

امکان دستیابی به رابطه تجربی ایده آل جهت

تخمین ضریب بازیافت مخازن نفتی

ایمان شکوهی پور^۱ - دکتر محسن مسیحی^۲

گروه مهندسی نفت، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران

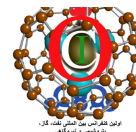
چکیده:

از گذشته تلاشهای زیادی جهت تخمین ضریب بازیافت صورت گرفته است؛ در سال 1945، انجمن نفت آمریکا (API) نخستین گام در جمع آوری داده ها و اطلاعات جهت دستیابی به رابطه ای میان پارامترهای سنگ و سیال با ضرایب بازیافت مخازن هیدروکربوری را برداشت. این مؤسسه مطالعات آماری وسیعی بر پایه داده های مربوط به عملکرد واقعی میادین در حال تولید و نه بر اساس داده های تئوری یا آزمایشگاهی بر روی مخازن نفتی آمریکا و کانادا جهت دستیابی به معادلات تجربی مناسب برای تخمین ضریب بازیافت مخازن ماسه سنگی و کربناته که 75٪ آنها تحت دو مکانیزم رانش آب و گاز محلول تولید می کردند، صورت داد. در نهایت مؤسسه API با تکمیل مطالعات خود به این نتیجه رسید که امکان دستیابی به رابطه تجربی کاملاً معتبری که ضریب بازیافت مخازن را بر اساس پارامترهای موجود آنها به درستی محاسبه نماید، وجود ندارد و در تمامی موارد آزمایشی، پارامتر اصلی و تعیین کننده همان نفت اولیه در جای مخزن می باشد. البته فاکتور مهم و اساسی در عدم موفقیت برای دستیابی به رابطه ایده آل، ناهمگنی مخزن می باشد که به آسانی قابل تعریف نیست و دارای پیچیدگی های زیادی می باشد؛ همچنین سایر پارامترهای تعریف شده نظیر تخلخل، تراوایی، اشباع اولیه آب و ... با تکنیک های موجود، قابل اندازه گیری دقیق و بدون خطا نیست؛ بنابراین اگرچه ضریب بازیافت مخازن به عنوان پارامتری ساده در صنعت نفت بکار می رود اما دارای عدم قطعیت ذاتی است و هیچ مدلی در دنیا وجود ندارد که دقیقاً آینده این پارامتر را پیش بینی نماید.

واژه های کلیدی: مؤسسه API - ضریب بازیافت - رابطه تجربی - رانش آب - رانش گاز محلول.

1- iman.shokouhi@yahoo.com

2- masihi@sharif.edu



مقدمه:

وقتی یک میدان نفتی یا گازی جدید کشف می‌شود، یکی از مباحث اصلی و نگرانیهای بخش مدیریت، برآورد میزان درآمد حاصل از تولید از این مخازن است. میزان درآمد آتی یک مخزن به تعداد بشکه‌های قابل بازیافت نفت تولید شده که بصورت کسری و تحت عنوان ضریب بازیافت شناخته می‌شود، بستگی دارد. لذا میزان دقیق این پارامتر برای شرکتها و کشورهای نفتی بسیار حائز اهمیت می‌باشد؛

ضریب بازیافت مخازن نفتی تابع دو دسته از متغیرهاست: 1- متغیرهای استاتیک، 2- متغیرهای دینامیک. متغیرهای استاتیک: حجم سنگ مخزن، تخلخل، اشباع آب، ضخامت ستون نفتی، ضخامت خالص به ضخامت کل، عمق مخزن، تراوایی سنگ مخزن، اشباع نفت و دیگر عوامل می‌باشند؛ متغیرهای دینامیک شامل: مکانیزمهای رانش طبیعی موجود در مخزن، فشار مخزن، دمای مخزن، ویسکوزیته مخزن، API^۱ نفت مخزن، ضریب حجمی سیالات مخزن، حلالیت گاز مخزن و غیره هستند. البته جنس سنگ و مکانیزم رانش تولیدی مخزن نیز نقش غیر قابل انکار و تعیین کننده‌ای بر میزان بازیافت آن دارد. آنچه مسلم است اینکه تمامی متغیرهای مذکور می‌توانند در مقدار نفت اولیه^۲ درجا، نفت قابل استحصال و در نهایت بر ضریب بازیافت اولیه مخزن تأثیر مثبت (فزاینده) و یا تأثیر منفی (کاهنده) داشته باشند؛ لذا نقش این متغیرها در تخمین ضریب بازیافت اولیه^۳ مخازن و روابط تجربی حاصل بسیار مهم و حیاتی می‌باشد.

در سال 1945، انجمن نفت آمریکا^۱ (API) نخستین گام در جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات جهت دستیابی به رابطه‌ای میان پارامترهای سنگ و سیال مخزن هیدروکربوری با ضرایب بازیافت نفت را برداشت. پس از آن یک مؤسسه پژوهشی اطلاعات مربوط به 103 مخزن نفتی شامل 26 مخزن با مکانیزم رانش گاز محلول و 74 مخزن با مکانیزم رانش آب در سازندهایی از جنس ماسه سنگ، کربناته و دولومیت و براساس فاصله‌بندی چاهها^۲ مورد آزمایش قرار داد که هدف آنها دستیابی به رابطه میان بازیافت نفت و فواصل میان چاهها بود. آنالیز اطلاعات بدست آمده بیانگر این نکته بود که فاصله‌بندی چاهها تنها پارامتر فیزیکی اصلی نیست که بازیافت نهایی نفت تابع آن باشد و افزایش بیشتر دانسیته چاهها (تعداد چاههای تولیدی تقسیم بر مساحت مخزن) موجب ارتقاء بازیافت نهایی نفت نخواهد شد. عوامل فیزیکی دیگری چون هندسه مخازن، موقعیت مکانی چاهها و میزان گاز و آب تولیدی نیز مهم بوده و می‌توانند بر بازیافت نهایی نفت تأثیرگذار باشند.

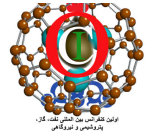
گاتری و گرینبرگر^۳ با مطالعات آماری خود بر روی داده های مخازن نفتی تحت رانش آب که قبلاً توسط کریز و باکلی مورد مطالعه قرار گرفته بود، رابطه چند متغیره‌ای جهت تخمین ضریب بازیافت ارائه نمودند:

$$RF = 0.114 + 0.272 \times \log[K] + 0.256 \times [Sw] - 0.136 \times \log[\mu] - 1.538 \times [\phi] - 0.00035 \times [h] \quad (1)$$

1- American Petroleum Institute

2- Well Spacing

3- Guthrie and Greenberger



آزمایش این معادله نشان داد که بازیابی 50 درصد مخازن بین $6/2 \pm$ درصد، 75 درصد آنها بین $9/0 \pm$ درصد، و 100 درصد آنها بین $19/0 \pm$ درصد آن مقداری است که با معادله فوق پیش بینی می شود [1].

وایتی¹ در مطالعه ای به این نتیجه رسید که ارقام ضریب بازیافت محاسبه شده برای میداین Mexia-Powell که روی خط گسل قرار گرفته اند، تنها بر داده های سازندی و خصوصیات مخزنی استوار نیست. وی همچنین دریافت که میزان بازیافت نفت به طور عملی مستقل از فاصله بندی چاهها است و داده های مربوط به بازیافت چند ناحیه مختلف از یک مخزن نباید در ماهیت بخشیدن به یک فرمول تجربی برای محاسبه بازیافت کل میدان مورد استفاده قرار گیرد [2]. آرپس² دریافت که بازیافت نهایی نفت نسبت به گراویتیته آن (API) رابطه مستقیم دارد جز در حالتی که میزان GOR بالا باشد و به نظر می رسد جنس و نوع سنگ مخزن تأثیر بسزایی بر بازیافت نهایی خواهد داشت؛ ماسه سنگها نسبت به لایمستون ها و سنگهای دولومیتی، بازیابی بیشتری دارند [3].

موسکات³ دریافت که مقدار بازیافت نهایی نفت با افزایش ویسکوزیته آن کاهش می یابد و از آنجا که عمل انقباض نفت همراه با آزاد شدن گاز محلول می باشد، لذا بازیافت نهایی با افزایش انحلال پذیری گاز کاهش خواهد یافت. همچنین افزایش حجم کلاهدک گازی منجر به افزایش بازیافت می گردد [4]. ون اوردینگن⁴ نتیجه گرفت که در مخازن لایمستون و دولومیتی، میزان ضریب بازیافت محاسبه شده (تخمینی) در سیلابزنی، به ازای فاصله بندی زیاد چاهها، به زحمت بالاتر از ضریب بازیافت مخازن با انواع رانشهای طبیعی خواهد شد که در آنها از مکانیزمهای بازیافت ثانویه استفاده نشده است و اظهار داشت که فرآیند سیلابزنی در مخازن با فاصله بندی چاههای بیشتر از 40 ایگر کاملاً بی-فایده می باشد [5].

مؤسسه API نیز مطالعات آماری خود را بر پایه داده های مربوط به عملکرد واقعی میداین در حال تولید و نه بر اساس داده های تئوری یا آزمایشگاهی جهت تکمیل نتایج و معادلات حاصل از پژوهشهای گذشته خود ادامه داد. در ادامه به تشریح مطالعات آماری مؤسسه API بر روی داده های مخازن ماسه سنگی و کربناته آمریکا و کانادا در راستای دستیابی به رابطه ای تجربی جهت تخمین ضریب بازیافت مخازن می پردازیم. همچنان روند انجام مطالعات آماری بر مخازن هیدروکربوری به امید دستیابی به روابطی که بتواند میزان ضریب بازیافت انواع مخازن را با کمترین خطا تخمین بزند ادامه دارد و هدف ما از انجام این تحقیق بررسی میزان موفقیت تلاشهای گذشته برای دستیابی به رابطه ایده آل جهت تخمین ضریب بازیافت مخازن نفتی است.

روش کار:

مؤسسه API مطالعات آماری خود را بر ضریب بازیافت جهت تکمیل نتایج و معادلات حاصل از پژوهشهای سال 1956 ادامه داد. مطالعات آنها ترجیحاً بر پایه داده های مربوط به عملکرد واقعی میداین در حال تولید بود و نه بر اساس داده های تئوری یا آزمایشگاهی. هدف آنها دستیابی به رابطه ای تجربی⁵ جهت تخمین ضریب بازیافت مخازن بود. قرار شد مطالعه آنها بر پایه داده های دریافتی بیش از 312 پرسش نامه که به شرکت های نفتی جهت دریافت اطلاعات مخازن آنها داده شده بود، صورت گیرد. در نهایت 70 مخزن ماسه سنگی که تحت مکانیزم رانش آب و نیز مورد تهاجم آب حاشیه ای و آب زیرین بودند، واجد شرایط لازم جهت بررسی رابطه تجربی ضریب بازیافت مخازن با مکانیزم رانش آب، تشخیص داده شدند.

4- Vietti

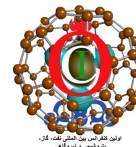
1- Arps

2- Muskat

3- A.F. van Everdingen

4-empirical correlation

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



80 مخزن نیز جهت بررسی رابطه تجربی ضریب بازیافت مربوط به مخازن با مکانیزم رانش گاز محلول مورد استفاده قرار گرفتند؛ که 67 تای آنها ماسه سنگی و 13 مخزن دیگر کربناته بودند. داده های این مخازن برحسب دقت، به سه دسته تقسیم بندی شدند [6]:

- دسته 3 شامل داده های خوب
 - دسته 2 بیانگر داده های متوسط
 - دسته 1 معرف داده های ضعیف
- معادلات تجربی آنها از این قرار بود:

▪ مخازن با رانش آب:

$$RF = 4259 \times \left[\frac{\varphi(1-Sw)}{Boi} \right]^{1.0422} \times \left[\frac{K\mu wi}{\mu oi} \right]^{0.0770} \times [SW]^{-0.1903} \times \left[\frac{Pi}{Pa} \right]^{-0.2159} \quad (2)$$

در این رابطه، ضریب همبستگی چندگانه برابر با $R = 0.9575$ و خطای استاندارد تخمین $S_y = 17/6\%$ می باشد.

▪ مخازن با رانش گاز محلول:

$$RF = 3244 \times \left[\frac{\varphi(1-Sw)}{Bob} \right]^{1.1116} \times \left[\frac{K}{\mu ob} \right]^{0.0979} \times [SW]^{0.3722} \times \left[\frac{Pb}{Pa} \right]^{0.1741} \quad (3)$$

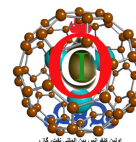
و در این رابطه تجربی؛ $R = 0.9317$ و $S_y = 23/9\%$ می باشد.

این معادلات بیانگر یک همبستگی قوی میان نفت قابل بازیافت و نفت اولیه درجا می باشند؛ هرچند حضور دیگر پارامترهای سنگ و سیال مخزن، یک افزایش قابل توجه در ضریب همبستگی¹ محاسبه شده را نشان می داد. مؤسسه API به این نتیجه رسید که معادلات 1 و 2، متوسط نفت قابل بازیافت را برای دسته های بزرگی از مخازن که مقادیر مشابهی از پارامترهای مستقل مورد استفاده در معادلات را دارا می باشند، پیش بینی می کند؛ هرچند آنها دریافتند که پیش آمد آنکه دسته بزرگی از مخازن، مقادیر مشابهی از نفت در جای اولیه را داشته باشند، عموماً رخ نمی دهد.

در سال 1984، این مؤسسه بار دیگر با جمع آوری یک دسته بزرگ از داده های مخازن نفت خام، قصد داشت تا نتایج مطالعات آماری خود را که در سال 1967 در جهت تخمین ضریب بازیافت مخازن ارائه نمود، ارتقاء بخشد. مأموریت اصلی آنها، توسعه و بهبود روابط تجربی جهت پیش بینی و تخمین ضریب بازیافت مخازن بود و این بار نیز بازیافت نفت را ترجیحاً بر اساس داده های واقعی مربوط به میادین در حال تولید مورد بررسی قرار دادند، نه بر پایه داده های تئوری و آزمایشگاهی. اهداف این مؤسسه در بروز رسانی مطالعات خود عبارت بود از:

1. آزمایش و بررسی روابط تجربی 1 و 2 در سال 1967، براساس داده های بیشتر و جدیدتر که اکنون در اختیار داشتند.
2. در صورت امکان، افزایش اعتبار و بهبود روابط تجربی مذکور با محاسبه ضرایب جدید مربوط به پارامترهای مستقل.

¹-correlation coefficient



3. بررسی این نکته که آیا اساساً تغییرات مطلوب امکان پذیر می باشد و می توان به روابط تجربی دقیقتری دست یافت یا خیر؟

حدود 675 پرسشنامه جهت تکمیل اطلاعات مخزنی به شرکت های نفتی داده شد که 620 مخزن ماسه سنگی و کربناته در آمریکا و کانادا از آن جهت که در آنها مکانیزم رانش گاز محلول و یا رانش آب حکمفرما بود و همچنین دارای مشخصات لیتولوژی مناسبی بودند کاندیدای مطالعه شدند؛ اما 55 مخزن دیگر بدلیل آنکه فاقد اطلاعات مربوط به بازیافت اولیه¹ بودند و یا اینکه مکانیزم رانش اولیه در آنها رانش ثقلی بود و نیز مشخصات لیتولوژی مناسبی نداشتند، مورد بررسی قرار نگرفتند [7].

از میان 620 مخزنی که داده های آنها در دسترس بودند، 376 مخزن دارای مکانیزم رانش گاز محلول و 244 مخزن دیگر از مکانیزم رانش آب برخوردار بودند و شرط لازم این بود که مکانیزم رانش اصلی مذکور، حداقل 75 درصد از انرژی اولیه رانش جهت تولید از مخزن را شامل باشد. در ابتدا دسته ای از مخازن ماسه سنگی با داده های درجه 2 و 3 (داده های با کیفیت متوسط و خوب) بعنوان نمونه های پیشتاز جهت آزمایش و بررسی انتخاب شدند؛ تمامی 116 مخزن ماسه سنگی با رانش گاز محلول (حدود 40 درصد از کل) جزء موارد انتخابی بودند.

معادله رگرسیونی تخمینی² بدست آمده برای نفت قابل بازیافت چنین بود:

$$RF = 6533 \times \left[\frac{\varphi(1-Sw)}{Bob} \right]^{1.3120} \times \left[\frac{K}{\mu ob} \right]^{0.0816} \times [SW]^{0.4630} \times \left[\frac{Pb-Pa}{Pb} \right]^{0.2490} \quad (4)$$

برای این معادله؛ $R = 0.74$ و $S_y = 27\%$.

با اینکه تقریباً خوب به نظر می آید، اما این رابطه جهت تخمین نفت قابل بازیافت از مخازن نفتی مناسب نبود. آنها در مطالعه ای که پس از آن انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مقدار نفت در جای اولیه تنها پارامتری است که ارتباط آماری مهم و قابل توجهی با میزان نفت قابل بازیافت دارد. لذا آنها تصمیم گرفتند جهت دسترسی به یک رابطه رگرسیونی مناسب که نشان دهد سایر پارامترها علاوه بر نفت در جای اولیه می توانند تأثیر قابل توجهی بر میزان نفت قابل بازیافت و نیز ضریب بازیافت داشته باشند، مطالعات خود را ادامه دهند.

با بکارگیری یک برنامه رگرسیون خطی چندمتغیره و گام به گام³، آنها موفق شدند تا متغیرهای وابسته را مرحله به مرحله، به روابط موجود اضافه نمایند و بدین ترتیب میزان تناسب و اعتبار معادلات قبلی را مستمراً افزایش دهند. این برنامه جهت توسعه و ارتقاء روابط، از یک گروه 112 تایی مخازن با رانش گاز محلول و شامل 26 پارامتر (متغیر) بهره گرفت.

▪ رانش گاز محلول، نوع A - معادله خطی محدود نشده⁴:

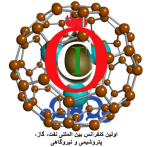
$$BAF = 557.5 + 0.0373 \times \left[\frac{7758\varphi(1-Sw)}{Bob} \right] - 242.8 \times \ln[PCT] - 107.4 \times \left[\frac{K}{\mu ob} \right] + 253.7 \times [K] + 135.6 \times \ln[API] + 0.2152 \times [OOIP] \quad (5)$$

2-primary recovery

1-predicted regression equation

2-multi-variable, stepwise, linear regression

3-Unrestricted Linear Equation



در این معادله؛ $r=0/8586$ ؛ $R=0/7372$ و $S_y = 66/13$ (STB/NAF)

▪ رانش گاز محلول، نوع B - معادله خطی محدود شده¹:

$$BAF = 900.9 - 83.01 \times \ln \left[\frac{7758\varphi(1-S_w)}{B_{ob}} \right] + 5.83 \times \ln \left[\frac{K}{\mu_{ob}} \right] + 24.53 \times \ln(S_w) + 6.86 \times \ln \left[\frac{P_b}{P_a} \right] + 0.1158 \times \left[\frac{7758\varphi(1-S_w)}{B_{ob}} \right] - 107.03 \times \left[\frac{K}{\mu_{ob}} \right] + 219.6 \times [Ko] - 200.19 \times \ln[PCT] + 12.570 \times \ln[^\circ API] + 0.2405 \times [OOIP] \quad (6)$$

برای این معادله؛ $r=0/8635$ ؛ $R=0/7656$ و $S_y=66/35$ (STB/NAF)

▪ رانش گاز محلول، نوع C - معادله لگاریتمی محدود نشده²:

$$\ln(BAF) = -5.32058 + 1.4877 \times \ln[OOIP] + 0.4562 \times \ln[S_w] + 0.225 \times \ln \left[\sqrt{\frac{K}{\varphi}} \right] + 0.0198 \times [^\circ API] + 0.4562 \times [V] \quad (7)$$

در این معادله؛ $r=0/7820$ و $R=0/6115$ و $S_y=0/4982 = 64/4\%$

▪ رانش گاز محلول، نوع D - معادله لگاریتمی محدود شده³:

$$\ln(BAF) = -0.9057 - 0.267 \times \ln \left[\frac{7758\varphi(1-S_w)}{B_{ob}} \right] + 0.0888 \times \ln \left[\frac{K}{\mu_{ob}} \right] + 0.037 \times \ln \left[\frac{P_b}{P_a} \right] + 1.625 \times \ln[OOIP] + 0.51044 \times \ln[V] - 4.274 \times [S_w] \quad (8)$$

برای این معادله؛ $r=0/7851$ ؛ $R=0/6163$ و $S_y = 0/5001 = 64/9\%$

و این درحالی است که معادله لگاریتمی ارائه شده توسط مؤسسه API در سال 1967 برای مخازن با رانش گاز محلول چنین بود:

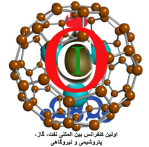
$$\ln(BAF) = -3.48538 + 1.3546 \times \ln \left[\frac{7758\varphi(1-S_w)}{B_{ob}} \right] + 0.09166 \times \ln \left[\frac{K}{\mu_{ob}} \right] + 0.4121 \times \ln[S_w] + 0.06996 \times \ln \left[\frac{P_b}{P_a} \right] \quad (9)$$

و همچنین:

$$BAF = 5691 \left[\frac{\varphi(1-S_w)}{B_{ob}} \right]^{1.3546} \times \left[\frac{K}{\mu_{ob}} \right]^{0.09166} \times [S_w]^{0.4124} \times \left[\frac{P_b}{P_a} \right]^{0.06996} \quad (10)$$

در این معادله داریم؛ $r=0/7491$ و $R=0/5612$ و $S_y = 5257 = 69/4\%$

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی
مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



تمامی معادلاتی که ارائه شدند، نشان دهنده تأثیر غیرقابل انکار نفت اولیه درجا در محاسبات ضریب بازیافت در نقطه حباب و یا در شرایط اولیه مخزن می باشند.

مطالعه و تحقیقی مشابه، منجر به توسعه و ارتقاء معادلات و روابط برای یکدسته از مخازن با رانش آب شد. از 117 مخزن موجود با رانش آب، 58 مورد مطرود شدند زیرا دست کم داده های یکی از 29 متغیری که باید در معادلات بررسی می شدند، در آن مخازن غایب بودند.

▪ رانش آب، نوع A - معادله خطی محدود نشده:

$$BAF = -3957.3 + 0.756 \times [OOIP] + 55.61 \times \ln[Pa] + 749.8 \times \ln[PCT] + 39.56 \times \ln[\lambda o, w] \quad (11)$$

در این جا داریم؛ $r=0/9042$ و $R=0/8176$ و $S_y=134/8$ (STB/NAF)

▪ رانش آب، نوع B - معادله خطی محدود شده :

$$BAF = -3726.8 + 21.979 \times \ln \left[\frac{7758\phi(1-S_w)}{B_{ob}} \right] + 49.188 \times \ln[\lambda o, w] + 19.077 \times \ln[S_w] - 73.244 \left[\frac{P_i}{P_a} \right] + 7083 \times [OOIP] + 786.43 \times \ln[PCT] - 71.4594 \times \ln[K] \quad (12)$$

در این معادله داریم؛ $r=0/909$ و $R=82/63$ و $S_y=135/4$ (STB/NAF)

▪ رانش آب، نوع C - معادله لگاریتمی محدود نشده:

$$\ln(BAF) = -6.21253 + 0.00066 \times [OOIP] + 0.1122 \times \ln[Pa] + 1.2535 \times \ln[PCT] + 0.08084 \times \ln[\lambda o, w] + 0.7750 \times \ln[OOIP] \quad (13)$$

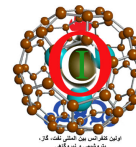
در این معادله داریم؛ $r=0/8855$ و $R=78/41$ و $S_y=29/12=33/8\%$

▪ رانش آب، نوع D - معادله لگاریتمی محدود شده:

$$\ln(BAF) = -90.3765 - 1.2537 \times \ln \left[\frac{\phi(1-S_w)}{B_{oi}} \right] + 0.1038 \times \ln[\lambda o, w] + 0.1669 \times \ln[S_w] - 0.150 \times \ln \left[\frac{P_i}{P_a} \right] - 25.901 \times \ln[PCT] + 1.9386 \times \ln[OOIP] - 0.2772 \times [PCT] + 0.0008 \times [OOIP] \quad (14)$$

در این معادله داریم؛ $r=89/76$ و $R=80/57$ و $S_y=0/2844=32/9\%$

اما معادله لگاریتمی ارائه شده توسط مؤسسه API در سال 1967 برای مخازن با رانش آب چنین بود:



$$\ln(BAF) = -1.98288 + 1.24009 \times \ln \left[\frac{7758\phi(1-Sw)}{Boi} \right] + 0.0932 \times \ln[\lambda o, w] - 0.2450 \times \ln \left[\frac{Pi}{Pa} \right] + 0.06143 \times \ln[Sw] \quad (15)$$

و همچنین:

$$BAF = 9172 \times \left[\frac{\phi(1-Sw)}{Boi} \right]^{1.24009} \times [\lambda o, w]^{0.0932} \times [Sw]^{0.06143} \times \left[\frac{Pi}{Pa} \right]^{-0.2450} \quad (16)$$

در این حالت داریم؛ $r=0/8348$ ؛ $R=0/6969$ و $S_y=0/3418=40/7\%$.

از آنجا که کیفیت 59 نمونه مخزن انتخابی مربوط به رانش آب بسیار خوب بود، در نتیجه کیفیت و اعتبار رابطه تجربی بدست آمده نسبت به رابطه مربوط به رانش گاز محلول بیشتر می باشد. در روابط ضریب بازیافت مربوط به مکانیزم رانش آب نیز پارامتر اصلی همان نفت اولیه در جای مخزن بود، هر چند که اهمیت و نقش این پارامتر در روابط مربوط به رانش گاز محلول بیشتر از رانش آب تشخیص داده شد. با دسته بندی دوباره داده های مخازن بر اساس ژئوگرافی محیط¹، لیتولوژی و مکانیزم های تولید، کیفیت روابط ارتقاء یافت؛ با این حال، این پیشرفت هنوز هم برای دستیابی به رابطه ای ایده آل جهت پیش بینی و محاسبه دقیق میزان نفت قابل بازیافت از مخازن ناکافی می باشد؛

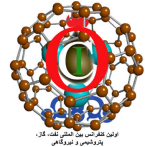
نتیجه گیری:

هر چند انجام چنین تحقیقاتی در رابطه با تخمین ضریب بازیافت مخازن نفتی، مثبت و شایسته تقدیر می باشد اما با توجه به اینکه 75 درصد از تخمین های تولید نهایی نفت مربوط به میادین اکتشافی شناخته شده قبل از سال 1951 بوده و تنها مربوط به مخازن نفتی کشورهایی است که این تحقیقات بر روی میادین آنها صورت پذیرفته، چنین مطالعاتی دقت کافی در ارائه تکنیک های اندازه گیری دقیق ضرایب بازیافت مخازن را نخواهند داشت.

نتایج بدست آمده بیانگر این مطلب می باشد که در تمامی موارد آزمایشی، پارامتر اصلی و تعیین کننده همان نفت اولیه در جای مخزن می باشد و لذا تأکید و توجه مطالعات و فرم و شکل معادلات بدست آمده جهت تخمین ضریب بازیافت مخازن باید اساساً بر پایه نفت اولیه در جای مخازن باشد. در نهایت مؤسسه API، با تکمیل مطالعات خود به این نتیجه رسید که امکان دستیابی به رابطه تجربی کاملاً معتبری که ضریب بازیافت مخازن را بر اساس پارامترهای موجود آنها به درستی محاسبه نماید، وجود ندارد. فاکتور مهم و اساسی در این خصوص، ناهمگنی مخزن می باشد که به آسانی قابل تعریف نیست و دارای پیچیدگی های زیادی می باشد؛ همچنین سایر پارامترهای استاتیکی و دینامیکی تعریف شده نظیر تخلخل، تراوایی، اشباع اولیه آب، ویسکوزیته و ... با تکنیک های موجود، قابل اندازه گیری دقیق و بدون خطا نیست.

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



مراجع:

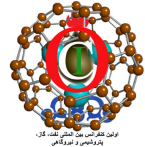
- [1] Guthrie, R.K. and Greenberger, M.H., (1955, 130), : "The Use of Multiple Correlation Analysis for Interpreting Petroleum Engineering Data," Drilling and Production Practice, API.
- [2] Vietti, W.V, MuUane, J.J., Thomton, O.F., and van Everdingen, A.F.,(1945, 160): "The Relation Between Well Spacing and Recovery," Drilling and Production Practices, API.
- [3] Arps, J.J. and Roberts, T.G.,(1955, 204,120),: "The Effect of Relative Permeability Ratio, the Oil Gravity, and the Solution Gas - Oil Ratio on the Primary Recovery from a Depletion Type Reservoir," Trans., AIME (Petroleum Development and Technology).
- [4] Muskat, M. and Taylor, M.O.,(1946, 165,78),: "Effect of Reservoir Fluid and Rock Characteristics or Production Histories of Gas Drive Reservoirs," Trans., AIME (Petroleum Development and Technology).
- [5] van Everdingen, A.F. and Kriss, H.S.,(July, 1980),: "A Proposal to Improve Recovery Efficiency," Journal of Petroleum Technology.
- [6] API Bulletin D14.,(October, 1967),: A Statistical Study of Recovery Efficiency, American Petroleum Institute, Production Dept., Dallas, TX.
- [7] API Bulletin D14.,(April 30, 1984),: Statistical Analysis of Cmde Oil Recovery and Recovery Efficiency, 2nd Ed.

فهرست نمادها

واحد	تعریف	نماد
(°API)	گراویته نفت	API°
(STB/NAF)	ضریب بازیافت نهایی محاسبه شده	BAF
(RB/STB)	ضریب حجمی نفت سازند	B _o
(RB/STB)	ضریب حجمی نفت در فشار ترک مخزن	B _{oa}
(RB/STB)	ضریب حجمی نفت در نقطه حباب	B _{ob}
(RB/STB)	ضریب حجمی نفت در فشار اولیه مخزن	B _{oi}
(ft)	میانگین عمق	D
(ft)	ضخامت خالص سازند	h
(darcies)	تراوایی سازند	k
(darcies)	تراوایی نفت	k _o
(dimensionless)	نسبت حجم گاز آزاد اولیه به حجم نفت اولیه مخزن	M
(acre-ft)	حجم فضای متخلل مخزن	NAF
(STB/NAF)	حجم اولیه نفت درجا در فشار اولیه	OOIP
(psig)	فشار ترک مخزن	P _a
(psig)	فشار نقطه حباب	P _b
(psig)	فشار در پایان ضریب بازافت اولیه	P _{ep}
(psig)	فشار اولیه مخزن	P _i
(dimensionless)	نسبت فشار اولیه به فشار ترک مخزن	P _i /P _a

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



(dimensionless)	نسبت فشار حباب به فشار ترک مخزن	P_b/P_a
(percent)	سهم رانش آب یا گاز محلول نسبت به کل مکانیزمهای رانش موجود در مخزن	PCT
(ppm)	شوری آب	ppm
(SCF/STB)	نسبت گاز محلول به نفت	R_s
(SCF/STB)	نسبت گاز محلول به نفت در فشار ترک مخزن (در آزمایش آزادسازی جزئی)	R_{sa}
(SCF/STB)	نسبت گاز محلول به نفت در فشار حباب مخزن (در آزمایش آزادسازی جزئی)	R_{sb}
(SCF/STB)	نسبت گاز محلول به نفت در فشار حباب مخزن (در آزمایش آزادسازی آبی)	R_{sbf}
(SCF/STB)	نسبت گاز محلول به نفت در فشار اولیه مخزن (در آزمایش آزادسازی جزئی)	R_{si}
(RB)	تعداد بشکه های نفت مخزن	RB
(STB/NAF)	ضریب بازیافت	REC
(STB/NAF)	ضریب بازیافت در فشار حباب و فشارهای کمتر از آن	REC_b
(STB/NAF)	ضریب بازیافت در فشار اولیه مخزن	REC_i
(STB/NAF)	بازیافت محاسبه شده توسط یک رابطه آماری	RO
(fraction)	درجه اشباع آب	S_w
(fraction)	درجه اشباع آب وقتی تراوایی نسبی آب برابر 0/1 است	S_{w2}
(fraction)	درجه اشباع آب وقتی تراوایی نسبی آب برابر 1/0 است	T
(dimensionless)	ضریب دیکسترا - پارسن مربوط به واریانس تراوایی	V
(darcies ^{0.5})	شعاع هیدرولیک	$\sqrt{\frac{k}{\phi}}$
(lb/ft ³)	چگالی نفت	ρ_o
(lb/ft ³)	چگالی آب	ρ_w
(lb/ft ³)	اختلاف چگالی آب و نفت در شرایط مخزن ($\Delta\rho = \rho_w - \rho_o$)	$\Delta\rho$
(darcies/cp)	پویایی (تحرك) فاز نفت $\lambda_o = [k/\mu_{ob}]$	λ_o
(darcies)	نسبت تحرك نفت به آب $\lambda_{o,w} = [k\mu_w / \mu_{oi}]$	$\lambda_{o,w}$
(fraction)	تخلخل	ϕ
(centipoise, cp)	ویسکوزیته (گرانروی) نفت در فشار حباب	μ_{bp}
(centipoise, cp)	ویسکوزیته (گرانروی) نفت	μ_o
(centipoise, cp)	ویسکوزیته (گرانروی) نفت در فشار ترک مخزن	μ_{oa}
(centipoise, cp)	ویسکوزیته (گرانروی) نفت در فشار اولیه مخزن	μ_{oi}
(centipoise, cp)	ویسکوزیته (گرانروی) آب	μ_w
(centipoise, cp)	ویسکوزیته (گرانروی) آب در فشار اولیه مخزن	μ_{wi}
(dimensionless)	یک تست آماری جهت ورود متغییر مستقل به مدل	F
(dimensionless)	ضریب همبستگی پیرسن	r
(dimensionless)	ضریب تعیین یا ضریب همبستگی چندگانه	R^2
(dimensionless)	خطای استاندارد تخمین	S_y