

بررسی آزمایشگاهی کاربرد خاک دیاتومه در پایدارسازی پسماند حفاری

مستانه حاجی پور^{۱*} و فراز ایران نژاد^۲

۱- استادیار گروه مهندسی نفت دانشکده نفت و مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حفاری دانشکده نفت و مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۰۵- تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۹)

چکیده:

عملیات حفاری یکی از عملیات‌های دشوار و پرهزینه در صنعت نفت به شمار می‌رود. یکی از مشکلاتی که صنایع نفت و گاز با آن مواجه هستند آلودگی‌های ناشی از پسماند حفاری می‌باشد. ترکیبات شیمیایی مورد استفاده جهت تنظیم خواص فیزیکی و رئولوژیکی گل و کنده‌های حفاری می‌توانند اثرات سوء و مخربی بر محیط زیست داشته باشند. در تحقیق حاضر استفاده از خاک دیاتومه به عنوان ماده‌ای طبیعی جهت تثبیت و پایدارسازی کنده‌های حفاری بر روی نمونه‌های پسماند در میدان چشمه خوش مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی کیفیت پسماند تثبیت شده با استفاده از خاک دیاتومه تست‌های شین (Sheen)، کن (Can) و ریتورد (Retort) بر روی پسماند پردازش شده انجام شد. همچنین امکان احیای مجدد خاک از طریق کشت بذر گندم و میزان جوانه زدن آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تست‌های آزمایشگاهی بر روی پسماند پردازش شده نشان داد که جذب رطوبت و تثبیت کنده‌ها بخوبی انجام شده است. بر خلاف مواد شیمیایی متداول در صنعت، تغییری در pH پسماندهای مورد پردازش با خاک دیاتومه مشاهده نشد. مقدار بهینه خاک دیاتومه جهت پایدارسازی نمونه‌های پسماند دارای ۶۵٪ و ۷۸٪ ذرات جامد بترتیب برابر با ۰/۰۳۸ و ۰/۰۲۵ گرم به ازای هر سانتیمتر مکعب از کنده‌های حفاری به دست آمد. رشد بذر گندم در نمونه‌های تثبیت شده نشان دهنده سازگاری روش مورد استفاده در این تحقیق با محیط زیست است. در این روش نه تنها آلودگی ناشی از پسماند حفاری از محیط زیست حذف شده بلکه امکان احیای خاک میسر می‌شود. نتایج نشان داد که خاک دیاتومه دارای پتانسیل بسیار خوبی جهت حذف رطوبت و پایدارسازی پسماندهای حفاری است.

کلید واژگان: مدیریت پسماند، سیال حفاری، تست شین (Sheen)، تست کن (Can) و تست ریتورد (Retort)

۱. مقدمه

امروزه با توجه به نیاز بشر به انرژی و سوخت‌های فسیلی سالانه حفاری‌های بسیاری در نقاط مختلف جهان و بخصوص در ایران انجام می‌گیرد. برای حفاری هر چاه نیاز به سیال حفاری مناسب با توجه به شرایط منطقه و لیتولوژی سازند می‌باشد. سیال حفاری متشکل از ترکیبات شیمیایی زیادی است که پس از گردش در چاه و حمل خرده‌های حفاری دوباره به سطح زمین و محیط زیست بر می‌گردد. بخشی از این سیال که قابل استفاده مجدد نباشد دور ریز می‌شود که به شدت برای محیط زیست و انسان خطرناک است و باید به بهترین روش تصفیه و از محیط حذف گردد. امروزه افزایش هشدارهای عمومی پیرامون اهداف زیست محیطی سبب بهبود انگیزه‌های موجود در زمینه اقتصادی و طراحی جهت به حداقل رساندن پسماند حاصل از حفاری چاه‌ها شده است. در سیستم‌های جدید، کنده‌های حفاری که بوسیله دستگاه‌های کنترل جامدات جدا می‌شوند از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی بررسی و آنالیز شده و پس از عملیات بهسازی به صورت جامد و تثبیت شده به محل مخصوصی حمل و به روش استاندارد دفن می‌شوند. همچنین تمام آزمایش‌ها از نظر زیست محیطی در فاز مایع انجام و پس از بازیافت مجدداً استفاده یا به طور ایمن و استاندارد دفن می‌شوند (Neff, 2005). یکی از آلاینده‌های اصلی در عملیات حفاری، گل‌های حفاری است که به‌طور متداول شامل ترکیبات ناخواسته‌ای مانند فلزات سنگین، نمک‌ها و هیدروکربن‌ها هستند که غلظت آنها در انواع گل به‌طور قابل توجهی متغیر است. تحولات در صنعت حفاری که بیشتر در زمینه گل حفاری، مواد متشکله آن و دستگاه‌های تصفیه گل هستند، دارای تنوع

گونگونی بوده و تلاش برای جایگزینی مواد سازگار با محیط زیست و تغییر فرمولاسیون این مواد در راستای تجزیه‌پذیری در محیط زیست و نداشتن عوارض خطرناک از دغدغه‌های اصلی جهت داشتن حفاری بدون آلاینده‌گی^۱ است. امروزه با توجه به توسعه عملیات حفاری برای تولید سیالات هیدروکربوری و نیز اهمیت روز افزون رعایت مسائل زیست محیطی در صنایع مختلف به خصوص صنعت نفت، نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های بهتر و کارآمدتر جهت کنترل پسماندهای حاصل از حفاری بیش از پیش شده است. همواره خرده‌های حاصل از حفاری و جامداتی که از دستگاه کنترل جامدات دفع می‌شود، می‌توانند مشکلات عدیده‌ای در عملکرد گل و بروز آثار مخرب زیست محیطی ایجاد کنند (Neff, 2005). گل حفاری و پسماندهای ناشی از حفاری در صورتی که به طور صحیح مدیریت نشوند، علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین به صنعت نفت، می‌توانند به یکی از منابع آلودگی در محل حفاری تبدیل شوند. مدیریت پسماند حفاری عبارت است از یک مجموعه مقررات منسجم برای کنترل تولید، جمع‌آوری، انتقال و دفع مواد زاید و پسماند منطبق بر بهترین اصول بهداشتی، اقتصادی، حفاظت از منابع و سایر ملزومات زیست محیطی به طوری که در پایان عملیات حفاری هیچ پسماندی از گل و کنده‌های حفاری در اطراف چاه باقی نماند (Golestanifar & Beheshti, 2015; Rena, 2008; Bourgoyne et al., 1991). سیالاتی که در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند عمدتاً به سه دسته گل-های پایه آبی، گل‌های پایه گازی و گل‌های پایه روغنی تقسیم می‌شوند و بر حسب نیاز مواد

گل می‌باشند که ممکن است از درون آن خارج شود و آنرا برای استفاده مجدد و یا دفع نامناسب سازند. به همین جهت مواد متعددی ممکن است برای تثبیت و جامدسازی کنده‌های حفاری به آنها اضافه شود. تثبیت و پایدارسازی شامل روش‌هایی است که پتانسیل خطر پسماند را بوسیله تبدیل ناخالصی‌ها به شکلی با کمترین سمیت، قابلیت حرکت و قابلیت انحلال کاهش می‌دهد. روش‌های مختلفی جهت تثبیت کنده‌های حاصل از عملیات حفاری مطرح شده است (Phillips et al., 2018; Yudistira et al., 2018). در برخی مراجع جهت حذف آلاینده‌ها و پردازش پسماند حفاری و تبدیل آن به منابع خاک مورد استفاده در کشاورزی روش‌هایی ارائه شده است (Zha et al., 2018). در گذشته اغلب از سیمان، خاکستر بادی، آهک و اکسید کلسیم برای تثبیت کنده‌ها و دیگر انواع جامدات مرطوب استفاده می‌شده است. اخیراً انواع دیگر افزایش‌دهنده‌ها برای تثبیت کنده‌ها و تعیین عملکرد آنها به عنوان محیط کشت برای رشد گیاهان تالابی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. این مواد مشتمل بر خاک با پایه مایکا، مایکا ریز، مخلوط‌های تجاری متفاوت از الیاف سلولزی بازیافت شده و پلاگ گردو می‌باشند (Okparanma et al., 2018).

خاک دیاتومه که از پودر کردن دیواره‌های سلولی صدف مانند دیاتومه‌ها بدست می‌آید دارای بیشتر از ۸۰ درصد سیلیس، ۴-۱ درصد آلومینا و ۳-۵٪ درصد اکسید آهن است. اندازه ذرات خاک دیاتومه می‌تواند بین ۱ تا ۲۰۰ میکرون باشد و تقریباً ۹۰٪ از حجم دیاتومه در بر گیرنده حفره‌ها و دهلیزهای بسیار نازکی است که با هم در ارتباط می‌باشند. این منفذهای زیاد، دیاتومه را قادر ساخته تا بتواند تا

شیمیایی مختلفی (باریت، بتونایت، کربنات سدیم و ...) به آن اضافه می‌شود. میزان مصرف مواد شیمیایی در سیال حفاری با توجه به عمق حفاری، ویژگی‌های سازند، نوع مخزن (نفت یا گاز) و شرایط چاه متغیر می‌باشد.

در عملیات حفاری سیال و کنده‌های حفاری با نفت، آب و مواد شیمیایی دیگر تلفیق شده و یک مخلوط شیمیایی و خطرناک را به وجود می‌آورد که دارای نفت و ترکیبات شیمیایی می‌باشد. با توجه به اینکه کنده‌ها و پسماند حفاری حاوی مواد شیمیایی و عناصر مضر از لحاظ زیست محیطی هستند، دفع مناسب و ایمن آنها در محیط حائز اهمیت فراوان است (Kheirizadeh et al., 2013). کنده‌های حفاری در عملیات حفاری در خشکی، غالباً در گودال‌های مخصوص دفع پسماندها ریخته شده و در بسیاری از مناطق دریایی در همان محل دکل در دریا رها می‌شود که این تخلیه نامناسب ضایعات حفاری صدمات جبران ناپذیری به همراه خواهد داشت. بیشترین اثرات مخرب ناشی از رهاسازی پسماند حفاری زمانی رخ می‌دهد که از گل‌های پایه روغنی که بخش عمده آن گازوئیل است استفاده شود و به همین دلیل رهاسازی گل‌های حفاری پایه روغنی و کنده‌های آغشته به آن در بسیاری از مناطق جهان ممنوع است (Asadi, 1982).

برای مدیریت پسماند حفاری راهکارهای متعددی وجود دارد و عمدتاً به دو روش سیستم مدار باز و سیستم مدار بسته انجام می‌شود (Ahammad, Sharif et al., 2017; Kalhor Mohammadi & Tahmasbi, 2008; Hassan & Kamal, 2000). کنده‌های حاصل از عملیات حفاری پس از جداسازی بوسیله تجهیزات کنترل جامدات حاوی مقادیر زیادی

روش بر طبیعی بودن و عدم استفاده از مواد شیمیایی و گران قیمت می‌باشد. نوآوری اصلی این تحقیق به کار بردن خاک دیاتومه برای اولین بار در فرآیند تثبیت پسماند حفاری و بررسی تاثیر آن بر کیفیت پسماند پردازش شده می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

جهت بررسی اثر خاک دیاتومه بر تثبیت پسماند حفاری، نمونه‌هایی از کنده‌های آغشته به گل حفاری پایه روغنی از دو چاه در حال حفاری در منطقه عملیاتی چشمه خوش تهیه شد. میدان نفتی چشمه خوش در منطقه دشت عباس استان ایلام، در فاصله ۵۲ کیلومتری از جنوب شهرستان دهلران و ۷۰ کیلومتری غرب شهرستان اندیمشک مستقر می‌باشد. این میدان در سال ۱۳۴۳ کشف شده و تولید از آن در سال ۱۳۵۴ آغاز شده است. کنده‌های حاصل از عملیات حفاری این میدان مربوط به سازند آسماری و از نوع سنگ‌های کربناته بوده که با توجه به گل پایه روغنی مورد استفاده در عملیات حفاری آغشته به گازوییل و ترکیبات نفتی هستند.

ابتدا برای نمونه‌های تهیه شده از منطقه عملیاتی تست ریتورد^۲ جهت اندازه گیری درصد روغن، آب و ذرات جامد موجود در کنده‌های به جا مانده از عملیات حفاری انجام شد. سپس نمونه‌ها با مقادیر مختلفی از خاک دیاتومه (محصول شرکت پیشگامان شیمی) به خوبی مخلوط شده و پس از استراحت به مدت حداقل یک روز آزمایش‌های لازم شامل تست شین^۳ و تست کن^۴ انجام گرفت. در شکل ۱ نمونه خاک دیاتومه و گل پایه روغنی مورد استفاده در

شش برابر وزن خودش مایعات را جذب نماید. از سایر مشخصات دیاتومه‌ها می‌توان به ترکیب کاملاً خنثی و مقاومت در برابر حرارت و pH بالا اشاره کرد. خواص فیزیکی دیاتومه‌ها از جمله انبوه حفره‌های میکروسکوپی و سطح بسیار زیاد آنها به همراه خواص شیمیایی که مهمترین آن خنثی بودن دیاتومه‌هاست، این خاک را قادر به جذب بسیاری از ذرات ریز جامد معلق در مایعات می‌نماید. ذرات بسیار ریزی که از اکثر فیلترها عبور می‌کنند توسط خاک دیاتومه قابل جذب می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد خاک دیاتومه، کاربردهای زیادی در صنایع مختلف از جمله به عنوان فیلتر، عایق، جاذب و غیره دارد (Fields & Korunic, 2000; Morsy Heg et al., 2010; Aivalioti et al., 2010; Korunic, 2013).

در عملیات حفاری فرآیندهای مختلفی برای پردازش و یا کاهش ترکیبات خطرناکی مانند مواد نفتی، نمک و فلزات سنگین موجود در سیال حفاری استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر خاک دیاتومه جهت جذب رطوبت از پسماندهای حفاری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در این روش نمونه‌های پسماند حفاری پس از تعیین درصد جامدات و نسبت آب به نفت با مقادیر مختلفی از خاک دیاتومه مخلوط شده و تست‌های مورد نیاز جهت ارزیابی کیفیت پسماند پردازش شده انجام گرفت. مقدار بهینه مورد نیاز خاک دیاتومه در نسبت‌های مختلف آب به نفت موجود در پسماند بدست آمد. به منظور بررسی سازگاری محصول پردازش شده با محیط زیست کشت بذر گندم انجام گرفت. با توجه به خاصیت رطوبت زدایی و فیلتراسیون خاک دیاتومه، سیال در منافذ آن محبوس شده و از محیط حذف می‌گردد. مزیت این

2 -Retort test

3 -Sheen test

4 -Can test

حفاری منطقه مورد نظر نشان داده شده است. براساس طیف نگاری فلورئورسانس پرتو ایکس، قسمت عمده ترکیبات خاک دیاتومه استفاده شده، سیلیس می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی خاک دیاتومه

L.O.I.	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ترکیب
۴/۷۶	۰/۲۷	۰/۷۹	۰/۸۳	۱/۱۴	۱/۵۸	۱/۴۲	۳/۸۶	۸۵/۳۵	درصد



(ب)



(الف)

شکل ۱- (الف) نمونه خاک دیاتومه و (ب) نمونه گل پایه روغنی

محفظه کندانسور به حالت مایع درآمده و در انتها مایع حاصل بدلیل اختلاف دانسیته به دو فاز آب و نفت تفکیک می‌شود که نفت بر روی سطح آب قرار می‌گیرد. در پایان مطابق با شکل ۲ (ب) حجم آب و حجم روغن از روی استوانه مدرج خوانده شده و درصد هر فاز نسبت به حجم کل محاسبه گردید. جهت افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها، هر آزمایش حداقل سه مرتبه تکرار و نتایج به صورت میانگین در نظر گرفته شد.

۲-۱. تست ریتورد

دستگاه تست ریتورد بر اساس جداسازی فیزیکی و بر پایه فرآیندهای تبخیر و میعان عمل می‌کند. برای انجام این تست مطابق با استاندارد API نمونه کنده-های حفاری در ظرف نمونه‌گیری به حجم ۵۰ CC قرار گرفته و به مدت دو ساعت در دمای ۹۵۰ درجه فارنهایت حرارت داده شدند. در شکل ۲ (الف) نمونه کنده‌های حفاری پس از حرارت دادن و جداسازی مایعات نشان داده شده است. بر اثر حرارت، سیال باقی مانده در کنده‌ها تبخیر شده و پس از ورود به



(ب)



(الف)

شکل ۲- (الف) نمونه کنده‌های حفاری پس از جداسازی مایعات (ب) جداسازی مایعات حاصل از تست ریتورد

۲-۲. تست شین

تست شین یکی از مهمترین و اولین آزمایش‌ها جهت تایید صحت فرآیند تثبیت کنده‌های حفاری است. برای انجام این آزمایش ظروف نمونه گیری باید به طور کامل شسته و تمیز شوند. بدین منظور ظروف نمونه گیری پس از شستشو با اسید کلریدریک سه مرتبه با آب مقطر شسته شده و خشک شدند. سپس ۲۵ گرم از نمونه کنده‌های حفاری که حداقل یک روز از مخلوط شدن آنها با خاک دیاتومه و سفت شدن آنها گذشته بود به ۵۰۰ میلی لیتر آب اضافه و به مدت ۵ دقیقه به شدت بهم زده شد تا تمامی ذرات جامد در آب پخش شوند. سپس مدت ۱۵ دقیقه به مخلوط حاصل استراحت داده شد تا به حالت پایداری برسد. عدم وجود و درخشش روغن پس از ۱۵ دقیقه بر روی سطح آب نشان دهنده این است که تثبیت کنده‌ها به درستی انجام گرفته است.

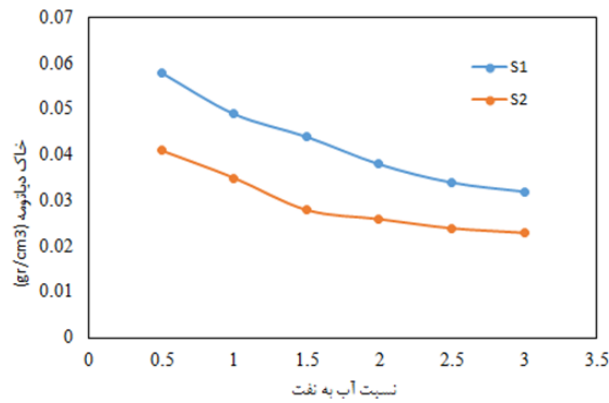
۲-۳. تست کن

آزمایش دیگری که معمولاً برای کنترل کیفیت کنده‌های حفاری انجام می‌گیرد تست کن می‌باشد. این آزمایش وجود هرگونه آب یا سیال روغنی را در توده کنده‌های حفاری نشان می‌دهد. برای انجام این تست، یک ظرف استوانه ای کاملاً تمیز و خشک از نمونه کنده‌های مخلوط شده با خاک دیاتومه پر شده و کاملاً فشرده شدند تا شکل قالب به خود بگیرد. ظرف حاوی نمونه به صورت وارونه روی یک سطح صاف و تمیز که جاذب رطوبت نبود برگردانده و ظرف برداشته شد تا کنده‌های حفاری به صورت قالبی روی سطح قرار گیرد. با گذشت زمان تغییر شکل نمونه‌ها

مورد بررسی قرار گرفت. ایجاد هر گونه وارفتگی و تغییر شکل در نمونه‌ها، وجود آب یا روغن و مواد نفتی در کنده‌ها را نشان می‌دهد. علاوه بر آزمایش‌های فوق، جهت بررسی اثر خاک دیاتومه بر ترمیم خاک منطقه و قابلیت کشت گیاه در آن، به عنوان نمونه از بذر گندم استفاده شد. بدین صورت که در دمای محیط آزمایشگاه جوانه زنی بذر گندم در نمونه‌های تثبیت شده با مقادیر مختلف خاک دیاتومه مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳. نتایج

با تثبیت کنده‌های حفاری با استفاده از خاک دیاتومه، عملکرد این ماده به عنوان جاذب روغن، قدرت آن در تغییر pH و ترمیم خاک ارزیابی شد. نتایج تست ریتورد بر روی نمونه‌های پسماند حفاری منطقه عملیاتی مورد نظر، نشان داد که نمونه اول (S1) دارای ۶۵ درصد و نمونه دوم (S2) دارای ۷۸ درصد ذرات جامد می‌باشد. نسبت آب به نفت در نمونه اول برابر با ۲ و در نمونه دوم برابر با ۱/۴ بدست آمد. با تغییر مقدار خاک دیاتومه مورد استفاده جهت تثبیت کنده‌های حفاری، مقدار بهینه برای نمونه اول برابر با ۰/۰۳۸ و برای نمونه دوم ۰/۰۲۵ گرم به ازای هر سانتیمتر مکعب از کنده‌های حفاری بدست آمد. یکی از پارامترهای موثر بر مقدار مورد نیاز خاک دیاتومه نسبت آب به نفت در پسماند حفاری می‌باشد. با تغییر نسبت آب به نفت در نمونه‌های کنده‌های حفاری، مقدار مورد نیاز خاک دیاتومه محاسبه شده و در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- مقدار مورد نیاز خاک دیاتومه جهت پایدارسازی کنده‌ها

بررسی نمونه‌های پسماند که با مقادیر بهینه خاک دیاتومه تثبیت شده بودند در تست کن نشان داد که با گذشت زمان هیچ گونه تغییر شکلی در نمونه‌ها ایجاد نشده و سیال روغنی از نمونه‌ها نشت نداشته است. نتایج این تست تایید کننده حذف روغن و رطوبت از پسماند حفاری با استفاده از خاک دیاتومه بوده است. در شکل ۴ نمونه پسماند تثبیت شده با خاک دیاتومه نشان داده شده است.

نتایج تست شین نشان داد که با استفاده از مقدار بهینه خاک دیاتومه جهت پایدارسازی کنده‌ها، پس از مخلوط شدن نمونه‌ها با آب، هیچ گونه ذرات روغنی بر روی سطح آب مشاهده نمی‌شود و این امر نشان دهنده جذب کامل مواد روغنی از پسماند حفاری می‌باشد. همچنین اندازه گیری pH نمونه‌های تثبیت شده نشان داد که بر خلاف مواد شیمیایی مورد استفاده در پایدارسازی کنده‌ها، خاک دیاتومه تغییری در pH پسماندهای تثبیت شده ایجاد نمی‌کند.



شکل ۴- نمونه کنده‌های تثبیت شده با خاک دیاتومه

مشاهده می‌شود پس از گذشت پنج روز رشد گندم مشاهده شد که نشان دهنده سازگاری محصول مورد پردازش با محیط زیست می‌باشد.

جهت بررسی امکان ترمیم خاک، کنده‌های پردازش و تثبیت شده با خاک دیاتومه به عنوان محیط کشت برای بذر گندم استفاده شد. همان طور که در شکل ۵



شکل ۵- کشت گندم در نمونه‌های تثبیت شده با خاک دیاتومه

۴. بحث و نتیجه گیری

عملیات تثبیت و پایدارسازی کنده‌های حفاری یکی از مهمترین روش‌های مدیریت پسماند قبل از رهاسازی آن در محیط می‌باشد. بخصوص زمانی که به دلایل مختلف جهت کنترل پایداری چاه از سیالات پایه روغنی استفاده می‌شود، اهمیت این موضوع دو چندان می‌شود. به کار بردن گل پایه روغنی علاوه بر ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و تهدید چرخه حیات گیاهان و جانوران در نواحی اطراف دکل حفاری، می‌تواند سلامت نیروی انسانی که در محل عملیات حضور دارند را به خطر بیندازد (Xu et al., 2018). در میان روش‌های متعددی که در دهه‌های اخیر جهت تصفیه و جداسازی پسماندهای صنعتی به کار برده شده است، جاذب‌های جامد سازگار با محیط زیست یکی از پرکاربردترین روش‌ها می‌باشد. در بسیاری از مطالعات و پژوهش‌های اخیر، تلاش‌های بسیاری جهت توسعه جاذب‌های جدید بر پایه رزین‌های تبادل یونی، زئولیت‌ها، کربن فعال و مواد طبیعی صورت گرفته است (Thompson, 2015; Meng et al., 2017). در این مقاله امکان سنجی استفاده از خاک دیاتومه جهت حذف رطوبت و تثبیت کنده‌های حفاری بر روی دو نمونه پسماند مربوط به منطقه چشمه خوش مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج آزمایشگاهی تست‌های شین، کن و ریتورد نشان داد که عملیات تثبیت کنده‌ها با استفاده از خاک دیاتومه به خوبی انجام شده است. با تغییر مقدار خاک دیاتومه، مقدار بهینه برای نمونه اول که حاوی ذرات جامد کمتری بود برابر با ۰/۰۳۸ و برای نمونه دوم ۰/۰۲۵ گرم به ازای هر سانتیمتر مکعب از کنده‌های حفاری بدست آمد. با توجه به مقدار بیشتر مایعات موجود در نمونه اول، مقدار خاک دیاتومه

مورد نیاز جهت پایدار سازی و حذف رطوبت از پسماند افزایش یافته است. بنابراین در صورت استفاده از تجهیزات کنترل جامدات با کیفیت بالاتر، می‌توان حجم زیادی از سیالات را به سیستم بازگردانده و پسماند با درصد جامدات بیشتر را تثبیت و پایدار نمود، که در این صورت با افزایش درصد جامدات پسماند، مقدار مصرف خاک دیاتومه کاهش می‌یابد. با تغییر نسبت آب به نفت در نمونه‌های کنده‌های حفاری، مشاهده شد که با افزایش این نسبت در نمونه‌ها، مقدار خاک دیاتومه برای پایدارسازی کنده‌ها کاهش می‌یابد.

بنابراین مقدار مورد نیاز خاک دیاتومه جهت تثبیت گل‌های پایه روغنی نسبت به گل‌های پایه آبی افزایش می‌یابد. با گذشت زمان تغییر شکل نمونه‌ها در تست کن مورد بررسی قرار گرفت و هیچ گونه وارفتگی و تغییر شکلی در نمونه‌ها، مشاهده نشد که این امر مؤید حذف رطوبت از نمونه‌های پسماند می‌باشد. نمونه‌های قالبی حاصل از تست کن به مدت چندین هفته مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که با توجه به عدم وجود سیال روغنی آزاد اطراف کنده‌ها، عملیات تثبیت به خوبی انجام گرفته است. نتایج مشابهی از کاربرد خاک دیاتومه جهت تصفیه و جداسازی در واحدهای تولید بیودیزل توسط Oliveira و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است.

یکی از دغدغه‌های اصلی در عملیات تثبیت و پایدارسازی پسماند حفاری، پایداری طولانی مدت روش‌های به کار رفته می‌باشد. یک ماده تثبیت کننده مناسب باید بتواند از رها شدن اجزاء پسماند در طولانی مدت و انتشار آنها در محیط زیست جلوگیری کند. بدین منظور تمامی آزمایش‌ها دو مرتبه دیگر با فواصل دو ماه مجدداً انجام و نتایج قبلی مشاهده شد.

نتایج تجربی نشان داد که خاک دیاتومه به عنوان ماده ای بسیار کارآمد در جذب سیال روغنی قابل استفاده در تثبیت کنده‌های حفاری است. با توجه به اینکه هزینه هر تن خاک دیاتومه و هزینه هر تن سیمان تقریباً یکسان بوده، و با در نظر گرفتن مزایای خاک دیاتومه استفاده از آن در تثبیت پسماند حفاری دارای صرفه اقتصادی می‌باشد. خاک دیاتومه منبعی ارزان قیمت از سیلیس است و وجود حجم گسترده ای از دیاتومیت در کشور به ویژه در سواحل خلیج فارس، منابع آن جهت استفاده در تثبیت پسماند حفاری را فراهم می‌کند. نکته دیگری که از دیدگاه زیست محیطی باید مورد توجه قرار گیرد این است که در تثبیت پسماند حفاری با استفاده از خاک دیاتومه، تمام حجم پسماند پردازش شده و محیط مجدداً احیا می‌شود. در صورتیکه در روش دورریز کنده‌ها در گودال‌های پسماند و سیمانکاری، همچنان پسماند در محیط باقی می‌ماند و یا از طریق نفوذ به درون زمین وارد سفره‌های آب زیر زمینی می‌گردد.

نتایج تکرار آزمایش‌ها با فواصل زمانی نشان داد که گذشت زمان تاثیر نامطلوبی بر تثبیت کنده‌ها با خاک دیاتومه نداشته است. با توجه به این نکته که اکثر سیستم‌های تثبیت سازی محیط قلیائی و شرایط pH بالا ایجاد می‌کنند، امکان اصلاح و استفاده مجدد از خاک در کشاورزی میسر نمی‌شود، در حالی که خاک دیاتومه خنثی بوده و pH پسماند را تغییر نمی‌دهد. نتایج پژوهش Salih و Ghosh (۲۰۱۷) هم نشان می‌دهد که در محدوده pH خنثی بیشترین مقدار جذب یون‌های فلزی مانند روی در خاک دیاتومه صورت می‌گیرد. همان طور که توسط Hanna و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده شد قابلیت حذف فلزات سنگین از جمله کبالت، کادمیوم و مس با استفاده از خاک دیاتومه نشان دهنده پتانسیل بالای این ماده به عنوان جاذب طبیعی و ارزان قیمت جهت پردازش پسماندهای صنعتی می‌باشد. نتایج مثبت کشت بذر گندم در پسماند تثبیت شده نشان داد که امکان احیای خاک در این روش میسر است.

References

Ahammad Sharif, M.D., Nagalakshmi, N.V.R., Srigowri Reddy, S., Vasanth, G., Uma Sankar, K., 2017. Drilling Waste Management and Control the Effects. Journal of Advanced Chemical Engineering 7(1), 1-9.

Aivalioti, M., Vamvasakis, I., Gidarakos, E., 2010. BTEX and MTBE Adsorption onto Raw and Thermally Modified Diatomite. Journal of Hazardous Materials 178, 136-143.

Asadi, B., 1982. Mud Engineering and Application in Oil Well Drilling. Drilling Headquarters Publication, South oilfields, Ahwaz. 150 p. In Persian.

Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., Young, F.S., 1991. Applied Drilling Engineering, SPE Textbook Series, Vol. 2, 502 p.

Fields, P., Korunic, Z., 2000. The Effect of Grain Moisture Content and Temperature on the Efficacy of Diatomaceous Earth from Different Geographical Locations. Journal of Stored Products Research 36(1), 1-13.

Golestanifar, H., Beheshti, A., 2015. Drilling Waste Management in Oil and Gas Exploration Wells. Farahmand Publication, Tehran. In Persian

Hanna, A.A., Sherief, M.A., Aboelenin, R.M.M., 2014. Removal of Some Heavy Metals from

- Wastewater by Using Diatomaceous Earth. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 5(3), 189-205.
- Hassan, M.W.A., Kamal, K.A., 2000. Waste Management in View of Environment. SPE-61473, SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Norway. pp. 1-11.
- Kalhor Mohammadi, M., Tahmasbi, K., 2008. Drilling Waste Management Plans for Exploration and Production Operations in Iran. SPE-11194, SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, France. pp. 1-6
- Kheirizadeh, O., Abbaszadeh Shahri, A., Ghaderi, A., 2013. Drilling Mud Engineering, Ketab Ava Publication, Tehran, 176 p. In Persian.
- Korunic, Z., 2013. Diatomaceous Earths-Natural Insecticides. *Pesticides & Phytomedicine (Belgrade)*, 28(2), 77-95.
- Meng, Q., Chen, H., Lin, J., Lin, Z., Sun, J., 2017. A Zeolite, synthesized from alkaline assisted pre-activated halloysite for efficient heavy metal removal in polluted river water and industrial wastewater. *J. Environ. Sci.* 56, 254-262.
- Morsy Heg, M.B., 2010. Diatomite: Its Characterization, Modifications and Applications. *Asian Journal of Materials Science* 2, 121-136.
- Neff, J.M., 2005. Composition, Environmental, Fates, and Biological Effects of Water Based Drilling Muds and Cuttings Discharged to the Marine Environment. Prepared for Petroleum Environmental Research Forum and American Petroleum Institute.
- Okparanma1, R.N., Araka, P.P., Ayotamunol, J.M., Mouazen, A.M., 2018. Towards enhancing sustainable reuse of pre-treated drill cuttings for construction purposes by near-infrared analysis: A review. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology* 9(3), 19-39.
- Oliveira, F.J.S., Santana, D.S., Costa, S.S.B., Oliveira, L.D., Liduino, V.S., Servulo, E.F.C., 2017. Generation, Characterization and Reuse of Solid Wastes from a Biodiesel Production Plant. *Waste Management* 61, 87-95.
- Phillips, L., Morris, A., Innes, G., Clark, A., Hinden, P.M., 2018. Drilling Waste Management – Solutions that Optimise Drilling, Reduce Well Cost and Improve Environmental Performance. SPE-192793, International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi.
- Rena, S., 2008. Facts and Data on Environmental Risks - Oil and Gas Drilling Operations. SPE 114993, SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Australia. pp. 1-21.
- Salih, S.S., Ghosh, T.K., 2017. Adsorption of Zn (II) Ions by Chitosan Coated Diatomaceous Earth. *International Journal of Biological Macromolecules* 106(1), 602-610.
- Thompson, M., 2015. A Critical Review of Water Purification Technology Appropriate for Developing Countries: Northern Ghana as a case study. *Desalination and Water Treatment* 54, 3487-3493.
- Xu, T., Wang, L., Wang, X., Li, T., Zhan, X., 2018. Heavy Metal Pollution of Oil-based Drill Cuttings at a Shale Gas Drilling Field in Chongqing, China: A Human Health Risk Assessment for the Workers. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 165, 160-163.
- Yudistira, B., 2018. Best Practicable Environmental Options Assessment for Drilled Cuttings and Fluids Waste Management Strategy. *Offshore Technology Conference Asia, Malaysia*.
- Zha, X., Liao, X., Zhao, X., Liu, F., He, A.Q., Xiong, W.X., 2018. Turning Waste Drilling Fluids into a New, Sustainable Soil Resources for Landscaping. *Ecological Engineering* 121, 130-136.