

مقایسه عملکرد مدل MMFH و مدل جامد جهت پیش‌بینی اثر نوع و میزان تزریق گاز ترش بر تشکیل آسفالتین در مخازن نفتی

سید علی موسوی دهقانی

پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۰

چکیده

در این مقاله به بررسی عملکرد مدل MMFH و مدل جامد در پیش‌بینی اثر تزریق گازهای ترش بر میزان تشکیل آسفالتین در مخازن نفتی پرداخته می‌شود. آسفالتین به عنوان قطبی‌ترین و سنگین‌ترین جزء موجود در ترکیبات هیدروکربنی است که با به‌هم‌خوردن شرایط تعادلی آن در یک ترکیب نفتی در اثر تغییر عواملی همانند دما، فشار و ترکیب سیال از فاز هیدروکربنی جدا شده و فاز آسفالتین را تشکیل می‌دهد. علی‌رغم مطالعات و کارهای زیادی که برای مدل‌سازی رفتار فازی آسفالتین تحت تاثیر عوامل مختلف انجام شده‌است، به دلیل پیچیدگی‌های زیاد این ترکیبات تعداد بسیار محدودی مدل قادر به پیش‌بینی درست رفتار فازی آسفالتین می‌باشند. دو مدل مهم در این زمینه یکی مدل اصلاح شده میلر بر پایه تئوری محلول پلیمری فلوری-هاگینز و دیگری مدل جامد می‌باشد. پارامترهای هر دو مدل در ابتدا با تعدادی داده آزمایشگاهی برازش شده و سپس، اثر تزریق گازهای اسیدی در دما و فشارهای بالا بر روی میزان تشکیل آسفالتین با استفاده از مدل‌های مذکور پیش‌بینی می‌گردد. در بخش پیش‌بینی، پایداری مدل و نیز تطابق نتایج با تئوری‌ها و یا داده‌های آزمایشگاهی به‌عنوان ملاک مقایسه و برتری مدل‌ها انتخاب شده‌است. همان‌طور که در بخش نتایج دیده می‌شود، در هر دو مورد یعنی پایداری مدل و نیز تطابق با مشاهدات میدانی، تئوری و داده‌های آزمایشگاهی، مدل MMFH برتری نسبی بر مدل جامد مورد استفاده در نرم‌افزارهای تجاری دارد.

واژه‌های کلیدی: آسفالتین، تزریق گاز، سیال مخزن هیدروکربنی، مدل جامد، مدل MMFH، تئوری محلول پلیمری

مقدمه

تغییر در فشار (افزایش آن در اثر تزریق و یا کاهش آن به واسطه تولید) تعادل ترمودینامیکی مواد سنگین آلی نظیر آسفالت و آسفالتین و در ترکیبات نفتی، به‌هم‌خورده و در نتیجه ذرات جامد تشکیل و با سازوکارهای مختلف رشد کرده و یا در اثر حرکت در محیط متخلخل سازند و یا داخل ستون چاه تولیدی رسوب می‌کنند. کنترل و رفع رسوبات تشکیل شده در این شرایط بعضی مواقع غیر ممکن بوده و یا این‌که بسیار هزینه‌بر و طاقت فرسا می‌باشد.

تشکیل، جذب و رسوب آسفالتین در مخزن نفتی، ستون چاه، خطوط لوله انتقال، تاسیسات سرچاهی، تجهیزات فرآورش نفت خام و مخازن ذخیره نفت یکی از مهم‌ترین معضلات صنعت نفت در زمینه رسوبات آلی است. به‌علت تغییر در شرایط عملیاتی و محیطی مانند تغییر در ترکیب نفت خام ناشی از تزریق و یا تولید، تغییر درجه حرارت و

و اساسی برای پیش‌بینی رفتار فازی آسفالتین‌ها در ترکیبات نفتی می‌باشد. بعد از تهیه مدل پیش‌بینی رفتار فازی-ترمودینامیکی پدیده تشکیل، رشد و رسوب آسفالتین در ترکیبات نفتی در شرایط واقعی مخزن، اثر عوامل محیطی و عملیاتی مانند اثر فشار، دما و تزریق گاز پیش‌بینی می‌شود. مشاهدات مختلف آزمایشگاهی و میدانی، حاکی از این است که آسفالتین‌های نفتی (موجود در ترکیبات نفتی) در مخازن مختلف در سراسر دنیا، رفتارهای متفاوت و بسیار پیچیده‌ای از خود نشان داده‌اند. با این مقدمه می‌توان گفت: مدل‌هایی که برای بیان و پیش‌بینی رفتار آسفالتین استفاده می‌شوند باید در حد ممکن خصوصیات زیر را داشته باشند:

این مدل‌ها نمی‌توانند طیف وسیعی از نفت‌ها و سیستم‌های مختلف را شامل شوند اما برای سیستم‌های نفتی مشابه باید جواب‌گو باشند. این مدل‌ها باید با داشتن فرضیات و تئوری‌های منطقی و بدون خروج از اصول ترمودینامیکی، بیشتر جنبه کاربردی داشته باشند. به عبارتی آوردن تئوری‌ها و اصول مختلف به‌صورت جزئی در این مدل‌ها بیشتر باعث پیچیدگی کار می‌شوند و این درحالی است که وارد کردن این تئوری‌ها به صورت جزئی شاید تاثیر چندانی در بهبود نتایج حاصله نسبت به مدل‌های ساده‌تر کاربردی مبتنی بر تئوری‌ها و فرضیات صحیح و منطقی نداشته باشند. مدل‌ها در نگاه اول باید حداقل به‌طور کیفی جواب‌گوی تاثیر پارامترهای مختلف همانند دما، فشار و ترکیب درصد سیال بر پدیده‌های مختلف تشکیل، رشد و رسوب آسفالتین باشند. از دیدگاه ترمودینامیک کلاسیک، مدل‌های مختلفی از جمله مدل جامد و مدل‌های پلیمری پیشنهاد شده‌اند که شرح بیشتری از این مدل‌ها در ادامه خواهد آمد [۵-۷].

دلیل انتخاب مدل جامد در این تحقیق، کاربرد زیاد این مدل در نرم‌افزارهای تجاری و کاربردی در مهندسی نفت می‌باشد. با توجه به این‌که از این مدل در بخش ترمودینامیک و استاتیک استفاده شده است به‌کارگیری آن در شرایط دینامیکی مخزن، به ویژه در شرایط تزریق گاز نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر دارد. در این کار سعی شده

معرفی آسفالتین به ابهامات زیادی منجر شده است چرا که بعد از گذشت سال‌ها، هنوز ساختار قطعی، جرم مولکولی و خواص شیمیایی و فیزیکی آن کاملاً شناخته نشده است [۱].

مشکلات تشکیل و رسوب آسفالتین صرفاً به میزان آسفالتین موجود در نفت بستگی ندارد بلکه آنچه که مهم است پایداری آسفالتین‌ها در ترکیبات نفتی می‌باشد که این پایداری نه تنها به خواص خود آسفالتین بستگی دارد بلکه به این‌که تا چه اندازه ترکیب نفتی حلال خوبی برای نگهداشتن آسفالتین باشد نیز بستگی دارد. تجربه نشان داده است، اغلب نفت‌های سبک با میزان آسفالتین کم، مشکلات بیشتری از نقطه نظر تشکیل و رسوب آسفالتین نسبت به نفت‌های سنگین‌تر با میزان بیشتر آسفالتین دارند. آسفالتین‌ها می‌توانند تشکیل فاز جدید و جداگانه‌ای داده و باعث گرفتگی سازند تولیدی در دهانه چاه گردند. تجمع آسفالتین‌ها در سطح مشترک نفت و آب نیز می‌تواند سبب پایداری امولسیون‌های آب در نفت و یا نفت در آب گردد. همچنین تجمع ذرات آسفالتین در سطح تماس نفت و سطح جامد محیط متخلخل می‌تواند سبب تغییر ترشوندگی سطح سنگ گردد [۴-۲]. با توجه به هزینه‌های بالای پدیده تشکیل رسوب آسفالتین در ترکیبات نفتی (از مخزن تا تاسیسات پالایش نفت) و نیز هزینه‌های بالای مربوط به انجام آزمایش‌های دما و فشار بالا برای تعیین رفتار فازی آسفالتین در شرایط مخزن، مجهز شدن به ابزاری برای پیش‌بینی رفتار فازی آسفالتین در فرآیندهای مختلف از تولید نفت در مخزن تا پالایش نفت در تاسیسات و فرآیندهای مختلف پایین دستی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌سازی استاتیکی و دینامیکی یکی از بهترین این ابزارها می‌باشد که در این زمینه کارهای متنوع و متعددی انجام شده است. با توجه به پیچیدگی ماهیت و نیز رفتار آسفالتین در ترکیبات نفتی تعداد بسیار کمی از این مدل‌ها در شرایط خاص عملیاتی (مانند دما، فشار و یا تزریق) این رفتار فازی را می‌توانند پیش‌بینی کنند. داشتن دانش و اطلاعات کافی برای مشخصه‌سازی و همچنین خواص ترمودینامیکی، فیزیکی و شیمیایی آسفالتین به عنوان یک جزء موجود در ترکیبات نفتی، از نیازهای اولیه

مدل میلر-اصلاح شده فلوری-هاگینز (Miller-Modified Flory-Huggins)

این مدل توسط میرزایی و همکاران و موسوی و همکاران توسعه داده شد توسعه داده شده است [۷، ۱۰-۱۱]. اساس این مدل همان مدل حلالیت است با این تفاوت که دو اصلاحیه در جملات آن انجام شده است. این اصلاحیه‌ها در تئوری فلوری-هاگینز که اساس محاسبات در مدل حلالیت است صورت گرفته است. اصلاحیه اول بر روی جمله مربوط به بخش باقیمانده^۱ (تغییرات آنتالپی) انجام شده و اصلاحیه دوم بر روی جمله مربوط به بخش ترکیبی^۲ (تغییرات آنتروپی) صورت گرفته است.

اصلاحیه دوم بر روی مدل تصحیح شده فلوری-هاگینز با جایگزینی رابطه آنتروپی ارائه شده توسط میلر [۱۲]، به جای رابطه قبلی جمله آنتروپی انجام شد [۷، ۱۰ و ۱۱]:

$$\Delta \bar{S}_1 = -R \left\{ \ln \phi_1 - \frac{z}{2} \ln \left[1 - \frac{2}{z} \left(1 - \frac{V_1}{V_2} \right) \phi_2 \right] \right\} \quad (3)$$

پارامتر بسیار مهمی که در این رابطه ظاهر شده عدد کئوردیناسیون^۳ است. این عدد نشان دهنده تعداد مولکول‌هایی است که یک مولکول مرکزی آسفالتین را احاطه کرده‌اند. در واقع تعداد مولکول‌های اطراف در واقعیت هم تعداد مولکول‌های اطراف مولکول مرکزی آسفالتین مهم بوده و به نحوی باید در مدل‌سازی‌ها مد نظر قرار می‌گرفت که در این اصلاحیه وارد شده است. تغییر پتانسیل شیمیایی ناشی از این اصلاحیه به صورت رابطه زیر خواهد بود:

$$\Delta \mu_a = v_a (\phi_L)^2 \left[(\delta_a - \delta_L)^2 + 2l_{al} \delta_a \delta_L \right] + RT \left\{ \ln \phi_a - \frac{z}{2} \ln \left[1 - \frac{2}{z} \left(1 - \frac{V_a}{V_L} \right) \phi_L \right] \right\} \quad (4)$$

در این رابطه a و L به ترتیب فاز آسفالتین و فاز نفت بدون آسفالتین، ϕ کسر حجمی، v حجم مولی و δ پارامتر حلالیت، l_{al} ضریب برهم‌کنش نفت-آسفالتین و z عدد کئوردیناسیون آسفالتین می‌باشند [۷، ۱۰ و ۱۱].

اگرچه مشاهدات آزمایشگاهی و میدانی نشان می‌دهند که در فاز رسوب کرده جامد ترکیبات دیگری غیر از آسفالتین نیز وجود دارند. اما در شرایطی که برای تشکیل رسوب

است علاوه بر صحت و دقت پایداری آن در شرایط دما، فشار و تزریق متفاوت نیز بررسی گردد. هدف اصلی این تحقیق بررسی صحت، دقت و پایداری مدل MMFH در پیش‌بینی اثر تزریق گازهای اسیدی بر رفتار فازی آسفالتین در ترکیبات نفتی می‌باشد.

مدل جامد

در این مدل برای بیان رفتار فازی سیالات از معادله حالت و برای محاسبه فوگاسیته فاز جامد یا به عبارتی رفتار فازی جامد از روش چرخه ترمودینامیکی مایع زیرسرد استفاده می‌شود [۸]. فاز رسوب کرده به‌عنوان یک ترکیب ایده‌آل از جزء جامد در نظر گرفته می‌شود. فوگاسیته جزء رسوب کننده در فاز جامد از رابطه زیر به دست می‌آید [۹].

$$\ln f_s = \ln f_s^* + \frac{v_s(P_1 - P_0)}{RT_0} + \frac{C_{ps} \times \left[1 - \frac{T_0}{T_1} + \ln \left(\frac{T_0}{T_1} \right) \right] + \frac{\Delta H_f}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)}{R} \quad (1)$$

در این رابطه f_s^* فوگاسیته مرجع در فشار و دمای مرجع (T_0, P_0) و f_s فوگاسیته در فشار و دمای سیستم (T_1, P_1) می‌باشد. v_s حجم مولی فاز جامد، C_{ps} ظرفیت حرارتی فاز جامد، ΔH_f آنتالپی ذوب فاز جامد و R ثابت گازها می‌باشد.

با صرف نظر کردن از اثرات ظرفیت حرارتی برای یک فرایند دما ثابت به شکل ساده تر رابطه بالا می‌رسیم:

$$\ln f_s = \ln f_s^* + \frac{v_s(P_1 - P_0)}{RT_0} \quad (2)$$

برای انجام محاسبات، نیاز به داشتن f_s^* می‌باشد. برای این کار در دما و فشار مرجع (T_0, P_0) باید یک داده آزمایشگاهی از میزان رسوب آسفالتین وجود داشته باشد تا بتوانیم فوگاسیته در شرایط مرجع را به دست آوریم. مهم‌ترین فرضیات مورد استفاده در این مطالعه به صورت زیر می‌باشد:

الف- فاز رسوب کرده به عنوان یک ترکیب ایده‌آل از جزء جامد در نظر گرفته می‌شود.

ب- خواص جزء آسفالتین با آخرین جزء سنگین شکسته شده یکسان می‌باشد.

1. Residual

2. Combinatorial

3. Coordination number

آسفالتین به عنوان پارامترهای قابل تنظیم مدل می‌باشند. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی میزان تشکیل آسفالتین نسبت به فشار در دمای مخزن و به‌کارگیری روش تبرید شبیه‌سازی شده^۱ پارامترهای مدل تنظیم شده‌اند. نتایج این کار برای سه نمونه مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مدل MMFH و مدل جامد برای بررسی اثر تزریق H_2S بر میزان رسوب آسفالتین در نمونه شماره یک در شکل ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج مدل MMFH و مدل جامد برای بررسی اثر تزریق گاز SNG بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه‌های در شکل‌های ۳ تا ۸ ارائه گردیده‌اند.

بحث و نتایج

با توجه به اینکه داده‌های آزمایشگاهی در این تحقیق فقط در حد اثر فشار بر روی میزان تشکیل آسفالتین در نمونه‌های مورد بررسی وجود داشت و در مورد اثر هم‌زمان فشار و تزریق گازهای ترش، داده‌های آزمایشگاهی موجود نبود. لذا تنظیم مدل فقط با استفاده از این داده‌ها انجام شده است و بر اساس پارامترهای تنظیم شده، اثر تزریق گاز ترش بر میزان تشکیل آسفالتین پیش‌بینی می‌گردد.

نتایج هر دو مدل برای بررسی اثر هم‌زمان تزریق گاز ترش و فشار بر روی میزان تشکیل آسفالتین با هم مقایسه شده است. اساس مقایسه بررسی روند نتایج مدل‌ها با روندهای قابل پیش‌بینی که در مراجع مختلف آزمایشگاهی و تئوری آمده است می‌باشد. علاوه بر تطابق نتایج مدل‌ها با روند قابل پیش‌بینی برای بررسی اثر تزریق گاز ترش بر میزان رسوب آسفالتین، پایداری نتایج مدل نیز ملاک مقایسه قرار گرفته است. به عبارتی، بعد از این‌که پارامترهای مدل با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تنظیم گردیدند، مدل باید قادر باشد روند اثر تزریق گاز را به‌درستی نشان دهد و علاوه بر این در نتایج مدل باید پایداری و عدم بهم ریختگی نیز وجود داشته باشد. از این‌رو بررسی صحت نتایج و پایداری مدل استاتیکی رسوب آسفالتین هدف اصلی این تحقیق می‌باشد.

آسفالتین مناسب هستند مانند دما و فشار، علاوه بر این‌که اولین اجزای خارج شده از فاز محلول ذرات آسفالتین می‌باشند، عمده رسوب به وجود آمده نیز آسفالتین می‌باشد؛ به عبارتی فرض آسفالتین خالص فرض دور از واقعیتی نیست. این موضوع توسط محققین در مدل‌سازی رسوب آسفالتین نیز مدنظر قرار گرفته است. Hirschberg و همکاران [۳] فرض کردند که فاز آسفالتین خالص بوده و تنها حاوی آسفالتین می‌باشد. با این فرض خواهیم داشت:

$$\Delta\mu_a^A = 0 \quad (5)$$

A فاز آسفالتین و a جزء آسفالتین می‌باشد. با در نظر گرفتن این رابطه و تلفیق معادلات تغییر پتانسیل شیمیایی و تعادلات فازی رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\Delta\mu_a^L}{RT} = \frac{v_a(1-\phi_a^L)^2}{RT} [(\delta_a - \delta_L)^2 + 2l_{al}\delta_a\delta_L] + \left\{ \ln \phi_a^L - \frac{z}{2} \ln \left[1 - \frac{2}{z} \left(1 - \frac{v_a}{v_L} \right) (1 - \phi_a^L) \right] \right\} = 0 \quad (6)$$

با فرض این‌که میزان آسفالتین در فاز مایع (کسر مولی آسفالتین در فاز نفتی) نسبت به سایر اجزا مقدار کوچکی است، یعنی $\phi_a^L \ll 1$ رابطه فوق ساده شده و کسر حجمی آسفالتین از رابطه زیر قابل تعیین خواهد بود:

$$\phi_a^L = \exp \left\{ \left[\frac{z}{2} \ln \left[1 - \frac{2}{z} \left(1 - \frac{v_a}{v_L} \right) \right] - \frac{v_a}{RT} [(\delta_a - \delta_L)^2 + 2l_{al}\delta_a\delta_L] \right] \right\} \quad (7)$$

با استفاده از این رابطه رفتار فازی آسفالتین در شرایط مخزن (تولید و یا تزریق گاز، حلال و رسوب‌دهنده) قابل پیش‌بینی خواهد بود.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج مدل جامد و مدل MMFH برای پیش‌بینی اثر هم‌زمان فشار و تزریق امتزاجی گازهای ترش بر میزان تشکیل آسفالتین در سه نمونه واقعی از مخازن نفتی ایران آورده می‌شود. ترکیب درصد سیال مخزن برای سه نمونه مورد استفاده در این تحقیق و نیز ترکیب درصد گاز ترش تزریقی در جدول ۱ آورده شده است. جزئیات مربوط به آزمایش‌ها در مرجع شماره ۷ ذکر گردیده است. حجم مولی آسفالتین، پارامتر حلالیت آسفالتین، ضریب برهم‌کنش آسفالتین با نفت و نیز عدد کئوردیناسیون

1. Simulated Annealing (SA)

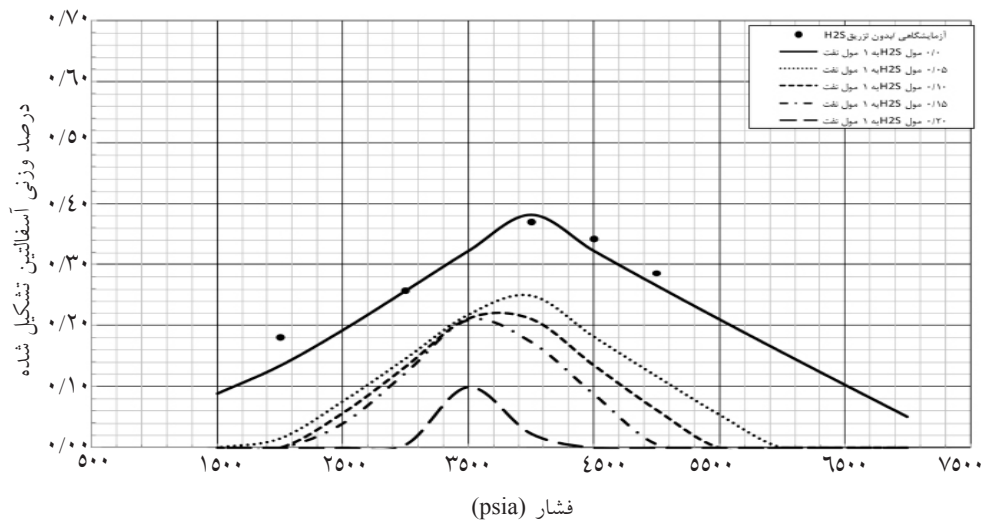
جدول ۱- ترکیب درصد نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق

	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	SNG'
اجزا	درصد مولی	درصد مولی	درصد مولی	درصد مولی
H ₂ S	۱/۸۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۲۸
N ₂	۰/۳۱	۲/۶۰	۰/۲۷	۰/۶۵
CO ₂	۳/۳۷	۰/۴۹	۲/۹۵	۷/۳۴
C ₁	۴۳/۵۹	۲۲/۳۰	۴۹/۰۱	۵۸/۳۸
C ₂	۸/۵۸	۶/۹۹	۸/۲۸	۱۶/۱۳
C ₃	۶/۲۷	۶/۳۲	۵/۵۴	۹/۸۶
IC ₄	۱/۶۴	۱/۳۲	۱/۰۱	۱/۲۰
NC ₄	۴/۸۹	۳/۴۹	۲/۵۵	۳/۵۰
IC ₅	۲/۲۰	۱/۵۳	۰/۷۴	۰/۸۳
NC ₅	۲,۴۹	۱/۶۰	۰/۸۲	۰/۸۹
C ₆	۱/۹۱	۴/۸۵	۳/۱۸	۰/۶۰
C ₇	۰/۸۹	۴/۳۶	۲/۵۷	۰/۲۳
C ₈	۳/۰۱	۳/۵۴	۲/۶۴	۰/۰۸
C ₉	۲/۰۵	۳/۳۳	۲/۲۷	۰/۰۲
C ₁₀	۱/۸۴	۲/۸۹	۲/۱۷	۰/۰۰
C ₁₁	۱/۳۹	۲/۴۵	۱/۴۷	۰/۰۰
C ₁₂₊	۱۳/۷۱	۳۱/۸۶	۱۴/۴۶	۰/۰۰
Mw-C ₁₂₊	۳۰۰	۳۲۰	۳۳۴	
$\rho - C_{12+}$ (g/cc)	۰/۹۰۲۵	۰/۹۴۵۷	۰/۹۲۰۵	
Asphalten wt%	۰/۹۹	۴/۶۹	۰/۱۵	
Asphalten Mw (VPo)	۶۵۰	۶۶۰	۷۰۰	

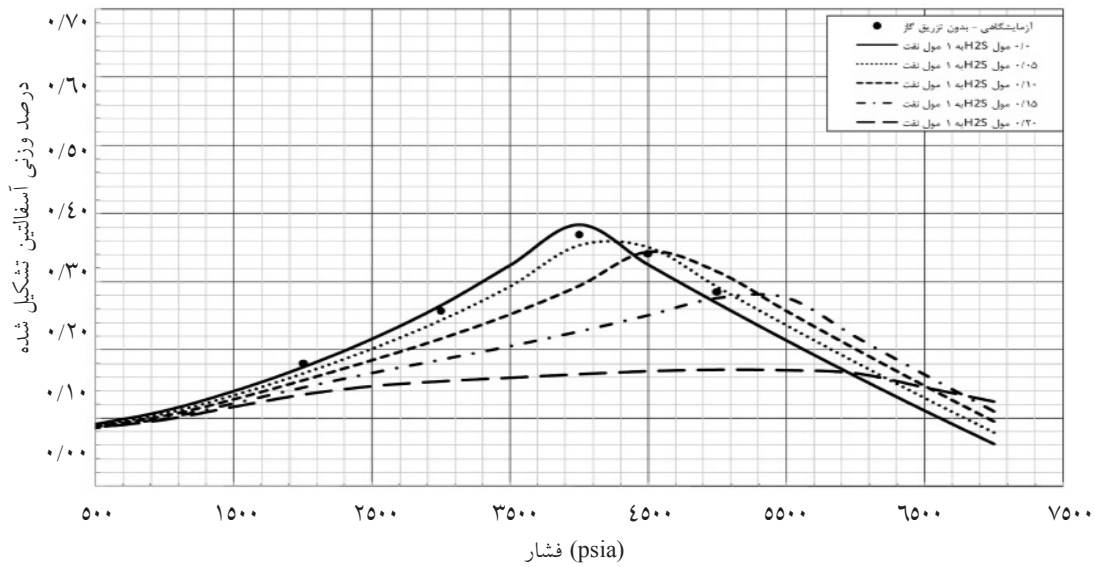
1. Sour Natural Gas

جدول ۲- مقادیر تنظیم شده پارامترهای مدل MMFH برای سه نمونه نفتی

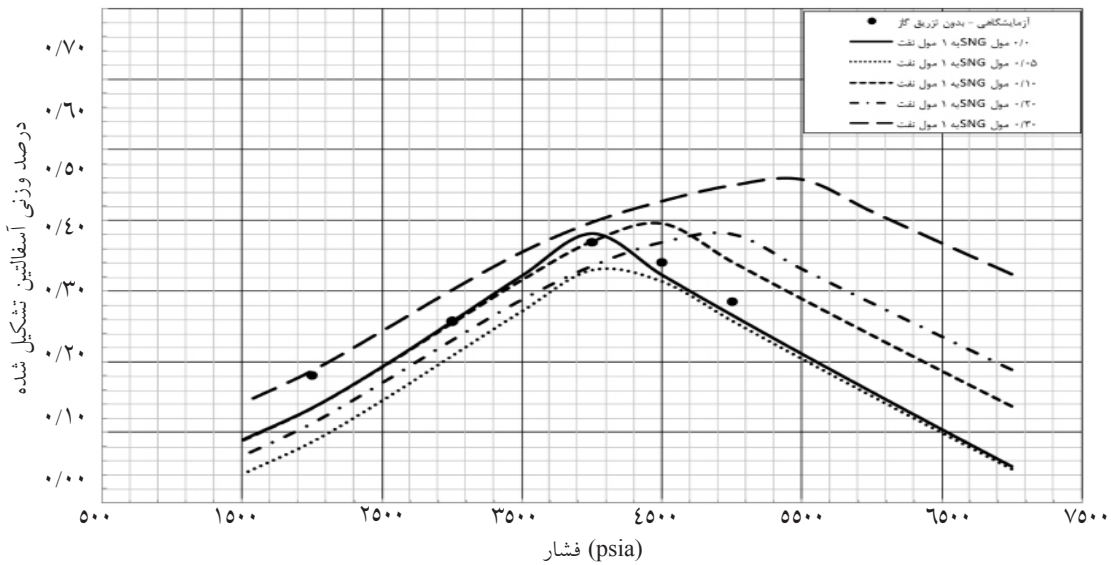
شماره	حجم مولی آسفالتین (cc/mol)	پارامتر حلالیت آسفالتین (MPa ^{0.5})	برهم کنش نفت- آسفالتین	عدد کئوردیناسیون
شماره ۱	۵۴۱/۶	۱۷/۵۰	۰/۰۶۰۹۷	۴/۴
شماره ۲	۴۳۳/۳۳	۱۶/۵۹۹	۰/۰۳۶۱۵	۱
شماره ۳	۶۲۰/۰۱۷	۱۸/۳۵۲	۰/۰۶۱۹۴	۱/۲۴



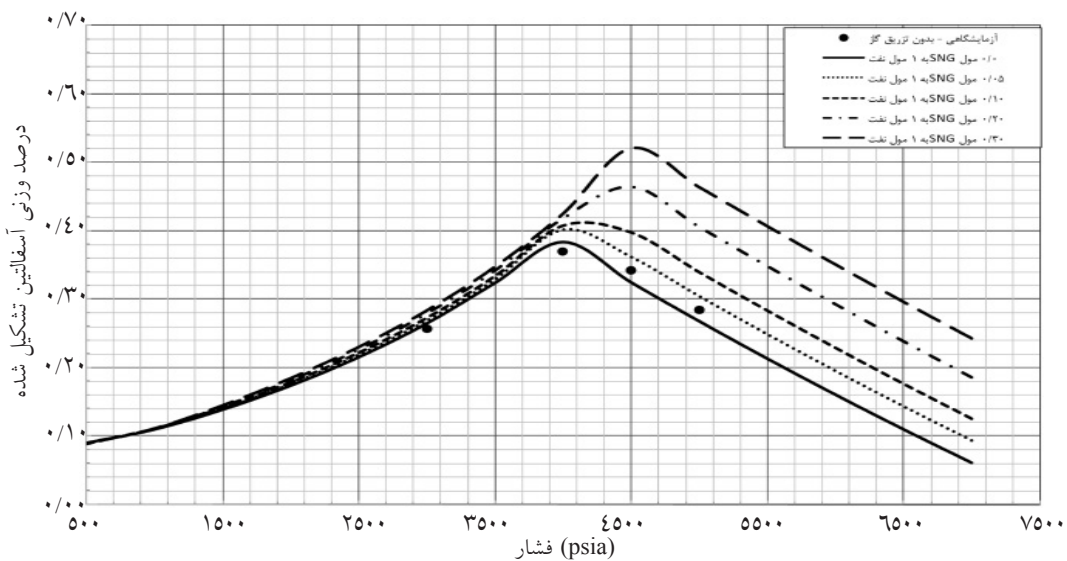
شکل ۱- نتایج مدل جامد برای اثر تزریق H₂S بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۱ در دمای ۲۵۰°F



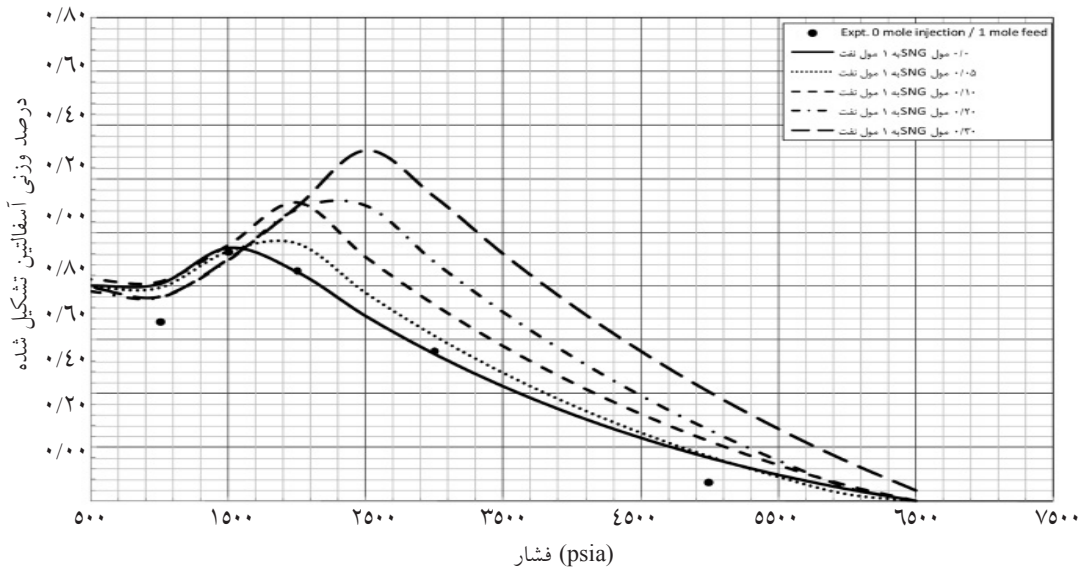
شکل ۲- نتایج مدل MMFH برای اثر تزریق H_2S بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۱ در دمای $250^\circ F$



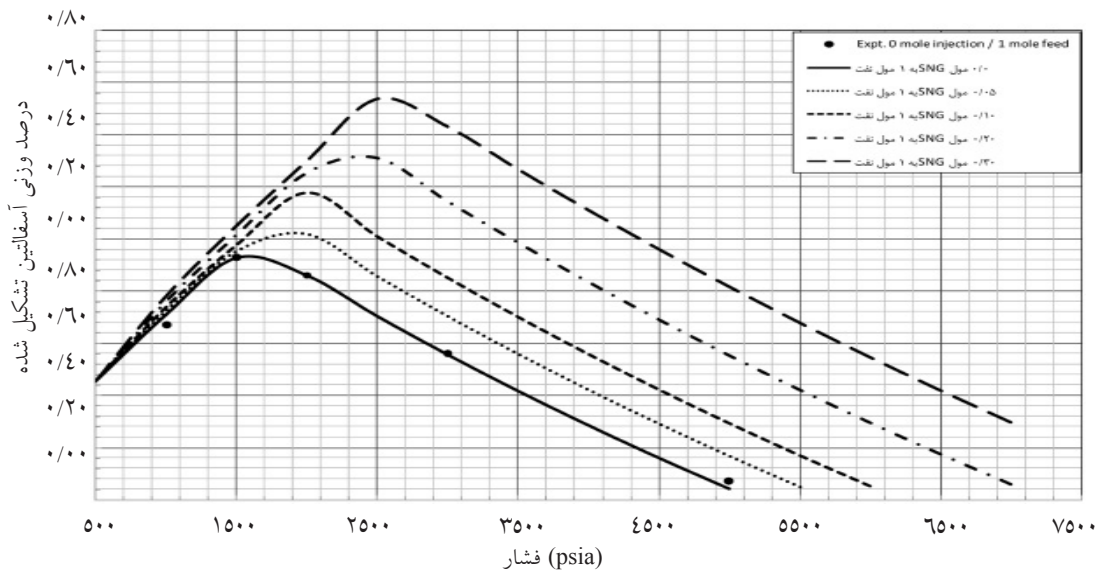
شکل ۳- نتایج مدل جامد برای اثر تزریق SNG بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۱ در دمای $250^\circ F$



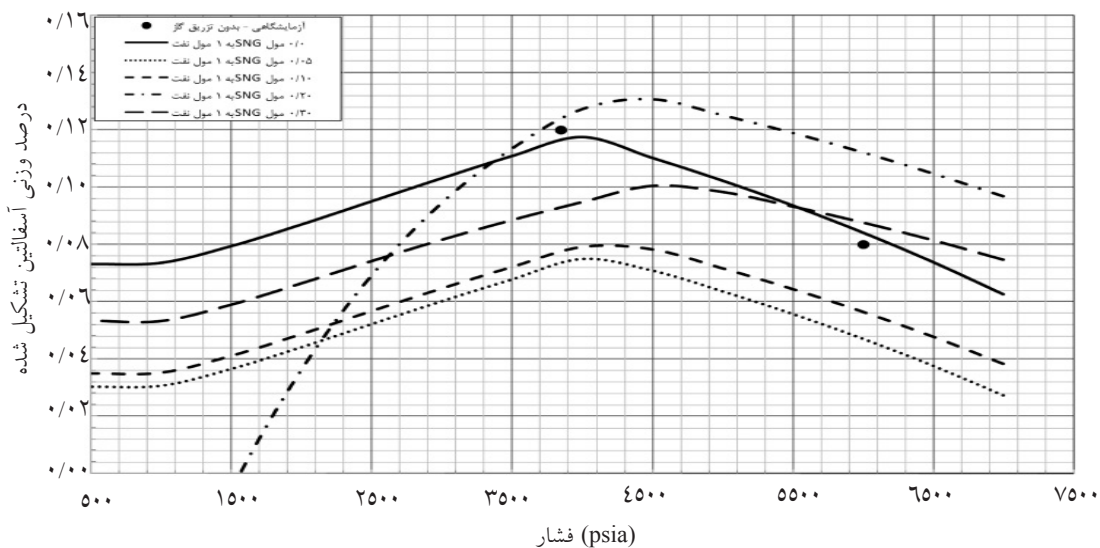
شکل ۴- نتایج مدل MMFH برای اثر تزریق SNG بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۱ در دمای $250^\circ F$



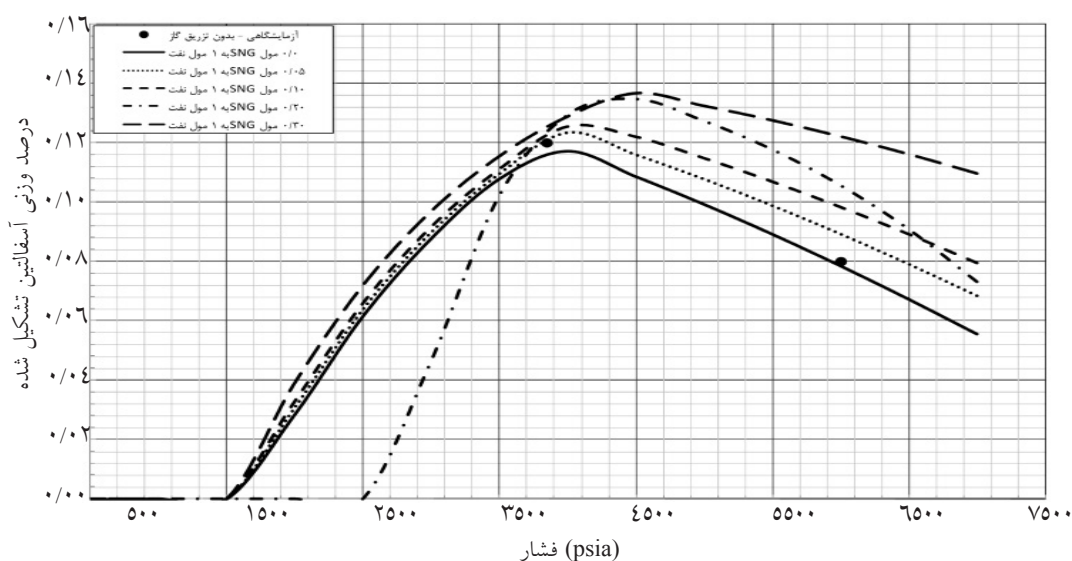
شکل ۵- نتایج مدل جامد برای اثر تزریق SNG بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۲ در دمای ۲۴۰ °F



شکل ۶- نتایج مدل MMFH برای اثر تزریق SNG بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۲ در دمای ۲۴۰ °F



شکل ۷- نتایج مدل جامد برای اثر تزریق SNG بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۳ در دمای ۲۸۸ °F



شکل ۸ - نتایج مدل MMFH برای اثر تزریق SNG بر میزان تشکیل آسفالتین برای نمونه شماره ۳ در دمای ۲۸۸ °F

فشارهای پایین است و از لحاظ نظری قابل پیش بینی است. علاوه بر این نتایج مدل MMFH پایداری و هماهنگی نسبتاً بهتری در مقابل مدل جامد دارد. در این بخش برتری نسبی مدل MMFH نسبت به مدل جامد دیده می شود.

تزریق گاز ترش: نتایج مدل جامد و مدل MMFH برای هر سه نمونه در شکل های ۳ تا ۸ نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود با افزایش میزان گاز، میزان تشکیل آسفالتین نیز در هر سه نمونه افزایش یافته است. این روند تقریباً برای هر دو مدل دیده می شود. همان طور که در شکل های ۳ و ۷ دیده می شود نتایج مدل جامد پایداری کمتری نسبت به نتایج مدل MMFH داشته است. شکل های ۴، ۶ و ۸ هماهنگی و پایداری بیشتر مدل MMFH را نسبت به مدل جامد نشان می دهد.

نتیجه گیری

با توجه به اینکه استفاده از گازهای ترش به عنوان یکی از انتخاب ها گازهای تزریقی به مخازن در آینده امری اجتناب ناپذیر است لذا بررسی اثر تزریق این نوع گازها بر رفتار فازی سیالات مخازن و ایجاد عوارضی مانند تشکیل و رسوب آسفالتین لازم و ضروری می باشد. علاوه بر این استفاده از مدل ترمودینامیکی مناسب جهت پیش بینی تشکیل و رسوب آسفالتین در شبیه سازی دینامیکی مخزن نیز امری لازم است. با در نظر گرفتن این دو مورد نیاز به به کارگیری یک مدل ترمودینامیکی مناسب، چه از لحاظ

قبل از تنظیم مدل برای رسوب آسفالتین، رفتار فازی سیال مخزن با داده های آزمایشگاهی PVT تنظیم شده است. بعد از تنظیم مدل سیال، مدل آسفالتین به نحوی تنظیم می گردد که مدل تنظیم شده سیال هیچ تغییری نداشته باشد. پارامترهای قابل تنظیم در مدل MMFH شامل پارامتر حلالیت آسفالتین، حجم مولی آسفالتین و ضریب برهم کنش نفت و آسفالتین و نیز عدد کنوردیناسیون می باشد. برای مدل جامد پارامترهای قابل تنظیم شامل حجم مولی آسفالتین و ضرایب برهم کنش بین آسفالتین و اجزای سبک شامل CO_2 ، H_2S ، N_2 ، C_1 و C_2 می باشد. با تنظیم پارامترهای هر دو مدل با داده های آزمایشگاهی PVT و داده های آزمایشگاهی تشکیل آسفالتین، با استفاده از پارامترهای بدست آمده اثر هم زمان تزریق گاز ترش و فشار بر روی میزان تشکیل آسفالتین در هر سه نمونه توسط هر دو مدل پیش بینی می گردد.

تزریق H_2S : با توجه به اینکه تزریق H_2S خالص عملاً انجام نمی گیرد، فقط جهت ارزیابی رفتار مدل ها در این تحقیق یک نمونه در این زمینه بررسی شده است. نتایج این تزریق در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود نتایج مدل MMFH نشان می دهد که در فشارهای بالا افزایش H_2S باعث افزایش رسوب و در فشارهای پایین، برعکس، باعث کاهش میزان رسوب آسفالتین شده است. این رفتار به دلیل عملکرد حل شدن گاز در نفت در فشار بالا و استخراج گازهای سبک در

تشکر و قدردانی

در اینجا از دانشگاه محقق اردبیلی به دلیل زحمات زیادی که در این تحقیق متحمل شدند و به دلیل همکاری در ویرایش مقاله کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

علائم و نشانه‌ها

l_{al} : ضریب برهم‌کنش دوتایی نفت - آسفالتین

v : حجم مولی

ϕ : کسر حجمی

δ : پارامتر حلالیت

R : ثابت جهانی گازها

z : عدد کتوردیناسیون

Δu : تغییر پتانسیل شیمیایی

علمی و کاربردی و چه از لحاظ دقت، صحت و پایداری نتایج، به منظور پیش‌بینی تشکیل و رسوب آسفالتین در بحث شبیه‌سازی مخزن احساس می‌شود که هدف اصلی این تحقیق نیز پرداختن به این موضوع می‌باشد. در این کار از دو مدل جامد و مدل محلول پلیمری MMFH به منظور بررسی این امر استفاده شده است. با توجه به نتایجی که در این تحقیق به دست آمده است، به نظر می‌رسد از لحاظ دقت، صحت و پایداری مدل MMFH نسبت به مدل جامد که در نرم‌افزارهای تجاری معمول برای شبیه‌سازی مخزن مورد استفاده می‌شود، تطابق بیشتری با واقعیت رفتار فازی آسفالتین و نیز نتایج آزمایشگاهی، مشاهدات میدانی و مباحث تئوری در این زمینه دارد.

مراجع

- [1]. Priyanto S., Mansoori G. A. and Suwono A., "Measurement of property relationships of nano-structure micelles and coacervates of asphaltene in a pure solvent", Chem. Eng. Science, Vol. 56, pp. 6933-6939, 2001.
- [2]. Kawanaka S., Park S. J., and Mansoori G. A., "Organic deposition from reservoir fluids", SPE Reservoir Engineering Journal, pp. 185-192, 1991.
- [3]. Kawanaka S., Jiang T. S. and Mansoori G. A., *Asphaltene deposition and its role in enhanced oil recovery miscible gas flooding*, Proceed. The 3rd European Conf. on Enhanced Oil Recovery, Rome, Italy, April (1985).
- [4]. Kawanaka S., Park S. J. and Mansoori G. A. "The role of asphaltene deposition in EOR gas flooding: a predictive technique", Presented at the SPE/DOE Symposium on Enhanced Oil Recovery, Richardson, TX, SPE 17376, Feb., pp. 15-17, 1988.
- [5]. Hirschberg A., DeJong L. N. J., Schipper B. A. and Meijer J. G., "Influence of temperature and pressure on asphaltene flocculation", Soc. Petrol. Eng. J., Vol. 24, pp. 283-293, 1984.
- [6]. Flory P. J., "Thermodynamics of high polymer solutions", J. Chem. Phys., Vol. 10, pp. 51-61, 1942.
- [7]. Mousavi-Dehghani S. A., Mirzayi B., Mousavi S. M. H. and Fasih M. "An applied and efficient model for asphaltene precipitation in production and miscible gas injection processes", Petroleum Science and Technology, 28:113-124, 2010.
- [8]. Prausnitz J. M., "Molecular thermodynamics of fluid-phase equilibria", Second Edition. Mc-Graw Hill Comp, 1986.
- [9]. Nghiem L. X., Hassam M. S. and Nutakki R., "Efficient modeling of asphaltene precipitation", presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, TX, Oct. pp. 3-6, 1993.
- [۱۰]. میرزایی ب. وفایی سفتی م.، منصوری غ.ع.، موسوی دهقانی س.ع. «بررسی اثرات رسوب آسفالتین بر خواص سنگ مخزن در فرآیند تزریق گاز»، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.
- [۱۱]. موسوی دهقانی س.ع. بررسی تجربی و ارائه مدل میزان رسوب آسفالتین در مخازن نفتی در اثر تزریق گاز، رساله دکتر؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ تهران؛ ۱۳۸۳.
- [12]. Miller A. R., "The vapor-pressure equations of solutions and the osmotic pressure of rubber", Proc. Cambridge Philos. Soc., Vol. 39, pp. 54-67, 1943.