

سلامی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

جلوگیری از پدیده انسداد میعانی مخازن گاز میعانی کربناتی به کمک فعال کننده‌های سطح فلونوری

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش پیشرفته

غلامرضا کاراندیش

اساتید راهنما

دکتر علی اکبر دادخواه

دکتر محمدرضا رحیم پور



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی گرایش پیشرفته آقای غلامرضا کاراندیش
تحت عنوان

**جلوگیری از پدیده انسداد میعانی مخازن گاز میعانی کربناتی به کمک فعال‌کننده‌های سطح
فلوئوری**

در تاریخ ۹۱/۱۰/۱۶ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- | | |
|-----------------------|-------------------------------|
| دکتر علی اکبر دادخواه | ۱- استاد راهنمای پایان‌نامه |
| دکتر محمدرضا رحیم‌پور | ۲- استاد راهنمای پایان‌نامه |
| دکتر شادی حسن آجیلی | ۳- استاد مشاور پایان‌نامه |
| دکتر سید محمد قریشی | ۳- استاد داور |
| دکتر احمد اسدی نژاد | ۴- استاد داور |
| دکتر حمید زیلوئی | سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده |

سپاس‌گزاری

اکنون که این پایان نامه به پایان رسیده است بر خود واجب می‌دانم که از اساتید راهنمای اینجانب، جناب دکتر علی‌اکبر دادفواه و جناب دکتر محمدرضا رمیم‌پور به دلیل توجه و راهنمایی‌های بی دریغشان در طول مدت انجام این پژوهش سپاس‌گزاری کنم. همچنین از خانواده گرانقدر و همسر مهربانم که همواره پشتیبان و حامی من بوده‌اند از صمیم قلب متشکرم.

تقدیم به:

همسر و خانواده مهربانم که همواره حامی من

بوده‌اند و در تمامی لحظات با صبر و شکیبایی به من دل

گرمی داده‌اند.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی
از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

چکیده

در هنگام برداشت از مخازن گاز میعانی، با کاهش فشار و کمتر شدن آن از فشار سیال مخزن، میعانات از فاز گاز جدا می‌شوند و در نواحی اطراف دهانه چاه انسداد میعانات را ایجاد می‌کنند که موجب کاهش بسیار شدید برداشت گاز می‌شود. یک روش جدید برای تحریک چاه‌های گاز میعانی، تغییر ترشوندگی سنگ در نواحی اطراف چاه به وسیله ترکیبات شیمیایی و در نتیجه آن افزایش نفوذپذیری نسبی گاز است. در این تحقیق از یک محرک شیمیایی جهت کاهش افت فشار ناشی از انسداد میعانات استفاده شده که ترشوندگی سنگ‌های بسیار آب دوست کربناتی را به گاز دوست متوسط تغییر داده و در نتیجه نفوذپذیری نسبی افزایش می‌یابد. محلول اصلاح کننده مورد استفاده شامل یک فعال کننده فلوئوریونی و حلال بهینه شده آن است. تمامی آزمایش‌ها بر روی سنگ‌های کربناتی انجام شدند که از میدان سرخون واقع در جنوب ایران تهیه شده بودند. جهت اندازه‌گیری ترشوندگی سطوح سنگی صاف و مغزه‌ها از آزمایش‌های اندازه‌گیری زاویه تماس و آشام خود به خودی استفاده شد. همچنین امکان استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و انرژی متفرق اشعه X (EDAX) در ارزیابی میزان جذب فعال کننده بر سطوح سنگی و بازدهی جذب با موفقیت بررسی شد. به منظور بررسی تاثیر اصلاح شیمیایی بر تغییر ترشوندگی در شرایط مخازن گاز میعانی، نفوذپذیری نسبی گاز قبل و بعد از اصلاح سطح بوسیله آزمایش سیلاب زنی مغزه اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شدند. جهت شبیه سازی هرچه بیشتر فرآیند با شرایط مخازن گاز میعانی یک مخلوط گاز میعانی ساختگی تشکیل شد، آزمایش‌ها تحت دما و فشار مشابه با مخازن انجام شدند و اشباع اولیه آب نمک درون مغزه‌ها ایجاد شد. افزایش نفوذپذیری نسبی گاز بوسیله مقایسه نفوذپذیری نسبی اندازه‌گیری شده قبل، و بعد از اصلاح مغزه‌ها، بررسی شد. آزمایش‌های اندازه‌گیری زاویه تماس و آشام خود به خودی دو محلول حاوی فعال کننده سطح مناسب را بهینه کردند که از ترکیب ۱٪ وزنی فعال کننده Z در حلال اتانول و ۱٪ وزنی فعال کننده N.Z در آب ایجاد شده بودند. از نتایج بدست آمده چنین بر می‌آید که فعال کننده Z در تغییر ترشوندگی سطوح کربناتی و مغزه‌ها بسیار موثر است، در صورتیکه فعال کننده N.Z علی‌رغم موفقیت در تغییر ترشوندگی سطوح سنگی در تغییر ترشوندگی مغزه‌ها در آزمایش آشام خود به خودی آن چنان موفق نمی‌باشد. پس از اصلاح سطوح سنگی با فعال کننده سطحی فلوئوری بهینه شده، زاویه تماس میان سیال و سطح افزایش چشم‌گیری نشان داد به طوری که زاویه تماس آب و نرمال دکان از صفر درجه به 121° و 70° تغییر کرد، همچنین کاهش $86/6\%$ و $82/1\%$ در میزان جذب آب و نفت مغزه اصلاح شده مشاهده شد. نتایج حاصل از آزمایش‌های سیلاب زنی مغزه، افزایش نفوذپذیری نسبی گاز را در شرایط مخزن با ضرایب $1/49$ تا $1/7$ نشان داد که توانایی فعال کننده سطحی فلوئوری در تغییر ترشوندگی مغزه‌ها را تحت شرایط مشابه با مخازن اثبات می‌کند. سازگاری محلول اصلاح کننده با اشباع اولیه آب نمک در مخازن نیز با آزمایش چندین اشباع آب نمک در آزمایش سیلاب زنی مغزه انجام شد. نتایج بدست آمده نشان دادند فعال کننده سطحی و محلول آن با آب نمک ساخته شده پایدار است و هیچ رسوب ناشی از آن‌ها ایجاد نشده و مسیرهای عبور سیال را مسدود نکرده است. در نهایت این فعال کننده سطحی توانسته است در جلوگیری از انسداد میعانات بسیار موثر باشد که در نتیجه آن می‌تواند برداشت گاز و میعانات را از مخازن گاز میعانی افزایش دهد.

کلمات کلیدی: ۱-انسداد میعانات ۲-فعال کننده‌ی سطح فلوئوری ۳-ترشوندگی ۴-زاویه تماس ۵-آشام ۶-EDAX ۷-

نفوذ پذیری

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
۱	چکیده
	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱ مخازن گاز میعانی
۵	۲-۱ روشهای ازدیاد برداشت از مخازن گاز میعانی
۶	۳-۱ ترشوندگی
۷	۴-۱ فعالکننده‌های سطح فلوئوری
۹	۵-۱ اهمیت افزایش برداشت گاز از مخازن گازی ایران
۱۰	۶-۱ هدف
	فصل دوم: تاریخچه‌ی کارهای انجام شده
۱۱	۱-۲ جلوگیری از انسداد میعانی بوسیله فعال کننده‌ها
۱۷	۲-۲ محاسبه نفوذپذیری نسبی
	فصل سوم: تجهیزات آزمایشگاهی و شرح آزمایش
۲۰	۱-۳ مواد مورد استفاده
۲۱	۲-۳ آماده سازی سنگ
۲۱	۳-۳ فعال کننده سطح
۲۴	۴-۳ آزمایش اندازه گیری زاویه تماس
۲۵	۵-۳ آزمایش آشام خود به خودی
۲۶	۶-۳ تجهیزات آزمایش سیلاب زنی مغزه
۲۶	۱-۶-۳ پمپ جابجایی مثبت
۲۷	۲-۶-۳ سیلندر انباره
۲۹	۳-۶-۳ ناظم فشار
۲۹	۴-۶-۳ نگه دارنده مغزه
۳۰	۵-۶-۳ تله مایع
۳۱	۶-۶-۳ آون
۳۱	۷-۶-۳ نمایشگر دما و اختلاف فشار
۳۲	۷-۳ مخلوط گاز میعانی

۳۴.....	سیلاب زنی مغزه.....	۸-۳
۳۵.....	معادلات نفوذپذیری نسبی و مطلق.....	۹-۳
فصل چهارم: نتایج و بحث		
۳۹.....	زاویه‌های تماس اندازه‌گیری شده.....	۱-۴
۴۲.....	آشام خود به خودی.....	۲-۴
۴۲.....	گروه ۱، محلول حاوی فعال‌کننده Z در حلال اتانول به غلظت ۱٪ وزنی.....	۱-۲-۴
۴۳.....	گروه ۲، محلول حاوی فعال‌کننده N.Z در آب به غلظت ۱٪ وزنی.....	۲-۲-۴
۴۶.....	آزمون پایداری.....	۳-۴
۴۸.....	طیف نگاری انرژی متفرق اشعه X (EDAX).....	۴-۴
۵۳.....	سیلاب زنی مغزه.....	۵-۴
۵۸.....	ارزیابی آزمایش‌های انجام شده با کارهای پیشین.....	۶-۴
فصل پنجم: نتیجه‌گیری		
۶۲.....	پیشنهادات.....	۱-۵
۶۳.....	مراجع.....	

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- منحنی دما فشار نمونه ای از سیال یک مخزن گاز میعانی	۴
شکل ۲-۱- منحنی اشباع میعانات گازی بر حسب فاصله از چاه برداشت	۴
شکل ۳-۱- میزان ترشوندگی قطرات جیوه، روغن و آب بر روی صفحه شیشه‌ای	۷
شکل ۱-۲- تاثیر کشش بین سطحی و نیروی ثقل با اشباع بحرانی میعانات	۱۳
شکل ۲-۲- تاثیر σ و ترشوندگی بر S_{cc} ($\Delta p=0.3 \text{ g/ml}$)	۱۳
شکل ۱-۳- تجهیزات لازم در آماده سازی مغزه. (الف) مته مغزه گیر جهت ساختن مغزه از بلوک‌های سنگی، (ب) تیغه فلزی جهت جداسازی و هموار کردن سر و ته مغزه.	۲۲
شکل ۲-۳- دستگاه اندازه گیری تخلخل مغزه بوسیله گاز هلیوم	۲۲
شکل ۳-۳- دو ساختار شیمیایی فعال کننده سطح فلوئوری Zonyl UR	۲۳
شکل ۴-۳- دستگاه رایانه‌ای اندازه گیری زاویه جهت محاسبه زاویه تماس	۲۴
شکل ۵-۳- شمای دستگاه مورد استفاده در آزمایش آشام خود به خودی.	۲۶
شکل ۶-۳- شمای دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده در آزمایش سیلاب زنی مغزه.	۲۷
شکل ۷-۳- تصویر گرفته شده از دستگاه سیلاب زنی مغزه	۲۸
شکل ۸-۳- پمپ جابجایی مثبت ابتدای مسیر در دستگاه سیلاب زنی مغزه.	۲۸
شکل ۹-۳- پمپ دستی مورد استفاده در کنترل فشار خروجی ناظم‌های فشار.	۲۹
شکل ۱۰-۳- نگه‌دارنده مغزه و اجزاء داخلی آن.	۳۰
شکل ۱۱-۳- نمایشگر فشار و دما متصل شده به دستگاه سیلاب زنی مغزه.	۳۱
شکل ۱۲-۳- نمودار فازی مخلوط گازی ساخته شده.	۳۳
شکل ۱۳-۳- ریزش مایع، طی انبساط در غلظت ثابت مخلوط گازی ساخته شده در دمای 80°C	۳۳
شکل ۱-۴- قطره آب قرار گرفته بر روی سطح کربناتی الف) قبل از فعال کردن صفحه با فعال کننده فلوئوری Z در حلال اتانول، ب) بعد از فعال کردن صفحه.	۴۰

- شکل ۲-۴- تصاویر گرفته شده از قطره‌های الف (آب، ب) نفت، بر روی سنگ‌های کربناتی فعال شده با محلول حاوی ۱٪ فعال کننده Z در حلال اتانول. ۴۱
- شکل ۳-۴- تصاویر گرفته شده از قطره‌های الف (آب، ب) نفت، بر روی سنگ‌های کربناتی فعال شده با محلول حاوی ۱٪ فعال کننده N.Z در آب مقطر. ۴۲
- شکل ۴-۴- بازیافت گاز بوسیله آشام خود به خودی آب نمک نسبت به زمان، قبل و بعد از فعال کردن مغزه با محلول حاوی ۱٪ فعال کننده Z در حلال اتانول. ۴۴
- شکل ۵-۴- بازیافت گاز بوسیله آشام خود به خودی نفت نسبت به زمان، قبل و بعد از فعال کردن مغزه با محلول حاوی ۱٪ فعال کننده Z در حلال اتانول. ۴۴
- شکل ۶-۴- بازیافت گاز بوسیله آشام خود به خودی آب نمک نسبت به زمان، قبل و بعد از فعال کردن مغزه با محلول حاوی ۱٪ فعال کننده N.Z در آب. ۴۵
- شکل ۷-۴- بازیافت گاز بوسیله آشام خود به خودی نفت نسبت به زمان، قبل و بعد از فعال کردن مغزه با محلول حاوی ۱٪ فعال کننده N.Z در آب. ۴۵
- شکل ۸-۴- بازیافت گاز بوسیله آشام خود به خودی آب نمک نسبت به زمان، قبل و بعد از فرو بردن ۳۰ روزه مغزه فعال شده با فعال کننده Z. ۴۷
- شکل ۹-۴- تصاویر گرفته شده با SEM و نواحی طیف نگاری شده توسط EDAX، صفحه فعال شده با الف) فعال کننده N.Z، ب) فعال کننده Z. ۴۹
- شکل ۱۰-۴- طیف نگاری EDAX بدست آمده از ناحیه شماره ۴ صفحه فعال شده با فعال کننده Z. ۵۰
- شکل ۱۱-۴- تصاویر گرفته شده به کمک SEM از سنگ‌های فعال شده با فعال کننده الف) N.Z و ب) Z. ۵۲
- شکل ۱۲-۴- افت فشار قبل و بعد از فعال کردن مغزه. (آزمایش شماره ۳، $S_{wi}=0\%$ ، $IF=1/49$) ۵۶
- شکل ۱۳-۴- افت فشار قبل و بعد از فعال کردن مغزه. (آزمایش شماره ۷، $S_{wi}=43\%$ ، $IF=1/61$) ۵۷
- شکل ۱۴-۴- افت فشار قبل و بعد از فعال کردن مغزه. (آزمایش شماره ۱۱، $S_{wi}=0\%$ ، $IF=1/70$) ۵۷
- شکل ۱۵-۴- افت فشار قبل و بعد از فعال کردن مغزه. (آزمایش شماره ۱۲، $S_{wi}=30\%$ ، $IF=1/53$) ۵۸

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۵	جدول ۱-۲- مشخصات مغزه کربناته و تاثیر فعال‌کننده‌ها بر نفوذپذیری گاز و اشباع اولیه آب نمک
۱۶	جدول ۲-۲- بهبود نفوذپذیری نسبی در ماسه سنگ‌های بریا توسط بَنگ و همکارانش
۳۲	جدول ۱-۳- غلظت اجزاء مخلوط گازی ساخته شده
۳۶	جدول ۲-۳- مقادیر ρ_g/μ_g محاسبه شده مربوط به گاز متان نسبت به فشار، در دمای 80°C
۳۸	جدول ۳-۳- مقادیر ρ_{eff} و ρ_g/μ_g محاسبه شده مربوط به سیال گاز میعانی ساخته شده نسبت به فشار، در دمای 80°C
۴۰	جدول ۱-۴- زاویه تماس آب و نفت نسبت به نوع محلول ساخته شده بر روی صفحات کربناتی
۴۱	جدول ۲-۴- زاویه تماس آب و نفت نسبت به درصد‌های مختلف فعال‌کننده فلوئوری
۴۳	جدول ۳-۴- نتایج آزمایش آشام خود به خودی و جزئیات آن
۴۹	جدول ۴-۴- غلظت فلوئور و فسفور اندازه‌گیری شده از صفحات فعال شده به کمک طیف نگاری EDAX
۵۰	جدول ۵-۴- عناصر موجود در ناحیه شماره ۴ صفحه فعال شده با فعال‌کننده Z
۵۴	جدول ۶-۴- شرایط فیزیکی بوجود آمده در آزمایش سیلاب زنی مغزه
۵۵	جدول ۷-۴- بهبود نفوذپذیری نسبی گاز در مغزه‌های کربناتی سرخون

فهرست نمادها

واحد	مفهوم	نماد
درجه	زاویه تماس	θ
dyn/cm	کشش سطحی	σ
%	تخلخل	ϕ
g/cm ³	چگالی سیال	ρ
cp	گرانروی سیال	μ
cm/s	سرعت سیال	v
cm ³ /s	دبی حجمی سیال	q
g/s	دبی جرمی سیال	m_g
cm ²	سطح مقطع محیط متخلخل	A
cm	طول محیط متخلخل	l
atm	فشار	P
cm	طول متغیر	x
-	گاز	g
-	نفت	o
-	اشباع بحرانی میعانات	S_{cc}
-	اشباع آب اولیه	S_{wi}
cm ³	گاز اولیه در جا	$OGIP$
cm ³	حجم سیال نفت	V_o
cm ³	حجم سیال گاز	V_g
cm ³	حجم سیال در حالت اشباع	V_{dew}
darcy	نفوذپذیری مطلق	K
darcy	نفوذپذیری مؤثر گاز	K_g
-	نفوذپذیری نسبی گاز	K_{rg}
-	ضریب بهبود	IF
-	فعال کننده خنثی نشده	Z
-	فعال کننده خنثی شده	NZ

فصل اول

مقدمه

یکی از مشکلات اساسی که جهان با آن روبرو است، مسئله تامین انرژی می باشد. از جمله منابع ارزان و موثر انرژی که امروزه اهمیت زیادی را به خود اختصاص داده، گاز طبیعی است. این سوخت پاکترین سوخت فسیلی محسوب می شود، منابع موجود در آن حداقل تا ۶۰ سال آینده کافی می باشد. نرخ تقاضا در جهان برای این محصول دائما در حال افزایش است.

گاز به عنوان سوخت در کشور ما جایگاه بسیار مهمی دارد. لذا تلاش برای افزایش برداشت این ماده‌ی ارزشمند از مخازن گازی و گاز میعانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تنها اتکا به توان طبیعی مخزن برای استخراج گاز کافی نیست، بنابراین راه‌های مصنوعی تحریک چاه تولید را باید مورد توجه قرار داد.

تخمین‌های کنونی گویای این مطلب است که تا سال ۲۰۰۵، ۵۰٪ منابع تولید گاز کشف شده است. بسیاری از منابع گاز طبیعی موجود، در شرایط مخازن گاز میعانی قرار دارند. در این مخازن طی عملیات برداشت با افت فشار مخزن به زیر نقطه شبنم میعانات گازی از فاز گاز خارج شده و مانع برداشت در نزدیکی چاه می‌شوند، که این پدیده باعث کاهش قابل توجه برداشت گاز می‌گردد. با عبور اشباع میعانات گازی در مخزن از اشباع بحرانی، میعانات نیز به سمت چاه برداشت به راه می‌افتند.

۱-۱ مخازن گاز میعانی

مخازن هیدروکربنی به دو گروه کلی تقسیم بندی می‌شوند، مخازن نفتی و مخازن گازی.

مخازن گاز میعانی به گونه‌ای از مخازن گازی گفته می‌شود که رفتار خاصی را بنام پدیده میعان معکوس^۱ از خود نشان می‌دهند. در نتیجه این رفتار، با کمتر شدن فشار مخزن از فشار نقطه شبنم سیال هیدروکربنی، گاز در ناحیه اطراف چاه به مایع تبدیل می‌شود. شکل ۱-۱ گویای این رفتار است. با میعان گاز، قسمتی از فضاهای خالی مخزن در نواحی اطراف چاه به وسیله فاز مایع اشغال می‌شود که در نتیجه آن، عبور گاز بسیار مشکل خواهد شد و برداشت محصول از مخزن به شدت کاهش می‌یابد. به این پدیده انسداد میعانی^۲ می‌گویند [۱].

در شکل ۱-۲ نتیجه پدیده میعان معکوس در یک مخزن گاز میعانی نمایش داده شده است، همانطور که مشاهده می‌شود با نزدیک شدن سیال هیدروکربنی به دهانه چاه برداشت، در نتیجه کاهش فشار سیال درصد اشباع میعانات گازی افزایش می‌یابد و موجب انسداد دهانه چاه و کاهش چشمگیر برداشت محصول می‌شود. یک مخزن گاز میعانی را می‌توان به سه ناحیه کلی تقسیم بندی کرد:

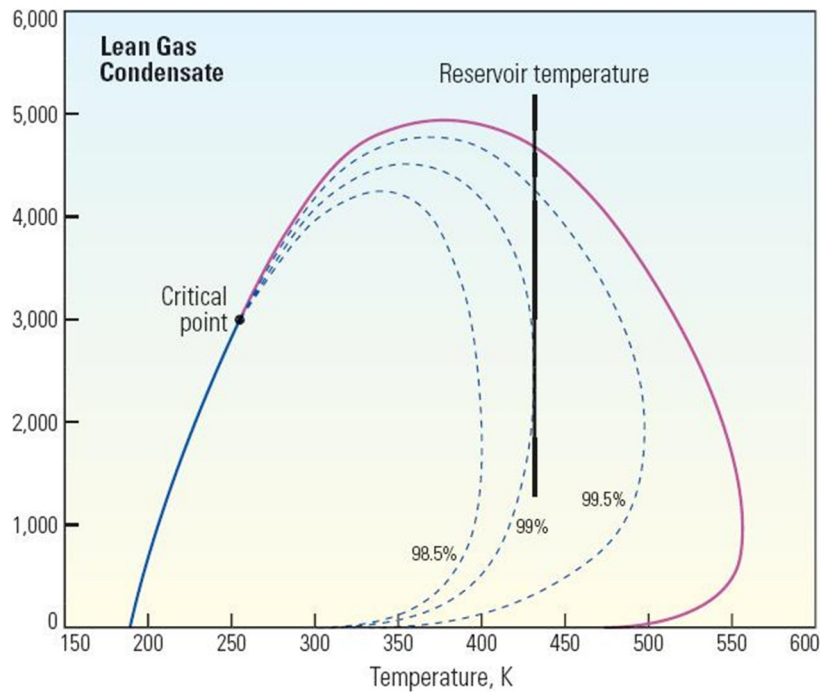
ناحیه ۱- ناحیه‌ی نزدیک چاه برداشت است که جریان پایایی از گاز و میعانات گازی وجود دارد. اشباع میعانات بالاتر یا مساوی اشباع بحرانی می‌باشد. میعانات تولیدی در این ناحیه شروع به حرکت می‌کنند و در کنار فاز گاز قرار می‌گیرند و در نتیجه اشغال فضاهای خالی و همچنین حضور فاز اضافی، مقاومت مازادی را به سیستم تحمیل می‌کنند، عبور گاز را دچار مشکل می‌کنند و تولید گاز را بسیار می‌کاهند.

ناحیه ۲- جریان شامل فاز گاز و مقدار اندکی میعانات می‌باشد. فشار مخزن کمی از فشار شبنم پایین تر است. اشباع میعانات و کشش بین سطحی گاز و میعانات کم می‌باشد، لذا شدت جریان گاز زیاد خواهد بود.

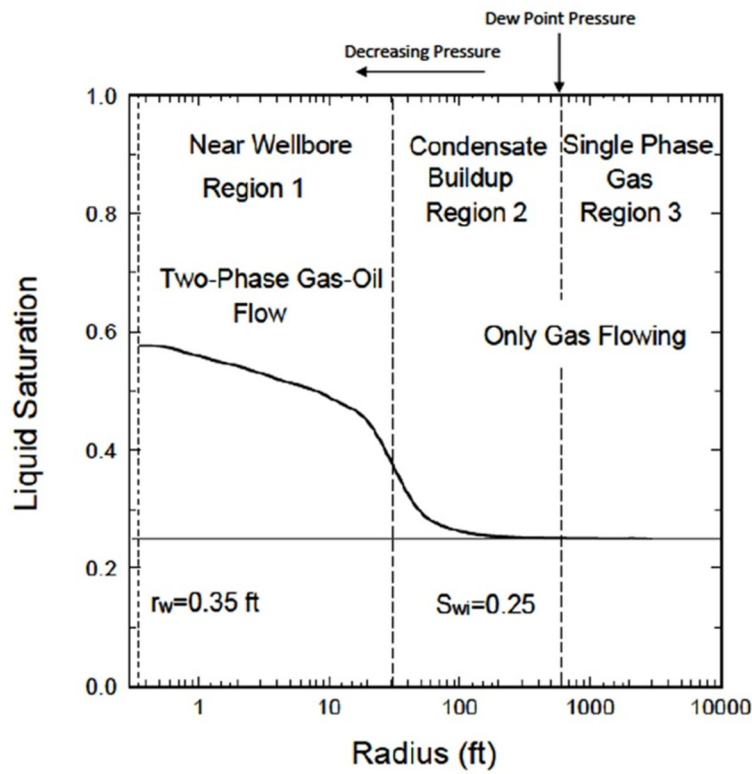
ناحیه ۳- دورترین شعاع از دهانه‌ی چاه را شامل می‌شود. گاز جریان کمی دارد. جریان تک فازی است و فشار متوسط مخزن بیشتر از فشار نقطه‌ی شبنم سیال هیدروکربنی می‌باشد [۲].

¹ Retrograde condensation

² Condensate blocking



شکل ۱-۱- منحنی دما فشار نمونه ای از سیال یک مخزن گاز میعانی [۱].



شکل ۲-۱- منحنی اشباع میعانات گازی بر حسب فاصله از چاه برداشت [۲].

انسداد میعانی باعث کاهش ۵۰٪ تا ۸۰٪ بهره وری چاه می‌شود. به عنوان مثال بهره وری میدان آرون در شمال سوماترا در اندونزی در حدود بعد از ۱۰ سال تولید به طور چشمگیری کاهش پیدا کرده است. شرکت شورون از افت تولید برای تعدادی از چاه‌های گاز میعانی دریای شمال خبر داد. از جمله منابع بزرگ گاز میعانی دیگری که کاهش قابل توجه تولید ناشی از انباشتگی میعانات را گزارش نموده‌اند میدان استوکمانوسکوی^۱ از دریای برنت روسیه، میدان کاراک گاناک^۲ از قزاقستان، میدان شمالی قطر یا همان میدان پارس جنوبی ایران و میدان کاپیگا^۳ در کلمبیا می‌باشد [۱].

۲-۱ روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن گاز میعانی

یکی از روش‌هایی که تاکنون برای فایق آمدن بر تشکیل پوسته میعانی و در صورت تشکیل برای مقابله با آن اندیشیده شده است، بازگردانی گاز خشک به مخزن است. تزریق گاز خشک به سازند برای حفظ فشار مخزن بالاتر از نقطه شبنم، به آرامی اجزای سنگین و با ارزش موجود در گاز مخزن را جابجا می‌کند تا در نهایت به صورت مخزنی از گاز سبک با فشار پایین در می‌آید. در این روش میعانات گازی از گاز تر تولید شده جدا می‌شوند و مابقی مجدداً به مخزن تزریق می‌شوند. گاز برگشتی موجب نگه داشتن فشار مخزن می‌گردد و همچنین گاز تر را به سوی چاه‌های تولید می‌راند. اما چندی از مشکلات میدانی به وجود آمده در این روش عبارت اند از، به تاخیر افتادن درآمد حاصل از گاز که ممکن است بین ۱۰ تا ۲۰ سال باشد و تحمیل هزینه‌های اضافی ناشی از چرخش گاز مانند ایجاد چاه‌های بیشتر جهت تزریق، تجهیزات فشرده سازی گاز و غیره. همچنین قیمت گاز اکنون به قدری افزایش یافته است که استراتژی تزریق مجدد گاز به مخزن کمتر به کار می‌رود، مگر اینکه مایعات حاصل بسیار ارزشمند باشند. تزریق گاز اکنون بیشتر بصورت یک فعالیت موقت تا زمان احداث خط لوله و ساخت تسهیلات انتقال گاز و یا یک فعالیت فصلی طی دوره‌های زمانی کاهش نیاز به گاز، در آمده است [۱ و ۳].

معمول‌ترین روش‌ها در کاهش اثر انسداد میعانی در مخازن سیلیسیکاتی^۴ ایجاد شکاف هیدرولیکی، و در مخازن کربناتی اسیدکاری است. هر دو روش سطح تماس موثر با سازند را افزایش، و افت فشار را کاهش می‌دهند که موجب افزایش

^۱ Shtokmanovskoye

^۲ Karachanak

^۳ Cupiagua

^۴ Siliciclastic

بهره وری خواهد شد. اگر چه شکاف هیدرولیکی مسیری برای جریان میعانات در ناحیه تولید ایجاد نمی‌کند، اما زمانی که فشار در دیواره‌ی آن به زیر نقطه‌ی شبنم برسد، اشباع میعانات در اطراف شکاف همانند اطراف دهانه چاه افزایش می‌یابد و همانند پدیده‌ای که در دهانه چاه اتفاق می‌افتد، در دیواره شکاف‌ها نیز روی می‌دهد.

حفاری چاه‌های افقی یا شیبدار نیز یکی دیگر از روش‌های افزایش سطح تماس در مخازن می‌باشد. میعانات در اطراف این گونه از چاه‌ها نیز تشکیل می‌شوند اما مدت زمان لازم برای رسیدن به این مرحله بیشتر می‌باشد. از جمله فواید حفر این گونه از چاه‌ها نرخ بیشتر تولید گاز و میعانات با افت فشاری کمتر از چاه‌های عمودی، و در نتیجه جلوگیری از ایجاد میعانات می‌باشد. اگر چه بهره‌دهی در این چاه‌ها برای مدت بیشتری در سطح باقی می‌ماند، اما باید افزایش هزینه چاه را نیز در نظر گرفت. نتایج بررسی‌های متعدد نشان داده است که این روش صرفه اقتصادی نداشته و در طولانی مدت مشکل انسداد میعانی را حل نخواهد کرد.

بعضی مواقع سعی می‌شود با بستن چاه و دادن زمان کافی به فاز مایع برای برگشتن به فاز گاز، ترکیب مجدد گاز و مایع حاصل شود. اما رفتار فازها به گونه‌ای است که هر چند تفکیک سیال به دو فاز گاز و مایع به سرعت اتفاق می‌افتد، اما پس از آن فازها تمایل به جدا ماندن دارند و عکس این فرآیند یعنی ترکیب مجدد گاز و مایع بسیار کند صورت می‌گیرد. علاوه بر آن بستن چاه منجر به کاهش تولید میدان و عدم دستیابی به برنامه‌های تولید تکلیفی و پیش بینی شده چاه و میدان می‌گردد [۱].

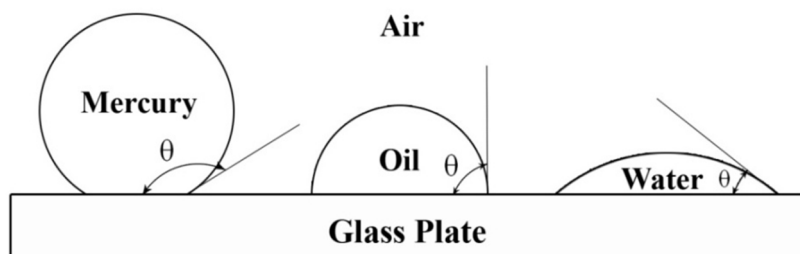
۳-۱ ترشوندگی^۱

خاصیت ترشوندگی، عبارت است از میزان تمایلی که یک سیال برای پخش شدن و چسبیدن به یک سطح جامد (در حضور سیالات غیر قابل امتزاج دیگر) از خود نشان می‌دهد. خاصیت ترشوندگی نقش موثری در کنترل مکان، جریان و میزان بازیابی نفت در عملیات سیلاب‌زنی دارد.

شکل ۳-۱، نشان می‌دهد که سه قطره از سه مایع متفاوت جیوه، نفت و آب روی یک صفحه شیشه‌ای قرار داده شده‌اند. اگر با یک دید یکسان، به نحوه پخش شدن این سه قطره توجه شود، مشاهده خواهد شد که روی این سطح شیشه‌ای،

¹ Wettability

قطره جیوه به صورت کره، قطره نفت به صورت نیم کره و قطره آب تقریباً به صورت کامل پخش شده است. این امر نشان می‌دهد قابلیت ترشوندگی آب روی این سطح شیشه‌ای بیش تر می‌باشد.



شکل ۳-۱ میزان ترشوندگی قطرات جیوه، روغن و آب بر روی صفحه شیشه‌ای [۴].

همان‌طور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، با افزایش قابلیت ترشوندگی، زاویه تماس^۱ (θ) کاهش می‌یابد. هم‌چنین در حالت ترشوندگی کامل، مقدار این زاویه، صفر و در حالت ناترشوندگی^۲ کامل، مقدار این زاویه ۱۸۰ درجه خواهد بود.

نحوه توزیع سیالات موجود در خلل و فرج سنگ مخزن، تابعی از ترشوندگی می‌باشد. به دلیل وجود نیروهای جاذبه، فاز تر تمایل دارد که خلل و فرج کوچک سنگ را اشغال کند و تولید آن، نیاز به صرف نیروی زیادی می‌باشد ولی، تمایل فاز ناتر به اشغال خلل و فرج بزرگ تر می‌باشد و تولید آن نیز آسان تر است [۴].

۴-۱ فعال‌کننده‌های سطح فلوئوری^۳

فعال‌کننده‌ها به ترکیباتی گفته می‌شود که حتی در غلظت‌های کم، کشش سطحی سطح زیرین خود را کاهش می‌دهند. مشخصه اصلی آن‌ها، بازدهی بالا در کاهش کشش سطحی می‌باشد. فعال‌کننده‌ها از یک قسمت آب‌دوست^۴ و از یک

¹ Contact angle

² Unwettability

³ Fluorinated Surfactant

⁴ Hydrophilic

قسمت آب‌گریز^۱ تشکیل شده‌اند. قسمت آب‌گریز معمولاً از یک گروه هیدروکربنی تشکیل شده است، اما فعال‌کننده‌ها حاوی اکسیژن، نیتروژن، سولفور، سیلیکون و هالوژن‌ها نیز می‌توانند باشند.

در فعال‌کننده‌های فلئوئوری، قسمت آب‌گریز مولکول حاوی فلئوئور می‌باشد. حداقل یکی از اتم‌های هیدروژن دم آب‌گریز، جایگزین فلئوئور شده است. تعداد اتم‌های فلئوئور و مکان آن‌ها در دم آب‌گریز، تعیین‌کننده ویژگی فعال‌کننده است. بنابراین این ترکیبات می‌توانند به دو دسته فعال‌کننده‌های فلئوئوری^۲ و فعال‌کننده‌های فلئوئوری جزئی^۳، تقسیم شوند. در فعال‌کننده‌های فلئوئوری تمامی اتم‌های هیدروژن موجود در دم آب‌گریز با اتم‌های فلئوئور جایگزین می‌شوند اما، در فعال‌کننده‌های فلئوئوری جزئی دم آب‌گریز مولکول حاوی اتم‌های هیدروژن و فلئوئور می‌باشد. مکان و تعداد اتم‌های فلئوئور در قسمت آب‌گریز فعال‌کننده‌های فلئوئوری جزئی، مهم می‌باشد.

دم آب‌گریز فعال‌کننده‌های فلئوئوری هم آب و هم نفت را می‌تواند به خوبی دفع کند. بنابراین در هنگام جذب این ترکیبات بر روی سطوح زیرین مانند پارچه یا کاغذ، خاصیت دفع‌کنندگی آب و نفت را از خود نشان می‌دهند. فعال‌کننده‌های فلئوئوری بسیار بیشتر از فعال‌کننده‌های هیدروکربنی مشابه خود، سطح را فعال می‌کنند. این ترکیبات خاصیت فعال‌سازی سطوح را در سیستم‌های آلی از خود نشان می‌دهند و در مقابل حرارت، اسیدها و بازها مقاوم می‌باشند. تنها ایراد آن‌ها قیمت بالایشان نسبت به انواع هیدروکربنی مشابه خود می‌باشد که در مقابل غلظت‌های ناچیز مورد استفاده از آن‌ها قابل چشم‌پوشی است.

همانند تمامی فعال‌کننده‌های سطح، فعال‌کننده‌های سطح فلئوئوری را می‌توان به دو دسته کلی یونی و غیر یونی تقسیم کرد. دم آب‌گریز فعال‌کننده‌های یونی می‌تواند حاوی یون‌های مثبت یا منفی باشد. فعال‌کننده‌های فلئوئوری می‌توانند به چهار گروه تقسیم بندی شوند:

فعال‌کننده‌های آنیونی: دم آب‌گریز آن‌ها یک آنیون است مانند، $R_f\text{COO}^-\text{Na}^+$ که R_f یک گروه آب‌دوست فلئوئوری می‌باشد.

فعال‌کننده‌های کاتیونی: دم آب‌گریز آن‌ها یک کاتیون است مانند، $\text{C}_7\text{F}_{15}\text{CONH}(\text{CH}_2)_3\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{I}$

فعال‌کننده‌های آمفوتری^۴: دارای حداقل یک گروه آنیونی و یک گروه کاتیونی در نقاط هم‌توان^۵ خود می‌باشند.

¹ Hydrophobic

² Perfluorinated surfactants

³ Partially fluorinated surfactants

⁴ Amphoteric surfactants

⁵ Isoelectric points