



## اهمیت آماده‌سازی چاه در نمونه‌گیری از یک مخزن گاز میعانی

احسان صدارت<sup>۱</sup>، شهاب‌گرامی<sup>۲</sup> پژوهشکده ازدیاد برداشت مخازن نفت و گاز  
چکیده

به منظور مدیریت صحیح مخازن نفت و گاز، تصمیم‌گیری مناسب جهت برنامه‌های توسعه میدان و نصب تسهیلات سطح الارضی، ضروری است سیال هیدروکربوری مخزن به‌درستی موردشناسایی و ارزیابی قرار گیرد. برای شناخت سیال مخزن قبل از هر چیز آماده‌سازی چاه جهت نمونه‌گیری مناسب سیال انجام می‌شود. معمولاً هنگام نمونه‌گیری از سیال مخازن گاز میعانی فشار جریانی ته چاه کمتر از فشار نقطه شبنم سیال اولیه بوده و منجر به تشکیل حلقه‌ای از میعانات متشکل از اجزای سنگین تر سیال، در اطراف دهانه چاه می‌شود. در مخازن گاز میعانی رفتار فازی سیال به شدت متأثر از غلظت اجزای سنگین موجود در آن خواهد بود. از این رو چگونگی آماده‌سازی چاه و نرخ مناسب آن قبل و حین نمونه‌گیری برای اخذ سیال مخزن، نیازمند پیروی از دستورالعملی استاندارد است.

در این مقاله نتایج مطالعه دستورالعمل استاندارد نمونه‌گیری از یک سیال گاز میعانی و چگونگی تشکیل و تثبیت توده میعانات اطراف دهانه چاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور برای بررسی توزیع میعانات اطراف چاه، نسبت گاز به نفت تولیدی و ترکیب جریان تولیدی، از شبیه‌سازی ترکیبی شعاعی استفاده گردید. معادله حالت مورد استفاده برای تخمین داده‌های فازی و حجمی سیال با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت داده شد. بر اساس مشاهدات این مطالعه مشخص شد که زمان‌های اولیه تولید از یک چاه گاز میعانی بهترین موقع برای دست‌یابی به یک نمونه معرف و نزدیک به سیال اولیه مخزن است. به علاوه هیچ قانون خاصی درباره زمان مورد نیاز جهت تثبیت جریان چاه وجود ندارد؛ اما این زمان تابع نرخ تولیدی قبل از نمونه‌گیری، حجمی از مخزن که سیال اولیه در آن تغییر یافته و خصوصیات پتروفیزیکی سازند است. هم‌چنین بهترین نمونه‌گیری در شرایط افت فشار کم حاصل می‌شود و در نتیجه برنامه‌ای مجزا از برنامه طراحی شده برای آزمایش فشار گذار را که نیازمند افزایش جریان تولیدی است، دیکته می‌کند.

واژگان کلیدی آماده‌سازی چاه، نمونه‌گیری، حلقه میعانات، ترکیب سیال، نرخ تولیدی

### مقدمه

ترکیب مجدد آنها با نسبت گاز به مایع تولیدی، می‌تواند به نمونه سیال در یک مخزن گاز میعانی دست‌یافت [۲ و ۳]. در این روش نمونه‌گیری، تثبیت فشار سرچاهی و نرخ تولیدی گاز و مایع قبل و حین نمونه‌گیری از اهمیت زیادی برخوردار است. به علاوه هنگام نمونه‌گیری ضروری است نرخ تولیدی به اندازه‌ای باشد که بتواند همه مایعات را به‌طور پیوسته از رشته تولیدی به سطح منتقل کند [۵].

معمولاً هنگام نمونه‌گیری از یک مخزن گاز میعانی، فشار جریانی ته‌چاه کمتر از فشار نقطه شبنم سیال اولیه مخزن است. در نتیجه درون مخزن و در نزدیکی دهانه چاه گرادیان فشاری به‌طرزی است که فشار کمتر از فشار نقطه شبنم سیال اولیه می‌باشد. اما سؤال اینجاست که چگونه می‌توان در این شرایط نمونه‌باز ترکیب شده‌ای که معرف سیال اولیه مخزن باشد به‌دست آورد؟ مقاله حاضر به این سؤال پاسخ خواهد

مهندسی و برنامه‌های تولید از مخزن به‌طرز قابل توجهی به شناسایی سیالات مخزن و چگونگی رفتار آنها در طول عمر مخزن بستگی دارد. تعیین استراتژی بهینه تولید نیازمند دانش رفتار فازی و جریان چند فازی سیال در مخزن، خطوط جریانی و تأسیسات سطح الارضی می‌باشد. این امر به‌طرز چشم‌گیری به شبیه‌سازهای ترکیبی تنظیم شده با نتایج آزمایش‌های صورت گرفته روی سیال مخزن متکی است. در کنار عدم قطعیت موجود در آنالیز و اندازه‌گیری خواص سیال در آزمایشگاه، صحت نمونه‌های سیال تهیه شده از مخزن بیشترین تأثیر را بر کیفیت داده‌ها دارد [۱]. در صورتی که نمونه‌های تهیه شده معرف سیال مخزن نباشد نتایج حاصل از همه آزمایش‌های انجام شده روی آنها بی‌اعتبار خواهد بود. معمولاً با نمونه‌گیری از گاز و مایع خروجی تفکیک‌گر و

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (e\_sedarat@yahoo.com)

در این بررسی کلی بوده و در گستره وسیعی از ترکیب سیالات گاز میعانی قابل قبول می‌باشد. اطلاعات کلی سیال و مخزن در جدول ۱- ارائه شده است.

### ۱- بحث و بررسی نتایج شبیه‌سازی

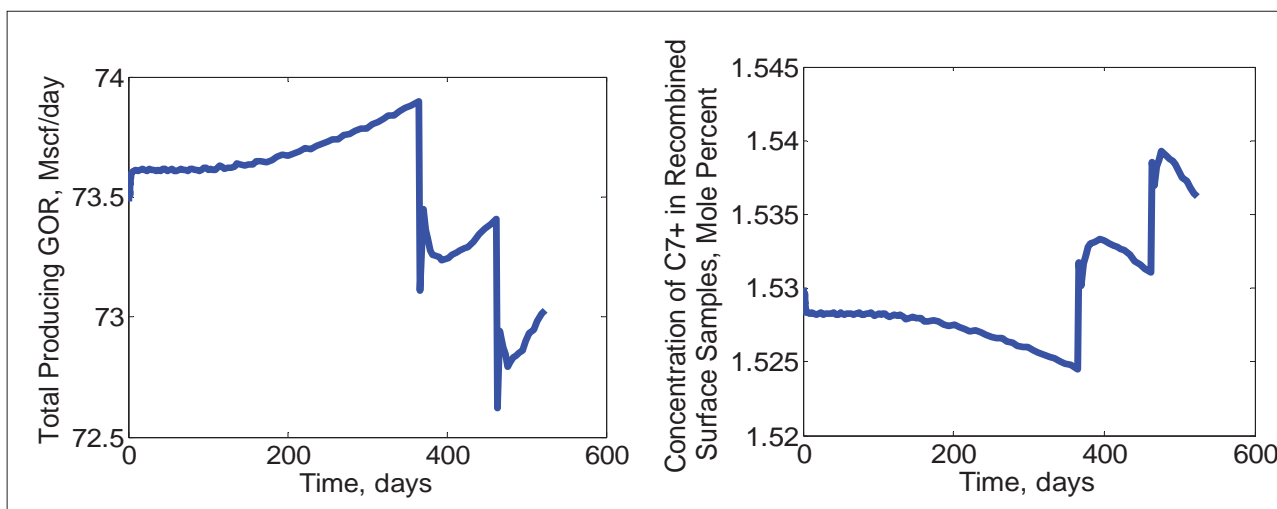
شکل ۱- GOR کل و میزان برش سنگین تر از هپتان (C7+) موجود در نمونه باز ترکیب شده برای چاهی که با نرخ ثابت 70 MMscf/day تولید می‌کند را نشان می‌دهد. هر چند نرخ تولیدی ثابت و نسبتاً کم است مشاهده می‌شود که نمونه معرف گاز اولیه مخزن را فقط در طول 60 روز ابتدای تولید می‌توان به دست آورد. بعد از 60 روز، از دست دادن میعانات در مخزن منجر به کاهش میعانات تولید شده در سطح می‌گردد. این پدیده متعاقباً منجر به افزایش نسبت گاز به میعانات تولیدی از مقدار اولیه 73/4 Msc/stb و کاهش میزان C7+ در نمونه‌های باز ترکیب شده سطحی از مقدار 1/53 درصد در گاز اولیه می‌شود.

به دو دلیل ترکیب C7+ به عنوان معیاری برای یک ترکیب مناسب انتخاب شده است. نخست اینکه C7+ جزئی از سیال است که بیشترین تأثیر را از به جا گذاری میعانات در مخزن می‌پذیرد و دوم اینکه ترکیب و خواص C7+ به شدت بر خواص نمونه باز ترکیب شده اثر می‌گذارد. پس از گذشت 365 روز جهت دست‌یابی به یک نمونه خوب، نرخ تولید گاز به 60 MMscf/day و سپس به 50 MMscf/day کاهش یافت. این عمل منجر به تغییر ناگهانی در نسبت گاز به میعانات تولیدی شد. با این وجود نه تنها نسبت گاز به میعانات تثبیت نشد بلکه باز هم شروع به افزایش کرد. میزان C7+ موجود در نمونه‌های باز ترکیب شده به مقدار صحیح اولیه نرسید. روشن است که این کاهش نرخ منجر به دست‌یابی به یک

داد. در این مطالعه سایر مشکلات موجود در نمونه‌گیری مانند اشتباهات انسانی، خطاهای اندازه‌گیری و ترکیب نادرست نمونه‌های حاصل از تفکیک گر در آزمایشگاه لحاظ نشده‌اند؛ بلکه شرایط لازم برای اینکه جریان تولیدی از یک ترکیب مناسب برخوردار باشد تا امکان دست‌یابی به یک نمونه معرف فراهم گردد را بررسی خواهد کرد.

برای بررسی توزیع اشباع و فشار در مخزن، نسبت گاز به میعانات تولیدی<sup>۱</sup> و ترکیب کل جریان تولیدی حین نمونه‌گیری، از شبیه‌سازی ترکیبی شعاعی و از معادله حالت پنگ-راینسون تنظیم شده با داده‌های آزمایشگاهی در شبیه‌سازی استفاده گردید. نتایج ارائه شده در این مقاله برای چاهی است که در کل بازه تولیدی تکمیل شده و مخزن مد نظر همگن بوده و از چهار لایه تشکیل گردیده است؛ به طوری که لایه‌ها با یکدیگر ارتباط ندارند و تراوایی عمودی و افقی در هر کدام از آنها برابر است. شعاع تخلیه مخزن 600 فوت در نظر گرفته شده و نتایج ارائه شده در این مطالعه برای یک گاز میعانی سبک است اما نتیجه حاصل

| مقدار | کمیت (واحد)                               |
|-------|---|
| ۵     | تخلخل (%)                                 |
| ۱/۹   | نفوذپذیری (md)                            |
| ۰/۲۵  | اشباع آب همزاد                            |
| ۶۰۰   | شعاع تخلیه مخزن (ft)                      |
| ۰/۲۹  | شعاع چاه (ft)                             |
| ۵۲۱۸  | فشار اولیه مخزن (psia)                    |
| ۴۶۵۰  | فشار شبنم سیال اولیه (psia)               |
| ۱/۵۱  | حداکثر مایع به جا مانده در آزمایش CVD (%) |



۱ | اثر کاهش نرخ پس از یک سال تولید از چاه گاز میعانی سبک

نمونه مناسب نشد.

زمانی که شانس دست‌یابی به یک نمونه خوب و معرف سیال اولیه مخزن از بین رفت، کاهش نرخ یا حتی بستن چاه شانس دست‌یابی به یک نمونه معرف را افزایش نمی‌دهد. این نتیجه نشان می‌دهد که نمونه‌گیری از یک مخزن گاز میعانی باید در زمان‌های اولیه تولید از چاه صورت گیرد. در ادامه زمان‌های اولیه تولید بررسی می‌شود.

### ۱-۱- حلقه میعانات

در زمان‌های اولیه تولید، بیشترین جاهای مخزن فشاری بیشتر از فشار نقطه شبنم سیال اولیه دارند و در نتیجه سیال اولیه به سمت ناحیه کم فشار اطراف دهانه چاه جریان می‌یابد. این گاز مقداری میعانات در اطراف دهانه چاه به‌جا گذارده و سپس به درون چاه جریان می‌یابد. در ابتدا این مایعات قابلیت جریان ندارند و بنابراین با عبور گازهای بیشتر از ناحیه اطراف چاه، مقدار میعانات به‌جا مانده افزایش می‌یابد. بدین ترتیب حلقه‌ای از اشباع میعانات به‌وجود می‌آید.

اشباع میعانات در این حلقه به سرعت به نقطه‌ای که با توجه به تراوایی نسبی آن توانایی جریان پیدا می‌کند، افزایش خواهد یافت و در نتیجه جریان دوفازی از حلقه میعانات به سمت چاه به‌وجود می‌آید. سپس اشباع میعانات در این حلقه به‌نحوی تعدیل می‌شود که حجم میعانات جریانی به درون چاه با میعانات به‌جا مانده از گاز جریانی برابر خواهد شد. هنگامی که این پدیده رخ می‌دهد اشباع سیال اطراف دهانه چاه تقریباً تثبیت می‌شود.

یک حالت شبه پایا به‌نحوی به‌وجود می‌آید که ترکیب گاز جریانی از مخزن به درون حلقه میعانات با ترکیب مخلوط گاز و مایع جریانی از حلقه به درون چاه برابر است. بنابراین، نسبت گاز به میعانات تولیدی

ثابت خواهد ماند و نمونه باز ترکیب شده ترکیبی همانند گاز اولیه مخزن خواهد داشت. این وضعیت دقیقاً پایا نیست زیرا فشار جریانی ته چاه و گرادیان فشار اطراف چاه با گذشت زمان کاهش می‌یابد و در نتیجه اندازه حلقه میعانات به‌کندی افزایش پیدا خواهد کرد.

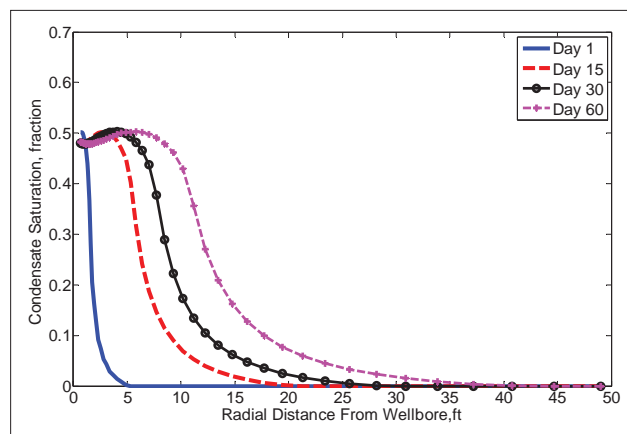
در شکل ۲-۱ تشکیل حلقه میعانات برای چاهی که با نرخ ثابت  $100 \text{ MMscf/day}$  تولید می‌کند نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که اشباع میعانات نزدیک دهانه چاه در حدود  $50\%$  تثبیت می‌شود. اندازه حلقه میعانات با افزایش مدت زمان تولید به تدریج افزایش می‌یابد. این حلقه هیچ‌وقت دقیقاً تثبیت نشده و مقدار میعانات جریانی به درون چاه همیشه کمی کمتر از میزان آن در حالت تثبیت کامل خواهد بود. بنابراین ترکیب جریان تولیدی در مقایسه با ترکیب سیال اولیه مخزن به میزان کمی از اجزای سنگین‌تر کمتری برخوردار است.

در نرخ‌های بیشتر رشد حلقه میعانات سریع‌تر است و جریان تولیدی میعانات کمتر دارد. شکل ۳-۱ رابطه کیفیت نمونه سیال باز ترکیب شده با نرخ تولیدی را نشان می‌دهد. در نمونه‌های باز ترکیب شده کیفیت نمونه سیال با کسر مولی  $C7+$  نشان داده می‌شود. ترکیب  $C7+$  موجود در همه نمونه‌های ارائه شده در شکل ۳-۱ به طرز قابل قبولی به میزان موجود در گاز اولیه مخزن نزدیک است. بنابراین حتی زمانی که فشار جریانی ته چاه کمتر از فشار نقطه شبنم گاز اولیه مخزن است نیز امکان دست‌یابی به یک نمونه خوب وجود دارد. اما نرخ‌های تولیدی کمتر منجر به اخذ نمونه‌هایی با کیفیت بهتر می‌شوند. در عمل نسبت گاز به میعانات تولیدی در همه حالات ثابت است. این موضوع نشان می‌دهد که تثبیت نسبت گاز به میعانات لزوماً برابر با یک نمونه خوب یا معرف مخزن نیست.

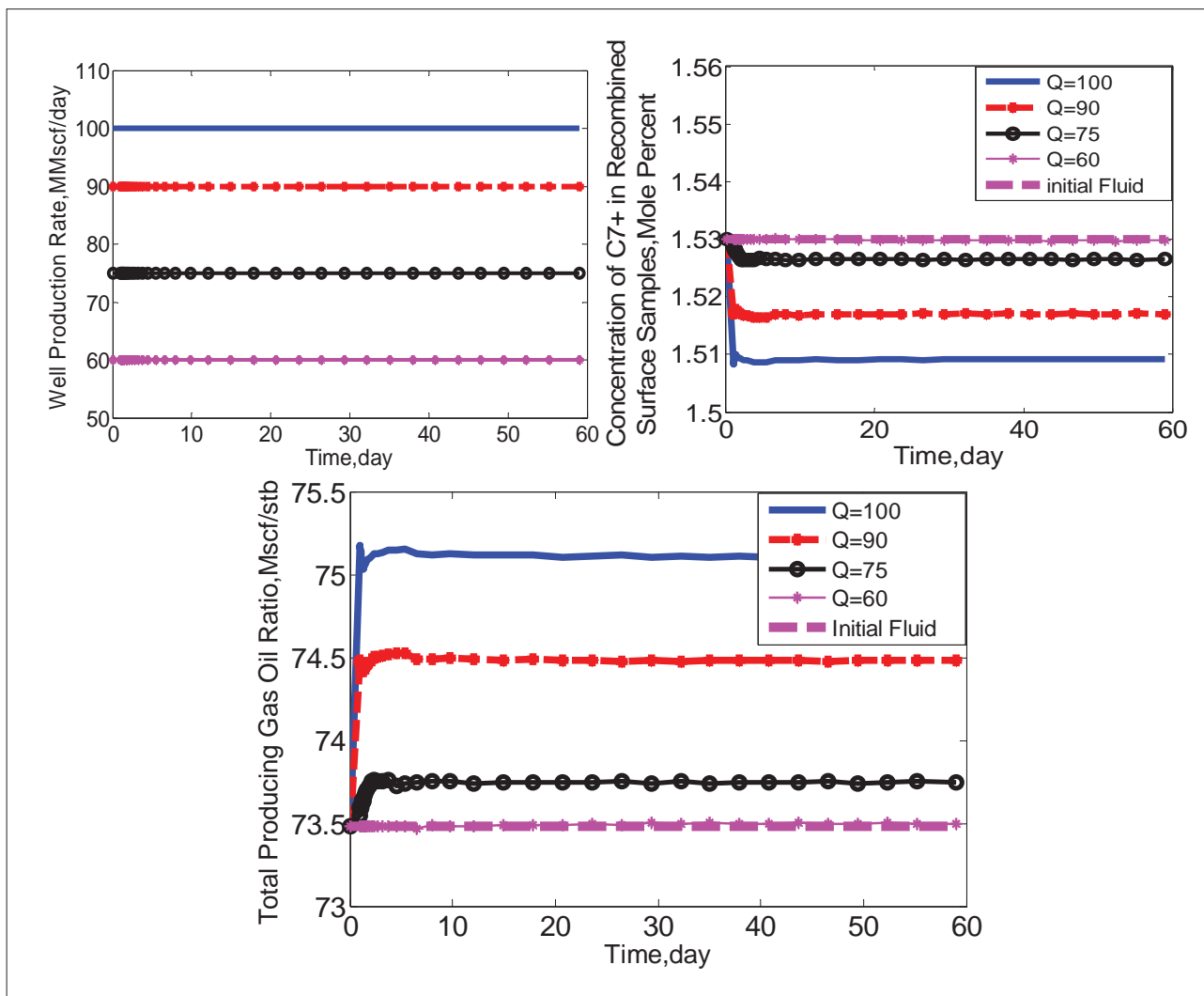
### ۲-۱- کاهش نرخ قبل از نمونه‌گیری

معمولاً قبل از نمونه‌گیری نرخ تولید گاز را کاهش می‌دهند. سپس تلاش می‌شود قبل از اخذ نمونه، نرخ گاز و میعانات خروجی تفکیک‌گر را تثبیت کنند. شکل ۴-۱ نشان می‌دهد که حین این روش نمونه‌گیری چه اتفاقی در مخزن رخ می‌دهد. در اینجا چاه با نرخ  $180 \text{ MMscf/day}$  به مدت سه روز تولید می‌کند و سپس نرخ تولید به  $60 \text{ MMscf/day}$  کاهش می‌یابد. منحنی (a) در شکل ۴-۱ پروفایل اشباع میعانات بعد از سه روز تولید با نرخ تولید  $180 \text{ MMscf/day}$  را نشان می‌دهد، منحنی (b) شکل حلقه میعانات یک ساعت بعد از کاهش نرخ را نشان می‌دهد.

هنگامی که نرخ تولید کاهش می‌یابد، فشار اطراف چاه زیاد می‌شود. این عمل منجر به تبخیر مقداری از میعانات و غنی شدن گاز در حال جریان



شکل ۲ | پروفایل اشباع میعانات در مخزن حین تولید با نرخ  $100 \text{ MMscf/day}$



شکل ۳ | اثر نرخ تولیدی بر کیفیت نمونه‌های باز ترکیب شده

و افزایش فراوان C7+ در نمونه‌های تهیه شده از تفکیک گر می‌شود. همان‌گونه که توده میعان‌ها با نرخ جدید تولیدی تعدیل می‌شود، نسبت گاز به میعان‌ها تولیدی و میزان C7+ موجود در نمونه‌ها به مقادیر متناظر با نرخ جدید نزدیک می‌شوند.

شکل ۵- نشان می‌دهد که یک مرحله کاهش نرخ تولید و به دنبال آن یک دوره تولید با نرخ ثابت قبل از نمونه‌گیری می‌تواند کیفیت نمونه‌ها را بهبود بخشد ولی دو مشکل به همراه دارد؛ نخست اینکه تغییرات نسبت گاز به میعان‌ها می‌تواند زمان شروع تثبیت نرخ جدید را با ابهام روبرو کرده و منجر به نمونه‌گیری حین افزایش ناگهانی در غلظت C7+ می‌شود و دوم آنکه برای مخازن گازی با تراوایی بسیار کم، مدت زمان تثبیت نرخ سیالات خروجی از تفکیک گر بسیار به اندازه‌های طولانی است که می‌تواند شانس دست‌یابی به یک نمونه خوب را از بین ببرد.

به‌درون چاه می‌شود. هم‌چنین مقداری از میعان‌ها به درون چاه تخلیه می‌شوند؛ چراکه اشباع میعان‌ها باید با نرخ جدید به‌جا گذاری مایع از گاز جریان‌ی به حلقه میعان‌ها، تنظیم گردد. هر دوی این اثرات منجر به افزایش شدید اجزای سنگین موجود در جریان تولیدی می‌شود. منحنی (C) در شکل ۴- وضعیت حلقه میعان‌ها یک روز بعد از کاهش نرخ را نشان می‌دهد. اشباع میعان‌ها برای تطابق با کاهش نرخ به‌جا گذاری مایع کاهش یافته و در مقدار کمتری تثبیت می‌شود و نسبت به آنچه توسط گاز ورودی به حلقه میعان‌ها به‌جا می‌ماند مایع بیشتری درون چاه جریان می‌یابد.

شکل ۵- اثر نرخ کاهش مذکور را روی نسبت گاز به میعان‌ها تولیدی و میزان C7+ موجود در نمونه‌های باز ترکیب شده در سطح نشان می‌دهد. کاهش جزئی حلقه میعان‌ها منجر به افزایش فوری میزان میعان‌ها در سطح می‌شود. این اثر منجر به کاهش نسبت گاز به میعان‌ها

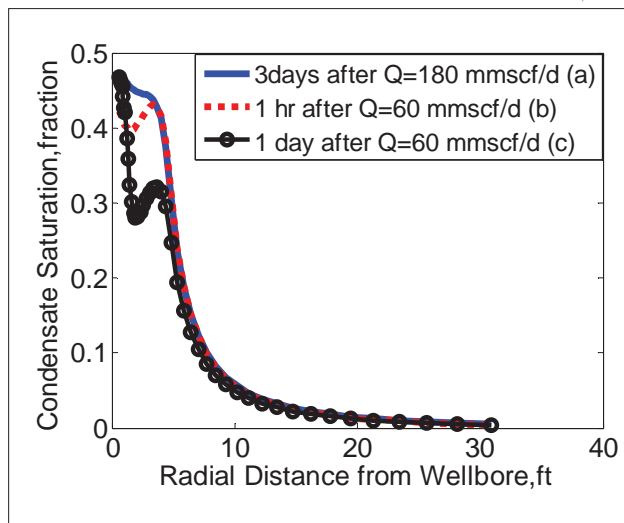


مخزن بسیار غنی باشد فشار نقطه شبنم اندازه گیری شده کمتر از مقدار واقعی خواهد بود و اگر سیال واقعی مخزن سبک باشد فشار نقطه شبنم اندازه گیری شده بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود. بنابراین اختلاف بین فشارهای نقطه شبنم یک نمونه بد و سیال واقعی مخزن متغیر و غیر قابل پیش بینی است. معیاری که اغلب برای ارزیابی کیفیت نمونه باز ترکیب شده یک سیال گاز میعانی استفاده می شود اینست که فشار نقطه شبنم باید کمتر از فشار مخزن باشد. اگر نمونه تهیه شده از تفکیک گر در مدت زمان کمی پس از کاهش نرخ گرفته شود ممکن است این معیار با نمونه ای مواجه شود که غلظت C7+ در آن بیش از اندازه می باشد. اثر کاهش نرخ پس از سه روز تولید با نرخ ثابت منحصر به فرد نیست و هر گونه کاهش نرخ پس از یک دوره تولیدی منجر به تغییر ناگهانی نسبت گاز به میعانات تولیدی و پرش ناگهانی غلظت C7+ موجود در نمونه های باز ترکیب شده می گردد.

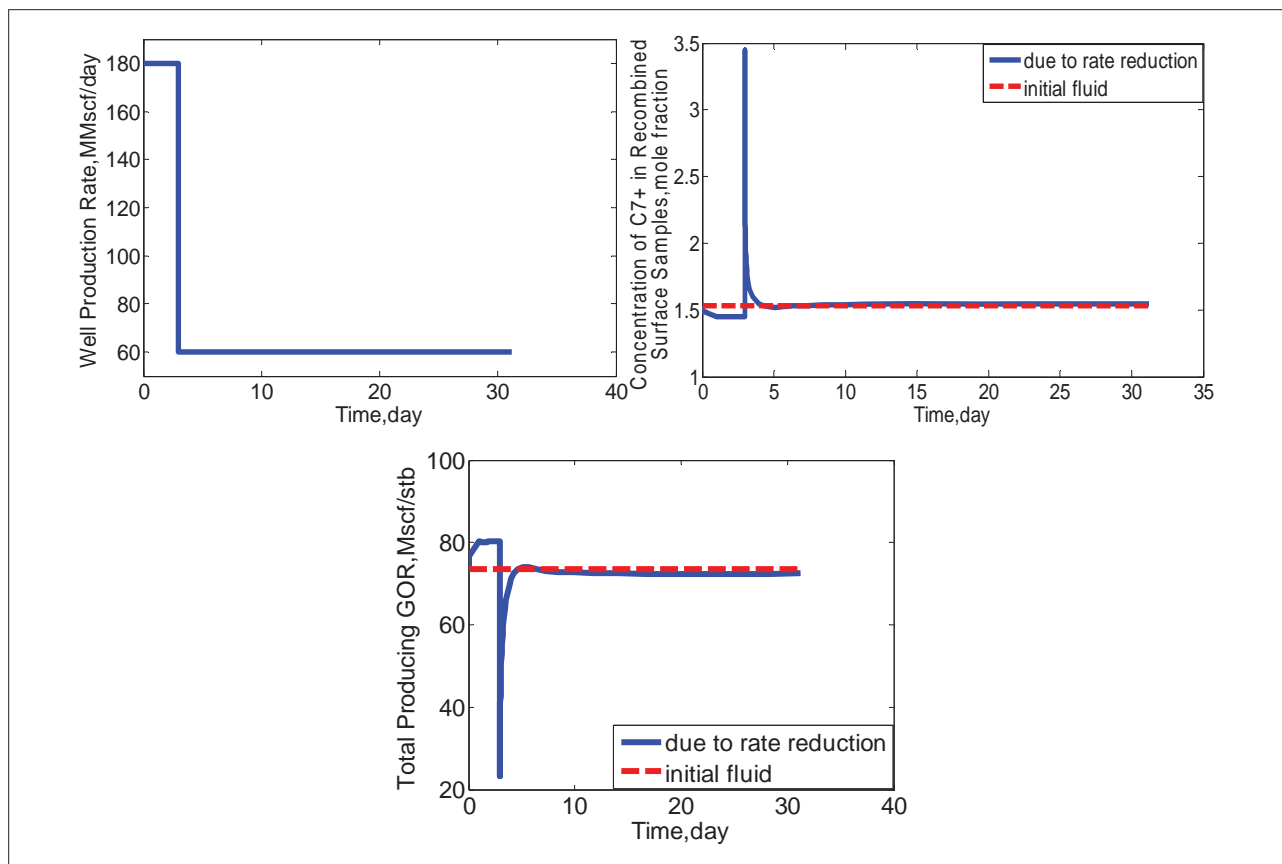
### ۳-۱- بستن چاه قبل از نمونه گیری

برخی مواقع برای نمونه گیری، چاه را قبل از اینکه در یک نرخ کم تولید کند برای مدتی می بندند. شکل ۶- نتایج بستن چاه به مدت ده روز پس از سه

اگر نمونه گیری حین افزایش ناگهانی غلظت C7+ انجام شود، نمونه باز ترکیب شده به میزان زیادی حاوی اجزای سنگین تر سیال مخزن خواهد بود. این مقدار اضافی اجزای سنگین باعث می شود فشار شبنم اندازه گیری شده در آزمایشگاه کاملاً غلط باشد. اگر سیال واقعی



شکل ۴ | پروفایل اشباع میعانات در مخزن؛ قبل و بعد از کاهش نرخ



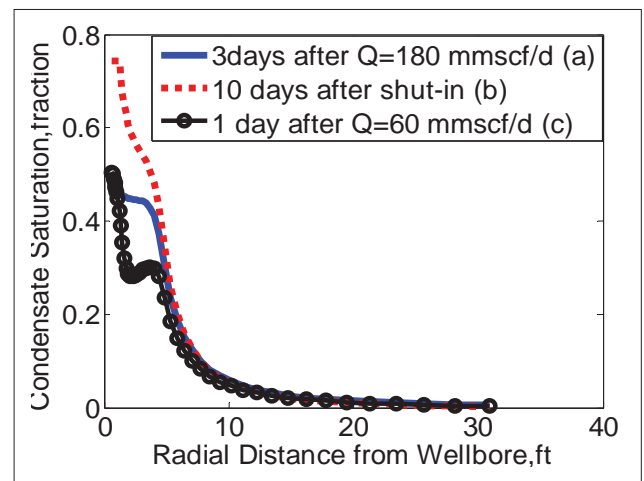
شکل ۵ | اثر کاهش نرخ تولید قبل از نمونه گیری بر نسبت گاز به میعانات تولیدی و میزان برش سنگین در سیال باز ترکیب شده

هنگام بستن چاه، حلقه میعانات که تا حدی به دلیل بستن چاه تغییر یافته و گاز موجود در ناحیه اطراف چاه که میزان غلظت اجزای سنگین آن دچار تغییر شده در مخزن باقی می ماند و زمانی که تولید دوباره آغاز می شود این گاز و میعانات به درون چاه تخلیه می شود. در نهایت وضعیت حاصل در سطح عملاً مانند آنچه که در شکل ۵-ارائه شده می باشد. طول دوره بستن چاه تأثیری بر نتیجه نمونه گیری ندارد. گاز و میعانات اطراف چاه باقی می ماند تا به محض شروع تولید به درون چاه تخلیه شوند.

### نتیجه گیری

در صورتی که نمونه گیری در زمان های اولیه عمر چاه و در نرخ تولیدی کم صورت گیرد، می توان با باز ترکیب نمونه های حاصل از تفکیک گر، یک نمونه معرف از مخزن گاز میعانی که فشار جریانی ته چاهی آن کمتر از فشار نقطه شبنم گاز اولیه مخزن است تهیه کرد. کاهش نرخ تولیدی قبل از تثبیت نرخ سیالات خروجی از تفکیک گر سبب می شود که ترکیب نمونه سیال به سیال واقعی مخزن نزدیک تر باشد. اما باید بسیار دقت کرد تا از تثبیت چاه قبل از نمونه گیری اطمینان حاصل شود. تثبیت شرایط چاه و تفکیک گر برای مخازن با تراوایی زیاد و تراوایی کم به ترتیب نیازمند چند روز و چند ماه زمان می باشد. در نرخ های تولیدی زیاد نسبت گاز به میعانات تولیدی می تواند تثبیت شود؛ در صورتی که ترکیب جریان تولیدی معرف گاز اولیه مخزن نیست. بستن چاه گاز میعانی قبل از نمونه گیری کیفیت نمونه ها را بهبود نمی بخشد. ■

روز تولید با نرخ  $180 \text{ MMscf/day}$  را نشان می دهد. منحنی (a) در شکل ۶- همان منحنی (a) در شکل ۴- است. منحنی (b) مربوط به ده روز پس از بستن چاه است. شاید انتظار برود میزان اشباع میعانات پس از بستن چاه از میزان اشباع میعانات پس از سه روز تولید کمتر شود، اما در اینجا به دلیل تغییر ماهیت میعانات موجود در مخزن به سیال شبه نفت، با افزایش فشار، نه تنها میعانات کم نمی شود بلکه بر میزان آن افزوده نیز خواهد شد (تغییری شبیه به رفتار نفت فرار). منحنی (c) پروفایل اشباع یک روز پس از تولید دوباره چاه با نرخ  $60 \text{ MMscf/day}$  را نشان می دهد. به تشابه منحنی (c) در دو شکل ۴- و ۶ توجه کنید.



شکل ۶ | پروفایل اشباع میعانات در مخزن قبل از کاهش نرخ تولید، زمان آخر بسته ماندن چاه، و بعد از تولید مجدد با نرخ تولید کمتر

### پانویس ها

1. sgerami@gmail.com
2. GOR

### منابع

- [1] Williams, J.M.: "Fluid Sampling under Adverse Conditions", Institut Francais du Petrole (May-June 1998) Vol. 53, 355-365
  - [2] Reudelhuber, F.O.: "Separator Sampling of Gas-Condensate Reservoirs", Oil & Gas J. (June 21, 1954) 138-40.
  - [3] "Sampling Petroleum Reservoir Fluids", API Recommended Practice 44, Second Edition, (April 2003).
  - [4] Moses, P.L.: "Engineering Applications of Phase Behavior of Crude Oil and Condensate Systems", JPT (July 1986) 715-23.
  - [5] McCain, W.D.J. and Alexander, R.A.: "Sampling Gas Condensate Wells", SPE Res. Eng. (August 1992) 358-362.
- Well conditioning in gas condensate fluid sampling