

ارزیابی اشباع آب در ماسه های شیلی با استفاده از داده های نگارها،

اشباع آب مغزه و آزمایش XRD

مریم فتحعلی پوری^{۱*}، احسان ربانی^{۲**}، محمد کمال قاسم العسکری^{***}

* کارشناس ارشد مهندسی نفت-مخازن هیدروکربوری

** کارشناس ارشد مهندسی نفت-حفاری و بهره برداری

*** دانشیار هیأت علمی دانشکده صنعت نفت اهواز

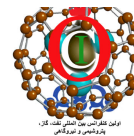
چکیده

از آنجاییکه برای تعیین حجم مخزن و محاسبه هیدروکربور درجا نیاز به دانستن اشباع آب داریم لذا انتخاب بهترین مدل برای ارزیابی اشباع آب مخصوصاً در مخازن ماسه ای شیلی لازم است. میزان اشباع آب از روی داده های مقاومت ویژه الکتریکی سازند که از عملیات نمودارگیری چاه بدست می آید، محاسبه می شود. معادله ای که برای سازندهای عاری از شیل به کار برده می شود، معادله ی معروف آرچی است. در سازندهای حاوی کانی های رسی، آبی که در میان لایه های نازک شیل محبوس شده، باعث بار رسانایی اضافی می گردد که مربوط به ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity) می باشد. این امر موجب می شود تا معادله آرچی، میزان اشباع آب را بیشتر از میزان واقعی محاسبه کند. معادله های دیگری برای تعیین میزان اشباع آب در سازندهای شیلی ارائه شده است که هر یک در شرایط خاص بکار می روند. در این مطالعه نتایج معادلات واکسمن - اسمیت، مدل آب دوگانه، اندونزی و جوهاز در بخشهای شیلی مخزن آسماری میدان مارون مورد بررسی قرار گرفته و با معادله آرچی و تعدادی داده اشباع مغزه مقایسه شده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که معادله آرچی حساسیت چندانی به وجود شیل ندارد و میزان اشباع آب را در سازندهای شیلی، بسیار بالاتر از مقدار واقعی تخمین می زند. درحالیکه دیگر مدل ها نتایج دقیق تری ارائه می دهند.

واژگان کلیدی: اشباع آب- ماسه شیلی- نمودارگیری- ظرفیت تبادل کاتیونی

¹ - اهواز، بلوار پاسداران، سازمان صنایع و معادن خوزستان، سازمان نظام مهندسی معدن، Email: f.mr2031@yahoo.com

² - خراسان شمالی، اسفراین، خیابان امام رضا، امام رضا 48، پلاک 6، Email: ehsanrabbani@gmail.com



1- مقدمه

بخش اعظم فعالیت‌های مربوط به نمودارگیری از چاه‌ها به ارزیابی پتانسیل هیدروکربوری سازند معطوف می‌شود. این پتانسیل با تخمین درصد اشباع آب اندازه‌گیری می‌گردد.

در سازندهای تمیز و بدون شیل، درصد اشباع آب توسط فرمول آرچی به دست می‌آید. اساس فرمول آرچی بر آن است که تنها رسا در سازند آب نمک باشد؛ اما در سازندهای شیلی ماسه‌ای، یون‌هایی که همراه با شیل‌ها آزاد می‌شوند نیز، باعث هدایت جریان الکتریکی می‌شوند. وجود شیل‌ها سبب کاهش انحراف نمودار SP (Self Potential) و افزایش رسانایی حقیقی سازند (G_t) می‌گردد. باید توجه داشت که ظرفیت تعویض یون‌ها که نشان دهنده توانایی شیل‌ها در رسانایی الکتریکی است، اثر قابل توجهی بر ارزیابی سازندهای هیدروکربوری می‌گذارد. در ادامه، استفاده از مدل‌های ماسه تمیز برای تخمین درصد اشباع آب، نتایج نادرستی در ارزیابی پتانسیل زون‌های هیدروکربوری ماسه‌ای شیلی ارائه می‌دهد. در بیشتر وقت‌ها نتایج، میزان درصد بالاتری از اشباع آب را در برابر مقدار واقعی آن در سازند نشان می‌دهند [1].

درصد اشباع آب سازندهای هیدروکربوری را می‌توان با استفاده از مدل‌های CEC و V_{sh} (Shale Volume) به دست آورد. مدل V_{sh} میزان تأثیر شیل را با حجم آن مرتبط می‌داند. یکی از معایب مدل V_{sh} این است که یک مدل کامل و مورد اطمینان وجود ندارد و مدل‌های موجود قادر به تشخیص نوع شیل در سازند نمی‌باشند. به همین دلیل مدل‌های V_{sh} در پیش-بینی درصد اشباع هیدروکربن از روی نمودارها دچار مشکل می‌شوند [2,3].

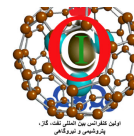
مدل‌های CEC فعلی بر پایه ظرفیت تعویض یون‌ها و مفهوم لایه‌های دوگانه یونی بنا شده‌اند. این مدل‌ها به دلیل در نظر گرفتن نوع شیل‌ها، نتایج بهتری نسبت به مدل‌های V_{sh} ارائه می‌دهند. استفاده از این نوع مدل‌ها در حالت کلی غیر عملی است؛ زیرا در اغلب موارد مقدار پارامتر CEC در اختیار نیست، همچنین آزمایش‌های متعددی بر روی نمونه‌ها باید انجام داد تا بتوان مقدار Q_v را بدست آورد [1].

پژوهشگران با استفاده از داده‌های بدست آمده از نمودارهای NGS (Natural Gamma Spectrometry)، مقاومت ویژه، چگالی و تخلخل، تکنیک‌های نوینی را برای تفسیر سازندهای ماسه‌ای شیلی ارائه داده‌اند. این مدل‌ها برای نشان دادن هیدروکربور بکار می‌روند و بر اصل واکسمن-اسمیت (Waxman & Smits) (رسانایی آب همراه با رسانایی یون‌های مخالف شیل) استوارند. مدل آب دوگانه، رسانایی‌های موجود را از یکدیگر جدا می‌کند. این رسانایی‌ها مربوط به یک نوع آب موجود (آب محبوس و آب آزاد) بوده و هرکدام مقدار مشخصی از حجم تخلخل کل را اشغال کرده‌اند.

آنالیزهای انجام شده، ضرورت تصحیح مدل‌های اشباع آب را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر به دست آمده CEC با استفاده از مقادیر نمودار پتاسیم، استفاده از مدل‌های واکسمن اسمیت و آب دوگانه امکان پذیر است [4].

2- مدل آرچی

آرچی، با انجام مطالعات آزمایشگاهی روی سازندهای تمیز به یک رابطه عملی برای محاسبه اشباع آب در زون حاوی هیدروکربور زمانیکه یک زون آبدار با تخلخل و درجه شوری آب مشابه در کنار آن قرار دارد رسید. رابطه در زیر می‌آید [5]:



$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a \cdot R_{1T}}{\phi^{m_s} \cdot R_T}} \quad (1)$$

که در آن S_w (Water Saturation) درجه اشباع آب، n ضریب اشباع، a فاکتور سیمان شدگی، m ضریب سیمان، ϕ تخلخل، R_w مقاومت الکتریکی آب سازند بر حسب اهم، R_T مقاومت الکتریکی تصحیح شده زون تهاجمی است.

3- مدل‌های ماسه شیلی

3-1- واکسمن-اسمیت

تحقیقات هیل و میلبرن باعث شد واکسمن و اسمیت یک مدل رسانایی جدید ارائه دهند. در مدل واکسمن و اسمیت این فرضیات عنوان شده بود:

1. الکترولیت آزاد و جزء کاتیون تعویض پذیر رس مکانیزم رسانایی موازی دارند.
 2. تحرک کاتیونهای تعویض پذیر با افزایش غلظت الکترولیت آزاد افزایش می یابد و به یک مقدار بیشینه و ثابت می رسد.
 3. ثابتهای هندسی رسانایی یکسان برای توزیع رسانایی در هر دو الکترولیت آزاد و کاتیونی تعویض پذیر رس در برابر رسانایی ماسه کاربرد دارد [6,7].
- قسمت مهم کار واکسمن و اسمیت در توزیع رسانایی رس به صورت مضربی از Q_v ، غلظت حجم یونهای مخالف و رسانایی معادل یونهای مخالف B می باشد.

$$C_o = \frac{1}{F} (B Q_v + C_w) \quad (2)$$

در معادله فوق B به عنوان رسانایی معادل یونهای مخالف در دمای 25 درجه سانتیگراد تابعی از تحرک پذیری یونهای مخالف است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$B = 0.046(1 - 0.6 \exp(-C_w/0.013)) \quad (3)$$

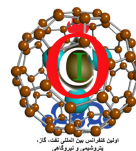
این مدل برای سازند حاوی هیدروکربور دارای این فرض است که با کاهش S_w موجود در فضای خالی دانه ها، غلظت رسانایی یونهای مخالف افزایش می یابد.

$$Q'_v = \frac{Q_v}{S_w} \quad (4)$$

Q_v غلظت موثر کاتیون ها در شرایط S_w است. معادله رسانایی برای سازند حاوی هیدروکربور و ماسه شیلی به صورت زیر می باشد:

$$C_t = \frac{1}{G^*} (C_w + \frac{F Q_v}{S_w}) \quad (5)$$

که G^* یک فاکتور هندسی است که تابع تخلخل، درصد اشباع آب و هندسه دانه ها است ولی به Q_v وابسته است.



$$\frac{1}{C^*} = \frac{S_W^m}{F^*} \quad (6)$$

در معادله 6، n^* توان اشباع برای مدل واکسمن-اسمیت می باشد.

بنابراین آب سازند، شاخصی برای مقاومت ویژه سازند (I) محسوب می شود که می توان آن را بر حسب هدایت الکتریکی (معادله 7) یا مقاومت الکتریکی (معادله 8) تعریف کرد.

$$I = S_W^{-n^*} \left[\frac{C_{IW} + BQ_V}{C_{IW} + BQ_V / S_W} \right] \quad (7)$$

$$I = S_W^{-n^*} \left[\frac{1 + R_{IW} BQ_V}{1 + R_{IW} BQ_V / S_W} \right] \quad (8)$$

درصد هیدروکربور اشباع که از مدل واکسمن-اسمیت به دست می آید، به مراتب از مدل های سازند بدون شیل بیشتر است. این مدل نسبت به مدل های دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا هم ساده است و هم تعداد قابل توجهی آزمایش برای اثبات آن وجود دارد [7,6].

3-2- مدل آب دوگانه

مدل اولیه آب دوگانه (Dual-Water) اولین بار توسط کلاویر، کوات و دومانیور در سال 1977 ارائه شد. این دانشمندان آخرین نسخه این مدل را در سال 1984 ارائه نمودند که در این بخش بیان میشود [9,8].

مدل واکسمن - اسمیت به عنوان مدلی ساده تلقی میشود و آزمایش های زیادی برای اثبات آن انجام گرفته است، ولی برخی عوامل که ناشی از خواص جذب کننده رسها می باشد در آن در نظر گرفته نشده است [6].

لایه دوگانه به عنوان نگه دارنده بارهای مثبت و متعادل کننده بارهای منفی در سطح رس است. این لایه می تواند به عنوان ناحیه خالی از نمک فرض شود و اثرش تا نزدیکی سطح رس ادامه داشته باشد. به علاوه فرض می شود که فضای خالی دانه های ماسه شیلی با آب محبوس و آب آزاد پر شده اند. هر کدام از این آب ها که قسمتی از حجم خالی دانه ها را اشغال میکنند، به تخلخل آب آزاد و تخلخل آب محبوس مشهورند [9,8].

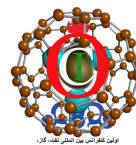
فرض اصلی در مدل D-W این است که رسانایی معادل، ترکیبی از رسانایی آب محبوس و آب آزاد است، یعنی فاکتور هندسی مدل که به مسیر حرکت الکترولیت ها مربوط می شود یکسان و برابر است. بنابراین رسانایی معادل به صورت زیر تعریف می شود.

$$C_{we} = C_{cw} V_{cw} + C_w V_{fw} \quad (9)$$

که V_{fw} و C_{cw} به ترتیب رسانایی و کسر حجمی آب محبوس می باشند، به همین ترتیب C_w و V_{cw} نشان دهنده رسانایی و کسر حجمی آب آزاد است.

رسانایی آب محبوس C_{cw} جدا از نوع رس و مقدار رس بوده ولی تنها رسانایی یونهای مخالف رس را ارائه می دهد. رابطه حجمی V_{cw} با غلظت یونهای مخالف با تخلخل کل متناسب است.

$$V_{cw} = v_Q Q_v \varphi_r \quad (10)$$



در معادله فوق φ_{fw} تخلخل کل و V_Q مقدار آب محبوس در رس معادل می باشد. رسانایی آب سازند با رسانایی آب آزاد یکسان در نظر گرفته می شود. کسر حجمی آب آزاد که در فضای خالی دانه ها باقی می ماند به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$V_{fw} = V_w - V_{cw} = \varphi_t (S_{wT} - v_Q Q_v) \quad (11)$$

که V_w محتوای کل آب است. رسانایی C_{cw} در قالب میانگین حجمی ترکیب شده نمایش داده می شود.

$$C_{w\#} = \frac{1}{S_{wT}} (v_Q Q_v C_{cw} + (S_{wT} - v_Q Q_v) C_w) \quad (12)$$

در رابطه 12، $C_{w\#}$ رسانایی موثر آب در ماسه شیلی، $S_{w\#}$ اشباع آب در کسر حجمی از تخلخل، V_Q حجم آب رس بر حسب یونهای مخالف در دمای 22 درجه سانتیگراد ($a=1\text{cm}^3/\text{meq}$)، Q_v غلظت یونهای مخالف رس بر حجم دانه ها (meq/cm^3)، C_w رسانایی آب آزاد (mho/m) و C_{cw} رسانایی آب محبوس (mho/m) می باشد.

رسانایی ماسه شیلی را به شکل ذیل می توان نشان داد:

$$C_t = \frac{C_{w\#}}{F_Q} S_{wT}^{n_0} \quad (13)$$

که در آن n_0 توان اشباع در مدل D-W است.

با استفاده از روابط 12 و 13، مدل رسانایی D-W برای سازند حاوی هیدروکربور به صورت ذیل قابل نمایش است:

$$C_t = \frac{S_{wT}^{n_0}}{F_Q} \left[C_w + \frac{v_Q Q_v}{S_{wT}} (C_{cw} - C_w) \right] \quad (14)$$

اشباع آب محاسبه شده از رابطه 14 به عنوان کسری از تخلخل کل محسوب می گردد، زیرا شامل آب محبوس است. اشباع آب آزاد تعریف بهتری را برای اشباع آب ارائه می دهد زیرا ماسه های شیلی ممکن است مقدار اشباع آب بالایی داشته و تولید کننده آب آزاد هیدروکربور باشند.

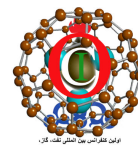
$$S_{fw} = \frac{V_{fw}}{\varphi_{fw}} \quad (15)$$

در این معادله φ_{fw} تخلخل موثر است و به صورت ذیل بیان می شود.

$$\varphi_{fw} = \varphi_t - v_Q Q_v \varphi_t \quad (16)$$

در معادله 16، φ_t تخلخل کل است که به وسیله آب آزاد پر می شود. بنابراین اشباع آب آزاد به صورت زیر نمایش داده می شود.

$$S_{fw} = \frac{S_{wT} - v_Q Q_v}{1 - v_Q Q_v} \quad (17)$$



در 1971، Poupan و Leveaux یک مدل عملی به نام «فرمول اندونزی» ارائه کردند. این معادله بر اساس نمونه نوعی وجود آب در سازند و درجه بالای شیلی بودن سازند که در بسیاری از مخازن نفتی اندونزی وجود دارد توسعه یافته است. در این مدل رابطه رسانایی بین R_t و S_w نتیجه رسانایی های رس، آب سازند و رسانایی اضافی حاصل از تبادل بین آنهاست. رابطه عملی بصورت زیر می باشد [10]:

$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \left[\frac{V_{sh}^2 - V_{sh}^{1/2}}{\sqrt{R_{sh}}} + \frac{\varphi_e}{\sqrt{R_w}} \right] \cdot S_w \quad (18)$$

3-4- مدل جوهاز (Juhasz)

آن یک رابطه Waxman & Smits نرمالایز شده است:

$$C_t = \frac{C_w}{F} S_w^2 + \left(\frac{C_{sh}}{F_{sh}} - C_w \right) \frac{V_{sh} \varphi_{sh} S_w}{\varphi} \quad (19)$$

$$S_w = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (20)$$

$$a = \frac{\varphi^m}{\alpha R_w} \quad (21)$$

$$b = \left[\frac{\varphi_{sh}}{\alpha R_{sh}} - \frac{1}{R_w} \right] \left[\frac{V_{sh} \varphi_{sh}}{\varphi_r} \right] \quad (22)$$

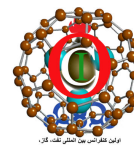
$$c = -\frac{1}{R_t} \quad (23)$$

$F = 1/\Phi^m$ که Φ از نمودار دانسیته بدست می آید و برای اثرات هیدروکربنی تصحیح می شود. $F_{sh} = 1/\Phi_{sh}^m$ که Φ_{sh} از نمودار دانسیته بدست می آید. S_w مربوط به تمامی فضاهای خالی متصل به هم می باشد [11].

4- روش کار در این مطالعه

درصد شیل در هر عمق با کمک داده های لاگ گاما و رسم نمودار Vsh با ژئولاگ انجام شده است. زونهای شیلی با کمک نمودار CGR مشخص می شوند. به این منظور برای بالا بردن دقت کار زونهایی که قسمت بیشترشان شیلی است را انتخاب کرده ایم. سنگ شناسی خمیره سنگ در این زونها با کمک نمودار عرضی نوترون - جرم مخصوص و با کمک تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی تعیین شده است.

کانیهای شیلی و درصد وجود هر کدام در این زون بندی توسط نمودار عرضی توریم - پتاسیم که در شکل خواهیم دید تعیین شده است. برای ارزیابی نوع کانیهای شیلی می توان از نمودار عرضی فاکتور فوتو الکتریک - پتاسیم نیز استفاده کرد. ولی به دلیل منطقه بندی دقیقتر از نمودار عرضی توریم - پتاسیم استفاده میکنیم.



نتایج انواع و درصد کانیهای شیلی که با روش نمودار عرضی شناسایی شده با نتایج آزمایش XRD مقایسه شده است (لازم به ذکر است که نتایج آزمایشات از پروژه ای که در سال 1388 با مدیریت دکتر قاسم العسکری برای صنعت انجام شد اخذ شده اند) [12].

مدلهای مختلف که برای محاسبه اشباع آب در ماسه های شیلی بر پایه حجم شیل یا مقدار CEC هستند با مدل آرچی که امروزه در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد مقایسه شده اند. مدل های مختلف اشباع آب بر پایه حجم شیل با مدل های براساس CEC نیز جداگانه با هم مقایسه شده است.

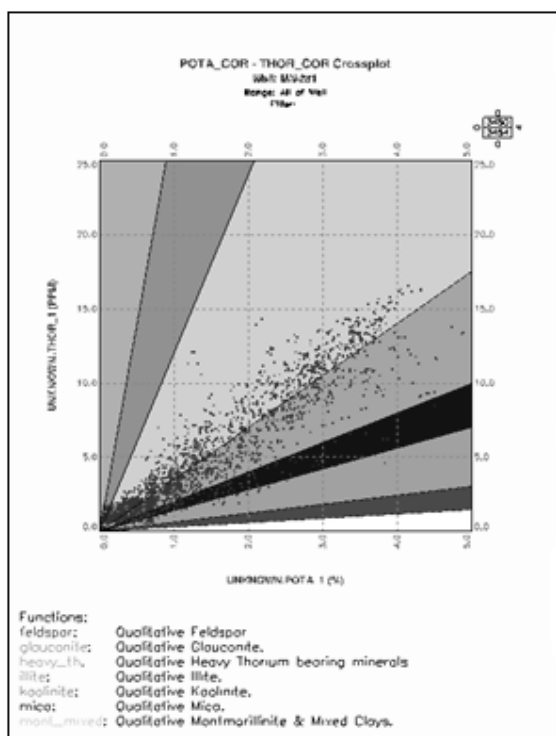
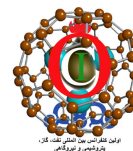
نتایج حاصل از ارزیابی ها با مدل های مختلف به منظور اخذ نتیجه دقیقتر با میزان اشباع آب غیرقابل کاهش مغزه ها که در چاه A موجود میباشد مقایسه شده است. لازم به ذکر است که تعداد مغزه های آزمایش شده در این چاه کم و فقط در اعماق خاصی می باشند که به صورت نقطه ای و کیفی مقایسه می شوند.

لازم به ذکر است که روشهای آزمایشگاهی XRD برای تعیین نوع کانیهای شیلی در نقاط داده شده ملاک عمل برای داده های ورودی نرم افزار میباشد. در بین نتایج حاصل از محاسبات روش نرم افزاری با نتایج XRD اختلافاتی دیده می شود اما شناسایی کانی های غالب که ملاک ورودی نرم افزار Geolog است در هر دو روش یکسان تشخیص داده شده اند.

4-1- مطالعه موردی یکی از چاه های میدان مارون

چاه A، تنها چاه میدان مارون است که در آن عملیات مغزه گیری انجام شده و روی مغزه ها آزمایشات ویژه مغزه انجام گرفته است. و همچنین در بعضی اعماق داده های آزمایش XRD در این چاه وجود دارد. در این چاه زونهای شیلی مشخص شده مورد بررسی قرار گرفتند. در ابتدا حجم شیل از داده های نمودار CGR با کمک نرم افزار ژئولاگ مشخص شد سپس 3 زون ماسه شیلی که حاوی درصد های متفاوت شیل بودند انتخاب شدند. البته همانطور که در لاگ کالیپر زون 3 در شکل 4 خواهید دید، در این زون مقدار ریزش در دیواره چاه زیاد است و این امر میزان اعتبار داده های لاگ را در این زون کاهش می دهد و ما را در تفسیر با سختی مواجه می سازد.

برای تعیین انواع تشکیل دهنده کانی های رسی در این چاه از نمودار عرضی پتاسیم-توریم استفاده کرده ایم (شکل 1) و همچنین برای تعیین متوسط درصد تشکیل دهنده هر کانی رسی از داده نمودار NGS رانده شده در چاه استفاده شده است (جدول 1).



شکل 1- نمودار عرضی پتاسیم - توریم برای تحلیل انواع کانیهای رسی در چاه A

جدول 1- درصد کانیهای رسی بر اساس NGS در چاه A

clay minerals	mont_mixed	Illite	Mica	Kaolinite	heavy_th	Glauconite
data number	1708	1458	181	43	17	72
Percent (%)	49	42	5.2	1.2	0.5	2.1

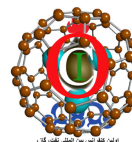
با مشاهده شکل 1 و محاسبه درصد کانیهای شیلی در چاه A کانی غالب مونتموریلونیت و ایلیت می باشند که درصد نزدیک بهم دارند. دیگر کانیهای رسی به مقدار خیلی کم دیده می شوند. این امر در نتایج آزمایش XRD که در بعضی نقاط درون چاه انجام گرفته است تأیید می شود.

4-2- نتایج آزمایشات XRD و CEC انجام شده در چاه A

به منظور مقایسه، نتایج XRD و NGS در جدولهای زیر نشان داده شده اند. هر دو روش در یک عمق در چاه A مقدار ایلیت را بیشتر از کانیهای رسی دیگر تشخیص داده اند. هر چند درصد آنها دقیقاً یکسان نیست اما این مساله نشان میدهد که در این نقطه همبستگی زیادی بین نتایج دو روش وجود دارد و در هر دو روش کانیهای غالب یکسانند. برای محاسبه اشباع آب در مدل هایی که از مقدار GEC استفاده می کنند نوع کانیهای غالب بایستی در نرم افزار مشخص شوند که در این چاه دو

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



کانی ایلیت و مونت موریلونیت کانی های غالب تعیین شده اند. CEC هنوز یک پارامتر ناشناخته ای است که نرم افزارها قادر به اندازه گیری دقیق آن نیستند. مقدار میانگین CEC در روش آزمایشگاهی در فاصله عمقی 13272 تا 13339 فوتی برابر 7.63 می باشد [12].

جدول 2- انواع کانیهای رسی میدان مارون و درصد آنها با روش XRD در چاه A در عمق 13272 فوتی [12]

Clay mineral	Volume percentage (%)
Kaolinite	22.4
Illite	32.3
Illite-Montmorillonite	8.8
Colorite	12
Montmorillonite	24.5

جدول 3- درصد کانیهای رسی بر اساس NGS در زون عمقی 13270 تا 13273 فوتی چاه A

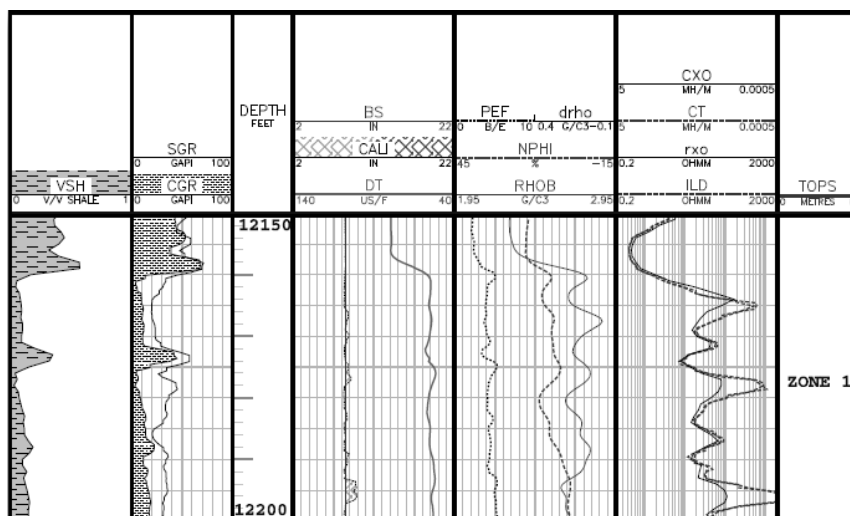
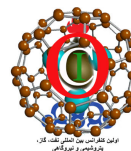
clay minerals	mont_mixed	Illite	Mica	kaolinite	heavy_t h	Glauconite
data number	2	4	0	0	0	0
Percent (%)	33	67	0	0	0	0

3-4- زونهای ماسه شیلی در چاه A

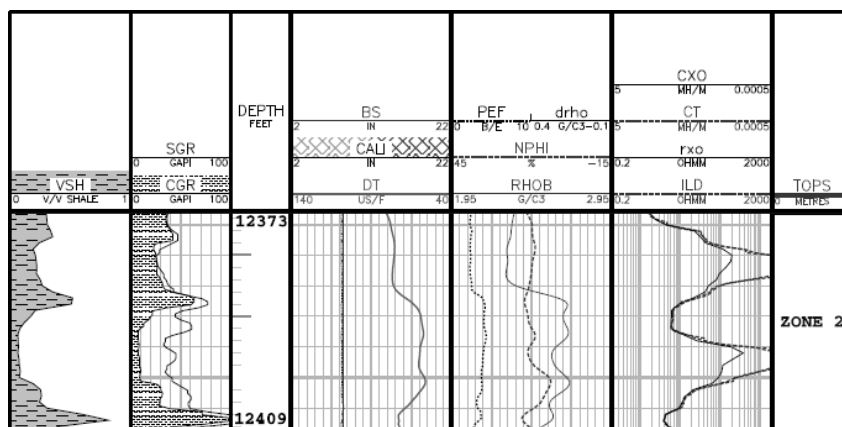
به منظور بررسی زونهای ماسه شیلی 2 زون ماسه شیلی در چاه A انتخاب شده اند. شکل های 2 و 3 لاگ های این سه زون ماسه شیلی را نشان می دهند.

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

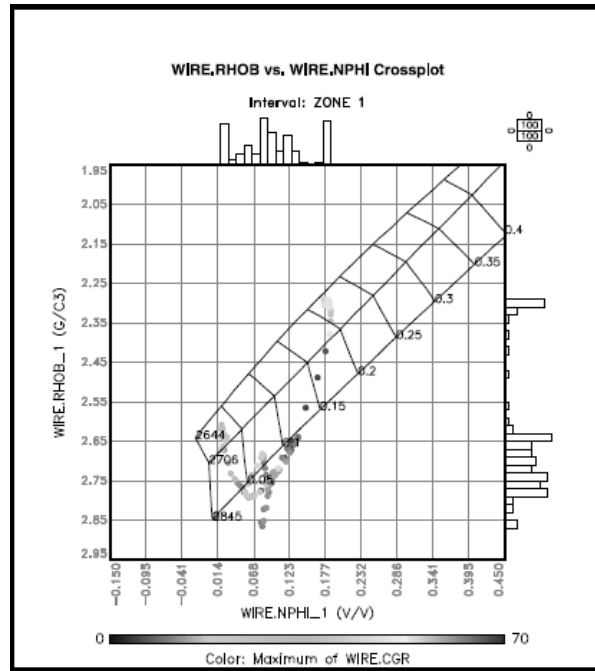


شکل 2- لاگ زون ماسه شیلی شماره 1

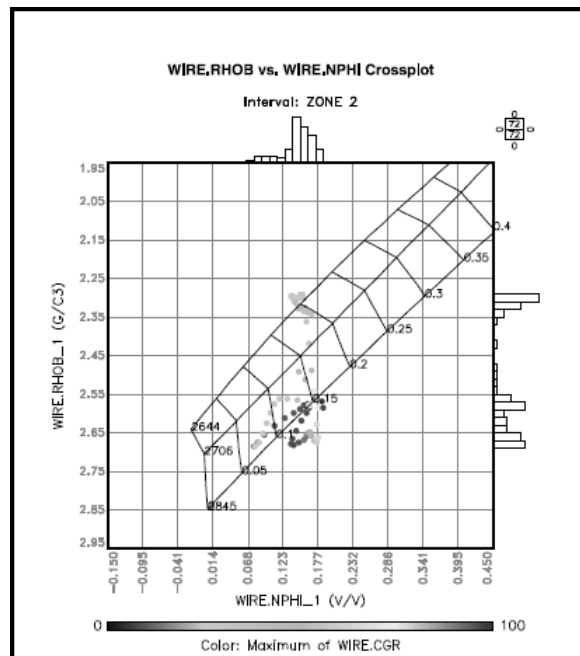


شکل 3- لاگ زون ماسه شیلی شماره 2

شکل های 4 و 5 نمودارهای عرضی نوترون-دانسیتته مربوط به این سه زون را نشان می دهند [13].

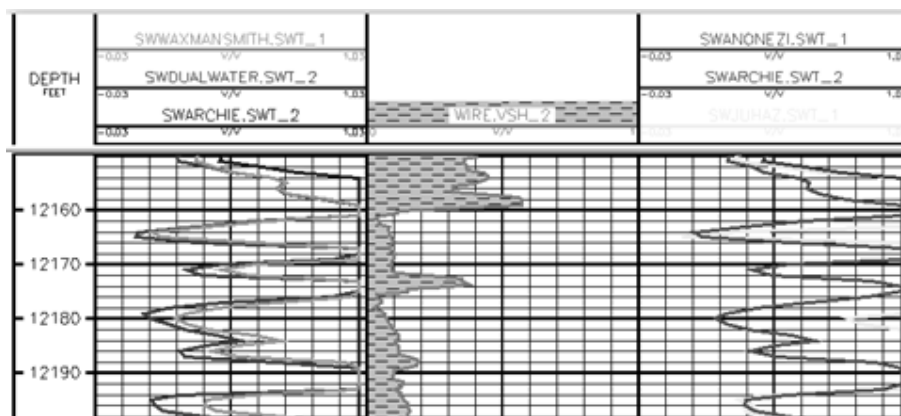
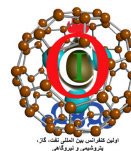


شکل 4- نمودار عرضی نوترون-دانسیتته زون ماسه شیلی شماره 1

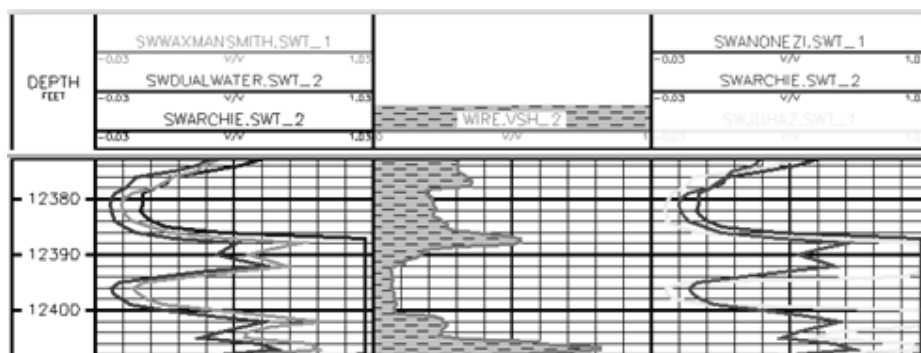


شکل 5- نمودار عرضی نوترون-دانسیتته زون ماسه شیلی شماره 2

نمودارهای مربوط به حجم شیل و مقادیر اشباع آب این زونها در شکل‌های 6 و 7 نمایش داده شده اند [13].



شکل 6- زون 1 ماسه شیلی



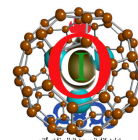
شکل 7- زون 2 ماسه شیلی

4-4- مقایسه نتایج مدل‌ها با آزمایشات اشباع آب روی مغزه

در آزمایشات ویژه مغزه در چاه A مقدار اشباع آب محاسبه نشده است و فقط در نقاط معدودی میزان اشباع آب غیر قابل کاهش (Irreducible Water saturation) مشخص شده است. به همین دلیل مقایسه خیلی دقیقی بین مقادیر اشباع آب مدل‌های مختلف و اشباع واقعی مغزه نمیتوان انجام داد و فقط بطور کیفی، مقایسه ای بین اشباع آب غیر قابل کاهش با اشباع آب مدل‌های مختلف انجام میدهم (جدول 4). طبیعی است که رقم اشباع آب باید از رقمی که در آنالیزهای ویژه مغزه بدست می آید بیشتر باشد و ما از این نکته برای مقایسه استفاده میکنیم.

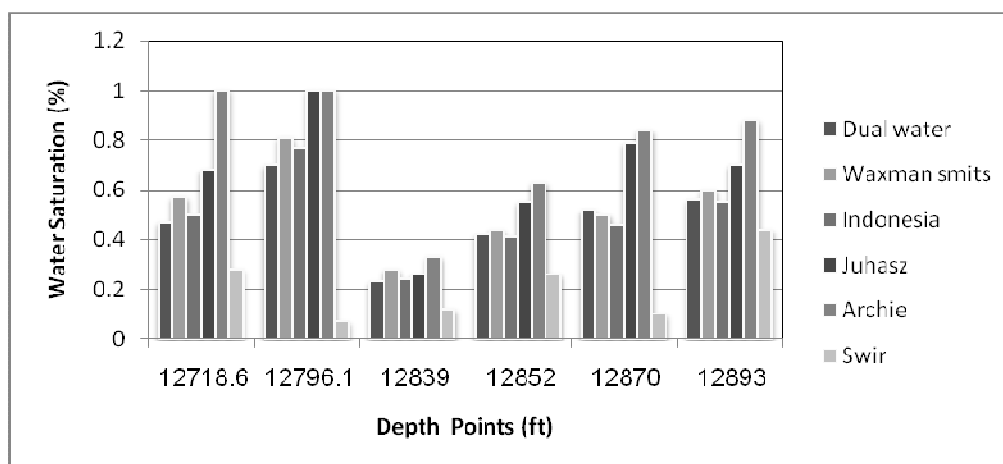
جدول 4- مقایسه اشباع آب مدل‌های مختلف با اشباع آب غیر قابل کاهش مغزه [12]

Depth (ft)	Core SW _{irr}	Archie SW	Juhasz SW	Indonesia SW	W&S SW	Dual Water SW
------------	------------------------	-----------	-----------	--------------	--------	---------------



12718 6.	0.28	1	0.68	0.50	0.57	0.47
12796 1.	0.07	1	1	0.77	0.81	0.7
12839	0.12	0.33	0.26	0.24	0.28	0.23
12852	0.26	0.63	0.55	0.41	0.44	0.42
12870	0.1	0.84	0.79	0.46	0.5	0.52
12893	0.44	0.88	0.7	0.55	0.6	0.56

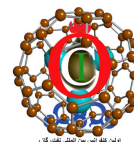
همانطور که مشاهده می‌کنید، در تمامی نقاط اشباع آب محاسبه شده با مدل‌های مختلف از اشباع آب غیر قابل کاهش مغزه کمتر است. شکل 8 نیز این حقیقت را بطور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل 8- مقایسه شماتیک اشباع آب مدل‌های مختلف با اشباع آب غیر قابل کاهش مغزه

5- نتیجه‌گیری

از آنجاییکه برای تعیین حجم مخزن و محاسبه هیدروکربور درجا نیاز به دانستن اشباع آب داریم لذا انتخاب بهترین مدل برای ارزیابی اشباع آب مخصوصاً در مخازن ماسه ای شیلی لازم است. لذا انتخاب مناسب مدل محاسبه اشباع آب پس از مقایسه مدل‌های مختلف امکان پذیر است. نتایج بررسی ها نشان داد که مدل واگسمن - اسمیت و اندونزی نتایج نزدیکی را ارائه داده اند. آرچی بیشترین مقدار و مدل دو ال و اتر کمترین مقدار را دارند. با بررسی های انجام شده در این مطالعه مشاهده گردید که در زونهای ماسه شیلی درجه اشباع آب محاسبه شده توسط روشهای گوناگون به جز روش آرچی که حساسیتی نسبت به شیل ندارد، مقادیر نزدیکی را نشان میدهند.



در این فرصت جا دارد از جناب آقای بیژن جهانگیری، کارشناس پژوهش شرکت ملی نفت مناطق نفت خیز جنوب، و همچنین آقایان، مهندس ایمان ویسی، مصطفی بیگلر و احسان سعادت که ما را در انجام این مطالعه یاری نمودند، مراتب تشکر و قدردانی خود را بیان کنم.

References

- [1] Ipek, G. 2002. Log-Derived Cation Exchange Capacity of Shaly Sands: Application to Hydrocarbon Detection and Drilling Optimization. PhD Dissertation, Louisiana State University, Louisiana, May 2002.
- [2] Demircan, G., Smithy, J.R., and Bassiouni, Z. 2000. Estimation of shale cation exchange capacity using log data: application to drilling optimization, paper in 41st Annual logging symposium transactions of Society of Professional Well Log Analysts, 10 p.
- [3] Silva, P.L. and Bassiouni, Z. 1998. Hydrocarbon Saturation Equation in Shaly Sands According to the S-B Conductivity Model. SPE 16039.
- [4] Walter H. Fertl, Naum Ruhovets. 1984. Method and Apparatus for Determining Characteristics of Clay-Bearing Formations. USA Patent, 4484470, Nov.24,
- [5] Archie, G.E. 1942. The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics. Transactions AIME, v.146, p. 54-62.
- [6] Waxman, M.H., and Smits, L.J. 1968. Electrical Conductivities in Oil Bearing Shaly Sands. SPE Journal of Petroleum Technology, Trans. AIME 243, pages 107-122.
- [7] Waxman, M.H. and Thomas E.C. 1975. Electrical Conductivities in Shaly Sands-I. The Relation Between Hydrocarbon Saturation and Resistivity Index; II. The Temperature Coefficient of Electrical Conductivity. SPE Journal of Petroleum Technology; Trans. AIME 257, pages 213-225.
- [8] Clavier, C., Coates, G. & Dumanoir, J.L. 1984. The Theoretical and Experimental Basis for the 'Dual Water' Model for the Interpretation of Shaly Sands. SPE J. pages 153-167 (April 1984).
- [9] Coates G. R., Boutemy Y., Clavier C. 1983. A Study of the Dual-Water Model Based on Log Data. SPE 10104, pages 158-166.
- [10] Poupan A. and Leveaux J. 1971. Evaluation of Water Saturation in Shaly Formations. Trans. SPWLA^{12th} Annual Logging Symposium, pp.1-2.
- [11] Juhasz, I. 1979. The Central Role of Qv and Formation Water Salinity in the Evaluation of Shaly Formations. Society of Professional Well Log Analysts 19th Annual Symposium, paper AA, June 1979.
- [12] Ghassem Alaskari et al. 2009. Experimental Approach to CEC Parameter in Maroun and Ahwaz Oil fields. Technical Report. NISOC R&D, Ahwaz, Iran (unpublished).
- [13] Rock and Fluid CanvasTM 2007, Geo Log, Version 6.7.1.