



تعیین بهترین مدل منحنی عملکرد جریان‌ی چاه و فشار ورودی به لوله مغزی جهت فراز آوری مصنوعی در یکی از میادین جنوب غربی ایران با استفاده از نرم افزار Prosper

سجاد ادیب پور^۱ عباسعلی چنگلوی^۲ صاحب طواف^۳

دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران Sajadadibpour@yahoo.com

چکیده

هنگامیکه از یک مخزن بصورت طبیعی تولید می شود پس از مدتی با گذشت زمان از انرژی مخزن کاسته می شود و سیال بصورت طبیعی قادر به رسیدن به سطح نمی باشد که در اینصورت از روشهای فراز آوری مصنوعی استفاده می شود. در این مقاله با استفاده از نرم افزار Prosper بهترین مدل عملکرد جریان‌ی چاه و فشار ورودی به لوله مغزی تخمین زده شده و همچنین ضمن بررسی خواص سیال چاه، نتایج آن را با داده های آزمایشگاهی مقایسه می نماییم.
واژه های کلیدی: منحنی عملکرد جریان‌ی چاه، فشار ورودی به لوله مغزی، فراز آوری

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران
^۲ - دکتری مهندسی شیمی و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران
^۳ - کارشناسی ارشد مهندسی نفت حفاری و بهره برداری، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب



۱- مقدمه

با کاهش فشار در مخزن و بدنبال آن کاهش دبی تولیدی سیستم های فراز آوری مصنوعی به عنوان یکی از مهمترین گزینه های تولید مورد استفاده قرار می گیرند با پیشرفت روزافزون صنایع و تکنولوژی و همچنین افزایش جمعیت از یک و، و محدود بودن و غیرقابل بازگشت بودن ذخایر نفت و گاز، لزوم بررسی و ارائه راهکاری جهت استفاده بیشتر و بهینه از این منابع بسیار حائز اهمیت می باشد. بدیهی است که باید روشهای علمی و تجهیزات جدیدی را برای تولید بیشتر و بهینه از مخزن نفتی در طی عمر مفید آن، فراهم آوریم. تقریباً تمام نواحی که دارای مخازن نفتی بزرگ می باشند، دارای نشانه های سطحی است که حاکی از وجود نفت و گاز هستند، بر اساس روشهای مستقیم و روشهای دیگر (از قبیل زمین شناسی و لرزه ای) می توان منطقه ای را برای ایجاد حفاری اکتشافی تعیین نمود. اگر مشاهدات اولیه و آزمایشات انجام شده در جهت مثبت پیش رفته باشد، احتمالاً به مخزن دسترسی پیدا کرده ایم. چون سیال مخزن تحت فشار نیروهای طبیعی می باشد، اگر چاهی به داخل مخزن حفر شود بر اثر کاهش فشار بین مخزن و سطح زمین، سیال درون مخزن به طرف بالا جریان می یابد. در ادامه به مروری از مشاهدات گذشته می پردازیم.

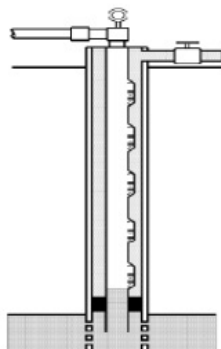
در سال ۱۹۸۲ رابرت سل و همکاران با استفاده از روش ترسیمی براون نمودارهای تجربی که در این خصوص برای پیش بینی افت فشار در مسیرهای افقی و عمودی تهیه شده بود، نمودار عملکرد سیستم فراز آوری با گاز را تهیه نمودند و نشان دادند که از لحاظ اقتصادی فقط یک نقطه از منحنی تولید نفت بر حسب تزریق گاز مقرون به صرفه است. در سال ۱۹۹۶ در کنگره صنعت گاز، بوتیراگو ورود ریدگوئز یکی از مشکلات بهینه سازی سیستم فراز آوری با گاز به روش ترسیمی را عدم کارا بودن این روش برای چاههایی که سریع به تزریق گاز پاسخ نمی دهند، عنوان کردند.

۲- اصول طراحی فراز آوری با گاز

همانطور که مرسوم است دو روش فراز آوری با گاز در صنعت مورد استفاده قرار می گردد، روش پیوسته و روش منقطع که هر کدام از این روشها اصول مخصوص به خود را دارند و بنابر این به طور مجزا مورد بررسی قرار می گیرند. اساس دوروش فوق اینست که انرژی ناشی از انبساط گاز از فشار بالا به فشار پایین برای حرکت دادن سیال موجود در ستون چاه و یا فضاهای حلقوی مورد استفاده قرار می گیرد [۱].

۲-۱- فراز آوری به روش پیوسته

در گاز رانی پیوسته، گاز با فشار نسبتاً زیادی در پایین چاه به داخل ستون سیال تزریق می گردد. این گاز علاوه بر گاز محلول در نفت به وسیله یک یا چند فرآیند زیر سیال را به سطح زمین می رساند. کاهش گرادیان سیال و در نتیجه کاهش وزن ستون سیال که منجر به افزایش اختلاف فشار بین مخزن و جداره چاه می گردد [۲-۳].

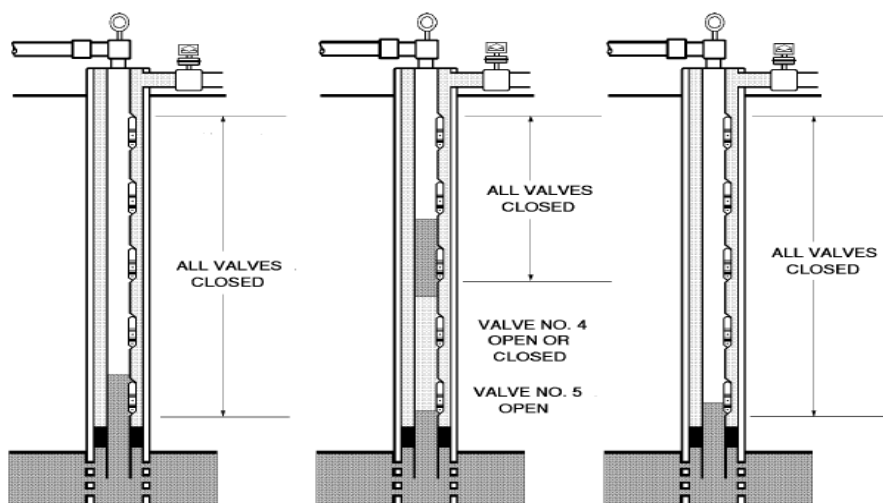


شکل ۱- سیستم گاز رانی پیوسته

۲-۲- فراز آوری به روش منقطع



این مورد بر اساس تزریق منقطع گاز تنظیم شده است. در این حالت تزریق گاز برای مدت مشخصی انجام می گیرد و بعد متوقف می گردد. بعد از گذشت زمان مشخصی تزریق گاز مجددا شروع و همین چرخه مرتباً تکرار می شود. اصول سیکل فرازآوری منقطع در شکل زیر نشان داده شده است [۳-۴].



شکل ۲- تاسیسات سیستم فرازآوری با گاز بصورت منقطع

۳- معرفی نرم افزار

(Prosper) یکی از نرم افزارهای مهندسی نفت می باشد، که کمک کننده مهندسان مخزن و تولید می باشد. این نرم افزار به طراحی چاه ها و بهینه سازی آن می پردازد [۵].
Prosper دارای بخش PVT می باشد که برای پیش بینی خصوصیات سیال مخزن، با استفاده از معادلات استاندارد و همچنین Match کردن داده های آزمایشگاهی با این معادلات کاربرد دارد. همچنین کاربر می تواند با استفاده از معادلات حالت به پیش بینی خصوصیات سیال پردازد.
Prosper دارای بخش منحنی عملکرد جریان چاه می باشد که مخزن رامدل می کند و نحوه جریان سیال درون مخزن را پیش بینی می نماید.
نرم افزار توانایی پیش بینی پروفایل دما و فشار در چاه و خطوط لوله ی سطحی را دارد.
نرم افزار قابلیت حساسیت سنجی پارامترهای مختلف برای بهینه کردن چوک و لوله مغزی خطوط لوله را دارد.
Prosper از معادلات چند فازی برای Match کردن داده های بدست آمده از تست دبی های چندگانه استفاده می کند که این معادلات میزان افت فشار درون لوله مغزی را نشان می دهد.
نرم افزار با استفاده از داده های PVT، منحنی عملکرد جریانی چاه، فشار ورودی به لوله مغزی و Match کردن آنها میزان تولید را مشخص می کند.

۴- مطالعه موردی در چاه A

چاه با اطلاعات اولیه زیر در دسترس می باشد

جدول ۱- اطلاعات اولیه PVT [۶]

| | |
|----------------|---------------|
| Solution GOR | ۲۳۲ (scf/stb) |
| Oil Gravity | ۹۶/۲۰ (API) |
| Gas Gravity | ۸۸ |
| Water Salinity | ۲۲۷۰۰۰ ppm |
| H2S | ۰ Mol percent |



CO2
N2

۱۱۹/۱ Mol percent
۱۶۷ Mol percent

سپس اطلاعات مربوط به فشار حباب، نسبت گاز محلول به نفت، ضریب حجمی سازند نفت و گرانیوی نفت را به این ترتیب که میزان افت فشار درون لوله مغزی را تعیین می نماید وارد نرم افزار می نماییم که در جدول زیر مشاهده می گردد.

جدول ۲- داده های ورودی خواص سیال [۶]

| فشار Psi | نسبت گاز محلول به نفت Scf/stb | ضریب حجمی سازند نفت RB/Stb | گرانیوی نفت Cp |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| ۱۴/۶۹۶ | ۰ | ۱/۰۳۴ | ۲۰/۰۹ |
| ۳۱۵ | ۶۷ | ۱/۰۶۳ | ۱۲/۷ |
| ۵۶۵ | ۱۰۳ | ۱/۰۷۴ | ۱۰/۴ |
| ۱۰۱۵ | ۱۶۵ | ۱/۰۹۵ | ۸/۰۴ |
| ۱۲۴۵ | ۱۹۵ | ۱/۱۰۵ | ۷/۲۶ |
| ۱۴۹۲ | ۲۳۲ | ۱/۰۹۳ | ۹/۷۸ |
| ۱۵۸۵ | ۲۳۲ | ۱/۱۰۴ | ۷/۸۴ |
| ۱۸۳۰ | ۲۳۲ | ۱/۱۱۲ | ۶/۷۶ |
| ۳۰۱۹ | ۲۳۲ | ۱/۱۱۴ | ۶/۵۴ |
| ۵۰۱۶ | ۲۳۲ | ۱/۱۱۴ | ۶/۴۷ |

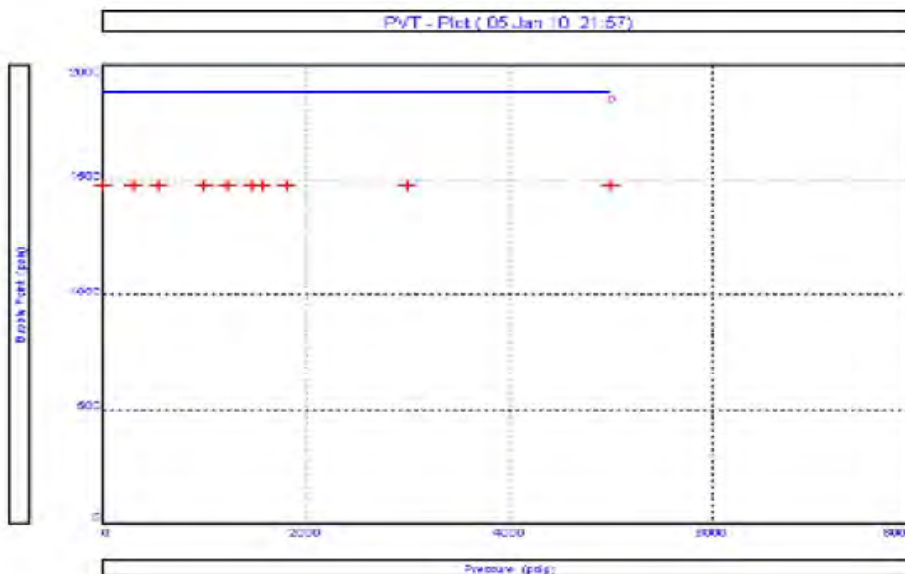
نرم افزار از دو ضریب multiplier parameter و shift parameter برای Match کردن بالا با معادلات موجود استفاده می نماید. هرگاه ضریب اول به سمت ۱ و ضریب دوم به سمت صفر میل کند، آن معادله بهترین گزینه برای داده های آزمایشگاهی می باشد ضریب حجمی نفت سازند و معادله ی که در این نمونه معادله گلاسو بهترین معادله برای فشار حباب، نسبت گاز محلول و معادله بگز بهترین گزینه برای ویسکوزیته نفت می باشد.



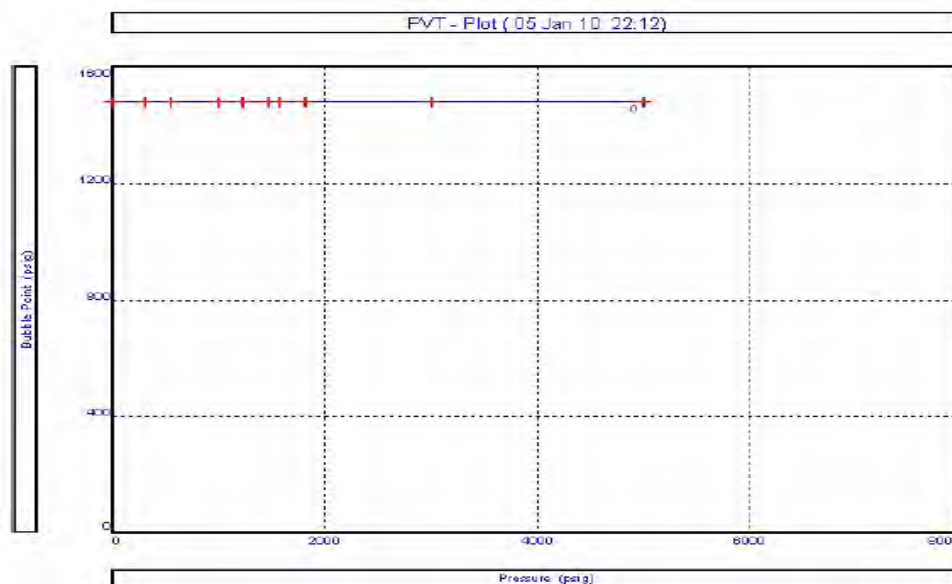
| Bubble Point | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|----------------|---------------|----------------|
| | Glaso | Standing | Lasater | Vazquez-Beqqs | Petrosky et al |
| Parameter 1 | 0.89291 | 1.02483 | 1.02142 | 0.94106 | 1.03145 |
| Parameter 2 | -201.755 | 34.933 | 30.3255 | -98.8209 | 43.6846 |
| Std deviation | | 0.00012207 | | | |
| | Reset | | | Reset | Reset |
| Solution GOR | | | | | |
| | Glaso | Standing | Lasater | Vazquez-Beqqs | Petrosky et al |
| Parameter 1 | 1.32768 | 0.940899 | 0.947798 | 1.13593 | 1.433 |
| Parameter 2 | 0.78471 | 11.2579 | 10.3014 | 9.70995 | -93.9196 |
| Std deviation | 5.93001 | 10.4774 | 7.66492 | 8.37213 | 11.0427 |
| | Reset | Reset | Reset | Reset | Reset |
| Oil FVF | | | | | |
| | Glaso | Standing | Lasater | Vazquez-Beqqs | Petrosky et al |
| Parameter 1 | 1.00983 | 0.80615 | 0.80534 | 0.842073 | 0.835898 |
| Parameter 2 | -0.00210497 | 0.199477 | 0.200308 | 0.159044 | 0.168388 |
| Parameter 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Parameter 4 | 1.32423 | 1.03527 | 1.02546 | 1.00148 | 0.851143 |
| Std deviation | 0.00746714 | 0.00579736 | 0.00490617 | 0.00492458 | 0.00976854 |
| | Reset | Reset | Reset | Reset | Reset |
| Oil Viscosity | | | | | |
| | Beal et al | Beqqs et al | Petrosky et al | | |
| Parameter 1 | 0.862953 | 1.24719 | 1.26326 | | |
| Parameter 2 | -1.53106 | 1.19094 | -0.873085 | | |
| Std deviation | 0.780192 | 0.681213 | 1.31119 | | |
| | Reset | Reset | Reset | | |

شکل ۳- معادلات موجود در نرم افزار برای match کردن داده های PVT [۶]

با توجه به داده های PVT، فشار حباب Psia ۱۴۹۲ و دمای مخزن ۱۴۵ فارنهایت می باشد. حال می توان نمودارهای مربوط به فشار حباب قبل و بعد از عملیات match گیری مشاهده نمود.

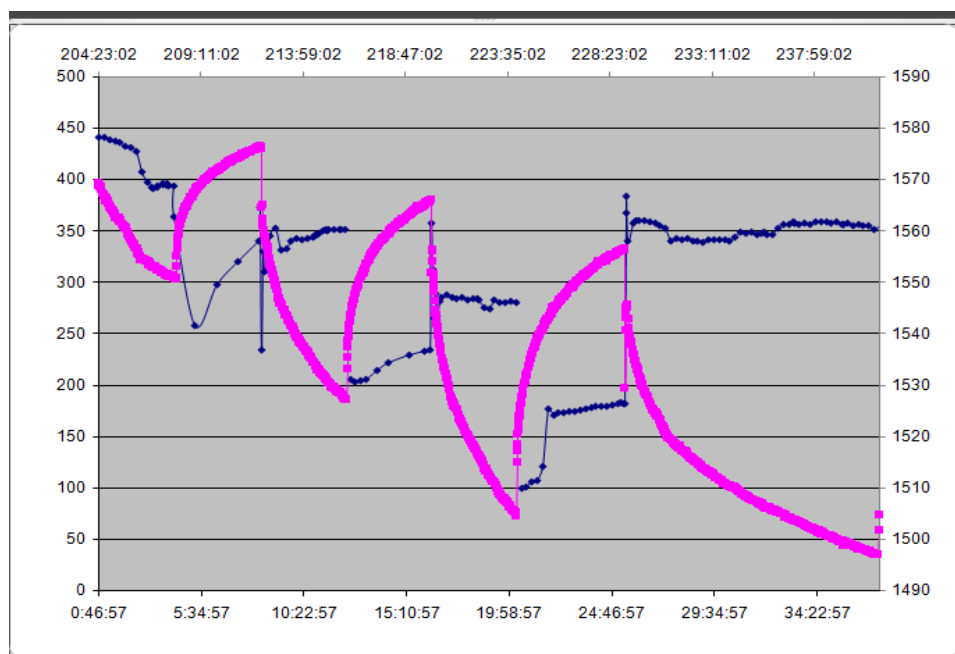


شکل ۴- نمودار نشده فشار حباب با داده های آزمایشگاهی [۶]



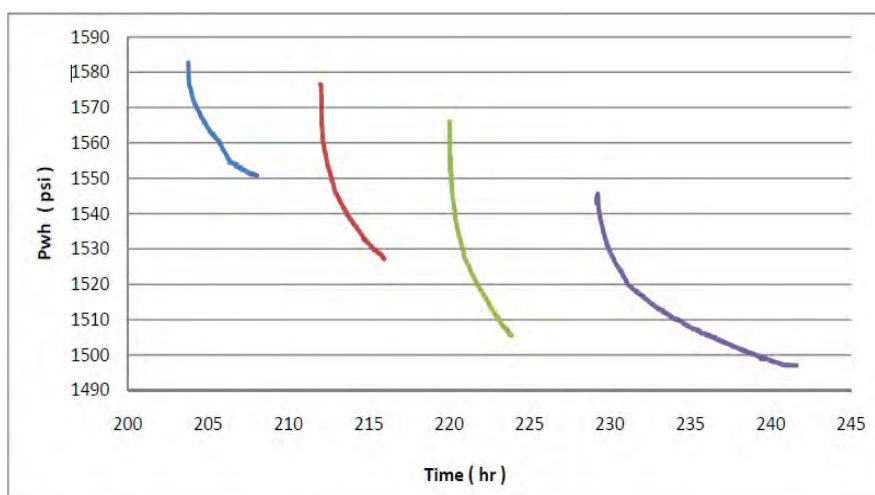
شکل ۵- نمودار match شده فشار حباب با داده های آزمایشگاهی [۶]

از بین نمودارهای منحنی عملکرد جریانیه چاه بهترین مدل برای نرم افزار تست دبی های چندگانه می باشد که شامل ۴ تست ساخت فشار و ۴ تست افت فشار می باشد



شکل ۶- داده های فشاری ته چاه و سر چاه [۶]

که برای محاسبه نمودار منحنی عملکرد جریانیه چاه مدل فتکوپیج را انتخاب می کنیم که معادله آن بصورت زیر می باشد
(۱) $q=C^*(Pr^2-Pwf^2)^n$

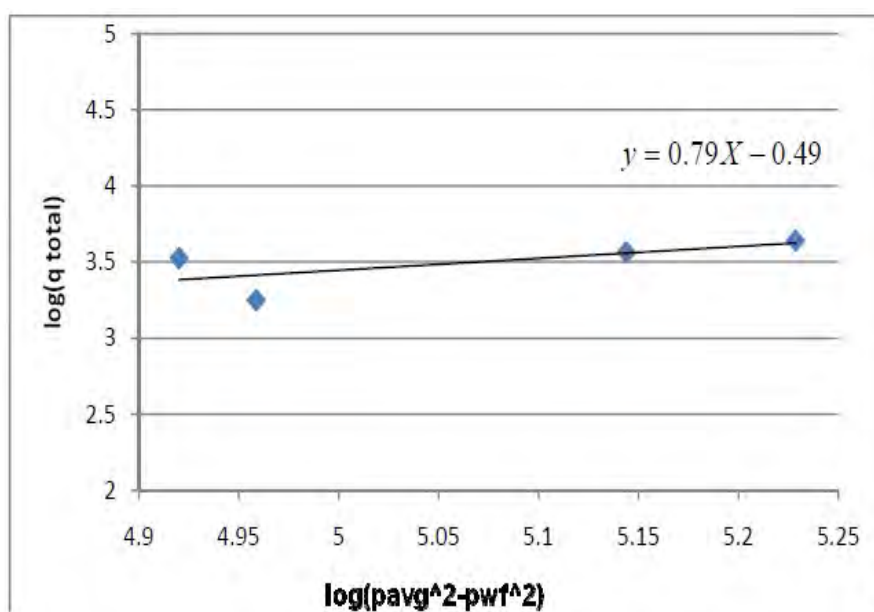


شکل ۷- چهار تست افت فشار [۶]

زمانی که فشار ته چاه بر حسب زمان درستست افت فشار رسم می کنیم، باید آنقدر تست ادامه پیدا کند تا توزیع فشار به مرز مخزن برسد، دراین لحظه فشار ته چاه یا ثابت می ماند، یا شیب ثابت پیدا می کند، حال این فشار را می توان به عنوان match point مورد استفاده قرار داد

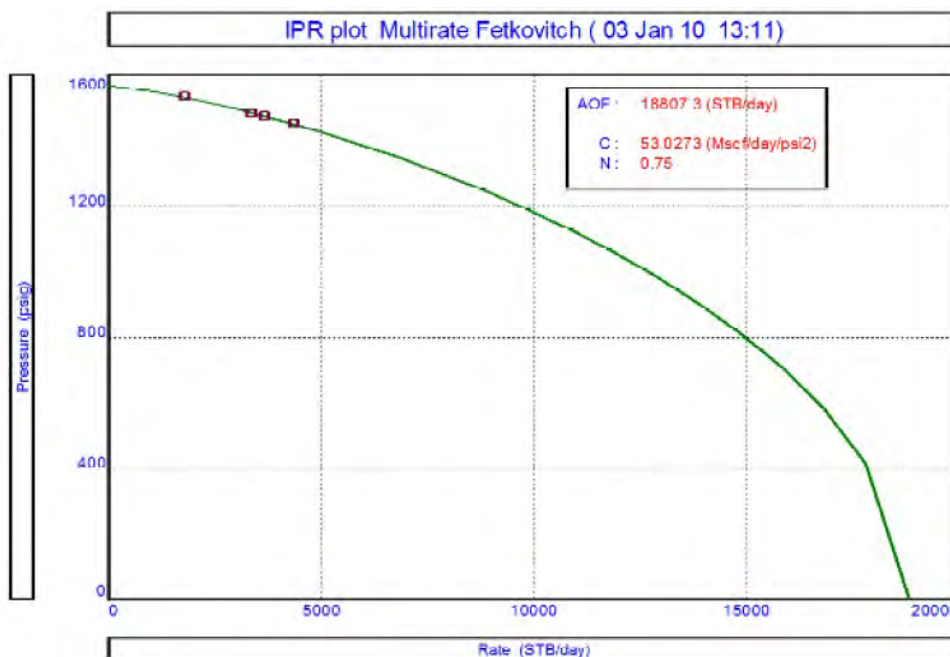
جدول ۳- داده های مربوط به رسم نمودار منحنی عملکرد جریان چاه [۶]

| | Pavg ² -Pwf ² | دبی نفت | دبی آب | دبی کل | log (Pavg ² - Pwf ²) | Log q total |
|-------|-------------------------------------|---------|--------|---------|---|-------------|
| DD۱-۲ | ۷۲۷۲/۴۲ | ۱۷۸۰ | ۲/۰۳ | ۱۷۸۲/۰۳ | ۴/۸۶ | ۳/۲۵ |
| DD۲-۲ | ۱۲۱۲۰۶/۹۹ | ۳۶۲۳ | ۲۴/۶ | ۳۶۵۷/۶ | ۵/۰۸ | ۳/۵۶ |
| DD۳-۲ | ۱۴۶۸۳۸/۲۸ | ۴۳۴۳ | ۲۹/۲۸ | ۴۳۷۲/۲۸ | ۵/۱۶ | ۳/۶۴ |
| DD۴-۲ | ۷۱۸۵۱/۴۱ | ۳۳۴۳ | ۹/۹۷ | ۳۳۵۲/۹۷ | ۴/۸۵ | ۳/۵۲ |
| DD۱-۳ | ۹۰۹۲۲/۲۰ | ۱۷۸۰ | ۲/۰۳ | ۱۷۸۲/۰۳ | ۴/۹۵ | ۳/۲۵ |
| DD۲-۳ | ۱۳۹۲۸۶/۰۵ | ۳۶۲۳ | ۲۴/۶ | ۳۶۵۷/۶ | ۵/۱۴ | ۳/۵۶ |
| DD۳-۳ | ۱۶۹۳۱۴/۶۵ | ۴۳۴۳ | ۲۹/۲۸ | ۴۳۷۲/۲۸ | ۵/۲۲ | ۳/۶۴ |
| DD۴-۳ | ۸۳۲۰۴/۲۵ | ۳۳۴۳ | ۹/۹۷ | ۳۳۵۲/۹۷ | ۴/۹۲ | ۳/۵۲ |





شکل ۸- فشار ته چاه بعد از ۲ ساعت [۶]

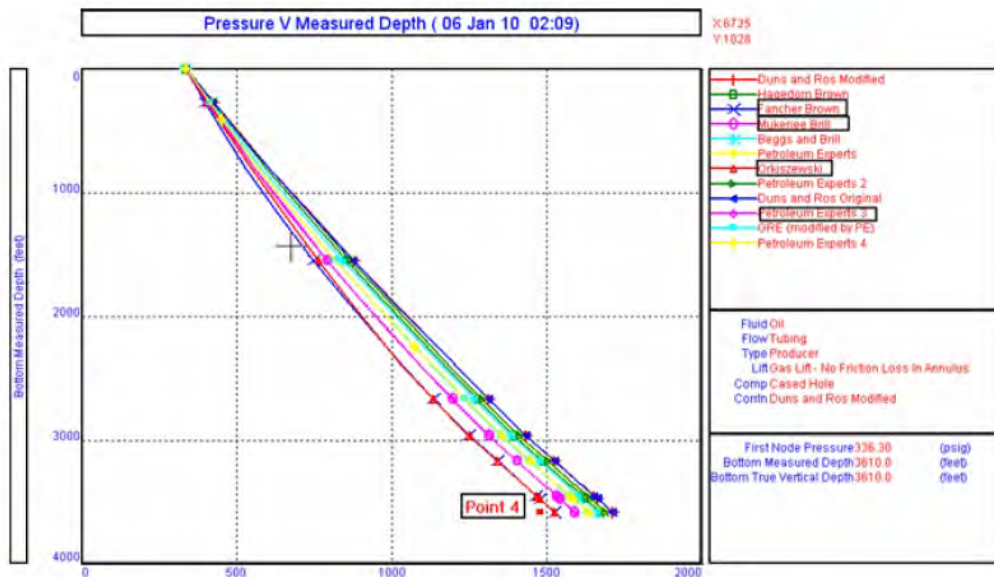


شکل ۹- نمودار منحنی عملکرد جریان چاه با استفاده از معادله فتکوویچ [۶]

در این بخش با استفاده از معادلات چند فازی افت فشار درون لوله، بهترین معادله ای که بتواند شرایط افت فشار درون لوله را برای ما نشان دهد، را انتخاب می نماییم. شرایط افت فشار درون لوله را تست دبی های چندگانه بدست آمده از Match Point با استفاده از با معادلات مختلف موجود در نرم افزار مقایسه کرده و بهترین معادله را انتخاب می نماییم.

جدول ۴- داده های لازم برای تعیین افت فشار در لوله مغزی [۶]

| حلالیت گاز Scf/stb | فشار جریان چاه Psi | عمق ft | دبی کل Stb/d | برش آب | دمای سر چاه F | فشار سرچاه Psi | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------------|--------|------------------|-------------------|--------|
| ۲۳۲ | ۱۵۴۹ | ۳۵۸۱/۹۱ | ۱۷۸۲ | ۰/۱۱۴ | ۱۱۲ | ۳۹۵ | نقطه ۱ |
| ۲۳۲ | ۱۴۹۰ | ۳۵۸۱/۹۱ | ۳۶۵۷ | ۰/۶۷۲۶ | ۱۲۰ | ۳۵۰ | نقطه ۲ |
| ۲۳۲ | ۱۴۶۸ | ۳۵۸۱/۹۱ | ۴۳۷۲ | ۰/۶۶۹۶ | ۱۲۱ | ۲۸۱ | نقطه ۳ |
| ۲۳۲ | ۱۴۹۷ | ۳۵۸۱/۹۱ | ۳۳۵۲ | ۰/۲۹۷۴ | ۱۱۹ | ۳۵۱ | نقطه ۴ |



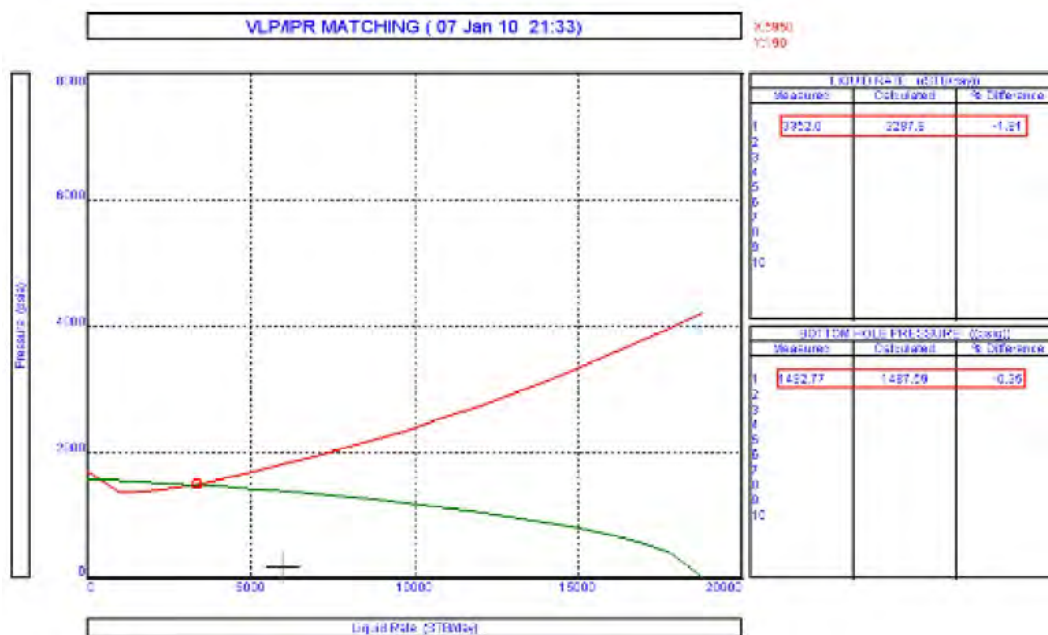
شکل ۱۰- نمودار گرادین فشار درون خط لوله [۶]

نرم افزار برای انطباق فشار ورودی به لوله مغزی دو پارمتر به نام Parameter1 و Parameter2 در نظر می گیرد. که ترم ۱ مربوط به ضریب افت فشار ناشی از چگالی و ترم ۲ ضریب مربوط به افت فشار ناشی از اصطکاک می باشد. معادله ای که پارامترهای ۱ و ۲ آن به سمت یک میل کند، بهترین معادله ای است که شرایط افت فشار درون لوله را نشان می دهد. که در این تست معادله ارکیزوسکی بهترین معادله می باشد.

| | Correlation | Parameter 1 | Parameter 2 | Standard Deviation |
|-------|-----------------------|-------------|-------------|--------------------|
| Reset | Duns and Ros Modified | 0.914535 | 0.253644 | 0 |
| Reset | Hagedorn Brown | 0.927358 | 0.293332 | 0.00036621 |
| Reset | ancher Brown | 0.987845 | 0.892384 | 0.00012207 |
| Reset | Mukerjee Brill | 0.960338 | 0.719735 | 0.00024414 |
| Reset | Beggs and Brill | 0.927811 | 0.583032 | 0.00012207 |
| Reset | Petroleum Experts | 0.922658 | 0.317478 | 0.00012207 |
| Reset | Orkiszewski | 0.982264 | 0.882258 | 0.00036621 |
| Reset | Petroleum Experts 2 | 0.921253 | 0.352665 | 0.00024414 |
| Reset | Duns and Ros Original | 0.916654 | 0.402644 | 0.00036621 |
| Reset | Petroleum Experts 3 | 0.961342 | 0.716432 | 0.00024414 |
| Reset | GRE (modified by PE) | 0.943311 | 0.67288 | 0.00012207 |
| Reset | Petroleum Experts 4 | 0.943333 | 0.674113 | 0.00012207 |

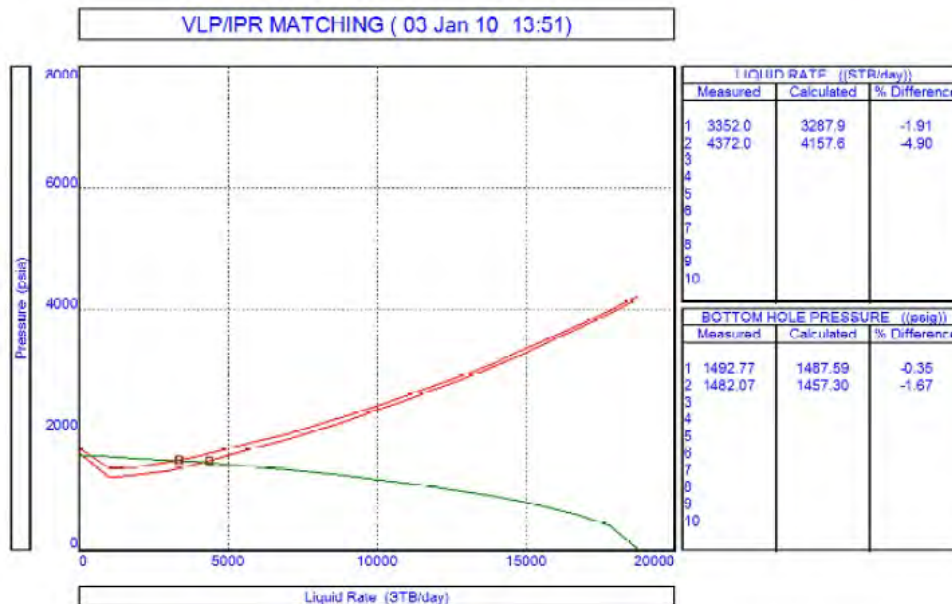
شکل ۱۱- معادلات افت فشار درون خط لوله [۶]

سپس نمودار منحنی عملکرد جریانی چاه و فشار ورودی به لوله مغزی را با استفاده از نرم افزار رسم می نماییم و میزان خطا را مشاهده می کنیم



شکل ۱۲- رسم همزمان نمودار منحنی عملکرد جریان‌ی چاه و فشار ورودی به لوله مغزی [۶]

سپس با استفاده از داده های مربوط به تست ۳ افت فشار به عنوان check point استفاده می شود تا درستی مراحل قبلی دوباره مورد بررسی قرارگیرد.



شکل ۱۳- رسم همزمان نمودار منحنی عملکرد جریان‌ی چاه و فشار ورودی به لوله مغزی با استفاده از دو نقطه [۶]



۵- نتیجه گیری

- ۱- هنگامیکه نمودار فشار ورودی به لوله مغزی و منحنی عملکرد جریانی چاه همدیگر را قطع نکنند، نیاز قطعی به استفاده از روش مصنوعی است.
- ۲- پارامترهای مخزن بر روی نمودار منحنی عملکرد جریانی چاه تاثیر می گذارند. و هر عاملی که باعث شود نمودار به سمت پایین کشیده شود، از دبی تولیدی کم می شود
- ۳- فشار مخزن، ضریب پوسته و خصوصیات سیال و سنگ مخزن بر روی نمودار منحنی عملکرد جریانی چاه تاثیر می گذارند .
- ۴- پارامترهای چاه بر روی نمودار فشار ورودی به لوله مغزی تاثیر می گذارند و هر عاملی که باعث شود نمودار به سمت بالا حرکت کند، از دبی تولیدی کم می شود



مراجع

- [1] .Howard B. Bradley Professional/Technical Training Consultant, "Petroleum Engineering Handbook", Society of Petroleum Engineers,
- [2] .R. V.quez-Rom.n, SPE, and P. Palafox-Hern.ndez, Inst. Tecnol.gico de Celaya, Mexico,"A New Approach for Continuous Gas Lift Simulation and Optimization" , SPE 95949, 2005
- [3] .Exploration & Production Department American Petroleum Institute, "Gas Lift Book ۶ of the Vocational Training Series", Third Edition, 1994.
- [4] T. Tokar, Chevron, Z. Schmidt, University of Tulsa, SPE, and C. Tuckness, Halliburton Energy Services, "New Gas Lift Valve Design Stabilizes Injection Rates: Case Studies", SPE 36597, 1996
- [5] Integrated Production Modeling PROSPER User Guide, 2005.

[۶]. ادیب پور سجاد «افزایش دبی تولیدی چاه با استفاده از روش فراز آوری مصنوعی در یکی از مناطق جنوب غربی ایران» پایان نامه کارشناسی ارشد زمستان ۹۲