

بررسی تأثیر فشار محصورکننده در تولید ماسه از مخازن هیدروکربوری با استفاده از روش المان مجزا

مصطفی سیدآتشی^۱؛ کامران گشتاسبی^{۲*}؛ روح اله بصیرت^۳

۱- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی، گروه مهندسی مکانیک سنگ

۳- دانشجوی دکتری مکانیک سنگ، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲

دریافت: ۱۳۹۵/۰۵

چکیده

کشور ایران دارای اولین ذخایر گاز و چهارمین ذخایر نفتی دنیا است که بخش اعظمی از آن‌ها در مخازن ماسه‌سنگی قرار دارد. در ایران میدان‌هایی مانند منصوری، اهواز و رگ سفید از نظر تولید ماسه نسبت به مخازن دیگر مشکل بیشتری دارند که بررسی آن‌ها از این جهت اهمیت دارند. معضل تولید ماسه به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی سالیان متمادی فکر و اندیشه محققین زیادی را به خود معطوف داشته و در همین راستا تکنیک‌های بسیاری وارد بازار شده و رشد تکاملی قابل‌ملاحظه‌ای داشته‌اند. با استفاده از این روش‌ها، تأثیر پارامترهای مختلف بر تولید ماسه بررسی می‌شود. یکی از پارامترهای مؤثر، فشار محصورکننده و به‌عبارت‌دیگر فشار جانبی زمین بر تولید ماسه است. در این مقاله با استفاده از روش اجزای مجزا در نرم‌افزار PFC^{3D} ، تأثیر این پارامتر بررسی شده است. نتایج نشان دادند با افزایش تنش محصورکننده، تولید ماسه افزایش پیدا می‌کند.

تولید ماسه، روش المان مجزا، فشار محصورکننده، نرم‌افزار PFC^{3D} ، جریان سیال

واژگان کلیدی

۱- مقدمه

حفاری چاه و تولید نفت در مخازن ماسه‌سنگی ضعیف، ممکن است با تولید ماسه همراه باشد، این پدیده همه‌ساله هزینه‌های هنگفتی را به صنعت نفت و گاز وارد می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که عوامل زیادی بر شکست و جدا شدن دانه‌های ماسه از سنگ مخزن تأثیر می‌گذارند. یکی از این عوامل فشار محصورکننده می‌باشد. از طرفی ترکیب دو فرایند هیدرودینامیکی و ژئومکانیکی در مکانیزم شکست، فرسایش سنگ و انتقال دانه‌ها به‌صورت هم‌زمان باعث شده که پیش‌بینی روند ماسه دهی بسیار پیچیده شود. یکی از روش‌های بررسی مکانیزم تولید ماسه در چاه، مدل‌سازی عددی سنگ مخزن همراه با جریان سیال با حل معادلات تلفیقی سیال و سنگ است.

تاکنون در این زمینه تحقیقات متعددی در جهان صورت گرفته است. از اولین پژوهش‌ها در این زمینه می‌توان به مطالعات تیکسر و همکاران در سال ۱۹۷۳ اشاره کرد که مدلی برای پیش‌بینی تولید ماسه ارائه کردند [۱]. این مدل تنها به یک پارامتر عمق وابسته است. بر اساس این مدل تولید ماسه در عمق ۱۲۰۰۰ فوت اتفاق می‌افتد. Vardoulakis و Stavropoulou در سال ۱۹۹۵ با بررسی جنبه‌های هیدرومکانیکی تولید ماسه، یک مدل ریاضی ارائه کردند [۲]. مدل ارائه‌شده به جریان یک‌بعدی سیال محدود است. نوری و وزیری در سال ۲۰۰۴ با استفاده از یک سری روش‌های عددی و آزمایشگاهی تولید ماسه را پیش‌بینی کردند [۳].

Isehunwa و همکاران در سال ۲۰۱۰ مکانیزم شکست ماسه و پارامترهای ماسه دهی در مخزن نفت دلتا نیجریه را مورد بررسی قرار دادند [۴]. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در مکانیزم شکست ماسه، چسبندگی پارامتر مهمی است. یونسی و رسولی در سال ۲۰۱۲ مکانیزم ماسه دهی را تحت شرایط تنش سه محوره واقعی (TTSC) در آزمایشگاه شبیه‌سازی کرد و اثر تنش‌های مختلف را روی میزان تولید ماسه و شکل منطقه تخریب حاصل از ماسه‌دهی بررسی کردند [۵]. آن‌ها دریافتند که هندسه منطقه تخریب بر اثر ماسه‌دهی پیرامون حفره، ارتباط مستقیمی با اختلاف و اندازه تنش‌های جانبی دارد.

۲- روش المان مجزا در PFC^{3D}

در PFC^{3D} جابجایی‌ها و واکنش متقابل مجموعه‌ی ذرات صلب کروی با استفاده از روش المان مجزا (DEM) مدل می‌شوند. از این رو جابجایی‌ها و چرخش‌های محدود اجسام گسسته و جداشدگی کامل را ممکن می‌سازد و به‌طور خودکار اتصالات جدید را با فرآیندهای محاسباتی، مشخص می‌کند. می‌توان PFC^{3D} را به دلیل محدودیت استفاده از ذرات کروی صلب به‌عنوان اجرای ساده‌شده‌ای از DEM در نظر گرفت.

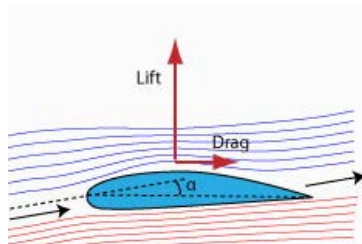
محاسبات انجام‌شده در DEM بین کاربرد قانون دوم نیوتن در مورد ذرات و قانون نیرو-جابجایی در اتصالات ارتباط ایجاد می‌کند. قانون دوم نیوتن برای تعیین حرکت هر ذره ناشی از اتصال و نیروهای عمل‌گر روی آن بکار می‌روند، درحالی‌که قانون نیرو-جابجایی برای به‌هنگام سازی نیروهای تماسی حاصل از حرکت نسبی در هر اتصال بکار گرفته شده است.

۲-۱- مدل جریان ذره‌ای PFC^{3D}

عموماً جریان ذره‌ای، رفتار مکانیکی یک سیستم متشکل از مجموعه‌ای از ذرات با شکل دلخواه را شبیه‌سازی می‌کند. مدل جریان ذره‌ای در PFC^{3D} شامل فرضیات زیر است [۶]:

- ۱) ذرات مانند اجسام سخت رفتار می‌کنند.
- ۲) اتصالات در طول یک ناحیه کوچک روی می‌دهند (مثلاً در یک نقطه).
- ۳) زمانی که ذرات در نقاط اتصال همپوشانی دارند، رفتار در اتصالات از یک پیوند اتصالی سست پیروی می‌کند.
- ۴) اتصال حاصل از همپوشانی ذرات به نیروی تماسی وابسته است که با کوچک‌تر شدن ذرات این اتصال قوی‌تر می‌شود.
- ۵) پیوندها در تماس بین ذرات ایجاد می‌شوند.
- ۶) تمامی ذرات کروی هستند که با مجموعه‌ای از ذرات می‌توان شکل دلخواه را ایجاد کرد.

فرضیه صلبیت تا زمانی مناسب است که، اغلب تغییر شکل‌های ایجادشده از طریق بروز جابجایی‌ها در امتداد پیوندهای بین ذرات باشد. تغییرشکل مجموعه‌ای از ذرات متراکم شده یا مجموعه‌ای از ذرات دانه‌ای منفصل مثل شن عمدتاً با توجه به این فرضیه به‌خوبی تشریح می‌شود. زیرا تغییرشکل عموماً از لغزش و چرخش ذراتی با پیکره صلب و بازشدگی و به‌هم‌پیوستگی در اتصالات نتیجه می‌شود نه از تغییرشکل ذرات



شکل ۱: نیروهای واردشده از طرف سیال به ذرات محیط

نیروی درگ اعمال شده به هر ذره برابر است با:

$$\vec{f}_{drag} = \frac{4}{3}\pi r^3 \frac{\vec{f}_b}{(1-\epsilon)} \quad (1)$$

که در آن r شعاع ذرات و \vec{f}_b نیروی حجمی وارد بر واحد حجم ذرات در المان سیال است.

که به صورت رابطه ۲ تعریف می شود:

$$\vec{f}_b = \beta \vec{U} \quad (2)$$

که در آن β یک ضریب و \vec{U} سرعت نسبی سیال بین ذرات به طور متوسط است که به صورت رابطه ۳ تعریف می شود.

$$\vec{U} = \vec{u} - \vec{v} \quad (3)$$

که در آن \vec{v} سرعت سیال و \vec{u} سرعت متوسط تمام ذرات موجود در المان مایع است.

۳- مدل سازی سه بعدی

با در نظرگیری اینکه، تولید ماسه ناشی از حرکت دانه‌ها در سنگ مخزن بر اثر نیروهای وارده بر آن است، مناسبترین نرم افزار برای بررسی مکانیزم تولید ماسه PFC^{3D} می باشد. لذا مخزن ماسه سنگی و چاه حفاری شده در آن به صورت سه بعدی در محیط این نرم افزار مدل سازی شده است.

شکل ۲ هندسه مدل ساخته شده را نشان می دهد. این شکل مربوط به مدل آزمایشگاهی بوده و برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. برای مدل اصلی آن و مشبک کاری آن تغییر یافته است که در ادامه توضیح داده می شود. برای ساخت هندسه ای استوانه ای در نرم افزار PFC^{3D} با توجه به اینکه این نرم افزار قابلیت ساخت دیواره منحنی شکل را ندارد، از تعداد زیادی دیواره (که تعداد این دیواره‌ها در کد قابل تنظیم است) در مسیر انحنای استوانه ای چاه و مخزن استفاده شده است.

منفرد. بنابراین به منظور بررسی رفتار مکانیکی چنین سیستم-هایی، مدل سازی دقیق تغییر شکل ذرات ضروری نیست.

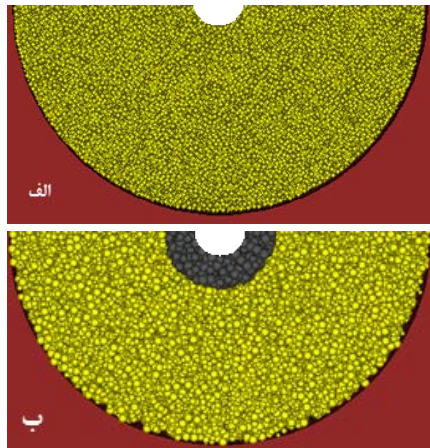
۲-۲- حرکت جریان سیال یا هیدرودینامیک

برای مدل سازی جزئیات جریان سیال بین ذرات از حل معادلات شناخته شده ناویر استوکس استفاده می شود و اثر مایع بر ذرات جامد موجود در مسیر جریان سیال در هر کدام از المان های سیال بررسی می شود.

در جریان محیط متخلخل دو نوع سرعت وجود دارد، یک سرعت داری یا ماکروسکوپی که بر پایه نتایج مطالعات آزمایشگاهی بر روی جریان آب گذرنده از میان یک ستون ماسه ای فرمول بندی شده است. مورد دوم سرعت بینابینی یا درون شبکه ای که درون منافذ محیط متخلخل حرکت می کنند و سرعت واقعی سیال است. سرعت ماکروسکوپی نرخ جریان سیال در واحد سطح مقطع است. این سرعت غیر واقعی است چراکه در این حالت فرض بر آن است که جریان در سرتاسر مقطع جاری است در حالی که جریان تنها در فضای منافذ اتفاق می افتد [۶].

۲-۳- اندرکنش سیال و ذرات

هنگامی که یک جسم در مسیر حرکت سیال قرار می گیرد دو نوع نیرو از جانب سیال به جسم وارد می شود. یک نیروی لیفت (Lift force) که در جهت عمود بر حرکت جریان سیال می باشد و دیگری نیروی درگ (Drag force) یا پسا که در جهت جریان سیال به ذرات محیط وارد می شود. اثر دینامیکی وارد شده در شکل زیر مشاهده می شود. نیروی درگ باعث کاهش سرعت جریان سیال در محیط متخلخل و در مجراهایی که سیال در آن ها حرکت می کند مثل جریان آب در لوله باعث افت فشار جریان سیال می شود. نیروی درگ به حجم جسم درون محیط متخلخل وارد می شود. واضح است که اگر مقدار این نیرو از نیروهای مقاوم وارد بر ذره بزرگ تر شود، باعث حرکت ذره می شود.

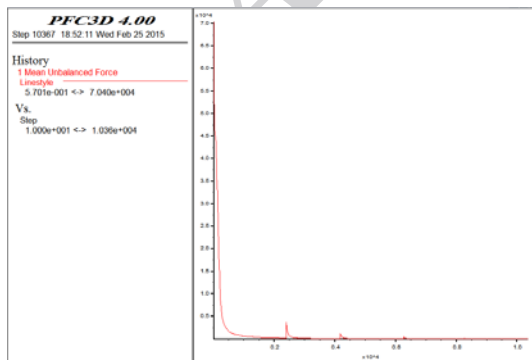


شکل ۳: مخازن ماسه‌سنگی، الف) بدون گراول ب) همراه با گراول

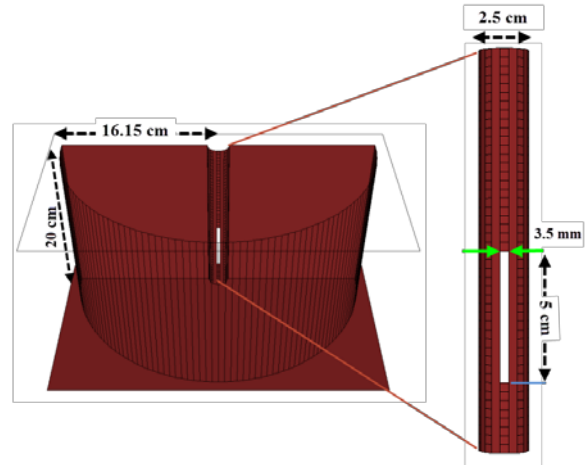
پک

مسئله بسیار مهم در روند شبیه‌سازی، حل مسئله در مراحل مختلف است. این کار به‌منظور از بین بردن تمرکز تنش و نیروهای نامتعادل کننده انجام می‌شود. همان‌طور که در فلوجارت مشخص است، قبل از حل نهایی و پیاده‌سازی شرایط سیال، مدل در مراحل مختلف ساخت حل می‌شود. شکل ۴ مقدار نیروهای نامتعادل کننده را در روند شبیه‌سازی و پیاده‌سازی شرایط نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، نیروهای نامتعادل کننده در ابتدا بسیار زیاد بوده و بعد از اولین حل به صفر میل می‌کند و مجدداً هنگام پیاده‌سازی مراحل مختلف دوباره مقدار گرفته و بعد از حل صفر می‌شود. در مورد خواص اتصالی بین ذرات، ماسه‌سنگ مخزن به‌صورت شکسته شده و ضعیف در نظر گرفته شده است و تنها پیوند بین ذرات، پیوند حاصل از همپوشانی می‌باشد. همچنین ضریب اصطکاک ۰/۲ برای سطوح در تماس باهم در نظر گرفته شده است.



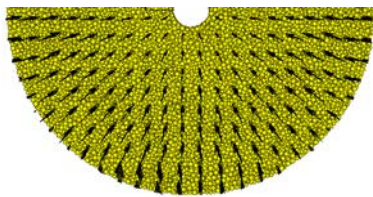
شکل ۴: نمودار نیروهای نامتعادل کننده در روند شبیه‌سازی



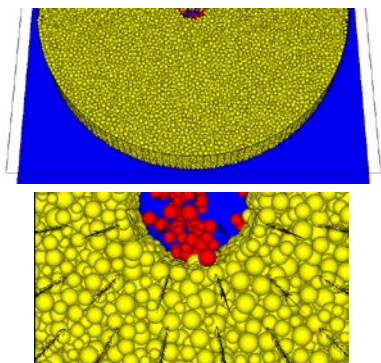
شکل ۲: مشخصات هندسی مدل عددی به‌منظور صحت‌سنجی

برای تولید دانه‌ها در مخزن دو قسمت در نظر گرفته شده است. قسمت حاشیه نزدیک چاه برای گراول پک که نوعی سیستم نگهداری برای کنترل تولید ماسه است و ضخامت آن از صفر یعنی چاه بدون گراول تا میزان دلخواه قابل تغییر است و قسمت ماسه‌سنگ که ضخامت آن بعد از گراول تا انتهای حاشیه مخزن می‌باشد. شکل ۳ مخزن در دو حالت بدون گراول و همراه با گراول پک را نشان می‌دهد. تخلخل ۲۰٪ برای سنگ مخزن در نظر گرفته شده است.

برای اعمال تنش در مدل‌های ساخته شده، در نرم‌افزار PFC^{3D} دو روش وجود دارد؛ روش اول حرکت دادن دیواره‌ها است (باید توجه داشت که دیواره شامل یک سمت فعال است که باید این سمت را در تماس با دانه‌ها قرارداد). در این مورد با توجه به مطالب گفته شده در فصل قبل نیروهای حجمی و تماسی درون هندسه مدل، هیچ‌گاه باعث حرکت دیواره نخواهد شد، اما با حرکت دادن دیواره می‌توان باعث ایجاد تنش روی دانه‌ها شد. روش دوم انتخاب کره تنش است. در این روش، حجم دلخواه کروی درون فضای هندسه مدل انتخاب شده و تنش روی سطح این کره محاسبه می‌شود. با توجه به این‌که دیواره‌های مدل همواره ثابت‌اند (به‌جز حالتی که کاربر به دیواره سرعت دهد)، با افزایش یا کاهش جزئی شعاع دانه‌ها می‌توان میزان تنش را روی کره تنش و نهایتاً در کل محیط کنترل کرد. در مدل ساخته شده به دلیل وجود دیواره‌های زیاد، کنترل تنش از روش اول امکان‌پذیر نیست. بنابراین برای اعمال تنش از روش دوم استفاده شده است.



شکل ۶- جریان سیال در مخزن



شکل ۷ الف) نمای دور از مخزن، همراه با تولید ماسه (ب) نما نزدیک چاه، همراه با تولید ماسه

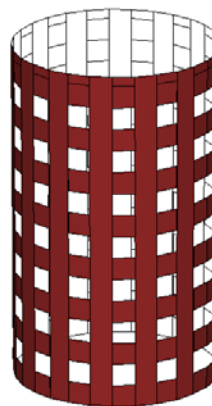
لازم به ذکر است با توجه به زمان زیاد محاسبات، در مدل‌های ساخته‌شده برای صحت‌سنجی و تحلیل حساسیت پارامترهای سیال، یک قطاع ۱۸۰ درجه (یعنی نصف چاه) شبیه‌سازی شده است.

۳-۲- صحت سنجی

شبیه‌سازی‌های عددی همواره از لحاظ اقتصادی، زمان و غیره نسبت به روش‌های آزمایشگاهی و میدانی ارجحیت دارند. اما لازمه اعتماد کردن به این روش‌ها مقایسه نتایج حاصل از آن‌ها با نتایج واقعی است. به منظور اعتبارسنجی مدل‌سازی انجام‌شده، نتایج مدل‌سازی عددی با نتایج داده‌های مدل آزمایشگاهی شیرین‌آبادی و همکاران مقایسه شده است [۷]. محفظه شبیه‌ساز مخزن در این آزمایش دارای یک هندسه سیلندری شکل می‌باشد که یک چاه در وسط آن تعبیه شده است. در طول آزمایش فشار ورودی ثابت بوده و دستگاه یک سازند ماسه‌سنگی سست (بدون چسبندگی بین ذرات) را که در زیر یک لایه نفوذناپذیر (پوش‌سنگ) قرار دارد، شبیه‌سازی می‌کند.

با توجه به هندسه مدل آزمایشگاهی، نوع سوراخ‌کاری چاه، مشخصات ذرات ماسه استفاده‌شده و سیال استفاده‌شده مدل عددی نیز شبیه‌سازی شده است. شکل ۲ مشخصات هندسه مدل عددی ساخته‌شده و جدول ۱ مشخصات ذرات استفاده‌شده به منظور صحت سنجی را نشان می‌دهد.

نهایتاً در ساخت هندسه مدل و قبل از پیاده‌سازی شرایط سیال دیواره داخلی چاه مشبک‌کاری می‌شود. شکل ۵ مشبک‌کاری دیواره چاه را نشان می‌دهد. در این حالت، تعداد و اندازه سوراخ‌ها نیز قابل کنترل می‌باشد.

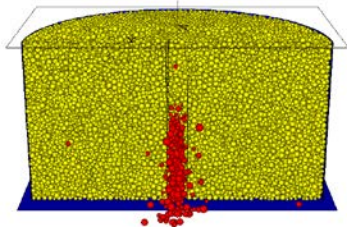


شکل ۵: مشبک‌کاری جداره چاه

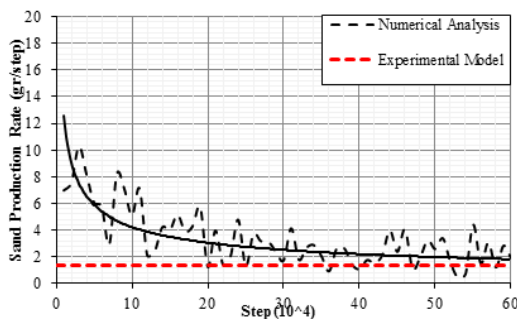
۳-۱- پیاده‌سازی شرایط سیال

ورود سیال به ذرات ساخته‌شده در نرم‌افزار PFC^{3D} نیازمند المان بندی مجدد سیال است، المان بندی سیال به گونه‌ای است که اندازه آن‌ها از المان‌های مجزا که کره‌ها هستند بزرگ‌تر می‌باشد، بنابراین در هر المان سیال تعدادی ذره قرار می‌گیرد. با پیاده‌سازی شرایط مرزی سیال و ورود آن، در هر گام زمانی سیال، معادلات ناپیر-استوکس که به‌طور مفصل در فصل قبل توضیح داده شد، در المان‌های سیال حل می‌شود. در فرایند حل مقدار نیرویی که از طرف سیال به دانه‌های ماسه وارد می‌شود، در هر گام زمانی سیال محاسبه می‌شود. در صورتی که برآیند این نیرو و دیگر نیروهای عامل حرکت، از برآیند نیروهای نگه‌دارنده ذره در موقعیت خود بیشتر شود، دانه‌ی ماسه حرکت می‌کند. اگر این حرکت تا دیواره چاه ادامه پیدا کند و دانه ماسه همراه با سیال وارد چاه شود، تولید ماسه اتفاق می‌افتد. در شبیه‌سازی انجام‌شده با ورود دانه به چاه رنگ کره موردنظر عوض‌شده، حجم و وزن آن محاسبه می‌شود. شکل ۶ جریان سیال در مخزن و شکل ۷ تولید ماسه در چاه را نشان می‌دهد.

زمانی حل سیال در دوزرب می‌شود تا تولید در چاه کامل به دست آید. تولید ماسه در مدل عددی در شکل ۸ و مقایسه نرخ تولید ماسه‌ی دو مدل در شکل ۹ نشان داده شده است. لازم به ذکر است نرخ تولید ماسه برای مدل آزمایشگاهی نرخ متوسط تولید می‌باشد، بنابراین همواره در این بازه زمانی ثابت است که در نمودار با خط چین قرمز رنگ نشان داده شده است.



شکل ۸: تولید ماسه در مدل عددی



شکل ۹: مقایسه نتایج نرخ تولید ماسه در مدل سازی عددی و آزمایشگاهی

همان‌طور که از شکل ۹ مشخص است، نرخ تولید ماسه در مدل عددی به سمت نرخ تولید در مدل آزمایشگاهی میل می‌کند و تا حد زیادی به آن نزدیک شده است. تفاوت موجود نیز به این علت است که دانه‌های مدل عددی از لحاظ هندسی کاملاً کروی هستند، در حالی که کروییت دانه‌های کوارتز در مدل آزمایشگاهی برابر ۰/۷ است.

۴- بررسی تأثیر فشار محصورکننده

به منظور بررسی تأثیر عمق چاه و تنش‌های محصورکننده بر تولید ماسه سه مدل مختلف با اعمال تنش‌های متفاوت ساخته شده است. در مدل اول تنش محصورکننده ۲ مگاپاسکال و ۵۸۵۱۹ کره، مدل دوم با تنش محصورکننده ۲۰ مگاپاسکال و ۵۹۴۵۲ کره و در مدل سوم تنش محصورکننده ۵۰ مگاپاسکال و ۶۱۳۷۵ کره است. نفت سبک ۱ با فشار ۲۰۰ کیلو پاسکال برای شرایط مرزی سیال در هر سه مدل

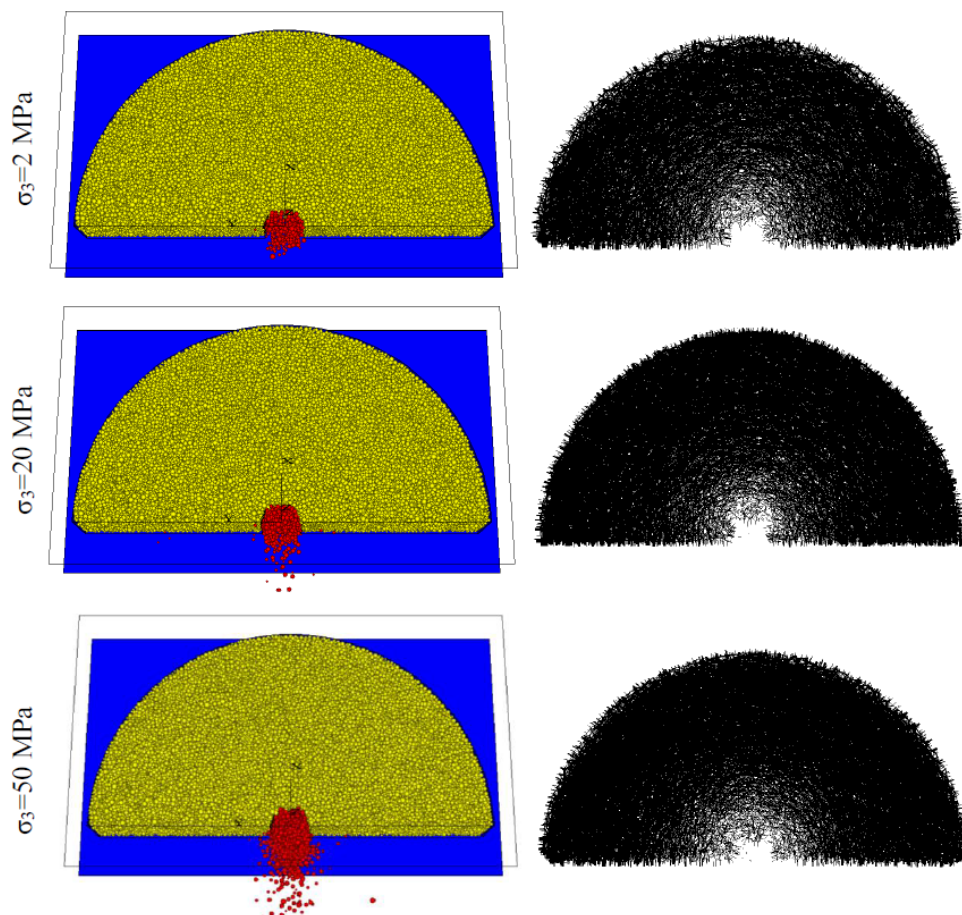
جدول ۱: مشخصات ذرات استفاده شده در مدل عددی

پارامتر	واحد	مقدار
شعاع ذرات	mm	۱-۲
شعاع ذرات گراول	mm	۲/۳۳۸-۴/۵
تعداد ذرات مدل بدون گراول		۵۵۳۲۲
تعداد ذرات مدل با گراول		۵۲۸۵۳
تخلخل اولیه	%	۲۰
سختی نرمال	N/m	۱۰۸
سختی برشی	N/m	۱۰۸
دانسیته ذرات	Kg/m ³	۲۶۵۰
دانسیته سیال	Kg/m ³	۱۰۰۰
ویسکوزیته دینامیک سیال	cp	۱
فشار سیال ورودی	kPa	۲۰۰

مدل در هر دو حالت با گراول و بدون گراول شبیه‌سازی شده است. شکل ۳ دو مدل عددی ساخته شده به منظور صحت سنجی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است سختی نرمال، برشی و دانسیته ذرات در مدل‌های ساخته شده برای بررسی پارامتری نیز برابر مقادیر جدول ۱ است.

۳-۳- مقایسه نتایج

به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از مدل عددی و مدل آزمایشگاهی، میانگین نرخ تولید ماسه برای پنج حالت بدون گراول و پنج حالت با گراول در آزمون‌های آزمایشگاهی محاسبه شده و با نتایج حاصل از مدل عددی مقایسه شده است. در مدل‌های با گراول در هر دو حالت آزمایشگاهی و عددی مقدار ماسه‌ی تولید شده برابر صفر است. مدل‌های آزمایشگاهی در حالت بدون گراول، نرخ‌های تولید متفاوت ولی نزدیک به هم دارند. با میانگین‌گیری از این مقادیر، نرخ تولید متوسط ۴/۲۲ گرم بر ثانیه برای آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شده به دست می‌آید. با توجه به اینکه مقدار ماسه‌ی تولید شده در نرم‌افزار در هر ۱۰۰۰۰ گام زمانی ثبت می‌شود و این تعداد گام برابر یک سوم ثانیه در واقعیت است، بنابراین نرخ تولید در نرم‌افزار برای این بازه زمانی محاسبه می‌شود. همچنین تولید ثبت شده در مدل عددی برای نصف چاه است. با در نظرگیری موارد ذکر شده برای مقایسه دو مدل، نرخ تولید در آزمایشگاه در یک سوم ثانیه برابر ۱/۴ است و مقدار تولید ماسه در گام‌های



شکل ۱۰- تولید ماسه و نیروهای تماسی برای مدل‌هایی با تنش محصورکننده متفاوت

در مورد نیروهای تماسی در مدل‌هایی با تنش پایین‌تر مقدار این نیرو از ابتدای اجرای مدل در سطح کمتری قرار دارد. گستردگی ناحیه سست شده در مخزنی با سطح تنش پایین‌تر، بیشتر تحت تأثیر تولید ماسه قرار دارد. به نحوی که گسترش این ناحیه در مدلی با تنش محصورکننده ۲ مگاپاسکال با تقریباً یک‌دوم مقدار ماسه تولیدشده نسبت به مخزنی که تنش محصورکننده آن ۲۰ مگاپاسکال است، بیشتر می‌باشد. این بدان معنی است که در سنگ مخزن با تنش اعمال‌شده بالاتر تولید ماسه بیشتر مربوط به ناحیه‌ی دور چاه است.

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر تنش محصورکننده بر تولید ماسه در چاه، مقدار و نرخ تولید ماسه هرکدام از مدل‌ها به ترتیب در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

اعمال شده است. تولید ماسه و نیروهای تماسی برای هرکدام از مدل‌ها به ترتیب در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

اعمال تنش محصورکننده بالا، در مدل‌هایی که این پارامتر مقدار بیشتری دارد، تأثیر بیشتری بر تخریب ناحیه‌ی دور چاه دارد. حذف شدن تعدادی از دانه‌ها باعث می‌شود نیروی تماسی روی دانه‌های اطراف فضای خالی کاهش پیدا کند. همچنین با حذف دانه‌های ابتدایی از سنگ مخزن این مدل‌ها، سیال با سرعت بیشتری به سمت فضای خالی شده که اکنون تحت نیروی تماسی کمتری است حرکت می‌کند. بنابراین سیال با سرعت بالا در محیطی با نیروی تماسی کم در جریان است. در نتیجه همان‌طور که از شکل ۱۲ مشخص است با افزایش فشار محصورکننده مقدار ماسه‌ی تولیدشده در چاه افزایش پیدا می‌کند.

پیدا کرده است. در این مورد نیز همواره منحنی‌های مربوط به تولید تجمعی ماسه با شیب مربوط به نرخ تولیدشان در حال دور شدن از هم می‌باشند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور بررسی تأثیر فشار محصورکننده بر تولید ماسه در چاه‌های نفت، مخزن ماسه‌سنگی و چاه حفاری شده در آن، با کد نویسی در محیط نرم‌افزار PFC^{3D} شبیه‌سازی شد. در ابتدا نتایج حاصل از مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد. در مورد مدل‌های با نگره‌دارنده گراول در هر دو حالت آزمایشگاهی و عددی مقدار تولید ماسه برابر صفر بوده است. در مواردی که چاه فاقد نگره‌دارنده گراول می‌باشد، نرخ تولید ماسه در مدل عددی تا حد قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی مطابقت دارد.

نتایج عددی نشان دادند که با شروع تولید ماسه، سنگ مخزن در اطراف چاه دچار سست شدگی می‌شود و با افزایش مقدار تولید ناحیه سست شده گسترش می‌یابد. همچنین نتایج نشان دادند که در سازندهای ضعیف که فشار محصورکننده در آن‌ها زیاد است، در مقایسه باحالتی که مقدار تنش مذکور در سطوح پایین‌تری قرار دارد، نسبت به فشار ثابت سیال، تحریک پذیرتر می‌باشند. بنابراین با افزایش تنش محصورکننده، تولید ماسه افزایش پیدا می‌کند.

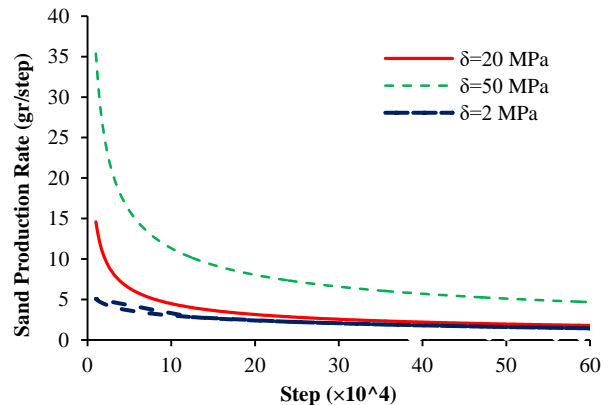
Engineers. DIO:10.2118/90273-MS.

[4] Isehunwa S, Farotade A. (2010). Sand Failure Mechanism and Sanding Parameters in Niger Delta Oil Reservoirs. Int J Eng Sci and Tech. 2:777-82.

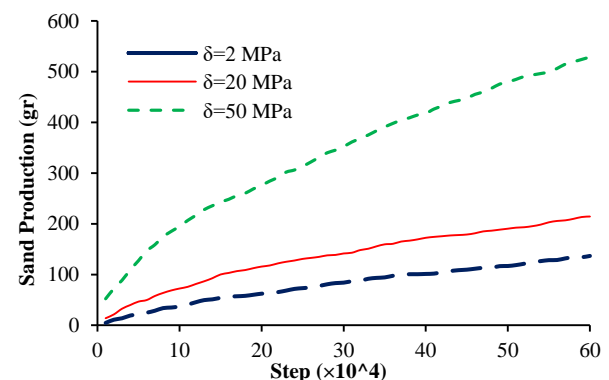
[5] Younessi A, Rasouli V, Wu B. (2013). Sand production simulation under true-triaxial stress conditions. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 61:130-40.

[6] Itasca consulting group, (2012). PFC^{3D} software Manual version 4 & 5.

[7] R. Shirinabadi, P. Moarefvand, K. Goshtasbi, K. Ahangari. (2013). Designing a Device for Physical Modeling of Sand Production. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X / 1450-202X Vol. 105 No 3, pp.429-437.



شکل ۱۱: تولید ماسه برای مدل‌های با تنش محصورکننده متفاوت



شکل ۱۲: نرخ تولید ماسه برای مدل‌های با تنش محصورکننده متفاوت

همان‌طور که از شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشخص است با افزایش تنش محصورکننده مقدار ماسه و نرخ تولید آن افزایش

۶-۶- مراجع

- [1] Tixier MP, Loveless GW, Anderson RA. (1975). Estimation of Formation Strength From the Mechanical-Properties Log. Society of Petroleum Engineers, DIO:10.2118/18244-MS.
- [2] Vardoulakis I, Stavropoulou M, Papanastasiou P. (1996). Hydro-mechanical aspects of the sand production problem. Transport in Porous media.;22:225-44.
- [3] Nouri A, Vaziri HH, Belhaj HA, Islam MR. (2004). Sand-Production Prediction: A New Set of Criteria for Modeling Based on Large-Scale Transient Experiments and Numerical Investigation. Society of Petroleum