



## کاربرد دی اکسید کربن در افزایش

### بهره دهی از مخازن

نام و نام خانوادگی نویسنده اول<sup>۱</sup>، نویسنده دوم<sup>۲</sup>، نویسنده سوم<sup>۳</sup>: سید یاسر حسینی فر، عباسعلی چنگلوايي، محمد آبدیده

- 1- محل کار/ تحصیل: دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد امیدیه / دانشجوی کارشناسی ارشد مخازن هیدروکربوری
- 2- محل کار/ تحصیل: دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد امیدیه / دکتری مهندسی شیمی
- 3- محل کار/ تحصیل: دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد امیدیه / دکتری زمین شناسی

### چکیده:

تزریق گاز دی اکسید کربن به مخازن نفتی یکی از روشهایی است که اخیراً جهت ازدیاد برداشت مورد توجه مهندسين نفت قرار گرفته است. این گاز را می توان به دو صورت امتزاجی و غیر امتزاجی به منظور ازدیاد برداشت تزریق کرده طور نسبی میتوان گفت در مخازنی که نفت سبک و سنگین دارند تزریق گازی اکسید کربن به صورت امتزاجی و در مخازن دارای نفت سنگین تزریق بصورت غیر امتزاجی موفق تر است. در مقاله زیر به خصوصیات تزریق دی اکسید کربن پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: تزریق گاز دی اکسید کربن ، ازدیاد برداشت، تزریق امتزاجی، تزریق غیر امتزاجی، سیلاب زنی، کمترین

فشار امتزاج پذیری

---

1 - دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد امیدیه ، دانشجوی کارشناسی ارشد مخازن هیدروکربوری ([saman.hoseinifar@gmail.com](mailto:saman.hoseinifar@gmail.com))  
2- دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد امیدیه ، گروه مهندسی نفت ، امیدیه ، ایران / دکتری مهندسی شیمی ([changalvaii@yahoo.com](mailto:changalvaii@yahoo.com))  
3 - دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد امیدیه ، گروه مهندسی نفت ، امیدیه ، ایران / دکتری زمین شناسی ([m.abdideh@yahoo.com](mailto:m.abdideh@yahoo.com))



## مقدمه :

تزریق دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) در مخازن نفتی به منظور ازدیاد برداشت چندین سال است که مورد توجه صنعت قرار گرفته است. از آنجائیکه بسیاری از میداین سیلابزنی به پایان عمر بهره برداری نزدیک می‌شوند، توجه به تزریق دی اکسید کربن بیش از پیش شدت و قوت گرفته است. با روش های مرسوم آبران یا گازران<sup>۱</sup> معمولاً 25-50 درصد نفت در مخازن باقی می‌ماند. بخش قابل توجهی از این نفت در صورت تماس نفت با یک سیال امتزاج پذیر قابل استحصال می‌گردد. یک سیال امتزاج پذیر هنگام تزریق  $CO_2$  و ترکیب آن با نفت مخزن در شرایط مناسب، تشکیل می‌گردد. زمانی که امتزاج پذیری حاصل می‌شود، نیروهای فشار موئینگی، که قبلاً باعث سکون و عدم تحرک نفت بوده است، از بین رفته و آنگاه نفت امکان حرکت به سمت چاه های تولیدی را پیدا می‌کند. تزریق گاز  $CO_2$  بصورت امتزاجی و غیر امتزاجی هر دو به کار می‌رود. این گاز برای برداشت ثالثیه ( برداشت نفت بعد از تزریق آب) و هم برای برداشت ثانویه<sup>۲</sup> مورد استفاده است. تزریق گاز  $CO_2$  ممکن است همراه با گاز های هیدروکربنی و ازت و یا بصورت خالص باشد. در سالهای پیش به تزریق غیر امتزاجی گاز  $CO_2$  و به تزریق  $CO_2$  محلول در آب توجه می‌شد ولی در حال حاضر تزریق امتزاجی گاز انیدرید کربنیک مورد نظر است. تزریق امتزاجی گاز  $CO_2$  برای نفت های سبک و متوسط مناسب است و تزریق غیر امتزاجی بیشتر در مورد نفت های سنگین به کار می‌رود. [4]

## خواص فیزیکی گاز $CO_2$ :

گاز  $CO_2$  در حرارت و فشار اتمسفر بدون رنگ است. درجه حرارت بحرانی گاز معادل 87/8 درجه فارنهایت و فشار بحرانی آن 75/1 پام است. و لذا در بیشتر عملیات تزریقی  $CO_2$  بصورت گاز می‌باشد. گرانیروی این گاز در شرایط تزریق بین 5٪ تا 0/1 سانتی پویزاست. این گاز در نشانه ی بالا از لحاظ چگالی مثل مایعات و از حیث گرانیروی مثل گاز هاست.

<sup>1</sup> - (Gas or Water drive)  
<sup>2</sup> - (Secondary Recovery)



دی اکسید کربن در تمام سه شکل، و حالت خود، گاز، مایع و جامد، ماده آشنایی است. به عنوان گاز، حبابهایی را در نوشابه های گازدار، زمانی که فشار از فشار اشباع پایین تر می‌رود، مهیا می‌سازد. در فشار بالاتر از 300 psi اگر دما 0F و یا کمتر باشد، شکل مایع را دار می‌باشد. این ماده غالباً به شکل مایع در کامیونها یخچال دار و تانکر ها حمل و نقل می‌گردد.

این ماده در محدوده وسیعی از فشار اگر دما به اندازه کافی پایین باشد شکل جامد ( یخ خشک) را داراست دما، بحرانی 31 C می باشد پایین تر از این دما CO<sub>2</sub> خالص می‌تواند در محدوده وسیعی از گاز یا مایع باشد، اما بالاتر از این دما، صرفنظر از فشار اعمالی، گاز خواهد بود.

فشار متناظر با دمای بحرانی (فشار بحرانی ) 73/99 atm می باشد.

بالاتر از فشار و دمای بحرانی، CO<sub>2</sub> قابل تبدیل به مایع نمی‌باشد.

اما در فشار بالاتر، فشار فوق بحرانی، بخار با افزایش فشار چگالتز شده و بیشتر شبیه مایع رفتار می‌کند.

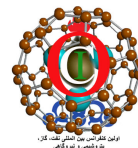
اکثر خطوط لوله CO<sub>2</sub> در نواحی فوق بحرانی کار می‌کنند.

#### جدول 1- خواص مهم CO<sub>2</sub>

بعضی از خواص مهم CO <sub>2</sub> به قرار زیر میباشد:	
وزن مولکولی	44/01 gr/mole
فشار بحرانی	1073 Psi
دمای بحرانی	87/8 F
حجم بحرانی	0/0237 Cuft /Ib
چگالی در 0F و 300 Psi	8/5 Ib/gal
حجم مخصوص در 60F و 14/7 Psia	8/569 Cuft /Ib
گرمای مخصوص (مایع) در 300 Psi	0/5 Btu /Ib-F

یکی از خواص CO<sub>2</sub> که آنرا به عنوان یک عامل مفید و مستعد جهت ازدیاد برداشت ارائه کرده است، افزایش

در حجم نفت خام به هنگام اشباع با CO<sub>2</sub> می‌باشد. [5]



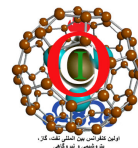
### عوامل مهم ازدیاد برداشت نفت در اثر تزریق گاز CO<sub>2</sub>:

در این قسمت فقط ذکر عوامل مهم ازدیاد برداشت نفت در اثر تزریق گاز CO<sub>2</sub> اکتفا می‌شود. اثر امتزاجی، کم شدن گرانروی<sup>۱</sup> و تورم<sup>۲</sup> نفت مخزن بهبود تزریق پذیری و رانش گاز محلول داخلی<sup>۳</sup> از عوامل مهمی هستند که باعث ازدیاد برداشت نفت مخزن به واسطه تزریق گاز CO<sub>2</sub> می‌باشند.

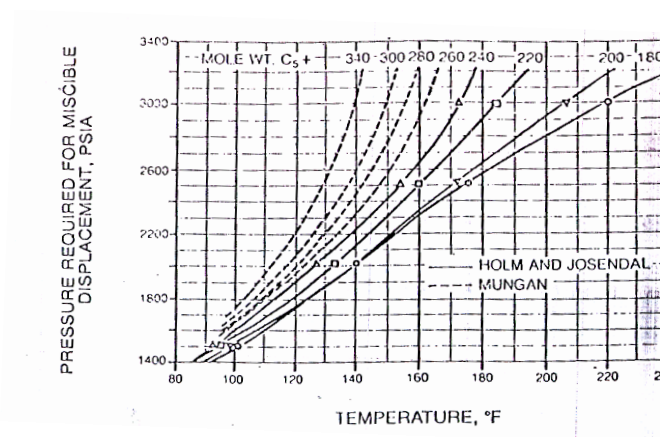
**اثر امتزاجی گاز CO<sub>2</sub>**: گاز دی اکسید کربن یکی از تبخیر کننده های قوی ئیدروکربن است. ئیدروکربن های موجود در بنزین و گازوئیل تمامی در CO<sub>2</sub> تبخیر می‌شوند و حتی اگر در نفت مخزن اجزای C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> کم باشد این گاز باز هم بخوبی نفت را تبخیر می‌کند. CO<sub>2</sub> در تماس های مکرر بانفت مخزن ئیدروکربن های C<sub>5</sub> تا C<sub>20</sub> را تبخیر می نماید ولی در تزریق گاز های ئیدروکربنی در مخازن نفت همانطوریکه قبلاً بیان شد بیشتر اجزای C<sub>2</sub> تا C<sub>6</sub> در فاز گاز تبخیر می شوند. گاز CO<sub>2</sub> با بیشتر نفت های حالت امتزاج در اولین تماس<sup>۴</sup> را ندارد ولی در اثر تماس های متوالی و مکرر حالت امتزاج بتدریج پیش می‌آید و این حالت امتزاج را توسعه ای<sup>۵</sup> گویند.

ضمن اینکه برای ارزیابی اثر امتزاجی تزریق گاز دی اکسید کربن برای هر نفت مخصوص اندازه گیری حداقل فشار امتزاج MMP آن در آزمایشگاه ضروریست حداقل فشار امتزاج فشاریست که در آن فشار گاز CO<sub>2</sub> با نفت مخزن در دمای مخزن بحالت امتزاج توسعه ای در می‌آید و در صد برداشت نهایی نفت بحداکثر ممکن می‌رسد. در بالاتر از فشار MMP برداشت بطور قابل ملاحظه ای بالا نمی‌رود. روش اندازه گیری حداقل فشار امتزاج درست مثل گازهای ئیدروکربنی است که در قسمت های گذشته بیان شده است. بهترین و سریعترین طریقه اندازه گیری MMP گاز CO<sub>2</sub> روش لوله قلمی<sup>۶</sup> است. بوسیله مغزه نگهدار<sup>۷</sup> و بکارگیری سلول PVT نیز اندازه گیری ممکن است. اگر انجام آزمایشات مقدور نباشد از روی منابع علمی به طور تقریبی و تخمینی مقدار MMP مشخص می‌شود.

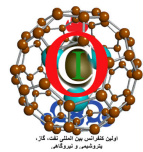
1- viscosity  
2- Swelling  
3- Internal Solution Gas Drive  
4- (First Contact Miscibility)  
5- (Developed Miscibility)  
6- (Slim Tube)  
7- (Core Holder)



کوشش های زیادی برای بدست آوردن معادلات و روابط MMP گاز  $\text{CO}_2$  و نفت مخزن شده است. (Holm, Cosendol) در مقاله ی فنی سال 1980 خود ذکر نموده اند که امتزاج پذیر  $\text{CO}_2$  بیشتر بعلت پدیده تبخیر است. آنها مشاهده نموده اند که ترکیبات نفت تاجزه  $\text{C}_{30}$  در فاز گاز بصورت بخار در می آیند. اخیراً در گزارش فنی دیگری نتیجه گرفته اند که MMP به درصد مولی اجزای  $\text{C}_5\text{-C}_{30}$  و دانسیته  $\text{CO}_2$  در فشار تزریق بستگی دارد. در مطالعات Mungan ذکر شده است که MMP گاز  $\text{CO}_2$  به وزن مولکولی  $\text{C}_{5+}$  در نفت نیز بستگی دارد. نمودار شماره 1 مقدار MMP نفت های مختلف را از تزریق گاز  $\text{CO}_2$  در دماهای مختلف نشان می دهد. این نمودار از مطالعات Holm & Josendal Mungan بدست آمده است . [6]



نمودار 1- فشار MMP تزریق گاز  $\text{CO}_2$  برای نفت گوناگون در دماهای مختلف

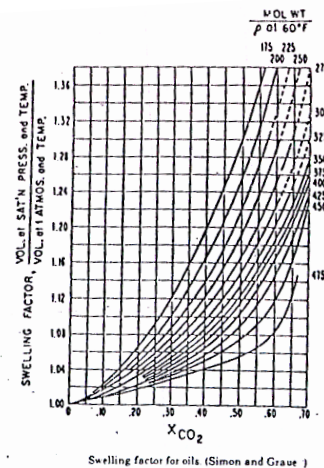


### کاهش گرانیوی نفت مخزن در اثر تزریق گاز CO<sub>2</sub>:

با حل شدن گاز CO<sub>2</sub> در نفت مخزن گرانیوی<sup>1</sup> آن بصورت قابل توجهی کم می شود. مقدار کاهش بستگی به فشار، درجه حرارت و گرانیوی اولیه نفت مخزن دارد. هر چه گرانیوی اولیه نفت بیشتر باشد در صد کاهش گرانیوی بیشتر است.

### تورم نفت مخزن در اثر تزریق گاز CO<sub>2</sub>:

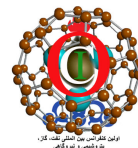
مقدار تورم نفت مخزن در اثر حل شدن گاز CO<sub>2</sub> در نفت به فشار درجه حرارت و ترکیب نفت مخزن بستگی دارد. تورم در نفت های سبک نسبت به سنگین بیشتر است و در نفت های مختلف مقدار افزایش حجم بین 10 تا 100 درصد حجم اولیه می رسد. نفت باقیمانده در خلل و فرج سنگ مخزن بعد از جابجایی و تزریق بوسیله گاز CO<sub>2</sub> متورم است و ضریب کاهش حجم<sup>2</sup> بالایی دارد یعنی مقدار کمتری نفت در مخزن باقی می ماند و برداشت نفت در اثر تزریق CO<sub>2</sub> بواسطه تورم نفت از حالت بدون تورم بیشتر است. از جمله این مطالعات نمودار شماره 2 است که توسط Simen و Groue ارائه گردیده است. این نمودار نشان می دهد که ضریب تورم نفت به مقدار درصد مولی گاز CO<sub>2</sub> حل شده در نفت و وزن مولکولی نفت بستگی دارد. [1]



نمودار 2- ضریب تورم نفت بواسطه حل شدن گاز CO<sub>2</sub> در آن

<sup>1</sup> (Viscosity)

<sup>2</sup> (Shrinkage Factor)



### مسائل عملیاتی تزریق گاز CO<sub>2</sub>:

در تزریق گاز CO<sub>2</sub> مسائل عملیاتی شامل خوردگی فلزات (وسایل و لوازم سر چاهی و ته چاهی) رسوب آنسفالین، میان شکنی زود هنگام، و CO<sub>2</sub> تولید شده است.

### خوردگی<sup>1</sup>:

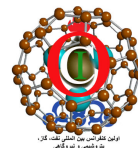
ایجاد خوردگی فلزات یکی از مسائل مهم تزریق این گاز است بدین طریق که CO<sub>2</sub> در مجاورت آب مخزن تولید اسید کربنیک می کند و در نتیجه PH آب کم و محیط خورنده ای برای فولاد درست می شود و این مشکل مخصوصاً در موقع تزریق تناوبی آب و CO<sub>2</sub> حدی تر است. جهت جلوگیری از خوردگی فلزات برای تزریق آب و CO<sub>2</sub> چاههای جداگانه ای انتخاب می شود و بخار آب موجود در گاز CO<sub>2</sub> بعد از تهیه و قبیل از تزریق و فشرده شدن کاملاً گرفته می شود.

### رسوب آسفالتین:

یکی دیگر از مسائل تزریق گاز CO<sub>2</sub> رسوب احتمالی آسفالتین در اثر تماس گاز کربنیک و نفت مخزن می باشد این رسوب مثل رسوب آسفالتین ایجاد شده. در اثر گازهای نیدروکربنی میانی C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> می باشد و باعث گرفتگی سنگ مخزن و کاهش تزریق پذیری میگردد. روش های مختلفی برای مطالعه چگونگی رسوب آسفالتین در اثر تزریق گاز CO<sub>2</sub> وجود دارد. از جمله می توان گاز CO<sub>2</sub> و نفت مخزن را در شرایط فشار و درجه حرارت مخزن در سلول PVT مخلوط نمود و ایجاد رسوب و مقدار آن را بررسی نمود. [3]

---

<sup>1</sup> - (Corrosion)



### نتیجه گیری:

تزریق گاز که یکی از روش های برداشت ثالثیه است و تزریق دی اکسید کربن دارای مزایای خاصی میباشد:  
-از فواید جانبی کاهش میزان دی اکسید کربن موجود در جو زمین، کاهش آلودگی هوا و خسارت های جانبی ناشی از آن و همچنین صرفه جویی در هزینه های بهداشت و درمان و هزینه های کنترل آلودگی هوا و افزایش کار برای مشاغل مرتبط با صنایع سبز و انرژی های تجدید پذیر و محصولات و خدمات جانبی آن است.  
-این گاز را میتوان به دو صورت امتزاجی و غیر امتزاجی به منظور ازدیاد برداشت به مخازن نفت تزریق کرد. بطور نسبی در مخازنی که نفت سبک و نیمه سنگین دارند تزریق دی اکسید کربن بصورت امتزاجی و در مخازن دارای نفت سنگین تزریق بصورت غیر امتزاجی میباشد.  
-یکی دیگر از خصوصیات دی اکسید کربن در مقایسه با گازهای دیگر اینست که میتواند مجموعه ایی از ترکیبات سنگین (تا C<sub>30</sub>) را در برداشته باشد.  
-مزایای دیگر دی اکسید کربن نسبت به دیگر گازها: امتزاج پذیری در فشار کم، بازده جابجایی بالا، فراهم آوردن مکانیزم ریزش ثقی، قابل استفاده بودن برای مخازنی با شرایط مختلف، پایین بودن نسبی حداقل فشار برای امتزاج پذیری.

### Reference:

- 1-Koval, E.J.: "A Method for Predicting the Performance of Unstable Miscible Displacement in Heterogeneous Media," *SPEJ* (June 1963)
- 2-Dumore, J.M.: "Stability Considerations in Downward Miscible Displacement," *SPEJ* (Dec. 1964) 356-62.  
Presented at SPE Joint Rocky Mt. Reg. Low Permeability Reservoirs Symposium and Exhib., Denver, CO, Mar. 6-8, 1989. SPE paper 18977.
- 3-P. James, Meyer, Summary of Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery (CO<sub>2</sub>EOR) Injection Well Technology, Prepared for the American Petroleum Institute.
- 4-Christman, P.C. and S.B. Gorell. A Comparison of Laboratory and Field-Observed CO<sub>2</sub> Tertiary Injectivity. Presented at SPE/DOE Enhanced Oil Recovery Symposium, Tulsa, OK, Apr. 17-20, 1988. SPE/DOE paper 17335.
- 5-Claridge, Elmond L. CO<sub>2</sub> Flooding Strategy in a Communicating Layered Reservoir. Presented at SPE 56th Ann. Tech. Conf. and Exhib., San Antonio, TX, Oct. 5-7, 1981. SPE paper 10289.
- 6-Desbrisay, Charles L. et al. Review of Miscible Flood Performance, Intisar "D" Field, Socialist People's Libyan Arab Jamahiriya. Presented at the SPE 56th Ann. Tech. Conf., San Antonio, TX, Oct. 5-7, 1981. SPE paper 10245.