

رابطه تجربی کاربردی جدید برای محاسبه کمترین فشار امتزاجی در تزریق امتزاجی گازهای هیدروکربوری

علی مومنی^۱، بابک مرادی^{۲*}، جعفر تنگسیری فرد^۲

۱- تهران، شرکت مشاوران CAPE

۲- تهران، شرکت نفت مناطق مرکزی

پیام‌نگار: b.moradi@icofc.ir

چکیده

در این مقاله یک رابطه تجربی کاربردی برای تخمین حداقل فشار امتزاجی در تزریق گاز خشک یا غنی، ارائه شده است. در این تحقیق، مکانیزم جابجایی نفت توسط گاز به صورت جابجایی در سطوح تماس مختلف فرض شده و گاز مورد استفاده، هم‌گاز خشک و هم‌گاز غنی، می‌باشد. در حال حاضر روابط محدودی توسط محققین مختلف در این زمینه ارائه شده است که این روابط به بررسی حداقل فشار امتزاجی در مکانیزم جابجایی در سطوح تماس مختلف می‌پردازند. این روابط معمولاً نسبت به ترکیب گاز تزریقی حساس نیستند و معمولاً پارامترهای مربوط به ترکیب گاز در آنها نادیده گرفته می‌شود. از طرف دیگر روابط ارائه شده بر اساس داده‌های محدود ارائه شده اند که کاربرد چندانی ندارند. همچنین این روابط مکانیزم جابجایی پیچیده تبخیری-میعانی را در نظر نمی‌گیرند. در رابطه تجربی حاصل از این تحقیق، مکانیزم جابجایی تبخیری-میعانی به عنوان مکانیزم غالب در جابجایی نفت در نظر گرفته شده و اثر ترکیب گاز تزریقی و نفت مخزن، هم برای تزریق گاز خشک و هم برای گاز غنی، بر روی حداقل فشار امتزاجی اعمال شده است. در یک مقایسه کلی بین رابطه کاربردی و روابط قبلی ارائه شده که تاکنون مورد استفاده قرار می‌گرفتند، مشاهده شد که رابطه کاربردی با داده‌های آزمایشگاهی لوله قلمی همخوانی بهتری نسبت به روابط قبلی دارد و کمترین فشار امتزاجی که از این رابطه بدست می‌آید، بسیار دقیق تر است.

کلمات کلیدی: رابطه تجربی، حداقل فشار امتزاجی، تزریق گاز، ازدیاد برداشت، ترکیب گاز، شبیه سازی

۱- مقدمه

غیر امتزاجی و امتزاجی در عملیات ازدیاد برداشت، در مخازن نفتی صورت می‌پذیرد. به طور کلی تزریق گاز در مخازن نفتی با اهداف زیر انجام می‌شود، که در نهایت باعث افزایش ضریب بازیافت نفت می‌شود:

۱. جابجایی امتزاجی
۲. جابجایی غیر امتزاجی

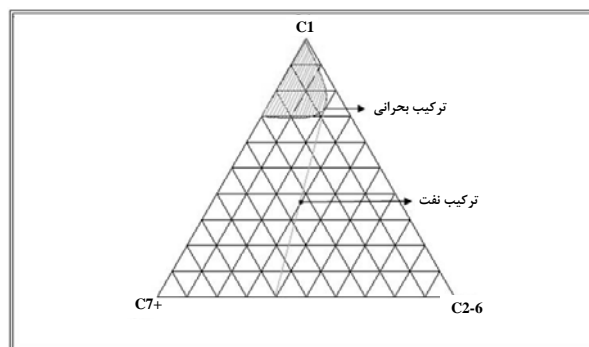
استفاده از تزریق گاز امتزاجی در مخازن نفتی در جهان روز به روز رو به افزایش است. از آنجایی که گازهای هیدروکربنی که به همراه نفت در مخازن نفتی تولید میشوند و از جدا کننده‌های جمع‌آوری به میزان زیادی قابل دسترسی هستند، لذا تزریق مجدد این گازها به منظور عملیات تثبیت فشار مخزن یا به منظور جابجایی نفت به صورت

۳. تثبیت فشار

۴. ریزش ثقی

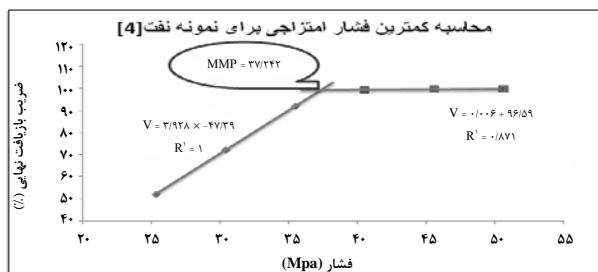
۵. ایجاد یک عامل محرک برای جابجایی بانک امتزاجی

در تزریق امتزاجی گاز خشک به درون مخزن نفتی، گاز و نفت تحت مکانیزم جابجایی در سطوح تماس مختلف، تشکیل یک بانک از سیال تک فاز را می دهند که در آن نیروهای بازدارنده حرکت سیال ناچیز هستند. برای تشکیل این بانک امتزاجی، یک فشاری حداقل، مورد نیاز است که کمتر از آن فشار به هیچ عنوان نفت و گاز تشکیل یک فاز را نمی دهند. در پروژه های تزریق گاز، کمترین فشار امتزاجی یک عامل بسیار مهم و تعیین کننده برای توسعه میدان می باشد، که مشخص می کند آیا برای مخزن نفتی موردنظر، تزریق گاز امتزاجی کاندید می شود یا خیر؟ مفهوم کمترین فشار امتزاجی، در حقیقت، کمترین فشاری است که نفت و گاز در آن می توانند تشکیل یک فاز بدهند [۱]. از لحاظ ترمودینامیکی، مفهوم کمترین فشار امتزاجی را می توان از روی نمودارهای مثلثی بیان کرد. در نمودار مثلثی کمترین فشار امتزاجی را فشاری تعریف می کنند که خط واصل کلیدی از روی نقطه ترکیب نفت عبور کند (شکل (۱)). برای به دست آوردن کمترین فشار امتزاجی در تزریق گاز خشک، از روش های متعددی استفاده می شود. این روشها شامل آزمایش لوله قلمی^۱ آزمایش صعود حباب، مطالعات تعادل بخار-مایع^۲ شبیه ساز لوله قلمی بصورت ترکیبی و معادلات تجربی می باشند. استفاده از روابط تجربی معمولاً آسان است



شکل ۱- عبور خط کلیدی مماس بر ترکیب بحرانی در نمودار مثلثی

از ترکیب نفت در حداقل فشار امتزاجی



شکل ۲- مقدار کمترین فشار امتزاجی محاسبه شده برای نفت A

بوسیله شبیه ساز لوله قلمی

و از تعداد محدودی از این رابطه ها و مدل های ترمودینامیکی برای بدست آوردن کمترین فشار امتزاجی استفاده می شود. تعداد محدودی از این رابطه ها و مدل های ترمودینامیکی برای بدست آوردن کمترین فشار امتزاجی در مقالات متفاوت ارائه شده اند. در سال ۱۹۸۳ استالکاپ یک رابطه تجربی برای بدست آوردن کمترین فشار امتزاجی گاز خشک ارائه کرد [۱]. وی در تحقیق خود کمترین فشار امتزاجی را بر اساس ترکیب نفت و فشار اشباع ارائه نمود. رابطه وی از روی داده های ۹ ترکیب مختلف بدست آمد که میزان انحراف کمترین فشار امتزاجی بدست آمده از این رابطه با آزمایشگاه بین ۲۶۰ psi تا ۶۴۰ psi بود. در سال ۱۹۸۶ عزیز و فیروزآبادی از روی مطالعه ۱۲ مورد نفتی (آزمایشگاهی و شبیه سازی) رابطه ای را ارائه کردند [۲]. این رابطه کمترین فشار امتزاجی را برای مکانیزم گاز تبخیری تعیین می کند. آنها در آن رابطه کمترین فشار امتزاجی را فقط براساس ترکیب نفت بدست آوردند و ترکیب گاز تزریقی را بررسی نکردند.

رابطه عزیز و فیروزآبادی برای تزریق نیتروژن و گاز خشک، در مقایسه با سایر روابط، واقع بینانه تر بود و انحرافی بین ۱۱/۵٪ تا ۲۳/۵٪ در آن مشاهده شد. در رابطه آنها در گاز تزریقی بالاتر از ۸۰٪ متان وجود داشت و این رابطه برای گازهایی که کمتر از ۸۰٪ متان دارند، معتبر نیست [۳].

ذکر این نکته شایان اهمیت است که وقتی گاز تزریقی به صورت متان خالص باشد یعنی ۱۰۰٪ متان، مکانیزم امتزاجی تبخیری می شود و این مکانیزم تنها توسط ترکیب نفت اولیه کنترل می گردد. در غیر این صورت با هر ترکیب دیگری از گاز تزریقی باید هر دو مکانیزم تبخیری و میعانی در نظر گرفته شود، لذا ترکیب گاز تزریقی و نفت، هر دو، کنترل کننده مقدار کمترین فشار امتزاجی هستند.

1. Slim Tube Displacement
2. Vapor Liquid Equilibrium

۲- شبیه سازی لوله قلمی

همانطور که گفته شد، برای بدست آوردن حداقل فشار امتزاجی در جابجایی امتزاجی از روشهایی استفاده می کنند که در مقدمه به آنها اشاره شد. در صنعت نفت و گاز معمولاً از آزمایش صعود حباب و سلول ترکیبی^۱ استفاده نمی شود. مطالعات ترمودینامیکی تعادل بخار- مایع نیز به دلیل حجم بسیار بالای حل معادلات، کاربرد چندانی ندارند [۳]. در آزمایش صعود حباب و سلولهای ترکیبی، شرایط ترمودینامیکی امتزاج (کشش سطحی ناچیز و گرانیوی ناچیز) را متفاوت با آنچه که در مخزن رخ می دهد، محاسبه می کند.

در صنعت نفت و گاز روش مرسوم برای بدست آوردن کمترین فشار امتزاجی استفاده از دستگاه لوله قلمی است. از آنجاییکه استفاده از دستگاه لوله قلمی پرهزینه و زمان بر است، لذا شبیه ساز این دستگاه ترجیح داده می شود. در این تحقیق، لوله قلمی توسط یک مخزن تک بعدی (1-D) مستطیلی با طول ۲۰ متر و سطح مقطع 0.25cm^2 مدل شده است. گاز هیدروکربنی با شدت جریان $10\text{ cm}^3/\text{hr}$ درون مخزن تزریق می شود. تخلخل و نفوذپذیری این مخزن تک بعدی به طور ثابت ۲۰٪ و 1000 md در نظر گرفته شده اند. مدل لوله قلمی به صورت اولیه در شرایط دمای مخزن و فشار بالاتر از فشار حباب، اشباع می شود. سیال مخزن توسط معادله حالت PR3 مدل شده و در شبیه ساز وارد شده است [۴]. نمودارهای نفوذپذیری نسبی و فشار مویینه به صورت یک نمودار فرضی برای مدل در نظر گرفته می شود. نتایج کمترین فشار امتزاجی نسبت به نوع نمودارهای نفوذپذیری، حساس نیست. افت فشار در طول لوله قلمی معمولاً کم است، لذا کل سیستم به عنوان فشار ثابت در نظر گرفته می شود. مدل به ۵۰۰

گرید تقسیم شده است. تعداد گریدها در شبیه سازی بر اساس مطالعات حساسیت سنجی تعیین می شود. قبل از استفاده از مدل برای محاسبه کمترین فشار امتزاجی باید اعتبار و صحت مدل، مورد آزمون قرار گیرد. این کار با داشتن داده های PVT و کمترین فشار امتزاجی یک نمونه خاص، بدست می آید. آزمون مدل بوسیله نمونه سیال A با کمترین فشار امتزاجی اندازه گیری شده توسط آزمایشگاه که $37.0/1\text{ atm}$ بوده، انجام شد. مقدار کمترین فشار امتزاجی بدست آمده از نمونه نفت A و نمونه گاز ۱ توسط مدل $367/57\text{ atm}$ (مفسر) (با توجه به شکل (۲)) بدست آمد که خطای کمترین فشار امتزاجی در

حدود 0.168% محاسبه شد. با توجه به خطای بسیار کم مدل می توان نتیجه گرفت که این مدل معتبر و مورد اعتماد است.

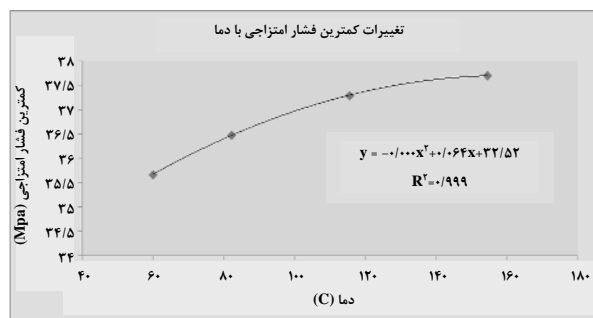
۳- عوامل تاثیرگذار بر روی کمترین فشار امتزاجی

اکثر روابطی که در مقالات متفاوت دیده شده اند تقریباً یک رابطه خطی را بین کمترین فشار امتزاجی و دما نشان می دهند [۷]. شکل (۳) رابطه کمترین فشار امتزاجی (بدست آمده از مدل لوله قلمی) و دما را برای نمونه A نشان می دهد. همانطور که در شکل آمده است نمودار کمترین فشار امتزاجی برحسب دما بصورت یک منحنی صعودی است. بر اساس مقالات موجود، سه پارامتر از ترکیب نفت در میزان کمترین فشار امتزاجی نقش عمده دارند:

۱- وزن مولکولی C_{7+} ، ۲- جزء مولی C_{2-6} ، ۳- جزء مولی C_1 [۲].
از آنجایی که مکانیزم (میعانی - تبخیری) در تزریق گاز غنی، مکانیزم غالب است، امتزاج در سطوح تماس مختلف، شرایط پیچیده تری را پیش می آورد. در این حالت ۲ پارامتر از ترکیب گاز برای تخمین کمترین فشار امتزاجی در نظر گرفته می شود:

۱- جزء مولی C_{2+} ۲- وزن مولکولی C_{2+} [۶].

در مقالات دیده شد که در اثر افزایش میزان C_{2+} مقدار کمترین فشار امتزاجی کاهش می یابد [۷]. روند کمترین فشار امتزاجی به عنوان تابعی از $M_{C_{2+}}$ برای مخزن نفتی A در شکل (۴) نمایش داده شده است که نشان می دهد کمترین فشار امتزاجی با افزایش $M_{C_{2+}}$ ، کاهش تقریبی دارد.



شکل ۳- تغییرات کمترین فشار امتزاجی با افزایش دما

۴- رابطه کاربردی برای محاسبه کمترین فشار امتزاجی

طبق اطلاعات مربوط به کمترین فشار امتزاجی موجود در مقالات و

1. Mixing Cell

اطلاعات محاسبه شده از شبیه ساز، یک رابطه تعمیم یافته بر طبق معیارهای زیر، بدست آمد:

۱- کمترین فشار امتزاجی گازهای هیدروکربنی با افزایش دما، افزایش می یابد.

۲- کمترین فشار امتزاجی گاز های هیدروکربنی با افزایش وزن مولکولی C_{7+} افزایش می یابد.

۳- کمترین فشار امتزاجی گاز های هیدروکربنی با افزایش جزء مولی C_1 و C_{2-6} در ترکیب نفت، کاهش می یابد.

YC_{2+} : جزء مولی C_{2+} در گاز تزریقی (%)

MC_{2+} : وزن مولکولی C_{2+} (gr/mole)

رابطه بالا دارای دو پارامتر اصلی α و β است که α شامل پارامترهای موثر ترکیب نفت و برگرفته از رابطه عزیز و فیروزآبادی ولی با توان متفاوت می باشد. در رابطه آنها تاثیر ترکیب گاز، لحاظ نشده است. β تاثیر گاز را بر روی کمترین فشار امتزاجی بررسی می کند. همانطور که از رابطه نیز به طور واضح قابل مشاهده است، با افزایش YC_{2+} و MC_{2+} میزان کمترین فشار امتزاجی کاهش می یابد ولی از این ۲ پارامتر، YC_{2+} تاثیر بسزاتری بر روی کمترین فشار امتزاجی، در مقایسه با MC_{2+} ، دارد.

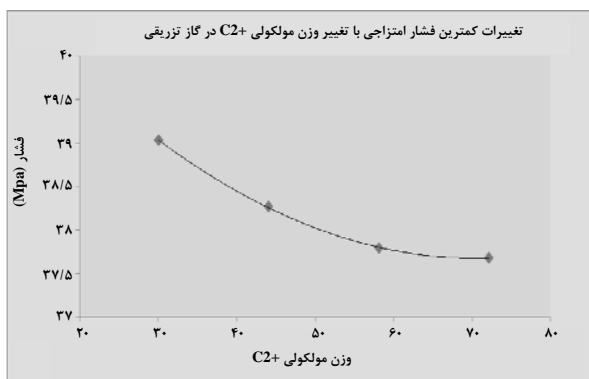
۵- دقت رابطه تجربی و دامنه استفاده از آن

مقایسه کمترین فشار امتزاجی بدست آمده برای گاز هیدروکربنی از این رابطه و داده های کمترین فشار امتزاجی موجود در شکل (۵) آمده است. این مقایسه همچنین در جدول (۱) نیز نشان داده شده است. انحراف داده های کمترین فشار امتزاجی محاسبه شده با رابطه جدید با داده های کمترین فشار امتزاجی موجود در محدوده $\pm 4/13$ bar، در مقایسه با داده های موجود، مشاهده شد. مقایسه رابطه عزیز و فیروزآبادی با داده های کمترین فشار امتزاجی موجود در شکل (۶) نشان داده است که میانگین خطای مطلق آن $24/8\%$ است که این مقدار بسیار بالاتر از میانگین مطلق رابطه جدید ($4/4\%$) می باشد. رابطه معمول دیگری که برای محاسبه کمترین فشار امتزاجی گاز غنی مورد استفاده قرار می گیرد، رابطه تجربی کو است. این رابطه نیز با رابطه جدید مقایسه شد. مقایسه در دامنه ای که رابطه کو در آن ارائه شده نیز صورت پذیرفت و میانگین خطای مطلق آن $20/3\%$ محاسبه گردید که بیشتر از انحراف رابطه جدید می باشد (شکل (۷)).

دامنه استفاده از رابطه جدید به صورت زیر است:

بازه دمایی از $130^\circ F$ تا $300^\circ F$ ، غلظت متان از ۶ تا 55% مولی، MC_{7+} از 120 تا 302 gr/mole، غلظت مولی C_{2-6} در نفت از 1% تا 63% ، YC_{2+} در گاز تزریقی از 0% تا 48% و MC_{2+} از 0 تا 72 است.

در مقایسه با روابط مشابه این رابطه در بازه وسیعتری قابل استفاده است، اما به هر حال توسعه این رابطه در خارج از این بازه ها می بایست با دقت فراوان انجام شود.



شکل ۴- تغییرات کمترین فشار امتزاجی بر اساس وزن مولکولی C_{2+} در گاز تزریقی

با استفاده از معیار های بالا، رابطه زیر براساس داده های آزمایشگاهی کمترین فشار امتزاجی در مقالات و داده های جمع آوری شده در این کار، بدست آمده که از رگرسیون ناخطی نیز برای تعمیم رابطه استفاده شد:

$$MMP = 43.664 - 4.542\alpha + 0.689\alpha^2 - 0.132\beta$$

$$\alpha = \frac{X_{C_{2-6}}^{1.72785} \times X_{C_1}^{0.1}}{T^{0.5} \times M_{C_{7+}}}$$

$$\beta = Y_{C_{2+}}^{(1.64+0.00686M_{C_{2+}})}$$

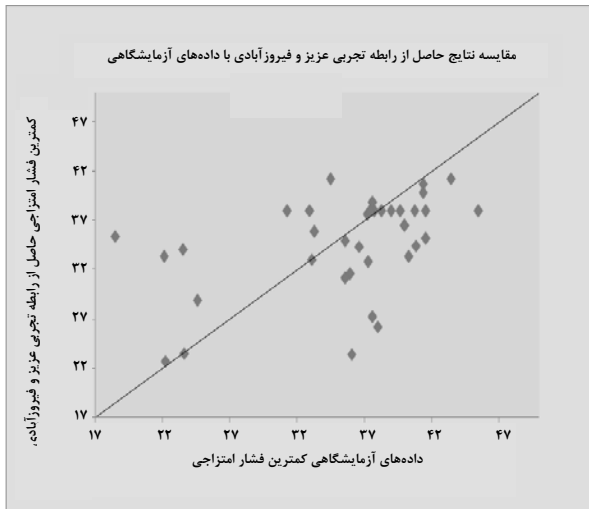
$X_{C_{2-6}}$: در صد مولی ترکیبات میانی در نفت مخزن C_{2-6} و CO_2 و

H_2S

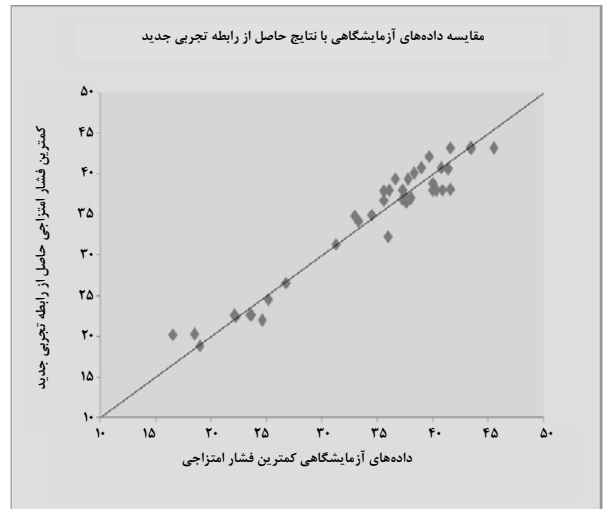
X_{C_1} : در صد مولی متان در نفت مخزن

T : دما (فارنهایت)

MC_{7+} : وزن مولکولی C_{7+} (gr/mole)



شکل ۶- مقایسه کمترین فشار امتزاجی محاسبه شده بوسیله رابطه عزیز و فیروزآبادی با مقادیر کمترین فشار امتزاجی موجود



شکل ۵- مقایسه مقادیر کمترین فشار امتزاجی محاسبه شده بوسیله معادله (۱) با مقادیر کمترین فشار امتزاجی موجود

جدول ۱- خواص گاز تزریقی و نفت و داده های کمترین فشار امتزاجی

نتایج کمترین فشار امتزاجی از رابطه جدید	مرجع	داده های آزمایشگاهی کمترین فشار امتزاجی	درصد C-۲C, در نفت	C7+ وزن مولکولی	(F)دما	درصد C2+ در گاز	وزن مولکولی MWC2+
۳۸/۸۷	۲	۳۹/۹۹	۲۲/۰۰	۲۰۹/۰۰	۲۰۰/۰۰	۱۴/۰۰	۳۷/۲۵
۴۰/۶۸	۲	۴۱/۳۷	۲۲/۰۰	۲۵۰/۰۰	۲۲۵/۰۰	۱۰/۰۰	۳۳/۵۱
۴۳/۳۲	۲	۴۳/۴۴	۲۳/۰۰	۲۵۰/۰۰	۳۰۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴۳/۱۱	۲	۴۳/۴۴	۲۶/۰۰	۱۸۳/۶۰	۳۴۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۳۷/۹۹	۲	۳۹/۹۹	۲۲/۰۰	۲۰۹/۰۰	۲۰۰/۰۰	۱۶/۰۰	۳۷/۷۱
۴۰/۶۳	۲	۴۱/۳۷	۲۳/۰۰	۲۵۰/۰۰	۲۲۵/۰۰	۱۰/۰۰	۳۴/۰۱
۴۳/۳۲	۲	۴۳/۴۴	۲۳/۰۰	۲۵۰/۰۰	۳۰۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۳۶/۸۷	۶	۳۷/۲۴	۲۵/۰۰	۲۴۰/۶۸	۲۳۷/۵۰	۱۸/۰۰	۳۹/۷۷
۲۶/۵۵	۸	۲۶/۷۵	۱/۰۰	۳۰۲/۰۰	۱۳۲/۰۰	۳۵/۰۰	۴۴/۱۰
۲۴/۵۲	۸	۲۵/۱۷	۱/۰۰	۳۰۲/۰۰	۱۳۲/۰۰	۳۸/۰۰	۴۴/۱۰
۱۸/۸۰	۸	۱۸/۹۶	۱/۰۰	۳۰۲/۰۰	۱۳۲/۰۰	۴۶/۰۰	۴۴/۱۰
۲۰/۲۰	۸	۱۶/۵۵	۲۴/۰۰	۲۱۵/۰۰	۱۷۰/۰۰	۴۷/۰۰	۳۹/۹۱
۲۰/۲۵	۸	۱۸/۴۸	۲۴/۰۰	۲۱۵/۰۰	۲۰۶/۰۰	۴۷/۰۰	۳۹/۹۱
۳۴/۱۲	۹	۳۳/۲۷	۲۷/۰۰	۲۵۸/۰۰	۱۷۴/۰۰	۲۴/۰۰	۳۸/۱۹
۳۴/۸۶	۹	۳۲/۹۲	۲۷/۰۰	۲۷۱/۰۰	۲۱۷/۰۰	۲۳/۰۰	۳۷/۳۴
۳۴/۹۴	۱۰	۳۴/۴۷	۲۵/۰۰	۲۹۴/۹۷	۲۱۷/۰۰	۲۳/۰۰	۳۷/۳۴
۳۴/۸۶	۱۰	۳۲/۹۲	۲۷/۰۰	۲۷۱/۰۰	۲۱۷/۰۰	۲۳/۰۰	۳۷/۳۴
۳۲/۳۰	۱۱	۳۵/۹۵	۳۱/۰۰	۲۳۱/۰۰	۲۱۰/۰۰	۲۷/۰۰	۳۸/۷۳
۳۷/۹۴	۱۲	۳۶/۰۵	۲۶/۰۰	۱۲۱/۹۱	۲۱۲/۰۰	۱۵/۰۰	۳۷/۳۷
۲۲/۴۰	۱۳	۲۲/۲۰	۳۳/۰۰	۱۴۱/۷۴	۲۱۵/۳۳	۴۱/۰۰	۴۱/۸۶
۲۲/۵۶	۱۳	۲۳/۶۰	۳۰/۰۰	۱۴۱/۹۹	۲۱۰/۲۹	۴۱/۰۰	۴۱/۸۶
۳۷/۰۲	۱۳	۳۸/۰۰	۲۴/۰۰	۱۳۲/۱۲	۲۳۹/۲۷	۱۷/۰۰	۳۹/۷۷
۲۲/۵۷	۱۳	۲۲/۱۰	۳۲/۰۸	۲۵۷/۷۰	۲۱۵/۰۰	۴۱/۴۷	۴۲/۰۰
۲۲/۶۱	۱۳	۲۳/۵۰	۳۰/۳۶	۲۵۴/۴۰	۲۱۰/۰۰	۴۱/۴۷	۴۲/۰۰
۳۶/۵۲	۱۳	۳۷/۶۱	۲۴/۶۸	۱۴۳/۷۰	۲۳۷/۷۴	۱۸/۱۲	۳۹/۸۹
۳۹/۴۳	۱۳	۳۶/۶۱	۳۰/۲۵	۲۴۵/۴۳	۲۵۰/۰۰	۱۲/۰۰	۳۹/۴۳
۲۱/۹۴	۱۴	۲۴/۵۸	۲۸/۰۰	۱۷۵/۰۰	۲۵۰/۰۰	۴۳/۰۰	۴۱/۳۴
۳۶/۹۰	۱۴	۳۷/۹۱	۲۴/۱۲	۲۳۸/۱۵	۲۲۲/۵۰	۱۷/۸۸	۴۰/۰۰

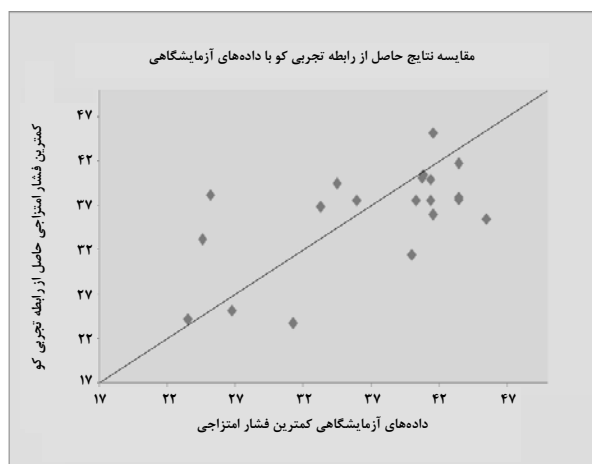
جدول ۲- خواص گاز تزریقی و نفت و داده های کمترین فشار امتزاجی حاصل از شبیه ساز لوله قلمی

وزن مولکولی MWC2+	درصد C2+ در گاز	دما (°F)	C7+ وزن مولکولی	درصد C-C در نفت	داده های آزمایشگاهی کمترین فشار امتزاجی	نتایج کمترین فشار امتزاجی از رابطه جدید
۳۶/۷۵	۱۶/۰۰	۲۱۲/۰۰	۲۰۹/۸۱	۲۶/۰۰	۴۰/۳۰	۳۷/۹۸
۳۶/۷۵	۱۶/۰۰	۱۴۰/۰۰	۲۰۹/۸۱	۲۶/۰۰	۳۵/۵۸	۳۷/۸۵
۳۶/۷۵	۱۶/۰۰	۱۹۲/۰۰	۲۰۹/۸۱	۲۶/۰۰	۳۷/۲۸	۳۷/۹۵
۳۶/۷۵	۱۶/۰۰	۲۶۰/۰۰	۲۰۹/۸۱	۲۶/۰۰	۴۰/۸۴	۳۸/۰۴
۳۶/۷۵	۱۶/۰۰	۳۰۰/۰	۲۰۹/۸۱	۲۶/۰۰	۴۱/۵۷	۳۸/۰۷
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱۰/۰۰	۲۵۲/۲۱	۲۵/۰۰	۴۱/۵۸	۴۳/۲۱
۳۰/۰۷	۱۰/۰۰	۲۱۰/۰۰	۲۵۲/۲۱	۲۵/۰۰	۳۸/۹۸	۴۰/۷۴
۴۴/۱۰	۱۰/۰۰	۲۱۰/۰۰	۲۵۲/۲۱	۲۵/۰۰	۳۸/۲۷	۴۰/۱۲
۵۸/۱۲	۱۰/۰۰	۲۱۰/۰۰	۲۵۲/۲۱	۲۵/۰۰	۳۷/۷۴	۳۹/۳۶
۳۰/۰۷	۵/۰۰	۲۱۰/۰۰	۲۵۲/۲۱	۲۵/۰۰	۳۹/۶۷	۴۲/۱۹
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱۷/۰۰	۲۷۰/۰۰	۲۷/۰۰	۴۵/۴۹	۴۳/۱۹
۳۰/۰۷	۱۰/۰۰	۲۱۷/۰۰	۲۷۰/۰۰	۲۷/۰۰	۴۰/۷۳	۴۰/۷۲
۳۰/۰۷	۲۰/۰۰	۲۱۷/۰۰	۲۷۰/۰۰	۲۷/۰۰	۳۷/۴۲	۳۷/۲۲
۳۹/۷۷	۱۸/۰۰	۱۴۰/۰۰	۲۴۰/۶۸	۲۵/۰۰	۳۵/۵۶	۳۶/۷۴
۳۹/۷۷	۱۸/۰۰	۳۰۰/۰۰	۲۴۰/۶۸	۲۵/۰۰	۳۷/۶۲	۳۶/۹۲
۴۱/۵۳	۲۸/۰۰	۲۱۰/۰۰	۲۵۲/۲۱	۲۵/۰۰	۳۱/۲۵	۳۱/۳۲

۶- بحث و نتیجه گیری

یک رابطه تجربی کاربردی برای بدست آوردن کمترین فشار امتزاجی گاز هیدروکربنی تحت مکانیزم جابجایی در سطوح تماس مختلف در این تحقیق ارائه گردید. نتایج اصلی حاصل از این تحقیق عبارتند از:

- رابطه کاربردی ارائه شده برای گازهای هیدروکربنی، اثر ترکیب گاز تزریقی را نیز در نظر می گیرد.
- در رابطه کاربردی حاصل از این تحقیق، کمترین فشار امتزاجی بدست آمده از شبیه ساز یک روند صعودی را با افزایش دما و یک روند تقریباً نزولی را با افزایش MC_2+ در گاز تزریقی نشان می دهد.
- این رابطه بطور تقریبی از سایر روابطی که وجود دارد، بسیار دقیقتر است.



شکل ۷- مقایسه MMP محاسبه شده بوسیله رابطه کو با مقادیر

کمترین فشار امتزاجی موجود

[7] Yuan, H, Johns, R.T, Egwuenu, A.M.: "Improved MMP Correlation for CO₂ Floods Using Analytical Gas Flooding Theory" SPE 89359.

[8] S.S. Kuo, "Prediction of Miscibility for the Enriched-Gas Drive Process" ARCO Resources Technology, SPE 14152.

[9] "PVT and Hydrocarbon Analysis of a Reservoir. Well#6", Research Project of National Iranian Oil Company-IOR Research Center (December 1998).

[10] Arya.S, Salimi.M.A, Bazzazi.N, Radmehr.M, Emadi.M, "PVT and Hydrocarbon Analysis of a Reservoir, Well#2, Asmari", Research Project of National Iranian Oil Company- IOR Research Center (December 2001).

[11] Glaso, "Generalized Minimum Miscibility Pressure Correlation" Petroleum Technology Research Inst, (Dec 1985).

[12] Wang.Y, Orr.F.M, "Calculation of Minimum Miscibility Pressure", J. Pet. Sci. Eng, 2000.

[13] Jean-Noel.J, Laurent.A, Jean-Francois.S. "A Crude Oil Data Bank Containing More than 5000 PVT and Gas Injection Data" J. Pet. Sci. Eng, (2001).

[14] Pedrood.P.: "Prediction of Minimum Miscibility Pressure in Rich Gas Injection" Msc. Thesis, Tehran University, Tehran (1995).

[15] Rahimpour.F, Kharrat.R.: "Effect of Grouping og Oil and Gas Composition on the MMP Calculation by Using Compositional Simulator and Comparison with Experimental Data" Msc. Thesis, Tehran University, Tehran (2002).

• این رابطه در دامنه وسیعتری نسبت به سایر روابط قابل استفاده است.

۷. تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی نفت ایران انجام شده است. مؤلفین از شرکت نفت مناطق مرکزی بالاجس واحد پژوهش و توسعه تشکر و قدردانی می نمایند.

مراجع

[1] Stalkup, Jr., F.I.: "Miscible Displacement", Monograph Series, SPE, Richardson, TX (1983).

[2] Firozabad. A, Aziz. K., "Analysis and Correlation of Nitrogen and Lean-Gas Miscibility Pressure", SPE Res. Eng (Nov., 1986).

[3] Ali Danesh, "PVT and Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids", (1997).

[4] Williams.A, Zana.N: "Use of the Peng-Robinson of State to Predict Hydrocarbon Phase Behavior and Miscibility for fluid displacement" Chevron Oil Field Co, (1980).

[5] Thomas.F.B, Okazawa.T: "Consideration of Solvent Composition for Hydrocarbon Miscible Flood" SPE 35388. (1996).

[6] Jessen.K, Michelsen.M.L, Stenby.E.H.: "Effective Algorithm for Calculation of Minimum Miscibility Pressure" University of Denmark (1998).