مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۹، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸

پارچه پنبه‌ای آبگریز و روغن دوست برای جداسازی کارآمد آب و روغن از طریق پلیمریزاسیون پلاسمایی کم فشار

لیلا قربانی[۱]، علی خطیبی[۲] و بابک شکری [۱،۲]

۱. پژوهشکدهٔ لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲. دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴)

چکیده

در سال‌های اخیر، افزایش پساب‌های صنعتی بخش پتروشیمی به ویژه نشت مکرر نفت و تخلیهٔ پساب‌های صنعتی در رودخانه‌ها، خطرات زیست محیطی و ضررهای اقتصادی زیادی را در جهان به وجود آورده است. در دههٔ گذشته استفاده از پارچه‌های آبگریز و روغن دوست به عنوان راهکاری برای پاک‌سازی آلودگی‌ها از طریق جذب و جداسازی آلاینده‌ها از پساب‌های صنعتی مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق از روش پلیمریزاسیون پلاسمایی فشار پایین با استفاده از مواد زیست‌سازگاری مانند پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان برای ساخت پارچهٔ پنبه‌ای آبگریز و روغن دوست استفاده شد. همچنین پیش‌پردازش پلاسمای اکسیژن، قبل از فرایند پلیمریزاسیون برای بهبود پیوند لایهٔ ایجاد شده و پارچهٔ پنبه‌ای انجام شد. آزمون زاویهٔ تماس و ظرفیت جذب برای ارزیابی آبگریزی و اندازه‌گیری توانایی جذب روغن‌های مختلف پارچهٔ پوشش داده شده انجام شد. همچنین برای مشاهدهٔ تغییرات ریخت‌شناسی روی سطح پارچهٔ پنبه‌ای از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و برای شناسایی پیوندهای ایجاد شده روی سطح از طیف‌سنجی تبدیل فوریهٔ فروقرمز (ATR–FTIR) استفاده شد. آزمون بازده جداسازی آب و روغن و آزمون شستشو برای اندازه‌گیری نرخ جداسازی و ماندگاری پارچهٔ پوشش داده شده استفاده شد. زاویهٔ تماس آب برای پارچهٔ پوشش داده شده ۳±۱۴۳ است که این آبگریزی حتی بعد از ۱۰ چرخه شستشو تقریباً باقی می‌ماند. همچنین نتایج SEM نشان داد سطح پارچه دارای توزیع تصادفی میکروساختارها یا یک ساختار سطحی شبیه نیلوفر آبی است. آزمون جداسازی آب و روغن نشان داد پارچهٔ پوشش داده شده بازده جداسازی بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد برای بیشتر مواد صنعتی حتی بعد از ۱۵ چرخه جداسازی در دمای ۲۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد دارد. این نتایج نشان می‌دهد که پارچهٔ پوشش داده شده با روش پلیمریزاسیون پلاسمایی پتانسیل بالایی برای کاربرد در جداسازی آب و روغن و جذب انتخابی روغن دارد. این پارچه‌ها از جهت زیست سازگاری و قابلیت استفادهٔ مجدد، یک روش امیدوار کننده برای جداسازی روغن از آب محسوب می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان، پلاسما پلیمریزاسیون، پارچهٔ آبگریز و روغن دوست، جداسازی آب و روغن

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر همراه با افزایش رشد تولیدات نفتی و انتقال آن، افزایش آلودگی صنعتی به عنوان یک مشکل جدی برای محیط زیست و زندگی انسان مطرح شده است. در واقع نشت

نفت و تخلیهٔ نامناسب انواع آلودگی‌های صنعتی، تأثیر جدی روی محیط زیست می‌گذارد و باعث ضررهای اقتصادی بزرگی می‌شود. نشت نفت خلیج مکزیک در سال ۲۰۱۰ فقط یکی از مثال‌های خطرناک مربوط به این نگرانی جهانی است [۱-۳]. در دههٔ اخیر تحقیقات زیادی برای حل این مشکل انجام شده است و روش‌های مختلفی برای از بین بردن آلودگی‌ها مانند جذب و جداسازی آلاینده‌ها از سطح آب توسط انواع جاذب‌ها [۴]، آتش زدن لکه‌های نفتی [۵] و استخراج نفت [۶] توسعه پیدا کردند و از بین آنها روش جداسازی آلاینده از آب، به علت نداشتن آلودگی ثانویه یکی از بهترین روش‌هاست [۶].

فرایند جداسازی آب و روغن معمولاً با فیلتر دارای ویژگی آبگریزی و روغن دوستی انجام می‌شود. در کل برای ایجاد پوشش آبگریز و روغن دوست روش‌های مختلفی مانند لایه‌نشانی بخار شیمیایی [۷]، رسوب‌دهی الکتروشیمیایی [۸]، ایروسل آبگریز و فرایند سل- ژل [۹]، الکتروریسی [۱۰]، سنتز هیدروترمال [۱۱]، روش جداسازی فاز [۱۱]، روش لایه به لایه [۱۱] وجود دارد. اولین وسیلهٔ جداسازی مش فلزی پوشش داده شده با مواد آبگریز و روغن دوست بود که توسط فنگ در سال ۲۰۰۴ طراحی شد و به علت انعطاف پذیر نبودن مورد استقبال قرار نگرفت [۱۲]. بعد از آن موادی مانند پارچه، اسفنج و پودر معرفی شدند که از بین آنها پارچه به علت کم هزینه بودن، انعطاف‌پذیری، قابل دسترس بودن، متخلخل بودن و قابلیت استفاده در مقیاس بزرگ مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱ و ۷]. از طرفی پارچه به علت ویژگی‌های ذکر شده با ایجاد یک پوشش آبگریز و روغن دوست بر روی آن گزینهٔ مناسب‌تری برای کاربرد عملی در مقیاس بزرگ به شمار می‌رود و می‌تواند به عنوان فیلتر جداسازی آب و روغن مورد استفاده قرار گیرد. اگر چه روش‌ها و تحقیقات انجام شده نتایج خوب و امیدوار کننده‌ای داشتند ولی هنوز جای یک روش زیست سازگار برای ساخت لایهٔ آبگریز و روغن دوست با دوام و بازده جداسازی بالا بعد از چندین چرخه در دماهای مختلف خالی است. عدم وجود این مشخصات کاربرد عملی روش‌های قبلی را با مشکل مواجه می‌کند.

برای ایجاد پوشش آبگریز و روغن دوست از موادی با انرژی سطحی پایین استفاده می‌شود که در سال‌های اخیر از ماده‌ای به نام PDMS به علت زیست سازگازی انعطاف‌پذیری و انرژی سطحی بسیار پایین و آبگریزی ذاتی مکرراً استفاده شده است. جین و همکارانش [۱۳] با استفاده از روش غوطه‌وری در محلول PDMS اسفنج آبگریز و روغن دوست ساختند که ظرفیت جذب و زاویهٔ تماس بالایی داشت ولی در روش غوطه وری مواد مصرفی بیشتری استفاده می‌شود و لایهٔ ایجاد شده یکنواخت نیست و نسبت به روش پلیمریزاسیون چسبندگی کمتری دارد. پلیمریزاسیون پلاسما [۱۴] یکی از روش‌های امیدوار کننده برای ایجاد پوشش روی پارچه است که تا آنجایی که ما می‌دانیم تاکنون گزارشی از این روش بر پایهٔ محلول PDMS برای ایجاد پوشش روی پارچه پنبه ای وجود ندارد.

در کل ترشوندگی سطح جامد با ترکیبات شیمیایی، ساختار هندسی و ریخت‌شناسی سطح کنترل می‌شود [۱۵ و ۱۶]. مدل ونزل و کیسی باکستر نشان می‌دهد وجود میکرو و نانو ساختار روی آبگریزی و روغن دوستی سطح را افزایش می‌دهد و طبق نظریه کیسی باکستر در سطوح دارای ساختار میکرو و نانو، بسته‌های هوا بین گپ‌ها گیر می‌افتد و باعث می‌شود قطره‌های آب روی آنها قرار بگیرند و زاویهٔ تماس بالایی داشته باشند [۱۷ و ۱۸].

در این مطالعه از روش پلیمریزاسیون پلاسما به همراه پیش پردازش گاز اکسیژن برای ایجاد پوشش آبگریز و روغن دوست برروی پارچهٔ پنبه‌ای با استفاده از محلولی بر پایهٔ PDMS استفاده شده است. روش پلیمریزسیون پلاسمایی نسبت به روش‌های قبل بهترین روش برای ایجاد این برجستگی‌های منسجم و همگن روی سطح است که عکس‌های SEM تأیید کنندهٔ این مطلب است و روش‌هایی که قبلاً برای ایجاد پوشش استفاده می‌شده هیچکدام مانند روش پلیمریزاسیون پلاسمایی برجستگی‌های این‌چنینی ایجاد نمی‌کنند. در این روش قبل از ایجاد سطح آبگریز و روغن دوست به منظور افزایش چسبندگی بین پوشش ایجاد شده و پارچه از پیش پردازش پلاسمای اکسیژن استفاده شد. آزمون زاویهٔ تماس آب و ظرفیت جذب روغن برای بررسی میزان آبگریزی و روغن دوستی انجام شد. نتایج مربوط به آزمون جداسازی در دمای اتاق و دمای بالا،

بازده جداسازی بالایی برای پارچه پنبه‌ای پوشش داده شده گزارش کردند. نتایج نشان داد میکروساختارهایی روی سطح ایجاد شده است و زاویهٔ تماس آب با پارچهٔ پوشش داده شده ۳±۱۴۳ است. بازده جداسازی حتی بعد از ۱۵ چرخه جداسازی مخلوط آب و روغن یا حلال در حدود قابل قبولی است و فیلتر ساخته شده با روش پلاسمایی، قابلیت خوبی برای جداسازی آلودگی از آب در بخش‌های مختلف صنعت دارد.

۲. مواد و روش‌ها

ابتدا پارچهٔ پنبه‌ای در ابعاد ۳×۳ سانتی‌متر درون بشر محتوی آب ۶۰ درجه سانتی‌گراد و محلول ۵ درصد جرمی شسته و در دمای ۵۰ درجه به مدت ۴۰ دقیقه در اجاق خشک شد. برای آماده‌سازی محلول پلیمریزاسیون، ۲ گرم پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان (PDMS) با ۰/۲ گرم عامل سفت کننده یعنی با نسبت ۱۰ به ۱ مخلوط می‌شود. چون هر دو جزء مایع هستند، بعد از مخلوط شدن به یک الاستومر انعطاف پذیر تبدیل می‌شود. سپس ۵۰ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه و یک ساعت روی همزن برقی قرار می‌گیرد تا محلول یکنواختی حاصل شود. محلول آماده شده در حالی‌که شیر متصل به محفظهٔ لایه‌نشانی بسته است، در محفظه ریخته می‌شود. محفظهٔ محتوی محلول از یک سمت به محفظهٔ خلأ و از سمت دیگر به گاز آرگون متصل است. نمونهٔ پارچه‌ای روی الکترود توان شده قرار گرفته و دربِ محفظه خلأ بسته شده و فرایند پیش‌پردازش با گاز اکسیژن با شار sccm ۲۰، فشار mtorr ۷۵، توان W ۲۰، زمان min ۳۰ انجام می‌شود. بعد از انجام فرایند پیش‌پردازش نوبت به پلیمریزاسیون پلاسمایی می‌رسد. در این مرحله شیر محفظهٔ محتوی محلول باز شده و با شرایط فشار mtorr۱۵۰، شار گاز آرگون sccm ۲۰، زمان min ۲۰و توان W ۲۰ پلیمریزاسیون پلاسمایی انجام می‌شود. فرایند پیش‌پردازش برای یک سمت پارچه ولی پلیمریزاسیون برای ۲ سمت پارچه صورت می‌گیرد. برای تعیین شرایط بهینه پیش‌پردازش و پلیمریزاسیون پلاسمایی آزمون‌های مختلفی انجام شد.

زاویهٔ تماس: در این آزمون که برای اندازه‌گیری میزان آبگریزی استفاده می‌شود، قطرهٔ آب دوبار یونیزه به حجم ۴ μL توسط یک سرنگ روی سطح قرار داده شده و سپس در زمانی کمتر از ۳۰ ثانیه با یک دوربین وضوح بالا از آن عکس گرفته شد. نهایتاً با استفاده از نرم‌افزار آنالیز تصویر زاویهٔ تماس قطره با سطح اندازه گرفته می‌شود.

طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروقرمز: برای شناسایی اثر پردازش پلاسمایی و گروه‌های عاملی تشکیل شده بر روی سطح پارچهٔ پنبه‌ای از تحلیل طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروقرمز استفاده شده است. طیف‌سنجی ATR-FTIR سطح پارچهٔ پنبه‌ای خام و پارچهٔ پوشش داده شده انجام شد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی: برای شناسایی و تحلیل تغییرات به وجود آمده روی سطح، از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد.

آزمون شستشو: این آزمون برای ارزیابی میزان دوام و ماندگاری فیلم ایجاد شده بر روی سطح انجام می‌شود. در این آزمون ابتدا نمونه‌ها در یک بشر با محتوای ۲۰۰ میلی‌لیتر آب با درجه حرارت ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد که به مدت ۱۰ دقیقه روی دستگاه همزن مغناطیسی با سرعت متوسط ۶۰۰ دور بر دقیقه می‌چرخد، قرار می‌گیرد. بعد از هر چرخه شستشو زاویهٔ تماس برای ارزیابی میزان آبگریزی اندازه‌گیری می‌شود.

آزمون ظرفیت جذب: برای اندازه‌گیری میزان توانایی نمونه در جذب روغن از این آزمون استفاده شد. پارچهٔ لایه‌نشانی شده به مدت ۳۰ ثانیه در ظرف حاوی آب و روغن یا حلال آلی مورد نظر فروبرده شده و سپس وزن آن با ترازو تا ۴ رقم اعشار اندازه‌گیری می‌شود. ظرفیت جذب از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{ظرفیت جذب} = \frac{\text{وزن پارچه بعد از غوطه وری}}{\text{وزن پارچه اولیه}} \times ۱۰۰$$

ظرفیت جذب برای هگزادکان، دی‌کلرومتان، اتانول، استون، تولوئن، پارافین، روغن پمپ، گازوئیل، روغن ترانس و کلروفرم محاسبه شد.

آزمون بازده جداسازی: این آزمون برای اندازه‌گیری بازده جداسازی نمونه و بررسی عملکرد آن در چرخه‌های جداسازی بیشتر و در دماهای مختلف استفاده شد. ۴ میلی‌لیتر آب و ۴ میلی‌لیتر روغن یا حلال‌های آلی در دمای اتاق

شکل ۱. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) تصویر مدار جداسازی آب و روغن.

(۲۵ درجه سانتی‌گراد) با هم مخلوط شده و بعد از همگن‌سازی از پارچه عبور داده می‌شود (شکل ۱). بازده جداسازی برای هر روغن یا حلال آلی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{بازده جداسازی} = \frac{\text{حجم آب جداسازی}}{\text{حجم اولیه آب}} \times ۱۰۰$$

برای اندازه‌گیری بازده جداسازی در دمای بالا، مخلوط آب و روغن را در لوله‌های آزمایشگاهی ریخته و آنها در بشر محتوی آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود تا دمای مخلوط آب و روغن درون لوله به حدود ۹۰ درجه سانتی‌گراد برسد. فرایند جداسازی تا ۱۵ چرخه برای روغن پمپ، گازوئیل، هگزادکان و پارافین انجام شده و بازده جداسازی مربوط به اولین، پنجمین، دهمین و پانزدهمین چرخه طبق رابطهٔ بالا گزارش می‌شود.

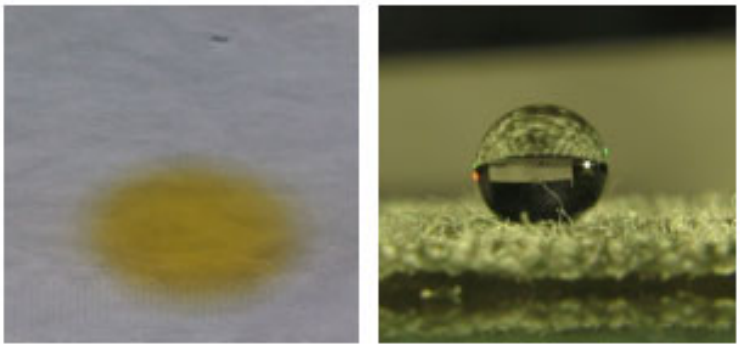
۳. نتایج و بحث

طبق نتایج آزمون زاویهٔ تماس، زاویهٔ تماس آب پارچه پنبه‌ای خام صفر است (شکل ۱) و این نشاندهنده آبدوستی پارچه خام است. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است با ایجاد پوشش روی پارچه، زاویهٔ تماس آب و پارچه به ۳±۱۴۳ می‌رسد که نمایانگر آبگریزی خوب پارچهٔ پوشش داده شده است.

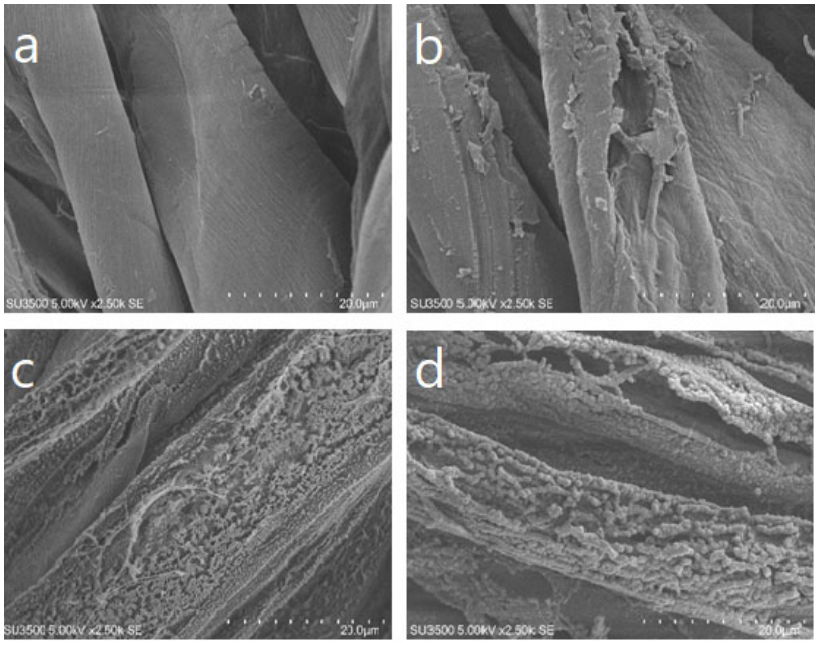
تصاویر SEM تغییرات ریخت‌شناسی سطح را به خوبی نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۳ مشخص است نمونهٔ خام سطح صاف دارد و هیچ گونه زبری یا مادهٔ اضافی روی آن قرار ندارد شکل ۳. a. بعد از انجام پیش پردازش ۳۰ دقیقه‌ای اکسیژن، ساختار سطح تغییر کرده و خشن‌تر شده است شکل ۳ c. در واقع با پردازش پلاسما سطح بمباران یونی می‌شود و با ایجاد برآمدگی و فرورفتگی، زبری سطح افزایش می‌یابد [۱]. پستی و بلندی‌های ایجاد شده روی سطح با توجه به مقیاس تصویر در حد میکرو هستند شکل ۳ c.

در شکل ۳. b می‌بینیم که بعد از پلیمریزاسیون ۲۰ دقیقه‌ای یه سری ذرات ریز روی سطح نمونه قرار گرفتند که اندازهٔ ذرات ایجاد شده با توجه به مقیاس تصویر، میکرومتر است. هر چه ذرات ایجاد شده ریزتر باشند، لایه ایجاد شده همگن تر است و آبگریزی در سطح پارچه یکنواخت است. طبق مدل آبگریزی کیسی- باکستر، قرار گرفتن این میکرو ساختارها روی سطح پارچه باعث می‌شود در این حالت هوا در بین برآمدگی‌های سطحی و زیر قطره آب به دام بیفتد و قطره‌های آب بین برآمدگی‌ها معلق بماند. در این حالت قطرهٔ آب زاویهٔ تماس بالایی دارد و آبگریزی سطح افزایش می‌یابد [۱۷]. در نمونهٔ پلیمریزاسیون به همراه پیش‌پردازش شکل ۳. d یک سری میکروذرات (پوشش ایجاد شده با مقیاس میکرو) روی سطح نشسته است که نسبت به ساختار ایجاد شده بدون پیش پردازش، ریزتر و منسجم‌تر هستند و این نشان دهندهٔ اثر پیش پردازش اکسیژن است که در ابتدا ساختار سطح را تغییر می‌دهد و با ایجاد یک سری برآمدگی و فرورفتگی بستری فراهم می‌کند که مادهٔ سیلیکونی به صورت ساختار ریز روی سطح قرار بگیرد و در نتیجه آبگریزی افزایش یابد. در واقع پیش پردازش پلاسما با ایجاد برآمدگی و فرو رفتگی باعث می‌شود لایهٔ حاوی PDMS به صورت تکه‌های میکرو متری درون این فرورفتگی‌ها قرار بگیرد. درصورتی که این برآمدگی‌ها و فرو رفتگی‌ها وجود نداشت پوشش ایجاد شده به صورت صاف یکنواخت روی پارچه قرار می‌گرفت که دیگر با مدل آبگریزی کیسی باکستر همخوانی نداشت. بنابراین روش پلاسمایی توانسته با تغییر ریخت‌شناسی سطح آبگریزی بالایی روی سطح پارچه به وجود آورد.

بعد از مشاهدهٔ ریخت‌شناسی مناسب آبگریزی، برای بررسی ترکیبات و پیوندهای روی سطح می‌توان با طیف‌سنجی تبدیل فوریهٔ



شکل ۲. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) تصویر قطرهٔ آب رنگی روی پارچهٔ پنبه‌ای خام (سمت چپ)، قطرهٔ آب روی پارچهٔ پوشش داده شده (سمت راست).



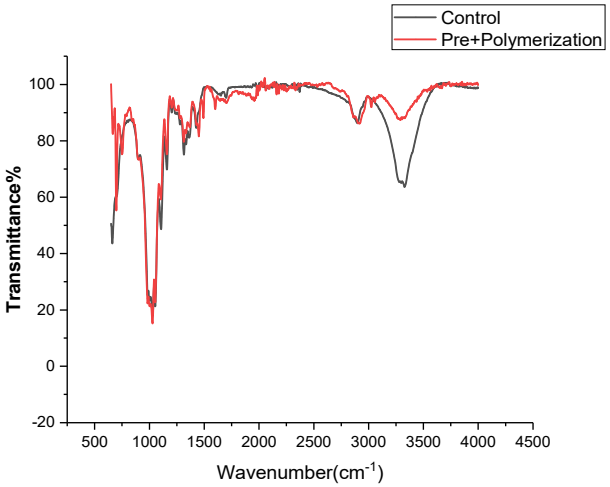
شکل ۳. (a) نمونهٔ خام، (b) نمونهٔ پیش‌پردازش ۳۰ دقیقه‌ای اکسیژن، (c) نمونهٔ پلیمریزاسیون شده و (d) نمونهٔ پیش‌پردازش ۳۰ دقیقه‌ای اکسیژن به همراه پلیمریزاسیون.

فروقرمز گروه‌های عاملی ایجاد شده روی سطح که در ایجاد خاصیت آبگریزی و روغن‌دوستی تأثیر دارند را شناسایی کرد.

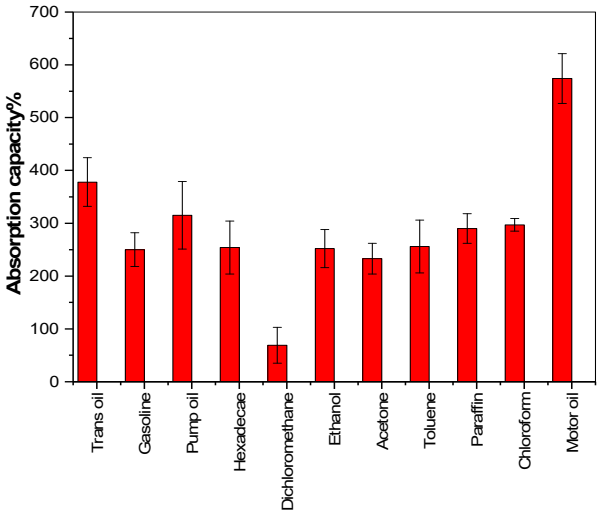
در طیف‌سنجی ATR-FTIR از سطح پارچهٔ پنبه‌ای (نمونهٔ خام)، طیف پارچهٔ پنبه‌ای مورد استفاده در این تحقیق تقریباً با طیف نمونی پارچهٔ پنبه‌ای استاندارد مشابه است و این نشان دهندهٔ این است که زیرلایه درست انتخاب شده است. تغییرات شدت طیفی در محدودهٔ طول موجی cm^{-1} ۶۰۰ تا ۳۵۰۰ ثبت شده است.

همان طور که در شکل ۴ دیده می‌شود نمونهٔ پوشش داده شده یک قلهٔ کوچک در cm^{-1} ۱۰۵۵ مربوط به باند Si-OR و یک قله در cm^{-1} ۲۱۰۰ مربوط به باند Si-H دارد. در عکس طول موج cm^{-1} ۲۲۰۰ دو قلهٔ کوچک مربوط به پیوند Si-H و یک قله درعکس طول موج cm^{-1} ۳۰۵۰ مربوط به پیوند C-H= مشاهده می‌شود. از طرفی، درعکس طول موج cm^{-1} ۳۳۰۰ مربوط به پیوند C-H که از پیوندهای مؤثر در آبگریزی است، افزایش شدت داریم. ایجاد قله‌های Si نشان دهندهٔ حضور ترکیب سیلیکونی در روی زیرلایه است.

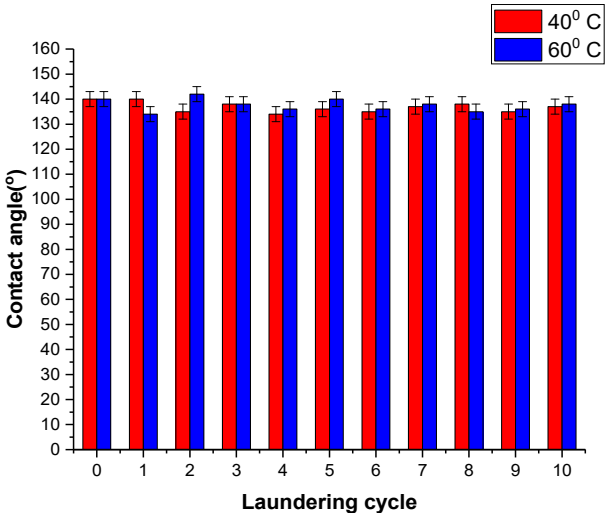
برای بررسی روغن‌دوستی و توانایی جذب روغن‌های مختلف از آزمون ظرفیت جذب استفاده شد.



شکل ۴. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) طیف میزان عبور بر حسب عکس طول موج برای نمونهٔ خام و نمونهٔ پوشش داده شده.



شکل ۵. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) نمودار ظرفیت جذب پارچهٔ پنبه‌ای پوشش داده شده برای روغن‌ها و حلال‌های مختلف.

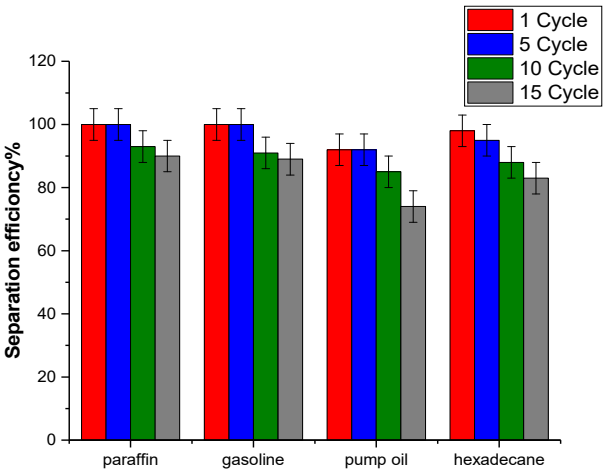


شکل ۶. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) نمودار زاویهٔ تماس بر حسب تعداد چرخهٔ شستشو با آب ۴۰°C و آب ۶۰°C.

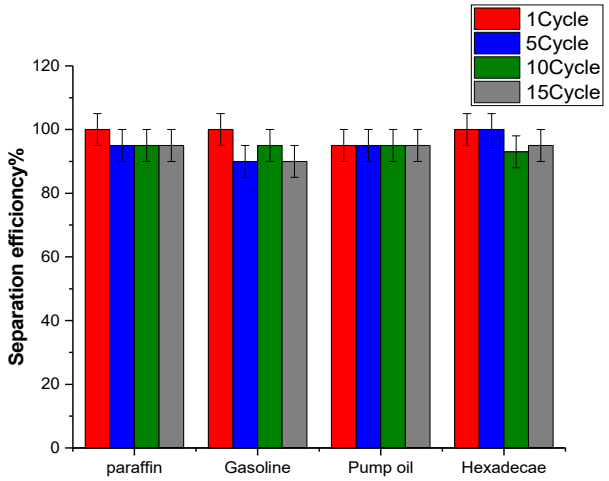
همان طور که در شکل ۵ مشخص است ظرفیت جذب نمونه برای روغن‌ها و حلال‌های مختلف چندین برابر وزن خود پارچه است و برای موادی مانند پارافین، روغن موتور و روغن ترانس بیشتر است. نتایج ظرفیت جذب نمایانگر این است که پارچهٔ پوشش داده با روش پلیمریزاسیون پلاسمایی دارای خاصیت روغن‌دوستی خوبی است.

آبگریزی به تنهایی برای کاربردهای عملی کافی نیست و باید ثبات خاصیت آبگریزی روی پارچه هم مورد ارزیابی قرار بگیرد. با انجام آزمون شستشو، پایداری پارچه در دماهای مختلف مورد سنجش قرار می‌گیرد.

در شکل ۶ مشاهده می‌کنیم که بعد از ۱۰ بار آزمون شستشو با آب ۴۰ و ۶۰ درجه‌سانتی‌گراد، نمونه خاصیت آبگریزی خود را به خوبی حفظ کرده است و دارای زاویهٔ تماس بالایی است. به نظر می‌رسد نمونهٔ پوشش داده شده تا ۲۰ بار شستشو یا بیشتر، دارای خاصیت آبگریزی باشد. این نتایج حاکی از این است که فیلم ایجاد شده با افزایش دما و تعداد چرخه‌های شستشو ثبات خود را حفظ کرده است. بعد از هر بار شستشو، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با دمای ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد در اجاق خشک می‌شود. این مدت خشک کردن، فرصت دوباره برای PDMS است که دوباره پیوندهای شکسته شده را سازماندهی کند و به خاطر



شکل ۷. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) نمودار بازده جداسازی اولین، پنجمین، دهمین و پانزدهمین چرخهٔ جداسازی برای روغن و حلال‌های مختلف در دمای اتاق.



شکل ۸. (رنگی در نسخهٔ الکترونیکی) نمودار بازده جداسازی اولین، پنجمین، دهمین و پانزدهمین چرخه جداسازی برای روغن و حلال‌های مختلف در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد.

همین است که نمونه‌ها بعد از خشک شدن دوباره دارای زاویهٔ تماس بالا هستند. پلیمرهای سیلیکونی خاصیتی دارند که می‌توانند بعد از شسکستن پیوندها دوباره خودشان را ساماندهی کنند. بر اساس آزمون شستشو نمونه آماده شده پایداری خوبی دربرابر دما و تعداد چرخه‌های شستشو دارد که مزیت بسیار مهمی برای کاربردهای عملی محسوب می‌شود.

بعد از بررسی جداگانهٔ خاصیت آبگریزی و روغن دوستی، آزمون جداسازی آب و روغن برای کاربردهای عملی یعنی چرخه‌های بیشتر و دماهای بالاتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا بازده جداسازی پارچهٔ پوشش داده شده تا ۱۵ چرخه برای روغن‌ها و حلال‌های مختلف در دمای اتاق اندازه‌گیری می‌شود.

همان طور که از شکل ۷ مشخص است در ابتدا بازده جداسازی در بازهٔ ۹۰ تا ۱۰۰ درصد است که نشان دهندهٔ توانایی خوب پارچهٔ پوشش داده شده در جداسازی است. با زیاد شدن تعداد چرخه‌های جداسازی، بازده کمتر می‌شود ولی با این وجود بازده جداسازی بعد از ۵، ۱۰ و ۱۵ چرخه جداسازی برای موادی مانند روغن هگزادکان، گازوئیل، روغن پمپ و پارافین بالاست. این نمودار نشان می‌دهد که پارچهٔ آبگریز و روغن دوست تا ۱۵ بار و بیشتر توانایی جداسازی مخلوط آب و روغن با بازده تقریباً بالا را دارد و برای آلاینده‌های مختلف قابل استفاده است. سپس بازده جداسازی نمونه تا ۱۵ چرخه با روغن‌ها و حلال‌های مختلف در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

همان طور که از شکل ۸ مشخص است در دماهای بالا بازده جداسازی در بازه ۹۰ تا ۱۰۰ درصد است و حتی بعد از زیاد شدن چرخه‌های جداسازی، پارچهٔ پوشش داده شده بازده بالایی از خود نشان می‌دهد. بازده جداسازی بعد از ۵، ۱۰ و ۱۵ چرخه جداسازی در دمای بالا برای موادی مانند هگزادکان، گازوئیل، روغن پمپ و پارافین بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد است. انتظار می‌رود پارچهٔ آبگریز و روغن دوست تا ۱۵ بار و بیشتر توانایی جداسازی مخلوط آب و روغن در دمای بالا را دارد که مزیت مهمی محسوب می‌شود. بنابراین پارچهٔ پوشش داده شده با روش پلیمریزاسیون پلاسمایی مقاومت مناسبی در برابر دماهای بالا را دارد و قابلیت خوبی برای کاربردهای عملی در حوزهٔ جداسازی آب و روغن دارد.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به آلودگی‌های نفتی موجود در جهان و پیامدهای ناشی از آن مانند خطرات زیست‌محیطی و ضررهای اقتصادی، یافتن راهکار مناسب برای جداسازی آلودگی‌ها از آب ضروری است.

ساخت یک غشای آبگریز و روغن دوست که محدودیتی برای کاربردهای عملی نداشته باشد گزینهٔ مناسبی برای این مسئله محسوب می‌شود. در این تحقیق از یک روش زیست سازگار مانند پیش‌پردازش پلاسمایی اکسیژن به همراه پلیمریزاسیون پلاسمایی پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان برای ایجاد فیلم آبگریز و روغن دوست بر روی پارچهٔ پنبه‌ای استفاده شد. فیلم ایجاد شده میکروساختارهایی روی سطح دارد که طبق نظریهٔ کیسی-باکستر بسته‌های هوا بین این ساختارها گیر می‌افتد و قطرات آب معلق می‌مانند و زاویهٔ تماس بالایی پیدا می‌کنند. طبق نتایج طیف‌سنجی ATR-FTIR گروه‌های عاملی ایجاد شده روی سطح نشان دهندهٔ وجود پیوندهای مربوط به کربن و سیلیکون است که باعث خاصیت آبگریزی است. خاصیت آبگریزی و روغن دوستی پارچهٔ پوشش داده شده ثبات خوبی در برابر شستشو در دماهای مختلف دارد. همچنین این پارچه در آزمون جداسازی در دماهای مختلف و تعداد چرخه‌های زیاد بازدهی خوبی از خود نشان داده است. درنتیجه پارچهٔ پوشش داده شده می‌تواند فیلتر مناسبی برای جداسازی آلودگی از آب و گزینهٔ امیدوار کننده‌ای برای کاربردهای عملی باشد.

مراجع

1. D Caschera, B Cortese, A Mezzi, M Brucale, G Maria Ingo, G Gigli, and G Padelettiet. "*Ultra Hydrophobic/ Superhydrophilic Modi fi ed Cotton Textiles through Functionalized Diamond-Like Carbon Coatings for Self- Cleaning Applications*", Langmuir **29** (2013) 2775.
2. B Cortese, D Caschera, F Federici, G M Ingo, and G Gigli, *J. Mater. Chem.* A **2**, 19 (2014) 6781.
3. F Liu, M Ma, D Zang, Z Gao, and C Wang, *Carbohydr. Polym.* **103**, 1 (2014) 480.
4. J H Shin, J Heo, S Jeon, J H Park, S Kim, and H Kang, *J. Hazard. Mater*. 365 (2019) 494.
5. S A Stout and J R Payne, Marine Pollution Bulletin. **111**, 1–2 (2016) 365.
6. J Wang, F Han, B Liang, and G Geng, "*Journal of Industrial and Engineering Chemistry* **54** (2017) 174.
7. J Zhang and S Seeger, *Adv. Funct. Mater.* **21**, 24 (2011) 4699.
8. C Yeom and Y Kim, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry Purification of oily seawater* **40** (2016) 47.
9. N J Shirtcliffe, G Mchale, M I Newton, and C C Perry, *Advanced Material*. **104**, 13 (2003) 7777.
10. A Chaudhary and H C Barshilia, *J. Phys. Chem.* C **115**, 37 (2011) 18213.
11. S S Latthe, A B Gurav, C S Maruti, and R S Vhatkar, **2012**, 4 (2012) 76.
12. L Feng *et al.*, *Angew. Chemie - Int. Ed.* **43**, 15 (2004) 2012.
13. Y Jin, P Jiang, Q Ke, F Cheng, Y Zhu, and Y Zhang, *J. Hazard. Mater.* **300** (2015) 175.
14. ف ناصح‌نیا، ب گنجی‌پور، ا یوسف‌نژاد، س ش مهاجرزاده، س ا م میری، ع ا ارضی، *مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران*. **۴**، ۲ (۱۳۸۳) ۱۰۳.
15. Q Zhu, Y Chu, Z Wang, N Chen, L Lin, F Liu, and Q Pan. *J. Mater. Chem.* A **1** (2013) 5386
16. M Patowary, R Ananthakrishnan, and K Pathak, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. **2**, **4** (2014) 2078.
17. A Zille, F R Oliveira, and A P Souto, *Plasma Process. Polym.* **12**, 2 (2015) 98.
18. A Sabbah, A Youssef, and P Damman, *Appl. Sci.* **6**, 5 (2016) 152.