بررسی امکان تزریق آب تولیدی از میدان نفتی سیری همراه با آب خلیج‌فارس به مخزن

محمد زاهدزاده، رحیم مسعودی، محمدعلی عمادی، عماد رعایایی، محمد صبور ملکی، سمانه آشوری*

تهران، مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران، پژوهشکده ازدیاد برداشت از مخازن نفت و گاز

پیام‌نگار: **ashoori@nioc.rtd.ir**

چکیده

میدان نفتی سیری در خلیج‌فارس نزدیک جزیره سیری قرار دارد. این میدان رانش آب مناسبی داشته و از سازند میشریف تولید می‌کند. میدان سیری از سال ۱۹۸۴ تحت عملیات تزریق آب خلیج‌فارس به منظور حفظ فشار مخزن بوده است. اخیراً تزریق آب تولیدی به عنوان گزینه‌ای جهت کاهش مخاطرات محیط‌زیست و همچنین افزایش برداشت از مخزن مطرح گردیده است. مشکلات اصلی عملیات تزریق آب تولیدی در این میدان، تشکیل رسوبات معدنی، ذرات معلق و خوردگی پیش‌بینی می‌شود. در این مقاله دو مکانیزم اول مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نتایج آزمایشها نشان می‌دهند که ذرات پراکنده موجود در آب تزریقی، به طور قابل ملاحظه‌ای نفوذپذیری مخزن را کاهش می‌دهند. آنالیزهای انجام شده بر روی آبهای تولیدی، دریا و سازند نشان می‌دهند که مخلوط آبهای فوق، پتانسیل بالایی برای تولید رسوبات کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و سولفات استرونسیم دارند که در صورت عدم بکارگیری بازدارندهٔ مناسب، بر روی نفوذپذیری سنگ مخزن تاثیر می‌گذارند.

کلمات کلیدی: مدیریت آب، تزریق مجدد آب تولیدی[1]، رسوب‌گذاری معدنی[2]، تهاجم ذرات پراکنده[3]

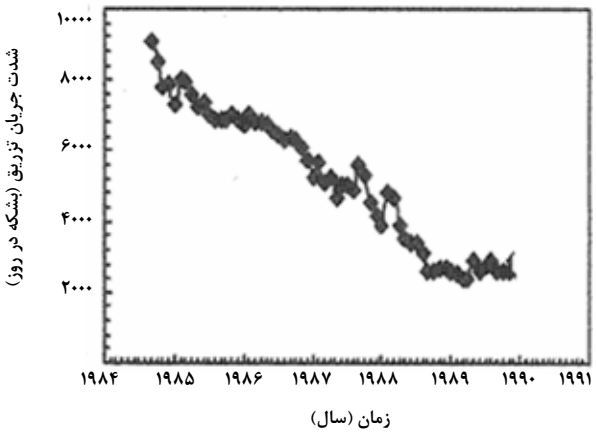
۱- مقدمه

تزریق آب به میدان سیری در سال ۱۹۸۴ با شدت جریان ۹۱۰۰بشکه در روز به منظور نگهداری فشار و افزایش برداشت آغاز شد. تزریق به سرعت در سال ۱۹۹۰ کاهش یافت و مقدار آن به ۲۲۰۰ بشکه در روز رسید که به دنبال آن عملیات تزریق آب متوقف شد. تاریخچه تزریق آب در میدان سیری در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۱و۸و۷و۱].

در حال حاضر آب خلیج فارس توسط دو کارخانه تصفیه آب به مخازن نفتی میدان سیری تزریق می‌شود. آبهای تولیدی همراه با نفت از مخازن فوق پس از جداسازی و تصفیه به دریا ریخته می‌شوند. در راستای اجرای قوانین حفاظت محیط زیست، با توجه به سابقه تزریق آب در میدان سیری، تزریق مجدد آب تولیدی به همراه آب دریا از گزینه‌های مناسب و مورد توجه می‌باشد. بنابراین بررسی تجانس آب تولیدی با آب دریا و آب سازند ضروری است. در این تحقیق، ابتدا نمونه‌گیری، آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های آبهای تولیدی، دریا (از عمق

1. Produced Water Reinjection(PWRI)
2. Mineral Scale Deposition
3. Solid Invasion

۱۰ متـری) و سـازند، سـپس آزمایـشها و بررسـی تـشکیل رسـوب درنسبتهای مختلف اختلاط آبهای تولیدی،سازند و دریا و اثـر دمـا بـر منحنی ته نشینی رسوب آورده شده است. در مرحله آخـر، آنالیزهـای میکروبی و مواد آلی انجام می‌شوند و آزمایشها مربوط به ذرات پراکنده موجود در آب سازند، دریا و مخلوطهای آنها بررسی می‌گردد.



شکل ۱- تاریخچه تزریق آب در میدان نفتی سیری

۲- آسیب دیدگی سازند در اثر تزریق آب

فرایندهایی که سبب کاهش تولید نفت، آب یا گاز می شوند و در طـی عملیاتهای توسعه مخزن بوجود می‌آیند، آسیب دیدگی سـازند نامیـده می شوند. فرایندهای گوناگونی در تولید نفت منجر به آسـیب دیـدگی سازند می شوند مانند عملیـات تحریـک چـاه، تزریـق آب، نامتجـانس بودن آب تزریقی با آب سازند و نیز تشکیل رسـوب در اثـر فراینـدهای مختلف نظیر آزاد شدن CO_2 و تشکیل رسوبهای کربناته در اطراف چاه که بسیار حائز اهمیت می باشند.[۸-۲].عدم تجانس سیالات با یکدیگر و ذرات معلق که اصلی‌ترین دلیل آسیب‌دیدگی سازند در میدان سیری می‌باشند به طور خلاصه در زیر آورده شده‌اند.

۲-۱ تزریق آب نامتجانس

سازگاری آب تزریقی وآب مخزن در عملیـات تزریـق آب، بـسیار مهـم است. یونهای موجود در آب تزریقی مـی‌تواننـد بـا یونهـای آب مخـزن واکنش دهند و سـبب تـشکیل رسـوب و در نتیجـه انـسداد و کـاهش نفوذپذیری و در نتیجه کاهش شدت جریـان تزریـق شـوند. همچنـین ترکیبات موجود در سنگ مخزن با ترکیبات آب در تعـادل مـی‌باشـند. تغییرات در غلظت و ترکیبات آب مخزن، باعث بهم خوردن تعادل و در نتیجه سبب تشکیل رسوب و ایجاد آسیب می‌گردد.

رسوبهای معمول در میادین نفتی، ناشی از تزریق آب حاوی سولفاتها و کربناتهای استرونسیم، باریم و کلسیم می‌باشـند کـه بـدلیل سـختی و انحلال پذیری پایین آنها، راه حلهای محدودی جهت حذف آنها موجود است[۱۰و۹]. در جدول (۱) رسوبهای مختلف موجود در میادین نفتـی همراه با پارامترهای موثر بر انحلال پذیری آنها آورده شده اند.

جدول ۱- رسوبات معمول در میادین نفتی[۹]

نام	فرمول شیمیایی	متغیرهای اولیه
کربنات کلسیم	$CaCO_3$	فشار جزیی دی اکسید کربن، دما، کل نمک محلول[1]، pH
سولفات کلسیم	$CaSO_4.2H_2O$ $CaSO_4.1/2\ H_2O$ $CaSO_4$	کل نمک محلول، دما، فشار
سولفات باریم	$BaSO_4$	دما، فشار
سولفات استرونسیم	$SrSO_4$	کل نمک محلول، دما، فشار
ترکیبات آهن	$FeCO_3$ FeS $Fe(OH)_2$ $Fe(OH)_3$	خوردگی، گازهای محلول، pH

۲-۲ تهاجم ذرات معلق[2]

ذرات معلق در آب تزریقی شامل خـرده هـای سـازند، مـواد حاصـل از خوردگی، رسوبات معدنی و شیمیایی و بـاکتری‌هـا مـی باشـند. ذرات معلق با ایجاد کیک روی صافی[3] و یا بـا نفـوذ در داخـل خلـل و فـرج سـنگ مخـزن و کـاهش نفوذپـذیری، موجـب آسـیب دیـدگی سـازند می‌شوند.

۳- آزمایشها

آزمایشهای بررسی تشکیل رسوب و ذرات معلق در شرایط دما و فـشار آزمایشگاه و همچنین شرایط مخزن برروی ترکیبهـای مختلفـی از آب دریا، آب سازند و آب تولیدی انجام گردیـد. از آب تولیـدی و آب دریـا

1. Total Dissolved Salts
2. Solid Invasion
3. Filter Cake

نمونه گیری و آنالیز به عمل آمد ولی نمونه آب سازند به علت عدم امکان نمونه گیری ته چاهی از روی اطلاعات موجود، شبیه‌سازی گردید.

۳-۱ آنالیز نمونه های آب

نمونه آبهای تولیدی، دریا و تزریقی مطابق با استانداردهای نمونه گیری(ASTM D3370، ASTM D270 و استاندارد شماره ۴۲۰۸ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی) از جزیره سیری نمونه گیری و ظرف کمتر از ۴۸ ساعت به آزمایشگاه در تهران انتقال داده شد. همچنین پارامترهائی مانند دی‌اکسید کربن، اکسیژن و نمونه هائی جهت آزمایشهای میکروبی در محل[1] اندازه‌گیری شدند. نتایج آنالیزها درجداول (۲) و (۳) آورده شده اند.

۳-۲ ساخت آب سازند

به منظور انجام آزمایشهای تجانس آبهای تزریقی با آب سازند، نیاز به در اختیار داشتن نمونه قابل اطمینانی از آب سازند می باشد. ولی به دلیل عدم دسترسی مستقیم به آب سازند، از داده های آنالیز انجام گرفته از نمونه گیری ته چاهی در تاریخ ۶۶/۷/۱ استفاده گردید و آب مورد نظر در آزمایشگاه طبق استاندارد ASTM D1141-98 ساخته شد. جهت اطمینان از صحت ترکیبات موجود در آب تهیه شده، نمونه ساخته شده توسط آزمایشگاههای معتبر، آنالیز گردید.

۳-۳ بررسی مقدار و نوع رسوب در نسبت های مختلف اختلاط آبهای آزمایش در دمای محیط و مخزن در فشار اتمسفری

به منظور جدا کردن ذرات جامد و آلودگی‌های نامحلول، تمام نمونه‌ها ابتدا از فیلتر ۰/۴۵ میکرونی گذرانده شدند. برای ایجاد شرایط یکسان در تمام آزمایشها دامنه ثابتی از کدورت[2] و PH برای هر کدام از آبها درنظر گرفته شد. ابتدا حجم‌های مورد نظر از هرکدام از آب‌ها از نسبت ۱۰٪ تا ۹۰٪، در دمای مخزن و دمای محیط (^oC ۹۲و ^oC ۲۶) با هم مخلوط شدند و پس از زمان ماند لازم، مخلوط حاصل از یک فیلتر

جدول ۲- آنالیز کاتیون‌های موجود در نمونه آبهای دریا، تزریقی و آب تولیدی

مولفه	آب تولیدی (mg/l)	آب دریا (mg/l)	آب تزریقی (mg/l)
Ca^{2+}	۴۵۸۰	۴۴۰	۴۶۱/۱۵
Na^{+}	۳۶۸۰۰	۱۱۶۲۳	۱۴۹۵۰
Mg^{2+}	۹۵۸/۰۸	۸۳۰	۱۵۹۶
K^{+}	۴۱۹/۳	۲۸۲	۲۷۱
Ba^{2+}	۱/۷	<۱	<۱
Fe^{2+}	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۲
Sr^{2+}	۴۱۰/۸	۴/۷	۴/۲

جدول ۳- آنالیزآنیون‌های موجود در نمونه های آب تولیدی، دریا و سازند

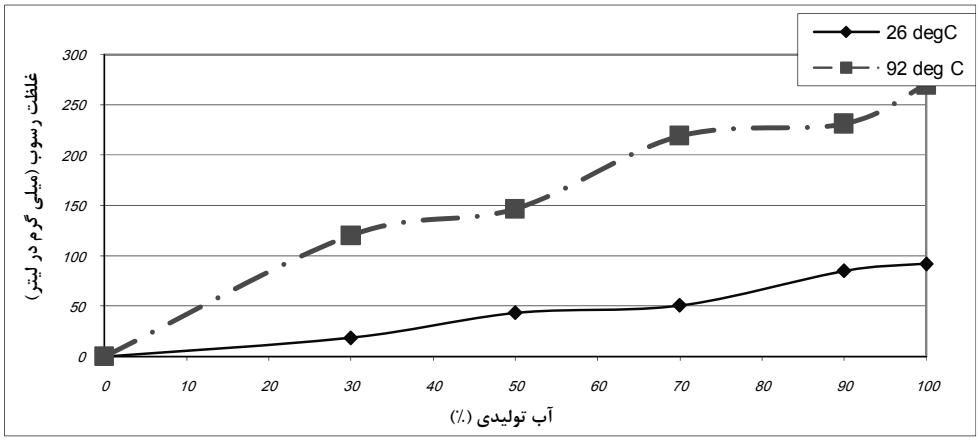
مولفه	آب دریا (mg/l)	آب تولیدی (mg/l)	آب سازند (mg/l)
Cl-	۲۳۰۰۰	۶۲۰۰۰	۷۳۹۴۲
SO_4^{--}	۲۶۰۰	۱۰۶۰	۶۳۵
HCO_3^{--}	۱۶۵/۹۲	۵۰۲/۶	۵۷۹
Mg++	۱۴۸۴/۱۶	۹۵۸/۰۸	۷۵۹
Ca++	۴۱۶	۴۵۸۰	۵۰۳۲
Na+	۱۲۵۶۰	۳۶۸۰۰	۴۲۲۱۵
K+	۶۴۰	۷۲۰	۱۹۸۶
Ba++	۰/۱>	NIL	-------
Fe++	NIL	۵	۱۷
Sr++	۴/۵	۴۳۶/۸	۵۴۷
Li+	NIL	NIL	Trace
TDS	۴۴۴۰۰	۱۱۴۲۰۰	۱۳۱۴۷۲
PH	۸/۵۸	۷/۴۳	۶/۸۲
CO_2	NIL	۱۴۰	-------
H_2S	NIL	۱۸	-------
O_2	۶/۳	NIL	-------
SRB	مثبت	مثبت	-------

1. On-Site
2. Turbidity

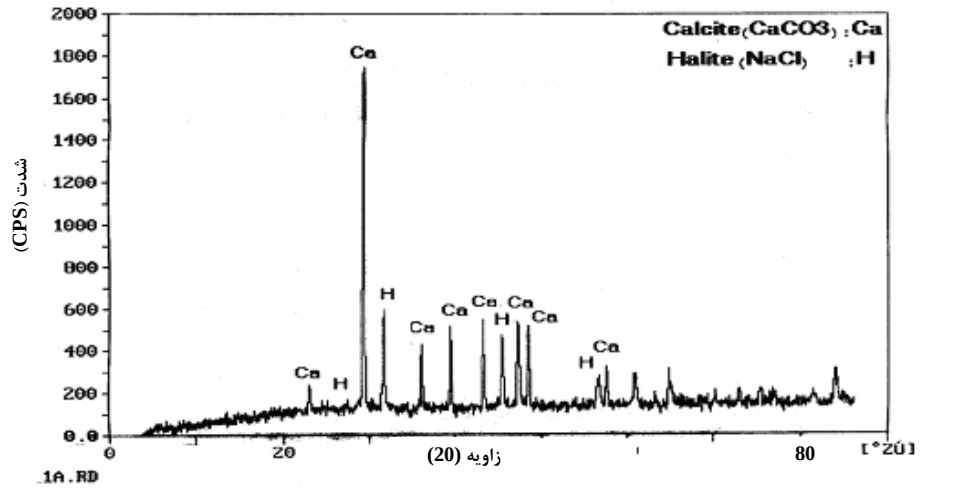
سلولزی ۰/۴۵ میکرونی با وزن مشخص عبور داده شد. سپس فیلتر مذکور به مدت ۱۴ ساعت در آون خشک شد. اختلاف وزن فیلتر بعد از سرد شدن، به عنوان مقدار رسوب تشکیل شده در دما و ترکیب مورد نظر ثبت گردید. سپس جهت بررسی نوع رسوب تشکیل شده، از آنالیزهای آزمایشگاهی XRD[1] استفاده شد.

شکل (۲) مقدار رسوبات حاصل از اختلاط آب تولیدی و آب دریا را در نسبتهای مختلف ترکیبی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل پیداست با افزایش حجم آب تولیدی پتانسیل تشکیل رسوب افزایش می‌یابد. همچنین مقدار رسوب با افزایش دما بیشتر می‌شود.

همانطور که انتظار می‌رفت رسوبات حاصل عمدتاً کربنات کلسیم و سولفات کلسیم بودند. در دمای آزمایشگاه مقدارکمی رسوب کلرید سدیم نیز مشاهده گردید. شکل (۳) آنالیز XRD رسوب حاصل از اختلاط ۹۰٪ آب تولیدی و ۱۰٪آب دریا در دمای محیط را نشان می‌دهد. آزمونهای فوق برای ترکیب آب تولیدی و آب سازند نیز انجام شدند. نتایج در شکل (۴) آورده شده اند. همانگونه که مشاهده می شود اثر افزایش نسبت آب سازند به آب تولیدی بر روی رسوب تشکیل شده قابل صرفنظر می باشد. اثر دما بر روی رسوب نیز اثر افزایشی است.

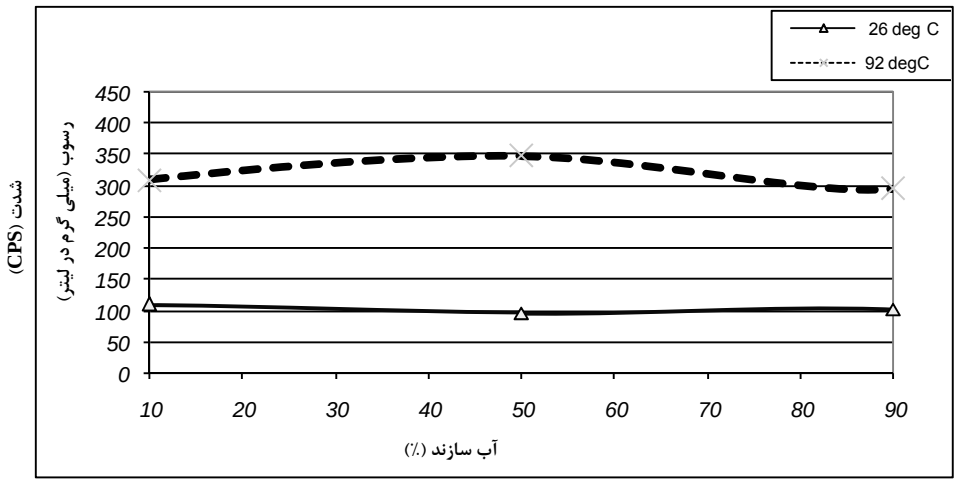


شکل ۲- غلظت رسوبات حاصل از اختلاط آب دریا و آب تولیدی در دمای محیط و دمای مخزن



شکل ۳- آنالیز XRD رسوب حاصل از اختلاط ۹۰٪ آب تولیدی و ۱۰٪آب دریا در دمای محیط

1. X-Ray Diffraction



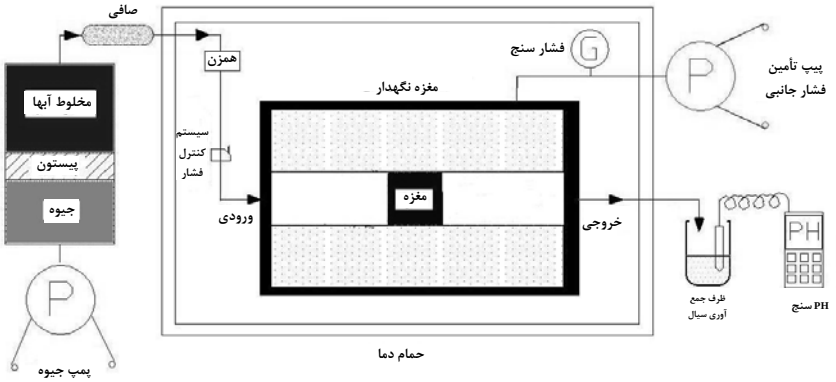
شکل۴- مقداررسوبات حاصل از اختلاط آب سازند و آب تولیدی در دمای محیط و دمای مخزن

۳-۴ آزمایشهای انجام شده بر روی مغزه های مختلف

برای انجام آزمایشهای مغزه[1] از دستگاه مغزه نگهدار مخصوص آسیب دیدگی سازند مطابق شکل (۵) استفاده گردید. ابتدا پلاگ ها به وسیله تولوئن و الکل شستشو داده شدند و در آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نفوذپذیری و تخلخل مغزه ها به ترتیب توسط روش تزریق هوا و استفاده از هلیوم تعیین شدند (جدول (۳)). اختلاف فشار دو سر مغزه، کاهش نفوذپذیری وPH در طول آزمایش، اندازه‌گیری و محاسبه شدند. همچنین در ابتدا جهت بررسی تورم شیل به مغزه ها آب مقطر تزریق گردید که در هیچ‌یک از مغزه ها پدیده مذکور مشاهده نشد.

جدول ۳- مشخصات مغزه های به کار رفته در آزمایشهای اثر ذرات معلق

مغزه	قطر (cm)	طول (cm)	تخلخل (%)	نفوذپذیری (md)
۱	۳/۸۴۲	۲/۵۱۲	۲۸/۹۸۶	۱/۴۳۱
۲	۳/۸۷	۲/۵۰	۲۴/۶۶۰	۹/۵۰



شکل ۵- طرح اجمالی مغزه نگهدار مخصوص آسیب دیدگی سازند

1. Coreflood Test

نمونه ای حاوی ۱۰٪ آب دریا و ۹۰٪ آب تولیدی کـه دارای بیـشترین رسوب در محیط معمولی بودند در دمای محیط، مخلـوط و بـا شـدت جریان ۱۴۰ سی سی بر ساعت به مغزه تزریـق شـد. همانگونـه کـه در شکل (۶) آمده است، پـس از تزریـق ۵۶ برابـر حجـم تخلخـل[1]، نفـوذ پذیری مغزه از ۱۲/۴۸ به ۷/۴۸ میلی دارسی کاهش یافت. لازم به ذکر است که همانطور که نتایج نـشان مـی‌دهنـد، تغییـرات فـشار و نفـوذ پذیری، تا مقادیر ۳۰ برابر حجم تخلخل، نامحـسوس اسـت. بـا تزریـق حـدود ۴۰ برابـر حجـم تخلخـل از ایـن آب، نفوذپـذیری فقـط ۸٪ (۱ میلی‌دارسی) تغییر می‌کندکه نشان می دهد آسیب دیدگی سـازند تا این حجم از تزریق قابل توجه نیست. در حالیکه بـا تزریـق بـیش از ۴۰ برابر حجم تخلخل، حدود ۲۶٪ کاهش نفوذ پذیری دیده می‌شود.

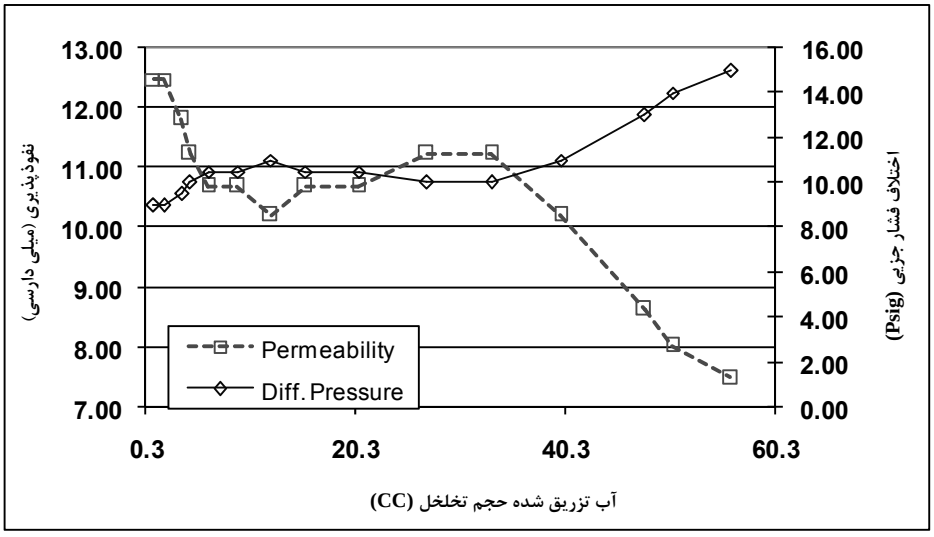
آزمایشهای فوق بـرای مخلـوط آب تولیـدی و آب سـازند نیـز صـورت گرفت که نتایج آن در شکل (۷) دیده می شود. همانگونه که در شـکل (۷) مشاهده می شود فشار از ۱۱ به ۷ پام نسبی کـاهش و سـپس بـه ۸ پام نسبی افزایش می‌یابد.

کاهش شدید افـت فـشار اولیـه مربـوط بـه کنـده شـدن ذرات اسـت. همچنین مشاهده می‌گردد که مخلوط آب های فـوق، بـرخلاف نمونـه قبلی، نفوذپذیری مغزه را افزایش می دهـد کـه دلیـل آن را مـی‌تـوان خاصیت اسیدی این ترکیب (PH= 6.2) و کنده شـدن برخـی از ذرات پراکنده‌ای که به خلل و فرج چسبیده بودند، دانست. به منظور تعیـین نوع رسوبات ناشی از تزریق نمونه های فوق، آزمایشهای SEM و EDX بر روی مغزه ها انجام شدند. نتایج حاصله وجودرسوب کلسیت و مقدار اندکی هالیت را به خوبی نشان می دهند (شکل (۸)).

۳-۵ اثر تهاجم ذرات معلق

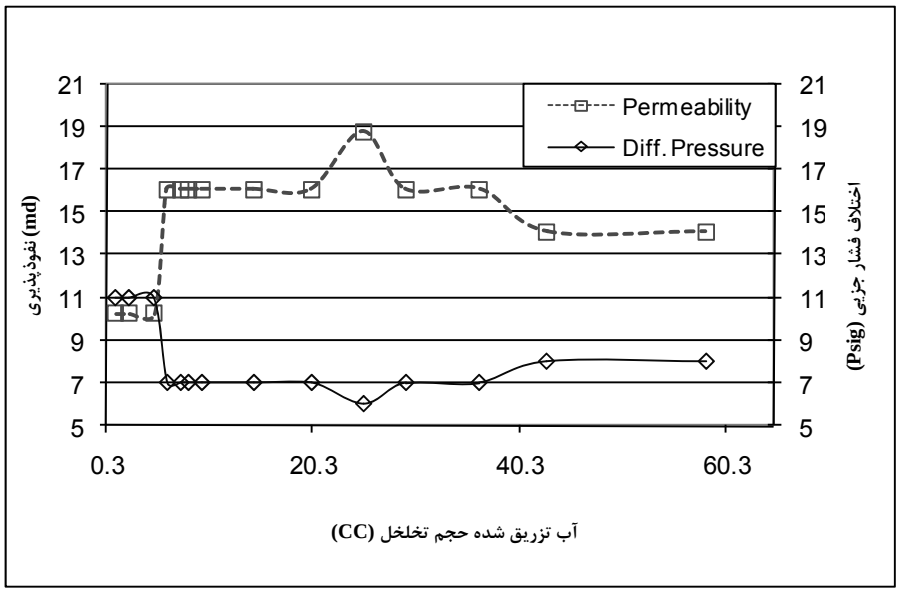
به منظور بررسی اثر ذرات پراکنده موجود در آب تولیدی، با استفاده از مغزه نگهدار اشاره شده در شکل (۵) ابتـدا نمونـه‌هـای آب از فیلتـر ۷ میکرون گذرانده شدند و سپس به مغزه تزریق گردیدند.

ذرات معلق موجود در آبهای تولیدی و دریا بیشتر در محدوده زیـر ۱۰ میکرون قرار داشـتند[۷]. بـه منظـور بررسـی بیـشتر، پـلاگ هـائی از مغزههای سیری با تخلخل حدود ۳۰٪ و محدودهٔ نفوذپـذیری تقریبـی ۱/۵ تا ۱۰ میلی‌دارسی تهیه شدند. مغزه های فوق از سـازند میـشریف مطابق جدول (۳) تهیه شدند که محدودیتهای مغزه جهت آزمایـشهای آسیب دیدگی را دارا بودند. ذرات پراکنده موجود در آب تولیدی حتـی پس از عبور از فیلتر ۷ میکرون باعث آسیب دیدگی جدی مغـزه هـای با نفوذ پذیری تقریبی ۱/۵ میلی دارسی الی ۱۰ میلی دارسی خواهنـد شد. نتایج نشان میدهند که در اثر تزریـق آب تولیـدی، نفـوذ پـذیری

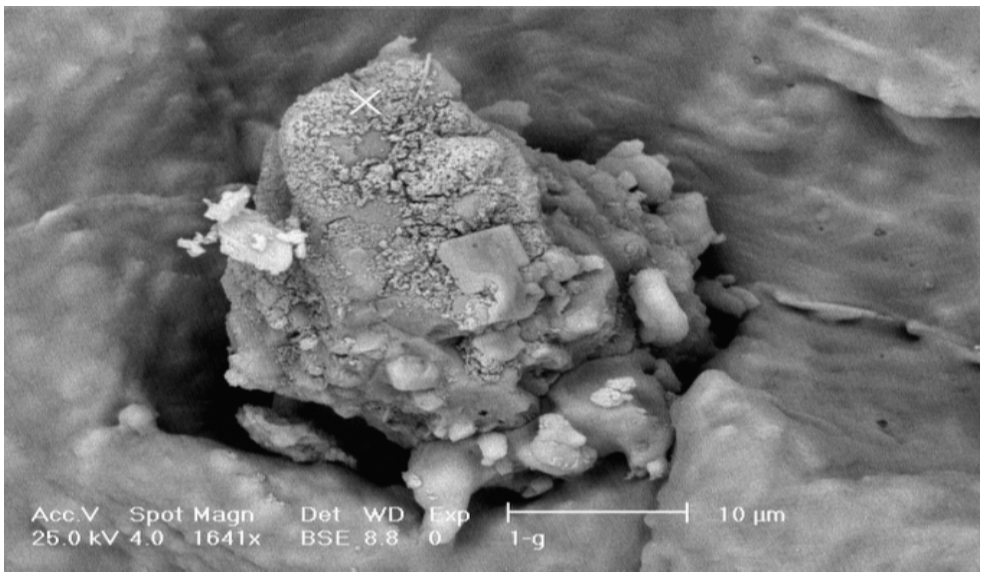


شکل ۶- تغییرات اختلاف فشار و نفوذپذیری در اثر تزریق مخلوط آبهای تولیدی ودریا به مغزه

1. Pore Volume

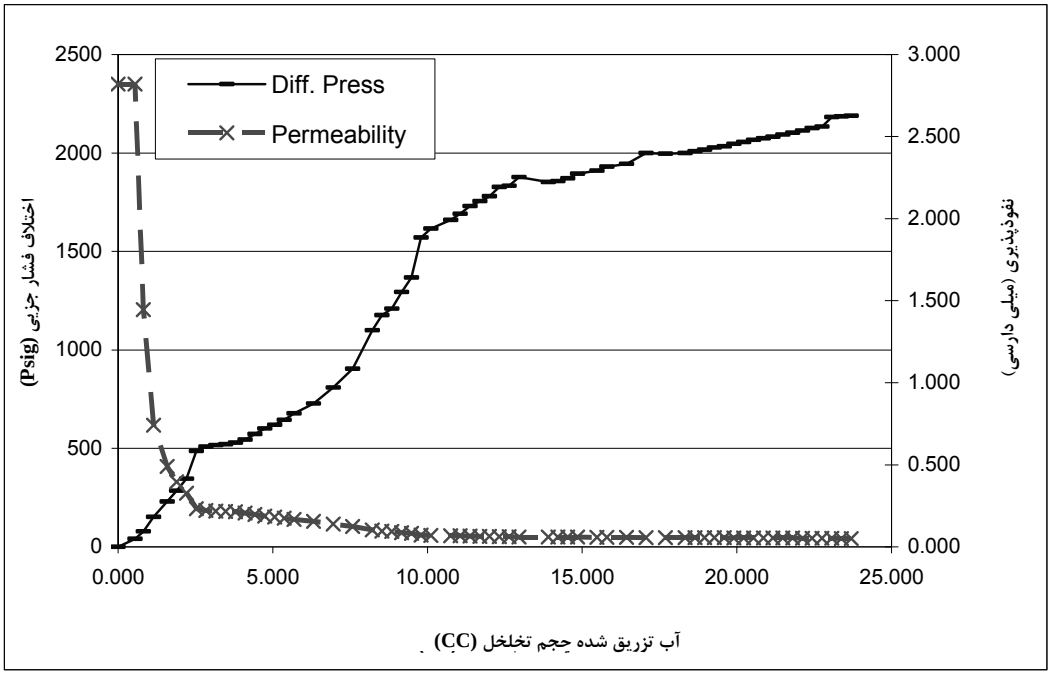


شکل ۷- تغییرات اختلاف فشار و نفوذپذیری در اثر تزریق مخلوط آبهای تولیدی و سازند به مغزه

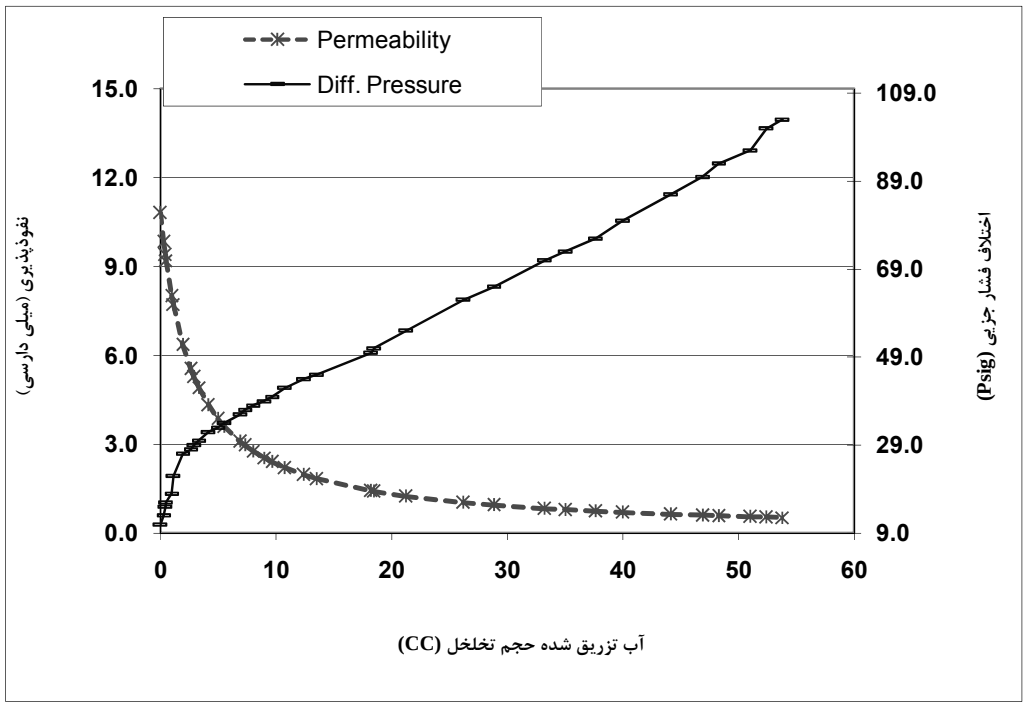


شکل ۸- آنالیز SEM به همراه EDX مغزه (رسوب غالب کلسیت)

مغزه از ۲/۸۳۱ به حدود ۰/۰۵۲ میلی‌دارسی کاهش می‌یابد و تغییرات نسبتاً محسوسی نیز در مقادیر PH به‌وجود می‌آید (شکل (۹) و (۱۰)). این نتایج نشان می دهند که وجود ذرات معلق در آب تزریقی باعث آسیب دیدگی سازند، هم در نفوذپذیری های کم و هم در نفوذپذیری های زیاد می شود.



شکل ۹- تغییرات اختلاف فشار و نفوذپذیری در اثر تزریق آب تولیدی پس از عبور از فیلتر ۷ میکرون مربوط به مغزه شماره ۱.



شکل ۱۰- تغییرات اختلاف فشار و نفوذپذیری در اثر تزریق آب تولیدی پس از عبور از فیلتر ۷ میکرون به مغزه شماره ۲.

۴- بحث و نتیجه گیری

نتایج آزمایشگاهی و مشاهدات میدانی نشان می‌دهند کـه ذرات معلـق موجود در آب تزریقی قادرند بـه سـازند میـشریف آسـیب جـدی وارد نمایند. برای جلـوگیری از ایـن خـسارات، بهینـه‌سـازی کیفیـت آب و استفاده از فیلترهای مش‌های ریزتـر پیـشنهاد مـی‌گـردد. ترکیـب آب تولیدی و آب دریا باعث تشکیل رسـوب کربنـات کلـسیم، هالیـت (در سطح) و سولفات کلسیم می‌شود. ترکیب آب تولیدی و آب سازند نیـز رسوب کربنات کلسیم و هالیت را بـه‌وجـود مـی‌آورد. آزمایـشها نـشان می‌دهند که رسوبات معدنی یکی از عوامل موثر در صدمه بـه سـازند و کاهش نفوذپذیری در صورت تزریق بـیش از ۴۰ برابـر حجـم تخلخـل می‌باشد. همچنین آزمایشها نشان دادند کـه پدیـده تـورم شـیل قابـل چشم‌پوشی است.

با توجه به مطالعات انجام شده قبلی [۱۱و۷] و فعال بودن لایـه آبـده، اگرچه تخلخل و نفوذپذیری سازند زیاد نیست ولی تزریق آب به مخزن موجب حفظ فشار و افزایش تولید نفت مـی‌گـردد. بـرای بهینـه‌سـازی عملیات تزریق و افزودن آب تولیدی به دریا، استفاده از فیلتر مناسـب، تزریق مواد شیمیایی بازدارنده رسوب، تزریق باکتری‌کش و مـواد ضـد خوردگی پیشنهاد می‌گردد.

۵- تشکر و قدردانی

این پروژه پژوهشی- آزمایشگاهی تحت حمایت مالی شرکت نفت فلات قاره ایران و درپژوهشکده ازدیاد برداشت از مخـازن نفـت و گـاز انجـام پذیرفته است که بدین وسیله از همکار ی صمیمانه هر دو شرکت کـه اجـازه چـاپ و نـشر ایـن مقالـه را صـادر نمودنـد، تـشکر و قـدردانی می‌گردد.همچنین از کارشناسان و پرسـنل محتـرم پژوهـشکده ازدیـاد برداشت، بخصوص خانم مژگان رادمهـر، خـانم سـکینه شـکرالله زاده و آقای مهندس علیرضا شهرکی و کارشناسان محترم شرکت نفت فـلات قاره خانم مهندس زهره طاووسی،مهندس محمد متاله و مهندس فـرخ علیخانی و پرسنل محترم جزیره سیری کمال تشکر و امتنان را داریم.

مراجع

[1] J. Moghadasi, M. Jamialahmadi, H. Muller-Steinhagen and A. Ghalambor, "Scale Formation in Iranian oil Reservoir and production Equipment During Water Injection," Paper SPE 80406, Presented at International Oilfield Scale Symposium and Exhibition held in Aberdeen , UK, 29-30 January (2003).

[2] J. H.Barkman, et al."Measuring Water Quality and Predicting Well Impairment" SPE/AIME, p865-873, (1972).

[3] D.B. Bennion, F. B Thomas, D. Imer, T. Ma, B. Schulmeister, "Water Quality Considerations Resulting in the Impaired Injectivity of Water Injection and Disposal Wells", JCPT, 40, (6) p.54. (2001).

[4] D.B. Bennion, D.W. Bennion, F. B. Thomas, R.F. Bietz, "Injection Water Quality – a Key Factor to Successful Waterflooding", JCPT, 37, (6) p. 53, (1998).

[5] J.Moghadasi, M. Jamialahmadi, H.M Steinhagen, A. Sharif, "scale formation in oil reservoir and Production Equipment during Water Injection (Kinetics of CaCO3 Crystal Growth and Effect on Formation Damage)", Paper SPE 82233, Presented at SPE European Formation Damage Conference, Hague, Netherlands 13-14 May, (2003).

[6] J. Moghadasi, H.M.Steinhagen, M. Jamialhamadi, A. Sharif, "Theoretical and Experimental Study of Particle Movement and Deposition in Porous Media during Water Injection", Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 43, 163-181, (2004).

[7] J.Pelissier, A. K. Hedayati, E. Abgrall, J. Plique, "Study of Hydrodynamic Activity in the Mishrif Fields Offshore Iran" Paper SPE 7508, (2003).

[8] "Technical Reports" Improved Oil Recovery Research Institute, (2006).

[9] J. Moghadasi, H.M.Steinhagen, A. Sharif, A.Ghalambor, M.R.Izadpanah, E.Motaie, "Scale Formation in Iranian oil Reservoir and Production Equipment During Water Injection", Paper SPE 80406, Presented at International Symposium on Oilfield Scale, Aberdeen, United Kingdom, 29-30 January, (2003).

[10]. Faruk Civan, "Reservoir Formation Damage", Gulf Publishing Company Houston, Texas, (2003).

[11]. "Master Development Plan (MDP)", Iranian Offshore Oil Company, (2004).