

بررسی نحوه عملکرد نانوکاتالیست‌ها و نانوجاذب‌ها در صنایع دریایی و نظامی و جذب آلودگی هیدروکربن‌های نفتی حاصل از کشتی‌های باری

فاطمه دارابی تبار^{۱*}، سید علی اکبر هدایتی^۲

Darabitar@gmail.com

- ۱- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی آبریزان، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
 ۲- استادیار اکولوژی آبریزان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

هدف از این مطالعه کاربرد نانوکاتالیست‌ها و نانوجاذب‌ها در صنایع دریایی و نظامی و جذب آلودگی هیدروکربن‌های نفتی حاصل از کشتی‌های باری است. نانو فناوری به دلیل قابلیت بالای خود در شناخت و کنترل محدوده وسیعی از منابع آلوده کننده، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در ایجاد و رفع مسائل زیست محیطی دارد. از موثرترین کاتالیست‌های مورد استفاده می‌توان به نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم اشاره کرد که ترکیبی است با شکاف انرژی بالا که در نور با طول موج تقریبی ۳۸۰ نانومتر خاصیت فتوکاتالیستی از خود نشان می‌دهد. نانو ذرات تیتانیوم روی زیر لایه‌های مناسبی پوشش داده شده و در حوضچه‌هایی تحت تابش نور فرابنفش قرار می‌گیرند. انرژی باند ممنوعه این نیم رسانا در حدود ۳ الکترون ولت است. آزمایش‌ها نشان داده است که پساب آلوده به مواد آلی نفتی بعد از ۷ روز کاملاً تجزیه می‌شود. برای بهبود کارایی این نانو ذرات از تلفیق شده از Fe و Er نیز استفاده شده است. بکارگیری روش‌های نوین و بررسی کارایی آن‌ها در شرایط مختلف می‌تواند کمک بسیاری در حل مسائل زیست محیطی به هنگام وقوع حوادث نفتی داشته باشد.

واژگان کلیدی: نانوکاتالیست، نانوجاذب‌ها، هیدروکربن نفتی، زیست محیطی، اکوسیستم آبی

تاریخ دریافت مقاله : ۹۵/۰۱/۱۸
 تاریخ پذیرش مقاله : ۹۵/۰۵/۲۰

۱- مقدمه

نفت خام با بیش از ۳۴۰ فرآورده یکی از اصلی‌ترین منابع انرژی و نیروی محرکه اقتصادی جهانی است و ایران ۹ درصد از کل مخازن نفت جهان را در اختیار دارد. نفت خام، کمپلکس پیچیده‌ای از مخلوط صدها نوع ترکیب مختلف شامل هیدروکربن‌ها، نیتروژن، گوگرد و وانادیوم است. که قسمت هیدروکربنی شامل ترکیبات آروماتیک، آلیفاتیک و آسفالتن است. یکی از معضلات زیست محیطی جدی که می‌تواند خسارت‌های غیر قابل جبرانی به محیط زیست وارد سازد آلودگی نفتی است [۱]. آلودگی‌های نفتی تقریباً یک پیامد اجتناب ناپذیر از افزایش سریع جمعیت و مصرف انرژی است که بر پایه تکنولوژی نفت قرار دارد. روش‌های متعددی برای حذف آلودگی‌های نفتی در محیط زیست ارائه شده که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از جمع‌آوری دستی آلودگی-های نفتی از سطح آب، محصور کردن آلودگی‌های نفتی به-وسیله وسایل فیزیکی، استفاده از جاذب‌ها طبیعی و مصنوعی، آتش زدن، استفاده از حلال‌های دو قطبی پاک-سازی زیستی یا تجزیه زیستی، هرکدام از این روش مزایا و محدودیت‌هایی دارند. در میان فرایندهایی که برای حذف آلاینده‌های نفتی به کار گرفته شده است، استفاده از مواد جاذب جزو به صرفه‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های حذف آلودگی نفتی محسوب می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش آلودگی‌های ناشی از سوزاندن و دفع این مواد زاید نیز گردد [۱]. هیدروکربن‌های نفتی از مهم‌ترین آلاینده‌های آلی محیط زیست‌اند که به دلیل سمی بودن، سرطان‌زایی و ایجاد تغییرات موتاژنتیکی، وجود آن‌ها در طبیعت، نگرانی‌های بسیاری را سبب شده است [۱]. نانو فناوری به دلیل قابلیت بالای خود در شناخت و کنترل محدوده وسیعی از منابع آلوده‌کننده، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در ایجاد و رفع مسائل زیست محیطی دارد. همچنین این فناوری پتانسیل لازم را در توسعه فناوری سبز، جهت کمینه کردن مواد زائد در تولید محصولات و رفع منابع آلوده کننده موجود در آب و هوا دارا می‌باشد. نانو تکنولوژی می‌تواند بسیاری از پالایش‌های ضروری، تصفیه‌ها و پاکیزه‌سازی‌ها را همراه با وظایف کنترلی به خوبی در قیمت‌های بسیار کمتر در مقام مقایسه با ماشین‌های رایج انجام دهد. در واقع نقش نانو پدیده‌هایی

همچون نانو لوله‌ها، نانو حسگرها، نانو کاتالیست‌ها و نانو کامپوزیت‌ها در محیط زیست، با توانایی حذف یا کاهش آلاینده‌ها، در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه کاربرد نانو کاتالیست‌ها و نانوجاذب‌ها در صنایع دریایی و نظامی و جذب آلودگی هیدروکربن‌های نفتی حاصل از کشتی‌های باری است.

۲- کاربرد نانو کامپوزیت‌ها در صنایع دریایی و نظامی

صنایع دریایی می‌تواند با استفاده از پتانسیل مواد نانو ساختار از این مواد در کاربردهای مختلفی استفاده نماید. برخی از مهم‌ترین کاربردهای این مواد عبارتند از: (۱) منابع نوین انرژی و ذخیره آن (۲) سوخت و پیل‌های سوختی نانویی (۳) تحول در علوم کامپیوتر، الکترونیک، فوتونیک و مغناطیس (۴) نانو پوشش‌ها (۵) کاربردهای دفاعی نظامی (۶) مواد نوین [۲]. با ورود به هزاره سوم میلادی، علم کامپوزیت که از سال ۱۹۶۰ میلادی به طور رسمی در صنایع نظامی نیروی دریایی آمریکا صنعتی گردید، دچار تغییرات بنیادی و اساسی شده است. به طوری که حوزه کاربری آن از صنایع هوا فضا به-شدت متوجه صنایع دریایی (بخش‌های سطحی و زیر سطحی) شده است. به گونه‌ای که کشورهای پیشرفته ۷۸ درصد محصولات خود را از این منابع تامین می‌نمایند [۳]. از طرف دیگر با توسعه سایر علوم مانند نانو تکنولوژی نوع جدیدی از مواد نانو کامپوزیتی تولید گردید، که بعضاً دارای خواص منحصر و خارق العاده‌ای هستند. از جمله خواص مهم نانو کامپوزیت‌ها، استفاده از آن‌ها در کاهش مصرف سوخت و انرژی، افزایش استحکام در عین وزن کم، ایمنی و آتش‌سوزی، افزایش عمر سازه‌ها، کاهش خسارات ناشی از خوردگی و خاصیت جذب امواج راداری و غیره می‌باشد [۴]. لذا با استفاده از نانو کامپوزیت‌ها و ساخت موادی با خواص نوین، می‌توان بسیاری از نیازهای صنایع دریایی و نظامی را بر طرف نمود و از طرف دیگر با بهبود خواص کامپوزیت‌های متداول، کارایی این کامپوزیت‌ها را افزایش داد. در ادامه به برخی از مهم‌ترین کاربردهای نانو کامپوزیت‌ها اشاره می‌شود.

نانو کامپوزیت‌های آلی به دلیل داشتن انعطاف مناسب و وزن کم در سلول‌های خورشیدی به کار می‌روند. معمولاً میزان

دانشگاه واترلو فتوکاتالیستی ارائه کرده است که می تواند واکنش های شیمیایی را تسریع کند. این فتوکاتالیست که حاوی نانوذرات است با استفاده از نور خورشید می تواند اسیدهای نفتانیک را از میان پساب های خارج شده از مخازن نفت حذف کند. این کار در مدت زمانی در حدود یک ساعت انجام می شود [۷]. اسیدهای نفتانیک ماده ای است که می تواند سلامت انسان و اکوسیستم پیرامون ما را تهدید کند. وجود این ترکیبات در آب خارج شده از مخازن می تواند تا چند دهه اکوسیستم را آلوده کند. تیم لیشاک از محققان این پروژه می گوید: «در حدود میلیاردها تن آب در برکه های ایالت البرتا وجود دارد [۷]. زدایش اسیدهای نفتانیک یکی از چالش های بزرگ در کانادا است. روش های رایج برای این کار چندان کارآمد نبوده یا اگر کارآمد هستند بسیار گرانقیمت اند. این فناوری جدید می تواند به صورت عملی برای تصفیه ارزان و ساده آب مورد استفاده قرار گیرد.» برخلاف روش هایی نظیر فیلتر کردن یا کلرزنی، این روش بسیار ارزان و مبتنی بر انرژی خورشیدی است. در این روش از نانوذرات برای شکستن آلایندگی استفاده می شود. نور خورشید که به فتوکاتالیست برخورد می کند موجب شکسته شدن ذرات آلودگی و تبدیل شدن آن ها به اتم های منفرد می شود. این روش کاملاً متکی به انرژی خورشید بوده و نانوذرات مورد استفاده در آن نیز دوباره قابل استفاده است [۷].

از موثرترین کاتالیست های مورد استفاده می توان به نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) اشاره کرد که ترکیبی است با شکاف انرژی بالا که در نور با طول موج تقریبی ۳۸۰ نانومتر خاصیت فتوکاتالیستی از خود نشان می دهد. نانو ذرات تیتانیوم روی زیر لایه های مناسبی پوشش داده شده و در حوضچه هایی تحت تابش نور فرابنفش قرار می گیرند. انرژی باند ممنوعه این نیم رسانا در حدود ۳ الکترون ولت است. در اثر تابش نور فرابنفش، الکترون و حفره تولید شده، ماده خاصیت اکسید کنندگی پیدا می کند. در اثر اکسایش، مواد آلی به مواد بی ضرری مانند آب، دی اکسید کربن و برخی اسیدهای معدنی تجزیه می شوند [۸]. آزمایش ها نشان داده است که پساب آلوده به مواد آلی نفتی بعد از ۷ روز کاملاً تجزیه می شود. برای بهبود کارایی این نانو ذرات از

انرژی تولیدی این سلول های خورشیدی کم است، لذا می توان برای تامین انرژی وسایلی که نیاز به انرژی کمی دارند، استفاده شود. لازم به ذکر است با ساختن سطح وسیعی از این سلول های خورشیدی (به عنوان مثال بر روی سطح دریا) می توان انرژی تولیدی این سلول ها را افزایش داد. سیستم های میکروسکوپی نیز با استفاده از نانوتکنولوژی می توانند انرژی هایی در حدود میکرو وات تولید کنند. از طرف دیگر نانوتکنولوژی می تواند با توجه به دوام بالاتر و وزن کمتر با استفاده از موادی با مقاومت حرارتی خوب (غشاهای نانو حفره ای)، باعث بهبود عملکرد ژنراتورها شود [۵].

۳- نانو کاتالیز

کاتالیست ماده ای است که سرعت یک واکنش شیمیایی را افزایش می دهد. بدون آنکه در این فرآیند مصرف شود. این توانایی معمولاً به فعالیت کاتالیست نسبت داده می شود. برای یک واکنش شیمیایی با چندین محصول، کاتالیست ممکن است تولید یکی از محصولات را تقویت کند. بهترین مثال برای شرح فعالیت کاتالیستی نانومواد، کاتالیستی است که دارای نانوذرات طلائی با اندازه های حدود ۵ نانومتر است که روی یک پایه تیتانیا پخش شده اند. این کاتالیست برای اپوکسیداسیون هیدروکربن ها و اکسیداسیون CO در دماهای محیط فعالیت های بالایی دارد [۶]. کاتالیست در فناوری هایی مانند تولید سوخت حمل و نقل از سوخت فسیلی گرفته تا منابع جایگزین، تولید مواد شیمیایی تجاری و کنترل آلودگی نقش مهمی بازی می کنند [۶].

۴- نانوکاتالیست ها

محققان کانادایی دانشگاه واترلو موفق به ساخت نانوکاتالیستی شدند که در حضور نور خورشید قادر به شکستن آلودگی های نفتی موجود در آب است. با این روش می توان ترکیبات نفتی آلاینده محیط زیست را از برکه ها جداسازی کرد. با استفاده از آن می توان آلودگی های موجود در پساب های خارج شده از میان سنگ های حاوی نفت را پاکسازی کرد. برای این کار، تنها از نانوذرات و نور خورشید استفاده شده است؛ بنابراین می توان این روش را یک راه ارزان و اثربخش برای تصفیه آب قلمداد کرد. فرانک گو از

بود. با روش‌های فعلی نمی‌توان به‌صورت کنترل شده روی پلیمرها تخلخل نانومقیاس ایجاد کرد همین موضوع به عنوان چالش و سدی برای تولید جاذب با کارایی بالا بوده است. معمولاً در فرآیندهای تولید پلیمرهای متخلخل صنعتی از جدایی فاز محلول پلیمری استفاده می‌شود [۹]. در این فرآیند با سرد کردن فاز محلول، پلیمر را از حلال جدا می‌کنند. محققان این پروژه موفق شدند تا این فرآیند را به شکلی تغییر دهند که حلال به نانوبلورهای تبدیل شود. با زدایش این نانوبلورها می‌توان ساختاری متخلخل ایجاد کرد، به طوری که نانوحفره‌های موجود در پلیمر به یکدیگر ارتباط داشته باشند. مزیت این روش آن است که ماده جاذب را می‌توان به شکل‌های مختلف نظیر صفحه‌ای، ذره‌ای و رشته‌ای ایجاد کرد. این گروه در شرایط ویژه‌ای توانستند جاذبی با حفره‌هایی به شعاع ۱,۹ نانومتر ایجاد کنند. پلیمرهای نانوحفره‌ای کاربردهای متعددی در صنعت دارد. این مواد دارای مساحت سطحی بالایی در حدود ۳۰۰ مترمربع در هر گرم بوده که به راحتی قادر به جمع‌آوری نفت از آب هستند. نتایج کار محققان نشان داد که یک گرم موجود در قیر و زغال سنگ-مترجم را جذب کند. این جاذب جدید قادر است در دمای بالا ترکیبات نفتی را جذب کند بنابراین مقاومت حرارتی بالایی داشته و می‌توان از آن به‌کررات استفاده کرد [۹].

۱-۶ نانو اسفنج‌ها

زیست‌سازگارترین روش برای تمیز کردن نفت از سطح دریا، جذب آن است. پژوهشگران دانشگاه بوروکس روش جدیدی برای جذب نفت از سطح دریا ارائه کردند به طوری که می‌توان ماده‌ی جاذب را نیز به سادگی از دریا زدود است. آزمایش‌های انجام شده روی این اسفنج نشان می‌دهد که این ماده قادر به جذب روغن معدنی یا روغن موتور تا ۵۰ برابر وزن خود است. این جاذب پس از جذب روغن متورم شده و می‌توان با استفاده از یک چنگک آن را از آب بیرون کشید. قدم بعدی در این پروژه آن است که ابعاد این جاذب را به شکلی تغییر داد که بتوان در مقیاس‌های بزرگ، مشابه آنچه که در فجایع زیست‌محیطی اتفاق می‌افتد، از آن

تلقیح شده از Fe و Er نیز استفاده شده است. بر اثر تلقیح، ترازهای دیگری از انرژی درون باند ممنوعه این نیمه رسانا به‌وجود آمده و عمل اکسایش تحت تابش‌هایی با طول موج بلندتر و به‌طور ویژه در ناحیه نور مرئی انجام می‌شود. اسیدهای فلزی به عنوان فوتوکاتالیست در موارد مختلف به خوبی عمل می‌آیند، اما در مطالعات علمی ثابت شده است که دی‌اکسید تیتانیوم مزایای بیشتری نسبت به سایرین دارد و از آن به‌عنوان یک ماده مناسب جهت حذف آلودگی‌هایی مانند مواد آلی سمی و انواع فلزات سنگین از فاضلاب، تصفیه آب‌های آشامیدنی، تصفیه هوا ... استفاده می‌شود [۸].

۵- کنوانسیون بین‌المللی جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتیها (مارپل) (MARPOL)

کنوانسیون بین‌المللی جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتی‌ها در سال ۱۹۷۳ با برگزاری کنفرانس بین‌المللی آلودگی دریا توسط IMO به تصویب رسید و متعاقباً توسط پروتکل ۱۹۷۸ اصلاح گردید. این مقررات دربرگیرنده منابع گوناگون آلودگی ناشی از کشتی‌ها بوده و هدف اصلی آن، حذف آلودگی عمدی محیط زیست دریا بوسیله نفت و سایر مواد مضر و کاهش تخلیه چنین موادی به‌صورت عمدی و یا غیرعمدی، از طریق اعمال قوانین و مقررات بر کشتی‌ها و بنادر می‌باشد.

۶- نانو جاذب‌ها

پژوهشگران موسسه ملی علوم مواد موفق به ساخت جاذب نفت با کارایی بالا شده‌اند. این ماده که با هزینه بسیار کم تولید شده می‌تواند آلودگی‌های نفتی را از آب پاک کند. معمولاً در فرآیند استخراج نفت، مقادیر زیادی آب نیاز است که این آب در اثر مجاورت با نفت آلوده می‌شود. با این ماده می‌توان آب آلوده شده در سکوها استخراج نفت را با هزینه پایین و صرف انرژی کم پاک‌سازی کرد. این گروه تحقیقاتی با استفاده از مواد پلیمری رایج مورد استفاده در صنعت، جاذب متخلخلی تولید کردند که ابعاد حفره‌های آن تقریباً ۱۰ نانومتر است. انگیزه آن‌ها برای ساخت این جاذب، محافظت از محیط زیست به دلیل رهایش آب آلوده به نفت

۷- نتیجه‌گیری

انواع روش‌های مرسوم در جمع‌آوری لکه‌های نفتی از سطح آب دریا دارای مزایا و معایبی هستند که بنا به شرایط آب و هوایی، تلاطم دریا، اقتصادی بودن و توانایی آن‌ها در پاکسازی آلودگی نفتی خود را نشان می‌دهند. بکارگیری روش‌های نوین و بررسی کارایی آن‌ها در شرایط مختلف می‌تواند کمک بسیاری در حل مسائل زیست محیطی به هنگام وقوع حوادث نفتی داشته باشد. با توجه به آثار زیست محیطی و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی ناگواری که انتشار و پخش آلاینده‌های نفتی در محیط به دنبال دارد مهم‌ترین راهکار پس از اعمال و بکارگیری روش‌های پیشگیرانه، کسب دانش لازم و کافی جهت جمع‌آوری، حذف و پاکسازی سریع آلودگی‌ها پس از وقوع هر گونه حادثه است در این راستا استفاده از تکنولوژی‌های نوین که به تولید جاذب‌هایی با قدرت و ظرفیت جذب بالا منجر شده است به عنوان روش‌های جدید پیشنهاد می‌گردد.

۸- مراجع

- [1]Cupers, C., Pancras, T., Grotenhuis, T., and Rulkens, W. The estimation of PAH bioavailability in contaminated sediments using hydroxypropyl-B-cyclodextrin and triton x-100 extraction techniques. J. Chemosphere. 46: 1235-45. 2002.
- [2]Carafano, J., Gudgel, A. Nanotechnology and National Security: Small Changes Big Impact, published by The Heritage Foundation, Background, No. 2071. 2007.
- [3] ذوالفقاری، کیان. صنایع دریایی فجر (صدف)، کاربری کامپوزیت‌های هوشمند در صنایع دریایی، دهمین همایش صنایع دریایی، ایران، آبادان، خرمشهر، ۱۳۸۷.
- [4] خامئی، علی اکبر. افشان، مهدی. ضرورت بکارگیری فناوری نانو در صنایع دریایی ایران، سیزدهمین همایش صنایع دریایی، کیش، ۱۳۹۰.
- [5]Altmann, J. Military Nanotechnology potential applications and preventive arms control, first published by Routledge, USA and Canada, 2006.
- [6]Li, Y. Somorjai, Nanoscale Advances in Catalysis and Energy Applications, Nano Lett. 10, 2289-2295. 2010.

استفاده کرد [۱۰ و ۱۱]. این گروه برای وارد شدن به این مرحله از تحقیقات، به دنبال یک شریک صنعتی هستند. سلولزهای نانوفیبریلی، مواد اصلی تشکیل‌دهنده‌ی اسفنج‌ها هستند که از ترکیبات دارای سلولز نظیر پالپ چوب‌ها که یک محصول جانبی در صنعت کشاورزی است، به دست می‌آید. با افزودن آب به این پالپ و اعمال فشار روی آن و در نهایت خروج محلول از یک سوزن باریک با فشار بسیار بالا می‌توان این نوع اسفنج را تولید کرد. محصول خروجی از این سوزن یک ژل حاوی نانوفیبرهای سلولزی متصل به هم است. زمانی که مولکول‌های آب موجود در این ساختار با مولکول‌های هوا جایگزین شود، اسفنج سلولزی به دست می‌آید که قادر به جذب آب و نفت است. این ماده‌ی دست‌نخورده، می‌تواند آب را جذب کند اما برای جمع‌آوری نفت سطح دریا چندان مناسب نیست. این گروه تحقیقاتی موفق به اصلاح خواص شیمیایی نانو سلولز موجود در این ترکیب شدند. برای این کار مولکول‌های آلکوکسی سیلان به ژل اضافه شد و سپس ژل وارد مرحله خشک شدن می‌شود. با این کار اسفنج خاصیت آبدوستی خود را از دست می‌دهد و در نتیجه می‌تواند به راحتی مولکول‌های نفت را جذب کند [۱۰ و ۱۱].

۲-۶ نانو فرولوئید

فرو فلویدها یا نانوسیال‌های مغناطیسی یک سیستم کلئیدی مغناطیسی متشکل از نانو ذرات تک قطبی با قطری در حدود ۱۰ نانو متر هستند که درون حامل‌های آلی و غیرآلی همگن شده‌اند، پایه آب و پایه غیرآب [۱۲]. اخیراً سیال‌های مغناطیسی به دلیل خواص غیر معمولی نوری، الکترونیکی و مغناطیسی که به دلیل اعمال تغییر میدان مغناطیسی خارجی در آنها بوجود می‌آید مورد توجه واقع شده‌اند [۱۳]. از ویژگی‌های خاص فرو فلوئیدها این است که رفتار یک مایع معمولی را دارند ولی خواص سوپر پارا مغناطیسی از خود نشان می‌دهند. بدین معنی که ماده مذکور توسط میدان مغناطیسی جذب می‌شود. بنابر این در محدوده میدان مغناطیسی، ویسکوزیته مایع افزایش می‌یابد اما بعد از حذف میدان این خصوصیت را از دست می‌دهد [۱۴].

- [11] Hashim, D. P., Narayanan, N. T., Romo-Herrera, J. M., Cullen, D. A., Hahm, M. G., Lezzi, P., Suttle, J. R., Kelkhoff, D., Muñoz-Sandoval, E., Ganguli, S., Roy, A. K., Smith, D. J., Vajtai, R., Sumpter, B. G., Meunier, V., Terrones, H., Terrones, M., Ajayan, P. M. Covalently bonded three-dimensional carbon nanotube solids via boron induced nanojunctions. *Scientific Reports*. 19:2. 2012.
- [12] Maity, D.D., Agrawal, C. Synthesis of iron oxide nanoparticles under oxidizing environment and their stabilization in aqueous and non-aqueous media, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 302:23–55. 2007.
- [13] Cullit, B. D., Graham, C. D. Introduction to magnetic materials, Addison- Wesley (227). 2008.
- [14] Tao, K., Dou, H., Sun, K. Interfacial coprecipitation to prepare magnetite nanoparticles, Concentration and temperature dependence, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 370: 995–977. 2008.
- [7] Smyth, P. Researchers find new, inexpensive way to clean water from oil sands production, *University of Waterloo*, 519(888):4777. 2015.
- [8] Desrosiers, K., Ingraham, W., Van Matre, A. TiO₂ photocatalysis for organics: 14(1):115-169. 2004.
- [9] Kishi, T. *Materials Outlook for Energy and Environment, New Material Science of the 21st Century toward the Solution of Energy and Environment Issues*, Printed in Japan. 305(0047) P 97. 2008.
- [10] Camilli, L., Pisani, C., Gautron, E., Scarselli, M., Castrucci, P., d'Orazio, F., Passacantando, M., Moscone, D., De Crescenzi, M. A three-dimensional carbon nanotube network for water treatment. *Nanotechnology* 25 (6): 065-701. 2014.