



ارزیابی پتروفیزیکی و اثر محتوای شیلی بر روی خواص سنگ مخزن (مطالعه ی موردی مخزن آسماری یکی از میادین جنوب غربی ایران)

هدی درویش^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد مخازن هیدروکربوری

محمد آبدیده^۲، دکترای زمین شناسی نفت - استادیار

چکیده

پتروفیزیک علم مطالعه ی خصوصیات سنگ ها و اثر متقابل آن ها با سیالات است. تخلخل، نفوذپذیری، درجه ی اشباع از مهم ترین خواص پتروفیزیکی سنگ ها به شمار می آید. هدف اصلی این تحقیق بررسی توزیع پارامترهای پتروفیزیکی و تاثیر حجم شیل بر روی خواص مخزنی با استفاده از نگاره های چاه پیمایی می باشد. در این مطالعه که با استفاده از داده های سه چاه از مخزن آسماری یکی از میادین جنوب غربی ایران صورت گرفته است، لایه های مخزنی مورد ارزیابی پتروفیزیکی قرار گرفته اند. برای این منظور از تمامی اطلاعات موجود از جمله نمودارهای پتروفیزیکی استفاده شده است. پارامترهای پتروفیزیکی نظیر حجم شیل، تخلخل، سنگ شناسی، آب اشباع شدگی، ضخامت زون خالص، ضخامت زون خالص به ناخالص و همچنین سطوح تماس سیالات توسط نمودارهای چاه پیمایی در سازند مورد نظر تعیین شده اند و نیز با در نظر گرفتن حجم شیل و انجام محاسبات با کاهش میزان تخلخل، با توجه به معادله ی اشباع آب آرچی میزان اشباع آب در حالت تصحیح شده افزایش داشت و با تغییر نوع سنگ کاهش ضخامت مفید و نیز کاهش نسبت ضخامت مفید به کل و همچنین کاهش ستون مفید هیدروکربن در حالت تصحیح شده حاصل شد.

واژه های کلیدی: ارزیابی پتروفیزیکی-نمودارگیری-اشباع آب

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران
(hoda_darvish@yahoo.com)

2- استادیار - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران (m.abdideh@yahoo.com)



1- مقدمه

ارزیابی پتروفیزیکی که همان علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نمودارهای چاه پیمایی است، یکی از مهمترین فاکتورها در تعیین ویژگی های سنگ مخزن هیدروکربوری است. دلیل اصلی اینکه استفاده از نگاره های چاه پیمایی بر بکارگیری مغزه ترجیح داده می شود، ارزان تر بودن هزینه ی انجام عملیات چاه پیمایی نسبت به مغزه گیری است. نگاره های چاه پیمایی به صورت ثبت پیوسته از خواص سنگ های درون چاه می باشد [1]. تعیین پارامترهای پتروفیزیکی و بررسی توزیع آنها در فواصل مخزنی، می تواند منجر به زون بندی جدید و تغییر ضخامت تولیدی میادین شود. از آنجایی که سال های متعددی است که از میادین مورد نظر برداشت ذخایر هیدروکربوری صورت می گیرد، ارزیابی انجام شده در گذشته های دور نیاز به بازنگری و بررسی مجدد دارد تا در آینده برای برداشت از این میادین مفید واقع شود. تخلخل و تراوایی سنگ های مخزنی از مهم ترین خواص فیزیکی مربوط به ذخیره سازی و انتقال سیالات در مخزن هستند. نمودارهای پتروفیزیکی مهم که برای تعیین تخلخل بکار می روند شامل داده های نوترون، چگالی و صوتی می باشند. بخش اعظم فعالیت های مربوط به نمودارگیری از چاه ها به ارزیابی پتانسیل هیدروکربوری سازند معطوف می شود. این پتانسیل با تخمین درصد اشباع آب اندازه گیری می شود [2].

در سال 1942 آرچی مقاله ای تحت عنوان نگار الکتریکی به عنوان ابزاری برای تعیین بعضی از خواص مخزنی منتشر کرد [3].

مقاله ای که شاید بتوان آن را مهمترین مقاله ی پتروفیزیکی تا به حال نامید. در سازندهای تمیز و بدون شیل، درصد اشباع آب توسط فرمول آرچی بدست می آید. با انتشار فرمول آرچی که خواص الکتریکی سنگ و تخلخل را مرتبط می کرد، امکان استفاده ی کمی از نگارها میسر می شد. فرمول آرچی برای سنگ های تمیز و سخت شده به صورت کمی بیان شده است. در سازندهای شیلی وجود شیل بیشتر از سایر خواص سنگ بر مقاومت ویژه ی سنگ تاثیر دارد. این تاثیر به ویژه زمانی که درجه ی شوری آب سازندی کم است، قابل توجه خواهد بود. آرچی بیان کرد که مقاومت ویژه ی هر نمونه ی اشباع از آب شور به صورت خطی با افزایش مقاومت ویژه ی آب شور افزایش پیدا می کند. او این نسبت ثابت را به نام فاکتور مقاومت سازندی (F) نامید.

$$F = \frac{R_o}{R_w}$$

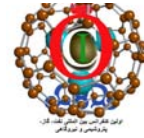
البته این نسبت ده سال قبل از آرچی توسط ساندبرگ (Sundberg, 1932) بیان شده بود، ولی وی به علت عدم وجود داده، نتوانست آنرا ثابت کند [4]. سپس آرچی فاکتور مقاومت سازندی را در مقابل تخلخل بر روی نمودار لگاریتمی رسم کرد و رابطه ی خطی دیگری را به دست آورد. این رابطه به صورت ریاضی چنین بیان می شود:

$$F = \frac{1}{\phi^m}$$

توان m شیب منفی خط را نشان می دهد و مقدار آن 1.8 تا 2 است. سپس آرچی نمونه هایی را که حاوی هیدروکربن بودند، آزمود. او فاکتور دیگری را معرفی کرد که بعدها آن را اندیس مقاومت ویژه نامید.

$$I = \frac{R_t}{R_o}$$

آرچی با رسم اشباع شدگی و اندیس مقاومت ویژه در یک نمودار لگاریتمی رابطه ی زیر را بدست آورد .



$$I = \frac{1}{S_w^n}$$

که n توان اشباع شدگی است و آرچی آن را برابر 2 ثابت فرض کرد. با تلفیق روابط فوق، آرچی فرمول معروف خود را به صورت زیر بیان کرد:

$$R_t = \frac{R_w}{\phi^m S_w^n}$$

آرچی در فرمول خود میزان افزایش مقاومت ویژه با افزایش درصد اشباع هیدروکربن را به صورت زیر بیان کرد:

$$I = \frac{1}{S_w^n}$$

و بعدها آن را اندیس مقاومت ویژه نامید. او به این که توان n ثابت است و مقاومت ویژه فقط با تغییر آب اشباع شدگی تغییر می کند، بسنده کرد.

در سال 1966 پیکت (Pickett, 1966) روشی ابداع کرد که علاوه بر R_w مقدار m را نیز برآورد کند [5].
ور تینگتن (Worthington, 1985) معادلات و مدل های مختلف را در مورد اشباع شدگی سازندهای شیلی به دو گروه اساسی تقسیم کرد [6]:

(1) مدل هایی که براساس درصد حجم شیل بنا شده اند. این مدل ها از لحاظ علمی دقیق نیستند، زیرا حجم شیل نمی تواند به تنهایی برای توجیح X بکار رود. مزیت این مدل ها در این است که تمام پارامترهای لازم را می توان از داده های نگار بدست آورد.

(2) مدل هایی که براساس پدیده ی دو لایه ای یونی بنا شده اند. این مدل ها از لحاظ علمی قابل قبول ترند. برای استفاده از این مدل ها لازم است که پارامترهای وابسته به شیل، توسط مغزه در مقابل بعضی کمیت های پتروفیزیکی قابل حصول از نگار، کالیبره شود.

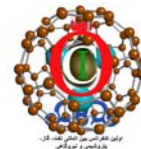
رضایی و لمون (Rezaee and Lemon, 1996) نیز روش جدیدی برای محاسبه ی آب اشباع شدگی مفید در سازندهای شیلی حاوی رس های با ظرفیت تبادل کاتیونی کم، با علم به مقدار ریز تخلخل در رس ها معرفی کردند [7].
در این مطالعه که با استفاده از داده های سه چاه از مخزن آسماری در یک میدان نفتی در جنوب غربی ایران صورت گرفته است، سازند مقدار بسیار پایینی از حجم شیل را دارا بوده است و همانطور که گفته شد در سازندهای تمیز و بدون شیل، درصد اشباع آب توسط فرمول آرچی بدست می آید، به همین منظور در اینجا از رابطه ی آرچی برای بدست آوردن مقدار S_w استفاده شده است.

2- بحث و بررسی

در این مطالعه در ابتدا با استفاده از نمودارهای چگالی و نوترون لیتولوژی و تخلخل سازند تخمین زده شد. برای بررسی دقت نتایج حاصل توسط گراف چگالی-نوترون، گراف چگالی-فوتوالکتریک، نمودار صوتری و اعداد فوتو الکتریک مورد استفاده قرار گرفتند که همگی تایید کننده نتایج حاصل بود. پیش از شناسایی کانی های رسی و مطالعه نواحی شیلی میزان تخلخل، اشباع آب و لیتولوژی ناحیه بررسی گردید. رابطه آرچی برای محاسبه اشباع آب مورد استفاده قرار گرفت:

$$S_w = \sqrt{\frac{F \cdot R_w}{R_t}}$$

معادله ی 1:



$$F = \frac{1}{\phi^2}$$

پس از محاسبه میزان اشباع آب برای هر یک از اینتروال های موجود توسط رابطه آرچی، کیفیت سنگ مخزن مورد بررسی قرار گرفت. میزان حجم شیل در تمامی نواحی نیز توسط نمودار گامای تصحیح شده به صورت درصد ارزیابی گردید:

$$V_{sh} = \frac{CGR_{log} - CGR_{min}}{CGR_{max} - CGR_{min}} \quad \text{معادله ی 3 :}$$

جهت ارزیابی پتروفیزیکی سنگ مخزن باید حجم شیل موجود را مورد بررسی قرار داد. نمودار پرتو گاما نشان دهنده مقدار رادیواکتیویته سازند است. پتاسیم و توریوم عمده کانی های ساطع کننده پرتو گاما هستند که هر دو در رس ها وجود دارند. دولومیت به دلیل دارا بودن اورانیوم بر اندازه گیری پرتو گاما تاثیر داشته و باعث افزایش مقدار خوانده شده توسط ابزار می گردد. نمودار SGR برخلاف CGR که تحت تاثیر تنها دو عنصر رادیواکتیو پتاسیم و توریوم می باشد از اورانیوم نیز اثر می پذیرد و به همین دلیل معیار اندازه گیری درصد شیل نمودار CGR است.

با در نظر گرفتن دو عامل تخلخل و میزان اشباع آب کیفیت سنگ مخزن بررسی گردید. مقادیر اشباع آب بسیار پایین و تخلخل باتوجه به لیتولوژی هر یک از اینتروال ها متغیر بود. مقادیر تخلخل و اشباع آب متوسط پس از تصحیح شیل محاسبه شد و با محاسبات اولیه مقایسه گردید.

سپس به بررسی کیفیت سنگ مخزن پرداخته شد که برای تقسیم بندی کیفی سنگ های مخزن از جدول (1) استفاده گردید:

جدول (1)- ارزیابی کیفیت سنگ مخزن با توجه به تخلخل و اشباع آب

درصد اشباع آب (S_w)	درصد تخلخل (ϕ)	نوع سنگ
۰ - ۲۵	۸/۵ - ۱۰۰	سنگ مرغوب
۲۵ - ۵۰	۸/۵ - ۱۰۰	سنگ نسبتاً مرغوب
۰ - ۵۰	۴/۵ - ۸/۵	سنگ نامرغوب
۰ - ۱۰۰	۰ - ۴/۵	سنگ سخت
۵۰ - ۱۰۰	۴/۵ - ۱۰۰	سنگ آبدار

محاسبه ضخامت مفید پس از حذف فواصل مربوط به شیل، سنگ های سخت و سنگ های آبدار از رابطه زیر انجام گردید:

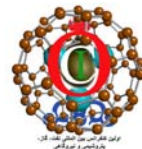
$$h_{net} = (h)_g + (h)_f + (h)_p \quad \text{معادله ی 4 :}$$

همچنین نسبت ضخامت مفید به کل از رابطه زیر به دست می آید:

$$\frac{Net}{Gross} = \frac{(h)_{net}}{(h)_{gross}} \quad \text{معادله ی 5 :}$$

در این ارزیابی نسبت به دست آمده برابر با جدول زیر محاسبه گردید. سپس مقادیر $\Phi.H.S_w$ و $\Phi.H$ برای هر یک از اینتروال ها به صورت جداگانه محاسبه گردید. تخلخل و اشباع آب متوسط از روابط زیر محاسبه شدند:

$$\phi_{ave} = \frac{(\sum \phi.h)_g + (\sum \phi.h)_f + (\sum \phi.h)_p}{(\sum h)_g + (\sum h)_f + (\sum h)_p} \quad \text{معادله ی 6 :}$$



$$S_{W_{ave}} = \frac{(\sum \phi.h.S_w)_g + (\sum \phi.h.S_w)_f + (\sum \phi.h.S_w)_p}{(\sum \phi.h)_g + (\sum \phi.h)_f + (\sum \phi.h)_p}$$

ضخامت ستون هیدروکربنی نیز بدین ترتیب محاسبه گردید:

$$N.H.C = \phi_{ave} . h_{net} . (1 - S_w) \quad \text{معادله ی 8 :}$$

که مقادیر مطابق جدول (2) زیر بدست آمدند. تمامی محاسبات ذکر شده بدون در نظر گرفتن حجم شیل انجام گردید. پس از انجام این محاسبات حجم شیل در تمامی اینتروال ها بوسیله داده های نمودار گامای تصحیح شده اندازه گیری شد و تخلخل مفید از نیز محاسبه گردید:

$$\phi_c = \phi_t - V_{sh} \times \phi_{sh} \quad \text{معادله ی 9 :}$$

ضخامت مفید، نسبت ضخامت مفید به کل، تخلخل و اشباع آب متوسط و ضخامت ستون هیدروکربنی پس از اصلاح تخلخل و استفاده از تخلخل موثر به جای تخلخل کل محاسبه گردید:

$$(h_{net})_{corrected} = ((h)_g)_{corrected} + ((h)_f)_{corrected} + ((h)_p)_{corrected} \quad \text{معادله ی 10 :}$$

$$\left(\frac{Net}{Gross}\right)_{corrected} = \frac{((h)_{net})_{corrected}}{(h)_{gross}} \quad \text{معادله ی 11 :}$$

$$(\phi_{ave})_{corrected} = \frac{((\sum \phi.h)_g)_{corrected} + ((\sum \phi.h)_f)_{corrected} + ((\sum \phi.h)_p)_{corrected}}{((\sum h)_g)_{corrected} + ((\sum h)_f)_{corrected} + ((\sum h)_p)_{corrected}} \quad \text{معادله ی 12 :}$$

$$(S_{W_{ave}})_{corrected} = \frac{((\sum \phi.h.S_w)_g)_{corrected} + ((\sum \phi.h.S_w)_f)_{corrected} + ((\sum \phi.h.S_w)_p)_{corrected}}{((\sum \phi.h)_g)_{corrected} + ((\sum \phi.h)_f)_{corrected} + ((\sum \phi.h)_p)_{corrected}} \quad \text{معادله ی 13 :}$$

$$(N.H.C)_{corrected} = (\phi_{ave})_{corrected} (h_{net})_{corrected} (1 - (S_{W_{av}})_{corrected}) \quad \text{معادله ی 14 :}$$

که با توجه به محاسبات بالا می توان نتیجه گرفت که تاثیر حجم شیل باعث کم شدن تخلخل و افزایش اشباع آب و کاهش میزان ستون مفید هیدروکربور و همچنین میزان نسبت خالص به ناخالص آن است.

3- نتایج

ارزیابی این میدان که از میداین کربناته بوده نتایج زیر را در بر داشته است :

جدول 2- خواص پتروفیزیکی محاسبه شده بر اساس اشباع آب آرچی

WELL.NUM	H(net)	Net/Gross	Porosity%	Sw%	NHC
1	99/08	0/54	9/9	0/48	9/55
2	297/35	0/67	11/62	0/20	34/48
3	384/96	0/70	11/87	0/26	45/57

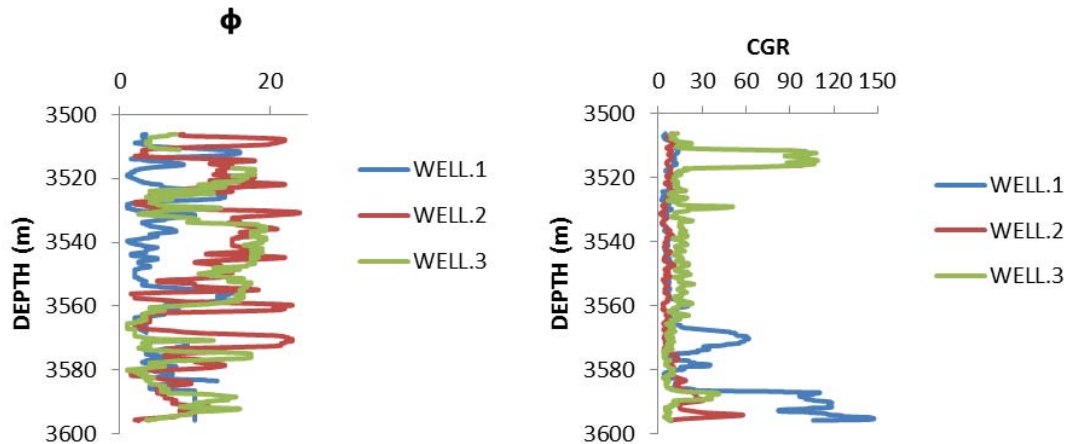
اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



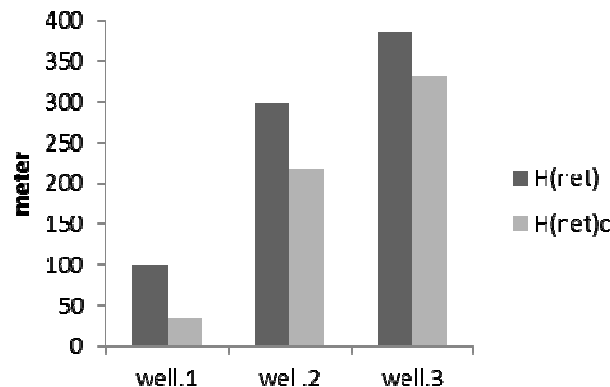
جدول 3- خواص پتروفیزیکی محاسبه شده بر اساس اشباع آب آرچی تصحیح شده

WELL.NUM	H(net)	Net/Gross	Porosity%	Sw%	NHC
1	34/59	0/35	9/75	0/54	6/19
2	217/74	0/49	10/50	0/21	22/81
3	330/29	0/60	10/41	0/30	34/28



شکل 1- مقایسه نمودار پرتو گاما و نمودار تخلخل در سه چاه مورد مطالعه

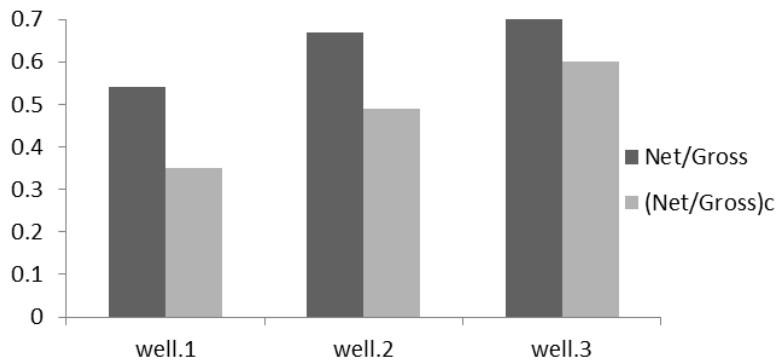
شکل بالا سمت چپ نمودار مقایسه ی میزان تخلخل براساس عمق در سه چاه مورد مطالعه است که این میزان در چاه شماره ی 3 کمتر از 20٪ و در چاه 2 مقدار تخلخل کمتر از 24٪ و این پارامتر در چاه شماره ی 1 به میزان کمتر از 16٪ است، بنابراین میزان تخلخل در چاه شماره ی 2 بیش از دو چاه دیگر است. شکل سمت راست مقایسه ی نمودار پرتو گاما در مقابل عمق در سه چاه مورد مطالعه است و همانطور که مشاهده می شود میزان CGR در چاه شماره ی 2 بطور متوسط از سایر چاه ها کمتر است و این در حالی است که میزان تخلخل این چاه از سایر چاه های مورد مطالعه بیشتر بوده و می توان نتیجه گرفت که با کاهش CGR میزان شیل کمتر و میزان تخلخل بیشتر است.



شکل 2- مقایسه ضخامت مفید براساس مدل اشباع آب آرچی و آرچی تصحیح شده

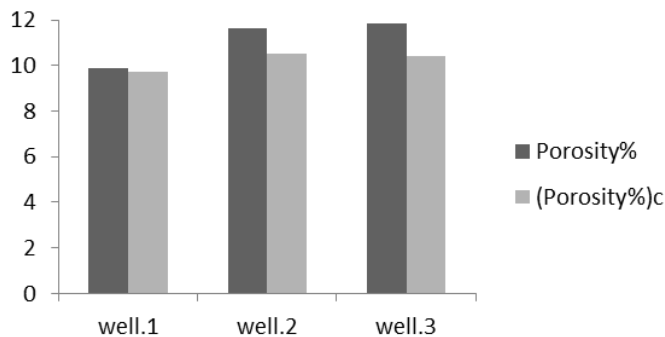


شکل 2 ضخامت مفید براساس مدل اشباع آب آرچی و آرچی تصحیح شده را نشان می دهد و همانطور که در شکل دیده می شود با تصحیح حجم شیل و تغییراتی که در نوع سنگ ها حاصل شد میزان ستون هیدروکربور مفید در حالت تصحیح شده مقداری کمتر از حالت تصحیح نشده خود در سه چاه مورد بررسی است.



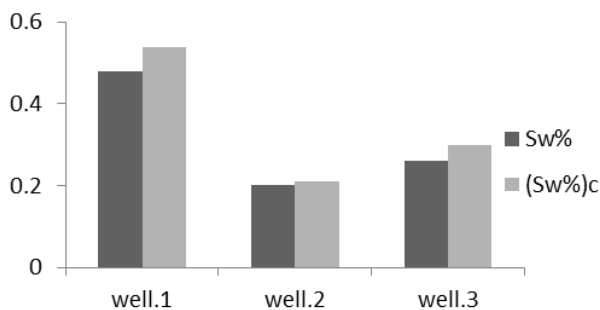
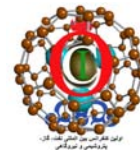
شکل 3 - مقایسه نسبت ضخامت مفید به ضخامت کل براساس مدل اشباع آب آرچی و آرچی تصحیح شده

شکل 3 نشان می دهد که با تصحیح صورت گرفته بر ضخامت مفید و تخلخل و اشباع آب و در نتیجه تغییر نوع سنگ میزان ضخامت مفید به ضخامت کل نیز در حالت تصحیح شده مقداری کمتر از حالت تصحیح نشده ی خود در سه چاه مورد بررسی است.



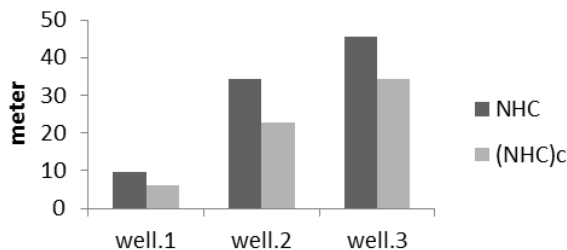
شکل 4 - مقایسه تخلخل و تخلخل تصحیح شده

شکل 4 به بررسی میزان تخلخل و تخلخل تصحیح شده می پردازد و همانطور که ملاحظه می شود ورود حجم شیل باعث کم شدن تخلخل شده است .



شکل 5 - مقایسه میزان اشباع آب براساس مدل اشباع آب آرچی و آرچی تصحیح شده

شکل 5 به مقایسه ی میزان اشباع آب براساس مدل آب آرچی و آرچی تصحیح شده می پردازد و نشان می دهد که با توجه به شکل 4 و نیز معادله ی (2) اشباع آب آرچی با کاهش تخلخل در حالت تصحیح شده میزان اشباع آب در این حالت افزایش داشته است.

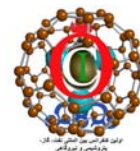


شکل 6 - مقایسه میزان ستون مفید هیدروکربن براساس مدل اشباع آب آرچی و آرچی تصحیح شده

شکل 6 نشان می دهد که با افزایش میزان اشباع آب در حالت تصحیح شده و کاهش تخلخل و ضخامت مفید در این حالت و با توجه به معادله ی (14) میزان ستون مفید هیدروکربن در حالت تصحیح شده یعنی با در نظر گرفتن حجم شیل کاهش داشته است و نیز میزان هیدروکربن چاه 3 با توجه به شکل بالا از دو چاه دیگر بیشتر بوده است.

4- نتیجه گیری

در این مطالعه ارزیابی پتروفیزیکی بر روی سه چاه از مخزن آسماری یکی از میادین جنوب غربی ایران صورت گرفت که اثر حجم شیل بر پارامترهای مختلف مخزن مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:
با در نظر گرفتن حجم شیل و انجام محاسبات با کاهش میزان تخلخل، و با توجه به معادله ی اشباع آب آرچی میزان اشباع آب در حالت تصحیح شده افزایش داشته است. در این حالت با تغییر نوع سنگ با کاهش ضخامت مفید و نیز کاهش نسبت ضخامت مفید به کل و همچنین کاهش ستون مفید هیدروکربن در حالت تصحیح شده روبرو هستیم.



- [1] ارزیابی خصوصیات پتروفیزیکی مخزن در یکی از چاههای نفتی خلیج فارس فهیمه شکرانه ، سهیلا روستایی 1388
- [2] رضایی محمدرضا اصول برداشت و تفسیر نگاره های چاه پیمایی انتشارات دانشگاه تهران 1384
- [3] Archie, G. E., 1942, The Electrical Resistivity Log As An Aid In Determining Some Reservoir Characteristics, J. Pet. Tech., 5.
- [4] Sundberg, K., 1932, Effect Of Impregnating Waters On Electrical Conductivity Of Soils And Rocks, Petroleum Transactions Of AIME 97, pp. 367-391
- [5] Pickett, G. R., 1966, A Review Of Current Techniques For Determination Of Water Saturation, J. Pet. Tech. 18, November, pp. 1425-1433
- [6] Worthington, D. F., 1985, The Evolution Of Shaly-Sand Concept In Reservoir Evaluation, The Log Analyst, Jan-Feb.
- [7] Rezaee, M. R., And Lemon, N., 1996, Petrophysical Evaluation Of Kaolin-Bearing Sandstones, I: Water Saturation, An Example Of The Tirrawarra Sandstone Reservoir, Cooper Basin Australia, SPE. Paper 37023, pp. 539-549