

مدلسازی مکانیزم های نفوذپذیری و همراه بردگی آسفالتین در مخازن نفتی کانادا

سید فخرالدین طاهرزاده موسویان : باشگاه پژوهشگران جوان، واحد امیدیه، امیدیه، ایران

منصور کاظمی مقدم : فوق دکتری مهندسی شیمی، استادیار، عضو هیئت علمی گروه مهندسی شیمی، دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران

taherzadeh.res@gmail.com

چکیده:

تحلیل شرایط مخازن از لحاظ میزان رسوب آسفالتین و میزان ماسه تولیدی به هنگام استخراج نفت با برشهای هیدروکربوری تقریباً یکسان در طول زمان برداشت، از مهمترین مسائل در ازدیاد برداشت و یا ثابت نگاه داشتن شرایط برداشت از مخازن می باشد. با افزایش میزان رسوب آسفالتین در مخزن و نشست سطحی آن لذا با انسداد گلوگاه های حفره ها دبی خروجی کاهش می یابد و نیز با تغییر ترشوندگی سنگ از آب- دوست به نفت- دوست در نتیجه جذب این مواد بر روی سنگ لذا بخشی از نفت به درون سنگهای مخزن هدر رفته و به مرور زمان میزان برشهای سنگین افزایش یافته و مشخصات نفت را سنگین تر و از مرغوبیت آن در طول زمان می کاهش دهد. در این راستا تحلیل و بررسی روی رسوب آسفالتین و ارائه مدلی جهت پیش بینی و پیشگیری از این معضل از شرایط مهم تحلیل مخزن است. این مقاله با استفاده از داده های مکانیکی مخزن کانادایی و مشخصات نفت آن و با استفاده از مدل پایه Wang و ارائه مدل پیشنهادی ارائه شده است که ابتدا مدل پیشنهادی را بر اساس شرایط مرزی و اولیه معادله بصورت تحلیلی حل می نماییم و سپس در نمودارهایی به تحلیل تاثیر نفوذ پذیری در دبی های مختلف تزریق می پردازیم و میزان انحراف داده های تجربی آزمایشگاهی را با داده های مدلینگ مقایسه کرده و مدل را اعتبار سنجی می نماییم.

واژه های کلیدی: آسفالتین، مخزن نفتی، نفوذ پذیری، همراه بردگی، مدلسازی

۱- مقدمه:

یکی از مهمترین پدیده ها در صنعت نفت رسوب مواد آلی سنگین از جمله آسفالتین می باشد. شرایط عملیاتی مختلف اعمال شده بر روی مخازن نفتی باعث بروز مشکل رسوب آسفالتین در مخازن می گردد. از جمله این موارد کاهش طبیعی فشار، اسید کاری، تزریق امتزاجی گاز و ... می باشد. روش های ازدیاد برداشت از جمله تزریق امتزاجی گاز شدیداً تابع رفتار فازی نفت مخزن می باشند و هرگونه تغییر ناگهانی در رفتار فازی به دلیل رسوب مواد آلی باعث از دست رفتن تولید و کاهش بهره دهی و در نتیجه اقتصادی نبودن پروژه می شود. [۱] از طرفی تحقیقات نشان می دهد که رسوب آسفالتین در مخازن، چاه ها و تجهیزات سرچاهی در اثر افت فشار، باعث تغییر تراوایی مخزن و یا مسدود نمودن چاه ها، لوله های مغزی، خطوط لوله و تجهیزات پالایشگاهی شده، در نتیجه اثر منفی روی بازده اقتصادی عملیات بهره برداری خواهد داشت. در حال حاضر روش های پاکسازی شیمیایی و مکانیکی جهت نگهداشت سقف تولید به کار گرفته می شوند که باعث تحمیل هزینه های گزاف به شرکت های نفتی می شود. آسفالتینها گروه انحلال پذیری هستند که در حضور مقادیر اضافی هیدروکربنهای مایع و سبکی مانند نرمال پنتان یا نرمال هگزان از نفت خام و نفت سنگین رسوب می کنند. مهمترین پارامترهایی که در رسوب مواد آلی سنگین از نفت خام تأثیر دارند عبارتند از: فشار، دما، ترکیب نفت، پتانسیل جریانی و با تغییر این پارامترها ماهیت رسوبهای تشکیل شده تغییر خواهد کرد. [۲]

مدل Wang

در این مدل (۱۹۹۹)، تئوری محلول ایده آل برای پیش بینی حلالیت و نشست پارافین و آسفالتین در نفت خام استفاده می شود. در این خصوص سعی شد تا یک مدل تک بعدی، سه فازی و چهار شبه جزئی برای نمایش انتقال رسوبات آسفالتین و پارافین برای توسعه داده شود. مدل نشست که در بر گیرنده نشست سطحی استاتیک و دینامیک و انسداد گلوگاه سوراخ هاست برای بیان نشست پارافین و آسفالتین استفاده گردید. برای توسعه مدل ریاضی فرضیات زیر انجام شد:

جریان عبوری از مغزه تک بعدی و افقی است.

۱- اثر وزن قابل اغماض است.

۲- اثرات فشار موئینه بن فازهای بخار و مایع می توند صرفنظر شود.

۳- دمای فازهای نفت، گاز و جامد در یک نقطه مکان، یکسان است.

در این مدل نشست همزمان پارافین و آسفالتین بصورت ریاضی بوسیله روابط موازنه جرم و انرژی و مومنتوم منطبق حل می شود. در این مدل یک سری دو متغیره درجه سه کوتاه شده، برای نمایش پوشش نشست آسفالتین استفاده شده است. این (Asphaltene deposition envelops (ADE) به صورت زیر است:

$$X_A = \alpha_1 + \alpha_2 P + \alpha_3 P^2 + \alpha_4 P^3 + \alpha_5 T + \alpha_6 PT + \alpha_7 P^2 T + \alpha_8 T^2 + \alpha_9 PT^2 + \alpha_{10} T^3$$

X_A : غلظت آسفالتین ترسیب یافته

: ضرایب α_1 و α_2 و ... و α_{10}

T: دما مخزن

P: فشار مخزن

برای اطلاعات بیشتر به مرجع مراجعه شود. مدل نشست دربرگیرنده نشست سطحی، انسداد گلوگاه سوراخ و حمل نشست (با مراجعه به مدل هسته Wang et al.) است. این مدل ها و مدل های کاهش نفوذ پذیری و تخلخل در یک شبیه ساز سه بعدی، سه فازی شرکت کرده اند. شبیه سازی که برای شبیه سازی نشست آسفالتین در مخازن استفاده شد، برای بازیابی اولیه نفت در چاه های افقی و عمودی توسعه داده شد. مشخص شد که آسفالتین می تواند در هر جایی بیشتر از نزدیک منطقه چاه نشست یابد و الگوی نشست آن در مخزن چاه عمودی و افقی به دلیل نرخ دبی بزرگ چاه های افقی تاحدودی متفاوت است. این اولین شبیه سازی است که می تواند آسیب سازند ایجاد شده توسط نشست آسفالتین را در مخزنی با چاه افقی حین بازیابی اولیه نفت شبیه سازی کند. هر چند مدول سری دو متغیره می تواند به طور رضایت بخشی نشست آسفالتین را به طور تجربی در محدوده دما و فشار مخزن ایجاد کند؛ اما این مدل پایه تئوری ندارد و فقط یک تطبیق منحنی بر داده ها Curve Fitting) است. [۳]

۲- مدل پیشنهادی :

هدف این مقاله تنظیم معادلات برای ترکیب مکانیسم های نشست سطحی و همراه بردگی می باشد که توسط آن بتوان در شرایط مختلف کاهش تراوایی سنگ مخزن که نهایتاً تولید را تحت تأثیر قرار می دهد پیش بینی نمود. [۴]

مدل پیشنهادی به صورت ذیل مفروض است:

$$\frac{\partial E_A}{\partial t} = \alpha C_A \varphi - \beta E_A (V_L - V_{Cr,L})$$

فرضیات مدل

برای توسعه مدل ریاضی فرضیات زیر انجام شد :

- ۱- جریان عبوری از مغزه تک بعدی و افقی است.
- ۲- اثر وزن قابل اغماض است.
- ۳- از اثرات فشار مویینه می توان صرفنظر شود.
- ۴- موازنه جرم برای دو جزء نفت و آسفالتین می باشد.
- ۵- دمای فازهای نفت، آسفالتین در یک نقطه مکان ، ثابت است.
- ۶- سیستم تک فاز مایع فرض می شود $S_L = 1$
- ۷- فرض بر این است که کل آسفالتین موجود در نفت، نشست می کند.

$$W_{SAL} = \text{Asphaltene Content}$$

شرایط مرزی و اولیه مدل پیشنهادی :

$$C_A = \cdot \quad \cdot \leq x \leq L \quad t = \cdot$$

$$E_A = \cdot \quad \cdot \leq x \leq L \quad t = \cdot$$

$$\varphi = \varphi. \quad \cdot \leq x \leq L \quad t = \cdot$$

$$K = K. \quad \cdot \leq x \leq L \quad t = \cdot$$

$$P = \text{فشار معکوس و عقب} \quad x = L \quad t > \cdot$$

با توجه به وابستگی و جفت بودن شدید معادلات با هم، معادلات مذکور فوق با استفاده از روش عددی implicit finit difference هم در زمان و هم مکان کوپل شده اند و با استفاده از روش نیوتن متلب ۲۰۱۱ حل شده است. مدل عدد ضمنی مناسب ارائه و با تکرار حل شده است. شبیه سازی عددی اجرا شده برای تعیین بهترین قیاس میان نتایج آزمایشگاهی و عددی بدست آمده است. نتایج آزمایشگاهی به منظور تصدیق مدل و شبیه سازی فرآیند نشست آسفالتین در محیط متخلخل استفاده شده است. [۵] نظر به پیچیده بودن این پدیده، در مدل پارامترهای تنظیمی وجود خواهد داشت که لازم است با داده های آزمایشی این پارامترها تنظیم گردد. جهت تنظیم این پارامترها از جعبه ابزار بهینه سازی (GA) نرم افزار متلب استفاده شده است. [۶]

۳- مشخصات دو نمونه از مخازن نفتی کانادا و مدل سازی آن بر اساس نتایج Minssieux

Minssieux اولین محقق است که آزمایش نشست آسفالتین را در محیط متخلخل انجام داد. او از چندین مغزه طبیعی مختلف با تراوایی های مختلف استفاده کرد و چندین نفت مرده با مقادیر مختلف آسفالتین را از آنها عبور داد که تا امروز همچنان از نتایج آزمایشات او برای تست کردن نتایج مدل سازی های مختلف استفاده می شود. در این مقاله تلاش شده است که از داده هایی با شرایط مشابه یعنی تزریق نفت زنده در محیط متخلخل موجود در منابع استفاده گردد که مشخصات تجربی در منابع برای این نفت و مغزه در جدول آمده است. همچنین از داده های مینسیوکس برای تزریق نفت مرده و بیرن در چهار مغزه از جنس سنگهای خاکی که در جدول ذیل داده های مربوطه آمده است، استفاده و مدل سازی بر اساس آن صورت گرفته است. برای این نفت هیچ داده تجربی در منابع موجود نبوده و تنها ترکیب درصد نفت مربوطه و محتوای آسفالتین آن (۳/۵٪) موجود بود. نتایج شبیه سازی با نتایج Wang مقایسه شده است. نمودارهای ۱ تا ۴ نتایج این شبیه سازی را نمایش می دهند. به وضوح نتایج شبیه سازی تطابق بسیار خوبی با داده های آزمایشگاهی دارد. پارامترهای مدل منطبق با داده های آزمایشگاهی جدول ۱ گزارش شده است. بر اساس این پارامترها، نشست سطحی در تمامی آزمایشات و انسداد گلوگاهی حفره ها در آزمایش GF۱ اتفاق افتاده است. کنده شدن نشست در آزمایشات GF۳، GV۵، GV۱۰ اتفاق افتاده است. [۷]

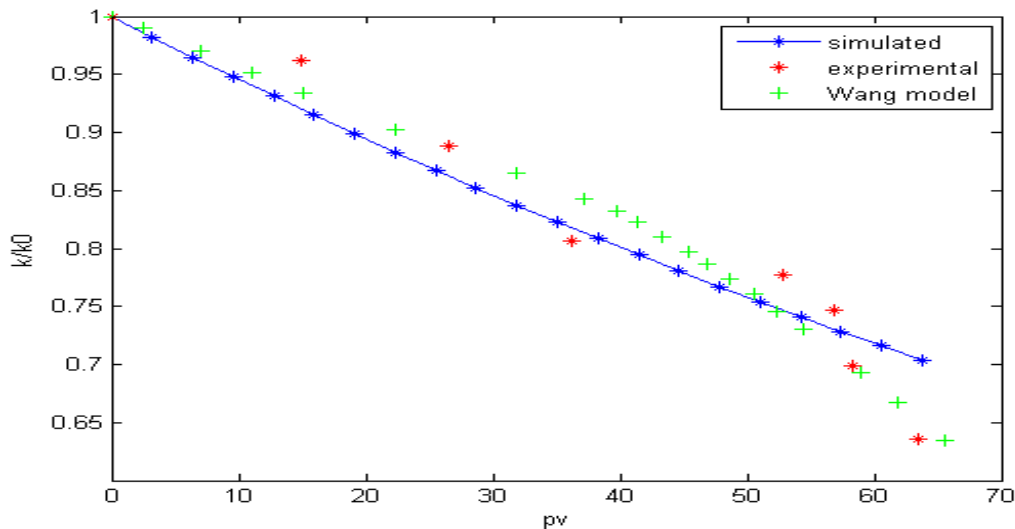
نمونه نفت	GF۱	GF۳	GV۵	GV۱۰
API	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹
میزان آسفالتین	۵,۳	۵,۳	۵,۳	۵,۳
$(cp)\mu_L$	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
% تخلخل	۱۳,۱	۱۳,۷	۲۴,۳	۲۴,۷
تراوایی (md)	۱۰۷	۷۷,۴	۱۸	۲۹
طول مغزه (cm)	۶	۶	۶	۶

۲,۳	۲,۳	۲,۳	۲,۳	قطر مغزه (cm)
۱۰	۱۰	۱۰	۵۰	$Q(cm^2/hr)$
۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	دما
۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	فشار انتهایی psia

جدول ۱: داده های مورد استفاده در شبیه سازی مدل انتخابی [۸]

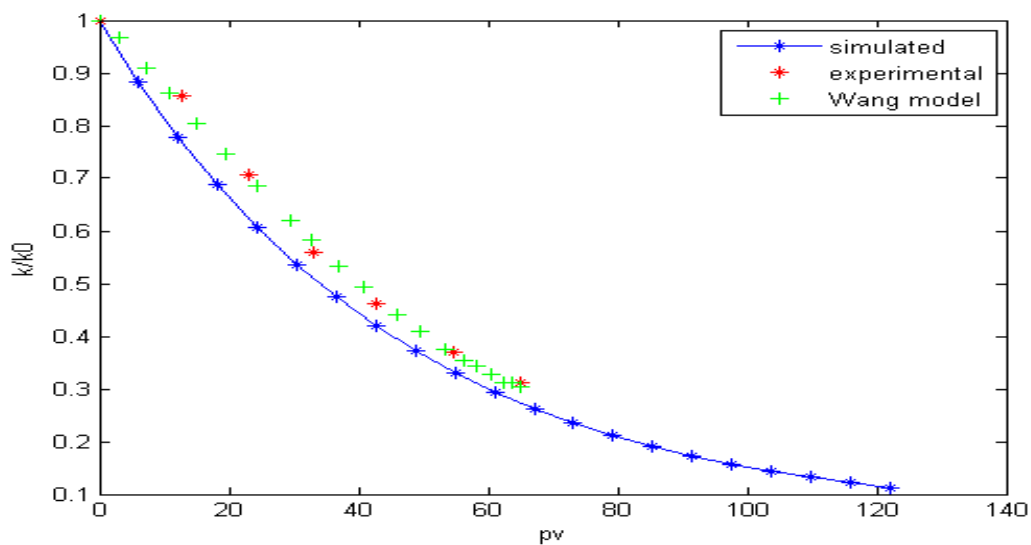
GV۱۰	GV۵	GF۳	GF۱	نمونه نفت
۰,۰۰۰۱۰۰	۰,۰۰۰۲۲۳	۰,۰۰۰۱۳۴	۰,۰۰۰۱۹۲	$\phi (1/sec)$
۰,۰۰۸۲۸۴	۰,۰۰۸۷۴۰	۰,۰۰۰۴۳۵	۰,۰۰۰۰۰۰	$\beta (1/cm)$
۰,۰۰۴۵۳۰	۰,۰۰۴۵۱	۰,۰۰۵۰۰	۰,۰۰۵۰۰	$v_{cr,L}(cm/sec)$

جدول ۲: پارامترهای حاصل از مدل منطبق با داده های آزمایشگاهی Minssieux



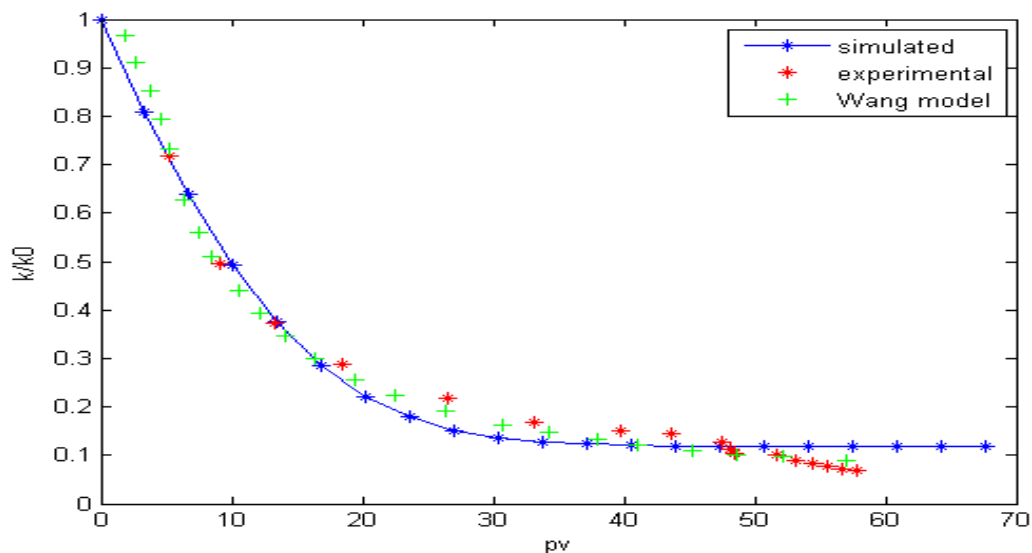
نمودار ۱: مقایسه نتایج شبیه سازی و داده های آزمایشگاهی برای تست Minssieux (GF) و مدل Wang

آزمایشات همزمان Minssieux که بعنوان GF۱ معرفی می شوند شامل جریان نفت Weyburn (نفت کانادا) سرتاسر ماسه سنگ Fontainebleau در دمای مخزن می باشد. مقدار آسفالتین ۵/۳٪ وزنی و مقدار رزین ۸/۵٪ وزنی می باشد. دیگر داده ها در جدول ۱ ارائه شده است و نتایج شبیه سازی شده در نمودار ۱ است که بر اساس تطابق نرخ ثوابتی که در جدول ۲ آورده شده ، تنها نشست سطحی دینامیکی اتفاق افتاده است. تطابق با میزان خطای ۰/۱۸ انجام گرفته است.



نمودار ۲: مقایسه نتایج شبیه سازی و داده های آزمایشگاهی برای تست *Minssieux* GF^۲ و مدل *Wang*

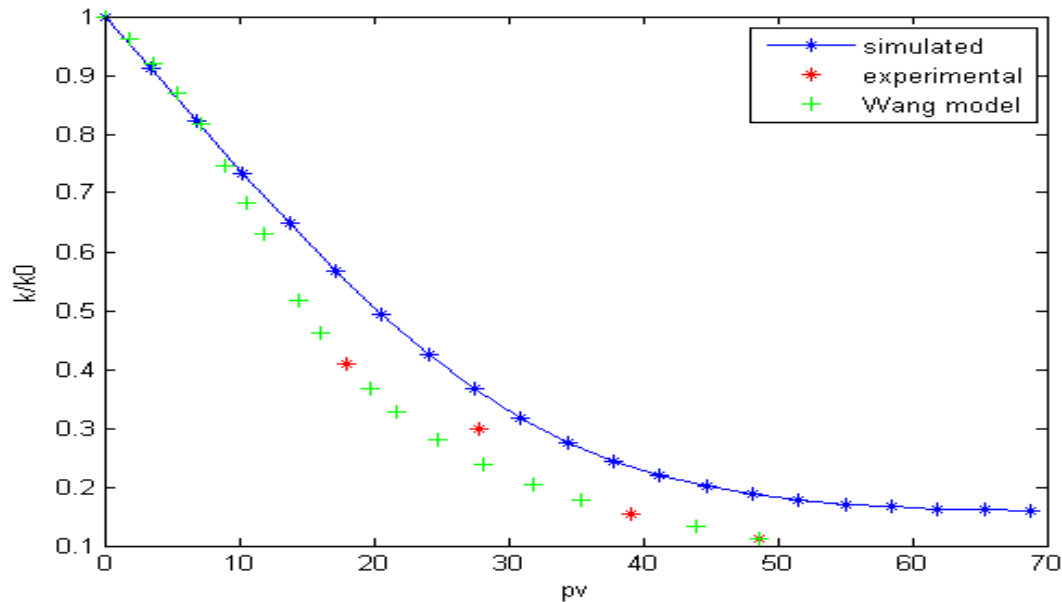
آزمایشات *Minssieux* که بعنوان GF^۳ معرفی می شوند شامل جریان نفت *Weyburn* (نفت کانادا) سرتاسر ماسه سنگ *Fontainebleau* در دمای مخزن می باشد. مقدار آسفالتین ۳/۵٪ وزنی و مقدار رزین ۵/۸٪ وزنی می باشد. دیگر داده ها در جدول ۱ ارائه شده است و نتایج شبیه سازی شده در نمودار ۲ نمایانگر آن است که بر اساس تطابق نرخ ثوابتی که در جدول ۲ آورده شده، هم نشست سطحی دینامیکی و هم مکانیسم همراه بردگی اتفاق افتاده است. مقدار خطا ۰/۰۷ گزارش شده است.



نمودار ۳: مقایسه نتایج شبیه سازی و داده های آزمایشگاهی برای تست *Minssieux* GV^۵ و مدل *Wang*

در این آزمایش با داده های *Minssieux* GV^۵ سرو کار دارد. ماسه سنگ *Vosges* در این آزمایش استفاده شده است. تخلخل ماسه سنگ ۲۴۳/۰ می باشد که بسیار بیشتر از تخلخل ماسه سنگ *Fontainebleau* می باشد. تراوایی ماسه سنگ

۱۸md است که بسیار کمتر از ماسه سنگ Fontainebleau می باشد. دیگر داده ها در جدول ۱ ارائه شده است و نتایج شبیه سازی با مقدار خطای ۰/۰۳ در نمودار ۳ نمایان است. در این آزمایش نشست سطحی دینامیکی و همراه بردگی براساس تخمین مقادیر نرخ ثوابتی که در جدول ۲ ارائه شده، اتفاق افتاده است.

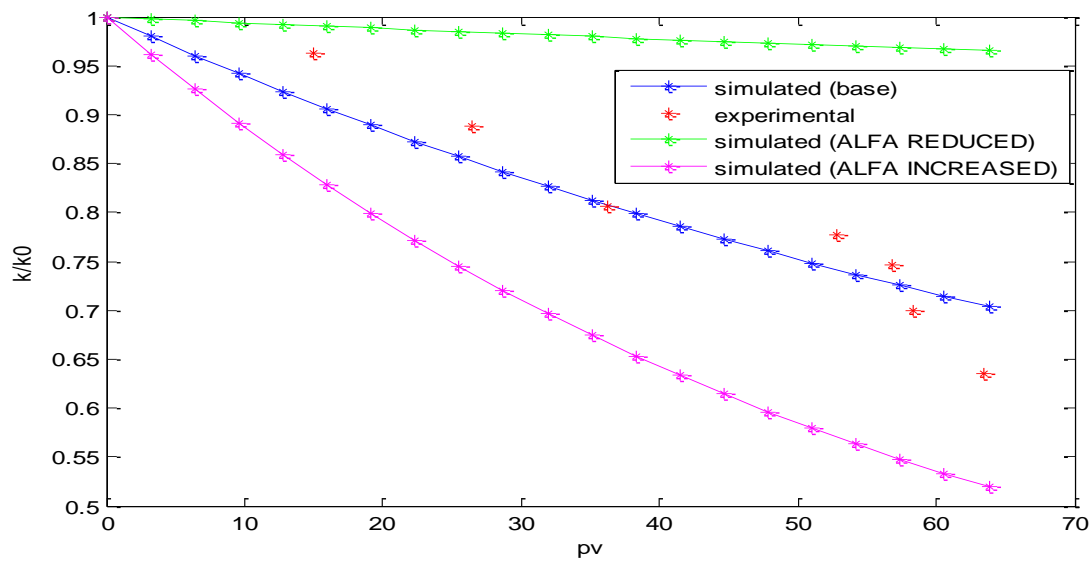


نمودار ۴: مقایسه نتایج شبیه سازی و داده های آزمایشگاهی برای تست $GV10 \cdot Minssieux$ و مدل Wang

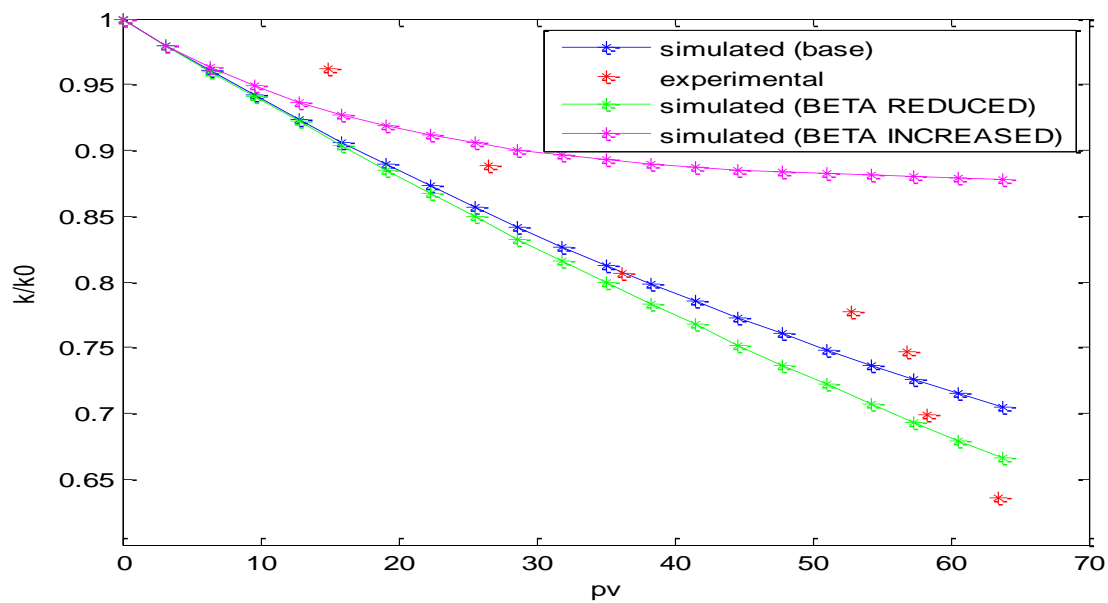
این آزمایش با داده های $GV10 \cdot Minssieux$ سرو کار دارد. ماسه سنگ Vosges در این آزمایش استفاده شده است. تخلخل ماسه سنگ ۰/۲۴۷ می باشد که بسیار بیشتر از تخلخل ماسه سنگ Fontainebleau می باشد. تراوایی ماسه سنگ ۲۹md است که بسیار کمتر از ماسه سنگ Fontainebleau می باشد. دیگر داده ها در جدول ۱ ارائه شده است و نتایج شبیه سازی با مقدار خطای ۰/۰۲ در نمودار ۴ نمایان است. در این آزمایش براساس تخمین مقادیر نرخ ثوابتی که در جدول ۲ ارائه شده، نشست سطحی دینامیکی و همراه بردگی اتفاق افتاده است.

– آنالیز حساسیت

جهت تجزیه و تحلیل اثر پارامترهای مختلف مکانیزم های پدیده نشست آسفالتین مانند نشست سطحی و همراه بردگی آنالیز حساسیت در مدل شبیه سازی انجام شد که نتایج آن در نمودارهای ۵ و ۶ آمده است. آنالیز حساسیت نشان می دهد که با افزایش ضریب مکانیزم نشست سطحی و سرعت بحرانی فاز مایع تراوایی سنگ کم و با افزایش ضریب مکانیزم همراه بردگی، تراوایی سنگ مخزن افزایش می یابد..



نمودار ۵: اثر پارامتر نشست سطحی بر تراوایی نسبی (GF۱)



نمودار ۶: اثر پارامتر همراه بردگی بر تراوایی نسبی (GF۱)

۵- نتایج و بحث:

۱. کاهش تراوایی ناشی از نشست آسفالتین در دبی کم تزریق نفت به سنگ مخزن افزایش یافته است.
۲. در دبی بالاتر، ابتدا تراوایی کاهش یافته تا به یک مقدار کمینه می رسد. پس از آن برخلاف حالت اول، تراوایی بهبود یافته و سپس ثابت می شود.
۳. کاهش فشار در دبی ثابت منجر به کاهش تراوایی می شود.

۴. هنگامی که تقعر به سمت پائین باشد مکانیزم نشست سطحی در کاهش تراوایی سنگ مخزن ناشی از نشست آسفالتین بیشترین تأثیر را دارند.
۵. هنگامی که تقعر به سمت بالا باشد افزایش تراوایی سنگ مخزن مشاهده می شود. آسیب سازند کم شده و بهبود می یابد در نتیجه سرعت افزایش یافته تا آنجا که ذرات رسوب کرده در مغزه کم شده و افزایش تراوایی را خواهیم داشت.
۶. با افزایش دبی تزریق نفت در سطح مقطع ثابت، سرعت سیال افزایش می یابد. آن زمان که سرعت از سرعت بحرانی فاز مایع بیشتر شود پدیده کنده شدن یا همراه بردگی ذرات آسفالتین رخ می دهد و تراوایی افزایش می یابد.
۷. با افزایش ضریب مکانیزم نشست سطحی، تراوایی سنگ کم و با افزایش ضریب مکانیزم همراه بردگی، تراوایی سنگ مخزن افزایش می یابد.
۸. با افزایش سرعت سرعت بحرانی فاز مایع تراوایی سنگ کاهش می یابد.

۶-مراجع:

- [۱]. Auflem, I.H., "Influence of Asphaltene Aggregation and Pressure on Crud Oil Emulsion Stability", in department of Chemical Engineering Nowegian University of Science and Technology ۲۰۰۲.
- [۲]. Leonatritis, K.J., ۱۹۹۸, Asphaltene Near-wellbor Formation Damage Modeling, paper SPE ۳۹۴۴۶, presented at the SPE Formation Damage Control Conference and Exhibition, held in Lafayette , Louisiana.
- [۳]. Wang, s., civan f., strycker a.r., ۱۹۹۹, "Simulation of Paraffin and Asphaltene Deposition En Porous Media ", Paper SPE ۵۰۷۴۶ Presented at the SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas.
- [۴]. Flory, P.J. J. Chem. Phys. ۱۹۴۱, ۹, ۶۶۰.
- [۵]. Huggins, M. J. J. Chem. Phys. ۱۹۴۱, ۹, ۴۴۰.
- [۶]. Zhu, B.Y., Gu, T. Colloids Surf. ۱۹۹۰, ۴۶, ۳۳۹-۳۴۵.
- [۷]. Minssieux , L., "Core Damage From Crude Asphaltene Deposition", in International Symposium on Oilfield Chemistry, ۱۸-۲۱ February ۱۹۹۷: Houston, Texas
- [۸] Alkafeef, S.F., ۲۰۰۱. "An Investigation of The Stability of Colloidal Asphaltene in Petroleum Reservoir". SPE ۶۵۰۱۸