

پیشنهاد مناسب ترین منحنی کارآمدی تزریق گاز (GPLC) بر اساس مطالعات تزریق پنج چاه در میدان آغاچاری و طراحی آزمایشات مدلی کلی

محمد کیهانی^۱، میلاد بهجومنش^۲، ...

^۱مرکز تحقیقات پلیمر دانشگاه رازی کرمانشاه (Keyhani@petrorazi.ir)

^۲دانشکده ی نفت اهواز ، دانشگاه صنعت نفت

چکیده

نقش تزریق گاز در بهره برداری از چاه های مستعمل یا کم بازده ، شناخته شده است. به نحوی که بهره برداری از بسیاری از چاه های جهان بدون فراز آوری با گاز اقتصادی نخواهد بود. با این وجود انرژی بر بودن فرآیند تزریق گاز باعث می شود تا مدل سازی و بهینه سازی این فرآیند اهمیت یابد. تشکیل منحنی کارآمدی تزریق گاز اولین گام در مدل سازی نحوه ی تأثیر تزریق گاز در برداشت نفت است. بدست آوردن منحنی کارآمدی تزریق گاز مناسب تأثیر فرآوانی در بهینه سازی تخصیص گاز تزریقی به چاه های مختلف دارد. مدل های فرآوانی برای معادله ی منحنی کارآمدی تزریق گاز وجود دارند. در مطالعه ی حاضر با استفاده از ترکیب خطی چند نمونه از مشهورترین آنها به معادله ی کلی جدیدی دست یافته شد. از طراحی آزمایشات تاگوچی به جهت بررسی اهمیت و استلزام وجود هر ضریب استفاده شد. مدل منتخب طراحی آزمایش در مقابل مدل های مطرح این حوزه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که مدل نهایی این مطالعه از نظر مقدار همبستگی و کم بودن مجذور خطا بر مدل های کلاسیک ترجیح دارد. از طرف دیگر این مدل برگزیده با استفاده از اطلاعات چاه های جنوب غربی ایران تشکیل شده است، که این مساله باعث اهمیت عملی این مدل برای استفاده در صنعت نفت ایران خواهد بود.

واژه های کلیدی

آمار، فراز آوری با گاز (Gas Lift) ، طراحی آزمایشات ، منحنی کارآمدی تزریق گاز ، روش تاگوچی ، مدل سازی

مقدمه

فراز آوری با گاز (Gas Lift) یکی از متداول ترین روش های بهره برداری غیر طبیعی از چاه هاست. در این فرآیند با تزریق گاز به نقطه ای در لوله بهره برداری از چاه ، از فشار انتهایی لوله می کاهند و در نتیجه ی اختلاف فشار بین قسمت پایین و بالای لوله ی بهره برداری - که همان پتانسیل افزایش تولید با تزریق گاز است-، نفت به سمت بالا سیلان می کند. به عبارتی افزایش گاز تزریقی باعث افزایش استحصال نفت می گردد، اگر چه افزایش خیلی زیاد گاز می تواند باعث افزایش فشار انتهایی چاه و کاهش پتانسیل تولید شود. [۱]

در نتیجه یک نقطه ی بهینه در مقدار تزریق گاز به چاه وجود دارد که در آن مقدار تزریق بیشترین مقدار نفت حاصل می شود. به همین علت اغلب این علاقه مندی وجود دارد که رفتار تولید چاه در مقابل مصرف گاز تعیین شود. منحنی کارآمدی تزریق گاز (Gas Lift Performance Curve) این مدلسازی را در قالب یک منحنی هموار و پیوسته انجام می دهد. [۲]

تشکیل منحنی کارآمدی تزریق گاز (GLPC) اولین گام در مدلسازی نحوه ی تأثیر تزریق گاز در برداشت نفت است. بدست آوردن منحنی کارآمدی تزریق گاز مناسب، تأثیر فرآوانی در بهینه سازی تخصیص گاز تزریقی به چاه های مختلف دارد. زیرا نه تنها از حیث بهره دهی عملیاتی نقطه ی بهینه ای در تزریق گاز موجود است ، بلکه تزریق گاز از نقطه نظر اقتصادی و مدیریتی نیز دارای نقطه ی بهینه ای است که GLPC در رسیدن به آن راهگشاست.

برای مقاصد عملی تشکیل منحنی کارآمدی تزریق گاز به وسیله ی برازش داده های سر چاهی مقدار تولید در برابر تزریق بدست می آید. مدل های برازش مختلفی در این زمینه ارائه شده اند ، مدل درجه ی ۲ یکی از این مدل هاست ، اما به دلیل متقارن نبودن اغلب منحنی های GLPC ، مدل درجه ی ۲ کارایی مناسبی در این زمینه از خود نشان نمی دهد. [۳] آلارکون و همکارانش در سال ۲۰۰۲ با افزودن یک جمله ی لگاریتمی به مدل درجه ی ۲ توانستند کارکرد آن را بهبود دهند. [۴] خامه چی و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱ با افزودن یک جمله ی جذری به مدل خطی در این زمینه مدلی را پیشنهاد کرده اند. [۳] تابع نمایی نیز در برخی از مطالعات استفاده گردیده است. [۵]

با یک دیدگاه جمع بندانه تعیین مدلی که بهترین برازش را ایجاد کند، هدف مهمی در صنعت استحصال نفت با تزریق گاز می باشد. برای انجام این مهم پیشنهاد نگارندگان توسعه ی یک مدل کلی است که دارای همه ی جملات مطالعات پیشین باشد. سپس با تعیین اثر وجود هر جمله بر کارایی مدل می توان جملات ناکارآمد را حذف و سادگی مدل را بیشتر کرد.

در این زمینه ابزار های آماری می توانند ، کارآمد باشند. طراحی آزمایشات یکی از این ابزار هاست که در این زمینه تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته است. به عبارتی طراحی آزمایشات روشی برای کنترل یک یا چند کمیت (پاسخ) بر اساس مطالعه ی متغیر های وابسته (شرایط) است. در مورد مطالعه ی حاضر وجود یا عدم وجود هر یک از جملات در مدل کلی با استفاده از طراحی آزمایشات ، بررسی می شود و اثر و اهمیت جملات مدل با این روش بدست می آید.

روش های طراحی آزمایش در دهه های اخیر توسعه ی بسیاری داشته اند و امروزه بیشتر روش های بر مبنای مدلسازی (Response Surface Methodology) که یک چند جمله ای را به عنوان مدل حاصل می کنند ، مورد علاقه ی محققین قرار دارند با این وجود، روش های کلاسیک همچون روش تاگوچی نیز از جذابیت های فرآوانی برخوردار هستند. سادگی و کارایی یکی از مهمترین شاخصه های روش تاگوچی است. [۶] بنابراین از روش تاگوچی به جهت بررسی اثر وجود جملات در مدل استفاده شد.

برای بررسی مقدار برازندگی مدل ها از دو شاخص R^2 و مجموع مربعات خطا (SSE) استفاده شده است. شاخص R^2 مقدار همبستگی بین مدل و داده ها را نشان می دهد و هر چه به ۱ نزدیک تر باشد، بهتر است. شاخص مجموع مربعات خطا، مقدار خطای ناشی از اختلاف مدل با داده ها را نشان می دهد که هر چه کمتر باشد بهتر است و اگر مقدار آن صفر شود نشان از عدم وجود خطای مدل سازی دارد. در ضمن ما برای مدل پیشنهادی به جای R^2 از ضریب همبستگی اصلاح شده (R^2_{adj}) استفاده کردیم که نوعی از ضریب همبستگی است که برخی از ایرادات آن از قبیل وابستگی به تعداد جمعیت و پیچیدگی مدل را از بین ببرد. این کار باعث گردیده تا شرایط سخت تری برای محک مدل پیشنهادی ایجاد شود، همچنین به تعداد جملات مدل نیز توجه شده است و سعی شده، این تعداد در حد امکان کوچک باشد تا مدل از سادگی بیشتری برخوردار شود.

ارائه مدل پیشنهاد شده و بررسی اهمیت جملات آن

چنانچه گفته شد مدل های فراوانی برای کارآمدی تزریق گاز، ارائه شده اند. ما بر اساس جملات این مدل ها مدل کلی زیر را پیشنهاد می دهیم:

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

برای اینکه در همه ی حالات امکان محاسبه ی R^2 و مجموع مربعات خطا وجود داشته باشد جملات a_0 و a_1 یعنی معادله ی خطی را به عنوان حالت پایه در نظر می گیریم. سپس از طراحی آزمایش تاگوچی با ۴ عامل دو سطحی (آرایه متعامد L_8) جهت تعیین لزوم وجود یا عدم وجود سایر جملات بهره گرفته شده است. اگر در طرح آزمایش جمله ای در سطح ۰ بود آن جمله حذف شده و اگر در سطح ۱ بود نگه داشته می شود. جدول ۱، شرایط طراحی آزمایش را به همراه نتایج مدل متناظر از قبیل مقادیر R^2 ، مجموع مربعات خطا و نسبت بین R^2 به SSE را نشان می دهد:

جدول ۱) طراحی آزمایش تاگوچی به کار گرفته شده و نتایج آن

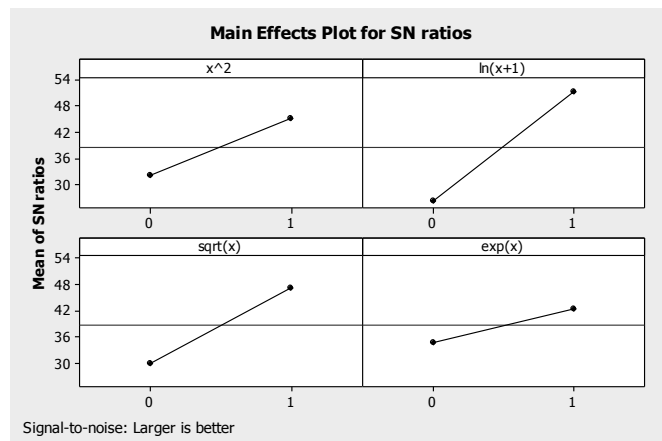
ردیف	جملات مدل					میانگین پاسخ های ۵ چاه		
	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2_{adj}	SSE	$R^2_{adj} / SSE \times 10^{-6}$	
۱	۰	۰	۰	۰	۰,۵۲۸۴	۴۶۱۶۰۰	۱,۱۴۵	
۲	۰	۰	۱	۱	۰,۹۸۳۲	۱۷۰۲۷,۲	۵۷,۷۴۳	
۳	۰	۱	۰	۱	۰,۹۸۴۴	۷۳۰۳	۱۳۴,۷۷۸	
۴	۰	۱	۱	۰	۰,۹۹۴۶	۳۱۴۶,۹	۳۱۶,۰۶۳	
۵	۱	۰	۰	۱	۰,۹۴۹۵	۳۶۷۸۰	۲۵,۸۱۵	
۶	۱	۰	۱	۰	۰,۹۸۹۶	۹۶۶۳,۹	۱۰۲,۴۰۷	
۷	۱	۱	۰	۰	۰,۹۸۹۷	۴۰۴۸	۲۴۴,۴۸۱	
۸	۱	۱	۱	۱	۰,۹۹۸۰	۶۳۵,۳	۱۵۷۰,۹۱۱	

تحلیل پاسخ ها با استفاده از روش سیگنال به نویز تاگوچی انجام شد. سیگنال به نویز تاگوچی یک کمیت آماری است که با در نظر گرفتن اثر اغتشاش و عوامل تداخل کننده باعث می شود تا تحلیل تاگوچی با اطمینان و صحت بیشتری صورت گیرد. سیگنال به

نویز تاگوچی تعریف های مختلفی دارد که در اینجا ما از تعریف هر چه بزرگتر بهتر برای مقدار تابع هدف $(R^2_{adj}/SSE) \times 10^{-6}$ استفاده کرده ایم:

$$S/N = -10 \log \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{1}{y_{ij}} \quad (2)$$

در شکل ۱ اثرات کلی جملات مدل پیشنهادی بر بزرگی تابع هدف $R^2_{adj}/SSE \times 10^{-6}$ با استفاده از نسبت S/N نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد، حضور تمام جملات باعث افزایش تابع هدف مورد نظر بوده است. شیب هر خط نیز اندازه ی تاثیر پذیری تابع هدف از متغیر متناظر آن خط نشان می دهد. بنابراین واضح است که جمله ی لگاریتمی از اهمیت بسزایی در بهبود برازش مدل برخوردار است.



شکل (۱) نمودار اثر اصلی هر یک از جملات پیشنهادی بر روی مقدار S/N تابع هدف $R^2_{adj}/SSE \times 10^{-6}$

پس این فرض که همه ی جملات مدل پیشنهادی در ایجاد مدل مناسب موثر نیستند ، درست نیست و مدل پیشنهادی بهترین پاسخ را نسبت به مدل های با جملات کمتر دارا است. با این وجود مدل با جملات کمتر از نظر محاسباتی و برآوردی جالب تر است و این ایجاب می کند که ترتیب اهمیت جملات تعیین گردد و مقدار تفاوت کارآمدی مدل های کوچکتر با مدل اصلی مقایسه شود. برای این منظور جدول جواب ها بر حسب مقدار S/N در جدول ۲ گزارش شده است:

جدول (۲) بررسی اهمیت جملات مدل با استفاده از تحلیل نسبت S/N

سطح	جمله ی x^2	جمله $\ln(x + 1)$	جمله \sqrt{x}	جمله e^x
۱	۳۲,۲۵	۲۶,۲۱	۲۹,۹۴	۳۴,۷۹
۲	۴۵,۰۳	۵۱,۰۷	۴۷,۳۴	۴۲,۵
اختلاف	۱۲,۷۸	۲۴,۸۶	۱۷,۴	۷,۷۱
مرتبه اهمیت	۳	۱	۲	۴

چنانچه در جدول ۲ مشاهده می شود جمله ی لگاریتمی در مرتبه ی اول اهمیت قرار دارد و بعد از آن جملات جذری ، مجذوری و نمایی قرار دارند. شیب ناچیز جمله ی نمایی در شکل ۱ نیز اهمیت کم جمله ی نمایی را نشان می دهد. بنابراین در صورتی که بخواهیم مدل را کوچک کنیم بهترست به ترتیب جملات نمایی ، درجه ی ۲ و جذری را حذف کنیم.

مقایسه ی مطلوبیت برازش مدل بدست آمده با مدل های موجود برای چاه های مورد مطالعه

مقایسه ی توانایی مدل پیشنهاد شده با مدل های آلاکون و خامه چی می تواند ، نشان دهد که آیا عملکرد مدل بدست آمده به اندازه ی کافی مطلوب هست یا خیر. برای این منظور از داده های ۵ چاه مورد مطالعه استفاده شده است نتایج در جدول ۳ آمده است:

جدول ۳) بررسی نتایج حاصل از مدل پیشنهاد شده (فرم کامل) ، مدل پیشنهادی با حذف جملات کم اهمیت، مدل آلاکون و مدل خامه چی

متوسط پنج چاه	چاه ۵	چاه ۴	چاه ۳	چاه ۲	چاه ۱	
مدل پیشنهادی (فرم کامل)						
۰,۹۹۸۰	۰,۹۹۲ ۲	۰,۹۹۹۱	۰,۹۹۹۴	۰,۹۹۹۸	۰,۹۹۹۵	R²Adj
۶۳۵,۳	۱۹۸۵	۲۱۱	۴۳۱,۱	۴۲۴,۳	۱۲۵,۱	Sum of Squared Error
مدل پیشنهادی (با حذف کم اهمیت ترین جمله)						
۰,۹۹۷۹	۰,۹۹۲ ۹	۰,۹۹۹۰	۰,۹۹۹۲	۰,۹۹۹۵	۰,۹۹۹۰	R²Adj
۸۴۳,۶۶	۱۹۹۰	۲۴۶,۲	۶۰,۵	۱۰,۸۸	۲۸۹,۱	Sum of Squared Error
مدل پیشنهادی (با حذف دو جمله کم اهمیت تر)						
۰,۹۹۴۶	۰,۹۸۳ ۹	۰,۹۹۹۱	۰,۹۹۴۹	۰,۹۹۷۷	۰,۹۹۷۵	R²Adj
۳۱۴۶,۹	۴۹۱۵	۲۵۴,۸	۴۲۶۸	۵۵۰,۴	۷۹۲,۷	Sum of Squared Error
مدل آلاکون						
۰,۹۹۱۹	۰,۹۷۴ ۵	۰,۹۹۳۵	۰,۹۹۷۲	۰,۹۹۹۰	۰,۹۹۵۱	R²
۴۰۴۸	۹۷۲۲	۲۲۴۸	۳۰۵۶	۳۰۴۰	۲۱۷۴	Sum of Squared Error
مدل خامه چی						
۰,۹۸۰۹	۰,۹۸۶۳	۰,۹۷۹۹	۰,۹۸۳۵	۰,۹۷۲۱	۰,۹۸۲۹	R²
۲۵۱۶۵,۸	۵۲۱۲	۶۹۷۱	۱۸۰۹۰	۸۸۰۱۰	۷۵۴۶	Sum of Squared Error

عملکرد فرم کامل مدل پیشنهادی نسبت به مدل های آلاکون و خامه چی بسیار مناسب بوده است. مدل خامه چی در مطالعه عملکرد ضعیفی از خود ارائه داده و با مقدار مجموع مجذور خطای بالا و ضریب همبستگی نه چندان فوق العاده ای که از آن بدست آمده مزیت قابل توجهی نسبت به مدل آلاکون ندارد.

مدل آلاکون یک مدل ساده و استاندارد به نظر می رسد که با توجه به عملکرد متوسطی که ارائه داده شایسته ی توجه است. در مقابل عملکرد مدل کامل پیشنهادی بسیار جالب توجه و تحسین برانگیز بوده است به طوری که حتی با حذف جمله ی نمایی این عملکرد چندان دچار اشکال نشده است. اما با حذف دو جمله ی کم اهمیت تر (جمله درجه ۲ و جمله ی نمایی) نتیجه به خوبی حالت قبل نبوده است ، پس می توان نتیجه گرفت عملکرد مدل پیشنهاد شده به تعداد جملات وابسته است.

مقدار جذر میانگین مجذور خطا (RMSE) شاخصی از مقدار متوسط خطای یک مدل است. برای هر مدل متوسط این مقدار برای ۵ چاه محاسبه گردید که بر اساس واحد لیتر نفت استحصالی گزارش می شود: برای مدل کلی این شاخص برابر ۱۰۲۳,۹۶ لیتر، مدل با حذف یک جمله ی کم اهمیت ۱۱۴۶,۳۹ ، مدل با حذف ۲ جمله ی کم اهمیت ۲۱۵۶,۰۴ ، مدل آلاکون ۲۴۰۸,۸۵ و برای مدل خامه چی ۵۳۵۶,۷۱ لیتر شد.

محاسبات بالا نشان می دهد دو مدل: "پیشنهادی کامل" و "پیشنهادی با حذف یک جمله"، نسبت به مدل آلاکون، ۲ برابر و نسبت به مدل خامه چی، ۵ برابر دقیق تر عمل می کنند و این یعنی خطای کمتر مدلسازی که باعث برآورد دقیق تر مقدار نفت محصول و بهینگی فرآیند های بهینه سازی مبتنی بر این معادلات می شود.

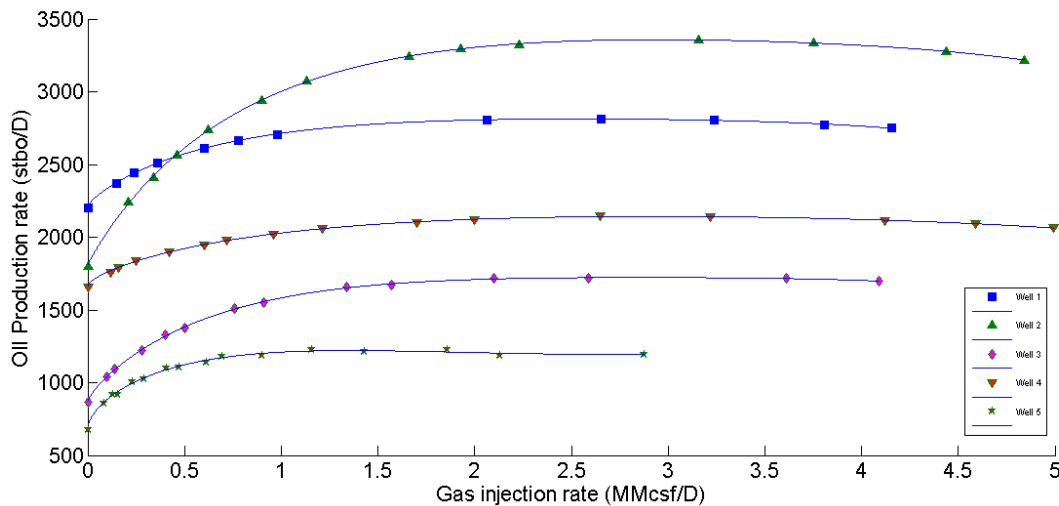
برای بررسی عمیق تر تفاوت مدل های ارائه شده در مقابل روش های قبلی از آزمون t زوجی (paired t-test) استفاده شد. آزمون t زوجی یک روش آماری برای بررسی معناداری تفاوت بین میانگین دو گروه وابسته است. به طور مثال برای بررسی اثر یک ماده آنتی باکتریال می توان در شرایط مختلف باکتری ها را رشد داد ، سپس نرخ رشد آنها را در حضور آنتی باکتریال و در عدم حضور آن محاسبه و با آزمون t زوجی معنی داری اثر آنتی باکتریال بر کاهش سرعت رشد باکتری را تحقیق کرد. این آزمون برای گسترش یک مجموعه مشاهدات و تعمیم آنها مفید است. [۷]

مطالعه ی پاسخ مجموع مربعات خطا با آزمون t زوجی نشان می دهد که مقدار مجموع مجذورات خطا برای "مدل پیشنهادی" ($p=0.035$) و "مدل پیشنهادی با حذف کم اهمیت ترین جمله" ($p=0.048$) ، نسبت به مدل آلاکون از تفاوت معنا داری (در سطح ۰/۰۵) برخوردار است. هر چند با وجود تفاوت چشمگیر مابین مجموع مربعات خطای مدل پیشنهادی و مدل خامه چی این آزمون تفاوت معناداری را تأیید نمی کند، که این می تواند به علت پراکندگی بسیار جواب مدل خامه چی و همچنین کوچک بودن جامعه ی مورد بحث باشد. به هر حال با توجه به جدول ۳ و اختلاف بسیار میانگین ها برای مدل پیشنهادی و مدل خامه چی این آزمون به عملکرد مناسب مدل پیشنهادی لطمه ای وارد نمی کند و تنها توصیه به اندازه گیری های بیشتر (افزایش دامنه ی نمونه گیری) دارد.

در مقابل برای ضریب همبستگی تنها تفاوت معنا دار بین مدل های "پیشنهادی کامل" ($p=0.005$) و "مدل پیشنهادی با حذف یک جمله" ($p=0.003$) در مقابل مدل خامه چی تأیید می گردد و برای سایر حالات معناداری توسط آزمون t زوجی تأیید نمی شود.

پس می توان ادعا کرد که از نظر کاهش خطا و افزایش همبستگی بین مشاهدات و پیش بینی ها ، مدل "پیشنهادی" و "مدل پیشنهادی با حذف یک جمله کم اهمیت" (جمله ی نمایی) موثر عمل کرده اند. به طوری که اگر ۱۰۰ چاه تصادفی انتخاب شوند، پیش بینی می شود تنها در ۵ چاه مدل آلاکون نتیجه ی بهتری از حیث خطا و ضریب همبستگی داشته باشد و در دیگر موارد مدل های پیشنهادی (مدل کامل و مدل با حذف یک جمله ی کم اهمیت) بهتر عمل می کنند.

از طرف دیگر تکیه ی صرف بر شاخص های آماری برازش در مدلسازی (از قبیل مجموع مجذورات خطا و ضریب همبستگی) ، محل خطاست زیرا نکات ظریفی در مدلسازی چاه های نفت با استفاده از برازش منحنی وجود دارد: یکی از این نکات اهمیت همواری، یکنواختی و پیوستگی منحنی کارآمدی تزریق گاز است، به عبارتی تغییرات ناگهانی در مدل نباید وجود داشته باشد و اگر مدلی دارای مقدار همبستگی ۱ و مجموع مجذور خطای صفر باشد اما دارای تغییر شیب های ناگهانی ، یا ناپیوستگی باشد ، این مدل فاقد ارزش خواهد بود. بنابراین برای بررسی رفتار تابع پیشنهادی ، از رسم آن بهره گرفته شده است ، تا ویژگی های رفتاری مدل روشن شود. شکل ۲ مدل پیشنهادی با جملات کامل (معادله ۱) را نشان می دهد:



شکل ۲. نمودار منحنی GLPC بدست آمده از فرم کامل مدل پیشنهادی

در شکل ۲ خط متناظر هر دسته گره، مدل پیشنهادی برای آن چاه را نشان می دهد. رفتار مناسب تابع پیشنهادی در توصیف روند ۵ چاه مورد بررسی قابل توجه است و مدل به طرز مناسبی عمل کرده است. علت این مدلسازی مناسب را می توان در طراحی این مدل برای این پنج چاه دانست. البته به احتمال قوی مدل ارائه شده برای کلیه ی چاه های تحت تزریق گاز در ایران و بلکه جهان می تواند کارآمد باشد.

بررسی عملکرد مدل ها از نظر پیش بینی و ماهیت خطا

هر مدل رگرسیون علاوه بر اینکه باید از توانایی گذردگی مناسبی برخوردار باشد، یعنی از همه ی نقاط معرفی شده به آن به خوبی گذر کند. باید از نظر پیش بینی یا ارائه ی جواب درست برای مقادیر خارج از اطلاعات اولیه اش قابل قبول عمل کند و از این نظر نیز دقیق باشد. برای اندازه گیری این منظور نوعی از مقدار ضریب همبستگی وجود دارد که توانایی مدل در پیش بینی مقادیری را که به آن اطلاع داده نشده می سنجد که به آن ضریب همبستگی تخمین می گویند. در جدول ۴ مقدار ضریب همبستگی تخمین برای مدل های مختلف آمده است.

جدول ۴) بررسی نتایج بررسی ضریب همبستگی تخمین مدل های پیشنهادی و مدل های آلاگون و خامه چی

مقدار مجذور ضریب همبستگی تخمین						مدل
میانگین	چاه ۵	چاه ۴	چاه ۳	چاه ۲	چاه ۱	
۸۲,۲۸	۲۰,۲۳	۹۷,۴۳	۹۹,۹۰	۹۸,۷۱	۹۵,۱۲	پیشنهادی کامل

۹۷,۳۳	۹۷,۲۸	۹۷,۹۷	۹۹,۴۷	۹۹,۳۲	۹۲,۵۲	پیشنهادی با حذف یک جمله
۹۲,۸۹	۸۴,۴۹	۹۹,۷	۹۵,۰۰	۹۲,۳۷	۹۲,۸۹	پیشنهادی با حذف دو جمله
۹۶,۲۳	۸۵,۷۵	۹۸,۴۰	۹۹,۱۰	۹۹,۶۱	۹۸,۲۷	آلارکون
۹۲,۷۴	۹۷,۰۳	۹۳,۸۰	۹۴,۵۷	۸۶,۷۱	۹۱,۵۷	خامه چی

مطابق جدول ۴ مقدار ضریب همبستگی پیشبینی با مقادیر اندازه گیری شده برای مدل کامل از مدل با حذف یک جمله ی کم اهمیت کم تر است ، همچنین با حذف یک جمله ی دیگر (یعنی مدل پیشنهادی با حذف ۲ جمله) این مقدار کاهش می یابد به عبارتی مدل پیشنهادی با حذف ۱ جمله ی کم اهمیت بهترین عملکرد را نه تنها در بین مدل های پیشنهادی بلکه در برابر مدل های آلارکون و خامه چی دارد.

آزمون t زوجی تفاوت معناداری بین توانایی پیش بینی مدل های ارائه شده و مدل های آلارکون و خامه چی تشخیص نمی دهد ، پس مدل های پیشنهادی با ضریب همبستگی بالاتر و مجموع مجذورات خطای کمتر از نظر پیش بینی نیز قابل اعتماد عمل می کنند.

علاوه بر پیش بینی مناسب پاسخ های یک مدل بایستی از مجموعه ی شرایط خاصی پیروی کنند، در این میان خطای نقاط به کار رفته برای تشکیل مدل ها به عنوان یک شاخص مفید برای بررسی مدل های رگرسیون به شمار می آید.

از لحاظ آماری خطاها باید داری ویژگی هایی باشند: از توزیع نرمال پیروی کنند، مقدار میانگین همه ی آنها برای هر مدل صفر باشد، به تابع پیشنهاد شده وابسته نباشند ، از همدیگر مستقل باشند و فرض های دیگری از این دست که از نظر آماری وجود دارند. آزمون های مختلفی تناسب خطا را می سنجند. از این میان از آزمون آندرسون دارلینگ برای بررسی نرمال بودن خطاها استفاده شده است و همچنین برخی از فرض های بالا آزمون شده اند.

بررسی خطاها برای همه ی مدل ها نشان می دهد که میانگین آنها از مرتبه ی ده به توان منفی سیزده است که نشان می دهد میانگین خطاها عملاً برابر صفر می باشد ، آزمون آندرسون دارلینگ نیز تأیید می کند که هر سه مدل پیشنهادی و حتی دو مدل آلارکون و خامه چی از توزیع نرمال خطا بر خوردار هستند.

البته انحراف از معیار خطا برای مدل های پیشنهادی کمتر از مدل های آلارکون و خامه چی بوده است. به طوری که میانگین انحراف از معیار مقادیر خطا (محاسبه شده از پنج چاه) به صورت : مدل پیشنهادی برابر ۹۲۳,۷۱ لیتر نفت ، مدل پیشنهادی با حذف یک جمله ی کم اهمیت ۱۱۲۴,۰۴ ، مدل پیشنهادی با حذف دو جمله ی کم اهمیت ۲۱۲۸,۸۴ ، مدل آلارکون ۲۲۳۶,۹۵ ، مدل خامه چی ۴۷۶۴,۸۵ لیتر نفت است. پس خطای مدل های پیشنهادی حول مقادیر کوچکتری نوسان می کند به طوری که انحراف از معیار خطا برای مدل پیشنهادی حدود یک سوم مدل آلارکون و یک چهارم مدل خامه چی است.

نتیجه گیری

می توان نتایج بدست آمده را چنین خلاصه کرد:

- استفاده از طراحی آزمایشات تاگوچی برای دستیابی به بهترین مدل برای منحنی کارآمدی تزریق گاز با استفاده از از جمع خطی مدل های فعلی امکان پذیر بوده و به نتایج مناسبی از نظر برازندگی مدل حاصل می انجامد (یعنی ضریب همبستگی بالا و مقدار مجموع مجذور خطای کم) که از بسیاری مدل های فعلی این حوزه مناسب تر است.
- تحلیل اهمیت جملات در یک مدل کلی پیشنهاد شده با توجه به مدل های قبلی می تواند به ساده شدن مدل کلی کمک کرده و نقشه ی راه را برای ارائه ی مدل های آینده ، ارائه کند. بر همین اساس به ترتیب ، جملات لگاریتمی ،

اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت

۱۶ لغایت ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۱ (تهران-ایران)

جدری ، مجذوری و نمایی در مطالعه ی حاضر اهمیت داشته اند و اهمیت جمله ی نمایی در مقابل سه جمله ی دیگر قابل صرف نظر کردن بوده است.

- بهترین مدل ، از نظر مناسبت برازش مدلی بوده است که در آن ترکیب خطی همه ی جملات کارهای پیشین وجود داشته اند ولی در مقابل استفاده از جملات زیاد ممکن است به توانایی پیش بینی مدل لطمه وارد کند.
- از میان مدل های موجود مدل آلاکون بهترین برازش و توانایی پیش بینی را از خود ارائه کرده است.

پیشنهاد می شود این روش در سایر زمینه های مدلسازی فرآیند ها و خاصیت ها در صنعت نفت استفاده گردد ، زیرا کارآمدی مدل های بدست آمده از این روش ناشی از ساختار منطقی و آگاهانه ی آن است و نسبت به سایر روش های قبلی مطمئن تر است.

سپاسگذاری

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

مراجع

[1] Deni Saepudin, Edy Soewono, Kuntjoro Adji Sidarto, Agus Yodi Gunawan, Septorato Siregar, and Pudjo Sukarno, "An Investigation on Gas Lift Performance Curve in an Oil-Producing Well," International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, vol. 2007, Article ID 81519, 15 pages, 2007. doi:10.1155/2007/81519

[2] 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

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

[۴] 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.

[۵] Hatton, N. Robert and Potter, Ken, (2011), " Optimization of Gas-Injected Oil Wells", SAS Global Forum 2011

[6] مومیوند ، علیرضا ، شاهین ، آرش و نوارچیان ، حسین (مهر ۱۳۹۰) "مقایسه ی طراحی آزمایش ها به روش سنتی و تاگوجی و شاینین با یکدیگر یک مطالعه ی موردی" ، نشریه ی تخصصی صنایع ، دوره ۴۵ ، شماره ۲

[7] Jackson , Sherri L., (2008), "Research Methods and Statistics: A Critical Thinking Approach", Cengage Learning Publication , 187-189