

پاکسازی گل حفاری آلوده به مواد نفتی با استفاده از دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی

رضا خانپور^۱، محمدرضا شیخی کوهسار^۲، فریدون اسماعیل زاده^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه شیراز،

khanpour.r@gmail.com

چکیده

گل حفاری که از آن با عنوان سیال حفاری نیز یاد می‌شود، پیچیده‌ترین سیالی است که تاکنون توسط بشر ساخته و استفاده شده است و بسته به شرایط مخزن می‌تواند پایه آبی یا پایه روغنی باشد. معمولاً در پایان عملیات حفاری، سیال حفاری تبدیل به یک محصول هرز می‌شود که باید بر اساس قوانین زیست محیطی دفع گردد. گل حفاری پوسماندها پناشیا حفاری در صورت تیکه‌به‌نحو مطلوبی می‌دیریتنشوند، علاوه بر تحمیل هزینه‌ها پس‌نگین به صنعت نفت، می‌توانند به یک یا منابع آلودگی در محل حفاری تبدیل شوند. تاکنون روش‌های متعددی جهت پاکسازی گل حفاری از آلاینده‌های نفتی ارائه شده است. استفاده از فن آوری فوق بحرانی جهت استخراج آلاینده‌ها از خاک و سایر جامدات، مانند خاکستر، رسوبات رودخانه‌ها و کربن فعال، تقریباً از سال ۱۹۸۷ مورد توجه قرار گرفت. با انجام آنالیزهای XRD و SEM بر روی گل حفاری قبل و بعد از فرآیند پاکسازی، تاثیر دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی بر میزان استخراج آلاینده‌ها از گل حفاری مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش، پارامترهایی از جمله دما و فشار عملیاتی، زمان استاتیک و دینامیک و دبی دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی نقش به‌سزایی را در میزان استخراج آلاینده‌ها از گل حفاری ایفا می‌نمایند که با انجام آزمایشات گسترده‌ای در محیط کاملاً کنترل شده، دمای ۶۰°C، فشار ۱۸۰ bar، دبی کمتر از ۰/۱ سی‌سی بر ثانیه و زمان استاتیک ۱۱۰ دقیقه به عنوان شرایط عملیاتی بهینه به منظور پاکسازی مواد غیرفعال کننده کاتالیست مشخص شده است.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی، سیال فوق بحرانی، گل حفاری آلوده به مواد نفتی، شرایط بهینه.

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه شیراز. Tel: 0936 314 8079

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه شیراز. Tel: 0938 054 2494

^۳دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز. Tel: 0917 713 5623

۱- مقدمه

شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی یکی از سه شرکت زیر مجموعه شرکت نفت مناطق مرکزی ایران است که با تولید حدود ۲۵۶ میلیون متر مکعب گاز در روز نزدیک به ۵۰ درصد از گاز کشور را تولید می‌نماید. این شرکت دارای چهار منطقه عملیاتی به نام‌های نار و کنگان، آغار و دالان، پارسیان، قشم و سرخون می‌باشد. عمده تولید گاز شرکت بهره‌برداری زاگرس جنوبی از میدان‌های نار و کنگان بوده و دارای ۶۱ حلقه چاه تولیدی است [۱].

گل حفاری که از آن با عنوان سیال حفاری نیز یاد می‌شود، پیچیده‌ترین سیالی است که تاکنون توسط بشر ساخته و استفاده شده است [۲].

گل حفاری بسته به شرایط مخزن می‌تواند پایه آبی یا پایه روغنی باشد. افزودنی‌های مختلفی به سیال پایه جهت تولید گل با خواص متنوع اضافه می‌شود. از جمله خواصی که به کمک افزودنی‌ها کنترل می‌شوند، می‌توان به چگالی گل، گرانشی و گل و هرزروی آن اشاره کرد [۳، ۴، ۵، ۶].

با گذشت زمان انواع مختلفی از گل‌های حفاری تولید و مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به گل آب تازه (Fresh water mud)، گل آب نمک (Salt water mud)، گل امولسیون (Emulsion mud) و گل ترکنده (Surfactant mud) اشاره کرد [۵، ۷].

گل حفاری علاوه بر بالا آوردن تراشه‌های زمین کاربردهای دیگری در عملیات حفاری به عهده دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به کنترل فشار زیرسطحی، کمک به پایداری دیواره چاه، خنک کردن، روانکاری و نگهداری مته و رشته‌های حفاری و کاهش دادن آسیب‌های احتمالی به محیط زیست اشاره کرد [۴، ۸، ۹].

اجرای وظایف محوله به گل و سیال حفاری در عملیات حفر چاه آنقدر مهم و اساسی است که نمی‌توان اهمیت آن‌ها را نادیده گرفت. به همین دلیل باید در انتخاب و نگهداری و بکارگیری آن دقت لازم را انجام داد.

معمولاً در پایان عملیات حفاری، سیال حفاری تبدیل به یک محصول هرز می‌شود که باید بر اساس قوانین زیست محیطی دفع گردد. در بسیاری از کشورها برای استفاده و دفع ضایعات و پسماندهای سیال حفاری مجموعه‌ای از قوانین وجود دارد که با توجه به نوع سیالات پایه آبی و پایه نفتی با هم متفاوت است [۴، ۱۰، ۱۱].

گل‌حفار یوپسماندها یا ناشیاز حفاری در صورت تیکه‌به نحو مطلوب می‌دیریتن‌شوند، علاوه بر تحمیل‌زین‌ه‌های سنگین به صنعت نفت، می‌توانند به یک یا منابع آلودگی در محل حفاری تبدیل شوند. به طور مثال در حالت عادی گل‌پایه روغنی پس از عملیات حفاری در صورت تیکه‌هاستفاده و بارها نم‌مقر و نه صرف‌فهن‌باشد، معمولاً در یک‌گودال‌رهای می‌شود که این پسماندها را باید از آلودگی دور کرد و بر روی زمین‌ها یا در آلودگی‌ها، گیاهان و حیوانات خطرناک است [۴، ۱۰، ۱۱].

با توجه به مطالب گفته شده، کنده‌های حفاری که حاصل عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز است شامل مقادیر گل‌های حفاری یا استکه‌دار اترکیب‌اتنفتی‌بوده‌وبه‌محیط‌زیست‌آسیبی‌رسانند [۴، ۱۰، ۱۱]. بنابراین جهت جلوگیری از تخریب محیط زیست و همچنین صرفه‌جویی در هزینه‌های تامین و تولید گل حفاری مطلوب، پاکسازی گل حفاری از آلاینده‌های نفتی کاملاً توجیه پذیر است.

تاکنون روش‌های متعددی جهت پاکسازی گل حفاری از آلاینده‌های نفتی ارائه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به روش تصفیه بیولوژیکی با استفاده از باکتری‌های نفت خوار، روش گیاه‌پالایی و زمین‌پالایی، روش‌های حرارتی نظیر سوزاندن مواد نفتی، روش‌های فیزیکی و شیمیایی اشاره کرد. هر یک از روش‌های مذکور دارای مزایا و معایب مربوط به خود می‌باشد [۵، ۶، ۱۰].

استفاده از فن آوری فوق بحرانی جهت استخراج آلاینده ها از خاک و سایر جامدات، مانند خاکستر، رسوبات رودخانه ها و کربن فعال، تقریباً از سال ۱۹۸۷ مورد توجه قرار گرفت [۱۱].

در سال ۱۹۸۷، Dooley و همکارانش از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی جهت استخراج PCBs، DDT و Toxaphene از خاک های آلوده استفاده کردند [۱۲].

در سال ۱۹۹۲، Akgerman و همکارانش بوسیله دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی استخراج هگزا کلرو بنزن از خاک را مورد بررسی قرار دادند. محدوده دمایی که آزمایش در آن انجام شد: ۳۲۳ - ۲۹۸ درجه کلوین و محدوده فشار: ۴۰۰۰ - ۱۲۰۰ psi و دبی دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی ۱۶۰ - ۱۲۰ ml/hr بود. ضمن انجام این آزمایشات یک تکنیک جدید نیز جهت اندازه گیری ضرایب انتقال جرم ارائه شد [۱۳].

در سال ۱۹۹۳، Akgerman و همکارانش به بررسی استخراج چندین ماده آلی از خاک پرداختند. این مواد عبارت بودند از: نفتالین، فنانترن، هگزاکلروبنزن و پنتا کلروفلن [۱۴].

در سال ۱۹۹۴، Miller و Hawthorne با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی آزمایش‌هایی را جهت استخراج PAHs، Chlorinated Phenols، S-Hetrocyclic، N-Hetrocyclic و آفت‌کش‌ها^۴ از خاک نمونه انجام دادند و نتایج را با روش Soxhlet Extraction مقایسه کردند. آزمایشات در دماهای ۵۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت. راندمان استخراج در ۵۰ درجه سانتیگراد (در مدت ۳۰ دقیقه)، کمتر از استخراج Soxhlet بود. در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد نتایج توافق خوبی با استخراج Soxhlet داشت. با افزایش دما به ۳۵۰ درجه سانتیگراد، راندمان افزایش محسوسی نیافت [۱۵].

در سال ۱۹۹۵، Langenfeld و همکارانش، آزمایش‌هایی را با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی، جهت استخراج PAH ها و PCDD ها^۵ از رسوبات دریایی و خاک های صنعتی، در دماهای ۴۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد انجام دادند. جداسازی کامل Dibenzo-P-Dioxin 2,3,7,8Tetrachloro و همچنین جداسازی کامل 1,2,3,7,8PentachloroDibenzo-P-Dioxin از Florisil در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد به مدت حدوداً ۱۰ دقیقه انجام گرفت. در کل افزایش دما از ۴۰ درجه به ۱۲۰ درجه و سپس ۲۰۰ درجه سانتیگراد، بازیافت PCDDs و PAHs از نمونه های اصلی را افزایش داد [۱۶].

در سال ۱۹۹۵، با آزمایش‌های Yang و همکارانش بر روی رسوبات دریا و دوده های ناشی از موتورهای دیزل با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی نشان داده شد که با افزایش دما از ۸۰ به ۲۰۰ درجه سانتیگراد بازیافت PAHs افزایش می‌یابد [۱۷].

در سال ۱۹۹۶، Hawthorne و Miller، حلالیت چهار نوع PAH (پیرین^۶، کرایزین^۷، پیریلین^۸ و بنزوپیریلین^۹) را در دی-اکسیدکربن‌فوق بحرانی بررسی کردند. در این آزمایشات مشاهده شد که اثر دما بر حلالیت بیش از اثر فشار است [۱۸].

در سال ۱۹۹۷، Mansoori و همکارانش طی یک فرآیند دو مرحله‌ای، با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی، به استخراج PAHs از خاک‌های آلوده پرداختند. برخی آزمایشات با دی‌اکسیدکربن‌خالص و برخی با همراهی متانول به عنوان اصلاح‌کننده صورت گرفت. زمانی که دی‌اکسیدکربن‌خالص استفاده شد، در دمای ۴۸ درجه سانتیگراد و فشار ۱۳۹ بار، از سه نمونه خاکی که مورد آزمایش قرار گرفته بود، ۹۷/۹٪ - ۷۶/۹٪ آلاینده جدا گردید و زمانی که به همراه دی‌اکسیدکربن‌متانول هم استفاده شد (۵٪ مولی)، در همان دما و فشار، از همان نمونه خاک‌ها ۹۸/۶٪ - ۸۸/۴٪ آلاینده جدا گردید [۱۹].

۱۴. Pesticides
۱۵. Polychlorinated Dibenzo-P-Dioxins
۱۷. Pyrene
۱۸. Chrysene
۱۹. Perylene
۲۰. BenzoPerylene

در سال ۱۹۹۹، Gonzalez و همکارانش، ترکیبات لیپیدی خاک را بوسیله دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی استخراج کردند و نتایج را با نمونه‌های بدست آمده از استخراج Soxhlet مقایسه کردند که توافق بین دو نوع آزمایش وجود داشت. برخی ترکیباتی که استخراج شدند عبارت بودند از: متیل، اتیل، پروپیل، بوتیل و پنتیل اولئات^۱، اولئیک اسید^{۱۱}، استئاریک اسید^{۱۲}، اتیل پالمیتات^{۱۳} [۲۰].

در سال ۲۰۰۰، Alonso و همکارانش در اسپانیا یک پایلوت نیمه صنعتی طراحی کردند و با آن حلالیت هیدروکربن‌های موجود در خاک‌های یک منطقه پتروشیمی را در دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی بررسی کردند [۲۱].

در سال ۲۰۰۲، Hartonen و همکارانش در هلستینکی فنلاند، با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی به استخراج TPH^{۱۴}، PCBs و PAHs از خاک پرداختند. نتایج حاصل از استخراج فوق بحرانی با استخراج بوسیله حلال مقایسه شد که نشان دهنده بازیافت و راندمان بسیار خوب این فن آوری جدید بود [۲۲].

در سال ۲۰۰۳، Hawthorne و Miller از خاک‌های یک منطقه گازی با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی به استخراج بنزن^{۱۵}، تولوئن^{۱۶}، اتیل بنزن^{۱۷} و ارتو-متا و پارا زایلن^{۱۸} (BTEX) و PAHs پرداختند. بنزن دیرتر و دشوارتر از بقیه ترکیبات استخراج شد. همچنین در مقایسه ای که در مورد جذب نفتالین^{۱۹} با جذب بنزن و زایلن‌ها انجام شد، نشان داده شد که جذب نفتالین، سریع تر از بقیه صورت می‌گیرد [۲۳].

در سال ۲۰۰۴، Tavlarides و همکارانش، استخراج PCBs از رسوبات رودخانه لارنس را با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی و نیز ترکیبی از دی‌اکسیدکربن متانول (۵٪ مولی) مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایشات میزان PCB در رسوب از ۲۲۰۰ درصد وزنی به کمتر از ۵ درصد وزنی رسید (در فشار ۱۱۸ بار و دمای ۳۲۳ درجه کلوین). این در حالی بود که به همراه دی‌اکسیدکربن، از متانول (۵٪ مولی) هم استفاده شد. در شرایطی که دی‌اکسیدکربن به تنهایی مورد استفاده قرار گرفت، میزان PCB موجود در رسوبات، در همان شرایط دمایی و فشاری، به ۵۰ درصد وزنی رسید [۲۴].

در سال ۲۰۰۷ المرزوقی و همکاران خاک اشباع شده از نفت را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایشات نشان داد که افزایش فشار و دما به ترتیب موجب افزایش و کاهش بازده استخراج به وسیله دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی می‌شود [۲۵].

در سال ۲۰۱۰ رجایی و همکارانش طی آزمایشات متعددی که بر روی خاک‌های رس صنعتی آلوده به آلایندگی‌های نفتی انجام داد، توانست با استفاده از دی‌اکسیدکربن‌فوق بحرانی این دسته از خاک‌های آلوده را در مقیاس آزمایشگاهی احیاء کند. همچنین ایشان در گزارش خود چنین ذکر کرده است که افزایش فشار تا ۱۸۰ بار موجب افزایش غلظت مواد استخراجی گردیده و از این فشار به بعد، افزایش در میزان غلظت چندان محسوس نبوده است [۲۶].

بررسی مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته، نشان می‌دهند که تاکنون هیچ‌گونه تحقیقی در جهت پاکسازی گل حفاری آلوده به مواد نفتی با استفاده از دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش سعی بر این است که بتوان با انجام آزمایشاتی شرایط بهینه را برای فاکتورهای عملیاتی مهم از جمله دما، فشار، دبی و زمان استاتیک بدست آورد، به گونه‌ای که درصد پاکسازی گل حفاری مذکور به حداکثر میزان خود برسد.

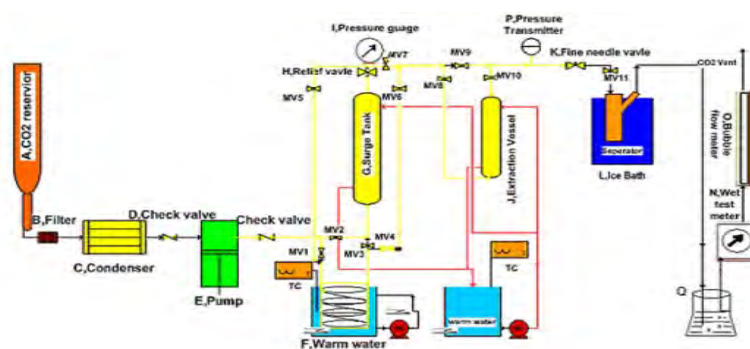
-
- . PentylOleate^{۲۱}
 - . Oleic Acid^{۲۲}
 - . Stearic Acid^{۲۳}
 - . Ethyl Palmitate^{۲۴}
 - . Total Petroleum Hydrocarbon^{۲۵}
 - . Benzene^{۲۶}
 - . Toluene^{۲۷}
 - . Ethyl Benzene^{۲۸}
 - . O-M-P-Xylene^{۲۹}
 - . Naphthalene^{۳۰}

۲- مواد مورد استفاده در آزمایش

گاز دی‌اکسیدکربن با درجه خلوص ۹۹/۹٪ از مجتمع صنعتی ابوقداره شیراز تحت عنوان دی‌اکسیدکربن خوراکی تهیه و در انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین از گل حفاری مربوط به میدان گازی نار که در مجاورت میدان کنگان و در نزدیکی شهر جم در استان بوشهر قرار گرفته، به عنوان نمونه استفاده شده است.

۳- شرح دستگاه آزمایش

جهت پاکسازی گل حفاری آلوده به مواد نفتیبا استفاده از سیال فوق بحرانی نیاز به یک دستگاه ترمودینامیکی استخراج در فشار بالا می‌باشد. شکل (۱-۳) نمای شماتیکی از دستگاه استخراج به وسیله دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی را نشان می‌دهد. روش طراحی پایلوت آزمایشگاهی استخراج در شرایط فوق بحرانی توسط محققان مختلفی ارائه شده است [۲۷، ۲۸، ۲۹].



شکل (۱-۳): نمای شماتیک دستگاه آزمایشگاهی استخراج آلاینده‌های خاک با استفاده از دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی

دستگاه فوق شامل بخش‌های مختلفی از جمله ظرف نوسان‌گیر، ظرف استخراج، مخزن آب گرم، حمام ظرف جداسازی مجهز به سیستم تخلیه، مخزن ذخیره دی‌اکسیدکربن، ظرف مایع‌سازی گاز CO_2 و برد کنترل مجهز به قطعات الکترونیکی و دیجیتالی می‌باشد.

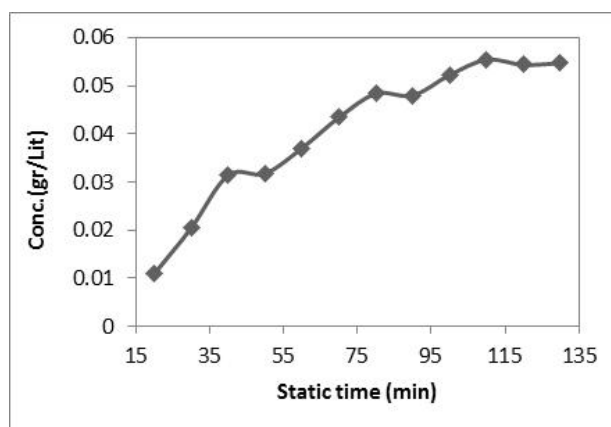
از آنجایی که ایجاد فشار در دستگاه آزمایشگاهی توسط یک دستگاه پمپ به انجام می‌رسد، لذا در ابتدا گاز خروجیاز کپسول دی‌اکسیدکربن وارد یک ظرف مایع‌سازی می‌شود تا از حالت گاز به حالت مایع تبدیل شود. سپس مایع دی‌اکسیدکربن فشرده شده به وسیله پمپ وارد ظرف نوسان‌گیر به منظور جلوگیری از نوسانات فشار شده و به دنباله آنوار دیکلوله‌ها می‌ریزد. می‌شود که در مخزن آب گرم می‌تواند به منظور رساندن مایع به دمای فوق بحرانی قرار دارد. حال سیال به صورت فوق بحرانی وارد ظرف استخراج می‌گردد. ظرف استخراج به صورت دوجداره طراحی شده است که آب گرم با استفاده از یک مخزن مجزا دیگر در جداره بیرونی آن به وسیله یک پمپ در حال گردش می‌باشد تا سیستم با دمای ثابت در شرایط فوق بحرانی مورد استفاده قرار گیرد. دمای مخزن آب گرم به وسیله کنترل‌کننده‌های دیجیتالی مجهز به ترموکوپل از نوع PT-100 با دقت $\pm 1^\circ\text{C}$ و پمپ‌های نصب شده روی مخزن، ثابت نگه داشته می‌شوند. در دو انتهای ظرف استخراج به منظور جلوگیری از پدیده حمل مواد توسط حلال، فیلتر پارچه‌ای $50\ \mu\text{m}$ از جنس استیل ضد زنگ (Monel) نیز قرار داده شده است. جنس ظرف استخراج از استیل ضد زنگ بدون درز 316 می‌باشد.

فشار سیستم آزمایشگاهی را با استفاده از یک فشار سنج عقربه‌ای با دقت ± 1 بار در گستره فشاری صفر الی ۲۵۰ بار می‌توان خواند. به منظور رساندن فشار و دمای سیستم به حالت تعادل، دستگاه آزمایشگاهی را به مدت ۱۰۰ دقیقه در حالت استاتیک نگهداری می‌کنیم. آنگاه فاز فوق بحرانی که شامل دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی و مواد نفتی آلوده کننده گل حفاری است، از شیر انبساط با دبی مورد نظر عبور کرده و فشار آن به فشار اتمسفریک کاهش می‌یابد. سپس وارد مخزن جداسازی (تله سرمایی) شده و ترکیبات استخراج شده بارگذاری می‌شوند. دی‌اکسیدکربن که اکنون در فشار اتمسفریک قرار دارد و فاقد مواد نفتی آلوده کننده گل حفاری می‌باشد، وارد بشر آبی می‌شود که نشان دهنده جریان گاز است. سپس وارد دستگاه جریان سنج مرطوب با دقت 0.01 ft^3 به منظور اندازه‌گیری حجم گاز مصرفی می‌گردد. گاز خروجی از این دستگاه وارد دستگاه جریان-سنج حبابی به منظور اندازه‌گیری دبی حجمی گاز می‌شود. بازده مواد آلاینده گل حفاری استخراج شده، در نهایت بر اساس اندازه‌گیری وزن مواد جدا شده از گاز بعد از شیر انبساط به حجم گاز دی‌اکسیدکربن جدا شده بدست می‌آید. وزن مواد جدا شده از گاز دی‌اکسیدکربن در نهایت به وسیله یک ترازوی الکترونیکی با دقت 10^{-4} گرم اندازه‌گیری می‌شود.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تاثیر زمان استاتیک بر غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری

انتخاب زمان استاتیک مناسب باعث می‌شود که دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی مواد نفتی آلاینده گل حفاری به حالت تعادل برسند. همان‌گونه که در شکل (۴-۱) مشاهده می‌شود، افزایش زمان استاتیک از ۲۰ به ۱۰۰ دقیقه باعث افزایش تدریجی مقدار نهایی غلظت آلاینده‌های استخراجی می‌شود. افزایش زمان استاتیک از ۱۱۰ به ۱۳۰ دقیقه نشانی‌دهد که تغییری در مقدار نهایی برای غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری در دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی بسیار کم و در گستره خطایی دستگاه می‌باشد. لذا زمان استاتیک ۱۱۰ دقیقه در این پژوهش به عنوان زمان استاتیک بهینه مدنظر قرار گرفته است.

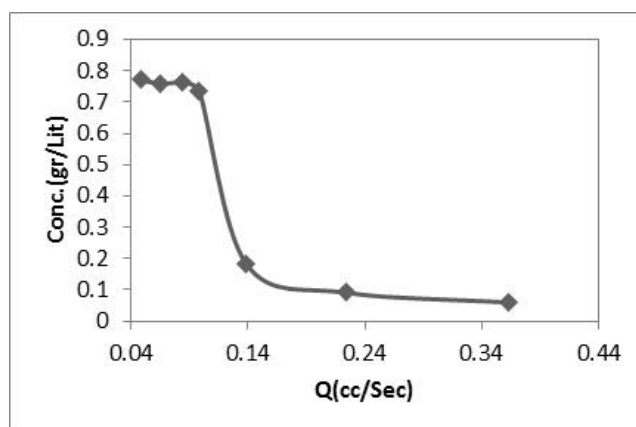


شکل (۴-۱): منحنی غلظت نهایی مواد نفتی آلاینده گل حفاری بر حسب زمان استاتیک در شرایط عملیاتی دمای ۴۰ درجه سانتیگراد، فشار ۱۰۰ بار و دبی ۰/۱ سی سی بر ثانیه

۴-۲- تاثیر دبی دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی بر غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری

پس از بررسی زمان استاتیک، اثر دبی دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی با مقادیر ۰/۳۶، ۰/۲۲، ۰/۱۴، ۰/۱، ۰/۰۸۴، ۰/۰۶۵ و ۰/۰۴۸ میلی‌لیتر بر ثانیه در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و فشار ۱۰۰ بار مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده در شرایط مختلف عملیاتی نشان می‌دهد که با افزایش دبی از ۰/۰۴۸ تا ۰/۱ میلی‌لیتر بر ثانیه میزان غلظت مواد نفتی آلاینده استخراج شده از گل حفاری ثابت می‌ماند؛ ولی با افزایش بیشتر دبی از یک مقدار حدی، میزان غلظت نهایی کاهش می‌یابد که

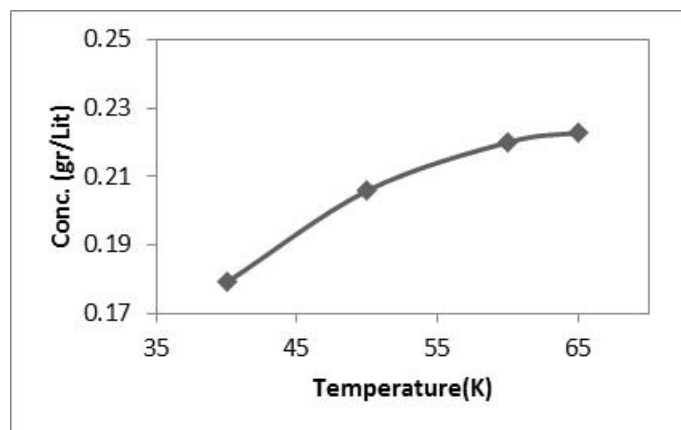
این دبی حدی، کمتر از $0/1$ میلی لیتر بر ثانیه بدست آمده است. در واقع در دبی های پایین رسیدن به تعادل در استخراج حائز اهمیت می باشد، ولی با افزایش دبی و سرعت جریان گاز، نفوذ درونی در گل حفاری کاهش پیدا می کند. از طرف دیگر مطابق با نظریه انتقال جرم مدرن، با توجه به این که هدی اکسیدکربن مولکول بزرگی می باشد، هنگام حرکت اصطکاک شدیدی را با مولکول های حل شونده ایجاد می کند و آن ها را با خود حمل می نماید که باعث افزایش بازده خواهد شد. افزایش بیش از حد دبی دو مشکل ایجاد می کند، نخست این که سیال فوق بحرانی با جزء حل شونده به تعادل نمی رسد و دیگر آن که سرعت سیال آن قدر زیاد می باشد که فرصت انتقال جرم هم وجود نخواهد داشت. این عوامل منجر به کاهش غلظت مواد غیرفعال کننده کاتالیست می شود. لذا در این تحقیق دبی $0/1$ میلی لیتر بر ثانیه و یا دبی کمتر به عنوان گستره دبی بهینه جهت انجام آزمایشات استخراج تعیین شده است.



شکل (۲-۴): اثر دبی دی اکسیدکربن فوق بحرانی بر غلظت مواد نفتی آلاینده استخراج شده از گل حفاری مستعمل شرکت بهره برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی در فشار ۱۰۰ بار، زمان استاتیک ۱۱۰ دقیقه و دمای ۴۰ درجه سانتیگراد

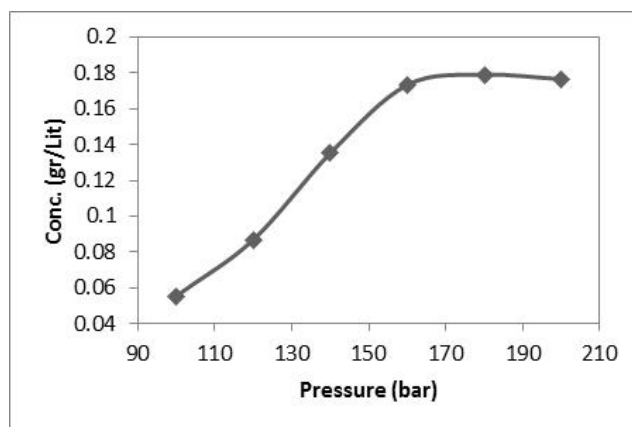
۳-۴- تاثیر دما و فشار بر غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری

فرآیند استخراج مواد نفتی آلاینده گل حفاری به ترتیب در دماها و فشارهای مختلف عملیاتی ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۶۵ درجه سانتیگراد و ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ بار و دبی $0/1$ میلی لیتر بر ثانیه در دی اکسیدکربن فوق بحرانی برای زمان استاتیک ۱۱۰ دقیقه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. همان گونه که در شکل (۳-۴) مشاهده می شود، افزایش دما از ۴۰ به ۶۰ درجه سانتیگراد موجب افزایش تدریجی غلظت آلاینده های استخراج شده از گل حفاری می گردد. همچنین در دماهای بیشتر از ۶۰ درجه سانتیگراد تغییر محسوسی در میزان غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری ایجاد نمی شود، به همین علت بنا به دلایل اقتصادی دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به عنوان دمای بهینه در نظر گرفته شده است.



شکل (۳-۴): منحنی غلظت مواد نفتی آلاینده استخراج شده از گل حفاری مستعمل شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی بر حسب دما (سانتیگراد) در شرایط عملیاتی فشار ۱۸۰ بار، زمان استاتیک ۱۱۰ دقیقه و دبی دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی ۰/۱ سی‌سی بر ثانیه

شکل (۴-۴) غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری را در فشارهای عملیاتی مختلف نشان می‌دهد و بیانگر این واقعیت است که با افزایش فشار تا ۱۸۰ بار غلظت به تدریج افزایش یافته و ناگهان بعد از فشار ۱۸۰ بار غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری ثابت می‌ماند. این افزایش غلظت به علت افزایش چگالی دی‌اکسیدکربن در فشارهای بالاتر می‌باشد که منجر به افزایش قدرت حلالیت دی‌اکسیدکربن و افزایش نیروی پیوندی حلال با جزء حل شونده می‌گردد. علاوه بر این در فشارهای بالا فاصله بین مولکولی کاهش یافته و در نتیجه برخورد موثر بین مولکول‌های حلال و جزء حل شونده افزایش پیدا می‌کند که در نهایت باعث افزایش غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری در دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی می‌شود. همچنین قابل ذکر است که حساسیت غلظت مواد استخراج شده به تغییر فشار نسبت به تغییر دما خیلی بیشتر می‌باشد. در نتیجه فشار و دمای بهینه جهت استخراج مواد نفتی آلاینده گل حفاری به ترتیب ۱۸۰ بار و ۶۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است.



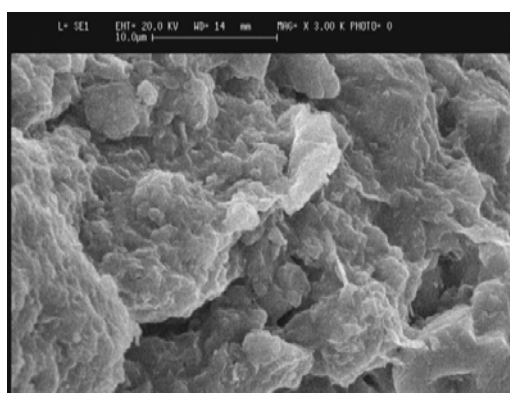
شکل (۴-۴): اثر فشار دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی بر غلظت مواد نفتی آلاینده استخراج شده از گل حفاری مستعمل شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی در دبی دی‌اکسید کربن فوق بحرانی ۰/۱ سی‌سی بر ثانیه، زمان استاتیک ۱۱۰ دقیقه و دمای ۴۰ درجه سانتیگراد

۴-۴- آنالیز مواد نفتی آلاینده استخراج شده از گل حفاری مستعمل شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی

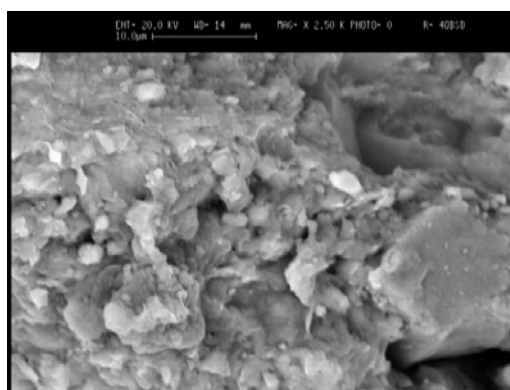
۴-۴-۱- آنالیز SEM

نتیجه آزمایشات نشان می‌دهد که گل حفاری مستعمل شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی به وسیله عناصر گوگرد و کلر آلوده شده‌اند و بعد از عمل احیاء هیچ‌گونه درصدی از گوگرد و کلر در گل حفاری پاکسازی شده مشاهده نشده است. لازم به ذکر است میکروسکوپ الکترونی قادر به شناسایی کربن نمی‌باشد.

عکس های SEM گرفته شده از گل حفاری مستعمل شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی در شکل‌های (۴-۴) و (۴-۵) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود ساختار گل حفاری پاکسازی شده نسبت به گل حفاری آلوده از یکنواختی بیشتری برخوردار است که نشان از پاکسازی گل حفاری و خروج مواد نفتی آلاینده از گل حفاری می‌باشد.



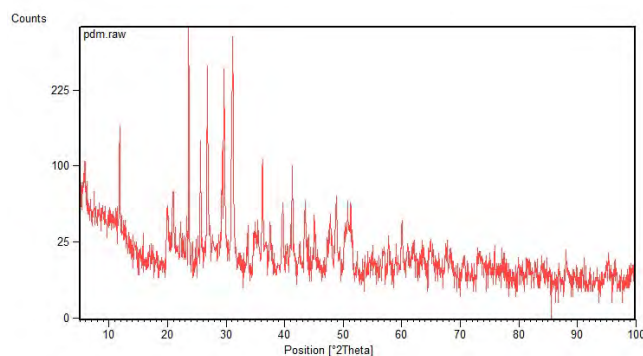
شکل (۴-۵) تصویری از گل حفاری پاکسازی شده در مقیاس ۳۰۰۰



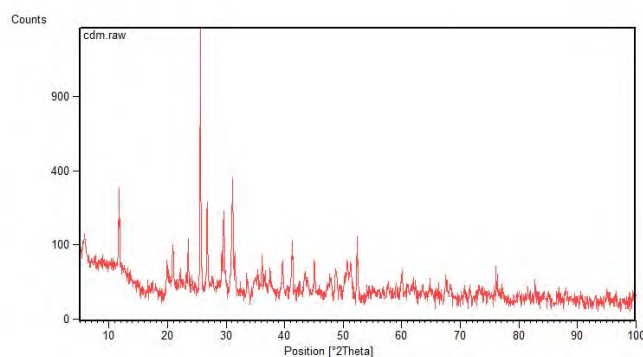
شکل (۴-۶) تصویری از گل حفاری آلوده به مواد در مقیاس ۳۰۰۰

۴-۴-۲- آنالیز XRD

نتایج حاصل از آزمایشات بیانگر این واقعیت است که عناصر گوگرد و کربن موجود در گل حفاری آلوده پس از فرآیند پاکسازی به وسیله دی‌اکسیدکربن تقریباً به طور کامل از بین می‌روند.



شکل (۴-۷) نتیجه آنالیز XRD جهت بررسی گل حفاری آلوده به مواد نفتی



شکل (۴-۸) نتیجه آنالیز XRD جهت بررسی گل حفاری پاکسازی شده از آلاینده‌های نفتی با استفاده از دی‌اکسید کربن فوق بحرانی

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک دستگاه آزمایشگاهی استخراج به کمک سیال فوق بحرانی تا فشار عملیاتی ۴۰۰ بار با موفقیت طراحی، نصب و راه اندازی شد. به کمک دستگاه فوق، غلظت مواد نفتی آلاینده گل حفاری، در شرایط مختلف عملیاتی دما، فشار، دبی و زمان استاتیک دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی به منظور پاکسازی گل حفاری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

آزمایشات تجربی در شرایط عملیاتی مختلف شامل دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۶۵ درجه سانتیگراد، فشارهای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ بار، دبی‌های دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی مقادیر ۰/۳۶، ۰/۲۲، ۰/۱۴، ۰/۱، ۰/۰۸۴، ۰/۰۶۵ و ۰/۰۴۸ میلی‌لیتر بر ثانیه و در زمان‌های استاتیک ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰ و ۱۳۰ دقیقه صورت گرفت. در نهایت به این نتیجه رسیده شد که می‌توان در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد، فشار ۱۸۰ بار، دبی کمتر از ۰/۱ سی‌سی بر ثانیه و زمان استاتیک ۱۱۰ دقیقه گل حفاری مستعمل شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی را به طور کامل پاکسازی کرد.

- [1] <http://www.szogpc.com/fa/aboutus>
- [2] Crowo, A. (1990). Flow Meas. Instrum. Vol 1. Psychological Bulletin, 66 (3), 178-200.
- [3] Gardner, H. (1993). Drilling mud filtrate and solids invasion and mudcake formation. New York: Basic Books.
- [4] Ghazi, M., Quaranta, G., Duplay, J., Hadjamor, R., Khodja, M., Ait Amar, H., & Kessaissia, Z. (2011). Life-Cycle Impact Assessment of oil drilling mud system in Algerian arid area. Resources, Conservation and Recycling. 55 (2011) 1222–1231.
- [5] McDonald, J., & Portier, R. (2003). Feasibility studies on in-situ biological treatment of drilling muds at an abandoned site in Sicily. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 78:709–716.
- [6] ایران نژاد، مهدی و کرمی، محمد. (۱۳۹۰). بازیابی باریت از پسماند گل حفاری میدان نفتی چشمه خوش با میز لرزان و هیدروسیکلون.
- [7] Berthezene, N., Hemptinne, J., Audibert, A., & Argillier, J. (1999). Methane solubility in synthetic oil-based drilling muds. Journal of Petroleum Science and Engineering 23 _1999.71–81.
- [8] Fabbri, F., & Vidali, M. (1970). Drilling Mud in Geothermal Wells. U. N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa 1970. Vol. z, Part x.
- [9] Abdou, M., Al-sabagh, A., & Dardir, M. (2013). Evaluation of Egyptian bentonite and nano-bentonite as drilling mud. Egyptian Journal of Petroleum.
- [10] Amanullah, M., & Long, Y. (2005). Environment friendly fluid loss additives to protect the marine environment from the detrimental effect of mud additives. Journal of Petroleum Science and Engineering 48 (2005) 199–208.
- [11] خادمی فر، شیرین. جعفرنژاد، علیرضا. صیادو غلامعباس و بشارتی، حسین. (۱۳۹۰). اثر زمین پالایی بر روند پالایش خاک آلوده به گل پایه روغنی حفاری. مجله پژوهش های خاک (علوم خاک و آب) / الف / جلد ۲۵ / شماره ۳ / ۱۳۹۰.
- [12] ASME Shale Shaker Committee., 2005, Drilling Fluids Processing Handbook. United States of America: Elsevier.
- [13] Report of M. Saedizad, Catalyst Researches Group, Researcher. Iran polymer and petrochemical Research Institute (IPPRI), 2007.
- [14] DaneshvarFarzanegan F., Ghaziasgar S.H. (1996). "Supercritical Fluid Extraction" Iranian Chemical Engineering Journal. Vol. 2, No. 15.
- [15] Hong Fu, L.A.F. Coelho, Michael A. Matthews. (2000). "Diffusion coefficient of model contaminants in dense CO₂" Journal of Supercritical Fluids, Vol. 18, pp. 141-155.
- [16] Hidenori Higashi, Y shioLwai, (2001). "Solubilities and diffusion coefficient high boiling compounds in Supercritical" Chemical engineering science, Vol. 56, pp. 3027-3044.
- [17] BalaSubramanam, (2005). "Enhancing the stability of drilling mud with supercritical reaction media" Applied Catalysis A: General Vol. 212, pp. 199-213.
- [18] Yong Gao, Yi-Fengshi, Zhong-Nanzhu. (2007). "Coking Mechanism of zeolite for supercritical fluid alkylation of benzene" process Technology Proceedings, Vol. 12, pp. 151-156.
- [19] Darely, H.C.H. and Gray, G.R., 1988, composition and properties of drilling and completion fluids, 5th ed, gulf publishing company, Houston.
- [20] Derrick O. Njokuenuwu and Chimeka A. Wobo, "Effect of drilled solids on drilling rate and performance". Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 55, Issues 3-4, 2007, pp 271-276.
- [21] Jerry M. Composition, Environmental Fates, and Biological Effects of Water Base Muds and Cuttings Discharged to the Marine Environment: A synthesis and Annotated Bibliography. Petroleum environmental research forum (PERF) and American petroleum institute, 2005.
- [22] Karen McCosh, M-I Swaco., 2005, Invert Fluid Flocculation - A Novel Technique for Drilling Fluid Recycling.
- [23] Lefond, Stanly J., 1983, Industrial minerals and rocks. 5th Edition. New York: American Institute of mining, metallurgical and petroleum engineering Inc.

- [24] Norman L. Weiss., 1985, SME mineral processing Handbook. New York: American Institute of mining, metallurgical, and petroleum engineering Inc.
- [25] Sonmez I., Cebeci Y. "A study on spherical oil agglomeration on barite suspensions" Elsevier. *Int. J. Miner. Process.* 71, 2003: 219-232.
- [26] Alef, K., and P. Nannipieri. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*, Harcourt brace & company (Eds), 214-216.
- [27] B.K. Gogoi, N.N. Dutta, P. Goswami and T.R. Krishna Mohan. 2003. A case study of bioremediation of petroleum-hydrocarbon contaminated soil at a crude oil spill site, *Adv. Environmental Research*, 7:767–782.
- [28] Coulon, F., Pelletier, E. and L. Gourhant. 2005. Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-antarctic soil. *Chemosphere*, 58:1439-1448.
- [29] Gagni, S. and D Cam. 2007. Stigmastane and hopan as conserved biomarkers for estimatin oil biodegradation in a former refinery plant-contaminated soil. *Chemosphere*, 67:1975- 1981.