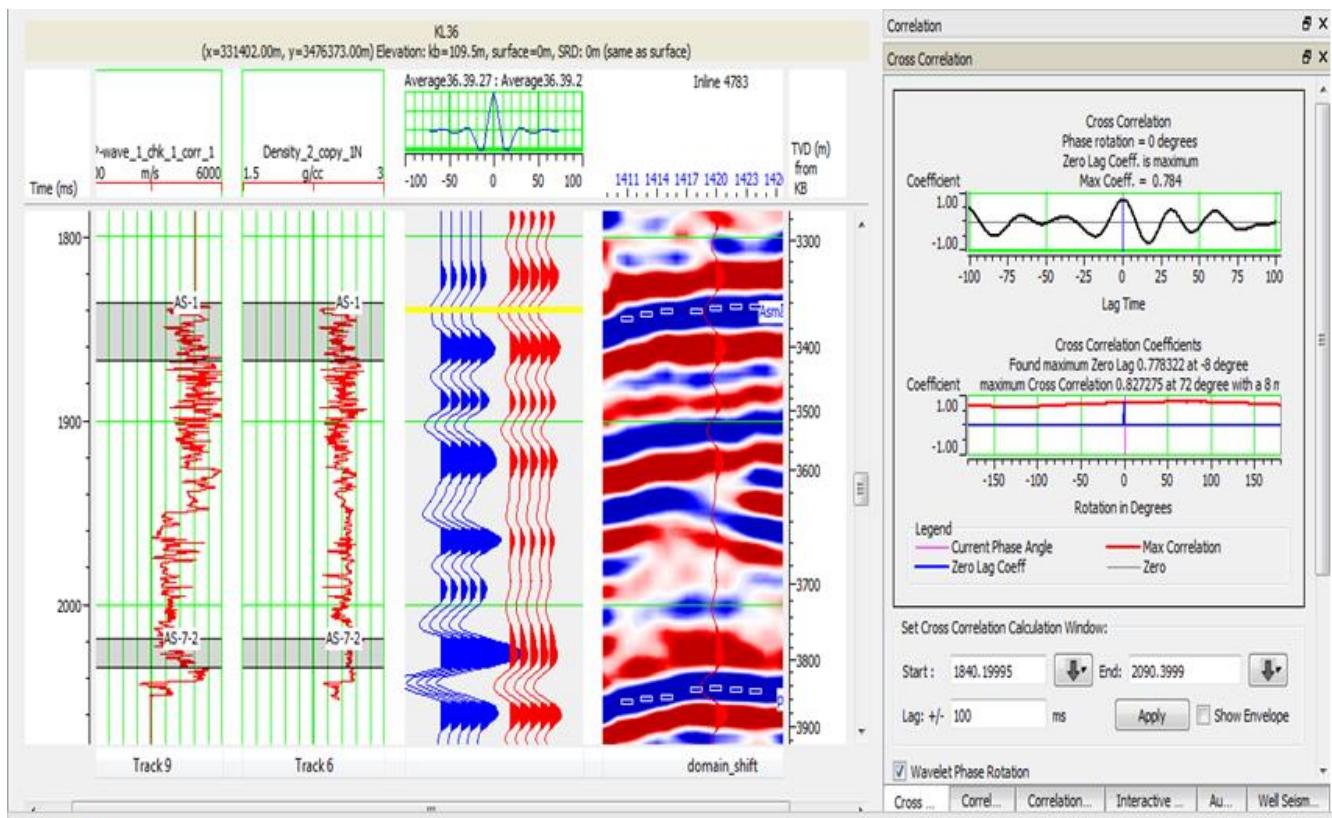
زون ۵

این زون بخشی از سکانس دوم سازند آسماری با سن شاتین فوکانی می‌باشد(اله کرم و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به شرایط رسوبی، محیط رسوبگذاری این سکانس قسمت فوکانی 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).

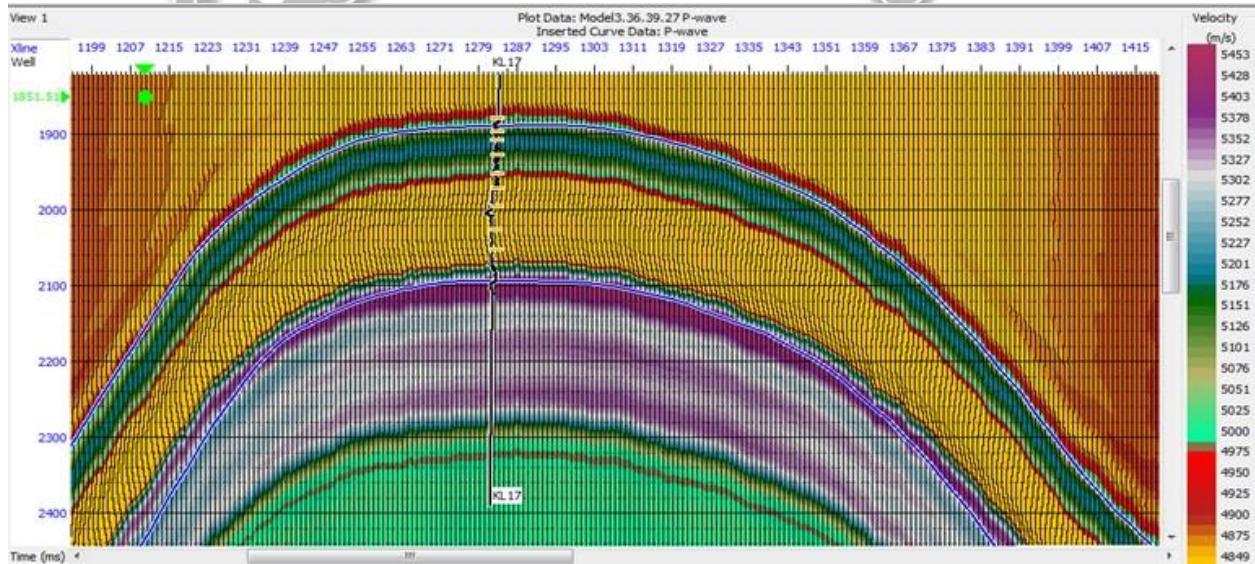
نتیجه گیری

بخش کربناته سازند آسماری میدان کوپال شامل زون ها ۳ و ۴ و ۵ می باشد. این زون ها به صورت پراکنده دارای تغییراتی در نشانگرهای مقاومت صوتی و دامنه و خصامت لایه و همچنین میزان تخلخل هستند. مهمترین عامل این تغییرات را می توان وجود احتمالی ماندها(Reef) و ریفها(Mound) در این توالی ها قلمداد کرد که با توجه به انحلال یا سیمانی شدن، این اشکال در محلهایی که دارای انحلال(Dissolution) و تخلخل بالا هستند مقاومت صوتی پایین داشته باشند. همچنین در محلهایی که دارای پدیده سیمانی شدن(Cementation) هستند تخلخل شان کم می شود و این اشکال دارای مقاومت صوتی بالایی می باشند. در بخش هایی از ریفها که تخلخل بالاست و مقاومت صوتی پایین می باشد، می تواند مکان مناسبی جهت حفاری چاههای توسعه ای مخزن آسماری میدان کوپال - باشند.

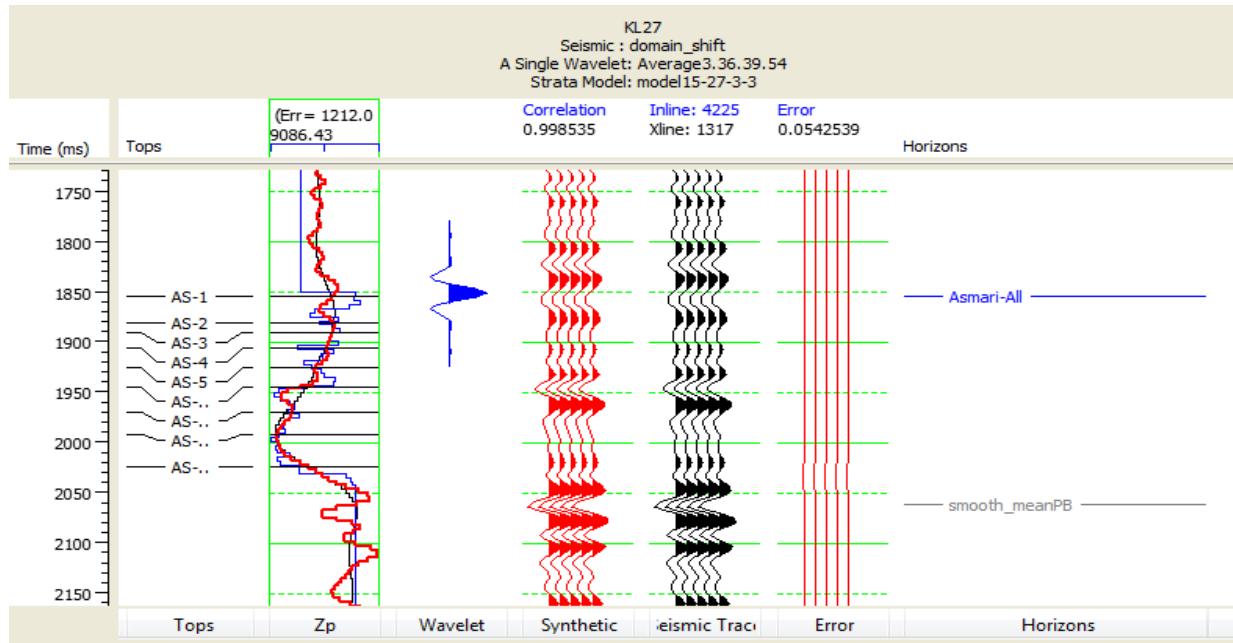
بخش انتهایی توالی کربناته سازند آسماری در میدان کوپال آخرین سکانس رسوبی این سازند می باشد که شامل رسوبات دولومیتی، تغییرات در تخلخل و مقاومت صوتی و دامنه بسیار کم است. ولی در قسمت میانه میدان نشانگر دامنه و مقاومت صوتی دارای تغییرات به صورت مئاندری هستند که نشان از فعالیت سیستم رودخانه دارند. فعالیت سیستم های رودخانه ای می تواند باعث فرسایش رسوبات آهکی و راسب شدن رسوبات آواری شود، این رسوبات می تواند دارای تخلخل بالا و مقاومت صوتی پایین باشند. محل کanal این رودخانه می تواند مکان مناسبی برای حفاری چاههای توسعه ای مخزن آسماری میدان کوپال بعلت داشتن رسوبات متخلخل باشد.



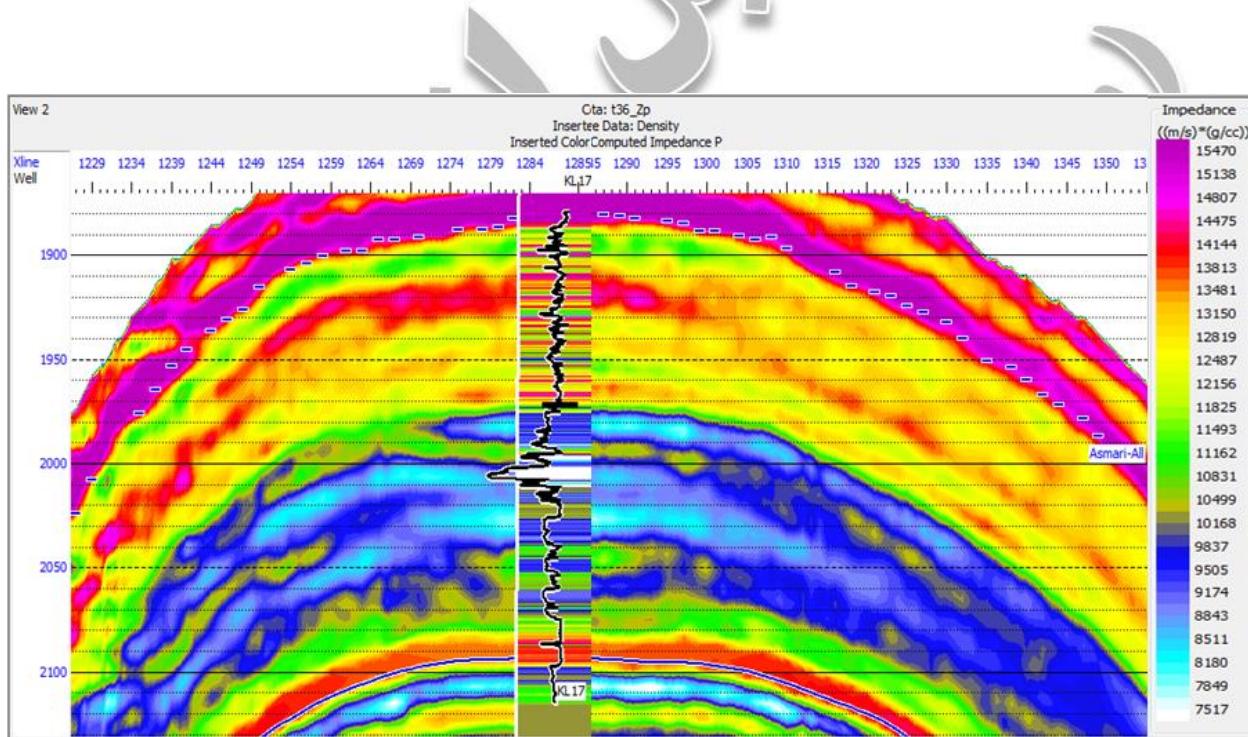
شکل ۱۰. تطابق لرزه‌نگاشت مصنوعی و داده‌های لرزه‌ای و نگاره‌ای چاه‌پیمایی در محل چاه ۳۶. بعلت جلوگیری تغییر در ماهیت موجک به سبب جابجایی، جهت ایجاد این همبستگی به میزان ۲ میلی ثانیه فشردگی و ۸ میلی ثانیه جابجایی بر روی لرزه‌نگاشت مصنوعی اعمال شد.



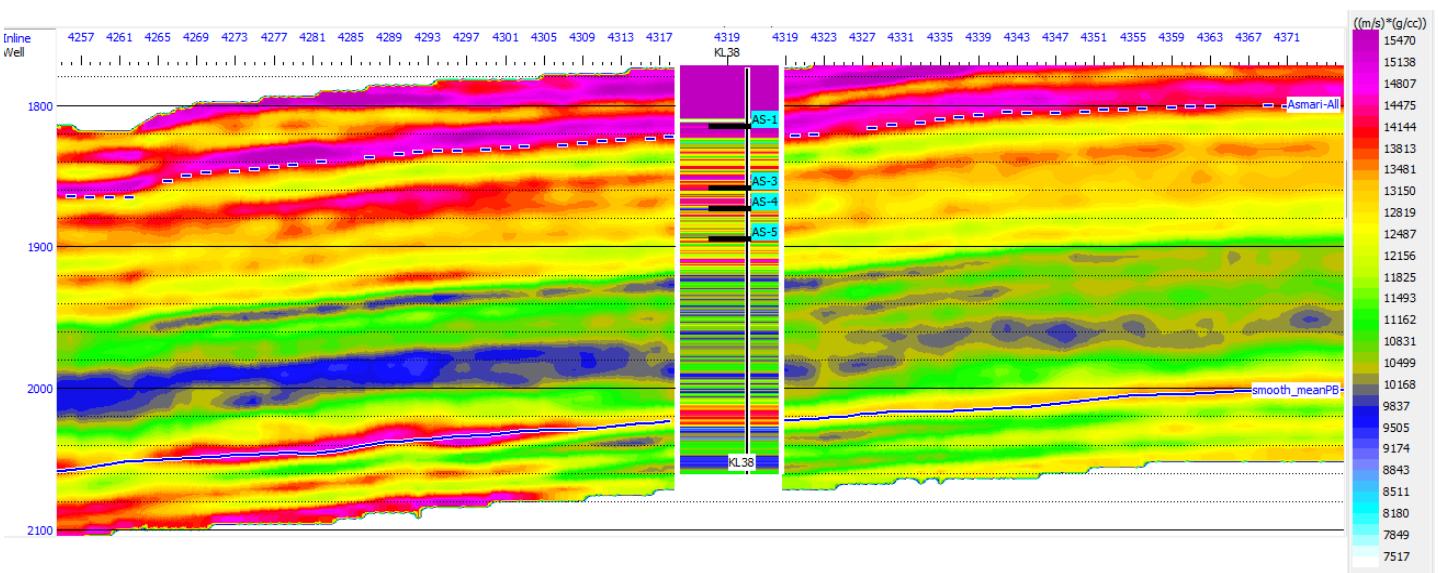
شکل ۱۱. برش عرضی مدل اولیه میدان کوپال در محل چاه ۱۷ و تاپ زون‌های سازند آسماری.



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

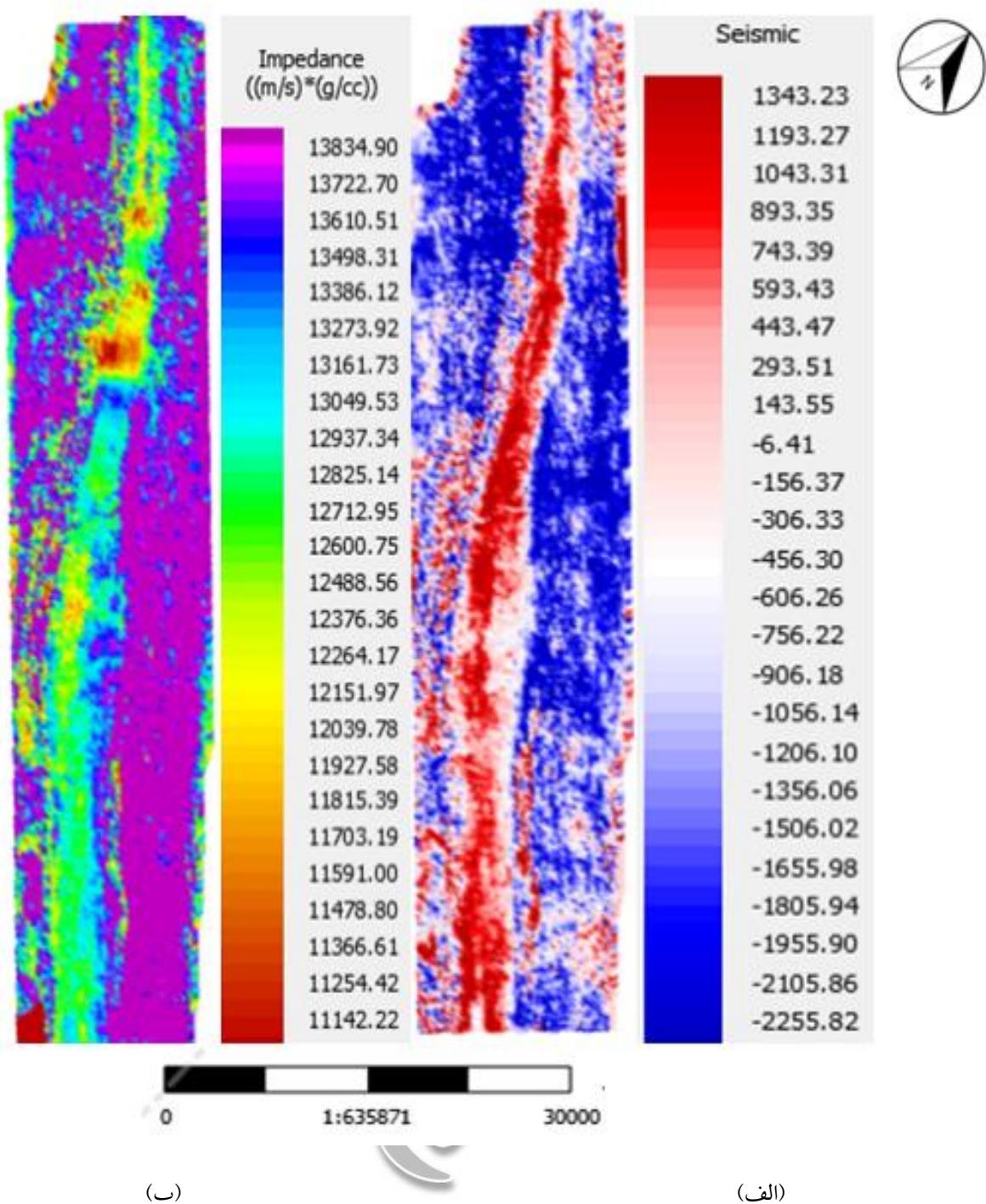


شکل ۱۳. برش عرضی از اطلاعات مقاومت صوتی حاصل از وارونسازی اطلاعات لرزه‌ای میدان کوپال در محل چاه ۱۷ با نمودار چاه‌پیمایی جرم مخصوص.

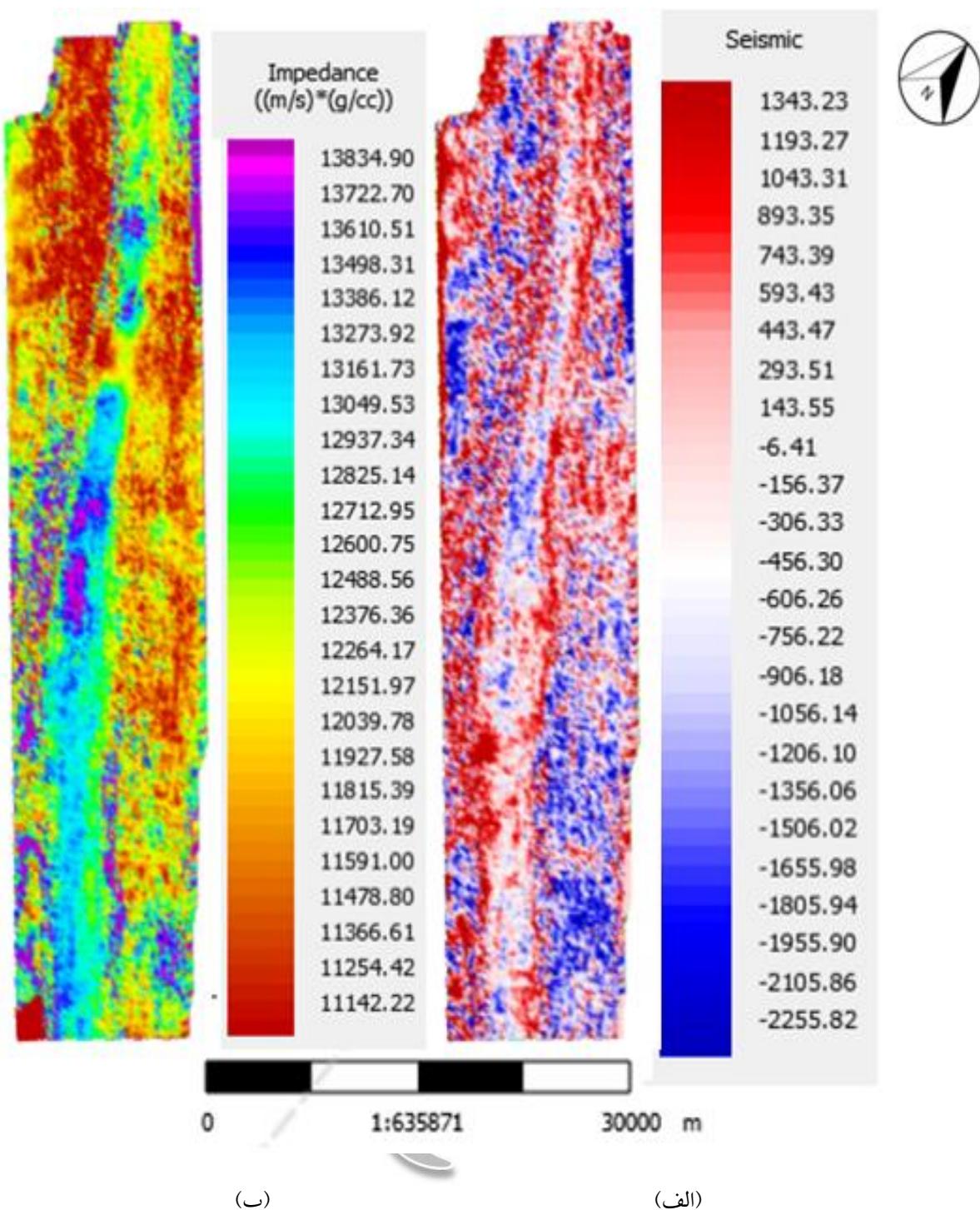


شکل ۱۴. برش طولی از اطلاعات مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی اطلاعات لرزه‌ای میدان کوپال در محل چاه ۳۸ با تاپ زون‌های ۱ الی ۵ بخش کردن‌ته.

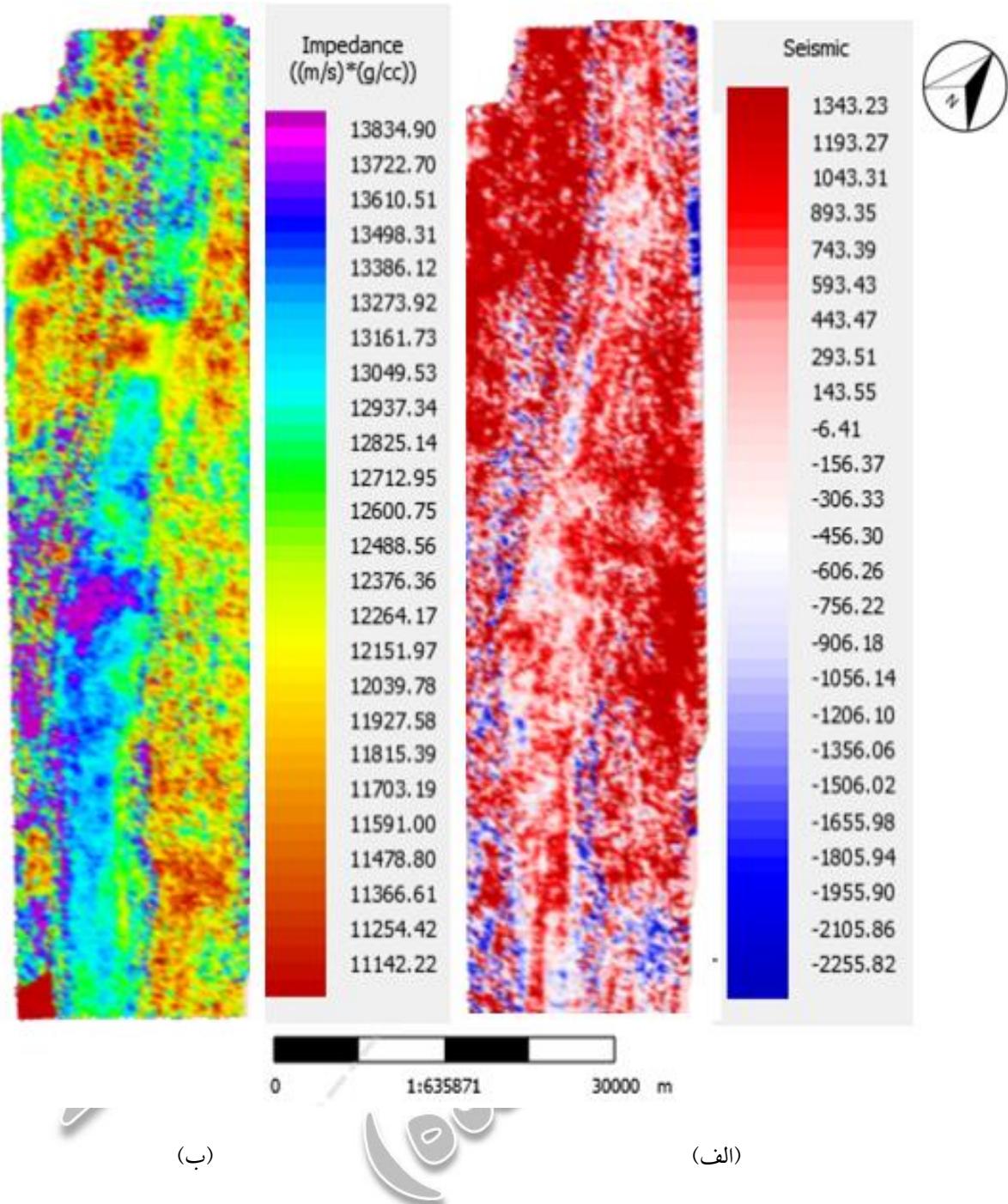
دکتر اسلامی خشنده



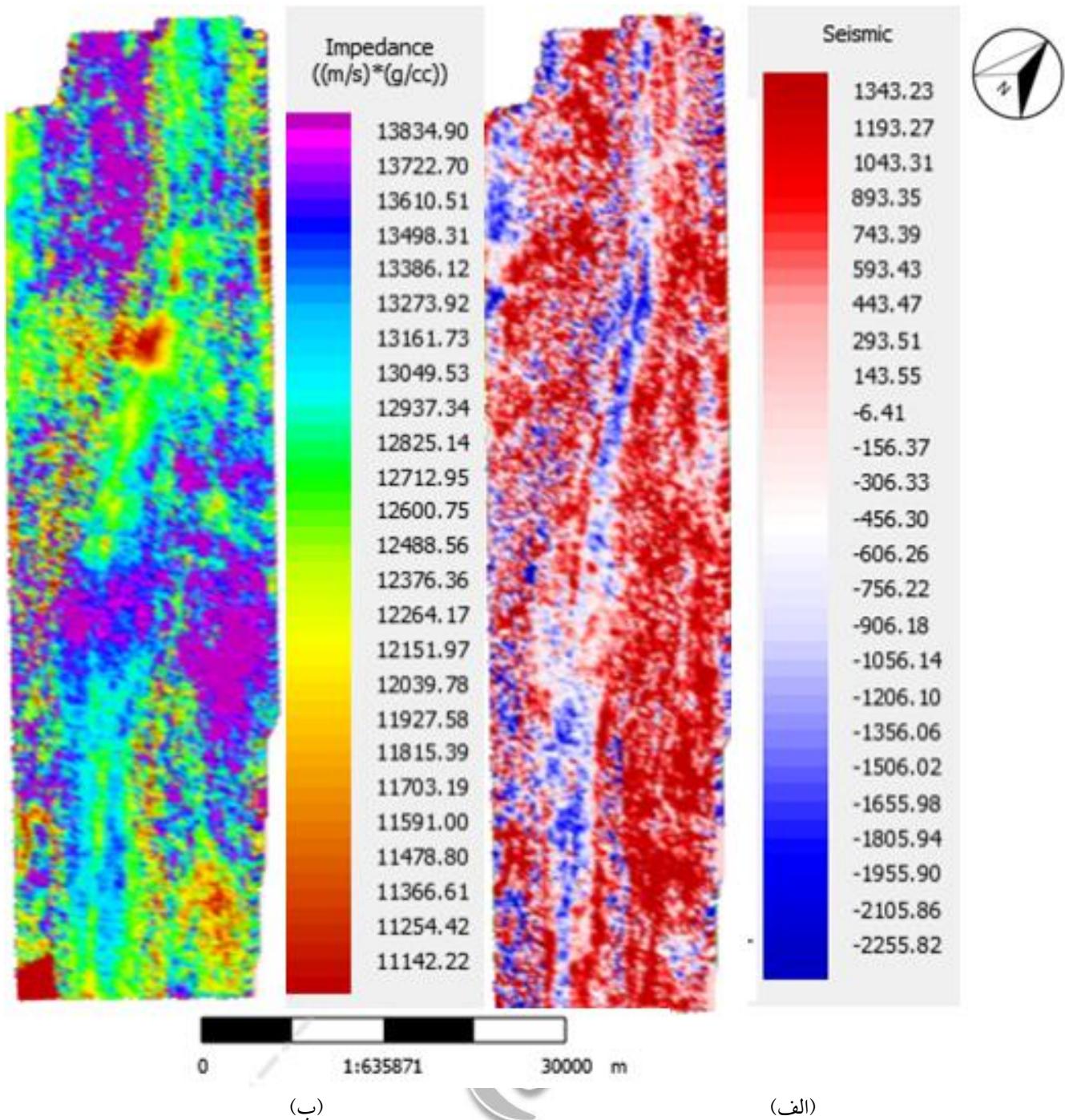
شكل ١٥. الف) برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۱ (grid slice) (ب) برش مقاومت صوتی در امتداد افق تفسیری زون ۱ (grid slice).



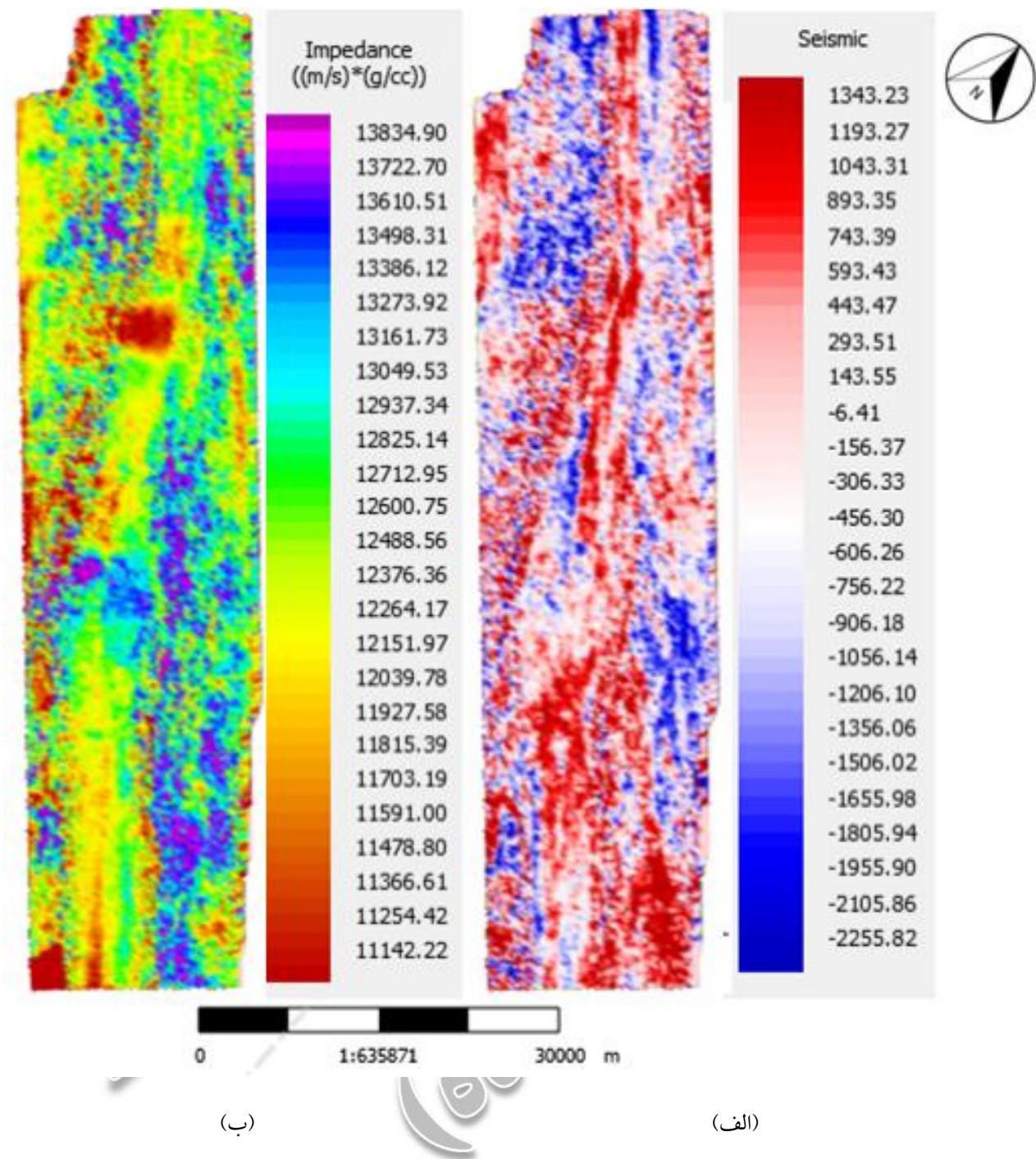
شکل ۱۶. الف) برش نشانگر دامنه در امتداد افق تفسیری زون ۲ (grid slice)، ب) برش مقاومت صوتی در امتداد افق تفسیری زون ۲ (grid slice).



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)

منابع

- ارزانی، ع.، حسینی‌فر، م و اشتربی تلخستانی، ا.، ۱۳۹۳، تفسیر ساختمانی، وارون‌سازی لرده ای و تجزیه طیفی مخزن آسماری میدان کوپال، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، گزارش شماره پ ۸۱
- امیری، ح.، ۱۳۹۰، مطالعه مغذه‌ها، 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، پایان نامه کارشناسی ارشد-دانشگاه شهید بهشتی
- نیکفرد، م.، ۱۴۰۱، چینه شناسی و تکامل حوضه رسوبی 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 زمین شناسی و مدل‌سازی مخزن آسماری میدان کوپال، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، گزارش شماره پ ۷۵۸۰
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، زمین شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ ص.

- Adabi, M.H., Zohdi, A., Ghabeishavi, A., Amiri-Bakhtiar, 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, vol. 6, pp. 53–74.
- Allahkarampour Dill, M., Vaziri-Moghaddam, H., Seyrafian, A. and 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.
- Amirshahkarami, M., Vaziri-Moghaddam, H. and 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.
- Aqrawi, A.A.M., Wennberg, O.P., 2007. The Control of Fracturing and Dolomitisation on 3D Reservoir Property Distribution of the Asmari Formation (Oligocene-LowerMiocene), Dezful Embayment, SW Iran. International Petroleum Technology Conference (IPTC), Dubai, U.A.E., pp. 1–7.
- Aqrawi, A.A.M., Keramati, M., Ehrenberg, S.N., Pickard, N., Moallemi, A., Svånå, T.A., Darke, G., Dickson, J.A.D. and 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., and 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. and 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. and 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 Kaljur 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, pp. 108-121.
- Ehrenberg, S.N., Pickard, N.A.H., Laursen, G.V., Monibi, S., Mossadegh, Z.K., Svånå, T.A., Aqrawi, 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.

- Esrafil-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. and 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, vol. 6, pp. 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.
- Nikfarid, M., Vaziri-Moghaddam, H., Seyrafian, A., Behdad, A. and 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., Mahboubi, A., 2022. Depositional environment, geochemistry and diagenetic control of the reservoir quality of the Oligo-Miocene Asmari Formation, a carbonate platform in SW Iran. *Geological Quarterly*, 2021, 65: 27. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1596>
- Omidpour, A., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Rahimpour-Bonab, H., 2021a. 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, 635 439–45.
- Shabafrooz, R., Mahboubi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Ghabeishavi, A., Moussavi- Harami, R., 2015a. 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. Liuhua 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. and 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.

دانشگاه اسلامی کاشان

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

Abstract

The purpose of the study was 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 was chosen due to its higher accuracy and separation power.

According to sequence stratigraphic studies, Asmari Formation has three sequences. The lower sequence is in the sandstone section and the middle and upper sequence is in the carbonate section. According to petrophysical studies, Asmari reservoir has 7 main zones. Zones 1 to 5 are in the upper and middle sequence 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 and, 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 considered 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 depositional. The sediments of these rivers can have high porosity and low acoustic impedance. These sediments have high reservoir quality.

The special characteristic 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.

The implications of this study suggest that in Maron and Aghajari fields are adjacent in Kupal field and they include three-dimensional seismic data .Coincidentally, They performed a interpretation of three-dimensional seismic data and stratigraphic sequence seismic in fields.

Key Words: Carbonate Reservoir, Acoustic Impedance, Seismic Inversion, Porosity, Diagenesis Processes