

## بررسی آزمایشگاهی تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن بر اثر آلودگی سیالات حفاری

محمد مصطفی مغفرتی<sup>۱</sup>، مهین شفیعی<sup>۲</sup>

بخش مهندسی شیمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

انجمن پژوهشگران جوان دانشگاه شهید باهنر کرمان

maghferaty@yahoo.com

### چکیده

با توجه به اهمیت ترشوندگی در بهره برداری از مخازن در این تحقیق تاثیر آلودگی گل حفاری استفاده شده در مخزنی از نواحی مرکزی ایران که در حال تولید و همچنین حفاری است با استفاده از آزمایش اندازه گیری زاویه تماس مورد بررسی قرار گرفت. این اولین بار است که این آزمایش برای مخزن مورد مطالعه و گل حفاری استفاده شده در آن به طور خاص انجام میشود. از کانی کلسیت به عنوان نماینده ای از سنگ مخزن استفاده شد. آزمایش طوری طراحی شده است که نزدیک به شرایط مخزن مورد مطالعه باشد. برای شبیه سازی شرایط مخزن بعد از آلودگی با سیال حفاری نمونه را در سیلندر حاوی گل حفاری قرار دادیم و جهت شبیه سازی هر چه بیشتر شرایط مخزن آزمایشها در دمای ۱۱۰ سانتی گراد تکرار شدند. برای به دست آوردن زاویه تماس از آب شور موجود در مخزن در مقایسه با آب دریا استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با توجه به اینکه مخزن کربناته و آبدوست است آلودگی گل حفاری باعث میشود تا مخزن به سمت حالت نفت دوست پیش برود که این امر به مرور زمان آسیب سازند و کاهش تولید نفت را در پی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ترشوندگی، سیال حفاری، زاویه تماس، آسیب سازند

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مخازن دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- عضو هیئت علمی بخش مهندسی شیمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- پژوهشگر انرژزی و مهندسی محیط زیست، دانشگاه شهید باهنر کرمان

## ۱- مقدمه

۱-۱- آسیب سازند<sup>۱</sup>

آسیب سازند را می توان به عنوان هر مانعی که در تولید چاه اختلال ایجاد کند، تعریف نمود. آسیب به سازند یکی از مهمترین عوامل در انتخاب گل حفاری می باشد. یک چاه ممکن است با صرف وقت و هزینه های فراوان حفر شود، اما به علت طراحی نامناسب ترکیب گل مخزن آسیب ببیند و در هنگام بهره برداری از بازدهی آن کاسته شود. یکی از مهمترین عوامل آسیب سازند که بر اثر نفوذ گل حفاری به مخزن حادث میگردد تغییر ترشوندگی<sup>۲</sup> سنگ مخزن است. [۱]

## ۱-۲- تر شوندگی

در محیط های متخلخل و در حضور دو یا چند سیال سه خاصیت مهم وجود دارد: - تر شوندگی - فشار موئینه - نفوذ پذیری نسبی. بنابراین قابلیت تر شوندگی جزو خواص سنگ مخزن است. قابلیت تر شوندگی عبارتست از تمایل نسبی یک سطح جامد برای تر شدن در حضور دو سیال امتزاج ناپذیر<sup>۳</sup>. در سیستم های بیش از یک سیال دو حالت امتزاج پذیر<sup>۴</sup> و امتزاج ناپذیر وجود دارد که اگر دو یا چند سیال در شرایط معینی یک فاز تشکیل دهند نسبت به هم امتزاج پذیر هستند و اگر تحت هیچ شرایطی با یکدیگر یک فاز تشکیل ندهند نسبت به هم امتزاج ناپذیر خواهند بود. فاز تر<sup>۵</sup> بالای سطح جامد پهن میشود و تمام منافذ کوچک فضای متخلخل را پر میکند و به سختی قابل حرکت دادن است. اما فاز غیر تر<sup>۶</sup> براحتی از فضای متخلخل تخلیه میگردد و منافذ بزرگتر را پر میکند و به راحتی قابل حرکت دادن است. [۲]

۱-۳- زاویه تماس<sup>۷</sup>

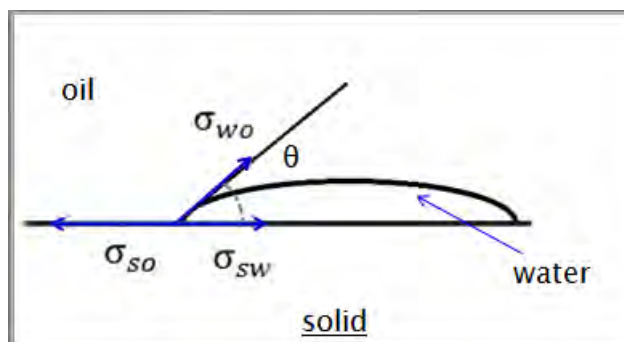
طبق قرارداد در فاز سنگین تر در نظر گرفته میشود. به عنوان مثال برای  $\theta$  کوچکتر از  $30^\circ$  درجه در سیستم آب-نفت قویا آب تر خواهد بود. برای  $\theta$  بین  $30^\circ$  تا  $90^\circ$  درجه ترجیحا آب تر خواهد بود و در هر دو حالت آب فاز تر می باشد. برای  $\theta$  بین  $90^\circ$  تا  $150^\circ$  درجه نفت فاز تر میشود و سطح ترجیحا نفت تر است. در انتها برای  $\theta$  بین  $150^\circ$  تا  $180^\circ$  درجه سطح قویا نفت تر است. [۳]

۱-۴- معادله یانگ<sup>۸</sup>

سطح جامدی را در حضور دو فاز آب و نفت در نظر بگیرید. اگر نیروهای کشش را بین فازها و سطح جامد در نظر بگیریم با توجه به شکل (۱) خواهیم داشت:

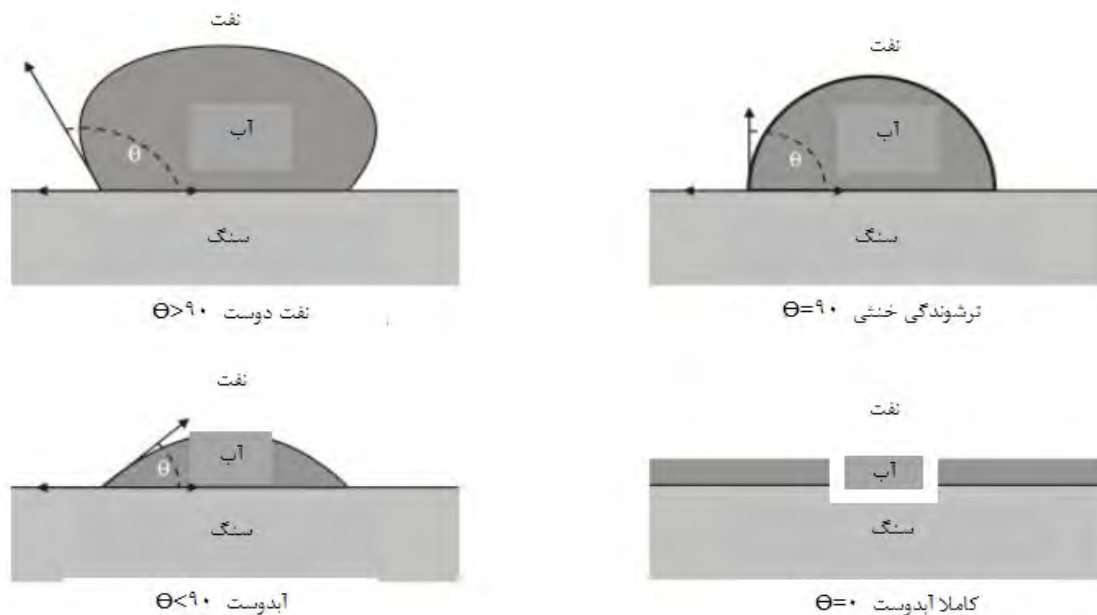
(۱)

$$\cos \theta_{wo} = \frac{\sigma_{so} - \sigma_{sw}}{\sigma_{wo}}$$



شکل (۱) سطح جامد در حضور آب و نفت

کشش سطحی با علامت  $\sigma$  مشخص میشود و  $W$  ،  $S$  ،  $O$  و به ترتیب نمایانگر نفت سطح جامد و آب هستند.



شکل (۲) زاویه های تماس در شرایط متفاوت ترشوندگی

شکل (۲) انواع مختلف زاویه تماس و ترشوندگی های متفاوت را نشان میدهد. [۴]

### ۱-۵- روشهای اندازه گیری ترشوندگی

برای اندازه گیری روشهای متفاوتی وجود دارد که بسته به نوع دقتی که مد نظر است مورد استفاده قرار میگیرند. مهمترین روشهای اندازه گیری ترشوندگی عبارتند از: روش زاویه تماس، روش آموت و روش USBM<sup>۱</sup>. در این تحقیق از روش زاویه تماس استفاده شده است.

### ۲- شرایط ویژه تحقیق

در این تحقیق که به سفارش شرکت نفت مناطق مرکزی ایران انجام شده است مقرر شده بود که تاثیر گل حفاری استفاده شده در مخزنی واقع در جنوب غربی ایران (به علت حفظ اطلاعات آن را مخزن ب می نامیم) را بر ترشوندگی مخزن بررسی کنیم.

### ۳- روش تحقیق

در این تحقیق از روش زاویه تماس استفاده شد. شکل (۳) دستگاه استفاده شده در تحقیق را نشان میدهد. شرایط دمایی در دو حالت دمای محیط و ۱۱۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد.

### ۳-۱- آماده سازی نمونه ها

با توجه به اینکه جنس مخزن کربناته است از کانی کلسیت به عنوان نماینده ای از سنگ مخزن استفاده شد. نمونه هایی از کانی کلسیت با اندازه ۰/۵×۲×۲ سانتی متر تهیه گردید که با توجه به اینکه زبری سطح کانی روی اندازه گیری زاویه تماس اثر زیادی میگذارد، به خوبی صیقل داده شد.



شکل (۳) طریقه نصب اجزا دستگاه استفاده شده در تحقیق

### ۳-۲- مواد مورد استفاده

همانطور که پیشتر گفته شد هدف از این تحقیق بررسی تاثیر گل حفاری مورد استفاده در مخزن ب بر سنگ آن مخزن بود به همین جهت از گل حفاری پایه روغنی جهت آلوده کردن کانی ها استفاده شد. برای به دست آوردن زاویه تماس نیز از آب دریا و آب شور<sup>۱۱</sup> موجود در مخزن ب استفاده شد. همچنین از نفت خام موجود در مخزن ب نیز جهت آزمایشات تکمیلی استفاده گردید.

### ۳-۳- نحوه انجام آزمایش

برای بررسی اثر گل حفاری لازم است زاویه تماس نمونه ها را در دو حالت قبل از آلودگی با گل و پس از آن به دست آورد. به این منظور زاویه تماس نمونه ها را در ۴ حالت اندازه گیری میکنیم. جدول (۱) حالت های متفاوت نمونه ها را نشان میدهد.

حالت	نمونه	دمای آزمایش	آلودگی نمونه
۱	کانی کلسیت	۲۵ درجه سانتی گراد	فاقد آلودگی
۲	کانی کلسیت	۱۱۰ درجه سانتی گراد	فاقد آلودگی
۳	کانی کلسیت	۲۵ درجه سانتی گراد	آلودگی با گل حفاری
۴	کانی کلسیت	۱۱۰ درجه سانتی گراد	آلودگی با گل حفاری

جدول (۱) حالت های مختلف نمونه ها جهت آزمایش

### ۳-۴- مرحله اول آزمایشها

در این مرحله ابتدا نمونه ها را با حلال و سپس آب بدون یون شستشو دادیم. سپس یکی از کانی ها را در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت زمان دادیم و نمونه دیگر را در دمای محیط برای انجام آزمایش آماده کردیم. با استفاده از دستگاهی که در شکل (۳) نمایش داده شد یک بار قطره آب دریا و بار دوم از آب شور مخزن برای اندازه گیری زاویه تماس استفاده کردیم. در شکل (۴) عکسی را که دوربین از قطره گرفته است به عنوان نمونه میبینید.

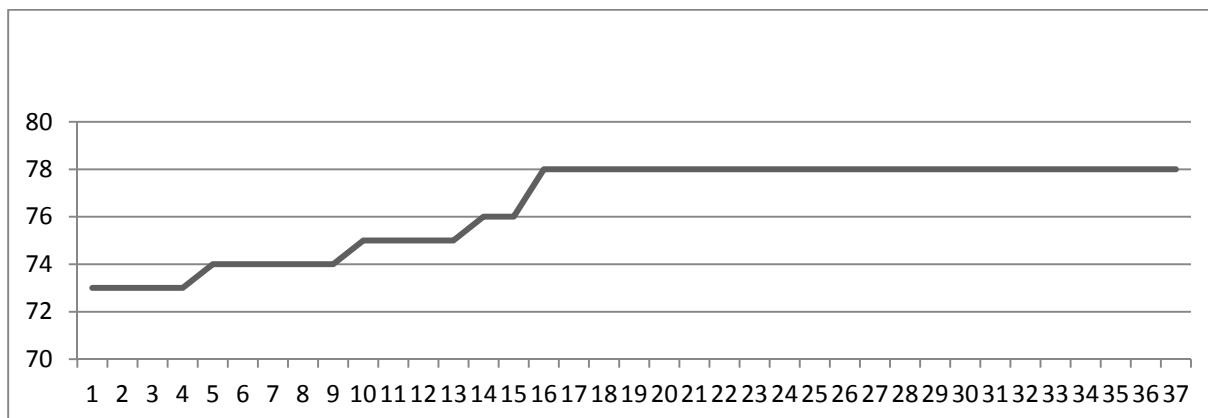


شکل (۴) قطره آب دریا در مجاورت کانی کلسیت

با استفاده از نرم افزار اتوکد زاویه تماس قطره را اندازه گیری کردیم. آزمایش را برای نمونه ای که به دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد رسید نیز تکرار کردیم.

### ۳-۵- مرحله دوم آزمایشها

در این مرحله باید ابتدا نمونه ها را در گل حفاری زمان میدادیم. برای به دست آوردن تاثیر زمان ماندگاری نمونه ها در گل حفاری در زمان های مختلف آزمایش را بر روی یک نمونه انجام دادیم که نتیجه حاصله را در شکل (۵) می بینید. محور عمودی نتیجه آزمایش زاویه تماس را نشان میدهد و محور افقی مقدار زمان ماندگاری نمونه در گل حفاری را بر حسب ساعت نشان میدهد. به این ترتیب نتایج حاصله از شکل (۵) بیان میکند که ماندگاری نمونه ها در گل حفاری باید ۴۸ ساعت باشد.



شکل (۵) نتایج زاویه تماس بر حسب زمان ماندگاری نمونه در گل حفاری

به این ترتیب نمونه ها را به مدت ۴۸ ساعت در سیلندر حاوی گل حفاری معلق کردیم و یکی از آنها را نیز در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد قرار دادیم پس آن نمونه ها را مانند آزمایش اول شستشو داده و آزمایش را تکرار کردیم.

#### ۴- ارائه یافته ها و بحث

برای بالا بردن دقت آزمایشات انجام شده آزمایشها را ۳ بار تکرار کردیم. جدول (۲) نتایج آزمایشات مرحله اول را ارائه می دهد.

حالت	نمونه	جنس قطره	دما آزمایش (°C)	زاویه تماس
۱	کانی کلسیت	آب شور مخزن	۲۵	۳۴
۲	کانی کلسیت	آب شور مخزن	۱۱۰	۳۵
۳	کانی کلسیت	آب دریا	۲۵	۳۳
۴	کانی کلسیت	آب دریا	۱۱۰	۳۵

جدول (۲) نتایج آزمایشها قبل از آلودگی با سیال حفاری

جدول (۳) نتایج آزمایشاتی را نشان میدهد که نمونه ها را با گل حفاری آلوده کرده ایم.

حالت	نمونه	جنس قطره	دما آزمایش (°C)	زاویه تماس
۵	کانی کلسیت	آب شور مخزن	۲۵	۷۰
۶	کانی کلسیت	آب شور مخزن	۱۱۰	۷۱
۷	کانی کلسیت	آب دریا	۲۵	۷۷
۸	کانی کلسیت	آب دریا	۱۱۰	۷۸

جدول (۳) نتایج آزمایشها پس از آلودگی با سیال حفاری

به این ترتیب مشاهده میشود که نمونه های آلوده به گل حفاری پایه روغنی استفاده شده در مخزن باعث میگردند زاویه تماس بزرگتر شود در نتیجه تر شوندگی را از حالت آبدوست به سمت حالت نفت دوست تغییر میدهد که این موضوع میتواند نفوذ پذیری نسبی نفت را کاهش داده و به مرور باعث کاهش تولید نفت در مخزن مورد نظر ما گردد.

## ۵- نتیجه گیری

- ۱- در بحث آسیب به سازند تر شونده فاکتور مهم و تعیین کننده ای است.
- ۲- تغییر ترشوندگی از آبدوست به نفت دوست باعث کاهش نفوذ پذیری نسبی نفت شده که این امر کاهش تولید نفت را در پی خواهد داشت.
- ۳- بالا بردن دما که باعث میشود شبیه سازی شرایط داخل مخزن بهتر شود تنها حدود ۱ درجه زاویه تماس را تغییر میدهد که قابل اغماض است.
- ۴- برای اینکه گل حفاری بر ترشوندگی سنگ مخزن تاثیر بگذارد باید حداقل ۴۸ ساعت در مجاورت نمونه قرار بگیرد.
- ۵- آب شور موجود در مخزن نسبت به آب دریا زاویه تماس کمتری را نشان میدهد.
- ۶- آلودگی مخزن ب با گل حفاری پایه روغنی استفاده شده در این مخزن باعث تغییر ترشوندگی آن از حالت آبدوست به نفت دوست میگردد که این خود آسیب سازند و نیز کاهش تولید نفت را در پی خواهد داشت.

## ۶- واژه ها

1. reservoir damage
2. wettability
3. immiscible
4. miscible
5. wetting phase
6. non wetting phase
7. contact angle
8. Young's equation
9. Amott
10. U.S. Bureau of Mines
11. brine

## تشکر و قدردانی

لازمست از همکاری صمیمانه بخش تحقیقات شرکت نفت مناطق مرکزی ایران و پژوهشکده ازدیاد برداشت از مخازن نفت و گاز کمال تشکر را داشته باشیم

## مراجع

- [۱] رنجبر م. «انتخاب ترکیب بهینه گلهای حفاری پایه آبی جهت کاهش آسیب شیمیایی به مخزن» کنفرانس مهندسی معدن ایران (۱۳۸۳)
- [۲] Glover, P., "Formation Evaluation MSc Course Notes" (2002)76-83
- [۳] Menezes, J.L., Yan, J., Sharma, M.M, "The mechanism of wettability alteration due to surfactants in oil-based muds", SPE 18460 (1989)
- [۴] Yan, J., Menezes, J.L., Sharma, M.M, "Wettability alteration caused by oil-based muds and mud components", SPE 18162 (1992)