

## روش‌های ازدیاد برداشت در مخازن گاز میعانی

در مخازن گاز میعانی با افت فشار مخزن به زیر فشار نقطه‌ی شبنم، تولید میعانات گازی در مخزن و به‌خصوص ناحیه‌ی اطراف چاه دیده می‌شود. به‌منظور جلوگیری از این رخداد می‌توان فشار مخزن را با تزریق مواد مختلف مانند آب یا گاز حفظ کرد یا نرخ افت فشار مخزن را با حفر چاه افقی و ایجاد شکاف هیدرولیکی کاهش داد یا میعانات تولید شده در اطراف چاه را با روش‌های مختلف مانند تزریق امتزاجی گاز، تغییر تراوایی اطراف چاه و تابش امواج فراصوت تولید کرد.

واژگان کلیدی | ازدیاد برداشت، مخزن گاز میعانی، تزریق گاز، تغییر تراوایی، تابش فراصوت، چاه افقی، شکاف هیدرولیک

### مقدمه

تولید از مخازن نفتی و گازی با افت فشار همراه خواهد بود. کاهش فشار مخازن گاز میعانی و رسیدن آن به زیر فشار نقطه‌ی شبنم باعث تشکیل میعانات گازی در اطراف چاه می‌شود که در ابتدا به‌دلیل اشباع کم قابل حرکت نیست. اگرچه با افزایش اشباع این میعانات در ناحیه‌ی اطراف چاه، مقداری از آن به حرکت درمی‌آید اما مقدار زیادی از آن نیز در مخزن باقی مانده و سبب بسته شدن برخی از منافذ و مقاومت در برابر حرکت سیال می‌شود. از آنجا که هدف مخازن گاز میعانی، تولید حداکثری میعانات (به‌دلیل ارزش اقتصادی فراوان آن) است، روش‌های مختلفی برای برداشت بیشتر آن پیشنهاد شده است. این روش‌ها به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند. گروه اول شامل روش‌هایی است که باعث حفظ فشار مخزن در بالای نقطه‌ی

شبنم و جلوگیری از تشکیل میعانات در مخزن می‌شوند. گروه دیگر روش‌هایی هستند که با کاهش گرادیان فشار اطراف چاه یا تولید میعانات اطراف چاه، نرخ بازیافت را افزایش می‌دهند.

### ۱- حفظ فشار مخزن

#### ۱-۱- تزریق گاز

با هدف نگهداشت فشار مخزن در بالای فشار نقطه‌ی شبنم و جلوگیری از تشکیل اجزای سنگین و ارزشمند فاز گاز، تزریق گاز رقیق کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. نگهداشت فشار به دو صورت انجام می‌شود؛ یکی تزریق گاز برای حفظ فشار مخزن در بالاتر از فشار نقطه‌ی شبنم و دیگری تزریق گاز برای تبخیر میعانات گازی تشکیل شده در مخزن و تولید آن در سطح. در روش اول گاز به‌صورت پیوسته تزریق می‌شود اما در روش

دوم به مخزن اجازه کاهش فشار داده می‌شود. اگرچه کارآیی روش اول بیشتر است اما به‌دلیل هزینه‌های بیشتر آن، معمولاً این روش مقرون به‌صرفه نیست [۱].

تزریق گاز به مخازن اگرچه سبب تغییر شکل منحنی رفتار فازی سیالات مخزن و افزایش فشار نقطه‌ی شبنم می‌شود اما از سوی دیگر امتزاج آن با میعانات تشکیل شده در مخزن در اثر تماس گاز با این سیال، تبخیر میعانات و در نتیجه تولید آن را در پی خواهد داشت. بازیافت نهایی به‌شدت تحت تأثیر رفتار فازی سیال جدید حاصل از ترکیب سیال تزریقی و سیال مخزن است. در نتیجه فشار مخزن به آهستگی کاهش می‌یابد [۱].

برای تزریق می‌توان از گاز تولیدی مخزن استفاده کرد و پس از تولید آن در سطح، دوباره آن را بازگردانی کرده یا از سایر گازها مانند نیتروژن و دی‌اکسید کربن برای تزریق استفاده

نمود. نیتروژن به علت ایمنی زیاد، غیرخورنده بودن و نداشتن اثرات سوء زیست محیطی گزینه‌ی مناسبی برای تزریق است. اما با تزریق نیتروژن از طرفی به دلیل فشار اشباع زیاد، تولید میعانات در مخزن افزایش می‌یابد و از سوی دیگر به دلیل توانایی کم تبخیر میعانات، کارایی نیتروژن نسبت به متان کمتر خواهد بود (شکل-۱). همچنین تولید میعانات همراه با گاز مخزن ارزش حرارتی گاز تولیدی را کاهش می‌دهد [۲]. به دلیل امتزاج پذیر بودن دی اکسید کربن حتی در فشارهای کم، این گاز گزینه‌ی مناسبی برای تبخیر میعانات تشکیل شده و تولید آن است. تزریق این گاز علاوه بر افزایش بازیافت، به حل مشکلات

زیست محیطی ناشی از حضور آن در طبیعت نیز کمک می‌کند [۳].

### ۲-۱- تزریق آب

اگرچه تزریق گاز روشی معمول و مؤثر جهت ازدیاد برداشت از مخازن گاز میعانی است اما این روش در جاهایی که قیمت گاز زیاد است مقرون به صرفه نخواهد بود. در این حالت تزریق آب می‌تواند برای نگهداشت فشار مخزن در بالای فشار نقطه‌ی شبنم استفاده شود. در فرآیندهای تزریق آب به علت اینکه امکان حبس گاز و میعانات و کاهش کارایی بازیافت میعانات وجود دارد، قبل از اینکه آب به چاه‌های تولیدی برسد باید فرآیند تزریق

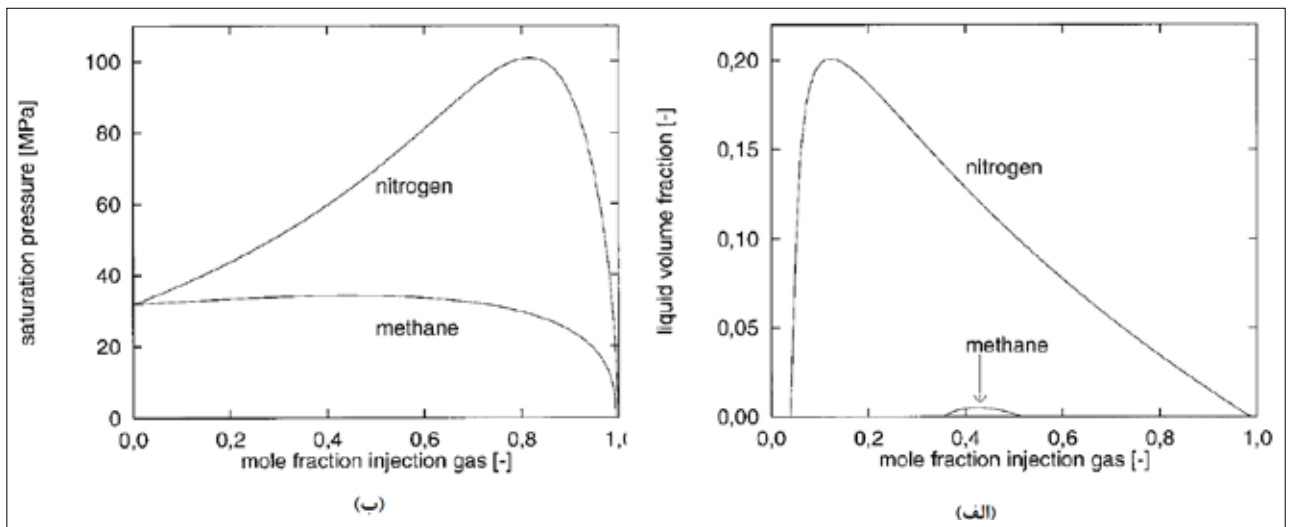
متوقف گردد؛ یعنی مقدار بهینه‌ای برای تزریق وجود دارد (شکل-۲). از این نقطه به بعد در اثر کاهش فشار و افزایش حجم گاز، بخشی از هیدروکربن حبس شده قابلیت تحرک پیدا کرده و تولید می‌شود. مقدار بهینه‌ی تزریق آب، از طریق مقدار اشباع گاز محبوس، شکل نمودارهای تراوایی نسبی و خواص سنگ و سیال تعیین می‌گردد [۴].

### ۲-۲- کاهش افت فشار و تولید میعانات تجمع یافته

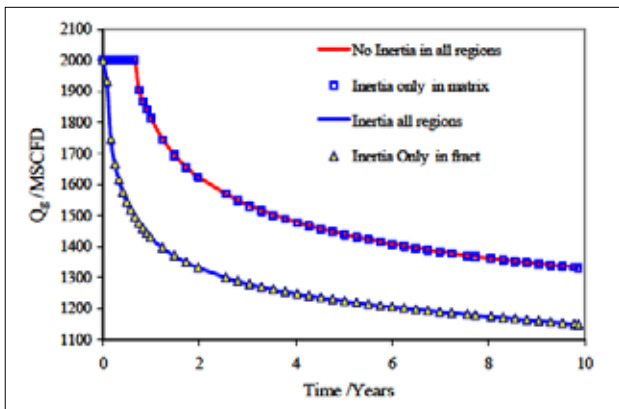
#### در اطراف چاه

#### ۱-۲- ایجاد شکاف هیدرولیکی

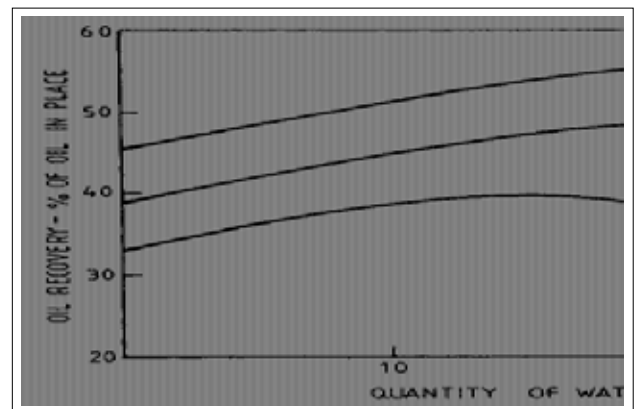
ایجاد شکاف هیدرولیکی سبب کاهش مقاومت جریان در اطراف چاه، کاهش



شکل ۱ | مقایسه‌ی تزریق متان و نیتروژن: الف) مقدار مایع تولید شده بر حسب کسر مولی گاز تزریقی ب) فشار اشباع بر حسب کسر مولی گاز تزریقی



شکل ۳ | نرخ تولید گاز برحسب زمان با در نظر گرفتن اثرات اینرسی در مناطق مختلف [۵]



شکل ۲ | بازیافت نفت بر حسب میزان آب تزریقی

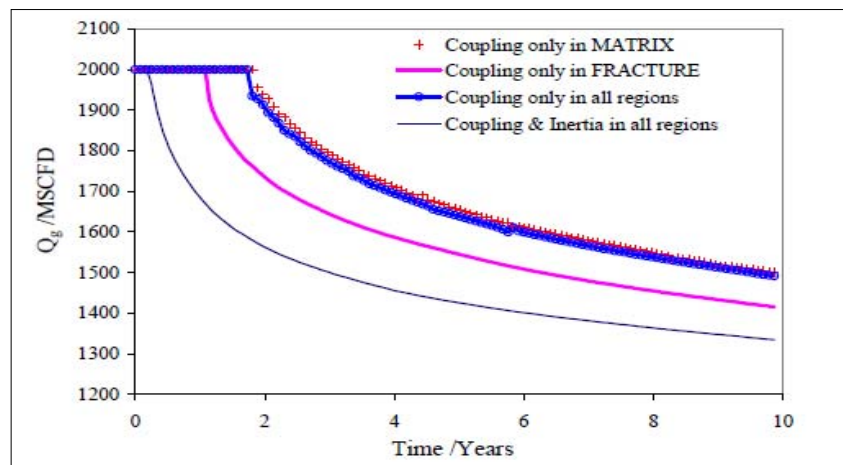


افت فشار تولید و در نتیجه تأخیر در تولید میعانات و کاهش اثرات آن می‌شود. این کار سبب افزایش نرخ تولید و افزایش عمر مخزن می‌گردد. این روش به‌ویژه برای مخازنی با تراوایی کم توصیه می‌شود. دو مکانیزم مهم در عملکرد شکاف در مخازن گازی عبارتند از جفت‌شدگی مثبت<sup>۱</sup> و اینرسی منفی<sup>۲</sup> که اثرات جفت‌شدگی مثبت در نواحی ماتریس و اثرات اینرسی منفی در نواحی شکاف مهم خواهد بود. یعنی در مدل‌سازی عملکرد شکاف اگر اینرسی در شکاف در نظر گرفته نشود مقدار گاز تولیدی بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده خواهد شد (شکل-۳). همچنین با حذف جفت‌شدگی در نواحی ماتریس، مقدار گاز تولیدی کمتر از

مقدار واقعی تخمین زده خواهد شد (شکل-۴). با افزایش طول شکاف اگرچه کاهش افت فشار مشاهده می‌شود اما به‌علت اهمیت اثرات اینرسی منفی در شکاف‌های طولی باید طولی بهینه برای شکاف در نظر گرفت. در مخازن گازی میعانی اثر جفت‌شدگی مثبت از اینرسی منفی خیلی بیشتر است [۵].

### ۲-۲- حفر چاه افقی

در چاه‌های افقی با افت فشار یکسان نسبت به چاه‌های عمودی، به دلیل افت فشار کمتر در اطراف چاه، نرخ تولید گاز و بازیافت میعانات بیشتر خواهد بود. این روش به‌ویژه برای مناطقی که امکان تولید آب در چاه وجود دارد گزینه‌ی مناسبی است [۶].



شکل ۴ | نرخ تولید گاز بر حسب زمان با در نظر گرفتن جفت‌شدگی در نواحی مختلف [۵]

### ۲-۳- تغییر ترشوندگی ناحیه‌ی اطراف چاه

دو متغیر مهم اثرگذار بر تولید گاز و بازیافت میعانات عبارتند از اشباع بحرانی میعانات که بر بازیافت میعانات مؤثر است و تراوایی نسبی گاز که روی بهره‌دهی چاه تأثیر می‌گذارد. آزمایش‌ها نشان داده که اثر تغییر ترشوندگی بر تراوایی نسبی و اشباع بحرانی، بیشتر از سایر عوامل است (شکل‌های ۵-۶). با تغییر ترشوندگی ناحیه‌ی اطراف چاه به حالت ترشوندگی گاز تر<sup>۳</sup> یا میانه<sup>۴</sup> می‌توان بازیافت میعانات را افزایش داد [۷].

نتایج مدل‌های اشباع بحرانی و تراوایی نسبی نشان می‌دهد که تراوایی نسبی به شدت تحت تأثیر نیروی بین‌سطحی، جاذبه، نرخ جریان و ترشوندگی است. ترشوندگی بیشترین تأثیر را بر اشباع بحرانی میعانات و تراوایی نسبی دارد. در مطالعات اغلب زاویه‌ی تماس برای سیستم مایع-گاز صفر فرض می‌شود. با تزریق مواد شیمیایی یا پلیمری این زاویه تغییر کرده و تولید میعانات افزایش می‌یابد. این مواد باید در مقابل جریان و دما مقاوم باشند تا اثرات آنها از بین نرود [۸].

### ۲-۴- استفاده از امواج فراصوت

تابش امواج فراصوت باعث لرزش سطح تماس گاز و میعانات و به هم خوردن تعادل آن در مقیاس میکروسکوپی می‌شود. همچنین در هنگام تابش امواج فشار کاهش می‌یابد.

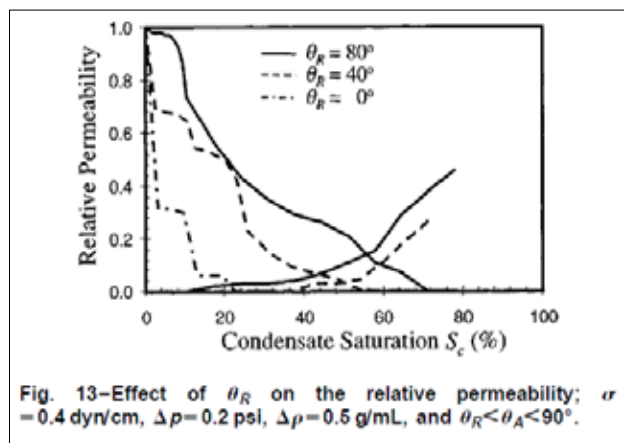
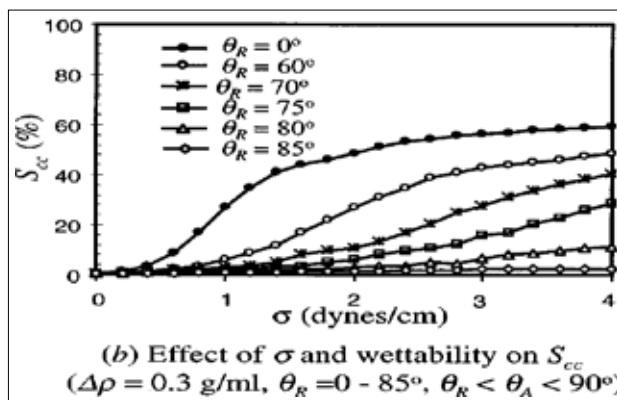


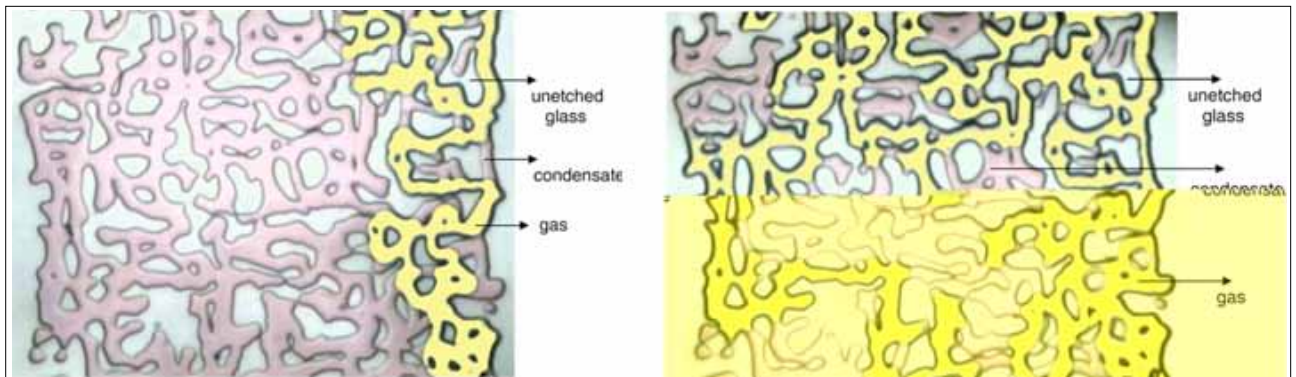
Fig. 13-Effect of  $\theta_R$  on the relative permeability;  $\sigma = 0.4 \text{ dyn/cm}$ ,  $\Delta p = 0.2 \text{ psi}$ ,  $\Delta \rho = 0.5 \text{ g/mL}$ , and  $\theta_R < \theta_A < 90^\circ$ .

شکل ۶ | اثر زاویه‌ی تماس (ترشوندگی) بر تراوایی نسبی [۷]



(b) Effect of  $\sigma$  and wettability on  $S_{cc}$  ( $\Delta p = 0.3 \text{ g/ml}$ ,  $\theta_R = 0 - 85^\circ$ ,  $\theta_R < \theta_A < 90^\circ$ )

شکل ۵ | اثرات نیروی کشش سطحی و ترشوندگی بر اشباع بحرانی میعانات [۷]



شکل ۷ | یک بخش از میکرومدل پس از میان شکنی گاز؛ سمت چپ؛ (قبل از تابش اشعه‌ی فراصوت، سمت راست)؛ ۲۰ دقیقه بعد از تابش اشعه‌ی فراصوت [۹]

کرد تا از تولید میعان‌ات در مخزن جلوگیری به عمل آید. در صورت افت فشار به زیر فشار نقطه‌ی شبنم روش‌های تزریق امتزاجی باید در دستور کار قرار گیرند.

■ اگرچه روش‌های حذف میعان‌ات گازی بر بازیافت کلی مخزن تأثیر چندانی ندارند اما از سویی سبب افزایش تولید میعان‌ات می‌شوند و از سوی دیگر نرخ بازیافت را افزایش می‌دهند. ■

سبب تحرک میعان‌ات و تولید آن گردد (شکل-۷) [۹].

#### نتیجه‌گیری

■ برای دست‌یابی به بازیافت حداکثری در مخازن گاز میعانی استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت ضروری است.  
■ قبل از اینکه فشار مخزن به زیر فشار نقطه‌ی شبنم بیافتد باید روش‌های حفظ فشار را آغاز

کاهش فشار و انبساط ظاهری مایع (جابه‌جایی سطح تماس) به دلیل ایجاد حباب درون مایع است که سبب افزایش حجم مایع می‌شود. این لرزش علاوه بر ناپایدار کردن سطح تماس باعث اختلاط جزئی دو فاز می‌شود که کاهش نیروی کشش سطحی بین دو فاز را در پی دارد. این کاهش باعث افزایش تراوایی گاز/میعان‌ات می‌شود. نتایج تابش اشعه روی میکرومدل نشان داد که تابش امواج می‌تواند

#### پانویس‌ها

<sup>1</sup> positive coupling  
<sup>2</sup> negative inertia

<sup>3</sup> gas wet  
<sup>4</sup> intermediate

#### منابع

- [1] Hamoud A. Al-Anazi, Mukul M. Sharma And Gray A. Pope; "Revaporization Of Condensate With Methane Flood"; SPE 90860, Presented At 2004 SPE International Petroleum Conference In Puebla, Mexico; 2004.
- [2] - Sanhitatiwari, M.Sureshkumari; "Nitrogen Injection For Simultaneous Exploitation Of Gas Cap"; SPE 68169; March 2001; Society Of Petroleum Engineers.
- [3] E. Shtepani; "CO2 Sequestration In Depleted Gas/Condensate Reservoirs"; SPE 102284; Presented At SPE Annual Technical Conference And Exhibition, 2427- September 2006, San Antonio, Texas, USA.
- [4] Ahmed H. El-Banbi, A. M. Aly; W.J. Lee; W.D. McCain, Jr; "Investigation Of Waterflooding And Gas Cycling For Developing A Gas-Condensate Reservoir" SPE 59772; Presented At SPE/CERI Gas Technology Symposium, 35- April 2000, Calgary, Alberta, Canada.
- [5] Mahdiyari H., Jamiolahmadi M. And Sohrabi M.; "A New Flow Skin Factor Formulation For Hydraulically Fractured Wells In Gas Condensate Reservoirs"; Presented At Europec/ EAGE Conference And Exhibition, 912- June 2008, Rome, Italy.
- [6] Boualemarrir, Sonatrach Inc., And Djebbartiab; "Performance Of Horizontal Wells In Gas Condensate Reservoirs: Hassir' mel Field, Algeria"; SPE 100753; Presented At SPE Russian Oil And Gas Technical Conference And Exhibition, 36- October 2006, Moscow, Russia.
- [7] Kewen Li, Abbas Firoozabadi; "Phenomenological Modeling Of Critical Condensate Saturation And Relative Permeabilities In Gas/Condensate Systems"; SPE Journal, Volume 5, Number 2; June 2000.
- [8] Mashhad Fahes, And Abbas Firoozabadi; "Wettability Alteration To Intermediate Gas-Wetting In Gas-Condensate Reservoirs At High Temperatures"; SPE Journal, Volume 12, Number 4; December 2007.
- [9] Mehroozsahrabi, Mahmoud Jamiolahmadi; "Application Of Ultrasonic Irradiation For Well Deliverability Improvement In Gas-Condensate Reservoirs"; Journal Of Petroleum Science And Engineering 64 (2009) 88-94.