

مدلسازی ریاضی پدیده‌های نفوذ مولکولی و پراکندگی فیزیکی در فرایند تزریق امتزاجی گاز

عباس شهرآبادی^{۱*}، میثم کمالی پور^۲، سعید عباسی^۱، سید صالح هندی^۱، محمد جامی‌الاحمدی^۲

۱- تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، مرکز مطالعات ازدیاد برداشت از مخازن

۲- اهواز، دانشگاه صنعت نفت، دانشکده نفت اهواز

پیام نگار: shahrabadia@ripi.ir

چکیده

پدیده‌های نفوذ مولکولی و پراکندگی، دو مکانیسم بسیار مهم در فرایند تزریق امتزاجی گاز به مخازن نفتی هستند که متأسفانه در غالب شبیه‌سازیهای انجام‌گرفته در مطالعات مخزن، از آنها صرف‌نظر می‌شود. در واقع اختلاط سیال تزریقی و نفت در محیط متخلخل سنگ مخزن، توسط همین دو مکانیسم کنترل می‌گردد. صرف‌نظر کردن از این دو پدیده در شبیه‌سازیها می‌تواند باعث ایجاد خطا در نتایج شبیه‌سازی شود و به همین جهت استناد به این نتایج برای به‌کارگیری در اجرای پروژه‌های تزریق گاز به مخزن، غیر قابل قبول خواهد بود و قطعاً به نتایج مورد انتظار نخواهد انجامید. هدف از انجام این تحقیق نشان دادن خطای حاصل از اغماض این دو پدیده در شبیه‌سازیهاست. در این مقاله ابتدا تأثیر مکانیسم‌های نفوذ مولکولی و پراکندگی بر روی فرایند تزریق امتزاجی گاز با استفاده از یک مدل ساده یک بعدی تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. این سناریوها شامل در نظر گرفتن پدیده‌های نفوذ مولکولی و پراکندگی و همچنین اغماض این پدیده‌ها هستند. مقایسه نتایج این سناریوها نشان می‌دهد که صرف‌نظر کردن از این پدیده‌ها باعث ایجاد خطای زیاد در پیش‌بینی تغییرات غلظت گاز، ضریب برداشت نفت و همچنین زمان میان شکستی گاز خواهد شد. بر اساس مطالعات انجام شده در این مقاله، نهایتاً ضریب پراکندگی بهینه و مناسب جهت طراحی فرایند تزریق امتزاجی محاسبه و ارائه خواهد گردید.

کلمات کلیدی: نفوذ مولکولی، پراکندگی فیزیکی، پراکندگی مکانیکی، تزریق امتزاجی

۱- مقدمه

است که این پدیده هم در جهت جابجایی و هم عمود بر آن رخ می‌دهد. به مجموع این دو، پراکندگی فیزیکی گفته می‌شود که گهگاه به اختصار، پراکندگی هم نامیده می‌شود. بطور کلی هرگاه از پراکندگی در کنار یا در مقایسه با نفوذ مولکولی یاد شود به معنای پراکندگی مکانیکی است و در سایر موارد منظور پراکندگی فیزیکی است.

نفوذ مولکولی و پراکندگی مکانیکی دو مکانیسم مهمی هستند که میزان مخلوط‌شدن سیال تزریقی و سیال جایجا شونده را در حضور سنگ مخزن تعیین می‌کنند. نفوذ مولکولی در اثر گرادیان غلظت سیال تزریقی در محیط بوجود می‌آید در صورتی که عامل پراکندگی مکانیکی، ساختار محیط متخلخل و تغییرات سرعت سیالات بوده

که معمولاً شکل تابعی معادله فوق به صورت چند جمله‌ای زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\rho D}{\rho^o D^o} = a + b\rho_r + c\rho_r^2 + d\rho_r^3 \quad (3)$$

محققین زیادی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، مقادیر بهینه پارامترهای معادله فوق را به دست آورده‌اند که مقادیر زیر از کمترین خطا برخوردار می‌باشد [۲]:

$$\frac{\rho D}{\rho^o D^o} = 0.99589 + 0.096016\rho_r - 0.220350\rho_r^2 + 0.032874\rho_r^3 \quad (4)$$

عبارت $\rho^o D^o$ که معرف ضریب نفوذ در فشارهای پایین است براساس روش (چاپمن-اینسکوگ) ^۳ با رابطه زیر بیان می‌شود [۳]:

$$\rho^o D_{12}^o = \frac{.0018583 \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{0.5} T^{-.5}}{\sigma_{12}^2 \Omega_{12} R} \quad (5)$$

که در معادله فوق ضرایب به صورت زیر تعریف می‌شوند [۴]:

$$\sigma_1 = 0.1866 v_c^{1/3} z_c^{-6} \quad (6)$$

$$\varepsilon_1 = 65.3 z_{c1}^{18/5} \quad (7)$$

$$\varepsilon_{12} = (\varepsilon_1 \varepsilon_2)^{0.5} \quad (8)$$

$$T_{12} = T / \varepsilon_{12} \quad (9)$$

$$\Omega_{12} = 1.06036 / T_{12}^{.1561} + .19300 \exp(-.47635 T_{12}) + 1.03587 \exp(-1.52996 T_{12}) + 1.76474 \exp(-3.8941 T_{12}) \quad (10)$$

به عنوان نمونه منحنی $\frac{\rho D}{\rho^o D^o}$ بر حسب چگالی کاهش یافته برای

گازهای مختلف توسط Reid در شکل (۱) نشان داده شده است [۴].

معمولاً در مطالعات شبیه‌سازی فرایندهای تزریق گاز در مخزن از این دو مکانیسم صرف‌نظر می‌شود که علت این امر عمدتاً عدم وجود داده‌های کافی و همچنین عدم وجود روابط مناسب و دقیق جهت محاسبه ضریب نفوذ گاز در داخل نفت در شرایط فشار و دمای بالای مخزن می‌باشد. از طرفی، نادیده گرفتن نقش مهم این مکانیسم‌ها در اینگونه فرایندها باعث ایجاد خطای زیاد در محاسبات و شبیه‌سازیها شده و این باعث می‌شود که نتایج به دست آمده در مطالعات شبیه‌سازی دارای عدم قطعیت و فاقد اعتبار لازم در توسعه میداین نفتی نباشد. برای در نظر گرفتن پدیده‌های نفوذ مولکولی و پراکندگی در محاسبات شبیه‌سازی لازم است مقادیر ضرایب نفوذ مولکولی و پراکندگی اندازه‌گیری شود و در محاسبات از آنها استفاده گردد. در ادامه بحث پس از توضیح روشهای مناسب جهت اندازه‌گیری ضریب نفوذ مولکولی به بررسی نقش این پارامتر در فرایند امتزاجی خواهیم پرداخت. معمولاً جهت محاسبه ضریب نفوذ مولکولی در مخلوطها از دو روش نظری به نامهای روش ضریب نفوذ مؤثر ویک^۱ و روش شبه دو جزیبی^۲ استفاده می‌شود. در نفوذ مولکولی به حرکت سیال نیازی نیست و این مکانیسم بر اثر وجود اختلاف غلظت در سیستم بوجود می‌آید و با قانون اول فیک بصورت زیر بیان می‌شود [۱]:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

در رابطه فوق D معرف ضریب نفوذ و J فلاکس جرمی انتقال یافته توسط مکانیسم نفوذ مولکولی است. در محاسبات نفوذ مولکولی و پراکندگی در فرایند تزریق گاز لازم است که ضریب نفوذ مولکولی در شرایط فشار و دمای مخزن محاسبه شود. مطالعات آنالیز ابعادی نشان می‌دهد که ضریب نفوذ در فشارهای بالا را می‌توان با معادله ساده زیر به ضریب نفوذ در فشارهای پایین و چگالی کاهش مرتب ساخت.

$$\frac{\rho D}{\rho^o D^o} = f(\rho_r) \quad (2)$$

3. Chapmann Enskok

1. Wilke Effective
2. Psudo Binary

که هر کدام از ضرائب موجود در معادلات بالا با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شوند. مسلماً با افزایش تعداد اجزاء این روابط پیچیده‌تر می‌شوند. برای حل این مشکل معمول است که به جای استفاده از ضریب نفوذهای مختلف از یک ضریب نفوذ مؤثر استفاده می‌شود که این ضریب نفوذ توسط ویک [۶] به صورت زیر ارائه شده است:

$$D_{Am} = \frac{1 - y_A}{\sum_{i=1, i \neq A}^{n+1} \frac{y_i}{D_{Ai}}} \quad (15)$$

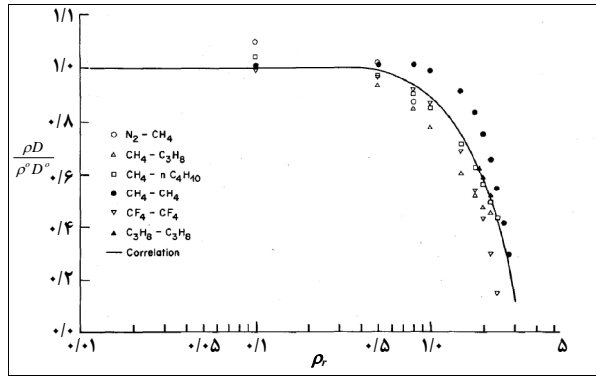
در این رابطه A بیانگر گاز تزریقی است. از آنجایی که مجموع ضرائب مولی حاصل، الزاماً برابر یک نمی‌باشد ضرائب مولی را با رابطه زیر نرمالیزه می‌کنیم:

$$Y_i = \frac{Y_{ei}}{\sum Y_{ei}} \quad (16)$$

در روش شبه دو جزئی همه اجزای سیستم به دو گروه نفت و گاز تقسیم می‌شوند و یک ضریب نفوذ برای سیستم دو جزئی بیان می‌گردد. مفهوم دیگری که نقش مهمی در اختلاط سیالات هنگام تزریق یک سیال امتزاج‌پذیر به محیط متخلخل دارد، پراکندگی مکانیکی است. به دلیل تغییر در سرعت، این اختلاط صورت می‌پذیرد و این نباید با اصطلاح همرفت اشتباه گرفته شود. همرفت، حرکت سیال به دلیل حرکت توده‌ای آن می‌باشد. در فرایند جابجایی امتزاجی نیز اصطلاح همرفت وجود دارد اما باعث اختلاط سیالات نمی‌شود [۷]. پراکندگی فیزیکی بطور کلی شامل نفوذ مولکولی و پراکندگی مکانیکی است. به سبب تغییر در غلظت و سرعت در محیط متخلخل این اختلاط ایجاد می‌شود. در حالتی که نفوذ مولکولی و پراکندگی هر دو از اهمیت برخوردار باشند، ضریب پراکندگی را می‌توان بوسیله معادله زیر بدست آورد [۸]:

$$K = D + \frac{u^2 a^2}{48D} \quad (17)$$

در رابطه فوق K ضریب پراکندگی فیزیکی، D ضریب نفوذ مولکولی، u سرعت حرکت سیال در محیط متخلخل و a قطر متوسط خلل



شکل ۱- منحنی ضریب نفوذ بر حسب جرم جرمی کاهشی [۴]

حال می‌توان از معادلات بیان شده در فوق جهت محاسبه ضریب نفوذ گاز در نفت که هر دو از مخلوط‌های پیچیده می‌باشند استفاده کرد. در مخلوط‌های چندجزئی محاسبه ضریب نفوذ به سادگی مخلوط‌های دو جزئی نیست. در این نوع مخلوطها ارتباط بین غلظت و زمان برای یک مخلوط شامل (n+1) جزء بوسیله رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\nabla \cdot (c_i \vec{u} + \vec{J}_i), \quad i = 1, n \quad (11)$$

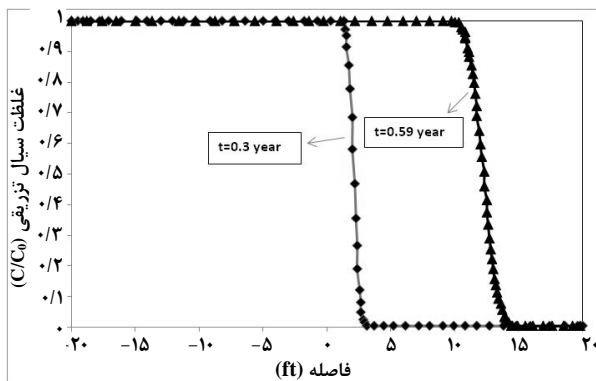
به طوری که:

$$\vec{J}_i = -\sum D_{ik} \nabla c_k \quad (12)$$

همان‌گونه که مشخص است برای محاسبه شار جرمی، احتیاج به ضریب نفوذ مولکولی هر جزء در اجزاء دیگر می‌باشد که محاسبات را بسیار پیچیده می‌کند. به عنوان مثال در این مخلوط ضریب نفوذ مولکولی برای یک مخلوط دو جزئی با رابطه زیر محاسبه می‌شود [۵]:

$$D_1 = \frac{D_{11} + D_{22} + \sqrt{(D_{11} - D_{22})^2 + 4D_{12}D_{21}}}{2} \quad (13)$$

$$D_2 = \frac{D_{11} + D_{22} - \sqrt{(D_{11} - D_{22})^2 + 4D_{12}D_{21}}}{2} \quad (14)$$



شکل ۳- نیمرخ غلظت بوتان با دو روش ضریب نفوذ مؤثر و شبه دوجزئی در دو زمان مختلف

همان گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود محاسبه غلظتها با استفاده از هر دو روش به نتایج مشابهی منجر شده است. پس می‌توان نتیجه گرفت که برای محاسبات بعدی استفاده از روش بسیار ساده ضریب نفوذ مؤثر قابل قبول خواهد بود. بنابراین در ادامه، جهت محاسبه ضریب نفوذ مولکولی از روش مؤثر استفاده گردیده است. به منظور مطالعه تأثیر هر کدام از پارامترهای نفوذ مولکولی و پراکندگی مکانیکی و پراکندگی فیزیکی که مجموع این دو می‌باشد، معادله (نفوذ- همرفت) در سه حالت حل خواهد شد. در حالت اول معادله را بدون در نظر گرفتن ضریب نفوذ حل می‌کنیم. در این حالت تنها مکانیسم موجود همرفت می‌باشد. در حالت دوم معادله با وجود ضریب نفوذ حل می‌گردد. در این حالت مکانیسم‌های نفوذ مولکولی و همرفت در نظر گرفته می‌شود. در حالت سوم معادله با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی فیزیکی حل می‌گردد که در واقع هر سه مکانیسم همرفت، نفوذ مولکولی و پراکندگی مکانیکی وجود دارند. بنابراین در حالت اول معادله زیر حل می‌شود:

$$-v \frac{\partial C_i}{\partial x} = \phi \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (19)$$

در حالت دوم و سوم بترتیب معادلات زیر حل می‌شوند:

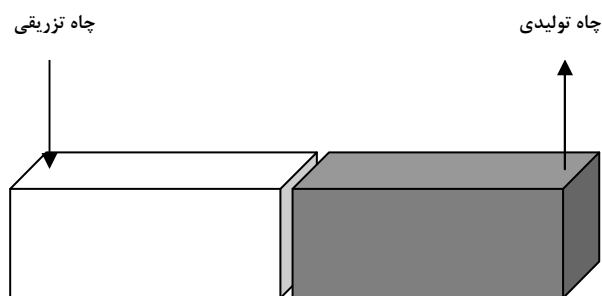
$$-v \frac{\partial C_i}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} = \phi \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (20)$$

$$-v \frac{\partial C_i}{\partial x} + K \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} = \phi \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (21)$$

و فرجهای محیط متخلخل است. همانگونه که مشخص است پراکندگی، تابعی از مکانیسم نفوذ مولکولی و همچنین سرعت سیال می‌باشد که بسته به اندازه سرعت سیال، مکانیسم کنترل کننده فرایند می‌تواند نفوذ مولکولی، پراکندگی مکانیکی و یا هر دو باشد.

۲- تأثیر ضریب پراکندگی بر فرایند تزریق امتزاجی

جهت مطالعه تأثیر پراکندگی در فرایند تزریق امتزاجی از یک مدل ساده یک بعدی شامل ۴۰ بلوک با ابعاد (۱×۱×۱) ft همانند شکل (۲) استفاده شد. نیمه اول مدل (۲۰ بلوک ابتدایی) با ماده تزریقی بوتان، و بقیه با مخلوط ۳۵٪ متان و ۶۵٪ دودکان که نشان دهنده نفت مخزن می‌باشد اشباع شده است.



شکل ۲- مدل ساخته شده جهت مطالعه فرایند

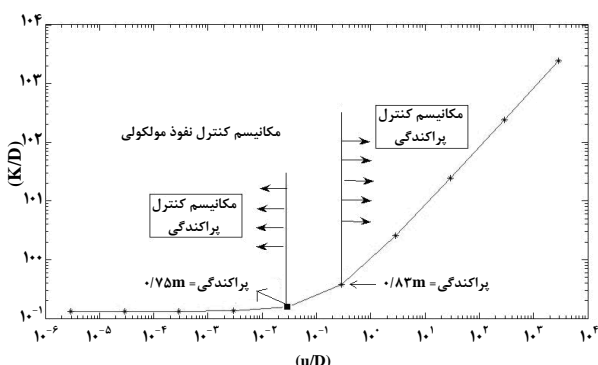
تزریق امتزاجی بوتان

معادله (پراکندگی- همرفت) در محیط متخلخل به صورت زیر بیان می‌شود [۹]:

$$-v \frac{\partial C_i}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} = \phi \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (18)$$

که معادله فوق از نوشتن موازنه جرم بر روی المان دیفرانسیلی از محیط متخلخل حاصل می‌گردد. ابتدا دو روش عنوان شده در قبل یعنی روش شبه دو جزئی و روش ضریب نفوذ مؤثر به کار گرفته و پس از محاسبه، ضریب نفوذ نیمرخ غلظت با استفاده از معادله فوق به دست آورده شد. نیمرخ غلظت محاسبه شده در دو زمان مختلف برای بوتان که بعنوان سیال تزریقی می‌باشد یا هر دو روش در شکل (۳) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در محاسبه غلظتها ضریب نفوذ و پراکندگی هر دو در نظر گرفته شده‌اند.

کنترل کننده فرایند هستند از سرعت $(\text{cm/s}) \times 10^{-5} \times 2$ شروع می شود و در سرعت $(\text{cm/s}) \times 10^{-4} \times 2$ به پایان می رسد.



شکل ۵- نواحی مختلف موجود در فرایند امتزاجی وابسته به پارامترهای نفوذ مولکولی و پراکندگی

عملکرد سیستم که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد این نتیجه را تأیید می نماید، زیرا سرعت های پایین به گونه ای هستند که مکانیزم نفوذ مولکولی و در سرعت های بالا پدیده پراکندگی نقش مهمی در کنترل فرایند تزریق امتزاجی خواهند داشت.

در این مطالعه اثر حضور هر کدام از این پارامترها در کارایی فرایند تزریق امتزاجی از جمله ضریب برداشت، زمان میان شکنی بررسی خواهد شد. برای نشان دادن اهمیت هر کدام از پارامترهای نفوذ و پراکندگی این مطالعات، در ۴ سناریوی مختلف به شرح زیر مطالعه و با همدیگر مقایسه شده اند.

سناریوی اول: فقط مکانیسم همرفت در نظر گرفته شده است.

سناریوی دوم: مکانیسم همرفت و نفوذ مولکولی در نظر گرفته شده اند.

سناریوی سوم: مکانیسم های همرفت و پراکندگی مکانیکی در نظر گرفته شده اند.

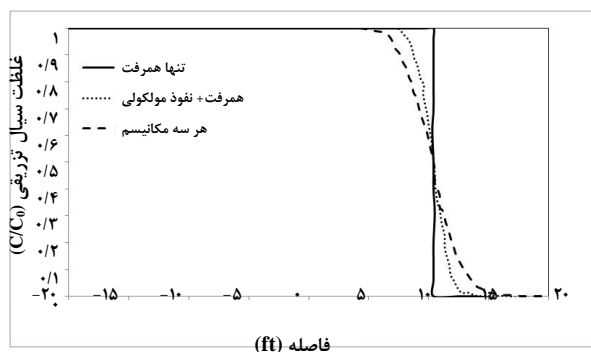
سناریوی چهارم: مکانیسم های همرفت، نفوذ مولکولی و پراکندگی مکانیکی هر سه در نظر گرفته شده اند.

۳- تأثیر پراکندگی فیزیکی روی ضریب برداشت

برای پیدا کردن ضریب برداشت، مطالعات بر روی یک نمونه ۲۰ فوتی از مدل قبلی انجام شد، به طوری که نیمه اول مدل با بوتان به عنوان سیال تزریقی و نیمه دوم با نفت (با همان خواصی که توضیح داده شد) اشباع گردید و در چهار سناریوی تعریف شده در بالا

که ضریب K از معادله (۱۷) قابل محاسبه می باشد. معادله فوق به صورت عددی و با تکنیک ضمنی به فرم تفاضل محدود در آمده و توسط یک برنامه ساده که در محیط متلب نوشته شده است، حل گردید.

با حل معادله در سه حالت، توزیع غلظت سیال تزریقی به دست می آید که نتیجه در شکل (۴) نشان داده شده است. از این شکل می توان فهمید که با حذف هر یک از پارامترهای نفوذ و پراکندگی شیب نمودار غلظت تندتر می شود.

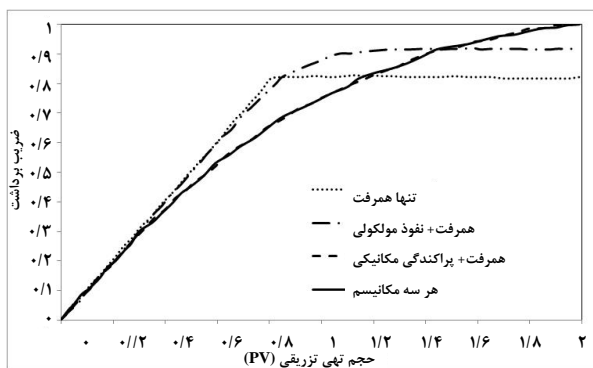


شکل ۴- تأثیر پارامترهای نفوذ و پراکندگی مکانیکی بر نیمرخ غلظت سیال تزریقی

نکته قابل توجه اینکه شکل فوق دقیقاً تابعی از سرعت سیال در محیط متخلخل بوده و با تغییر این سرعت شکل منحنی ها عوض می شوند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که به ازای مقادیر خاصی از سرعت سیال، هر کدام از مکانیسم های فوق کنترل کننده کل فرایند می باشند. پیدا کردن این نواحی در مطالعه فرایند تزریق امتزاجی بسیار مفید خواهند بود. زیرا با داشتن سرعت می توان مکانیسم کنترل کننده را تشخیص داد و در محاسبات از بقیه مکانیزم ها با خطای اندک صرف نظر کرد. این نواحی با رسم نسبت ضریب پراکندگی به ضریب نفوذ در سرعت های مختلف به دست می آید. شکل (۵) معرف این گونه نواحی می باشد.

ناحیه اول در شکل که در آن (K/D) با سرعت تغییر نمی کند ناحیه ای است که در آن مکانیسم نفوذ مولکولی فرایند را کنترل می کند. ناحیه سوم که از سرعت $(\text{cm/s}) \times 10^{-4} \times 2$ شروع می شود ناحیه ای است که توسط پراکندگی مکانیکی کنترل می شود. ناحیه گذرا که هر دو مکانیسم نفوذ مولکولی و پراکندگی مکانیکی،

نمودار برداشت اختلاف زیادی با مقدار واقعی که ضریب پراکندگی فیزیکی در سیستم داریم خواهد داشت ولی اگر فقط ضریب مولکولی به تنهایی در نظر گرفته شود می‌توان مقدار واقعی برداشت را پیش‌بینی کرد، که نشان می‌دهد در این سرعت ضریب نفوذ کنترل کننده فرایند امتزاجی است. در سرعت‌های بالا همانطور که شکل (۷) نشان می‌دهد عامل مؤثر در انجام فرایند تزریق امتزاجی ضریب پراکندگی فیزیکی است. در ناحیه گذرا (شکل (۸)) با نادیده گرفتن هر کدام از دو پارامتر ضریب نفوذ و پراکندگی مکانیکی نمی‌توان مقدار تولید را بدرستی تعیین کرد که نشان‌دهنده اهمیت هر دو پارامتر در این ناحیه است.



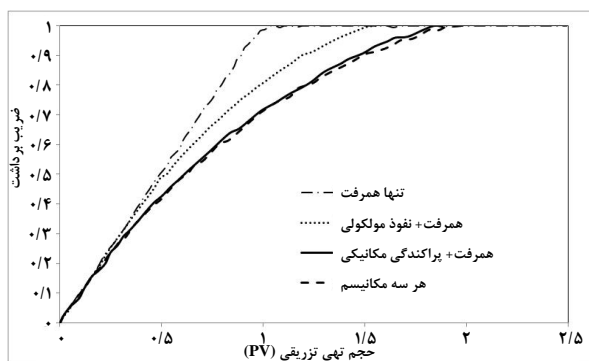
شکل ۸- نمودار ضریب برداشت بر حسب حجم تزریقی در ۴ حالت مختلف در سرعت بالا

۴- تأثیر پراکندگی فیزیکی بر روی زمان میان شکنی^۱

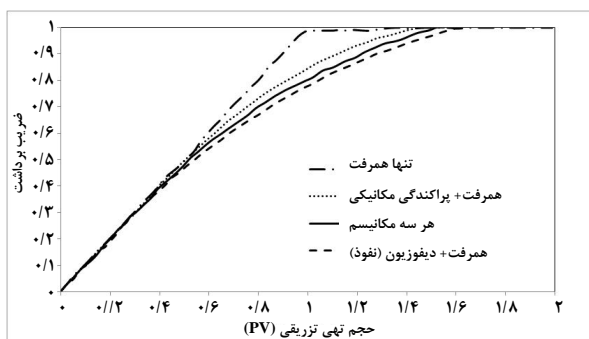
با انجام مطالعه روی چهار سناریوی ذکر شده زمانهای میان شکنی طبق جدول (۱) محاسبه گردید. همان گونه که مشاهده می‌شود با حذف هر یک از پارامترهای نفوذ و پراکندگی مکانیکی زمان میان شکنی افزایش می‌یابد که دلیل آن تندتر شدن نمودار غلظت است. همانطور که انتظار می‌رود در سرعت‌های بالا حذف ضریب نفوذ و در سرعت‌های پایین حذف ضریب پراکندگی مکانیکی خطای چندانی در محاسبات ایجاد نمی‌کنند. درصد خطای حاصل از حذف پارامترهای نفوذ و پراکندگی در جدول (۲) دیده می‌شود.

1. Break Through

ضریب برداشت بر حسب حجم تهی تزریقی در ۳ سرعت مختلف محاسبه و نتایج در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند. شکل‌های (۶) تا (۸) بترتیب این مقایسه را برای ناحیه ای که نفوذ مولکولی، پراکندگی مکانیکی و پراکندگی فیزیکی کنترل کننده فرایند امتزاجی هستند نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمودار ضریب برداشت بر حسب حجم تهی تزریقی در ۴ سناریوی مختلف در سرعت کم



شکل ۷- نمودار ضریب برداشت بر حسب حجم تهی تزریقی در ۴ سناریوی مختلف در سرعت متوسط

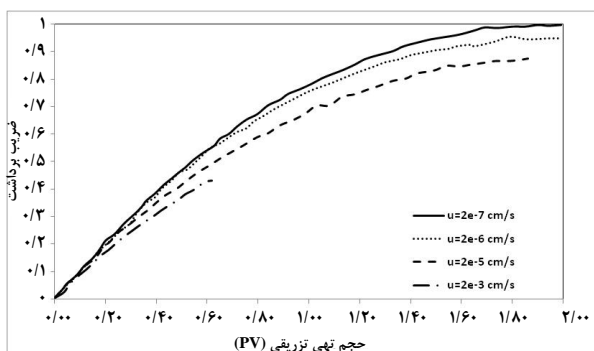
در همه این اشکال می‌بینیم با نادیده گرفتن ضریب پراکندگی فیزیکی که در واقع معرف فرایند غیر امتزاجی است هرگز نمی‌توان به ضریب برداشت ۱۰۰٪ رسید که در واقع نشان‌دهنده اهمیت بالای فرایند امتزاجی بالاخص در سرعت‌های بالا می‌باشد. همانطور که از شکل (۶) مشخص است با حذف ضریب نفوذ در سرعت‌های کم

جدول ۱- زمان میان شکنی برای چهار سناریو در سرعت‌های متفاوت

سرعت (cm/s)	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم
۴۸/۳	۲۱/۱	۴۱	۲۱	2×10^{-7}
۴/۹	۳/۱	۳/۹	۳	2×10^{-6}
۰/۴۸۴	۰/۴۲۸	۰/۴۱	۰/۳۹۸	2×10^{-5}
۰/۰۴۸۴	۰/۰۴۶۳	۰/۰۴۱	۰/۰۴۰۸	2×10^{-4}
۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۰۴۷۶	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۴۱	2×10^{-3}
۰/۰۰۰۴۸۴	۰/۰۰۴۸۱	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۰۰۴۱	2×10^{-2}
$4/84 \times 10^{-5}$	$4/83 \times 10^{-5}$	$4/1 \times 10^{-5}$	$4/1 \times 10^{-5}$	2×10^{-1}
$4/87 \times 10^{-7}$	$4/847 \times 10^{-7}$	$4/1 \times 10^{-7}$	$4/1 \times 10^{-7}$	2×10^1

جدول ۲- درصد خطای ناشی از حذف پارامترهای نفوذ و پراکندگی مکانیکی در سرعت‌های متفاوت

سرعت (cm/s)	نادیده گرفتن ضریب پراکندگی فیزیکی	نادیده گرفتن ضریب پراکندگی مکانیکی	نادیده گرفتن ضریب نفوذ
۹۵/۲۴	۰/۴۸	۱۳۰	2×10^{-7}
۳۰	۳/۳۳	۶۳/۳۴	2×10^{-6}
۳/۰۲	۷/۵۴	۲۱/۶۱	2×10^{-5}
۰/۴۹	۱۳/۴۸	۱۸/۶۳	2×10^{-4}
۰	۱۶/۰۹	۱۸/۰۵	2×10^{-3}
۰	۱۷/۳۲	۱۸/۰۵	2×10^{-2}
۰	۱۷/۸۰	۱۸/۰۵	2×10^{-1}
۰	۱۸/۰۵	۱۸/۰۵	2×10^1



شکل ۹- نمودار ضریب برداشت بر حسب حجم تهی تزریقی در سرعت‌های مختلف برای پیدا کردن سرعت تزریق بهینه

۵- ضریب پراکندگی بهینه جهت طراحی فرایند امتزاجی

بررسی نمودارهای برداشت به ازای ضریب پراکندگی‌های متفاوت نشان می‌دهد که در ناحیه گذرا بیشترین برداشت را خواهیم داشت که این مقایسه در شکل (۹) نشان داده شده است. سرعت مربوط به ناحیه گذرا حدود 2×10^{-5} (cm/sec) می‌باشد و در این ناحیه هر دو پارامتر پراکندگی مکانیکی و نفوذ مولکولی فرایند تزریق امتزاجی را کنترل می‌کنند. این نتیجه در طراحی فرایند امتزاجی بسیار سودمند است به این معنی که اگر ضریب پراکندگی در این ناحیه باشد بهترین انتخاب ممکن در افزایش برداشت سیستم خواهد بود.

۶- نتیجه‌گیری نهایی

- مقایسه ضرایب برداشت در سرعت‌های بالا نشان می‌دهد که اگر ضریب پراکندگی بین 0.75 m و 0.85 m باشد، یعنی در ناحیه‌ای که هر دو عامل نفوذ و پراکندگی مکانیکی کنترل‌کننده مکانیسم امتزاجی هستند، به بیشترین ضریب برداشت دست می‌یابیم.

- نهایتاً این که طبق مطالعات انجام شده در این مقاله قبل از اجرای هر گونه پروژه تزریق امتزاجی در هر میدان ابتدا باید مکانیسم کنترل‌کننده مشخص و شبیه سازی مخزن بر اساس مکانیسم کنترل‌کننده انجام گردد.

مراجع

- [1] Bassar, P.J., "Diffusion Primer", Section on Tissue Biophysics & Biomimetics, National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA. (1981).
- [2] Sigmund, P.M., "Prediction of Molecular Diffusion at Reservoir Conditions, Part I. Measurement and Prediction of Binary Dense Gas Diffusion Coefficients", J Can. Pet. Tech. (April-June), No 2, 48-57. (1976-I).
- [3] Computer Modelling Group "GEM User's Guide", Version 2004, Computer Modelling Group Ltd., Calgary, AB, Canada. (2004).
- [4] Reid, R.C., Prausnitz, J.M, and Sherwood, T.K., "The Properties of Gases and Liquids", 3 Ed., McGraw-Hill, New York, (1977).
- [5] Toor, H.L., "Solution of the Linearized Equations Carnegie Mellon of Multicomponent Mass Transfer", AIChE Journal, vol. 10, p. 460, (1964).
- [6] Wilke, C.R., and Chang, P., "Correlation of Diffusion Coefficients of Dilute Solutions", AIChEJ, (June 1955) 264-270. (1955).
- [7] Blackwell, R, J., "Laboratory Studies of Microscopic Dispersion Phenomena", Soc. Pet. Eng. Jour, (March, 1962) 1. (1962).
- [8] Perkins, T.K., and Johnston, O.C., "A Review of Diffusion and Dispersion in Porous Media", Soc. Pet. Eng. 1, (March 1963), 70-80; Trans. AIME, 228, (1963).
- [9] Crank, J., "The Mathematics of Diffusion", Oxford at the Clarendon Press, London, (1964).

مهمترین نتایج بدست آمده از انجام مطالعه و بررسی پارامترهای نفوذ مولکولی و پراکندگی عبارت اند از:

- نفوذ مولکولی و پراکندگی دو مکانیسمی هستند که کنترل‌کننده اختلاط در فرایند تزریق گاز می‌باشند.

- در این مطالعه از دو روش شبه دو جزئی و روش ضریب نفوذ مؤثر جهت مطالعه پراکندگی در یک مدل مصنوعی استفاده گردید. مقایسه نیمرخ غلظت با دو روش نشان داد که توافق بسیار خوبی بین نتایج دو روش وجود دارد.

- ترسیم منحنی نسبت ضریب پراکندگی به ضریب نفوذ بر حسب عدد پکله، سه ناحیه مختلف از نقطه نظر سرعت را مشخص می‌کند که در هر ناحیه، اختلاط توسط یکی از مکانیسم‌های نفوذ، پراکندگی یا هر دو کنترل می‌گردد.

- ضریب بازیافت در یک فرایند تزریق گاز یکی از پارامترهایی است که تحت تأثیر پراکندگی فیزیکی قرار دارد. باید توجه داشت که برای محاسبه ضریب بازیافت در فرایند تزریق گاز، در سرعت‌های پایین نفوذ مولکولی و در سرعت‌های بالا پراکندگی را باید در نظر گرفت. در سرعت‌های میانی هر دو مکانیسم را باید در نظر داشت. چون چشم پوشی از هر کدام در نواحی مربوطه باعث اشتباه در محاسبات خواهد گردید.

- چشم‌پوشی از پراکندگی فیزیکی باعث تأثیر بسیار زیادی در محاسبه زمان میان شکنی سیال جابجاکننده می‌شود. همین ساده‌سازی باعث 1.8% خطا در سرعت‌های بالا و 13.0% خطا در سرعت‌های پایین در پیش‌بینی این زمان می‌گردد.

- بررسی پارامترهای نفوذ و پراکندگی روی زمان میان شکنی و ضریب برداشت نشان می‌دهد که بازای ضرایب پراکندگی بین 0.75 m و 0.85 m مکانیزم امتزاجی به هر دو پارامتر ذکر شده وابسته است و در مقادیر کمتر از 0.75 m مهمترین عامل کنترل‌کننده مکانیسم امتزاجی نفوذ مولکولی است. اگر ضریب پراکندگی بیشتر از 0.85 m باشد مکانیزم امتزاجی بوسیله پراکندگی مکانیکی کنترل می‌شود.