

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

پژوهش‌نفت

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

تورج بهروز* و سید صالح هندی

پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده مطالعات مخازن و توسعه میدان

پژوهشگاه صنعت نفت پردیس صنایع بالادستی

behrouzt@ripi.ir

چکیده

چاه هوشمند چاهی است که در صورت استفاده مناسب، باعث افزایش ضریب برداشت و افزایش بهره دهی از مخازن در راستای تولید سیانتهی از مخازن می‌شود. 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 و دمای 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 منظور اعتبارسنجی 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

استفاده از یک پمپ می توان فشار این 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 می گردد. سپس دستورات لازم از اتاق کنترل که در فاصله چند ده متری قرار دارد، به سیستم اعمال می شود. با این کار می توان بستری مناسب برای مشاهده حلقه ارزش تکنولوژی چاه هوشمند ایجاد نمود تا از طریق آن بتوان اتفاقات درون چاهی را به موقع پایش کرده و در صورت لزوم، دستورهای را به صورت آنلاین و از راه دور به سیستم اعمال نمود.

تصمیم گیری در مورد بیشینه فشار، دما و دبی عملیاتی پایلوت

داده های موجود در خصوص مخازن و چاه های کشور اعم از زمینی و دریایی، حاکی از آن است که گستره فعالیت چاه های داخلی در بازه ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ پام می باشد. با این وجود تعداد قابل توجهی از چاه ها در فشارهای میانه این بازه عمل می کنند و اوج پراکندگی در فشارهایی در حدود ۳۰۰۰ پام دیده می شود. از این رو حداکثر فشار ۳۰۰۰ پام برای طراحی در نظر گرفته شده است.

پارامتر عملیاتی دیگری که باید در خصوص آن تصمیم گیری شود، دما می باشد. براساس بررسی ها، بیشینه دمای چاه های عملیاتی ۲۲۰ °F است. فراوانی چاه هایی که در محدوده دمایی ۱۸۰-۲۰۰ °F کار می کنند، بیش از سایرین است. با توجه به این داده ها، دمای عملیاتی سیستم بین ۱۲۰-۲۰۰ °F در نظر گرفته شده است.

طراحی مفهومی

طراحی مفهومی فرآیندی

پیش از انجام طراحی مفهومی مکانیکی و رسم مدار هیدرولیکی سیستم، به منظور شناسایی تغییرات ترمودینامیکی که ممکن است برای سیال رخ دهد،

چشمگیری بهبود می بخشد [۱ و ۲]. استفاده از این تکنولوژی سبب کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه و عملیاتی شده و از طریق بهبود مدیریت مخازن باعث افزایش میزان هیدروکربور قابل استحصال می شود [۳].

عمده فناوری های نوین جهان صنعتی امروز بر پایه سیستم های کوچک (پایلوت) توسعه یافته اند. به همین دلیل مباحثی همچون مدل سازی فیزیکی و شبیه سازی جایگاه بسیار مهمی در توسعه فناوری و کاربردی کردن آن در صنایع دارد. در این طراحی ها مهم آن است که بتوان میان رفتار سیستم مقیاس کوچک (پایلوت) و سیستم هدف مقیاس صنعتی، ارتباط برقرار نمود. به طور کلی از ساخت پایلوت دو هدف عمده دنبال می شود. اول آشنایی با مفاهیم بنیادی برای درک بهتر ارتباطات و دوم اخذ داده های پایلوتی برای طراحی واحدهای صنعتی و اجرا در مقیاس واقعی.

به منظور مشاهده یک سیستم پایلوت چاه هوشمند و اجرایی کردن همزمان فرآیندهای پایش، کنترل، تصمیم گیری و ارائه فرمان به صورت آنلاین جهت کامل شدن حلقه ارزش فناوری [۴]، یک لوپ بسته مورد نیاز است.

پایلوت چاه هوشمند

پایلوت چاه هوشمند با هدف بستن حلقه ارزش تکنولوژی چاه هوشمند که شامل داده گیری به هنگام، ارزیابی و تحلیل داده های به هنگام و اعمال فرمان با هدف تصمیم گیری به هنگام مناسب می باشد، طراحی و ساخته شد. این پایلوت شامل اجزایی نظیر پمپ مناسب برای تامین فشار مورد نیاز، منبع تأمین برق، بدنه اصلی چاه، مخزن تولیدی برای ذخیره سازی نفت در گردش، مبدل حرارتی برای تنظیم دما، شیرهای کنترلی مختلف برای تنظیم دبی و فشار، سنسورهای مورد نیاز برای پایش پارامترهای دما، فشار و دبی، سیستم فیلتراسیون و HMI برای نمایش و کنترل پارامترها می باشد. با توجه به هدف پژوهش، لازم است سیستم بازخورد داشته باشد [۵]. بنابراین، کار در یک حلقه بسته انجام پذیرفت. در این حلقه بسته، ابتدا نفت مورد نظر بعد از فیلتراسیون در درون مخزن قرار داده می شود. با

در طرح دوم، خوراک فرآیند داخل یک سیلندر مجهز به پیستون^۱ قرار گرفته است. این سیلندر از قسمت پشت پیستون توسط یک رگلاتور به مخزن گاز فشار بالا متصل می‌باشد. سیلندر از سمت دیگر به یک مخزن متصل است. این مخزن در حکم مخزن واقعی بوده و اندازه‌گیری خواص مورد نظر روی آن انجام می‌شود. مخزن مذکور به یک پمپ وصل می‌گردد که 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 استفاده از شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری، می‌توان، فرآیندها را بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های مکانیکی و اقتصادی طراحی نموده و از نتایج آن مطلع شد. در این پژوهش شبیه‌سازی فرآیندی بر اساس مشخصات واقعی یک مخزن واقعی انجام شده 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 فشار ۳۰۰۰ پام و دمای ۱۲۰-۲۰۰ °F، در خط لوله‌ای به قطر $3\frac{1}{2}$ اینچ با دبی ۴ lit/sec به گردش در می‌آورد. در بخشی از این خط لوله یک ماژول حسگر به طول یک متر تعبیه شده است."

این تعریف منجر به طراحی مدار هیدرولیکی شد که در شکل ۳ به نمایش درآمده است.

شبیه‌سازی فرآیندی بر اساس دو نقشه احتمالی ساده انجام شد. جزئیات مکانیکی این شبیه‌سازی کاملاً شبیه به طرح نهایی نیست، 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 شبیه‌سازی فرآیندی لحاظ نشده است. به طور مثال نوع شیرهای رهاساز^۱ و یک سوکننده^۲ در شبیه‌سازی‌های فرآیندی تأثیری ندارد. بنابراین با ثابت نگه داشتن 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.

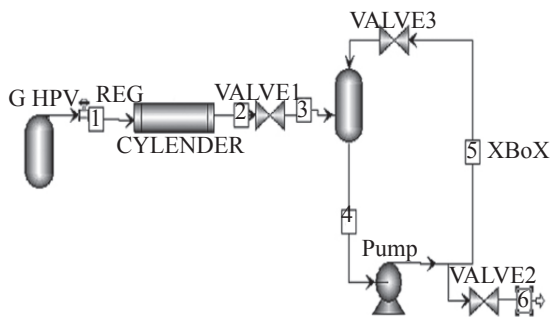
ملاحظات فرآیندی

همان‌گونه‌که بیشتر گفته شد، فشار عملیاتی این سیستم بسیار بیشتر از فشار اتمسفری است و براساس یک چاه واقعی متصل به یک مخزن با حجم معین تعریف شده است. این محدودیت‌ها سبب می‌شود که نتوان از یک سیستم 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.

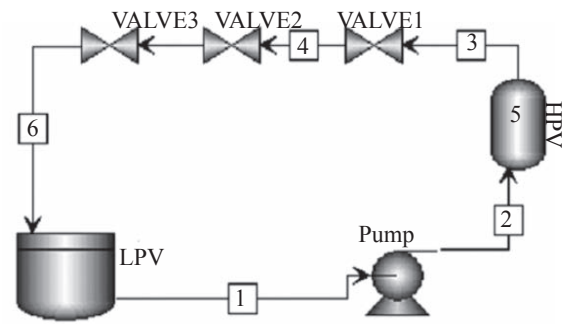
نکته بعدی که باید در قالب تمهیدات فرآیندی به آن توجه داشت، نحوه تأمین فشار سیستم است. برای این منظور، دو طرح پیشنهاد گردید. برای رساندن سیستم به فشار مورد نظر در طرح اول از یک پمپ و در طرح دوم از یک پمپ و یک مخزن گاز پرفشار^۳ استفاده شده است.

در طرح اول، خوراک فرآیند از یک مخزن در شرایط محیط^۴ تأمین می‌شود که پس از عبور از یک پمپ به فشار عملیاتی مورد نظر رسیده و وارد یک مخزن فشار بالا^۵ می‌شود. این مخزن در حکم مخزن واقعی بوده و اندازه‌گیری خواص مورد نظر بر روی آن انجام می‌شود. سیال فرآیندی پس از عبور از مخزن از یک سری شیر فشار شکن عبور کرده و به شرایط محیط بر می‌گردد.

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

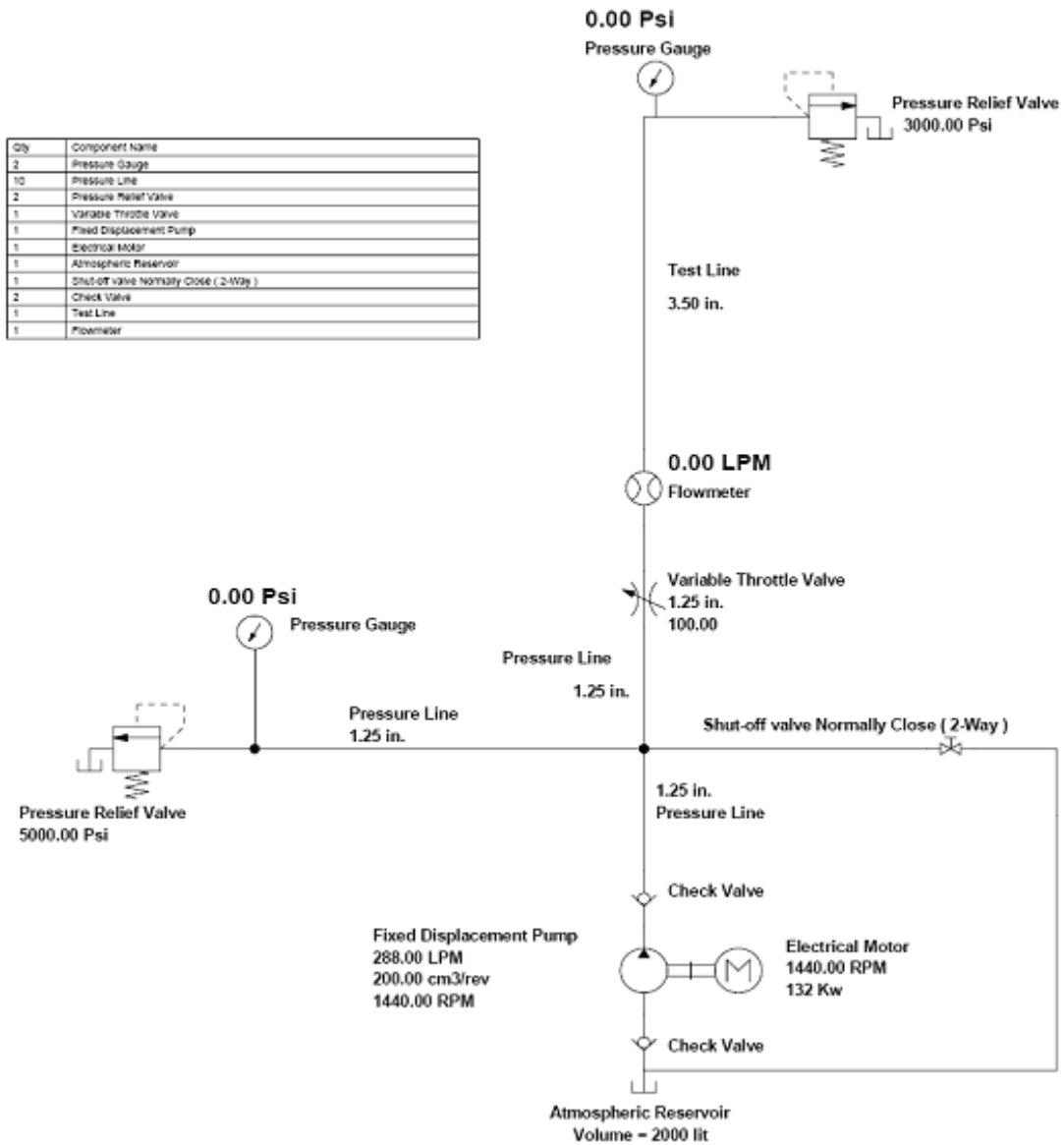


شکل ۲- شمای فرآیندی طرح دوم



شکل ۱- شمای فرآیندی طرح اول

SIMULATION OF CRUDE OIL PIPE LINE

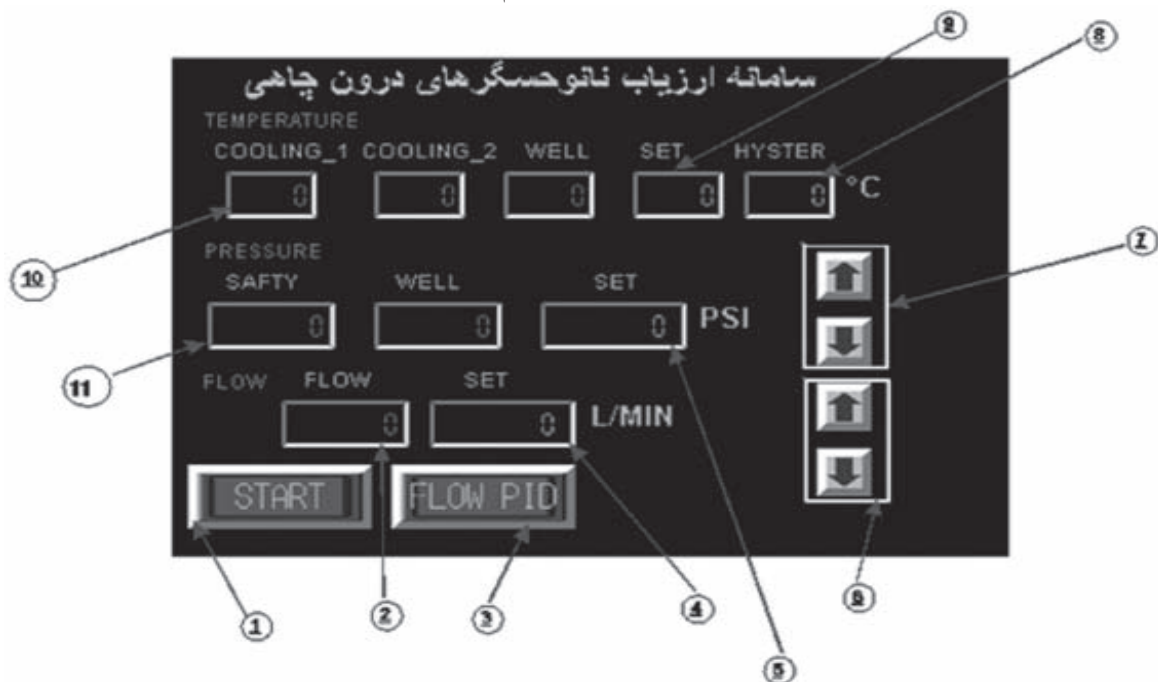


شکل ۳- مدار هیدرولیکی سیستم چاه کنترلی مصنوعی

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 گلوبی متغیر^۲ است که میزان باز یا بسته بودن آن، مقدار جریان را در دو خط لوله موازی $1\frac{1}{4}$ اینچ و $3\frac{1}{2}$ اینچ معین می‌کند. اگر این شیر گلوبی به طور کامل باز باشد، تمامی جریان از خط لوله اصلی عبور می‌کند، اما اگر شیر گلوبی کاملاً باز نباشد، متناسب با میزان باز بودن شیر، جریان بین دو خط لوله تقسیم می‌گردد. در نتیجه با تغییر میزان باز بودن شیر گلوبی، می‌توان دبی جریان را در خط لوله اصلی به دلخواه تنظیم نمود. به عبارت دیگر، عملکرد شیر گلوبی، قابلیت کنترل دبی سیستم تا مقدار بیشینه ۴ lit/Sec (۲۰۰۰ bbl/day) را تضمین می‌نماید و مجموع عملکرد شیرهای رهاساز و گلوبی، امکان متغیر بودن فشار تا بیشینه ۳۰۰۰ پام را فراهم می‌کند.

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



شکل ۴- نمایشی از صفحه نمایش HMI

1. Check Valve
2. Variable Throttle Valve

سیستم کنترلی

با توجه به این که هدف از این نوع کنترل، تنظیم شدت جریان نفت است و برای کنترل نیز از P.L.C استفاده می‌شود، ابتدا به نظر می‌رسید استفاده از یک کنترل کننده بدون بازخورد مناسب‌تر باشد. اما با توجه به این که با انجام تمام محاسبات و طراحی یک PID مناسب، حجم زیادی از منابع P.L.C مصرف می‌شود، باید کنترل کننده‌ای استفاده شود که قابلیت کنترل دور موتور به صورت 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 است. صفحه اول مربوط به شروع نرم‌افزار و معرفی سیستم و صفحه دوم صفحه کار سیستم است که جزئیات آن در شکل ۴ آمده است. در صفحه اول تنها یک کلید برای شروع فعالیت سیستم وجود دارد. با فشردن این کلید، سیستم وارد حالت کار می‌شود. در صفحه دوم تمام نقاط تنظیم و نیز نقاط کار مجموعه نمایش داده شده است. در این سیستم علاوه بر مانیتور کردن پارامترهای کلیدی (پایین‌ترین حد پلکان هوشمندی) برای اطلاع از وضعیت درون چاهی، امکان استفاده از داده‌ها برای تجزیه و تحلیل، اخذ تصمیم مناسب 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
- ۴- نمایش‌گر مقدار شدت جریان تنظیم شده و یا دور موتور کنترلی
- ۵- مقدار فشار تنظیم شده در سیستم
- ۶- کلیدهای تنظیم جریان سیال
- ۷- کلیدهای تنظیم فشار
- ۸- مقدار هیستریزس^۱ 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 بسیار کاربر دوست^۲ طراحی شده است. در این نرم‌افزار، همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، می‌شود داده‌ها به صورت آنلاین اخذ شده و بر روی صفحه کامپیوتر و در اتاق کنترل به وسیله اپراتور مشاهده می‌شود.

در این صفحه، مکان ذخیره شدن اطلاعات قابل تعیین است و در ادامه با استفاده 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 دانسیته مایع و گاز، ضریب حجمی نفت، فشار نقطه حباب، ویسکوزیته و محاسبه و نمایش داده می‌شود.

پس از محاسبات مربوط به PVT در صورتی که شرایط سیال دو فازی باشد، این امکان فراهم می‌شود تا با وارد کردن قطر لوله و سرعت سیال، گزینه رژیم جریان^۳ فعال شده و با انتخاب آن، رژیم جریان تعیین گردد.

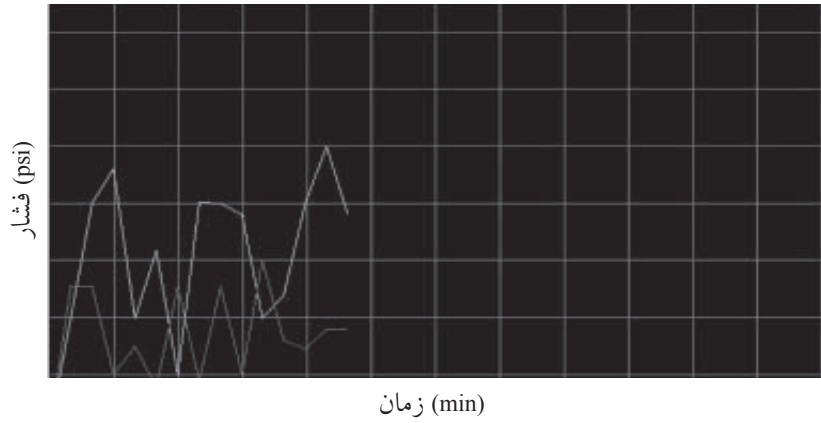
از دیگر قابلیت‌های نرم‌افزار، امکان نمایش درصد ترکیبات اجزای هر فاز به دو شکل نمودار دایره‌ای و ستونی می‌باشد (شکل‌های ۶ و ۷).

مقایسه نتایج نرم‌افزار با روابط تجربی و سایر نرم‌افزارها

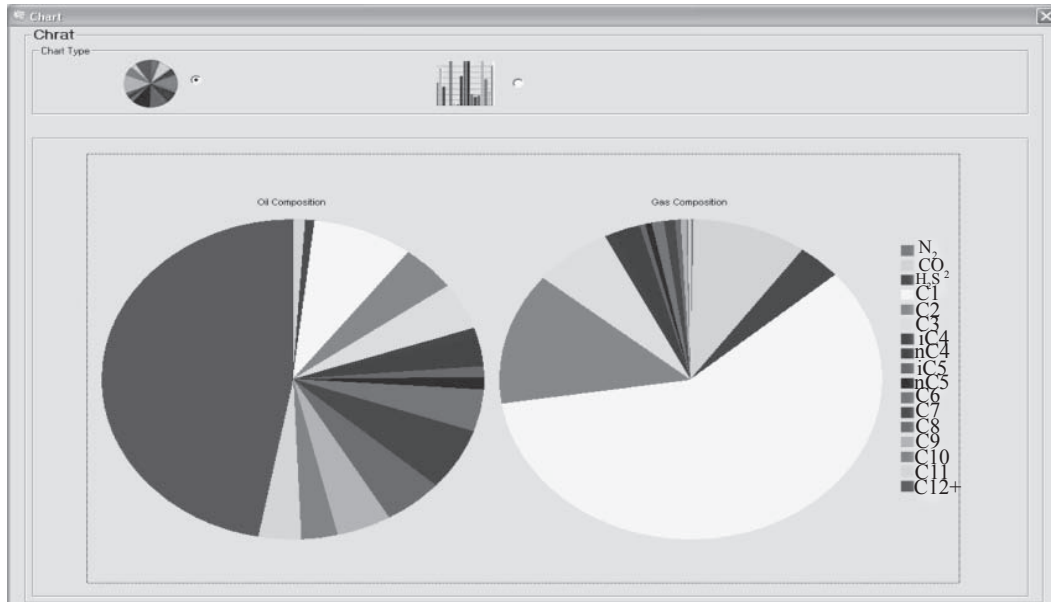
در پایان به مقایسه نتایج بدست آمده از نرم‌افزار و نتایج تجربی حاصل از آنالیزهای PVT نمونه مورد نظر در این مطالعه می‌پردازیم. نتایج ارائه شده در جداول ۱ تا ۳ نشان می‌دهد که محاسبات انجام شده توسط این نرم‌افزار خوب و قابل قبول است.

با استفاده از نرم‌افزار توسعه داده شده، مقدار فشار اشباع ۲۰۵۰ پام و نسبت گاز به مایع در شرایط استاندارد ۳۸۴ محاسبه شد که مقادیر تجربی آنها ۱۹۷۳ پام و ۴۰۵ است. مقدار خطای حاصل از نتایج نرم‌افزار نسبت به نتایج تجربی در جدول ۳ آمده است.

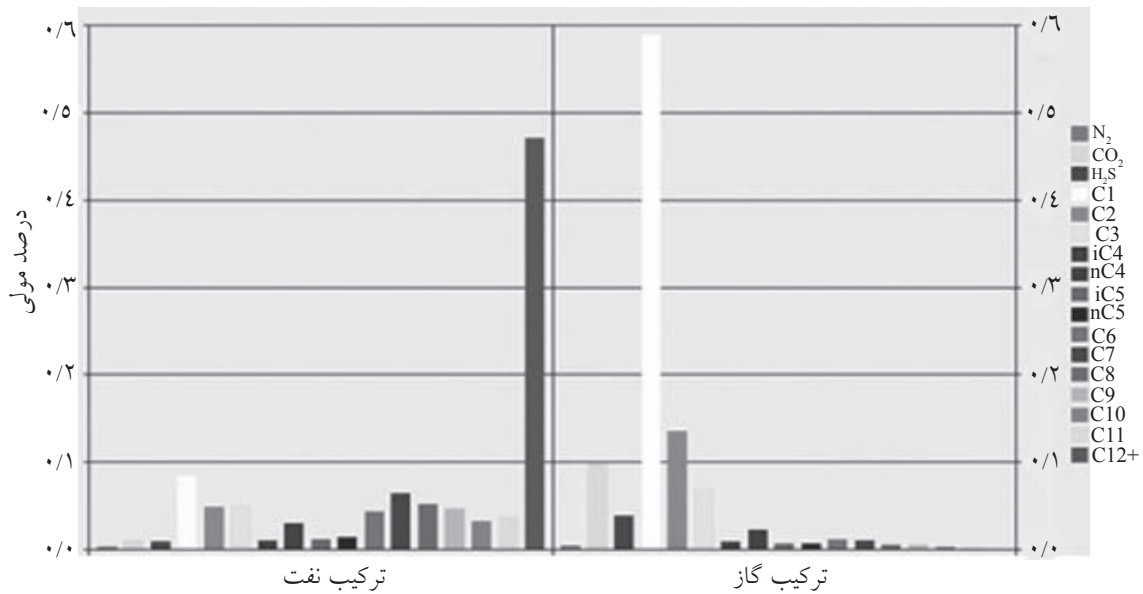
۱- بازه‌ای از تغییرات دما که به لحاظ عملیاتی قابل قبول است.
2. User Friendly



شکل ۵- صفحه نمایش اطلاعات



شکل ۶- نمودار دایره‌ای درصد ترکیبات دو فاز گاز و مایع



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

جدول ۱- مقایسه نتایج با شرایط استاندارد

ترکیبات	مایع			گاز		
	نرم افزار	تجربی	HYSYS	نرم افزار	تجربی	HYSYS
N ₂	۰/۰۲	۰	۰/۰۹	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۴۰۳
CO ₂	۰/۰۱	۰	۰/۰۱۲	۷/۹	۷/۴۲	۷/۱۷
H ₂ S	۰/۰۵	۰	۰/۰۰۰۶	۳/۶۴	۳/۴۷	۳/۵۲
C ₁	۰/۱۴	۰	۰/۱۹۹	۵۲	۴۸/۹۳	۵۱/۳
C ₂	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۳۱	۱۵/۵۹	۱۴/۸۷	۱۵/۴۱
C ₃	۰/۹۳	۰/۰۶	۰/۷۵	۱۰/۵۲	۴۰/۸۱	۱۰/۵۹
C ₄	۰/۳۷	۰/۰۵	۰/۳۰۳	۱/۵۷	۱/۸۳	۱/۶۳
nC ₄	۱/۴۱	۰/۰۱	۱/۱۵	۴/۲۱	۵/۳۶	۴/۴۷
iC ₅	۰/۸۴	۰/۰۸	۰/۷۲۷	۰/۹۷	۱/۷۴	۱/۰۹
nC ₅	۱/۱۱	۰/۰۸	۰/۹۷۸	۰/۹۶	۲/۰۱	۱/۱۱
C ₆	۴/۸۲	۴/۴۷	۴/۶۶	۱/۳۶	۱/۹۴	۱/۵۸
C ₇	۷/۹۷	۸/۲۶	۷/۹۹	۰/۷۷	۰/۹۲	۰/۸۳۶
C ₈	۶/۵۷	۶/۹	۶/۶۵	۰/۲۳	۳/۲۹	۰/۲۱۴
C ₉	۵/۹۲	۶/۵۲	۶/۱۸	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۰۶۳۵
C ₁₀	۴	۴/۳۳	۴/۱۱	۰/۰۹	۰	۰/۰۱۳۸
C ₁₁	۴/۷	۵/۰۱	۴/۶۷	۰/۰۲	۰	۰/۰۰۵
C ₁₂₊	۶۰/۳۷	۶۴/۰۵	۶۱	۰	۰	۰

جدول ۲- مقایسه نتایج در دمای ۲۵۵ °F

فشار (پام)	دانسیته lb/ft ³		GOR		ویسکوزیته نفت (cP)		Bo		Z	
	نرم افزار	تجربی	نرم افزار	تجربی	نرم افزار	تجربی	نرم افزار	تجربی	نرم افزار	تجربی
۵۰۰	۵۰/۳۸	۴۹/۸۶	۲۹۸	۲۸۰	۲/۸۹	۲/۴	۱/۲۲	۱/۲۳	۰/۹۴	۰/۹۳
۱۰۰۰	۴۹/۹۳	۴۸/۹۳	۱۹۰	۱۷۵	۱/۷۲	۱/۹	۱/۲۵	۱/۳۰۵	۰/۹۱	۰/۹
۱۵۰۰	۴۹/۷۳	۴۷/۹۹	۷۲	۷۵	۱/۱۴	۱/۶۵	۱/۲۷	۱/۳۳	۰/۹	۰/۸۹
۲۰۰۰	۴۸/۵۲	۴۷/۳۵	۰	۰	۰/۸۱	۱/۶	۱/۳	۱/۳۷
۳۰۰۰	۴۹/۱۶	۴۷/۹۹	۰	۰	۰/۸۷	۱/۸	۱/۲۵	۱/۳۶
۴۰۰۰	۴۹/۷	۴۸/۶۲	۰	۰	۱/۰۹	۱/۹	۱/۲۴	۱/۳۵

جدول ۳- محاسبه خطا

خواص	دانسیته	GOR	ویسکوزیته نفت	Bo	Z	P _b	Total GOR
درصد خطا	۲/۳	۳/۶	۲۷	۵	۱/۱	۴/۵	۳/۹

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.

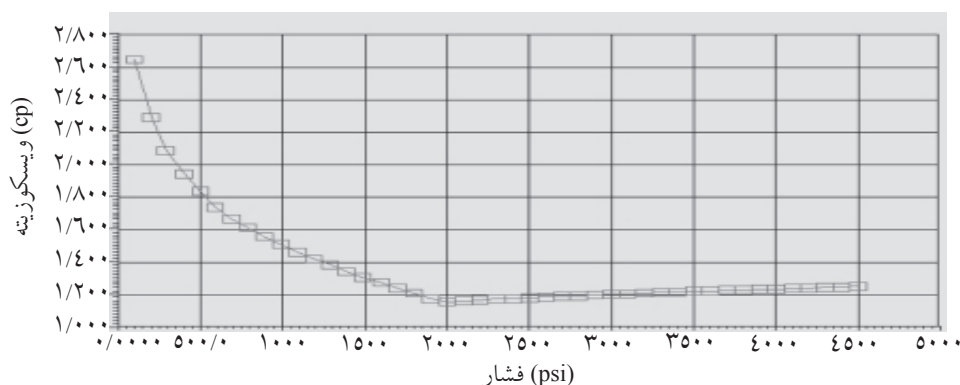
- ارزش افزوده^۲ واقعی چاه هوشمند زمانی حاصل می‌شود که اجزای اصلی حلقه ارزش یعنی اندازه‌گیری، ارزیابی، تصمیم‌گیری، کنترل و اعمال فرمان همگی با هم اجرا شوند. اگرچه انجام یک حلقه از زنجیره ارزش نیز می‌تواند ارزش افزوده ایجاد نماید. برای تکنولوژی مخازن هوشمند دقیقاً به مانند انسان IQ تعریف می‌شود که به آن پلکان هوشمندی^۳ 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.

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 بر حسب 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 میداین واقعی جهت مشاهده و بررسی اتفاقات درون چاهی با توجه به حساسیت به مورد این تکنولوژی،^۱ 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



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

1. Casesensitive
2. Added Value
3. Smart Staircase



شکل ۹- نمای کلی از سیستم چاه مصنوعی کنترلی

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 Economics 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.