

استفاده از تئوری انتروپی اطلاعات و روش تصمیم گیری بیزین، در شناسایی

پارامترهای مناسب برای ارزیابی و تفکیک رخساره‌های نفتی (میدان نفتی

منصوری، جنوب ایران)

بهزاد مهرگینی^{۱*}، حسین معماریان^۲

۱- کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، ۲- استاد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

mehrgini@ut.ac.ir

چکیده

به دلیل ناهمگنی‌های زیر زمین از یک طرف و ابهامات موجود در تفسیرهای ژئوفیزیکی از طرف دیگر، همواره شناسایی و تفسیر رخساره‌های درون چاهی با عدم قطعیت و ریسک همراه است. امروزه روش‌های متنوعی جهت تفسیر کمی رخساره‌های نفتی گسترش یافته است که به‌طور کلی به دو دسته تعینی و احتمالاتی تقسیم‌بندی می‌شود. روش‌های تعینی برخلاف سادگی فرآیند مدلسازی، قادر به ارائه خطا یا میزان صحت مدل به‌دست آمده نیستند. روش‌های احتمالاتی، علاوه بر کمی کردن خطای مدل، احتمال صحت آن را نیز در جای جای مخزن، به‌دست می‌دهند. روش بیزین از جمله روش‌های احتمالاتی می‌باشد که از احتمالات شرطی جهت مدلسازی استفاده می‌کند. این روش، علاوه بر مدلسازی احتمالاتی رخساره‌های نفتی، اثر اطلاعات افزودنی در کاهش خطای دسته‌بندی را به صورت کمی ارائه می‌کند. تئوری انتروپی اطلاعات با کمی کردن عدم قطعیت ذاتی هر یک از پارامترهای ورودی برای مدلسازی، انتخاب پارامترهای با ارزش را به سادگی امکان‌پذیر می‌سازد. در این مطالعه، که بر روی یک چاه از میدان نفتی منصوری واقع در جنوب ایران صورت گرفته است، پس از تولید داده‌های آموزشی با روش فیزیک سنگ و به کمک رابطه گاسمن، ابتدا با تحلیل انتروپی ارزش هر یک از پارامترهای ورودی مشخص شد. سپس با استفاده از تحلیل بیزین و به کمک پارامترهای موثر جداسازی و تفکیک رخساره‌های نفتی، انجام شد. پنج پارامتر بهینه، پارامترهای امیدانس کشسانی، سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی، چگالی و تخلخل بود که میزان خطای دسته‌بندی با استفاده از این پارامترهای با ارزش در حدود ۱۱ درصد بدست آمد. همچنین بررسی نشان داد که پارامتر پرتوزایی گاما تاثیر مثبتی در روند شناسایی و تفکیک رخساره‌ها نداشته، که با نتایج حاصل از انتروپی مطابق می‌باشد. **کلمات کلیدی:** روش‌های احتمالاتی، تئوری انتروپی اطلاعات، روش بیزین رخساره‌های نفتی، امیدانس کشسانی، میدان نفتی منصوری و ایران.

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 این رو، دستیابی به دیدی روشن، همراه با خطای کمتر از مخزن به‌ویژه در رخساره‌های نفتی، نیازمند استفاده از روش‌هایی با حداکثر کارایی و دقت می‌باشد.

روش انتروپی اطلاعات یکی از ابزارهای کارا و ساده جهت شناسایی پارامترهای با ارزش و یا به عبارت دیگر پارامترهای با عدم قطعیت پایین می‌باشد. این روش مرحله اول ارزیابی داده‌ها در راستای دستیابی به مدل‌های همراه با خطای کمتر می‌باشد.

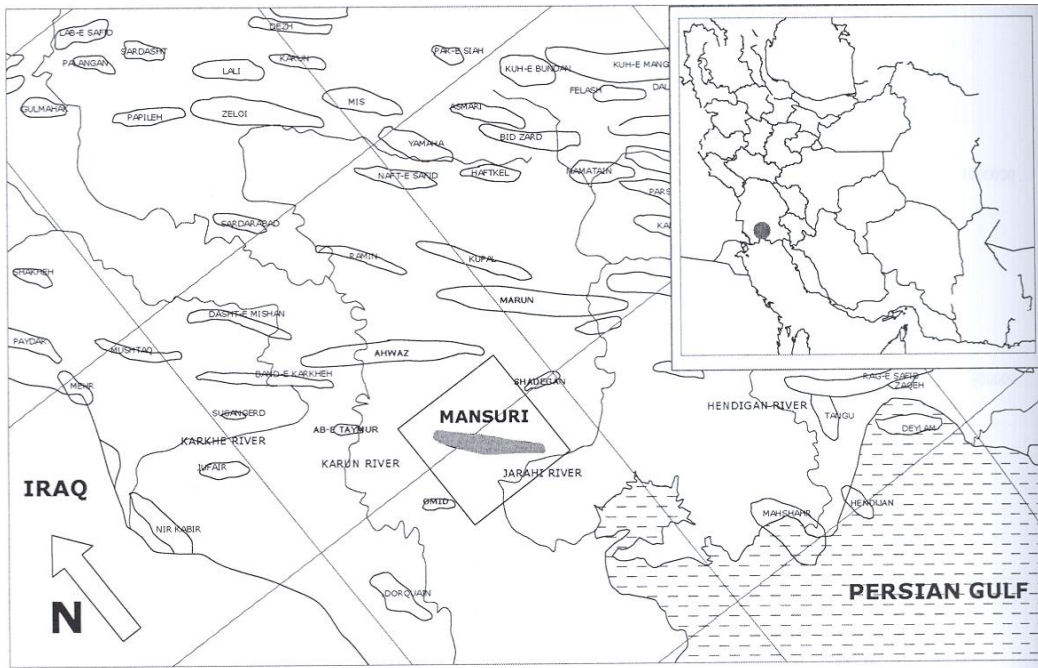
از طرف دیگر، روش‌های احتمالاتی شناسایی و مدلسازی رخساره‌های نفتی، در مقابل روش‌های تعینی، این امکان را به وجود می‌آورد که بتوان میزان خطای همراه مدل را کمی کرده و احتمال صحت آن‌را نیز بدست آورد. این روش‌ها همچنین می‌توانند ما را در شناسایی اطلاعات ارزشمند به صورت کمی یاری رسانند.

روش‌های مدلسازی احتمالاتی رخساره‌ها از تنوع نسبتا بالایی برخوردار بوده که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های جداسازی سنتی، روش بیزین، روش تشخیص الگو و غیره اشاره کرد [۲]. از میان این روش‌ها، روش بیزین از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، چرا که با به‌کارگیری توابع توزیع احتمال و احتمالات شرطی، علاوه بر دقت بالای تخمین و دسته‌بندی، می‌تواند اثر مربوط به حضور یک پارامتر ورودی را در افزایش احتمال موفقیت دسته‌بندی آشکار سازد.

در این مطالعه، در ابتدا پس از آنالیز جایگزینی سیال با استفاده از روش فیزیک سنگ، داده‌ها و دسته‌های آموزشی لازم برای تحلیل‌های شناسایی و جدایش رخساره‌ها فراهم شد. سپس با به‌کارگیری روش انتروپی اطلاعات ارزش هریک از پارامترهای چاه‌نگارها مشخص شد. در مرحله آخر، با به‌کارگیری داده‌های آموزشی، شناسایی و دسته‌بندی رخساره‌ها به کمک روش بیزین انجام و نتایج استفاده از داده‌های مختلف مقایسه شد.

۲- زمین شناسی میدان منصوری

میدان نفتی منصوری در دشت خوزستان، در ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی واقع است. این میدان هیچ رخنه‌ی در سطح نداشته و از طریق اکتشافات زیرزمینی 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 بنگستان تایید شد. ساختار این میدان نیز مانند بسیاری از میادین این ناحیه از روند زاگرس (شمال غرب- جنوب شرق)، تبعیت می‌کند (شکل ۱) [۳].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه

این میدان دارای سه مخزن نفتی آسماری، بنگستان و خامی می باشد که مطالعه حاضر بر روی مخزن آسماری انجام شده است. ضخامت سازند آسماری در میدان مورد مطالعه بین ۴۵۰ تا ۵۱۵ متر متغیر است. از دید سنگ شناسی، سازند آسماری غالباً از ماسه سنگ و سنگ های کربناته تشکیل شده است. بر اساس تغییرات لیتولوژی و تخلخل، در این میدان سازند آسماری به هشت بخش و نوزده زیر بخش متمایز شامل سنگ های آهکی، ماسه سنگی و رسی تقسیم شده است که لایه های ماسه سنگی به دلیل تخلخل و نفوذپذیری بیشتر و اشباع آب کمتر، قسمت اعظم نفت موجود در مخزن را در خود نگهداری می کند. این تقسیم بندی بر اساس داده های مربوط به چاه نمودارهای پرتوزایی گاما، نوترون، چگالی و تخلخل به دست آمده از تحلیل پتروفیزیکی جهت مشخص نمودن سرسازندها صورت گرفته است. بخش های دو و سه مهمترین قسمت مخزن آسماری هستند و بخش اعظم نفت از این زون ها استخراج می شود. این بخش ها از ماسه سنگ تشکیل شده است. بخش یک، از سنگ دولومیت همراه با مقدار قابل توجهی انیدریت تشکیل شده است. به طور کلی سه بخش یک، دو و سه قسمت مخزنی سازند آسماری را در این میدان تشکیل می دهد و حاوی هیدروکربن هستند [۳].

۳- مدل سازی فیزیک سنگ

در طول ۵۰ سال گذشته پیشرفت های شگرفی در رابطه با مطالعات خصوصیات فیزیکی سنگ ها و کانی ها، در ارتباط با اکتشافات لرزه ای، صورت گرفته است. در طول این مدت تئوری های زیادی توسعه پیدا کرده و آزمایش های بسیاری به اجرا درآمده است. برخی از نتایج این تئوری ها و آزمایش ها نقشی اساسی در پیشرفت علوم زمین و تکنیک های اکتشافی داشته

است [۴]. امروزه تکنیک‌های کمی تفاسیر ژئوفیزیکی، 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 و غیره می‌پردازد که 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 است که داده آموزشی کافی از آن شرایط خاص وجود ندارد و یا برداشت نشده است. 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 اشباع‌کننده، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. به این ترتیب چهار دسته 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 دما و فشار 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 و ...) محاسبه شده و سپس در روابط نهایی وارد شوند. به منظور بررسی تاثیر فشار و دما 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) روابطی را به منظور محاسبه خصوصیات مورد نظر در آب سازندی، نفت و گاز ارائه داده‌اند. با به‌کارگیری این روابط، مشخصات نفت و آب سازندی موجود در مخزن مورد مطالعه به دست آمد. جدول ۱ دما و فشار مخزن مورد مطالعه و جدول ۲ میزان چگالی و سرعت موج فشاری سیالات مخزنی در میدان مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی مخزن مورد مطالعه

دما (درجه سانتیگراد)	فشار (مگا پاسکال)
۸۰	۲۲/۴

جدول ۲- 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

• جایگزینی سیال

جایگزینی سیال از جمله مسائل فیزیک سنگی می باشد که به منظور درک و ارزیابی اثر سیالات منفذی بر روی سرعت و مقاومت صوتی، مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. اساس تحلیل های جایگزینی سیال رابطه گاسمن می باشد که این رابطه تغییرات مدول سنگ را در اثر تغییر سیالات منفذی ارزیابی می کند [۲ و ۷]. این رابطه متکی بر مدول حجمی سیال، سنگ اشباع و کانی می باشد.

رابطه اصلی جایگزینی سیال گاسمن به صورت زیر 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) می باشند. مدول حجمی و برشی برای سیال اول با توجه به داده های چاهنگارهای سرعت و چگالی محاسبه می شود.

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

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

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

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

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

• تولید داده‌های آموزشی

همان‌گونه 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 چاه‌نگارها به دو قسمت داده‌های مربوط به سنگ آهک خالص و داده‌های مربوط به ماسه سنگ خالص، فرآیند جایگزینی سیال (رابطه گاسمن) 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- تئوری انتروپی اطلاعات

هر داده افزودنی گاهی اوقات می‌تواند اطلاعاتی را دخیل کنند که نتیجه آن کاهش در عدم قطعیت باشد. به‌عنوان مثال مطالعات نشان داده است که دانستن سرعت موج برشی، علاوه بر سرعت موج فشاری، می‌تواند ما را در حل ابهامات موجود در رخساره‌های مخزنی در ارتباط با شناسایی سیال، که از تغییرپذیری زمین‌شناسی حاصل می‌شود، کمک کند. یکی از ابزارهایی که می‌تواند این کاهش در عدم قطعیت را کمی کند، روش انتروپی اطلاعات^۱ است. در حقیقت این روش بر مبنای میزان کاهشی است که هر داده در انتروپی ایجاد می‌کند و در واقع کاهش در انتروپی به معنای کاهش در عدم قطعیت می‌باشد.

¹ Information Entropy

تئوری اطلاعات آماری، یک ابزار قدرتمند و در عین حال ساده‌ای را برای ما فراهم می‌آورد که می‌توانیم اطلاعاتی که هر نشانگر، برای تفکیک هر کدام از رخساره‌ها بدست می‌دهد را کمی نماییم [۵]. انتروپی اطلاعات $H(X)$ ، یک پارامتر آماری است که تغییر پذیری ذاتی متغیر تصادفی X را کمی می‌کند. در واقع مفهوم انتروپی، میزانی از عدم قطعیت متغیر تصادفی X است. انتروپی را می‌توان با استفاده از تابع چگالی احتمال $P(X)$ ، طبق روابط زیر محاسبه کرد [۹]:

$$H(X) = - \sum_i p(x_i) \ln[p(x_i)] \quad (5)$$

رابطه بالا برای زمانی است که X ، مقادیر گسسته اختیار کند؛ در صورتی که برای مقادیر پیوسته X ، رابطه متناظر به‌صورت زیر خواهد بود [۹]:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \ln[p(X)] p(X) dX \quad (6)$$

در این رابطه، انتگرال، شامل مقادیری از X ، در جایی که تابع چگالی احتمال یا همان $P(X)$ برابر صفر است، نمی‌شود. برای یک پراش مشخص، یک تابع چگالی احتمال با حداکثر انتروپی، همان توزیع نرمال یا گوسی است. لازم بذکر است که انتروپی تنها به تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی X مرتبط بوده و به مقدار واقعی آن بستگی ندارد [۹]. در صورتی که انتروپی با لگاریتم در پایه ۲ محاسبه گردد واحد آن بیت، اگر در پایه ۱۰ باشد واحد آن دیت و بالاخره اگر لگاریتم طبیعی باشد واحد آن نات معرفی می‌شود [۹].

محاسباتی از این قبیل را می‌توان در انتخاب بهترین گروه از نشانگرها که در بردارنده بیشترین اطلاعات از خواص مورد نظر سنگ هدف هستند، بکار برد. انتروپی ابزار بهتری برای اندازه‌گیری عدم قطعیت می‌باشد، به‌خصوص زمانی که توابع چگالی احتمال، چندگانه یا چند وجهی هستند. دلیل این مدعا آن است که، واریانس تنها معیاری از پراکندگی مقادیر حول میانگین است؛ در حالی که انتروپی تمام توزیع را در محاسبات دخیل می‌کند. انتروپی وابستگی غیرخطی را نیز در نظر می‌گیرد در حالی که کوواریانس تنها وابستگی خطی را منظور می‌کند. همچنین اندازه‌گیری‌های انتروپی را می‌توان از توابع چگالی غیر پارامتری به‌دست آورد، با این وجود، اندازه‌گیری‌های خطی واریانس، به‌عنوان یک ارزیابی سریع در مراحل اولیه تحلیل تغییرپذیری داده‌ها، قبل از این که سراغ روش‌های غیر خطی برویم، ابزار مفیدی هستند. تنها ایراد استفاده از انتروپی به‌عنوان معیاری برای ارزیابی عدم قطعیت، عدم وابستگی انتروپی به مقادیر واقعی و تنها وابستگی به توابع چگالی احتمال می‌باشد [۲].

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، میزان انتروپی داده‌های چاه‌نگارها در دسته‌های مختلف، مقادیر متفاوتی است. در نتیجه، در صورتی که نیاز باشد ارزیابی خاصی با استفاده از داده‌های چاه‌نگارها انجام پذیرد، می‌توان به‌صورت انتخابی، چاه‌نگارهایی را انتخاب کرد که عدم قطعیت پایین‌تری را دارا هستند. جدول ۴ چاه‌نگارهای با اهمیت را به ترتیب ارزش (عدم قطعیت پایین‌تر) از بالا به پایین، در هریک از چهار دسته مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۳- میزان انتروپی همراه با هرکدام از پارامترهای چهار دسته مورد نظر

چاه نمودار دسته مورد نظر	پرتوزایی گاما (API)	تخلخل (%)	چگالی (gr/cm ³)	سرعت موج فشاری (km/s)	سرعت موج برشی (km/s)
سنگ آهک اشباع از آب	۴/۰۹۳۶	۴/۰۹۲۷	۴/۰۸۷۲	۴/۰۸۲۱	۴/۰۹۰۸
ماسه سنگ اشباع از آب	۶/۱۴۱۸	۶/۱۴۲۵	۶/۱۳۹۴	۶/۱۴۱۴	۶/۱۳۹۷
سنگ آهک اشباع از نفت	۴/۰۹۴۲	۴/۰۹۳۱	۴/۰۸۷۸	۴/۰۸۲۴	۴/۰۹۰۵
ماسه سنگ اشباع از نفت	۵/۹۸۹۹	۵/۹۸۹۵	۵/۹۸۰۹	۵/۹۸۰۸	۵/۹۸۰۴

همان طور که جدول ۴ نشان می دهد، به طور کلی دو پارامتر سرعت موج فشاری و برشی از ارزش بیشتری نسبت به سایر پارامترها برخوردار بوده و پارامترهای چگالی، تخلخل و پرتوزایی اشعه گاما از درجات بعدی ارزش برخوردارند. بنابراین در دسته بندی بر مبنای چهار دسته نام برده، ترتیب استفاده از پارامترها به ترتیب ارزش آن ها خواهد بود.

جدول ۴- ترتیب چاه نگارهای با ارزش چاه مرجع در هر یک از بخش های مخزنی سازند آسماری

		سنگ آهک اشباع از آب	ماسه سنگ اشباع از آب	سنگ آهک اشباع از نفت	ماسه سنگ اشباع از نفت
چاه نگارها	ارزش بالا	سرعت موج فشاری	چگالی	سرعت موج فشاری	سرعت موج برشی
		چگالی	سرعت موج برشی	چگالی	سرعت موج فشاری
		سرعت موج برشی	سرعت موج فشاری	سرعت موج برشی	چگالی
		تخلخل	پرتوزایی گاما	تخلخل	تخلخل
	ارزش پایین	پرتوزایی گاما	تخلخل	پرتوزایی گاما	پرتوزایی گاما

۵- تحلیل بیزین

روش بیزین^۱ برگرفته از نام توماس بیز، یکی از پیشگامان تئوری احتمالات در قرن ۱۸، است. مهم ترین تفاوت اساسی روش های کلاسیک و بیزین در طبیعت راه حل ها می باشد [۱۰]. در رویکرد کلاسیک، یک مدل مشخص ولی ناشناخته X_{true} وجود دارد که ما مایل به کشف آن هستیم. این در صورتی است که در رویکرد بیزین، مدل یک متغیر تصادفی است و راه

¹ Bayesian theory

حل یک توزیع احتمال برای پارامترهای مدل می‌باشد. هنگامی که ما این توزیع احتمال را در دست داشته باشیم، می‌توانیم به سوالات احتمالاتی در ارتباط با مدل پاسخ دهیم که در رویکرد کلاسیک چنین سوالاتی قابل فهم نیست؛ به دلیل آنکه مدل صحیحی که ما به دنبال آن هستیم یک متغیر تصادفی نیست [۱۰].

رویکرد بیزین، تمام تابع توزیع احتمال را برای هر خصوصیت ورودی مورد استفاده قرار می‌دهد. این روش، همچنین فرض می‌کند که همه توابع چگالی احتمال معلوم هستند. در عمل آن‌ها بایستی باتوجه به داده‌های آموزشی تخمین زده شود [۱۱]. رابطه بیز این اجازه را می‌دهد، که احتمالات مربوط به یک دسته مشخص را با در دست بودن داده X با استفاده از رابطه زیر به دست آوریم [۱۱]:

$$P(c_j|x) = \frac{P(x, c_j)}{P(x)} = \frac{P(x|c_j)P(c_j)}{P(x)} \quad (7)$$

نماد X را به عنوان متغیر یگانه یا چندگانه در نظر می‌گیریم، که داده‌های پارامتر موجود می‌باشد (نظیر سرعت موج فشاری یا اطلاعات چاه‌نگارهای دیگر). حرف c_j با $j=1, \dots, N$ بیانگر N دسته یا حالات متفاوت است. $P(x, c_j)$ همان احتمال اشتراک x و c_j و $P(c_j)$ احتمالات اولیه مربوط به یک دسته خاص قبل از در دست بودن داده X می‌باشد. احتمال شرطی $P(x | c_j)$ از روی داده‌های آموزشی تخمین زده می‌شود [۲]. در صورتی که اطلاعات خاصی از احتمالات اولیه $P(c_j)$ در دست نباشد، برای همه دسته‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه چون چهار دسته وجود دارد، احتمال اولیه هر کدام برابر 0.25 می‌باشد. در رابطه بالا، $P(x)$ بیانگر pdf غیر شرطی از مقادیر پارامترهای قابل مشاهده در ارتباط با همه N حالت مخزن می‌باشد، که می‌توان آن را بصورت زیر نوشت [۱۱]:

$$P(X) = \sum_{i=1}^N P(X|c_i)P(c_i) \quad (8)$$

در واقع می‌توان گفت که رابطه بیز احتمالات اولیه مربوط به یک دسته خاص $P(c_j)$ را قبل از در دست بودن داده X به احتمالات پسین، در صورتی که داده X در دست باشد، تبدیل می‌کند [۱۱]. در نهایت، طبق قانون تصمیم‌گیری بیز، داده X به عنوان دسته c_k دسته بندی می‌شود اگر برای همه $j \neq k$ ، رابطه $P(c_k | x) > P(c_j | x)$ برقرار باشد.

۶- شناسایی و تفکیک کمی رخساره‌های مخزنی

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

- ۱- تحلیل‌های جدایش سنتی^۱: شامل روش‌های خطی، درجه دو که بر اساس توابع چگالی احتمال نرمال یا گوسی هستند [۱۲]؛
- ۲- دسته بندی بیزین^۲: بر مبنای احتمالات شرطی بوده و از توابع چگالی احتمال غیر پارامتری استفاده می‌کند.

^۱ Classical Discriminant analysis

^۲ Bayesian classification

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، در صورتی که برای روش بیزین نوع تابع توزیع مهم نبوده و می‌توان از روش غیر پارامتری این توابع را تخمین زد. لازم به ذکر است که روش‌های سنتی جدایش به‌رغم 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].

• احتمالات اولیه

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:

- ۱- 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؛
- ۲- 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 مطابق جدول زیر است.

جدول ۵- میزان احتمالات اولیه تجربی هر یک از چهار دسته نام‌برده.

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

• 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 امپدانس 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

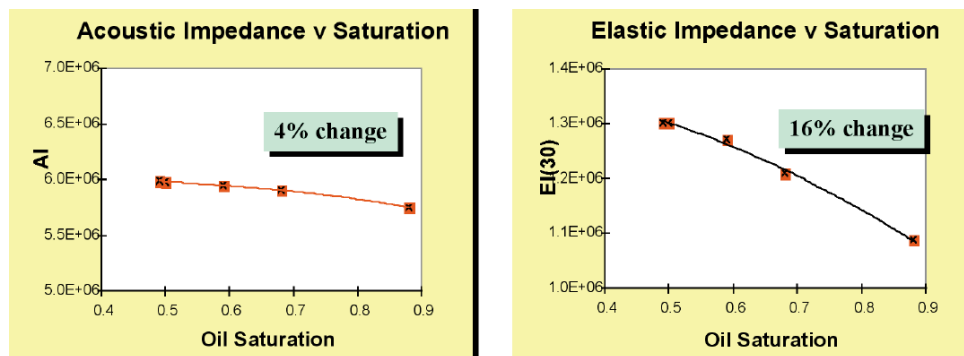
[۱۳، ۱۴ و ۱۵]. نکته قابل ذکر آنکه اکثر مطالعات مربوط به جداسازی رخساره‌های ماسه سنگی به عنوان رخساره مخزنی می‌باشد و تقریباً مطالعه خاصی در ارتباط با سنگ آهک‌ها صورت نگرفته است. امیدانس الاستیک برطبق رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۵]:

$$EI(\theta) = V_p^a V_s^b \rho^c \quad (9)$$

که در این رابطه داریم:

$$a = 1 + \tan^2(\theta), \quad b = -8k \times \sin^2(\theta), \quad c = 1 - 4k \times \sin^2(\theta), \quad k = (V_s / V_p)^2$$

در این روابط θ زاویه تابش، V_p و V_s به ترتیب سرعت امواج برشی و فشاری می‌باشند. طبق مطالعات صورت گرفته، برای زاویه 30° درجه، بهترین جدایش رخساره‌های ماسه سنگی با اشباع‌ات متفاوت صورت می‌گیرد [۱۳]. در شکل ۳، علت توانایی امیدانس کشسانی در مقایسه با امیدانس صوتی را در جدایش ماسه‌سنگ‌های اشباع از سیالات متفاوت نشان می‌دهد، در واقع این شکل میزان تاثیرپذیری هر کدام از دو پارامتر را در اثر افزایش اشباع نفت، نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقایسه تاثیر افزایش اشباع نفت بر روی تغییر امیدانس کشسانی و امیدانس صوتی [۱۳].

با توجه به کارایی بالای امیدانس کشسانی در تفکیک رخساره‌های ماسه سنگی با سیالات محتوی متفاوتی، از همراهی این پارامتر با سایر پارامترهای چاه‌نگاری نظیر سرعت امواج صوتی، چگالی، تخلخل و غیره جهت شناسایی و تفکیک رخساره‌ها میدان منصوری استفاده شد.

• تفکیک و جدایش رخساره‌ها

از جمله مشکلات موجود در زمینه شناسایی و 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 شناسایی با استفاده از روش بیزین دخیل شوند. از طرف دیگر با توجه به تحلیل انتروپی صورت گرفته و شناسایی نگارهای با ارزش که از عدم قطعیت ذاتی کمتری برخوردار هستند، برای دستیابی به پارامترهای بهینه ورودی، که با استفاده از آن‌ها خطای دسته‌بندی کمینه

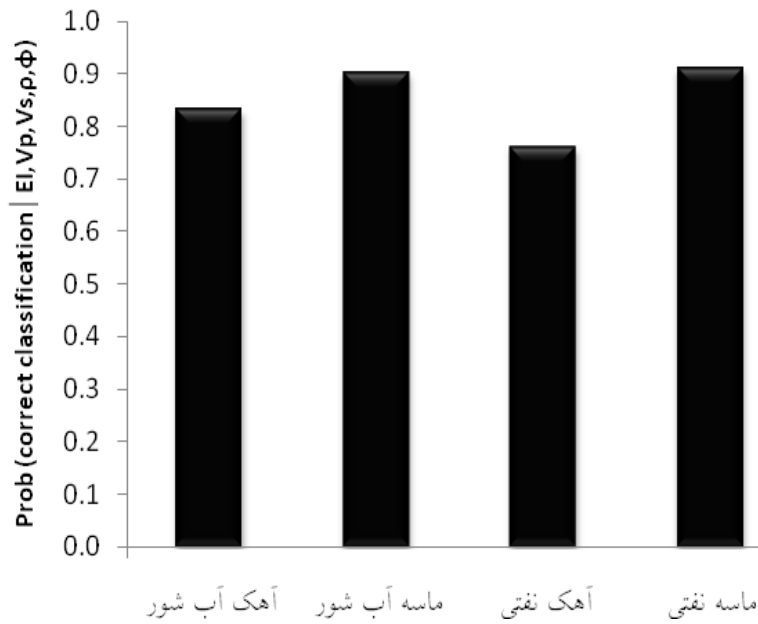
باشد، از همراهی پارامتر امیدانس الاستیک با داده‌های چاه‌نگارهای مختلف (به ترتیب ارزش آن‌ها) استفاده شد. به‌کارگیری همزمان پارامترهای امیدانس الاستیک، سرعت موج فشاری و برشی، چگالی و تخلخل، بهترین نتیجه ممکن را دربر داشت. لازم به ذکر است که در این بررسی‌ها اثر پارامترهای زیادی نظیر امیدانس صوتی، امیدانس پواسون، نسبت سرعت امواج فشاری به برشی و غیره در دسته بندی مطالعه شد، که بهترین حالت همان همراهی پنج پارامتر نام برده یعنی، امیدانس الاستیک، سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی، چگالی و تخلخل، در دسته‌بندی بود. این بررسی برای هر دو حالت استفاده از احتمالات اولیه برابر و تجربی صورت گرفت.

برای نمایش میزان کارایی پارامترهای منتخب در جدایش بهینه رخساره‌ها، از نمودار احتمال موفقیت و ماتریس درهم ریختگی جدایش، استفاده شده است. شکل ۳ نمودار احتمال موفقیت دسته‌بندی، جدول ۶ ماتریس درهم ریختگی و جدول ۷ میزان خطای همراه با هر دسته و خطای کلی دسته‌بندی با پارامترهای منتخب به کمک روش بیزین را برای حالت احتمالات اولیه برابر را نشان می‌دهد. در صورتی‌که از احتمالات اولیه تجربی استفاده شود، نتایج در شکل ۴ و جداول ۸ و ۹ ارائه شده است.

جهت مقایسه با نتایج بالا و نیز تایید تحلیل انتروپی، در صورتی که داده‌های چاه‌نگار پرتوزایی اشعه گاما نیز در شناسایی و تفکیک رخساره‌ها مورد استفاده قرار گیرد، خطای دسته بندی افزایش می‌یابد و در واقع این پارامتر اثر مثبتی در شناسایی رخساره‌ها ندارد. شکل ۵ نمودار احتمال موفقیت دسته‌بندی، جدول ۱۰ ماتریس درهم ریختگی و جدول ۱۱ میزان خطای همراه با هر دسته و خطای کلی دسته‌بندی با پارامترهای منتخب به علاوه پارامتر پرتوزایی اشعه گاما را برای حالت احتمالات اولیه تجربی نشان می‌دهد.

۷- بحث و نتیجه گیری

پس از بررسی مجموعه داده‌های موجود و افزودن هر کدام از این متغیرهای در فرایند تخمین با روش بیزین، روشن شد که، اولاً افزودن هر اطلاعات به معنای افزایش دقت و یا کاهش خطای تخمین نیست (نظیر پارامتر پرتوزایی اشعه گاما) و در ثانی با وجود عدم کارایی برخی روابط برای شرایط خاص (نظیر روابط گاسمن برای سنگ آهک)، با افزایش تعداد پارامترهای حاضر در تخمین، به‌خوبی می‌توان به نتایج قابل قبول دست یافت. بهترین نتیجه حاصله برای تفکیک رخساره با استفاده از روش بیزین، با به‌کارگیری پارامترهای امیدانس کشسانی، سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی، چگالی و تخلخل به‌دست آمد.



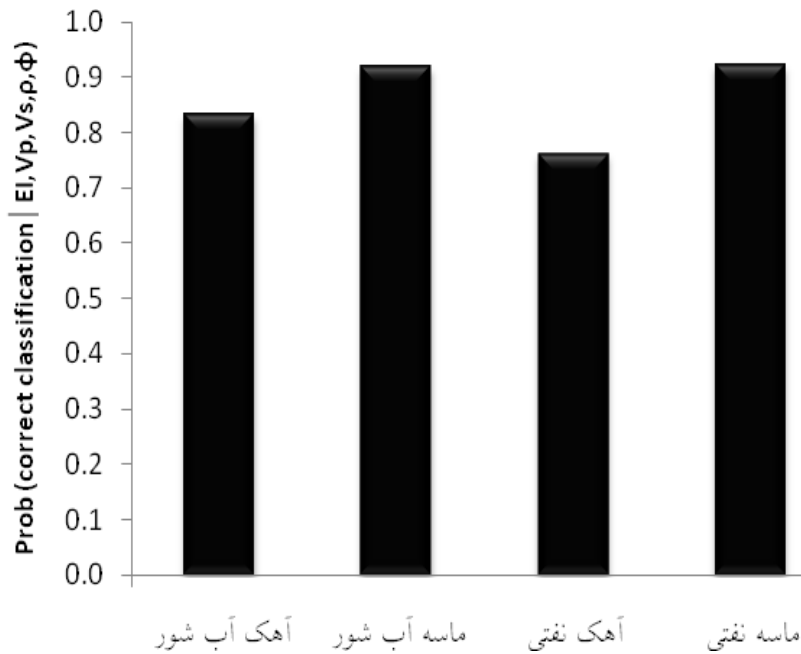
شکل ۳- نمودار احتمال موفقیت دسته‌بندی، با استفاده از پنج پارامتر منتخب در حالت استفاده از احتمالات اولیه برابر

جدول ۶- ماتریس درهم ریختگی دسته‌بندی، با استفاده از پنج پارامتر منتخب در حالت استفاده از احتمالات اولیه برابر

تخمینی					
آهک آب شور	ماسه آب شور	آهک نفتی	ماسه نفتی		
0/832	0/00	0/168	00/0	آهک آب شور	واقعی
0/004	0/903	0/009	0/084	ماسه آب شور	
0/23	009/0	0/761	0/00	آهک نفتی	
0/00	0/073	0/015	0/912	ماسه نفتی	

جدول ۷- احتمال خطای هر دسته و متوسط احتمال خطا برای دسته‌بندی با استفاده از پنج پارامتر منتخب در حالت استفاده از احتمالات اولیه برابر

آهک آب شور	ماسه آب شور	آهک نفتی	ماسه نفتی	
0/168	0/097	0/239	0/088	احتمال خطای هر دسته
0/116				متوسط احتمال خطا



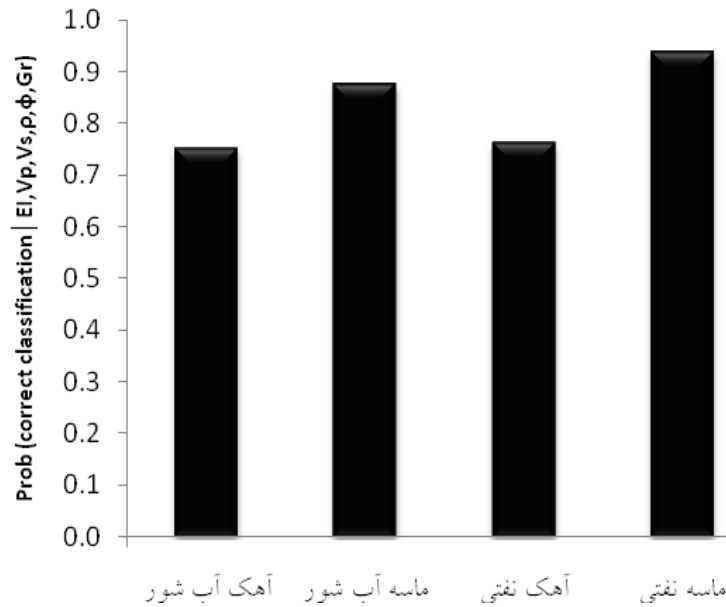
شکل ۴- نمودار احتمال موفقیت دسته‌بندی، با استفاده از پنج پارامتر منتخب در حالت استفاده از احتمالات اولیه تجربی

جدول ۸- ماتریس درهم ریختگی دسته‌بندی، با استفاده از پنج پارامتر منتخب در حالت استفاده از احتمالات اولیه تجربی

تخمینی					
آهک آب شور	ماسه آب شور	آهک نفتی	ماسه نفتی		
0/832	0	0/168	0	آهک آب شور	واقعی
0	0/918	0/002	0/079	ماسه آب شور	
0/23	0/009	0/761	0	آهک نفتی	
0	0/075	0/003	0/922	ماسه نفتی	

جدول ۹- احتمال خطای هر دسته و متوسط احتمال خطا برای دسته‌بندی با استفاده از پنج پارامتر منتخب در حالت استفاده از احتمالات اولیه تجربی

آهک آب شور	ماسه آب شور	آهک نفتی	ماسه نفتی		
				احتمال خطای هر دسته	
0/168	0/082	0/239	0/078		
0/106				متوسط احتمال خطا	



شکل ۵- نمودار احتمال موفقیت دسته‌بندی، با استفاده از پنج پارامتر منتخب به علاوه پارامتر پرتوزایی اشعه گاما در حالت استفاده از احتمالات اولیه تجربی

جدول ۱۰- ماتریس درهم ریختگی دسته‌بندی، با استفاده از پنج پارامتر منتخب به علاوه پارامتر پرتوزایی اشعه گاما در حالت استفاده از احتمالات اولیه تجربی

تخمینی					
آهک آب شور	ماسه آب شور	آهک نفتی	ماسه نفتی		
0.752	0.009	0.239	0	آهک آب شور	واقعی
0	0.876	0	0.124	ماسه آب شور	
0.23	0.009	0.761	0	آهک نفتی	
0	0.063	0	0.937	ماسه نفتی	

جدول ۱۱- احتمال خطای هر دسته و متوسط احتمال خطا برای دسته‌بندی با استفاده از پنج پارامتر منتخب به علاوه پارامتر پرتوزایی اشعه گاما در حالت استفاده از احتمالات اولیه تجربی

آهک آب شور	ماسه آب شور	آهک نفتی	ماسه نفتی		
0.248	0.124	0.239	0.063	احتمال خطای هر دسته	
0.127				متوسط احتمال خطا	

به طور کلی تصمیم‌گیری اینکه چه پارامترهایی در فرآیند تخمین دخیل شوند، بستگی کامل به داده‌های موجود و هدف مورد نظر دارد. همانطور که این بررسی‌ها در چاه مرجع نشان می‌دهد، برای جدایش ماسه سنگ‌های اشباع از آب شور یا نفت با احتمال بالا، شاید یک پارامتر امیدانس کشسانی کافی باشد. اما برای جدایش کربنات‌ها قاعدتاً پارامترهای بیشتری نیاز است. از طرف دیگر، انتخاب پارامترهای مناسب در بین پارامترهای دیگر، خود یکی از مسائل حساس و مورد بحث است. البته این کار قبل از ورود به مرحله دسته بندی بیزین با استفاده از روش انتروپی اطلاعات انجام شد.

همانطور که ذکر شد، ترتیب نگارهای با اهمیت (انتروپی کمتر)، شامل سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی، چگالی، تخلخل و در خاتمه پرتوژیی گاما بود، که این کار برای هر کدام از دسته‌ها انجام شد. نتایج حاصل از تفکیک رخساره‌ها، با روش بیزین هم که در بالا تشریح شد، بخوبی این مطلب را تأیید کرد.

بهترین نتیجه تفکیک رخساره‌ها با استفاده از روش بیزین، به کمک پنج پارامتر امیدانس کشسانی، سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی، چگالی و تخلخل به دست آمد. خطای این روش، در صورت استفاده از احتمالات اولیه برابر، ۱۱/۶ درصد و در صورت استفاده از احتمالات اولیه تجربی، ۱۰/۶ درصد می‌باشد. با افزودن پارامتر پرتوژیی اشعه گاما به پنج پارامتر منتخب، خطای دسته بندی را افزایش داده و به ۱۲/۷ در صد رساند.

تقدیر و تشکر

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

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), "Geological 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. Cover, T., and Thomas, J., (1991), "Elements of Information Theory". New York: Wiley.
10. Aster, R., Borchers, B., Thurber, C., (2005), "Parameter Estimation and Inverse Problem", Elsevier Academic Press.

11. Duda, R.O., Hart, P.E., (1973), "Pattern Classification and Scene Analysis", New York: Wiley.
12. Krzanowski, W. J., (1988), "Principles of Multivariate Analysis: A User's Perspective", New York: Oxford University Press.
13. Connolly, P., (1999), "Elastic impedance", The Leading Edge, 18, 438 – 452.
14. 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.
15. Tsuneyama, F., Mavko, G., (2007), "Elastic-impedance analysis constrained by rock-physics bounds", Geophysical Prospecting, 55, 289–306.

Using information entropy theory and bayesian decision method to identify appropriate parameters for evaluating and discriminating oil facies (mansuri oil field, south of Iran)

Behzad Mehrgini & Hossein Memarian

Abstract

Due to subsurface heterogeneity and existing vagueness in geophysical interpretation, identifying and interpretation of facies in wellbores is always prone to uncertainty and risk. Nowadays several methods have developed for quantitative facies interpretation. These methods are generally divided into deterministic and stochastic categories. Deterministic methods, in spite of their simple modeling procedure, cannot expose the amount of error or accuracy of the model. On the other hand, stochastic methods, in addition to quantifying the error of the model, can provide the probability of the model's accuracy in each point of the reservoir. The Bayesian approach is one of the stochastic methods that use conditional probabilities for modeling. This approach, as well as probabilistic modeling of hydrocarbon facies, quantitatively computes the effect of additional data in decreasing the error of the classification. Information entropy theory, by quantifying the intrinsic uncertainty in each model input parameter, can easily provide the selection of valuable parameters. The present study was carried out on one of the wells of Mansuri oil field, south of Iran. After generation of training data by using rock physics techniques and Gassmann's relation, the value of each input parameter was identified by entropy analysis. Then, by use of Bayesian analysis and valuable parameters, oil facies classification and discrimination was implemented. The five optimum parameters were elastic impedance, compressional wave velocity, shear wave velocity, density and porosity. The amount of error in this method is approximated to be 11 percent. This investigation also showed that gamma ray parameter does not have a drastic positive effect on identification and discrimination procedure of oil facies, which has a good agreement with the results of entropy analysis.

Keywords: Stochastic methods, information entropy theory, Bayesian method, oil facies, elastic impedance, Mansuri oil field and Iran.