

تاثیر اندازه و شکل کنده‌های مته بر فرآیند حفاری

وحید صفاری^۱، سید سعید بحرینیان^۲، عزیز عظیمی^۳

دانشگاه شهید چمران اهواز
 v-saffari@mscstu.scu.ac.ir

چکیده

اندازه و شکل کنده‌های حفاری روی تمیزکاری حفره چاه تاثیرگذار است. نمونه‌گیری صحیح کنده‌های حفاری و تفسیر اطلاعات مربوط به آن‌ها موجب جلوگیری از مشکلات احتمالی و بهبود عملیات حفاری می‌شود. در این تحقیق یک دستورالعمل مناسب برای نمونه‌گیری و اندازه‌گیری خواص کنده‌های حفاری برای تعیین سرعت ته‌نشینی کنده‌ها ارائه شده است. نمونه‌گیری از کنده‌های حفاری برای سازند گچساران در چهار عمق مختلف صورت گرفته است. نمونه‌گیری، از دو محل حوضچه و خروجی الک لرزان انجام شده و توزیع فراوانی اندازه‌ی کنده‌های حفاری مطابق با استاندارد ASTM C136 تعیین شده‌اند. شکل هندسی کنده‌ها به صورت تعریف ضریب کرویت و با اندازه‌گیری حجم و سطح کنده‌ها به روش تصویربرداری بدست آمده است. سپس، سرعت ته‌نشینی با استفاده از رابطه‌ی تجربی API RP13D با یک روش عددی سعی و خطا محاسبه شده است. مقدار چگالی کنده‌های سازند گچساران با روش اندازه‌گیری جرم و حجم کنده‌ها، برای ۱۰ مجموعه مختلف به صورت تجربی اندازه‌گیری شده و مقدار آن برابر ۲/۴۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد بهترین نمونه‌گیری مربوط به نمونه‌های گرفته شده از وسط حوضچه‌ی الک لرزان و قبل از ته‌نشینی مجدد کنده‌ها می‌باشد. بیشترین توزیع فراوانی کنده‌های حفاری سازند گچساران بین ۱/۲ و ۲/۳۶ میلی‌متر و ضریب کرویت برای کنده‌های این سازند بین مقادیر ۰/۶۲ و ۰/۷۴ می‌باشد. در همه روابط تجربی سرعت ته‌نشینی، با افزایش قطر کنده‌ها سرعت ته‌نشینی به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. سرعت ته‌نشینی کنده‌ها با افزایش ضریب کرویت، افزایش یافته و بیشترین سرعت ته‌نشینی برای کنده‌های کروی بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: کنده‌های حفاری، ضریب کرویت، سرعت ته‌نشینی، تمیزکاری چاه.

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۲- دانشیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۳- استادیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۱- مقدمه

تمیزکاری حفره چاه همواره به عنوان یک مسئله اساسی در عملیات حفاری مطرح بوده است. عدم انتقال تمامی کنده‌های حفاری به بیرون از چاه می‌تواند مشکلات پرهزینه‌ای مانند گیرکردن مته در حین عملیات حفاری، اعمال گشتاور بیش از حد (بالا رفتن توان مصرفی تجهیزات دوار) و ایجاد اشکال در عملیات سیمانکاری را موجب شود. در حال حاضر نمونه‌گیری از کنده‌ها توسط زمین‌شناسان، گل‌شناسان و کارشناسان محیط زیست صورت می‌گیرد. اما هیچ یک از کارشناسان اندازه و شکل کنده‌ها را مورد توجه قرار نمی‌دهند. پژوهش حاضر به نمونه‌گیری و تعیین خواص کنده‌های حفاری به منظور محاسبه سرعت ته‌نشینی کنده‌ها پرداخته است. تعیین خواص کنده‌ها حین عملیات حفاری سبب حصول اطمینان از تمیزکاری چاه، تشخیص سقوط دیواره چاه و ارزیابی عملکرد مته می‌شود.

توانایی حمل کنده‌ها توسط گل حفاری از حدود ۷۰ سال پیش موضوع تحقیقات پژوهشگران بسیاری بوده است. پیگوت^۱ در سال ۱۹۴۱ آزمایش‌های خود را در شرایط جریان آرام و لزجت بالا انجام داد و سرعت نهایی لغزش را برای کنده‌ها بدست آورد [۱]. در سال ۱۹۵۱ ویلیام^۲ و بروس^۳ اولین پژوهشگرانی بودند که اهمیت تعیین سرعت میانگین دالیزی را برای تمیز کردن چاه مورد توجه قرار دادند. پژوهش آن‌ها بر پایه نتایج گسترده آزمایشگاهی با استفاده از کنده‌های دیسکی شکل بود. از نتایج کار آن‌ها تعیین مقدار ۱۰۰ فوت بر دقیقه برای سرعت گل در دالیز می‌باشد [۲].

سیفرمن^۴ و همکاران انتقال کنده‌ها در یک چاه عمودی به طول ۱۴۰ فوت و قطر لوله جداری ۸ اینچ و لوله حفاری ۴ اینچ را مورد بررسی قرار دادند. هدف آن‌ها از انجام آزمایش‌های خود تعیین درجه‌ی اهمیت عوامل موثر بر انتقال کنده‌های حفاری بود. در این آزمایش‌ها شبیه‌سازی کنده‌ها توسط اجسام منشوری شکل از جنس مخلوط پلاستیک، موم و سرب صورت گرفته است. آن‌ها دریافتند سرعت گل حفاری در دالیز و خواص رئولوژی سیال مهمترین متغیرهای موثر بر انتقال کنده‌ها می‌باشند. همچنین اندازه‌ی کنده‌ها و چگالی گل حفاری جزو متغیرهای با تاثیرگذاری متوسط می‌باشد؛ دیگر متغیرها نظیر چرخش لوله‌ی حفاری و هم مرکزیت لوله‌ها از تاثیرگذاری کمتری برخوردارند [۳].

سمپل^۵ و همکاران روابط تجربی سرعت ته‌نشینی مر^۶ [۴]، چن^۷ [۵] و والکر^۸ [۶] را با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی خود با یکدیگر مقایسه کردند. آن‌ها دریافتند که رابطه پیشنهادی توسط مر بهترین همخوانی را با نتایج داده‌های تجربی نشان می‌دهد [۷]. چن نیز در سال ۱۹۹۴ رابطه‌ی تجربی جدیدی را برای محاسبه سرعت ته‌نشینی کنده‌ها بدست آورد. این رابطه از داده‌های گسترده مربوط به ضریب پسا و عدد رینولدز^۹ ذرات با شکل نامنظم بدست آمده است [۸].

بیزانتی^{۱۰} و الکفیف^۱ انتقال کنده‌های حفاری در چاه‌های انحرافی و افقی را مورد آزمایش قرار داده‌اند. آن‌ها یک روش

^۱ Pigott

^۲ William

^۳ Bruce

^۴ Sifferman

^۵ Sample

^۶ Moore

^۷ Chein

^۸ Walker

^۹ Reynolds Number

^{۱۰} Bizanti

ساده جهت پیش‌بینی حداقل جریان مورد نیاز پمپ برای حمل کنده‌ها در یک حفره انحرافی یا افقی ارائه کرده‌اند [۹]. نظری^۲ و هارلند^۳ نیز مطالعه دقیقی روی تحقیق‌های مربوط به تمیزکاری حفره چاه انجام داده‌اند. آن‌ها به خوبی اثبات نمودند سرعت جریان سیال حفاری و چرخش لوله‌ی مته تاثیر مثبت بر تمیز کردن حفره چاه دارند. اما در عین حال، افزایش سرعت جریان باعث افزایش تلفات اصطکاکی شده و چگالی در گردش^۴ را افزایش می‌دهد [۱۰].

تحقیق‌های عددی انجام شده پیرامون این موضوع، تعداد آزمایش‌های تجربی را کاهش و یا حتی حذف کرده‌اند [۱۱]. با وجود کارهای بسیاری که در این حوزه انجام شده است اما هنوز ابهاماتی در برخی بخش‌ها وجود دارد. از جمله می‌توان به استفاده از کنده‌های مصنوعی در آزمایش‌ها اشاره کرد. تا کنون از کنده‌های واقعی جهت آزمایش‌ها استفاده نشده است؛ لذا تحقیق پیرامون تمیزکاری بهینه چاه همچنان ادامه دارد.

۲- نمونه‌گیری از کنده‌های حفاری

کنده‌های حفاری پس از خروج از دالیز توسط دستگاه‌های جداکننده نظیر الک لرزان، ماسه‌زدا و شن‌زدا از سیال حفاری تصفیه می‌شوند. نمایی از این دستگاه‌ها در شکل ۱ مشاهده می‌گردد.



شکل ۱: نمایی از دستگاه‌ها الف-الک لرزان ب-ماسه زدا پ-شن زدا

برای تعیین خواص کنده‌های حفاری نیاز به نمونه‌گیری مناسب و رصد دائمی الک لرزان می‌باشد. نمونه‌ی ایده‌آل، نمونه‌ای است که بیانگر خواص کنده‌های درون دالیز باشد؛ زیرا این کنده‌ها تحت تاثیر مستقیم فرآیند حفاری هستند. نزدیک‌ترین محل قابل دسترسی جهت نمونه‌گیری کنده‌های خروجی دالیز، انتهای لوله‌ای است که جریان برگشتی سیال حفاری را به الک لرزان می‌رساند. محل لوله‌ی برگشتی در شکل ۲ نشان داده شده است.

^۱ Alkafeef

^۲ Nazari

^۳ Hareland

^۴ Equivalent Circulating Density



شکل ۲: لوله‌ی برگشتی از دالیز به الک لرزان

لوله‌ی برگشتی، سیال حفاری را به درون حوضچه‌ی الک لرزان^۱ انتقال می‌دهد. جریان سیال حفاری از محل حوضچه‌ی الک لرزان به روی دو توری ریخته شده و کنده‌ها از سیال حفاری جدا می‌شود. مناسب‌ترین محل‌های نمونه‌گیری از کنده‌های حفاری، حوضچه و خروجی الک لرزان می‌باشند. نمونه‌گیری از محل حوضچه‌ی الک لرزان به دلیل عدم ته‌نشینی مقداری از کنده‌ها از دقت خوبی برخوردار است. همچنین نمونه‌گیری از خروجی الک لرزان امکان دسترسی به انبوه کنده‌ها در مدت زمان کوتاهی را فراهم می‌کند. نمونه‌گیری به کمک یک ظرف یک لیتری طبق شکل ۳ از حوضچه‌ی الک لرزان صورت می‌گیرد.



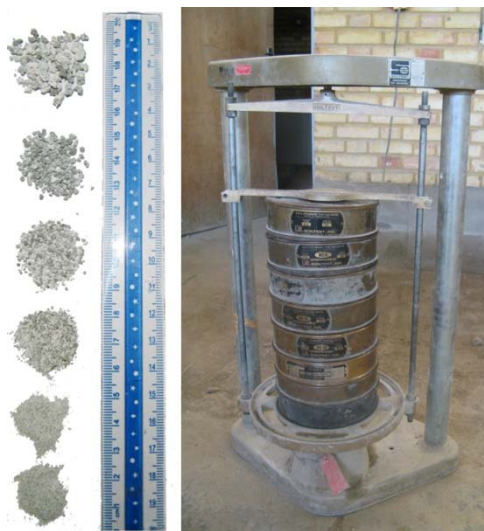
شکل ۳: نحوه‌ی نمونه‌گیری از حوضچه‌ی الک لرزان

پس از نمونه‌گیری از خروجی الک لرزان، کنده‌ها را به کمک آب شستشو داده و جهت جداسازی سیال حفاری چسبیده به کنده‌ها از توری با شبکه API 30 استفاده می‌شود. این توری کنده‌های بزرگتر از ۶۰۰ میکرون را جدا می‌کند. سپس، کنده‌ها در معرض نور آفتاب قرار گرفته تا به طور کامل خشک شود.

۳- اندازه‌گیری خواص کنده‌های حفاری

برای بدست آوردن اندازه و توزیع فراوانی کنده‌های حفاری طبق استاندارد ASTM C136 از الک‌های شماره ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۶، ۸ و ۴ استفاده شده است. درصد وزنی کنده بوسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم بدست می‌آید. شکل ۴ دستگاه لرزاننده و نمونه‌های دانه‌بندی شده را نمایش داده است.

^۱ Possum Belly



الف- الک‌ها و دستگاه لرزانده
 ب- نمونه‌ها پس از غربال
 شکل ۴: غربال کردن نمونه‌های کنده‌های حفاری

برای تعیین چگالی کنده‌های حفاری از ۱۰ مجموعه مختلف استفاده شده است. جرم هر نمونه به کمک ترازوی دیجیتال محاسبه شده و حجم هر یک از نمونه‌ها توسط استوانه مدرج با دقت ۰/۱ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شده است. با داشتن جرم m و حجم نمونه‌ها V ، چگالی آن‌ها به کمک رابطه (۱) محاسبه می‌شود. مقدار میانگین چگالی کنده‌های سازند گچساران برابر ۲/۴۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

ضریب کرویت یکی از شاخص‌های تعیین شکل کنده است. این فاکتور نشان دهنده‌ی میزان شباهت کنده به کره می‌باشد. هر چه شکل کنده از کره دورتر باشد، ضریب کرویت کمتر است. ضریب کرویت ψ ، برابر نسبت مساحت کره هم حجم کنده S_c به مساحت واقعی کنده S_a طبق رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود.

$$\psi = \frac{S_c}{S_a} \quad (2)$$

برای بدست آوردن مساحت کره‌ی هم حجم، ابتدا حجم کنده به کمک اندازه‌گیری جرم و با توجه به داشتن چگالی آن از رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید. سپس، مساحت کره هم حجم از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود. مساحت واقعی کنده نیز به کمک مساحت تصویر شده‌ی میانگین، از رابطه‌ی (۴) بدست می‌آید. مساحت تصویر شده‌ی میانگین نیز از رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌گردد.

$$S_s = 4.84V^{\frac{2}{3}} \quad (۳)$$

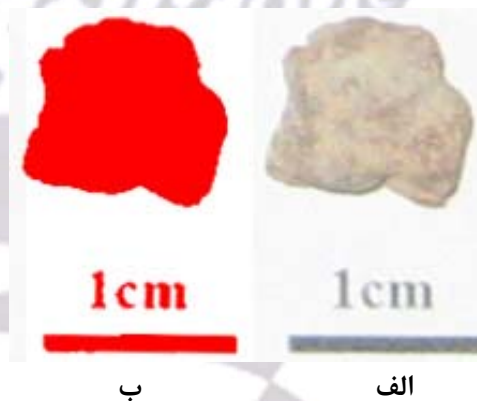
$$S_c = 4P_a \quad (۴)$$

$$P_a = \frac{P_L + P_F + P_T}{3} \quad (۵)$$

در رابطه‌ی (۵) P_L ، P_F و P_T مساحت تصویر شده‌ی کنده از سه نما می‌باشند. برای بدست آوردن مساحت‌های تصویر شده از پردازش تصویر استفاده شده است.

برای تصویربرداری از مساحت کنده در یک نما، از یک دوربین دیجیتال و صفحه کالیبره شده استفاده شده است. تصویر دیجیتالی، به صورت رنگی^۱ RGB و دارای وضوح ۵ مگاپیکسل^۲ می‌باشد.

برای پردازش تصویر از نرم‌افزار پردازش تصویر دیجی‌مایزر^۳ ساخت شرکت مدکالک^۴ استفاده شده است. هر تصویر دارای زمینه و شی می‌باشد. برای استخراج مساحت تصویر شده لازم است شی از زمینه جدا شود. بر همین اساس، تصویر فراخوان شده در نرم‌افزار به تصویر باینری تبدیل شده است. نمونه‌ی تصویر واقعی و باینری در شکل ۵ نشان داده شده است. پس از باینری کردن تصویر توسط نرم‌افزار پردازش تصویر، تصویر شی جدا شده از زمینه را انتخاب کرده و با دادن مقیاسی که در زمینه مشخص شده (در اینجا 1cm) مساحت تصویر شده نمایش داده می‌شود.



شکل ۵: الف- تصویر واقعی از مساحت تصویر شده ب- تصویر باینری شده توسط نرم‌افزار پردازش تصویر

۴- محاسبه‌ی سرعت ته‌نشینی

نیروهایی که به یک کنده به سمت بالا وارد می‌شود شامل نیروی پسا و شناوری می‌باشند. نیروی پسا تحت تاثیر لزجت و نیروی شناوری ناشی از اختلاف چگالی کنده‌ها با سیال حفاری می‌باشد. نیروی گرانشی وزن نیز در جهت منفی و رو به پایین

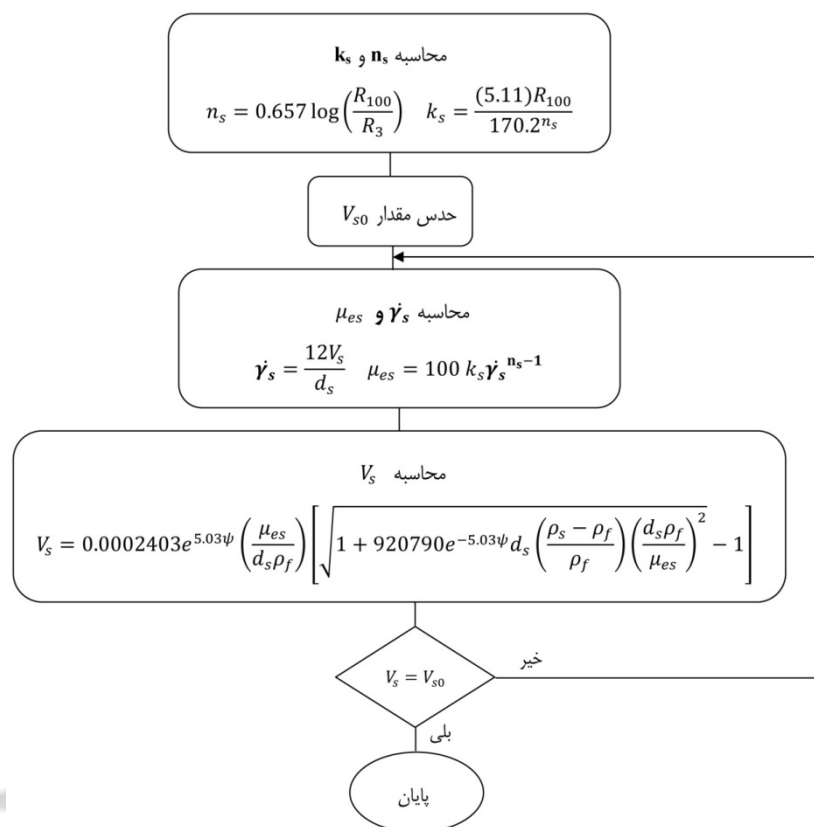
^۱ Red- Green- Blue

^۲ MegaPixel

^۳ Digimizer

^۴ MedCalc

به کنده وارد می‌شود. سرعت ته‌نشینی کنده‌ها به کمک رابطه‌ی استاندارد API RP 13D و حل تکرارمطابق شکل ۶ محاسبه می‌گردد.



شکل ۶: فرآیند محاسبه‌ی سرعت ته‌نشینی به روش API RP13D

داده‌های مربوط به ابعاد حفره چاه، اندازه و خواص گل حفاری در جدول ۱ نشان داده شده است.

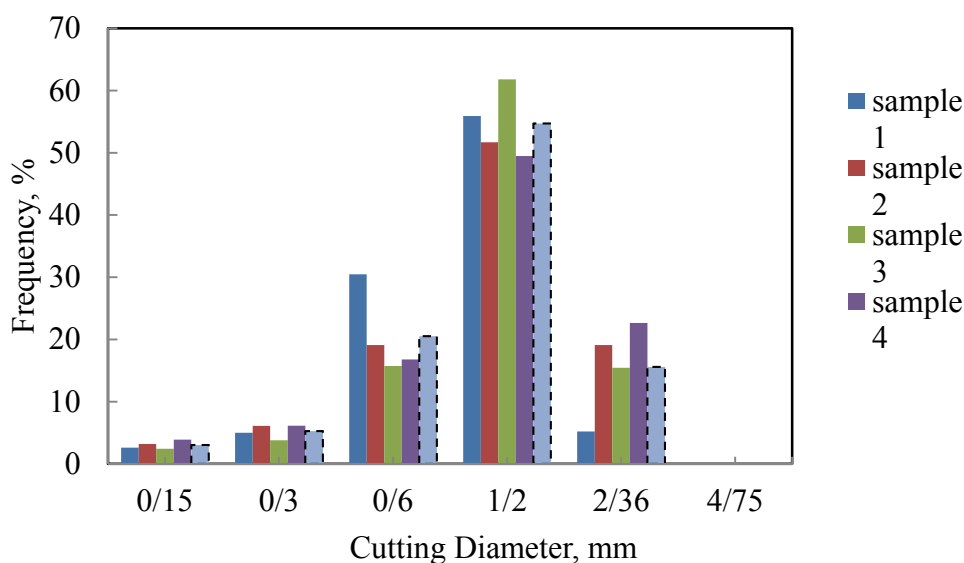
جدول ۱: مشخصات حفره چاه و گل حفاری

۴۵/۱۵ cm	بزرگترین قطر آنالوس ^۱
۱۲/۷ cm	قطر کوچک آنالوس
۲۰۴ m ³ /hr	دبی حجمی سیال
۱/۲۸ g/cm ³	چگالی سیال

^۱ Annulus

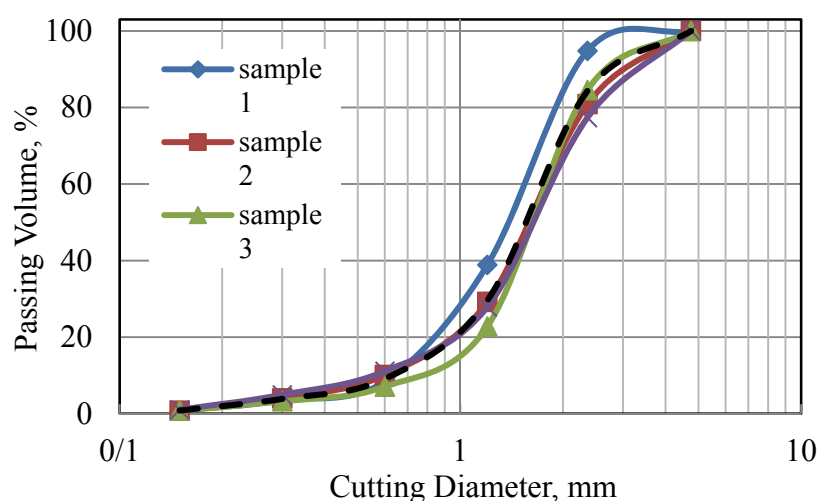
۵- نتایج

پس از نمونه‌گیری مناسب از کنده‌های حفاری، غربال آن‌ها توسط الک و دستگاه لرزاننده مکانیکی طبق استاندارد ASTM C136 صورت می‌گیرد. نتایج حاصل‌های از غربال کنده‌های سازند گچساران به صورت درصد فراوانی کنده‌ها و نیز درصد عبوری آن‌ها بدست می‌آید. نتایج حاصل از درصد فراوانی کنده‌های حفاری سازند گچساران در شکل ۷ نشان داده شده است. بیشترین درصد فراوانی این کنده‌ها مربوط به کنده‌های باقیمانده در الک شماره‌ی ۱۶ می‌باشد. بنابراین به طور میانگین حدود ۵۵ درصد کنده‌های حفاری سازند گچساران، دارای اندازه‌ای بین $1/2$ و $2/36$ میلی‌متر می‌باشند.



شکل ۷: توزیع اندازه و درصد فراوانی کنده‌های حفاری سازند گچساران

نمودار درصد عبوری برای کنده‌های حفاری سازند گچساران به صورت نیمه لگاریتمی در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل ۹ مقدار D_{50} حدود $1/75$ میلی‌متر می‌باشد. D_{50} قطر بزرگترین کنده‌ای است که می‌تواند از الکی که 50 درصد کنده‌ها از آن عبور کرده‌اند رد شود.



شکل ۸: نمودار درصد عبوری کنده‌های حفاری سازند گچساران

کنده‌های سازند گچساران به دو دسته‌ی کوچک و متوسط تقسیم شده‌اند. کنده‌های کوچک شامل کنده‌هایی با اندازه‌ی بین ۱/۲ و ۲/۳۶ میلی‌متر می‌باشند. کنده‌های متوسط سازند گچساران نیز اندازه‌ای بین ۲/۳۶ و ۴/۷۵ میلی‌متر دارند. برای هر دسته از کنده‌ها ۶ نمونه به صورت تصادفی انتخاب شده است. با اندازه‌گیری حجم و سطح کنده‌های هر دسته ضریب کرویت آن محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل از محاسبه‌ی ضریب کرویت برای کنده‌های سازند گچساران در جدول ۲ آمده است.

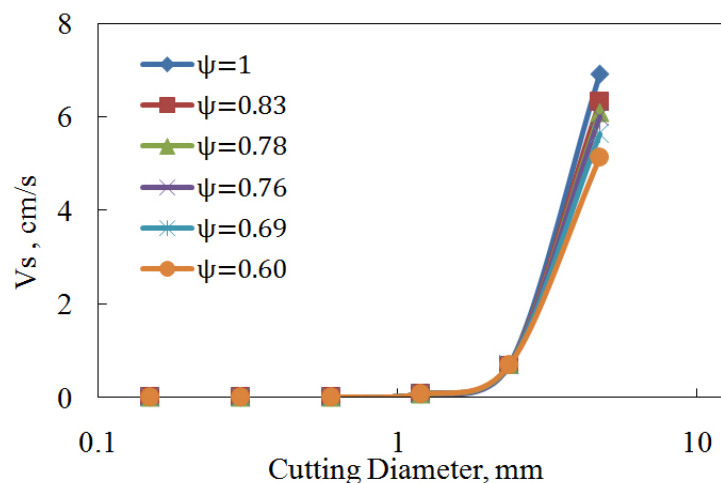
جدول ۲: محاسبه‌ی ضریب کرویت برای کنده‌های حفاری سازند گچساران

نمونه	کنده‌های کوچک			کنده‌های متوسط		
	حجم Cm ³	سطح Cm ²	ضریب کرویت	حجم Cm ³	سطح Cm ²	ضریب کرویت
۱	۰/۰۰۶۱	۰/۲۳	۰/۷۰	۰/۰۲۱۵	۰/۵۸	۰/۶۴
۲	۰/۰۰۶۱	۰/۲۵	۰/۶۶	۰/۰۳۰۸	۰/۷۵	۰/۶۴
۳	۰/۰۰۵۳	۰/۲۳	۰/۶۲	۰/۰۳۰۴	۰/۷۴	۰/۶۴
۴	۰/۰۰۵۷	۰/۲۲	۰/۶۹	۰/۰۳۲۴	۰/۷۶	۰/۶۵
۵	۰/۰۰۸۱	۰/۲۷	۰/۷۳	۰/۰۳۴۰	۰/۷۴	۰/۶۸
۶	۰/۰۰۵۷	۰/۲۱	۰/۷۴	۰/۰۲۹۱	۰/۷۳	۰/۶۳
ضریب کرویت متوسط			۰/۶۹	۰/۶۵		

نتایج حاصل از محاسبه‌ی ضریب کرویت برای کنده‌های سازند گچساران نشان می‌دهد ضریب کرویت برای کنده‌های این سازند بین ۰/۶۲ و ۰/۷۴ متغیر می‌باشد. ضریب کرویت متوسط برای کنده‌های کوچک برابر ۰/۶۹ و برای کنده‌های متوسط

برابر ۰/۶۵ بدست آمده است.

سرعت ته‌نشینی کنده‌های سازند گچساران با توجه به ضریب کرویت‌های مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹: سرعت ته‌نشینی کنده‌های با ضریب کرویت مختلف طبق رابطه‌ی API RP13D

در رابطه‌ی تجربی API RP13D با افزایش قطر کنده‌ها سرعت ته‌نشینی به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. تغییرات سرعت ته‌نشینی مربوط به کنده‌های کوچکتر از ۲/۳۶ میلی‌متر کمتر از ۲ درصد و بیشترین تغییرات سرعت ته‌نشینی مربوط به کنده‌های بزرگ با قطر ۴/۷۵ میلی‌متر و به مقدار ۴۹ درصد می‌باشد. سرعت ته‌نشینی کنده‌ها مطابق شکل ۹ با افزایش ضریب کرویت افزایش یافته و بیشترین سرعت ته‌نشینی کنده‌های سازند گچساران برابر ۶/۹ سانتی‌متر بر ثانیه برای کنده‌های کروی می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک دستورالعمل مناسب برای نمونه‌گیری و اندازه‌گیری خواص کنده‌های حفاری برای تعیین سرعت ته‌نشینی کنده‌ها ارائه شده است. نمونه‌گیری از کنده‌های حفاری برای سازند گچساران در چهار عمق مختلف صورت گرفته است. نمونه‌گیری از دو محل حوضچه و خروجی الک لرزان انجام شده و توزیع فراوانی اندازه کنده‌های حفاری مطابق با استاندارد ASTM C136 تعیین شده‌اند. شکل هندسی کنده‌ها به صورت تعریف ضریب کرویت و با اندازه‌گیری حجم و سطح کنده‌ها به روش تصویربرداری بدست آمده است. سپس، سرعت ته‌نشینی با استفاده از رابطه‌ی تجربی API RP13D با یک روش عددی سعی و خطا محاسبه شده است.

مقدار چگالی کنده‌های سازند گچساران با روش اندازه‌گیری جرم و حجم کنده‌ها، برای ۱۰ مجموعه مختلف به صورت تجربی اندازه‌گیری شده و مقدار آن برابر ۲/۴۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است.

نتایج نشان می‌دهد بهترین نمونه‌گیری مربوط به نمونه‌های گرفته شده از وسط حوضچه‌ی الک لرزان و قبل از ته‌نشینی مجدد کنده‌ها می‌باشد. بیشترین توزیع فراوانی کنده‌های حفاری سازند گچساران بین ۱/۲ و ۲/۳۶ میلی‌متر و ضریب کرویت برای کنده‌های این سازند بین مقادیر ۰/۶۲ و ۰/۷۴ می‌باشد. در رابطه‌ی تجربی API RP13D با افزایش قطر کنده‌ها سرعت

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: اهم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱
www.Reservoir.ir

تهنشینی به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. سرعت تنش‌نی‌کننده‌ها با افزایش ضریب کروی افزایش یافته و بیشترین سرعت تنش‌نی‌کننده‌های سازند گچساران برابر $6/9$ سانتی‌متر بر ثانیه برای کنده‌های کروی می‌باشد.



تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب انجام شده است. نویسندگان از اداره کل حفاری این شرکت تشکر و قدردانی می‌نمایند.

فهرست علائم

d_s	قطر کنده، mm
m	جرم کنده، g
n_s	ضریب رئولوژی گل حفاری
k_s	ضریب رئولوژی گل حفاری
V_s	سرعت ته‌نشینی cm/s
∇	حجم کنده، cm^3
ρ_f	چگالی گل حفاری g/cm^3
ρ_s	چگالی کنده، g/cm^3
γ_s	نرخ برشی ته‌نشینی 1/s
μ_{es}	لزجت موثر، cp
ψ	ضریب کرویت
S_s	مساحت کره‌ی هم حجم
S_c	مساحت واقعی کنده
P_a	مساحت تصویر شده‌ی میانگین
P_L	مساحت تصویر شده‌ی کنده از نمای چپ
P_F	مساحت تصویر شده‌ی کنده از نمای روبرو
P_T	مساحت تصویر شده‌ی کنده از نمای بالا

مراجع

- [1] Pigott, R. J. S., 1941. "Mud Flow in Drilling". *Drilling and Production Practice*, API, (1942) 1 January, New York.
- [2] Williams, C. E., Jr. and Bruce, G. H., 1991. "Carrying Capacity of Drilling Muds". *Journal of Petroleum Technology*, 191, pp. 111-120.
- [3] Sifferman, T. R., Meyers, G. M., Haden, E. L., and Wahl, H. A., "Drill-Cutting Transport in Full-Scale Vertical Annuli," *J. Pet. Tech.* (Nov. 1974) 1295-1302.
- [4] Moore, Preston L., and Cole, Frank W., 1965. *Drilling Operations Manual*, The Petroleum Publishing Co., Tulsa.
- [5] Chien, Sze-Foo, 2003. "Annular Velocity for Rotary Drilling Operations". *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 9, pp. 403-416.
- [6] Walker, R. E., and Korry, D. E., 1973. "Field Method of Evaluating Annular Performance of Drilling Fluids", paper SPE 4321 presented at the SPE Second Annual European Meeting, London, England, April 2-3.
- [7] Sample, K.I. and Bourgoyne, A.T., 1977. "An Experimental Evaluation of Correlations Used for Predicting Cutting Slip Velocity". paper SPE 6645 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Oct. 9-12.
- [8] Chein, S. F., 1994. "Settling Velocity of Irregularly Shaped Particles", *SPE Drilling & Completion*, December, 4(9), pp. 281-289.
- [9] Bizanti, M. S., Alkafeef, S. F., 2003. "A Simplified Hole Cleaning Solution to Deviated and Horizontal Wells", Middle East Oil Show, 9-12 June, Bahrain.
- [10] Nazari, T., Hareland, G., and Azar, J. J., 2010. "Review of Cuttings Transport in Directional Well Drilling: Systematic Approach". SPE Western Regional Meeting, 27-29 May, Anaheim, California, USA.

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: اهم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱
www.Reservoir.ir

- [11] Daneh Dezfuli, A. and Bahrainain, S. S., 2014. "A Grid Generation Algorithm for Reservoir Domains with Discrete Fracture Networks. *International Journal of Oil, Gas & Coal Technology*, 4, pp. 417-431.

