

## مروری بر روش‌های بررسی تولید ذرات سازندی (ماسه) به همراه نقد و کاستی آنها

احمد فهیمی فر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ■ مهران کریمی، شرکت نفت و گاز اروندان ■ امین توحیدی\*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

### چکیده

با توجه به تحقیقات گسترده در زمینه‌ی ژئومکانیک نفت در طول سالیان متمادی باید این تحقیقات با دید کلان دسته‌بندی و مرور شوند. در این مقاله ابتدا لیست مشکلات ناشی از تولید ذرات سازندی ارائه می‌شود و سپس با مرور عوامل مؤثر بر تولید ذرات سازندی، با تغییر این عوامل، امکان مدیریت تولید ذرات سازندی فراهم می‌گردد. تحقیقات در زمینه‌ی پیش‌بینی تولید ذرات سازندی به چهار زیردسته‌ی تحلیلی، عددی، آزمایشگاهی و میدانی تقسیم می‌شود و بر مبنای این دسته‌بندی، فرضیات مستتر در هر یک از این روش‌ها بررسی و تحلیل می‌گردد. زیرا استفاده از یک روش در محلی نادرست ممکن است علاوه بر نداشتن نتیجه‌ی مطلوب، منجر به اضافه شدن مشکلات جدیدی گردد. چنان‌که برخی شرکت‌های نفتی به‌علت تجربه‌ی ناخوشایند استفاده از دانش ژئومکانیک، در مقابل کاربرد اصول این دانش مقاومت نشان می‌دهند. در صورتی‌که این دانش بر پایه‌ی اصول ریاضی و مکانیک بنا نهاده شده و استفاده‌ی صحیح از آن منجر به نتایج درست و ملموس می‌گردد.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۷/۱۷

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۱۰/۲۶

### واژگان کلیدی:

تولید ذرات سازندی، تولید ماسه، مرور نقدانه

### مقدمه

مستتر در هر تحقیق تحلیل می‌شود. در پایان نیز روش‌های کنترل تولید ذرات سازندی مرور می‌گردد.

نخستین محلی که تحت تأثیر مشکلات ناشی از تولید ذرات سازندی قرار می‌گیرد چاه و مخزن است. با تولید ذرات سازندی در یک مخزن ممکن است مشکلات زیر رخ دهند [۶]:

- افزایش گرانیروی و چگالی سیال (در اثر اختلاط با ذرات) و در نتیجه صرف انرژی و هزینه‌ی حمل
- هزینه‌ی جداسازی ذرات سازندی از نفت و دفع پسماندهای آلوده
- ته‌نشینی و گرفتگی در ماتریس‌های درون چاهی
- رسوب در دیواره‌ی چاه و در نتیجه گرفتگی و انسداد کامل
- کاهش کارایی چاه‌های تزریقی
- اختلال در خط تولید و کاهش تولید به مرور زمان
- فرسایش و آسیب رسیدن به تجهیزات درون چاهی و سرچاهی
- اختلال در شیرهای کنترل درون چاهی و اختلال در ایمنی
- انسداد خطوط انتقال
- تحمیل هزینه‌های سنگین مربوط به بازسازی چاه و تجهیزات آسیب‌دیده

### ۱- عوامل مؤثر بر تولید ذرات سازندی

به‌طور کلی عواملی که منجر به تولید ذرات سازندی می‌شوند شامل افزایش تولید، افت فشار مخزن، برهم خوردن تعادل تنش در زمین، کاهش سختی در سازند و ایجاد خستگی در سنگ هستند که در ادامه تشریح می‌شوند. بدیهی است که جهت مقابله با تولید ذرات سازندی

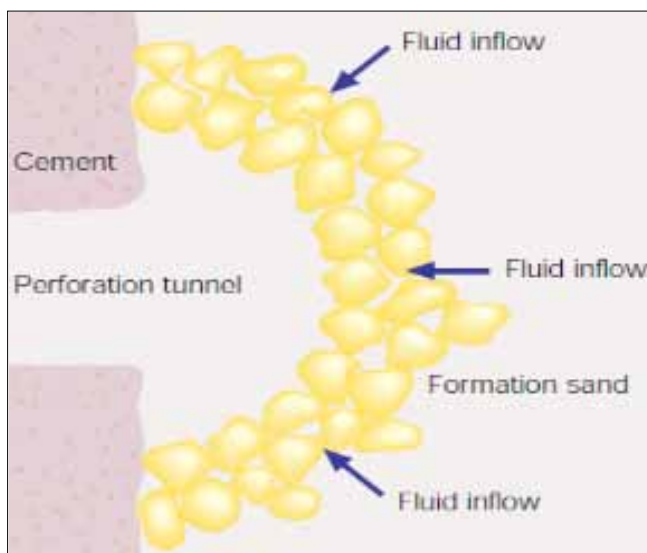
در برخی میداین کشور تولید ماسه گزارش شده است. مثلاً در میداین گازی سرخون و گندلی و میداین نفتی چشمه‌خوش [۱ و ۲]. در واحدهای بهره‌برداری درود-۱ و ابودر نیز مشکل تولید شن گزارش شده است. برخی چاه‌های میداین دارخوین و منصوری اهواز نیز ذرات سازندی تولید می‌کنند. اخیراً نیز مشکل تولید ماسه در میداین حوزه‌ی دریای خزر بررسی شده است [۳-۵].

مشکل تولید ماسه در ادبیات فنی معمولاً در مخازن ماسه‌سنگی با تحکیم‌یافتگی کم اتفاق می‌افتد. مثلاً در مخازن ماسه‌سنگی با سنّ زمین‌شناسی نسبتاً جوان که هنوز فرصت تحکیم و سیمانی شدن بین دانه‌ها فراهم نشده، هنگام خروج سیال به‌دلیل اندرکنش سیال و دانه‌های سنگی امکان جدا شدن دانه‌ها از سازند و ورود آنها به چاه و تأسیسات سطح‌الارضی وجود دارد. باید توجه داشت که تولید ماسه در مخازن ماسه‌سنگی با تحکیم متوسط و خوب نیز با فاصله‌ی زمانی از تولید اولیه اتفاق می‌افتد. به‌طوری‌که هنگام برداشت از مخزن و متعاقب آن تراکم مخزن و تغییر تنش‌ها در اطراف چاه، تولید ماسه آغاز می‌شود. مثلاً میدان سرخوش در سازند بنگستان با مقاومت ماسه‌سنگ متوسط تا خوب ارزیابی شده اما مشکل تولید ماسه دارد. در مخازن کربناته‌ی با شکستگی بسیار زیاد نیز ذرات سازند از سوراخکاری چاه جدا شده و به درون چاه می‌آیند که در این حالت به‌جای عبارت تولید ماسه از تولید ذرات سازندی استفاده می‌شود. البته در این مقاله عبارت کلی تولید ذرات سازندی که هر دو مورد را شامل می‌شود، به کار رفته است.

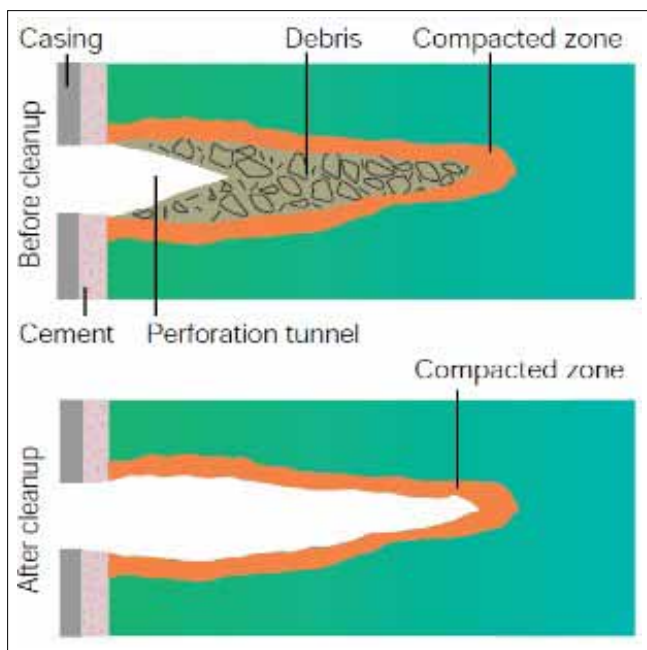
در نوشتار حاضر ابتدا مهم‌ترین فعالیت‌های انجام شده در زمینه‌ی تولید ذرات سازندی در مجامع علمی و صنعتی به‌همراه فرضیات

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (a.tohidi@aut.ac.ir)

این حال تولید آب به چند طریق منجر به تولید ذرات سازندی در چاه می‌گردد؛ اول اینکه منجر به کاهش چسبندگی بین ذرات می‌شود. همچنین ورود جریان آب به داخل مخزن منجر به کاهش فشار موئینگی می‌گردد. لازم به ذکر است که فشار موئینگی فشاری منفی است که طی فرآیند مکش، ذرات را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد. همچنین در طول عمر چاه عملیاتی نظیر تمیزکاری چاه منجر به تولید ذرات سازندی می‌گردند. دوم آنکه وجود آب می‌تواند باعث جدا شدن ذرات از سازند شود. سوم آنکه وجود آب باعث انحلال



شکل ۱ | تاثیر تشکیل قوس اطراف سوراخ‌کاری در تولید ذرات سازندی



شکل ۲ | تاثیر تمیزکاری چاه بر تولید ذرات سازندی [۷]

باید عوامل مؤثر بر آنرا شناخت و آنها را کاهش داد.

### ۱-۱- نرخ برداشت از مخزن

با افزایش نرخ برداشت از مخزن (دبی تولید)، تولید ذرات سازندی افزایش می‌یابد. زیرا در اندرکنش سیال با سنگ، نیروی سیال برای جداسازی ذرات سازندی افزایش می‌یابد [۷].

### ۲-۱- گرانروی سیال

با افزایش گرانروی سیال تولید ذرات سازندی در مخزن نیز افزایش می‌یابد. زیرا سیال با گرانروی بیشتر قابلیت جداسازی ذرات سازندی بیشتری را دارد [۷].

### ۳-۱- اختلاف فشار مخزن با فشار درون چاه

هنگامی که فشار مخزن و فشار درون چاه تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشند سیال نیروی بیشتری به سازند وارد می‌کند و در نتیجه تولید ذرات سازندی افزایش می‌یابد.

### ۴-۱- تغییر شرایط مخزن در طول عمر آن

در سنگ‌هایی که سیمان‌شدگی آنها نسبتاً قوی است عواملی نظیر نوسان تولید، شروع تولید آب، تغییر نسبت حجمی گاز/سیال، کاهش فشار مخزن و نشست مخزن منجر به افزایش تولید ذرات سازندی می‌گردد. مثلاً نوسان نرخ برداشت باعث ناپایداری سوراخ‌کاری اطراف چاه و مانع از تشکیل قوس ذرات در اطراف سوراخ‌کاری چاه می‌گردد. در شکل ۱- پدیده‌ی تشکیل قوس ذرات به عنوان مانعی برای تولید ذرات سازندی نشان داده شده است. بدین صورت که احتمالاً در اطراف سوراخ‌کاری چاه قوسی از ذرات سازندی تشکیل می‌شود که با نوسان نرخ برداشت و تغییر در اختلاف فشار مخزن با فشار درون چاه این قوس از بین می‌رود. مثلاً بسته شدن چاه منجر به از بین رفتن این قوس و تولید ذرات سازندی تا تشکیل قوس جدید در اطراف سوراخ‌های چاه می‌شود [۷]. عواملی دیگری نیز منجر به تولید ذرات سازندی می‌گردند. مثلاً مکانیزم اثر تمیزکاری چاه روی تولید ذرات سازندی در شکل ۲- نشان داده شده است؛ طوری که با خروج ذرات سازندی از داخل سوراخ‌کاری، پشت ناحیه متراکم شده، با خالی شدن اطراف سوراخ، آن محل ناپایدار می‌شود [۷].

### ۵-۱- تولید آب از چاه

کمی کردن اثر تولید آب بر تولید ذرات سازندی مشکل است. با

سازگاری، رفتاری و جریان دارسی، پایداری سوراخ کاری انجام شده در چاه بررسی می‌شود. پس از حل این دستگاه معادلات تنش‌های القایی ایجاد شده در اطراف سوراخ کاری به دست می‌آید و مقایسه‌ی این تنش‌ها با معیارهای گسیختگی، در مورد اینکه آیا در سوراخ کاری اطراف چاه، تنش‌ها از حد گسیختگی مصالح فراتر رفته یا خیر تصمیم گرفته می‌شود. در تولید ذرات سازندی معیارهای گسیختگی به سه مکانیزم گسیختگی برشی، کششی و فرسایشی تقسیم می‌گردد [۹].

## ۲-۲- روش‌های عددی

با توجه به اینکه ماهیت تولید ذرات سازندی شامل جدا شدن دانه‌های سازند و حرکت آنها به سمت داخل چاه است برخی محققان اعتقاد دارند باید از نرم‌افزارهایی که بر اساس مدل سازی دانه‌های مجزا کار می‌کنند استفاده شود. در ادامه به عنوان نمونه، مدل سازی عددی انجام شده‌ای در فضای اجزای مجزا مرور می‌گردد. لازم به ذکر است که بررسی تولید ذرات سازندی با سایر روش‌ها نظیر المان و تفاضل محدود نیز انجام شده است.

## ۲-۲-۱- استفاده از روش عددی المان مجزا برای بررسی اندازه و ضخامت گراول پک در تولید ماسه

طی مطالعه‌ی انجام شده، تأثیر اندازه‌ی گراول پک بر تولید ذرات سازندی به صورت عددی بررسی شده است. با توجه به اینکه در روش المان مجزا برخلاف المان محدود، مدل سازی تغییر شکل‌های بزرگ نظیر جداشدگی ذرات امکان پذیر است برای مسائلی مثل یافتن حجم تولید ذرات سازندی و سرعت ذرات درون چاه می‌توان از آن بهره برد [۱۰].

سیمان‌شدگی بین ذرات می‌گردد. در نهایت وجود آب باعث تغییرات نسبی نفوذپذیری و در نتیجه افت فشار می‌شود که منجر به تولید ذرات سازندی خواهد شد [۶].

## ۱-۶- رژیم جریان

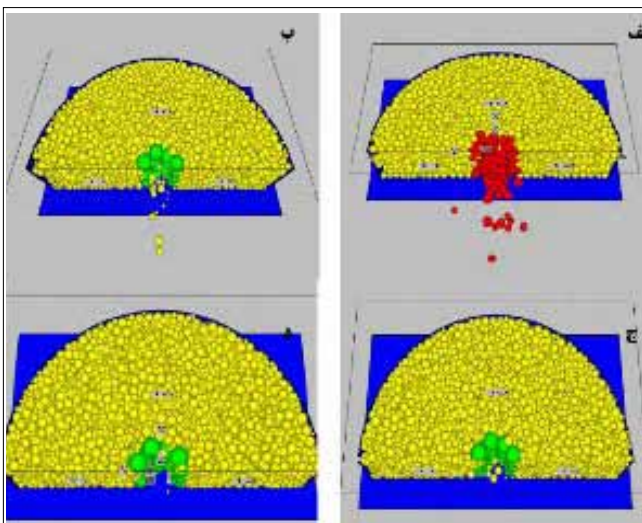
در مخازن گازی با نرخ تولید زیاد و در برخی موارد نظیر شکست هیدرولیکی، رژیم جریان از حالت لایه‌ای به آشفته تغییر می‌کند که این تغییر بر پایداری سوراخ کاری اطراف چاه مؤثر است. با این وجود تحقیقات بسیار کمی در خصوصی اثر رژیم جریان بر پایداری سوراخ کاری چاه و در نتیجه تولید ذرات سازندی انجام شده است. مثلاً اونگ و همکاران با در نظر گرفتن دو مدل تحلیلی استوانه‌ای و کروی برای سوراخ کاری چاه رژیم نوع جریان را بر پایداری این سوراخ کاری بررسی و نتیجه‌گیری کرده‌اند که در جریان آشفته، مقدار فشار بحرانی جهت آغاز تولید ذرات سازندی تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد [۸].

## ۲- روش‌های مدل سازی تولید ذرات سازندی

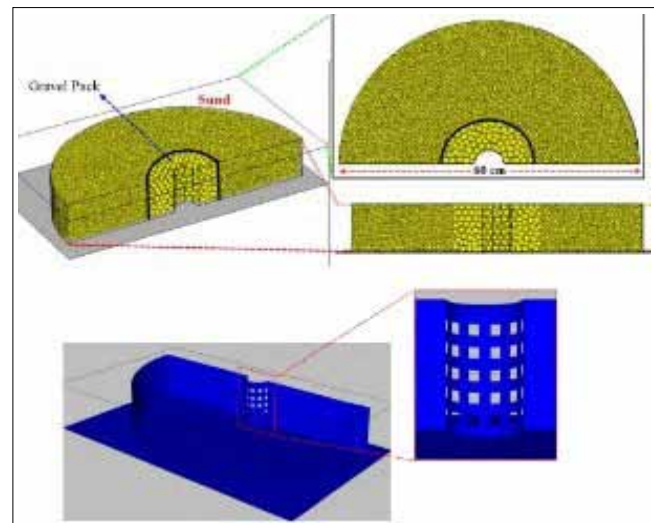
پیش‌بینی دقیق تولید ذرات سازندی نیازمند دانستن دقیق وضعیت مقاومتی سازند، وضعیت تنش‌های برجا و القایی سازند و روند خرابی سنگ است. از همین رو تلاش‌های گسترده‌ای برای مدل سازی تولید ذرات سازندی انجام شده است. مشابه هر پدیده‌ی طبیعی دیگری روش‌های تحلیلی، عددی، آزمایشگاهی و میدانی برای مدل سازی تولید ذرات سازندی نیز وجود دارد که در ادامه بیان می‌گردد.

## ۱-۲- روش‌های تحلیلی

در روش‌های تحلیلی با حل همزمان دستگاه معادلات تعادل،



شکل ۴ | تأثیر اندازه‌ی گراول پک بر مقدار تولید ماسه

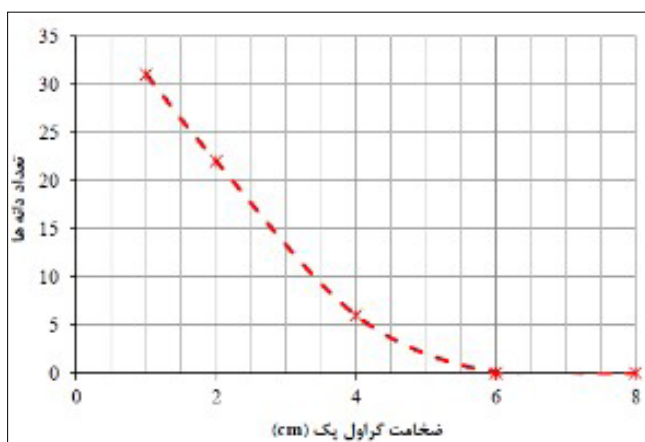


شکل ۳ | مدل سازی هندسی گراول پک و سازند در PFC3D

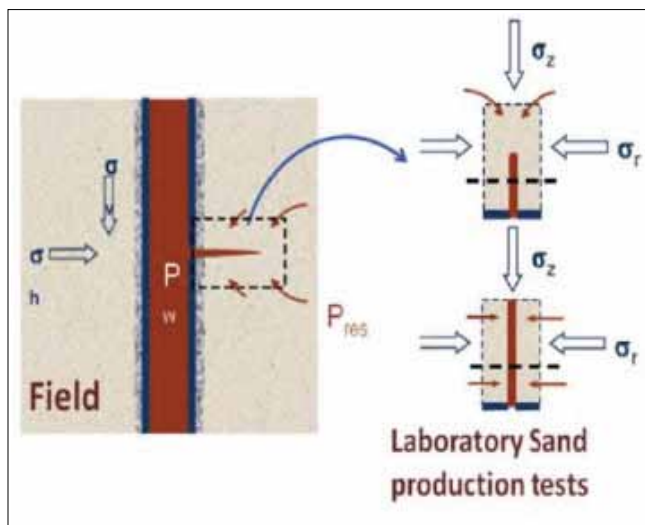
آزمایشگاهی و میدانی انجام شده در گذشته از اعتبار مدل سازی عددی می‌کاهد. همچنین نتایج مطالعه قابل تعمیم نیست. مثلاً نمی‌توان ادعا کرد اگر ضخامت گراول پک برابر قطر چاه باشد تولید ذرات سازندی متوقف می‌گردد. یا اینکه در مطالعه معلوم نیست که ۶۰ ثانیه برای تولید ذرات سازندی بر چه مبنایی در نظر گرفته شده است. آیا محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در محاسبات این زمان را تحمیل کرده یا اینکه مبنای دیگری در کار بوده است؟ آیا در زمان‌های بیش از ۶۰ ثانیه امکان تولید ذرات سازندی به درون چاه برای گراول پک با ضخامت بیشتر از ۶ سانتی‌متر و اندازه‌ی کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر وجود ندارد؟

### ۲-۲-۲- روش عددی المان محدود برای مدل سازی تولید ماسه

در تحقیقی دیگر سعی شده با استفاده از روش عددی المان محدود



شکل ۵ | تاثیر ضخامت گراول پک بر تولید ذرات سازندی در نرم‌افزار PFC



شکل ۶ | شماتیک مدل‌سازی آزمایشگاهی نمونه‌ی تولید ذرات سازندی [۱۲]

در این مطالعه برای مدل‌سازی از نرم‌افزار PFC3D که بر اساس المان مجزا کار می‌کند استفاده شده است. در این نرم‌افزار با استفاده از روش المان مجزا (DEM)، جابجایی‌ها و واکنش‌های مجموعه‌ی ذرات صلب کرووی نسبت به یکدیگر مدل‌سازی می‌شود.

همان‌گونه که در شکل ۳- نشان داده شده برای مدل‌سازی هندسی مسأله از نیم‌استوانه‌ای به قطر ۶۰ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر استفاده شده است. گراول پک در اطراف سازند به صورت دانه‌های بزرگ‌تر مدل‌سازی شده و در مرز بین سازند و گراول پک، شبکه‌ی سوراخ‌کاری شده به کار رفته است. در این مدل، حساسیت تولید ذرات سازندی نسبت به اندازه‌ی گراول پک آنالیز شده؛ به طوری که چهار مدل؛ بدون گراول پک و حاوی گراول پک با اندازه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر ساخته شده‌اند. در شکل ۴- تولید ماسه در چهار حالت بدون گراول پک و با گراول پک‌هایی با اندازه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر پس از ۶۰ ثانیه نشان داده شده است. با افزایش اندازه‌ی ذرات گراول پک تولید ذرات سازندی افزایش یافته و در حالت بدون گراول پک بیشترین تولید ماسه اتفاق می‌افتد. به عبارت دیگر گراول پک مثل صافی عمل می‌کند که در صورت استفاده از اندازه‌های بزرگ‌تر از آن، سوراخ‌های بزرگ‌تر شده و ذرات سازندی بیشتری تولید می‌گردد که این مهم در مدل‌سازی عددی دیده شده است.

همچنین در مدل‌سازی عددی تأثیر ضخامت گراول پک بر تولید ذرات سازندی نیز بررسی شد که مشخص گردید با افزایش ضخامت گراول پک، تولید ماسه کاهش می‌یابد. به طوری که با افزایش ضخامت گراول پک به بیشتر از ۶ سانتی‌متر (برابر با قطر چاه) عملاً تولید ذرات سازندی متوقف می‌گردد (شکل ۵-).

### ۲-۲-۱- نقد کاستی‌های مدل‌سازی اجزای مجزا

با وجود آنکه ماهیت تولید ذرات سازندی (جداسدن دانه‌ها از یکدیگر) گسسته است اما در بسیاری موارد که از دید ژئومکانیکی تنها اختلاف فشار بحرانی منجر به تولید ذرات و تنش گسیختگی در سازند می‌شود می‌توان از سایر روش‌های عددی نظیر المان محدود نیز استفاده کرد. بنابراین قرار نیست برای مشکل تولید ذرات سازندی همیشه از روش‌های المان مجزا استفاده کرد؛ بلکه بسته به نوع مشکل می‌توان روش‌های مختلفی به کار برد.

با توجه به محدود بودن مطالعات در زمینه‌ی المان مجزا و در نتیجه‌ی عدم قطعیت‌های موجود، واسنجی نتایج مدل‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی و نتایج میدانی ضروری است. زیرا صرف مدل‌سازی عددی و عدم مقایسه‌ی نتایج آن با سایر روش‌های تحلیلی، عددی،

ایجاد شده در جدار چاه است. در ادامه‌ی مدل‌سازی‌های انجام شده در دانشگاه تهران، امیرکبیر و کرتین بررسی می‌شود.

### ۱-۳- مدل‌سازی آزمایشگاهی تولید ذرات سازندی در دانشگاه تهران

در حالت کلی جریان سیال به‌تنهایی توانایی انتقال ذرات سازندی چسبیده به سازند را ندارد؛ بلکه ابتدا باید در سوراخ کاری ایجاد شده در اطراف چاه ترکیب تنش‌ها به حدی برسد که ذرات در آستانه‌ی شکستگی قرار گیرند تا سیال بتواند با نیروی اصطکاکی کمی که به ذرات وارد می‌کند آنها را از سازند جدا نماید [۱۲].

همان‌طور که اشاره شد در مدل‌سازی آزمایشگاهی تولید ذرات سازندی، تنها یکی از سوراخ‌کاری‌های ایجاد شده در اطراف چاه مدل‌سازی می‌گردد. تئوری نحوه‌ی مدل‌سازی در شکل ۶- نشان داده شده است.

در روش‌های آزمایشگاهی ذرات تولیدی از سازند به سه روش اندازه‌گیری می‌شوند که عبارتند از اندازه‌گیری پیوسته با روش‌های سونیک و آکوستیک و اندازه‌گیری ذرات سازندی تولیدی با ترازوی مغروق. خروجی آزمایش‌ها شامل نمودارهایی است که مقدار تولید ماسه را حین انجام آزمایش برای نرخ‌های مختلف تزریق سیال و در سطح تنش‌های متفاوت ارائه می‌کنند. از این نمودارها می‌توان سطح تنش‌هایی که منجر به شروع تولید ذرات سازندی و تولید انبوه ذرات سازندی می‌شوند را به‌دست آورد. تغییر شکل دهانه‌ی حفره که از مدل‌سازی آزمایشگاهی تولید ذرات سازندی به‌دست می‌آید نیز در تغییر شکل دهانه‌ی حفره حین آزمایش برای نمونه‌های مختلف سنگ نشان داده شده است.

شکل ۷- دستگاه و سلول تولید ماسه در دانشکده‌ی معدن دانشگاه تهران نشان داده شده است. نحوه‌ی کار بدین صورت است که پس از ایجاد سوراخ در وسط نمونه، در بدو امر یک تنش خارجی (هیدرولیکی) به نمونه اعمال می‌شود. سپس سیال به داخل نمونه‌ی تزریق شده، تنش‌های خارجی افزایش می‌یابد و به‌دنبال آن نرخ تزریق سیال نیز اضافه می‌گردد تا برای ترکیب‌های مختلف تنش و نرخ‌های متفاوت تزریق سیال، مقدار تولید ذرات سازندی استخراج شود. همان‌طور که اشاره شد در این مدل‌سازی آزمایشگاهی تنش آستانه‌ی تولید ماسه که البته مفهومی نسبی است و تولید ماسه حین انجام آزمایش و همچنین تنش منجر به تولید انبوه ماسه و بسته شدن چاه اندازه‌گیری می‌شود.

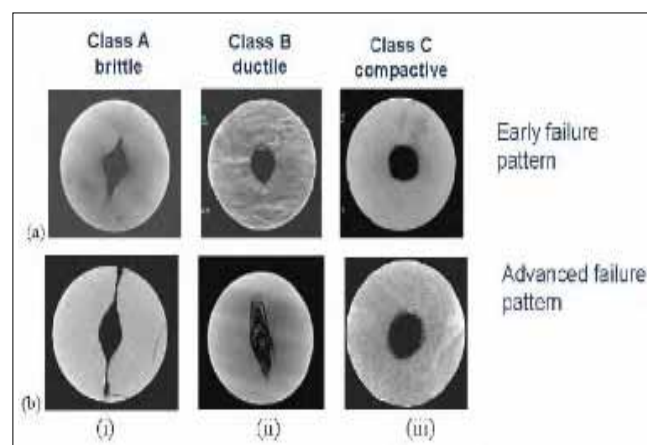
همچنین حین انجام آزمایش تغییر شکل حفره شامل سه مرحله‌ی تغییر شکل یکنواخت، پوسته‌پوسته شدن و تغییر شکل تخریبی،

(نرم‌افزار آباکوس) تولید ماسه مدل‌سازی شود در این تحقیق از مدل‌های فرسایش سنگ به‌جای معیار گسیختگی (کششی، برشی) استفاده شد و نتیجه‌ی مدل‌سازی توقف تولید ماسه از چاه نفت پس از شش روز بود [۱۱].

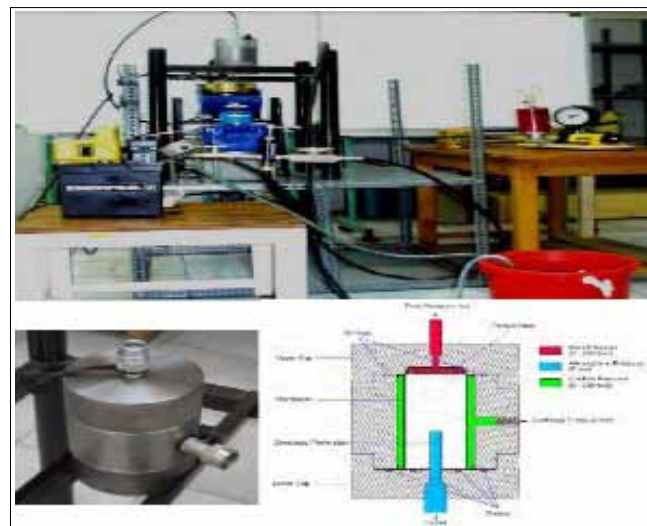
همان‌طور که قبلاً اشاره شد مهم‌ترین نقد به روش‌های عددی عدم واسنجی داده‌ها با نتایج میدانی و سایر اتفاقات به‌وجود آمده در چاه است؛ به‌طوری که نتایج متضاد با واقعیت (توقف تولید پس از شش روز) حاصل می‌شود. همچنین این مدل‌سازی با نتایج آزمایشگاهی که بیان می‌کند فرسایش، عامل اصلی در تولید ذرات سازندی نیست در تناقض است. در ادامه این فرض که سیال تنها نقش حمل‌کننده دارد به تفصیل بررسی می‌شود.

### ۳- روش‌های آزمایشگاهی

در روش‌های آزمایشگاهی معمولاً سعی بر مدل‌سازی سوراخ کاری



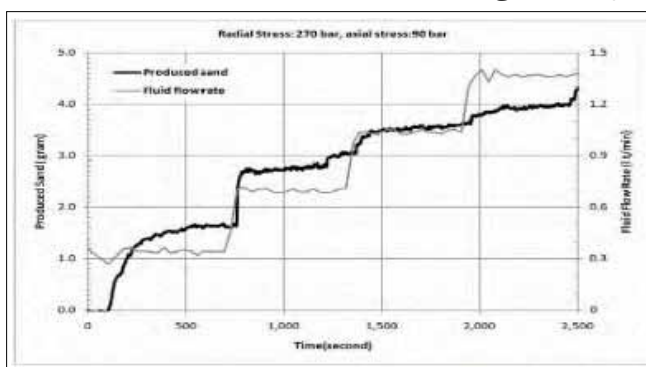
شکل ۷ | تغییر شکل‌های دهانه‌ی حفره در مدل‌سازی آزمایشگاهی تولید ذرات سازنده [۱۲]



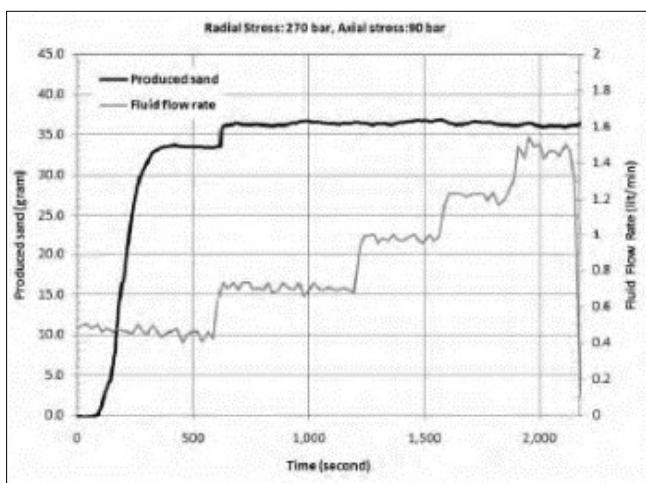
شکل ۸ | نمایی از دستگاه تولید ماسه در دانشگاه تهران [۱۳]

پایش می‌شود [۱۴].

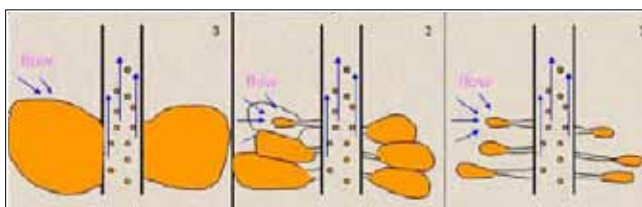
نقش سیال از حمل‌کننده‌ی ذرات به فرسایش‌دهنده‌ی ذرات تغییر می‌کند. در شکل-۹ تولید بحرانی ماسه نمایش داده شده است. با مرور ترکیب تنش‌های اعمالی و اندازه‌گیری تولید ماسه، مشخص می‌گردد که با افزایش تنش شعاعی تولید ماسه به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. البته باید توجه داشت دقت ترازوی اندازه‌گیری تولید ماسه در این آزمایشگاه ۰/۰۱ گرم است و مقادیر کمتر از این مقدار در تولید ماسه عملاً ثبت نمی‌شود. همچنین با افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های مصنوعی و کاهش نفوذپذیری آنها تولید ماسه کاهش می‌یابد. به تعبیر دیگر تولید ذرات سازندی نیازمند سطح بیشتری از تنش‌های شعاعی است.



شکل ۹ | همگام بودن تولید ماسه با نرخ تزریق در سطح جدید تنش [۱۲]



شکل ۱۰ | تولید بحرانی ماسه در مدل‌سازی آزمایشگاهی [۱۳]



شکل ۱۱ | مکانیزم تأثیر حفره‌های مجاور در تولید ماسه [۱۵]

آزمایش‌ها روی نمونه‌هایی با قطر ۱۵۰ میلی‌متر و طول ۳۰۰ میلی‌متر انجام شده که اندازه‌ی نمونه‌ها در نوع خود قابل توجه است. طول سوراخ‌کاری مدل‌سازی شده ۱۵۰ میلی‌متر است. بزرگی نمونه امکان ایجاد دو حفره در کنار هم را فراهم می‌کند که می‌توان تأثیر متقابل تولید ماسه در دو حفره‌ی مجاور را نیز بررسی کرد. طی آزمایش اطلاعاتی نظیر فشار محوری و شعاعی، فشار تزریق سیال و ماسه‌ی تولیدی اندازه‌گیری می‌شود.

سیال تزریقی به‌گونه‌ای انتخاب شده که گرانی آن با نفت یکسان باشد. هنگامی که فشار شعاعی اعمالی بر نمونه ۱۵ مگاپاسکال و تنش قائم اعمالی ۵ مگا پاسکال است مشاهده می‌شود که در ابتدای آزمایش تولید ماسه شروع شده، مقدار تولید ماسه در طول آزمایش ثابت مانده و با افزایش نرخ تزریق، تولید ماسه تغییر چندانی نداشته است. در این حالت سیال تزریقی هنوز توانایی جدا کردن دانه‌های ذرات سازندی را ندارد و فقط نقش انتقال‌دهنده‌ی ذرات جدا شده را دارد.

در مرحله‌ی بعد و با افزایش تنش شعاعی به ۲۷ مگاپاسکال و تنش قائم به ۹ مگا پاسکال مشاهده می‌شود با افزایش نرخ تزریق، تولید ماسه نیز افزایش می‌یابد. به‌طوری که گام‌های افزایش نرخ تزریق با گام‌های افزایش تولید ذرات سازندی یکسان است. در این حالت نیز تولید ماسه، کم و در محدوده‌ی گذرا تلقی می‌شود (شکل-۸). در این حالت نقش سیال از حمل‌کننده‌ی ذرات جداکننده به نقش فرسایشی در حال تغییر است. به‌طوری که با افزایش نرخ تزریق، تولید نیز افزایش می‌یابد.

در سطح تنش جدید (تنش شعاعی برابر ۱۲ مگاپاسکال و تنش قائم برابر ۴ مگاپاسکال) تولید نیمه‌پیوسته ذرات سازندی وجود دارد. زیرا در این حالت در ناحیه‌هایی که مقدار تزریق ثابت است تولید ذرات سازندی افزایش می‌یابد.

در مرحله‌ی بعد هنگامی که تنش شعاعی به ۱۶/۵ مگا پاسکال و تنش قائم اعمالی بر نمونه به ۵/۵ مگاپاسکال افزایش می‌یابد تولید پیوسته‌ی ذرات سازندی در مدل‌سازی آزمایشگاهی اتفاق می‌افتد.

در خصوص ارتباط بین تولید ماسه در مدل‌سازی آزمایشگاهی و چاه نفت، در صورت ثابت ماندن شرایط تنش‌های اعمالی با کنترل فشارته‌چاهی، تولید ماسه در حالت گذرا قابل مدیریت کردن است. با این حال باید از ورود به مرحله‌ی سوم (تولید نیمه‌پیوسته) اجتناب کرد؛ زیرا در این مرحله با افزایش نرخ تزریق، تولید ذرات سازندی تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد. در واقع از مرحله‌ی سوم به بعد

شد تأثیر منحنی دانه‌بندی بر پتانسیل تولید ذرات سازندی بود. بدین ترتیب که در دانه‌بندی‌های گسترده‌تر (با طیف وسیعی از دانه‌ها اعم از ریزدانه و درشت‌دانه) تولید ذرات سازندی کمتر از دانه‌بندی یکنواخت با متوسط اندازه‌ی دانه یکسان است.

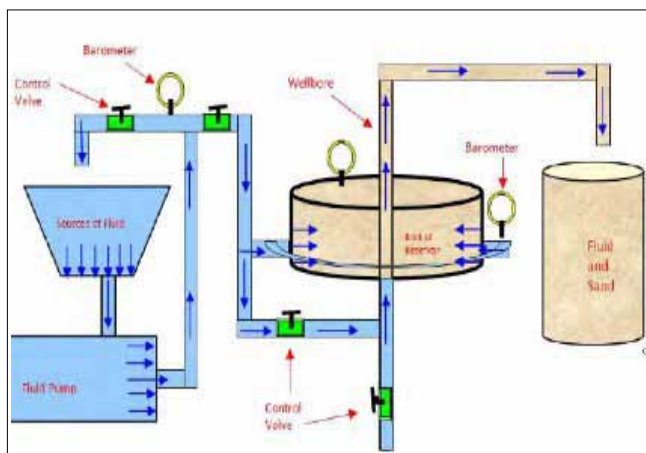
### ۳-۱-۱- کاستی‌های مدل‌سازی آزمایشگاهی دانشگاه تهران

مهم‌ترین کاستی این دستگاه استفاده از سلول استوانه‌ای با قابلیت تقارن محوری برای مدل‌سازی، تولید ذرات سازندی است. به‌طوری که اعمال تنش‌های ناهمسانگرد بر نمونه‌ای که در واقعیت وجود دارد عملاً امکان‌پذیر نیست. مثلاً در این نحوه‌ی مدل‌سازی آزمایشگاهی استفاده از معیار گسیختگی موگی-کولومب در یافتن ترکیب تنش آستانه‌ی تولید ذرات سازندی که نقش تنش میانی را نیز در گسیختگی وارد می‌کند امکان‌پذیر نیست.

همچنین با نگاه اجمالی به ترکیب تنش‌ها عملاً روند مشخصی برای تولید ذرات سازندی ملاحظه نمی‌شود. مثلاً در تنش جانبی ۲۷ مگاپاسکال تولید ذرات سازندی به مراتب کمتر از تنش جانبی ۱۲ مگاپاسکال با یکسان ماندن سایر شرایط است که این موضوع نیازمند بررسی و دقت بیشتری است.

در این دستگاه آزمایشگاهی تأثیر دما بر تولید ذرات سازندی در نظر گرفته نشده؛ به‌خصوص اینکه برای میادین با دما و فشار زیاد، اثر دما قابل ملاحظه است.

از دیگر کاستی‌های این مطالعات استفاده از نمونه‌های مصنوعی مشابه با واقع برای مدل‌سازی است اما مشخص نشده اولویت برای مشابه‌سازی نمونه چه عامل یا عواملی بوده است؟ آیا دانه‌بندی در اولویت اول بوده و مقاومت فشاری و نفوذپذیری و تخلخل در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند یا ترتیبی دیگر اتخاذ شده است؟



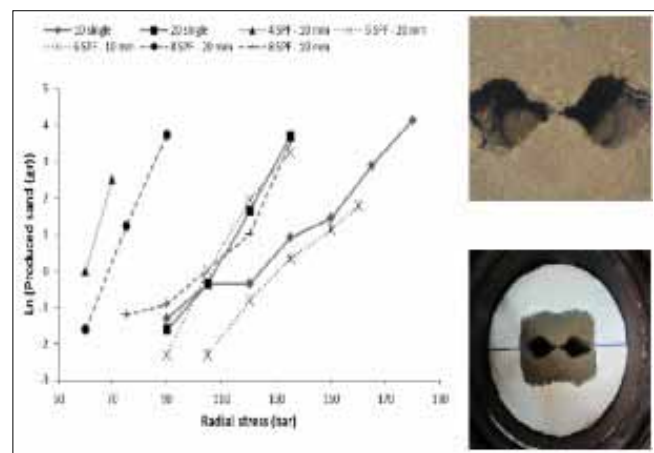
شما تیک دستگاه ساخته شده در دانشگاه امیرکبیر [۱۶]

از دیگر عوامل مؤثر بر تولید ذرات سازندی نزدیکی حفرات ایجاد شده ناشی از سوراخ‌کاری در چاه است که در اصطلاح Shot per foot نامیده می‌شود. به‌طوری که حفره‌های نزدیک به هم پس از تولید ماسه تبدیل به یک حفره می‌شوند و فرآیند تولید ماسه را سرعت می‌بخشند. این مکانیزم در شکل-۱۰ نمایش داده شده است. همچنین نتایج مدل‌سازی آزمایشگاهی تأثیر متقابل نزدیکی حفرات به یکدیگر در شکل-۱۱ نشان داده شده است.

در مورد تأثیر اندازه‌ی دانه بر تولید ذرات سازندی نمونه‌هایی با میانگین اندازه‌ی قطر دانه ساخته شد و معلوم گردید با افزایش اندازه‌ی دانه‌ها تولید ذرات سازندی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر پتانسیل تولید ذرات سازندی در سازندهای ریزدانه بیشتر است.

نکته‌ی قابل توجه در مورد آزمایش‌ها بررسی اثر گردگوشگی دانه‌ها روی مقدار تولید ذرات سازندی است. گردگوشگی یعنی دانه‌ها تا چه حد کروی باشند. همچنین گوشه‌دار بودن دانه بدین مفهوم است که کناره‌های دانه تا چه اندازه تیز باشد. در نگاه اول به نظر می‌رسد پتانسیل تولید ذرات سازندی در دانه‌های گردگوشه بیشتر از دانه‌های گوشه‌دار باشد. زیرا به دلیل وجود نیروی ناشی از درهم قفل‌شدگی دانه‌ها (Inter locking) مقاومت فشاری دانه‌های گوشه‌دار از مقاومت فشاری دانه‌های گردگوشه بیشتر است. اما نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد برخلاف تصور تولید ذرات سازندی در دانه‌های گردگوشه کمتر از تولید ذرات سازندی در دانه‌های گوشه‌دار است. این امر را بدین صورت می‌توان توجیه کرد که اندرکنش سیال با دانه‌ها برای کنده شدن در دانه‌های گردگوشه کمتر از دانه‌های گوشه‌دار است.

عامل دیگری که در مطالعات آزمایشگاهی در دانشگاه تهران بررسی



شکل ۱۲ | مدل‌سازی آزمایشگاهی تأثیر حفرات مجاور [۱۴]

### ۳-۲- مدل‌سازی آزمایشگاهی تولید ذرات سازندی در دانشگاه امیرکبیر

در شکل-۳ شماتیک نحوه‌ی کار دستگاه ساخته‌شده در دانشگاه امیرکبیر جهت مدل‌سازی تولید ذرات سازندی نشان داده شده است. روش کار دستگاه بدین گونه است که ماسه‌ی خشک درون دستگاه ریخته می‌شود. سپس صفحه‌ی فولادی پیستون روی محفظه قرار می‌گیرد. اگر گراول‌پک نیاز باشد می‌توان قبل از ریختن ماسه درون محفظه، گراول‌پک را دورتادور محفظه‌ی لوله‌ی جداری قرار داد. این جک فولادی توانایی اعمال فشار تا ۶۰ مگاپاسکال را دارد. با روشن کردن پمپ، سیال با فشار به داخل محفظه تزریق شده و پس از اشباع ماسه توسط سیال، دورن لوله‌ی جداری نیز سیال وارد می‌شود. با اندازه‌گیری وزن سیال، ماسه و مدت انجام آزمایش می‌توان نرخ تولید ماسه و سیال را در حالت‌های مختلف اندازه‌گیری کرد [۱۶].

از نقاط ضعف دستگاه ساخته‌شده در دانشگاه امیرکبیر آنست که مدل آزمایشگاهی نمونه تنها تحت بار وارده‌ی بالایی متراکم می‌شود و اثری از سیمانی‌شدن بین دانه‌ها نیست. به‌عبارت دیگر عملاً چسبندگی بین دانه‌ها وجود ندارد؛ تنها فشار بالایی اعمال می‌شود و اثری از فشار جانبی و شعاعی نیست. در این آزمایش سیال تنها نقش حمل‌کننده را دارد و دیگر نقش فرسایشی نخواهد داشت. زیرا عملاً دانه‌های ماسه از یکدیگر جدا هستند. همچنین کاستی‌های مورد اشاره‌ی دستگاه دانشگاه تهران، در این دستگاه نیز کماکان به قوت خود باقی است.

### ۳-۳- مدل‌سازی آزمایشگاهی تولید ذرات سازندی در دانشگاه کرتین

با توجه به کاستی‌های مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی قبلی، در دانشگاه کرتین استرالیا مدل‌سازی تولید ذرات سازندی روی نمونه‌ی مکعبی به ابعاد  $10 \times 10 \times 10$  سانتی‌متر انجام شد. با توجه به نوع دستگاه که توانایی اعمال تنش در هر سه جهت اصلی را داشت در مطالعه، تأثیر ناهمسان‌گردی در تنش روی تولید ذرات سازندی بررسی شد. همچنین نتایج آزمایشگاهی با مدل‌سازی عددی توسط نرم‌افزار آباکوس صحت‌سنجی گردید. در نهایت نتایج آزمایش‌ها و مدل‌سازی عددی نشان از اهمیت ناهمسان‌گردی تنش بر توسعه‌ی خرابی‌ها و در نتیجه تولید ذرات سازندی از نمونه داشت.

با وجود اینکه آزمایش، توانایی اعمال تنش‌های زیاد در سه جهت را دارد اما هنوز در نظر گرفتن اثر حرارت و همچنین داشتن معیاری مشخص برای ساختن نمونه‌ی مصنوعی از روی نمونه‌ی واقعی از نقاط ضعف مدل‌سازی محسوب می‌شود.

### ۴- روش‌های میدانی

برای مهندس تکمیل چاه ضروری است بدانند که چاه پتانسیل تولید ذرات سازندی دارد یا خیر؟ اما تشخیص این امر به سادگی امکان‌پذیر نیست. یکی از ساده‌ترین روش‌های بررسی پتانسیل تولید ذرات سازندی در چاه رجوع به چاه‌های اطراف است. در چاه‌های اکتشافی آزمایش جریان تولید ماسه<sup>۲</sup> انجام می‌گردد. بدین صورت که تولید ذرات سازندی در حفاری‌های سطحی به کمک آزمایش DST<sup>۳</sup> تشخیص و اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایش نرخ برداشت به مرور افزایش می‌یابد تا تولید ذرات سازندی شروع گردد. سپس نرخ برداشت مورد نظر یا حداکثر اختلاف فشار بین مخزن و ته‌چاه جهت عدم تولید ذرات سازندی استخراج می‌شود. در انتها همبستگی و رابطه‌ای بین تولید ذرات سازندی با داده‌های چاه و داده‌های میدان برقرار می‌گردد.

در تحقیقی جهت بررسی تولید ذرات سازندی در میدانی جنوب‌غرب ایران گزارش شد که محدوده‌ای از چاه که حین حفاری ناپایدار شده بود در زمان بهره‌برداری نیز ذرات سازندی تولید می‌کرد [۱۷].

مهم‌ترین نقص این مطالعه برابر گرفتن مفهوم ناپایداری چاه با مفهوم تولید ذرات سازندی است. با وجود اینکه مفهوم تولید ذرات سازندی از لحاظ نظری با ناپایداری در سوراخ‌کاری چاه مرتبط محسوب می‌شود اما مکانیزم وقوع این دو پدیده متفاوت است. به‌طوری که در بحث ناپایداری دیواره‌ی چاه در حالت مکانیکی وقتی تنش‌های ایجاد شده در دیواره‌ی چاه از معیار گسیختگی فراتر رود خرابی رخ می‌دهد. خروجی این مطالعات منجر به ارائه‌ی پنجره‌ی ایمن گل حفاری می‌شود. تولید ذرات سازندی از چاه پدیده‌ای است که حین بهره‌برداری از چاه اتفاق می‌افتد. مثلاً در مطالعه بیان شده در مناطقی که چاه ناپایدار بوده ذرات سازندی نیز تولید شده‌اند. در صورتی که در ناحیه‌های که چاه حین حفاری ناپایدار بوده لزوماً اطراف چاه سوراخ‌کاری اتفاق نیافتاده است.

### ۴-۱- افت فشار تولید بحرانی به روش تجربی

در مطالعه‌ی دیگری روش‌های میدانی استفاده شده را برای میدانی واقع در جنوب‌غرب ایران به کار بردند و از بین مدل‌های تجربی متعدد، از مدل پیشنهادی عباس و همکاران جهت مدل‌سازی تولید ذرات سازنده استفاده شد. که در آن افت فشار بحرانی درون چاه بر اساس خواص مکانیکی سازند تعیین می‌گردد [۱۷]. معادله‌ی ۱-افت فشار تولید بحرانی را نشان می‌دهد.



سایر اتفاقات و داده‌های قبلی موجود در میدان است.

$$\Delta P_S = \left( \frac{q_S \times \mu \times B_0}{0.00708 \times K \times h} \right) \times s \quad (1)$$

در این رابطه  $q_s$  نرخ تولید چاه،  $\mu$  گرانیوی سیال،  $B_0$  عامل حجمی سازند نفتی،  $K$  نفوذپذیری،  $h$  ضخامت منطقه‌ی بهره‌ده و  $s$  اثر پوسته است. در چاه مورد نظر با جایگزینی متغیرها به شرح زیر، افت فشار بحرانی تولید ذرات سازندی ۱۴۴۳/۸ psi (۹/۵ مگاپاسکال) به دست می‌آید.

$$q_s = 4540 \frac{\text{bbl}}{\text{day}}, \mu = 2.9 \text{ cp}, B_0 = 1.316, k = 72 \text{ md}, h = 164.04 \text{ ft}, S = +7$$

از طرفی نتایج آزمایش مقاومت تک‌محوره بر نمونه‌ی سازند نشان از مقاومت فشاری ۱۱۰ مگاپاسکال دارد؛ با فرض اینکه مقاومت کششی سازند یک‌دهم مقدار مقاومت فشاری آن باشد ( $T = 11 \text{ MPa}$ ). در نتیجه این مقدار افت فشار منجر به گسیختگی کششی در سازند نمی‌شود و بنابراین احتمالاً شکستگی برشی در سازند منجر به تولید ذرات سازندی در این چاه شده است. در معادله‌ی ۲-رابطه‌ی دیگری که در آن افت فشار بحرانی (بر اساس گسیختگی برشی) منجر به تولید ذرات سازندی می‌گردد نشان داده شده است.

$$CDP = \frac{1}{2-A} [2P_p - (3\sigma_H - \sigma_h - UCS)] \quad (2)$$

$$A = (1-2\nu)/(2-\nu)$$

با جاگذاری مقادیر مربوط به مخزن در معادله‌ی ۲-مقدار افت فشار بحرانی ۱۴/۳ مگاپاسکال به دست می‌آید. در صورتی که در چاه مورد نظر برای تولید روزانه ۴۵۴۰ بشکه نفت افت فشار ۲۱ مگاپاسکالی ایجاد می‌شود. بنابراین معادله‌ی ۲-که به صورت تجربی استخراج شده تولید ذرات سازندی در ناحیه‌هایی از چاه که دچار شکست برشی شده را پیش‌بینی می‌کند [۱۷]. اکنون نرخ تولید بحرانی بر اساس افت فشار بحرانی حاصل محاسبه می‌شود (معادله‌ی ۳).

$$q_{SC} = \frac{0.00708 \times K \times h \times (P_r - P_w)}{\mu \times B_0 \times \left( \ln \frac{r_e}{r_w} - 0.75 + s \right)} = 3351 \text{ bbl/day} \quad (3)$$

به تعبیر دیگر برای مقابله با تولید ذرات سازندی، تولید چاه مورد نظر از ۴۵۴۰ به ۳۳۵۱ بشکه در روز کاهش می‌یابد که ممکن است این مقدار تولید از چاه به صرفه نباشد. در صورت به صرفه نبودن، تولید از راهکارهای ترکیبی نظیر گراول‌پک و کاهش تولید استفاده می‌شود. مهم‌ترین نقص مطالعه‌ی میدانی بالا تعمیم روابط یک میدان دیگر با خصوصیات متفاوت به میدان واقع در ایران بدون واسنجی داده‌ها با

### ۵- روش‌های مقابله با تولید ذرات سازندی

باید توجه داشت که برای مقدار کم تولید ذرات سازندی از چاه لازم نیست هزینه‌های تکمیل چاه انجام داد. با توجه به اینکه در نیمی از چاه‌ها تولید ذرات سازندی در ابتدای تولید اتفاق نمی‌افتد اما در برخی موارد ممکن است در مدت کوتاهی تولید این ذرات بسیار افزایش یابد. بنابراین تعیین دقیق مرز اینکه چه وقت باید با تولید ذرات سازندی مقابله کرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۶].

با توجه به ذرات تولیدی از چاه تولید ذرات سازندی به سه دسته‌ی گذرا، پایدار و فاجعه‌آمیز دسته‌بندی می‌شوند. در حالت گذرا با تولید ثابت از چاه به تدریج تولید ذرات سازندی از چاه کاهش می‌یابد. در حالت دوم که تولید پایدار ذرات سازندی نام دارد به طور دائم و همزمان با تولید از چاه ذرات سازندی نیز از چاه استخراج می‌گردد. بیشتر چاه‌ها در این مرحله از تولید ذرات سازندی قرار دارند. برای این حالت باید حد مشخصی تعیین گردد تا تولید ذرات سازندی کمتر از آن برای چاه مشکل تلقی نشود. در حالت فاجعه‌آمیز، چاه با تولید شدید ذرات سازندی مواجه می‌گردد؛ به طوری که تولید هیدروکربن متوقف می‌شود. در روش‌های کنترل و پیشگیری باید طوری عمل شود تا این مرحله از تولید ذرات سازندی هیچ‌وقت اتفاق نیفتد [۱۲].

اولین سؤال پس از تولید ذرات سازندی اینست که برای مقابله با این پدیده باید چه روشی در پیش گرفت؟ اولین قدم حداقل شدن شوک‌های وارده بر مخزن است؛ بدین صورت که افت فشار تولید و نرخ برداشت از مخزن در بازه‌های کوچک تغییر داده شوند. همچنین نرخ برداشت از مخزن باید کاهش یابد تا فشار موجود، از فشاری که منجر به جدا شدن دانه‌های ذرات از یکدیگر می‌شود کمتر گردد. راهکار دیگر اینست در نقاطی که مستعد تولید ماسه هستند نباید در چاه سوراخ کاری ایجاد شود. هر دو راه حل ذکر شده منجر به کاهش تولید می‌شود که ممکن است صرفه‌ی اقتصادی میدان را تحت‌الشعاع قرار دهد.

روش دیگر شناسایی نواحی مستعد تولید ذرات سازندی و استفاده از روش‌های تکمیل چاه در این نواحی است [۶].

محبوب‌ترین روش برای کنترل تولید ذرات سازندی استفاده از روش‌های فیزیکی جهت جلوگیری از حرکت ذرات سازندی است. در مهندسی تکمیل چاه این روش‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند: تزریق رزین، پوشش‌های سوراخ کاری شده، رزین آغشته به دانه‌های ذرات و گراول‌پک.

### ۵-۱- اصلاح استراتژی سوراخکاری

از مهم ترین سؤالاتی که باید یک طراح به آن پاسخ دهد اینست که سوراخ کاری در کدام نواحی منجر به تولید ذرات سازندی در اطراف چاه می شود؟ همچنین استراتژی سوراخ کاری چگونه باشد تا تولید ذرات سازندی به حداقل برسد؟ در واقع با تغییر شیب و امتداد سوراخ کاری می توان تولید ذرات سازندی را به حداقل رساند.

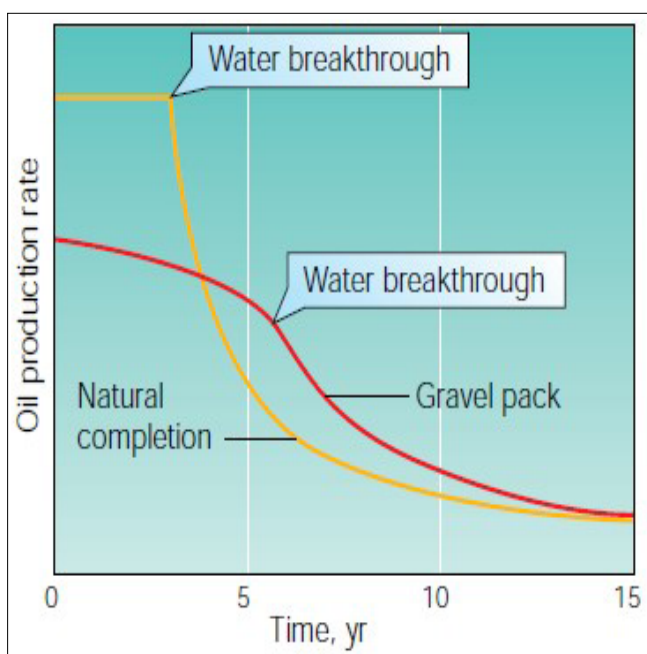
### ۵-۲-۱- تزریق رزین

جهت افزایش سیمان کاری بین دانه های ذرات، رزین به طور عمومی داخل سوراخ کاری، تزریق و سپس با کاتالیزت شسته می شود. رزین های فنولیک، فوران و اپوکسی معروف ترین رزین های تجاری هستند که بدین منظور استفاده می شوند. اگر غلظت ذرات رسی در سازند زیاد باشد کارآیی روش تزریق رزین تحت الشعاع قرار می گیرد. بنابراین در چنین شرایطی مواد پایدارکننده ی رس قبل از شستشو تزریق می شوند. آب باقیمانده در سازند نیز از دیگر مشکلات بالقوه برای تزریق رزین است؛ این شرایط نیازمند تزریق رزین بیشتر است. دو عامل حجم رزین تزریقی را کنترل می کنند: حداقل مقدار تزریق رزین باید طوری باشد که منجر به چسپیدن دانه های ذرات به یکدیگر نشود. حداکثر رزین تزریقی نیز تابعی از نفوذپذیری است. زیرا با تزریق رزین نفوذپذیری سنگ کاهش می یابد. مثلاً اگر سازند ماسه ی تحکیم نیافته با نفوذپذیری ۸ دارسی توسط تزریق رزین تحکیم یابد

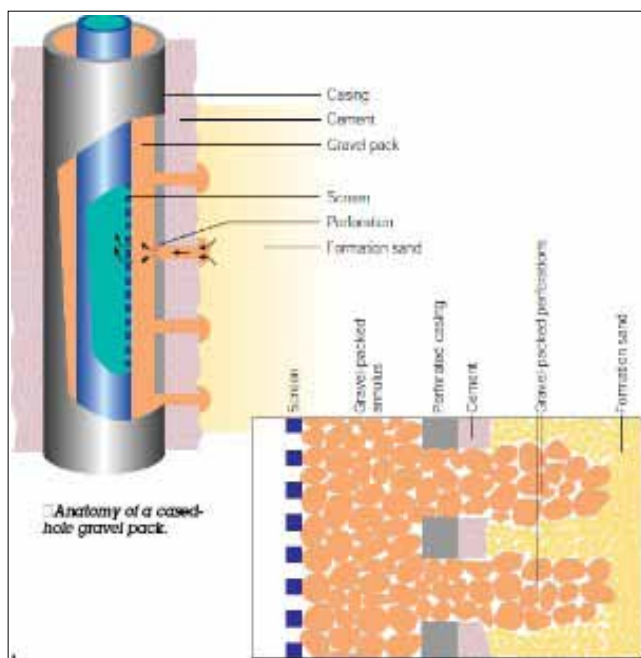
تا به مقاومت فشاری حدود ۲۳ مگاپاسکال (۳۳۰۰ psi) دست یابد. در این حالت نفوذپذیری سنگ تا ۲۵ درصد و نرخ برداشت تا ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین اگر تزریق رزین غیریکنواخت باشد (به طوری که برخی ذرات سازندی توسط رزین پوشیده نشوند) از تولید ذرات سازندی جلوگیری نخواهد شد. به دلایل بالا استفاده از تزریق رزین برای کنترل تولید ذرات سازندی در لایه های با ضخامت کم حدود ۳-۴ متر انجام می شود و با این روش نمی توان مناطق وسیع مستعد تولید ذرات سازندی را پوشش داد. با وجود اینکه تزریق رزین روش موقفی محسوب می شود در مهندسی تکمیل چاه در کمتر از ۱۰ درصد موارد از این روش استفاده می شود.

### ۵-۲-۲- استفاده از لوله های مشبک و صافی

استفاده از پوشش های مشبک کاری شده و صافی درون چاه جزء ارزان ترین روش های جلوگیری از خروج ذرات سازندی به سمت تجهیزات سطح الارضی است. لوله های سوراخ کاری شده، سوراخ های بزرگ و صافی های سیمی سوراخ های ریزتری دارند. همچنین صافی های پیش ساخته که با دانه های ماسه توسط رزین آغشته شده اند کوچک ترین اندازه ی سوراخ را دارند. استفاده از صافی برای جلوگیری از تولید ذرات سازندی به ویژه برای چاه های مایل و با زاویه ی زیاد بسیار مناسب هستند. به طور معمول اندازه ی سوراخ ها، ۱۰ درصد بزرگ ترین ذرات ایجاد شده است. این روش تکمیل چاه تا حدودی باعث کاهش تولید



۱۵ | تاثیر استفاده از گراول پک بر تولید چاه



۱۴ | استفاده از گراول پک در چاهی با لوله ی جداری شکل

کم کارایی دارد.

#### ۵-۲-۴- استفاده از گراول پک

این روش سه‌م ۷۵ درصدی در روش‌های قابل استفاده جهت کنترل تولید ذرات سازندی دارد. بدین صورت که دوغابی از شن به درون سوراخ کاری چاه فرستاده می‌شود. گراول پک‌ها نفوذپذیری زیادی (حدود ۱۲۰ داریسی) دارند که اجازه‌ی عبور ذرات ریز را نمی‌دهند. با این وجود گراول پک اندازه‌ی چاه را کوچک کرده و امکان نصب صافی را به‌عنوان روش مکمل داخل چاه نمی‌دهد. همچنین تکمیل چندین ناحیه توسط گراول پک دشوار است. روش گراول پک نسبتاً گران است اما با این وجود یکی از مؤثرترین روش‌ها برای کنترل تولید ذرات سازندی است که آزمایش‌های دقیقی را پشت‌سر گذارده است.

#### نتیجه‌گیری

در این مقاله مدیریت تولید ماسه از چاه به چهار زیردسته‌ی تحلیلی، عددی، آزمایشگاهی و میدانی تقسیم‌بندی شد و کاستی‌های هر یک نیز بیان گردید. همچنین عوامل مؤثر بر تولید ذرات سازندی و روش‌های مقابله با آن مرور شد. ■

می‌گردد. همچنین در صورت تولید ذرات ریز از سازند این ذرات باعث بسته شدن بسیاری از صافی‌ها در مسیر نفت می‌شود. استفاده از روش صافی‌ها به‌عنوان گزینه‌ی تکمیل چاه برای سازندهایی است که از نظر مقاومت متوسط هستند، نه سازندهایی که کاملاً تحکیم‌نیافته‌اند. مثلاً در بسیاری از چاه‌های آمریکا و خلیج مکزیک از صافی‌هایی برای کنترل ذرات سازندی بهره می‌برند. با این وجود روش مذکور تنها در ۵ درصد از چاه‌های دنیا استفاده می‌شود. قاعده‌ی مشخصی برای اندازه‌ی صافی‌ها وجود ندارد. اما با رابطه‌ی سرانگشتی می‌توان اندازه‌ی سوراخ‌های صافی را ۷۵ درصد اندازه‌ی ذرات تولیدی در نظر گرفت.

#### ۵-۲-۳- استفاده از شن‌های آغشته به رزین بدون صافی

در این روش شن‌های آغشته به رزین را به‌صورت دوغاب به منطقه‌ی تولیدی چاه ارسال کرده و با متراکم کردن آن در محل خود قرار می‌گیرد. در این روش از صافی استفاده نمی‌شود. مزیت استفاده از شن‌های آغشته به رزین به‌عنوان ابزاری برای کنترل ذرات سازندی عدم نیاز به تجهیزات اضافی است. اما در این روش به‌دلیل ایجاد اختلاف فشار زیاد، امکان تحت‌الشعاع قرار گرفتن تولید وجود دارد. استفاده از شن‌های آغشته به رزین برای نواحی با ضخامت بیش از ۶ متر دشوار است. سهم این روش در میان سایر روش‌های کنترل تولید ذرات سازندی ۵ درصد است و برای میداین خشکی با تولید

#### پانویس‌ها

1. Discrete Element Method  
2. Sand flow test

3. Drill Stem Test

#### منابع

1993.

[9] C. A. M. Veeken, D. R. Davies, C. J. Kenter, and A. P. Kooijman, "Sand Production Prediction Review: Developing an Integrated Approach," in SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1991.

[۱۰] م. سید آتشی، ک. گشتاسبی و ر. ا. بصیرت، تأثیر اندازه‌ی گراول پک بر تولید ماسه در چاه‌های نفت با استفاده از مدل‌سازی عددی، اولین کنفرانس ژئومکانیک نفت، ۱۳۹۴ [۱۱] ش. حسین، شیرانی، مهدی و ف. لهراسب، شبیه‌سازی سه‌بعدی تولید ماسه در چاه نفت با به‌کارگیری مدل فرسایش در سنگ

[۱۲] مهدی موسوی، بررسی مکانیزم تولید ماسه در چاه‌های نفتی و عوامل مؤثر بر آن، اولین کنفرانس ملی ژئومکانیک نفت، ۱۳۹۴. ۲۳

[۱۳] م. مهرانپور، بررسی تأثیر دانه‌بندی روی پدیده‌ی تولید ماسه در چاه نفت، دانشگاه تهران

[۱۴] م. موسوی، بررسی مکانیزم تولید ماسه در چاه‌های نفتی و عوامل مؤثر بر آن، اولین کنفرانس ژئومکانیک نفت، ۱۳۹۴

[۱۵] ش. آ. رضا، م. و. پرویز، گ. کامران و آ. کاوه، مدل‌سازی فیزیکی تولید ماسه و گراول پک در چاه‌های نفت با طراحی و ساخت دستگاه، ۱. pp. ۸-۱۴. ۲۰۱۴

[۱۶] ش. آ. ا. رضا، م. و. پرویز، گ. کامران و آ. کاوه، مدل‌سازی فیزیکی تولید ماسه و گراول پک در چاه‌های نفت با طراحی و ساخت دستگاه، ۱. pp. ۱-۱۰.

[۱۷] ر. محمدی و ح. رمضی، تأثیر نرخ تولید مواد هیدروکربوری در پیش‌بینی رخداد تولید ماسه و تحلیل ژئومکانیکی آن در یکی از چاه‌های نفتی جنوب کشور، دومین کنفرانس ملی نفت، گاز، پتروشیمی و توسعه پایدار، ۱۳۹۴

[۱] اخبار &gt; شبیه‌سازی تولید ماسه در میدان سرخون - چشمه‌خوش - گنبدلی. [Online].: <http://randd.icofc.org/index.aspx?fkeyid=&siteid=83&pageid=478&newsview=5596>. [Accessed: 17-May-2018]

[۲] ج. فتعی، پروپوزال تولید ماسه‌ی شرکت نفت مناطق مرکزی [۳] اجرای پروژه‌ی مدیریت تولید شن در نفت فلات قاره‌ی ایران / چاه‌های نفتی میدان ابودر از دردرس شن خلاص شدند. [Online].: <http://en.nioc.ir/Portal/>. [69429/100199/home/?news/100193] اجرای پروژه-مدیریت-تولید-شن-در-نفت-فلات. [Accessed: 17-May-2018]

[۴] علی غلامی ویجویه، بررسی مشکلات تولید ماسه با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی و دیگر اطلاعات موجود و راهکارهای مقابله با آن در یکی از میداین هیدروکربوری، حوضه‌ی دریای خزر، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۵

[۵] حویزاده، احمد، آ. محمد و م. ز. محسن، پیش‌بینی سرعت و دبی بحرانی جهت جلوگیری از تولید ماسه با استفاده از مدل‌سازی ژئومکانیکی، اولین کنفرانس ملی ژئومکانیک نفت، ۱۳۹۴ [۶] ش. احتشامی، ع. فیض‌بخش و ع. روستایی، پیش‌بینی تولید شن و ماسه در میداین نفت و گاز و مشکلات ناشی از آنها، دومین همایش ملی تجهیزات و مواد آزمایشگاهی صنعت نفت ایران، ۱۳۹۵

[7] J. Carlson, G. Derrel, P. Colin, and W. Frank, "Sand Control: Why and How?," Oilf. Rev., vol. October, pp. 41-53, 1992.

[8] S. H. Ong and J. C. Roegiers, "Influence of anisotropies in borehole stability," Int. J. Rock Mech. Min. Sci., vol. 30, no. 7, pp. 1069-1075,