کاهش زمان محاسباتی شبیه‌سازی فرایند تزریق گاز امتزاجی دریکی از مخازن هیدروکربوری کشور

غلامرضا بشیری*، سید مجید هاشمی پژوهشکده ازدیاد برداشت از مخازن نفت و گاز

چکیده

در این مقاله، روش نیولی-میریل[۱] که یکی از روشهای معمول در گروه‌بندی عناصر هیدروکربوری است، توسعه داده شده، عملکرد آن در شبیه‌سازی فرآیند تزریق گاز امتزاجی بررسی می گردد. روش گروه‌بندی بکارگرفته شده براساس حداقل نمودن تفاوت بین ثابت‌های تعادل عناصر اولیه با ثابت‌های تعادل شبه‌جزءها[۱] استوار است. پس از این مرحله، با استفاده از قوانین اختلاط تجربی، روابطی برای محاسبه خواص هریک از شبه‌جزءها از قبیل درجه حرارت بحرانی، جرم‌مولکولی، فشار بحرانی و ضریب بی‌مرکزی ارائه می گردد. نتایج بکارگیری روش توسعه داده شده در شبیه‌سازی آزمایش‌های معمول فشار-حجم-دما و همچنین شبیه‌سازی ترکیبی آزمایش لوله‌قلمی[۲] مربوط به سیال یکی از مخازن هیدروکربوری کشور، تطابق قابل‌قبولی با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد. مقایسه زمان محاسباتی شبیه‌سازی ترکیبی بین دو حالت قبل و بعد از گروه‌بندی عناصر حاکی از کاهشی بیش از ۵۰٪ در زمان محاسباتی است. این روش، در ابتدا برای سیستمهای سیال گاز میعانی ارائه شده اما در این پژوهش، کارائی آن در سیستمهای نفتی نیز به اثبات رسیده است.

واژگان کلیدی گروه‌بندی عناصر در سیستمهای نفتی، تزریق گاز امتزاجی، اختلاط تجربی، شبیه‌سازی ترکیبی آزمایش لوله قلمی

مقدمه

در فرآیندهای تزریق گاز، انتقال جرم به‌طور قابل‌توجهی بین گاز تزریقی و نفت مخزن روی می‌دهد. نتیجه‌ی این تغییرات در ترکیب، ممکن است منجر به انحلال گاز در نفت و جابجایی بسیار پربازده نفت گردد. شبیه‌سازهای ترکیبی مخزن که از معادلات حالت سه‌پارامتری جهت محاسبات فازی استفاده می کنند، برای پیش‌بینی قابل‌قبول این نوع فرآیندها لازم است. هیدروکربن‌های طبیعی مخزن از هزاران جزء مختلف تشکیل شده و گروه‌بندی برشهای نفتی در محاسبات ترکیبی کاربرد وسیعی داشته است. رایج‌ترین روش، استفاده از اجزای جداگانه تا C_6 و قراردادن اجزاء سنگین‌تر در برش C_{7+} است. ولی این شیوه در شبیه‌سازی ترکیبی که به حداقل تعداد اجزاء جهت رسیدن به حداکثر سرعت انجام محاسبات نیاز دارد، روشی بهینه نیست. ترکیب مورد نیاز سیال می‌تواند با نوع محاسبات مورد نیاز تغییر کند؛ به‌طور مثال، رفتار فازی یک مخزن نفت تحت اشباع را می‌توان تنها با دو جزء، مدل‌سازی کرد[۲].

امروزه کاربرد معادلات حالت در پیش‌بینی رفتار فازی سیالات هیدروکربوری به‌طور چشمگیری گسترش یافته است. این معادلات در قالب مدلهای شبیه‌ساز ترکیبی در مطالعه مخازن گاز میعانی، نفت فرار و همچنین شبیه‌سازی فرآیند امتزاج در پروژه‌های تزریق گاز به‌کار گرفته می‌شود. به‌هنگام کاربرد مدلهای ترکیبی، یکی از مسائل اساسی، چگونگی توصیف جزء سنگین سیال است. انجام پژوهشهای بسیار نشان می‌دهد، چنانچه جزء سنگین سیال به‌طور صحیح توصیف شده باشد، معادلات حالت، می‌تواند رفتار فازی سیالات هیدروکربوری را به‌دقت پیش‌بینی کند. وجود حتی مقدار ناچیزی از جزء سنگین، باعث تغییرات بسیار در رفتار فازی سیستم سیال می گردد. این پژوهشها نشان می‌دهد که به‌منظور پیش‌بینی دقیق رفتار فازی سیالات هیدروکربوری، باید جزء سنگین سیال به تعداد عناصری با عدد کربنی واحد بسط داده شود[۳]. هرچند این عمل سبب افزایش دقت پیش‌بینی چگونگی رفتار سیال می‌شود، ولی از سوی‌دیگر، باعث افزایش تعداد اجزای سیال شده و کار با شبیه‌ساز ترکیبی را وقت‌گیر، پر هزینه و در بعضی موارد غیرممکن می‌سازد. به‌همین دلیل، همواره در کاربرد اینگونه مدلها روشهایی که از یک طرف توصیف مناسبی برای سیال مخزن ارائه داده و زمان محاسباتی عمل شبیه‌سازی را به حداقل ممکن برساند و از طرف‌دیگر، بر روی دقت و کارایی مدل نیز اثر سوء نداشته باشد، مورد توجه بوده است. اینگونه روشها اغلب تحت عنوان "روشهای گروه بندی عناصر سیال هیدروکربوری" مورد بررسی قرار می گیرد[۴].

۱-روش گروه‌بندی نیولی-میریل

در این روش، انتخاب شبه‌جزءها با استفاده از مقادیر ثابت تعادل مربوط به هر جزء، که از معادلات حالت پیش‌بینی می‌شود، انجام می گیرد. هدف، حداقل کردن تفاوت بین مقادیر ثابت تعادل مربوط به اجزاء اولیه و مقادیر ثابت تعادل مربوط به شبه‌جزءهای نهایی است. بدین طریق اطمینان حاصل می‌شود که رفتار فازی پیش‌بینی شده تغییر قابل‌توجهی نمی کند. این روش برای سیستمهای گازی-میعانی ارائه شده است اما در این پژوهش کارائی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات(bashiri@nioc.rtd.ir)

آن در سیستمهای نفتی نیز به اثبات رسیده است.

۱-۱-روش انجام محاسبات

با فرض آنکه یک مدل معادله حالت چندجزئی داشته باشیم که با داده‌های واقعی تطابق داشته، شامل n_c جزء هیدروکربنی بوده و مقادیر ثابت تعادل این اجزاء عبارت باشد از:

$$k_i,\ i = 1, 2, .., n_c \qquad (۱)$$

این مدل چندجزئی باید به n_{pc} شبه‌جزء تبدیل شود. گروهی از اجزاء را که در یک گروه یکپارچه‌سازی شده‌اند، با نماد m(k) نمایش می‌دهیم. برای هر گروه مشخص k = ۱, ۲, ..., n_{pc}، m(k) و مقدار ظاهری ثابت تعادل به‌صورت معادله-۲ تعریف می‌شود:

$$K_k^a = \frac{\sum_{i\in m(k)} y_i}{\sum_{i\in m(k)} x_i} \qquad (۲)$$

که در اینجا x_i و y_i به‌ترتیب ترکیب جزئی در فاز مایع و بخار هستند. تابع هدف را می‌توان به شکل معادله-۳ تعریف نمود:

$$\sigma = \sum_k \sum_{i\in m(k)} \frac{\left(K_i - K_k^a\right)^2}{K_i^2} \qquad (۳)$$

برای خواص بحرانی دما، فشار و فاکتور(ω) Acentric روش ترکیب تجربی پیشنهاد شده به شکل معادله-۵ است.

$$T_{ck} = \frac{\sum_{i\in m(k)} T_{ci}\phi_i}{\sum_{i\in m(k)} \phi_i} \qquad (۵)$$

جدول ۱ | مشخصات عناصر و درصد ترکیب سیال

ردیف	نام عنصر	درصد مولی	ردیف	نام عنصر	درصد مولی
۱	N_2	۰/۱۲	۹	NC_5	۱/ ۷۳٤
۲	C_1	۳۲/٤۳۱	۱۰	C_6	۳/۲۲۱
۳	CO_2	۰/٤٥۷	۱۱	C_7	۲/۸۷۰
٤	C_2	۹/۱۱۰	۱۲	C_8	۳/٤۲۶
٥	C_3	٥/۶۹۹	۱۳	C_9	۳/۲۷۰
۶	IC_4	۱/۰٤۸	۱٤	C_{10}	۲/۹۲٥
۷	NC_4	۲/۷۸۳	۱٥	C_{11}	۲/۶۳۹
۸	IC_5	۱/۳۷۱	۱۶	C_{12+}	۲۶/۸۹۶

جدول ۲ | مشخصات عناصر و درصد ترکیب گاز تزریقی

ردیف	نام عنصر	درصد مولی	ردیف	نام عنصر	درصد مولی
۱	N_2	۰/٥۹۷	۶	IC_4	۰/۹۷۲
۲	C_1	۷۱/۷٤٥	۷	NC_4	۲/۰۱۳
۳	CO_2	۰/٤۶۲	۸	IC_5	۰/٥۶۶
٤	C_2	۱٥/۷۳۳	۹	NC_5	۰/٥٥۳
٥	C_3	۶/۹۷٥	۱۰	C_{6+}	۰/۳۸٤

جدول ۳ | مشخصات عناصر و درصد ترکیب سیال پس از گروه بندی

ردیف	نام عنصر	درصد مولی	ردیف	نام عنصر	درصد مولی
۱	$C_1 + N_2$	۳۲/٥۹	٥	$NC_5 + C_6$	٤/۹٥
۲	$C_2 + CO_2$	۹/٥۶	۶	$C_7 + C_8$	۶/۲۹
۳	$IC_4 + C_3$	۶/۷٤	۷	$C_9 + C_{10}$	۶/۱۹
٤	$IC_5 + NC_4$	٤/۱٥	۸	$C_{11} + C_{12+}$	۲۹/٥۳

که در آن فاکتور وزنی به شکل معادله-۶ تعریف می‌شود.

$$\phi_i = \sqrt{x_i^s y_i^s} \qquad (۶)$$

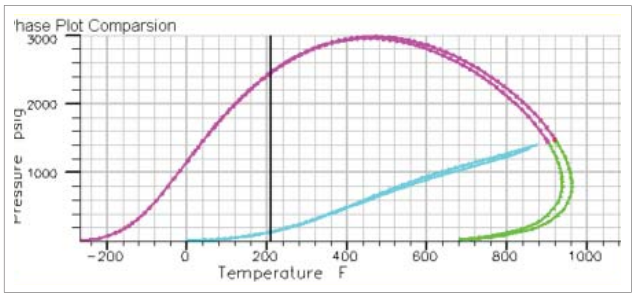
x_i^s و y_i^s ترکیبات فاز مایع و گاز در فشار اشباع هستند. این رابطه برای فشار بحرانی و ω نیز به همین شکل است. برای سیستمهای گازی-میعانی این رابطه با جایگزینی حاصل ضرب جزء مولی کل z_i و معکوس ریشه دوم K_i به‌دست می‌آید(معادله-۷).

$$T_{ck} = \frac{\sum_{i\in m(k)} T_{ci} z_i K_i^{-1/2}}{\sum_{i\in m(k)} z_i K_i^{-1/2}} \qquad (۷)$$

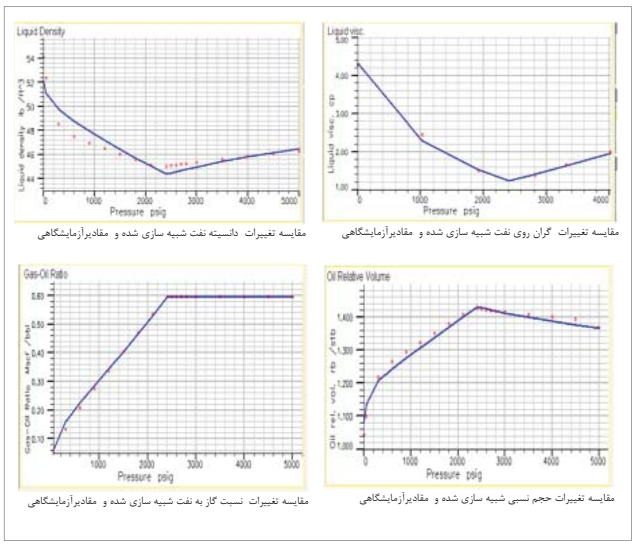
فاکتورهای تصحیح حجم با استفاده از تکنیک Jhaveri & Youngern or Peneloux et al محاسبه می‌شوند(معادله-۸).

$$S_k = \sum_{i\in m(k)} \frac{S_i b_i z_i}{b_k z_k} \qquad (۸)$$

که در آن S_i فاکتور تصحیح حجم برای جزء iام در حالت خالص می‌باشد. ضریب برهمکنش دوجزئی δ_{ij} را نیز می‌توان با توسعه قوانین ترکیب مطابق معادله-۹بدست آورد.



شکل ۱ | مقایسه نمودار فازی سیستم سیال هیدروکربوری قبل و پس از گروه بندی‌عناصر



مقایسه تغییرات گران روی نفت شبیه سازی شده و مقادیرآزمایشگاهی

مقایسه تغییرات دانسیته نفت شبیه سازی شده و مقادیرآزمایشگاهی

مقایسه تغییرات حجم نسبی شبیه سازی شده و مقادیرآزمایشگاهی

مقایسه تغییرات نسبت گاز به نفت شبیه سازی شده و مقادیرآزمایشگاهی

شکل ۲ | مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مقادیر آزمایشگاهی پس از گروه‌بندی عناصر

$$a_{ij} = (a_i a_j)^{1/2}(1-\delta_{ij}) \quad (۹)$$

برای پارامتر برهمکنش بین دو شبه‌جزء k و l داریم:

$$\delta_{kl} = \frac{\sum_{i\in m(k)}\sum_{j\in m(l)} \delta_{ij}(x_i y_i)^{1/2}(x_i y_i)^{1/2}\delta_{ij}}{\sum_{i\in m(k)}\sum_{j\in m(l)}(x_i y_i)^{1/2}(x_i y_i)^{1/2}} \quad (۱۰)$$

۱-۳-الگوریتم روش نیولی- میریل

فرآیند شبه‌جزءسازی شامل مراحل زیر است:

۱-تعیین فشار اشباع با استفاده از ترکیبات در یک دمای مشخص (دمای مخزن)

۲- مرتب کردن اجزاء براساس مقدار ثابت تعادل هر کدام در فشار اشباع.

۳- فرض کردن یک روش متداول یکپارچه‌سازی شبه‌جزءها.

۴- جابجایی تک‌جزءها در بین شبه‌جزءهای مجاور به‌منظور حداقل کردن تابع هدف.

۵- محاسبه خواص شبه‌جزءها با استفاده از قوانین اختلاط.

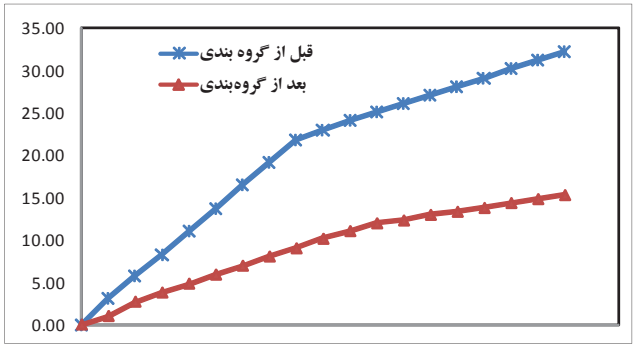
۶-مقایسه دیاگرام فازی دو سیستم سیال قبل و بعد از گروه‌بندی در دمای مخزن

۷- بازگشت به مرحله سوم در صورت عدم تطابق مناسب

در این پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد روش مذکور، دو مرحله آخر به الگوریتم فوق اضافه ودر شبیه‌سازی فرآیند تزریق گاز یکی از مخازن هیدروکربوری کشور به‌کار گرفته شده است.

۲- مشخصات میدان مورد مطالعه

میدان مورد نظر در ۱۲۰ کیلومتری شمال‌غرب شهر اهواز واقع شده و سازندهای تولیدی میدان از گروه زمین‌شناسی بنگستان و آسماری هستند. سیال ارزیابی شده در این پژوهش از سازند آسماری میدان نمونه‌گیری شده و درجه API آن ۲۵ است. میدان مورد نظر در حال حاضر دارای ۶ حلقه چاه تولیدی است. فشار اولیه میدان ۵۶۰۰ و فشار حال حاضر آن ۴۷۳۰ پام نسبی بوده و با توجه به فشار نقطه حباب که ۲۴۰۸ پام نسبی گزارش گردیده، مخزن تحت اشباع و فاقد کلاهک گازی است. روش تزریق گاز امتزاجی به‌عنوان یکی از سناریوهای ازدیاد برداشت در این میدان در نظر گرفته شده است. در این راستا، آزمایش‌های شرح داده شده دربخش بعدی بر روی نمونه سیال انجام شده است.



شکل ۳ | مقایسه زمان محاسباتی شبیه سازی آزمایش لوله قلمی در فشار ۴۰۰۰ (Psig) قبل و پس از گروه بندی عناصر

۳- آزمایش‌های انجام شده

آزمایش‌های معمول فشار–حجم–دما بر روی نمونه سیال چاه شماره ۲ میدان که از عمق ۳۴۷۰ متری گرفته شده بود، انجام گرفت. این آزمایش‌ها شامل آزمایش انبساط با جرم ثابت[۴] و آزمایش انبساط مرحله‌ای[۵] و تعیین گرانروی سیال در دمای ۲۱۰ درجه فارنهایت است. مشخصات عناصر و درصد ترکیب سیال مورد مطالعه در جدول-۱ درج شده است.

به‌منظور تعیین حداقل فشار امتزاج نفت مخزن با گاز تفکیک‌کننده، آزمایش لوله‌قلمی در فشارهای ۴۰۰۰، ۴۳۰۰، ۴۶۰۰ و ۴۸۰۰ پام نسبی و در دمای مخزن انجام گرفت. گاز تزریقی در این آزمایش‌ها، گاز خروجی از تفکیک‌کننده مرحله اول بوده که دارای وزن مولکولی ۲۲/۵۴ گرم در هر گرم مول و ۷۱/۷۴۵ درصد مولی متان است. گاز تزریقی توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی آنالیز کامل گردیده که نتایج حاصل آنالیز در جدول-۲ مشاهده می‌شود. سرعت تزریق گاز در تمام آزمایش‌های جابجائی ۵ (m^3/hr) انتخاب شد و در هر فشار آزمایش، نفت مخزن بوسیله گاز تزریقی از بالا به پائین جابجا می‌گردید. مشخصات گاز تزریقی استفاده شده در آزمایش لوله قلمی در جدول-۲ درج گردیده است.

٤-ارزیابی روش توسعه داده شده

بررسی کارائی روش گروه‌بندی توسعه داده شده در دو مرحله انجام گرفت: در مرحله نخست، میزان تطابق بین مقادیر پیش‌بینی شده بوسیله شبیه‌ساز رفتار فازی سیال با مقادیر آزمایش‌های معمول فشار–حجم–دما بررسی و سپس میزان تأثیر عمل گروه‌بندی بر کاهش زمان محاسباتی شبیه‌ساز ترکیبی در آزمایش لوله‌قلمی ارزیابی گردید.

جدول ۴ | مقایسه بین میزان بازیافت نفت آزمایشگاهی وشبیه سازی آزمایش لوله قلمی

ردیف	فشار(Psig)	درصد بازیافت (آزمایشگاهی)	درصد بازیافت شبیه سازی(پس از گروه بندی)	درصد میزان خطا(پس از گروه بندی)
۱	٤۰۰۰	۶۶/۸۳	۶۸/۲۱	۲/۰۶
۲	٤۳۰۰	۸۰/۱۰	۸۱/۶۳	۱/۹۱
۳	٤۶۰۰	۹۰/۳۰	۹۲/۱۲	۲/۰۱
٤	٤۸۰۰	۹۰/۸۲	۹۲/۷٤	۲/۱۱

جدول ۵ | مقایسه بین زمان محاسباتی شبیه ساز ترکیبی،قبل و بعد از گروه بندی

ردیف	فشار(Psig)	زمان محاسباتی(دقیقه) (قبل از گروه بندی)	زمان‌محاسباتی(دقیقه) (پس از گروه بندی)	درصد کاهش زمان محاسباتی
۱	٤۰۰۰	۳۲/۱۵	۱۵/۲۳	۵۲/۶۲
۲	٤۳۰۰	۳۱/۹۳	۱۲/۳۷	۶۱/۲۵
۳	٤۶۰۰	۳۲/۳٤	۱۱/۹۳	۶۳/۱۱
٤	٤۸۰۰	۳۲/۵۶	۱۱/٤۲	۶٤/۹۲

٤-١-شبیه‌سازی آزمایش‌های فشار-حجم-دما

با استفاده از روش توسعه داده شده، عمل گروه‌بندی بر روی سیال انجام و تعداد عناصر از ۱۶ عنصر به ۸ عنصر کاهش داده شد. جدول-۳ عناصر و درصد ترکیب جدید سیال مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به‌منظور ارزیابی اولیه روش توسعه داده شده در گروه‌بندی عناصر، دیاگرام فازی دو سیستم سیال رسم و مقایسه گردید. شکل-۱ دیاگرام فازی سیال را قبل و پس از گروه‌بندی نشان می‌دهد؛ همانطوری که در شکل نیز مشخص است، تطابق مناسبی بین دو دیاگرام فازی در نواحی نزدیک به دمای مخزن(۲۱۰ درجه فارنهایت)، مشاهده می گردد. تطابق به‌دست آمده بیانگر این واقعیت است که عمل گروه‌بندی و کاهش تعداد عناصر سیستم بر روی رفتار فازی سیال تاثیر منفی نداشته است.

در مرحله بعد آزمایش‌های معمول فشار-حجم-دما با استفاده از معادله حالت پنگ‌رابینسون سه‌پارامتری شبیه‌سازی گردید. شکل-۲ مقایسه نتایج شبیه‌سازی رفتار سیال با نتایج آزمایشگاهی را بعد از گروه‌بندی عناصر با استفاده از روش توسعه یافته نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل‌ها مشخص است، کاهش تعداد عناصر سیستم سیال در روند شبیه‌سازی خللی ایجاد نکرده و رفتار فازی سیستم سیالِ گروه‌بندی شده با نتایج آزمایشگاهی از تطابق مناسبی برخوردار است.

٤-٢-شبیه‌سازی آزمایش لوله‌قلمی

با به‌کارگیری مدل شبیه‌ساز ترکیبی Eclipse300 آزمایش لوله‌قلمی در فشارهای انجام شده شبیه‌سازی گردید. در این شبیه‌سازی، از مدل تک‌بعدی به طول ۲۱ متر برابر با طول واقعی لوله‌قلمی آزمایشگاه استفاده گردید. با توجه به درصد تخلخل و مشخصات لوله‌قلمی مورد استفاده در آزمایشگاه، ابعاد بلوکها در جهت Y و Z در مدل تک‌بعدی چنان محاسبه گردید که میزان نفت درجا در ابتدای آزمایش و آغازسازی مدل شبیه‌ساز یکسان باشد. جدول-۴ مقایسه بین نتایج حاصل از میزان بازیافت نفت در شرایط آزمایشگاه و نتایج شبیه‌سازی شده در فشارهای مختلف پس از گروه‌بندی عناصر با روش توسعه یافته را نشان می‌دهد؛ همانگونه که در جدول-۴ مشخص است، تطابق مناسبی بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی مشاهده و درصد خطای پیش‌بینیِ میزان بازیافت نفت پس از گروه‌بندی عناصر حدود ۲درصد است.

همانطورکه در مقدمه مقاله عنوان گردید، هدف اصلی از گروه‌بندی عناصرِ سیال، کاهش زمان محاسباتی به هنگام کاربرد شبیه‌سازهای ترکیبی است. در این راستا، زمان محاسباتی شبیه‌سازی لوله‌قلمی در دو حالت قبل و پس از گروه‌بندی عناصرِ سیال، مورد مقایسه قرار گرفت. جدول-۵ نتایج این مقایسه را نشانَ می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود، نتایج، کاهش بیش از ۵۰ درصد را در زمان محاسبات شبیه‌سازی تزریق گاز امتزاجی نشان می‌دهد. به‌طورنمونه، تغییرات نمودار زمان محاسباتی نسبت به مراحل زمانی[6] شبیه‌سازی آزمایش لوله‌قلمی در فشار (Psig) ۴۰۰۰ در شکل-۳ نشان داده شده است.

نتیجه گیری

روش گروه‌بندی نیولی- میریل توسعه و به‌طور عملی در شبیه‌سازی آزمایش‌های معمول فشار-حجم-دما و آزمایش لوله‌قلمی بر روی یکی از مخازن هیدروکربوری کشور به‌کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد با به‌کارگیری روش مذکور در گروه‌بندی عناصر تطابق مناسبی بین دیاگرام فازی سیستم سیال قبل و بعد از گروه‌بندی وجود دارد. پس از کاهش تعداد عناصر سیستم سیال با استفاده از معادله حالت پنگ رابینسون سه‌پارامتری آزمایش‌های معمول فشار - حجم - دما بر روی سیال شبیه‌سازی و تطابق مناسبی بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی ملاحظه گردید. این مطلب دلیل بر عدم تاثیر منفی عمل گروه‌بندی بر روی رفتار فازی سیستم سیال می‌باشد. در شبیه‌سازی ترکیبی آزمایش لوله قلمی نیز تطابق بسیار خوبی بین نتایج آزمایشگاهی میزان بازیافت نفت با نتایج شبیه‌سازی پس از کاهش تعداد عناصر مشاهده گردید، به‌طوری که درصد خطای پیش‌بینی میزان بازیافت نفت پس از گروه‌بندی عناصر حدود ۲درصد است.

هدف اصلی از گروه‌بندی عناصر، کاهش زمان محاسباتی شبیه‌سازی ترکیبی در پروژه‌های تزریق گاز امتزاجی است. مقایسه زمان محاسباتی شبیه‌سازی ترکیبی بین دو حالت قبل و بعد از گروه‌بندی عناصر حاکی از کاهشی بیش از ۵۰ درصد در زمان محاسباتی است.■

پانویس‌ها

1. Pseudo-components
2. Slim Tube Test
3. Single Carbon Number
4. Constant Composition Expansion
5. Differential Liberation
6. Time Steps

منابع

[1].T.M.J Newley & R.C. Merrill; "Pseudo component selection for compositional simulation", SPE – Reservoir Engineering November (1991)

[2].Ali Danesh & Dong Hai Xu; "A Grouping Method to Optimize Oil Description For Compositional Simulation of Gas Injection Processes.", SPE – Reservoir Engineering August (1992)

[3].Pedersen,K.S,Thomassen,P.; "Thermodynamics of Petroleum Mixtures", Ind & Eng Chem.Proc , Dec. (1985),24,984

[4].Kai.Liu; "Fully Automatic Procedure for Efficient Reservoir Fluid Characterization", SPE Annual Technical Conference Houston, Texas, 3 – 6 October (1999)

[5].Kai.Liu; "Reduce the Number of Components for Compositional Reservoir Simulation", SPE- Reservoir Simulation Symposium Houston, Texas, 11 – 14 February (2001)