

Removal of light petroleum hydrocarbons from water sources using polypropylene and titanium dioxide nano-composite

H. Karyab*

M. Mirhosseini**

S. Moradi*

F. Karimi*

*School of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

**School of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Abstract

Background: Petroleum hydrocarbons are the most important pollutants which threaten human health and aquatics. Adsorbents are one of the common equipment in water pollution management; however, their applications have been associated with limitations.

Objective: To evaluate the potential of polypropylene/titanium dioxide Nano-composite in adsorption of light petroleum hydrocarbons from water sources.

Methods: This experimental study was conducted at school of health, Qazvin University of Medical Sciences in 2014-15. Activation of polypropylene fibers, with 1 cm length and 300 microns diameters, was achieved with wet heating. To synthesize of Nano-composite the fibers were coated with Nano-titanium dioxide with 20 nm diameter. The sonication was performed at 26 kHz and 100 W of power in 40°C. The morphology of the fractured surfaces of impact specimens was examined by FESEM. The adsorption rate of petrol and gasoline, as surrogate of TPH, was evaluated in different retention time within polyamide mesh aperture diameter of 250 nm. Average of TPH adsorbing, per unit weight of adsorbent, were analyzed with analysis of variance and Scheffe post hoc tests.

Findings: The FESEM micrographs showed that the dispersion of the nano-TiO₂ particles was relatively good and only few aggregations exist. The maximum adsorption capacity of petrol and gasoline was obtained in 30 minute. The adsorption rate of gasoline was 6.49±0.10 g/g and oil was 7.01±0.13 g/g.

Conclusion: According to the results and in comparison with commercial imported adsorbents, the synthesized Nano-composite had favorable performance. The results show that the polypropylene/TiO₂ Nano-composite can be used effectively in light petroleum hydrocarbons removal from polluted water sources.

Keywords: Water Pollution, Environment Sanitation, Nano-composite, Adsorption

Citation: Karyab H, Mirhosseini M, Moradi S, Karimi F. Removal of light petroleum hydrocarbons from water sources using polypropylene and titanium dioxide nano-composite. J Qazvin Univ Med Sci. 2016; 20 (3): 26-32.

Corresponding Address: Hamid Karyab, Department of Environmental Health Engineering, Health Faculty, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

Email: hkaryab@gmail.com

Tel: +98-28-33678473

Received: 25 Jul 2015

Accepted: 3 Apr 2016

حذف ترکیب‌های نفتی سبک از منابع آبی با نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم

دکتر حمید کاریاب*

مریم میرحسینی**

سکینه مرادی*

فائزه کریمی*

* دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
** دانشکده علوم دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

آدرس نویسنده مسؤل: قزوین، بلوار شهید باهنر، پردیس علوم پزشکی قزوین، دانشکده بهداشت، تلفن ۰۲۸-۳۳۶۷۸۴۷۳

Email: hkaryab@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۳

*چکیده

زمینه: ترکیب‌های نفتی از مهم‌ترین آلاینده‌های تهدیدکننده سلامت انسان و آبریان هستند. کاربرد جاذب‌ها، به عنوان یکی از روش‌های جلوگیری از انتشار ترکیب‌های نفتی در آب، همواره با محدودیت‌هایی همراه بوده است.

هدف: مطالعه به منظور تعیین قابلیت نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم در جذب ترکیب‌های نفتی سبک از آب انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی در سال ۹۴-۱۳۹۳ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین انجام شد. الیاف پلی‌پروپیلن با طول یک سانتی‌متر و قطر ۳۳۰ میکرومتر، با روش حرارت مرطوب فعال‌سازی شدند. جهت هم‌گذاری نانوکامپوزیت از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با قطر میانگین ۲۰ نانومتر در مجاورت امواج مافوق صوت با بسامد ۲۶ کیلوهرتز و توان ۱۰۰ وات در دمای ۴۰ درجه سلسیوس استفاده شد. ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) بررسی شد. قابلیت نانوکامپوزیت در جذب گازوئیل و بنزین (به عنوان نماینده ترکیب‌های نفتی سبک) در زمان‌های مختلف در توری‌های پلی‌آمیدی با قطر روزنه ۲۵۰ نانومتر بررسی شد.

یافته‌ها: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی نشان‌دهنده توزیع یکنواخت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم روی الیاف بود. بیش‌ترین قابلیت جذب گازوئیل و بنزین توسط نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم در زمان تماس ۳۰ دقیقه بود. میانگین میزان جذب دو آلاینده گازوئیل و بنزین به ترتیب ۷/۰۱±۰/۱۳ و ۶/۴۹±۰/۱۰ گرم به ازای هر گرم وزن جاذب بود. میزان جذب ترکیب‌های نفتی توسط نانوکامپوزیت ۳/۲۷ برابر بیش‌تر از الیاف فعال‌سازی نشده بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌ها، نانوکامپوزیت هم‌گذاری شده در مقایسه با نمونه‌های تجاری وارداتی عملکرد مطلوبی داشت. به نظر می‌رسد نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان الگویی کاربردی برای ساخت جاذب‌های مصنوعی مقابله‌کننده با انتشار ترکیب‌های نفتی در منابع آب استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: آلودگی آب، بهسازی محیط، نانوکامپوزیت، جذب

*مقدمه

و داشتن مقادیر جزیی فلزهای سنگین، اهمیت آن را به عنوان آلاینده منابع آب بیش‌تر کرده است.^(۳)

تولید حدود ۴۸ میلیون تن محصولات پتروشیمی در سال، وجود ۱۸۶ مرکز و تأسیسات انتقال نفت و انتقال سالانه بالغ بر ۱۲۳ میلیارد لیتر مواد نفتی، منابع آب ایران را به شدت در معرض آلودگی قرار داده است. مطابق گزارش شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران تنها در سال ۱۳۹۰ حدود ۱۳۹ حادثه برای تانکرهای حمل

امروزه جهان با افزایش تقاضا برای آب سالم روبه‌روست و گسترش وقوع خشک‌سالی، رشد جمعیت، تشدید و بهبود مقررات بهداشتی و افزایش مصرف آب، به آن دامن می‌زند.^(۱) یکی از عوامل کاهش دسترسی به منابع آب سالم و بهداشتی، آلودگی آب است. ترکیب‌های نفتی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آب هستند.^(۲) نفت از ترکیب‌های شیمیایی متعددی تشکیل شده و خصوصیت‌هایی مانند یکنواخت نبودن، پایداری در محیط

تولید می‌شود.^(۱۰) قابلیت‌هایی نظیر ساختار شیمیایی ساده، انعطاف زیاد، سبکی، عدم جذب آب و در نتیجه عدم تغییر در خواص مکانیکی بر اثر تماس با آب، این پلیمر را به عنوان یک جاذب مناسب برای حذف نفت از آب معرفی کرده است.^(۱۰) بسیاری از پیشرفت‌های اخیر در بهسازی آب، مربوط به استفاده از نانوذرات است که اغلب جهت جداسازی یا حذف آلاینده‌های معدنی و آلی از آب آلوده استفاده می‌شوند.^(۱۱) آن‌ها سطح بسیار وسیعی دارند و می‌توانند با گروه‌های شیمیایی مختلف ترکیب شوند. دی‌اکسید تیتانیوم یکی از پرکاربردترین نانومواد در بهسازی آب است.^(۱۲و۱۳) قابلیت جذب آلاینده‌های آلی آب توسط الیاف مصنوعی پلی‌پروپیلن در مطالعه‌های مختلف به اثبات رسیده، ولی مشکل اساسی در کاربرد این جاذب، عدم استحکام پیوند آلاینده آلی با پلیمر است.^(۱۴و۸) لذا هدف این مطالعه تعیین قابلیت نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم در جذب ترکیب‌های نفتی سبک از آب است.

* مواد و روش‌ها:

این مطالعه تجربی طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین انجام شد. برای بررسی جذب از الیاف پلی‌پروپیلن استفاده شد که در برابر شرایط مختلف محیطی مقاومت بالایی دارند. طول الیاف ۱ سانتی‌متر و قطر آن ۳۳۰ میکرومتر بود. برای هم‌گذاری نانوکامپوزیت از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با قطر ۲۰ نانومتر (تهیه شده از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان) حاوی ۸۰ درصد حجمی آناتاز، ۲۰ درصد حجمی روتایل، سطح ویژه ۱۰ تا ۴۵ مترمربع در گرم، چگالی ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر و خلوص بیش از ۹۹ درصد استفاده شد. هم‌گذاری نانوکامپوزیت طی سه مرحله فعال‌سازی، پوشش‌دهی و خشک‌سازی انجام شد. فعال‌سازی با هدف افزایش توان جذب و بهبود پوشش نانوذرات بر روی سطح جاذب انجام شد و اجرای آن در مطالعه‌های مختلف با روش‌های متفاوتی نظیر حرارت خشک و پلاسما

سوخت رخ داده که در اثر آن یک میلیون و ۶۸۰ هزار لیتر انواع فرآورده نفتی به محیط تخلیه شده است. رها شدن نفت و فرآورده‌های آن در محیط زیست، با آلوده‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی سلامتی انسان‌ها را با خطر جدی روبه‌رو می‌کند.^(۵و۴) تخلیه نفت به آب باعث ورود هیدروکربن‌های آروماتیک (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزینلن)، آروماتیک‌های چند حلقه‌ای و فنل می‌شود. مواجهه با این ترکیب‌ها اثرهایی مانند آسیب به معده و بافت کبد را به همراه دارد. ضمن آن که برخی مانند بنزن و بنزوآپیرن، مطابق نظر انجمن بین‌المللی مطالعه‌های سرطان، در انسان سرطان ایجاد می‌کنند.^(۶و۷)

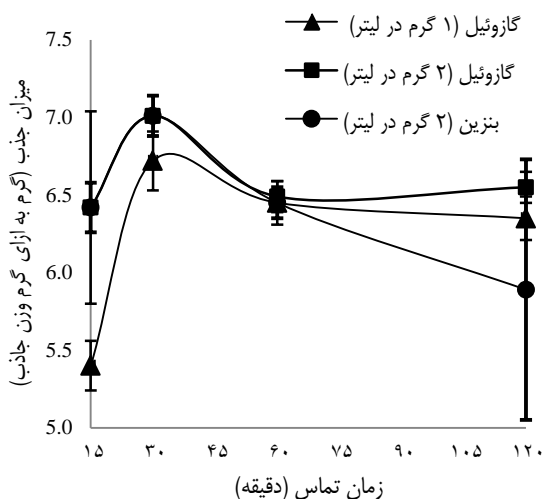
اگرچه پیشگیری و جلوگیری از انتشار آلودگی، همواره بهترین راهکار بوده، اما واکنش سریع و مناسب مستلزم دانش کافی در مورد روش‌های جمع‌آوری آلودگی است. زمانی که نفت در آب نشت می‌کند، بر روی سطح آب یک لایه آلودگی تشکیل می‌دهد که تحت اثر فرآیندهای تبخیر، انحلال، تعلیق، پراکندگی، اکسیداسیون نوری، ته‌نشینی، تجزیه زیستی و تشکیل گلوله‌های قیری است. این واکنش‌ها به زمان طولانی نیاز دارند، به خصوص هنگامی که میزان تخلیه آلودگی به آب بالاتر از ظرفیت خودپالایی باشد. جذب سطحی یکی از مؤثرترین روش‌های حذف مواد آلی آب است. در فرآیند جذب مواد نفتی، جاذب‌های طبیعی و مصنوعی متعددی استفاده شده‌اند؛ مانند بنتونیت، کربن فعال، ژئولیت، پلیمرهای پلی‌یورتان، الیاف پلی‌پروپیلن و پلیمرهای پلی‌استایرن.^(۸) یکی از جدیدترین فن‌آوری‌ها در جذب سطحی، کاربرد نانوکامپوزیت است. نانوکامپوزیت به ماده‌ای اطلاق می‌شود که از ترکیب مواد مختلف با ویژگی‌های متفاوت تشکیل شده و حداقل قطر یکی از مواد کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر باشد.^(۹)

امروزه نانوکامپوزیت‌های مختلفی با اهداف متفاوت استفاده می‌شوند که نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم یکی از آن‌هاست. پلی‌پروپیلن از پلیمریزاسیون پروپیلن در دما و فشار نسبتاً ملایم و در حضور کاتالیست

بسته‌های ۱ و ۲ گرمی در پوشش‌هایی از جنس پلی‌آمید (شرکت موندور آلمان) با قطر ۲۵۰ میکرومتر جهت بررسی توان جذب به کار برده شد. تماس نانوکامپوزیت با گازوئیل و بنزین در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه و سرعت اختلاط ۶۰ دور در دقیقه انجام شد. برای بررسی صحت آزمایش‌ها، هر آزمایش با سه بار تکرار انجام شد. میانگین جذب ترکیب‌های نفتی، به ازای واحد وزن جاذب، در هر مرحله با تحلیل واریانس و آزمون شفه در مجموعه آزمون‌های تعقیبی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۱۷ تحلیل شد.

* یافته‌ها:

میزان بازیابی گازوئیل در محدوده ۵/۸۹ تا ۷/۰۱ گرم به ازای گرم وزن جاذب بود (نمودار شماره ۱). با استفاده از الیاف فعال‌سازی نشده، میانگین جذب ترکیب‌های نفتی $2/14 \pm 0/09$ گرم به ازای گرم وزن جاذب یا به عبارتی ۲ تا ۳ برابر وزن الیاف بود. ضمن آن که الیاف پلی‌پروپیلن فعال‌سازی شده توان جذب ۴ تا ۵ برابر وزن آلاینده را داشتند و میانگین بازیابی ترکیب‌های نفتی سبک در این حالت $4/77 \pm 0/79$ گرم به ازای گرم وزن جاذب بود.



نمودار ۱- ظرفیت جذب گازوئیل و بنزین توسط نانوکامپوزیت

گزارش شده است.^(۱۶و۱۵) در این مطالعه برای نخستین بار از روش حرارت مرطوب برای فعال‌سازی استفاده شد. بدین صورت که الیاف پلی‌پروپیلن در زمان ۹۰ دقیقه و دمای بهینه ۶۴ درجه سانتی‌گراد تحت تأثیر حرارت مرطوب قرار گرفتند. دما و زمان بهینه شرایطی بود که الیاف پلی‌پروپیلن ضمن حفظ ساختار طبیعی، حداکثر بازدهی جذب را داشتند. این مرحله در محفظه‌ای از جنس استیل انجام و برای تولید حرارت مرطوب از المنت‌های متصل به جریان متناوب برق شهری استفاده شد.

پوشش‌دهی الیاف با استفاده از غوطه‌ورسازی در مجاورت امواج مافوق صوت با توان ۱۰۰ وات و بسامد ۲۶ کیلوهرتز، در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. قابلیت این روش توسط سزاویا و همکاران (۲۰۰۹) اثبات شده است.^(۱۶) برای بهینه‌سازی پوشش‌دهی، از محلول‌های ۰/۵، ۱ و ۲ گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شد. پیش از این زارع‌دوست و رسولی (۲۰۱۱) صرفاً از محلول ۱ گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و سزاویا و همکاران (۲۰۰۹) از سه غلظت ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم در لیتر استفاده کرده‌اند.^(۱۶و۸) پوشش الیاف با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در داخل حمام مافوق صوت و خشک‌سازی با جریان هوای گرم انجام شد. جهت جلوگیری از تغییر شکل الیاف دمای ۴۰ درجه انتخاب شد. در نهایت شست‌وشوی الیاف با استفاده از آب مقطر انجام و پس از خشک‌سازی مجدد در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان مدل Mira-XMU و در مرکز پژوهش متالوژی رازی بررسی شد. این میکروسکوپ با کمک سه آشکارساز تصویری، امکان تصویربرداری تا بزرگ‌نمایی ۷۰۰ هزار برابر را داشت و بررسی‌های ساختاری را در مقیاس نانومتر ارایه داد.

در این مطالعه گازوئیل و بنزین، به عنوان نماینده هیدروکربن‌های نفتی سبک، جهت بررسی عملکرد جذب نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شدند. به این منظور نانوکامپوزیت هم‌گذاری شده در

* بحث و نتیجه‌گیری:

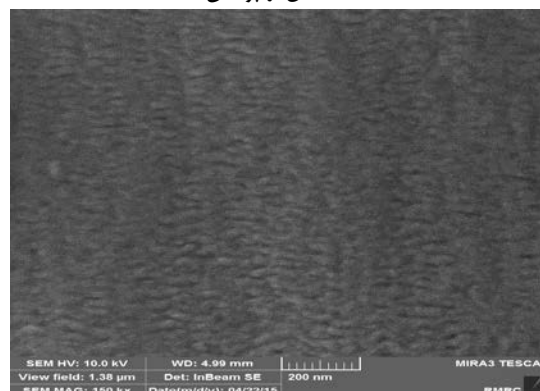
این مطالعه نشان داد نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم ساخته شده در این مطالعه قابلیت جذب ترکیب‌های نفتی سبک از آب را داشتند و توانستند تا بیش از ۷ برابر وزن خود این گونه ترکیب‌ها را جذب و از منابع آب جدا کنند. روش مورد استفاده در این مطالعه جهت فعال‌سازی و پوشش‌دهی الیاف پلی‌پروپیلن با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم از روش‌هایی نظیر حرارت خشک، اشعه‌دهی و پلاسما ساده‌تر بود؛ زیرا اجرای آن‌ها مستلزم صرف هزینه زیاد و به‌کارگیری دستگاه‌های خاص است.^(۱۷، ۱۸) در این مطالعه به دلیل سادگی و هزینه کم از روش حرارت مرطوب جهت فعال‌سازی الیاف استفاده شد که با روش ارایه شده توسط سزاوبا و همکاران (۲۰۰۹) تفاوت داشت.^(۱۶) جهت پوشش‌دهی الیاف پلی‌پروپیلن نیز از روش غوطه‌ورسازی در مجاورت امواج مافوق صوت بهره گرفته شد که با مطالعه سزاوبا و همکاران همخوانی داشت.^(۱۶) تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که پوشش الیاف به صورت یکنواختی بر روی بستر انجام شده بود. و اشارات نشانان و همکاران (۲۰۰۹) اثرات اندازه ذرات دی‌اکسید تیتانیوم را در تولید نانوکامپوزیت پلی‌پروپیلن و دی‌اکسید تیتانیوم بررسی کردند و نشان دادند که ذرات با قطر کم‌تر از ۱۳۰ نانومتر، عملکرد مناسبی در تولید نانوکامپوزیت داشتند.^(۱۹)

پوشش الیاف پلی‌پروپیلن با محلول‌های مختلف نانودی‌اکسید تیتانیوم نشان داد که با افزایش غلظت محلول از ۰/۵ به ۲ گرم در لیتر، میزان بازیابی به نحو معنی‌داری افزایش می‌یابد. علت بالا رفتن قدرت جذب نانوکامپوزیت را می‌توان به احتمال تصادف بیش‌تر الیاف با نانوذرات در محلول‌های غلیظ در هنگام غوطه‌ورسازی در مجاورت امواج مافوق صوت نسبت داد.^(۲۰)

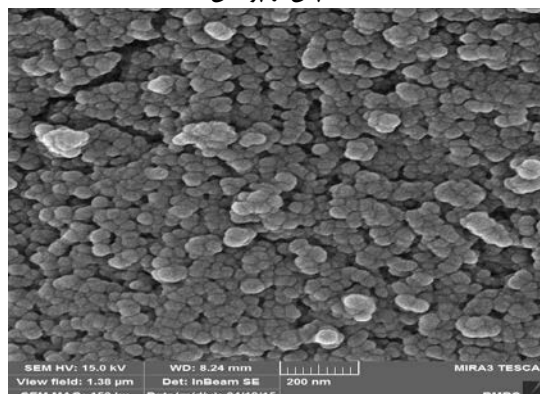
در این مطالعه بالاترین میزان جذب آلاینده‌های نفتی از آب در زمان تماس ۳۰ دقیقه حاصل شد. همچنین با افزایش زمان تماس به ۶۰ دقیقه، میزان جذب کاهش و پس از آن ثابت ماند. همچنین میزان بازیابی گازوئیل

کاربرد بسته‌های جاذب نانوکامپوزیت هم‌گذاری شده ۱ و ۲ گرمی در بازیابی ترکیب‌های نفتی سبک تفاوت معنی‌داری نشان نداد؛ بنابراین به منظور ایجاد فشردگی، میزان جاذب ۲ گرم در بسته‌های پلی‌آمیدی برای اجرای مطالعه انتخاب شد. میزان بازیابی گازوئیل با استفاده از محلول‌های ۲ گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به‌طور معنی‌داری بالاتر از محلول‌های ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر بود ($P < 0.01$)، لذا در ادامه مطالعه صرفاً از محلول ۲ گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم برای غوطه‌ورسازی استفاده شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی از الیاف پلی‌پروپیلن با بزرگ‌نمایی ۱۵۰ هزار برابری نشان داد که با روش به‌کار رفته، سطح الیاف به‌طور یکنواخت توسط نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم پوشش داده شده بود (شکل شماره ۱).

الف: قبل از پوشش



ب: پس از پوشش



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از الیاف پلی‌پروپیلن قبل و پس از پوشش با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

***مراجع:**

1. Srinivasan V, Lambin EF, Gorelick SM, Thompson BH, Rozelle S. The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies. *Water Resour Res* 2012; 48: 1-16. doi: 10.1029/2011WR011087.
2. Peng S. The nutrient, total petroleum hydrocarbon and heavy metal contents in the seawater of Bohai Bay, China: Temporal-spatial variations, sources, pollution statuses, and ecological risks. *Mar Pollut Bull* 2015 Jun 15; 95 (1): 445-51. doi: 10.1016/j.
3. Sarvestani N. Bioremediation technology for the removal of oil contamination in soil and water. *Pars oil* 2010 May; 7 (82): 12-16. [In Persian]
4. Ministry of Urban Development, Road Maintenance and Transportation Organization. Statistics books. Available at: <http://www.rmto.ir/Pages/SalnameAmari.aspx> Updated in: 2013.
5. NIORDC. Iranian oil pipeline and Telecommunication Company; 2013. Available at: <http://www.niordc.ir>. Updated in: 2016
6. Owa FD. Water pollution: sources, effects, control and management. *Mediterr J Soc Sci* 2013 Sep; 4 (8): 65-8. doi: 10.5901/mjss.2013.v4n8p65
7. International Agency for Research on Cancer. American Cancer Society Inc. Available on: www.cancer.org/research/ Updated in: 2011.
8. Zaredost M, Rasoli M. Compare the performance of three kinds of synthetic sorbent for the removal of oil pollution of the sea. Fourth National Conference on Safety Engineering and HSE Engineering 2011 Feb; Tehran, Sharif University [In Persian]

توسط نانوکامپوزیت پس از زمان ۶۰ دقیقه ثابت ماند؛ در حالی که میزان جذب بنزین روند نزولی طی کرد. این یافته نشان دهنده آن است که جاذب در جذب گازوئیل از آب عملکرد مطلوب تری داشته است.

پوشش الیاف پلی پروپیلن با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، نشان از افزایش وزنی ۱۹/۰۵ درصدی نانوکامپوزیت داشت. در این شرایط الیاف هم گذاری شده قادر شدند تا ۷ برابر وزن خود آلاینده را در مدت زمان تماس ۳۰ دقیقه جذب کند. میانگین ظرفیت جذب گازوئیل و بنزین، به عنوان اجزای سبک نفتی، توسط نانوکامپوزیت در زمان تماس ۳۰ دقیقه 7110 ± 130 میلی گرم به ازای هر گرم از وزن جاذب بود. نتایج فوق با مطالعه زارع دوست و رسولی مطابقت داشت^(۸)، ولی در مطالعه آن ها میزان جذب نفت خام بررسی شده بود که الیاف پلی پروپیلن ظرفیت بالاتری برای جذب آن داشتند. مطالعه ها نشان داده اند که جذب ترکیب های نفتی سبک تر و با لزجی کمتر، آسان تر و سریع تر در منافذ رخ می دهد. در حالی که ترکیب های سنگین با لایه های ضخیم تر به سطح الصاق کننده ها مؤثرتر می چسبند.^(۲۱)

نتایج مطالعه حاضر می تواند به عنوان الگویی برای ساخت جاذب های مصنوعی با شکل های مختلف برای جلوگیری از انتشار گازوئیل و بنزین در سواحل، رودخانه ها، مخازن ذخیره آب در سدها و نظایر آن استفاده شود؛ زیرا قابلیت نانوکامپوزیت هم گذاری شده با نمونه های تجاری در سایر نقاط جهان قابل رقابت است.^(۲۲) پیشنهاد می شود عملکرد جاذب هم گذاری شده در میزان بازیابی نفت خام از منابع آبی نیز بررسی شود.

***سپاس گذاری:**

از پشتیبانی و حمایت مالی دانشکده بهداشت و مرکز رشد فناوری زیست پزشکی دانشگاه علوم پزشکی قزوین قدردانی می شود.

9. Mazrouaa AM. Polypropylene Nanocomposites, Polypropylene. Available at: <http://www.intechopen.com/books/polypropylene/polypropylenenanocomposite>. Updated in: 2012.
10. Akinci A. Mechanical and structural properties of polypropylene composites filled with graphite flakes. *Archives of Matererials Science and Engineering* 2009 Feb; 35 (2): 91-4.
11. Baruah S, Pal SK, Dutta J. Nanostructured zinc oxide for water treatment. *Nanoscience & Nanotechnology-Asia* 2012; 2: 90-102.
12. United State Environmental Protection Agency. Nanomaterial case studies: nano-scale titanium dioxide in water treatment and in topical sunscreen. Available at: <https://ofmpub.epa.gov> Updated in: 2010.
13. Batisha AF. Sustainability of water purification based on nanotechnology. *International Journal of Sustainability* 2013 Jun; 2 (1): 12-24. doi: 10.4156/ij.s.vol2.issue1.2.
14. Meitei B, Keigan M, Chislett W, et al. Review of diesel spillage clean up procedure. Available at: [www. righttoride.co.uk/virtuallibrary/ infrastructure/PPR509.pdf](http://www.righttoride.co.uk/virtuallibrary/infrastructure/PPR509.pdf) Updated in: 2010
15. Aliah A, Aji M, Sustini E, et al. TiO2 nanoparticles – coated polypropylene copolymer as photocatalyst on methylene blue photodegradation under solar exposure. *Am J Environ Sci* 2012 May; 8 (3): 280-90.
16. Szabova R, Cernáková L, Wolfova M, Cernak M. Coating of TiO2 nanoparticles on the plasma activated polypropylene fibers. *Acta Chimica Slovaca* 2009; 2 (1): 70-6.
17. Jinhui Z, Si L, Long C, Yi P, Shuangchun Y. The progress of TiO2 photocatalyst coating. *IOSRJEN* 2012 Aug; 2 (8): 50-3.
18. He Z, Hong T, Chen J, Song S. A magnetic TiO2 photocatalyst doped with iodine for organic pollutant degradation. *Sep Purif Technol* 2012 Aug; 96: 50-7. Doi: 10.1016/j.seppur.2012.05.005
19. Wacharawichanant S, Thongyai S, Siripattanasak T, Tiripattanasak T. Effect of mixing conditions and particle sizes of titanium dioxide on mechanical and morphological properties of polypropylene/ titanium dioxide composites. *Iran Polym J* 2009; 18 (8): 607-16.
20. Xia F, Wu M, Wang F, Jia Z, Wang A. Nanocomposite Ni-TiN coatings prepared by ultrasonic electrodeposition. *Current Applied Physics* 2009 Jan; 9 (1): 44-7.
21. Nikkhah AA, Zilouei H, Asadinezhad A, Keshavarz A. Removal of oil from water using polyurethane foam modified with nanoclay. *Chem Eng J* 2014; 262: 278-285. Ddoi:10.1016/j.cej.2014.09.077
22. Walker AH, Michel J, Benggio B, McKetrick B, Scholz D, Boyd J, et al. Selection guide for oil spill applied technologies. Virginia: Scientific and Environmental Associates, Inc. Available at: <http://www.fws.gov/southeast/> Updated in: 2011.