

پیشبینی تغییر ترکیب سیالات در مخازن هیدروکربوری با ارتفاع با در نظر گرفتن نفوذ حرارتی

علی دانش

گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی - دانشگاه تهران

کامیار موقر نژاد

گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی - دانشگاه تهران

چکیده

پدیده تغییر ترکیب مخازن هیدروکربوری به نسبت ارتفاع بر اثر دو عامل نیروی گرانشی زمین و نفوذ حرارتی ناشی از وجود گرادیان حرارتی در مخزن بوجود می آید. فرآیند تشکیل این گرادیان ترکیب براساس ترمودینامیک کلاسیک (تعادلی) قابل بیان نیست. با این وجود در تمامی مدل‌هایی که برای پیشبینی این پدیده ارائه گشته است، سیالات مخزن در تعادل شیمیایی فرض شده و اثر نفوذ حرارتی نادیده گرفته می شود. مدل حاضر نخستین مدل منتشر شده ای است که این پدیده را براساس معادلات حاصل از ترمودینامیک بازگشت ناپذیر و با در نظر گرفتن نفوذ حرارتی توجیه می کند. پس از ارائه مدل موردنظر به بررسی نتایج تحقیق می پردازیم و نشان می دهیم که نادیده گرفتن نفوذ حرارتی در مدل های قبلی تا چه اندازه ممکن است موجب خطا گردد.

مقدمه : اهمیت عملی پدیده

هرچه به طرف بالا رویم از دمای بحرانی کاسته می‌گردد. فرض کنیم در نقطه‌ای در عمق مخزن دمای سیال زیر دمای بحرانی و فشار مخزن بیش از نقطه حباب باشد. هرچه به سوی بالای مخزن برویم از دمای بحرانی، دمای مخزن و فشار مخزن کاسته خواهد شد. اگر پیش از آنکه فشار مخزن به نقطه حباب برسد دمای مخزن با دمای بحرانی یکی گردد، بدون آنکه هیچ سطح تماسی میان گاز و مایع وجود داشته باشد، ستونی از گاز در بالای ستون نفت خواهیم داشت. از طرف دیگر ممکن است تغییرات ترکیب ستون های نفت و گاز سبب ایجاد امتزاج طبیعی میان نفت و گاز گردد، در حالیکه اگر ترکیب را یکسان در نظر می‌گرفتیم، امکان چنین امتزاجی وجود نداشت [۷]. ممکن است با تغییر ترکیب ستونهای هیدروکربوری به نسبت عمق مخزن امکان تزریق کار برای افزایش تولید نفت تنها در محدوده

فرض عمومی در مورد سیالات هیدروکربوری در مخازن آن است که ترکیب آنها در حالت تک فازی در کل مخزن یکسان می باشد، اما میدانهای نفتی و گازی فراوانی در سراسر جهان هستند که ترکیب آنها به نسبت ارتفاع تغییر زیادی می کند [۲-۴] و مدل های بسیاری نیز برای توجیه این پدیده ارائه شده است [۵-۱۱]. در یک مخزن نفتی فشار حباب ممکن است بین $6/3$ تا $10/5$ کیلو پاسکال در متر (۳ تا ۵ psi در فوت) تغییر کند. در یک مخزن هیدروکربوری از نوع Gas Condensate نسبت مایع به گاز (LGR) می تواند تغییر قابل ملاحظه‌ای کند [۲-۴]. از آنجا که ترکیب نفت موجود در ستون هیدروکربوری به نسبت عمق تغییر می کند، منحنی فازها (Phase Envelope) و خواص بحرانی آن عوض می شود. هرچه در طول مخزن به پایین می رویم دمای بحرانی سیال به علت ته نشینی مولکول های سنگینتر افزایش می یابد و

مختلف مخزن با داشتن ترکیب دقیق و دما و فشار در یک نقطه است. تمامی مدل های مبتنی بر فرض وجود تعادل شیمیایی دما را ثابت در نظر می گیرند و با استفاده از روابط ترمودینامیکی تعادلی اثر میدان گرانشی زمین بر پتانسیل شیمیایی را محاسبه می کنند. رابطه ای که معمولاً در این مدل ها از آن استفاده می شود، بصورت زیر است [۷]:

$$f_k^\beta = f_k^\alpha \exp \left[\frac{M_k g (z^\beta - z^\alpha)}{RT} \right] \quad (1)$$

که در فرمول بالا f فوگاسیته، Z ارتفاع نقطه ای از مخزن، g شتاب جاذبه، R ثابت گازها، T دمای مطلق و M جرم مولکولی جزو k است و α و β به دو نقطه از مخزن اشاره دارند.

از سوی دیگر می دانیم که برقراری اختلاف دما در یک سیستم با ترکیب یکسان می تواند به پدید آمدن نوعی گرادیان ترکیب و انتقال جرم منجر شود که این پدیده را نفوذ حرارتی یا اثر سور^۱ می خوانیم. از آنجا که مدل های تعادلی دما را ثابت فرض می کنند، این پدیده که در مخزن نیز بوجود می آید را نادیده می گیرند.

برخورد دوم با این مسئله ارائه مدل ترمودینامیکی مبتنی بر نظریه ترمودینامیک آنساگر است. در این توجیه غیر تعادلی (شیمیایی) سیال مخزن در حالت تعادل مکانیکی و ایستایی فرض می شود و چنین در نظر می گیرند که اختلاف ترکیب سیال مخزن در هر نقطه نسبت به حالت تعادل چندان زیاد نیست که با واقعیت موجود همخوانی دارد.

در این مقاله کوتاه فرصت آن نیست که به شرح و بسط این نظریه بپردازیم و علاقمندان می توانند برای مطالعه بیشتر به برخی مراجع کلی در این مورد مراجعه کنند [۱۲-۱۴]. لیکن معادلات نهایی را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$\sum_{j=1}^n \left[\frac{\partial \mu_k}{\partial x_j} \right] \text{grad} x_j = (M_k - \rho \bar{v}_k) g - Q_k^{**} \frac{\text{grad} T}{T} \quad (2)$$

مشخصی وجود داشته باشد. مثلاً گزارش شده است که در میدانی نفتی در عمان فرآیند تزریق گاز تنها در محدوده ۲۰ متری زیر نقطه تماس گاز و مایع سبب ایجاد امتزاج و افزایش تولید نفت خواهد شد [۸].

از طرف دیگر برمبنای برخی مطالعات [۱۱] میزان خطای تخمین مقدار اجزای مختلف سیالات مخزن با فرض وجود ترکیب یکسان ممکن است تا حدود ۲۵ درصد برسد. بنابراین می بینیم که مسئله تغییر ترکیب مخازن هیدروکربوری به نسبت ارتفاع یک تفنن علمی نیست بلکه ارزش عملی فراوانی دارد. به همین خاطر تاکنون مدل های پرشماری برای توجیه این پدیده معرفی شده است. در بخش بعدی به مطالعه زیربنای نظری این پدیده ها می پردازیم و سپس مدل های ترمودینامیکی مختلفی را که برای توجیه آن پیش کشیده شده اند، نقد می کنیم. آنگاه مدل ترمودینامیکی خود را عرضه و توانایی آن در پیشبینی تغییرات ترکیب سیال و خواص آن با عمق را با مدل های موجود مقایسه می کنیم.

زیربنای نظری پدیده تغییر ترکیب سیالات مخزن

بطور کلی می توان توجیه های مختلفی که برای پدیده تغییر ترکیب سیالات مخزن ارائه شده است را به دو نوع کلی تعادلی و غیرتعادلی تقسیم کرد. در توجیه تعادلی مخزن در تعادل شیمیایی فرض میشود. از آنجا که شرط لازم برای تعادل شیمیایی در مخزن تعادل حرارتی یعنی برابری دما است، از گرادیان حرارتی در طول مخزن در این مدل صرفنظر می شود و از روابط ترمودینامیک تعادلی برای بدست آوردن معادلات مربوط به وجود گرادیان ترکیب در مخزن استفاده می شود. در این روش سیالات مخزن در حالت ایستایی (ثابت بودن نسبت به زمان) و تعادل مکانیکی فرض می شوند. وجود گرادیان حرارتی در طول مخزن مشخص می کند که فرض تعادل شیمیایی فرض دقیقی نیست و توجیه تعادلی پایه نظری محکمی ندارد.

از لحاظ عملی مسئله موجود پیشبینی ترکیب نقاط

یک معادله حالت مناسب قابل محاسبه هستند. در این مطالعه [۱] حالت پنگ - رابینسون^۱ سه پارامتری بکار گرفته شده است. دلیل این انتخاب دقت این معادله نسبتاً ساده در مقایسه با سایر معادلات و کاربرد متداول آن در صنعت نفت می باشد.

برای محاسبه گرمای انتقال خالص از روابطی که بیرمن و همکاران منتشر ساختند استفاده می کنیم [۱۵]. بر طبق این روابط گرمای انتقال خالص در یک مخلوط دوگانه را می توان به دو بخش تقسیم کرد.

$$Q_1 = Q_{11}^{**} + Q_{12}^{**} \quad (۳)$$

که Q_{11}^{**} جزء تعادلی و Q_{12}^{**} جزء اغتشاش یافته نام دارد. Q_{12}^{**} بر اثر اغتشاش های حاصل از جریبان مواد و گرادیان حرارتی در سیستم بوجود می آید، و اندازه آن به شدت دو عامل بالا بستگی دارد. از آنجا که در سیستم موردنظر ما جریان ماده وجود ندارد و گرادیان حرارتی نیز کوچک است، می توان به آسانی از Q_{12}^{**} صرفنظر کرد.

اگر از Q_{12}^{**} صرفنظر کنیم و محلول دوگانه را منظم بگیریم، می توان گرمای انتقال خالص را بصورت زیر بیان داشت (۱۶):

$$Q_{11}^{**} / X_2 = \frac{\bar{v}_1 \bar{v}_2}{2\nu} [\bar{L}_2 / \bar{v}_2 - \bar{L}_1 / \bar{v}_1] \quad (۴)$$

که $\bar{h}_k, \bar{L}_k = \bar{h}_k - \bar{h}_k^0$ انتالپی جزئی مولی جزء k در مخلوط و \bar{h}_k^0 انتالپی جزئی مولی جزء k در حالت گاز ایده آل است.

در مقاله اصلی این روابط براساس ثابت بودن ظرفیت گرمایی ایده آل و ضرایب ویریال محاسبه شده بودند، لیکن ما برای بدست آوردن آنها از معادله حالت پنگ - رابینسون سه پارامتری سود بردیم.

از آنجا که این معادلات برای حالت دو جزئی ارائه شده بودند، روابط زیر را برای تعمیم آنها به حالت چند جزئی پیشنهاد می کنیم. در این روابط چنین فرض می شود که در هر مخلوط چند جزئی هر جزء

که در فرمول بالا μ_k پتانسیل شیمیایی، \bar{v}_k حجم جزئی مولی جزء k ، M_k جرم مولکولی جزء k ، ρ جرم حجمی سیال و X جزء مولی است. عبارت Q_k^{**} گرمای انتقال خالص جزء k و یا همان مقدار گرمای خالص انتقال یافته در صورت جابجایی یک مول از جزء k در حالت همدمما است.

می بینیم که نظریه ترمودینامیک آنساگر که پایه نظری محکمتری دارد نیز می تواند معادلاتی برای توجیه پدیده ایجاد گرادیان ترکیب در طول مخزن ارائه دهد، لیکن تمامی مدل های منتشر شده از اثر نفوذ حرارتی و معادلات مبتنی بر نظریه آنساگر که نفوذ حرارتی را در نظر می گیرد، صرفنظر کرده و با استفاده از معادله (۱) و یا معادلاتی متناظر با آن به محاسبه گرادیان ترکیب در طول مخزن می پردازند. این عدم اقبال به مدل های مبتنی بر ترمودینامیک بازگشت ناپذیر را می توان به دو علت زیر دانست:

الف - نبودن دستورکاری مناسب برای پیشبینی ترکیب نقاط مختلف مخزن از روی ترکیب نقطه مرجع.

ب - نبودن روابطی که بتواند کمیتهای ترمودینامیکی مختلف سری معادلات (۲) بویژه کمیت گرمای انتقال خالص^۲ را تعیین کند.

هدف اصلی این تحقیق ایجاد روشی برای حل عملی سری معادلات (۲) و ارائه رابطه ای هرچند تقریبی برای گرمای انتقال خالص با استفاده از یک معادله حالت مناسب و در نتیجه معرفی مدل تازه ای برای توجیه پدیده تغییر ترکیب مخازن هیدروکربوری بر مبنای ترمودینامیک بازگشت ناپذیر با در نظر گرفتن نفوذ حرارتی است.

معرفی مدل ترمودینامیکی جدید

مقادیر مربوط به جرم حجمی، انتالپی جزئی مولی، مشتق جزئی مولی پتانسیل شیمیایی بر اساس

$$x_j = x_{jR} + \text{grad}(x_j)_R (Z_1 - Z_R) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

۲ - از آنجا که هیچ محدودیتی برای اجزاء مولی در نظر نگرفته‌ایم، اجزای مولی را طبق رابطه زیر استاندارد می‌کنیم تا مجموع اجزای مولی برابر یک گردد:

$$x_{kc} = \frac{x_k}{\sum_{k=1}^n x_k} \quad (10)$$

۳ - فشار و دما را براساس روابط زیر محاسبه می‌کنیم:

$$P = P_R + (Z_1 - Z_R) \rho_R g \quad (11)$$

$$T = T_R + C_1(Z_1 - Z_R) \quad (12)$$

که C_1 مقدار گرادیان حرارتی است.

پس از آن نقطه $(Z = Z_1)$ را نقطه مرجع گرفته محاسبات را برای عمق دیگر تکرار می‌کنیم.

بررسی مدل های ترمودینامیکی موجود برای توجیه پدیده تغییر ترکیب در مخازن به نسبت ارتفاع و مقایسه آن با مدل حاضر

نخستین روشی که برای این پدیده بکار رفت و هنوز هم در بسیاری موارد از آن استفاده می‌شود، صرفنظر کردن از تغییر ترکیب مخازن بود. در مقدمه این مقاله دیدیم که این نادیده گرفتن تا چه حد ممکن است مشکلات و اشتباهات جدی را پدید آورد. سیج و لاسی^۱ برای نخستین بار این پدیده را در نظر گرفتند و محاسباتی بر مبنای طول ایده‌آل انجام دادند [۵]. با توجه به شرایط دمایی و فشاری مخازن و نادیده گرفتن نفوذ حرارتی در مدل آنها می‌توان گفت که کار آنها امروزه کارایی چندانی ندارد.

مدل ترمودینامیکی دیگری که هم اکنون کاربرد بیشتری دارد، مدل تعادلی با فرض محلول حقیقی مدل ترمودیناست. این مدل‌ها بر مبنای رابطه (۱) و یک معادله حالت مناسب به توجیه تغییر ترکیب مخازن می‌پردازند. یکی از شناخته شده ترین

در مخلوط دو جزئی فرضی قرار دارد که خواص جزء دوم فرضی برابر میانگین مولی ساده سایر اجزاء است.

یعنی:

$$x_k^+ = 1 - x_k \quad (5)$$

$$L_k^+ = \frac{\sum_{j=1, j \neq k}^n \bar{L}_j x_j}{1 - x_k} \quad (6)$$

$$\nu_k^+ = \frac{\sum_{j=1, j \neq k}^n \bar{\nu}_j x_j}{1 - x_k} \quad (7)$$

با قرار دادن سه رابطه بالا در رابطه (۴) به رابطه زیر برای مخلوط های چند جزئی می‌رسیم:

$$\frac{Q_k^{**}}{(1-x_k)} = \frac{\bar{\nu}_k \cdot \bar{\nu}_k^+}{2\nu} \left[\frac{\bar{L}_k^+}{\nu_k^+} - \frac{\bar{L}_k}{\nu_k} \right] \quad (8)$$

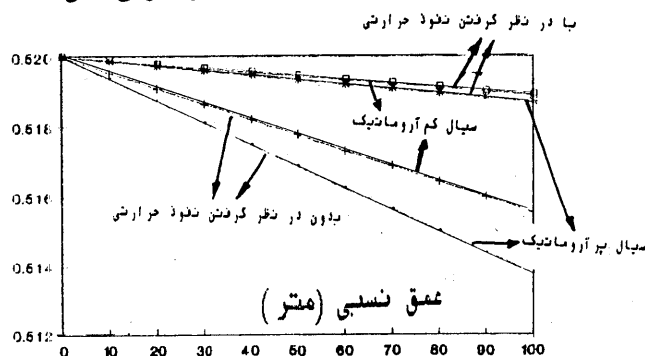
از آنجا که می‌توان \bar{L} را همان گرمای تبخیر جزء k از مخلوط به حالت گاز ایده‌آل (با علامت منفی) دانست، از روی معادله (۸) می‌توان چنین نظر داد که هرچه مقدار L برای یک جزء بزرگتر باشد، مقدار گرمای انتقال خالص برای آن جزء بیشتر خواهد شد. به همین صورت می‌توان چنین نتیجه گرفت از آنجا که مقدار L با گرمای تبخیر و مقدار گرمای تبخیر تقریباً با جرم مولکولی نسبت مستقیم دارد، هرچه جرم مولکولی بیشتر باشد گرمای انتقال خالص آن نیز بزرگتر است. از آنجا که نیروی بین مولکولی در مواد آروماتیکی قویتر از آلکان‌های با جرم مولکولی مشابه است، بنابراین گرمای نهان تبخیر و در نتیجه گرمای انتقال خالص آن نیز بزرگتر است. پس می‌توان چنین نظر داد که اثر نفوذ حرارتی در مورد آروماتیک‌ها قویتر خواهد بود. حال می‌توانیم مدل ترمودینامیکی خود را ارائه دهیم:

۱ - نخست با داشتن دما و فشار و اجزاء مولی در نقطه مرجع $(Z = Z_R)$ گرادیان اجزاء مولی را از رابطه (۲) حساب کرده و ترکیب مواد در نقطه $(Z = Z_1)$ را با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

می‌توان ادعای شولت در مورد تاثیر آروماتیک‌ها بر تغییر ترکیب سیال مخزن را نتیجه نادیده گرفتن نفوذ حرارتی دانست و بجای نتیجه گیری شولت چنین نظر داد که هرچه مقدار آروماتیک‌ها در یک ترکیب نفتی بیشتر باشد، نادیده گرفتن نفوذ حرارتی سبب بروز خطای بزرگتری خواهد شد.

برای بررسی این نکته دو سیال با ترکیب تقریباً مشابه که تنها مقدار آروماتیک‌های یکی از دیگری بیشتر بود را در فشار ۳۴/۵ مگاپاسکال و دمای ۳۶۱ کلوین که هر دو بصورت مایع هستند در نظر گرفتیم (ترکیب این دو سیال در جدول (۱) آمده است). سپس تغییر ترکیب در این دو سیال را در یک فاصله ۱۰۰ متری با استفاده از معادله پنگ - رابینسون سه پارامتری محاسبه کردیم. نخست تنها با در نظر گرفتن عامل گرانشی تغییر ترکیب سیال هیدروکربوری را محاسبه نمودیم. در شکل (۱) جزء مولی متان در دو سیال رسم شده است. این شکل بخوبی نشان می‌دهد که جزء مولی متان در سیال پر آروماتیک با شدت بیشتری تغییر می‌کند. در شکل (۲) نیز تغییر جزء مولی بنزن، تولوئن و هپتان نرمال را برای سیال پر آروماتیک براساس همین سری محاسبات رسم کرده ایم. از روی این شکل نیز مشخص است که تغییر ترکیب مواد آروماتیکی از هپتان نرمال که جرم مولکولی سنگینتری نیز دارد، شدیدتر است. سپس برای همین

جزء مولی متان



شکل ۱: تاثیر آروماتیکها بر تغییرات ترکیب به نسبت عمق تنها با در نظر گرفتن نیروی گرانشی. گرادیان حرارتی ۰/۰۲ کلوین بر متر.

مدل‌های تعادلی توسط شولت^۱ ارائه گردید. وی مدل ترمودینامیکی خویش را بر مبنای وجود تعادل مکانیکی، شیمیایی و حرارتی در مخزن و ثابت ماندن دما در طول آن برپا کرد [۷]. شولت ادعا می‌کرد که مقدار مواد آروماتیکی تاثیر زیادی روی شدت تغییر ترکیب اجزاء مختلف می‌گذارد، در حالیکه سایر منابعی که نفوذ حرارتی را در نظر می‌گرفتند این موضوع را تأیید نکرده‌اند.

یکی از نارسایی‌های مدل شولت آن بود که دما در تمامی طول مخزن ثابت در نظر می‌گرفت، در حالیکه دست کم در مورد سیالات نزدیک نقطه بحرانی حتی تغییرات اندک دمایی تاثیر زیادی روی شدت تغییر ترکیب می‌گذارد. به همین خاطر مونتل^۲ [۱۰] کوشید تا با اصلاح مدل تعادلی شولت، مدل دقیقتری بدست آورد. او به جای آنکه دما را در تمامی طول مخزن یکسان بگیرد، مخزن را به بلوک‌هایی تقسیم کرد و دما را در طول هر بلوک ثابت در نظر گرفت. طرف دوم معادله (۲) که محاسبات مدل تعادلی جدید ما بر آن استوار هست را می‌توان به دو بخش یا دو نیروی گرانشی F_k^G و حرارتی F_k^T تقسیم کرد.

$$F_k^G = (M_k - \rho \bar{v}_k)g \quad (13)$$

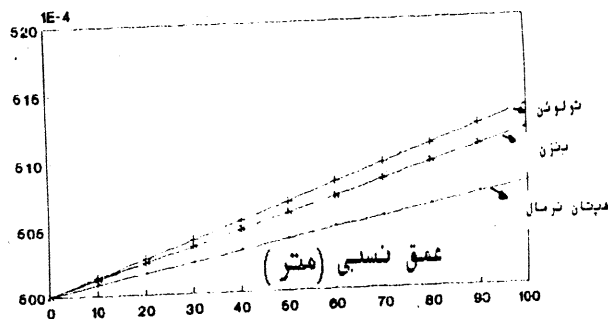
$$F_k^T = Q_k^{**} \frac{\text{grad}T}{T} \quad (14)$$

که این دو نیرو مخالف یکدیگر هستند. از آنجا که مواد آروماتیک نسبت به آلکانهای با جرم مولکولی مشابه حجم مولی کمتری دارند، می‌توان حدس زد که نیروی گرانشی وارد بر آنها بزرگتر است. از طرف دیگر چون مواد آروماتیک گرمای نهان تبخیر بیشتری نسبت به آلکان‌ها دارند، باید گرمای انتقال خالص بیشتری داشته باشند و در نتیجه نیروی حرارتی بزرگتری بر آنها اثر می‌کند. بنابراین می‌بینیم که در آروماتیک‌ها هم نیروی گرانشی و هم نیروی حرارتی بزرگتر از آلکان‌ها هستند و تا حدی اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. پس اگر مدلی تنها نیروی گرانشی را در نظر بگیرد، گرادیان ترکیب در مورد آروماتیک‌ها بسیار بزرگتر خواهد بود. بنابراین

جدول ۱: ترکیب دوسیال مشابه با اختلاف در مقدار آروماتیکها.

اجزاء مخلوط	جزء مولی سیال پرآروماتیک	جزء مولی سیال کم آروماتیک
نیتروژن	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
متان	۰/۵۲۰	۰/۵۲۰
اتان	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰
گازکربنیک	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
پروپان	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰
ایزوبوتان	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
نرمال بوتان	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰
ایزوپنتان	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
نرمال پنتان	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
نرمال هگزان	۰/۰۱۰	۰/۰۵۰
بنزن	۰/۰۵۰	۰/۰۲۰
نرمال هپتان	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰
تولوئن	۰/۰۵۰	۰/۰۲۰
اتیل بنزن	۰/۰۷۰	۰/۰۳۰
نرمال دکان	۰/۰۲۰	۰/۰۵۰
نرمال تترادکان	۰/۰۲۰	۰/۰۵۰

باشد، اندازه نیروی حرارتی در برابر نیروی گرانشی قابل ملاحظه تر می شود و حتی ممکن است جهت گرادیان ترکیب پاره‌ای از اجزاء را عوض کند. موادی که گرمای انتقال خالص بزرگتری داشته باشند (مثل آروماتیک‌ها) در مقابل تغییر گرادیان حرارتی حساسیت بیشتری از خود نشان خواهند داد.

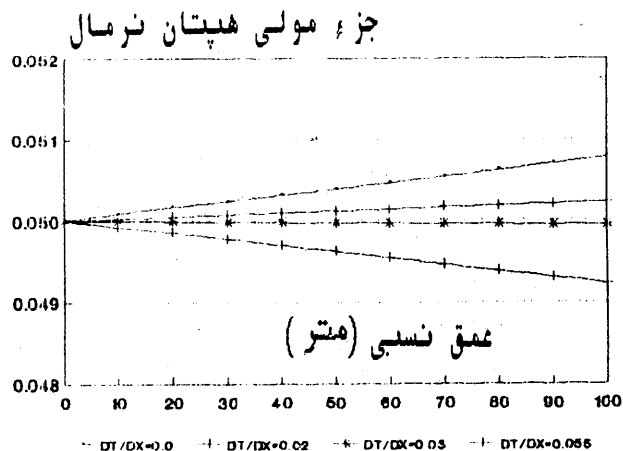


شکل ۲: مقایسه گرادیان‌های تغییرات ترکیب آروماتیکها و آلکانهای نرمال تنها بادر نظر گرفتن نیروی گرانشی. گرادیان حرارتی ۰/۰۲ کلوین بر متر.

دو سیال محاسبات مشابه‌ای را با در نظر گرفتن نفوذ حرارتی انجام دادیم. تغییر جزء مولی متان در این حالت در همان فاصله قبلی محاسبه شده است و نتایج در شکل (۳) رسم شده است. از روی این شکل کاملاً مشخص است که گرادیان ترکیب برای هر دو سیال پرآروماتیک و کم آروماتیک کوچکتر شده و اختلاف آنها نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است.

همچنین مشاهده می‌شود که نیروی حرارتی تاثیر نیروی گرانشی را بسیار کاهش داده است. بنابراین می‌بینیم که اکنون می‌توان با توجه به این عوامل از تمامی بحث‌های بالا بصورت زیر نتیجه گرفت که مدل‌هایی که اثر نفوذ حرارتی را در نظر نگیرند (همانند مدل شولت) اثر آروماتیک‌ها بر تغییر ترکیب سیالات مخزن را بسیار بزرگتر از مقدار واقعی حدس می‌زنند.

موضوع دیگر اثر گرادیان حرارتی یا تغییر دمای سیال در طول مخزن است. در رابطه (۱۴) مشخص است که نیروی حرارتی بستگی مستقیم به این گرادیان دارد. بنابراین هرچه این گرادیان بزرگتر

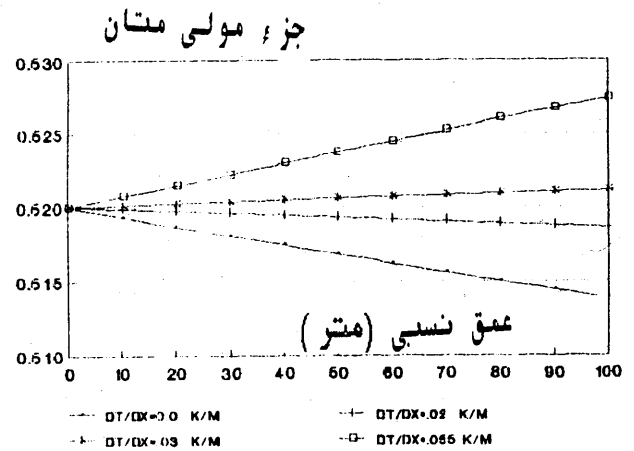


شکل ۵: تاثیر گرادیان حرارتی بر تغییرات جزء مولی هپتان نرمال.

بررسی اثر تغییر دما و فشار

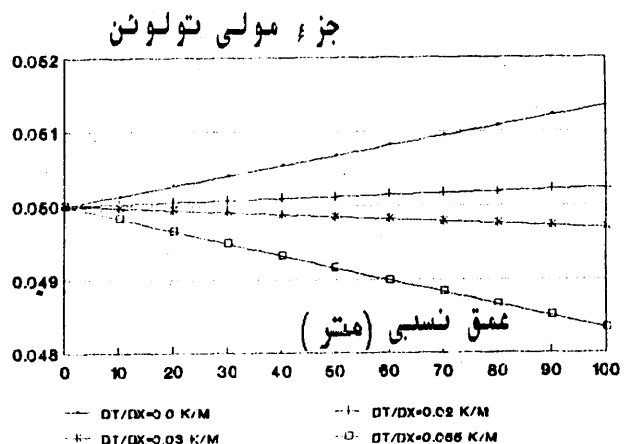
گزارشهای بسیاری نشان می دهد که هرچه شرایط سیالات مخزن به شرایط بحرانی نزدیکتر شود، شدت تغییر ترکیب آن نیز افزایش می یابد [۸۷، ۱۱۰، ۱۱۱]. ویتون^۱ این پدیده را چنان توجیه کرد که در دما و فشار بحرانی دتر مینان ضرایب معادلات (۲) به سمت صفر میل می کند. لیکن در نقد کوتاهی که از مقاله وی منتشر شد [۱۷] استدلال وی با روش هیدمن و خلیل^۱ [۱۸] برای محاسبه نقاط بحرانی چنین اصلاح شد که به سمت صفر میل کردن دترمینان ضرایب تنها ویژه نقاط بحرانی نیست، بلکه این دترمینان در طول منحنی پایداری که نقطه بحرانی تنها یکی از نقاط آن است، به سمت صفر میل می کند. بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که با نزدیک شدن سیال به شرایط منحنی پایداری، تغییر ترکیب سیال به نسبت ارتفاع بشدت افزایش می یابد.

برای روشن شدن این موضوع مخلوط ۹۲ درصد گاز کربنیک (CO₂) و ۷ درصد نرمال هگزادکان (nC₁₆H₃₄) را که دمای بحرانی و فشار بحرانی آن در ۴۱۵/۵ کلوین و ۲۶/۱۵ مگاپاسکال قرار دارد را در نظر گرفتیم. منحنی پایداری این مخلوط در شکل (۷) نشان داده شده است. حال در دمای ۵۰۰ کلوین به فشار منحنی پایداری (تقریباً ۲۶ مگاپاسکال) نزدیک می شویم. نتایج کاملاً نشان می دهند که هرچه فشار



شکل ۳: تاثیر گرادیان حرارتی بر تغییرات جزء مولی متان.

برای بررسی همین موضوع سیال پرآروماتیک قبلی را در همان شرایط اولیه با گرادیان های حرارتی صفر، ۰/۰۲، ۰/۰۳، و ۰/۰۵۵ کلوین بر متر مورد بررسی قرار دادیم. نتایج محاسبات برای جزء مولی متان را در شکل (۳) نشان داده ایم. در این شکل خوبی مشخص است که افزایش گرادیان حرارتی بتدریج تاثیر نیروی گرانشی را کاهش داده بطوریکه می تواند جهت تغییر جزء مولی متان را عوض کند. در شکلهای (۴) و (۵) تغییر جزءهای تولوئن و هپتان نرمال را به ترتیب نشان داده ایم. از روی این دو شکل نیز کاملاً مشخص است که حساسیت تولوئن نسبت به تغییر گرادیان حرارتی بسیار بیشتر از هپتان نرمال است. جهت تغییرات ترکیب نیز همانند متان با افزایش گرادیان حرارتی قابل تعویض است.

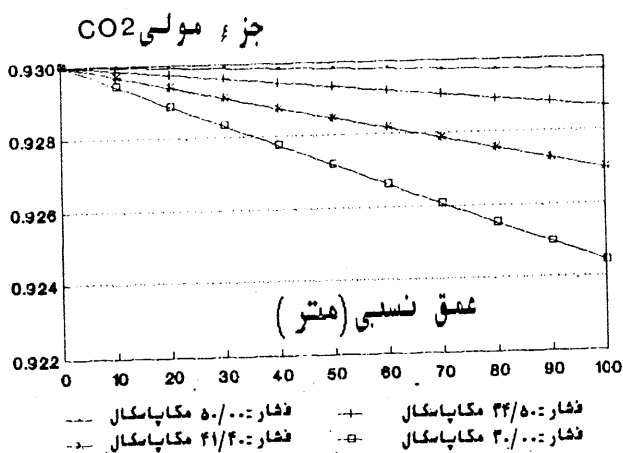


شکل ۴: تاثیر گرادیان حرارتی بر تغییرات جزء مولی تولوئن.

۳ - عامل گرانشی برای هیدروکربورهای عضو یک خانواده با جرم مولکولی نسبت مستقیم دارد و بطور کلی سبب ته نشینی مولکولهای سنگینتر می شود، در حالیکه عامل حرارتی به بزرگی گرادیان حرارتی و گرمای انتقال خالص بستگی دارد و معمولاً در جهت عکس عامل گرانشی عمل می کند.

قدردانی

این مطالعه با همکاری و استفاده از امکانات پژوهشگاه صنعت نفت انجام گرفت. برای انجام



شکل ۶: تاثیر دما بر تغییرات جزء مولی.

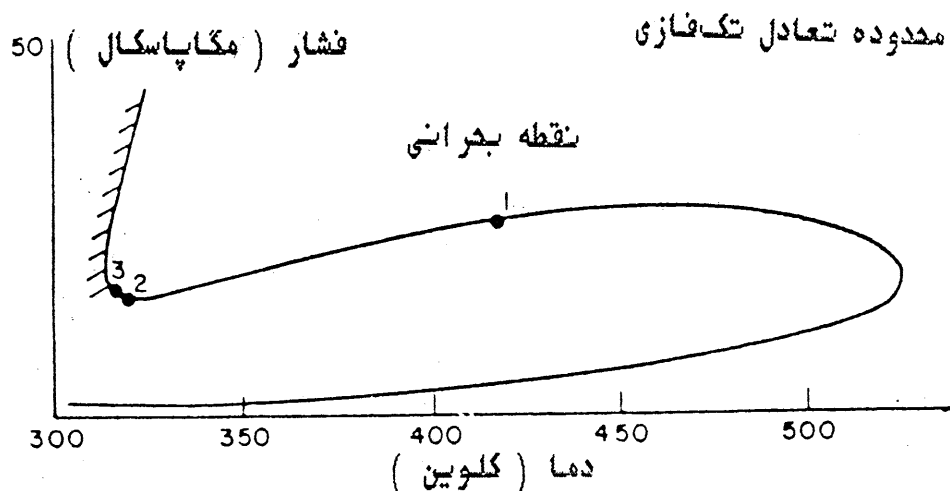
سیستم به فشار منحنی پایداری نزدیک می شود، تغییر ترکیب شدیدتر خواهد شد. در شکل (۶) تغییرات جزء مولی گاز کربنیک را برای فشارهای ۵۰، ۴۱/۴، ۳۴/۵ و ۳۰ مگاپاسکال و دمای ۵۰۰ کلوین نشان داده‌ایم که فرض قبلی را کاملاً تأیید می کند.

نتیجه گیری

بر پایه نظریات ترمودینامیک بازگشت ناپذیر و توسعه روش های موجود برای محاسبه گرمای انتقال خالص در سیستم های چند جزئی و بکارگیری یک معادله حالت، مدلی ایجاد شده است که قادر به تعیین تغییرات ترکیب سیالات مخازن نفت و گاز با عمق می باشد. این مدل با سایر مدل های موجود مقایسه شده و برتری آن در توجیه تغییرات ترکیب گزارش شده نشان داده شده است. همچنین براساس مطالعات انجام شده با این مدل می توان نتیجه گرفت:

۱- فرض وجود تعادل شیمیایی در طول مخزن فرض دقیقی نیست و مدل های تعادلی پایه نظری استواری ندارند.

۲- ایجاد تغییر ترکیب در مخازن به دو عامل گرانشی و حرارتی بستگی دارد که معمولاً عامل گرانشی تاثیر بیشتری دارد، اما از عامل حرارتی نیز نمی توان صرف نظر کرد.



شکل ۷: منحنی پایداری مخلوط نرمال هگزادکان و گاز کربنیک [۱۸].

گوزلپور استفاده شده است [۱۹].

محاسبات مربوط به تعیین حالت ماده و جرم حجمی آن از برخی برنامه های داده شده توسط آقای

مراجع

- ۱ - موقرنژاد، (کامیار)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تغییرات ترکیب مخازن نفتی به نسبت ارتفاع"، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، خرداد (۱۳۷۳)
- 2 - Bath, P. G. H., Fowler, W. N., and Russel, M. P. M.(1980)."The brent field a reservoir engineering review." *EUR 164*, Presented at the European Offshore Petroleum Conference and Exhibition, London ,Oct. 21-24.
- 3 - Espach, R. H., and Fry, J.(1951). "Variable characteristics of the oil in the tensleep sandstone reservoir, ELK basin field wyoming and montana." *Trans. AIME* , 192, 75-82.
- 4 - Mc Cord, D. R.(1953). "Perfomance predictions incorporating gravity drainage and gas cap pressure maintenance LL-370 area, Bolivar Costal field." *AIME*, 198 , 231 - 248.
- 5 - Sage, B. H., and Lacey, W. N.(1939)."Gravitational concentration gradients in staic columns of hydrocarbon fluids." *Trans. AIME*, 132, 120-131.
- 6 - Neveux, A. R., Sakhtikumar, S., and Noiray, J. M.(1988)."Delineation and evaluation of a North Sea reservoir containing near critical fluids." *SPE Res. Eng.*, Aus,842-848 .
- 7 - Schulte, A. M.(1980). "Compositional variation within a column due to gravity." *Paper SPE Presented at the 1980 SPE Annual Meeting*, Dallas, Sep., 21-24.
- 8 - Riemans, W. G., Schulte, A. M., and DE Jong, L. N. J.(1988). "Birba field PVT variations along the hydrocarbon column and confirmatory field tests." *JPT*, Jan., 83-88.
- 9 - Hirschberg, A.(1984)."The role of asphaltenes in compositional grading of reservoir's fluid column." *Paper SPE 13171 Presented at the 1984 SPE Annual Meeting*, Houston, Sep., 16-19.
- 10 - Montel, F., and Grrovel, P. L.(1985). " Prediction of compositional grading in a reservoir fluid column." *Paper SPE 14410 presented at the 1985 SPE annual technical conference and exhibition*, Las. Vegas.
- 11 - Wheaton, R. J.(1991). "Treatment of variation of composition with depth in gas-condensate reservoirs." *SPE Reservoir Engineering*, May, 239-244.
- 12 - De Groot, S.R.(1966). *Thermodynamics of irreversible processes*. North Holland Publishing Co., Amesterdam, 1st Edition.
- 13 - Fitts,D. D.(1962). *Nonequilibrium thermodynamics*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc., 1st Edition.
- 14 - Haase, R.(1962). *Thermodynamics of irreversible processes*. Addison-Wesley Publishing Company, 1st Edition .
- 15 - Bearman, R. J. et al.(1985). "Statistical-Mechanical theory of transport processes.X. The heat of transport in binary liquid solutions." *Advances in chemical Physics*, Vol.1, 1-13.
- 15 - Tyrrel, H. J. V.(1961). *Diffusion and heat flow in liquids*. Butterworth & Co., London, 1st Edition.
- 17 - Lira-Galeana, C.(1992). "Discussion of treatment of variations of composition with depth in gas-condensate reservoirs." *SPE reservoir engineering*, Feb., 158.

-
- 18 - Heidmann, R. A., and Khalil, A. M.(1980). "The calculation of critical points." *AICHE J.*, 26,769-79.
- 19 - Gozalpoor, F.(1993). "Compositional description and tuning of equation of state for predicting PVT behavior of oil." *M. Sc. Thesis*, Faculty of Pet. Eng., UPI, Ahwaz, IRAN, June.
-