

مقایسه ی روش طراحی آزمایش باکس – بنکن (Box-Behnken) و مدل سازی ریاضی در تخمین تولید پنج حلقه چاه با استفاده از روش Gas lift

محمد علی قیم^۱، محمد کیهانی^۲، میلاد بهجومنش^۳، رئوف توکلی^۴

^{۱ و ۳} دانشکده ی نفت اهواز ، دانشگاه صنعت نفت

^۲ مرکز تحقیقات پلیمر دانشگاه رازی کرمانشاه (Keyhani@petrorazi.ir)

چکیده

در بهینه سازی فرآیند های شیمیایی ، استفاده از طراحی آزمایش سطح پاسخ (RSM) به خصوص آن وقت که نوع تابعیت پاسخ به متغیر های فرآیندی معلوم نباشد ، متداول است. اما به دلایل خاصی این ابزار در بهینه سازی مسائل نفتی چندان به کار نمی رود ، در این مقاله رویکرد استفاده از طراحی آزمایشات باکس-بنکن در مقابل استفاده از روش های کلاسیک – که در آنها فرم تابعیت مشخص است – مورد بررسی قرار گرفته است و به مقایسه ی مزایا و معایب هر یک از این روش ها اقدام شده است. نتایج نشان می دهد که روش طراحی آزمایشات باکس بنکن با استفاده از ۱۵ نتیجه ی برآورد شده (اندازه گیری مجازی) و یک عبارت ریاضی ۱۰ جمله ای به خطای متوسط ۵,۳٪ منجر شده است در حالیکه روش کلاسیک با حدود ۶۰ اندازه گیری و یک عبارت ۳۰ جمله ای به خطای ۰,۳٪ رسیده است. به عبارتی استفاده از روش طراحی آزمایشات تنها به عنوان یک روش تخمینی سریع و مقدماتی می تواند در داده گیری از چاه ها در فراز آوری گاز استفاده شود.

واژه های کلیدی

باکس-بنکن ، طراحی آزمایشات ، فراز آوری با گاز ، مدل ریاضی ، مدلسازی

مقدمه

طراحی آزمایشات روشی برای انجام نظام مند مجموعه ای از آزمایش ها است. هدف این روش بدست آوردن نتایج قابل اطمینان و مناسب بر مبنای تعداد محدودی مشاهده است. [۱] طراحی آزمایشات برای این منظور از ابزار های آماری استفاده می کند. عمده ترین ابزار های این حوزه به دو گروه تقسیم بندی می شوند که عبارتند از ابزار های طراحی و تحلیل آزمایشات، در حوزه ی طراحی آزمایشات روش هایی مثل روش فاکتوریل کامل، روش های مبتنی بر مربع لاتین و غیره وجود دارند و در حوزه ی تحلیل آزمایشات تحلیل واریانس و مشتقاتش و همین طور تحلیل رگرسیون از مهمترین ابزار ها هستند.

استفاده از طراحی آزمایشات در صنعت نفت بی سابقه نیست. [۲] ولی از آن جهت که مقیاس اغلب مسائل نفتی بزرگ و حساس است، عموماً صنایع بهره بردار مایل به همکاری در پروژه های کاملاً تحقیقاتی نیستند و حتی اگر حاضر باشند، انجام کامل و دقیق طراحی آزمایش در مسائل نفتی مشکل است. از همین رو استفاده از نتایج مدلسازی و شبیه سازی برای تقریب جواب ها به جای روش های داده گیری معمول ضرورت پیدا می کند.

فراز آوری با تزریق گاز (gas lift) از جمله فرآیندهایی است که مدلسازی و بهینه سازی آن اهمیت دارد، زیرا گاز فشرده که در تزریق مورد نیاز است منبعی گران و محدود است. [۳] انواع روش های مختلف مدل سازی و بهینه سازی برای تخصیص بهترین استراتژی تزریق به چاه های نفت مورد بررسی قرار گرفته اند. [۴]

در حقیقت مطالعه ی تزریق گاز اغلب با استفاده از منحنی های کارآمدی تزریق گاز (Gas Lift Performance Curve) صورت می گیرد. [۵] نخستین بار روی و کاتاپورام از روش تحلیل گره برای ایجاد منحنی های کارآمدی تزریق یک حلقه چاه بهره بردند. این منحنی ها با استفاده از رسم داده های مقدار برداشت نفت در مقابل مقدار تزریق گاز بدست می آیند.

روش های مختلفی برای برازش منحنی کارآمدی تزریق موجود است که از آن جمله روش های برازش خط با استفاده از رگرسیون و بدست آوردن ضرایب معادله است. در این میان معادلات مختلفی برای توصیف منحنی کارآمدی تزریق وجود دارند که معادلات آلارکون [۶] و خامه چی [۷] از آن جمله هستند. نگارندگان نیز طی مجموعه تحقیقات خود به فرم جدیدی با توانایی برازش بهتر دست یافتند. که در مساله ی اخیر از آن استفاده خواهد شد.

از حیث نوع رویکرد و روش؛ مساله بهینه سازی تزریق گاز، می تواند با یک چاه و یا مجموعه ای از چاه ها مورد بررسی قرار گیرد. روش های متنوعی همچون برنامه ریزی خطی، برنامه ریزی غیر خطی، برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح ترکیبی، روش های تکه ای خطی و برنامه ریزی پویا در کنار روش های تکاملی و بسیاری دیگر از تکنیک ها برای بهینه سازی این مساله به کار رفته اند. این روش ها اغلب از ریاضیات کاربردی و تحقیق در عملیات نشأت می گیرند. به همین جهت کار با آنها نیاز به آشنایی با ریاضیات روش مورد استفاده دارد. [۸]

در این میان طراحی آزمایشات، نسبت به روش های قبلی مزیت سادگی و کلیت مدل پیشنهادی را داراست و همین طور، طراحی آزمایشات می تواند به صورت تلفیقی با تکنیک های بهینه سازی به کار رود که به علت سادگی خاص خود به سرعت محاسبات می افزاید. از همین رو در این مقاله رویکرد استفاده از طراحی آزمایشات برای مدل سازی و بهینه سازی یک مجموعه چاه شامل ۵ چاه استفاده شده است. سعی شده است تا به جنبه های مثبت و منفی این تکنیک در مقابل، روش های کلاسیک پرداخته شود.

معرفی روش طراحی آزمایشات باکس بنکن و مدل درون یابی داده ها

نوعی از طرح های سطح پاسخ روش باکس-بنکن است. [۹] این روش دارای تعدادی نقاط طراحی و یک نقطه ی مرکزی تکرار شونده است. در مورد مطالعه ی ما که شامل پنج چاه تحت تزریق می باشد ، مقدار گاز تزریق شده به عنوان پارامتر مسأله و مقدار برداشت کل این پنج چاه را به عنوان تابع پاسخ و خواسته در نظر می گیریم.

در این حالت تعداد آزمایشات طراحی باکس بنکن برابر ۴۶ آزمایش می شود که ۶ عدد آن از نوع نقطه ی مرکزی (تکرار شونده) و برای تعیین مقدار خطاست. مقدار محدوده ی گاز تزریقی به هر یک از چاه ها در جدول زیر آمده است:

جدول (۱) مقدار گاز تزریقی در سطوح مختلف متغیرهای فرآیند (چاه های تحت تزریق) به واحد میلیون فوت مکعب/استاندارد

سطح/متغیر	چاه ۱	چاه ۲	چاه ۳	چاه ۴	چاه ۵
سطح ۱-	۰	۰	۰	۰	۰
سطح ۰	۲,۰۷۸	۲,۴۲	۲,۰۴۵	۲,۴۹۵	۱,۴۳۵
سطح ۱	۴,۱۵۵	۴,۸۴	۴,۰۹	۴,۹۹	۲,۸۷

بر مبنای طرح آزمایش باکس بنکن باید مقدار نفت تولیدی از هر چاه تعیین گردد. برای این منظور باید داده های تجربی در شرایط طراحی موجود باشند ولی این مهم میسر نیست. زیرا به کار گیری همزمان چاه ها برای بررسی عملکرد تداخلی و اثرات عمل همزمان آنها بسیار دشوار است و اغلب از این تاثیر همزمان صرف نظر می شود. ما از یک مدل کلی (معادله ی ۱) که حاصل مطالعات نگارندگان است استفاده کرده ایم:

$$Q_{oi} = a_0 + a_1 Q_{gi} + a_2 Q_{gi}^2 + a_3 \ln(Q_{gi} + 1) + a_4 \sqrt{x} + a_5 \exp(x) \quad (1)$$

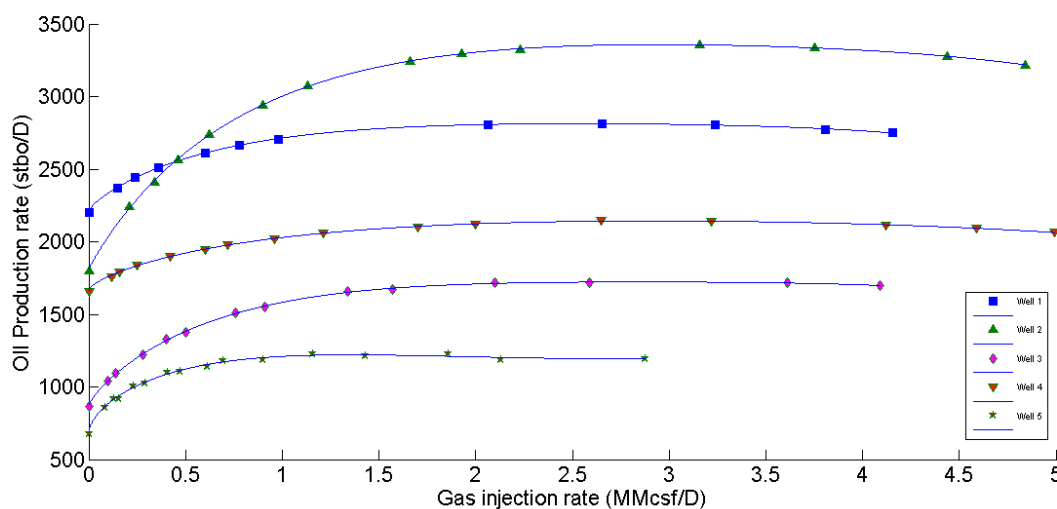
این مدل برای هر چاه مقدار تولید نفت به ازای مقدار تزریق گاز را درون یابی می کند . برای بدست آوردن مقدار نفت تولیدی از شرایط طراحی آزمایش و جمع زدن جواب مربوط به چاه ها استفاده می شود. معادله ی حاصل از جمع مدل های ریاضی استفاده شده در زیر آمده است:

$$Q_o(total) = \left(2203 - 737.1 Q_{g1} + 61.66 Q_{g1}^2 + 1382 (\ln(Q_{g1} + 1)) + 237.5 \sqrt{Q_{g1}} - 3.236 \exp(Q_{g1}) \right) + \left(1803 - 1425 Q_{g2} + 93.94 Q_{g2}^2 + 3438 (\ln(Q_{g2} + 1)) + 152.7 \sqrt{Q_{g2}} - 2.304 \exp(Q_{g2}) \right) + \left(868.2 - 1140 Q_{g3} + 98.09 Q_{g3}^2 + 2172 (\ln(Q_{g3} + 1)) + 260.2 \sqrt{Q_{g3}} - 3.492 \exp(Q_{g3}) \right) + \left(1658 - 234.6 Q_{g4} + 6.605 Q_{g4}^2 + 526.5 (\ln(Q_{g4} + 1)) + 235 \sqrt{Q_{g4}} - 0.3786 \exp(Q_{g4}) \right) + \left(683.3 - 1292 Q_{g5} + 139.1 Q_{g5}^2 + 1635 \ln(Q_{g5} + 1) + 559.7 \sqrt{Q_{g5}} - 4.942 \exp(Q_{g5}) \right) \quad (2)$$

اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت

۱۶ لغایت ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۱ (تهران-ایران)

این معادله ۳۰ جمله ای که ۵ جمله ی آن قابل ادغام در یکدیگر است، مجموع تولید ۵ چاه نفت مورد مطالعه در این مقاله را نشان می دهد. برای اینکه تصویری از نحوه ی محاسبه ی تولیدکلی نفت توسط ۵ چاه بدست آید، رسم داده های واقعی مقدار تولید در برابر تزریق و مدل توصیف کننده ی هر چاه در شکل ۱ آمده است:



شکل ۱) منحنی های کارآمدی تزریق گاز چاه در مساله ی حاضر (گره ها داده های تجربی و خطوط مقادیر پیش بینی را نشان می دهد.)

در جدول ۲ نتایج طراحی آزمایشات با استفاده از نتایج مدل ریاضی آمده است:

جدول ۲ ساختار استاندارد طراحی آزمایش صورت گرفته و نتایج مقدار گاز مصرفی و نفت تولیدی (محاسبه شده از درون یابی)

شماره آزمایش	چاه ۱	چاه ۲	چاه ۳	چاه ۴	چاه ۵	مجموع گاز تزریقی	کل نفت برداشتی
۱	۰	۰	۲,۰۴۵	۲,۴۹۵	۱,۴۳۵	۵,۹۷۵	۹۰۷۰,۹۲۶
۲	۴,۱۵۵	۰	۲,۰۴۵	۲,۴۹۵	۱,۴۳۵	۱۰,۱۳	۹۶۲۰,۲۶
۳	۰	۴,۸۴	۲,۰۴۵	۲,۴۹۵	۱,۴۳۵	۱۰,۸۱۵	۱۰۴۸۸,۵۳
۴	۴,۱۵۵	۴,۸۴	۲,۰۴۵	۲,۴۹۵	۱,۴۳۵	۱۴,۹۷	۱۱۰۳۷,۸۶
۵	۲,۰۷۷۵	۲,۴۲	۰	۰	۱,۴۳۵	۵,۹۳۲۵	۹۸۹۴,۴۳۲
۶	۲,۰۷۷۵	۲,۴۲	۴,۰۹	۰	۱,۴۳۵	۱۰,۰۲۲۵	۱۰۷۲۸,۲۴
۷	۲,۰۷۷۵	۲,۴۲	۰	۴,۹۹	۱,۴۳۵	۱۰,۹۲۲۵	۱۰۳۰۰,۴۳
۸	۲,۰۷۷۵	۲,۴۲	۴,۰۹	۴,۹۹	۱,۴۳۵	۱۵,۰۱۲۵	۱۱۱۳۴,۲۳
۹	۲,۰۷۷۵	۰	۲,۰۴۵	۲,۴۹۵	۰	۶,۶۱۷۵	۹۱۳۶,۸۳۴
۱۰	۲,۰۷۷۵	۴,۸۴	۲,۰۴۵	۲,۴۹۵	۰	۱۱,۴۵۷۵	۱۰۵۵۴,۴۴

اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت

۱۶ لغایت ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۱ (تهران-ایران)

۹۶۵۳,۰۹	۹,۴۸۷۵	۲,۸۷	۲,۴۹۵	۲,۰۴۵	۰	۲,۰۷۷۵	۱۱
۱۱۰۷۰,۶۹	۱۴,۳۲۷۵	۲,۸۷	۲,۴۹۵	۲,۰۴۵	۴,۸۴	۲,۰۷۷۵	۱۲
۹۷۶۷,۹۸۴	۶,۳۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۰	۲,۴۲	۰	۱۳
۱۰۳۱۷,۳۲	۱۰,۵۰۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۰	۲,۴۲	۴,۱۵۵	۱۴
۱۰۶۰۱,۷۹	۱۰,۴۴	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۴,۰۹	۲,۴۲	۰	۱۵
۱۱۱۵۱,۱۳	۱۴,۵۹۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۴,۰۹	۲,۴۲	۴,۱۵۵	۱۶
۱۰۱۹۸,۳۳	۶,۵۴۲۵	۰	۰	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۱۷
۱۰۶۰۴,۳۲	۱۱,۵۳۲۵	۰	۴,۹۹	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۱۸
۱۰۷۱۴,۵۸	۹,۴۱۲۵	۲,۸۷	۰	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۱۹
۱۱۱۲۰,۵۸	۱۴,۴۰۲۵	۲,۸۷	۴,۹۹	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۲۰
۸۸۳۲,۹۴	۶,۰۰۷۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۰	۰	۲,۰۷۷۵	۲۱
۱۰۲۵۰,۵۴	۱۰,۸۴۷۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۰	۴,۸۴	۲,۰۷۷۵	۲۲
۹۶۶۶,۷۴۹	۱۰,۰۹۷۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۴,۰۹	۰	۲,۰۷۷۵	۲۳
۱۱۰۸۴,۳۵	۱۴,۹۳۷۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۴,۰۹	۴,۸۴	۲,۰۷۷۵	۲۴
۱۰۱۳۲,۴۲	۵,۹	۱,۴۳۵	۰	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۰	۲۵
۱۰۶۸۱,۷۵	۱۰,۰۵۵	۱,۴۳۵	۰	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۴,۱۵۵	۲۶
۱۰۵۳۸,۴۱	۱۰,۸۹	۱,۴۳۵	۴,۹۹	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۰	۲۷
۱۱۰۸۷,۷۵	۱۵,۰۴۵	۱,۴۳۵	۴,۹۹	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۴,۱۵۵	۲۸
۹۸۳۳,۸۹۲	۶,۹۹۲۵	۰	۲,۴۹۵	۰	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۲۹
۱۰۶۶۷,۷	۱۱,۰۸۲۵	۰	۲,۴۹۵	۴,۰۹	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۳۰
۱۰۳۵۰,۱۵	۹,۸۶۲۵	۲,۸۷	۲,۴۹۵	۰	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۳۱
۱۱۱۸۳,۹۶	۱۳,۹۵۲۵	۲,۸۷	۲,۴۹۵	۴,۰۹	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۳۲
۱۰۰۷۱,۸۸	۶,۹۶	۰	۲,۴۹۵	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۰	۳۳
۱۰۶۲۱,۲۱	۱۱,۱۱۵	۰	۲,۴۹۵	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۴,۱۵۵	۳۴
۱۰۵۸۸,۱۳	۹,۸۳	۲,۸۷	۲,۴۹۵	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۰	۳۵
۱۱۱۳۷,۴۷	۱۳,۹۸۵	۲,۸۷	۲,۴۹۵	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۴,۱۵۵	۳۶
۹۱۹۷,۳۷۴	۵,۵۵۷۵	۱,۴۳۵	۰	۲,۰۴۵	۰	۲,۰۷۷۵	۳۷
۱۰۶۱۴,۹۸	۱۰,۳۹۷۵	۱,۴۳۵	۰	۲,۰۴۵	۴,۸۴	۲,۰۷۷۵	۳۸
۹۶۰۳,۳۶۷	۱۰,۵۴۷۵	۱,۴۳۵	۴,۹۹	۲,۰۴۵	۰	۲,۰۷۷۵	۳۹
۱۱۰۲۰,۹۷	۱۵,۳۸۷۵	۱,۴۳۵	۴,۹۹	۲,۰۴۵	۴,۸۴	۲,۰۷۷۵	۴۰
۱۱۲۲۲,۰۷	۱۰,۴۷۲۵	۱,۴۳۵	۲,۴۹۵	۲,۰۴۵	۲,۴۲	۲,۰۷۷۵	۴۱ تا ۴۶

نتیجه ی حاصل از طراحی برای تشکیل یک مدل سطح پاسخ به کار برده شد. فرم کامل یک مدل سطح پاسخ با پنج متغیر شامل ۵ جمله اثر خود عوامل ، ۵ جمله اثر تداخلات ، ۵ جمله اثر مجذور متغیر ها می باشد. فرم کلی آن به صورت زیر است:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_1^2 + a_7x_2^2 + a_8x_3^2 + a_9x_4^2 + a_{10}x_5^2 + a_{11}x_1x_2 + a_{12}x_1x_3 + a_{13}x_1x_4 + a_{14}a_1a_5 + a_{15}x_2x_3 + a_{16}x_2x_4 + a_{17}a_2x_5 + a_{18}x_3x_4 + a_{19}x_3x_5 + a_{20}x_4x_5 \quad (3)$$

در مورد مطالعه ی حاضر ضرایب جملات برهمکنشی مثل x_1x_2 و بعد از آن از معنی داری آماری برخوردار نیستند و به صحت مدل لطمه می زنند به همین علت از آنها صرف نظر گردیده است، سایر جواب ها از معنی داری آماری برخوردارند.

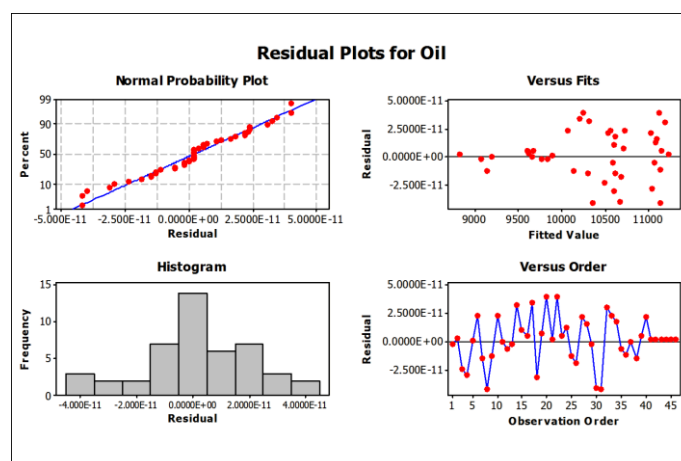
محاسبه ی مدل طراحی آزمایشات در مورد مطالعه و بررسی جواب ها با مدل ریاضی

ضرایب معادله ی حاصل از رگرسیون عبارت بالا می توانند بر حسب مقدار واقعی متغیر ها یا سطح آنها (۱، ۰، -۱) تعیین شوند که به معادله ی حالت اول معادله غیر کد شده و به معادله ی حالت دوم معادله ی کد شده گویند. در زیر نتایج معادله ی کد نشده و کد شده ی تولید نفت در مقابل تزریق گاز ۵ چاه آورده شده است:

$$Q_o(total) = 7201.15 + 453.16 Q_{g1} + 982.39 Q_{g2} + 623.55 Q_{g3} + 304.69 Q_{g4} + 575.72 Q_{g5} - 77.24 Q_{g1}^2 - 142.46 Q_{g2}^2 - 102.61 Q_{g3}^2 - 44.76 Q_{g4}^2 - 137.92 Q_{g5}^2 \quad (4)$$

$$Q_o(total) = 11222.1 + 274.7 Q_{g1} + 708.8 Q_{g2} + 416.9 Q_{g3} + 203.0 Q_{g4} + 258.1 Q_{g5} - 333.4 Q_{g1}^2 - 834.3 Q_{g2}^2 - 429.1 Q_{g3}^2 - 278.6 Q_{g4}^2 - 284.0 Q_{g5}^2 \quad (5)$$

در توضیح معادله های بالا به نظر می آید ذکر این سوال ضروری باشد که علت وجود جملات درجه ی ۲ در مدل های فوق چیست؟ ما از جمع جواب های مدل ریاضی به عنوان تابع هدف استفاده کرده ایم، پس قاعدتاً باید یک جواب خطی بدست می آوردیم و وجود جملات درجه ۲ کمی عجیب به نظر می آیند. اگر چه ماهیت غیر خطی مدل های ریاضی اولیه را نیز نباید فراموش کرد یعنی جملات درجه ی ۲ برای تصحیح مدل خطی و سازگاری آن با مدل غیر خطی ریاضی اضافه شده اند. اینکه این جملات تا چه حد توانسته اند در این مهم موفق باشند امری است که نتایج آن را روشن خواهند ساخت و ادامه به آن پرداخته خواهد شد. آنالیز خطا برای این مدل در شکل ۲ نمایش داده شده است، از نظر بررسی خطا ، نرمال بودن خطا و میانگین صفر برای آن مشاهده می شود:

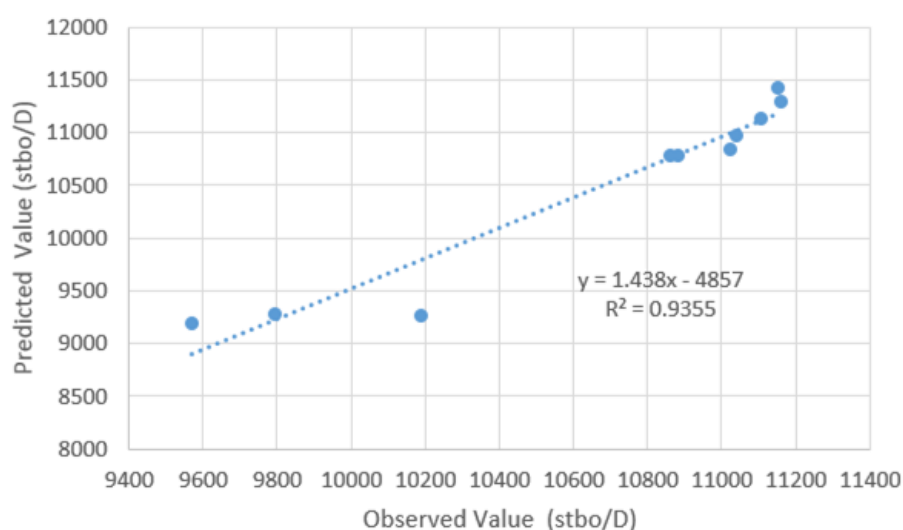


شکل ۲) رسم خطا در مقابل مقادیر واقعی و مرتبه مشاهدات بررسی توزیع خطا با منحنی توزیع نرمال و هیستوگرام

اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت

۱۶ لغایت ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۱ (تهران-ایران)

همچنین مقدار ضریب همبستگی، ضریب همبستگی تصحیح شده و ضریب همبستگی پیش بینی همه برابر ۱ می باشند و همین طور مقدار خطا از مرتبه به توان منفی یازده است. با این حال این مقدار ناچیز خطا نباید چندان موجب خرسندی ما باشد، زیرا در نقطه ی مرکزی مقدار خطای اندازه گیری معین نبوده است و ما ۶ آزمایش نقطه ی مرکزی را ادغام کرده ایم. به همین دلیل ۱۰ نقطه ی کاملاً تصادفی در محدوده ی توانایی پیش بینی مدل ها انتخاب شد و برای آنها مقدار نفت تولیدی توسط مدل طراحی آزمایشات و مدل ریاضی پیش بینی شد مقدار پیش بینی مدل ریاضی به عنوان مبنا انتخاب شد و نتایج در برابر هم رسم شدند.



شکل ۳) ترسیم مقادیر پیش بینی شده توسط طراحی آزمایشات در مقابل مقادیر مشاهده شده از مدل ریاضی

در شکل ۳ به وضوح مشاهده می شود که بین مقادیر طراحی آزمایشات و مقادیر مدل یک همبستگی خطی وجود دارد، ولی وجود عرض از مبدا و شیب غیر همانی (مخالف ۱) نشان می دهد که مدل طراحی آزمایشات کاملاً با مدل ریاضی توافق ندارد و شاید با یک تبدیل خطی بتوان نتایج طراحی آزمایشات را بهبود بخشید ولی از بررسی این مساله به علت پیچیده کردن مدل صرف نظر شده است.

به هر روی شکل ۳ نشان می دهد که بر خلاف نتایج شگفت انگیزی که از حیث خطا و توانایی پیش بینی برای مدل طراحی آزمایشات متصور بودیم. به احتمال قوی آن نتایج حاصل کمبود اطلاعات آماری حول نقطه ی مرکزی آزمایش بوده است. که به برآورد نه چندان صحیح آماره های مدل انجامیده است.

برای بررسی دقیق تر توانایی مدل به صورت نمونه دوباره به انتخاب ۱۰ مجموعه تصادفی از شرایط برای پنج چاه اقدام شد. با این تفاوت که برای این ۱۰ نمونه مقدار واقعی تولید و همچنین تخمین مدل ریاضی و مدل طراحی آزمایش موجود بود، فلذا مقدار درصد خطا در این ۱۰ مورد و مقدار متوسط آن برای طراحی آزمایشات و مدل ریاضی بدست آمد. نتایج در جدول ۳ آمده است:

جدول ۳ مقایسه ی درصد خطای مدل طراحی آزمایشات و مدل ریاضی

مقدار تزریق به هر چاه					مقدار تولید نفت		درصد خطا	
چاه ۱	چاه ۲	چاه ۳	چاه ۴	چاه ۵	مدل طراحی	مدل ریاضی	طراحی آزمایش	مدل ریاضی
۰	۱,۶۶	۴,۰۹	۳,۲۲	۰,۶۹۳	۱۰۱۲۲,۹۷	۱۰۴۵۵,۷۴	۳,۳۰۱	۰,۱۲۲
۳.81	۴,۴۴	۰,۷۶	۰	۰,۶۱۲	۱۰۰۷۵,۱۷	۱۰۷۵,۱۷	۳,۱۱۹	۰,۲۵۶
۰,۳۶	۰,۹	۲,۵۹	۰,۴۲	۰,۶۹۳	۹۵۰۲,۵۰۸	۹۵۰۲,۵۰۸	۷,۳۱۵	۰,۱۰۸
۰,۷۸	۰,۲۱	۱,۵۷	۱,۲۱	۰	۸۷۳۶,۸۳۲	۹۳۱۲,۰۲۴	۸,۵۵۷	۲,۵۵۸
۲,۶۵	۱,۶۶	۰	۱,۷	۱,۷	۹۴۸۶,۶۳۱	۹۷۰۵,۸۸۲	۲,۲۵۵	۰,۰۰۴
۲,۶۵	۰,۲۱	۴,۰۹	۰,۴۲	۰,۹	۹۴۲۰,۱۲۱	۹۸۴۰,۰۹۸	۴,۲۵۷	۰,۰۱۱
۲,۶۵	۱,۶۶	۰,۱۴	۱,۷	۰,۱۳۰	۹۶۴۴,۷	۱۰۱۶۵,۴۴	۵,۱۷۵	۰,۰۵۵
۰,۳۶	۰,۴۶	۱,۳۴	۰,۷۲	۰	۸۶۲۳,۵۱۵	۹۳۸۲,۹۵۵	۸,۲۱۷	۰,۱۳۴
۳,۸۱	۰,۹	۴,۰۹	۱,۷	۰,۰۸۵	۹۸۴۵,۸۲	۱۰۳۹۰,۷	۵,۰۹۲	۰,۱۶۱
۳,۲۴	۲,۲۳	۰,۹۱	۱,۷	۰,۱۳۰	۱۰۲۸۴,۶۸	۱۰۷۱۰,۱۳	۳,۹۳۶	۰,۰۳۸

با میانگین گرفتن از نتایج جدول ۳ به مقدار ۰,۳۴ درصد خطا برای مدل ریاضی و ۵,۱۲ درصد خطا برای مدل طراحی آزمایشات می رسیم که نشان می دهد ، مقدار خطای مدل طراحی آزمایشات در حد خطای تخمین (۵٪) است و در حد دقت مهندسی نیست. پس پیشنهاد نمی شود که از مدل طراحی آزمایشات به تنهایی استفاده گردد بلکه پیشنهاداتی با توجه به خواص طراحی آزمایشات به نظر نگارندگان می رسد که استفاده از طراحی آزمایشات را به عنوان یک فرآیند اولیه و یا تکمیلی پیشنهاد می کند.

پیشنهاد یک روش به کار گیری طراحی آزمایشات با توجه به مزایا و معایب آن

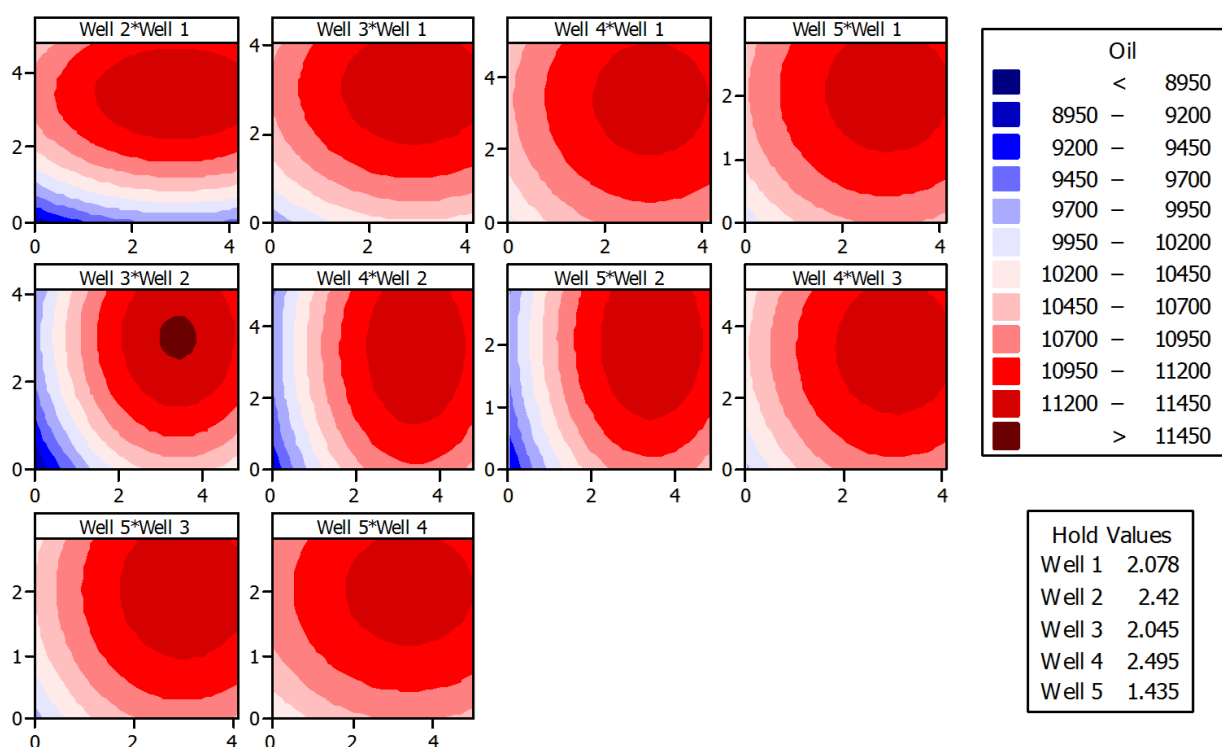
طراحی آزمایشات باکس بنکن ، معادلاتی را نتیجه می دهد که با استفاده از آن می توان محاسبات بهینه سازی تزریق را به صورت تخمینی انجام داد و با توجه به تعداد ناچیز آزمایشاتی که عملاً برای طراحی باکس بنکن با رویکرد پیشنهادی لازم است ، می توان از آن به عنوان یک ابزار داده گیر و داده پرداز در پروژه های تزریق استفاده کرد.

به این صورت که ، طراحی آزمایشات برای داده گیری اولیه از چاه ها مورد استفاده قرار گیرد ، به طور مثال تعداد داده هایی که در اختیار ما قرار داشت حدود ۶۰ داده بود که داده گیری ها فاقد روند مشخصی بود و به همین علت امکان استفاده ی داده ها به طور مستقیم در طراحی آزمایشات ممکن نبود و مجبور به استفاده از مدل ریاضی برای تقریب داده ها در شرایط طراحی آزمایشات شدیم.

این درحالیست که طراحی آزمایشات باکس-بنکن تنها به ۱۵ اندازه گیری عملی (۳ اندازه گیری برای هر چاه) نیاز داشت تا بتواند مدل خود را تشکیل دهد. در نتیجه وقتی تعداد چاه های مورد مطالعه زیاد باشد و مطالعه ی همه ی آنها به صرفه نباشد ، بهتر است که روشی برای تمایز چاه های با استعداد از نظر افزایش برداشت با تزریق گاز در برابر چاه های بی استعداد از این نظر وجود داشته باشد.

طراحی آزمایشات روشی برای تحقق این هدف است. زیرا معادله ای که از آن نتیجه می شود و ضرایب آن اهمیت هر چاه در مقدار تولید را نشان می دهد و به طور مثال چاه های ۲ و ۳ در این مطالعه از استعداد بیشتری برخوردار هستند که ضرایب معادله ی ۴ نیز این مساله را نشان می دهد.

از طرف دیگر این روش می تواند در تجسم بهتر فرآیند تزریق برای مهندسين بهره بردار مناسب باشد ، شکل هایی مثل شکل ۴ ، توانایی مدل در نشان دادن نحوه ی عملکرد تولید چاه ها در برابر تزریق به هر جفت از آنها را نشان می دهد. این نقشه ها می توانند به مهندس بهره بردار کمک کنند تا در صورت بروز شرایط اضطراری چگونه از تولید بیشینه صیانت کند و مقدار تزریق را در چه سطوحی نگه دارد تا تولید افت نکند.



شکل ۴) نمودار های هم تراز تولید نفت به ازای تزریق گاز به زوج چاه های مختلف وقتی بقیه ی چاه ها در متوسط تزریق گاز هستند.

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده نشان می دهند که طراحی آزمایشات به تنهایی دقت کافی در مدلسازی فرآیند تزریق گاز ندارد و باید در صورت استفاده به عنوان یک روش مقدماتی به کار رود، اگر چه سادگی معادله ی حاصل از آن و تعداد کم آزمایشات لازم برای اجرا در

طراحی آزمایشات باعث می شود تا با وجود خطای مدل سازی در حدود ۵٪ انگیزه هایی برای اجرای آن وجود داشته باشد. در مقابل روش مدلسازی ریاضی با نیاز به تعداد آزمایشات خطای ناچیزی در حدود ۰,۳٪ دارد و روش دقیق تری است.

سپاسگذاری

از شرکت بهره برداری مناطق نفت خیز جنوب به جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات منحنی های کارآمدی تزریق گاز چاه ها سپاسگذاری می شود.

مراجع

[1] Yadolah Dodge, (2008), "The Concise Encyclopedia of Statistics", Springer, 162-163

[2] Meddaugh, W. S., S. Griest, and S. Gross. "Application of Design of Experiments to Expedite Probabilistic Assessment of Reservoir Hydrocarbon Volumes (OOIP): Geostatistics, Banff 2004, O." Leuangthong, and CV Deutsch, eds (2004): 751-756.

[۳] خویشاوند، مهدی و خامه چی ، احسان (شهریور ۱۳۹۰) "کاربرد روش های بهینه سازی در مهندسی نفت"، ماهنامه ی اکتشاف و تولید ، شماره ۸۲، صفحه ۳۰ تا ۳۷

[4] Rashid, Kashif, Bailey, William, and Couët, Benoît, (2012), "A Survey of Methods for Gas-Lift Optimization," Modelling and Simulation in Engineering, vol. 2012, Article ID 516807, 16 pages, 2012. doi:10.1155/2012/516807

[5] Alarcon, G., Torres, C., and Gomez, L. (2002). "Global optimization of gas allocation to a group of wells in artificial lift using nonlinear constrained programming". Energ. Resour. Tech. 124:262–268.

[6] Alarcon, G., Torres, C., and Gomez, L. (2002). "Global optimization of gas allocation to a group of wells in artificial lift using nonlinear constrained programming". Energ. Resour. Tech. 124:262–268

[7] Hamed, H., Rashidi, F. & Khomehchi, E. (2010): "A Novel Approach to the Gas-Lift Allocation Optimization Problem", Petroleum Science and Technology, 29:4, 418-427

[8] Khishvand, Mahdi and Khomehchi, Ehsan (2012) "Nonlinear Risk Optimization Approach to Gas Lift Allocation Optimization", Eng. Chem. Res. 2012, 51, 2637–2643

[9] Borkowski, John J. (1995): Spherical Prediction-Variance Properties of Central Composite and Box—Behnken Designs, Technometrics, 37:4, 399-410