بررسی عملی جامدسازی شن در چاه‌های نفت با استفاده از روشهای مختلف

آرش دهقانی، فریدون اسماعیل زاده، داریوش مولا*

شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی نفت و گاز، بخش مهندسی شیمی

پیام‌نگار: **dmowla@shirazu.ac.ir**

چکیده

مشکلاتی که مهاجرت شن در اثر تولید از چاه‌های نفتی بر اثر برداشت ازآن‌ها در پی دارد سبب شده است که راه‌هایی جهت کنترل حرکت شن‌هایی که در نزدیکی چاه هستند ارائه گردد. در این تحقیق با دو روش مختلف، شن بدست آمده از مخازن نفتی سیمان بندی شد و در هر روش نمونه هایی از شن سیمان بندی شده جهت انجام آزمایشها تهیه گردید. با مطالعه منابع و بررسی آنها، رزین‌های مناسب به منظور ماده جامد ساز در این تحقیق انتخاب شدند و پس از تهیه رزین ها، مراحل لازم جهت ساخت نمونه‌ها انجام گرفت. جهت این امر ابتدا قالب جهت ساخت نمونه با استفاده از لوله پولیکا تهیه شد. سپس دو رزین جهت عمل جامد سازی انتخاب شدند و ساختن نمونه‌ها بدین صورت انجام گرفت که ابتدا مقدار مشخصی شن به درون یک قالب ریخته شد و به صورت یک بستر شنی (sand pack) در آمد، سپس رزین، حلال و هاردنر با هم مخلوط شد و این مخلوط به بستر شنی اضافه گردید. در این روش درصدهای مختلفی از رزین و حلال جهت عمل جامد سازی شن مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت میزان تراوایی، درصد تخلخل و مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده بر اساس روش‌های استاندارد موجود اندازه گیری شد. نتایج حاصل نشان داد که نمونه‌های ساخته شده از نظر میزان تراوایی، درصد تخلخل و مقاومت فشاری از کیفیت مطلوبی برخوردار هستند.

کلمات کلیدی: حلال، جامدسازی، رزین، تخلخل، تراوایی، مقاومت فشاری

۱- مقدمه

مشکلاتی که مهاجرت شن در اثر تولید از چاه‌های نفتی و برداشت از آن در پی دارد سبب شده است که راه‌هایی جهت کنترل شن‌هایی که در نزدیکی چاه هستند ارائه گردد. تولید شن یک مشکل اجرایی جدی تلقی می‌شود. در بعضی شرایط برای عاملان اجرایی اقتصادی تر است که فقط با این مشکل کنار بیایند. در این شرایط، عاملان اجرایی باید با مشکلات و مسایل مربوط به فرسایش، همچنین، متوقف شدن تولید و فرو ریختن ناگهانی دهانه چاه، دست و پنجه نرم کنند. در نتیجه در اغلب اوقات روش‌هایی جهت کنترل شن، مورد نیاز است[۱].

فرایندهای طبیعی قادر به ایجاد به همپیوستگی بین سنگها و رسوبات مواد معدنی نیستند و اکثر ترکیبات هیدروکربنی اغلب اوقات در سنگهای نه چندان محکم، یافت می‌شوند. تولید شن در مخازن نفتی باعث کاهش سرعت جریان سیال و در نهایت باعث

کاهش تولید نفت می‌شود. هنگامی که تشکیلات زیر زمینی از چند منطقه با لایه‌های شنی نا مناسب تشکیل شده باشند، آنگاه به دست آوردن سیالاتی مانند گاز یا نفت طبیعی از تشکیلات زیر زمینی غالباً با مشکل مواجه می‌شود[۲]. ذرات کوچک شن، می‌توانند به صورت توده‌های بزرگ پر خلل و فرجی در اطراف دهانه چاه تشکیل شوند و دهانه را مسدود کنند و در نتیجه از تولید مایعات و سیالات بیشتری توسط آن چاه جلوگیری نمایند.

یکی دیگر از نتایج مضر حرکت و انتقال ذرات شن از دهانه چاه به این اصل مربوط است که شن‌های ریز در طول لوله ها، پمپ‌ها یا دیگر تجهیزات سطحی که برای به دست آوردن سیالات از آن‌ها استفاده می‌شود، حرکت می‌کنند. این ذرات شن بسیار ساینده هستند و موجب فرسایش و خرابی سریع پمپ‌ها و دیگر تجهیزات مکانیکی متصل به آنها می‌شوند[۳] فرایند جامد سازی شن از سال‌ها قبل مورد توجه محققان قرار گرفته است. برای مثال در روشی که شامل یک فرایند چند مرحله‌ای بود عملیات جامدسازی شن مورد بررسی قرار گرفت. در این روش، مواد، که یک محلول آبی سیلیکات و نفت خام می‌باشند به ترتیب به محل مورد نظر تزریق می‌شوند [۴].

این روش باعث می‌شود که ذرات نرم شن بی حرکت بمانند و با تشکیل یک بستر شنی از مهاجرت شن‌ها به چاه‌های دیگر جلوگیری به عمل می‌آید. به جای سیلیکات می‌توان از نمک‌های موادی که خاصیت قلیایی دارند نیز استفاده کرد، از آن جمله می‌توان کلرید کلسیم و نمکهای اسیدی آهن را ذکر کرد.

در تحقیقی دیگر [۵]. روشی توضیح داده می‌شود که برای تبدیل شن‌های سفت نشده به شکل جامد و نفوذ پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عمل به وسیله مقداری هیدروکسید کلسیم آبدار که به ذرات شن تزریق می‌شود قابل انجام می‌باشد. در این روش، باید هیدروکسید کلسیم آبدار با هیدروکسید سدیم و محلولی از کلرید کلسیم ترکیب شود.

در روشی دیگر جامد سازی شن شامل تزریق یک محلول آبدار از سیلیکات فلز قلیایی و محلول‌هایی از نمکهای کلسیم مثل هیدرات یا کلرید کلسیم یا کلسیم کلریت می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که استفاده از دو محلول در یک زمان باعث سیمان بندی بهتر شن در مدت کمتری می‌شود[۶].

در بعضی از تحقیقات[۷] عمل سیمان بندی شن، به ترتیب، با تزریق محلول‌های آبی سیلیکات و محلول‌های الکلی نمکهای کلسیم به نزدیکی دهانه پائینی چاه نشان داده شده است.

فرایند دیگری که برای جامد سازی شن در چاه‌های نفت پیشنهاد شده شامل تزریق اولیگومر الکل فورفوریل می‌باشد که یک کاتالیزگر آبی است و در آن یک نمک اسیدی، ترجیحاً زیرکونیل کلراید، حل شده است. پس از این که نمک تزریق شد، بر روی ذرات شن جذب می‌شود و در مرحله بعد، مایع رزین تزریق می‌گردد وعمل پلیمریزاسیون رخ می‌دهد. این فرایند جامدسازی، بسیار وقت گیر و پر هزینه است[۸].

در روش دیگری از الکل فورفوریل و یک حلال قطبی آلی مثل متانول به عنوان مادهٔ رقیق کننده و یک کاتالیزگر اسیدی پایدار، قوی و غیر فرار استفاده می‌کنند. همچنین در این روش از یک استر مثل اتیل یا بوتیل استات نیز استفاده می‌شود[۹].

در بسیاری از تحقیقات، روش تثبیت شن در محل با استفاده از اکسایش، به عنوان یک روش مناسب یاد شده است (Marx, 1994). در این تحقیقات از واکنش اکسایش برای تولید رسوب جامد زغال سنگ مانندی که دانه‌های شن را به هم می‌چسباند، استفاده می‌شود. این واکنش اکسایش ممکن است همراه با اشتعال بعد از اکسایش یا اشتعال به صورت معکوس باشد و یا با اکسایش دمای پایین همراه باشد[۱۰].

مواد هیدروکربنی استفاده شده می‌توانند، نفت خام طبیعی، قیر طبیعی، مایع زغال سنگی، مایع اشتعال زا و یا مواد کربو هیدراتی باشند. دمای واکنش برای اکسایش حدوداً ۲۰۵ الی ۳۱۵ سلسیوس است. در بسیاری از روش‌ها، از نفت خام یا قیر طبیعی خیلی سنگین برای تثبیت شن استفاده می‌شود و دمای اکسایش نیز بسیار بالاست، به همین علت استفاده از این روش‌ها امکان پذیر و عملی نیست. یکی از روش‌های منحصر به فرد تثبیت سازی شن، استفاده از نفت طبیعی سبک تر و دمای اکسایش پایینتر است. در این روش، شن تثبیت شده‌ای تولید می‌شود که دارای استحکام بالا و ثبات عالی در برابر سیالات می‌باشد.

روش احتراق داخلی شامل اکسایش قیر طبیعی یا نفت طبیعی آغشته به قیر در دمای پایین است. این اکسایش زمانی رخ می‌دهد که نفت طبیعی آغشته به قیر در تماس گازهای حاوی اکسیژن و

بخار (مثل هوا) قرار گیرد. مرحله مربوط به اشباع شن توسط نفت طبیعی آغشته به قیر با استفاده از حرارت دادن شن و نفت آغشته به قیر انجام می‌شود، به این نحو که شن و نفت آغشته به قیر تا دمایی بالاتر از ۲۰۰ درجه فارنهایت و ترجیحاً حدود ۳۰۰ درجه فارنهایت حرارت می‌بینند. ممکن است به جای قیر از حلال مناسبی برای ترکیب شدن با نفت خام طبیعی استفاده شود.

روش دیگری نیز وجود دارد که شامل تشکیل یک محلول حاوی نفت خام آغشته به قیر در آب است که به درون شن و ماسه‌ها تزریق می‌شود و بعد از آن نیز از یک اسید برای تجزیه ذرات موجود در آب و شکستن پیوندهای آن استفاده می‌گردد. پس از انجام این مرحله آب از شن جدا می‌شود و نفت خام آغشته به قیر را برروی ذرات شن باقی می‌گذارد. سپس نفت طبیعی آغشته به قیر به مدت ۱ الی ۲۰ ساعت در تماس با ترکیبی از بخار و هوا به نسبت ۰/۲ و ۰/۵ فوت مکعب استاندارد در هر پوند قرار می‌گیرد تا منجر به بروز اکسایش کنترل شده‌ای با دمای پایین شود. این اکسایش باعث ته نشین شدن مواد جامد کربن دار بر روی ذرات شن می‌شود، و در نتیجه در اثر وجود جامدات کربن‌دار، ذرات شن به هم می‌چسبند و ماده صخره مانند نفوذپذیری را تشکیل می‌دهند. با پیشرفت علم و با بررسی‌هایی که بر روی مواد جامد ساز انجام گرفت، محققان به خاصیت جامد سازی خوب رزین‌ها پی بردند. رزین‌ها بطور کلی پلیمرهایی هستند که معمولا مایع می‌باشند ولی می‌توانند به جامد تبدیل شوند. این جامدات می‌توانند خواص گرمانرم و یا گرماسخت را داشته باشند. این رزین‌ها در صنایع رنگ، قالب‌سازی، ریخته‌گری، فایبرگلاس، چوب و غیره کاربرد دارند. در این تحقیق با دو روش مختلف، شن بدست آمده از مخازن نفتی میدان‌های منصوری و اهواز سیمان‌بندی شد و در هر روش نمونه‌هایی از شن سیمان‌بندی شده جهت انجام آزمایش‌ها تهیه گردید. ابتدا با مطالعه منابع و بررسی آنها، رزین‌های مناسب به منظور ماده جامد ساز در این تحقیق انتخاب شدند و پس از تهیه رزین‌ها، مراحل لازم جهت ساخت نمونه‌ها انجام گرفت. جهت این امر ابتدا قالب جهت ساخت نمونه با استفاده از لوله پولیکا ساخته شد. در روش اول با مخلوط کردن انواع رزین‌های تهیه شده با درصدهای مختلف شن، نمونه‌های سیمان‌بندی شده تهیه گردید. در روش دوم دو رزین بهینه از روش اول، جهت عمل جامدسازی انتخاب شدند. به منظور نزدیکتر شدن با شرایط واقعی تزریق در صنعت، ساختن نمونه‌ها بدین صورت انجام گرفت که ابتدا مقدار مشخصی شن به درون یک قالب ریخته شد و به صورت یک بستر شنی[1] در آمد، سپس رزین، حلال و هاردنر با هم مخلوط و به بستر شنی اضافه شدند. در این روش، درصدهای مختلفی از رزین و حلال جهت عمل جامد سازی مقدار مشخصی از شن مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، میزان تراوایی، درصد تخلخل و مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده بر اساس روش‌های استاندارد موجود اندازه گیری شد.

۲- عملیات جامدسازی

جامدسازی شن یک اصطلاح معروف است که به فرایندهایی اطلاق می‌شود که معمولاً در تولید نفت خام به کار برده می‌شوند. با استفاده از این فرایندها مشکلاتی که معمولاً به "تولید شن جامد نشده" در چاه‌های نفت معروف است، کاهش می‌یابند. هنگامی که چاه‌های نفت حاوی موادی مثل شن، ماسه و سنگریزه باشند، تولید نفت از این چاه‌ها بسیار مشکل و پر هزینه خواهد بود. گاهی گفته می‌شود که چاهی پر از شن شده است، این گفته بدین معناست که قسمت پایینی چاه با شن پر شده است. این مشکل که باعث پمپ شدن شن همراه با نفت به بالای چاه می‌شود، باعث فرسایش سریع قطعات قسمت‌های مکانیکی چاه نفت می‌گردد. تولید مداوم شن گاهی حفرهایی در چاه تولید می‌کند که باعث فرو ریختن و خراب شدن چاه می‌شود.

مشکلات شرح داده شده در بالا و راه حل‌های بالقوه موجود برای این مشکل‌ها موضوع تحقیق جامعی است که توسط محققان در صنایع نفت انجام گرفته است، بدین امید که روش‌ها وتکنیک‌هایی را توسعه دهند که حرکت ذرات شن به داخل چاه را به حداقل برساند یا آن را برطرف سازد. یکی از این روش‌های کلی، رسیدگی کردن به توده‌های شن جامد نشده و نفوذ پذیر در اطراف دهانه چاه است. برای این منظور دانه‌های آزاد شن به هم سیمان بندی می‌شوند و بدین طریق یک توده شنی جامد شده و نفوذ پذیر را تشکیل می‌دهند که مانع حرکت ذرات شن همراه با نفت به داخل دهانه چاه خواهد شد. هدف اولیه و اصلی هر یک از روش‌های عملی و کاربردی جامد سازی شن این است که مانعی را در اطراف دهانه پایینی چاه

1. Sand Pack

تشکیل دهند که از حرکت ذرات شن به داخل چاه جلوگیری کنند در حالی که محدودیتی برای انتقال نفت به داخل دهانه چاه ایجاد نکند و یا در صورت امکان این محدودیت، کم باشد به گونه‌ای که بتوان نفت را به سطح زمین پمپ کرد.

یکی دیگر از ویژگی‌های بسیار مهم یک روش جامد سازی خوب و قابل قبول، دوام و مقاومت مانع نفوذ پذیر تشکیل شده در اطراف دهانه پایینی چاه است. هنگامی که مانع تشکیل می‌شود و چاه شروع به تولید می‌کند بایستی نفت به راحتی از درون این مانع عبور کند و مهم است که این مانع برای یک دورهٔ زمانی طولانی چندین ساله بدون هیچ گونه خوردگی، فرسایش و یا خراب شدگی ماتریس جامد سازی شده دوام داشته باشد.

کنترل تولید شن در تولید نفت در مخازن ماسه‌ای یکی از مهمترین کارهایی است که باید مد نظر قرار بگیرد. روشهای کنترل مهاجرت شن از لایه‌های نه چندان محکم زمین اغلب به دو دسته شیمیایی و مکانیکی تقسیم می‌شوند. روش‌های مکانیکی شامل انواع صافی‌هایی است که در نزدیکی دهانه پائینی چاه در مسیر جریان شن‌ها قرار داده می‌شوند و باعث جلوگیری از حرکت خرده سنگها به داخل چاه می‌شوند. این روش در گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفت اما عیب اساسی این روش این بود که باعث مسدود شدن خط لوله و خوردگی می‌شد. روش‌های شیمیایی معمولاً شامل تزریق رزین‌های مایع به سنگ‌های نه چندان محکم در نزدیکی دهانه چاه می‌باشند که باعث عمل جامد سازی می‌شوند. در این روش‌ها رزین، حلال، هاردنر و شن با هم ترکیب می‌شوند و به صورت یک توده نفوذ پذیر و در عین حال محکم در می‌آیند.

یکی از روشهایی که امروزه جهت جلوگیری از مهاجرت شن و ماسه در مخازن نفتی، توسعه یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرد، جامد سازی شن‌ها با استفاده از رزین است. استفاده از رزین به منظور جامد سازی شن می‌تواند به دو صورت به شرح زیر عملی گردد:

الف- رزین، هاردنر وحلال به صورت مجزا از یکدیگر به درون چاه تزریق می‌شوند و تا زمانی که هاردنر تزریق نشده است عمل پخت و یا سخت شدن صورت نمی‌گیرد.

ب- رزین، هاردنر و حلال در سطح چاه با یکدیگر مخلوط شده و سپس به درون چاه تزریق می‌شوند.

خصوصیاتی که یک رزین در هنگام فرایند جامد سازی باید داشته باشد عبارتند از:

۱- حداقل مدت آماده سازی را در محل چاه داشته باشد.

۲- فشار تزریق پایین باشد، به عبارت دیگر، گرانروی پایین داشته باشد.

۳- تراوایی آن بالا باشد.

۴- مقاومت خوبی از نقطه نظر واکنش در برابر سیالاتی که در چاه استفاده می‌شود داشته باشد.

۳- روش اول

با توجه به هدف اصلی این روش که انتخاب یک رزین مناسب جهت جامد سازی شن بود، نمونه‌های متعددی با مخلوط کردن رزین‌های مختلف با شن تهیه گردید.

به عنوان مثال، ساخت یک ترکیب ۱۰ درصد شن با رزین اپوکسی ML503 در زیر شرح داده می‌شود:

با استفاده از یک ترازو با مارک DHAUS (مدل ۰۷۷۰۴۸۰۰۲۰۸، ساخته شدهٔ کشور آمریکا) مقدار ۱۰ گرم شن و ۹۰ گرم رزین اپوکسی ML503 را وزن می‌کنند و سپس شن را به رزین اضافه کرده به وسیله یک همزن شیشه ای مخلوط را بهم می‌زنند تا کاملا نمونه یکنواخت شود. سپس ۹ گرم هاردنرHA0012 را وزن می‌کنند (۱۰ درصد رزین مصرفی) و به مخلوط رزین و شن اضافه می‌نمایند و مجددا آن را به هم می‌زنند تا هاردنر در همه جای مخلوط پخش گردد. در نهایت، مخلوط نهایی را به درون قالب اضافه می‌کنند تا سخت گردد. در این روش با استفاده از رزین‌های مختلف (رزین فنول فرمالدهید اصلاح شده، رزین اپوکسی ML503، رزین اپوکسی ML506) به همان صورتی که در بالا توضیح داده شد، نمونه‌هایی ساخته شد. پس از اینکه نمونه‌ها در قالب‌ها خشک شدند آنها را از قالب‌ها جدا می‌کنند. جهت اینکار پوسته قالب حاوی نمونه را بوسیله فرز برش می‌دهند تا پوسته به دو نیم شود و نمونه خارج گردد.

پس از آماده سازی نمونه‌ها آزمایشهای تعیین مقدار تراوایی، درصد تخلخل و مقاومت فشاری بر اساس روشهای استاندارد موجود بر روی آن‌ها انجام گرفت. نتایج حاصل از این روش در قسمت‌های بعد آمده است.

۴- روش دوم

با توجه به آسانتر بودن تزریق مخلوط رزین، حلال و هاردنر در بدنه

مخزن از طریق چاه، در روش دوم به جای مخلوط کردن رزین وشن در یک ظرف، مقرر گردید مخلوط رزین، حلال و هاردنر به یک بستر شنی اضافه شوند تا در بستر نفوذ کرده و باعث جامد سازی آن گردند.

در این روش با توجه به نتایج کیفی روش اول دو رزین اپوکسی ML503 و فنول فرمالدهید CF306 جهت عمل جامد سازی شن انتخاب شدند، که نحوهٔ ساخت یک نمونه با رزین اپوکسی۵۰۳ ML شرح داده می‌شود:

ابتدا با استفاده از یک ترازو با مارک DHAUS (مدل ۰۷۷۰۴۸۰۰۲۰۸،ساخته شده کشور آمریکا) مقدار ۷۰ گرم شن را وزن کرده و سپس شن را به درون قالب ساخته شده ریخته و چند بار محکم تکان می‌دهند تا شن‌های درون قالب کاملاً محکم شوند و یک بستر شنی تشکیل دهند. سپس در ظرف دیگری رزین را به حلال اضافه کرده و به وسیله یک همزن شیشه‌ای مخلوط را بهم می‌زنند تا کاملاً یکنواخت شود. آنگاه مقدار لازم از هاردنر HA0012 را نیز وزن می‌کنند (۱۰ درصد رزین مصرفی) و به مخلوط رزین و حلال اضافه می‌نمایند و مجدداً به هم می‌زنند تا هاردنر در همه جای مخلوط پخش گردد .

حال محلول آماده شده را به درون بستر شنی می‌ریزند تا در عین عبور از آن، عمل جامد سازی انجام گیرد. در این روش، مخلوط رزین وحلال پس از ریخته شدن در بستر شنی از داخل آن عبور می‌کند و از ته لوله خارج می‌شود. پس از عمل جامد سازی، نمونه‌های مورد نظر به دست می‌آیند. در این روش، مقدار شن همیشه ۷۰ گرم، مقدار رزین بین ۱۰۰ گرم تا ۵۰ گرم و مقدار حلال ۱۰۰ گرم تا ۵۰ گرم است. مقدار هاردنر همیشه به اندازه ۱۰ درصد مقدار رزین مصرفی خواهد بود.

در نهایت پس از اضافه کردن رزین به بستر شنی، مشاهده شد که با استفاده از رزین فنول فرمالدهید CF306 عمل جامد سازی به خوبی صورت نمی‌گیرد. نتایج حاصل از این روش به وسیله رزین اپوکسی ۵۰۳ ML در قسمت‌های بعد آمده است.

۵- طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری تراوایی مطلق

به منظور اندازه گیری تراوایی مطلق نمونه‌های جامدسازی شده، یک دستگاه آزمایشگاهی طراحی وساخته شد. این دستگاه شامل قسمتهای زیر است:

الف - بدنه اصلی آن از یک لوله به قطر داخلی ۲۸ میلی متر و طول ۳۰ سانتی متر از جنس فولاد ضد زنگ ۳۱۶ ساخته شده است که می‌تواند فشار تا ۴۰۰ بار را تحمل نماید.

ب- دو عدد فشار سنج عقربه ای با دقت ۲ پوند بر اینچ مربع که جهت تعیین فشار ورودی و خروجی از سیستم به کار می‌روند.

ج - یک عدد پمپ آب سانتریفوژ (مدل E-7 نوع ۱۰۲، ساخت کشور انگلستان) جهت پمپاژ آب ورودی به دستگاه.

د- لوله و اتصالات مورد لزوم تماما از جنس فولاد ضد زنگ۳۱۶ با مقاومت ۳۰۰۰ پوند بر اینچ مربع هستند.

هـ - یک عدد لوله تفلون سفید به قطر خارجی ۲۷/۹ میلیمترو طول ۳۰ سانتی متر جهت قرار دادن نمونه در داخل دستگاه ۱۰ سانتی متر از طول این لوله دارای سوراخی به قطر ۲۱/۵ میلی متر و ۲۰ سانتیمترباقی مانده دارای سوراخی به قطر ۵ میلی متر جهت خروج آب می‌باشد. لازم به ذکر است که نمونه‌ها در قسمت ۱۰ سانتی متری لوله قرار می‌گیرند.

۵-۱ قانون دارسی

با استفاده از دستگاه آزمایشگاهی ساخته شده و به کارگیری قانون دارسی می‌توان تراوایی مطلق را از رابطه زیر به دست آورد:

$$Q = K A \Delta p / \mu L \rightarrow K = Q \mu L / A \Delta p \rightarrow K = V \mu L / t A \Delta p \quad (۱-۴)$$

۶- اندازه‌گیری مقدار تخلخل‌پذیری نمونه‌ها

برای اندازه گیری مقدار تخلخل پذیری نمونه‌های مورد آزمایش، مراحل زیر انجام شد:

۱- حجم نمونه مورد آزمایش، را با اندازه گیری دقیق طول و قطر آن تعیین گردید (V).

۲- به تعداد نمونه‌های مورد آزمایش، استوانه مدرج تهیه شد و نمونه‌ها در ته استوانه‌ها جای داده شدند به طوری که بین نمونه ودیواره استوانه فاصله‌ای نباشد.

۳- سپس استوانه مدرج ونمونه داخل آن توزین شدند (W1).

۴- استوانه‌های مدرج را پر از آب می‌کنند به طوری که آب کاملاً روی نمونه‌ها را بپوشاند.

۵- پس از گذشت ۷۲ ساعت، آب روی نمونه‌ها را خالی کرده و دوباره استوانه‌های مدرج و نمونه‌های داخل آنها را وزن می‌کنند (W2).

۶- حال با استفاده از رابطه زیر میزان تخلخل‌پذیری هر نمونه به دست می‌آید:

میزان تخلخل پذیری = $(W2 - W1) / V \rho$

که ρ در این رابطه چگالی آب است.

۷- اندازه‌گیری مقدار مقاومت فشاری نمونه ها

پس از انجام آزمایش‌های مربوط به تعیین مقدار تراوایی و مقدار تخلخل پذیری نمونه ها، مقاومت فشاری آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله از دو دستگاه جهت تعیین مقدار مقاومت فشاری نمونه‌ها استفاده شد.

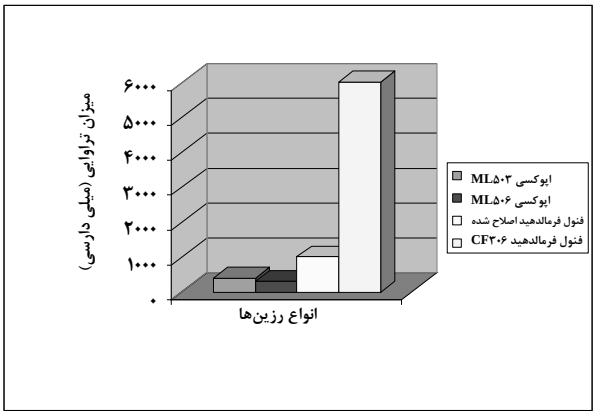
اولین دستگاه شامل یک پرس پنج تن با مارک Instron (مدل TT-CM-L) است که ساخت کشور انگلستان است و به وسیله آن مقدار مقاومت فشاری نمونه‌های روش اول مشخص گردید.

دومین دستگاه نیز شامل یک پرس است. این دستگاه نیز ساخت کشور انگلستان با مارک Universal (مدل DNG) است که می‌تواند هم مقاومت کششی و هم مقاومت فشاری را اندازه گیری کند. ظرفیت اسمی این دستگاه ۵۰ تن است ولی در واقع تا ۲۲ تن را به درستی نشان می‌دهد.

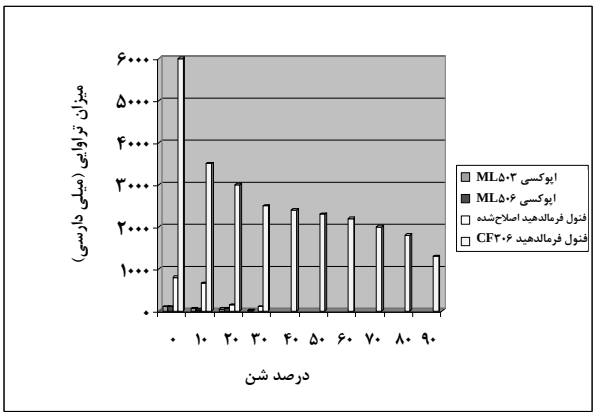
نمونه‌های ساخته شده به روش‌های توضیح داده شده در قسمت‌های قبل، از نقطه نظر مقدار مقاومت فشاری، توسط دستگاه‌های فوق مورد آزمایش قرار گرفتند.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

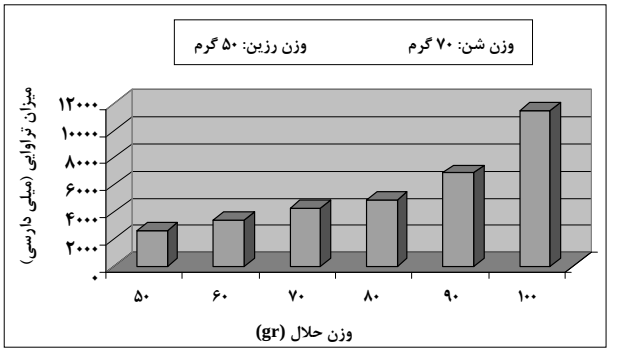
میزان تراوایی نمونه‌های ساخته شده در روش اول با انواع رزین‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که رزین CF306 نسبت به دیگر رزین‌های انتخابی به منظور ماده جامد ساز از تراوایی بسیار بالاتری برخورداراست. از آنجا که مقادیر قابل قبول تراوایی در چاههای نفت بالاتر از ۱۰۰ میلی دارسی می‌باشد، نمونه‌های ساخته شده در این روش از نتایج قابل قبولی برخوردار می‌باشند. همچنین شکل (۲) نشان می‌دهد که برای رزین‌های مختلف، با افزایش میزان شن، تراوایی نمونه‌ها کمتر می‌شود.



شکل ۱- مقایسه میزان تراوایی انواع مختلف رزین خالص



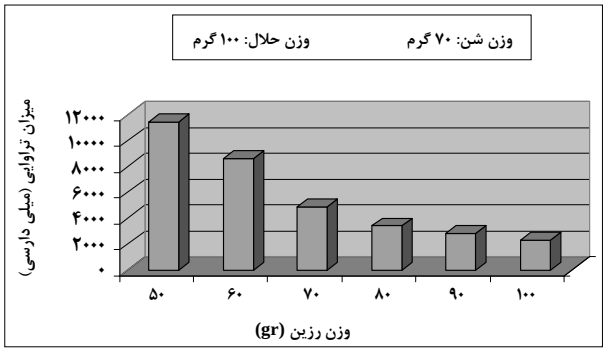
شکل ۲- تغییرات تراوایی نمونه‌ها در روش اول با استفاده از رزین‌های مختلف



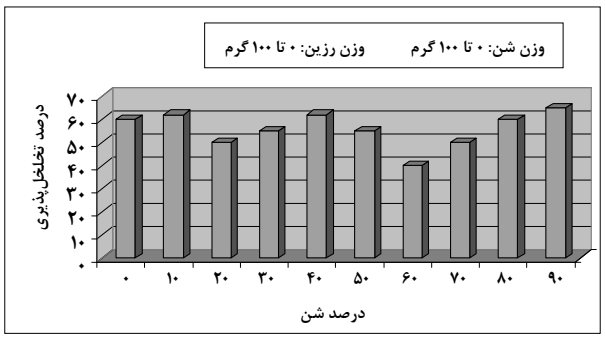
شکل ۳- تغییرات تراوایی نمونه‌ها در روش دوم با استفاده از رزین ML-503

از لحاظ درصد تخلخل پذیری بر اساس ارقام نشان داده شده در شکل (۵) نمونه‌های ساخته شده با رزین CF306، دارای ۴۰ تا ۶۵٪

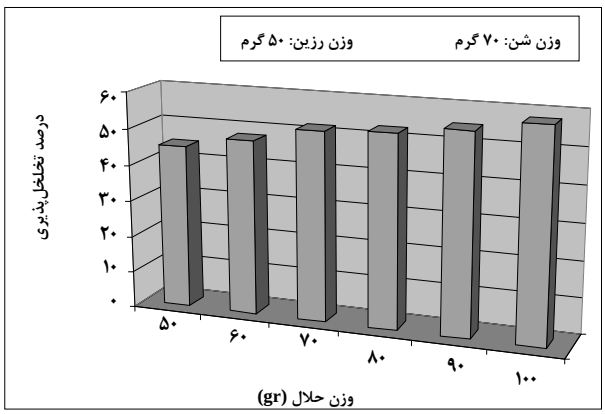
تخلخل پذیری هستند. از آنجا که مقادیر قابل قبول درصد تخلخل پذیری در چاههای نفت بالاتر از ۴/۵٪ می‌باشد نمونه‌های ساخته شده در این روش از نتایج قابل قبولی برخوردارند.



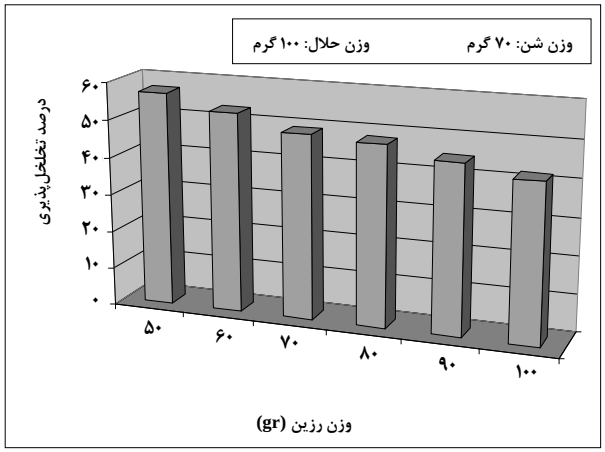
شکل ۴- تغییرات تراوایی نمونه‌ها در روش دوم با استفاده از رزین ML-503



شکل ۵- تغییرات تخلخل پذیری نمونه‌ها در روش اول با استفاده از رزین CF306

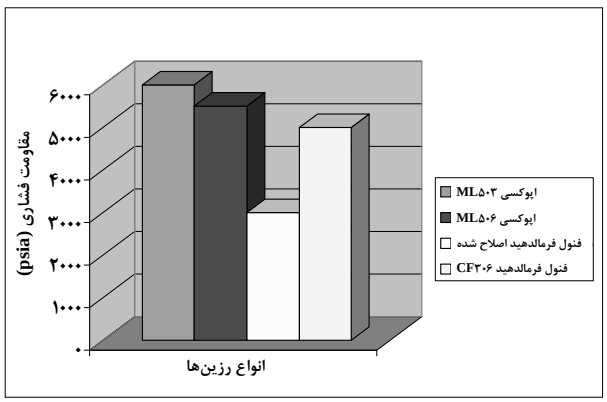


شکل ۶- تغییرات تخلخل پذیری نمونه‌ها در روش دوم با استفاده از رزین ML-503



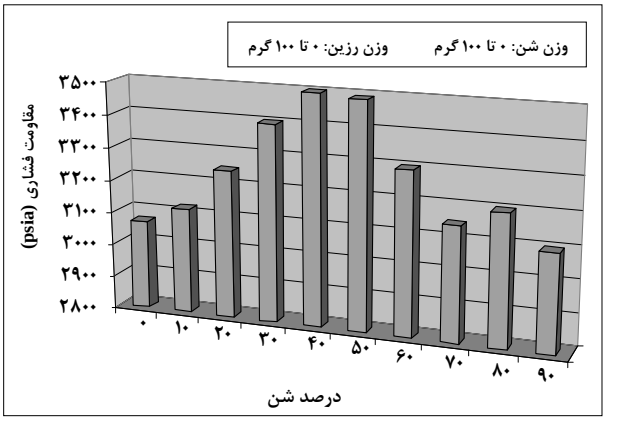
شکل ۷- تغییرات تخلخل پذیری نمونه‌ها در روش دوم با استفاده از رزین ML-503

همچنین نتایج حاصل از شکل‌های (۸) و (۹) نشان می‌دهند که نمونه‌های ساخته شده دراین روش با رزین CF306 دارای مقاومت فشاری ۳۰۷۰ تا (psia) ۳۵۰۰ هستند و از آنجا که مقادیر قابل قبول مقاومت فشاری در چاههای نفت باید بالاتر از (psia) ۱۰۰۰ باشد، در نهایت در این روش، نمونه‌های ساخته شده با رزین CF306 در مقایسه با دیگر رزین‌ها دارای نتایج بهتری بودند.

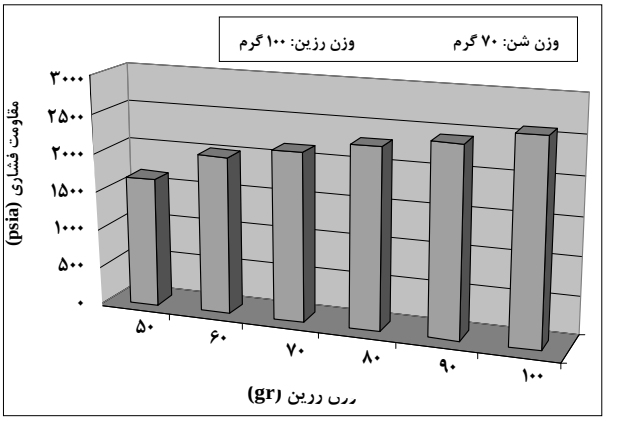


شکل ۸- مقایسه میزان مقاومت فشاری انواع مختلف رزین خالص

در روش دوم پس از انجام آزمایشها با رزین ML503، با توجه به شکل (۴) مشاهده گردید که نمونه‌های ساخته شده در این روش از مقدار تراوایی ۲۲۹۵ میلی دارسی تا ۱۱۴۷۸ میلی دارسی برخوردار هستند و هر چه مقدار رزین در ساخت نمونه کمتر شود، مقدار تراوایی بیشتر می‌شود. همچنین شکل (۳) نشان می‌دهد که هر چه مقدار حلال بیشتر شود مقدار تراوایی نیز بیشتر خواهد شد.



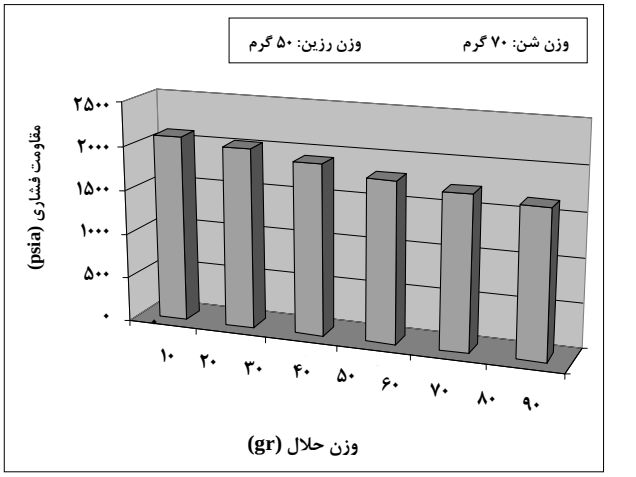
شکل ۹- تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها در روش اول با استفاده از رزین CF306



شکل ۱۱- تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها در روش دوم با استفاده از رزین ML-503

شکل (۷) نتایج تخلخل پذیری نمونه‌های ساخته شده به روش دوم را نشان می‌دهد. چنانچه از ارقام داده شده بر روی این شکل بر می‌آید نمونه‌های ساخته شده دارای ۴۲٪ تا ۵۷٪ تخلخل پذیری می‌باشند و هر چه مقدار رزین در آن‌ها کمتر شود مقدار تخلخل پذیری آن‌ها بیشتر خواهد شد، علاوه بر آن، شکل (۶) نشان می‌دهد که هر چه مقدار حلال مورد استفاده جهت ساخت نمونه‌ها بیشتر شود مقدار تخلخل پذیری نمونه‌ها نیز بیشتر می‌شود.

در ضمن نتایج حاصل از شکل‌های (۱۰) و (۱۱) در مورد تعیین مقاومت فشاری نشان می‌دهند که نمونه‌ها دارای مقاومت فشاری ۱۶۶۸ تا (psia)۲۶۱۱ می‌باشند و هر چه مقدار رزین مورد استفاده بیشتر و مقدار حلال مورد استفاده کمتر شود مقدار مقاومت فشاری بیشتر می‌شود.



شکل ۱۰- تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها در روش دوم با استفاده از رزین ML-503

بنابراین نمونه‌های ساخته شده به روش دوم از نتایج قابل قبولی از نظر میزان تراوایی، درصد تخلخل پذیری و مقاومت فشاری برخوردار هستند. در نهایت، در روش دوم، مخلوط ۱۰۰ گرم حلال و ۵۰ گرم رزین، بهترین نتایج را برای نمونه‌های ساخته شده ارائه می‌دهد.

مراجع

[1] SHU, P., US Pat.5362318, Mobil Oil Corporation, (1994).

[2] Nouri, A. Vaziri, H., Belhaj, H., Islam, R., "Effect of volumetric failure on sand Production in oil-wellbore", SPE Paper 84448 Presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition Jakarta, Indonesia, (2003).

[3] Nouri, A. Vaziri, H., Belhaj, H., Islam, R., "Comprehensive transient modeling of sand Production in horizontal wellbores", SPE Paper 84500 Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition Denver, Colorado, (2003).

[4] Dees, J.M., US Pat.5178218, Oryx Energy Company, (1993).

[5] Dees, J.M., US Pat.5101900, Oryx Energy Company, (1992).

[6] Hugh, J.A., Ramos, J., "Guidelines to sand control. Report", Halliburton Services from Halliburton Co., (1995).

[7] Tronvoll, J., Dusseault, M.B., Sanfilippo, F., Santarelli, F.J., "The tools of sand Management, SPE Paper 71673 Presented at the 2001 SPE Annual Technical Conference And Exhibition New Orleans, Louisiana, (2001).

[8] Abass, H.H, Nasr-El-Din, H.A., BaTaweel, M.H., "Sand control: sand characterization, Failure mechanisms, and completion methods", SPE Paper 77686 Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition San Antonio, Texas, (2002).

[9] O'Brian S.M., 1966. Carbohydrate sand consolidation. U.S. Patent No. 3,388,743 (July 1966).

[10] Morita, N., Boyd, P.A., "Typical sand production problems: case studies and strategies For sand control", SPE Paper 22739 Presented at the 66th Annual Technical Conference And Exhibition of the Society of Petroleum Engineers Dallas, Texas, (1991).

[11] Mohamed A. Aggour, Sidqi A. Abu-Khamsin and El-Sayed A. Osman., "Investigation of in-situ low-temperature oxidation as a viable sand consolidation technique", Journal of Petroleum Science & Engineering, 42 (2004) 107-120.

[12] Osmsn, E.A., Aggour, M.A. and Abu-Khamsin, S.A., 2000. In-situ sand consolidation by low- temperature oxidation. SPE Production & Facilities 15 1, pp. 42–49.

[13] Geilikman, M.B., Dusseault, M.B., Dullien, F.A., "Sand production as a viscoplastic. Granular flow", SPE Paper 27343 Presented at the International Symposium on Formation Damage Control Lafayette, Louisiana, (1994).

[14] Appah, D. "Sand consolidation experience in Niger Delta", IE (I) Journal –CH, Vol. 84, 1, (2003).

[15] Dees, J.M., Begnaud, W.J., Sahar; N.L., US Pat. 5145013, Oryx Energy Company, (1992).

[16] Sain, H.H., "Sand consolidation with a base – catalyzed plastic", API Paper No. 926-7- F Spring Meeting, Southern District, Houston. Tex, (1962).

[17] Jennings, A.R, Sprunt, E. S., Timmer, R.S., US Pat. 5363,917, Mobil Oil Corporation, (1994).

[18] Todd, B., Slabaugh, B.F., Powell, R.J., Yaritz, J.G., US Pat. 6311773, Halliburton Energy Services, Inc., (2001).