طراحی و ساخت اولین چاه هوشمند خاورمیانه و برنامه‌نویسی نرم‌افزار بررسی خواص نفت در آن

تورج بهروز* و سید صالح هندی
پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده مطالعات مخازن و توسعه میادین
پژوهشگاه صنعت نفت پردیس صنایع بالادستی
behrouzt@ripi.ir

پژوهش نفت
سال بیست و سوم
شماره ۷۳
صفحه ۵۵-۴۵، ۱۳۹۲
تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۱۲/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۶/۵

چکیده

چاه هوشمند چاهی است که در صورت استفاده مناسب، باعث افزایش ضریب برداشت و افزایش بهره دهی از مخازن در راستای تولید صیانتی از مخازن می شود. در این راستا و در جهت ارزیابی ارزش افزوده ناشی از این تکنولوژی و بررسی زنجیره ارزش، پایلوت چاه هوشمند طراحی و ساخته شد. این سیستم همانند هر سیستم دیگری، نیازمند یک طراحی مطابق با هدف می‌باشد که بتواند تا حد امکان شرایطی مشابه با شرایط یک چاه واقعی را ایجاد نماید. این مشابهت از چند دیدگاه حائز اهمیت است. مشابهت هیدرودینامیکی نظیر قطر لوله‌ها، دبی و سرعت سیال، مشابهت عملیاتی مانند فشار و دمای کارکرد سیستم و مشابهت شرایط ترمودینامیکی. در صورت همانندی عملیاتی، مشابهت ترمودینامیکی سیستم با چاه واقعی و بیش از همه تابع نوع سیالی است که در سیستم جریان دارد. طراحی این سیستم با توجه به مشابه‌سازی با چاه‌های واقعی مخازن نفتی برای فشار تا ۳۰۰۰ پام ودمای تا ۲۰۰ °F و دبی تا ۲۰۰۰ bbl/day انجام شده است. پس از طراحی و ساخت پایلوت چاه هوشمند، یک نرم‌افزار مناسب برای نمایش اطلاعات به دست آمده از حسگرهای موجود در چاه شامل فشار، دما و دبی به صورت آنلاین، تهیه گردید. ویژگی‌های مهم این نرم‌افزار، قابلیت ذخیره، بازیابی و نمایش اطلاعات، توانایی محاسبات خواص فیزیکی سیال و همچنین خصوصیات جریان مانند رژیم جریان به صورت آنلاین و همزمان با داده‌گیری می‌باشد. در ادامه، به منظوراعتبارسنجی این نرم‌افزار، نتایج آن با سایر نرم‌افزارهای تجاری و همچنین با نتایج روش‌های تجربی مقایسه شد که نتایج همگی مؤید صحت عملکرد نرم‌افزار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: چاه هوشمند، پایلوت، حس‌گر، دما و فشار، دبی، کنترل، حلقه ارزش

مقدمه

چاه هوشمند چاهی است که به یک سری ابزار و ادوات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تجهیز شده و از طریق یکپارچه کردن عملکرد تجهیزات، بهره‌دهی از مخازن را به طور

Archive of SID
www.SID.ir

چشـمگیری بهبـود می‌بخشـد [۱ و ۲]. اسـتفاده از ایـن تکنولوژی سـبب کاهـش هزینه‌های سـرمایه‌گذاری اولیه و عملیاتی شـده و از طریق بهبـود مدیریت مخازن باعث افزایش میزان هیدروکربور قابل استحصال می‌شود [۳].

عمـده فناوری‌هـای نوین جهـان صنعتی امـروز بر پایه سیسـتم‌های کوچک (پایلوت) توسـعه یافته‌اند. به همین دلیـل مباحثی همچون مدل‌سـازی فیزیکی و شبیه‌سـازی جایگاه بسـیار مهمی در توسـعه فناوری و کاربردی کردن آن در صنایـع دارد. در ایـن طراحی‌ها مهم آن اسـت که بتوان میان رفتار سیستم مقیاس کوچک (پایلوت) و سیستم هدف مقیاس صنعتـی، ارتباط برقرار نمود. به طور کلی از ساخت پایلوت دو هدف عمده دنبال می‌شود. اول آشنایی بـا مفاهیم بنیادی بـرای درک بهتر ارتباطـات و دوم اخذ داده‌های پایلوتی برای طراحی واحدهای صنعتی و اجرا در مقیاس واقعی.

به منظور مشـاهده یک سیسـتم پایلوت چاه هوشـمند و اجرایی کـردن همزمان فرآیندهای پایـش، کنترل، تصمیم گیـری وارائه فرمان به صورت آنلاین جهت کامل شـدن حلقه ارزش فناوری [٤]، یک لوپ بسته مورد نیاز است.

پایلوت چاه هوشمند

پایلوت چاه هوشمند با هدف بستن حلقه ارزش تکنولوژی چاه هوشمند که شامل داده‌گیری به هنگام، ارزیابی و تحلیل داده‌هـای به هنگام و اعمال فرمان با هدف تصمیم‌گیری به هنگام مناسـب می‌باشد، طراحی و ساخته شد. این پایلوت شـامل اجزایی نظیر پمپ مناسـب برای تامین فشار مورد نیـاز، منبع تأمین برق، بدنه اصلی چاه، مخزن تولیدی برای ذخیره‌سـازی نفت در گردش، مبـدل حرارتی برای تنظیم دما، شـیرهای کنترلـی مختلف برای تنظیم دبی و فشـار، سنسـورهای مورد نیاز برای پایش پارامترهای دما، فشـار و دبی، سیسـتم فیلتراسـیون و HMI برای نمایش و کنترل پارامترها می‌باشـد.با توجه به هدف پژوهش، لازم اسـت سیستم بازخورد[1] داشته باشد [۵]. بنابراین، کار در یک حلقه بسته انجام پذیرفت. در این حلقه بسته، ابتدا نفت مورد نظر بعـد از فیلتراسـیون در درون مخزن قرار داده می‌شـود. با اسـتفاده از یک پمپ می‌توان فشاراین نفت را تا فشارهای نزدیک یک چاه نفت واقعی(۳۰۰۰-۳۵۰۰ پام) بالا برد. در این هنگام از طریق حسگرهای نصب شده در این سیستم، پارامترهای دما، فشار و دبی به صورت آنلاین به اتاق کنترل فرستاده شده و در آنجا پردازش می‌گردد. سپس دستورات لازم از اتاق کنترل که در فاصله چند ده متری قرار دارد، به سیستم اعمال می‌شـود. با این کار می‌توان بستری مناسب برای مشـاهده حلقه ارزش تکنولوژی چاه هوشمند ایجاد نمود تا از طریـق آن بتوان اتفاقات درون‌چاهی را به موقع پایش کرده و در صورت لزوم، دسـتورهایی را به صورت آنلاین و از راه دور به سیستم اعمال نمود.

تصمیم‌گیری در مورد بیشینه فشار، دما و دبی عملیاتی پایلوت

داده‌های موجود درخصوص مخازن و چاه‌های کشور اعم از زمینی و دریایی، حاکی از آن اسـت که گسـتره فعالیت چاه‌های داخلی در بازه ۲۰۰۰ تا ٤۰۰۰ پام می‌باشـد. با این وجود تعداد قابل توجهی از چاه‌ها در فشـارهای میانه این بازه عمل می‌کنند و اوج پراکندگی در فشارهایی در حدود ۳۰۰۰ پام دیده می‌شـود. از این رو حداکثر فشار ۳۰۰۰ پام برای طراحی در نظر گرفته شده است.

پارامتر عملیاتی دیگری که باید درخصوص آن تصمیم‌گیری شود، دما می‌باشد. براساس بررسی‌ها، بیشینه دمای چاه‌های عملیاتی ºF ۲۲۰ اسـت. فراوانـی چاه‌هایی که در محدوده دمایی ºF ۱۸۰-۲۰۰ کار می‌کنند، بیش از سـایرین است. با توجه به این داده‌ها، دمای عملیاتی سیستم بین ºF ۱۲۰-۲۰۰ در نظر گرفته شده است.

طراحی مفهومی

طراحی مفهومی فرآیندی

پیـش از انجـام طراحی مفهومـی مکانیکی و رسـم مدار هیدرولیکـی سیسـتم، بـه منظـور شناسـایی تغییـرات ترمودینامیکی که ممکن اسـت برای سـیال رخ دهد،

1. Feedback

Archive of SID
www.SID.ir

شبیه‌سازی فرآیندی بر اساس دو نقشه احتمالی ساده انجام شـد. جزئیات مکانیکی این شبیه‌سازی کاملاً شبیه به طرح نهایی نیسـت، اما لازم بود که این اقدام پیش از طراحی مفهومی مکانیکی انجام شود، زیرا:

– اطلاع از نحوه تغییرات شرایط ترمودینامیکی برای انجام طراحی مکانیکی لازم است.

– جزئیات طراحی مکانیکی، در نرم‌افزارهای شبیه‌سـازی فرآیندی لحاظ نشـده اسـت. به طور مثال نوع شـیرهای رهاسـاز[1] و یک سـوکننده[2] در شبیه‌سـازی‌های فرآیندی تأثیـری نـدارد. بنابراین بـا ثابت نگه داشـتن مبانی کلی، می‌توان به نتایج شبیه‌سازی فرآیندی اعتماد نمود.

با توجه به هدف شبیه‌سازی که به دست آوردن خصوصیات ترمودینامیکی سیستم در شرایط عملیاتی است و چگونگی رسیدن به شرایط عملیاتی اهمیتی ندارد، سیستم به صورت پایا در نظر گرفته شده است.

ملاحظات فرآیندی

همان‌گونه‌که بیشـتر گفته شد، فشـار عملیاتی این سیستم بسـیار بیشتر از فشار اتمسفری اسـت و براساس یک چاه واقعـی متصل به یـک مخزن با حجم معین تعریف شـده اسـت. این محدودیت‌ها سـبب می‌شـود که نتوان از یک سیسـتم باز استفاده نمود و لازم است که طراحی به سمت یک سیکل بسته هدایت گردد. چنین طراحی علاوه بر حل مشکلات مذکور، فضای قابل آزمایش بیشتری دارد.

نکته بعدی که باید در قالب تمهیدات فرآیندی به آن توجه داشـت، نحوه تأمین فشار سیسـتم است. برای این منظور، دو طرح پیشنهاد گردید. برای رساندن سیستم به فشار مورد نظر در طرح اول از یک پمپ و در طرح دوم از یک پمپ و یک مخزن گاز پرفشار[3] استفاده شده است.

در طـرح اول، خـوراک فرآیند از یک مخزن در شـرایط محیـط[4] تأمین می‌شـود که پس از عبـور از یک پمپ به فشـارعملیاتی مورد نظر رسـیده و وارد یک مخزن فشـار بـالا[5] می‌شـود. این مخزن در حکم مخـزن واقعی بوده و اندازه‌گیـری خواص مورد نظر بر روی آن انجام می‌شـود. سیال فرآیندی پس از عبور از مخزن از یک سری شیر فشار شکن عبور کرده و به شرایط محیط بر می‌گردد.

در طرح دوم، خوراک فرآیند داخل یک سـیلندر مجهز به پیسـتون[6] قرار گرفته اسـت. این سـیلندر از قسمت پشت پیسـتون توسط یک رگلاتور به مخزن گاز فشار بالا متصل می‌باشد. سیلندر از سمت دیگر به یک مخزن متصل است. ایـن مخـزن در حکم مخزن واقعـی بـوده و اندازه‌گیری خـواص مورد نظر روی آن انجام می‌شـود. مخزن مذکور بـه یک پمپ وصل می‌گردد کـه جریان را به داخل مخزن برمی‌گرداند. به منظور کنترل دمای سیستم، در هر دو طرح از یک ایجاد کننده حرارتی استفاده می‌شود. شمای کلی هر دو طرح در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

مبانی طراحی

با اسـتفاده از شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری، می‌توان، فرآیندها را بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های مکانیکی و اقتصادی طراحـی نمـوده و از نتایج آن مطلع شـد. در این پژوهش شبیه‌سازی فرآیندی بر اساس مشخصات واقعی یک مخزن واقعی انجام‌شده است.

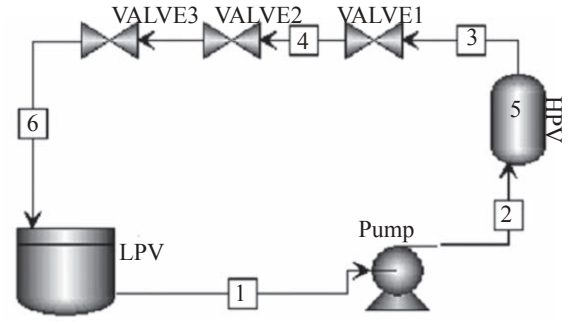
طراحی مفهومی مکانیکی

با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرآیندی و مشخصات طراحی که بر اساس مشابهت‌های لازم بین سیستم مدل و چاه واقعی به دست آمد، مبانی طراحی مکانیکی به صورت زیر تعریف گردید: "سیکل بسته‌ای که سیال نفت را با ویسکوزیته ۵–۱۵ cP در فشـار ۳۰۰۰ پـام و دمـای ۱۲۰ °F– ۲۰۰، در خـط لوله‌ای به قطر $3\frac{1}{2}$ اینچ با دبی ٤ lit/sec به گردش در می‌آورد. در بخشـی از این خط لوله یک ماژول حسگر به طول یک متر تعبیه شده است."

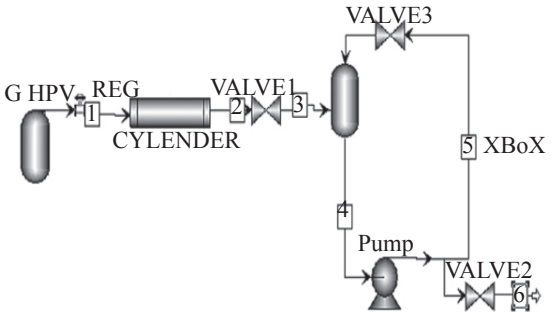
ایـن تعریف منجر به طراحی مدار هیدرولیکی شـد که در شکل ۳ به نمایش درآمده است.

1. Relief Valve
2. Check Valve
3. Gas High Pressure (GHP)
4. Low Pressure Vessel (LPV)
5. High Pressure Vessel (HPV)
6. Cylinder

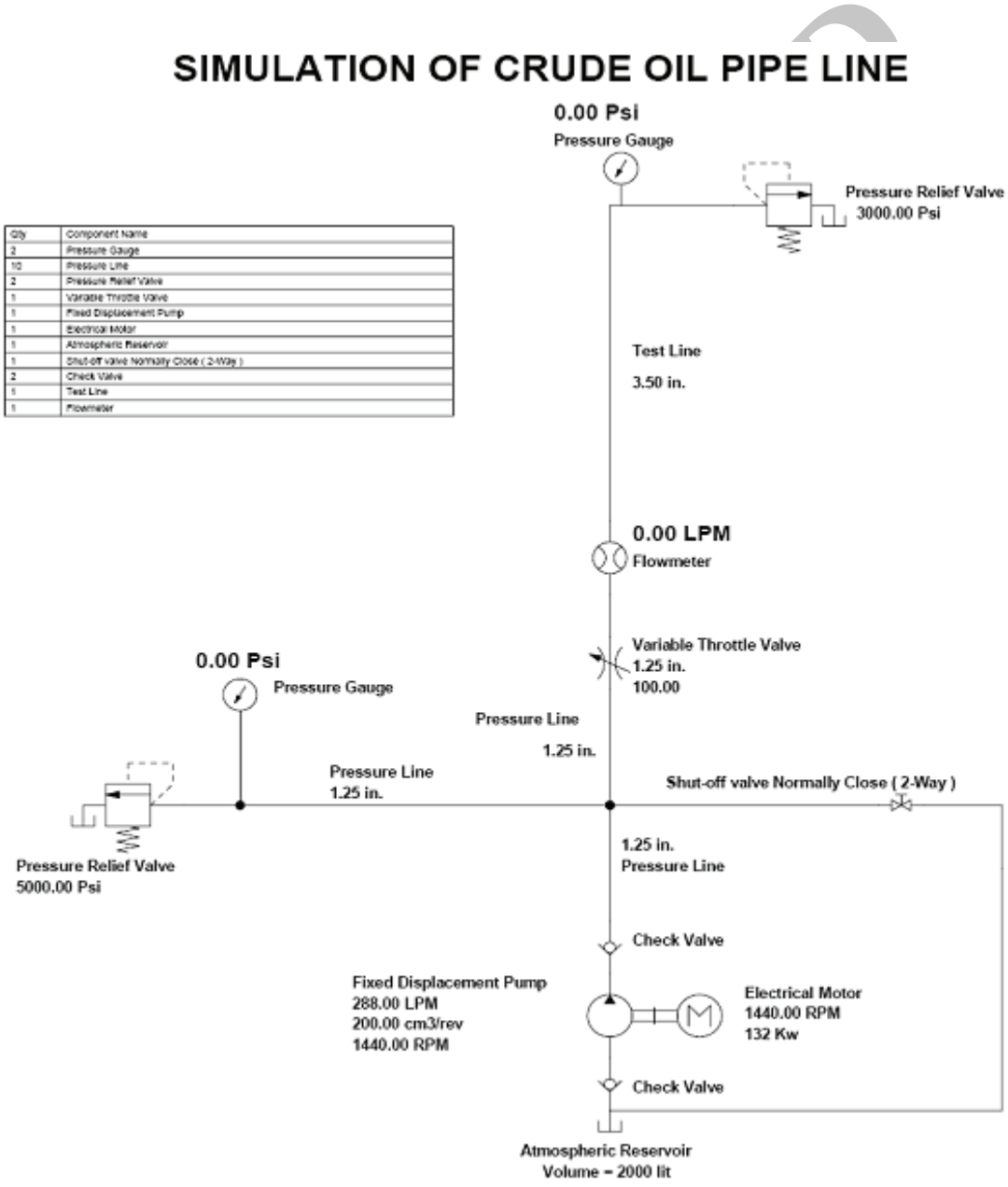
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- شمای فرآیندی طرح اول



شکل ۲- شمای فرایندی طرح دوم



Qty	Component Name
2	Pressure Gauge
10	Pressure Line
2	Pressure Relief Valve
1	Variable Throttle Valve
1	Fixed Displacement Pump
1	Electrical Motor
1	Atmospheric Reservoir
1	Shut-off valve Normally Close (2-Way)
2	Check Valve
1	Test Line
1	Flowmeter

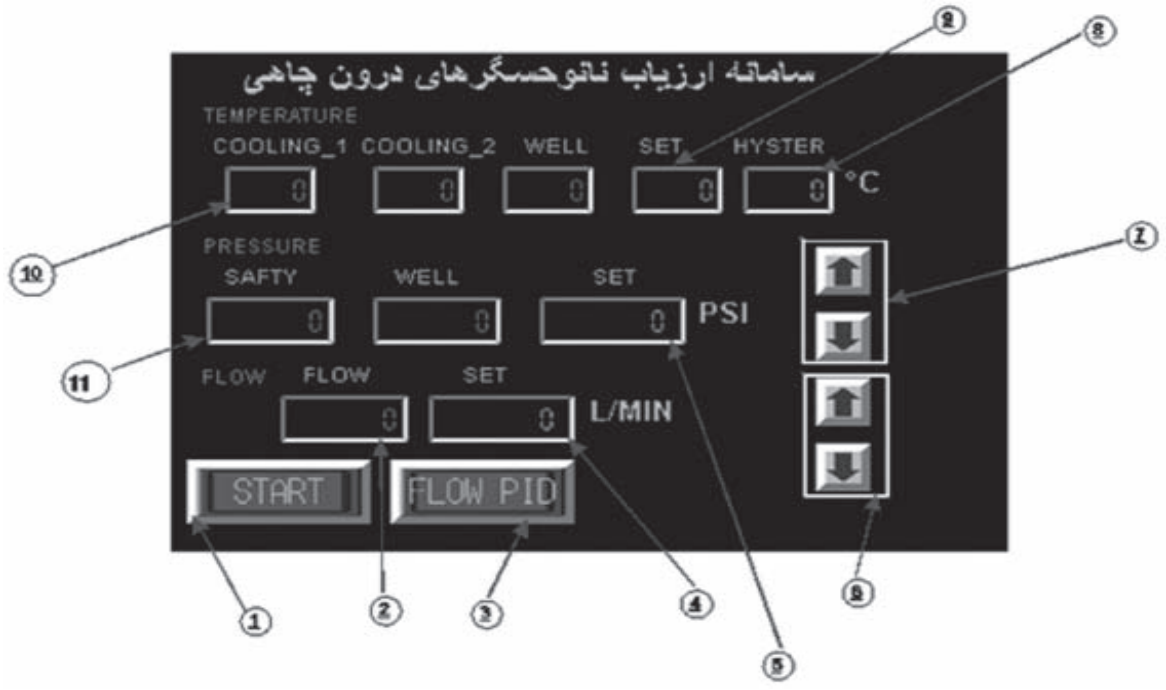
شکل ۳- مدار هیدرولیکی سیستم چاه کنترلی مصنوعی

www.SID.ir

مدار هیدرولیکی، سیکلی است که سیال در آن، با نیروی محرکه یک پمپ به گردش در می‌آید. نحوه طراحی مواد هیدرولیکی باید به گونه‌ای باشد که فشار، دما و دبی آن قابل کنترل باشد. در این سیستم برای تأمین فشار در لوله‌ها و کنترل آن، بر سر راه عبور سیال مقاومت‌های هیدرولیکی قرار داده شد است، این مقاومت توسط دو شیر رهاساز ایجاد گردیده است. جریان خروجی از این شیرها، مجدداً به مخزن اصلی که پمپ از آن تغذیه می‌کند، برگردانده می‌شود تا مدار جریان بسته باشد. به منظور ایجاد جریان یک طرفه در پمپ و جلوگیری از احتمال برگشت جریان به پمپ و مخزن، در خروجی پمپ، یک شیر یک سو کننده تعبیه شده است.

برای حفظ ایمنی، کنترل فشار در سیستم و همچنین امکان تخلیه لوله‌های تحت فشار در مواقع لزوم (مانند زمان‌های تمیز کردن سیستم)، در کنار خط لوله اصلی از یک مسیر جانبی استفاده شده که انتهای آن به مخزن اصلی باز می‌شود. در این مسیر شیری قرار گرفته که در حالت عادی بسته است. اما اگر این شیر باز شود، به علت عدم وجود مقاومت در مسیر جریان، کل جریان خروجی از پمپ در این مسیر حرکت کرده و به مخزن خوراک باز می‌گردد.

همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود، شیرهای رهاساز روی خطوط لوله با قطرهای مختلف نصب شده‌اند، خط لوله $1\frac{1}{4}$ اینچ و $3\frac{1}{2}$ اینچ. خط لوله اول، خط لوله خروجی از پمپ است و خط لوله دوم، خط لوله اصلی مدل است که اندازه‌گیری‌ها بر روی آن انجام می‌گیرد. بر روی خط لوله اصلی، المان هیدرولیکی دیگری نیز دیده می‌شود. این المان، یک شیر گلویی متغیر[2] است که میزان باز یا بسته بودن آن، مقدار جریان را در دو خط لوله موازی $1\frac{1}{4}$ اینچی و $3\frac{1}{2}$ اینچی معین می‌کند. اگر این شیر گلویی به طور کامل باز باشد، تمامی جریان از خط لوله اصلی عبور می‌کند، اما اگر شیر گلویی کاملاً باز نباشد، متناسب با میزان باز بودن شیر، جریان بین دو خط لوله تقسیم می‌گردد. در نتیجه با تغییر میزان باز بودن شیر گلویی، می‌توان دبی جریان را در خط لوله اصلی به دلخواه تنظیم نمود. به عبارت دیگر، عملکرد شیر گلویی، قابلیت کنترل دبی سیستم تا مقدار بیشینه ٤ lit/Sec (۲۰۰۰ bbl/day) را تضمین می‌نماید و مجموع عملکرد شیرهای رها ساز وگلویی، امکان متغیر بودن فشار تا بیشینه ۳۰۰۰ پام را فراهم می‌کند.



شکل٤- نمایی از صفحه نمایش HMI

1. Check Valve
2. Variable Throttle Valve

Archive of SID
www.SID.ir

سیستم کنترلی

با توجه بـه این‌که هدف از این نوع کنترل، تنظیم شـدت جریـان نفت اسـت و برای کنتـرل نیز از P.L.C اسـتفاده می‌شـود، ابتدا به نظر می‌رسید اسـتفاده از یک کنترل‌کننده بدون بازخورد مناسب‌تر باشد. اما با توجه به این‌که با انجام تمام محاسـبات و طراحی یک PID مناسب، حجم زیادی از منابع P.L.C مصرف می‌شـد، باید کنترل‌کننده‌ای استفاده شـود که قابلیت کنترل دور موتور به‌صورت حلقه بسته را داشته باشد.

همچنین کنترل سیستم و وارد کردن دستورات لازم از طریق HMI انجام می‌شود. نرم‌افزار طراحی شده برای HMI شامل دو صفحه اسـت. صفحه اول مربوط به شـروع نرم‌افزار و معرفی سیسـتم و صفحه دوم صفحه کار سیسـتم است که جزییات آن در شکل ٤ آمده است. در صفحه اول تنها یک کلید برای شروع فعالیت سیستم وجود دارد. با فشردن این کلید، سیسـتم وارد حالت کار می‌شود. در صفحه دوم تمام نقاط تنظیم و نیز نقاط کار مجموعه نمایش داده شده است. در این سیسـتم علاوه بر مانیتـور کردن پارامترهای کلیدی (پایین‌ترین حد پلکان هوشمندی) برای اطلاع از وضعیت درون چاهی، امکان استفاده از داده‌ها برای تجزیه و تحلیل، اخذ تصمیم مناسـب و اعمال فرمان نظیر کم و زیاد کردن دبی فشار و ... نیز وجود دارد.

این اجزا به ترتیب عبارتند از:

۱- کلید صدور فرمان شروع فرآیند کنترل
۲- نمایش‌گر مقدار شدت جریان سیال در چاه
۳- کلید انتخاب وضعیت کنترل شدت جریان
٤- نمایش‌گـر مقدار شـدت جریان تنظیم شـده و یا دور موتور کنترلی
۵- مقدار فشار تنظیم شده در سیستم
٦- کلیدهای تنظیم جریان سیال
۷- کلیدهای تنظیم فشار
۸- مقدار هیسترزیس[1] قابل قبول برای دما
۹- مقدار دمای مطلوب
۱۰- مقدار دمای موجود در چاه
۱۱- مقدار فشار موجود در مسیر برگشت

نرم‌افزار بررسی خواص نفت

این نرم‌افزار بسـیار کاربر دوست[2] طراحی شده است. در این نرم‌افزار، همان‌گونه که در شـکل ۵ نشـان داده شـده است، می‌شـود داده‌ها به صورت آنلاین اخذ شده و بر روی صفحه کامپیوتر و در اتاق کنترل به وسیله اپراتور مشاهده می‌شود.

در این صفحه، مکان ذخیره‌شدن اطلاعات قابل تعیین است و در ادامه با اسـتفاده از کلید ذخیره، اطلاعات نمایش داده شده درون فایل مورد نظر ذخیره می‌گردد.

در این نرم‌افزار در هر لحظه می‌توان دما و فشار لحظه‌ای را مشاهده نمود. همچنین اطلاعات متعددی از خواص فیزیکی سیال نظیر دانسـیته مایع و گاز، ضریب حجمی نفت، فشـار نقطه حباب، ویسکوزیته و .... محاسبه و نمایش داده می‌شود.

پس از محاسـبات مربوط به PVT در صورتی‌که شـرایط سـیال دو فازی باشـد، این امکان فراهم می‌شود تا با وارد کردن قطر لوله و سـرعت سیال، گزینه رژیم جریان[3] فعال شده و با انتخاب آن، رژیم جریان تعیین گردد.

از دیگر قابلیت‌های نرم‌افزار، امکان نمایش درصد ترکیبات اجزای هر فاز به دو شکل نمودار دایره‌ای و ستونی می‌باشد (شکل‌های ٦ و ۷).

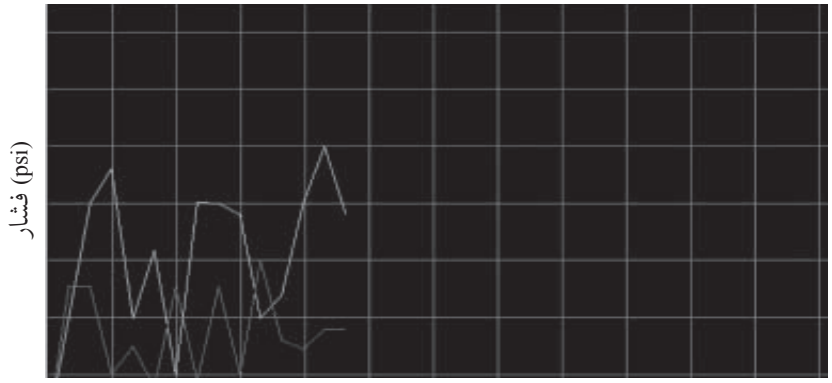
مقایسه نتایج نرم‌افزار با روابط تجربی و سایر نرم‌افزارها

در پایان به مقایسـه نتایج بدسـت آمده از نرم‌افزار و نتایج تجربی حاصـل از آنالیزهای PVT نمونه مورد نظر در این مطالعه می‌پردازیم. نتایج ارائه شده در جداول ۱ تا ۳ نشان می‌دهد که محاسبات انجام شده توسط این نرم‌افزار خوب و قابل قبول است.

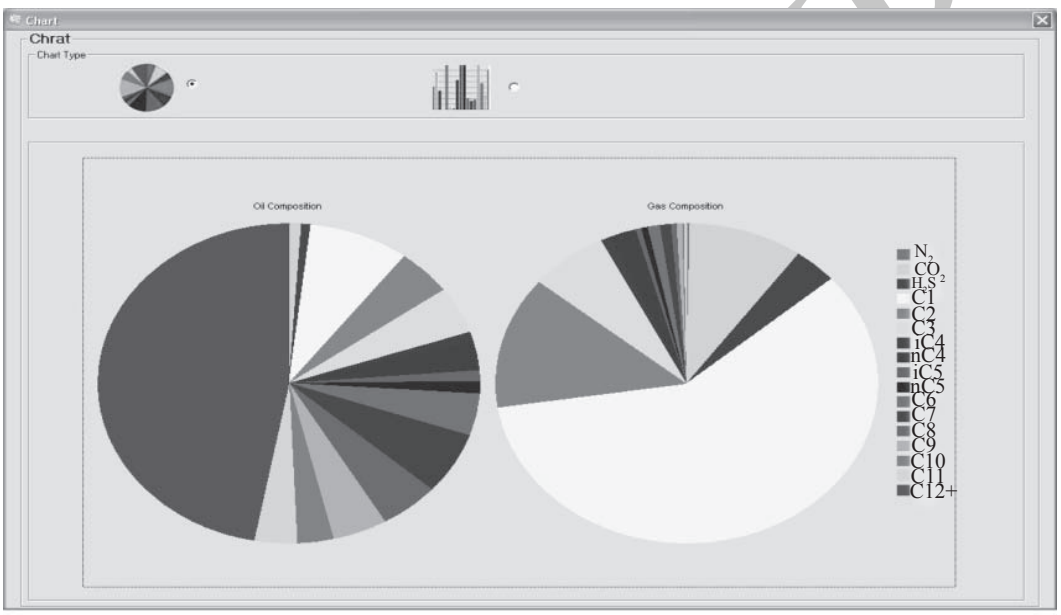
با استفاده از نرم‌افزار توسـعه داده شده، مقدار فشار اشباع ۲۰۵۰ پام و نسـبت گاز به مایع در شـرایط استاندارد ۳۸٤ محاسـبه شد که مقادیر تجربی آنها ۱۹۷۳ پام و ٤۰۵ است. مقـدار خطـای حاصل از نتایـج نرم‌افزار نسـبت به نتایج تجربی در جدول ۳ آمده است.

۱- بازه‌ای از تغییرات دما که به لحاظ عملیاتی قابل قبول است.
2. User Friendly

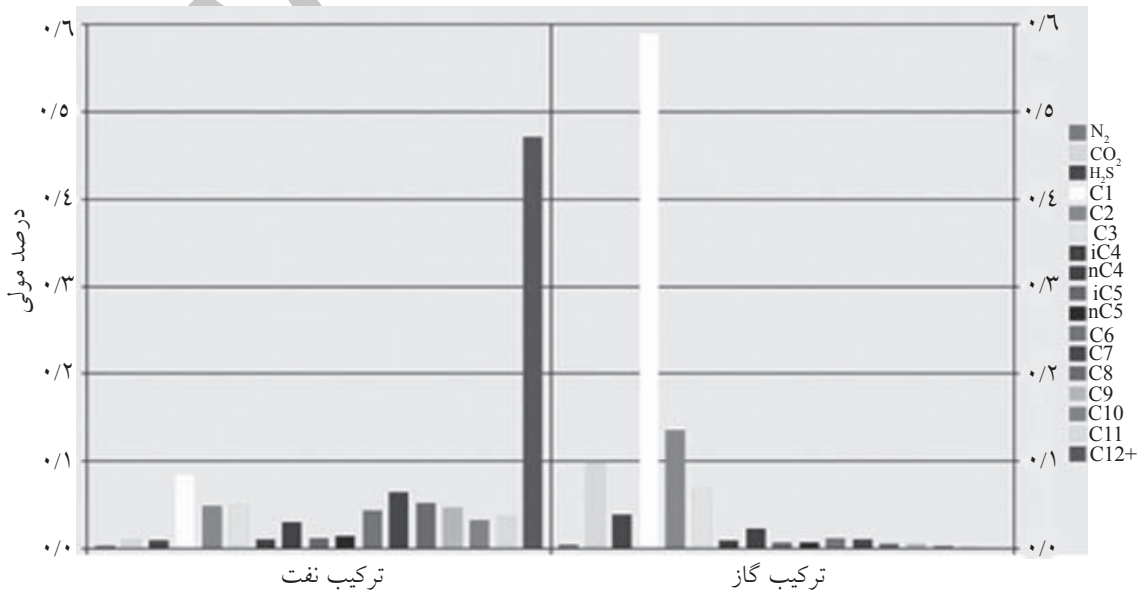
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵- صفحه نمایش اطلاعات



شکل ٦- نمودار دایره‌ای درصد ترکیبات دو فاز گاز و مایع



شکل ۷- نمودار ستونی درصد ترکیبات دو فاز گاز و مایع

www.SID.ir

جدول۱- مقایسه نتایج با شرایط استاندارد

ترکیبات	مایع			گاز		
	نرم‌افزار	تجربی	HYSYS	نرم‌افزار	تجربی	HYSYS
N_2	۰/۰۲	۰	۰/۰۹	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/٤۰۳
CO_2	۰/۰۱	۰	۰/۰۱۲	۷/۹	۷/٤۲	۷/۱۷
H_2S	۰/۰۵	۰	۰/۰۰۰٦	۳/٦٤	۳/٤۷	۳/۵۲
C_1	۰/۱٤	۰	۰/۱۹۹	۵۲	٤۸/۹۳	۵۱/۳
C_2	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۳۱	۱۵/۵۹	۱٤/۸۷	۱۵/٤۱
C_3	۰/۹۳	۰/۰٦	۰/۷۵	۱۰/۵۲	٤۰/۸۱	۱۰/۵۹
C_4	۰/۳۷	۰/۰۵	۰/۳۰۳	۱/۵۷	۱/۸۳	۱/٦۳
nC_4	۱/٤۱	۰/۰۱	۱/۱۵	٤/۲۱	۵/۳٦	٤/٤۷
iC_5	۰/۸٤	۰/۰۸	۰,۷۲۷	۰/۹۷	۱/۷٤	۱/۰۹
nC_5	۱/۱۱	۰/۰۸	۰/۹۷۸	۰/۹٦	۲/۰۱	۱/۱۱
C_6	٤/۸۲	٤/٤۷	٤/٦٦	۱/۳٦	۱/۹٤	۱/۵۸
C_7	۷/۹۷	۸/۲٦	۷/۹۹	۰/۷۷	۰/۹۲	۰/۸۳٦
C_8	٦/۵۷	٦/۹	٦/٦۵	۰/۲۳	۳/۲۹	۰/۲۱٤
C_9	۵/۹۲	٦/۵۲	٦/۱۸	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۰٦۳۵
C_{10}	٤	٤/۳۳	٤/۱۱	۰/۰۹	۰	۰/۰۱۳۸
C_{11}	٤/۷	۵/۰۱	٤/٦۷	۰/۰۲	۰	۰/۰۰۵
C_{12+}	٦۰/۳۷	٦٤/۰۵	٦۱	۰	۰	۰

جدول ۲- مقایسه نتایج در دمای ۲۵۵ °F

	دانسیته lb/ft^3		GOR		ویسکوزیته نفت (cP)		Bo		Z	
فشار (پام)	نرم‌افزار	تجربی	نرم‌افزار	تجربی	نرم‌افزار	تجربی	نرم‌افزار	تجربی	نرم‌افزار	تجربی
۵۰۰	۵۰/۳۸	٤۹/۸٦	۲۹۸	۲۸۰	۲/۸۹	۲/٤	۱/۲۲	۱/۲۳	۰/۹٤	۰/۹۳
۱۰۰۰	٤۹/۹۳	٤۸/۹۳	۱۹۰	۱۷۵	۱/۷۲	۱/۹	۱/۲۵	۱/۳۰۵	۰/۹۱	۰/۹
۱۵۰۰	٤۹/۷۳	٤۷/۹۹	۷۲	۷۵	۱/۱٤	۱/٦۵	۱/۲۷	۱/۳۳	۰/۹	۰/۸۹
۲۰۰۰	٤۸/۵۲	٤۷/۳۵	۰	۰	۰/۸۱	۱/٦	۱/۳	۱/۳۷	.....	.....
۳۰۰۰	٤۹/۱٦	٤۷/۹۹	۰	۰	۰/۸۷	۱/۸	۱/۲۵	۱/۳٦	.....	.....
٤۰۰۰	٤۹/۷	٤۸/٦۲	۰	۰	۱/۰۹	۱/۹	۱/۲٤	۱/۳۵	.....	.....

جدول ۳- محاسبه خطا

خواص	دانسیته	GOR	ویسکوزیته نفت	Bo	Z	P_b	Total GOR
درصد خطا	۲/۳	۳/٦	۲۷	۵	۱/۱	٤/۵	۳/۹

Archive of SID

www.SID.ir

همان‌طور که مشاهده می‌شود، خطای محاسبه ویسکوزیته، زیاد می‌باشد. بنابراین تصمیم گرفتیم که ویسکوزیته را با نرم‌افزار Hysys محاسبه کرده و با نتایج تجربی انجام شده در آزمایشگاه سنگ و سیال پژوهشگاه صنعت نفت مقایسه نماییم. تغییرات ویسکوزیته برحسب فشار در دمای ۲۵۵ °F در شکل ۸ آمده است (در شرایط مخزن و خارج از مخزن). خطای مشاهده شده بین نتایج نرم‌افزار Hysys و داده‌های تجربی ۲۶٪ بود بنابراین با بررسی‌های انجام شده و استفاده از نظرات صاحبنظران، خطای موجود به نقص معادلات ویسکوزیته موجود در منابع نسبت داده شد که این خطا غیرقابل اجتناب می‌باشد. در نهایت نمای کلی چاه هوشمند با همه اجزا و المان‌ها در شکل ۹ آمده است.

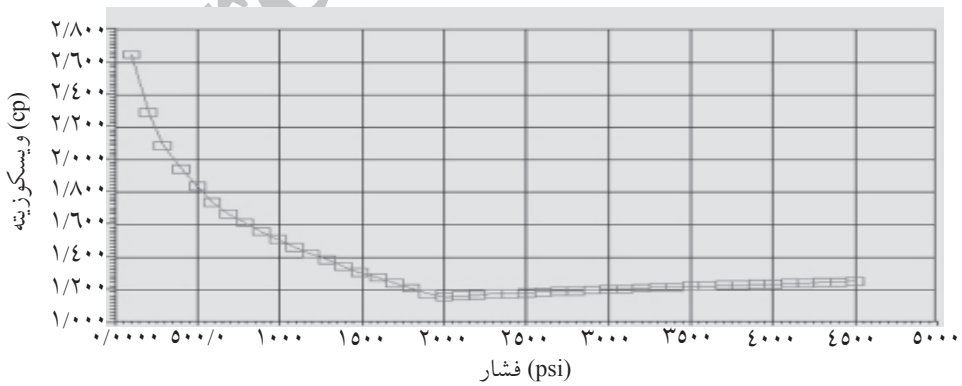
نتیجه‌گیری

– قبل از اجرا و پیاده‌سازی این تکنولوژی در میادین واقعی جهت مشاهده و بررسی اتفاقات درون چاهی با توجه به حساسیت به مورد این تکنولوژی،[1] ضروری است امکان‌سنجی پیاده‌سازی تکنولوژی در آن میدان خاص بررسی گردد.

– اعمال فرمان به موقع و به هنگام در چاه نفت بسیار مهم و مؤثر بوده و این شرایط را فراهم می‌آورد که بتوان معضلات حال حاضر چاه را برطرف نمود. این موضوع در پایلوت چاه هوشمند برخلاف روش‌های متداول و سنتی عملیاتی قابل اجرا می‌باشد. در این پایلوت تمامی اتفاقات و دستورات آنلاین انجام می‌شود.

– کنترل از راه دور سیستم چاه هوشمند به لحظ وجود امنیت برای کارکنان عملیاتی و جلوگیری از سفرهای غیر ضرور کارکنان به مناطق عملیاتی، از مزایای اصلی چاه هوشمند است [۶] که در این پایلوت از فاصله چند ده متری کنترل می‌شود.

– ارزش افزوده[2] واقعی چاه هوشمند زمانی حاصل می‌شود که اجزای اصلی حلقه ارزش یعنی اندازه‌گیری، ارزیابی، تصمیم‌گیری، کنترل و اعمال فرمان همگی با هم اجرا شوند. اگرچه انجام یک حلقه از زنجیره ارزش نیز می‌تواند ارزش افزوده ایجاد نماید. برای تکنولوژی مخازن هوشمند دقیقاً به مانند انسان IQ تعریف می شود که به آن پلکان هوشمندی[3] می‌گویند [۷] که می‌توان با توجه به نیاز، هر میزان از هوشمندی را به کار برد. مثلاً در بعضی مناطق عملیاتی فقط از پایش فشار به صورت به هنگام بهره می‌برند که پایین‌ترین سطح هوشمندی یا همان مانیتورینگ و پایش است. ولی ارزش افزوده این تکنولوژی در استفاده کامل از تمامی زنجیره‌های حلقه ارزش آن محقق می‌شود که در این پایلوت سعی شده است تمامی زنجیره‌های این حلقه ارزش به هم متصل شوند.



شکل ۸– تغییرات ویسکوزیته بر حسب فشار در دمای ۲۵۵ °F

1. Casesensitive
2. Added Value
3. Smart Staircase

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۹- نمای کلی از سیستم چاه مصنوعی کنترلی

www.SID.ir

مراجع

[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 20, 2003.

[2]. Al-Khodhori Sh. M., "*Smart Well Technologies Implementation in PDO for Production & Reservoir Management & Control*" SPE 81486. presented at SPE 13th Middle East Oil Show & Conference Bahrain 5-8 April 2003.

[3]. Sakowski S. A., Andersen A. and Furui K., "*Impact of Intelligent Well Systems on Total Economic of Field Development*", SPE paper 94672, presented at 2005 SPE Hydrocarbon Economis and Evaluation Symposium held in Dallas, TX, U.S.A, 3-5 April 2005

[4]. Ebadi F. and Davies D. R., "*Screening of Reservoir Types for Optimisation of Intelligent Well Design"*, Paper SPE 94053, presented SPE Europe/EAGE Annual Conference held in Madrid, Spain, 13-18 June 2005.

[5]. Best L. d. and Berg F. v. d. "*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.

[6]. Saputelli L. A. and et al., "*Promoting Real-Time Optimization of Hydrocarbon Producing Systems*," paper SPE 83978 presented at the Offshore Europe 2003, Aberdeen, U.K., 2003.

[7]. Arenas E. and Dolle N., "*Smart Water Flooding Tight Fractured Reservoir Using Inflow Control Valves*", Spe paper 84193, presented at Spe Annual technical Conference and Exhibition held in Denver, Colorado , U.S.A, 5-8 Oct., 2003.

[8]. Mochizuki et al., *Real Time Optimisation: Classification and Assessment*, presented at SPE 90213, Presented at Annual Technical Conference and Exhibition held in Houston, Texas, U.S.A. 26-29 Sep. 2004.

Archive of SID

www.SID.ir