

تخمین نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی به کمک مدل‌های حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB

محمدرضا شادی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

کد مقاله: ۳۴۴۵۷

چکیده

در این مطالعه به تخمین نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی به کمک مدل‌های حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و مقایسه آن‌ها با روابط تجربی پرداخته شد. در بین روابط تجربی موجود روابط گلاسو (۱۹۸۰) و استاندینگ (۱۹۸۱) بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت و رابطه پتروسکی و فرشاد (۱۹۹۳) ضعیف‌ترین عملکرد را دارد. مقایسه مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده برای محاسبه نسبت گاز به نفت نشان می‌دهد، اگرچه مدل LSSVM تطبیقی قوی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و آزمایشگاهی فراهم می‌کند اما مدل ANN با رسیدن به کمترین AAPRE برابر با ۹/۳۴۵۶ و RMSE با مقدار ۵۴/۰۶۷۵ و بالاترین ضریب همبستگی ($R=0.9837$) که نزدیک‌ترین مقدار به یک می‌باشد، بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز به نفت دارد. آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی نشان می‌دهند که مدل‌های ANN و LSSVM توسعه داده شده نسبت به روابط تجربی موجود معتبرتر می‌باشد و قادر است بر تمام روابط تجربی غلبه کند. عملکرد و کارایی مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده به‌ویژه مدل ANN تأیید می‌کند که این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان روشی سریع، کم‌هزینه با قابلیت پیش‌بینی قوی و به‌عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های آزمایشگاهی جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت به کار روند. روابط تجربی برای محاسبه مقادیر بالای نسبت گاز محلول به نفت مناسب نیستند.

واژگان کلیدی: نسبت گاز به نفت، مخازن نفتی، حداقل مربعات، ماشین بردار پشتیبان، نرم‌افزار MATLAB

۱- کارشناسی ارشد فرآوری و انتقال گاز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گچساران، گچساران، ایران (نویسنده مسئول)
aref.shadi_72@gmail.com

۱- مقدمه

نسبت گاز محلول به نفت یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی نفت خام است که نقش مهمی در محاسبات مهندسی مخزن و مدیریت تولید دارد. نسبت گاز محلول به نفت را می‌توان به‌صورت آزمایشگاهی، با استفاده از آزمایشاتی که بر روی نمونه‌های ته چاهی یا سطحی انجام می‌گیرد، بدست آورد [۱]. اگرچه روش آزمایشگاهی بسیار دقیق و معتبر می‌باشد ولی این روش نیازمند هزینه و وقت زیاد و همچنین دقت فراوان هنگام نمونه‌گیری از مخزن نفتی می‌باشد. در مواردی که داده‌های آزمایشگاهی موجود نباشد می‌توان از معادلات حالت و رابطه‌های تجربی برای تخمین خصوصیات PVT استفاده کرد که این روش‌ها نیز با محدودیتهایی روبرو می‌باشند [۲]. معادلات حالت اکثراً دارای محاسبات سخت و پیچیده بوده و نیازمند اطلاعات کامل از ترکیب سیال مخزن می‌باشند. تاکنون محققین رابطه‌های تجربی زیادی را برای تخمین خصوصیات فیزیکی نفت خام ارائه داده‌اند [۳ و ۴]. این رابطه‌ها دارای محاسبات ساده بوده و اکثراً برای یک یا چند منطقه جغرافیایی خاص که ترکیب شیمیایی سیال مخزن و دامنه داده‌های آنها مشخص می‌باشد معرفی شده‌اند. این روابط بر اساس رگرسیون خطی، غیر خطی چندگانه و تکنیک‌های گرافیکی توسعه یافته‌اند. مقایسه نتایج روابط تجربی مختلف که برای میادین نفتی مختلف جهان پیشنهاد شده‌اند، با مقادیر آزمایشگاهی برای انواع مختلف نفت خام موضوع بحث مطالعات [۵] بی‌شماری بوده است که در همه آن‌ها به ناتوانی این روابط جهت تخمین زدن خصوصیات PVT نفت‌های خام با ویژگی‌ها و شرایط مکانی مختلف، اشاره شده است [۶]. از طرفی به دلیل اینکه این روابط بر اساس روش‌های رگرسیون خطی و غیر خطی چند گانه توسعه داده شده‌اند ممکن است نتایج دقیقی ندهند. در طی دو دهه گذشته شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور وسیعی در زمینه‌های مختلف مهندسی نفت از جمله پیش بینی خصوصیات فیزیکی نفت خام، بررسی عملکرد آینده مخزن، تخمین تخلخل و تراوایی، پیش‌بینی حداقل فشار امتزاجی، تعیین افت فشار در چاههای تولیدی و لوله‌ها، شکاف هیدرولیکی و محاسبات خصوصیات مخزن مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷-۱۰]. هدف از این مطالعه توسعه دادن مدل‌های هوشمند و قابل اعتماد بر اساس شبکه‌های عصبی چند لایه و الگوریتم حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان جهت تخمین زدن نسبت گاز محلول به نفت می‌باشد. برای ساخت و تست مدل‌ها در کل از یک مجموعه داده آزمایشگاهی که نمونه‌های نفت خام مربوط به میادین نفتی خاورمیانه را نمایندگی می‌کند، استفاده خواهد گردید سپس عملکرد مدل‌های توسعه داده شده در برابر چندین رابطه تجربی مشهور با استفاده از آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی ارزیابی و بررسی خواهد شد.

۲- روش تحقیق

در ابتدا تلاش می‌شود مجموعه‌ی وسیعی از داده‌های آزمایشگاهی که محدوده‌ی وسیعی از شرایط ترمودینامیکی را پوشش دهند از میادین نفتی خاورمیانه گردآوری شود. سپس پیاده‌سازی مدل‌های پیش بینی کننده بر اساس هوش مصنوعی جهت تخمین زدن نسبت گاز به نفت در نرم افزار Matlab صورت خواهد گرفت. برای یکسان سازی دامنه داده‌های به کار برده شده فرایند نرمالسازی بروی داده‌ها به کار خواهد رفت سپس داده‌ها به دو زیر مجموعه آموزشی و آزمایش به طور تصادفی تقسیم می‌شوند که مجموعه آموزشی جهت ساخت مدل‌های عصبی و حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان و مجموعه آزمایش جهت ارزیابی مدل‌ها استفاده می‌گردد. در مرحله بعد کدهای مربوط به چندین رابطه تجربی معروف همانند، گلاسو جهت تخمین نسبت گاز به نفت در محیط نرم افزار Matlab پیاده سازی می‌شوند و در پایان با استفاده از آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی نتایج مدل‌ها و روابط تجربی ارزیابی و بررسی می‌شود و بهترین مدل که نزدیکترین پیش بینی‌ها به مقادیر آزمایشگاهی دارد معرفی می‌گردد.

نرم افزار Matlab: متلب یک زبان برنامه‌نویسی سطح بالای نسل چهارم و یک محیط تعاملی برای محاسبات عددی، تجسم و برنامه‌نویسی می‌باشد که از ترکیب دو واژه MATrix (ماتریس) و LABoratory (آزمایشگاه) ایجاد شده است این نام حاکی از رویکرد ماتریس محور برنامه است که در آن حتی اعداد منفرد نیز به‌صورت یک ماتریس با ابعاد ۱*۱ در نظر گرفته می‌شود. نرم‌افزار متلب توسط شرکت MathWorks تولید شده است. این شرکت در سال ۱۹۸۴ در ایالت ماساچوست آمریکا تأسیس شد. کلوی مولر^۱ (۱۹۷۰) رییس دانشکده نیومکزیکو نرم‌افزار متلب را بر پایه زبان فرترن نوشت. در سال ۱۹۸۳ این نرم‌افزار را بر پایه زبان برنامه‌نویسی C شکل دادند و پس از تأسیس شرکت گسترش آن سرعت گرفت. متلب توانایی کار با ماتریس‌ها، رسم انواع توابع و داده‌ها، پیاده‌سازی انواع الگوریتم‌ها، ایجاد رابط کاربری، ارتباط با برنامه‌های نوشته‌شده به زبان‌های دیگر از جمله C، C++، JAVA و فرترن و ایجاد مدل‌ها و برنامه‌های کاربردی را فراهم می‌کند. لازم به توضیح می‌باشد که در این پایان نامه از نرم افزار متلب با ورژن (matlab 2014a) استفاده شده است. سیستم متلب از پنج قسمت اصلی ایجاد شده است:

زبان متلب: متلب یک زبان سطح بالای ماتریس- آرایه‌ای است ویژگی‌های برنامه‌نویسی شی گرا را شامل می‌شود که می‌توان با کمک آن برنامه‌های ساده و پیچیده را ایجاد کرد.

محیط کاری متلب: مجموعه‌ای از ابزار و امکانات است که شما به‌عنوان کاربر متلب یا برنامه‌نویس متلب با آن‌ها تعامل دارید. این محیط شامل امکاناتی برای مدیریت متغیرها در فضای کاری و ابزاری جهت توسعه، مدیریت، رفع خطا و ایجاد M فایل‌ها در برنامه‌های متلب می‌باشد.

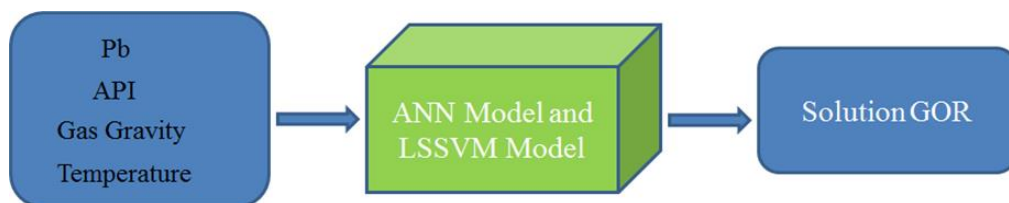
کنترل گرافیک: همان سیستم گرافیکی متلب است که شامل دستورات سطح بالا برای تجسم داده‌های دوبعدی و سه‌بعدی، پردازش تصویر، انیمیشن و گرافیک است. همچنین شامل دستورات سطح پایین است که به شما اجازه می‌دهد که ظاهر گرافیکی برنامه‌های خود را به‌صورت سفارشی طراحی کنید.

۲-۱- جمع آوری و دسته بندی داده ها

انتخاب و جمع آوری داده‌های معتبر و باکیفیت که محدود به رنج مشخصی نباشد برای توسعه و پیش‌بینی قابل قبول هر مدلی لازم و ضروری می‌باشد. از آنجاییکه هدف محاسبه نسبت گاز محلول به نفت می‌باشد به همانند اکثر کارهای منتشر شده نسبت گاز محلول به نفت تابعی از فشار نقطه حباب، دمای مخزن، چگالی ویژه نفت خام و چگالی ویژه گاز در نظر گرفته شد. همچنین دنبال می‌شوند:

$$R_s = f(P_b, T_R, API, \gamma_g) \quad (1)$$

جهت ساخت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN Model) و LSSVM به منظور پیش‌بینی نسبت گاز محلول به نفت و همچنین ارزیابی عملکرد روابط تجربی ۳۸۰ مجموعه داده آزمایشگاهی که محدوده وسیعی از شرایط ترمودینامیکی را پوشش می‌دهند و مربوط به مخازن نفتی خاورمیانه با انواع مختلف نفت خام بود استفاده شد. این داده‌ها از کارهای منتشر شده معتبر جمع آوری شده بودند. هر کدام از این مجموعه داده‌ها شامل چندین نقطه داده می‌باشد به طوریکه نسبت گاز محلول به نفت خروجی، و پارامترهای دیگر که عبارتند از فشار نقطه حباب، دمای مخزن، چگالی API و وزن مخصوص گاز و به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شدند (شکل (۱)). خصوصیات آماری داده‌های استفاده شده در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): شمای مدل توسعه داده شده برای محاسبه نسبت گاز محلول به نفت

جدول (۱): توصیف آماری مجموعه داده استفاده شده در این مطالعه

Properties	Minimum	Maximum	Mean
Bubble point pressure, P_b (Psia)	۷۸	۵۱۳۵	۱۵۹۷
Reservoir temperature, T_R (°F)	۷۲	۲۹۴	۱۹۳
Oil gravity (API)	۱۹	۵۷٫۵	۳۵۱
Gas Gravity, γ_g	۰٫۵۳۱	۲٫۸۹	۱٫۳۵
Solution gas- oil ratio , R_s (SCF/STB)	۷۲	۲۴۹۱	۶۳۰

۲-۲- روش‌های ارزیابی مدل‌ها و روابط تجربی

برای چک کردن عملکرد و دقت مدل مهیا شده و همچنین مقایسه آن با رابطه‌های تجربی آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی به عنوان معیارهای ارزیابی در نظر گرفته شدند.

(۱) آنالیزهای خطای آماری: پارامترهای آماری زیر جهت مقایسه دقت مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله مدل‌ها و روابط تجربی با مقادیر آزمایشگاهی در این مطالعه مورد توجه قرار گرفتند:

۲) درصد خطای نسبی میانگین^۱ (APRE): این پارامتر انحراف نسبی داده پیش‌بینی شده از داده آزمایشگاهی را نشان می‌دهد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$APRE\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \% \quad (2)$$

E_i انحراف نسبی یک مقدار پیش‌بینی شده از یک مقدار آزمایشگاهی می‌باشد و می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$E_i\% = \left(\frac{x_{exp} - x_{pred}}{x_{exp}} \right) \times 100 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

در حالیکه x_{exp} and x_{pred} به ترتیب مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده بوسیله مدل می‌باشند.

۳) درصد خطای نسبی مطلق میانگین^۲ (AAPRE): این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$AAPRE\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i\%| \quad (4)$$

و مشخص‌کننده انحراف نسبی مطلق از داده آزمایشگاهی می‌باشد که هر چه مقدار آن کمتر باشد نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل می‌باشد.

– جذر میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE): این پارامتر توزیع داده در حدود انحراف صفر را محاسبه می‌کند. و معمولاً هر چه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق باشد مقدار آن کمتر است و به صورت زیر بیان می‌شود.

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{iexp} - x_{ipred})^2} \quad (5)$$

– انحراف استاندارد^۴ (SD): این پارامتر مقدار پراکندگی یا تغییرات یک مجموعه از داده‌ها را نشان می‌دهد. هر چه مقدار انحراف کمتر باشد دقت مدل بیشتر می‌باشد و توسط رابطه زیر بیان می‌شود.

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{iexp} - x_{ipred}}{x_{iexp}} \right)^2} \quad (6)$$

– ضریب همبستگی^۵ (R): در حقیقت ضریب رابطه قدرت و شدت همبستگی بین دو متغیر را بیان می‌کند. مقدار این ضریب بین ۱ تا -۱ تغییر می‌کند که مقادیر ۱ و -۱ به ترتیب نشان‌دهنده یک ارتباط مثبت و منفی کامل بین دو متغیر می‌باشد و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر مقدار این ضریب صفر می‌باشد. این پارامتر آماری با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{iexp} - x_{ipred})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{iexp} - \bar{x})^2}} \quad (7)$$

در حالیکه $\bar{x}$ میانگین مقادیر داده‌های آزمایشگاهی بوده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{iexp} \quad (8)$$

– آنالیزهای خطای گرافیکی: روش‌های گرافیکی می‌توانند در تجسم کردن دقت یک مدل کمک کند و معمولاً ۲ روش آنالیز گرافیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

– نمودار پراکندگی^۶: در این روش همه داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های آزمایشگاهی ترسیم می‌شوند و سپس یک خط مستقیم با زاویه ۴۳/۵ درجه بین مقادیر محاسبه شده و آزمایشگاهی کشیده می‌شود که بروی آن داده‌های پیش‌بینی شده با آزمایشگاهی برابر می‌باشند. حال هر چه مقادیر رسم شده به این خط نزدیکتر باشند مدل دارای دقت و عملکرد بهتری می‌باشد.

– نمودار توزیع خطا^۷: به طور کلی در این روش با محاسبه کردن توزیع خطا در اطراف خط خطای صفر می‌توان مشخص کرد که آیا مدل یک روند خطا دارد یا نه.

1- Average percent relative error
2- Average absolute percent relative error
3- Root mean square error
4- Standard Deviation
5- Correlation coefficient
6- Scatter Diagram
7- Error distribution

۳- نتایج و بحث

- پیش بینی نسبت گاز محلول به نفت با استفاده از روابط تجربی

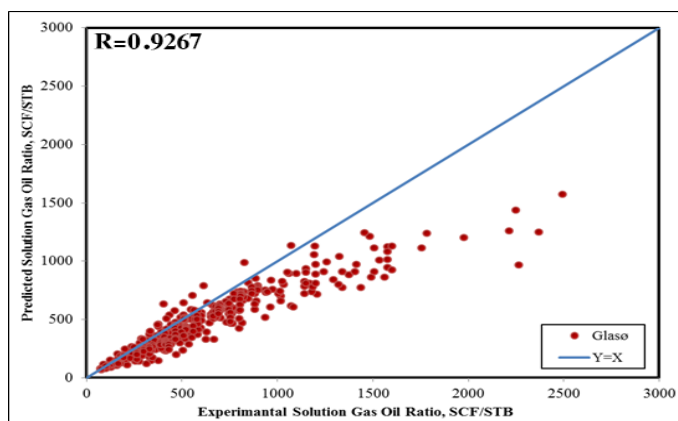
به منظور بررسی قدرت و توانایی روابط تجربی موجود جهت پیش بینی نسبت گاز محلول به نفت برای نمونه های نفت مخازن نفتی خاورمیانه حداقل ۴ رابطه تجربی رابطه تجربی معروف که در جدول (۴-۱) آمده اند، مورد بررسی قرار گرفتند و دقت آنها مقایسه و ارزیابی گردید. جدول (۲) نتایج آماری حاصل از مقایسه روابط تجربی مختلف را نشان می دهد. همچنین شکل های (۲) تا (۱۳) نمودارهای Cross plot و مقایسه نقطه به نقطه را برای روابط تجربی مختلف نشان می دهند.

جدول (۲): آنالیزهای آماری نتایج روابط تجربی پیش بینی کننده برای نسبت گاز محلول به نفت

Correlation	AAPRE (%)	R
Glaser (1980)	۲۴٫۸۳۵۶	۰٫۹۲۶۷
Standing (1981)	۲۱٫۶۵۱۷	۰٫۹۰۵۳
Al-Marhoun (1988)	۳۹٫۱۰۷۶	۰٫۷۱۹۶
Petrosky and Farshad (1993)	۴۷٫۹۲۵۳	۰٫۸۰۶۵
Macary and El-Batanoney (1993)	۴۰٫۸۷۰۲	۰٫۸۷۳۷
Dindoruk and Christman (2004)	۲۶٫۶۷۲۴	۰٫۸۹۵۶

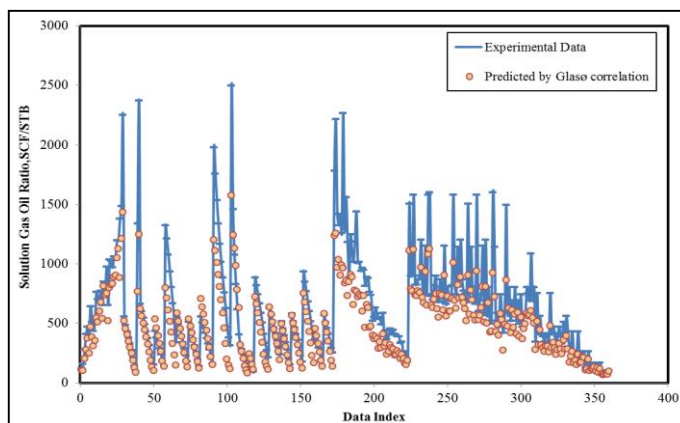
- نمودار توزیع پراکندگی مربوط به رابطه glaso

در نمودار زیر ستون افقی مربوط به داده های آزمایشگاهی بدست آمده از ۳۸۰ داده pvt مورد مطالعه تحقیق و ستون عمودی آن نسبت گاز به نفت بدست آمده از رابطه glaso می باشد. تطابق دو نتیجه بدست آمده بر روی خط با زاویه تقریبی ۴۳/۵ درجه بیانگر تساوی نتایج می باشد و انحراف نقاط از روی این خط نشان دهنده عدم تساوی نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از رابطه glaso می باشد. که در شکل زیر برای نسبت گاز محلول به نفت بالاتر از ۱۵۰۰ (SCF/STB) نتایج خوبی از رابطه مذکور حاصل نمی شود.



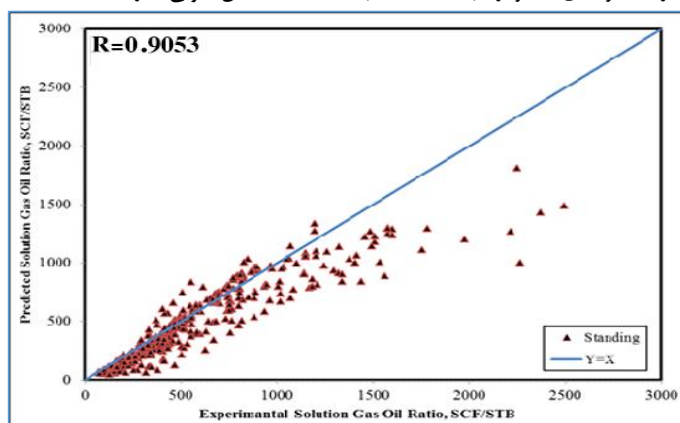
شکل (۲): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت بوسیله رابطه گلاسو

نمودار مقایسه نقطه به نقطه مقادیر آزمایشگاهی داده های مورد مطالعه تحقیق با نتایج بدست آمده از رابطه glaso را نشان می دهد که در مقادیر بالای gor بین دو مقدار مورد مقایسه اصلا تطابقی وجود ندارد.



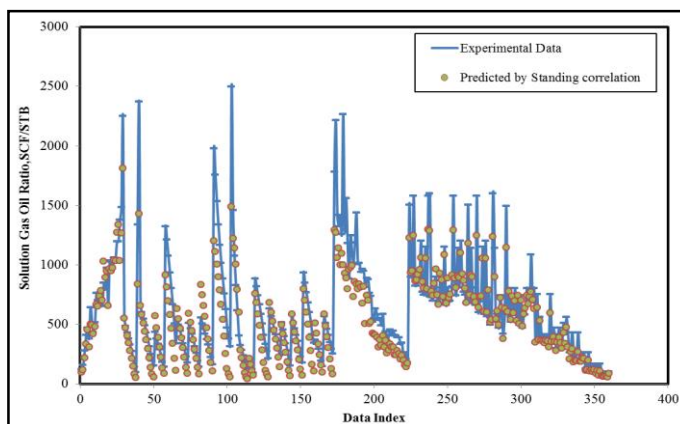
شکل (۳): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده بوسیله رابطه گلاسو در مقابل مقادیر آزمایشگاهی

یکی دیگر از روابط معروف جهت محاسبه gor رابطه standing است که در نمودار توزیع پراکندگی حاصل از مقایسه مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر خروجی از رابطه standing مشاهده می شود نقاط بیان گر تساوی دو مقدار مذکور روی خط نمیساز نمودار قرار نگرفته اند و در مقادیر gor بالاتر از ۱۵۰۰ (SCF/STB) نتیجه قابل قبولی ندارد.



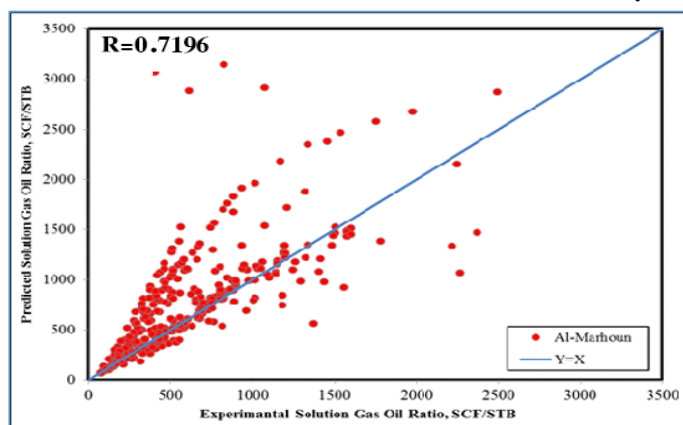
شکل (۴): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت بوسیله رابطه [۲۷]

در شکل (۵) مقایسه نقطه به نقطه بین ۳۸۰ داده آزمایشگاهی مورد مطالعه تحقیق با مقادیر بدست آمده از رابطه standing که در نرم افزار متلب کد نویسی و ترسیم شده است، نمایش داده می شود.



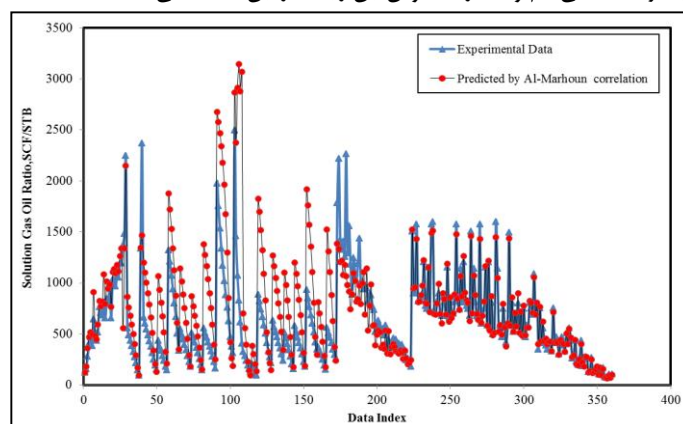
شکل (۵): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده بوسیله رابطه [۲۷] در مقابل مقادیر آزمایشگاهی

رابطه بعدی مربوط به (ال- مرهون) است که برای محاسبه GOR مورد استفاده قرار گرفته و با توجه به نمودار توزیع پراکندگی زیر نتایج آزمایشگاهی را در مقابل مقادیر پیش بینی شده از فرمول قرار دادیم و قابل مشاهده است که مقادیر زیادی از داده ها از خط با زاویه حدود $43/5$ درجه فاصله زیادی دارند و این خود توجهی برای پایین بودن ضریب همبستگی و عدم توانایی مناسب در محاسبه نسبت گاز به نفت دارد.



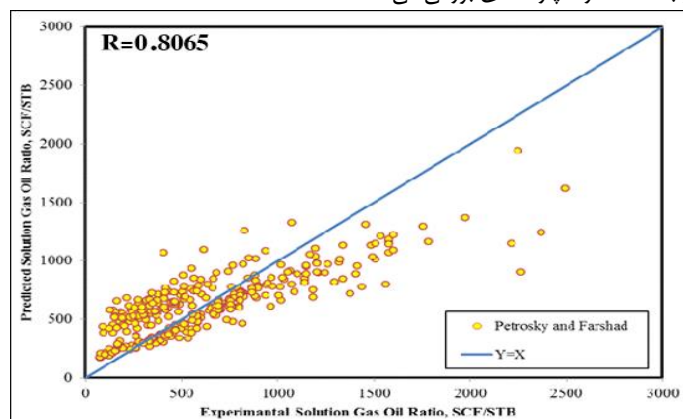
شکل (۶): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت بوسیله رابطه [۲]

در مقایسه نظیر به نظیر مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر حاصل شده از رابطه ال - مرهون تقریباً هیچ دو نقطه داده ایی بر روی هم منطبق نگردیده و بیانگر همبستگی کم و نا کار آمد بودن این رابطه در این مطالعه می باشد.



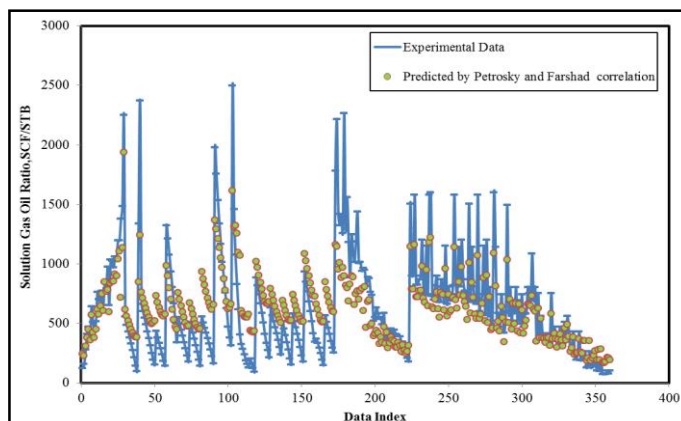
شکل (۷): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده در مقابل مقادیر آزمایشگاهی

از دیگر روابط موجود جهت محاسبه گاز محلول در نفت رابطه پتروسکی و فرشاد است که بعد از پیاده سازی این رابطه به صورت کد در نرم افزار متلب و مقایسه آن در مقابل مقادیر آزمایشگاهی مشاهده می شود که این رابطه نتیجه قابل قبولی نداشته و در پیش بینی نسبت گاز به نفت ما را دچار خطای بزرگی می کند.



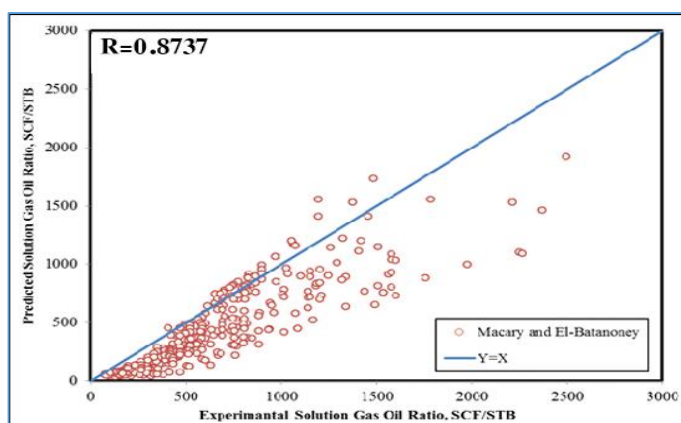
شکل (۸): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت

در مقایسه نقطه به نقطه رابطه پتروسکی و فرشاد نیز عدم تطابق مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر حاصل شده از رابطه کاملاً مشهود است که مسلماً در پیش بینی نسبت گاز به نفت درصد خطای بالایی دارد.



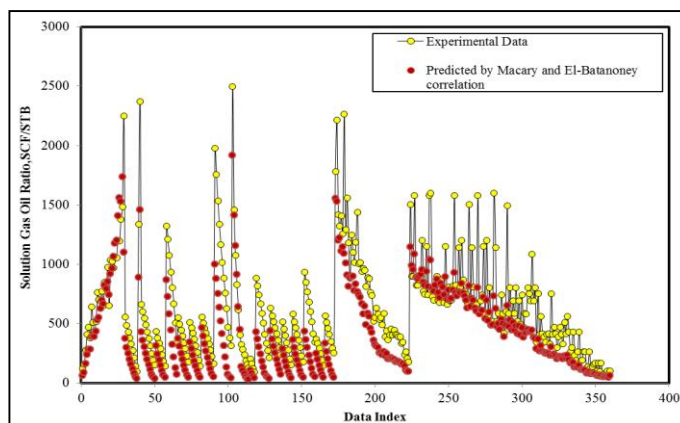
شکل (۹): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده

این بار یکی دیگر از روابط موجود، رابطه ماکاری و آل باتانونی را برای پیش بینی نسبت گاز به نفت انتخاب کرده و مقادیر خروجی این رابطه که برگرفته از نرم افزار متلب می باشد را در مقابل مقادیر pvt بدست آمده در آزمایشگاه قرار دادیم تا میزان اعتبار این رابطه مشخص شود. با توجه قرار نگرفتن نقاط مشترک حاصل از برابری دو نتیجه بدست آمده بر روی خط با زاویه حدود ۴۳/۵ درجه حاکی از قدرت پایین پیش بینی نسبت گاز به نفت در رابطه مذکور می باشد.



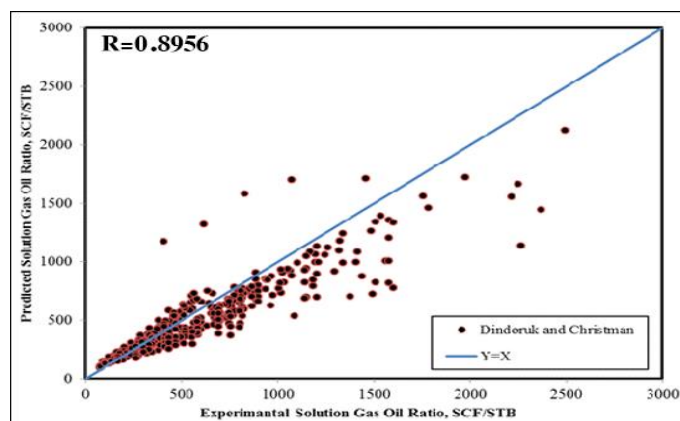
شکل (۱۰): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت

در این شکل از نمودار گرافیکی دیگری برای تشخیص و نمایش توانایی پیش بینی رابطه ماری استفاده کردیم، نمودار زیر که مقایسه نقطه به نقطه مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر حاصل شده از رابطه مذکور را نشان می دهد بیانگر عدم تطابق و همبستگی پایین نتایج است.



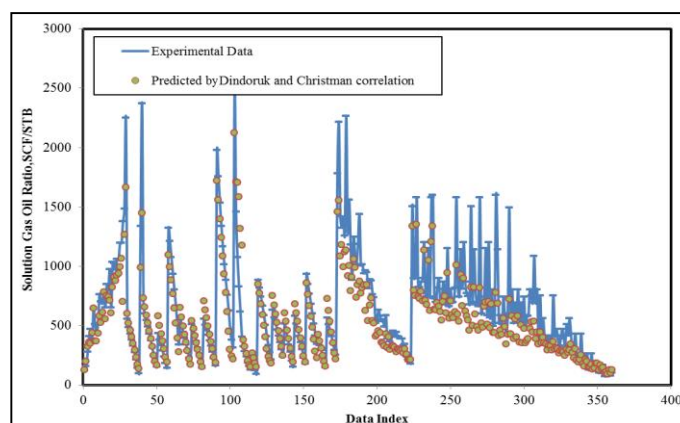
شکل (۱۱): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده

آخرین رابطه تجربی مورد استفاده در تحقیق که باز هم نتیجه ضعیفی در پیش بینی و محاسبه نسبت گاز به نفت در مخازن نفتی خاورمیانه داشت رابطه دیندورک و کریستمن است. هر چند که این رابطه در مقابل روابط پتروسکی، ماکاری، ال مرهون نتیجه بهتری دارد اما همانطور که از نمودار زیر مشخص است همانند سایر روابط در محاسبه مقادیر بالای نسبت گاز به نفت (SCF/STB) ۱۵۰۰ پاسخ خوبی ندارد.



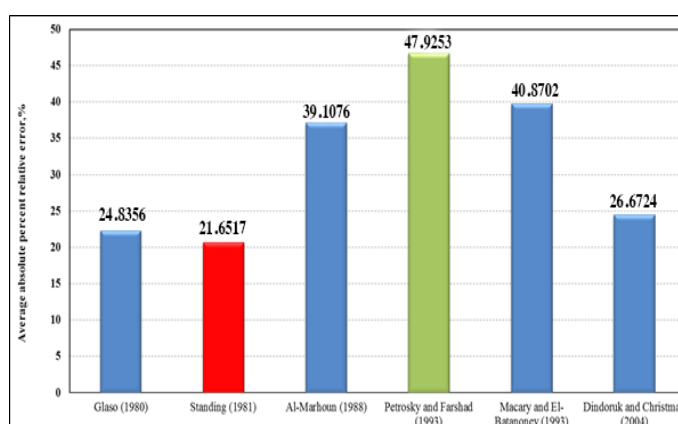
شکل (۱۲): Cross plot برای نسبت گاز محلول به نفت

نمودار مقایسه نقطه به نقطه مقادیر آزمایشگاهی با مقادیر پیش بینی شده از رابطه دیندورک و کریستمن نیز نشان دهنده عدم توانایی مناسب این رابطه برای پیش بینی نسبت گاز به نفت می باشد و در تعداد داده های زیادی شاهد عدم برابری نتایج بدست آمده هستیم.



شکل (۱۳): مقایسه بین مقادیر پیش بینی شده بوسیله

AAPRE یکی از پارامترهای مهم جهت تعیین دقت و قدرت یک رابطه یا مدل می‌باشد که هر چه مقدار این پارامتر کمتر باشد، دقت و قدرت مدل پیش‌بینی کننده بالاتر می‌باشد. مقایسه مقادیر AAPRE برای روابط تجربی موجود نشان می‌دهد که با داشتن AAPRE بالای ۳۷٪ عملکرد ضعیفی جهت پیش‌بینی نسبت گاز محلول به نفت دارد. روابط تجربی مختلف نشان می‌دهند که این روابط برای محاسبه مقادیر بالای RS مناسب نیستند، به عنوان مثال مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله روابط تجربی در مقادیر بالای SCF/STB ۱۵۰۰ انحراف بیشتری از خط ۴۳/۵ درجه دارند که می‌توان نتیجه گرفت این روابط جهت پیش‌بینی دقیق و صحیح در مقادیر بالای RS مناسب نیستند. رابطه تجربی پتروسکی و فرشاد (۱۹۹۳) ضعیف‌ترین رابطه جهت تخمین زدن نسبت گاز محلول به نفت می‌باشد، به طوریکه دارای بیشترین AAPRE می‌باشد، همچنین شکل (۹) نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله این رابطه و مقادیر آزمایشگاهی بسیار زیاد می‌باشد. با دست یافتن به پارامترهای آماری مناسب بهترین عملکرد را برای محاسبه نسبت گاز محلول به نفت ارایه می‌دهند، به دلیل دست یافتن به کمترین AAPRE و بالاترین ضریب همبستگی مناسب ($R=0.9142$) بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت بین روابط تجربی موجود دارد.



شکل (۱۴): AAPRE روابط تجربی برای محاسبه نسبت گاز محلول به نفت

نمودار فوق توصیف کلی گرافیکی آماری درصد خطای نسبی میانگین از روابط معروف موجود جهت درک بهتر توانایی محاسبه نسبت گاز به نفت را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود برتری روابط glaso و standing با کمترین خطا نسبت به بقیه روابط قابل اثبات است و رابطه پتروسکی و فرشاد هم با بالاترین درصد خطا ضعیف‌ترین پیش‌بینی را دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در بین روابط تجربی موجود روابط گلاسو (۱۹۸۰) و استاندینگ (۱۹۸۱) بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت و رابطه پتروسکی و فرشاد (۱۹۹۳) ضعیف‌ترین عملکرد را دارد.

مقایسه مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده برای محاسبه نسبت گاز به نفت نشان می‌دهد، اگرچه مدل LSSVM تطبیقی قوی بین مقادیر پیش‌بینی شده و آزمایشگاهی فراهم می‌کند اما مدل ANN با رسیدن به کمترین AAPRE برابر با ۹٫۳۴۵۶ و RMSE با مقدار ۵۴٫۰۶۷۵ و بالاترین ضریب همبستگی ($R=0.9837$) که نزدیک‌ترین مقدار به یک می‌باشد، بهترین عملکرد را جهت محاسبه نسبت گاز به نفت دارد.

آنالیزهای خطای آماری و گرافیکی نشان می‌دهند که مدل‌های ANN و LSSVM توسعه داده شده نسبت به روابط تجربی موجود معتبرتر می‌باشد و قادر است بر تمام روابط تجربی غلبه کند.

عملکرد و و کارایی مدل‌های ANN و LSSVM مهیا شده به ویژه مدل ANN تأیید می‌کند که این مدل‌ها می‌توانند به عنوان روشی سریع، کم هزینه با قابلیت پیش‌بینی قوی و به عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های آزمایشگاهی جهت محاسبه نسبت گاز محلول به نفت به کار روند.

روابط تجربی برای محاسبه مقادیر بالای نسبت گاز محلول به نفت مناسب نیستند.

- [1] Kriesel, D., A Brief Introduction to Neural Networks. www. Dkriesel . com. Bonn, Germany, 2005.
- [2] Dutta ,S.,Gupta,J.P.,PVT Correlation for Indian Crude using Artificial Neural Networks,Journal of Petroleum Science and Engineering , 2010,V.72,P93-109.
- [3] Elsharkawy, A.M., ,(1998), Modeling the properties of crude oil and gas systems using RBF network. In SPE Asia Pacific oil and gas conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers, 12-14 October, Perth, Australia
- [4] Ahmed, T., (2006). Reservoir engineering handbook. Gulf Professional Publishing.
- [5] Al-Marhoun, M.A., (1988). PVT correlations for Middle East crude oils. Journal of Petroleum Technology, 40(05), pp.650-666.
- [6] Asadisaghandi, J. and Tahmasebi, P., (2011). Comparative evaluation of back-propagation neural network learning algorithms and empirical correlations for prediction of oil PVT properties in Iran oilfields. Journal of Petroleum Science and Engineering, 78(2), pp.464-475.
- [7] Dokla, M. and Osman, M., (1992). Correlation of PVT Properties for UAE Crudes (includes associated papers 26135 and 26316). SPE Formation Evaluation, 7(01), pp.41-46.
- [8] Elsharkawy, A.M., (1998), Modeling the properties of crude oil and gas systems using RBF network. In SPE Asia Pacific oil and gas conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers, 12-14 October, Perth, Australia
- [9] Farshad, F., LeBlanc, J.L., Garber, J.D. and Osorio, J.G., (1996), January. Empirical PVT correlations for Colombian crude oils. In SPE Latin America/Caribbean petroleum engineering conference. Society of Petroleum Engineers.
- [10] Fath, A.H., Pouranfard, A. and Foroughizadeh, P., (2018). Development of an artificial neural network model for prediction of bubble point pressure of crude oils. Petroleum.

