

کاربرد نمودارهای نگار تولید در بهره‌برداری از چاه‌های نفت

◀ محمد آقابگی*

چکیده

نمودارهای نگار تولید یا (PLT) Production Logging Tests دسته‌ای از روش‌های نمودارگیری و چاه‌پیمایی است که در یک چاه تولیدی یا تزریقی تکمیل شده رانده شده و هدف آنها بررسی رفتار و عملکرد سیال در چاه و نواحی اطراف آن است. در واقع بر خلاف نمودارهای ارزیابی سازند (Formation Evaluation Logs) که با قسمت سنگ مخزن سروکار دارند و عمدتاً سعی می‌شود به کمک آنها بتوان پارامترهایی نظیر تخلخل، اشباع شستگی، شعاع صدمه دیدگی، ضخامت ناحیه تولیدی و لیتولوژی سازند را بدست آورد، در نمودارهای تولید ما با سیال مخزن سروکار داریم و به ارزیابی جریان سیالات درون لوله تولید (Tubing)، بیرون لوله و یا حتی بطور مستقیم ارزیابی نحوه تکمیل چاه (Well Completion) می‌پردازیم [۱].

در سالهای اخیر، استفاده از PLT شامل کاربردهایی از مراحل ابتدایی حفاری تا آخرین مراحل تولید چاه و توسعه مخزن است. بیشترین کاربردهای رایج نمودارهای تولید عبارتند از: اندازه‌گیری پروفایل جریان چاه، تشخیص مشکلات مکانیکی چاه، ارزیابی کیفیت تکمیل چاه، تعیین وضعیت مخزن، ارزیابی تأثیر عملیات انگیزش چاه، تعیین زونهای تولیدی [۱].

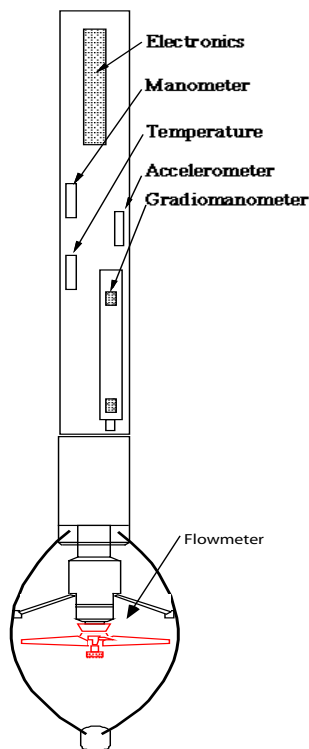
کلمات کلیدی: نمودارهای تولید، پروفایل جریان، ناحیه تولیدی.

مقدمه

شده به هر لایه از طریق نمودار دبی سنج مشخص می‌گردد. در اواسط دهه ۱۹۶۰، ابزارهای دیگری به PLT اضافه شدند تا اطلاعات دقیق‌تر و جزئی‌تری از شرایط چاه به خصوص در جریان‌های چند فاز ارائه دهند. نمودارهای چگالی سیال با ظرفیت خازنی (انباشتگی آب، Water Holdup) برای مشخص کردن شرایط پیچیده جریان‌های چند فاز و رفتار هر سیال به کار گرفته شدند. همچنین استفاده از نمودارهای «بندش سیمان» برای ارزیابی تکمیل چاه گسترش یافت [۱]. در کنار تحول و پیشرفت ابزارهای PLT، روش‌های تفسیر نیز گسترش یافت. این پیشرفت‌ها به ویژه در زمینه رفتار

نمودارگیری تولید با استفاده از نمودار دما در دهه ۱۹۳۰ شروع شد. در آن زمان از نمودار دما برای مشخص کردن نقاط یا فواصل ورود سیال به چاه استفاده می‌شد. به عنوان مثال با دانستن اینکه هنگامی که گاز منبسط می‌شود، دمای آن کاهش می‌یابد و با استفاده از این پدیده نقاط ورود گاز به چاه، در دهه ۱۹۴۰، نمودارهای «سرعت سیال» (دبی سنج) و «فشار» به نمودار «دما» اضافه شده‌اند تا اطلاعات مفصلی از شرایط چاه به دست آید. نوع سیال موجود در چاه می‌تواند با استفاده از گرادیان یا شیب فشار مشخص شود. مقدار سیال تولید یا تزریق

شکل ۱: شماتیکی از ابزار نمودار تولید که از چندین سنسور تشکیل شده است [۴].



می‌شود:

۱-۱) کاربردهای PLT هنگام حفاری و تکمیل چاه:

هر چند به نظر می‌رسد هنگام تکمیل چاه می‌توان اقدام به راندن نمودار PLT کرد، با این وجود حتی در مراحل اولیه حفاری هم می‌توان از PLT استفاده نمود. از ابتدای حفاری، PLT را می‌توان برای مشخص کردن ناحیه هرز روی گل حفاری (Mud Lost) و نیز تشخیص فوران زیر زمینی (Underground Blowout) به کار برد. تقریباً همه عملیات تکمیل چاه شامل: سیمانکاری، Gravel Packing، مشبک کاری، و انگیزش چاه (Stimulation) را می‌توان به کمک PLT ارزیابی کرد، از جمله [۳]:

- تشخیص منطقه هرزروی گل حفاری (Lost Circulation Zone)؛
- تشخیص فوران‌های زیر زمینی (Underground Blowout)؛
- تشخیص ابتدای سیمان یا حد بالای سیمان (Cement Top) پشت لوله‌های جداری و آستری؛
- ارزیابی بندش و کیفیت سیمان (Cement Bond Quality)؛
- ارزیابی Gravel Pack؛
- ارزیابی محل و عملکرد مشبک‌ها (Perforations)؛
- مشکلات مکانیکی مانند سوراخ شدگی لوله‌ها، نشت مجراوند و خوردگی و غیره.

۱-۲) کاربردهای PLT هنگام تولید یا تزریق سیال:

کاربرد اولیه PLT در تشخیص مشکلات چاه و عملکرد مخزن در طول عمر تولیدی یا تزریقی یک چاه است. این بخش به دو بخش فرعی تقسیم می‌شود:

- ۱- کاربردهای PLT در جریان یک فازی
- ۲- در جریان چند فازی.

سیالات و جریان‌های چند فازی بوده است. تحقیق در زمینه ابزار و روش‌های تفسیر PLT هنوز هم در حال انجام است. هر چند در ۵۰ سال گذشته ابزار نمودارگیری تولید پیشرفت قابل ملاحظه‌ای کرده‌اند، اما فن آوری‌های اندازه‌گیری خصوصیات سیال هنوز هم در پاره‌ای موارد محدود است، خصوصاً هنگامی که جریان، چند فازی برقرار باشد. اکثر روش‌های تعیین پروفایل جریان، در مورد جریان‌های یک فازی نتایج دقیقی می‌دهند. در جریان‌های چند فازی شرایط نسبت به جریان یک فازی خیلی پیچیده‌تر است و نمودارگیری نتایج غیر دقیق و یا حتی اشتباه می‌دهد. وجود جریان چند فازی از دو جهت عمده باعث پیچیدگی جریان می‌شود،

اول اینکه: توزیع فازها در سطح مقطع لوله یکنواخت نیست. دوم اینکه: خواص سیال در هر زمان و در هر مکان تغییر می‌کند. این موضوع تعجب آور یا ناامید کننده نیست چون ما تلاش می‌کنیم از فاصله دور، خصوصیات دو یا چند سیال را به طور هم زمان در محیط پیچیده چاه اندازه‌گیری کنیم، علاوه بر اینکه اندازه‌گیری سرعت و دیگر خواص سیال حتی در شرایط کنترل شده آزمایشگاه هم مشکل است. باید توجه داشت که در PLT خواص نمونه‌های کوچکی از سیال چاه اندازه‌گیری می‌شود [۲].

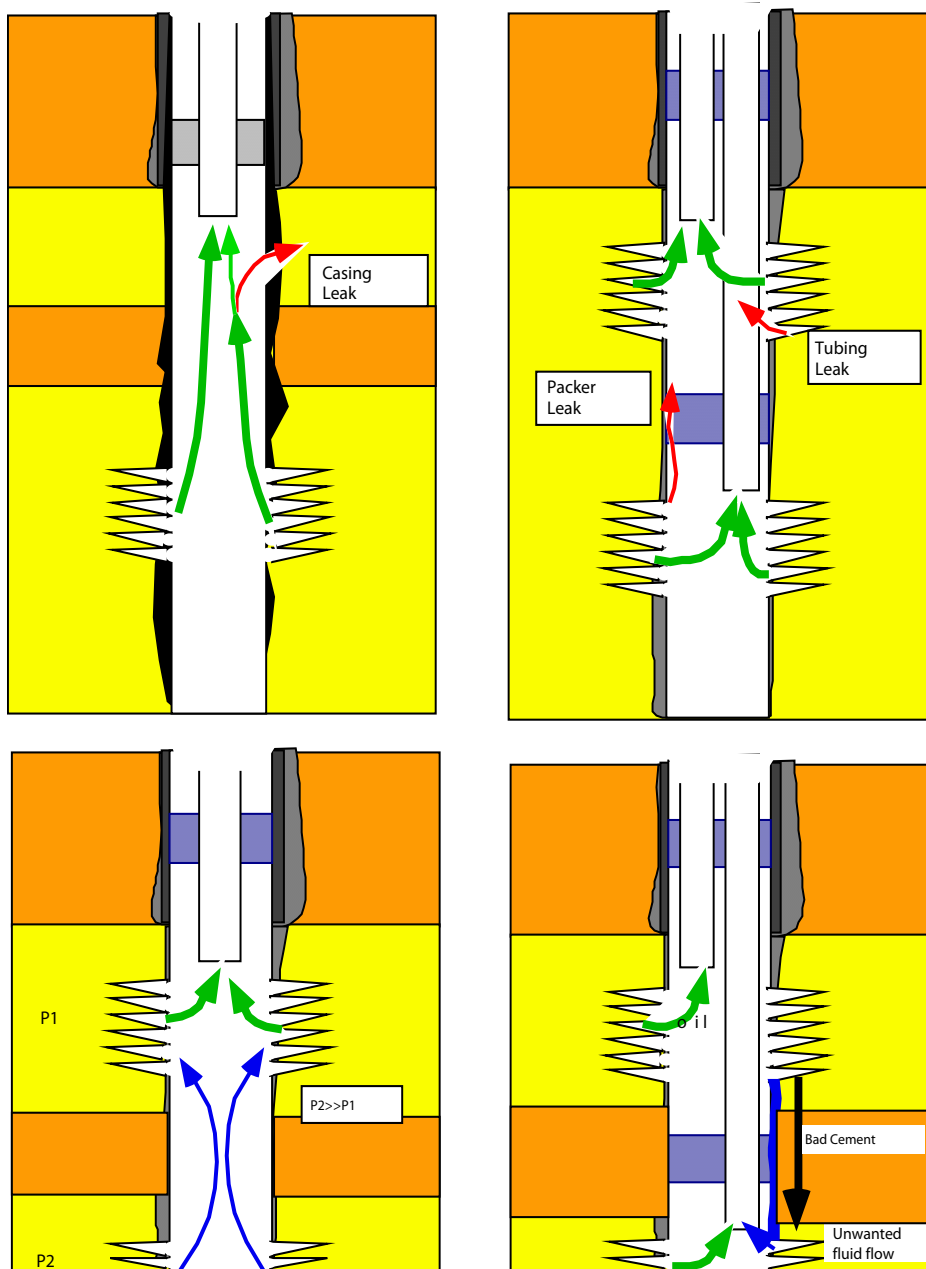
۱- کاربردهای PLT

PLT می‌تواند ابزاری قدرتمند در ارزیابی عملکرد چاه و یا مخزن باشد. آگاهی از توانمندی‌ها و محدودیت‌های ابزارهای PLT و نیز آگاهی از نوع مشکلاتی که با کمک PLT مشخص می‌شود برای استفاده صحیح و موثر از این ابزار لازم است. Wade و همکارانش با اشاره به چاه‌های تولیدی، کاربرد PLT را در یافتن پاسخ این سوال دانسته‌اند که «چه مقدار از چه نوع سیال‌هایی و از چه ناحیه‌ای وارد چاه می‌شود؟ نمودارهای تولید کاربردهای بسیار گسترده و وسیعی دارند. ما در استفاده از نمودارهای تولید با هیچ گونه محدودیتی مواجه نیستیم، و این نمودارها بخوبی در چاه‌های حفره باز و دارای لوله جداری و نیز در چاه‌های تولیدی و تزریقی و همچنین در چاه‌های افقی، عمودی و جهت دار و بطور کلی از زمان شروع حفاری تا هنگامیکه چاه در مرحله ازدیاد برداشت قرار می‌گیرد قابل استفاده می‌باشند. اما عمدتاً از این نمودارها برای شناسایی مشکلات چاه‌های تولیدی و تعیین پروفایل تولید استفاده می‌شود [۱].

ابزارهای مورد استفاده در نمودارهای تولید عبارتند از: دما، فشار، سرعت سنج پروانه‌ای، کالیپر، اشعه گاما، چگالی سیال و پس ماند آب. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است به منظور صرفه جویی در زمان و هزینه، این سنسورها می‌توانند با هم ترکیب شده و به عنوان یک ابزار از طریق کابل چاه پیمایی به درون چاه فرستاده شوند و همزمان داده‌های سیال و فشار را که مستقیماً به مقدار و ماهیت تولید از هر نقطه ورودی و خروجی به چاه می‌باشد ثبت کنند [۲].

در این بخش کاربردهای PLT در پایش عملکرد مخزن، ارزیابی نحوه تکمیل چاه، برنامه‌ریزی و ارزیابی عملیات تعمیر چاه (Workover) و تشخیص مشکلات چاه و مخزن بررسی می‌شود. کاربردهای PLT از نظر زمانی به سه بخش تقسیم

شکل ۲: مشکلات معمول در چاههای تولیدی که با استفاده از PLT قابل تشخیص هستند. [۲]



Stratton و همکاران کاربردهای PL را چنین خلاصه کرده‌اند:

در چاههای تزریقی بیش‌تر آب به عنوان سیال جابجا کننده برای برداشت ثانویه، نگهداشت فشار مخزن و یا دفع آب‌های زائد تزریق می‌شود. سیال تزریقی علاوه بر آب ممکن است هیدروکربن مایع، گاز، هوا و یا ترکیبی از مایع و گاز باشد، مانند: بخار آب اشباع. سیال تزریقی هر چه باشد، هدف اصلی PLT تعیین پروفایل تزریق سیال است، یعنی چه مقدار از سیال در کجای چاه تزریق شود. پس از آنکه پروفایل تزریق معین شد، اغلب لازم است بررسی‌های لازم برای مشکلات مکانیکی چاه از قبیل: آسیب‌ها و نشستی‌های لوله جداری و آستری، توپک‌ها، سیمان بندی ضعیف و نیز جریان سیال بین فواصل جدا شده صورت گیرد [۴].

اکثر چاههای تزریقی یک فازي‌اند مانند تزریق آب یا گاز. گاهی هم ممکن است سیال تزریقی دو فازي باشد مانند تزریق بخار آب که مقداری از آن میعان می‌شود یا تزریق دی‌اکسید کربن. چاههای تولیدی به ندرت یک فازي هستند و اکثراً به صورت دو فازي آب - نفت یا نفت - گاز و یا حتی سه فازي آب - نفت - گاز هستند. به طور کلی به ندرت ممکن است یک چاه تولیدی یک فازي باشد و در هر حال بهتر است پیچیدگی‌های جریان‌های چند فازي در نظر گرفته شود [۴].

۱-۲-۱) کاربرد در جریان یک فازي

همانطور که گفته شد اکثر چاههای تزریقی دارای سیال یک فازي هستند و تعداد کمی از چاههای تولیدی فقط یک سیال تولید می‌کنند. لذا استفاده از PL در چاههای با جریان یک فازي عمدتاً شامل چاههای تزریقی است.

۲-۲-۱) کاربرد در جریان چند فاز

در نزدیکی عمق نهایی چاه (در بخش مخزنی چاه) جایی که نمودار PL رانده می‌شود، وجود چند سیال بسیار محتمل است. علاوه بر نفت، آب نیز معمولاً تولید می‌شود. در چاه‌هایی که فشار کمتر از فشار اشباع یا نقطه حباب است گاز تولید می‌شود. بنابراین در هنگام برنامه ریزی برای راندن PL و نیز هنگام تفسیر آن، احتمال وجود فازهایی غیر از نفت باید مد نظر قرار گیرد. در مورد جریان چند فاز هم مانند یک فاز، هدف اصلی از PL تعیین پروفایل سیال تولید شده است ولی با این تفاوت که باید درصد هر سیال و محل ورود هر سیال به چاه هم به طور جداگانه مشخص شود.

نتیجه‌گیری

نمودارهای نگار تولید یا PLT اطلاعات کامل و دقیقی از وضعیت لایه‌های تولیدی، نوع و مقدار سیال تولید شده از هر لایه، مشکلات چاه از نظر جریان و رفتار جریانی سیالات هنگام خروج از مخزن و بالا آمدن در ستون چاه را در بردارد. نمودارهای نگار تولید با راندن ابزار ویژه نمودارگیری در چاه و ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده انجام می‌شود. داده‌های اولیه حاصل از ابزار نمودارگیری به صورت خام است و برای تفسیر صحیح باید ابتدا مورد پردازش قرار گیرند. بخشی از پردازش مربوط به نحوه‌اندازه‌گیری ابزار درون چاهی است و بخش مهم دیگر مربوط به رژیم جریان و ویژگی‌های هندسی چاه است.

منابع و مراجع

1. Hill, A. D.: "Production logging-Theoretical and interpretive elements", SPE Monograph Vol. 14, Henry L. Doherty Series, Richardson, Texas, 1990.
2. Schlumberger, "Production Log Interpretation", Document No.C-11811 Houston, Texas, 1973.
3. Leach, B.C., Jameson, J. B., Smolen, J.J., and Nicolas, Y.: "The Full Bore Flowmeter", paper SPE 5089, presented at the 49th Annual Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME to be held in Houston, Texas, 6-9 October, 1974.
4. Cholet, H.: "Well Production Practical Handbook", Institut Francais du Petrole, France, Paris, 2000.
5. Economides, M. J., Hill, A. D., and Ehlig-Economides, C.: "Petroleum Production Systems," Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.

۳-۱) کاربرد هنگام تعمیر چاه

PLT می‌تواند در برنامه ریزی و ارزش یابی عملیات تعمیر چاه‌ها نقش کلیدی داشته باشد. به عنوان مثال عملیات تزریق سیمان، مشبک کاری مجدد، اسید کاری، لایه شکافی و عملیات بهبود پروفایل سیال می‌تواند با PLT ارزیابی شود. شکل ۲ مهمترین مشکلات شایع در چاه‌های تولیدی را نشان می‌دهد [۲].

۲) داده‌های موردنیاز برای PLT

- ارزش یک نمودار PLT هنگامی زیاد می‌شود که حاوی اطلاعات و داده‌های کافی برای یک تفسیر مستقل باشد. این اطلاعات عبارتند از:
- ۱- شرح نحوه تکمیل چاه (لوله‌های جداری و آستری، فواصل مشبک شده، عمق‌ها و غیره)؛
 - ۲- شرایط تولید یا تزریق؛
 - ۳- خواص سیالات چاه (چگالی، فشار اشباع، ضریب سازندی، مقدار گاز محلول و غیره)
 - ۴- شرح ابزارهای نمودارگیری (ابعاد فیزیکی و قطرها، دقت و کالیبراسیون ابزار، روش نمودارگیری)
 - ۵- داده‌های خام ابزار نمودارگیری (داده‌های پردازش نشده).