

## بکارگیری روش‌های تشخیص الگو جهت شناسایی سیالات مخزنی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی

امیر ملاجان<sup>۱\*</sup>، حسین معماریان<sup>۲</sup>، بهزاد تخم‌چی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه تهران، ۲- استاد دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران، ۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن،

نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

a.mollajan@alumni.ut.ac.ir

### چکیده

تشخیص نوع و نحوه توزیع سیالات مخزنی یکی از کارهای اصلی در چاه‌پیمایی و تست چاه محسوب می‌شود. تاکنون روش‌های مختلفی برای شناسایی نوع سیالات مخزنی ارائه شده است که در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را دو گروه روش‌های مستقیم (تست چاه و ...) و روش‌های غیرمستقیم (مطالعات لرزه سه بعدی و استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی) تقسیم‌بندی نمود. در این بین استفاده از داده‌های مربوط به چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی به دلیل قدرت تفکیک بالا و انطباق بیشتر بر واقعیت چاه‌های نفتی، بسیار مرسوم‌تر از روش‌های مستقیم و نیز داده‌های ژئوفیزیک لرزه‌ای هستند. در این مقاله با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی نسبت به شناسایی نوع سیالات مخزنی در سه گروه نفت، نفت آبدار و آب در یک مخزن کربناته اقدام شده است. در الگوریتم طراحی شده از دو تکنیک آنالیز موجک و طبقه‌بندی استفاده شده و روش انتخابی بر روی داده‌های مربوط به پنج چاه از یک میدان نفتی در جنوب غرب ایران پیاده‌سازی شده است. در نهایت نیز نتایج به‌دست آمده از این روش با پاسخ‌های تست چاه مورد مقایسه و صحت‌سنجی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که با استفاده از این روش می‌توان با دقت قابل قبولی نوع سیالات درون مخزن را شناسایی نمود.

**کلمات کلیدی:** سیالات مخزنی، چاه‌نمودار پتروفیزیکی، طبقه‌بندی، تجزیه موجک

## ۱- مقدمه

تشخیص دقیق توزیع سیالات مخزنی از کارهای اصلی در چاه‌پیمایی و تست چاه بوده و تعیین آن نقش بسیار مهمی در کاهش عدم قطعیت در ارزیابی ذخیره هیدروکربنی مخزن و در نتیجه انتخاب استراتژی توسعه میدان دارد. نحوه توزیع و انتشار سیالات مخزنی توسط عواملی همچون نیروهای ارشمیدس، موئینه و هیدرواستاتیک، همچنین شرایط هیدرودینامیک مخزن و نیز تخلخل و نفوذپذیری سنگ مخزن کنترل می‌شود [۱]. به‌طور کلی در یک ستون آب و نفت براساس تراوایی نسبی سیالات مخزنی، می‌توان سه بخش تولیدکننده ۱۰۰٪ نفت (با تراوایی نسبی بالاتر نفت نسبت به آب)، بخش تدریجی آب - نفت و بخش تولید کننده ۱۰۰٪ آب (با تراوایی نسبی بالاتر آب نسبت به نفت) را در نظر گرفت. در یک تقسیم بندی کلی روش‌های تشخیص عمق سطوح تماس سیالات را می‌توان به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمود. در روش‌های مستقیم مانند تست چاه، سطح تماس سیالات مخزنی از طریق مشاهده مایع مخزنی تشخیص داده می‌شود اما در روش‌های غیر مستقیم این سطوح با استفاده از تفسیر چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی یا مطالعات لرزه سه بعدی مشخص می‌شوند. در این بین استفاده از داده‌های مربوط به چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی به دلیل قدرت تفکیک بالا و انطباق بیشتر بر واقعیت چاه‌های نفتی، بسیار مرسوم‌تر از داده‌های ژئوفیزیک لرزه‌ای هستند. در این راستا گنگ و همکاران [۲] و دالبرگ و فرنس [۳] برای تشخیص انواع سیالات مخزنی به صورت موثری از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی استفاده کرده‌اند. کوتس با استفاده از طیف سنجی تفریقی T2 چاه نمودارهای NMR، سیالات مخزنی را طبقه بندی کرده‌است [۴]. یو و همکاران از تکنیک تبدیل موجک برای تشخیص سیالات مخزنی کمک گرفتند [۵]. ادوارد و همکاران نیز به بررسی سطوح تماس سیالات در یک مخزن کربناته شکاف‌دار پرداخته‌اند [۶].

در این مقاله با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی به شناسایی نوع سیالات در سه گروه نفت، نفت آبدار و آب در یک مخزن کربناته اقدام شده است. در الگوریتم طراحی شده از دو تکنیک آنالیز موجک و طبقه‌بندی استفاده شده و روش انتخابی بر روی داده‌های مربوط به پنج چاه از یک میدان نفتی در جنوب غرب ایران پیاده سازی شده است. در نهایت نیز نتایج به دست آمده از این روش با پاسخ‌های تست چاه مورد مقایسه و صحت سنجی قرار گرفته است.

## ۲- پاسخ چاه‌نمودارهای مختلف به تغییرات سیالات مخزنی

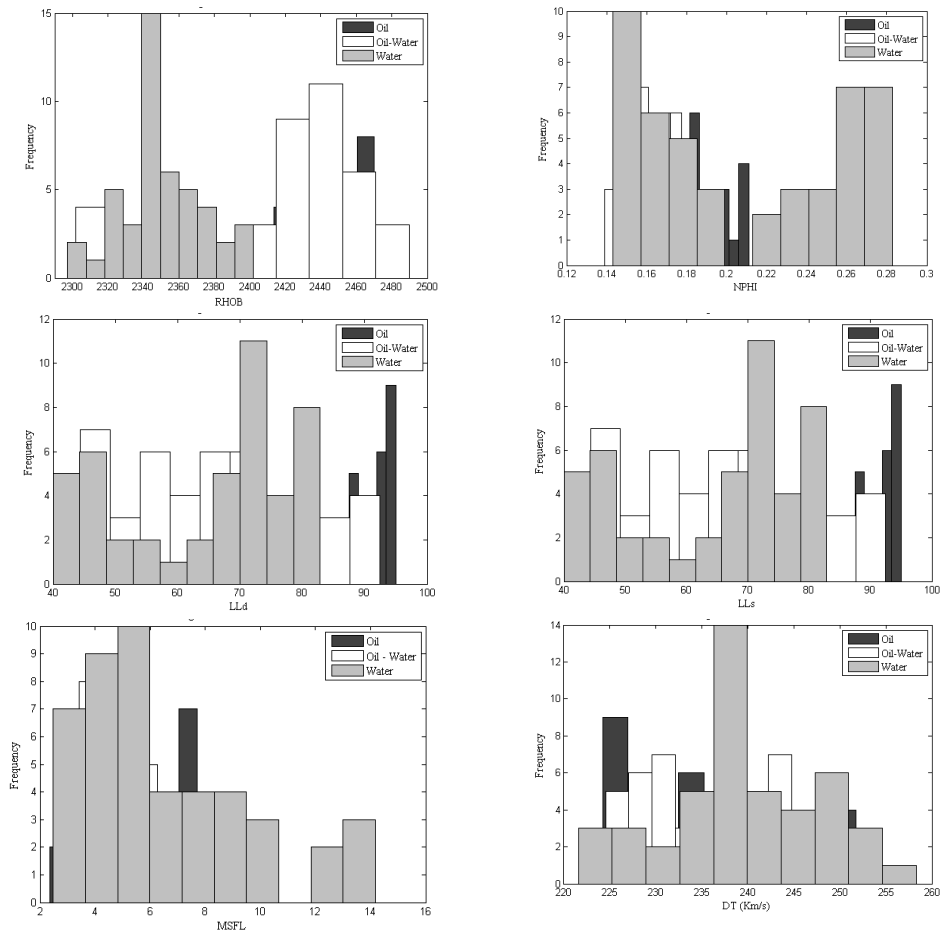
معمولاً در زون نفتی شعاع بررسی نمودار مقاومت ویژه کم عمق کوچک است و این شعاع عمیق‌تر از شعاع نفوذ فیلترای گل حفاری نیست. در چنین حالتی مقدار مقاومت الکتریکی قرائت شده به وسیله نمودار مقاومت ویژه کم عمق از مقدار قرائت شده به وسیله نمودار مقاومت عمیق کمتر است و از سویی دیگر در زون نفتی جدایش کافی بین نمودارهای مقاومت ویژه الکتریکی عمیق و کم عمق از شاخص‌های تعیین کننده است.

در زون آب چنانچه مشخص است، قسمت‌های مورد تهاجم فیلترای گل حفاری (با پایه آب) و یا دست نخورده هر دو حاوی آب سازندی می‌باشند، لذا مقدار مقاومت الکتریکی قرائت شده توسط نمودارهای مقاومت ویژه عمیق و کم عمق، کم و درعین حال هر دو نمودار در کنار و یا بر روی هم ثبت می‌شود، البته این مورد بستگی زیادی به مقاومت الکتریکی سیال حفاری ( $R_{mf}$ ) دارد [۷]. بنابراین می‌توان گفت که در محل سطح تماس آب - نفت مقدار مقاومت به کمترین مقدار خود در یک مخزن تمیز و متخلخل افت می‌کند. شیلی شدن، تغییرات تخلخل، نفت باقیمانده یا مواد قیری ممکن است این پیک را پنهان کند [۸]. جدول ۱ چاه‌نمودارهای استفاده شده را به همراه توضیح مختصر درباره اثر سیالات مختلف بر مقادیر آن‌ها نشان می‌دهد. شکل ۱ هیستوگرام هر یک از چاه‌نمودارها را برای سه کلاس مورد نظر در چاه شماره ۱ نشان می‌دهد. به-

طور کلی همان طور که در یک مخزن کربناته توقع آن می‌رفت، حضور سیال نفت باعث افزایش در مقدار چاه‌نمودارهای مقاومت سنجی شده و مقادیر چاه‌نمودارهای چگالی و سرعت موج فشاری نیز کاهش یافته است. در چاه‌نمودار نوترن نیز ارتباط مشخص و واضحی مشاهده نمی‌شود.

جدول ۱- چاه‌نمودارهای انتخابی جهت طبقه بندی [۹]

نمودار	توضیحات
LLD	عمق تجسس آن در حدود چندین فوت بوده و مقداری که این نمودار به- دست می‌دهد، مجموع مقاومت زون رخنه، تدریجی و دست نخورده است.
LLS	عمق تجسس در این حالت در حدود یک فوت بوده و مجموع مقاومت زون رخنه و تدریجی را بدست می‌دهد.
MSFL	ابزاری متمرکز است که برای جانشینی MLL و PL بوجود آمده است. محدودیت اصلی MLL حساسیت آن به گل کبره است. این ابزار به خوبی قادر است مقدار $R_{xo}$ را بدست بدهد. عمق جستجوی آن کم تا متوسط بوده، لکن قدرت تفکیک قائم خوبی داشته و در سازندهای بسیار مقاوم نیز تأثیر کمی از محیط می‌گیرد.
DT	این نمودار، زمان عبور را در مقابل عمق (مدت زمانی که یک ضربه صوتی طول معینی از یک سنگ (یک فوت) را طی می‌کند) نشان می‌دهد. نمودار صوتی فقط در یک چاه باز پر شده از مایع عمل کرده و تخلخل زمینه (اولیه) را اندازه‌گیری می‌کند. در صورتی که سیال موجود در فضای تخلخل از هیدروکربن پُر شده باشد، مقدار تخلخل به دست آمده زیاده‌تر از اندازه حقیقی است و بایستی تصحیح گردد.
RHOB	در سنگ‌های متخلخل و تمیز، چگالی اندازه‌گیری شده شامل چگالی مایع در فضاهای خلل و فرج به علاوه چگالی دانه‌های سنگ است که به آن چگالی کلی گویند. این نمودار برخلاف نمودار صوتی تخلخل کلی (اولیه و ثانویه) را اندازه‌گیری می‌کند.
NPHI	محتوای هیدروژن سنگ‌ها به ماهیت سیال موجود در فضای خالی و مقدار رس آن بستگی دارد. وجود گاز در خلل و فرج سنگ (به دلیل تمرکز کم هیدروژن) سبب می‌شود که ابزار نوترن نتواند تخلخل دقیق سنگ را اندازه‌گیری کند. همانند نمودار چگالی این نمودار نیز تخلخل کلی را بدست می‌دهد.



شکل ۱- هیستوگرام چاه‌نمودارهای مختلف چاه شماره ۱ برای کلاس‌های مختلف

### ۳- روش شناسی

در این قسمت به اختصار تکنیک‌های بکارگرفته شده در این مقاله توضیح داده خواهد شد.

#### • تجزیه موجک

تئوری موجک برای غلبه بر مشکلات تبدیل فوریه و فوریه زمان کوتاه ارائه گردیده است. تبدیل موجک پیوسته یک روش تجزیه و تحلیل زمان-فرکانس می باشد. در این روش مسئله تقسیم سیگنال به بخش‌های مختلف با استفاده از مقیاس‌گذاری و انتقال دادن یک تابع حل می‌شود. این تابع در طول سری اطلاعاتی انتقال پیدا می‌کند و برای هر موقعیت آن، طیف سری اطلاعاتی محاسبه می‌شود. این مراحل برای توابعی با مقیاس‌های مختلف تکرار می‌شود و در نهایت نتیجه حاصل به صورت مجموعه‌ای از اطلاعات آرگومان-فرکانس بدست می‌آید. ویژگی اصلی تبدیل موجک در مقابل تبدیل فوریه زمان کوتاه این است، که تمامی توابع پایه از انتقال و مقیاسی تابع موجک مادر بدست می‌آیند. توابع موجک مادر مختلفی تاکنون تعریف و استفاده شده‌اند. تبدیل موجک پیوسته با اضافه کردن دو پارامتر انتقال و مقیاس، به صورت زیر از روی موجک مادر بدست می‌آیند [۱۰]:

$$W_{\psi}[x](a,b) = \langle x, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

این تابع، سیگنال  $x(t)$  را با استفاده از موجک مادر  $\psi^*(t)$  از حوزه عمق  $Z$  به سیگنالی در حوزه‌ی مقیاس (a) - موقعیت (b) تبدیل می‌کند. جمله  $(\sqrt{a})^{-1}$ ، ضریب به‌هنجارسازی است. نتیجه تبدیل موجک پیوسته یک ماتریس بنام  $C$  است، که شامل ضرایب موجک می‌باشد. این ضرایب تابعی از مکان و مقیاس بوده و میزان شباهت بین بازشدگی و انتقال موجک و تابع  $x(t)$  را در زمان  $b$  و مقیاس  $a$  نشان می‌دهد.

#### • طبقه بندی کننده بیزین

یکی از روش‌های مؤثر برای طبقه‌بندی، روش بیزین است. مطابق این روش برای تعیین این‌که یک عمق مشخص به کدام گروه (نفت، نفت‌آبدار و یا آب) تعلق دارد، از داده‌های چاه‌نمودارها ( $X_i$ ) استفاده شده و میزان احتمال تعلق یک عمق خاص به هر کدام از گروه‌ها ( $W_i$ ) محاسبه می‌شود. در نهایت هر عمق به گروهی که دارای احتمال تعلق بیشتری است منتسب می‌شود. برای این منظور فرض کنیم  $n=2$  باشد، مطابق قانون بیز داریم [۱۱، ۱۲]:

$$P(W_i|X) = \frac{P(X|W_i) \cdot P(W_i)}{P(X)} \quad (21)$$

مقدار  $P(W_i)$  را احتمال پیشین نامیده شده و آن احتمال تعلق عمق مورد نظر به یکی از گروه‌ها بدون در نظر گرفتن نوع چاه-نمودار مورد استفاده است. برای این منظور می‌بایستی از مجموعه داده‌های آموزشی (مجموعه‌ای از داده‌ها با مشخص بودن گروهی که به آن تعلق دارند) استفاده نمود. لذا اگر  $m$  داده آموزشی داشته باشیم که  $n_1$  تای آن‌ها به گروه  $w_1$  و  $n_2$  تای آن‌ها به  $w_2$  تعلق داشته باشد، می‌توان نوشت:

$$P(w_1) = \frac{n_1}{m}, \quad P(w_2) = \frac{n_2}{m} \quad (3)$$

با فرض مشخص بودن توابع چگالی احتمال  $P(X|W_1)$  و  $P(X|W_2)$ ، چنانچه  $P(X|W_1) < P(X|W_2)$  در این صورت بردار  $X$  به گروه ۱ تعلق دارد. همچنین درحالی‌که  $P(X|W_1) < P(X|W_2)$  آنگاه بردار  $X$  متعلق به گروه ۲ خواهد بود. و درحالت کلی با استفاده از رابطه (۱) می‌توان نوشت:

$$\text{چنانچه } P(W_2|X) P(w_2) < P(w_1) P(W_1|X) \text{ آنگاه } x \in w_1$$

$$\text{چنانچه } P(W_1|X) P(w_1) < P(w_2) P(W_2|X) \text{ آنگاه } x \in w_2$$

#### ۴- روند اجرای الگوریتم

در این مطالعه از شش چاه‌نمودار LLS, LLd, MSFL, RHOB, NPFI و مربوط به پنج چاه استفاده شده است. در ابتدا با استفاده از سه چاه نمودار LLd, NPFI, RHOB و داده‌های مغزه، درجه اشباع آب در هر چاه تخمین زده شده [۱۳] و سپس مخزن با استفاده از دو مقدار حدی زیر ۲۰ درصد آب (گروه نفت) و بالای ۵۵ درصد آب (گروه آب) به سه گروه تقسیم بندی شد. طبقه‌ای که بین درجه اشباع ۲۰ و ۵۵ درصد قرار گرفته است را گروه نفت‌آبدار (یعنی منطقه‌ای که در آن نفت به همراه آب تولید می‌شود) نام‌گذاری کرده‌ایم. در مرحله بعد الگوریتم زیر در دو وضعیت بررسی می‌شود:

در حالت اول داده‌های مربوط به چاه‌نمودارهای انتخابی ابتدا بدون هیچ‌گونه فرآیند پردازشی (داده‌های خام) در روند عمومی طبقه‌بندی وارد شده ولی در حالت دوم سعی می‌شود در ابتدا موجک مادر بهینه هر چاه‌نمودار با استفاده از الگوریتم انطباق انرژی تعیین شده و چاه‌نمودارهای مختلف پس از تجزیه طبقه بندی شوند.

## ۵- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم

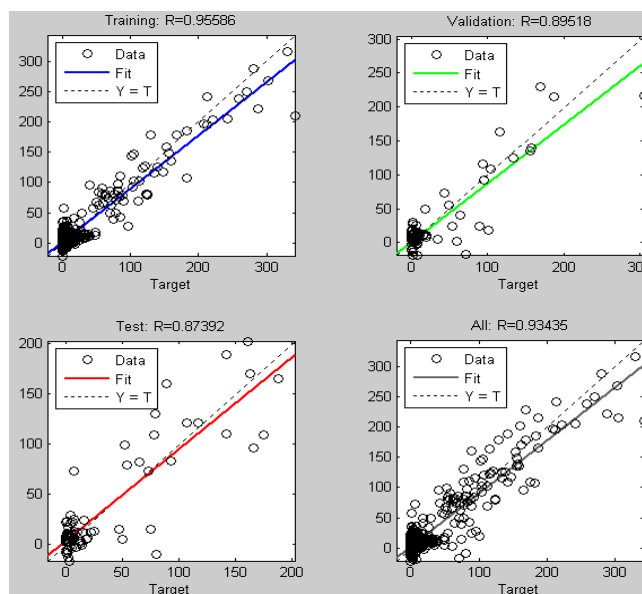
### • تخمین چاه‌نمودار درجه اشباع آب

برای این منظور از یک شبکه عصبی<sup>۱</sup> MLP سه لایه استفاده شده است. جدول ۱ اطلاعات چند نمونه از مدل‌های مورد بررسی و نیز مدل انتخابی برای شبکه عصبی مورد استفاده را در چاه شماره ۴ را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مدل انتخاب شده (مدل شماره ۵ با مقدار RMSE پائین‌تر) برای تخمین مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از تخمین نیز در شکل ۲ آورده شده است.

جدول ۲- اطلاعات مدل‌های بررسی شده برای شبکه عصبی مورد استفاده شده جهت تخمین درجه اشباع آب

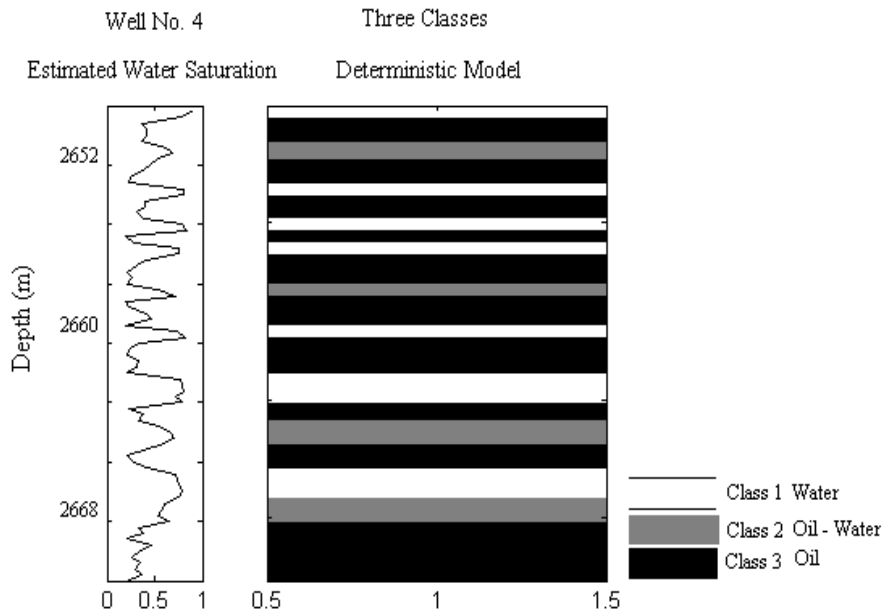
شماره مدل	تابع تحریک	تعداد لایه‌ها	RMSE
۱	TANSIG – LOGSIG – PURELINE	۴ – ۲۰ – ۱	۰.۰۴۴
۲	LOGSIG – LOGSIG – POSLIN	۴ – ۱۸ – ۱	۰.۱۴۲
۳	LOGSIG – LOGSIG – PURELINE	۴ – ۱۵ – ۱	۰.۰۵۱
۴	TANSIG – TANSIG – POSLIN	۴ – ۱۳ – ۱	۰.۰۳۱
۵	TANSIG – TANSIG – PURELINE	۴ – ۱۰ – ۱	۰.۰۰۰۲

با در نظر گرفتن حدود بیان شده برای درجه اشباع آب در چاه مورد بررسی، مدل تعیینی برای مخزن در شکل ۳ آورده شده است.

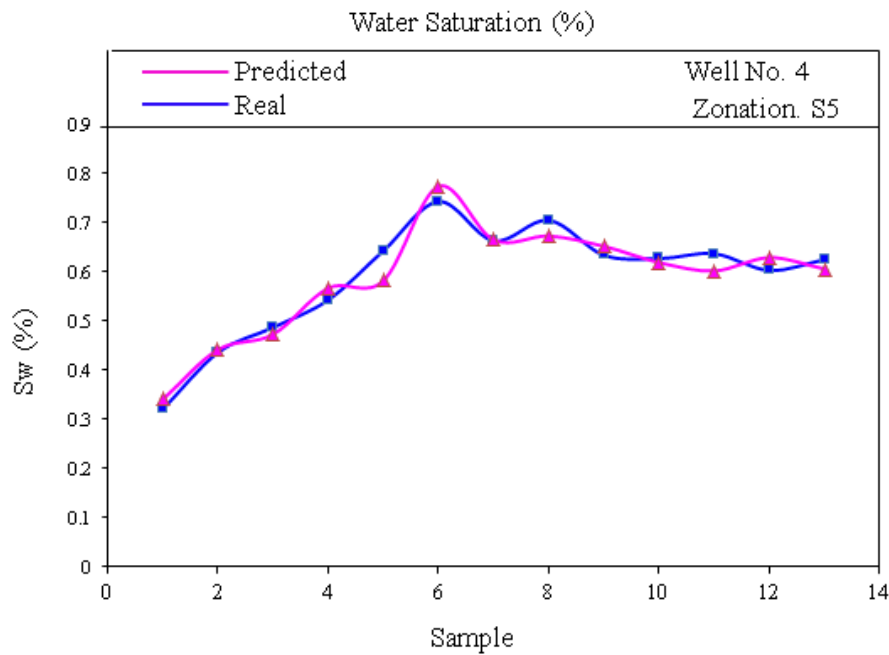


شکل ۲- نتایج حاصل از تخمین چاه‌نمودار درجه اشباع آب برای چاه شماره ۴

<sup>1</sup> Multi Layer Perceptron: MLP



شکل ۳- چاه نمودار درجه اشباع آب تخمین زده شده به همراه مدل تعیینی مخزن در چاه شماره ۴  
شکل ۴ نتایج واقعی مغزه و تخمین زده شده درجه اشباع آب را براساس داده‌های مغزه نشان می‌دهد.



شکل ۴- مقایسه نتایج بدست آمده از تخمین درجه اشباع آب با مقادیر واقعی مربوط به مغزه

• انتخاب موجک مادر بهینه

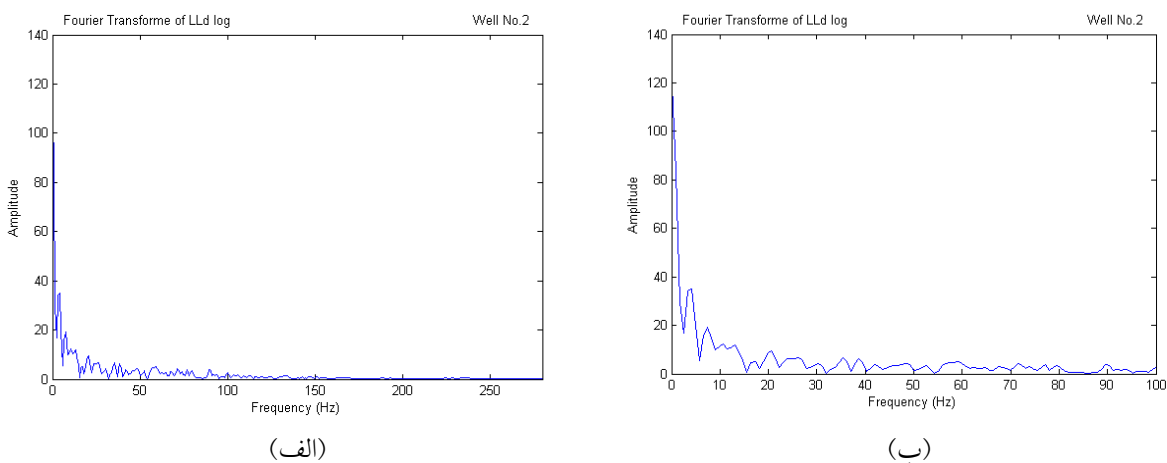
شکل ۵ طیف فوریه چاه نمودار لاترلوگ عمیق چاه شماره ۲ را در دو محدوده فرکانسی (صفر تا ۲۵۰ هرتز و نیز صفر تا ۱۰۰ هرتز) نمایش می‌دهد.

همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود مقدار بیشتر انرژی سیگنال در بخش فرکانس پائین قرار دارد. برای تشخیص دقیق‌تر محدوده فرکانسی مناسب، سیگنال مورد بررسی با استفاده از موجک جعبه‌ای ۱ و تا ۳ مرحله تجزیه شد. نتایج این بررسی در جدول ۱ آورده شده است. چنانکه در این جدول مشاهده می‌شود چاه‌نمودار لاترلوگ عمیق در چاه‌های ۲ تا ۴ تجزیه شده و مقدار انرژی آن در ۴ محدوده فرکانسی محاسبه شده است. ستون آخر این جدول به‌خوبی نشان می‌دهد که بیش از ۹۶ درصد انرژی سیگنال مورد بررسی در چاه‌های مختلف، در محدوده‌های ذکر شده قرار دارد. به همین جهت ادامه مطالعات در همین محدوده فرکانسی صورت گرفته است.

در مرحله بعد انرژی چاه‌نمودار لاترلوگ عمیق در ۴ باند در نظر گرفته شده، با استفاده از موجک‌های مادر مختلف و نیز تبدیل فوریه به‌صورت جداگانه محاسبه گردید. طبق تئوری پارسوال، موجک مادر بهینه، موجکی است که اختلاف بین این دو انرژی (انرژی محاسبه شده با استفاده از تبدیل فوریه و انرژی محاسبه شده با استفاده از موجک انتخابی) برای آن کمینه باشد.

لذا چنانکه در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد، معیار مجموع مربعات خطا<sup>۲</sup> (SSE) نیز به صورت ردیفی جداگانه آورده شده است. اعداد این ردیف تنها کمترین مقدار بدست آمده برای خانواده مورد بررسی بوده و اطلاعات سایر اعضای آن خانواده ذکر نشده است. به‌عنوان مثال با توجه به این جدول، موجک مادر بهینه برای تجزیه چاه‌نمودار لاترلوگ عمیق در چاه شماره ۲، موجک Coif1 است.

شکل ۶ چاه‌نمودار لاترلوگ عمیق در چاه شماره ۲ را که با موجک مادر بهینه Coif1 و تبدیل swt تا ۳ مرحله تجزیه شده است، نشان می‌دهد. همچنین به منظور تحقیق اینکه کدام بخش از سیگنال تجزیه شده برای ادامه طبقه بندی مناسب است یک بار فرآیند طبقه بندی صورت گرفته و باند فرکانسی  $a_2$  (تقریب سطح دوم) انتخاب شد.



شکل ۵- طیف فوریه چاه‌نمودار **LLd** در محدوده‌های فرکانسی صفر تا ۲۵۰ (الف) و صفر تا ۱۰۰ (ب)

<sup>۲</sup>Wavelet Packet

<sup>۳</sup>Sum of Square Error

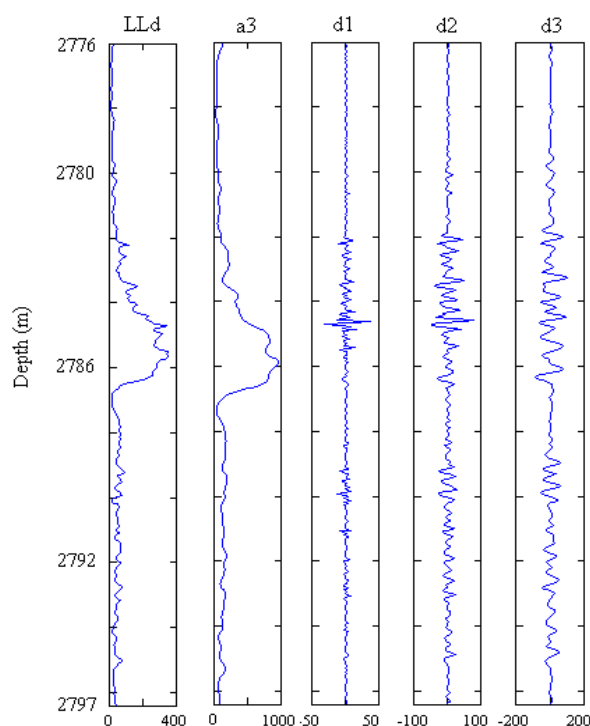


جدول ۳- درصد انرژی چاه‌نمودار (سیگنال) **Ld** در ۴ محدوده ی فرکانسی بخش‌های فرکانس پائین

۱-۵۰	۳۸-۵۰	۲۶-۳۷	۱۳-۲۵	۱-۱۲	محدوده فرکانسی (Hz)	چاه شماره ۲
۹۹.۰۲	۰.۹۱	۱.۸۵	۲.۱۱	۹۴.۱۵	انرژی سیگنال (%)	
۱-۴۰	۳۱-۴۰	۲۱-۳۰	۱۱-۲۰	۱-۱۰	محدوده فرکانسی (Hz)	چاه شماره ۳
۹۶.۳۲	۰.۵۵	۰.۹۴	۱.۲۳	۹۳.۶۰	انرژی سیگنال (%)	
۱-۴۰	۳۱-۴۰	۲۱-۳۰	۱۱-۲۰	۱-۱۰	محدوده فرکانسی (Hz)	چاه شماره ۴
۹۸.۹	۰.۳۸	۰.۹۸	۱.۶۶	۹۵.۸۸	انرژی سیگنال (%)	

جدول ۴- موجک‌های مادر انتخابی برای تجزیه چاه‌نمودار **Ld** در چاه‌های مختلف

Dmey	Sym	Rbio	Bior	Coif	Db	خانواده موجک مورد بررسی	
Dmey	sym 3	rbio 1.3	bior 1.1	coif 1	db 1	موجک مادر	چاه شماره ۲
۶۳.۵۲	۲۶.۵۲	۲۴.۱۷	۲۲.۱۵	۸.۳۷	۱۱۶.۲۱	SSE	
Dmey	sym 5	rbio 1.5	bior 1.1	coif 2	db 1	موجک مادر	چاه شماره ۳
۵۲.۱۷	۴۲.۳۶	۱۵.۶۷	۱۵.۵۴	۲۳.۱۷	۶۴.۱۲	SSE	
Dmey	sym 7	rbio 3.3	bior 1.1	coif 2	db 1	موجک مادر	چاه شماره ۴
۳۲.۱۴	۲۸.۱۵	۱۹.۷۶	۱۸.۵۱	۱۳.۴۲	۵۶.۳۲	SSE	



شکل ۶- تجزیه چاه‌نمودار LLd چاه شماره ۲ با استفاده از موجک Coif1

### • طبقه بندی پیش از تجزیه به وسیله تکنیک موجک

برای بررسی میزان قابلیت طبقه‌بندی کننده در تشخیص صحیح گروه‌های در نظر گرفته شده، ۷۰ درصد داده‌های چاه- نمودارهای پتروفیزیکی در هر چاه برای آموزش و ۳۰ درصد باقیمانده برای آزمون مورد استفاده قرار گرفتند. برای نمایش نتایج در این جداول از ماتریس درهم ریختگی استفاده شده است. عناصر این ماتریس در شکل ۷ توضیح داده شده‌اند. جدول ۵ و ۶ به ترتیب خلاصه نتایج حاصل از طبقه بندی را پیش از تجزیه موجک و پس از آن (با استفاده از بخش a2) در چاه‌های مورد بررسی نمایش می‌دهند. نتایج آورده شده بهترین جواب‌ها پس از ده بار اجرای برنامه است. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود، به‌طور کلی دقت این طبقه بندی کننده در حالت اول (پیش از استفاده از تجزیه موجک) برای شناسایی گروه- های نفت آبدار (با دقت میانگین ۶۳.۴٪) و نفت (با دقت میانگین ۶۷.۴٪) بیشتر از گروه آب (با دقت میانگین ۴۷٪) بوده و در حد قابل قبولی است.

مقایسه‌ای بین نتایج بدست آمده از این دو حالت در جدول ۷ آورده شده است. براساس این جدول، در حالت دوم دقت طبقه بندی در چاه‌های مختلف میدان بین ۲٪ تا ۲۶٪ برای چاه‌های مختلف افزایش یافته است.

در نهایت نیز همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از طبقه بندی به‌صورت گرافیکی برای چاه‌های ۱ تا ۴ رسم شده است. در این شکل عدد ۱ بیانگر نتیجه بدست آمده پیش از استفاده از تکنیک موجک بوده و عدد ۲ نتیجه بدست آمده پس از آن می‌باشد. این نتایج با پاسخ‌های بدست آمده از آزمون چاه مقایسه شده و صحت سنجی شده‌اند. لازم به ذکر است که برای چاه شماره ۵ آزمون چاه به‌درستی انجام نشده و به همین جهت از آن صرف‌نظر شده است.

داده های طبقه بندی شده

	کلاس آب	کلاس نفت آبدار	کلاس نفت
کلاس آب	درصدی از داده های کلاس آب که به درستی در همان کلاس قرار گرفته اند	درصدی از داده های کلاس آب که به اشتباه در کلاس نفت آبدار قرار گرفته اند	درصدی از داده های کلاس آب که به اشتباه در کلاس نفت قرار گرفته اند
کلاس نفت آبدار	درصدی از داده های کلاس نفت آبدار که به اشتباه در کلاس آب قرار گرفته اند	درصدی از داده های کلاس نفت آبدار که به درستی در همان کلاس قرار گرفته اند	درصدی از داده های کلاس نفت آبدار که به اشتباه در کلاس نفت قرار گرفته اند
کلاس نفت	درصدی از داده های کلاس نفت که به اشتباه در کلاس آب قرار گرفته اند	درصدی از داده های کلاس نفت که به اشتباه در کلاس نفت آبدار قرار گرفته اند	درصدی از داده های کلاس نفت که به درستی در همان کلاس قرار گرفته اند

شکل ۷- عناصر ماتریس درهم ریختگی

جدول ۵- نتایج طبقه بندی داده های اصلی با استفاده از طبقه بندی کننده بیزین

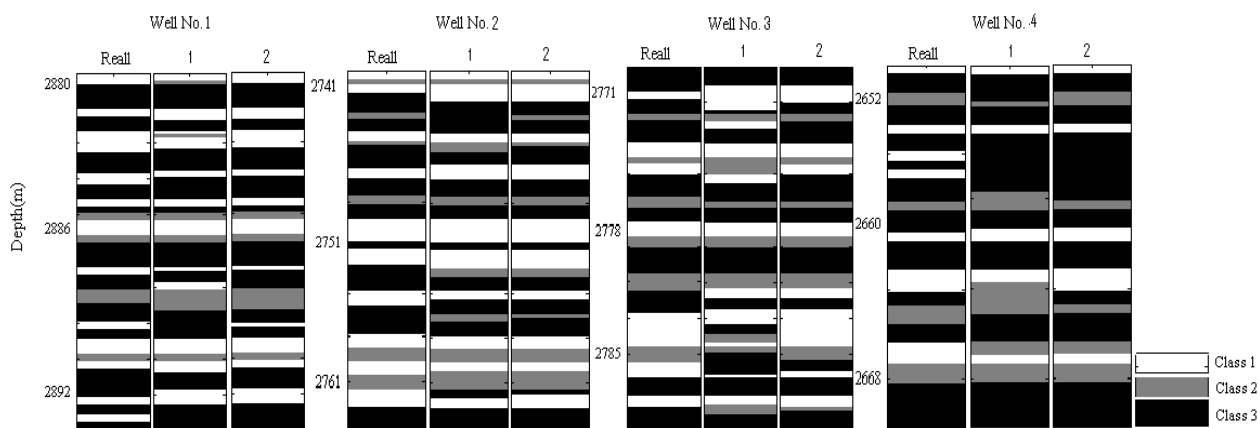
شماره چاه	ماتریس درهم ریختگی	رد (تریس) ماتریس	دقت طبقه بندی
۱	$\begin{bmatrix} 0.69 & 0.12 & 0.19 \\ 0.46 & 0.38 & 0.16 \\ 0.25 & 0.03 & 0.62 \end{bmatrix}$	۱.۶۹	۵۶.۳
۲	$\begin{bmatrix} 0.29 & 0.38 & 0.33 \\ 0.29 & 0.66 & 0.05 \\ 0.14 & 0.08 & 0.78 \end{bmatrix}$	۱.۷۳	۵۸.۳
۳	$\begin{bmatrix} 0.37 & 0.03 & 0.6 \\ 0.12 & 0.80 & 0.18 \\ 0.12 & 0.2 & 0.68 \end{bmatrix}$	۱.۸۵	۶۲
۴	$\begin{bmatrix} 0.75 & 0 & 0.15 \\ 0.08 & 0.61 & 0.31 \\ 0.32 & 0.23 & 0.45 \end{bmatrix}$	۱.۸۱	۶۰.۳
۵	$\begin{bmatrix} 0.31 & 0.48 & 0.21 \\ 0.23 & 0.72 & 0.05 \\ 0.05 & 0.11 & 0.84 \end{bmatrix}$	۱.۸۷	۶۲.۳

جدول ۶- نتایج طبقه بندی داده‌های تجزیه شده با استفاده از طبقه بندی کننده بیزین

شماره چاه	ماتریس درهم ریختگی	رد (تریس) ماتریس	دقت طبقه بندی
۱	$\begin{bmatrix} 0.71 & 0.12 & 0.19 \\ 0.44 & 0.40 & 0.16 \\ 0.12 & 0.2 & 0.68 \end{bmatrix}$	۱.۷۹	۵۹.۷
۲	$\begin{bmatrix} 0.29 & 0.38 & 0.33 \\ 0.29 & 0.66 & 0.05 \\ 0.13 & 0.08 & 0.79 \end{bmatrix}$	۱.۸۲	۶۰.۷
۳	$\begin{bmatrix} 0.38 & 0.05 & 0.57 \\ 0.10 & 0.81 & 0.09 \\ 0.10 & 0.14 & 0.76 \end{bmatrix}$	۱.۹۵	۶۵
۴	$\begin{bmatrix} 0.77 & 0 & 0.13 \\ 0.08 & 0.62 & 0.30 \\ 0.34 & 0.21 & 0.45 \end{bmatrix}$	۱.۸۴	۶۱.۳
۵	$\begin{bmatrix} 0.32 & 0.48 & 0.20 \\ 0.19 & 0.77 & 0.04 \\ 0.05 & 0.15 & 0.80 \end{bmatrix}$	۱.۹۳	۶۴.۳

جدول ۷- مقایسه نتایج قبل و بعد از استفاده از تکنیک موجک

شماره چاه	۱	۲	۳	۴	۵
دقت طبقه بندی پیش از تجزیه (%)	۵۶.۳	۵۸.۳	۶۲	۶۰.۳	۶۲.۳
دقت طبقه بندی پس از تجزیه (%)	۵۹.۷	۶۰.۷	۶۵	۶۱.۳	۶۴.۳
میزان بهبود در فرآیند طبقه بندی (%)	۳.۴	۲.۴	۳	۱	۲



شکل ۸- نتایج حاصل از روش پیشنهادی. در این شکل ۱ بیانگر نتیجه به دست آمده پیش از استفاده از تکنیک موجک بوده و ۲ نتیجه به دست آمده پس از آن می باشد

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله برای شناسایی سیالات درون مخازن با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، الگوریتمی جدید و بر مبنای به-کارگیری تکنیک‌های مختلف شناسایی الگو همچون طبقه‌بندی و تجزیه موجک ارائه شده و الگوریتم پیشنهادی بر روی پنج چاه از یک مخزن کربناته مربوط به میدانی نفتی در جنوب غربی ایران مورد پیاده سازی قرار گرفت. مطابق این روش در ابتدا چاه‌نمودار درجه اشباع آب با استفاده از داده‌های چاه‌نمودارها و مغزه، توسط یک شبکه عصبی سه لایه‌ای تخمین زده شد و سپس با در نظر گرفتن دو مقدار حدی (که بر اساس CDF چاه‌نمودار درجه اشباع در نظر گرفته شده بود) مخزن مورد بررسی به لحاظ سیالات درون آن به سه زون بخش‌بندی شد. در مرحله بعد با استفاده از طبقه‌بندی کننده بی‌زین و در دو وضعیت متفاوت (قبل و بعد از استفاده از تجزیه موجک) اعماق مختلف مخزن با استفاده از داده‌های چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی به لحاظ نوع سیال پُر کننده آن طبقه بندی شدند. همانگونه که در نتایج آورده شده است، زمانیکه از تجزیه موجک استفاده شد، دقت فرآیند طبقه بندی به صورت میانگین تا ۲.۶ درصد (بین ۳.۴٪ در چاه شماره یک و ۱٪ در چاه شماره چهار) بهبود یافت. در نهایت می‌توان گفت، این روش قادر است با دقت قابل قبولی نوع سیال پُر کننده فضای خالی را در مخزن تشخیص دهد.

## منابع

- [1] Tiab D. and Donaldson, (1996), EC. Petrophysics: Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Gulf publishing company houston;
- [2] Geng X., Young, Y, Lu, P, and Zhao S. (1983), Delectric log – a logging method for determining oil saturation. SPE; Vol. 35
- [3] Dahlberg KE and Ference MV. (1984), a quantitative test of electromagnetic propagation (EPT) log for residual oil Determination. New Orlean : Paper DDD presented at 25th soc.of professional well log analyst annual logging symposium

- [4] Coates G, Xiao, LZ, and Parammer M. (2001), NMR logging principles and applications. Houston : Gulf publishing Co. - Vol. 23.
- [5] Wen - zheng yue Gau tau, zhen wu, (2006), liu. Identifying reservoir fluids by wavelet transform of well logs. SPE
- [6] Edwards J, Brown G, Vincent M, Keshishian A. (2011), Reservoir Surveillance - Fluid Contact Monitoring in Fractured Carbonate TA-GOGD Project; Schlumberger Pristiwanto Putra, Solenn Bettembourg, Petroleum Development Oman
- [7] مطیعی، همایون. ۱۳۸۵. زمین شناسی نفت سنگ‌های کربناته. جلد اول. انتشارات آراین زمین.
- [8] Serra O. (1989), Fundamental of Well – Logging interpretation. Houston: Schlumberger Education Service
- [9] Schlumberger (1998),. Log interpretation principles/Application. Texas : Seven printing, March sugar Land
- [10] Burrus C S, Burrus C Sidney, Guo H and Gopinath R A. (1997), Introduction to Wavelet and Wavelet Transforms. A Primer. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- [11] Theodoridis S and Koutroumbos K . Pattern (2002), Classification. 2nd edn ,San Diego: Elsevier/Academi
- [12] Duda RO, Hart PE, Stork DG. Pattern (2003), classification. 2nd ed.. New York: Wiley
- [13] Nabil Al-Bulushi Peter R. King , Martin J. Blunt , Martin Kraaijveld. (2009), Development of artificial neural network models for predicting water saturation and fluid distribution. Journal of Petroleum Science and Engineering

## **Reservoir fluid type identification from petrophysical logs using pattern recognition methods**

Amir Mollajan, Hossein Memarian & Behzad Tokhmchi

### **Abstract:**

Identifying the type and distribution of reservoir fluids is one of the main things on well logging logs and well testing. Several methods have been proposed to identify the type of reservoir fluids that in general, it can be divided into two groups of methods; direct (e.g. well testing) and indirect methods (e.g. seismic and log interpretation). Petrophysical logs due to their high resolution and more conformity are more frequently used than seismic data. This study aims to identify reservoir fluid types in PLs, based on 3 classes of oil, oil-water and water, in carbon reservoir. Suggested method applies wavelet decomposition as well as classification and was applied to PLs in five wells of an oil field in southwestern Iran. Eventually, obtained results have been evaluated by well testing responses.

**Key words:** Reservoir fluids, petrophysical logs, classification, wavelet.