

بررسی اثر نانوذرات مگنتیت بر شکست ترکیبات سنگین نفتی

الهه پورفخرایی | جلیل بدراقی* | فاطمه ممشلی | اقدس بنایی | صبورا اشکوریان

پژوهشکده علوم پایه کاربردی، جهاد دانشگاهی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

► badraghi@acecr.ac.ir

چکیده:

از مهمترین مشکلات در حوزه نفت سنگین حضور ترکیبات با وزن مولکولی بالا است که سبب افزایش گرانبوی نفت و تولید فرآورده‌های نفتی با ارزش افزوده پایین‌تر می‌گردد. استفاده از نانو مواد با هدف شکست کاتالیستی ترکیبات سنگین نفتی از روش‌های نوین حل این مشکل است. استفاده از نانوذرات مگنتیت به دلیل توانایی در شکست ترکیبات سنگین و امکان جدایش با نیروی مغناطیسی مورد توجه هستند. در این پژوهش پس از سنتز نانوذرات مگنتیت، اثر آن‌ها بر شکست چهار ترکیب منتخب نفتی شامل هگزادکان، اسکوالن، آنتراسن و دی بنزوفوران در شرایط دمایی و pH مختلف بررسی و میزان شکست با دستگاه گاز کروماتوگرافی سنجش گردید. بهترین درصد شکست در pH خنثی، به دلیل وجود گروه هیدروکسیل و عدم بار سطحی، و دمای ۸۰ درجه سانتیگراد، به دلیل فراهم نمودن انرژی کافی برای عملکرد نانوذرات، مشاهده گردید. درصد شکست برای هگزادکان حدود ۴۹٪، برای اسکوالن حدود ۴۳٪، برای آنتراسن حدود ۵۸٪ و برای دی بنزو حدود ۵۶٪ به دست آمد. نانوذرات مگنتیت توانایی بیشتری در شکست ترکیبات حلقوی به دلیل ساختار ویژه و وزن مولکولی پایین‌تر نشان دادند که نوید امکان استفاده کاربردی این نانوذرات را در صنعت نفت می‌دهد.

واژگان کلیدی: نانوذرات مگنتیت، شکست کاتالیستی، ترکیبات نفتی، مولکول‌های سنگین.

۱ مقدمه

نانومواد دارای طیف وسیع کاربردی در صنایع گوناگون می‌باشند. در واقع مواد در مقیاس نانو، خواص متفاوتی از خود بروز می‌دهند که سبب واکنش پذیری بالای آن‌ها می‌گردد. خاصیت مغناطیسی از جمله خواصی است که به مقدار بسیار زیادی به اندازه‌ی ذره وابسته است. در مواد فرومغناطیس وقتی اندازه‌ی ذره از یک حوزه‌ی مغناطیسی منفرد کوچک‌تر گردد، پدیده‌ی سوپرپارامغناطیس به وقوع می‌پیوندد. نانوذرات سوپرپارامغناطیس می‌توانند کاربردهای بالقوه‌ی زیادی داشته باشند [۱]. یکی از کاربردهای نانوذرات در حوزه شکست کاتالیستی در صنعت نفت است که در برخی از کشورهای توسعه یافته از جمله آمریکا و کانادا مورد پژوهش و ارزیابی عملکردی بسیار قرار گرفته‌اند و توانسته‌اند جایگاه مناسبی در واحدهای شکست مولکولی

صنایع نفتی به دست آورند. نانوذرات مورد استفاده در واحدهای شکست مولکولی، عموماً مواد جامد مانند زئولیت‌ها، هیدروسلیلیکات آلومینیوم، بوکسیت و سیلیکا-آلومینا می‌باشند. در حال حاضر استفاده از نانوذرات مغناطیسی به خاطر امکان کنترل و جداسازی توسط نیروی مغناطیسی بسیار کاربردی بوده و در صنعت مورد توجه قرار گرفته است [۲].

نفت خام شامل چهار گروه مختلف پارافین‌ها، نفتن‌ها، آروماتیک‌ها و رزین‌ها - آسفالتن‌ها می‌باشد. تقطیر نفت خام، نشان می‌دهد که حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد آنها از هیدروکربن‌های سنگین‌تر از ده کربن تشکیل شده‌اند. هر چه میزان ترکیبات سبک در نفت بیشتر باشد برای تولید فرآورده‌های نفتی مناسب‌تر بوده و دارای قیمت بالاتری در بازارهای بین‌المللی است. شکست ترکیبات سنگین آلی به سبک شدن مولکول‌های نفت کمک کرده و سبب افزایش مطلوبیت نفت می‌گردد. بنابراین

که افزایش دما و محیط خنثی تا قلیایی سبب بهبود فعالیت نانوذرات می‌شوند [۸].

در این پژوهش هدف بررسی تاثیر نانوذرات مگنتیت بر شکست ترکیبات آلی سنگین نفتی در شرایط محیطی بهینه می‌باشد. در همین راستا پس از سنتز نانوذرات مگنتیت، درصد شکست چهار گروه از ترکیبات آلی با دستگاه گاز کروماتوگرافی در شرایط محیطی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲ بخش تجربی

مواد و تجهیزات

مواد شیمیایی هگزادکان، اسکوالن، آنتراسن و دی بنزو فوران از شرکت سیگما خریداری شدند. سولفات آهن هفت آبه (۹۹٪)، کلرید آهن شش آبه (۹۹٪)، آمونیاک ۴ مولار (۲۵٪)، اسید کلریدریک (۳۷٪)، کلروفرم، سود و سدیم استات از شرکت مرک تهیه گردید. میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) مورد استفاده از شرکت هیتاچی مدل S-4160 با قدرت ۲۰KV و دقت ۵ نانومتر و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورد استفاده از شرکت فیلیپس مدل CM30 با قدرت ۳۰۰KV و دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل GC-15A از کمپانی شیماتزو ژاپن با شناساگر FID و ستون Rtx-5 MS با طول ۳۰ متر بوده است. شیکر انکوباتور شرکت لب تک کره جنوبی و ترازوی دیجیتال شیماتزو در این مطالعه استفاده شدند.

سنتز نانوذرات مگنتیت

در این مطالعه از روش هم‌رسوبی برای سنتز نانوذرات مگنتیت استفاده گردید. ۱۵۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۰۴۶ مولار نسبت به سولفات آهن ۷ آبه و ۰/۰۹۲ مولار نسبت به کلرید آهن ۶ آبه تهیه شد. آمونیاک ۴ مولار برای قلیایی کردن محیط به کندی و با استفاده از بورت صورت گرفت. با افزایش حدود ۷۵۰ میلی لیتر آمونیاک

شکست مولکول‌های سنگین از اهداف مهم صنعت نفت در راستای تولید محصولات با کیفیت بالاتر و کسب درآمد بیشتر است [۳].

میان کنش بین برخی نانو ساختارها و ترکیبات دارای وزن مولکولی بالا در نفت‌های خام مورد بررسی قرار گرفته و نتایج قابل قبولی از خود نشان داده‌اند. همه این واکنش‌ها در ارتقاء کیفیت نفت خام سنگین مورد توجه قرار دارند [۴]. فوکویاما و همکاران از نانوکاتالیست‌ها برای هیدروکراکینگ نفت‌های سنگین و تصحیح فرآیند روش هیدروکراکینگ نفت‌های سنگین استفاده کرده‌اند. همچنین ماستون و دین کاتالیست‌های آهن نانوفاز جدیدی را برای کاربردهای هیدروکراکینگ توسعه داده‌اند. در این کاتالیست‌ها پیوند کربن - کربن توسط اکسیدهای آهن هیدراته نانو کریستالی، شکسته می‌شوند و در طی آزمایشاتی که همراه با مدل پیشنهادی انجام گردید، فعالیت و انتخاب کنندگی بالایی از خود نشان دادند [۵].

دما به عنوان فاکتوری مهم در فعالیت نانوذرات مطرح است. با افزایش دما به علت افزایش سرعت و جنبش مولکولی و تامین انرژی عملکردی در نانوذرات افزایش فعالیت مشاهده می‌شود. مهدیه جانباز فوتمی و همکاران در بررسی اثر تغییرات دما بر سرعت واکنش نانوذرات آهن در حذف آرسنیک، مشاهده کردند که با افزایش دما واکنش تسریع می‌شود به طوری که در دمای محیط پس از گذشت ۶۰ دقیقه فقط ۲ درصد از مقدار آلاینده آرسنیک حذف شده، در صورتی که در دمای حدوداً دو برابر آن، این مقدار به ۱۵ درصد رسیده است [۶]. در همین راستا به بررسی اثر تغییرات pH بر فعالیت نانوذرات پرداختند که در محیط مناسب برای عامل واکنش دهنده با توجه به خصوصیات ساختاری و ذاتی آن به نتایج بهتری دست پیدا کردند [۷]. فام و همکاران نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها مشاهده کردند

pH های مختلف ۳، ۵، ۷ و ۹ تهیه گردید. نانوذرات مگنتیت با غلظت ۱٪ در بافر سدیم استات ۰٫۲ مولار با شرایط اسیدی و قلیایی مختلف آماده شدند. تمام نانوذرات در شرایط یکسان در دستگاه اولتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه سونیکه شدند و به صورت سوسپانسیون پایدار درآمدند. غلظت ۱۰۰۰ ppm از هر چهار ترکیب در حلال متانول به صورت یکنواخت آماده و در نهایت به بافر حاوی نانوذرات اضافه شدند. نمونه شاهد محتوی بافر سدیم استات ۰٫۲ مولار با شرایط pH مختلف و غلظت مشابه نمونه مورد مطالعه از هر چهار ترکیب بدون افزودن نانوذرات مگنتیت بود. نمونه های شاهد و نمونه مورد مطالعه در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت متوالی روی شیکر قرار گرفتند. برای استخراج نمونه ها از حلال کلروفرم استفاده گردید تا بر اساس انحلال پذیری بیشتر ترکیبات وارد فاز آلی شدند. فاز آلی برای آنالیز گاز کروماتوگرافی به کمک قیف جدا کننده جدا گردید.

بررسی اثر دما بر عملکرد نانوذرات مگنتیت با مولکول های آلی سنگین

برای بررسی تاثیر دما بر شکست ترکیبات نفتی مورد مطالعه، شرایط دمایی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد. نمونه های حاوی بافر استات با pH انتخابی در مرحله ۲، ۳، آماده شد. غلظت ppm ۱۰۰۰ از هر چهار گروه ترکیب سنگین در متانول آماده شد و به بافر حاوی نانوذرات مگنتیت افزوده شد. نمونه ها در هر دما به مدت ۷۲ ساعت در شیکر انکوباتور قرار گرفتند و سپس با کلروفرم استخراج نمونه ها صورت گرفت. فاز آلی جهت آنالیز گاز کروماتوگرافی استفاده گردید.

آنالیز نمونه ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی

از دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز به ستون موبینه سیلیکای ۳۰DB-5MS $m^3 \times 0.25$ و آشکار ساز

۴ مولار در مدت ۳ ساعت pH مخلوط واکنش به ۱۰/۲۵ رسید. واکنش متوقف شد و مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق به هم زده شد. در ادامه در مدت زمان ۵۵ دقیقه با افزایش ۱۸۵ میلی لیتر اسیدکلریدریک به کمک بورت، pH مخلوط واکنش برای ایجاد شرایط اسیدی به ۳ رسید. نانوذرات تولید شده به کمک آهنربا ته نشین شده و برای ایجاد محیط ختشی چندین بار با آب مقطر شستشو شدند. در نهایت نانوذرات حاصل از این واکنش به مدت یک شب در آون با دمای ۱۰۰ درجه خشک شدند [۹].

جهت آنالیز سایز و بررسی مورفولوژی و شکل نانوذرات از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ الکترونی عبوری واقع در دانشکده فنی دانشگاه تهران استفاده شد. برای آنالیز SEM از روکش طلا برای نمونه سازی استفاده گردید و نمونه برای آنالیز TEM در متانول به صورت سوسپانسیون یکنواخت آماده شد [۱۰].

سنجش شکست ترکیبات آلی سنگین

با توجه به هدف این پژوهش برای کاهش حضور ترکیبات سنگین در نفت خام، ترکیباتی با وزن مولکولی مختلف که در رده بندی ترکیبات سنگین نفت قرار می-گیرند، انتخاب شدند. جهت آنالیز چهار ترکیب هگزاکان، اسکالان، آنتراسن و دی بنزو فوران در غلظت های مختلف آماده شدند و مورد سنجش با دستگاه گاز کروماتوگرافی قرار گرفتند. غلظت ppm ۱۰۰۰ که بهترین شناسایی در آن صورت گرفت، به عنوان مرجعی برای آماده سازی نمونه ها در تمامی آزمایش ها در نظر گرفته شد. با هدف بهینه سازی شرایط محیطی برای شکست بیشتر ساختار ترکیبات نفتی آزمایش های دمایی و pH انجام گرفت.

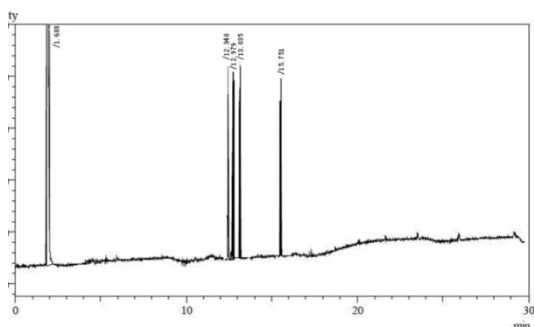
بررسی اثر pH بر عملکرد نانوذرات مگنتیت با مولکول های آلی سنگین

برای بررسی اثر pH بر عملکرد نانوذرات از محیط های اسیدی تا قلیایی استفاده گردید. بافر استات ۰٫۲ مولار در

شکل ۱ الف تصویر دستگاه FE-SEM سایز مناسب، شکل کروی و یکدست نانوذرات مگنتیت و تصویر ب که مربوط به دستگاه TEM می‌باشد، تجمع و توزیع مناسب نانوذرات مگنتیت را نشان می‌دهد.

نتایج آنالیز گاز کروماتوگرافی چهار گروه ترکیبات آلی سنگین

نتایج گاز کروماتوگرافی برای هر چهار ترکیب هگزادکان، اسکوالن، آنتراسن و دی بنزوفوران برطبق شرایطی که در بخش تجربی ارائه شد در کروماتوگرام شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲: نتایج گاز کروماتوگرافی، با شرایط انتخابی دستگاه بر اساس افزایش زمان به ترتیب دی بنزوفوران با زمان ۱۲,۳۴۸، اسکوالن با زمان ۱۲,۹۷۹، هگزادکان با زمان ۱۳,۰۳۵ و آنتراسن با زمان ۱۵,۷۵۱ از ستون خارج شدند.

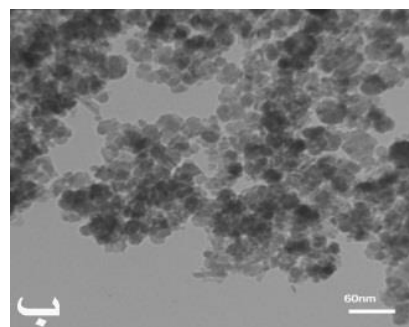
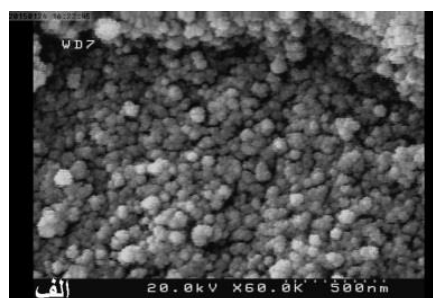
برای شناسایی پیک ترکیبات مورد مطالعه و استانداردسازی نمونه‌ها، استاندارد خالص هر ترکیب به صورت تک ترکیب به دستگاه گاز کروماتوگرافی تزریق گردید و زمان خروج پیک به دست آمد. در شکل ۲ که نتیجه کروماتوگرام‌های هر چهار ترکیب است، ترتیب زمانی شناسایی دی بنزوفوران، اسکوالن، هگزادکان و آنتراسن نشان داده شده است. زمان آشکارسازی ترکیبات به نقطه جوش و ساختار

یونیزاسیون شعله ای^۳ استفاده شد. دمای پورت تزریق و شناساگر 300°C ، دمای شروع 80°C برای ۱ دقیقه، سرعت افزایش دما 10°C بر دقیقه، دمای نهایی 280°C برای ۵ دقیقه تنظیم گردید. نیتروژن به عنوان گاز حامل استفاده گردید و حجم تزریق ۱ میکرولیتر بود. نمونه ها سه بار آنالیز شدند و میانگین نتایج گزارش گردید [۱۱].

۳ نتایج و بحث

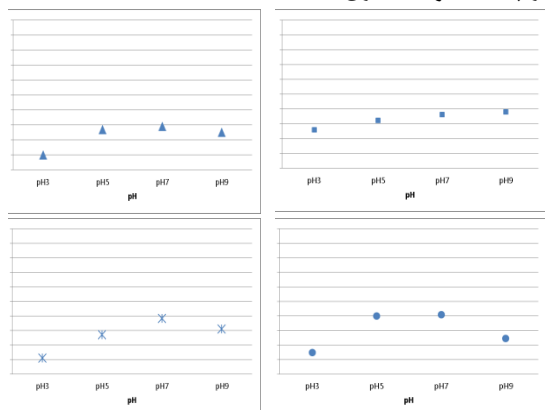
آنالیز سایز و مورفولوژی نانوذرات مگنتیت

جهت بررسی سایز و مورفولوژی نانوذرات مگنتیت سنتز شده از دستگاه FE-SEM و TEM دانشکده فنی دانشگاه تهران با مشخصات ارائه شده در بخش تجربی استفاده شد. نتایج آنالیز سایز ۲۰ تا ۵۰ نانومتر و مورفولوژی کروی و مناسب نانوذرات مگنتیت را نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱: نتایج آنالیز الکتروسکوپ الکترونی (الف) تصویر نانوذرات سنتزی یا دستگاه FE-SEM (ب) تصویر نانوذرات سنتزی با دستگاه TEM

کنترل و سطح زیر پیک در نمونه مورد آزمایش بر سطح زیر پیک نمونه کنترل به دست آمد.



شکل ۳: نمودارهای درصد شکست ترکیبات هگزادکان، اسکوالن، آنتراسن و دی بنزو فوران در pHهای مختلف و دمای ۵۵ درجه سانتیگراد

در این پژوهش بیشترین میزان شکست در pH نزدیک به خنثی مشاهده گردید. روند افزایش شکست از pH اسیدی تا خنثی در تمامی ترکیبات صعودی است و در pH قلیایی به جز هگزادکان در سایر ترکیبات کاهش میزان شکست مشاهده می‌گردد. هگزادکان به دلیل ساختار خطی مقاومت بهتری در تغییرات pH از خود نشان داد. نانوذرات مگنتیت در محدوده خنثی عملکرد بهتری از خود برای شکست ترکیبات حلقوی نشان دادند. بیشترین میزان شکست برای هگزادکان در pH ۹ با درصد شکست حدود ۳۸٪، برای اسکوالن در pH ۷ با درصد شکست حدود ۲۹٪، برای آنتراسن در pH ۷ با درصد شکست حدود ۴۲٪ و برای دی بنزوفوران در pH ۷ با درصد شکست حدود ۳۸٪ به دست آمد. با توجه به نزدیکی میزان شکست هگزادکان در pH ۷ در مقایسه با pH ۹ که حدود ۳۶٪ محاسبه گردید، به طور کلی با توجه به محیط عملکردی جهت شکست ترکیبات آلی سنگین می‌توان نتیجه گرفت که در خصوص این ترکیبات، نانوذرات مگنتیت دارای توان بالایی عملکردی در pH خنثی بودند. مهدیه جانباز فوتومی و همکاران بهترین محدوده فعالیت نانوذرات آهن

هر ترکیب بستگی دارد. هگزادکان آلکان خطی با وزن مولکولی ۲۲۶,۴۴ گرم بر مول، نقطه جوش ۲۸۶ درجه سانتیگراد و نقطه ذوب ۱۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. اسکوالن^۴ به عنوان ترکیب آلکنی با وزن مولکولی ۴۱۰/۷۲ گرم بر مول، نقطه جوش ۲۸۵ درجه سانتی گراد، نقطه ذوب ۷۵- درجه سانتی گراد مورد استفاده قرار گرفت. آنتراسن یک هیدروکربن آروماتیک سه حلقه ای است و در لیست ترکیبات آلاینده آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) قرار دارد [۱۲]. وزن مولکولی ۱۷۸/۲۳ گرم بر مول، نقطه جوش ۳۴۰ درجه سانتی گراد، نقطه ذوب ۲۱۵-۲۱۰ درجه سانتی گراد می‌باشد. دی بنزوفوران به عنوان ترکیب هترواتم انتخاب شد که دارای وزن مولکولی ۱۶۸/۱۹ گرم بر مول، نقطه جوش ۱۵۴- درجه سانتی گراد، نقطه ذوب ۸۰-۸۲ درجه سانتی گراد می‌باشد. نقطه جوش دی بنزوفوران > اسکوالن > هگزادکان > آنتراسن می باشد که با ترتیب زمانی خروج ترکیبات مطابقت دارد.

نتایج اثر pH بر عملکرد نانوذرات مگنتیت با مولکول‌های آلی سنگین

پس از تحلیل نتایج آزمایشات و تفاوت رفتاری نانوذرات در محیط‌های اسیدی و قلیایی در ابتدا فاکتور pH در دمای ثابت در عملکرد نانوذرات در نظر گرفته شد. شکل ۳ نمودارهای شکست مولکول‌های سنگین نفتی انتخابی را در pHهای مختلف نشان می‌دهد. برای محاسبه میزان شکست ترکیبات آلی سنگین سطح زیر پیک هر ترکیب در نظر گرفته شد. روش محاسبه میزان شکست ترکیبات آلی سنگین، از تفاوت سطح زیر پیک نمونه

^a US Environmental Protection Agency

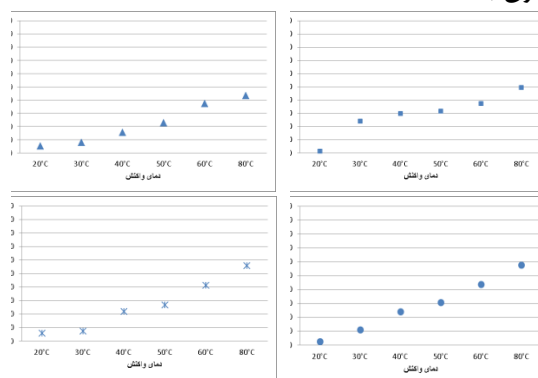
^f 2,6,10,15,19,23-Hexamethyl-2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، افزایش دما سبب افزایش درصد شکست ترکیبات گردید و این روند افزایشی در تمام ترکیبات مشاهده گردید. بالاترین درصد شکست برای تمامی ترکیبات در بالاترین دما که در این پژوهش ۸۰ درجه سانتیگراد بود، به دست آمد. در بسیاری از منابع افزایش دما یکی از عوامل افزایش فعالیت نانوذرات معرفی گردیده است [۶-۸] افزایش دما سبب افزایش فعالیت نانوذرات و تامین انرژی کافی برای انجام واکنش می‌شود و در عملکرد آن‌ها نقشی موثر دارد. با توجه به افزایش حرکت مولکولی در دماهای بالاتر انتظار شکست مولکولی بیشتر وجود دارد. ترکیبات خطی مانند هگزادکان و اسکوالن به دلیل ساختار خطی در مقابل شکست مقاومت بیشتری نسبت به ترکیبات حلقوی نشان دادند. کمترین میزان شکست در اسکوالن به دلیل وجود پیوندهای دوگانه مقاوم در برابر شکست مشاهده شد [۱۵]. در این پژوهش بالاترین درصد شکست برای اسکوالن به عنوان نماینده آلکن‌ها حدود ۴۳٪، برای هگزادکان به عنوان نماینده آلکان‌ها حدود ۴۹٪، برای دی بنزو فوران به عنوان نماینده ترکیبات هترواتم حدود ۵۶٪ و برای آنتراسن به عنوان نماینده ترکیبات آروماتیک حدود ۵۸٪ به دست آمد. به طور کلی نانوذرات در شکست ترکیبات حلقوی به دلیل ساختار منسجم‌تر و وزن مولکولی پایین‌تر عملکرد بهتری از خود نشان دادند [۱۶]. با توجه به این واقعیت که ترکیبات آروماتیک و هترواتم‌ها از مشکلات اصلی گرانیوی نفت سنگین هستند، شکست این ترکیبات به ساختارهای سبک‌تر و یا خطی می‌تواند در کاهش گرانیوی نفت سنگین بسیار با اهمیت باشد. نانوذرات به دلیل ویژگی کاتالیستی خود می‌توانند در شکست مولکول‌های سنگین نفتی و در نتیجه کاهش گرانیوی نفت نقش بسزایی داشته باشند [۱۷].

را در محیط قلیایی به دست آوردند [۷]. فام و همکاران نیز اظهار نموده‌اند که محیط خنثی تا قلیایی سبب بهبود فعالیت نانوذرات می‌شوند [۸]. بسیم و همکاران بهترین محدوده عملکردی نانوذرات را در pH ۵ تا ۸ به دست آوردند که با نتایج حاصله همخوانی دارد [۱۳]. علت شکست بهتر در pH خنثی می‌تواند به خصوصیات ذاتی نانوذرات مگنتیت بستگی داشته باشد، نانوذرات مگنتیت دارای گروه‌های هیدروکسیل (OH) در سطح ساختار خود می‌باشند که در pH قلیایی‌تر به گروه‌های O^- و در pH‌های اسیدی‌تر به OH^+ تبدیل شوند [۱۴]. از آنجا که ترکیبات مورد مطالعه در این پژوهش دارای ساختار خنثی هستند، انتظار واکنش مناسب‌تر بین نانوذرات مگنتیت در حالت خنثی با ترکیبات مورد مطالعه وجود داشت که نتایج آزمایشگاهی نیز این نظر را تایید کرد.

نتایج اثر دما بر عملکرد نانوذرات مگنتیت با مولکول‌های آلی سنگین

شکل ۴ نمودار شکست مولکول‌های سنگین نفتی انتخابی را در حضور نانوذرات مگنتیت در دماهای مختلف نشان می‌دهد. برای محاسبه میزان شکست ترکیبات آلی سنگین سطح زیر پیک هر ترکیب در نظر گرفته شد. روش محاسبه میزان شکست ترکیبات آلی سنگین، از تفاوت سطح زیر پیک نمونه کنترل و سطح زیر پیک در نمونه مورد آزمایش بر سطح زیر پیک نمونه کنترل به دست آمد.



شکل ۴: نمودارهای درصد شکست ترکیبات هگزادکان، اسکوالن، آنتراسن و دی بنزو فوران در دماهای مختلف

۴ نتیجه گیری

در مقالات موجود بهترین عملکرد نانوذرات اکسید آهن در محیط‌های خنثی تا قلیایی گزارش شده است. علت این امر سازگاری ساختاری این نانوذرات و عدم وجود بار سطحی با این نوع شرایط محیطی می‌باشد و افزایش دما نیز به دلیل افزایش حرکات مولکولی و تامین انرژی واکنش سبب افزایش توانمندی نانوذرات در شکست کاتالیستی می‌گردد [۱۷]. در این پژوهش برای اولین بار توانمندی نانوذرات مگنتیت بر شکست کاتالیستی چند ترکیب مدل نفتی در شرایط محیطی مختلف انجام گرفت و بهترین درصد شکست برای هگزادکان حدود ۴۹٪، برای اسکوالن حدود ۴۳٪، برای آنتراسن حدود ۵۸٪ و برای دی بنزو حدود ۵۶٪ به دست آمد. نانوذرات مگنتیت توانایی بیشتری در شکست ترکیبات حلقوی نشان دادند که به دلیل ساختار منسجم‌تر این نوع ترکیبات می‌باشد. وجود حلقه بنزنی سبب افزایش تجمع این نوع مولکول‌های غیر قطبی از طریق بخش‌های هیدروفوب می‌گردد و احتمال شکست کاتالیستی این ترکیبات را بالا می‌برد [۱۳]. در نهایت در این پژوهش بهترین شرایط pH برای شکست این ترکیبات شرایط خنثی و بهترین دما ۸۰ درجه سانتیگراد به دست آمد. با توجه به اهمیت این ترکیبات در افزایش گرانیوی نفت سنگین، امید است نتایج این پژوهش در کاهش گرانیوی نفت سنگین در صنعت نفت راه‌گشا باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مادی و معنوی جهاد دانشگاهی و اعضای محترم پژوهشکده علوم پایه کاربردی که در اجرای این پژوهش همکاری نمودند، کمال امتنان را دارند.

مراجع

- [1] چارلز . پول ، فرانک جی . اونسر؛ ترجمه نیما تقوی نیا، "مقدمه ای بر نانوفناوری"، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۷.
- [2] A. Hussain, A. Alrawajfeh, "Recent patents of nanofiltration applications in oil processing, desalination, wastewater and food industries", *Recent Patents on Chemical Engineering*, 2, 51-66, 2009.
- [3] محمدتقی کوچک زاد، "صنعت نفت و محیط زیست"، نشر تهران، روابط عمومی شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، ۱۳۸۴.
- [4] K. Kirkwooda, J. Foghtb, M. Gray, "Prospects for biological upgrading of heavy oils and asphaltenes", *Studies in Surface Science and Catalysis*, 151, 113-143, 2004.
- [5] H. Fukuyama, K. Ohtsuk, S. Terai, Sh. Sawamoto, "Catalyst for hydrocracking of heavy oils and method of hydrocracking heavy oils", *United States Patent* 6,797,153, 2004.
- [6] مهدیه جانباز فوتمی، مجید خلقی، عبدالحسین هورفر، حشش‌ناس داود، "مطالعه آزمایشگاهی اثر نانوذرات آهن بر حذف آرسنیک در محیط آبی"، *محیط شناسی*، ۱۳۹۲.
- [7] S. Kanel, D. Nepal, B. Manning, H. Choi, "Transport of surface-modified iron nanoparticle in porous media and application to arsenic (III) remediation", *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 725-735, 2007.
- [8] H. Pham, Q. Nguyen, "Effect of silica nanoparticles on clay swelling and aqueous stability of nanoparticle dispersions", *Journal of Nanoparticle Research*, 16, 1-11, 2014.
- [9] E. Pourfakhraei, J. Badraghi, A. Banaei, F. Mamashli, S. Ashkevarian, "The use of magnetite iron oxide nanoparticles in water-oil separation", *Nanoscale journal*, 2, 41-47, 2015.
- [10] W. Wu, Q. He, C. Jiang, "Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and

surface functionalization strategies”, *Nanoscale Research Letters*, 24, 40, 2009.

[11] A. Hegazi, J. Andersson, M. El-Gayar, “Application of gas chromatography with atomic emission detection to the geochemical investigation of polycyclic aromatic sulfur heterocycles in Egyptian crude oils”, *Fuel processing technology*, 85, 1-19, 2004.

[12] Toxicity equivalence factors (TEF) for dioxin and related compounds, chapter 9, John Wiley & Sons. 2000.

[13] A. Abbas, B. Abussaud, Ihsanullah, H. Al-Baghli, M. Khraisheh, M. Atieh, “Benzene removal by iron oxide nanoparticles decorated carbon nanotubes”, *Journal of Nanomaterials*, 2016, 10, 2016.

[14] M. Szekeres, E. Tombacz, “Characterization of metal oxides by potentiometric acid-base titration, revisited theory and experiment”, *Colloids and Surfaces A*, 414, 302-313, 2012.

[15] J. Saien, F. Shahrezaei, “Organic pollutants removal from petroleum refinery wastewater with nanotitania photocatalyst and UV light emission”, *International Journal of Photoenergy*, 2012.

[16] M. Abdullah, H. Al-Lohedan, A. Atta, “Novel magnetic iron oxide nanoparticles coated with sulfonated asphaltene as crude oil spill collectors”, *RSC Advances*, 2016.

[17] F. Iskandar, E. Dwinanto, M. Abdullah, Khairurrijal, O. Muraza, “Viscosity reduction of heavy oil using nanocatalyst in aquathermolysis reaction”, *Kona Powder and Particle Journal*, 2016.