

ارزیابی عملکرد روابط تجربی برای تخمین خصوصیات مخازن گاز میعانی جنوب ایران

فاطمه کیوانی^۱، محمدجواد امانی^۱، عظیم کلاتری اصل^{۱*}، حسین وحدانی^۲
۱- ایران، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، بخش مهندسی نفت،
کد پستی: ۷۱۹۳۶۱۶۵۱۱
۲- ایران، شیراز، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی، کد پستی: ۷۱۳۵۷۱۳۱۱۳
* نویسنده مسئول، ایمیل:
kalantari@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۱

چکیده:

رفتار فازی، اندازه‌گیری خصوصیات سیال و مدل‌سازی مخازن گاز میعانی، با پیچیدگی‌هایی روبه‌رو است. بنابراین بسیاری از محققین، روابط تجربی‌ای ارائه دادند که با استفاده از داده‌های میدانی همچون نسبت گاز به میعانات تولیدی یا داده‌های آزمایشگاهی مانند ترکیب درصد اجزا، می‌توان خصوصیات PVT این مخازن را تخمین زد. در این تحقیق، تعدادی از روابط تجربی معتبر برای تخمین خصوصیات سیال گاز میعانی انتخاب شده است. داده‌های آزمایشگاهی از ۳۰ نمونه سیال گاز میعانی سبک تهیه‌شده از ۹ میدان گاز میعانی جنوب ایران جمع‌آوری شده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از تخمین خصوصیات با استفاده از روابط تجربی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند و دقت روابط تجربی با توجه به میزان خطا ارزیابی شده است.

در این مقاله، محدوده مورد استفاده برای ارزیابی روابط تجربی عبارت‌اند از: دمای مخزن از ۱۵۹ تا ۲۳۵ درجه فارنهایت، جرم مولکولی گاز از ۱۷/۴ gr/grmole تا ۲۱/۱۳ gr/grmole، فشار شبنم از ۳۱۰۰ psia تا ۵۱۷۰ psia و ضریب انحراف گاز در فشار شبنم از ۰/۸۴ تا ۱/۰۵۹، حداکثر میعانات تولیدی ۰/۰۹ تا ۲/۹۱ درصد و نسبت گاز به میعانات تولیدی از ۳۳۴۸۷/۸۶ SCF/STB تا ۶۱۷۷۲۱ SCF/STB است.

کمیت‌های مورد بررسی با استفاده از روابط تجربی عبارت‌اند از: درصد مولی C_p ، جرم مولکولی گاز، حداکثر درصد میعانات تولیدی، نسبت گاز به میعانات تولیدی، فشار شبنم و ضریب انحراف گاز در فشار شبنم.

به‌طور کلی روابط مربوط به محاسبه حداکثر میعانات تولیدی و روابط مربوط به محاسبه فشار شبنم به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار خطا را دارند. در مواردی که نسبت گاز به میعانات تولیدی زیاد است، روابط تجربی برای تخمین درصد مولی C_p مناسب نیستند. استفاده از روابط تجربی برای تخمین ضریب انحراف گاز در فشار شبنم پیشنهاد نمی‌شود.

کلمات کلیدی: مخازن گاز میعانی، روابط تجربی، داده‌های TVP آزمایشگاهی، صحت‌سنجی

۱- مقدمه

مدل‌ها و روابطی را یافت که بر اساس خصوصیات دسترس و قابل اندازه‌گیری از مخزن و سیال آن، اطلاعات مورد نیاز را در اختیار ما قرار دهند، با چنین مشکلاتی مواجه نخواهیم شد.

برخلاف برخی خصوصیات مخزن و سیال آن همچون میزان C_p یا ضریب انحراف گاز که چندان در دسترس نیستند، خصوصیات همچون فشار و دمای مخزن یا نسبت گاز به

در طول عمر یک مخزن، رفتار مخزن و سیال آن همواره در حال تغییر بوده و پیش‌بینی این رفتار جهت صیانت از مخزن و بهینه‌سازی تولید حائز اهمیت است. اما نمونه‌گیری از سیال مخزن همیشه آسان و یا امکان‌پذیر نیست و حتی در مواردی که نمونه مناسبی تهیه شده است، انجام برخی آزمایش‌ها به دقت، زمان و هزینه زیادی نیاز دارد. بنابراین چنانچه بتوان





ارائه شده در مقالات و تحقیقات پیشین، صحت سنجی و بررسی محدودۀ کاربردی و مزایا و معایب آن‌ها ضروری است. هدف اصلی از این تحقیق ارزیابی دقت روابط کاربردی برای مخازن گاز میعانی جنوب ایران است.

۲- روابط تجربی

مجموعۀ روابط تجربی گسترده‌ای برای مخازن گاز میعانی ارائه شده است. از این میان تنها به بررسی هشت رابطه که کاربرد بیشتری دارند، می‌پردازیم. با توجه به متعدد بودن نشانه‌های به کاررفته در روابط تجربی، توضیح نشانه‌ها در بخش فهرست علائم آمده است.

۱-۲ Kennedy و Nemeth (۱۹۶۷) [۵]

از این رابطه برای تخمین فشار شبنم به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\ln(P_d) = A_1(X_{CV} + X_{CO_2} + X_{H_2S} + X_{C_1} + 2(X_{C_2} + X_{C_3}) + X_{C_4} + 0.4X_{N_2} + 0.2X_{N_2}) + A_2\gamma_{CV+} + A_3\left(\frac{X_{C_1}}{X_{CV+} + 0.002}\right) + A_4T + A_5(X_{CV+}MW_{CV+}) + A_6(X_{CV+}MW_{CV+})^2 + A_7(X_{CV+}MW_{CV+})^3 + A_8\left(\frac{MW_{CV+}}{\gamma_{CV+} + 0.0001}\right) + A_9\left(\frac{MW_{CV+}}{\gamma_{CV+} + 0.0001}\right)^2 + A_{10}\left(\frac{MW_{CV+}}{\gamma_{CV+} + 0.0001}\right)^3 + A_{11}$$

(۱)

$$A_1 = -2.0623054$$

$$A_2 = -4.4670559 \times 10^{-2}$$

$$A_3 = 3.2673714 \times 10^{-2}$$

$$A_4 = 7.4299951 \times 10^{-5}$$

$$A_5 = 6.2476497 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 6.6259728$$

$$A_7 = 1.0448346 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -3.6453277 \times 10^{-2}$$

$$A_9 = -1.1381195 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = -1.0716866 \times 10^{-6}$$

$$A_{11} = 1.0746622 \times 10$$

میعانات تولیدی به راحتی قابل اندازه گیری می‌باشند. هدف اصلی از ایجاد روابط تجربی مرتبط کردن خصوصیات ضروری دور از دسترس با خصوصیات قابل اندازه گیری است. نکته قابل توجه آن است که روابط تجربی به طور عمده بر اساس تعدادی از داده‌های میدانی واقعی به دست می‌آیند. واضح است که داده‌های میدانی در گسترۀ محدودی قرار گرفته‌اند. این عامل موجب می‌شود که روابط تجربی حاصل، همواره پاسخ درستی نداشته باشند. بنابراین اولین قدم در استفاده از روابط تجربی به طور گسترده، صحت سنجی و ارزیابی پاسخ‌هایی است که از این روابط به دست می‌آیند.

Al_Marhoun و Al_Dhamen [۱] سه مدل برای محاسبۀ فشار شبنم ارائه دادند. این مدل‌ها بر اساس پارامترهای در دسترس از مخازن گاز میعانی (دمای مخزن، وزن مخصوص گاز، وزن مخصوص میعانات و نسبت گاز به نفت تولیدی) ارائه شد. برای توسعه این مدل‌ها از ۱۱۳ مجموعه داده حاصل از آزمایش انبساط جرم ثابت به میداین خاورمیانه استفاده شد. در این میداین محدودۀ دمای مخزن ۱۰۰ تا ۳۰۹ درجۀ فارنهایت، نسبت گاز به نفت SCF/STB ۳۳۲۱ تا ۱۰۳۵۳۶ و وزن مخصوص گاز از ۰/۶۴ تا ۰/۸۲ و وزن مخصوص میعانات از ۰/۷۳ تا ۰/۸۱ گزارش شده است.

Peredes و همکارانش [۲] با استفاده از داده‌های مربوط به ۷۱ نمونه سیال گاز میعانی دو رابطه تجربی برای تخمین حداکثر میعانات تولیدی ارائه دادند. در این روابط از جرم مولکولی سیال و نسبت گاز به میعانات برای تخمین حداکثر میعانات تولیدی استفاده شده است.

عربلو و همکارانش [۳] با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان مدلی برای تخمین فشار شبنم در مخازن گاز میعانی ارائه دادند و نتایج حاصل از مدل خود را با سه رابطه تجربی Nemeth and Kennedy و Shokir, Elsharkawy مقایسه کردند. این مدل که بر اساس ۵۶۲ نمونه مختلف آزمایشگاهی از سیالات گاز میعانی توسعه داده شده است، به خوبی می‌تواند تغییرات فشار شبنم را با دما پیش‌بینی کند. Dandekar [۴] چهار مجموعه از روابط تجربی را برای تخمین خصوصیات مخازن گاز میعانی شامل درصد مولی C_{v+} ، نسبت گاز به میعانات تولیدی، فشار شبنم، جرم مولکولی گاز و حداکثر میعانات تولیدی برای ۸۱ نمونه سیال بررسی کرد.

به دلیل عدم تطبیق برخی نتایج آزمایشگاهی با روابط تجربی

(۵)

Elsharkawy برای محاسبه فشار شبنم رابطه (۱) را اصلاح کرد:

$$B_1 = 201.870481 \left(X_{CV+} \left(\left(\left(\left(T \left(\left(\left(X_{C^r} - (X_{H^rS} - X_{CO^r}) - (X_{C^1} - (X_{CO^r} - X_{C^2})) - X_{C^r} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \right) \right) \\ - \left(X_{C^2} \left(\left((X_{CO^r} - X_{C^2}) - (MW_{CV+} - X_{N^r}) - (MW_{CV+}^r X_{C^0}) \right) \right) - X_{CV+} \right) \\ - \left(X_{H^rS} - \left(X_{N^r} \left(T \left(X_{C^1} - X_{CV+} \right) \right) \right) - (MW_{CV+} - (X_{C^r} - X_{H^rS})) \right) \right) \\ + 28456.87953 X_{C^0}$$

$$P_d = A_0 + A_1 T + A_2 X_{H^rS} + A_3 X_{CO^r} + A_4 X_{N^r} + A_5 X_{C^1} + A_6 X_{C^r} + A_7 X_{C^r} + A_8 X_{C^2} + A_9 X_{C^0} + A_{10} X_{C^1} + A_{11} X_{CV+} + A_{12} MW_{CV+} + A_{13} Y_{CV+} + A_{14} X_{CV+} + A_{15} MW_{CV+} + A_{16} \left(\frac{MW_{CV+}}{Y_{CV+}} \right) + A_{17} \left(\frac{X_{CV+} + MW_{CV+}}{Y_{CV+}} \right) + A_{18} \left(\frac{X_{CV+}}{X_{C^1} + X_{C^r}} \right) + A_{19} \left(\frac{X_{CV+}}{X_{C^1} + X_{C^r} + X_{C^0} + X_{C^2}} \right)$$

(۲)

$A_0 = 4268.85$	$A_1 = 0.94056$
$A_2 = -7157.87$	$A_3 = -4540.58$
$A_4 = -4663.55$	$A_5 = -1357.56$
$A_6 = -7776.10$	$A_7 = -9967.99$
$A_8 = -4257.10$	$A_9 = -1417.1$
$A_{10} = 691.5298$	$A_{11} = 40660.36$
$A_{12} = 205.26$	$A_{13} = -7260.32$
$A_{14} = -352.413$	$A_{15} = -114.519$
$A_{16} = 8.133$	$A_{17} = 94.916$
$A_{18} = 238.252$	

(۶)

$$B_2 = 0.0000007 \left(\left(\left(\left(T \left(\left(\left((X_{CO^r} - MW_{CV+}) - X_{CV+} \right) \left((T - MW_{CV+}) - (X_{CO^r} - T) \right) - (X_{H^rS} - T_r) \right) \left((MW_{CV+} - X_{C^r}) MW_{CV+} \right) \right) \right) \right) \right) X_{N^r} \right) \\ + 22000.9399 X_{C^1}$$

(۷)

$$B_3 = 120086.9719 \left(X_{C^1} \left(\left(\left(\left((X_{H^rS} X_{C^r}) - (X_{C^0} - X_{CV+}) \right) X_{H^rS} \right) - \left((X_{CV+} - X_{C^1}) \left(X_{CV+} - X_{C^1} \right) - (X_{H^rS} X_{N^r}) \right) \right) \right) \right) \\ + 72.6908 MW_{CV+}$$

Ovalle و همکاران (۲۰۰۷) [۷]

Ovalle و همکارانش رابطه‌ای برای تخمین درصد مولی C_{v+} بر اساس میزان GCR ارائه دادند که GCR بر حسب SCF/STB است:

(۳)

$$C_{7+} \text{ mole\%} = (GCR/64137.6)^{-0.86391}$$

Shokir (۲۰۰۸) [۸]

Shokir رابطه‌ای برای تخمین P_d ارائه داد:

(۴)

$$P_d = B_1 + B_2 + B_3 + B_4$$

(۱۵)

$$T(\gamma(\text{cond.})) = s_1 \gamma(\text{cond.})^3 + s_2 \gamma(\text{cond.})^2 + s_3 \gamma(\text{cond.}) + s_4$$

$c_1 = 49.1377$	$c_7 = -336.5699$
$c_2 = 770.0995$	$c_8 = -580.0322$
$p_1 = -0.35014 * 10^{-6}$	$p_7 = 0.18048 * 10^{-3}$
$p_2 = -0.32315 * 10^{-1}$	$p_8 = 1.2058$
$r_1 = -0.3990$	$r_7 = 5.1377$
$q_1 = -23.8741$	$q_7 = 36.9448$
$s_1 = 30.12078$	$s_7 = 69559$
$s_2 = -53484.21$	$s_8 = 13689.39$

(۸)

$$B_{\xi} = -19622.40851 (X_{C\phi} (MW_{CV+} - X_{C1}^T)) - 203385.6776 \left((X_{CV+} ((X_{CO2} X_{Cr} - (X_{C\phi} - X_{CV+}))) (X_{CO2} (X_{Cr} (X_{Cr} - MW_{CV+}))) \right) - 13308.09271 X_{C\phi} + 4676.933602 X_{Cr} - 6067.9$$

۵-۲ Al_Marhoun و Al_Dhamen (۲۰۱۱) [۱] فشار شبنم ارائه کردند: Marhoun_Al و Al_Dhamen روابطی برای محاسبه

۶-۲ Peredes و همکاران (۲۰۱۲) [۲]

Peredes و همکارانش دو رابطه برای تخمین حداکثر درصد میعانات تولیدی برحسب جرم مولکولی گاز و نسبت گاز به میعانات تولیدی ارائه کردند:

$$MRC = A + B(MWg) + C(GCR) \quad (16)$$

$$A = -32.34 \quad B = 1.541 \quad C = 0.001045$$

(۱۶)

$$\ln(P_d) = a_1 + a_2 \ln \left[\frac{GCR \times \gamma_g}{\gamma_{v+}} \right] + a_3 \ln(T_r) + a_4 \gamma_g + \frac{a_5}{\gamma_{cond.}} + a_6 e^{a_7 + a_8 \ln(GCR)}$$

$a_1 = 18.6012$	$a_7 = -0.1520$
$a_2 = -0.1674$	$a_8 = 0.0685$
$a_3 = -5.8982$	$a_9 = -0.0559$
$a_4 = 8.4960$	$a_{10} = -0.7466$

(۱۷)

$$MRC = A + B(GCR) + C(MWg) + D(GCR^2) + E(GCR \times MWg) + F(MWg^2)$$

$$A = -59.5 \quad B = 0.1278 \quad C = 3.232$$

$$D = -0.0000002124 \quad E = -0.0005257 \quad F = -0.02092$$

(۱۰)

Peredes استفاده از رابطه (۱۶) را به دلیل سادگی و وجود پارامترهای کمتر توصیه می‌کند.

$$P_d = e^{(c1T(Pd)^3 + c2T(Pd)^2 + c3T(Pd) + c4)}$$

$$T(Pd) = \ln[T(TR) + T(GCR) + T(\gamma_g) + T(\gamma_{cond}) + 1] \quad (11)$$

۷-۲ Dindoruk (۲۰۱۲) [۹]

این رابطه نسبت میعانات به گاز تولیدی را با واحد STB/MMSCF با یک معادله درجه چهار به جرم مولکولی گاز مرتبط می‌کند ($GCR = 10^6 / CGR$, SCF/STB).

$$T(TR) = p_1 T^3 + p_2 T^2 + p_3 T + p_4 \quad (12)$$

$$T(GCR) = r_1 \ln(GCR) + r_2 \quad (13)$$

$$T(\gamma_g) = q_1 \gamma_g^2 + q_2 \gamma_g + q_3 \quad (14)$$

(۱۸)

$$CGR = 7.5537 \times 10^{-5} MWg^4 - 9.5072 \times 10^{-3} MWg^3 + 4.9304 \times 10^{-1} MWg^2 - 2.5463 MWg - 60 \quad (19)$$

(۱۹)





Peredes - ۸-۲ (۲۰۱۴) [۱۰]

هر کمیت از گزارش‌های PVT استخراج شده و رابطه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۳- جمع‌آوری داده‌های میدانی

داده‌های استفاده شده برای ارزیابی روابط تجربی فوق از گزارش‌های PVT مربوط به میداین A، B، C، D، E، F، G، H و I استخراج شده است. نمونه سیال گرفته شده از چاه‌های مختلف در سال‌های متفاوت و از سازندهای گوناگون بوده است. جدول (۱) خلاصه اطلاعات مربوط به تمام چاه‌ها است (برای اشاره به چاه‌ها از شماره ردیف موجود در جدول (۱) استفاده می‌کنیم).

در چاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹ و ۱۰ اطلاعات مربوط به وزن مخصوص C_{7+} موجود نیست. اما درصد مولی هریک از اجزای C_{7+} و سنگین‌تر از آن و نیز چگالی هر جزء در گزارش‌های PVT ارائه شده است. در مورد این چاه‌ها ابتدا درصد مولی هریک از اجزای C_{7+} و سنگین‌تر از آن نرمالایز شده و سپس با استفاده از رابطه زیر وزن مخصوص C_{7+} محاسبه شده است:

$$\gamma(C_{7+}) = \sum \gamma_i X_i \quad (24)$$

برای محاسبه جرم مولکولی C_{7+} در چاه‌های ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ از روشی مشابه روش بالا استفاده شده است. مقدار وزن مخصوص C_{7+} در چاه‌های ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ مشخص نیست. اما همه این چاه‌ها در میدان D واقع شده و مقدار این کمیت برای چاه‌های ۸، ۹ و ۱۰ از این میدان برابر ۰/۷۵ محاسبه شده است. بنابراین از همین مقدار برای سایر چاه‌های میدان D استفاده شده است.

برای چاه‌های ۶ و ۷ نسبت گاز به نفت تولیدی بسیار بالا بوده و تعیین فشار شبنم، ضریب تراکم‌پذیری گاز در فشار شبنم و نیز حداکثر درصد میعانات تولیدی امکان‌پذیر نبوده است. نقص اطلاعات در مورد نسبت گاز به میعانات تولیدی در نمونه‌های ۱۷ تا ۲۴ و برخی از اطلاعات نمونه ۳۰ نیز دیده می‌شود. بنابراین به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی، در برخی موارد محاسبه خطا برای تعیین برخی خواص سیال در این چاه‌ها ممکن نیست.

جدول ۲ حداقل، حداکثر و میانگین داده‌های استفاده شده در روابط تجربی را نشان می‌دهد.

Peredes مجموعه روابط زیر را برای تخمین خصوصیات مختلف مانند درصد مولی C_{7+} ، جرم مولکولی گاز، حداکثر درصد میعانات تولیدی، ضریب انحراف گاز در فشار شبنم و فشار شبنم ارائه داد:

$$C_{7+} \text{ mole\%} = 2258.31297446475 \times \text{GCR}^{(-0.816117090683706)} \quad (19)$$

$$\text{MWg} = 687.1830018707650 \times \text{GCR}^{(-0.42937078961255)} \quad (20)$$

$$\text{MRC\%} = 2.921696607928510 \times C(7+) \text{ mole\%} - 2.64046698519896 \quad (21)$$

$$\begin{aligned} e^{\wedge Z} = & [-89.543548 \\ & + (34.620795 \times \ln(\text{MWg})) \\ & + (29.186098 \times \ln(C_{7+} \text{ mole\%})) \\ & + (-16.777186 \times \ln(\text{MWg}) \\ & \times \ln(C_{7+} \text{ mole\%})) \\ & + (7.2393271 \times \ln(\text{MWg}) \\ & \times \ln(C_{7+} \text{ mole\%})) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \ln(\text{Pd}) = & -0.27522065593 \times (e^{\wedge Z})^2 \\ & + 2.121956466266 \times e^{\wedge Z} \\ & + 2.129009818 \end{aligned} \quad (23)$$

در روابط (۱۹) و (۲۰) درصد مولی C_{7+} و جرم مولکولی گاز بر اساس نسبت گاز به میعانات تولیدی به دست می‌آید. در روابط (۱۹) و (۲۰) نسبت گاز به میعانات تولیدی برحسب m^3/m^3 است ($1 \text{m}^3/\text{m}^3 = 5.615 \text{SCF/STB}$). در رابطه (۲۱) حداکثر درصد میعانات تولیدی به عنوان تابعی از درصد مولی C_{7+} بیان می‌شود. رابطه (۲۲) ضریب تراکم‌پذیری گاز در فشار شبنم را برحسب درصد مولی C_{7+} و جرم مولکولی گاز محاسبه می‌کند. در نهایت در رابطه (۲۳) فشار شبنم بر اساس $\text{kg/cm}^2 = 14.2233 \text{psia}$ با استفاده از ضریب تراکم‌پذیری گاز حاصل می‌شود.

در این مقاله، روابط (۱۹) تا (۲۳) هم به صورت پیوسته و هم به صورت مستقل مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. برای مثال به صورت پیوسته، از درصد مولی C_{7+} محاسبه شده در رابطه (۱۹) برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی در رابطه (۲۱) استفاده شده است. در حالت مستقل، مقادیر واقعی



ردیف	چاه	سازند	تاریخ نمونه‌گیری	تاریخ گزارش
۱	A 3	d	مرداد ۸۷	شهریور ۸۸
۲	A 6	bd	مرداد ۸۸	شهریور ۸۸
۳	A 10	ud	مرداد ۸۷	شهریور ۸۸
۴	B 8	k	مرداد ۸۷	شهریور ۸۸
۵	B 9	ud	مرداد ۸۷	شهریور ۸۸
۶	C 10	ud	اردیبهشت ۸۸	خرداد ۸۹
۷	C 22	bd	اردیبهشت ۸۹	تیر ۸۹
۸	D 4	j	خرداد ۸۷	مرداد ۸۷
۹	D 7	g	خرداد ۸۷	شهریور ۸۷
۱۰	D 14	r	خرداد ۸۷	شهریور ۸۷
۱۱	D 14	r	آذر ۸۴	خرداد ۸۶
۱۲	D 2	gp	فروردین ۵۶	آبان ۸۶
۱۳	D 3	j	آذر ۵۶	آبان ۸۶
۱۴	D 4	j	خرداد ۸۷	اسفند ۸۷
۱۵	D 7	gp	خرداد ۸۷	اسفند ۸۷
۱۶	D 14	r	خرداد ۸۷	اردیبهشت ۸۸
۱۷	E 9	۳k و ۴k	مهر ۸۰	شهریور ۸۱
۱۸	E 9	۳k و ۴k	مهر ۸۰	شهریور ۸۱
۱۹	E 9	۳k و ۴k	مهر ۸۰	شهریور ۸۱
۲۰	E 9	۳k و ۴k	مهر ۸۰	شهریور ۸۱
۲۱	E 9	۳k و ۲k	آبان ۸۰	شهریور ۸۱
۲۲	E 9	۳k و ۲k	آبان ۸۰	شهریور ۸۱
۲۳	E 9	۳k و ۲k	آبان ۸۰	شهریور ۸۱
۲۴	E 9	۳k و ۲k	آبان ۸۰	شهریور ۸۱
۲۵	F 17	k و ud	آبان ۸۳	مرداد ۸۴
۲۶	F 21	n و k.ud	آبان ۸۳	شهریور ۸۴
۲۷	G 13	d	اسفند ۸۲	خرداد ۸۴
۲۸	H 1	ud	*	*
۲۹	I 1	*	*	*
۳۰	I 2	*	*	*

جدول ۱- خلاصه اطلاعات مربوط به نمونه‌های تهیه‌شده از هر چاه



میانگین	حداکثر	حداقل	خصوصیت
۰/۰۰۰۳۱۷	۰/۰۰۲۴	۰	جزء مولی H _۲ S
۰/۰۱۱۴۳۵	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱۳	جزء مولی CO _۲
۰/۰۴۸۷۶۷	۰/۰۹۷۱	۰/۰۱۹۵	جزء مولی N _۲
۰/۸۵۷۲۱۵	۰/۸۸۸۹	۰/۸۲۷۸	جزء مولی C _۱
۰/۰۳۷۶۱۱	۰/۰۶۴۳	۰/۰۱۳۴	جزء مولی C _۲
۰/۰۱۳۵۷۵	۰/۰۲۷۲	۰/۰۰۳۵	جزء مولی C _۳
۰/۰۰۸۷۶۶	۰/۰۲۰۶	۰/۰۰۲۹	جزء مولی C _۴
۰/۰۰۴۷۶۹	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۱۹	جزء مولی C _۵
۰/۰۰۳۷۱	۰/۰۰۶۱	۰	جزء مولی C _۶
۰/۰۱۳۸۰۳	۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۴۸	جزء مولی C _{۷+}
۱۲۳/۹۰۰۳	۱۵۶/۴	۱۰۳/۷۲۷۸	جرم مولکولی C _{۷+}
۰/۷۵۷۶۰۳	۰/۷۸۱۸	۰/۷	وزن مخصوص C _{۷+}
۱۲۳۸۹۹/۷۸۷۶	۶۱۷۷۲۱	۳۳۴۸۷/۸۶	نسبت گاز به میعانات (SCF/STB)
۱/۲۴۹۶۷۹	۲/۹۱	۰/۰۹	حداکثر میعانات تولیدی (%)
۲۰۶/۲۶۶۷	۲۳۵	۱۵۹	دمای مخزن (°F)
۱۹/۴۷۹۰۷۱۵۲	۲۱/۱۳	۱۷/۴	جرم مولکولی گاز
۴۰۷۲/۷۷۵	۵۱۷۰	۳۱۰۰	فشار شبنم (psia)
۰/۹۶۰۴۴۸۱۴۸	۱/۰۵۹	۰/۸۴	ضریب انحراف گاز در فشار شبنم

جدول ۲- حداقل، حداکثر و میانگین مقادیر استفاده شده در روابط تجربی

۴- نتایج و بحث

۴-۱- درصد مولی C_{v_+} ، روابط (۳) و (۱۹)

با جایگذاری نسبت گاز به میعانات تولیدی در روابط (۳) و (۱۹)، درصد مولی C_{v_+} محاسبه شده در اکثر موارد کمتر از مقدار واقعی است. محاسبه این مقدار به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی در چاه‌های ۱۷ تا ۲۴ و ۳۰ ممکن نیست. به جز چاه‌های ۶ و ۷ در سایر موارد درصد خطا نسبتاً اندک است و به طور کلی رابطه (۱۹) پاسخ‌های دقیق‌تری دارد (شکل‌های ۱ و ۲).

۴-۲- جرم مولکولی گاز، رابطه (۲۰)

با جایگذاری نسبت گاز به میعانات تولیدی در رابطه (۲۰) و محاسبه جرم مولکولی گاز، در تمام موارد مقدار محاسبه شده کمتر از مقدار واقعی است. درصد خطا در اکثر موارد بالاست و در چاه‌های ۶ و ۷ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. ارزیابی این رابطه در چاه‌های ۱۷ تا ۲۴ و ۳۰ امکان‌پذیر نیست (شکل ۳).

۴-۳- حداکثر درصد میعانات تولیدی، روابط (۱۶)، (۱۷) و (۲۱)

استفاده از روابط (۱۶) و (۱۷) برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی، در اکثر موارد باعث ایجاد پاسخ‌های منفی می‌شود که قابل قبول نیست. در سایر موارد درصد خطا بسیار بالاست (شکل‌های ۴ و ۵).

اگر از مقادیر درصد مولی C_{v_+} محاسبه شده در رابطه (۱۹) برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی در رابطه (۲۱) استفاده شود، در اکثر موارد پاسخ‌ها منفی است که قابل قبول نیست. در سایر موارد درصد خطا بسیار پراکنده است. ارزیابی این رابطه به صورت پیوسته در چاه‌های ۱۷ تا ۲۴ و ۳۰ ممکن نیست (شکل ۶).

چنانچه از مقدار واقعی درصد مولی C_{v_+} در رابطه (۲۱) استفاده کنیم، درصد خطا قابل توجه است (شکل ۷).

در چاه‌های ۶ و ۷ به دلیل عدم وجود مقادیر واقعی قادر به محاسبه خطا نیستیم.

۴-۴- نسبت گاز به میعانات تولیدی، رابطه (۱۸)

با جایگذاری جرم مولکولی گاز در رابطه (۱۸) و محاسبه نسبت گاز به میعانات تولیدی، به جز در مورد چاه‌های ۶ و ۷ در سایر موارد درصد خطا نسبتاً قابل قبول است (شکل ۸). با داشتن نسبت گاز به میعانات تولیدی، ارزیابی این رابطه به صورت معکوس نیز ممکن است. با جایگذاری نسبت گاز به میعانات تولیدی و حل معادله درجه چهار حاصل، در همه موارد به چهار ریشه برای معادله می‌رسیم. از این چهار ریشه، دو ریشه مختلط و یک ریشه عدد حقیقی منفی است و تنها یک پاسخ به صورت عدد حقیقی مثبت برای جرم مولکولی گاز قابل قبول است. این جواب با درصد خطای ناچیز جرم مولکولی گاز را محاسبه می‌کند (شکل ۹).

۴-۵- ضریب انحراف گاز در فشار شبنم، رابطه (۲۲)

با جایگذاری درصد مولی C_{v_+} و جرم مولکولی گاز از روابط (۱۹) و (۲۰) در رابطه (۲۲) در برخی موارد e^Z منفی محاسبه می‌شود که غیرقابل قبول است. در سایر موارد درصد خطای محاسبه Z با این رابطه بسیار بالاست. ارزیابی این رابطه به صورت پیوسته در مورد چاه‌های ۱۷ تا ۲۴ و ۳۰ ممکن نیست (شکل ۱۰).

با جایگذاری درصد مولی C_{v_+} و جرم مولکولی گاز واقعی در رابطه (۲۲)، درصد خطا بسیار بالاست. در چاه‌های ۶ و ۷ قادر به محاسبه خطا نیستیم (شکل ۱۱).

به دلیل اهمیت ضریب انحراف گاز در فشار شبنم و خطای بالای تخمین این کمیت با رابطه مذکور، از رابطه زیر [۱۱] به صورت سعی و خطا برای محاسبه این کمیت استفاده شده است. نتایج حاصل در شکل ۱۲ دیده می‌شود:

$$Z=1+(A1+A2/Tr +A3/(Tr^3)+(A4)/(Tr^4) +A5/(Tr^5)) pr + (A6+A7/Tr +A8/(Tr^2)) pr^2 -A9 (A7/Tr +A8/(Tr^2)) pr^5 +A10 (1+A11 pr^2)((pr^2)/(Tr^3)) e^{(-A11 pr^2)}$$

(۲۵)





$$A_3 = 0.3265 \quad A_7 = -1.0700 \quad A_9 = -0.5339$$

$$A_4 = 0.01569 \quad A_5 = -0.05165 \quad A_6 = 0.5475$$

$$A_7 = -0.7367 \quad A_8 = 0.1844 \quad A_9 = 0.1056$$

$$A_{10} = 0.6134 \quad A_{11} = 0.7210$$

$$pr = 0.27 [Pr / (ZTr)] \quad (26)$$

استفاده از هر رابطه در جدول (۳) آمده است.

استفاده از روابط (۳) و (۱۹) برای محاسبه درصد مولی C_{v+} به جز در مواردی که نسبت گاز به میعانات تولیدی بالاست، مناسب است.

در صورت وجود مقدار واقعی نسبت گاز به میعانات تولیدی استفاده از رابطه (۱۸) نیز به صورت معکوس برای محاسبه جرم مولکولی گاز توصیه می شود.

مناسب ترین رابطه برای محاسبه ضریب انحراف گاز در فشار شبنم، رابطه (۲۵) است. در صورت وجود مقدار واقعی فشار شبنم، استفاده از رابطه (۲۳) به صورت معکوس نیز برای محاسبه این کمیت مناسب است.

محاسبه فشار شبنم با استفاده از روابط (۱)، (۲)، (۴)، (۹) و (۱۰) پاسخ های مناسبی به دست می دهد. استفاده از رابطه (۲۳) نیز به صورت مستقل می تواند فشار شبنم را در مورد نمونه های بررسی شده پیش بینی کند.

استفاده از رابطه (۲۰) برای محاسبه جرم مولکولی گاز، روابط (۱۶)، (۱۷) و (۲۱) برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی و (۲۲) به صورت مستقیم برای محاسبه ضریب انحراف گاز در فشار شبنم، توصیه نمی شود.

۴-۶- فشار شبنم، روابط (۱)، (۲)، (۴)، (۹)، (۱۰) و (۲۳) به طور کلی روابط تجربی موجود برای تخمین فشار شبنم با درصد خطای قابل قبول، مقدار این کمیت را محاسبه می کنند (شکل های ۱۳ تا ۱۹).

رابطه اصلاح شده (۲)، نسبت به رابطه (۱) دقیق تر عمل می کند. با جایگذاری e^Z محاسبه شده با رابطه (۲۲) در رابطه (۲۳) و محاسبه فشار شبنم، نتایج قابل قبولی حاصل نمی شود (درصد خطای ۱۰۰ درصد در شکل ۱۸). اگر مقادیر Z واقعی را در این رابطه جایگذاری کنیم، نتایج قابل قبولی حاصل می شود. این رابطه به صورت معکوس نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقدار فشار شبنم واقعی در رابطه (۲۲)

جایگذاری شده و با حل معادله درجه دو حاصل بر حسب e^Z در همه موارد، دو جواب قابل قبول برای Z حاصل می شود. در تمام موارد ریشه کوچک تر با درصد خطای اندک مقدار Z را محاسبه می کند (شکل ۲۰). در اکثر موارد Z محاسبه شده کمتر از Z واقعی است. ارزیابی به این صورت در چاه های ۶ و ۷، به دلیل عدم وجود فشار شبنم واقعی، ممکن نیست.

به دلیل عدم وجود نسبت گاز به میعانات تولیدی، ارزیابی رابطه (۹) برای چاه های ۱۷ تا ۲۴ و ۳۰ ممکن نیست. همچنین به دلیل عدم وجود اطلاعات مربوط به فشار شبنم در چاه های ۶ و ۷، محاسبه خطا در این چاه ها میسر نیست.

به دلیل عدم وجود نسبت گاز به میعانات تولیدی، ارزیابی رابطه (۹) برای چاه های ۱۷ تا ۲۴ و ۳۰ ممکن نیست. همچنین به دلیل عدم وجود اطلاعات مربوط به فشار شبنم در چاه های ۶ و ۷، محاسبه خطا در این چاه ها میسر نیست.

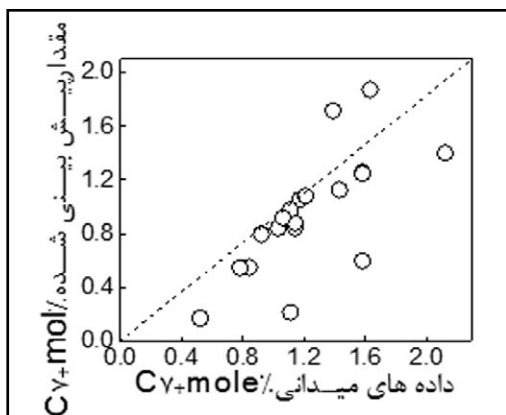
	شماره رابطه	%C ₇₊ mole	MW _g	MRC	GCR	P _d	Z
& Nemeth Kennedy	(۱)	x _o	x	x	x	۱۸ ^{oo}	x
Elsharkawy	(۲)	x	x	x	x	۱۳/۰۴	x
Ovalle et al	(۳)	۳۳/۵۹	x	x	x	x	x
Shokir	(۴) تا (۸)	x	x	x	x	۲۰/۴۵	x
Al_Marhoun	(۹) تا (۱۵)	x	x	x	x	۳۰/۰۸ ^{ooo}	x
						۱۰/۵۷	
Peredes	(۱۶) و (۱۷) (۱۹) تا (۲۳)	۲۷/۶۱	۴۲/۹۵	۱۰۰/۵	x	۸۸/۴۲	۱۴۲/۴۷
				۱۴۷۹۱/۵۶			
				۱۹۰/۹۳			
Dindoruk	(۱۸)	x	x	x	۷۱/۶۸	x	x

جدول ۳- روابط تجربی و میانگین خطای محاسبه با هر رابطه

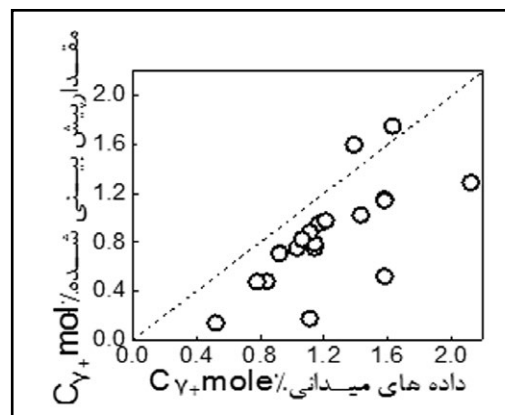
* رابطه‌ای ارائه نشده است.

** میانگین درصد خطای محاسبه با رابطه تجربی، برای مواردی که محاسبه درصد خطا ممکن است، محاسبه شده است.

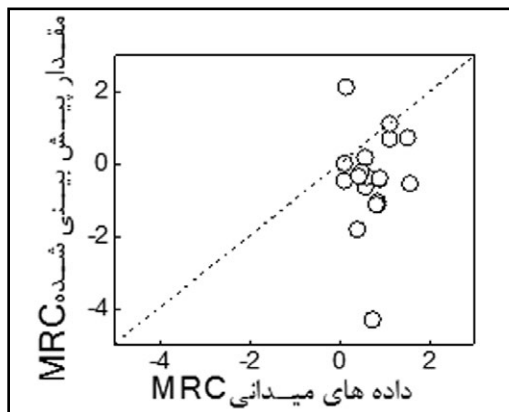
*** در مواردی که بیشتر از یک مقدار برای درصد خطا ذکر شده، بیش از یک رابطه تجربی ارائه شده است.



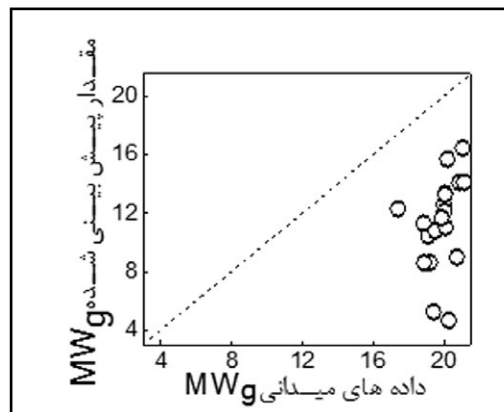
شکل ۲- مقدار پیش‌بینی شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه درصد مولی C₇₊ با رابطه (۱۹)



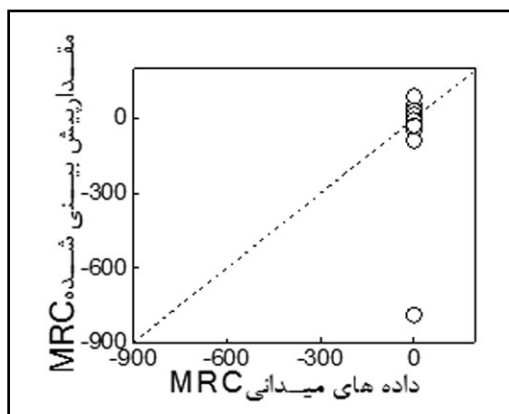
شکل ۱- مقدار پیش‌بینی شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه درصد مولی C₇₊ با رابطه (۳)



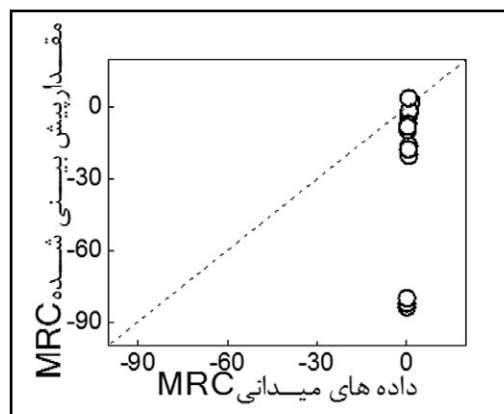
شکل ۴- مقدار پیش‌بینی‌شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی با رابطه (۱۶)



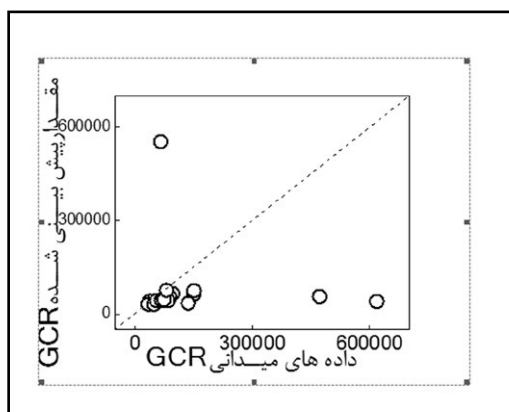
شکل ۳- مقدار پیش‌بینی‌شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه جرم مولکولی گاز با رابطه (۲۰)



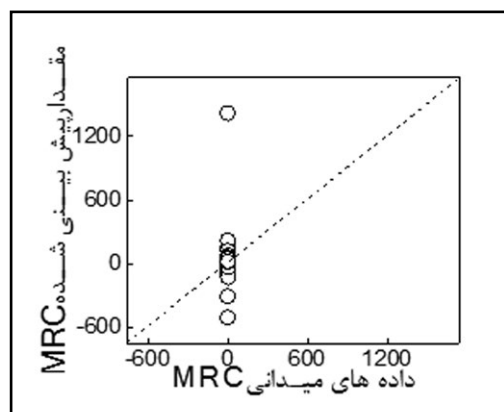
شکل ۶- مقدار پیش‌بینی‌شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی با رابطه (۲۱) به صورت پیوسته



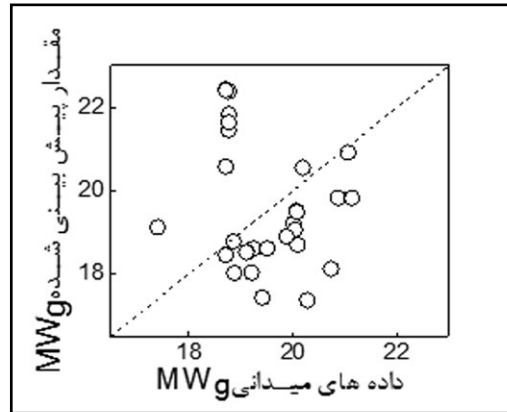
شکل ۵- مقدار پیش‌بینی‌شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی با رابطه (۱۷)



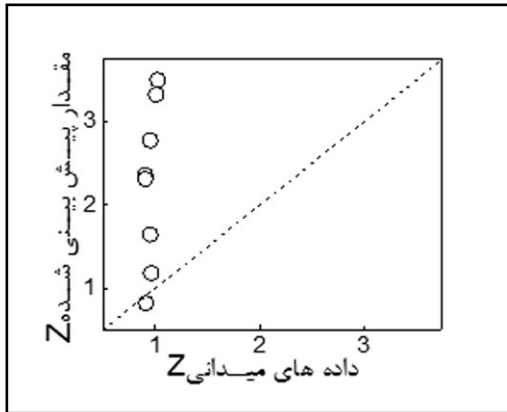
شکل ۸- مقدار پیش‌بینی‌شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه نسبت گاز به میعانات تولیدی با رابطه (۱۸)



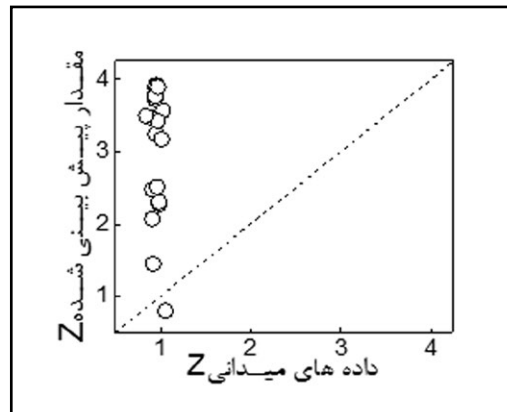
شکل ۷- مقدار پیش‌بینی‌شده برحسب داده‌های میدانی برای محاسبه حداکثر درصد میعانات تولیدی با رابطه (۲۱) به صورت مستقل



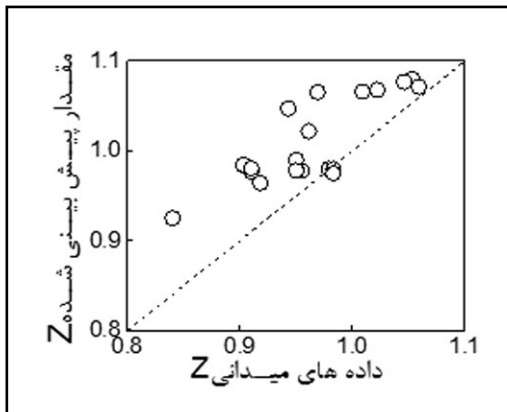
شکل ۹- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه جرم مولکولی گاز به صورت معکوس با رابطه (۱۸)



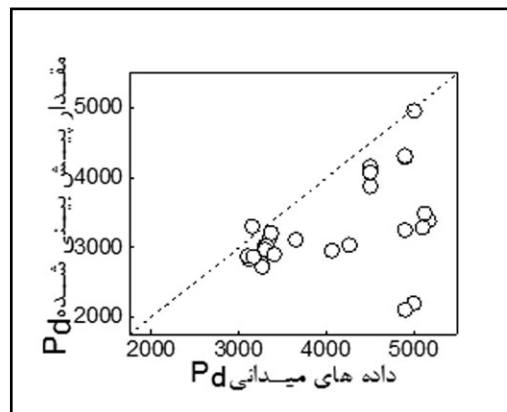
شکل ۱۰- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه ضریب انحراف گاز در فشار شبنم با رابطه (۲۲) - پیوسته



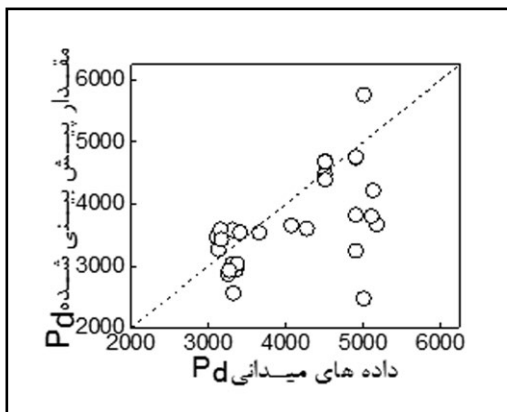
شکل ۱۱- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه ضریب انحراف گاز در فشار شبنم با رابطه (۲۲) - مستقل



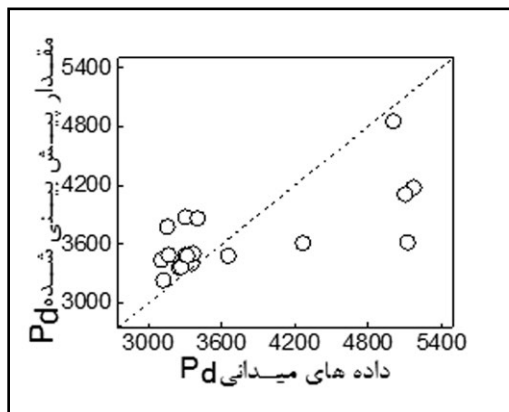
شکل ۱۲- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه ضریب انحراف گاز در فشار شبنم با رابطه (۲۵) - مستقل



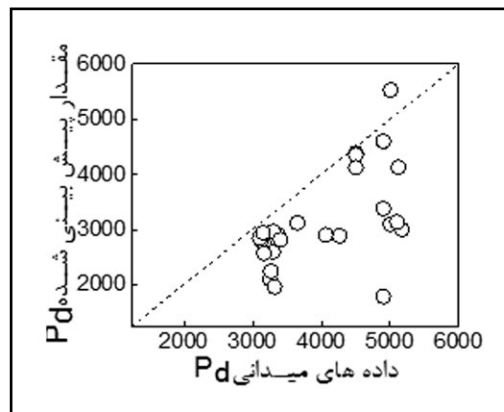
شکل ۱۳- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه فشار شبنم با رابطه (۱)



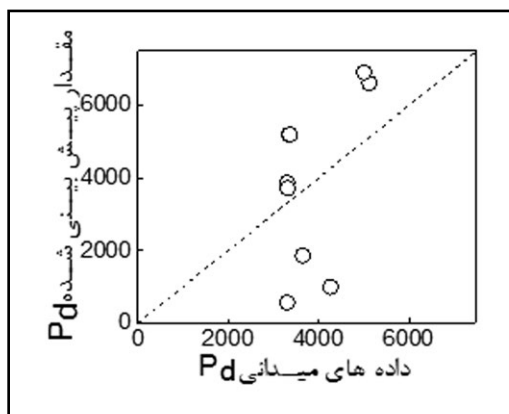
شکل ۱۴- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه فشار شبنم با رابطه (۲)



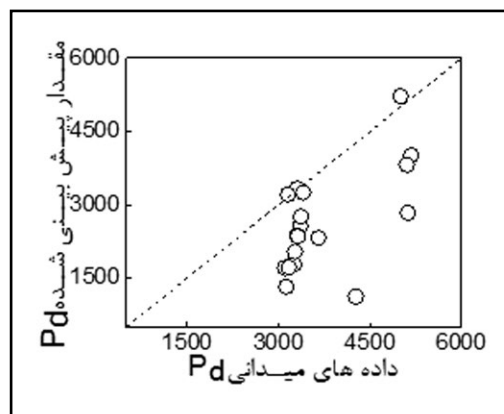
شکل ۱۶- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه فشار شبنم با رابطه (۹)



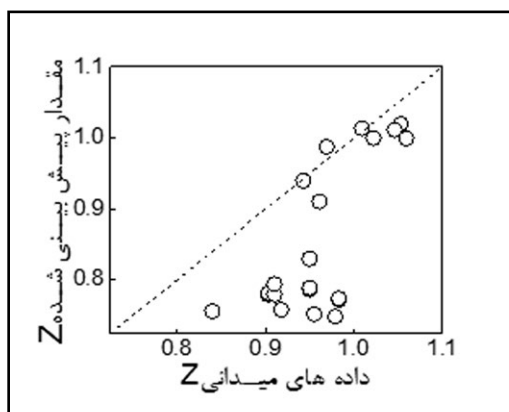
شکل ۱۵- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه فشار شبنم با رابطه (۴)



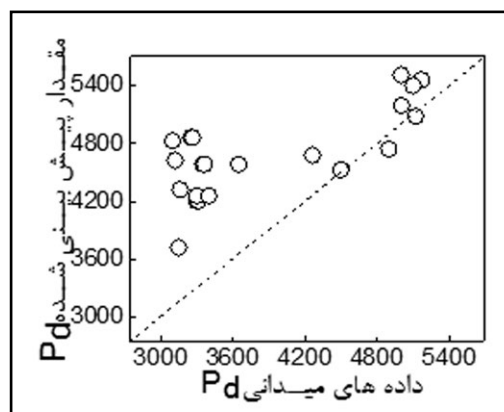
شکل ۱۸- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه فشار شبنم با رابطه (۲۳) به صورت پیوسته



شکل ۱۷- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه فشار شبنم با رابطه (۱۰)



شکل ۲۰- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه ضریب انحراف گاز در فشار شبنم با رابطه (۲۳) - معکوس



شکل ۱۹- مقدار پیش بینی شده برحسب داده های میدانی برای محاسبه فشار شبنم با رابطه (۲۳) - مستقل

فهرست علائم

A	ثابت روابط تجربی
a	ثابت روابط تجربی
B	ثابت روابط تجربی
C	ثابت روابط تجربی
c	ثابت روابط تجربی
D	ثابت روابط تجربی
E	ثابت روابط تجربی
F	ثابت روابط تجربی
CGR	نسبت میعانات به گاز تولیدی
$C_{7+} \text{ mole\%}$	درصد مولی C_{7+}
GCR	نسبت گاز به میعانات تولیدی
MRC	حداکثر درصد میعانات تولیدی
MW_g	جرم مولکولی گاز
MW_{c7+}	جرم مولکولی C_{7+}
P_d	فشار شبنم
P_r	فشار کاهش یافته
p	ثابت روابط تجربی
q	ثابت روابط تجربی
r	ثابت روابط تجربی
s	ثابت روابط تجربی
T	دمای مخزن
T_r	دمای کاهش یافته
$T(P_d)$	تابع موجود در رابطه تجربی
$T(T_R)$	تابع موجود در رابطه تجربی
$T(GCR)$	تابع موجود در رابطه تجربی
$T(Y_g)$	تابع موجود در رابطه تجربی
$T(Y_{cond})$	تابع موجود در رابطه تجربی
X_i	جزء مولی جزء اُم
Z	ضریب انحراف گاز در فشار شبنم
YC_{7+}	وزن مخصوص C_{7+}
$V_{cond.}$	وزن مخصوص میعانات
V_g	وزن مخصوص گاز
V_i	وزن مخصوص جزء اُم
ρ_r	چگالی کاهش یافته



of SPE Western Regional Meeting, Bakersfield: Society of Petroleum Engineers, SPE 68776, 2001.

[7] Ovalle, A., C. Lenn & W. D. McCain Jr, "Tools to Manage Gas/Condensate Reservoirs", SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2007, pp. 687-694.

[8] Shokir, E.-M., "Dewpoint Pressure Model for Gas Condensate Reservoirs based on Genetic Programming", Energy & Fuels, 2008, pp. 3194-3200.

[9] Dindoruk, B., "Development of a correlation for the estimation of condensate to gas ratio (CGR) and other key gas properties from density data", SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio: Society of Petroleum Engineers, SPE 160170, 2012.

[10] Jorge Enrique Paredes, R. P., "Correlations to Estimate Key Gas Condensate Properties through Field Measurement of Gas Condensate Ratio", SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Amsterdam: Society of Petroleum Engineers, SPE-170601-MS, 2014.

[11] Danesh, A., PVT and Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids, Elsevier, 1998.

[1] Al_Dhamen, M., & M. Al_Marhoun, "New Correlations for Dew-Point Pressure for Gas Condensate", SPE Saudi Arabia section Young Professionals Technical Symposium, Dhahran: Society of Petroleum Engineers, SPE 155410, 2011.

[2] Peredes, J., R. Perez, & C. Larez, "Correlation to Predict and Validate Maximum Retrograde Condensation in Gas Condensate Reservoir", San Antonio: Society of Petroleum Engineers, SPE 158494, 2012.

[3] Arabloo, M., A. Shokrollahi, F. Gharaghezi, & A. Mohammadi, "Toward a Predictive Model for Estimating Dew Point Pressure in Gas Condensate Systems", Fuel Processing Technology, 2013, pp. 317-324.

[4] Dandekar, A., "Critical Evaluation of Empirical Gas Condensate Correlation", Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, pp. 298-305.

[5] Nemeth, L., & H. Kennedy, "A Correlation of Dewpoint Pressure With Fluid Composition and Temperature", Society of Petroleum Engineers Journal (pp. 99-104), Society of Petroleum Engineers, 1967.

[6] Elsharkawy, A., "Characterization of the Plus Fraction and Prediction of the Dewpoint Pressure for Gas Condensate Reservoirs", Proceedings



Performance Evaluation of Empirical Correlations to Estimate the Properties of Gas Condensate Reservoirs in South of Iran

F.Keyvani¹, M.J.Amani¹, A.Kalantariasl^{1*}, H.Vahdani²

¹ Department of Petroleum Engineering, School of Chemical, Petroleum and Gas Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

² South Zagros Oil and Gas Production Company, Shiraz, Iran

kalantariasl@shirazu.ac.irazim

Abstract

Measurement and modelling of phasic behaviour and fluid properties of gas condensate reservoir fluids are challenging tasks. Therefore, many researchers have proposed empirical correlations that make use of either the field data such as Gas to Condensate Ratio (GCR) or laboratory data such as compositions and plus fraction characteristics to estimate PVT properties.

In this study, several valid empirical correlations for estimating gas condensate fluid properties have been selected to be benchmarked against fields data. Laboratory data from 30 lean gas condensate samples taken from 9 gas condensate fields in south of Iran have been collected to examine reliability of the empirical correlations. The estimated results from empirical correlations have been compared with measured laboratory data. The accuracy of empirical correlations have been evaluated via error analysis.

In this study, a wide range of data are used for evaluation: reservoir temperature 159-235° F, gas molecular weight 17.4-21.13 gr/grmole, dew point pressure 3100-5170 psia, gas deviation factor in dew point pressure 0.84-1.059, maximum retrograde condensation 0.09%-2.91% and gas to condensate ratio 33487.86 - 617721 SCF/STB.

Parameters evaluated with empirical correlations include C7+mole%, gas molecular weight, maximum retrace condensate, gas to condensate ratio, dew point pressure and gas deviation factor in dew point pressure.

The results indicate that dew point pressure correlations and maximum retrograde condensation have minimum and maximum error, respectively. In cases where gas to condensate ratio is high, C7+ mole% correlations are not suitable. Estimation of gas deviation factor (in dew point pressure) with empirical correlations is not recommended.

Keywords: Gas condensate reservoirs, Empirical correlations, PVT laboratory data, Evaluation

