

بررسی تأثیر پارامترهای مخزن بر تزریق امتزاج ناپذیری اکسید کربن

◀ کیومرث کاملیار*

چکیده:

در طی سالیان اخیر استفاده از فرآیند تزریق دی اکسید کربن امتزاج ناپذیر جهت افزایش تولید از مخازن نفت سنگین و متوسط به طور چشمگیری افزایش یافته است. قسمتی از دی اکسید کربن تزریق شده توسط سیالات موجود در مخزن جذب شده و اندکی از آن به صورت گاز آزاد در مخزن باقی می ماند. به دلیل تأییراتی که دی اکسید کربن جذب شده بر مجموعه ی سنگ و سیال مخزن دارد، تولید نفت افزایش می یابد.

واژه های کلیدی: دی اکسید کربن، ازدیاد برداشت، تزریق امتزاج ناپذیر، مخازن تر کدار و عمیق، پارامترهای مخزن، مخازن ایران

مقدمه

موجود در مخزن دارند، باعث می شود که شرایط مطلوب تری برای تولید و برداشت نفت فراهم شود. این مکانیزمها می توانند باعث کاهش کشش سطحی (IFT)، متورم کردن نفت (Oil swelling)، کاهش گرانیوی نفت، تغییر ترشوندگی سنگ مخزن و یا تغییرات رفتار فازی و ... شوند. این فعل و انفعالات که در سیستم نفت/سنگ در مخزن رخ می دهد، می تواند به دلیل مکانیزمهای شیمیایی و فیزیکی و یا به دلیل تولید حرارت و انرژی حرارتی باشد. امروزه روشهای تزریق گاز قابل امتزاج، روشهای حرارتی و تزریق مواد شیمیایی را جزء فرآیندهای EOR به حساب می آورند.

برداشت نفت عموماً شامل سه مرحله است: اولیه، ثانویه و ثالثیه. در طول عمر یک مخزن این مراحل دارای ترتیب زمانی وقوع هستند. تولید اولیه، اولین مرحله تولید است که به دلیل انرژی اولیه خود مخزن، سیال مخزن را جابجا می کند. مرحله دوم معمولاً بعد از آنکه تولید از مخزن به کمک انرژی طبیعی آن به صفر نباشد، شروع می شود. فرآیندهای متداولی که در برداشت ثانویه برای تثبیت فشار انجام می گیرند شامل سیالزنی و تزریق گاز است.

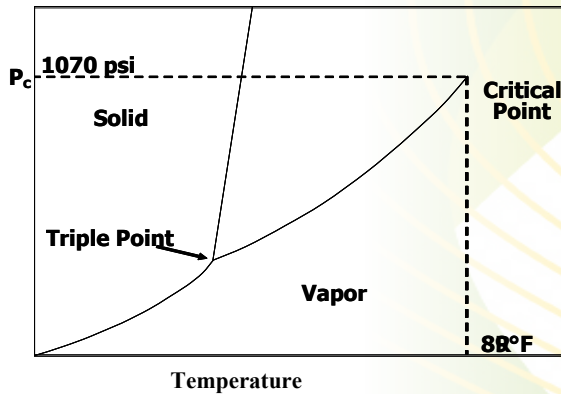
ازدیاد برداشت (EOR)

به مرحله سوم برداشت نفت از مخازن EOR گفته می شود. فرآیندهای EOR شامل تزریق یک یا چند سیال به درون مخزن است. سیالهای تزریق شده و فرآیندهای تزریق مکمل انرژی طبیعی موجود در مخزن برای حرکت دادن نفت به سمت چاه تولیدی و در نتیجه تولید آن هستند. همچنین فعل و انفعالاتی که سیالات تزریق شده با مجموعه سنگ و یا نفت

مهمترین خواص دی اکسید کربن

وزن مولکولی این عنصر ۴۴٫۰۰۹۵ است. دمای بحرانی آن (°C) ۳۱٫۱۰۶ و دمای جوش (°F) ۸۹ (=) ، فشار بحرانی آن (Pc = 1070 psia) و دمای نقطه جوش آن (Tb = 350 °R) می باشد. حداقل فشار امتزاج پذیری آن در دمای ۱۷۰ °F به همراه سیال C5 با وزن مولکولی ۱۸۰ gr/mol برابر MMP = 2500 psig است [۱۰] [۹]. گرانیوی آن در

این دما و فشار برابر 0.04cp [۱۱]، [۱۳] و ضریب تراکم پذیری آن 0.5 [۱۲] گزارش شده است. همچنین چگالی آن در 170°F و فشار 2500 psi برابر 0.25 gr/cm^3 (۱۱) است. اگر از تزریق دی اکسید کربن به صورت امتزاج ناپذیر استفاده شود باید چگالی آن برابر 0.15 g/cc باشد. نمودار فازی این عنصر در شکل ۱- رسم شده است.



شکل ۱- نمودار فازی دی اکسید کربن

عموماً از روش WAG استفاده می شود. چنان که اول میزان دی اکسید کربن مورد نظر و سپس آب در پی آن تزریق می شود. براساس نتایجی که از پروژه های انجام شده تزریق دی اکسید کربن در سرتاسر دنیا بدست آمده، تزریق متناوب آب-گاز (WAG) مزایا و معایبی دارد، که از جمله مزایای آن نسبت به تزریق دی اکسید کربن پیوسته، کنترل تحرک پذیری (Mobility Control) دی اکسید کربن است. از معایب آن هم می توان به بدام افتادن نفت توسط آب اشاره کرد که آب مانع برخورد گاز تزریقی به نفت بدام افتاده می شود. هنگامی که دی اکسید کربن در نفت حل می شود، ۶ تا ۲۲ درصد حجم آن افزایش یافته و گرانیوی آن به کمتر از ۰.۱ مقدار اولیه، (در دمای 120°F و فشار 800 psi - 1200 psi) می رسد.

نتایج

در مخازن نفت سنگین و همچنین در مخازن کم عمق، نمی توان از روشهای امتزاج پذیر استفاده کرد. در این نوع مخازن برای افزایش میزان نفت تولیدی از روشهای غیر قابل امتزاج استفاده می شود. یکی از این روشها که در طی سالیان اخیر کاربرد فراوانی پیدا کرده، تزریق دی اکسید کربن (CO_2) امتزاج ناپذیر است.

نتایجی که در جدول صفحه بعد آمده (جدول ۱)، بر اساس خواص سنگ و سیال مخازنی است که در آنها تزریق دی اکسید کربن امتزاج نا پذیر با موفقیت انجام گرفته است [۸] [۷] [۶] [۵] [۳] [۲] [۱].

میزان موفقیت آمیز بودن تزریق غیر قابل امتزاج CO_2 به پارامترهایی بستگی دارد که در زیر به برخی از آنها اشاره می کنیم:

تخلخل ثانویه یا شکستگی

در مخازن دارای شکستگی و یا تخلخلهای ثانویه (Dual-Porosity) به علت تراوایی عمودی بالا و در نتیجه رخ دادن پدیده های overriding و یا میان شکنی سریع، بازدهی جابجایی پائین می آید.

تحرک پذیری

برای کنترل تحرک پذیری از روش WAG استفاده می شود. جهت افزایش بازدهی جابجایی لازم است نسبت تحرک گاز به آب کمتر از ۱.۰ باشد.

عمق

در مخازن عمیق به دو دلیل نمی توان از تزریق بخار استفاده کرد:

(۱) اتلاف حرارت زیاد در مسیر حرکت بخار تا موقعی که به سیال موجود در مخزن برخورد می کند.

(۲) حرارت بخار تزریقی را تا حد معین و مشخصی می توان بالا برد، در غیر اینصورت به لوله ها و وسایل سر چاهی آسیب میزند.

تزریق امتزاج ناپذیر CO_2

فرآیند تزریق غیر قابل امتزاج دی اکسید کربن یکی از روشهای ازدیاد برداشت است که دی اکسید کربن در نفت سنگین حل شده و گرانیوی آن را کاهش می دهد. علاوه بر کاهش گرانیوی، دی اکسید کربن حل شده باعث متورم شدن نفت (Oil swelling) نیز می شود.

براساس آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه، تأثیر کاهش گرانیوی، بسیار بیشتر از اثر تورم (Oil swelling) در تولید نفت می باشد. علاوه بر کاهش گرانیوی و تورم نفت، می توان از مکانیزم دیگری که تغییر خواص و رفتار تراوایی نسبی می باشد، نام برد که این مکانیزم نیز در افزایش میزان بهره وری از مخزن تأثیر مستقیم دارد.

یکی دیگر از مکانیزمهایی که بر میزان بهره وری تأثیر می گذارد، کاهش کشش سطحی است. با توجه به تمام مکانیزمهای مؤثر در تزریق دی اکسید کربن بصورت غیر قابل امتزاج مشاهده می شود که جابجایی نفت به کمک تزریق دی اکسید کربن غیر قابل امتزاج باید بسیار مؤثرتر از تزریق گاز طبیعی باشد (۴). افزایش تولید نفت به کمک تزریق غیر قابل امتزاج مدیون دو اثر عمده است:

الف) اثر آنی که به دلیل جایگزینی نفت (نفتی که در فرآیند سیلابزنی تولید نشده) توسط گاز دی اکسید کربن تزریق شده، تولید نفت به سرعت افزایش پیدا می کند.

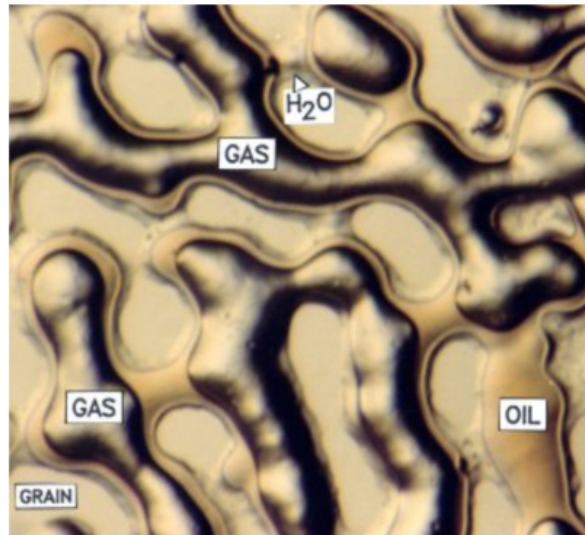
ب) اثر دراز مدت مانند کاهش گرانیوی، متورم شدن، تغییر رفتار تراوایی نسبی. تأثیر عامل دوم بر افزایش تولید نفت، به مرور زمان و در طی انجام پروژه های متعدد مشخص شده است.

WAG (تزریق متناوب آب - گاز)

به دلیل هزینه ی بالای گاز دی اکسید کربن و جلوگیری از جدایش ثقلی و انگشتی شدن هنگام تزریق دی اکسید کربن،

جدول ۱- توصیف پارامترهای مؤثر مخزن در تزریق دی اکسید کربن امتزاج ناپذیر

خواص	پارامتر	بازه	توصیف
سنگ مخزن	عمق	کمتر از ۳۰۰۰ ft	فشار مخزن برای MISCIBILITY کافی نیست MMP>>Pres
	ضخامت NET	۳۵-۳۹۵ ft	در ضخامت کمتر از ۳۵ ft، مکانیزم‌های مورد نظر اتفاق نمی افتد و در ضخامت‌های بالاتر از ۳۹۵ ft احتمال جدایش ثقلی خیلی زیاد است
	دمای مخزن	F ۱۶۰-۱۲۰	در این بازه ی دما، روشهای شیمیایی بازدهی ندارند. چون مواد شیمیایی در مقابل دمای زیاد مخزن مقاوم نیستند و از بین میروند
	فشار مخزن	۸۰۰ psi -۲۲۰۰	در مخازن با فشارهای پایین که امکان تزریق دی اکسید کربن به صورت امتزاج پذیر وجود ندارد، از این روش استفاده می شود. یا آنهایی که: MMP>>Pres
	سازند	ماسه سنگ	در مخازن ماسه سنگی نسبت به مخازن کربناته نتایج بهتری داده است که این ممکن است به دلیل شکافدار بودن مخازن کربناته باشد. این روش در مخازن ماسه سنگی تمیز هم جواب مناسب را نداده (چون تراوایی عمودی بالا بوده و OVERRIDE میکند)
	تراوایی مطلق ماتریس	>۳۵۰ md	نفت راحتتر حرکت میکند و به چاه تولیدی میرسد (برای جلوگیری از FINGERING از روش WAG استفاده میکنیم)
	تراوایی مطلق شکستگی	حداقل	در غیر اینصورت به سرعت میان شکنی رخ می دهد
	Kv/Kh	هرچه این نسبت به ۱ نزدیک تر باشد، مناسبتر است	برای جلوگیری از اینکه در تزریق گاز OVERRIDING رخ دهد.
	گذردهی	۵۰۰ < md.ft/cp	هر چه نسبت Ko بر گرانروی نفت بیشتر باشد باز یافت بیشتر است.
	اشباع آب	۲۰-۳۰٪	هر چه اشباع آب همراه کمتر باشد، برداشت از مخزن به صرفه تر است.
اشباع نفت	۷۰-۸۰٪	هر چه اشباع نفت بیشتر باشد، برداشت از مخزن به صرفه تر است.	
تخلخل	۱۵-۳۵٪	اگر از ۱۵٪ کمتر باشد، تزریق امکان پذیر نخواهد بود و اگر از ۳۵٪ بیشتر باشد نشان دهنده باز شدگی است که باعث جدایش ثقلی می شود	
تخلخل ثانویه		اگر FRACTURE در سیستم داشته باشیم، نامطلوب است و گاز سریع میان شکنی میکند.	
سیال	گرانروی نفت	بیش از ۱۰۰۰ cp	در نفت‌های سنگین MISCIBILITY به سختی اتفاق می افتد
	چگالی	۱۰-۲۵ API%	در نفت‌های سنگین MISCIBILITY به سختی اتفاق می افتد
	ترکیب	۸۰-۹۰٪ دی اکسید کربن	هر چه ترکیبات دی اکسید کربن بیشتر باشد، گرانروی را بیشتر کاهش می‌دهد
	کشش سطحی		تزریق دی اکسید کربن باعث کاهش IFT می شود
عملیاتی	تحرک نفت		هر چه بیشتر باشد جابجایی و حرکت نفت راحتتر صورت میگیرد
	ضریب حجمی سازند (Bo)	۱،۰۴-۱،۱۶ bbl/stb	تزریق دی اکسید کربن امتزاج ناپذیر، اکثرا در مخازن با نفت سنگین انجام شده که ضریب حجمی سازند برای نفتهای سنگین در این بازه قرار دارد
	نسبت گاز به نفت تولیدی	۱۸-۸۰ scf/stb	اگر این نسبت بالا باشد نشان میدهد که OVERRIDING رخ داده و یا گاز میان شکنی کرده است
	حداقل فشار امتزاج پذیری (MMP)	۲۵۰۰ psig @ ۱۷۰ °F	در شرایطی از تزریق غیر قابل امتزاج استفاده میکنیم که MMP>Pres
تعداد چاهها	هرچه تعداد چاههای تزریقی بیشتر شود بهتر است مدل ۵ نقطه (۱:۱) یا ۹ نقطه (۳:۱)	در حالت ایده آل اگر برای هر چاه تزریقی یک چاه تولیدی داشته باشیم بازدهی ماکزیمم خواهد بود.	
دبی تزریقی	متعادل	اگر دبی تزریقی گاز خیلی بالا باشد موجب ترک در مخزن و یا FINGERING می شود و اگر دبی تزریقی خیلی پایین باشد، دبی تولیدی نفت بسیار پایین خواهد بود.	



است که دی اکسید کربن تزریق شده مسیر شکستگی را انتخاب کرده و سریع میان شکنی می کند. در نتیجه بازدهی تزریق پایین می آید .

۲- در مخازن نفت سبک معمولاً در اعماق بیش از ۳۰۰۰ ft از این روش استفاده نمی شود. زیرا فشار به اندازه ای بالا است که بتواند فشار امتزاج پذیری را تحمل کند.

اما اگر نفت موجود در مخزن جزء نفتهای سنگین باشد، با وجود عمق زیاد مخزن بعلت اینکه فرایند امتزاج پذیری در نفتهای سنگین به سختی انجام می شود، از روش تزریق به صورت امتزاج نا پذیر استفاده می شود .

* این روش به خصوص برای مخازن نفتی که در مجاورت منابع دی اکسید کربن قرار دارند، پیشنهاد می شود .

* بدلیل آنکه شکستگیها، اشباع بحرانی گاز و سرعت انتشار (diffusion rate) از جمله پارامترهای تأثیر گذار بر روی میزان بازیافت نفت هستند، قبل از شروع تزریق دی اکسید کربن به روش WAG باید اطلاعات کافی از این پارامترها در دست باشد.

دبی تزریقی

با کاهش دبی تزریقی دی اکسید کربن و افزایش تعداد چاههای تولیدی، بازدهی این روش بالاتر می رود. اگر دبی تزریقی گاز بسیار بالا باشد، پدیده انگشتی شدن و یا channeling رخ داده که باعث کاهش کارایی جابجایی نفت می شود. البته افزایش دبی تزریق، فشار مخزن را بیشتر می کند و مانع ورود آب از لایه های پایینی می شود. همچنین کاهش بیش از حد دبی تزریقی گاز باعث کاهش دبی تولیدی نفت می شود.

گذردهی

در مواردی که خاصیت گذردهی (Transmissibility) پائین باشد، channeling رخ می دهد. بطوریکه اگر دبی تزریقی دی اکسید کربن ثابت باشد، انگشتی شدن و channeling زمانی رخ می دهد که گذردهی پائین باشد.

تعداد چاهها

انتخاب مناسب تعداد و محل چاههای تزریقی و تولیدی، باعث جاروب کامل نفت و افزایش بازدهی می شود. براساس نتایجی که از شبیه سازی D-۲ و D-۳ تزریق گاز بدست آمده:

۱) جدایش ثقیلی یکی از مشکلات اصلی تزریق دی اکسید کربن غیر قابل امتزاج است. تمایل گاز تزریق شده به حرکت از قسمت بالای نفت می تواند با کاهش تراوایی عمودی و یا وجود رگهای شیل (shale streaks) کاهش یابد. بنابراین بالا زدگی (overriding) احتمالاً در ماسه های تمیز و با تراوایی بالا یکی از مشکلات اصلی در این مخازن است.

۲) وجود کانال آب (حتی خیلی کوچک) بین چاه تزریقی و تولیدی باعث رسیدن گاز تزریق شده به چاه تولیدی و میان شکنی سریع می شود.

نتیجه گیری

در مخازن ایران که عموماً از نوع مخازن ترکدار و عمیق می باشند، استفاده از روش تزریق دی اکسید کربن امتزاج ناپذیر به دو دلیل عمده زیر موفقیت آمیز نیست:

۱- هر چند این روش در مخازن کربناته ی زیادی با موفقیت انجام شده است، اما مطالعات و آزمایشات مختلف نشان داده

منابع:

- [1]- W.R. Brock, L.A. Bryan.: "Summary Results of CO2 EOR Field Tests, 1972-1987" Low Permeability Reservoirs Symposium, 6-8 March 1989, Denver, Colorado
- [2]- Spivak. A., and Garrison. W. H, and Nguyen. J. P.: " Review of an Immiscible CO2 Project, Tar Zone, Fault Block V, Wilmington Field, California " SPE Reservoir Engineering (May 1990)
- [3]- Jingcun. Z. S., Xie Peihui. H., Jiabao. Ch., Zhenghua. Z., Encang Guo.: " Field Test of Immiscible CO2 Drive in Daqing Oil Field " SPE Advanced Technology Series (May 1997)
- [4]-Enhanced Oil Recovery/ Den W. Green, G. Paul Willhite
- [5]-Ala K. Khatib and R.C Earlougher, Godsey. E Kutluyil.: "CO2 Injection as an Immiscible Application for Enhanced Recovery in Heavy Oil Reservoirs " SPE California Regional Meeting, 25-27 March 1981, Bakersfield, California
- [6]-Lorna. J, Mohammed. S. Petrotrin and Ashok. S. K.: " Lessons from Trinidad's CO2 Immiscible Pilot Projects "SPE Reservoir Evaluation & Engineering(October 2005)
- [7]-Secaheddin, S. Ulker .K, and Demet. C.: " Bati Raman Field Immiscible CO2 Application--Status Quo and Future Plans "SPE Reservoir Evaluation & Engineering (August 2008)
- [8]-Randal, M. B. William M. H., Davitt. J., Oscar B. A., Arguello. J., Jack M. "Immiscible CO2 Flooding for Increased Oil Recovery and Reduced Emissions " SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, 3-5 April 2000, Tulsa, Oklahoma
- [9]-Holm,L.W. and Josendal, V.A.: " Mechanisms of Oil Displacement by Carbon Dioxide," JPT (Dec. 1974) 1427-36.
- [10]-Mungan, N.: " Carbon Dioxide Flooding-Fundamentals," J.Canadian. Pet.Tech.(Jan.-March 1981)
- [11]-Stalkup Jr., FI.: Miscible Displacement, Monograph series, SPE, Richardson, TX (1981)8.
- [12]-Sage. B. H. and Lacy, W. N.: Some Properties of the Lighter Hydrocarbons, Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide, Monograph, API Research Project 37,API, Dallas(1955).
- [13]-Kennedy, J. T. and Thodos, G.: " Transport Properties of Carbon Dioxide," AIChEJ. (Dec.1961) 7,625-30