مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
ISSN 2538-581X
جلد ۲- شماره ۳- سال ۱۳۹۶
www.ElitesJournal.ir

ارزیابی نفوذپذیری درمخازن کربناته شکافداربا استفاده از ابزارنمودارهای تولید

افشین داورپناه[۱*]، بهنام میرشکاری[۲]، ترانه جعفری بهبهانی[۳]، محمود همتی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت(حفاری واستخراج نفت)، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم وتحقیقات تهران، گروه مهندسی نفت، تهران، ایران

۲- دکتری مهندسی نفت، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم وتحقیقات تهران، گروه مهندسی نفت، تهران، ایران

۳- دکتری مهندسی نفت، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم وتحقیقات تهران، گروه مهندسی نفت، تهران، ایران

۴- دکتری مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم وتحقیقات تهران، گروه مهندسی نفت، تهران، ایران

*Afshindpe@gmail.com

ارسال: خرداد ماه ۹۶ پذیرش: مرداد ماه ۹۶

چکیده

نفوذپذیری را می‌توان با روش‌های مختلف به دست آورد. هریک از روش‌ها دارای محدودیت هایی بوده ونیاز به روش‌های تکمیلی ضروری است. استفاده از نمودارهای تولید، ابزاری مناسب برای کنترل صحت نفوذپذیری بدست آمده با سایر روش ها است. از آنجائیکه در برداشت های مختلف نمودارهای تولید، ابزار یکبار رانده می شود، در کاهش هزینه‌های اکتشافی موثر است. برای استفاده از ابزار نمودارهای تولید(PLT) در مخازن کربناته، شرایط محیط هموژن ، جریان تک فاز ، و حالت پایدار فرض گردید. درچاه مورد مطالعه ابتدا با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و نمودارهای گرفته شده از ابزار نمودار تولید(PLT)، نواحی مخزنی مشخص شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Emeraude دبی در هر ناحیه تعیین گردید. بااستفاده از دبی و فشار جریان انتخابی، نفوذپذیری بدست آمد. بکمک داده های مغزه، مقادیرنفوذپذیری حاصل ازنرم افزار، اعتبارسنجی شد. خروجی نرم افزار با نتایج حاصل از مغزه، در اکثر نواحی چاه، با اختلاف بین ۷ الی ۵۰ درصد مغایرت داشت. این درصد خطا در مخازن کربناته شکافدار، قابل قبول است. البته در بعضی از نواحی، تفاوت محسوسی مشاهده گردید که می‌تواند ناشی از فرضیات درنظرگرفته شده برای روش نمودارهای تولید باشد.

کلمات کلیدی: نفوذپذیری، مخازن کربناته شکافدار، ابزارنمودارهای تولید، نرم افزارEmeraude .

۱. مقدمه

در مهندسی مخزن، تعیین نفوذپذیری اهمیت زیادی درتشخیص نحوه جریان سیال دارد. چندین راه برای توصیف و بدست آوردن نفوذپذیری در مخازن وجود دارد، که عبارتند از: روابط تجربی، استفاده از مغزه، روش عددی، روش های شبکه عصبی، استفاده از لاگ‌های تولید، روش تحلیلی شامل شناخت گل حفاری [۱]. نفوذپذیری عموماً به کمک مغزه و یا داده‌های چاه آزمایی محاسبه می‌شود. روش شبکه عصبی با نمودارهای گوناگون چاه، اغلب با روش رگرسیون یک یا چند متغییر خطی یا غیرخطی مانندفرآیند گوسی مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش‌های چاه آزمایی و مغزه عموماً زمان بر و گران می‌باشند. بدین

لحاظ اخیراً روش استفاده از نمودارهای تولید برای تعیین نفوذپذیری ارائه شده است. نمودارهای تولید هنگامی پیشنهاد می شود که چاه در حالت پایدار بوده و بتوان جریان را تک فاز و با محیط هموژن در نظر گرفت [۲و۳]. این روش به طور مناسب در مخازن ماسه‌سنگی به خوبی جواب می‌دهد، اما از این روش در مخازن کربناته به خاطر پیشرفت در بدست آوردن نفوذپذیری استفاده می‌شود. مهم‌ترین ویژگی روش لاگ‌های تولید این است که می‌توان توزیع عمودی درستی از نفوذپذیری را به دست آورد که به توصیف صحیح واحدهای جریان در مخزن کمک کند [۴و۵]. در مخزن تنگیز در غرب قزاقستان با استفاده از نمودارهای تولید مقدار نفوذپذیری را با حل کردن قانون دارسی در اینتروال‌های مختلف چاه، با استفاده از فشار های جریانی و فشار استاتیک، به علاوه‌ی ویژگی‌های چاه، مخزن و سیال به عنوان ورودی آن محاسبه می‌گردد. مدل‌های دارای داده‌های لاگ تولید برآورد قابل اعتمادتری، برای تزریق گاز در سکوی تنگیز را فراهم می‌کند [۶]. اخیرا در ایران با استفاده از نمودارهای تولید برای تعیین میزان تولید آب اضافی در میدان اهواز و افزایش فشار ناگهانی در چاه در میدان آغاجاری مورد استفاده قرار گرفته است. هافمن[1] و همکارنش در سال ۲۰۱۰ میلادی از لاگ‌های تولید برای تعیین خواص شکستگی‌ها استفاده کردند. در این تحقیق از یک الگوریتم مشخص برای توصیف شکستگی‌ها استفاده شد. نتیجه‌ای که از این تحقیق حاصل شد، میزان جریان به دست آمده از هرشکستگی همسان و بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشد. خطای آن کمتر از یک درصد است. شکستگی‌های با طولانی‌ترین طول شکستگی بیشترین میزان تولید را دارد [۷].

۱.۱. معرفی نرم افزار امراد

ورود کامپیوتر باعث شده است که بسیاری از محاسبات که ممکن است سخت و از نظر زمانی بسیار وقت‌گیر باشد، در کسری از ثانیه و با دقت زیادی توسط کامپیوتر انجام شود. در مورد لاگ‌گیری تولید نیز امروزه از نرم افزارهای تخصصی که این محاسبات را به صورت برنامه ریزی شده در خود جای داده‌اند استفاده می‌شود. البته برای تفسیر نتایج لاگ‌گیری نیاز است که مفاهیم اولیه‌ی آن به صورتی مورد بحث قرار گیرد، زیرا در این صورت استفاده کننده از نرم افزارهای تخصصی، دانش نحوه‌ی رسیدن نرم افزار به جواب مطلوب را دارد و این برای یک تعبیر و تفسیر خوب و قابل اطمینان بسیار کمک کننده است. نرم افزار امراد از سری نرم افزارهای تخصصی مهندسی نفت شرکت(Kappa) است که برای تحلیل و آنالیز داده های لاگ‌گیری تولید و لاگ‌های پالس نوترون به کار می‌رود. در حال حاضر این نرم افزار تقریبا در عمده‌ی شرکت های خدماتی لاگ‌گیری و دیگر شرکت های کارفرما و شرکت های مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم افزار توانایی تحلیل داده‌های لاگ-گیری تولید در چاه های تزریقی عمودی تا افقی و همچنین چاه های تولیدی چند فازی با انحراف زیاد را دارا می‌باشد. در این نرم افزار امکاناتی فراهم شده است تا داده های به دست آمده از تمام رشته ابزارهای متداول و ابزارهای مدرن امروزی، قابل تحلیل باشند. در این نرم افزار محاسبات نرخ جریان با استفاده از مسئله کمینه سازی ۲و رگرسیون غیر خطی۳ انجام می‌شود. رگرسیون غیر خطی دارای انعطاف پذیری کاملی در نوع و تعداد اندازه‌گیری‌هایی که قابل کنترل هستند، می‌باشد. در حقیقت در نرم افزار امراد ، نرخ های جریان به دست آمده، نتیجه‌ی محاسبات با استفاده از معادلات نیستند، بلکه آنها نتیجه‌ی فرآیندی براساس شبیه سازی داده ها و رگرسیون غیر خطی می باشند.

۲. روش تحقیق

اساس ابزار نمودارهای تولید متشکل از پروانه ای است که حول یک محور می‌چرخد. با توجه به جهت حرکت ابزار و سرعت چرخش پروانه، می‌توان سرعت حرکت سیال را با استفاده از نرم‌افزار Emeraude به دست آورد، سپس پروفایل جریان تولید را

1. Hoffman
2 Minimization problem
3 Nonlinear Regression

تعیین نمود. با داشتن پروفایل جریان تولید برای بدست آوردن نفوذپذیری از رابطه دارسی، نیاز به خواص سیال وسنگ، ضریب پوسته، فشارمخزن، وفشار چاه است. در مخازن کربناته چون محیط هتروژن می‌باشد، برای استفاده از نمودارهای تولید برای برقراری رابطه دارسی، محیط به ابعاد یک متر یک متر تقسیم می‌کنند تا محیط هموژن در نظر گرفته شود در مخازن کربناته، پیشنهاد می شود از روش نمودارهای تولید با احتیاط استفاده شود زیرا فرض می شود که جریان تک فاز بوده یا ویسکوزیته آب و نفت با یکدیگر برابر در نظر گرفته می‌شود تا بتوان از یک ویسکوزیته مشخص استفاده کرد. همچنین. بدلیل این محدودیت ها، کاربردآن در مخازن چند فازی با ویسکوزیته های مختلف، مناسب نیست. همچنین در اطراف چاه ها وبه خصوص در چاه‌های گازی، که جریان های غیر دارسی پدید می آید یا در چاه‌های افقی و یا چاه‌هایی با زاویه زیاد نیزتعیین نفوذپذیری با روش نمودارگیری تولید غیر ممکن است. از آنجائیکه نمودارهای تولید در هر ناحیه یک متری بیان می‌گردد، فرض می‌شود که در بازه مورد بررسی، تمام خصوصیات صدق می‌کند و مخزن هموژن می‌باشد. برای گرفتن نمودارتولید باید چاه را پایدار کرد و سپس جریان را در چاه برقرار نمود. بعد از انجام اینکار، جریان در چاه بسته شده و تست فشاربالا دستی[1] انجام می‌گیرد. پروفایل جریان مورد آنالیز قرارگرفته و جریان در لایه‌های نفوذپذیر محاسبه می‌گردد.

نمودارهای تولید، پارامترهای سیال به صورت ناحیه به ناحیه و اطلاعات مربوط به نوع و چگونگی تولید و حرکت سیال درون چاه و یا نزدیک دهانه چاه را می‌دهد. با استفاده از نمودارهای تولید دسته‌ی از نمودارها که شامل دما، فشار، چگالی سیال، کسر آب جریان و سرعت سیال(میزان دبی) در یک چاه تولیدی و یا تزریقی تکمیل شده رانده و از نتایج حاصل می‌توان پارامترهای تخلخل، اشباع شدگی، نفوذپذیری، ضخامت ناحیه تولید و لیتولوژی سازند را به دست آورد. اگر نمودارگیری با استفاده از جریان‌سنج پروانه‌ای به درستی انجام شود، در جریان تک فازی در چاهی با قطر ثابت باید به پروفایل جریان مطمئنی برسند. به هر حال جریان‌سنج پروانه‌ای قابلیت ایجاد مشکلات مکانیکی را داراست. بنابراین کیفیت نمودارهای به دست آمده به شدت به روش نمودارگیری و همچنین دقتی که در عملیات نمودارگیری وجود دارد، بستگی دارد. اگر سطح مقطع چاه متغیر باشد، مانند چاه‌هایی که از لوله جداری استفاده نمی‌شود. برای تعبیر و تفسیر نمودارهای که به وسیله‌ی جریان‌سنج پروانه‌ای به دست آمده اند، به نمودار قطر سنج نیاز دارند. در جریان‌های چند فازی برای تحلیل کامل جریان به نمودارهای کمکی دیگری نیاز دارند [۸و۹]. ابزار نمودارهای تولید فرستاده شده درون چاه خود از سیزده قسمت مختلف تشکیل شده است. شرکت شلمبرژه[2] به صورت شکل ۱ شماتیک ابزارتولید نشان داده شده است.

شکل۱- ابزار لاگ‌های تولید

ابزار باراندن درون چاه در زمان‌های جریان پایدار و بسته بودن چاه، پالس‌های الکتریکی مختلفی را در هر بازه عمقی ثبت می‌کند. گیرنده‌ها این پالس‌ها را به داده های دیجیتال تبدیل می‌کنند. براساس این داده ها، نمودارهای مختلف با کمک نرم افزار Emeraude ترسیم شده و می توان در تعیین نفوذپذیری، ازآنها استفاده نمود [۱۰].

1. buildup
2. Schlumberger

برای هر پروفایل جریان در هر یک متر(h=1)، ستون جریان در نظر گرفته و نفوذپذیری از رابطه۱محاسبه می‌گردد.

$$k_{plt} = \frac{c * q_i * \mu_o * \beta_o}{(p_e - p_{wf})} \left[Ln(\frac{r_d}{r_w}) + s' \right] \quad (۱)$$

که در معادله c ثابت معادله، اگر عمق بر حسب فوت برابر با ۱۴۱.۲ و اگر بر حسب متر برابر با۴۳.۰۷ می‌باشد. q_i میزان جریان که توسط نرم افزار امراد[1] بدست می‌آورند. μ_o ویسکوزیته ،Pe فشار مرزهای خارجی بر حسب Pwf،psi فشار داخلی چاه بر حسب S،psi ضریب پوسته می‌باشد. Bo ضریب حجمی تشکیل نفت که نسبت نفت اندازه‌گیری شده در مخزن به نفت اندازه‌گیری شده در شرایط استاندارد را نشان می‌دهد، بر حسب BBL/STB قرار دارد. r_d شعاع تخلیه و r_w شعاع چاه می‌باشد.

یکی از نکات مهمی که باید در مورد آن اطلاعات کامل و کافی داشته باشند شرایط استفاده از معادله دارسی(رابطه۱) می‌باشد. فرضیاتی که در استفاده از معادله دارسی می‌توان در نظر گرفت. جریان را به صورت پایدار و پایا در نظر می‌گیرند. جریان را به صورت صد در صد اشباع فرض می‌کنند. واکنش شیمیایی بین سیال و سنگ اتفاق نمی‌افتد. با افزایش دما ویسکوزیته تغییر نمی‌کند. سیال تراکم ناپذیر می‌باشد. دما ثابت و جریان آرام می‌باشد. نرم‌افزار با در نظر گرفتن تمامی این شرایط از معادله دارسی در به دست آوردن نفوذپذیری استفاده می‌کند[۲].

۱.۲. تفسیر نمودارهای جریان سنج پروانه‌ای

به خاطره پیچیدگی موجود در جریان های چند فازی، بعضی اوقات تمام چیزی که از لاگ‌گیری تولید در یک چاه چند فازی می‌توان به دست آورد، یک نمای کیفی از پروفایل جریان است. اغلب اوقات بهترین و قابل اعتمادترین تفسیر در مورد یک چاه چند فازی استفاده از لاگ دما می‌باشد. بنابراین مهندسی که لاگ‌ها را در چاه‌های چند فازی تفسیر می‌کند بایستی دستورالعمل‌های تفسیر را به دقت استفاده کند و با آزمایش میزان دقت هر لاگ ، دقت پروفایل جریان توصیف شده را تعیین کند[۱۱و۱۲].

عوامل متعددی سبب ایجاد خطا در روش لاگ‌های تولیدمی شونداز‌جمله:

- تغییر در خواص μ_o و β_o در بازه بسیار کوچک در حدود ۵ درصد در محاسبات بر روی نفوذپذیری تاثیر می‌گذارد.
- خطا در فشار پایین دستی[2]علت نسبی خطا در محاسبات نفوذپذیری است این خطا در بیشترین حالت خود می‌تواند باعث ده درصد اختلاف در مقدار واقعی نفوذپذیری شود.
- مقدار جریان را باید از لاگ‌های تولید بدست آورند. این روش همواره ممکن نیست و دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. میزان جریان پایدار اندازه‌گیری شده حدود ده درصد با جریان سطحی دارای اختلاف می‌باشد، که این میزان در تعیین نفوذپذیری بسیار ناچیز می‌باشد.
- اثر پوسته[3]،که تاثیر بسیار زیادی بر روی نفوذپذیری دارد زیرا این ضریب از چند چاه مختلف تاثیر می‌گیرد [۱۳].

تمام تفسیرهای نمودار جریان سنج پروانه‌ای، بر این مبنا است که پاسخ جریان سنج، یک تابع خطی از سرعت سیال می‌باشد [۱۴]. در حالت نمودارگیری دینامیکی فرض دیگری نیز انجام می‌شود مبنی بر این که سرعت سیال و سرعت حرکت ابزار جمع پذیر هستند. دراینحالت جریان سنج به یک سرعت موثر v_e، پاسخی می دهد که از رابطه ۲ به دست می‌آید [۱۵].

$$v_e = v_f + v_T \quad (۲)$$

[1] -Emeraude

[2] -Draw dawn

[3] -Skin

درآن، v_f سرعت سیال و v_T سرعت ابزار می باشد. همواره فرض می‌شود که جهت حرکت سیال v_f مثبت است، اگر v_T در جهت مخالف v_f باشد علامت آن مثبت و درغیراینصورت منفی در نظر گرفته می‌شود. سرعت موثر منفی نشان دهنده روبه بالا بودن سرعت جریان سنج می باشد. پاسخ جریان سنج پروانه‌ای به سرعت موثر به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود. در سرعت های پایین، پاسخ واقعی پروانه کاهش یافته تا به سرعت آستانه v_t برسد. در این سرعت، پروانه جریان سنج نمی-چرخد. [۱۵].

۲.۲. استفاده از نرم افزارEmeraude

نرم افزار امراد از سری نرم افزارهای تخصصی مهندسی نفت شرکت کاپا[1] است. برای تحلیل و آنالیز داده های لاگ‌گیری تولید و لاگ‌های پالس نوترون به کار می‌رود. در حال حاضر این نرم افزار تقریبا در عمده‌ی شرکت های خدماتی لاگ‌گیری و دیگر شرکت های کارفرما و شرکت های مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۵].

این نرم افزار توانایی تحلیل داده‌های لاگ‌گیری تولید در چاه های تزریقی عمودی تا افقی و همچنین چاه‌های تولیدی چند فازی با انحراف زیاد را دارا می‌باشد. در این نرم افزار امکاناتی فراهم شده است تا داده‌های به دست آمده از تمام رشته ابزارهای متداول و ابزارهای مدرن امروزی، قابل تحلیل باشند. در این نرم‌افزار محاسبات نرخ جریان با استفاده از مسئله کمینه سازی[2]و رگرسیون غیر خطی[3] انجام می‌شود. رگرسیون غیر خطی دارای انعطاف‌پذیری کاملی در نوع و تعداد اندازه‌گیری‌هایی که قابل کنترل هستند قرار دارد. در نرم افزار امراد نرخ های جریان به دست آمده، نتیجه‌ی محاسبات با استفاده از معادلات نیستند، بلکه آنها نتیجه‌ی فرآیندی براساس شبیه سازی داده ها و رگرسیون غیر خطی می باشند.

برای وارد کردن داده‌ها در نرم افزار در قسمت (Load) ابتدا پنج برداشت در زمانی که ابزار به سمت پایین رانده شده و پنج برداشت که ابزار در زمان بالا کشیدن از درون چاه صورت گرفته است و یک برداشت کالیبر شده را وارد می‌کند.برداشت‌های صورت گرفته توسط ابزار شامل لاگ‌های گاما، دانسیته، دما، فشار، تعداد دور در ثانیه دستگاه،نمودار اشعه گاما یا محل اتصال لوله‌های جداری[4] و سرعت کابل می‌باشد. اگر میزان انحراف در هر پارامتر اندازه گیری شده در چاه را به صورت یک تابع E در نظر گرفت این میزان انحراف برابر است با تفاضل پارامتر اندازه گیری شده با پارامتر شبیه سازی شده می باشد. هر جمله خاص در تابع E یک باقیمانده خوانده می‌شود و به هر باقیمانده می توان یک وزن خاص اختصاص داد. هر باقیمانده متناظر با یک ابزار خاص و افزودن یک ابزار جدید تنها متناظر با افزودن یک جمله باقیمانده در تابع هدف می‌باشد. به طور مشخص این روش می‌تواند انعطاف پذیری زیادی را ایجاد کند، همان طور که محاسبات می‌تواند به آسانی به هر گونه مجموعه کافی اندازه‌گیری‌ها تطابق داده شود، اگر چه تعدادی از آن ها ایجاد کننده‌ی اطلاعات اضافی باشد.

دیگر تفاوت قابل توجه در این روش این است که هر گونه مرحله‌ی محاسباتی مورد نیاز می‌تواند به آسانی در مدل به کار برده تا اندازه‌گیری‌ها به صورت دقیق شبیه سازی شوند. برای مثال، هنگامی که اندازه‌گیری‌های گرادیومانومتر وجود دارد، مدل به کار برده شده باعث ایجاد پاسخ کامل ابزار شامل تاثیرت اصطکاک و تاثیرات انحراف چاه می‌شود. به عبارت دیگر، اصطکاک ها به هیدرواستاتیکی شبیه سازی شده اضافه می‌شوند، در حالی که روش‌های متداول سعی در حذف اصطکاک ها از گرادیان اندازه گیری شده دارند [۱۰]. در روش نمودارهای تولید با قرار دادن پارامترهای در سطح از جمله دبی گاز، دبی نفت و دبی آب در معادلاتی از جمله سرعت ظاهری و غیره یک سری داده ها شبیه سازی می شود که از این داده های شبیه سازی شده داده های واقعی را به دست می آوریم و اگر مسیر برگشت این روش را در نمودارهای تولیدی برویم می توانیم با یک سری داده های واقعی به دست آمده از لاگ میزان تولید در هر نواحی چاه را به دست آورد [۱۶].

---

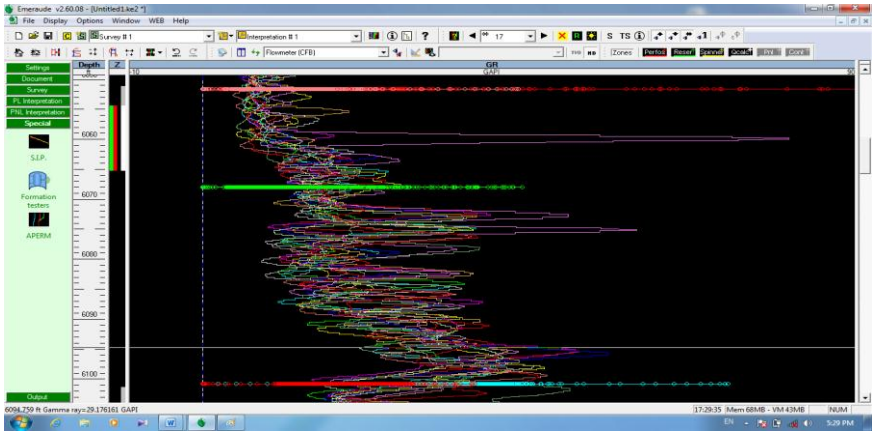
[1] -Kappa
[2]-minimization problem
[3]-Nonlinear Regression
[4]-CCL

۳. مطالعه موردی

بر اساس گزارش تکمیلی ارائه شده در زمان راندن ابزار چاه موردمطالعه در خلیج فارس واقع شده است. باتوجه به داده های حفاری، هیچ گسلی مشاهده نشده است. خواص سنگ شناسی سازندهای حفاری شده در محل چاه مورد مطالعه بر مبنای خرده سنگ‌های[۱] به دست آمده در زمان حفاری و در مواردی مطابقت آنها با نمودارهای گرفته شده، تعیین شده است .

برای به دست آوردن نواحی مخزنی در چاه مورد مطالعه باید ابتدا نواحی مشبک کاری شده را با استفاده از از اطلاعات زمین شناسی و نمودارهای به دست آمده در از ابزار تولید مشخص گردد. بر اساس گزارش تکمیلی چاه در چاه مورد مطالعه ناحیه مخزنی چاه در سازند سورمه قرار دارد که هم ارز سازند عرب در عربستان می‌باشد لیتولوزی این سازند غالباً از آهک، دولومیت،آهک دولومیتی، انیدریت، دولومیت های انیدریتی و رس های نازک لایه تشکیل شده است از لیتولوژی به دست آمده می‌توان دریافت که چاه مورد مطلعه کربناته می باشد فرضیات استفاده از ابزار نمودارهای تولید در مخازن کربناته باید در نظر گرفت. پس با به دست آوردن نوع لیتولوژی با استفاده از نمودارهای پرتو گاما، جریان سنج پروانه‌ای، دما، چگالی سیال و فشار نواحی مخزنی را در چاه مورد مطالعه به دست آورد [۱۶].

اولین نمودار که برای نشان دادن نواحی مخزنی از آن استفاده می کنند، نمودار پرتو گاما است که رادیواکتیویته طبیعی سنگ‌ها را اندازه‌گیری می کند. رادیواکتیویته پایین، نمودار را به سمت چپ و رادیواکتیویته بالا، نمودار را به سمت راست هدایت می-کند. نمودار شیل‌ها به علت داشتن رادیواکتیویته به سمت راست هدایت می‌شوند. ماسه سنگ ها و سنگ های آهکی به عنوان سنگ مخزن نمودار را به سمت چپ متمایل می کند. مقدار شیل در یک ماسه سنگ آهک می‌تواند از طریق میزان رادیواکتیو آن در پرتو گاما محاسبه شود. سنگ های دولومیتی مثل شیل ها دارای نمودار پرتوگاما بالایی می‌باشند. لذا برای تفکیک این دو سنگ از یکدیگر، باید از نمودارهای دما یا فشار استفاده کرد در چاه مورد مطالعه به دلیل اینکه لیتولوژی آهکی می باشد پس نواحی مخزنی می‌تواند در عمق‌های که میزان پرتو گاما کاهش پیدا کرده است وجود داشته باشد پس این نواحی را با استفاده از نمودار جریان سنج بهتر می توان مشخص کرد.



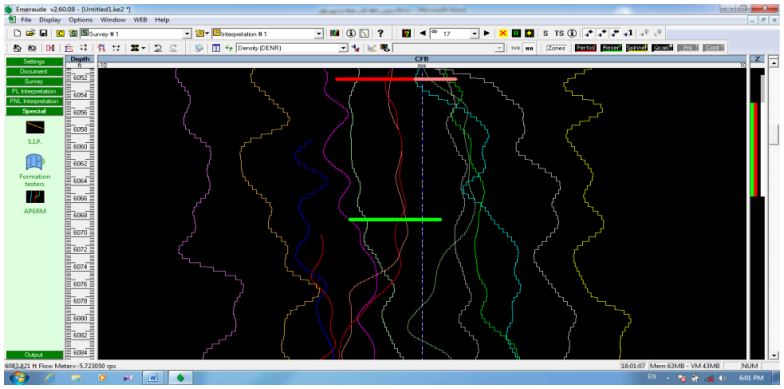
شکل ۲- کاهش میزان پرتوگاما در نواحی مخزنی [۱۱]

نمودار جریان سنج (CFB)، یکی از مهم ترین نمودارهای نگارهای تولید می باشد که با کمک آن می‌توان نواحی تولید ، ارزیابی عملیات تحریک چاه، روش های ازدیاد و برداشت و محاسبات مربوط به (AOF)[۲] و (SIP)[۱] را انجام داد. با استفاده از این نمودار می توان سرعت سیال و میزان دبی جریان سنج پروانه‌ای را محاسبه کرد.

---

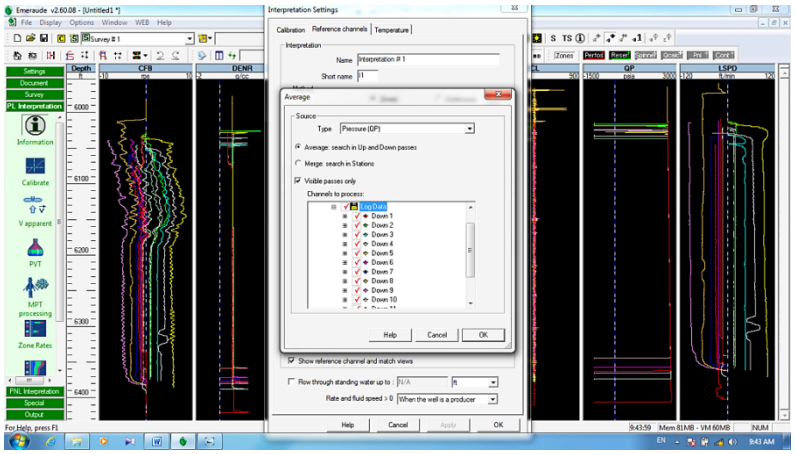
[۱]-Cutting

۲–Absolute Open Flow Potential



شکل۳- نگار جریان سنج پروانه‌ای [۱۱]

بعد از ثبت داده ها، مشخصات دستگاه، تعریف نواحی مشبک کاری، و مشخصات چاه، می بایست تفاسیرصورت گیرد. برای تفسیرنیاز به فراهم کردن محیط است این محیط را با استفاده از قسمت اول پنجره تفسیر فراهم می کنند. در راندن های مختلف ابزار برداشت های متفاوتی در نمودار های مختلف می شود با این پنجره می توان مشخص کرد هر یک از نمودار های گرفته شده (فشار، دما و دانسیته) در راندن های مختلف ابزار ، از کدام نمودار به دست آمده در نرم افزار استفاده کرد پس ازتعیین محیط تفسیر، بعد از ایجاد کردن محیط تفسیر برای کالیبره کردن لاگ‌ها در قسمت کالیبره فواصلی را برای کالیبره انتخاب می‌کنند. این بخش‌ها نمی‌تواند در محل مشبک‌کاری شده انتخاب شود و باید در بالا یا پایین این قسمت ها انتخاب شود. برای چاه مورد مطالعه سه فاصله را برای کالیبره کردن انتخاب می‌کنند.

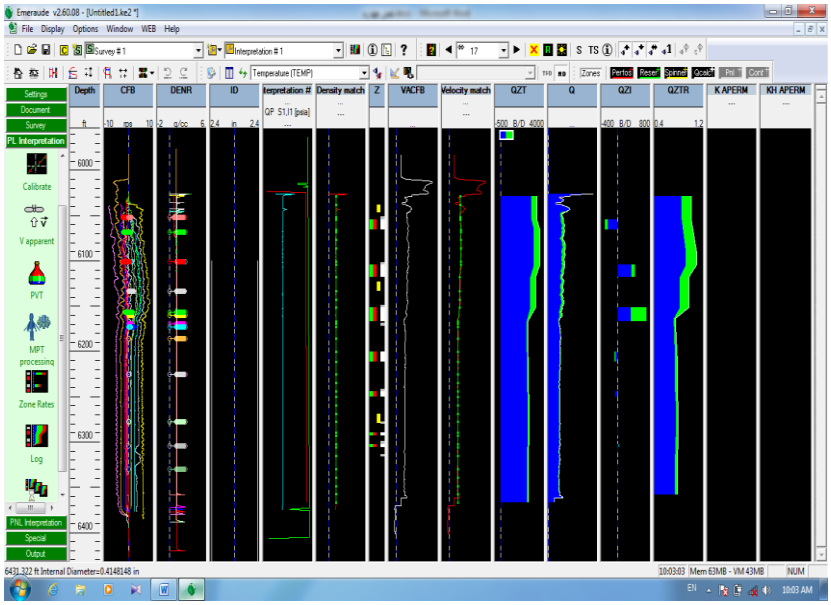


شکل۴- ایجاد محیط تفسیر[۱۱]

بعد از انتخاب فواصل کالیبره سرعت ظاهری براساس انتخاب ناحیه‌های مشبک کاری شده، نواحی مخزنی، محیط ایجاد شده برای تفسیر و فواصل کالیبره شده رسم می‌شود. برای ورود خصوصیات سنگ وسیال از قسمت(PVT) در بخش تفسیراستفاده می شود. در قسمت (Zone Rate) نوع مدل چاه مورد مطالعه که شامل آب و هیدروکربن است وهمچنین دبی آب، نفت و هیدروکربن گازی تولید شده در سطح، واردمی شود. این مقدار برای آب ۴۹۸ STB / D و نفت۵۱۸ STB / D وهیدروکربن گازی ۹۰ $Mscf/D$ است [۱۱].

در قسمت(LOG) میزان دبی درون چاه، در هر فوت تعیین می شود. درشکل ۵ دبی چاه از عمق ۵۹۸۳.۵۳ تا عمق ۶۴۰۲.۵۳ آمده است.

[۳]- Selective Inflow Performance



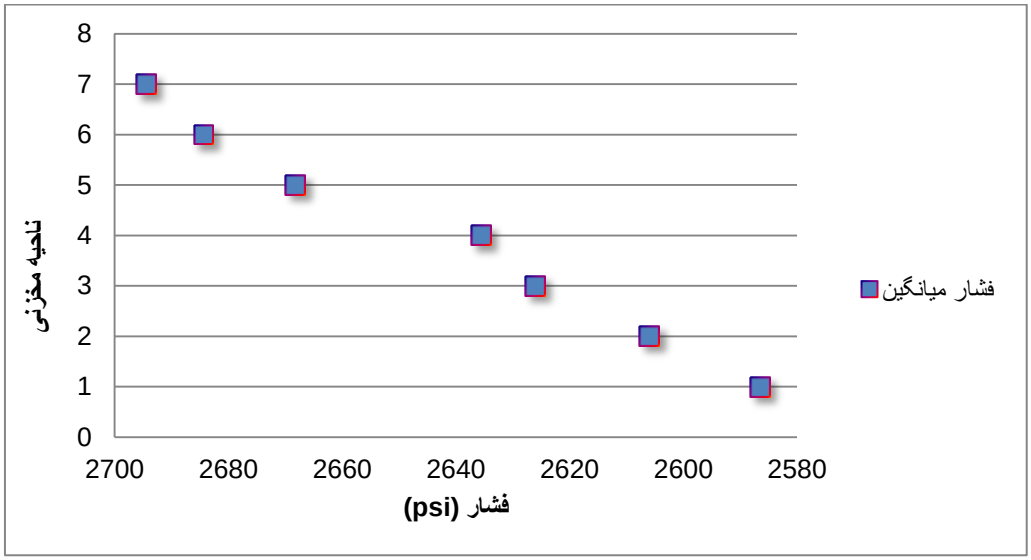
شکل ۵- دبی به دست آمده از نرم افزار PLT [۱۱]

پارامترهای مورد نیاز برای به دست آوردن نفوذپذیری شامل فشار مرزهای خارجی[1]، فشار چاه[2]، شعاع بیرونی چاه، شعاع چاه، اثر پوسته، ویسکوزیته، دبی، نفوذپذیری نرم‌افزار، نفوذپذیری ضربدر ارتفاع می‌باشد. مقدار ضریب پوسته چون چاه در حال تولید می‌باشد برابر صفر می‌باشد. میزان دبی با استفاده از نرم افزار از طریق روش نمودارگیری درحال تولید به دست آمد شکل ۵ میزان دبی به دست آمده از نرم افزار را نشان می دهد. مقدار شعاع خارجی و شعاع داخلی چاه به ترتیب ۴.۵ و ۲.۲۵ اینچ قرار می‌دهند. میزان ویسکوزیته را خود نرم افزار محاسبه می کند. برای محاسبه ویسکوزیته باید ابتدا یک میزان مبنا برابر حاصل ضرب نفوذپذیری در ارتفاع برای نرم افزار تعریف نمود که این میزان برای چاه مورد مطالعه برابر ۱۰۰ قرار داده‌اند. برای به دست آوردن فشار چاه ابتدا از بخش تفسیر از قسمت پی‌وی‌تی میزان فشار نقطه حباب را به دست می‌آورند. میزان فشار در این چاه برابر با ۱۰۶۲.۴۰۸(psi) می‌باشد. با استفاده از تجربه، فشارچاه همواره بین ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ (psi) بیشتر از فشار نقطه حباب قرار می‌دهند. در این مطالعه فشار چاه، ۱۲۰۰(psi) بیشتر از فشار نقطه حباب قرار داده‌اند بنابراین میزان فشارچاه، ۲۰۶۲.۴۰۸ (psi) است. برای تعیین فشار(Pave) که ازاهمیت زیادی برخورداراست، ابتدا می بایست فشار (S.I.P) را به دست آورد برای فعال کردن این قسمت، یک تفسیر دیگر در کنار تفسیر قبلی ایجادمی‌شود.

۱.۳. پارامترهای مؤثر بر نفوذپذیری

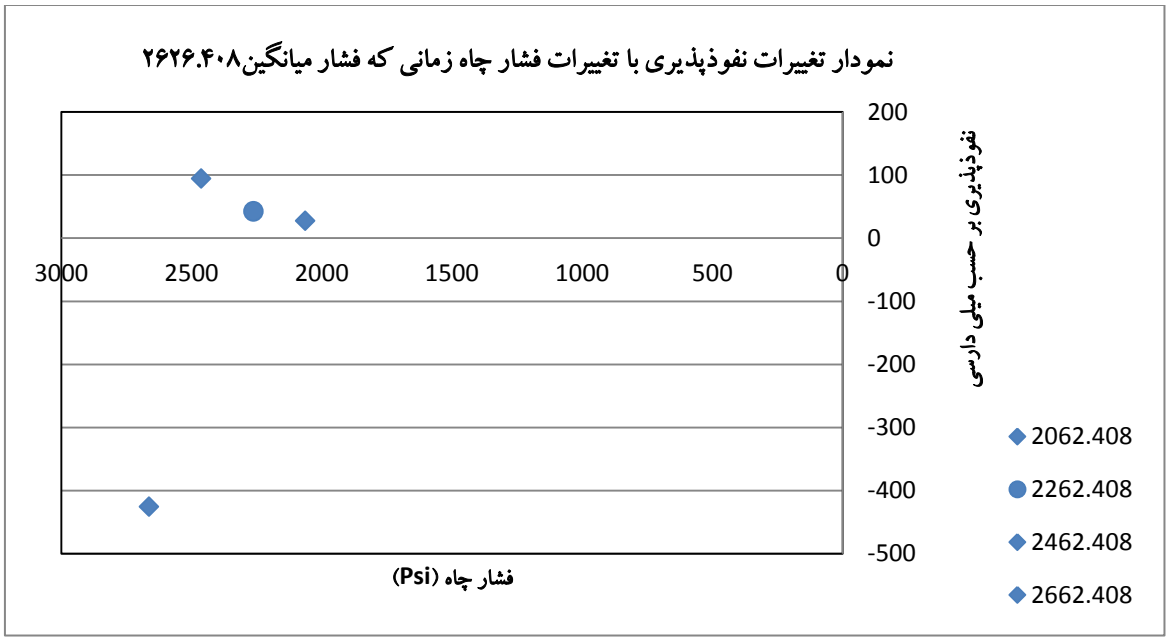
✓ **فشار میانگین:** *مرزهای خارجی مخزن در عمق‌های مختلف، دارای فشارهای مختلفی می‌باشند. میانگین این فشارها* Pave *نامیده می شود.* فشار میانگین را می توان از از روش های مختلف آماری به دست آورد. یکی دیگراز روش ها، جریان انتخابی است که براساس روابط تجربی تعیین شده با استفاده از جریان انتخابی می توان اندیس شاخص تولید را به دست آورد بر اساس مطالعه انجام گرفته مشاهده می شود در نواحی که اندیس شاخص تولید پایین باشد مثل ناحیه ۶ در شکل ۵ بهتر است برای به دست آوردن نفوذپذیری از نرم افزار استفاده نشود [۱۱].

[1] Pave
[2] P wf



شکل۶- نتایج فشار (SIP)[۱۱]

✓ **فشار چاه** : این فشار بسیار بر میزان نفوذپذیری تاثیر گذار بوده تا جای که با افزایش ۲۰۰ (psi) میزان نفوذپذیری دو برابر شده است. برای به دست آوردن این فشار از فشار نقطه حباب در قسمت (PVT) در بخش تفسیر می‌توان استفاده کرد که در این چاه بر حسب تجربه فشار ۱۲۰۰(psi) بیشتر از فشار نقطه حباب در نظر گرفته‌اند. یعنی فشار نقطه حباب ۱۰۶۲.۴۰۸(psi) بوده و ما فشار (Pwf)، ۲۲۶۲.۴۰۸(psi) در نظرگرفته اند.



شکل۷- تاثیرات فشار چاه بر نفوذپذیری[۱۱]

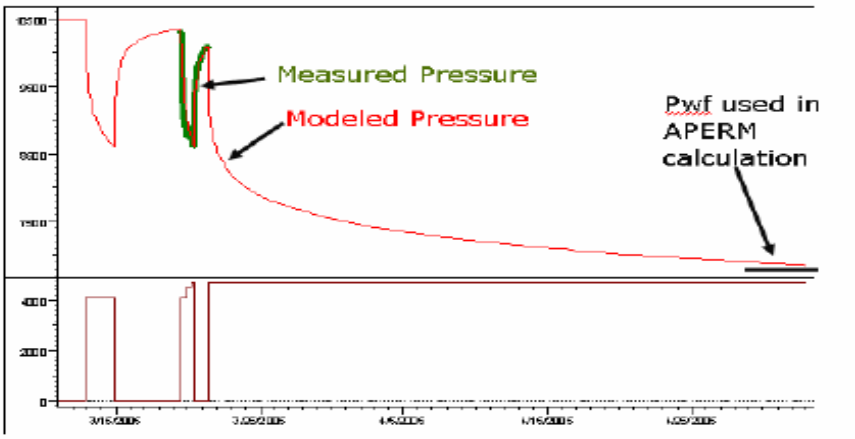
✓ خواص سیال و خواص چاه(B،rw،Re،Mu): تاثیرات خواص سیال بر روی نفوذپذیری بسیار کم است چون محدود تغییراتی که بر روی فشار ایجاد می کند کمتر از۵٪ می‌باشد. شعاع چاه و شعاع بیرونی به علت اینکه در یک جمله لگاریتمی قرار دارند می‌تواند بر میزان نفوذپذیری تاثیر گذار باشد تا جای که با افزیش ۲۰٪ در شعاع بیرونی میزان نفوذپذیری ۱.۰۸٪ افزایش می‌یابد.

✓ میزان جریان (Q): معمولا نمودارهای تولید که با جریان پایدار اندازه گیری شده با مقیاس سطحی دقیق انجام می‌شوند، با نرخ‌های جریان در سطح با اختلاف کمتر از ۱۰٪ مطابقت دارند. از آنجا که نرخ جریان متناسب با نفوذپذیری محاسبه شده است، این مقدار تاثیر ناچیزی بر روی نفوذپذیری دارد.

۲.۳. اطمینان بخشی فشار جریان انتخابی(SIP)

اطلاع از زمان مورد نیاز برای تثبیت جریان پایداراهمیت زیادی دارد. ابزار نمودارهای تولید که بالاتر از مشبک کاری‌ها قرار گرفته اند، در زمانی که جریان در چاه برقرار شود، نرخ های جریان و فشاررا برای پایداری قبل از شروع جریان پایدار، بررسی می کنند. دراینحالت نمودار آنی فشارتعیین می شودکه در مقیاس لگاریتمی بوده و برای ارزیابی پایداری به کار می‌رود. نمودار لگاریتم تشخیص فشار برای اصول اطمینان از رسیدن به دوره زمانی جریان شعاعی با عملکرد نامحدود قبل از اتمام افزایش فشار به کار می رود، سپس داده های نرخ جریان و فشار می‌تواند توسط نرم افزار تحلیل فشارگذرا، تحلیل شوند با این کار یک مدل تفسیر ساخته اند که می‌تواند برای برون یابی میزان فشار جریانی پایدار شده در چاه به کار رود شکل۶ [۲].

در برخی از چاه های با نفوذپذیری کم، فشار نسبت به زمان پایدار نمی‌گردد. در عمل مسیرهای جریان در مدت ۸ الی ۱۲ ساعت پس از باز کردن جریان چاه، شروع می‌شود. اگر جریان تا آن زمان پایدار شده باشد، بعید است که گذشته ۱۲ ساعت بیشتر، تفاوت قابل توجهی ایجاد کند. پس از کامل شدن مسیرهای جریان، چاه برای افزایش فشار[1] بسته می شود. نمودار لگاریتم تشخیص فشار برای حصول اطمینان از رسیدن به دوره زمانی جریان شعاعی با عملکرد نامحدود، قبل از اتمام افزایش فشار به کار می رود. سپس داده های نرخ جریان و فشار می‌توانند توسط نرم افزار تحلیل فشارگذرا، تحلیل شوند. سپس مطابق شکل ۶ یک مدل تفسیری ساخته می شود که می‌تواند برای برون یابی میزان فشار جریانی پایدار شده در چاه به کار رود.



شکل ۸- عدم پایداری چاه درابتدا، با گذشت زمان لازم برای پایداری نمودارهای تولید [۲]

با داشتن این مدل، فشار (S.I.P) فعال شده وبرای قسمت های (Pave)، (AOF) و (PI) در هر زون مشخص بکارمی رود. باتعیین فشار (Pave) در هر زون، نفوذپذیری درفواصل مختلف مطابق جدول ۱ بدست می آید.

جدول ۱- نفوذپذیری حاصل از نرم افزار (PLT) در فواصل مشبک کاری شده [۱۲]

زون	فواصل مشبک کاری شده بر حسب فوت (ft)	نفوذپذیری به دست آمده از نرم افزار PLT بر حسب میلی دارسی(md)
۱	۶۰۵۴/۴۲-۶۰۶۵/۳۳	۳۶/۴۱۹
۲	۶۱۰۴/۶۲-۶۱۱۷/۷۳	۸۶/۸۱۲
۳	۶۱۵۱/۸۲-۶۱۶۷/۳۳	۴۲/۵۱
۴	۶۲۰۰/۲۱-۶۲۱۱/۸۱	۵/۸۹
۵	۶۲۴۴/۵۹-۶۲۵۰/۶۲	۶/۳۴
۶	۶۲۸۹/۳۴-۶۲۹۲/۷۴	/۴۳۴
۷	۶۳۰۲/۶-۶۳۰۶/۲	۱۰/۸۵۵

[1]- Pressure Build Up

برای اعتبار سنجی از داده‌های مغزه استفاده شده است. این داده ها در فواصل مختلف از عمق ۱۸۴۴/۰۲ متر تا عمق۱۹۵۰/۶ متری است. به منظورمقایسه بهتر، می توان داده‌های مغزه را مرتب کرد. برای اینکار هفت درصداز نفوذپذیری بالا و پایین حاصل ازمغزه حذف شده ومیانگین آن درهربازه تعیین می گردد. درشکل ۷ نفوذپذیری به دست آمده از هر دو روش با نمودار لگاریتمی آمده است.

شکل۹- مقایسه نفوذپذیری به دست آمده از مغزه و نرم افزار [۱۲]

با توجه به شکل۷ مشاهده می شودکه نفوذپذیری های به دست آمده در نواحی۱، ۲، ۳و ۵ به یکدیگر نزدیک هستند. در ناحیه ۷ نیز اختلاف بسیار کم می‌باشد اما در نواحی ۴ و ۶ اختلاف قابل ملاحظه ای در نفوذپذیری به دست آمده از دو روش وجوددارد. علت این اختلاف می تواند ناشی ازچند عامل باشدکه عبارتنداز: دراستفاده از ابزار نمودارهای تولیدفرض شد که محیط تک فاز و چاه مورد مطالعه هموژن است درصورتی که ممکن است در این دو ناحیه، محیط از تک فازی خارج شده باشد. علت دوم که می تواند احتمال بیشتری داشته باشد این است که ارتفاع ناحیه تولیدی در این نواحی بسیار کمتر از ارتفاع ناحیه مشبک کاری شده باشد. لذا چون در نرم افزار، این دو ارتفاع برابر گرفته شده است، سبب جواب مناسبی نشده است. همچنین در ناحیه ۶ به علت آن که دبی تولید نفت بسیار پایین است، ابزار نمودارهای تولید جواب مناسبی ندارند.

۴. نتیجه‌گیری

۱- در نواحی که میزان دبی تولید پایین باشد یا به عبارت دیگر شاخص اندیس تولید بسیار کم باشد بهتر است از روش نمودارهای تولید استفاده نکنند و از روش های مستقیم مثل مغزه‌گیری استفاده گردد. اعتماد به نتایج نمودارهای تولید زمانی نتایج بهتری دارد که میزان دبی در حال تولید بسیار اندک نباشد و سرعت آن به اندازه ای باشد که بتواند پره‌های ابزار نمودارهای تولید را بچرخاند.

۲- نفوذپذیری به دست آمده از نرم‌افزار در قیاس با نفوذپذیری به دست آمده از مغزه در بعضی نواحی (۱،۲،۳،۵) جواب نزدیک به یکدیگر را داده است در بعضی از نواحی (۴،۶) نتایج به دست آمده از دو روش فاصله زیادی با یکدیگر دارد.

۳- فشار میانگین(Pave) پارمتر تاثیر گذار بر روی نفوذپذیری می‌باشد به طوری که با افزایش آن میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد پس بسیار پارامتر موثری می‌باشد بهترین و راحت ترین راه برای به دست آوردن از روش جریان انتخابی است.

۴- در بعضی از نواحی در نرم افزار (Emeraude) میزان دبی تولیدی منفی می‌باشد که دلیل این امر می‌تواند جریان های عرضی که بین دو لایه در حال تولید وجود داشته باشد یا اینکه سرعت سیال این‌قدر زیاد باشد که باعث چرخش پره‌پروانه در

جهت عکس شود.

۵- برای به دست آوردن نفوذپذیری از چندین روش مختلف می‌توان استفاده کرد که مطمئن ترین روش استفاده از مغزه می‌باشد اما به علت در دسترس نبودن ابزار اندازه گیری و همچنین پرهزینه بودن استفاده از این روش، روش استفاده از ابزار نمودارهای تولید را معرفی کرده اند زیرا با این روش می‌توان پروفایل تولید را مشخص کرد، کیفیت کیسینگ را به دست آورد و همچنین میزان نفوذپذیری را محاسبه کرد و برای چاه‌های اطراف، آن را تعمیم دهند. و نسبت به روش مغزه گیری بسیار کم هزینه‌تر می‌باشد.

۶- استفاده از ابزار نمودارهای تولید در چاه‌هایی امکان پذیر می‌باشد که محیط هموژن ، جریان به صورت تک فاز ، سیستم در حالت پایدار قرار داشته باشد و در طی چند بسته شدن چاه برای رسیدن به پایداری انجام گیرد.

فهرست علائم و اختصارها :

نام	علامت اختصاری	واحد
شاخص تولید ویژه	Aof	STB/day/psi/ft
ضریب حجمی تشکیل نفت	Bo	Bbl/STB
نفوذپذیری	K	Md
ویسکوزیته	Mu	Cp
فشار میانگین در مرزهای خارجی	Pave	Psi
فشار مرزهای خارجی	Pe	Psi
ابزار نگارهای تولیدی	PLT	-
نسبت تولید	PI	بدون واحد
فشار دهانه چاه برای یک چاه جریانی	Pwf	Psi
نرخ جریان بر حسب شرایط استاندارد	Q	STB/Day
فاصله از مرکز چاه تا مرز خارجی	Re	In
فاصله مرکز چاه تا دهانه چاه	rw	In
اثر پوسته	S	بدون واحد
تخلخل	ϕ	٪
مشخصه هیدرولیکی	Hc	بدون واحد
شعاع فرضی لوله	rp	M

۵. مراجع

۱. لیچائی, ج. (۱۳۸۵). ارزیابی نفوذپذیری با استفاده از داده های چاه پیمایی و تکنیک شبکه عصبی مصنوعی ومقایسه آن با نفوذپذیری معادله کوتس. اولین کنگره مهندسی نفت ایران, ۱-۹.

۲. آقابیگی,م., (۱۳۸۷). کاربرد نمودارهای نگارتولید در بهره برداری از چاه های نفت. ماهنامه اکتشاف وتولید.*شماره ۵۰*

۳. مختاری,ع., قاسم العسکری, م. د. (۱۳۸۷). تحلیل نمودار های تولید. ماهنامه اکتشاف وتولید.*شماره۳۴*

۴. مختاری, ع.,همکاران (۱۳۸۸). بررسی عملکرد چاه ها بصورت لایه به لایه بااستفاده از نمودار گیری تولید. ماهنامه اکتشاف و تولید.*شماره۵۵*

۵. نجفی,س. ع., (۱۳۹۰). کاربرد نمودارهای چندفازی در ارزیابی و انتخاب سیستم های جریان سنج چندفازی. ماهنامه اکتشاف و تولید.*شماره ۸۳*

۶. رستمی, پ. ت. (۱۳۹۲). استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش بینی تراوایی. *اولین کنفرانس* نمایشگاه تخصصی نفت و گاز.

7. McCain, J. W. D., et al. (2011). "Petroleum Reservoir Fluid Property Correlations." Tulsa, Okalahoma, Penn Well Publishing Company.

8. Rabbani.A.(2011)."An analytical estimation of formation permeability by using well logging data."Geosciences Student.

9. Zett. A., et al. (2011). "New Sensor Development Helps Optimise Production Logging Data Acquisition in Horizontal Wells." Society of Petrophysicists and Well Log Analysts, Colorado Springs.

10. Faroognia A., A-Pour R., Torres-Verdín C., and Sepehrnoori K., (2011), Numerical Simulation and Interpretation of Production Logging Measurements Using A New Coupled WellBore-Reservoir Model, SPWLA 52nd Annual Logging Symposium, May 14-18.

11. Adeboye, U. F.(2012)"Permeability Estimation And Hydraulic Zone Pore Structures Identification Using Core And Well Logs Data".Petroleum & Coal.52-58

12. Hoffman, B (2012)."Using production logs (PLT) to estimate the size of fracture networks".Journal of Petroleum Science and Engineering

13. Kok Wai Wong, Y. S(2013)."Intelligent Well Log Data Analysis for Reservoir Characterization" . Nanyang Technological University.1-6

14. Li, M. and Y. Zhao (2014). Chapter 9 – Hydrocarbon Reservoir Logging Evaluation Methods and Technologies. Geophysical Exploration Technology. Oxford, Elsevier: 239-303.

15. Aghli, G., et al. (2016). "Fractured zones detection using conventional petrophysical logs by differentiation method and its correlation with image logs." Journal of Petroleum Science and Engineering 142: 152-162.

16. Harald milsch et al.(2016)" An experimental and numerical evaluation of continuous fracture Permeability measurements during effective pressure cycles", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Volume 89, Pages 109-115