

فرآیند توسعه سیستم‌های چاه‌های هوشمند

تورج بهروز*، پژوهشگاه صنعت نفت

چکیده

اهداف به کارگیری فن‌آوری چاه‌های هوشمند با توجه به نحوه و نوع پیاده‌سازی آن می‌تواند شامل کاهش هزینه‌های تداخل در تولید، تأخیر در تولید آب/گاز، افزایش بازیافت، بهبود تولید/عملکرد تزریق سیال، مدیریت همزمان تولید و تزریق، مدیریت ریسک‌های تحت‌الارضی، بهبود عملکرد تولید از چند لایه و/یا کاهش تعداد چاه‌های مورد نیاز برای توسعه میدان از طریق تولید همزمان از چند ناحیه مخزنی با فشارهای متفاوت باشد. نصب تجهیزات هوشمندی ممکن است جهت رسیدن به اهداف چندگانه نیز انجام شود. این اهداف ممکن است ملزومات متفاوتی برای عملکرد سخت‌افزارهای نصب شده نیاز داشته باشند؛ گاهی اوقات ممکن است عملکردها با هم در یک راستا نباشند (مثلاً لازم باشد تولید نفت را بیشینه و همزمان تولید گاز یا آب را کمینه کرد). بنابراین در بهبود عملکرد، انتخاب تابع هدف بسیار مهم و کلیدی است.

در این مقاله با توجه به شرایط طراحی چاه کاربردهای فن‌آوری مخازن هوشمند در میادین نفت و گاز شناسایی خواهد شد. در ادامه، نحوه توسعه سیستم چاه‌های هوشمند ارائه و سپس متغیرهای اساسی و عمومی غربال‌گری تشریح خواهد شد. در انتها نیز موارد قابل‌بررسی در مخازن ماسه‌سنگی تشریح می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۲/۳۱

واژگان کلیدی:

چاه هوشمند، غربال‌گری، فرصت‌های هوشمندسازی، سیستم توسعه، مداخله در تولید

مقدمه

- چه درجه‌ای از اعتمادپذیری تجهیزات مورد نیاز است؟
- تعداد و نوع سنسورهای مورد نیاز برآورده شده چیست؟
- آیا شیرهای کنترلی در مقابل مواد خورنده مقاوم هستند؟
- آیا شرایط عملیاتی مانند فشار، دما و ترکیب سیال مخزن ارزیابی شده است؟

۱- انتخاب از بین گزینه‌های ممکن

انتخاب شامل گام‌های زیر است:

- پیش‌بینی عملکرد مخزن برای ارزیابی چاه هوشمند: جهت تصمیم‌گیری باید یک چک لیست از متغیرهای مورد نیاز در مخازن مختلف آماده شود.
- پیش‌بینی عملکرد مخزن/چاه در سناریوهای مختلف مدل: این کار از طریق شبیه‌سازی انجام می‌شود. یادآوری می‌شود که برای ارزیابی سناریوهای مختلف این کیفیت و دقت مدل است که دقت پیش‌بینی‌ها را تعیین می‌کند.
- تخمین هزینه‌ها: هزینه‌های حفاری، تکمیل، تولید و سایر هزینه‌ها در مقایسه با حالت تکمیل متداول بررسی شود. کاهش هزینه‌های تجهیزات سرچاهی، سکو، هزینه‌های تداخل در تولید می‌تواند عوامل ارزش‌آفرین چاه هوشمند باشد.
- آنالیز ریسک فازهای پروژه

برای شناسایی فرصت‌های هوشمندسازی^۱ در میدان مورد نظر باید اطلاعات مهندسی مخزن، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، نمودارگیری، تاریخچه تولید و ... جهت بررسی امکان‌سنجی فنی به کارگیری فن‌آوری هوشمند بررسی شوند. از جمله موضوعاتی که باید بررسی شوند به شرح زیر است:

- بررسی حداقل شعاع درون‌چاهی مورد نیاز برای نصب شیرهای کنترلی و سیستم کنترلی
- ارزیابی اعتمادپذیری^۲ تجهیزات و سیستم‌های کنترلی
- بررسی ریسک ناشی از به کارگیری سیستم‌های پیچیده با توجه به پتانسیل ارزش افزوده
- بررسی امکان تطویل چاه افقی، از نظر فنی و عملیاتی در صورت نیاز

در ادامه نیز باید شرایط و نحوه طراحی چاه هوشمند را تعریف کرد. این موضوع می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

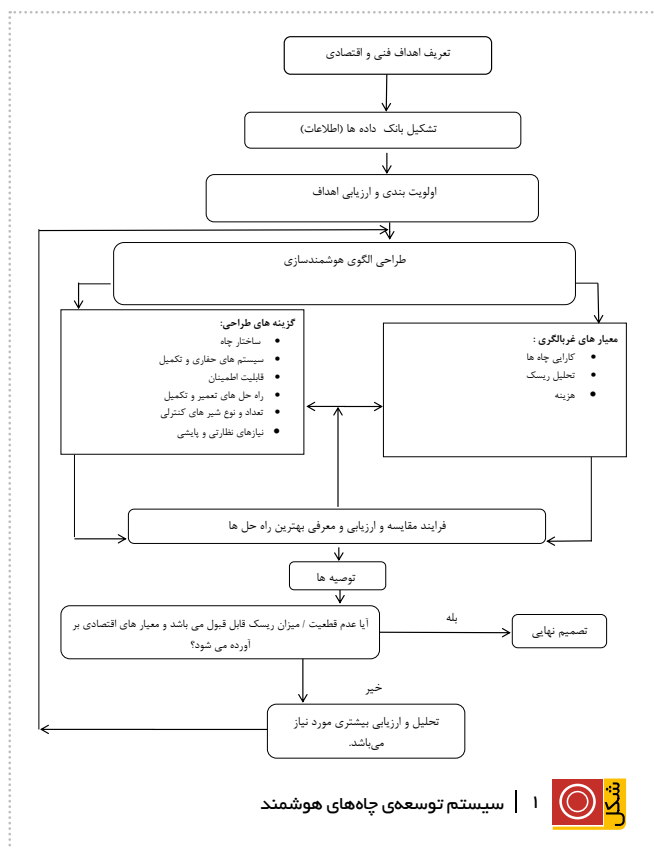
- چه درجه‌ای از کنترل^۳ مورد نیاز است؟ (شیرهای باز/بسته، شیرهای تناسبی یا حتی در سطح پایش)
- آیا نیاز به نصب تجهیزات کنترل شن هست؟
- شرایط محیطی (دما، فشار، ترکیب سیالات تولیدی و ...) چگونه است؟

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (behrouzt@ripi.ir)

۲- سیستم‌های چاه‌های هوشمند

در این خصوص در سیستم تولید محدودیت‌های نظیر محدودیت‌های لوله‌های تولید، حفظ و نگهداری فشار مخزن جهت برداشت بهینه، پایش و اندازه‌گیری لازم، عمر چاه، امکان تعمیر تجهیزات درون چاهی و محدودیت‌های تأسیسات سطح‌الارضی وجود دارد. سایر ملزومات و محدودیت‌ها نظیر ملاحظات مدیریت مخزن/ سیال، محدودیت‌های تأسیسات سطح‌الارضی برای جداسازی آب و گاز (که با توجه به میادین مختلف و استراتژی شرکت‌های مختلف، تفاوت دارد)، نرخ تولید بهینه با توجه به سرشت و توانایی مخزن و بدون آسیب به سازند، پیچیدگی و هزینه‌ی تجهیزات تکمیل، اندازه‌ی شیر کنترلی، درجه‌ی کنترل و یکپارچگی سیستم هیدرولیکی مورد نیاز مشخص شود.

با توجه به اینکه به کارگیری هر فن‌آوری مستلزم سود اقتصادی است بنابراین باید در برآورد هزینه‌های توسعه و اقتصاد ملاحظاتی نظیر انتخاب نوع تجهیزات با توجه به نیاز، بررسی میزان پیچیدگی مورد نیاز سیستم، هزینه‌ی تعمیر و نگهداری تجهیزات هوشمند، هزینه‌ی مداخله در تولید، نوع چاه، هزینه در برابر سود، میزان سرمایه‌گذاری و قیمت تولید (نفت، گاز و ...) را در نظر گرفت. در این خصوص باید هزینه‌های سناریوهای مختلف حفاری و تکمیل چاه در نظر گرفته شود و هزینه‌ی مشکلات احتمالی نصب تأسیسات سیستم چاه‌های هوشمند (از دست دادن شیرهای کنترلی یا سیستم کنترل و ...) دیده شود. لازم به ذکر است که سیستم چاه‌های هوشمند ضرورت مداخله را کاهش می‌دهد و باید تعداد/اندازه‌ی



در این مطالعه جهت توسعه‌ی سیستم‌های چاه‌های هوشمند و نحوه‌ی به کارگیری آنها در مخازن نمودارها یا جریان‌های کاری ارائه می‌شود. در این قسمت ابتدا معیارهای عمومی غربالگری، مشکلات و راه‌حل‌های فن‌آوری مخازن هوشمند بررسی خواهد شد. در ادامه این موضوع به‌طور موردی در مخازن ماسه‌سنگی بررسی می‌گردد. شکل ۱- فرآیند کلی توسعه‌ی سیستم چاه هوشمند را نشان می‌دهد.

۳- معیارهای غربالگری چاه‌های هوشمند

بر اساس مطالعات انجام شده متغیرهای اساسی غربالگری که برای موارد عمومی کافی هستند شامل ویژگی‌ها و مشخصات مخزن (ویژگی‌های سیال و زمین‌شناسی مخزن)، ملاحظات حفاری و تکمیل چاه، محدودیت‌های تولید (مدیریت تولید سیالات) و محدودیت‌های هزینه‌های توسعه و اقتصاد چاه هستند. در مواردی خاص، سایر موارد مربوطه نیز دخیل خواهند بود. معیارهای استفاده شده و متغیرهای تحلیلی توجیه‌کننده در هر مخزن با ویژگی‌های خاص بررسی خواهند شد.

۴- معیارهای عمومی غربالگری

۴-۱- خواص مخزن

در خصوص متغیرهای مشخصات مخزن باید مواردی نظیر ضخامت، اندازه و وسعت ناحیه‌ای، گسلی بودن/نبودن، خصوصیات سیال، فشار، مکانیزم‌های تولید، درجه‌ی ناهمگونی و شرایط دینامیک مخزن بررسی گردد. در ادامه‌ی مشخصات مخزن ملاحظاتی از جمله نوع چاه (عمودی یا افقی یا ... بودن)، مکان قرارگیری چاه در مخزن، طول چاه و نوع تکمیل آن (به‌خصوص در چاه‌های افقی با توجه به میان‌شکن شدن سیالات ناخواسته)، افت فشار و شناسایی ناحیه‌ای که توسط چاه قابل تخلیه است بررسی خواهد شد. باید شعاع تخلیه و ناهمگونی مخزنی نیز مدنظر قرار گیرد. سیستم چاه‌های هوشمند می‌تواند در مخازن ناهمگون، بسیار مفید باشد و تعداد شیرهای کنترلی به‌میزان ناهمگونی و رفتارهای ناهمگن بستگی دارد. مخازن ناهمگون که نسبت حرکت (آب/نفت) زیادی دارند گزینه‌ی خوبی برای سیستم چاه‌های هوشمند هستند؛ چراکه آنها طی عمر خود دچار تولید سیالات ناخواسته می‌شوند. همچنین لازم است محدودیت‌های حفاری و تکمیل چاه نظیر قطر چاه، امکان آسیب سازند، حفاری جهت دار، پایداری عملیاتی و محدودیت‌های مکانیکی در نظر گرفته شود.

در این خصوص، بررسی طول چاه و قطر آن جهت طراحی ادواتی هوشمند به‌خصوص در چاه‌های افقی بسیار مهم است. با توجه به کنترل جداگانه‌ی نواحی مختلف و افزایش پیچیدگی باید پایداری و ملزومات جداسازی ناحیه‌ای^۵ در نظر گرفته شده و نوع سیستم تکمیل ارزیابی گردد.

۵-۴- ضخامت لایه‌ها

- در مخازن همگن، افزایش ضخامت لایه‌ها سودمندی به کارگیری چاههای هوشمند را کاهش می‌دهد.
- سودمندی‌های افزایش در مخازن باریک مشخص‌تر است.
- در مخازن ضخیم چاه‌های چندشاخه، گزینه‌ی بهتری هستند. می‌توان جهت مدیریت تولید گاز/آب ناخواسته از شاخه‌ها، از

تفکیک گر‌ها و سکوی نفتی لحاظ گردد (سیستم چاه‌های هوشمند تولید آب و گاز را کاهش می‌دهد و بنابراین تفکیک گر‌ها و سکوی نفتی کمتری مورد نیاز است).

در ادامه به‌عنوان مثالی کاربردی مخازن ماسه‌سنگی بررسی خواهد شد و طی آن به خصوصیات مخزنی و زمین‌شناسی آن و کاربرد مخزن هوشمند در هر کدام از فرصت‌ها نیز اشاره خواهد شد.

۵-۵- مخازن ماسه‌سنگی

از مهم‌ترین موارد قابل بررسی در مخازن ماسه‌سنگی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-۵- تعداد لایه‌های مخزنی

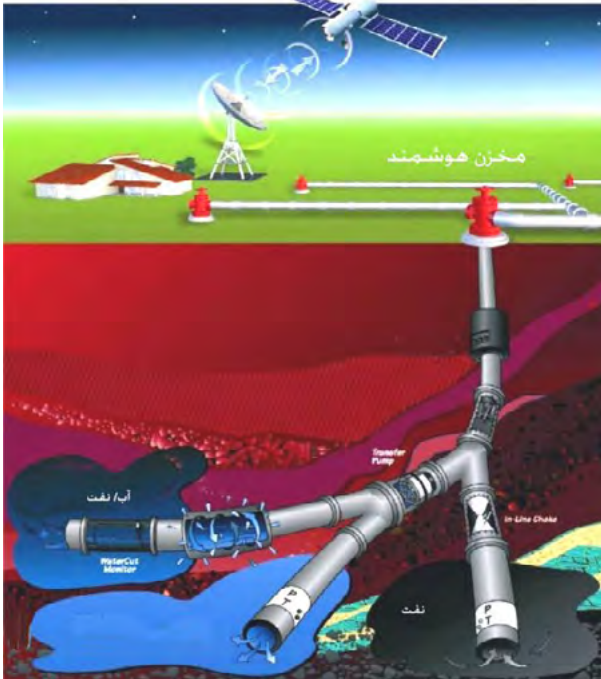
- طراحی چاه هوشمند با افزایش تعداد لایه‌های مخزنی جهت به‌کارگیری فرآیند هوشمندسازی پیچیده‌تر می‌شود
- سیستم‌های چاه‌های هوشمند می‌تواند تولید آب/گاز را در هر ناحیه به‌طور جداگانه مدیریت کند
- تعداد نواحی می‌تواند پیشنهاد اولیه برای تعداد شیرهای کنترلی درون چاهی باشد که متعاقباً با ملاحظات عملیاتی و اقتصاد تغییر خواهد کرد.

۲-۵- تفاوت فشار/نوع سیال در لایه‌ها

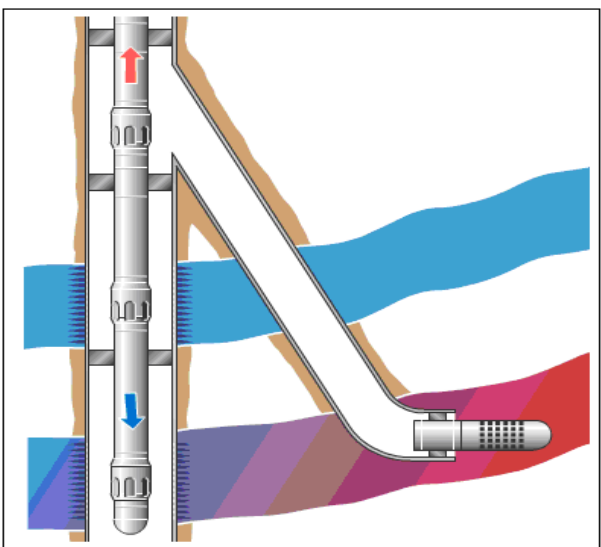
- تفاوت فشار در نواحی مختلف سبب ایجاد مشکلات حفاری می‌شود.
- ایجاد جریان عرضی^۷ و در نتیجه از دست رفتن مقدار زیادی از نفت قابل برداشت در قسمت‌هایی از مخزن که فشار کمتری دارد، همچنین هرزروی گل حین عملیات حفاری از پدیده‌های شایع در مخازنی است که لایه‌هایی با فشارهای متفاوت دارند.
- مشکلات تمیزسازی در لایه‌های کم‌فشار، پس از عملیات حفاری
- سیستم چاه‌های هوشمند با به‌کار بردن شیرهای کنترلی می‌تواند جریان لایه‌های پرفشار را کنترل کند و تولید را در لایه‌های کم‌فشار بهبود بخشد

۳-۵- بررسی سازگاری سیالات مختلف

- در چاه هوشمند با توجه به شتاب زیاد تولید، امکان تولید هر نوع رسوب نظیر آسفالتین و ... در نتیجه اختلاط سیالات لایه‌های مختلف (با توجه به عدم سازگاری این سیالات) وجود دارد.
- ضرورت تولید مجزا و چالش‌های تولید آمیخته باید بررسی شود. زیرا در صورت عدم سازگاری سیالات و تشکیل رسوب، سبب از کار افتادگی تجهیزات هوشمند می‌شوند. مثلاً در بعضی میادین دریای شمال، رسوب $BaSO_4$ گزارش شده است.
- بررسی بازدهی مواد شیمیایی مانند ممانعت‌کننده‌ها و استفاده از کنترل ناحیه‌ای جهت استفاده‌ی بهینه از این مواد



۲ | نمایی از یک چاه هوشمند در میدانی هوشمند



۳ | تولید همزمان از مخازن/لایه‌های مختلف در چاه هوشمند

■ در مخازنی با انباشت‌های مجزا، چاه‌های چندشاخه ترجیح داده می‌شوند. با شیرهای کنترلی می‌توان تولید گاز/آب را از هر شاخه یا درون شاخه‌ها مدیریت کرد.

نتیجه‌گیری

- توابع هدف به کارگیری فن آوری چاه‌های هوشمند با توجه به نحوه و نوع پیاده‌سازی آنها می‌توانند بسیار متفاوت باشند.
- برای به کارگیری فن آوری چاه‌های هوشمند، در گام نخست باید تمامی فرصت‌های هوشمندسازی بررسی شود و سپس شرایط عملیاتی استفاده از آنها ارزیابی گردد.
- در این مطالعه سیستم توسعه‌ی چاه‌های هوشمند ابتدا به صورت کلی و عمومی بررسی و تحلیل شد و در ادامه مخازن ماسه‌سنکی به‌طور موردی ارزیابی گردید.
- در این مقاله، متغیرهای اساسی غربال‌گری چاه‌های هوشمند استخراج و تحلیل شد.
- مخازن ماسه‌سنکی به‌عنوان نمونه‌ای موردی از لحاظ فرصت‌های به کارگیری این فن آوری و شرایط عملیاتی بررسی شد.

شیرهای کنترلی استفاده کرد.
 ■ مدیریت مخازن باریک نفت توسط سیستم‌های چاه‌های هوشمند می‌تواند مانع تولید گاز/آب شود.

5-5- نفوذپذیری بسیار متغیر در فواصل تکمیل

- تولید بهینه از لایه‌هایی با نفوذپذیری کم در حضور لایه‌هایی با نفوذپذیری زیاد با استفاده از چاه‌های معمولی دشوار است.
- مغزه و نمودارهای حین حفاری اطلاعاتی درباره‌ی تغییرات نفوذپذیری محلی ارائه می‌دهند.
- تولید از مناطق با نفوذپذیری کم را می‌توان با استفاده از شیرهای کنترلی متعادل کرد.

5-6- فاصله‌ی بین لایه‌ها

- می‌تواند بر نقطه‌ی انحراف چاه^۹ مؤثر باشد.
- عاملی مهم در انتخاب نوع چاه (معمولی، افقی، چندشاخه یا هوشمند) است.

پانویس‌ها

- | | | |
|---------------------------|--------------------|---------------|
| 1. Opportunities | 4. Drainage area | 7. Cross flow |
| 2. Reliability | 5. Zonal isolation | 8. KOP |
| 3. Degree of Intelligence | 6. Outflow | |

منابع

- [1] Glandt, A.C." Reservoir Aspect of Smart Wells". Paper SPE 81107. Presented at the SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Port-of-Spain, Trinidad, West Indies, 27-30 April 2003
- [2] Mochizuki et al, "real time optimization: classification and assessment" SPE 90213, presented at SPE annual technical conference and exhibition held in Houston, Texas, USA, 26-29 September 2004
- [3] Leo de Best, Frans van den Berg "Smart fields-Making the most of our assets" SPE 103575, Presented at the SPE Russian oil and gas technical conference and exhibition held in Moscow, Russia, 3-6 October 2006.
- [4] Changhong Gao and T. Rajeswaran, "A Literature Review on Smart-Well Technology", SPE 106011, Presented at the 2007 SPE Production and Operations Symposium held in Oklahoma City, Oklahoma, U.S.A., 31 March-3 April 2007.
- [5] Ebadi, F., Davies, D.R., 2006. "Should proactive or reactive control be chosen for intelligent well management", Paper SPE 99929, presented at the 2006 SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 11-13 April 2006.
- [6] Ebadi, F. (2006). Screening of Reservoir Types for Decision-Making on the Application of Intelligent Wells. PhD dissertation, Heriot-Watt University.
- [7] Hon Chung Lau, Robert Deutman, "Intelligent Internal Gas Injection Wells Revitalize Mature S.W. Ampa Field", SPE 72108, Presented at the SPE Asia Pacific Improved Oil Recovery
- [8] Saputelli, L.A., et al. "Promoting Real-Time Optimization of Hydrocarbon Producing Systems," paper SPE 83978 presented at the Offshore Europe 2003, Aberdeen, U.K., 2003
- [9] Birchenko, V.M. And Al-Khelaiwi, F.T., Konopczynski, M.R. and Davies, D.R.: Advanced Wells: How to Make a Choice between Passive and Active Inflow-Control Completions. Paper SPE 115742 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Denver, Colorado, USA (2008)
- [10] T. Behrouz,, S.Hendi, . Intelligent Field Book. Research Institute of Petroleum Industry