

بررسی خواص مخزنی با استفاده از دسته‌بندی و تحلیل رخصاره‌های لرزه‌ای و کاربرد آن در یکی از میادین خلیج فارس

امیر عرفانی^۱، حمیدرضا همتی آهویی^۲، مجید نبی بیدهدنی^۳

۱- کارشناسی ارشد، شرکت نفت و گاز پارس، تهران

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳- استاد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران

(دریافت ۱۳۹۶/۱۲/۰۴، پذیرش ۱۳۹۷/۰۲/۲۹)

چکیده

تحلیل رخصاره‌های لرزه‌ای یک تکنیک قوی برای استخراج اطلاعات چینه‌شناسی و خواص مخزنی از داده‌های لرزه‌ای است. این تکنیک به عنوان ابزار مفیدی در مراحل مختلف اکتشاف، تولید و توسعه میادین هیدروکربنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحلیل، با استفاده از چندین نشانگر لرزه‌ای ایجاد شده در بازه مورد نظر، نمونه‌های زمانی مربوط به بازتاب‌های لرزه‌ای در گروه‌های مشابهی دسته‌بندی می‌شود. در این تحقیق از دو رویکرد بدون ناظر و باناظر در دسته‌بندی رخصاره‌های لرزه‌ای استفاده شده است. رویکرد بدون ناظر فقط مبتنی بر ساختار داخلی داده‌ها است و از هیچ‌گونه داده‌های چاه و اطلاعات زمین‌شناسی استفاده نمی‌کند. برای نرمال‌سازی داده‌های ورودی به این شبکه و نیز کاهش هر چه بیشتر تاثیر نوفه در پیوند بین بردارهای متعلق به گروه‌های جداگانه داده‌ها، از تحلیل مولفه اصلی بر روی مجموعه بردارهای ورودی استفاده می‌شود. در رویکرد باناظر، با استفاده از داده‌های نگاره‌های تخلخل و اشباع آب موثر چاه، عمل نظارت بر دسته‌بندی انجام می‌شود. نتایج حاصل از دو روش دسته‌بندی، همخوانی بالا و با داده‌های پتروفیزیکی چاه‌ها نیز سازگاری خوبی دارند. استفاده از چاه‌های شاخص برای نظارت بر روی دسته‌بندی‌ها، علاوه بر تخمین خواص پتروفیزیکی مورد نظر در فضای بین چاه‌ها، دسته‌بندی بدون ناظر را در بازه مخزن به خوبی تایید می‌کند که این امر باعث اطمینان بالایی برای استفاده از دسته‌بندی بدون ناظر می‌شود. در نتیجه، تولید نقشه‌های رخصاره‌ای بدون ناظر در افق‌های مختلف زمانی، امکان تفسیر تغییرات خواص مرتبط با هر رخصاره را فراهم می‌سازد. تغییرات خواص مخزنی مرتبط با هر رخصاره در نقشه رخصاره‌ای با سه کلاس، از بالا به کف ناحیه مخزنی مورد مطالعه، با تغییرات خواص پتروفیزیکی مورد بررسی همخوانی بالایی دارند.

کلمات کلیدی

رخصاره لرزه‌ای، دسته‌بندی بدون ناظر، دسته‌بندی باناظر، نشانگر لرزه‌ای، توصیف مخزن.

۲- تحلیل رخصاره‌های لرزهای

تحلیل رخصاره‌ی لرزهای یک سیستم، تجمیع تحلیل کمی را تشریح می‌کند که بتواند از تمامی پارامترهای لرزهای (نشانه‌های لرزهای) در جهت زون‌بندی خودکار یک مقطع لرزهای به رخصاره‌های مختلف استفاده کند [۶]. رخصاره لرزهای نیز به عنوان گروهی از بازتاب‌های لرزهای که پارامترهای آن (دامنه، پیکربندی، پیوستگی، فرکانس) متفاوت از گروه‌های مجاورش باشد، تعریف می‌شود. یا به بیان دیگر، «یک واحد رخصاره لرزهای را می‌توان به عنوان یک واحد رسوبی در نظر گرفت که در خصوصیات لرزهای از واحدهای مجاورش متمایز است» [۷].

در روش کلی هر قسمت از ردلرزه‌ها که در محدوده مخزن باشد، به صورت یک سری از نشانه‌های لرزهای مشخص می‌شوند. این نشانه‌ها باعث ایجاد یک فضای چندبعدی می‌شوند که در آن، هر ردلرزه به صورت یک نقطه نمایش داده می‌شود و مختصات آن مقادیر اختصاصی نشانه‌های مربوط به همان ردلرزه است. در چنین فضایی، تحلیل‌های آماری خوشه‌بندی برای گروه‌بندی ردلرزه‌هایی که نزدیک به هم است، انجام می‌شود. در نهایت هر خوشه از ردلرزه‌ها متعلق به یک رخصاره لرزهای است [۱۴].

در این چارچوب، دو رویکرد مکمل تحلیل رخصاره باناظر و بدون ناظر به انجام می‌رسند. در روش بدون ناظر از هیچ نوع اطلاعات ورودی اولیه مانند نگاره‌های چاه و اطلاعات زمین‌شناسی استفاده نمی‌شود و بنابراین در این فرآیند، داده‌ها خود گویای تغییرات موجود است و یک دید خنثی از تغییرات خواص مخزنی با خوشه‌هایی بدون برچسب ارائه می‌دهد، بنابراین، این روش امکان تفسیر و پیش‌بینی مناطق دست نخورده را به مفسر می‌دهد. هر چند، تفسیر زمین‌شناسی رخصاره‌های حاصل از این روش در مناطق بدون چاه گاهی اوقات بسیار دشوار است.

در مقابل، در رویکرد باناظر تفسیر زمین‌شناسی رخصاره‌های لرزهای، بدون واسطه است، چرا که از همان ابتدای فرآیند، اطلاعات مورد نظر برای جهت‌گیری پاسخ فرآیند، به آن وارد می‌شوند. در این دسته‌بندی، اطلاعات زمین‌شناسی و نگاره‌ها در حین اعمال تکنیک وارد می‌شوند تا به کمک آن‌ها خروجی نهایی از پیش برچسب‌زنی^۲ شود، بنابراین رخصاره‌های لرزهای کاملاً تعیین (و نه فقط دسته‌بندی) می‌شوند. این اطلاعات زمین‌شناسی از طریق ردلرزه‌های آموزشی وارد فرآیند

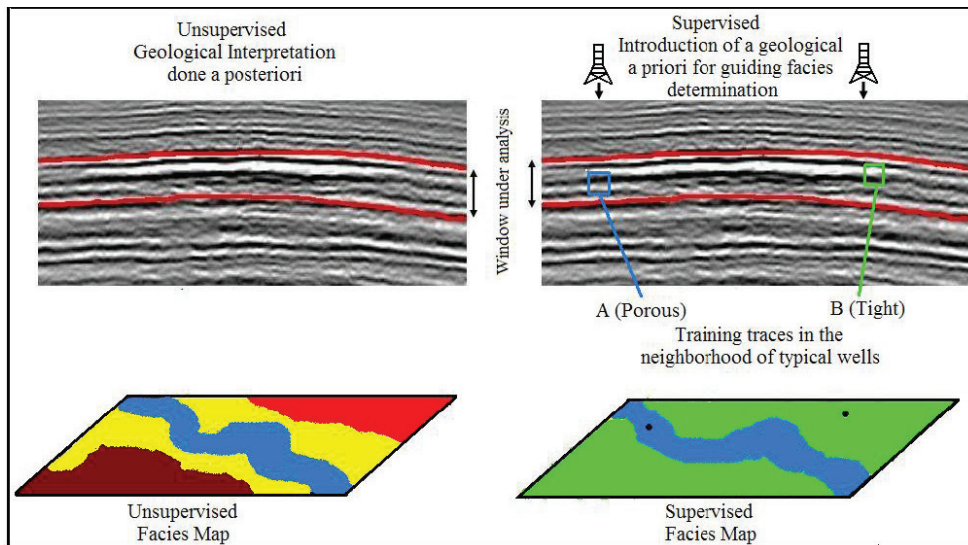
تفسیر می‌شوند که می‌توانند شامل ردلرزه‌های مجاور چاه‌ها و یا ردلرزه‌های مصنوعی با مدل‌های زمین‌شناسی مختلف از رفتار مخزنی باشند، سپس تحلیل تفکیک‌کننده برای انتخاب نشانه‌های بهینه برای جداسازی گروه‌های مختلف آموزشی اعمال شده و بر اساس این نشانه‌ها، یک تابع دسته‌بندی برای واگذاری هر ردلرزه به یک گروه آموزشی ساخته می‌شود [۱۵، ۱۴]. شکل ۲ دو رویکرد کلی را برای دسته‌بندی رخصاره‌ها و تولید نقشه‌های رخصاره‌ای نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، در دسته‌بندی بدون ناظر نقشه رخصاره‌ای بدون نامگذاری خاصی و صرفاً بر مبنای تغییرات خواص لرزهای ردلرزه‌ها است، اما در دسته‌بندی باناظر ابتدا از داده‌های چاه برای برچسب‌زنی رخصاره‌ها استفاده می‌شود.

نتایج حاصل از دسته‌بندی باناظر رخصاره‌های لرزهای در میادین در حال توسعه بسیار سودمند است، چون در آنجا می‌توان اطلاعات موجود از چاه‌ها را بطور مفیدی به نواحی بین چاه‌ها انطباق داد، اما در مقابل، نتایج دسته‌بندی بدون ناظر، در فازهای اکتشافی و در نواحی بدون اطلاعات چاه و زمین‌شناسی دقیق که اطلاعات واضحی از رخصاره‌های مخزنی موجود نیست، کاربرد موثرتری دارد.

۲-۱- به کارگیری تحلیل رخصاره‌های لرزهای

روش‌های باناظر و بدون ناظر مکمل هم‌اند و نتایج آن‌ها باید به طور مشترک تفسیر شوند. در روش بدون ناظر فقط از دیدگاه لرزهای (مشخصات ردلرزه‌ها) رخصاره‌های لرزهای تعریف و تفکیک می‌شود. در واقع ممکن است تمام تغییرات مشاهده شده ارتباط مستقیمی با خصوصیات مخزن نداشته باشند و صرفاً از تغییرات ژئوفیزیکی (مرتبط با مشکلات برداشت، خطاهای موجود در پردازش و نظایر آن) ناشی شده باشند، بنابراین نیاز به تفسیر با استفاده از دیگر اطلاعات، مانند اطلاعات چاه‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی و مخزنی منطقه دارند. درحالی‌که در روش باناظر در صورتی که به تعداد کافی چاه برای شناخت تمامی رخصاره‌ها موجود باشد، می‌توان مستقیماً نقشه رخصاره‌های لرزهای را تفسیر کرد [۱].

روند کلی کار عبارت از تحلیل مشخصات ردلرزه‌ها در یک فضای چندبعدی است که با مجموعه‌ای از نشانه‌های لرزهای تعریف می‌شود. این تحلیل ممکن است شامل خوشه‌بندی و یا دسته‌بندی نمونه‌های لرزهای در گروه‌های جداگانه‌ای شود که با استفاده از تکنیک‌های تشخیص الگو بر پایه الگوریتم‌های آماری یا شبکه عصبی انجام می‌شود. معمولاً تحلیل



شکل ۲: دو رویکرد کلی برای تحلیل رخساره‌های لرزه‌ای [۱۴]

تشخیص نیستند.

به دلیل تعداد زیاد نشانگرها و کم بودن اعتبار دسته‌بندی در فضای با تعداد ابعاد بالا، پیشنهاد می‌شود که از تعداد زیادی نشانگر استفاده نشود. بعلاوه نشانگرهای لرزه‌ای ممکن است اطلاعاتی غیرمرتبط با ویژگی‌های مخزن مورد مطالعه ارائه دهند، بنابراین انتخاب نشانگرهای لرزه‌ای مهم است [۱۸].

رویکرد کلی در این تحقیق نیز بر استخراج حجم‌های نشانگرهای مختلف برای یک بازه زمانی مشخص بین دو افق مبنا است. داده‌های نشانگرهای ایجاد شده در این بازه را می‌توان با استفاده از تحلیل مولفه اصلی و خوشه‌بندی پس از آن، تحلیل کرد تا در آخر یک حجم هدفمند از نمونه‌های دسته‌بندی شده در بازه مورد نظر تولید شود. پس از دسته‌بندی و یا خوشه‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای، در مراحل بعدی مدل هر چه دقیق‌تری از رخساره‌های لرزه‌ای ساخته می‌شود، به نحوی که پس از هر بار اعمال دسته‌بندی بر روی مجموعه داده نشانگرهای موجود، باید بتوان تفسیر معناداری از رخساره‌های ایجاد شده ارائه کرد، تا جایی که رخساره‌های تولید شده و تعداد کلاس آن‌ها به حد بهینه برسد و کاملاً قابل اعتماد و انطباق با مدل‌های زمین‌شناسی باشد. این امر را می‌توان با مقایسه مدل‌های ساخته شده با دو رویکرد بدون ناظر و باناظر به انجام رساند.

در این مطالعه، از هر دو رویکرد دسته‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای و همچنین از مقایسه آن‌ها با یکدیگر برای تکمیل تفسیر رخساره‌های لرزه‌ای استفاده شده است.

رخساره‌های طی مراحل زیر انجام می‌گیرد:

- ۱- تفسیر افق مورد نظر (برداشت زمانی افق)
- ۲- نمونه‌برداری موضعی و مقطعی دسته داده‌ها
- ۳- استخراج نشانگرهای لرزه‌ای
- ۴- خوشه‌بندی و دسته‌بندی نشانگرهای حاصل
- ۵- ساخت و تعیین رخساره‌های لرزه‌ای

ابتدا لازم است که بازه مورد نظر یا هدف برای انجام تحلیل رخساره‌ی لرزه‌ای انتخاب شود. این بازه ممکن است با دو افق مبنا در بالا و پایین مخزن تعیین شود که در واقع از طریق برداشت زمانی ردلرزه‌ها در حین تفسیر ساختاری داده‌های لرزه‌ای تولید می‌شود.

نمونه‌برداری مقطعی به ترتیب شامل یک زیر حجم بریده شده از ده‌ها میلی‌ثانیه بالا و پایین افق بالایی مخزن است. پنجره شامل ده‌ها میلی‌ثانیه است که در تحلیل‌های آماری به کار می‌رود، همچنین می‌تواند داده ورودی را از داده خام کاهش داد و به مقدار نمونه‌ها و یا ردلرزه‌های تحت مطالعه رساند [۱۶]. هر چند، بطور کلی می‌توان بازه مورد تحلیل را به مقدار قابل توجهی بزرگتر از زون واقعی مخزن در نظر گرفت. نشانگرهای لرزه‌ای سه‌بعدی اندازه‌گیرهای ویژه‌ای از پدیده‌های هندسی، سینماتیک، دینامیک و یا آماری‌اند که از داده‌های لرزه‌ای مشتق می‌شوند [۱۷]. برخی از این نشانگرها نسبت به محیط‌های مخزنی خاصی حساس‌تراند و برخی در نمایان کردن بی‌هنجاری‌های زیرزمینی به راحتی قابل

۳- زمین شناسی منطقه و مخزن مورد مطالعه

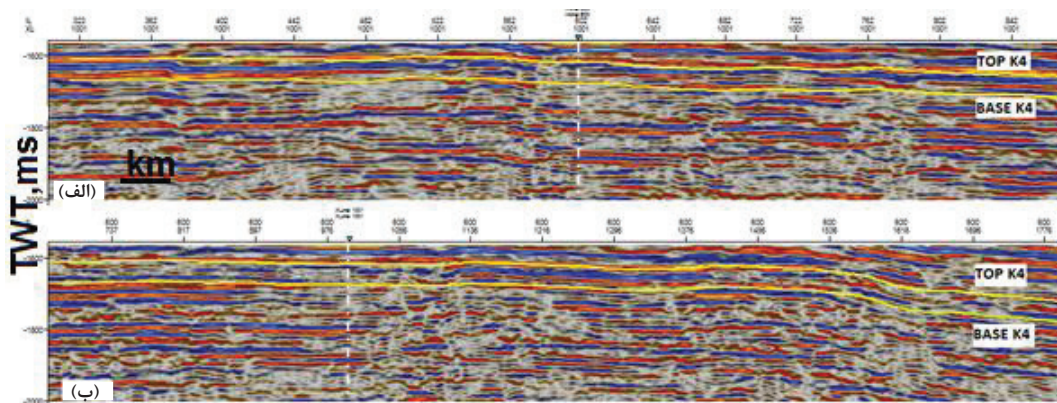
مخازن متعددی (نفت و گاز) در منطقه مورد مطالعه کشف و بهره‌برداری شده‌اند. مخازن حاوی گاز و میعانات این منطقه متعلق به سازندهای کنگان و دالان است که به ترتیب دارای سن تریاسیک و پرمین‌اند. در این مخازن چهار زون اصلی تولیدی وجود دارد که به ترتیب از بالا به پایین K_1 ، K_2 ، K_3 و K_4 است. این بخش‌ها با لایه‌های انیدریتی از هم جدا شده‌اند. بخش K_4 که سن آن پرمین بالایی است، عمدتاً از سنگ آهک و دولومیت تشکیل شده و دارای تداخل لایه‌های نازک انیدریتی است. این بخش به طور متوسط در میدان مورد نظر ضخامتی حدود ۱۴۵ متر و تخلخل و اشباع آب متوسط به ترتیب ۱۶ و ۹ درصد دارد. شکل ۳ ستون چینه‌شناسی میدان و موقعیت بخش مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۴- تحلیل داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، از یک بازه ضخامت ثابت در محدوده بخش مخزنی K_4 استفاده شده است. بازه مورد مطالعه محدود به دو افق موازی در بالا و پایین بخش K_4 می‌شود که در شکل ۴، این افق‌ها در دو مقطع عرضی و طولی نشان داده شده است. داده‌های لرزه‌ای استفاده شده در این مطالعه شامل داده‌های لرزه‌ای سه بعدی پس‌براندیش مهاجرت داده شده است که فاصله خانک 25×12.5 متر است. مساحت منطقه برداشت نیز در حدود 15×25 کیلومتر است که دارای ۶۰۰ خط طولی و ۲۰۰۰ خط عرضی است. فاصله نمونه‌برداری این داده‌ها ۴ میلی‌ثانیه و طول ردلرزه‌ها دو ثانیه است. در اینجا با استفاده از افق تفسیر شده سطح بالای K_4 و تخمین ضخامت این بخش در محدوده زمانی (TWT)،

Geologic Time Units		Group	Formations and Lithostratigraphic Units		
Period	Epoch / Age				
TRIASSIC		Kazerun	Dashtak	Up. Dashtak	
				Evaporite B	
				Up. Sudair	
				Massive Anhydrite	
				Low. Sudair	
				Aghar Shales	
PERMIAN	Middle - Upper	Dehram	Kangan	Kangan	
				K1	
				K2	
	Lower	Faraghan	Dalan	Upper	K3
					K4
				Nar Mbr.	
			Lower Dalan		

شکل ۳: ستون چینه‌شناسی کلی میدان مورد مطالعه



شکل ۴: بازه مورد مطالعه و افق‌های بالا و پایین مخزن (الف) در مقطع عرضی و (ب) در مقطع طولی (محل تقاطع دو مقطع با خط چین نشان داده شده‌اند).

جدول ۱: مقادیر ویژه مولفه‌های اصلی و درصد اشتراک آن‌ها در کل دسته داده اصلی

مولفه	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
مقدار ویژه	۲,۴۳۸۷	۱,۵۳۲۲	۱,۱۸۴۲	۱,۰۵۱۵	۰,۸۷۸۹	۰,۴۶۷۳	۰,۴۳۸۸	۰,۰۰۸۴
نسبت اشتراک (%)	۳۰,۴۸۴۰	۱۹,۱۵۲۱	۱۴,۸۰۲۸	۱۳,۱۴۳۸	۱۰,۹۸۶۱	۵,۸۴۱۴	۵,۴۸۴۵	۰,۱۰۵۳
نسبت اشتراک تجمعی (%)	۳۰,۴۸۴۰	۴۹,۶۳۶۱	۶۴,۴۳۸۹	۷۷,۵۸۲۷	۸۸,۵۶۸۸	۹۴,۴۱۰۲	۹۹,۸۹۵	۱۰۰

نشانگر به عنوان ورودی شبکه برای ساخت نقشه‌های رخساره استفاده کرد.

در مرحله بعد، تحلیل مولفه اصلی جهت‌گیری‌های اصلی موجود در داده‌ها (جهت مولفه‌های اصلی) را شناسایی می‌کند. کاهش داده‌ها در اینجا، با حذف چهار بعد که کمترین تغییرات را دارند، انجام می‌شوند که مقدار داده‌های ورودی فرآیند دسته‌بندی را کاهش می‌دهد. مولفه‌های حذف شده به عنوان نوفه و داده‌های افزونه^۴ در نظر گرفته می‌شوند (جدول ۱).

چهار چاه قائم نیز در منطقه مورد بررسی حفر شده‌اند که مجموعه کاملی از نگاره‌های صوتی (DT)، تخلخل مؤثر (PHIE)، و اشباع آب مؤثر (SWE) و داده‌های سرعت چکش‌شات^۵ دارند. از داده‌های نگاره‌های صوتی و سرعت چکش‌شات به منظور تولید رابطه‌ای برای تبدیل محور قائمی نگاره‌ها از واحد عمق به زمان استفاده شده است و دو نگار تخلخل و اشباع آب مؤثر نیز در فرآیند باناظر، به عنوان ورودی‌های آموزشی شبکه به کار گرفته شده‌اند.

۴-۱- اعمال تحلیل مولفه اصلی

جدول ۱ مقادیر ویژه مربوط به هشت مولفه اصلی حاصل از تحلیل PCA را نشان می‌دهد. این مقادیر ویژه با استفاده از ماتریس همبستگی هشت نشانگر موجود در جدول ۲ محاسبه شده‌اند. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، چهار مولفه اول مقادیر ویژه بزرگتر از یک دارند و که این مولفه‌ها نقش اساسی در تعیین جهات اصلی مجموعه داده‌ها دارند که طبق معیارهای انتخاب مقدار ویژه یک و میزان درصد تجمعی، چهار مولفه اول در اینجا انتخاب شده و مابقی حذف می‌شوند.

در این مرحله، چهار مولفه باقیمانده با دربرداشتن ۷۷,۵ درصد از مجموعه داده‌های اصلی، بر روی محورهای اصلی تصویر می‌شوند و مقادیر حقیقی نشانگرهای همراه هر مولفه اصلی با مقادیر تصویر شده جایگزین می‌شوند.

یک جابه‌جایی زمانی ۶۰ میلی‌ثانیه رو به پایین بر روی افق بالایی انجام و افق پایینی محدوده مورد مطالعه ایجاد شد (لایه مخزنی K_4 در منطقه مورد مطالعه ضخامت تقریباً یک‌دست دارد). افق پایینی طوری انتخاب شده که ضخامت بازه مورد نظر در بردارنده حداقل ضخامت بخش K_4 باشد و وارد بخش نار نیز نشود (شکل ۴).

چندین حجم نشانگری برای افزایش محتوای اطلاعات موجود برای تحلیل در بازه مورد نظر استخراج شد. در دسته‌بندی رخساره‌ها محدودیتی برای نشانگرهای به کار رفته وجود ندارد، اما از طرفی افزایش شدید زمان و تعداد محاسبات با افزایش ابعاد، نیاز به کاهش ابعاد داده‌های ورودی را نشان می‌دهد. در اینجا هشت نشانگر حجمی موجود در بخش ژئوفیزیک نرم‌افزار Petrel، بر اساس یک فرآیند سعی و خطا و نیز ویژگی‌های نشانگرها، به کار رفته است. نشانگرهای انتخاب شده شامل دامنه RMS، مشتق دوم پوش (D2)، پوش سیگنال، فرکانس لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، کسینوس فاز، قطبیت ظاهری و مقاومت صوتی نسبی است.

پس از استخراج حجم‌های نشانگر در بازه مورد مطالعه با روش‌های استاندارد محاسبه که با عنوان نشانگرهای سطحی معرفی شده‌اند، از نشانگرهای موجود در بازه مخزن، میانگین گرفته شد. این میانگین‌گیری به چندین روش از قبیل میانگین عددی، هارمونیک، هندسی، RMS و نظایر آن قابل اجراست. در این مطالعه از روش میانگین‌گیری عددی استفاده شده است. نتیجه این عملیات را می‌توان بر روی سطح افق مورد نظر به صورت یک نشانگر سطحی مشاهده کرد. این روش در اینجا برای هموارسازی مقادیر نشانگرها و انتقال آن‌ها بر روی یک سطح و همچنین برای حذف تاثیرات ساختاری موجود بر روی نقشه‌های رخساره‌ای در متن بازه مخزن، به کار گرفته شده است. در نتیجه این عمل می‌توان مقدار میانگین هر نشانگر در بازه را بر روی افق مورد نظر مشاهده کرد و از این نقشه‌های

جدول ۲: مقادیر ضرایب همبستگی نشانگرهای لرزه‌ای استخراج شده در بازه مورد مطالعه

حجم نشانگر لرزه‌ای	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)
RMS دامنه (۱)	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۸۲	۰٫۹۹۱۰	۰٫۱۶۸۲	۰٫۱۵۵۴	۰٫۰۸۰۸	۰٫۰۱۰۰	۰٫۳۱۳۹
(۲) مشتق دوم پوش (D2)	۰٫۰۲۸۲	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۵۰۸	۰٫۱۴۳۴	۰٫۰۳۹۵	۰٫۴۹۳۹	۰٫۱۷۴۸	۰٫۱۸۳۱
(۳) پوش سیگنال	۰٫۹۹۱۰	۰٫۰۵۰۸	۱٫۰۰۰۰	۰٫۱۷۸۳	۰٫۱۶۸۴	۰٫۰۸۹۰	۰٫۰۲۳۳	۰٫۳۳۸۷
(۴) فرکانس لحظه‌ای	۰٫۱۶۸۲	۰٫۱۴۳۴	۰٫۱۷۸۳	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۸۷	۰٫۱۴۹۸	۰٫۰۷۴۳	۰٫۱۷۸۹
(۵) فاز لحظه‌ای	۰٫۱۵۵۴	۰٫۰۳۹۵	۰٫۱۶۸۴	۰٫۰۰۸۷	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۴۸۷	۰٫۰۳۰۶	۰٫۴۶۹۶
(۶) کسینوس فاز	۰٫۰۸۰۸	۰٫۴۹۳۹	۰٫۰۸۹۰	۰٫۱۴۹۸	۰٫۰۴۸۷	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۶۵۹	۰٫۱۹۹۸
(۷) قطبیت ظاهری	۰٫۰۱۰۰	۰٫۱۷۴۸	۰٫۰۲۳۳	۰٫۰۷۴۳	۰٫۰۳۰۶	۰٫۰۶۵۹	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۹۲۶
(۸) مقاومت صوتی نسبی	۰٫۳۱۳۹	۰٫۱۸۳۱	۰٫۳۳۸۷	۰٫۱۷۸۹	۰٫۴۶۹۶	۰٫۱۹۹۸	۰٫۰۹۲۶	۱٫۰۰۰۰
مجموع	۰٫۹۹۱۵	۰٫۵۶۱۴	۰٫۹۹۱۷	۰٫۲۷۱۷	۰٫۴۹۴۹	۰٫۵۳۷۵	۰٫۲۷۷۸	۰٫۵۹۴۹

و نتایج دسته‌بندی بانظر که در مرحله بعدی ارایه می‌شود، بهترین نتایج در دسته‌بندی با سه کلاس به دست آمده است. شکل‌های ۵ تا ۸ نتایج دسته‌بندی بدون‌ناظر را بر روی افق بالایی بخش K_4 نشان می‌دهند.

بطور کلی روند تغییرات رخساره‌های لرزه‌ای را می‌توان به سه رخساره عمده در این بازه نسبت داد که رخساره‌های زرد، صورتی و آبی در دسته‌بندی با سه کلاس‌اند. در این نوع دسته‌بندی می‌توان دو سناریوی مختلف را برای رخساره‌های مشاهده شده در نظر گرفت:

سناریوی اول تغییرات رخساره‌ها را از دید زمین‌شناسی بیان می‌کند. بخش مخزنی K_4 شامل سه بخش متفاوت آهکی، دولومیتی و انیدریتی است، در نتیجه، تغییرات رخساره‌های مشاهده شده ممکن است مرتبط با این تغییرات سنگ‌شناسی در مخزن باشد.

در مقابل، در سناریوی دوم فرض بر این است که رخساره‌ها الزاماً با پدیده‌های زمین‌شناسی در ارتباط مستقیم نیستند. در این مورد تغییرات رخساره‌ها می‌تواند ارایه‌دهنده نواحی دارای رفتار لرزه‌ای خاص باشد که ممکن است با تغییرات خواص مخزنی و سنگ‌شناسی منطبق باشد یا نباشد.

در مرحله پنجم، دسته‌بندی بانظر با استفاده از نمودارهای چاه‌ها در یک شبکه عصبی احتمالاتی انجام شده است. در این شبکه، فرآیند دسته‌بندی در محل چاه‌ها و با آموزش شبکه به صورت تکرار شونده در ایجاد و یادگیری یک رابطه بین داده‌های نگاره‌ها و نشانگرهای لرزه‌ای انجام می‌شود. ابتدا با درصدی از داده‌ها (حدود ۷۰ درصد) شبکه آموزش داده شده و سپس با سایر داده‌هایی که در فرآیند یادگیری به کار نرفته‌اند،

مساله اصلی در دسته‌بندی بدون‌ناظر، تعداد کلاس‌ها (رخساره‌های لرزه‌ای) است که باید قبل از فرآیند دسته‌بندی تعیین شود. قبل از تعریف تعداد کلاس‌ها، NOC، باید یکسری ملاحظات را در جهت هدف مطالعه در نظر داشت. در رویکرد بدون‌ناظر ممکن است تعداد کلاس‌ها را بیشتر از تعداد رخساره‌های زمین‌شناسی مورد نظر در منطقه انتخاب کرد، چرا که برخی از جبهه‌های موج لرزه‌ای مرتبط با اطلاعات زمین‌شناسی نیستند، مانند چندگانه‌ها، یا هر پدیده لرزه‌ای دیگر که ناشی از نحوه برداشت و یا پردازش است. در مقابل، در رویکرد بانظر، بهتر است که تعداد کلاس‌ها را نزدیک به تعداد رخساره‌های زمین‌شناسی مورد انتظار انتخاب کرد.

در این مطالعه، با استفاده از روند تکرار شونده ساخت نقشه‌های رخساره‌ای بدون‌ناظر و با توجه به نتایج حاصل در نقشه‌های بانظر، تعداد کلاس‌های بهینه در مرحله چهارم انتخاب شد. در واقع تایید نهایی تعداد کلاس‌ها، امری است که با استفاده از نتایج مراحل چهارم و پنجم به صورت مشترک محقق شده است. این در حالی است که هر دو مرحله، به طور ناگزیر تکرار شونده‌اند و حالت‌های متعدد هر دو رویکرد باید پیش از رسیدن به نتیجه مطلوب امتحان شود. در نهایت، تعداد بهینه رخساره‌ها با توجه به مقایسه حالت‌های مختلف نتایج بدون‌ناظر و بانظر و در نظر گرفتن بیشترین تطابق نتایج بین دو رویکرد و کمترین همپوشانی بین نتایج هر رویکرد مستقل برگزیده شده‌اند.

۵- دسته‌بندی و تحلیل رخساره‌های لرزه‌ای

در این تحقیق، دسته‌بندی بدون‌ناظر در شبکه، با دو، سه، چهار و پنج کلاس انجام شد که با توجه به پدیده‌های موجود

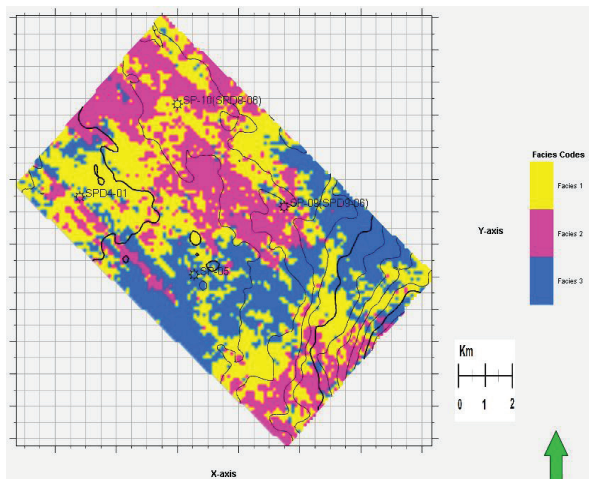
با سه رخساره، چاه‌های شماره ۲، ۳ و ۴ را می‌توان شاخص نسبی سه رخساره در نظر گرفت. نگاره‌های مورد استفاده در این تحلیل در چاه‌های شاخص، همراه با زون‌های مورد مطالعه در هر یک از آن‌ها، در شکل ۹ نشان داده شده‌اند.

در فرآیند نظارت دسته‌بندی، ابتدا از نگار تخلخل چاه‌ها به عنوان ناظر استفاده شد و نقشه‌های رخساره‌ای با دو، سه و چهار رخساره تولید شدند. سه نقشه رخساره‌ای حاصل از این فرآیند در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شده‌اند.

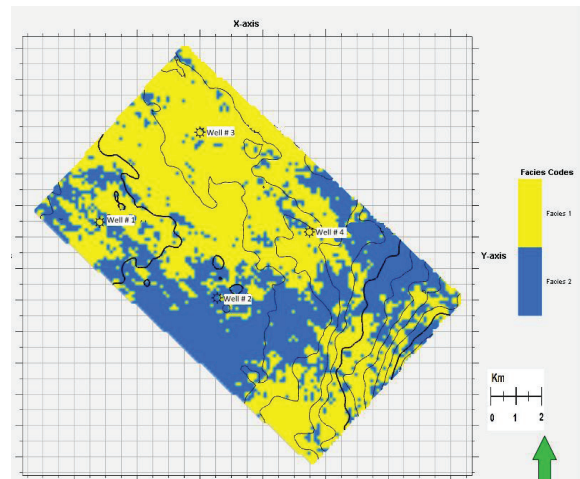
در مرحله بعدی، عمل نظارت برای ساخت نقشه‌های رخساره‌ی لرزه‌ای با استفاده از نگاره‌های اشباع آب موثر انجام شد. در بازه مورد مطالعه، چاه‌های شماره ۲ و ۳ در بین چاه‌های

صحت شبکه با استفاده از تایید متقابل سنجیده می‌شود. در این مطالعه از داده‌های نگاره‌های تخلخل موثر (PHIE) و اشباع آب موثر (SWE) در چهار چاه موجود در منطقه استفاده شده است. با به کارگیری نگاره ویژگی مورد نظر از همه چاه‌ها، یک توزیع ویژگی کلی برای تخمین رخساره‌ای باناظر در فضای بین چاه‌ها ایجاد می‌شود که در هر فرآیند، نظارت با نگاره موجود در یکی از سه چاه نسبتاً شاخص، در بازه مورد مطالعه استفاده شده است.

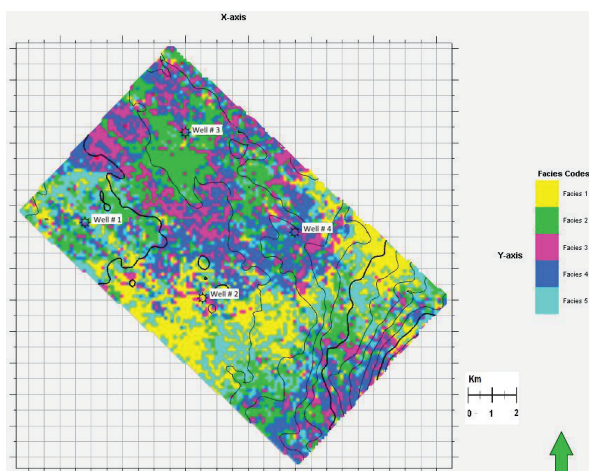
محل چاه‌ها و رخساره‌های مرتبط با هر کدام بر روی نقشه‌های رخساره‌ای که پیشتر ارایه شدند، مشاهده می‌شود (شکل‌های ۵ تا ۸) که با انتخاب نقشه رخساره‌ای بدون ناظر



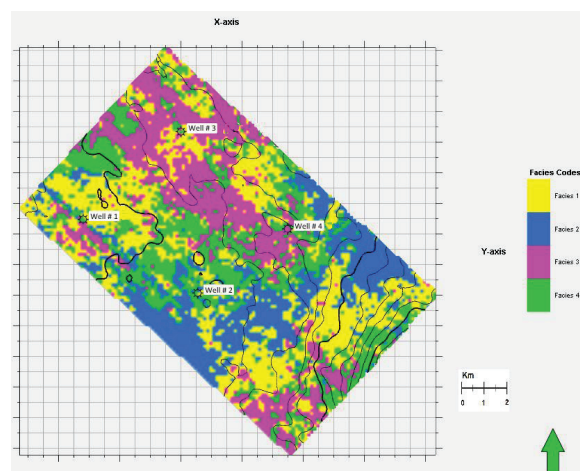
شکل ۶: نقشه رخساره‌های لرزه‌ای حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر با سه کلاس که بر روی افق بالایی بخش K_4 نشان داده شده‌اند.



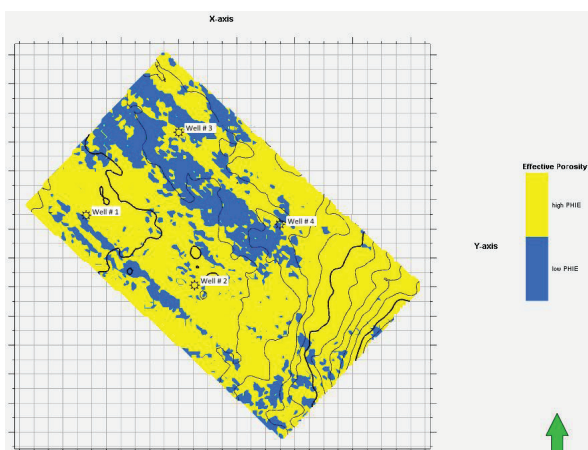
شکل ۵: نقشه رخساره‌های لرزه‌ای حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر با دو کلاس که بر روی افق بالایی بخش K_4 نشان داده شده‌اند.



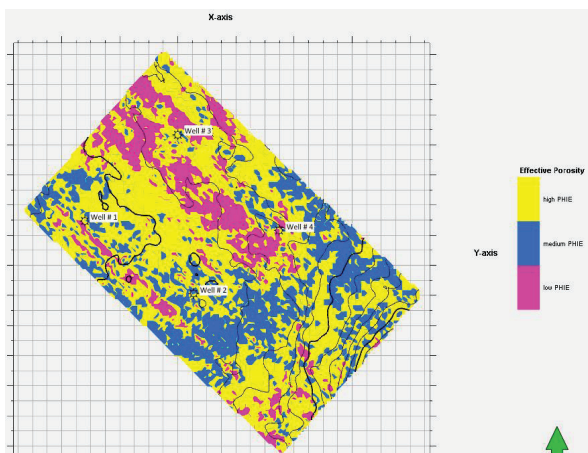
شکل ۸: نقشه رخساره‌های لرزه‌ای حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر با پنج کلاس که بر روی افق بالایی بخش K_4 نشان داده شده‌اند.



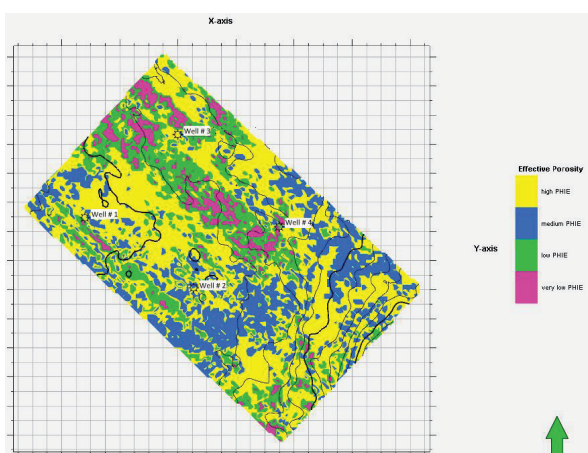
شکل ۷: نقشه رخساره‌های لرزه‌ای حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر با چهار کلاس که بر روی افق بالایی بخش K_4 نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۰: استفاده از نگار تخلخل موثر چاه شماره ۳ برای نظارت در تولید نقشه رخساره‌ای با دو کلاس (افق بالای K_4)



شکل ۱۱: استفاده از نگار تخلخل موثر چاه شماره ۳ برای نظارت در تولید نقشه رخساره‌ای با سه کلاس (افق بالای K_4)



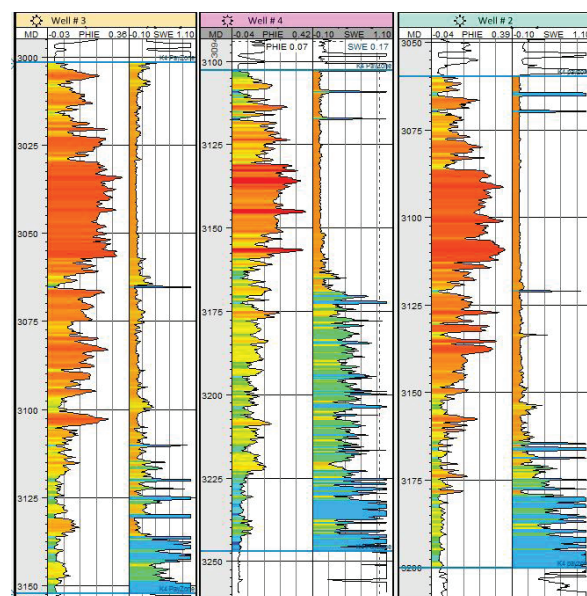
شکل ۱۲: استفاده از نگار تخلخل موثر چاه شماره ۳ برای نظارت در تولید نقشه رخساره‌ای با چهار کلاس (افق بالای K_4)

موجود به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار متوسط اشباع آب موثر را دارند. مقدار اشباع آب موثر متوسط برای چاه شماره ۲ در این بازه در حدود ۹ درصد است، در حالیکه این مقدار برای چاه شماره ۳ حدود ۲۷ درصد است. در جدول ۳ مقادیر متوسط نگاره‌های مورد استفاده در بازه مورد مطالعه برای چهار چاه موجود نشان داده شده است.

در این مرحله نیز مانند مرحله پیش، از ۷۰ درصد داده‌های چاه‌ها در مرحله آموزش استفاده می‌شود و بقیه داده‌ها برای تایید صحت دسته‌بندی‌ها به کار می‌روند. نقشه‌های رخساره‌ای با دو، سه و چهار کلاس تولید شدند و بطور کلی مشاهده شد که استفاده از سه رخساره در اینجا، نشانگر بهتری از وضعیت تغییرات خاصیت مورد نظر (اشباع آب موثر) در رخساره‌های دسته‌بندی شده است. نتایج حاصل از دسته‌بندی با نظارت نگار اشباع آب، در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۳: مقادیر متوسط نگاره‌های تخلخل موثر و اشباع آب موثر در بازه مورد مطالعه برای چهار چاه موجود

Well # 1	Well # 4	Well # 3	Well # 2	نام چاه
۱۷٫۵	۲۰	۱۴	۱۸٫۵	تخلخل موثر (%)
۱۲	۱۸	۲۷	۹	اشباع آب موثر (%)



شکل ۹: نگاره‌های تخلخل موثر و اشباع آب موثر سه چاه شاخص در بازه مورد مطالعه در مخزن

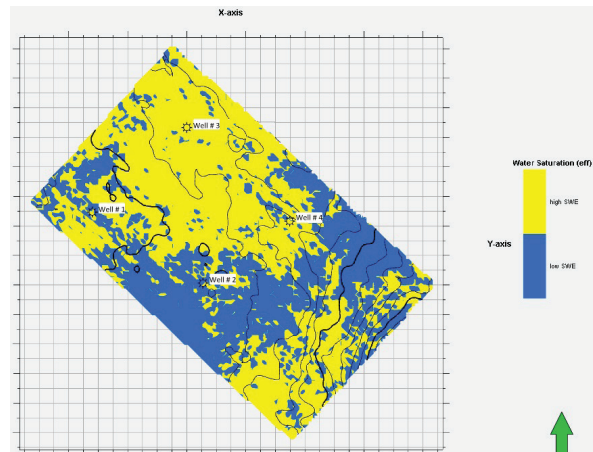
۵-۱- خواص مخزنی

مقایسه نتایج مختلف حاصل از فرآیندهای دسته‌بندی باناظر، امکان بررسی وضعیت مخزنی رخساره‌ها در نقشه‌های رخساره‌ای گوناگون را فراهم می‌کند که یک جمع‌بندی کلی در رابطه با خواص تعداد رخساره‌های انتخاب شده به دست می‌آید. در این مطالعه با بررسی آنچه در فرآیندهای مختلف دسته‌بندی به دست آمده، احتمال وجود سه یا چهار رخساره لرزه‌ای مرتبط با خواص مخزنی تایید می‌شود که البته با انتخاب بازه‌های مناسب در نقشه‌های دارای چهار رخساره نیز، می‌توان کاهش تعداد این رخساره‌ها را به سه رخساره مقبول دانست. شکل ۱۶ نگار حاصل از دسته‌بندی باناظر با سه کلاس را در مقابل نگارهای تخلخل و اشباع آب موثر نشان می‌دهد. انطباق این نگار در دو چاه شاخص نشان داده شده در شکل، به ترتیب ۹۴٫۷ و ۸۴٫۵ درصد برای تخلخل موثر و اشباع آب در چاه شماره ۲ و ۹۵٫۶ و ۸۷٫۲ درصد در چاه شماره ۳ است. به عنوان معیار کمی بررسی تعداد بهینه کلاس‌ها، این انطباق بین نگارهای یاد شده و نگار حاصل از دسته‌بندی با دو و چهار کلاس نیز محاسبه شده است که در چاه شماره ۲ (بعنوان چاه شاخص مورد آزمایش) به ترتیب برای دو و چهار کلاس ۶۴٫۱ و ۳۸٫۶ درصد و ۷۳٫۸ و ۵۶٫۲ درصد انطباق با تخلخل موثر و اشباع آب به دست آمد.

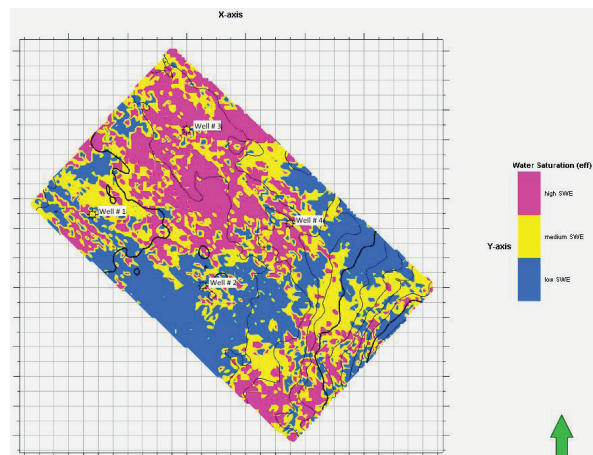
پس از آن، با تطبیق نقشه رخساره‌ای بدون ناظر دارای سه رخساره (شکل ۶)، با نقشه‌های رخساره‌ای پذیرفته شده در دسته‌بندی باناظر، همخوانی بسیار خوب این نقشه رخساره‌ای با نتایج دسته‌بندی باناظر مشاهده شد. شکل ۱۷ یک دسته‌بندی باناظر را بر مبنای کیفیت مخزنی رخساره‌ها و با استفاده از داده‌های نگاره‌های همه چاه‌ها نشان می‌دهد. این نقشه رخساره‌ای نیز نتایج حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر را با تطابق بالایی تایید می‌کند.

۵-۲- تغییرات جانبی رخساره‌ها

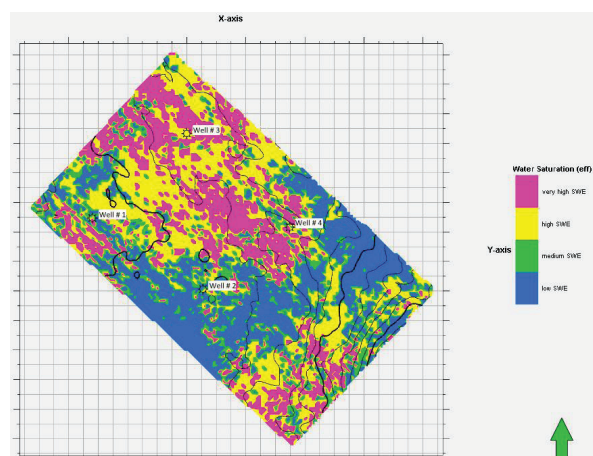
نتایج حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر به خوبی با رخساره‌های حاصل از دسته‌بندی‌های باناظر تایید می‌شوند. این امر سبب می‌شود تا بتوان در بررسی تغییرات جانبی رخساره‌ها نیز، با احتمال بالایی به نتایج دسته‌بندی بدون ناظر اطمینان کرد. اجرای این امر دو هدف را در پیش دارد؛ اول آنکه با توجه به ضریب اطمینان بالای نتایج دسته‌بندی بدون ناظر، بتوان از نقشه‌های حاصل در مناطق بین چاه‌ها و مناطق دست نخورده



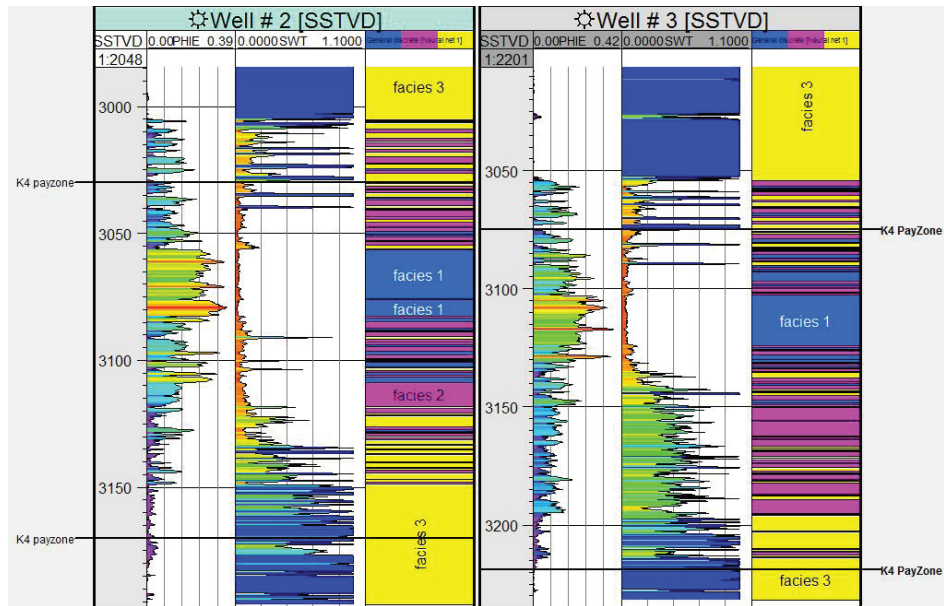
شکل ۱۳: نقشه رخساره‌ای حاصل از دسته‌بندی با نظارت نگار اشباع آب موثر چاه شماره ۳، با دو کلاس (افق بالایی K_4)



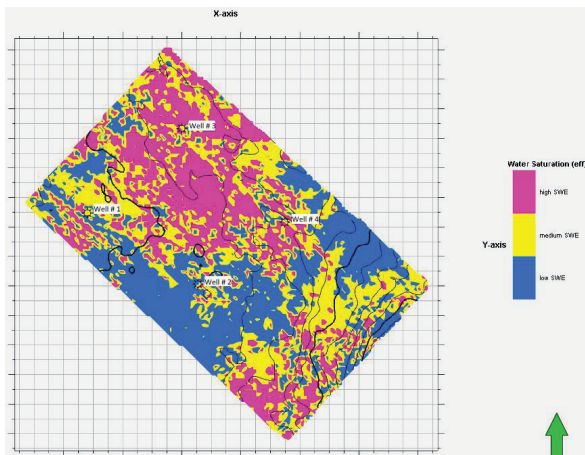
شکل ۱۴: نقشه رخساره‌ای حاصل از دسته‌بندی با نظارت نگار اشباع آب موثر چاه شماره ۳، با سه کلاس (افق بالایی K_4)



شکل ۱۵: نقشه رخساره‌ای حاصل از دسته‌بندی با نظارت نگار اشباع آب موثر چاه شماره ۳، با چهار کلاس (افق بالایی K_4)



شکل ۱۶: نگار حاصل از دسته‌بندی بانظر با ۳ رخساره در چاه‌های ۲ و ۳ در مقابل نگارهای پتروفیزیکی تخلخل موثر و اشباع آب



شکل ۱۷: نقشه رخساره‌ای حاصل از دسته‌بندی بانظر بر مبنای کیفیت مخزنی (افق بالای K_4)

۶- نتیجه‌گیری

به کارگیری تحلیل مولفه اصلی به عنوان یک تکنیک کاهش داده، علاوه بر کاهش نوفه و داده‌های افزونه که موجب تقویت جداسازی بین کلاس‌های مختلف می‌شود، تاثیر زیادی در کاهش همبستگی بین داده‌های ورودی همسان دارد. استفاده از روش میانگین‌گیری از نشانگرهای لرزه‌ای در بازه مورد مطالعه برای ساخت نقشه‌های رخساره‌ای، راه مناسبی

اکتشافی استفاده کرد و دوم اینکه در مطالعه حاضر، می‌توان نقشه‌های رخساره‌ای حاصل را در سطوح مختلف زمانی در بازه مخزن تولید کرده و تغییرات جانبی رخساره‌ها را از بالا به پایین در مخزن مشاهده کرد. این فرآیند در سه سطح مختلف انجام شده است که همه با اعمال شیفت زمانی افق بالای K_4 و بصورت موازی با آن تولید شده‌اند. در دسته‌بندی رخساره‌ها نیز از شبکه بکار رفته در دسته‌بندی بدون‌ناظر با سه رخساره استفاده شده است. نتایج حاصل در شکل‌های ۱۸ تا ۲۰ ارایه شده‌اند که به ترتیب نشان‌دهنده شیفت زمانی ۲۸، ۴۴ و ۶۰ میلی‌ثانیه از افق بالای K_4 هستند.

با توجه به روند تغییرات موجود در این نتایج و با فرض اینکه تغییرات در بازه‌های بین این سطوح نیز نسبتاً یکنواخت باشد؛ می‌توان تغییرات جانبی رخساره‌ها و بنابراین خواص مخزنی را در بازه مورد مطالعه به خوبی بررسی کرد. با جابه‌جایی از افق بالای مخزن به سمت کف مخزن به تدریج از وسعت رخساره آبی (مخزن خوب) کاسته شده و بر وسعت رخساره صورتی (مخزن ضعیف) در آن ناحیه افزوده می‌شود که نشان‌دهنده کاهش نسبی تخلخل و افزایش اشباع آب در این بازه است. پراکندگی رخساره زرد (مخزن متوسط) نیز بصورت هم جهت با این تغییرات است و از جهت شمال‌غربی به جنوب‌شرقی گسترش می‌یابد.

برای حذف تاثیرات ساختاری در تعیین رخساره‌های لرزه‌ای است.

نتایج حاصل از دسته‌بندی‌های بدون ناظر و باناظر همخوانی بسیار خوبی با هم دارند. انطباق این نتایج و تفسیر مشترک حالات مختلف هر دو دسته‌بندی، می‌تواند برای تکمیل تفسیر ارایه شده از شرایط رخساره‌های موجود به کار گرفته شود. با توجه به همخوانی نقشه رخساره‌ای بدون ناظر با تخمین خواص حاصل از تحلیل باناظر، می‌توان با در نظر گرفتن ارتباط هر رخساره با خواص مخزنی، تفسیری از شرایط مخزنی هر رخساره ارایه کرد. همچنین با استفاده از تغییرات جانبی رخساره‌ها در مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه، تغییرات جانبی خصوصیات مخزنی نیز قابل بررسی است.

۷- مراجع

[۱] عدالت، ع؛ سیاه کوهی، ح. ر؛ ۱۳۸۵؛ "تحلیل رخساره‌های لرزه‌ای در یکی از مخازن کربناته ایران". مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۱، شماره ۱، ص ۳۷-۴۹.

[2] Raef, A. E., Mattern, F., Philip, C., and Totten, M. W. (2015). "3D seismic attributes and well-log facies analysis for prospect identification and evaluation: Interpreted palaeoshoreline implications, Weirman Field, Kansas, USA". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 133: 40-51.

[3] Rafiq, A., Eaton, D. W., McDougall, A., and Pedersen, P. K. (2016). "Reservoir characterization using microseismic facies analysis integrated with surface seismic attributes". *Interpretation*, 4: 181-195.

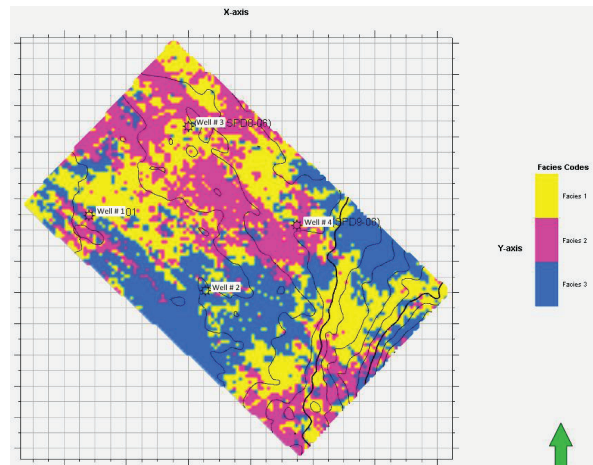
[4] Johann, P., Fournier, F., Déquierez, P. Y., and Blanchet, C. (1996). "3D reservoir characterization by stratigraphic inversion and pattern recognition". *SEG Annual Technical Conference and Exhibition, Expanded Abstracts*, 15: 1797.

[5] Bagheri, M., and Riahi, M. A. (2015). "Seismic facies analysis from well logs based on supervised classification scheme with different machine learning techniques". *Arabian Journal of Geosciences*, 8:7153-7161.

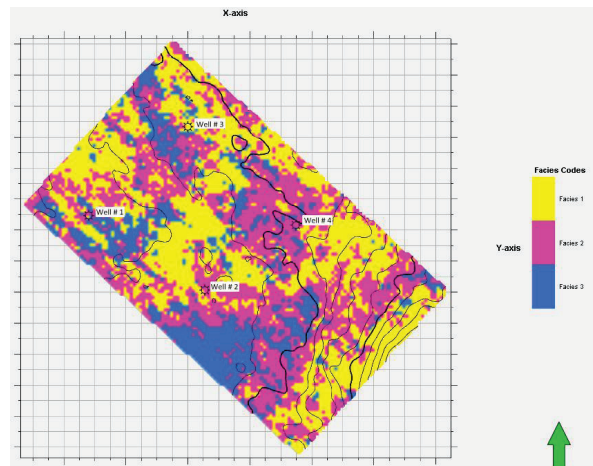
[6] Coléou, T., Poupon, M., and Azbel, K. (2003). "Unsupervised seismic facies classification: A review and comparison of techniques and implementation". *Interpreter's corner, The Leading Edge*, 22: 942-953.

[7] Taner, M. T. (2001). "Seismic Attributes". *Canadian Society of Exploration Geophysicists (CSEG) Recorder*, 26: 48-56.

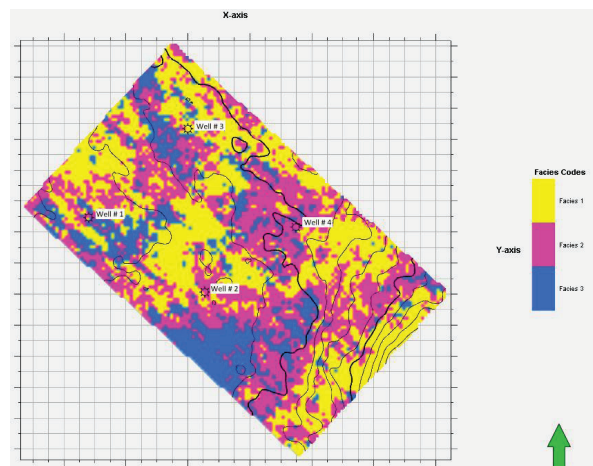
[8] Wang, X., Zhang, B., Zhao, T., Hang, J., Wu, H., and



شکل ۱۸: نقشه رخساره‌ای حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر با سه رخساره، برای افق بالای K_4 با اعمال شیفت زمانی ۲۸ میلی ثانیه



شکل ۱۹: نقشه رخساره‌ای حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر با سه رخساره، برای افق بالای K_4 با اعمال شیفت زمانی ۴۴ میلی ثانیه



شکل ۲۰: نقشه رخساره‌ای حاصل از دسته‌بندی بدون ناظر با سه رخساره، برای افق بالای K_4 با اعمال شیفت زمانی ۶۰ میلی ثانیه

- using automated pattern analysis and recognition?”. 55th Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysics, Expanded Abstracts, session S17, 7.
- [15] Qi, J., Lin, T., Zhao, T., Li, F., and Marfurt, K. (2016). “*Semisupervised multiattribute seismic facies analysis*”. *Interpretation*, 4: 91-106.
- [16] Dumay, J., and Fournier, F. (1988). “*Multivariate statistical analyses applied to seismic facies recognition*”. *Geophysics*, 53(9): 1151-1159.
- [17] Simaan, M. A. (1991). “*A knowledge-based computer system for segmentation of seismic sections based on texture*”. 61st Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysics, Expanded Abstracts, 289-292.
- [18] Hagan, D. C. (1982). “*The application of principal components analysis to seismic data sets*”. *Geoexploration*, 20: 93-111.
- Yong, Z. (2017). “*Facies analysis by integrating 3D seismic attributes and well logs for prospect identification and evaluation — A case study from Northwest China*”. *Interpretation*, 5: 61-74.
- [9] Carr, M., Cooper, R., Smith, M., Taner, M. T., and Taylor, G. (2001). “*The generation of a rock and fluid properties volume via the integration of multiple seismic attributes and log data*”. Rock Solid Images, Houston, Texas, USA.
- [10] Yang, F. M., and K. Y. Huang. (1991). “*Multi-layer perception for the detection of seismic anomalies: 61st Annual International Meeting*”. Society of Exploration Geophysicists (SEG), Expanded Abstracts, 309-312.
- [11] Fournier, F., Déquierez, P. Y., Macrides, C. G., and Rademakers, M. (2002). “*Quantitative lithostratigraphic interpretation of seismic data for characterization of the Unayzah Formation in Central Saudi Arabia*”. *Geophysics*, 67(5): 1372-1381.
- [12] Saggaf, M. M., Nafi Toksöz, M., and Marhoon, M. I. (2003). “*Seismic facies classification and identification by competitive neural networks*”. *Geophysics*, 68(6): 1984-1999.
- [13] Bagheri, M., and Riahi, M. A. (2017). “*Modeling the facies of reservoir using seismic data with missing attributes by dissimilarity based classification*”. *Journal of Earth Science*, 28: 73-78.
- [14] Matlock, R. J., McGowen, R. S., and Asimakopoulos, G. (1985). “*Can seismic stratigraphy problems be solved*”.
-
- ∖ complex attributes
 √ labeling
 † bin interval
 ‡ Redundant data
 ∆ Checkshot Velocity
 § Number Of Classes