

شناسایی رخساره‌های نفتی با استفاده از تحلیل‌های جدایش سنتی در میدان نفتی منصوری

بهزاد مهرگینی^۱، حسین معاریان^۲

۱- کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، دانشکده معدن، دانشگاه تهران: mehrgini@ut.ac.ir
۲- استاد دانشکده معدن، دانشگاه تهران: memarian@ut.ac.ir

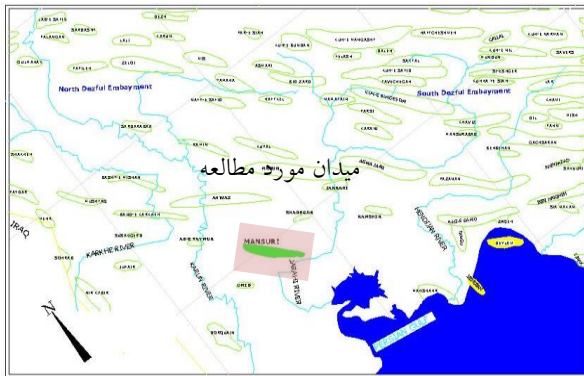
(دریافت ۱۷ خرداد ۱۳۹۱، پذیرش ۱۷ مرداد ۱۳۹۲)

چکیده

امروزه روش‌های متنوعی برای تفسیر کمی رخساره‌های نفتی گسترش یافته است که به‌طور کلی به دو دسته تعینی و احتمالاتی تقسیم بندی می‌شود. با استفاده از روش‌های احتمالاتی، علاوه بر کمی کردن خطای مدل و برآورد میزان احتمال صحت آن، می‌توان ارزش هر یک از اطلاعات را نیز در افزایش دقت مدل بررسی کرد. روش‌های دسته‌بندی احتمالی به‌طور کلی به دو دسته روش‌های جدایش سنتی و روش‌های جدایش پیشرفته تقسیم می‌شود. روش‌های سنتی خود شامل دو دسته خطی و درجه دو هستند. فاصله ماهالانوبیس نقش اساسی در دسته‌بندی احتمالاتی به روش سنتی دارد که بر مبنای میانگین و کوواریانس داده‌ها می‌باشد. در این مطالعه، که بر روی یک چاه از یک میدان نفتی در جنوب ایران صورت گرفته است، پس از تولید داده‌های آموزشی با روش فیزیک سنگ و به کمک رابطه گاسمن، دسته‌بندی و تفکیک رخساره‌ها به کمک هر دو روش خطی و درجه دو انجام شد و در نهایت با بکارگیری فاصله ماهالانوبیس به‌تنهایی، مقایسه شد. بهترین نتیجه دسته‌بندی رخساره با استفاده از به‌کارگیری فاصله ماهالانوبیس و پارامترهای امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی بدست آمد. میزان خطای دسته‌بندی با استفاده از این دو پارامتر در حدود ۱۸ درصد به‌دست آمد. نتایج همچنین نشان داد که با استفاده از این روش، تفکیک رخساره‌ها، به‌غیر از رخساره آهکی اشباع از آب شور، با احتمال موفقیت بیش از ۸۵ درصد همراه است.

واژه‌های کلیدی

رخساره‌های نفتی، روش‌های احتمالاتی، روش‌های جدایش سنتی، فاصله ماهالانوبیس، امیدانس کشسانی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه.

۱- مقدمه

شناسایی و تفسیر ناهمگنی‌های زیر زمین، نقشی اساسی در توصیف هرچه بهتر مخازن هیدروکربوری دارند. ناهمگنی‌ها در عدم قطعیت تفاسیر شرکت دارند. این ناهمگنی‌ها در مقیاس‌های مختلفی اتفاق می‌افتد و می‌تواند شامل تغییرات در سنگ‌شناسی، سیال منفذی، محتوای رس، تخلخل، فشار و دما باشد [۱]. از طرف دیگر، تخمین خصوصیات زیرزمینی با استفاده از اندازه‌گیری‌های از راه دور ژئوفیزیکی همیشه آمیخته با عدم قطعیت می‌باشد، که این امر در ارتباط با دشواری‌ها و ابهامات متعددی است که در برداشت داده‌ها و پردازش و تفسیر آن‌ها وجود دارد [۲]. از اینرو، دستیابی به دیدی روشن، همراه با خطای کمتر از مخزن به‌ویژه در رخساره‌های نفتی، نیازمند استفاده از روش‌هایی با حداکثر کارایی و دقت می‌باشد. روش‌های احتمالاتی شناسایی و مدل‌سازی رخساره‌های نفتی، در مقابل روش‌های تعیینی، این امکان را به‌وجود می‌آورد که بتوان میزان خطای همراه مدل را کمی کرده و احتمال صحت آن را نیز بدست آورد. این روش‌ها همچنین می‌توانند ما را در شناسایی اطلاعات ارزشمند به صورت کمی یاری رسانند. روش‌های مدل‌سازی احتمالاتی رخساره‌های از تنوع نسبتاً بالایی برخوردار بوده که از جمله آنها می‌توان به روش‌های جداسازی سنتی، روش بیزین، روش تشخیص الگو و غیره اشاره کرد [۲]. روش‌های سنتی خود به دو دسته خطی و درجه دو تقسیم می‌شود.

در این مطالعه، در ابتدا پس از آنالیز جایگزینی سیال با استفاده از روش فیزیک سنگ، داده‌ها و دسته‌های آموزشی لازم برای تحلیل جدایش فراهم شد. در مرحله بعد با به‌کارگیری داده‌های آموزشی، دسته‌بندی رخساره‌ها به کمک روش‌های سنتی جدایش انجام شده است.

۲- زمین شناسی میدان منصور

میدان نفتی منصور در دشت خوزستان، در ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی واقع است. این میدان هیچ رخنمونی در سطح نداشته و از طریق اکتشافات زیرزمینی، و به کمک عملیات لرزه‌نگاری، در سال ۱۹۶۲ کشف شده است. با حفر اولین چاه اکتشافی در سال ۱۹۶۳ وجود هیدروکربور در هر دو مخزن آسماری و این میدان بنگستان تایید شد. ساختار این میدان نیز مانند بسیاری از میداین این ناحیه از روند عمومی زاگرس (شمال غرب- جنوب شرق)، تبعیت می‌کند (شکل ۱) [۳].

میدان منصور دارای سه مخزن نفتی آسماری، بنگستان و خامی می‌باشد که مطالعه حاضر بر روی مخزن آسماری آن، انجام شده است. ضخامت سازند آسماری در این میدان بین ۴۵۰ تا ۵۱۵ متر متغیر است. از دید سنگ شناسی، سازند آسماری غالباً از ماسه‌سنگ و سنگ‌های کربناته تشکیل شده است. در این میدان، سازند آسماری بر اساس تغییرات لیتولوژی و تخلخل، به‌طور قائم به هشت زون و نوزده زیر زون متمایز، شامل سنگ‌های آهکی، ماسه‌سنگی و رسی، تقسیم شده است که لایه‌های ماسه‌سنگی به دلیل تخلخل و تراوایی بیشتر و اشباع آب کمتر، قسمت اعظم نفت موجود در مخزن را در خود نگهداری می‌کند. این تقسیم‌بندی بر اساس داده‌های مربوط به چاه‌نمودارهای پرتوایی گاما، نوترون، چگالی و تخلخل به‌دست آمده از تحلیل پتروفیزیکی جهت مشخص نمودن سرسازندها صورت گرفته است. زون‌های دو و سه مهمترین قسمت مخزن آسماری هستند و بخش اعظم نفت از این زون‌ها استخراج می‌شود. این بخش‌ها از ماسه‌سنگ تشکیل شده است. زون یک، از سنگ دولومیت همراه با مقدار قابل توجهی از انیدریت تشکیل شده است. به‌طور کلی سه زون یک، دو و سه بخش مخزنی سازند آسماری را در این میدان تشکیل می‌دهد و حاوی هیدروکربن هستند [۳].

۳- مدل‌سازی فیزیک سنگ

در طول ۵۰ سال گذشته پیشرفت‌های شگرفی در رابطه با مطالعات خصوصیات فیزیکی سنگ‌ها و کانی‌ها، در ارتباط با اکتشافات لرزه‌ای، صورت گرفته است. در طول این مدت تئوری‌های زیادی توسعه پیدا کرده و آزمایش‌های بسیاری به اجرا درآمده است. برخی از نتایج این تئوری‌ها و آزمایش‌ها نقشی اساسی در پیشرفت علوم زمین و تکنیک‌های اکتشافی داشته است [۴]. امروزه تکنیک‌های کمی تفاسیر ژئوفیزیکی،

جدول ۱. مشخصات سیالات مخزنی در میدان مورد مطالعه.

سیال	چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)	سرعت موج فشاری (متر بر ثانیه)
نفت	۰/۸۶۳۶	۱۳۴۹/۸
آب شور	۱/۱۲۶۳	۱۷۳۱/۵

۳-۲- جایگزینی سیال

جایگزینی سیال از جمله مسائل فیزیکی سنگی می‌باشد که به‌منظور درک و ارزیابی اثر سیالات منفذی بر روی سرعت و مقاومت صوتی، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. اساس تحلیل‌های جایگزینی سیال رابطه گاسمن است که این رابطه تغییرات مدول سنگ را در اثر تغییر سیالات منفذی ارزیابی می‌کند [۲ و ۷]. این رابطه متکی بر مدول حجمی سیال، سنگ اشباع و کانی می‌باشد.

رابطه اصلی جایگزینی سیال گاسمن به صورت رابطه ۱ و ۲ است:

$$\frac{K_{sat}^{(2)}}{K_{mineral} - K_{sat}^{(2)}} - \frac{K_{fluid}^{(2)}}{\phi(K_{mineral} - K_{fluid}^{(2)})} = \frac{K_{sat}^{(1)}}{K_{mineral} - K_{sat}^{(1)}} - \frac{K_{fluid}^{(1)}}{\phi(K_{mineral} - K_{fluid}^{(1)})} \quad (1)$$

$$\mu_{sat}^{(2)} = \mu_{sat}^{(1)} \quad (2)$$

که در آن $K_{sat}^{(1)}$ و $K_{sat}^{(2)}$ بیانگر مدول حجمی سنگ اشباع از سیال اول (۱) و سیال دوم (۲) و نیز $K_{fluid}^{(1)}$ و $K_{fluid}^{(2)}$ معرف مدول حجمی این سیالات هستند. همچنین $K_{mineral}$ مدول حجمی کانی، ϕ تخلخل و $\mu_{sat}^{(1)}$ و $\mu_{sat}^{(2)}$ بیانگر مدول برشی سنگ اشباع از سیال اول (۱) و سیال دوم (۲) می‌باشند. مدول حجمی و برشی برای سیال اول با توجه به داده‌های چاه نگارهای سرعت و چگالی محاسبه می‌شود.

پس از بکارگیری رابطه گاسمن چگالی و سرعت امواج برای سنگ اشباع از سیال دوم مجدداً محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه در بسیاری از موارد داده‌های سرعت موج برشی موجود نیست، می‌توان از نسخه‌ای از روابط گاسمن که متکی به مدول موج طولی است استفاده کرد. مدول موج طولی به صورت $M = \rho V_p^2$ تعریف می‌شود، در این صورت روابط جایگزینی سیال به صورت زیر تبدیل می‌شود [۸]:

به یکی از ابزارهای رایج برای صنایع نفتی به منظور ارزیابی اهداف اکتشافی و توصیف مخازن هیدروکربوری، تبدیل گشته است [۲]. در واقع فیزیک سنگ به تشریح سنگ مخزن با استفاده از خواص فیزیکی نظیر تخلخل، سختی، تراکم‌پذیری می‌پردازد. این بررسی‌ها با تحلیل روند عبور امواج صوتی از داخل سنگ، صورت می‌پذیرد [۵].

بخش عمده‌ای از کارکرد روابط فیزیک سنگ، در تخمین پارامترهای غایب، با استفاده از پارامترهای حاضر و مدلسازی شرایطی از مخزن که داده آموزشی کافی از آن شرایط خاص وجود ندارد و یا برداشت نشده است، می‌باشد. این مطلب به‌ویژه در ارتباط با سیالات مخزن و میزان اشباع آنها است که شرایط مورد نظر را می‌توان با روابط جایگزینی سیال گاسمن مدلسازی کرده و داده‌های آموزشی لازم را تولید کرد.

با توجه به خصوصیات لیتولوژیکی مخزن مورد مطالعه، شناسایی و تفکیک رخساره‌های آهکی و ماسه‌ای بر اساس سیال اشباع کننده، از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. به این ترتیب چهار دسته‌های مورد نظر، سنگ آهک اشباع از آب، ماسه سنگ اشباع از آب، سنگ آهک اشباع از نفت و ماسه سنگ اشباع از نفت می‌باشند که بایستی مورد تحلیل و جداسازی قرار گیرند.

برای اینکه بتوان داده‌های آموزشی لازم برای تحلیل‌های آماری جداکننده را تولید کرد، از فرآیند جایگزینی سیال گاسمن استفاده می‌شود. به این ترتیب داده‌های مرتبط با دسته‌های نام برده فراهم می‌شود. قبل از پرداختن به فرآیند جایگزینی سیال، مشخصات سیالات مخزنی باید مورد تحلیل و ارزیابی قرار گیرد.

۳-۱- خصوصیات سیالات مخزن

با توجه به اینکه شرایط فیزیکی مخزن، خصوصیات فیزیکی سیالات منفذی (نظیر سرعت موج فشاری و مدول ظاهری) را تحت تاثیر قرار می‌دهد، ابتدا باید این خصوصیات در شرایط مخزن (دما، فشار، ...) محاسبه شده و سپس در روابط نهایی وارد شوند. به منظور بررسی تاثیر فشار، دما و ترکیب بر روی برخی از خصوصیات مهم لرزه‌ای سیالاتی چون نفت، گاز و آب شور می‌توان از روابط ترمودینامیکی و روندهای تجربی استفاده کرد [۶].

بتزل و ونگ (۱۹۹۲) [۶] روابطی را به منظور محاسبه خصوصیات مورد نظر در سیال آب شور، نفت و گاز ارائه داده اند. با به‌کارگیری این روابط، مشخصات دو سیال مخزنی نفت و آب شور سیالات موجود در مخزن مورد مطالعه (نفت و آب شور) مطابق جدول زیر به دست می‌آید.

• **دسته بندی بیزین^۱**: بر مبنای احتمالات شرطی بوده و از توابع چگالی احتمال غیر پارامتری استفاده می‌کند.

مهمترین اختلاف این دو روش، در فرض نوع توابع چگالی احتمال است. تحلیل‌های جدایش سنتی وابسته به نوع تابع توزیع بوده و اصولاً برای توزیع‌های گوسی مناسب هستند. لازم به ذکر است که روش‌های سنتی جدایش به رغم اینکه جزو جداکننده‌ها ساده می‌باشند، اما اغلب از نتایج بسیار خوبی برخوردار بوده و از نظر کارایی جزو روش‌های با کارایی بالا محسوب می‌شوند [۲].

نکته قابل ذکر آنکه، بحث احتمالات اولیه و دقت این احتمالات در فرایند دسته بندی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، چنانکه در ادامه تاثیر آن در کاهش خطای دسته‌بندی نشان داده خواهد شد. در صورت عدم اطلاع از میزان احتمالات اولیه مربوط به حضور یا رخداد هر یک از چهار دسته مورد نظر (که معمولاً به دلیل کمبود اطلاعات این مسئله کاملاً شایع است)، بایستی از دو حالت زیر یکی را انتخاب کرد:

- احتمالات اولیه برابر، یعنی با توجه به اینکه تفکیک چهار دسته مورد نظر است، احتمال رخداد اولیه هر کدام از این چهار دسته مساوی و برابر ۲۵ درصد در نظر گرفته شود؛
- احتمالات اولیه تجربی، یعنی با توجه به تعداد رخداد هر دسته در چاه، مدل احتمال اولیه هر دسته تعیین شود، که در این صورت این احتمالات در چاه مورد مطالعه، مطابق جدول ۲ است.

جدول ۲. میزان احتمالات اولیه تجربی هر یک از چهار دسته متصور.

دسته	معرف	احتمال اولیه
اول	سنگ آهک اشباع از آب	۰/۱
دوم	ماسه‌سنگ اشباع از آب	۰/۴۳
سوم	سنگ آهک اشباع از نفت	۰/۱
چهارم	ماسه‌سنگ اشباع از نفت	۰/۳۷

۴-۱- تحلیل‌های جدایش خطی و درجه دو

روش‌ها و آنالیزهای جدایش سنتی، شامل روش‌های خطی و درجه دو است که تنها بر میانگین و کوواریانس داده‌های آموزشی با استفاده از رابطه فاصله ماهالانوبیس است. در روش خطی مرز بین دسته‌های مختلف بر اساس کمینه کردن فاصله نقاط هر دسته از یک خط مستقیم، مشخص می‌شود که در این

$$M_{sat}^{(2)} = \frac{\varphi M_{dry} - \frac{(1+\varphi)M_{fluid}^{(2)}M_{dry}}{M_{mineral}} + M_{fluid}^{(2)}}{(1-\varphi)M_{fluid}^{(2)} - \frac{M_{fluid}^{(2)}M_{dry}}{K_{mineral}} + \varphi M_{mineral}} \quad (3)$$

که در این رابطه M_{dry} مدول موج طولی سنگ خشک است که خود از رابطه زیر به دست می‌آید [۸]:

$$M_{dry} = \frac{1 - \frac{(1-\varphi)M_{sat}^{(1)}}{M_{mineral}} - \frac{\varphi M_{sat}^{(1)}}{M_{fluid}^{(1)}}}{1 + \varphi - \frac{\varphi M_{mineral}}{M_{fluid}^{(1)}} - \frac{M_{sat}^{(1)}}{K_{mineral}}} \quad (4)$$

بعد از محاسبه این دو پارامتر، چگالی جدید محاسبه و در ادامه سرعت موج فشاری به دست می‌آید.

۳-۳- تولید داده‌های آموزشی

همان گونه که پیشتر ذکر گردید، قسمت مخزنی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه شامل سه بخش می‌باشد، بخش یک که آهکی بوده و بخش دو و سه که ماسه‌ای می‌باشند. پس از حذف مقادیر خارج از ردیف در هر کدام از بخش‌ها و تقسیم کلیه داده‌های چاه نگارها به دو قسمت داده‌های مربوط به سنگ آهک خالص و داده‌های مربوط به ماسه سنگ خالص، فرآیند جایگزینی سیال صورت گرفت. این فرآیند یکبار برای سیال آب شور و یکبار برای نفت محاسبه و بدین ترتیب داده‌های آموزشی چهار دسته مورد نظر تولید شد. لازم به ذکر است که طی این محاسبات تنها داده‌های چاه‌نگارهای سرعت و چگالی، نسبت به قبل از جایگزینی سیال تغییر کرده است و از مابقی داده‌ها تنها مقادیر خارج از ردیفشان حذف شده است. حذف داده‌های خارج از ردیف از این نظر ضروری است که داده‌های تولید شده کاملاً مختص سنگ آهک یا ماسه‌سنگ باشند، و به عبارت دیگر هر کدام از دسته‌ها تنها معرف یک جامعه آماری باشند.

۴- تفکیک کمی رخساره‌های مخزنی

دسته بندی یا کلاسه بندی آماری و کمی را می‌توان به دو صورت کلی زیر انجام داد:

- **تحلیل‌های جدایش سنتی**: شامل روش‌های خطی، درجه دو که بر اساس توابع چگالی احتمال نرمال یا گوسی هستند [۹]؛

^۱ Bayesian classification

۲-۴- پارامترهای جدایش

تا این تاریخ مطالعات خوبی در ارتباط با پارامترهای تفکیک کننده حالات اشباع متفاوت رخساره‌ها معرفی شده است که یکی از آنها پارامتر امیدانس الاستیک می‌باشد که اثر همزمان سرعت موج فشاری، برشی و چگالی را در نظر می‌گیرد. از جمله این مطالعات می‌توان به مقاله کانولی (۱۹۹۹)، موکرچی و همکاران (۱۹۹۸) و تسونویاما و ماوکو (۲۰۰۷) اشاره کرد [۱۲]، ۱۳ و ۱۴. نکته قابل ذکر آنکه اکثر مطالعات مربوط به جداسازی رخساره‌های ماسه سنگی به عنوان رخساره مخزنی می‌باشد و تقریباً مطالعه خاصی در ارتباط با سنگ آهک‌ها صورت نگرفته است.

امپدانس الاستیک طبق رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۴]:

$$EI(\theta) = V_p^a V_s^b \rho^c \quad (۸)$$

که در این رابطه داریم:

$$\begin{aligned} a &= 1 + \tan^2(\theta) & b &= -8k \times \sin^2(\theta) \\ c &= 1 - 4k \times \sin^2(\theta) & k &= (V_s / V_p)^2 \end{aligned}$$

در این روابط θ زاویه تابش می‌باشد. طبق مطالعات صورت گرفته، برای زاویه ۳۰ درجه، بهترین جدایش رخساره‌های ماسه سنگی با اشباع متفاوت صورت می‌گیرد [۱۲].

۳-۴- جدایش رخساره‌های نفتی میدان مورد مطالعه

از جمله مشکلات موجود در زمینه جدایش رخساره‌ها، بحث رخساره‌های آهکی می‌باشد. از آنجایی که روابط گاسمن برای ماسه‌سنگ‌ها ارائه شده است لذا در ارتباط با سنگ‌های آهکی نمی‌توان به درستی اثر سیالات را بررسی و مدل‌سازی کرد. از این رو برای برطرف کردن این مشکل نیاز است تا پارامترهای بیشتری در فرآیند جدایش دخیل شوند.

برای دستیابی به پارامترهای بهینه ورودی، که با استفاده از آنها خطای دسته‌بندی کمینه باشد، از همراهی پارامتر امیدانس کشسانی با داده‌های چاه نگارهای مختلف استفاده شد. که نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

دسته‌بندی برای روش‌های خطی، درجه دو و نیز براساس فاصله کمینه ماهالانوبیس صورت گرفته و اثر هر دو حالت احتمال اولیه برابر و تجربی مورد بررسی واقع شده است. نتیجه دسته‌بندی، به همراه خطای دسته بندی، در اشکال زیر برای پارامترهایی که بهترین نتایج را به همراه داشته‌اند، ارائه شده است. پارامترهایی که خطاهای کمتری داشته‌اند، پارامترهای امیدانس کشسانی همراه با سرعت موج برشی است، لذا نتایج مربوط به این دو پارامتر برای همه حالات نام برده ارائه شده

صورت مرز یک خط درجه یک است. در روش درجه دو به جای یک خط مستقیم از خط درجه دو استفاده می‌شود.

همان‌طور که بیان شد بسیاری از قوانین و روابط دسته‌بندی بر مبنای توزیع نرمال می‌باشد یعنی [۱۰]:

$$f_k(X) = (2\pi)^{-p/2} |\Sigma_k|^{-1/2} e^{-1/2(X-\mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (X-\mu_k)} \quad (۵)$$

که در آن μ_k و Σ_k به ترتیب بردار میانگین و ماتریس امتیاز یا نمره جدایش بصورت رابطه زیر برای هر کلاس k معرفی می‌شود [۱۰].

$$d_k(X) = (X - \mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (X - \mu_k) + \ln|\Sigma_k| - 2\ln\pi_k \quad (۶)$$

که به‌عنوان تابع جدایش در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه π_k احتمال اولیه مرتبط با هر کلاس یا دسته k می‌باشد [۱۰]. قسمت اول سمت راست رابطه همان فاصله ماهالانوبیس می‌باشد:

$$M^2 = (X - \mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (X - \mu_k) \quad (۷)$$

که در این رابطه M فاصله ماهالانوبیس، x بردار یا ماتریس پارامتر مورد نظر، μ میانگین هر کدام از کلاس‌ها یا دسته‌ها و Σ ماتریس کوواریانس داده‌های آموزشی می‌باشد. فاصله ماهالانوبیس نظیر فاصله اقلیدوسی می‌باشد با این تفاوت که توسط ماتریس کوواریانس نرمال سازی شده است. در صورتی که کلاس‌ها یا دسته‌ها احتمالات اولیه برابر نداشته باشند به دلیل آنکه تصمیم‌گیری یا جدایش بایستی بر مبنای شباهت بیشتر باشد، عبارت $\ln[P(\text{class})]$ به سمت راست رابطه فاصله ماهالانوبیس افزوده می‌شود. در این رابطه $P(\text{class})$ احتمال اولیه هر کدام از دسته‌ها می‌باشد [۱۱].

استفاده از رابطه تفکیک (رابطه ۶) به‌عنوان تحلیل جدایش درجه دو نامیده می‌شود چرا که مرز بین کلاس‌ها و دسته‌ها با روابط درجه دو از هم تفکیک می‌شود. در یک شرایط خاص زمانی که فرض شود ماتریس کوواریانس همه کلاس‌ها دقیقاً یکسان باشد یعنی:

$$\Sigma_k = \Sigma \quad 1 \leq k \leq K$$

رابطه جدایش به‌عنوان تحلیل جدایش درجه یک نامیده می‌شود چرا که بخش درجه دو رابطه ۶ حذف شده است و در نتیجه مرز کلاس‌ها با یک خط درجه یک جدا خواهد شد [۱۰].

تجربی می‌باشد. در صورت استفاده از احتمال اولیه تجربی خطای دسته‌بندی در حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

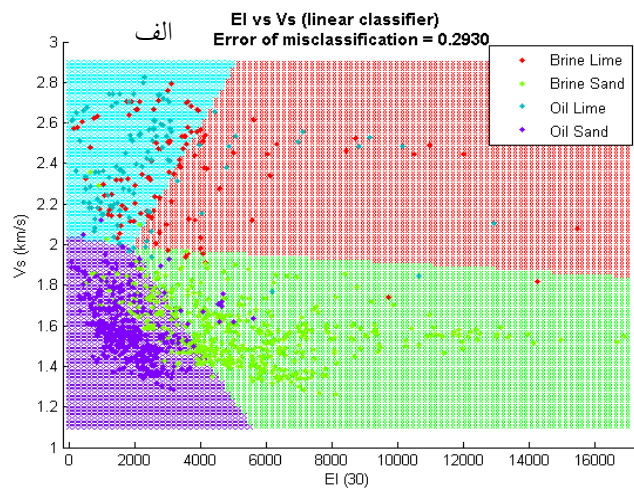
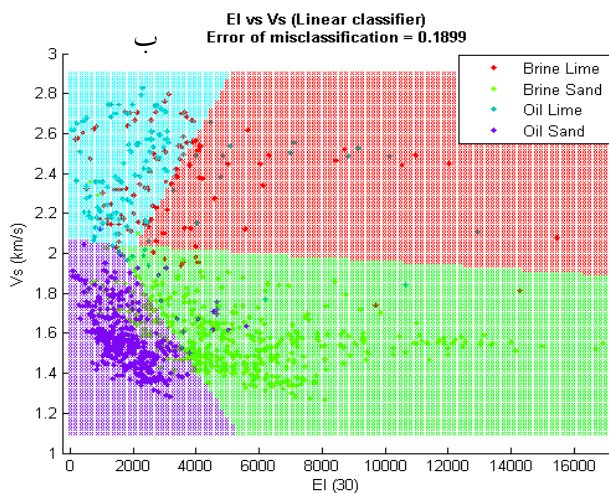
شکل ۴ نتیجه تفکیک رخساره های مورد نظر را برای حالت کمینه فاصله ماهالانویس با استفاده از دو پارامتر امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی نشان می‌دهد. شکل ۴ الف و ب بترتیب برای حالت استفاده از احتمال اولیه برابر و احتمال اولیه تجربی می‌باشد. در صورت استفاده از احتمال اولیه تجربی خطای دسته‌بندی در حدود ۸ درصد کاهش می‌یابد.

جهت مقایسه، نتایج مربوط به استفاده از سایر پارامتر نظیر امیدانس صوتی و سرعت موج فشاری به همراه امیدانس کشسانی، در جدایش و تفکیک رخساره‌ها به کمک جداکننده‌های خطی، درجه دو و فاصله کمینه ماهالانویس، در اشکال ۵ تا ۷ ارائه شده است.

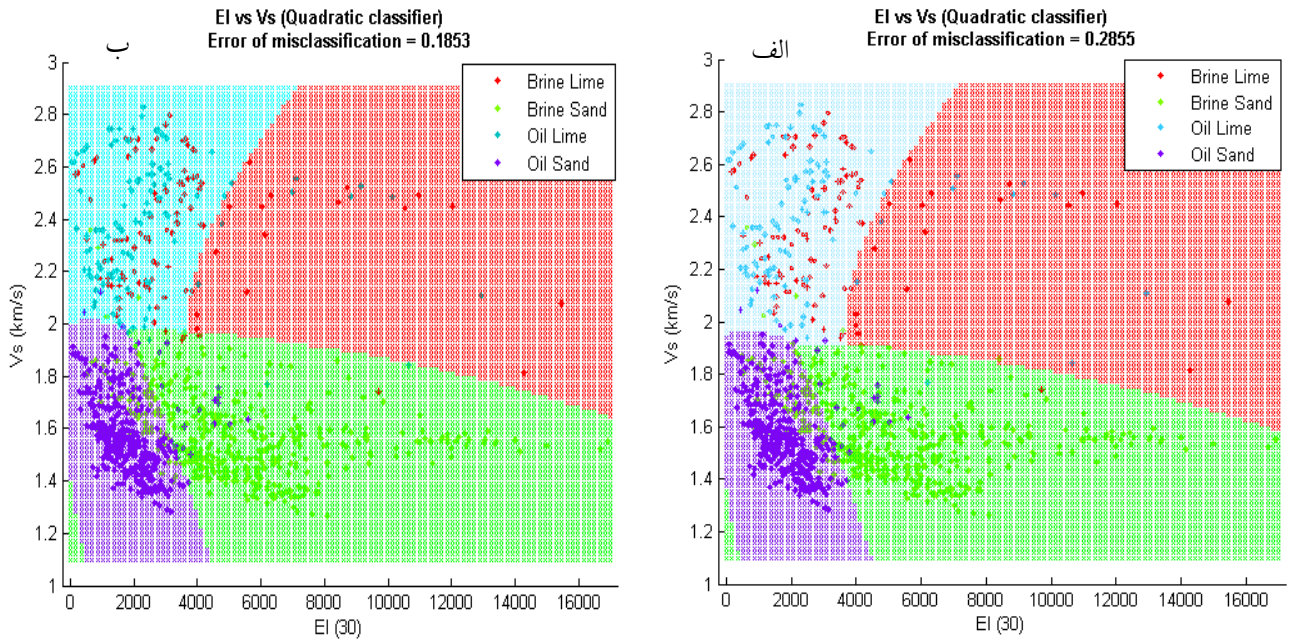
است. در این اشکال بخش رخساره آهکی اشباع از آب شور با رنگ قرمز، رخساره ماسه‌ای اشباع از آب شور با رنگ سبز، رخساره آهکی اشباع از نفت با رنگ آبی و رخساره ماسه‌ای اشباع از نفت با رنگ بنفش نشان داده شده است.

نتیجه تفکیک رخساره های مورد نظر، برای حالت جدا کننده خطی با استفاده از دو پارامتر امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۱ الف و ب بترتیب برای حالت استفاده از احتمال اولیه برابر و احتمال اولیه تجربی می‌باشد. در صورت استفاده از احتمال اولیه تجربی خطای دسته‌بندی در حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

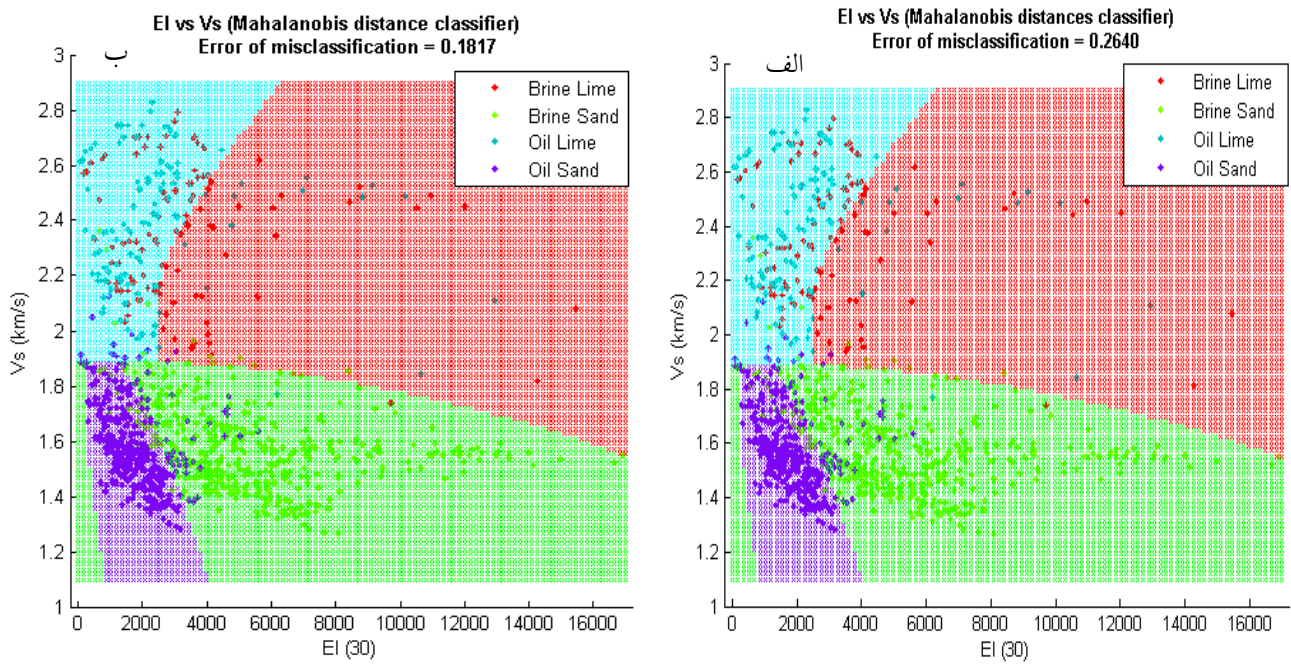
شکل ۳ نتیجه تفکیک رخساره های مورد نظر را برای حالت جدا کننده درجه دو با استفاده از دو پارامتر امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی نشان می‌دهد. شکل ۳ الف و ب بترتیب برای حالت استفاده از احتمال اولیه برابر و احتمال اولیه



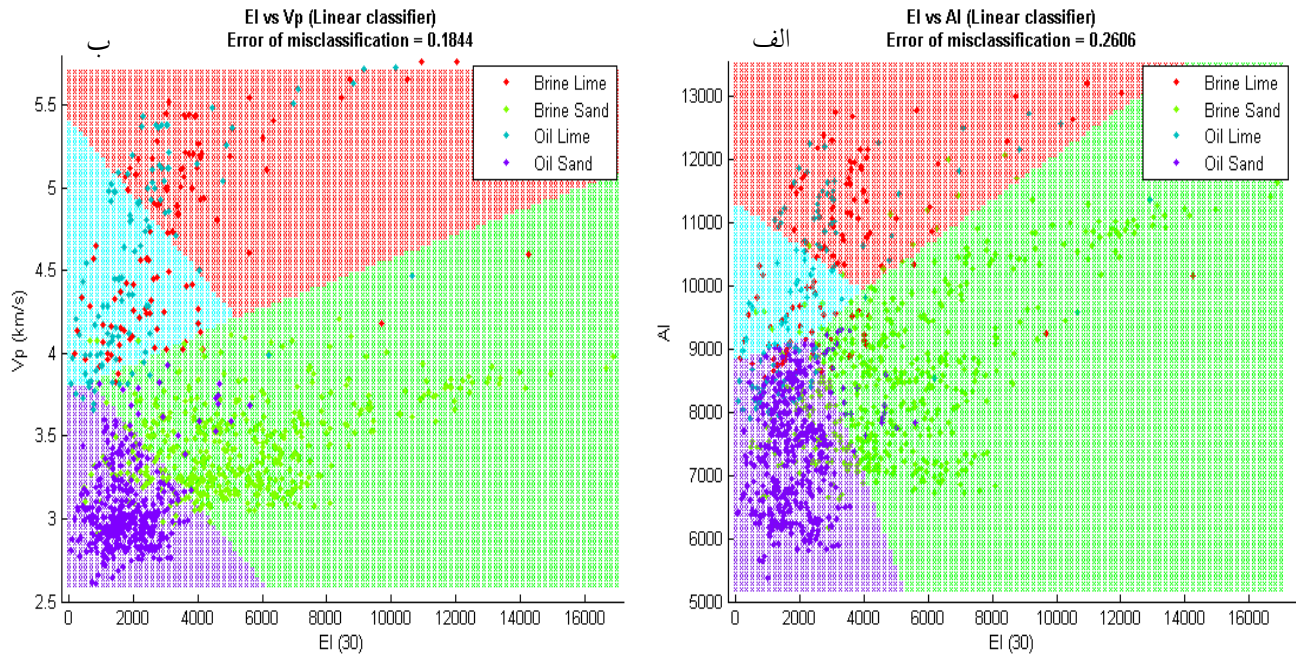
شکل ۴. دسته‌بندی بر اساس روش جدایش خطی چهار کلاس مورد نظر با احتمالات اولیه مساوی (الف) و تجربی (ب) براساس دو پارامتر امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی، خطای دسته‌بندی در حالت الف ۰/۲۹۳ و در حالت ب ۰/۱۸۹۹ است.



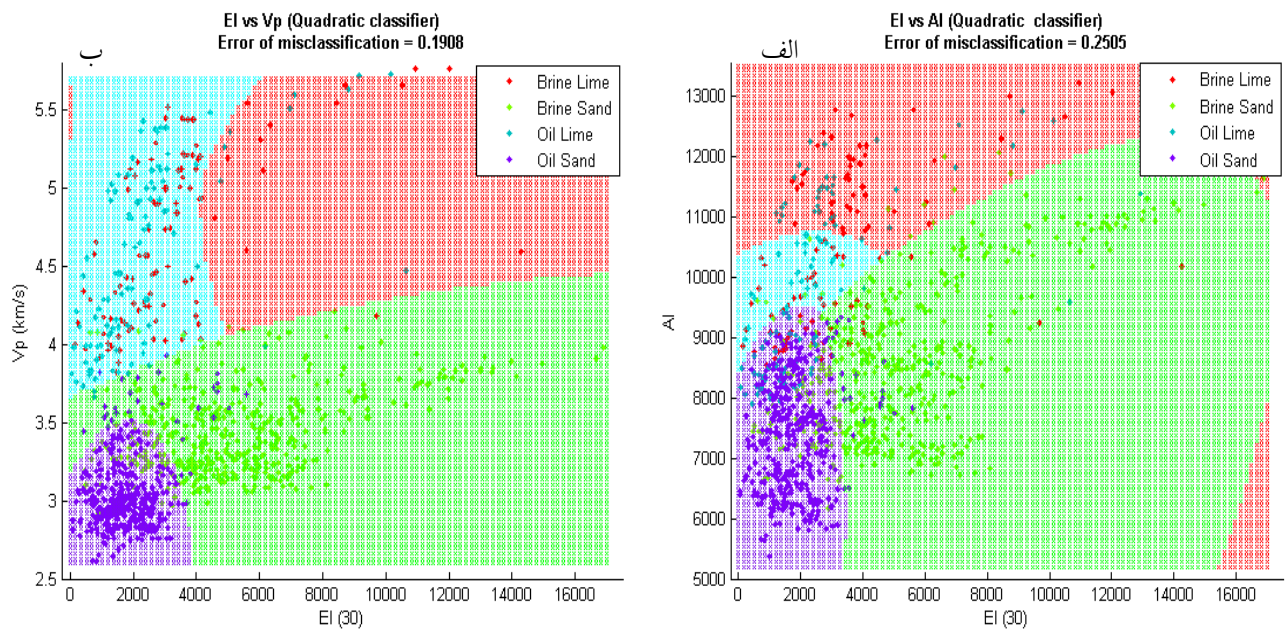
شکل ۳. دسته‌بندی بر اساس روش جدایش درجه دو چهار کلاس مورد نظر با احتمالات اولیه مساوی (الف) و تجربی (ب) براساس دو پارامتر امپدانس کشسانی و سرعت موج برشی، خطای دسته بندی در حالت الف ۰/۲۸۵۵ و در حالت ب ۰/۱۸۵۳ است.



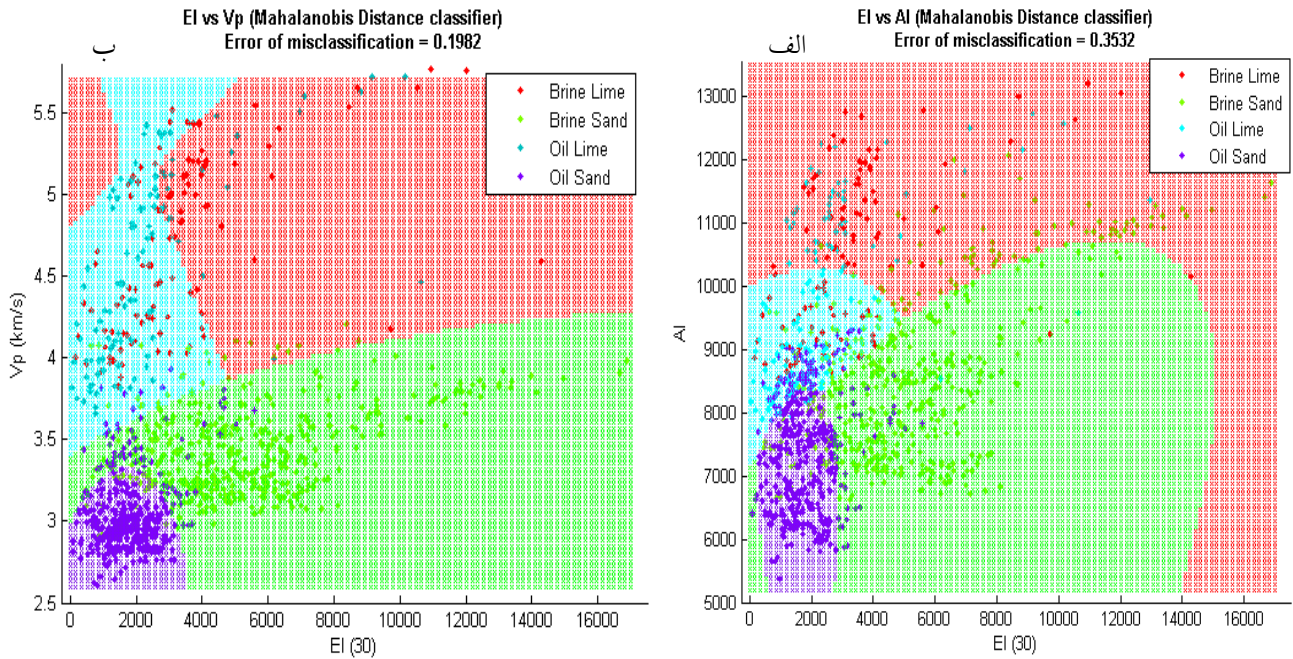
شکل ۴. دسته‌بندی بر اساس روش کمیته فاصله مایهالانوبیس دو چهار کلاس مورد نظر با احتمالات اولیه مساوی (الف) و تجربی (ب) براساس دو پارامتر امپدانس کشسانی و سرعت موج برشی، خطای دسته بندی در حالت الف ۰/۲۶۴ و در حالت ب ۰/۱۸۱۷ است.



شکل ۵. دسته‌بندی بر اساس روش جدایش خطی چهار کلاس مورد نظر با احتمالات اولیه تجربی براساس دو پارامتر امیدانس کشسانی و امیدانس صوتی (الف)، امیدانس کشسانی و سرعت موج فشاری (ب)، خطای دسته‌بندی در حالت الف ۰/۲۶۰۶ و در حالت ب ۰/۱۸۴۴ است.



شکل ۶. دسته‌بندی بر اساس روش جدایش درجه دو چهار کلاس مورد نظر با احتمالات اولیه تجربی براساس دو پارامتر امیدانس کشسانی و امیدانس صوتی (الف)، امیدانس کشسانی و سرعت موج فشاری (ب)، خطای دسته‌بندی در حالت الف ۰/۲۵۰۵ و در حالت ب ۰/۱۹۰۸ است.



شکل ۷. دسته‌بندی بر اساس روش جدایش فاصله کمینه ماهالانوبیس چهار کلاس مورد نظر با احتمالات اولیه تجربی براساس دو پارامتر امیدانس کشسانی و امیدانس صوتی (الف)، امیدانس کشسانی و سرعت موج فشاری، خطای دسته‌بندی در حالت الف ۰/۳۵۳۲ و در حالت ب ۰/۱۹۸۲ است.

جدول ۳. ماتریس درهم ریختگی چهار دسته مورد نظر بر اساس دسته‌بندی با استفاده از روش فاصله کمینه ماهالانوبیس و دو پارامتر امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی.

تخمینی						
آهک	ماسه	آهک	ماسه			
آب‌شور	آب‌شور	نفتی	نفتی	واقعی		
۰/۰۰۳	۰/۱۰۸	۰/۰۳۸	۰/۸۵۲			ماسه نفتی
۰/۱۱۵	۰/۰۰۹	۰/۸۷۶	۰			آهک نفتی
۰/۰۲۴	۰/۸۹۹	۰/۰۱۱	۰/۰۶۷			ماسه آب‌شور
۰/۲۳۹	۰/۰۰۹	۰/۷۵۲	۰	آهک آب‌شور		

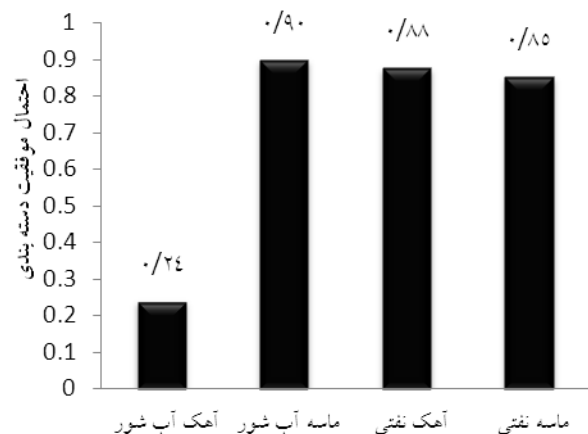
۵- بحث و نتیجه گیری

طبق بررسی‌های انجام شده، به‌کارگیری همزمان پارامترهای امیدانس الاستیک و سرعت موج برشی و استفاده از روش فاصله کمینه ماهالانوبیس، بهترین نتیجه ممکن را در جداسازی رخساره‌های نفتی دربر داشت. به عبارت دیگر امیدانس الاستیک، به همراه پارامتر سرعت موج برشی، قدرت تفکیک‌کنندگی بالاتری داشته و خطای دسته‌بندی در این حالت کمتر است. استفاده از احتمالات اولیه تجربی در مقایسه با احتمالات اولیه برابر، خطای دسته‌بندی را در حدود ۸ درصد کاهش می‌دهد. در بهترین حالت خطای دسته‌بندی، حدود ۱۸ درصد است.

نتیجه احتمال موفقیت و ماتریس درهم ریختگی، براساس کمینه فاصله ماهالانوبیس، با استفاده از دو پارامتر امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی در جدول ۳ و شکل ۸ ارائه شده است.

منابع

1. Mukerji, T., Jørstad, A., Avseth, P., Mavko, G., and Granli, J. R.; 2001; "Mapping lithofacies and pore-fluid probabilities in a North Sea reservoir: Seismic inversions and statistical rock physics", *Geophysics*, 66, 988-1001.
2. Avseth, P., Mukerji, T., Mavko, G.; 2005; "Quantitative seismic Interpretation", Cambridge university press.
3. EDCO Kish International Company; 2006; "Gological Studies Report for Mansuri Oil Field development in Asmari Formation".
4. Wang, Z.; 2001; "Fundamentals of seismic rock physics", *Geophysics*, 66, 398-412.
5. Dewar, J., Pickford, Sc.; 2001; "Rock physics for the Rest of US-An Informal Discussion", A Core Laboratory Company.
6. Batzle, M., and Wang, Z.; 1992; "Seismic properties of pore fluids", *Geophysics*, 57, 1396-1408.
7. Mukerji, T., Mavko, G.; 2006; "Recent Advances in Rock physics and Fluid substitution", Stanford Rock physics project, Stanford university, USA.
8. Dvorkin, J., Mavko, G., Gurevich, B.; 2007; "Fluid substitution in shaley sediment using effective porosity", *Geophysics*, 72, O1-O8.
9. Krzanowski, W. J.; 1988; "Principles of Multivariate Analysis: A User's Perspective", New York: Oxford University Press.
10. Jrome, H. F.; 1988; "Regularized Discriminant Analysis", Department of Statistics and Stanford Linear accelerator Center, Stanford University.
11. Fukunaga, K.; 1990; "Introduction to Statistical Pattern Recognition", Boston: Academic Press.
12. Connolly, P.; 1999; "Elastic impedance", *The Leading Edge*, 18, 438 - 452.
13. Mukerji, T., Jørstad, A., Mavko, G. and Granli, J.; 1998; "Near and far offset impedances: Seismic attributes for identifying lithofacies and pore fluids", *Geophysical Research Letters*, 25, 4557-4560.
14. Tsuneyama, F., Mavko, G.; 2007; "Elastic-impedance analysis constrained by rock-physics bounds", *Geophysical Prospecting*, 55, 289-306.



شکل ۸. نمودار احتمال موفقیت هر چهار دسته نامبرده بر اساس دسته‌بندی با استفاده از روش فاصله کمینه ماهالانویس و دو پارامتر امیدانس کشسانی و سرعت موج برشی.

نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که، احتمال موفقیت روش فاصله کمینه ماهالانویس در جداسازی آهک‌های اشباع از آب شور خیلی پایین بوده و در عوض در ارتباط با سه رخساره دیگر، بالاتر از ۸۵ درصد است که نشان دهنده کارایی بالای این روش در جدایش اکثر رخساره‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، همان طور که جدول ۳ و شکل ۸ نشان می‌دهند، جدایش رخساره آهکی با اشباع متفاوت نسبت به جدایش آن‌ها با رخساره‌های ماسه‌ای با اشباع متفاوت، به سختی صورت می‌گیرد. علت ضعف در جدایش آهک‌های اشباع از آب شور را می‌توان در دو مطلب عمده جستجو کرد، یکی کم بودن تعداد پارامترهای ورودی جهت جدایش و دیگری عدم کارایی معادلات گاسمن، در جایگزینی سیالات در سنگ آهک‌ها.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از شرکت مهندسی و توسعه نفت (متن) به دلیل همکاری‌هایی که در راستای انجام این پژوهش داشته‌اند، صمیمانه تشکر می‌شود.