

# اعتبارسنجی روش اختلاط تماس تعادلی در ساخت سیال اولیه مخازن گاز میعانی

پژوهش نفت

سال بیست و سوم  
شماره ۷۳

صفحه ۹۵-۱۰۳، ۱۳۹۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۶/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۲/۲۱

محمدهادی پرهاموند<sup>۱\*</sup>، شهاب گرامی<sup>۲</sup> و محمدعلی عمادی<sup>۳</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی نفت

۲- شرکت ملی نفت ایران، رئیس پژوهش سیالات مخزن، پژوهشکده ازدیاد برداشت

۳- شرکت ملی نفت ایران، مدیریت پژوهش و توسعه

vahid.parhamvand@gmail.com

## چکیده

تهیه سیال نماینده مخزن در مدیریت بهینه مخزن بسیار حائز اهمیت است و همواره سعی می‌شود در ابتدای عمر مخزن با استفاده از روش‌های استاندارد به تهیه سیال نماینده مخزن اقدام گردد. این امر منجر به کاهش عدم قطعیت و در نتیجه پیش‌بینی مناسب رفتار فازی و جریانی مخزن خواهد گردید. روش‌های تهیه سیال اولیه مخزن به تفصیل در استانداردهای متعددی نظیر API-RP44 اشاره شده است. این روش‌ها بر پایه تثبیت شرایط مخزن و عملیات نمونه‌گیری می‌باشد. به عنوان مثال تهیه سیال اولیه از یک مخزن گاز میعانی نیازمند این است که فشار مخزن بالاتر از فشار نقطه شبنم اولیه گاز باشد، که چنین شرایط عملیاتی فقط در زمان‌های اولیه تولید برقرار است. در سال ۱۹۹۴ آقایان Whitson و Fevang روشی تحت عنوان اختلاط تماس تعادلی معرفی کردند. آنها ادعا داشتند که با این روش، ساخت سیال اولیه مخزن برای همه مخازن گاز میعانی در هر شرایطی امکان‌پذیر است. روش پیشنهادی آنها استانداردهای حاکم در نمونه‌گیری را نقض می‌کرد و محدودیت زمانی در تهیه سیال نماینده از نمونه‌های حاصل نداشت. در این مقاله روش اختلاط تماس تعادلی،

مورد مطالعه قرار گرفته و راستی آزمایی این روش در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور یک مدل فرضی شامل انواع مخازن گاز میعانی کم مایه (Lean)، غنی (Rich) و تأسیسات تفکیک‌گر سطحی ساخته می‌شود. از مدل مذکور تولید و در زمان‌های مختلف نمونه‌گیری به عمل می‌آید. روی نمونه‌های جمع‌آوری شده روش‌های اختلاط تماس تعادلی و ترکیب مجدد، مدل‌سازی و اجرا می‌شوند. با مقایسه نتایج حاصل از روش اختلاط تماس تعادلی و ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک‌گر به این نتیجه رسیدیم که روش جدید اختلاط تماس تعادلی به مراتب دقت بالاتری نسبت به روش سنتی ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک‌گر به خصوص در شرایط تخلیه مخزن دارد. با راستی آزمایی این روش در شرایط مختلف و در خواص سنگ و سیال مخازن ایران می‌توان این روش را برای استفاده به شرکت‌های نفت و گاز پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: نمونه‌گیری، گاز میعانی، سیال اولیه، ترکیب مجدد، شیوه اختلاط تماس تعادلی

## مقدمه

Standing در پژوهش خود به این نتیجه رسید که فشار نقطه شبنم نمونه گاز میعانی می‌تواند پایین‌تر، برابر و یا بیشتر از نقطه شبنم اولیه باشد، بدون اینکه نمونه نماینده سیال اولیه مخزن باشد [۵]. به این دلیل که فشار نقطه شبنم تابع یکنواختی از GOR نیست [۶]. بنابراین روش ترکیب مجدد با نسبت GOR برای گازهای میعانی در این حالت منسوخ می‌باشد و هنوز راه حل دقیق و مطمئنی برای حل این مشکل پیشنهاد نشده است.

Olzen و Reffstrup سعی کردند با ارائه روشی، مشکل به دست آوردن نمونه‌های نماینده درجا از مخازن گاز میعانی کم مایه اشباع و دارای نفوذپذیری پایین را برطرف نمایند. در روش پیشنهادی آنها ابتدا ترکیب جریان چاه تولیدی با استفاده از یک معادله حالت مشخص می‌شود. با استفاده از توصیف معادله حالت، ترکیب اولیه میعان تعادلی در نقطه شبنم جریان چاه (با فرض پایین‌تر بودن نقطه شبنم مخلوط نمونه‌گیری شده نسبت به نقطه شبنم اولیه) محاسبه می‌شود. تا زمانی که نقطه شبنم برابر فشار اولیه مخزن شود (یعنی نقطه شبنم اولیه)، این میعان تعادلی به جریان چاه نمونه‌گیری شده افزوده شده و یک مخلوط جدید به وجود می‌آید. نقطه شبنم مخلوط حاصل برابر با فشار اولیه مخزن می‌باشد و تقریب خوبی از گاز اولیه مخزن به شمار می‌آید [۷].

Whitson و Fevang روش ریف استراپ و اولزن را به منظور استفاده در سایر مخازن توسعه دادند. آنها بررسی گسترده‌ای در نمونه‌گیری از مخازن تخلیه شده تا تعیین سیال اولیه مخزن با استفاده از شبیه‌سازی ترکیبی<sup>۱</sup> انجام دادند و روش‌های آزمایشگاهی مناسبی جهت به دست آوردن سیال اولیه از نمونه‌های جمع‌آوری شده بر پایه نتایج شبیه‌سازی شده ارائه نمودند. در این روش لازم است نمونه‌های جمع‌آوری شده از کلاهک گازی و ناحیه نفتی در سطح تماس اولیه گاز-نفت مخزن برای به دست آوردن سیال اولیه مخزن در مخازن اشباع به تعادل برسد. فازهای

در تاریخ نمونه‌گیری تنها روش قابل قبول در تعیین ترکیب‌های اولیه مخزن، به دست آوردن مستقیم نمونه‌های ته چاهی و یا ترکیب مجدد نمونه‌هایی گاز و میعانات تفکیک‌گر بوده است [۱]. بر اساس تئوری‌های موجود [۲]، تا هنگامی که جریان پایا برقرار باشد و میعانات تشکیل شده در مجاورت چاه جریان یابد (زمان‌های اولیه تولید)، با نمونه‌گیری در سر چاه و مخلوط نمودن میعانات و گاز تولیدی به نسبت GOR<sup>۱</sup> تولیدی، می‌توان سیال اولیه مخزن را باز تولید نمود. در مواقعی که سیال مخزن گاز میعانی غنی بوده و مخزن بهره‌دهی بالایی داشته باشد، می‌توان از نمونه‌گیری ته چاهی نیز استفاده کرد. پس از افت فشار بخش عمده مخزن به زیر فشار نقطه شبنم، به علت جا ماندن مقدار قابل توجهی از اجزاء سنگین و متوسط سیال گاز میعانی با درجه اشباع غیر قابل حرکت، تهیه ترکیب اولیه مخزن با استفاده از روش‌های فوق امکان‌پذیر نمی‌باشد [۱].

زمانی که نمونه‌های معتبر نماینده سیال اولیه در ابتدای عمر مخزن در دسترس نباشد، عدم اطمینان قابل توجهی در هیدروکربن‌های (نفت و گاز) اولیه درجا ممکن است وجود داشته باشد. در نتیجه می‌تواند تأسیسات فرآیندی جهت پاسخ‌گویی به این عدم اطمینان‌ها بیش از اندازه استاندارد طراحی شوند. نمونه‌های نماینده دقیق سیال اولیه، مخصوصاً برای مخازن گاز میعانی که درآمد قابل توجهی از فرآورده‌های LNG، LPG و میعان پایدار شده به دست می‌آید، مهم هستند [۳].

Alexander و McCain از شبیه‌سازی ترکیبی<sup>۲</sup> مخزن جهت مطالعه این مشکل استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که نمونه‌های دقیق نماینده درجای گازهای میعانی اشباع شده می‌توانند در مرحله اولیه تخلیه یعنی زمانی که نمونه‌گیری در نرخ‌های پایین (با حداقل افت فشار) انجام می‌شود و حتی زمانی که فشار جریانی ته چاهی پایین‌تر از نقطه شبنم اولیه است، به دست آیند. آنها همچنین نشان دادند که نرخ‌های تولید باید پایدار باشند که این پایدارسازی می‌تواند از چند روز (مخازن با نفوذپذیری متعادل<sup>۳</sup>) تا چندین ماه (مخازن با نفوذپذیری پایین) طول بکشد [۴].

1. Gas Oil Ratio  
2. Compositional Simulation  
3. Moderate-permeability  
4. Compositional

جدول ۱- خواص مدل مخزن

تخلخل	۰/۱۶
نفوذپذیری در جهت r	۲۰۲ md
نفوذپذیری در جهت z	۲۰/۲۰ md
تراکم پذیری سنگ	$4/0 \times 10^{-6}$
اشباع آب همزاد	۰/۲۲
تعداد لایه‌ها در جهت r	۱۰ لایه با فواصل لگاریتمی
تعداد لایه‌ها در جهت $\theta$	۱ لایه
تعداد لایه‌ها در جهت z	۱۵ لایه با اعماق ۲۰ یا ۳۰ فوت

### شبیه‌سازی روش اختلاط تماس تعادلی در مخازن گاز میعانی با شرایط ابتدایی اشباع (ECM1)

در این روش ابتدا سیلندرهای حاوی نمونه‌های گاز مخزن و نفت مخزن به حالت تک فازی در می‌آیند. این دو نمونه در نسبتی که جزء حجمی نفت در تعادل، به حدود ۵۰٪ یا بیشتر از آن می‌رسد به سلول<sup>۲</sup> PVT، منتقل می‌شود. سلول PVT به شرایط اولیه مخزن در سطح تماس گاز-نفت رسانیده شده و جهت برقراری تعادل کاملاً مخلوط می‌شوند. نفت تعادلی و گاز تعادلی نتیجه شده باید تخمین‌های بسیار خوبی از سیالات درجای اولیه در GOC را فراهم کنند [۳].

این روش به صورت دینامیک تا کنون شبیه‌سازی نشده بود. در این تحقیق با تولید از مدل دینامیک مخزن و انجام عملیات نمونه‌گیری، نمونه‌های حاصل به نرم افزار سطح‌الارضی یا نرم‌افزار PVT وارد می‌شود. در نرم‌افزار سطح‌الارضی، ابتدا با ترکیب مجدد نمونه‌های گاز و نفت حاصل از نواحی گازی و نفتی مخزن، جریان چاه این نواحی به دست می‌آید. سپس جریان‌های چاه حاصل با هم ترکیب شده و جریان حاصل به یک تفکیک‌گر با شرایط فشار و دمای اولیه مخزن وارد می‌شود. به کمک تفکیک‌گر، جریان به حالت تعادل در شرایط GOC اولیه برده می‌شود. نفت و گاز حاصل از تفکیک در این شرایط، به عنوان نفت ناحیه نفتی و گاز ناحیه گازی برآورد می‌شوند. این روند در نرم‌افزار PVT نیز انجام می‌شود، تنها با این تفاوت که

نفت و گاز به تعادل رسیده نشان‌دهنده سیال اولیه مخزن در مخازن نفت و گاز میعانی می‌باشد. همچنین آنها با جداسازی نمونه سیال مخزن در شرایط فشار و دمایی حال مخزن و تزریق میعانات به گاز تا رسیدن به شرایط اشباع اولیه توانستند گاز میعانی زیر اشباع اولیه مخزن را به دست آورند [۳].

بر اساس مطالعات انجام شده هیچ شرکتی در دنیا از روش پیشنهادی Whitson و Fevang یعنی روش اختلاط تماس تعادلی (ECM<sup>۱</sup>) در نمونه‌گیری و ساخت سیال اولیه مخزن استفاده نمی‌کند. با توجه به ناشناخته بودن، عدم اطمینان و تناقض این روش با استانداردهای موجود در نمونه‌گیری API-RP44، در این مقاله روش مذکور در شرایط مختلف مورد بررسی و راستی آزمایی قرار می‌گیرد، تا با توجه به اهمیت این موضوع برای شرکت‌های نفتی و گازی از جمله شرکت ملی نفت ایران صحت یا عدم صحت این روش در خواص سنگ و سیال مخازن ایران تعیین گردد. جهت رسیدن به این هدف، با استفاده از شبیه‌سازی ترکیبی، یک مدل فرضی مخزن ساخته شده و خواص واقعی گازهای میعانی که از آزمایشگاه PVT به دست آمده، وارد مدل می‌شود. مدل در زمان‌های مختلف و شرایط تخلیه مخزن اجرا می‌گردد. روی نمونه‌های حاصل به کمک شبیه‌سازی جداگانه، روش‌های ساخت سیال اولیه بر اساس توصیف معادله حالت و استفاده از آزمایش تفکیک‌گر و یا نرم‌افزار سطح‌الارضی، روش ECM با روش سنتی ترکیب مجدد مقایسه می‌شود.

### روش کار

#### شبیه‌سازی مخازن و ساخت مدل مصنوعی

با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ترکیبی مدلی شعاعی از مخزن با خواص ذکر شده در جدول ۱ ساخته می‌شود. لازم به ذکر است که به منظور بررسی دقت روش ECM مدل به صورت همگن تعریف شده تا بتوان از اثرات احتمالی ناهمگنی روی نتایج حاصل صرف‌نظر نمود. این مدل برای انواع مخازن گاز میعانی با وارد کردن خواص سیال و شرایط فشار و دمای مخزن تکمیل می‌شود. در این مقاله نتایج حاصل برای یک سیستم گاز میعانی کم مایه ارائه شده است.

1. Equilibrium Contact Mixing

2. PVT Cell

حاصل از تفکیک در این شرایط به تدریج به گاز به دست آمده از تفکیک گر اضافه می‌شود، فشار اشباع ترکیب حاصل پس از هر تغییر در نسبت تزریقی اندازه‌گیری می‌شود تا زمانی که فشار اشباع ترکیب حاصل با فشار اشباع سیال اولیه مخزن برابر گردد. این روند در نرم افزار PVT با این تفاوت که جریان چاه حاصل از ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک گر، با انجام آزمایش تفکیک گر در شرایط فعلی مخزن به تعادل برده می‌شود، انجام می‌گردد. نتایج حاصل از هر دو نرم افزار نزدیک به هم می‌باشند.

### نتایج و بحث

#### مخزن گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی زیر اشباع

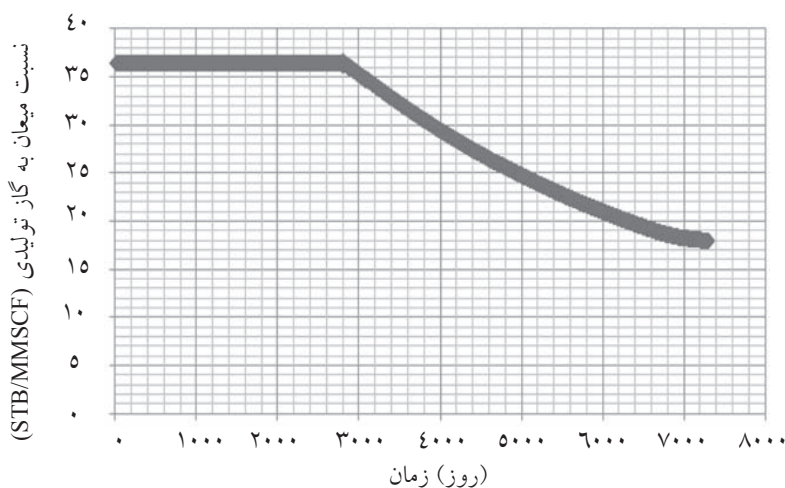
یک مخزن گاز میعانی کم مایه با دمای  $104/44^{\circ}\text{C}$  و فشار اولیه  $20/68\text{ MPa}$  با خواص فیزیکی ذکر شده در جدول ۱ مورد آزمایش قرار می‌گیرد. فشار اشباع سیال اولیه این مخزن  $18/08\text{ MPa}$  می‌باشد. تفکیک گر اولیه (محل نمونه‌گیری) دارای دمای  $48/89^{\circ}\text{C}$  و فشار  $5,52\text{ MPa}$  است. از این مخزن با نرخ  $10\text{ mmscf/day}$  شروع به تولید می‌شود و در زمان‌های مختلف از مخزن نمونه‌گیری و روش‌های ساخت سیال اولیه روی نمونه‌های جمع‌آوری شده انجام می‌شود. شکل ۱ تغییرات CGR را در مقابل زمان در ۲۰ سال تولید نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشهود است، در ۲۸۰۰ روز ابتدای تولید از مخزن، مخزن زیر اشباع بوده و در داخل مخزن، میعان تشکیل نشده است.

جریان‌های چاه حاصل با نسبت ۵۰٪ با هم ترکیب شده و با انجام آزمایش تفکیک گر، سیال حاصل به شرایط اولیه مخزن برده می‌شود. نتایج حاصل از هر دو نرم‌افزار نزدیک به هم می‌باشند.

#### روش اختلاط تماس تعادلی در مخازن گاز میعانی با شرایط ابتدایی زیر اشباع (ECM2)

در این روش در ابتدا نمونه‌ای از جریان چاه با ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک گر، با استفاده از GOR آزمایشی یا تولیدی تهیه می‌شود. مخلوط حاصل در فشار و دمای میانگین فعلی مخزن به تعادل می‌رسد. تمام مایع تعادلی در فشار ثابت به ظرف دیگری منتقل شده و گاز تعادلی در سلول PVT باقی می‌ماند. مایع تعادلی به تدریج به سلول PVT که حاوی گاز تعادلی است، تزریق شده و پس از هر تزریق، نقطه شبم اندازه‌گیری می‌شود. زمانی که نقطه شبم به نقطه شبم اولیه مخزن می‌رسد، این مخلوط تقریباً بسیار خوبی از گاز میعانی اولیه مخزن می‌باشد [۳].

در این پژوهش، برای اولین بار این روش به صورت دینامیک شبیه‌سازی شد. با تولید از مدل دینامیک مخزن و انجام عملیات نمونه‌گیری، نمونه‌های حاصل به نرم‌افزاری سطح الارضی یا نرم‌افزار PVT وارد می‌شود. در نرم‌افزار سطح الارضی ابتدا با ترکیب مجدد نمونه‌های گاز و میعان حاصل از تفکیک گر، جریان چاه به دست می‌آید. سپس جریان چاه حاصل به یک تفکیک گر با شرایط فشار و دمای فعلی مخزن وارد شده و به کمک تفکیک گر جریان به حالت تعادل در شرایط فعلی مخزن برده می‌شود. مایع



شکل ۱- تغییرات نسبت CGR با زمان در یک مخزن گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی زیر اشباع

نشان می‌دهند. نسبت گاز به نفت آزمایشی استفاده شده در «ترکیب مجدد ۲» با تغییر مداوم این پارامتر تا رسیدن به ترکیبی با نقطه شبنمی برابر با نقطه شبنم سیال اولیه بدست می‌آید. اما طبق مطالعات Standing این بهینه‌یابی GOR در مخازن گاز میعانی همیشه دقیق نبوده و خالی از اشکال نیست و ممکن است به جواب قابل قبولی نرسد، زیرا مانند شکل ۲ یک GOR می‌تواند مربوط به دو فشار متفاوت باشد. ستون ۷ در جدول ۲ ترکیب ساخته شده با روش ECM2 را نشان می‌دهد. این ترکیب به ترکیب سیال اولیه بسیار نزدیکتر می‌باشد.

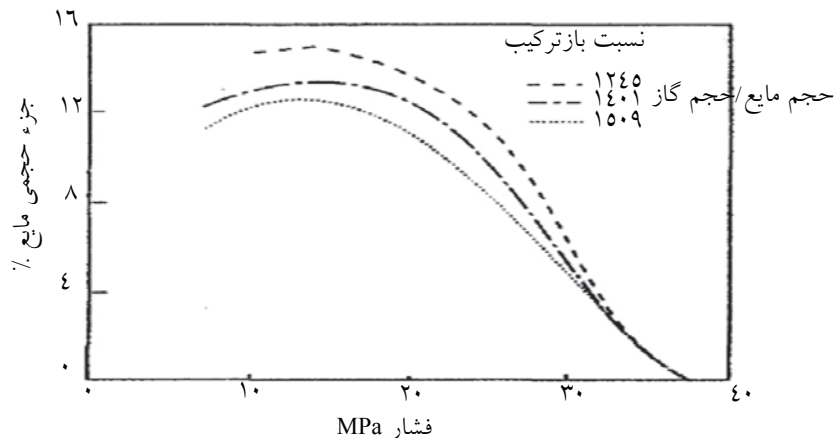
پس از این مدت زمان، دیگر مخزن زیر اشباع نخواهد بود و با کاهش فشار به زیر فشار نقطه شبنم، مخزن به یک مخزن اشباع تبدیل می‌شود. طبق تئوری‌های موجود، از این پس استفاده از روش ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک‌گر امکان‌پذیر نیست. ترکیب سیال اولیه مخزن، نمونه نفت و گاز تفکیک‌گر پس از ۲۰ سال تولید از مخزن، ترکیب حاصل از ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک‌گر و ترکیب حاصل به کمک روش ECM در جدول ۲ ارائه شده است. ستون‌های ۵ و ۶ در جدول ۲ به ترتیب نتایج ترکیب مجدد را با استفاده از نسبت گاز به نفت تولیدی و آزمایشی

جدول ۲- نمونه‌گیری و ساخت سیال اولیه یک مخزن گاز میعانی کم مایه در ابتدا زیر اشباع پس از ۲۰ سال تولید

اجزاء	ترکیب اولیه	نفت تفکیک‌گر	گاز تفکیک‌گر	ترکیب مجدد ۱	ترکیب مجدد ۲	ECM2
N <sub>2</sub>	۳/۳۴۹	۰/۲۹۶	۳/۴۵۲۸	۰/۳۹۹۸	۳/۳۴۱	۳/۳۴۵۴
H <sub>2</sub> S	۳/۰۲۹	۳/۲۸۵۵	۳/۰۲۸۱	۳/۰۳۲۴	۳/۰۳۷۲	۳/۰۳۳۲
CO <sub>2</sub>	۱/۷۵۵	۰/۸۴۸	۱/۷۸۶۵	۱/۷۷۰۷	۱/۷۵۳۳	۱/۷۵۴۷
C <sub>1</sub>	۸۰/۷۶۴	۱۷/۳۹۲	۸۲/۸۸۷	۸۱/۷۸۸	۸۰/۵۶۸	۸۰/۶۹۳
C <sub>2</sub>	۵/۱۵۷۹	۴/۲۴۵۵	۵/۱۹۶۳	۵/۱۸۰۸	۵/۱۶۲۶	۵/۱۶۱۱
C <sub>3</sub>	۱/۹۰۷	۳/۷۹۴۴	۱/۸۶۰۲	۱/۸۹۲۷	۱/۹۲۸۵	۱/۹۱۵۲
IC <sub>4</sub>	۰/۴۰۹	۱/۵۷۳۲	۰/۳۷۹۴	۰/۳۹۹۴۳	۰/۴۲۱۶	۰/۴۱۳۴۶
NC <sub>4</sub>	۰/۶۹۸۹۹	۳/۴۴۲	۰/۶۲۹۶	۰/۶۷۶۸	۰/۷۲۹۱۶	۰/۷۰۹۴۷
IC <sub>5</sub>	۰/۲۸	۲/۳۹۹	۰/۲۲۷۱	۰/۲۶۳۵۵	۰/۳۰۳۹۸	۰/۲۸۸۱۴
NC <sub>5</sub>	۰/۲۸	۲/۸۲۲۶	۰/۲۱۶۹	۰/۲۶۰۶۳	۰/۳۰۹۱۴	۰/۲۸۹۹۲
C <sub>6</sub>	۰/۳۹	۶/۹۳۸۴	۰/۲۲۷۴	۰/۳۴۰۰۱	۰/۴۶۴۹۳	۰/۴۱۶۰۹
C <sub>7+</sub>	۱/۸۹	۵۲/۹۶۵	۰/۱۰۸۸	۰/۹۹۵۸۴	۱/۹۷۹۹	۱/۹۸۰۲

ترکیب مجدد ۱- ترکیب مجدد با GOR تولیدی

ترکیب مجدد ۲- ترکیب مجدد با GOR آزمایشی و ساخت ترکیبی با فشار نقطه شبنم سیال اولیه



شکل ۲- تغییرات میعان تشکیل شده با تغییر نسبت ترکیب مجدد [۶]

نشان می‌دهد. ترکیب سیال اولیه مخزن، نمونه جمع‌آوری شده نفت و گاز تفکیک‌گر، پس از ۵ سال تولید از مخزن، ترکیب حاصل از ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک‌گر و ترکیب حاصل به کمک روش‌های ECM در جدول ۴ آمده است. همچنین سعی شد که با ایجاد تغییر در نسبت GOR تولیدی، ترکیبی با فشار اشباع سیال اولیه مخزن به روش ترکیب مجدد ساخته شود که به دلیل نوسانات شدید در فشار اشباع به دلیل کوهانی بودن نمودار فشار نقطه شبنم در مقابل جزء حجمی میعان، ساخت این ترکیب، ممکن نشد (شکل ۲). جهت اجرای روش اختلاط تماس تعادلی در مخازن گاز میعانی با شرایط ابتدایی اشباع، ترکیب ناحیه نفتی مخزن مورد نیاز است. جهت به دست آوردن ترکیب دقیق ناحیه نفتی مخزن بهتر است از روش ECM2 استفاده شود. انجام روش ECM2 برای ناحیه نفتی شبیه انجام آن در مخازن گاز میعانی با شرایط ابتدایی زیر اشباع است. با این تفاوت که پس از تفکیک جریان چاه در شرایط فعلی مخزن، گاز به نفت تا رسیدن به نقطه حباب اولیه تزریق می‌شود.

با محاسبه خطای مطلق و میانگین خطای مطلق مشخص می‌شود که روش ECM از دقت بسیار بالایی برخوردار است (جدول ۳). همچنین به منظور اطمینان از دقت بالای روش ECM، در شکل ۳ نمودار فازی سیال اولیه و سیال حاصل از روش ECM رسم می‌شود. در این شکل نمودار فازی این دو ترکیب کاملاً بر هم منطبق هستند.

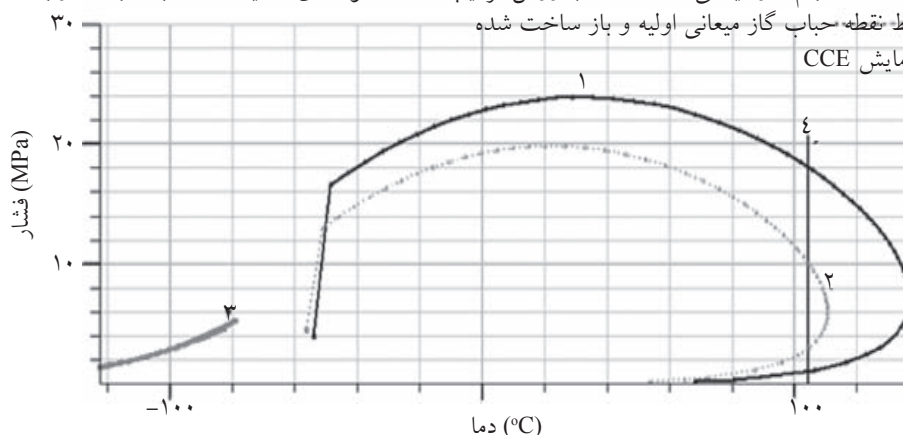
#### مخزن گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی اشباع

یک مخزن گاز میعانی کم مایه با دمای  $104/44^{\circ}\text{C}$  و فشار اولیه  $18/08\text{ MPa}$  با خواص فیزیکی ذکر شده در جدول ۱ مورد آزمایش قرار می‌گیرد. فشار اشباع سیال اولیه این مخزن  $18,08\text{ MPa}$  می‌باشد. بنابراین، مخزن مورد نظر در شروع تولید اشباع بوده و در آن سطح تماس گاز-نفت تشکیل شده است. تفکیک‌گر اولیه (محل نمونه‌گیری) دارای دمای  $48/89^{\circ}\text{C}$  و فشار  $5/52\text{ MPa}$  است. از این مخزن تولید با نرخ  $10\text{ mmscf/day}$  شروع می‌شود و در زمان‌های مختلف از مخزن نمونه‌گیری و روش‌های ساخت سیال اولیه روی نمونه‌های جمع‌آوری شده، انجام می‌شود. شکل ۴ تغییرات CGR را در ۱۰ سال اولیه تولید

جدول ۳- خطای روش‌های ساخت سیال اولیه

گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی اشباع			گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی زیر اشباع			مدل
ECM1/ECM2	ECM1	ترکیب مجدد	ECM2	ترکیب مجدد ۲	ترکیب مجدد ۱	اجزاء
۱/۵۶۴۶	۱/۷۷۳۷	۰/۳۰۸۵	۰/۱۰۷۵	۰/۲۳۹۴	۱/۵۱۶۹	$\text{N}_2$
۱/۸۴۵۵	۱/۶۳۴۲	۱/۰۱۳۱	۰/۱۳۸۷	۰/۲۷۰۰	۰/۱۱۲۲	$\text{H}_2\text{S}$
۱/۰۳۷۰	۰/۹۱۷۴	۰/۲۶۰۳	۰/۰۱۷۹	۰/۹۷۰	۰/۸۹۴۶	$\text{CO}_2$
۰/۱۸۲۰	۰/۱۲۳۸	۰/۸۳۲۵	۰/۰۸۷۹	۰/۲۴۳۳	۱/۲۶۷۹	$\text{C}_1$
۱/۳۹۷۹	۱/۲۰۹۸	۱/۰۴۳۷	۰/۰۶۲۰	۰/۰۹۱۰	۰/۴۴۴۰	$\text{C}_2$
۱/۴۲۶۳	۱/۲۲۷۱	۰/۰۴۷۲	۰/۴۳۰۰	۱/۱۱۴۹	۰/۷۴۹۹	$\text{C}_3$
۱/۰۷۵۸	۰/۷۹۴۶	۱/۴۶۳۷	۱/۰۹۰۵	۲/۹۸۸۶	۲/۳۳۹۸	$\text{IC}_4$
۱/۰۰۱۴	۰/۶۲۲۳	۲/۲۲۲۹	۱/۴۹۹۳	۴/۱۳۷۶	۳/۱۷۴۶	$\text{NC}_4$
۰/۶۴۲۹	۰/۲۳۹۳	۴/۷۱۲۰	۲/۹۰۷۱	۷/۸۸۸۷	۵/۸۷۵۰	$\text{IC}_5$
۰/۶۰۷۱	۰/۵۰۰۰	۵/۶۲۰۵	۳/۵۴۲۹	۹/۴۲۶۲	۶/۹۱۷۹	$\text{NC}_5$
۰/۵۶۴۱	۱/۷۱۷۹	۱۰/۸۲۶۹	۶/۶۸۹۷	۱۶/۱۱۶۴	۱۲/۸۱۷۹	$\text{C}_6$
۰/۴۳۴۳	۰/۴۵۴۵	۵۳/۴۴۰۸	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۵۰	۴۹/۷۰۵۰	$\text{C}_7+$
۰/۹۸۱۶	۰/۹۳۴۵	۶/۸۹۹۳	۱/۳۸۱۹	۳/۵۵۱۵	۷/۱۵۱۳	میانگین درصد خطای مطلق

- ۱- خط نقطه شبنم گاز میعانی اولیه و باز ساخت شده با روش ECM2  
 ۲- خط نقطه شبنم گاز میعانی ساخته شده با روش ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک کننده با نسبت گاز به نفت تولیدی  
 ۳- خط نقطه حباب گاز میعانی اولیه و باز ساخت شده  
 ۴- آزمایش CCE



شکل ۳- نمودار فازی سیالات اولیه و بازساخت شده مخزن گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی زیر اشباع

جدول ۴- نمونه‌گیری و ساخت سیال اولیه یک مخزن گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی اشباع پس از ۵ سال تولید

اجزاء	ترکیب اولیه	نفت تفکیک‌گر	گاز تفکیک‌گر	ترکیب مجدد	ECM1	ECM1/ECM2
N <sub>2</sub>	۳/۳۴۹	۰/۲۹۱۷	۳/۴۰۷۵	۳/۳۳۸۷	۳/۲۸۹۶	۳/۴۰۱۴
H <sub>2</sub> S	۳/۰۲۹	۳/۳۱۳۸	۳/۰۵۴۳	۳/۰۶	۳/۰۷۸۲	۲/۹۷۳۱
CO <sub>2</sub>	۱/۷۵۵	۰/۸۵۳۲	۱/۷۹۸۳	۱/۷۷۷۴	۱/۷۷۱۱	۱/۶۸۱۷۳
C <sub>1</sub>	۸۰/۷۶۴	۱۷/۳۶۷	۸۲/۸۸۹	۸۱/۴۴۲	۸۰/۶۶۴	۸۰/۹۱۱
C <sub>2</sub>	۵/۱۵۷۹	۴/۲۷۳۴	۵/۲۳۳۵	۵/۲۱۲۳	۵/۲۲۰۳	۵/۰۸۵۸
C <sub>3</sub>	۱/۹۰۷	۳/۸۰۲۸	۱/۸۶۵۱	۱/۹۰۷۹	۱/۹۳۰۴	۱/۸۷۹۸
IC <sub>4</sub>	۰/۴۰۹	۱/۵۶۲۷	۰/۳۷۶۹	۰/۴۰۳۱	۰/۴۱۲۲	۰/۴۰۴۶
NC <sub>4</sub>	۰/۶۹۹	۳/۴۰۲۹	۰/۶۲۲۴	۰/۶۸۳۸	۰/۷۰۳۳	۰/۶۹۲
IC <sub>5</sub>	۰/۲۸	۲/۳۳۲۱	۰/۲۲۰۸	۰/۲۶۷۴	۰/۲۷۹۳	۰/۲۷۸۲
NC <sub>5</sub>	۰/۲۸	۲/۷۲۶	۰/۲۰۹۵	۰/۲۶۵۱	۰/۲۷۸۶	۰/۲۷۸۳
C <sub>6</sub>	۰/۳۹	۶/۵۰۲	۰/۲۱۳	۰/۳۵۱۹	۰/۳۸۳۳	۰/۳۸۷۸
C <sub>7</sub> +	۱/۹۸	۵۳/۵۷۲	۰/۱۰۹۹	۱/۲۹۰۴	۱/۹۸۹۰	۱/۹۷۱۴

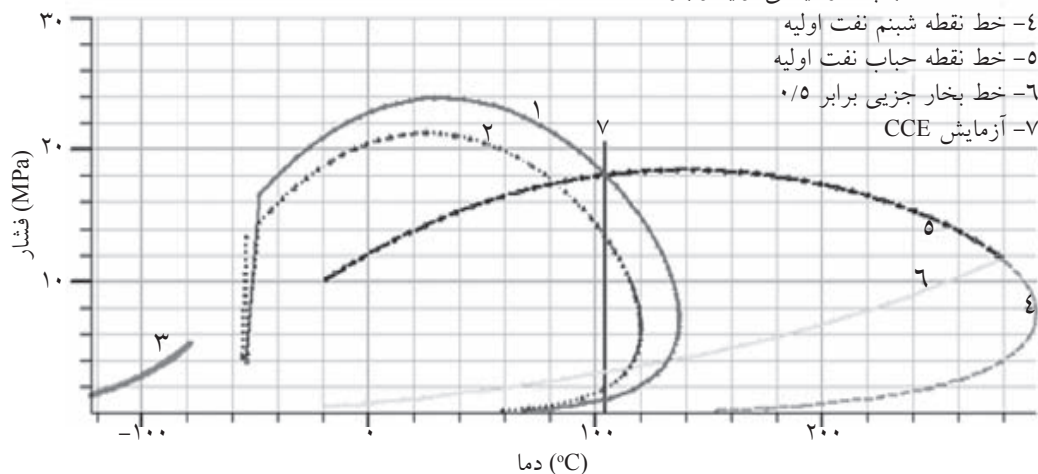
میانگین خطای مطلق هر روش باز هم مشاهده می‌شود که روش‌های ECM از دقت بسیار بالایی برخوردار است (جدول ۳). دقت روش اختلاط تماس تعادلی با بررسی نمودار فازی ترکیب اولیه و ترکیب‌های باز ساخت شده در شکل ۵ مورد بررسی قرار می‌گیرد، همان‌گونه مشاهده می‌شود، نمودار فازی ترکیب‌های بازساخت شده با روش‌های ECM، بر نمودار فازی ترکیب سیال اولیه منطبق می‌باشند.

ترکیب سیال ناحیه نفتی و نتایج باز ساخت آن پس از ۵ سال تولید در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج این روش ECM با عنوان ECM1/ECM2 در جدول ۴ نشان داده شده است. در ستون ششم این جدول نتایج روش ECM1 (که در آن از نمونه نفت حاصل از ترکیب مجدد استفاده شده)، نیز آمده است، که در این حالت نیز نتایج این روش دارای دقت بالایی هستند. با محاسبه خطای مطلق هر عنصر و

جدول ۵- نمونه‌گیری و ساخت سیال اولیه ناحیه نفتی یک مخزن گاز میعانی کم مایه با شرایط ابتدایی اشباع پس از ۵ سال تولید گاز

اجزاء	ترکیب اولیه	نفت تفکیک‌گر	گاز تفکیک‌گر	ترکیب مجدد	ECM2
N <sub>2</sub>	۱/۱۰۶	۰/۲۷۹۸	۳/۳۰۳۷	۲/۹۵۳۶	۱/۲۰۷۸
H <sub>2</sub> S	۳/۵۸۵	۳/۴۴۳۸	۳/۱۷۳۸	۳/۲۰۵۱	۳/۴۲۸۵
CO <sub>2</sub>	۱/۳۲۷	۰/۸۷۰۲	۱/۸۴۰۷	۱/۷۲۸۳	۱/۲۷۶۴
C <sub>1</sub>	۴۱/۶۳۳	۱۷/۲۰۷	۸۲/۹۵۳	۷۵/۳۴۲	۴۱/۵۴۵
C <sub>2</sub>	۵/۰۹۹	۳/۳۸۶۶	۵/۳۹۱۴	۵/۲۷۵۱	۴/۹۰۳۱
C <sub>3</sub>	۲/۸۶۵	۳/۷۸۴	۱/۸۶۱۱	۲/۰۸۴۲	۲/۷۹۰۴
IC <sub>4</sub>	۰/۸۵۱	۱/۴۴۳۹	۰/۳۴۸	۰/۴۷۴۹	۰/۸۴۰۸
NC <sub>4</sub>	۱/۶۶۵	۳/۰۱۹۹	۰/۵۵۱۳	۰/۸۳۷۱	۱/۶۵۰۷
IC <sub>5</sub>	۰/۸۹۸	۱/۸۱۲	۰/۱۷۱	۰/۳۶۱۰	۰/۸۹۹۹
NC <sub>5</sub>	۰/۹۸۵	۲/۰۲۲۲	۰/۱۵۴۸	۰/۳۷۱۰	۰/۹۸۸۳
C <sub>6</sub>	۲/۰۴۹	۴/۱۳۷۶	۰/۱۳۴۸	۰/۵۹۸۲	۲/۰۶۶۱
C <sub>7</sub> +	۳۷/۹۳۷	۵۷/۵۸۹	۰/۱۱۶۷	۶/۷۷۰۰	۳۸/۴۰۳

۱- خط نقطه شبنم گاز میعانی اولیه و باز ساخت شده با روش‌های ECM1 و ECM2  
 ۲- خط نقطه شبنم گاز میعانی ساخته شده با روش ترکیب مجدد نمونه‌های تفکیک کننده در GOR تولیدی  
 ۳- خط نقطه حباب گاز میعانی اولیه و باز ساخت شده



شکل ۵- نمودار فازی سیالات اولیه و بازساخت شده یک مخزن گاز میعانی کم مایه در ابتدا اشباع

### نتیجه‌گیری

میعانی با شرایط ابتدایی اشباع به دلیل اینکه از ابتدای تولید فشار مخزن از فشار نقطه شبنم اولیه پایین تر است، روش دقیقی برای تهیه سیال اولیه این مخزن وجود نداشت.

با بررسی‌های انجام شده در این تحقیق، در انواع مخازن گاز میعانی نتیجه‌گیری می‌شود که روش اختلاط تماس تعادلی جهت به دست آوردن سیال اولیه انواع مخازن گاز میعانی کاربردی بوده و دقت بسیار بالایی دارد. با تقسیم بندی این روش به سه روش ECM1 و ECM2 و ECM1/ECM2 این

روش مرسوم شرکت‌های نفتی و گازی دنیا جهت تهیه سیال اولیه مخازن گاز میعانی، نمونه‌گیری از تفکیک‌گرهای سطح الارضی در یک بازه زمانی محدود و ترکیب مجدد نمونه‌های حاصل می‌باشد. این روش دارای محدودیت زمانی بسیار کوتاهی در مخازن گاز میعانی با شرایط ابتدایی زیر اشباع بوده و با کاهش فشار عمده مخزن به زیر فشار نقطه شبنم اولیه، دیگر کاربردی ندارد. در مخازن گاز



بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، مناسب‌ترین روش و در واقع تنها روش دقیق در تهیه سیال اولیه مخازن گاز میعانی روش ECM می‌باشد که متأسفانه در حال حاضر در دنیا از آن استفاده نمی‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که روش قدیمی و نامناسب ترکیب مجدد کنار گذاشته شده و از روش دقیق ECM به جای آن استفاده شود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی نفت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد.

نتیجه به دست می‌آید که روش‌های ECM1 و ECM2 و ECM1 سیال اولیه مخازن گاز میعانی با شرایط ابتدایی اشباع را با دقت بالایی پیش‌بینی می‌کنند. روش ECM2 نیز بهترین روش برای ساخت سیال اولیه مخازن گاز میعانی با شرایط ابتدایی زیر اشباع می‌باشد. همچنین با انطباق کامل نمودار فازی سیال‌های حاصل از روش‌های ECM بر نمودار فازی سیال اولیه، مشاهده شد که این سیال‌ها خواص فازی بسیار نزدیکی با سیال اولیه دارند. در حالی که نمودار فازی سیال‌های حاصل از روش ترکیب مجدد، اختلاف قابل توجهی با نمودار فازی سیال اولیه دارند، بنابراین، به تبع آن خواص فازی آنها نیز تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر خواهد داشت.

### مراجع

- [1]. Sampling Petroleum Reservoir Fluids, API recommended practice 44, Second edition, April 2003.
- [2] Chopra A. K., and Carter R.D., "Proof of the Two phase Steady State Theory for Flow thorough Porous Media", SPE Formation Evaluation Journal, Vol. 1, No. 6, pp. 603-608, Dec. 1986.
- [3]. Fevang Ø., and Whitson C.H., "Accurate Insitu Compositions in Petroleum Reservoirs", SPE 28829, Presented at European Petroleum conference, London, 25-27, Oct. 1994.
- [4]. McCain W. D. J., and Alexander, R. A., "Sampling Gas-Condensate Wells; Society of Petroleum Engineers Journal", Vol. 7, No. 3, pp. 358-362, Aug. 1992.
- [5]. Standing M.B., "Volumetric and Phase Behavior of Oil Field Hydrocarbon systems", 8<sup>th</sup> printing, Society of Petroleum Engineers, Dallas 1977.
- [6]. Danesh A., *PVT and Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids*, Elsevier, 2003.
- [7] Reffstrup J., and Olsen H., "Evaluation of PVT data from low permeability gas condensate reservoirs" Kluwer academic press, pp. 289-296, 1994.