

بررسی آزمایشگاهی تاثیر نانو اکسید روی بر پایداری سازی سازندهای شیلی

حمید پورخلیل^۱، علی نخعی^۱، علیرضا نصیری^{۲*} و مجید ولی زاده^۲

۱- انستیتو مهندسی نفت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- واحد پژوهش حفاری پژوهشکده اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۸

چکیده

مشکل ناپایداری شیل یکی از مسائل چالش برانگیز در صنعت حفاری است. وقوع ناپایداری در این نوع سازندها یک مسئله وابسته به زمان، به دلیل نفوذ تدریجی آب به داخل شیل، است. به دلیل تراوایی فوق العاده پایین شیل (۱۰-۱۲ تا ۱۰-۶ داری) و همچنین بزرگتر بودن ذرات جامد موجود در سیال حفاری از گلوگاه فضای منفذی شیل (۳ تا ۱۰۰ nm)، تشکیل یک حفاری برای جلوگیری از نفوذ آب به شیل ممکن نیست، در نتیجه مواد فیلترشده سیال حفاری پیوسته به سازند وارد می شوند. این امر به مرور باعث افزایش فشار منفذی و همچنین تضعیف خواص مکانیکی سنگ و ریزش دیواره چاه می شود. یکی از روش های جلوگیری از نفوذ آب مسدود کردن حفرات شیل با استفاده از نانوذرات است. در این پژوهش از نانوذرات اکسید روی استفاده شده که علاوه بر اندازه مناسب، خواص سطحی مناسبی نیز دارند. با طراحی آزمایش انتقال فشار (PPT)، تاثیر استفاده از نانوذرات بر کاهش نفوذ آب به نمونه شیلی بررسی شده است. این آزمایش به خوبی افزایش فشار منفذی سازند (در اثر انتقال فشار سیال حفاری به داخل نمونه) را در حالت های مختلف نشان داده است. از نتایج می توان برای مقایسه کاربرد افزایش های مختلف به منظور کاهش نفوذ سیال به داخل نمونه استفاده کرد. اندازه و خواص سطحی مناسب نانوذرات استفاده شده باعث کاهش موثر تراوایی شیل و در نتیجه کاهش نفوذ آب می شوند. با استفاده از غلظت های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵٪ از نانوسیال اکسید روی، به ترتیب کاهش نفوذ فشار منفذی ۶۰، ۸۷ و ۹۶٪ در مقایسه با آب دریا به دست آمده است.

کلمات کلیدی: تورم شیل، کاهش تراوایی، نانوذرات، نانو اکسید روی، فشار منفذی، پایداری چاه.

مقدمه

مربوطانند. مشکلات مربوط به سازندهای شیلی سالانه باعث صرف هزینه ای در حدود یک میلیارد دلار در صنعت نفت و گاز می شوند (۱ و ۲).

همچنین تخمین زده می شود که ۵ تا ۱۰٪ از هزینه کل عملیات حفاری ناشی از مشکلات ناپایداری دیواره چاه است. گیر کردن لوله ها، تمیزکاری ضعیف چاه، بسته شدن چاه، مشکلات حرکت رشته حفاری،

شیل یکی از چالش برانگیزترین سازندها برای حفاری است. طبق گفته مانوهر، بیش از ۷۵٪ سازندهای حفاری شده شیلی هستند و ۷۰٪ مشکلات عملیاتی حفاری به مشکلات ناپایداری شیلها

نفوذ مواد فیلترشده به داخل شیل ادامه می‌یابد و باعث ناپایداری سازند می‌شود.

با توجه به مطالب گفته‌شده و اندازه نانومتري گلوگاه منفذی شیل، در این پژوهش با استفاده از نانوذرات روشی موثر برای کاهش تراوایی و مسدود کردن فضای منفذی شیل برای جلوگیری از نفوذ آب طراحی شده است. در سال‌های قبل پژوهشگرانی مانند لی، تانر سنسوی و مگان رایلی، بر مبنای اندازه نانوذرات، از این روش برای جلوگیری از ناپایداری شیل استفاده کردند. تانر سنسوی تاثیر اضافه کردن نانوذرات به سیال پایه‌آبی و اثر آن در کاهش نفوذ سیال به شیل‌های سخت و نرم را نشان داد. او تاثیر چهار نوع گل بر شیل‌های آتوکا^۵ و خلیج مکزیک^۶ را در دو حالت حضور نانوذرات در گل و عدم حضور آنها بررسی و مشاهده کرد که بعد از استفاده از نانوذرات نفوذ سیال به داخل شیل بسیار کاهش یافت (در شیل آتوکا، کاهش نفوذ از ۱۶ به ۷۲٪ و در شیل خلیج مکزیک از ۱۷ به ۲۷٪). سنسوی در آزمایش‌هایش از غلظت بالای نانوسیلیس برای مسدود کردن حفرات شیل استفاده کرد (۵-۲۹٪)، ولی با توجه به اقتصادی و عملی نبودن این مقدار، مگان رایلی از غلظت ۳٪ استفاده کرده است. او دو نوع شیل مختلف بدون درزه و شکاف و دارای شکاف را بررسی کرد که نتایج آن قابل قبول بوده‌اند. لی نیز در آزمایش‌هایش از غلظت ۳٪ نانوذرات در سیال در سازندهایی با شکاف‌های ریز استفاده کرد و نتیجه گرفت که استفاده از نانوذرات در سیال حفاری باعث افزایش ضریب مقاومت برشی می‌شود که بیانگر آن است که یک مترکم‌تر است و در مقابل خوردگی بهتر مقاومت می‌کند و در نتیجه پایداری چاه بهتر حفظ می‌شود [۵-۷].

شرایط چاه‌نگاری ضعیف، از دست رفتن حجم فراوان سیمان و گل حفاری، کیفیت پایین عملیات سیمان کاری به دلیل شکل نامنظم چاه و از دست رفتن تجهیزات درون چاه برخی از مشکلات مرتبط با شیل هستند. یکی از مهم‌ترین علل بروز مشکل ناپایداری در شیل مسئله نفوذ آب و تاثیرات منفی آن بر پایداری شیل است. از عوامل وابسته به نفوذ آب می‌توان به افزایش فشار منفذی و در نتیجه کاهش تنش حمایتی سیال حفاری، کاهش مقاومت شیل و همچنین تورم آن اشاره کرد. بنابراین حیاتی‌ترین عامل در کنترل پایداری شیل جلوگیری و یا کاهش نفوذ آب به داخل شیل است.

یکی از روش‌های جلوگیری از نفوذ آب و بروز ناپایداری استفاده از سیال امولسیون معکوس^۱ است، در نتیجه تنش بین‌سطحی^۲ بین سیال منفذی شیل و سیال مذکور و همچنین فوق‌العاده کوچک بودن گلوگاه فضای منفذی^۳ شیل (۳ تا ۱۰۰ nm) و فشار موینگی^۴ بسیار بالا مانع از نفوذ سیال به داخل سازند می‌شوند. علاوه بر این با کنترل اکتیویته، سیال امولسیون معکوس تا حد زیادی از نفوذ آب جلوگیری می‌کند [۳]، اما مشکلات زیست‌محیطی و هزینه بالای ساخت این سیال محققان را بر آن داشت تا خصوصیات سیال پایه‌آبی را ارتقا دهند تا بتوان از مشکلات ناپایداری به وجود آمده از تماس سیال پایه‌آبی و سازند شیلی جلوگیری کرد.

یکی از خواص ارتقایافته در سیال پایه‌آبی استفاده از موادی است که بتوانند تراوایی شیل را کاهش دهند و از نفوذ سیال جلوگیری کنند. این مواد برای مسدود کردن فضای نفوذ فیلترات حفاری باید اندازه‌های متناسب با اندازه گلوگاه منفذی شیل داشته باشند [۴]. با مقایسه اندازه‌های مواد جامد موجود در سیال حفاری (۱/۱-۱۰۰ μ) و گلوگاه منفذی شیل (۳-۱۰۰ nm) مشخص می‌شود که مواد به کاررفته در سیال حفاری نمی‌توانند حفرات و منافذ موجود در شیل را مسدود کنند، در نتیجه

1. Invert Emulsion Mud
2. Inter Facial Tension
3. Pore Throat
4. Capillary Pressure
5. Atoka Shale
6. Gulf of Mexico

افقی در مرکز دستگاه قرار گرفته و چهار استوانه در اطراف آن تعبیه شده‌اند که یکی از آنها حاوی روغن است که با اعمال فشار روی آن می‌تواند نقش فشار محصورکننده^۲ را ایفا کند. دیگر استوانه‌ها هم برای استفاده از سیالات بالادستی (سیال حفاری) و پایین‌دستی (سیال منفذی) فراهم شده‌اند. فشار لازم سیال در دو سمت نمونه را فشار هوای بالای استوانه، به کمک رگلاتور، تامین می‌کند.

خصوصیت نمونه مطالعه‌شده

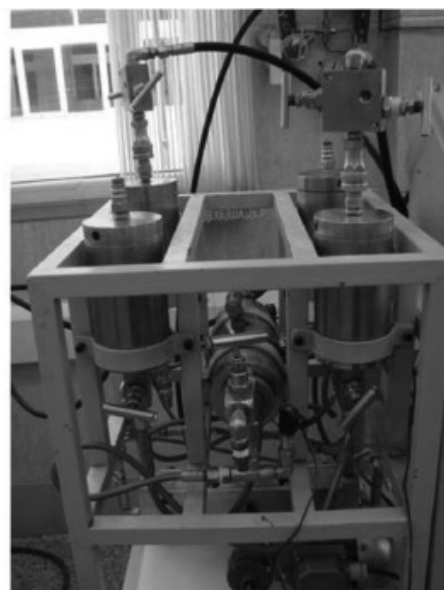
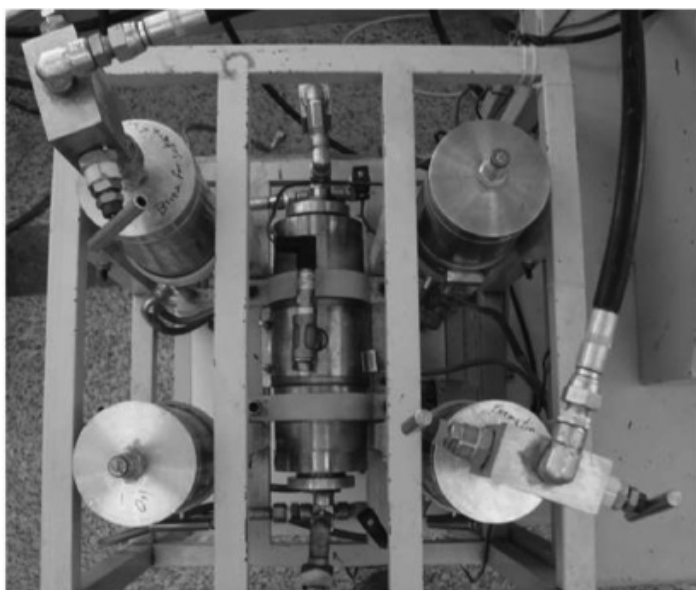
نمونه مطالعه‌شده در این پروژه، شیل پابده است. شیل پابده یکی از شیل‌های مشکل‌زا در صنعت حفاری است که در صورت مواجهه با سیال پایه‌آبی دچار ناپایداری و ریزش می‌شود. با کمک آزمایش XRD^۳، کانی‌های نمونه بدین ترتیب شناسایی شدند: عمدتاً کانی کلسیت (50%) کوارتز، رس و مقدار جزئی پیریت و دولومیت (>math>5\%</math>). نمونه موردنظر به‌صورت مغزه است و از گمانه‌های مربوط به سازند پابده در استان خوزستان تهیه شده است. وضعیت نمونه شیلی پس از قرار گرفتن در معرض آب با گذشت زمان بررسی شد.

علی‌رغم حصول نتیجه مناسب در این پژوهش‌ها، می‌توان امیدوار بود با تغییر دید صرفاً ابعادی به دید جامع به نانوذرات، غلظت لازم آنها کاهش یابد و استفاده از این فناوری اقتصادی‌تر شود. بنابراین در این پژوهش از خواص فیزیکی و سطحی نانوذرات هم‌زمان استفاده شده است تا علاوه بر افزایش کارایی نانوذرات غلظت مصرفی آنها کاهش یابد.

روش کار

آزمایش انتقال فشار منفذی (PPT)

فشار منفذی سازند تابعی از فشار ته‌چاهی سیال حفاری است؛ یعنی با نفوذ فشار از سازند به فضای منفذی، فشار سازند افزایش می‌یابد. اساس و مبنای آزمایش انتقال فشار منفذی بررسی انتقال فشار از سیال حفاری به سیال منفذی سازند است. در این آزمایش عمل‌کرد سیال‌های مختلف حفاری در سازند، از جمله نمونه‌های شیلی، بررسی می‌شود. آزمایش مذکور را می‌توان با دستگاه انتقال فشار منفذی انجام داد. (شکل ۱) اجزای دستگاه را از نزدیک نشان می‌دهد. محفظه نگه‌دارنده مغزه^۱ به‌صورت



شکل ۱ محفظه نگه‌دارنده مغزه و محفظه سیال‌های آزمایش در دستگاه انتقال منفذی.

1. Core Holder
2. Confined Pressure
3. X Ray Diffraction

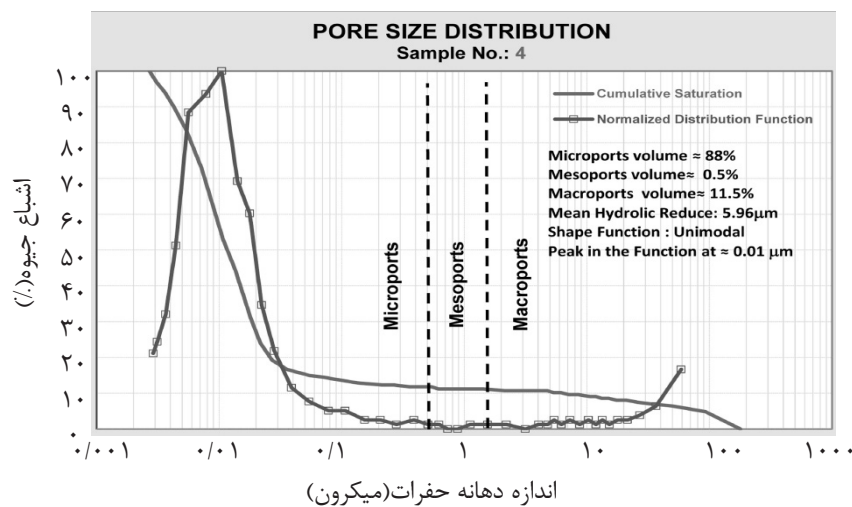
حاضر در شیل است و هر چه بیشتر باشد حضور بیشتر رس، مخصوصاً مونتوریونیت، در نمونه نشان می‌دهد که باعث تاثیر شدید بر خصوصیات شیل و ناپایداری آن می‌شود. در جدول ۱ ظرفیت تبادل کاتیونی کانی‌های رسی مختلف آورده شده است.

نحوه آماده‌سازی نمونه شیلی

برای انجام آزمایش‌ها و استفاده از دستگاه انتقال فشار منفذی (PPT)^۲ ابتدا باید قرص شیلی با قطر ۳۶/۷ cm و ضخامت ۰/۵ تا ۱ cm را در راستای لایه‌بندی تهیه کرد. برای این کار ابتدا صفحاتی با ضخامت مشخص شده عمود بر لایه‌بندی نمونه از مغزه برش می‌خورند و با روشی خاص قرص‌های شیلی از آنها تهیه می‌شوند. مراحل تهیه یک قرص شیلی را نشان می‌دهند.

با مشاهده رفتار نمونه ناپایداری و ریزش آن در تماس با آب کاملاً مشاهده گردید. خصوصیت مهم اندازه‌گیری شده شیل در این آزمایش اندازه گلوگاه منفذی نمونه است که با استفاده از آزمایش تزریق جیوه حدود ۱۹ nm به دست آمد (شکل ۲).

از دیگر خصوصیات مهم شیل که در ناپایداری آن نقشی مهم ایفا می‌کند ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)^۱ است که یکی از خواص بسیار مهم شیل محسوب می‌شود و تابع نوع و مقدار کانی‌های رسی موجود در سنگ‌های شیلی است. مقدار بالاتر این مشخصه در کانی‌های رسی نشان‌دهنده فعال‌تر بودن شان و در نتیجه جذب بیش‌تر آب در آنهاست. این مقدار، با توجه به استاندارد [۸] با آزمایش متیلن‌بلو، حدود ۱۱/۵ meq / ۱۰۰ g به دست آمده است. این مقدار ناشی از رس



شکل ۲ نمودار توزیع اندازه فضای منفذی.

جدول ۱ ظرفیت تبادل کاتیونی کانی‌های رسی.

ظرفیت تبادل یونی (Meq/100g)	کانی رسی
۸۰-۱۵۰	اسمکتیت (مونتوریونیت)
۱۰-۴۰	کلریت
۱۰-۴۰	ایلیت
۳-۱۵	کائولینیت

1. Cation Exchange Capacity

2. Pore Pressure Transmission

و ΔP_{i2} ، اختلاف فشار هیدرولیکی نهایی در آزمایش دوم است. با فرمول زیر مقدار کاهش نفوذ سیال در دو حالت گفته شده مشخص می‌شود:

$$\frac{\frac{\Delta P_{i1} - \Delta P_{f1}}{\Delta P_{i1}} - \frac{\Delta P_{i2} - \Delta P_{f2}}{\Delta P_{i2}}}{\frac{\Delta P_{i1} - \Delta P_{f1}}{\Delta P_{i1}}} \quad (3)$$

اولین مرحله پس از قرار دادن نمونه در محفظه نگه‌دارنده مغزه اشباع آن از سیال شبیه‌سازی شده منفذی (آب دریا) بود تا تمام آزمایش‌ها در شرایط و اشباع یکسان انجام شوند. اشباع نمونه با ریختن آب دریا در محفظه تعبیه شده بالادستی و اعمال فشار بر آن و حرکت تدریجی سیال در طول نمونه به سمت قسمت پایین دستی نمونه رخ داد. پس از اشباع کامل نمونه و در حالی که در هر دو محفظه تعبیه شده در دو طرف، از آب دریا نمونه گرفته شد، نمودار افزایش فشار منفذی با گذشت زمان به دست آمد که مینا و معیاری برای آزمایش‌های دیگر بود. به سرعت و بعد از گذشت یک ساعت فشار دو سمت نمونه برابر شد (شکل ۳).

• آزمایش نانو اکسید روی

در مرحله قبل افزایش سریع فشار سیال منفذی مشاهده شد که این افزایش فشار و به تعادل رسیدن فشار دو طرف نمونه شیلی باعث ناپایداری چاه و ریزش دیواره چاه در شرایط واقعی می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد در این پژوهش با مسدود کردن گلوگاه منفذی از افزایش فشار منفذی جلوگیری شد.

باید توجه داشت که تهیه قرص شیلی از مغزه یکی از سخت‌ترین مراحل آزمایش است که با روش‌های مرسوم مغزه‌گیری با استفاده از آب و یا دیزل برای خنک کردن سرمته و تیغه مغزه‌گیری نمی‌توان آن را انجام داد، زیرا نمونه به سرعت شکاف می‌خورد و می‌شکند و در نهایت از هم می‌پاشد. به همین دلیل تمام مراحل برش و مغزه‌گیری کاملاً خشک و بدون استفاده از سیال انجام می‌شوند.

آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

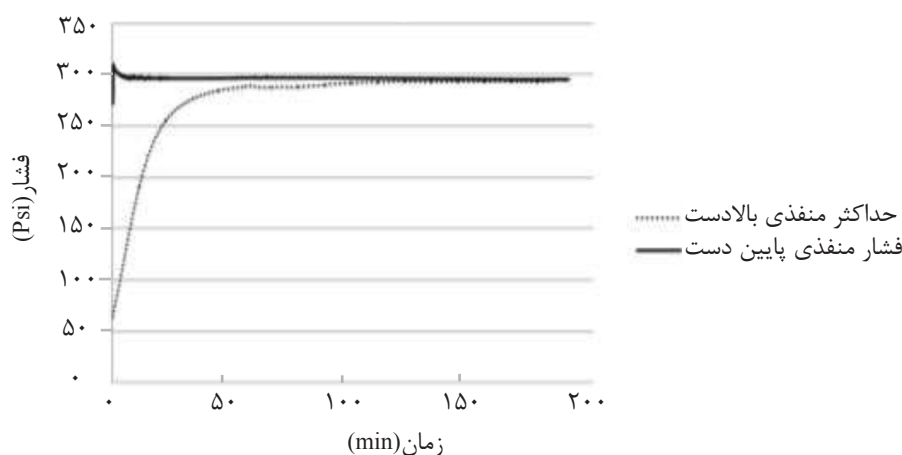
برای مقایسه نتایج و نمودارهای مختلف انتقال فشار، فشار پایین دستی نمونه روی عدد ۵۰ psi تنظیم و سپس، با اعمال فشار ثابت ۳۰۰ psi در بالادست نمونه، افزایش فشار پایین دستی به عنوان تابعی از فشار بالادستی ثبت می‌شود. بدین ترتیب ساده‌ترین راه بررسی و تحلیل نتایج مقایسه نمودار نرخ افزایش فشار در حالت‌های مختلف است. دیگر روش تحلیل و مقایسه نتایج مقایسه نفوذ سیال به کمک رابطه زیر است که در آن عمل کرد دو سیال مختلف در افزایش فشار منفذی در زمان مشخص در دو آزمایش جداگانه مقایسه می‌شود:

$$\frac{\Delta P_{i1} - \Delta P_{f1}}{\Delta P_{i1}} \quad (1)$$

ΔP_{i1} ، اختلاف فشار هیدرولیکی اولیه در آزمایش اول و ΔP_{i2} ، اختلاف فشار هیدرولیکی نهایی در آزمایش اول است.

$$\frac{\Delta P_{i2} - \Delta P_{f2}}{\Delta P_{i2}} \quad (2)$$

ΔP_{i2} ، اختلاف فشار هیدرولیکی اولیه در آزمایش دوم



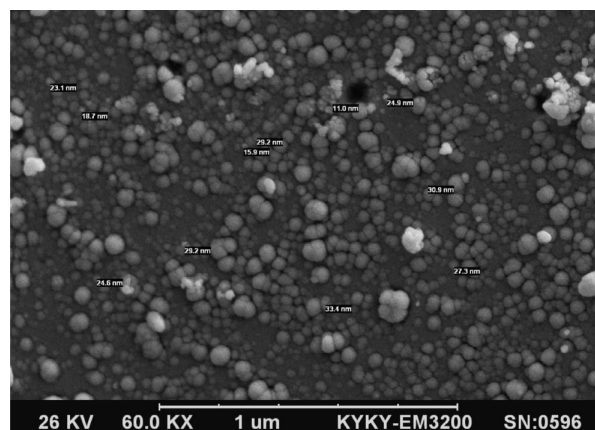
شکل ۳ انتقال فشار منفذی به کمک آب دریا.

با نانوسیال اکسید روی آورده شده‌اند. در هر کدام از این آزمایش‌ها نانوسیال تهیه‌شده در محفظه بالادستی دستگاه و آب دریا، به‌عنوان سیال منفذی، در محفظه پایین‌دستی قرار می‌گیرند. در هر مرحله فشار ثابت بر نانوسیال تهیه‌شده اعمال می‌شود که به نفوذ سیال بالادستی به داخل نمونه شیلی و افزایش فشار منفذی می‌انجامد. کارایی افزودن نانوذرات و تاثیر غلظت آنها بر جلوگیری از این افزایش فشار را می‌توان در آزمایش‌های مختلف دید.

• غلظت ۰/۲۵٪

در مرحله اول غلظت ۰/۲۵٪ بررسی شد. با توجه به نمودار به‌دست‌آمده از این آزمایش (شکل ۵)، افزایش فشار منفذی کاهش یافته و بعد از گذشت حدود یک ساعت از آزمایش در حدود ۱۵۰ psi تثبیت شده است که کاهش تدریجی نفوذ فشار را نشان می‌دهد و در نهایت نفوذ فشار به سیال منفذی به‌دلیل عمل‌کرد نانوذرات روی قطع می‌شود. استفاده از نانوسیال اکسید روی، نفوذ فشار به نمونه را تا ۶۰٪ کاهش داده است. نکته: باید فشار سیال بالادستی را، که به‌صورت خط افقی در نمودارها نشان داده می‌شود، در هر آزمایش ثابت نگه داشت (۳۰۰ psi) تا تاثیر آن به‌درستی بر رفتار سیال پایین‌دستی (منفذی) مشخص شود.

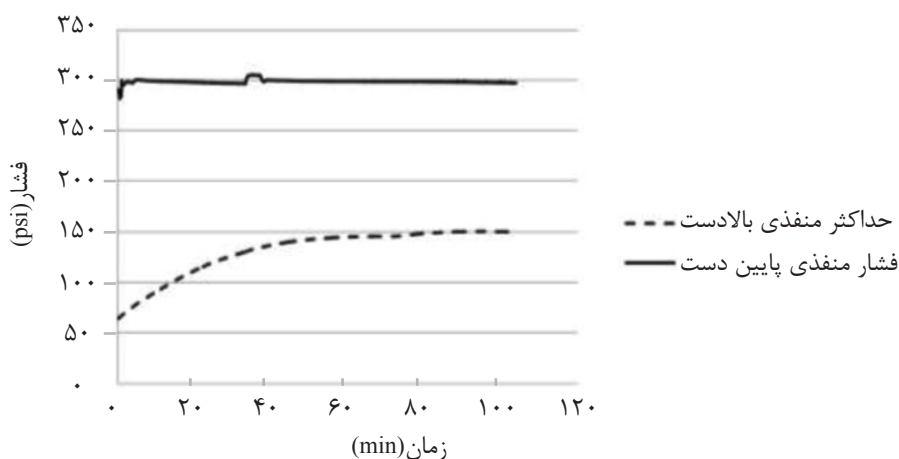
در این آزمایش از سیال نانو اکسید روی بهبودیافته^۱ استفاده شد. ویژگی‌های این نانوذره که استفاده از آن را توجیه کردند آب دوست بودن و همچنین بار مثبت سطحی ذرات آن بودند. همان‌طور که می‌دانیم مهم‌ترین کانی تشکیل‌دهنده شیل رس است که خواص منحصربه‌فرد آن (سطح ویژه بالا، بار منفی سطوح و همچنین آب‌دوست بودن) انتخابش در نوع نانوذره را توجیه می‌کنند، زیرا احتمالاً با توجه به خواص سطحی نانوذرات تهیه‌شده و همچنین رس موجود در شیل، فعل و انفعالی مناسب بین آنها رخ می‌دهد و نانوذرات به منافذ و سطوح رسی شیل می‌چسبند و تراوایی شیل و نرخ نفوذ فشار به داخل نمونه را کاهش می‌دهند. علاوه بر این خواص، نانو اکسید روی اندازه‌ای مناسب برای مسدود کردن حفرات نمونه شیلی دارد. (شکل ۴) تصویر گرفته‌شده با میکروسکوپ الکترونی^۲ SEM از نانوذرات تهیه‌شده و اندازه مناسب آنها (قابل‌قیاس با اندازه فضای منفذی نمونه شیلی (۱۹ نانومتر)) را نشان می‌دهد. اندازه نانوذرات اکسید روی در بازه ۱۱، ۱۵/۹، ۲۳/۱، ۲۹/۲ و ... نانومتر است. در واقع برخلاف روش‌های مرسوم، با نگاهی جامع به نانوذرات برای مسدود کردن راه انتقال فشار به فضای منفذی، علاوه بر اندازه از خواص سطحی نانوذرات نیز استفاده می‌شود. در قسمت بعد آزمایش‌های انجام‌شده



شکل ۴ تصویر میکروسکوپی از نانوذرات اکسید روی و اندازه‌بندی آنها.

1. Modified Nano ZnO

2. Scanning Electron Microscope



شکل ۵ نمودار انتقال فشار منفذی به کمک نمونه نانو اکسید روی با غلظت ۰/۲۵٪.

جای‌گزین سیال حاوی نانوذرات می‌شوند تا مشخص شود که آیا مسدود شدن گلوگاه منفذی با گذشت زمان و استفاده از سیال‌های متفاوت ادامه می‌یابد یا خیر. به بیان ساده‌تر، در حفاری سازندهای شیلی بعد از کاهش و یا جلوگیری از نفوذ آب و فشار به داخل سازند، با مسدود کردن ناحیه اطراف دیواره چاه با نانوذرات، آیا می‌توان با گذشت زمان و تغییر سیال حفاری عملیات حفاری سازندهای پایین‌تر از سازند شیلی را بدون نگرانی از ناپایداری شیل و نصب لوله جداری ادامه داد؟ پس از بررسی عمل کرد غلظت ۰/۵٪ سیال دلخواه (در این قسمت آب دریا) جای‌گزین سیال بالادستی و نمودار افزایش فشار منفذی مشاهده می‌شود. علی‌رغم استفاده از آب دریا به جای محلول نانو، نرخ افزایش فشار نسبت به حالت اولیه (بازیابی فشار منفذی با آب دریا) قبل از نفوذ نانوذرات بسیار کاهش یافته است (شکل ۷).

با مقایسه دو نمودار افزایش فشار منفذی بین حالت قبل و بعد از مسدود شدن گلوگاه با نانوذرات (شکل ۸) دیده می‌شود در حالی که فشار منفذی در حالت اولیه بعد از گذشت یک ساعت به فشار بالادستی می‌رسد، در حالت دوم در زمان مشابه حدود ۸۷ psi است که ۰/۸۴٪ کاهش نفوذ نسبت به حالت اولیه را نشان می‌دهد.

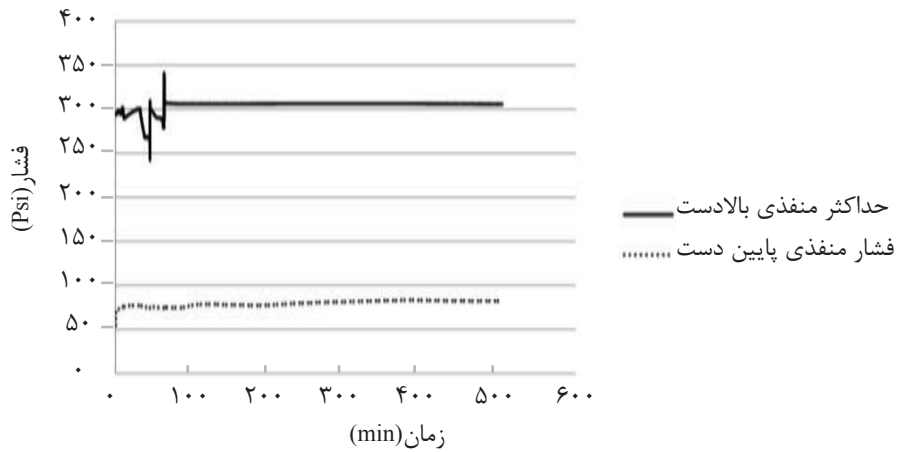
نوسان فشار بالادستی در برخی نمودارها به دلیل افت فشار حاصل از نشت داخل دستگاه است که به صورت دستی این فشار به حالت اولیه برمی‌گردد و ثابت نگه داشته می‌شود.

• غلظت ۰/۵٪

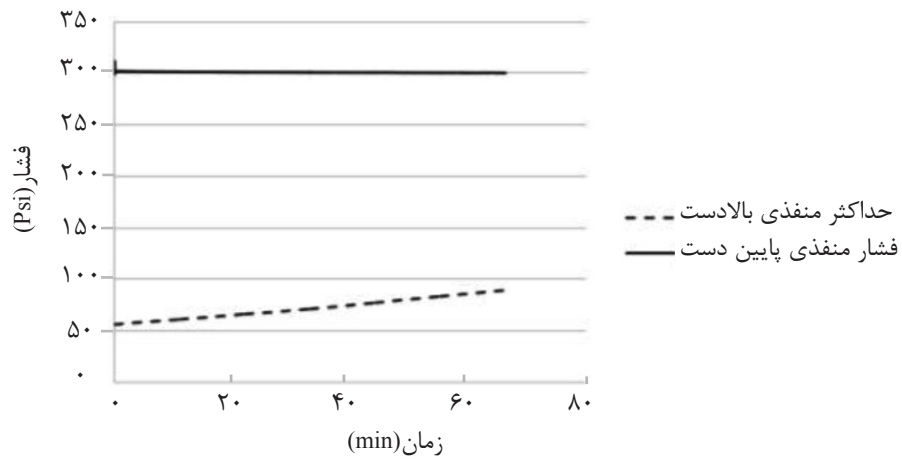
با توجه به نتیجه آزمایش قبلی، غلظت نانوذره دو برابر و عمل کرد آن در نرخ افزایش فشار منفذی بررسی می‌شود.

(شکل ۶) نشان می‌دهد که فضای منفذی نمونه به سرعت و در همان زمان‌های اولیه مسدود شده است. بعد از گذشت حدود ۳۰ دقیقه از آزمایش، فشار منفذی در حدود ۸۳ psi ثابت می‌ماند که نشانگر عمل کرد عالی و سریع نانوذرات اکسید روی برای جلوگیری از نفوذ آب و فشار به داخل نمونه است. بعد از این زمان به وضوح ثابت ماندن فشار منفذی مشاهده می‌شود که حاکی از قطع ارتباط سیال بالادستی (سیال حاوی نانوذرات) و سیال پایین‌دستی (منفذی) نمونه است. نفوذ فشار به نمونه تا ۰/۸۷٪ کاهش یافته است. یکی از مهم‌ترین مسائل در استفاده از نانوذرات پایداری آنها با گذشت زمان است. برای مطالعه پایداری مسدود کردن فضای منفذی با نانوذرات آزمایش‌های دیگری ترتیب داده شده‌اند.

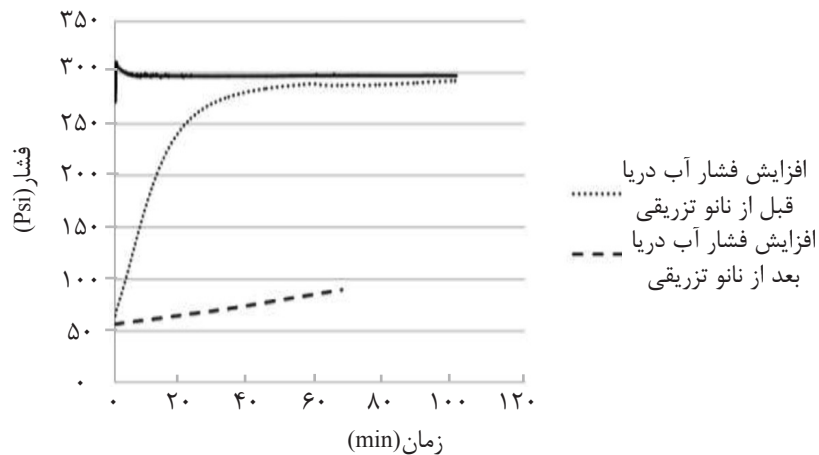
بدین ترتیب که بعد از مسدود شدن فضای منفذی با نانوذرات، سیال‌های مختلف بدون حضور نانوذرات



شکل ۶ نمودار انتقال فشار منفذی به کمک نمونه نانو اکسید روی با غلظت ۰/۵٪.



شکل ۷ نمودار انتقال فشار منفذی به کمک آب دریا بعد از استفاده از غلظت ۰/۵٪ نانو اکسید روی.

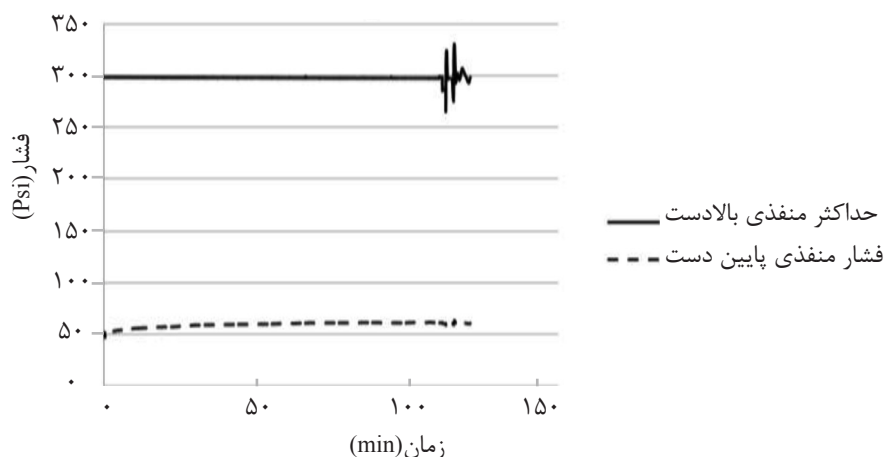


شکل ۸ مقایسه انتقال فشار منفذی به کمک آب دریا قبل و بعد از استفاده از غلظت ۰/۵٪ نانو اکسید روی.

گذشت حدود ۳۰ min دیگر افزایش فشار منفذی مشاهده نمی‌شود. فشار منفذی پس از رسیدن به ۶۰ psi ثابت می‌ماند که نشانگر مسدود شدن کامل نمونه است.

غلظت ۰/۷۵٪

در این آزمایش تاثیر افزایش غلظت بر عمل کرد نانوسیال نشان داده می‌شود. (شکل ۹) به‌وضوح نشان می‌دهد که مانند غلظت‌های دیگر، منافذ نمونه شیل به‌سرعت مسدود شده‌اند و پس از



شکل ۹ نمودار انتقال فشار منفذی به کمک محلول نانو اکسید روی با غلظت ۰/۷۵٪.

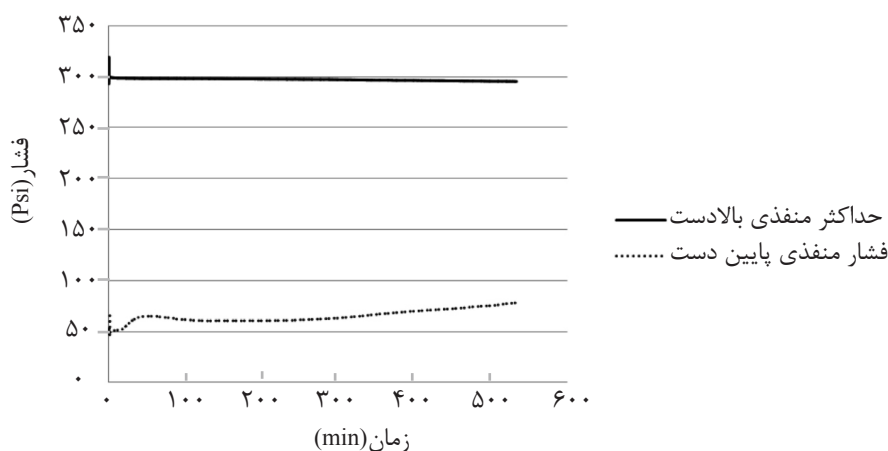
این حالت، در مقایسه با استفاده از نانوذرات، ۹۵٪ است (شکل ۱۱).

مقایسه غلظت‌های مختلف نانوذرات

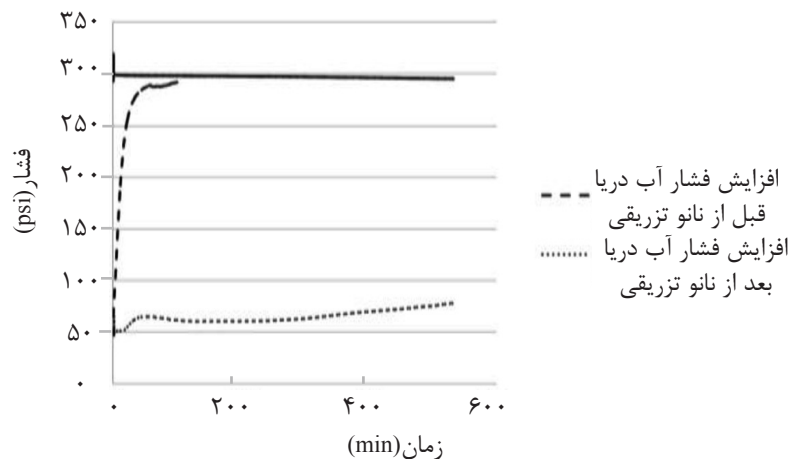
یکی از نکات مهم در مبحث استفاده از نانوذرات استفاده از غلظت مناسب و بهینه است. در (شکل ۱۲) تاثیر افزایش غلظت بر بهبود عملکرد نانوسیال مشاهده می‌شود. در این شکل رفتار افزایش فشار منفذی با تغییر غلظت نانوذرات نشان داده شده است. با افزایش غلظت نانوذرات از ۲۵ تا ۷۵٪، کاهش نفوذ فشار، در قیاس با قبل از مسدود شدن گلوگاه فضای منفذی نمونه، به ترتیب ۶۰، ۸۷ و ۹۶٪ است.

در این حالت ۹۶٪ کاهش نفوذ فشار منفذی دیده شد. در غلظت ۰/۵ نیز نتایج بسیار مطلوب به دست آمدند، اما افزایش غلظت نانوسیال تا حدودی بر عمل‌کرد آن تاثیر مثبت گذاشته است. دوباره برای بررسی پایداری و موثر بودن سد تشکیل‌شده از نانوذرات در گلوگاه فضای منفذی^۱، سیال منفذی شبیه‌سازی شده (آب دریا) جای‌گزین محلول حاوی نانو و مقدار بازیابی فشار منفذی مشاهده می‌شود.

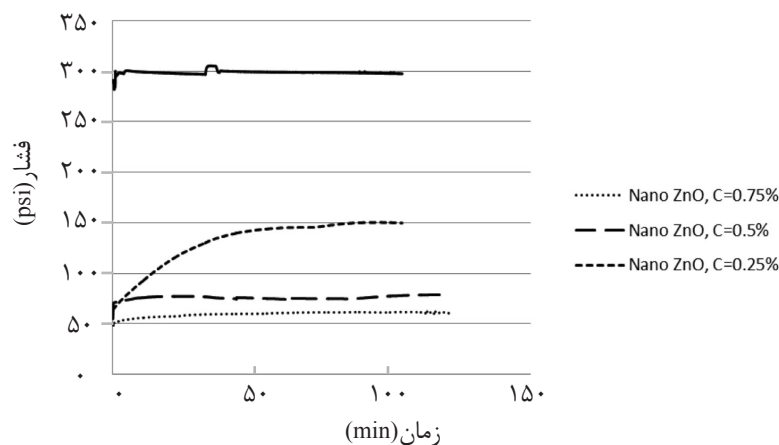
(شکل ۱۰) نشان می‌دهد که نفوذ فشار آب دریا به سیال منفذی به دلیل مسدود ماندن منافذ بسیار کم و سخت است. همچنین کاهش نفوذ فشار در



شکل ۱۰ انتقال فشار منفذی به کمک آب دریا بعد از استفاده از نانو اکسید روی با غلظت ۰/۷۵٪.



شکل ۱۱ مقایسه انتقال فشار منفذی به کمک آب دریا قبل و بعد از استفاده از نانو اکسید روی با غلظت ۰/۷۵٪.



شکل ۱۲ مقایسه عمل کرد غلظت‌های متفاوت نانو اکسید روی در جلوگیری از افزایش فشار منفذی.

نتیجه گیری

اکسید روی، کاهش نفوذ فشار منفذی به ترتیب ۶۰، ۸۷ و ۹۶٪، در مقایسه با آب دریا، بوده است. نانوذرات سیلیس از لحاظ قیمت نیز با نانوذرات اکسید روی مقایسه شده‌اند. در زمان انجام این پژوهش، قیمت نانوذرات اکسید روی حدود ۲ تا ۳ برابر قیمت نانوذرات سیلیس بود، ولی با توجه به غلظت لازم بسیار پایین‌تر این ذرات، استفاده از آنها به‌صرفه‌تر از نانوسیلیس تخمین زده می‌شود. پیشنهاد می‌شود استفاده از نانوذرات مختلف فعال از نظر سطحی در مبحث پایداری شیل به‌شکلی گسترده مطالعه و بررسی شود و مطالعه کاربرد نانوذرات در شیل‌های شکافدار، از جمله مخازن نامتعارف^۱ شیل گازی^۲ نیز پیشنهاد می‌شود.

با استفاده از نانوسیلیال اکسید روی، نتایجی کاملاً متفاوت با نانوسیلیس به دست آمدند. در این حالت علاوه بر توجه به اندازه و دید ابعادی نانوذرات، به خواص سطحی آنها نیز توجه می‌شود. با توجه به آب‌دوست بودن این نانوذرات و بار مثبت آنها و همچنین سطح ویژه بزرگ و انرژی سطحی بسیار زیادشان ارتباط و چسبندگی بسیار قوی بین ذرات رس موجود در شیل و نانوذرات رخ می‌دهد (ذرات رس نیز بسیار آب‌دوست‌اند و با بار منفی خود نانوذرات را به شدت جذب می‌کنند). نتیجه استفاده از نانوذراتی با اندازه مناسب با سطحی فعال و کاهش تراوایی و جلوگیری از افزایش فشار منفذی است. با استفاده از غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵٪ از نانوسیلیال

1. Unconventional Reservoir
2. Shale Gas

مراجع

- [1]. Manohar L., "Shale stability: drilling fluid interaction and shale strength," SPE, 54356, 1999.
- [2]. Oort E. V., "On the physical and chemical stability of shales," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 38, pp. 213-235, 2003.
- [3]. Chenevert M. E., "Shale control with balanced activity oil muds," JPT Trans. AIME, Vol. 249, pp. 1309-1316, 1970.
- [4]. Suri A. and M. M. Sharma., "Strategies for sizing particles in drilling and completion fluid," SPE Journal, Vol. 9, No. 1, pp. 13-23, 2004.
- [5]. Sensoy T., Chenevert M. E. and Sharma M., "Minimizing water invasion in shale using nanoparticles," SPE, 124429, 2009.
- [6]. Riley M., Stamatakis E. and Young S., "Wellbore stability in unconventional shale; the design of a nano-particle fluid," SPE, 153729, 2012.
- [7]. Li G. and Zhang J., "Nanotechnology to improve sealing ability of drilling fluids for shale with micro-cracks during drilling," SPE, 156997, 2012.
- [8]. "Recommended practice standard procedure for laboratory testing drilling fluids," API Recommended Practice 13I, 6th ed., May 2000.