نانو تکنولوژی

طراحی و ساخت راکتور فتــوکاتالیستی مداوم مبتنی بر نخ پیوسته نانولیفی کامپوزیتی

بهاره مسیب‌زاده[1]/محمد امانی تهران[1]/فرناز معماریان[1]

چکیده

استفاده از فتوکاتالیست‌هایی چون TiO_2 در زمره بهترین روش‌های تصفیه پساب قرار دارد. TiO_2 با فعال شدن دربرابر پرتوهای فرابنفش، مواد آلی را به ترکیبات غیرسمی مانند CO_2 و آب تجزیه می‌نماید. بکارگیری نانوذرات TiO_2 در بستری پلیمری موجب افزایش کارآئی فتوکاتالیست و حذف مرحله جدایش نانوذرات از پساب می‌شود. در این پژوهش نایلون به‌دلیل خواص نوری، مکانیکی و حرارتی مطلوب، به‌عنوان بستر جهت تهیه نخ نانولیفی کامپوزیتی حاوی نانوذرات TiO_2 انتخاب شد.

نخ به روش نازل با بارهای ناهمنام تولید و به عنوان کاتالیست در راکتور مداوم با جریان پیستونی بکارگرفته شد. راکتور ساخته شده راکتوری پیوسته است که در طول آن غلظت آلاینده‌ها به‌تدریج کاهش می‌یابد و به سهولت قابلیت گسترش مقیاس دارد.

پس از طراحی و ساخت راکتور، نخ با چیدمانی مناسب در آن قرارگرفت. درنهایت راکتور تحت تابش لامپ فرابنفش W ۸۰ توانست ۴۵ درصد رنگزای ردامین ب با غلظت ppm ۱۰ را با دبی mL/min ۶/۰. تخریب نماید.

۱-مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت و افزایش مصرف آب دستیابی به آب پاک به دغدغه‌ای جهانی تبدیل شده است. رنگزاهای موجود در پساب صنایع نساجی ترکیباتی سمی و سرطانزا هستند که می‌بایست از پساب حذف شوند.

تجزیه کامل ترکیبات موجود در پساب و تبدیل آنها به مواد معدنی طی فرایند فتوکاتالیستی میسر است. در این روش ترکیبات آلی به مواد ساده‌تر تجزیه شده و آلودگی‌های ثانویه ایجاد نمی‌شود.

گرچه در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در زمینه کشف فتوکاتالیست‌های کارآمدتر صورت گرفته است، اما همچنان TiO_2 مهمترین آنهاست. این فتوکاتالیست توسط امواج فرابنفش فعال می‌شود و واکنش‌های فتوکاتالیستی آن به طور کامل رخ می‌دهد.

با ثابت نمودن نانوذرات TiO_2 بر بستر پلیمری مناسب می‌توان به ساختاری با خواص هر دو جزء تشکیل‌دهنده دست یافت.

نخ نانولیفی بستری مناسب برای این نانوذرات است و با استفاده از آن نه تنها مرحله پرهزینه جداسازی نانوذرات از پساب حذف می‌شود بلکه کاتالیست به دفعات قابل استفاده خواهد بود.

نخ‌های پیوسته نانولیفی به روشهایی چون جمع‌آوری بر سطح آب، جمع‌آوری گردابی، به هم پیچیدن الیاف و روش نازل با بارهای ناهمنام تولید می‌شود.

در روش نازل با بارهای ناهمنام نخ همزمان با برداشت تاب داده می‌شود. در این روش کنترل نخ ساده‌تر است و روشی مناسب برای تولید انبوه نخ نانولیفی است.

معماریان و همکاران نخ نانولیفی TiO_2 خالص را با استفاده از پلیمر پلی‌وینیل‌استات و محلول سل ژل TTIP به روش نازل با بارهای ناهمنام تولید کردند. طی فرایند پخت پلیمر از ساختار حذف و نخ TiO_2 خالص حاصل می‌شود. مطابق گزارش آنها پس از این مرحله استحکام نخ به شدت کاهش می‌یابد.

نانوالیاف کامپوزیتی، که با افزودن نانوذرات به پلیمر حاصل می‌شوند، راه حلی مناسب برای حل مشکل استحکام است.

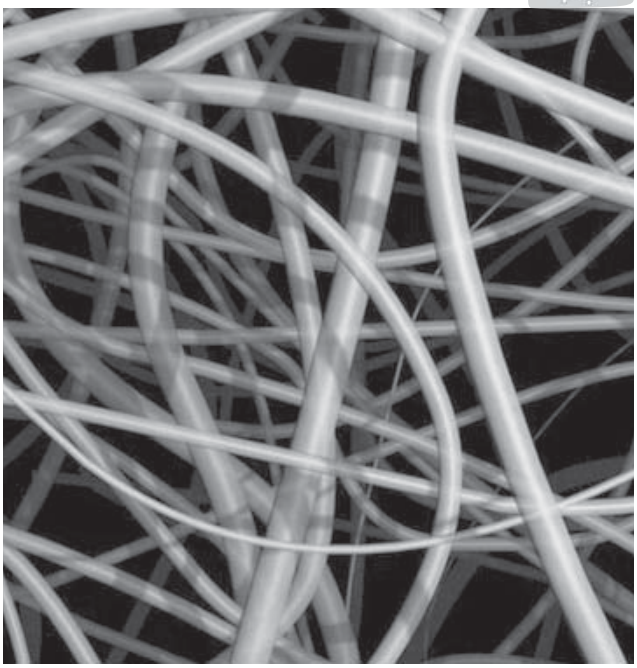
نایلون ۶۶ به واسطه خصوصیاتی چون قیمت مناسب، قابلیت الکتروریسی آسان، استحکام مکانیکی خوب و پایداری شیمیایی و حرارتی مطلوب کاربرد گستردهای در حوزه صنعتی دارد. این پلیمر سازگار با نانوذرات TiO_2 است. بنابراین انتخابی مناسب برای پلیمر بستر در تولید نخ کامپوزیتی حاوی TiO_2 است.

معماریان و همکاران در پژوهشی دیگر نخ کامپوزیتی نایلون TiO_2 را جهت تخریب رنگزای ردامین ب به‌کار گرفتند.

آنها محلول ۱۴ درصد وزنی نایلون را با مقادیر مختلفی از نانوذرات TiO_2 ترکیب کرده و به روش نازل با بارهای ناهمنام الکتروریسی کردند.

براساس نتایج گزارش شده در این پژوهش نخ کامپوزیتی حاوی ۵ درصد نانوذرات با تاب ۵۰۰۰ دوربردقیقه به عنوان نخ بهینه انتخاب شده و در مدت ۴ ساعت قرارگیری دربرابر تابش فرابنفش درصد ۹۵ رنگزا با غلظت ppm ۱۰ را تخریب نمود.

راندمان نخ کامپوزیتی با نخ دیاکسید تیتانیوم خالص پژوهش پیشین مقایسه شد. پس از ۴ ساعت نخ TiO_2 خالص با نسبت کاتالیست به رنگزا برابر ۴۰ و نخ کامپوزیتی با نسبت کاتالیست به رنگزا برابر ۱۰ به ترتیب ۸۲/۵ و ۹۰ درصد رنگزا را تخریب نمودند.



ثقفی و همکاران نانوالیاف حاوی TiO_2بر بسترهای پلیمری متفاوت را تولید کرده و نقش پلیمر بستر در تجزیه رنگ را بررسی نمودند.

آنها نایلون ۶،۶ ، پلی‌اکریل‌ونیتریل، پلی‌متیل‌متااکریلات و پلی‌کاپرولاکتان را به عنوان بستر را به کار گرفتند.

براساس نتایج حاصل از آزمون تجزیه رنگ ردامین ب تحت تابش پرتو فرابنفش نانوالیاف حاوی ۵ درصد TiO_2بر بسترهای نایلون ۶،۶ بهترین کارایی تجزیه رنگ را نشان داد. واکنش تجزیه رنگ از نوع سینتیک درجه اول و وابسته به شرایط تماس سطحی محلول رنگی و لایه نانوالیاف گزارش شده است.

راکتورهای تصفیه پساب در دو نوع گسسته و پیوسته موجود اند. راکتورهای همزن‌دار (CSTR) و پلاگ (PFR) از نوع راکتورهای پیوسته هستند.

در یک راکتور پلاگ آب در یک جهت جریان یافته و پساب‌های تغذیه شده به راکتور در زمان‌های مختلف بدون مخلوط شدن با یکدیگر از راکتور عبور می‌کنند. همه اجزای پساب زمان اقامت یکسانی در راکتور دارند.

در این‌گونه از راکتورها غلظت آلاینده به‌تدریج کاهش می‌یابد، بنابراین سرعت حذف آلاینده در آنها زیاد است. علاوه بر این این راکتورها به سهولت قابلیت گسترش مقیاس دارند.

ژانگ و همکاران در پژوهشی نانوذرات TiO_2 را بر بستر الیاف کوارتز نشاندند. الیاف کوارتز/ TiO_2 حاصل در دوحالت راکتور ناپیوسته و پیوسته جهت تخریب رنگزای متیل اورانژ بکار گرفته شد.

راکتور پیوسته سل مکعبی از جنس کوارتز است که با الیاف کوارتز/ TiO_2 پر می‌شود. پساب از پایین سل تزریق شده و به واسطه خاصیت مویینگی و جذب آب بسیار زیاد الیاف تکمیل شده با پلاسما، به سمت بالا حرکت می‌کند. آب بالایی با سیستم مکش جمع آوری شده و بدین ترتیب پساب به طور مداوم در سل جریان می‌یابد.

در راکتور ناپیوسته ۱۰ میلی‌لیتر محلول متیل اورانژ به مدت ۲۵ دقیقه تحت تابش لامپ با شدت ۱۵ وات به طور کامل تخریب شد.

در راکتور پیوسته محلول متیل اورانژ پس از عبور از ۴ سل با نرخ ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه تحت تابش ۴ لامپ با شدت ۱۵ وات به طور کامل تخریب شد. با افزایش نرخ تغذیه از ۱ به ۳ میلی‌لیتر بر دقیقه نرخ تخریب کاهش می‌یابد.

باتوجه به آنچه گزارش شد، در این پژوهش کارایی فتوکاتالیستی نخ نانولیفی کامپوزیتی نایلونTiO_2در راکتور پیوسته طراحی شده از نوع پلاگ جهت تخریب رنگزای ردامین ب تحت تابش پرتوهای فرابنفش مورد آزمون قرار می‌گیرد.

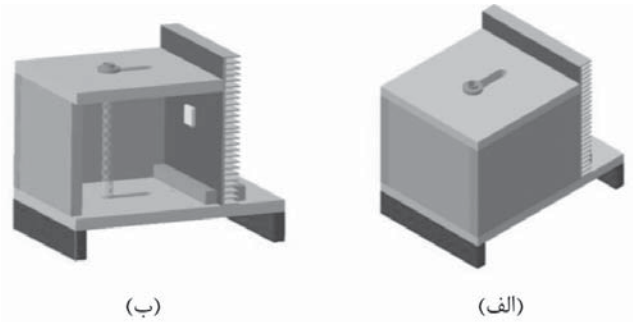
۲ - کارهای عملی

مواد استفاده شده در این پژوهش عبارتند از: نایلون ۶/۶ با جرم مخصوص /3g cm ۱/۱۴ساخت شرکت مرک آلمان، اسیدفرمیک با جرم مخصوص 3mcg/ ۱/۲۲ساخت شرکت مرک آلمان، نانوذرات TiO_2 با جرم مخصوص 3g/cm ۴ ساخت شرکت اونیک آلمان، پودر رنگ ردامین ب ساخت شرکت سیبا سوئیس و مفتول مسی با قطر ۰/۲۲سانتیمتر و تجهیزات مورد استفاده قرارگرفته به این شرح است.

همزن فراصوت مدل UP200S ، ساخت شرکت Hielscher آلمان، پمپ سرنگ مدل ۵۳۰۰ ساخت شرکت TOP ژاپن، منبع ولتاژ منبع تغذیه AC ، مدل TDGC2 شرکت Emersun چین، تاب دهنده مدل sv008ic5-۱ ساخت شرکت LS ، استوانه خنثی با قطر ۶ و طول ۳۰ سانتیمتر دارای روزنه‌ای در ارتفاع ۱۸ سانتیمتر جهت عبور نخ مغزی، سرنگ پلاستیکی ۱ میلی‌لیتر و سوزن با شماره ۲۲ ساخت شرکت BD ، لوله کوارتز با قطر خارجی ۱ و ۱/۵ سانتیمتر، ضخامت ۱ میلیمتر از شرکت ایران کوارتز، لامپ فرابنفش LED با طول موج ۳۶۵ تا ۳۷۰ نانومتر، ۸۰ وات ساخت کشور امریکا، دستگاه اسپکتروفتومتر مدل PD-۳۰۳ ساخت شرکت APEL ژاپن.

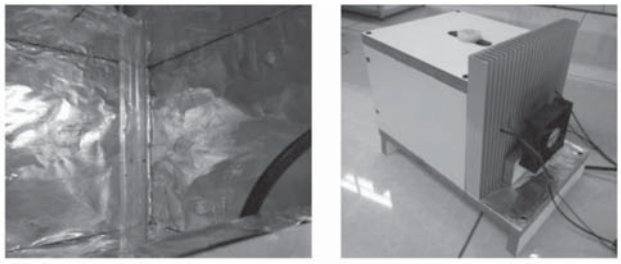
در این پژوهش نخ نانولیفی کامپوزیتی نایلون/ TiO_2حاوی ۱۴درصد وزنی نایلون، ۵ درصد دی‌اکسید تیتانیوم با تاب ۵۰۰۰ تاب در متر به روش نازل با بارهای ناهمنام تولید شده و به عنوان کاتالیست جهت تخریب رنگزای ردامین ب مورد استفاده‌قرارگرفت.

راکتور مورد نظر باتوجه به شکل لامپ و لوله، موقعیت این دو نسبت به یکدیگر و چگونگی عبور جریان سیال مطابق شکل ۱ توسط نرم افزار کتیا طراحی شد. ساخت راکتور، چیدمان نخ و نحوه عبور جریان و سنجش کارایی راکتور در بخش



(ب) (الف)

شکل ۱-(الف) نمای ایزومتریک و (ب) نمای داخلی راکتور طراحی شده



(ب) (الف)

شکل ۲-(الف) نمای بیرونی و (ب) درونی راکتور ساخته شده

جهت بررسی کارایی راکتور در تخریب رنگزای ردامین ب محلول ۱۰ ppm این رنگزا با سرعت ۰/۶ mL/min در برابر تابش لامپ ۸۰ وات از راکتور عبور داده شد. جذب محلول رنگزا پیش و پس از عبور از راکتور توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

۳ - نتایج و بحث

باتوجه به ابعاد بدست آمده راکتور مورد نظر از جنس چوب ساخته شد و جهت پخش یکنواخت نور در تمام جهات کلیه وجوه داخلی راکتور با کاغذ آلومینیوم کاملا پوشانده شده است.

به کمک دو قطعه تفلونی لوله در جایگاه خود ثابت شد. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، راکتور به گونه‌ای طراحی شده است تا تغییر فاصله لوله تا لامپ ممکن باشد.

چیدمان کاتالیست در راکتور به دوصورت انجام گرفت. در حالت اول مطابق شکل ۳ (الف و ب) نخ به صورت مارپیچی و رندم در طول دو سانتیمتر تمام مساحت لوله را دربرگرفت.

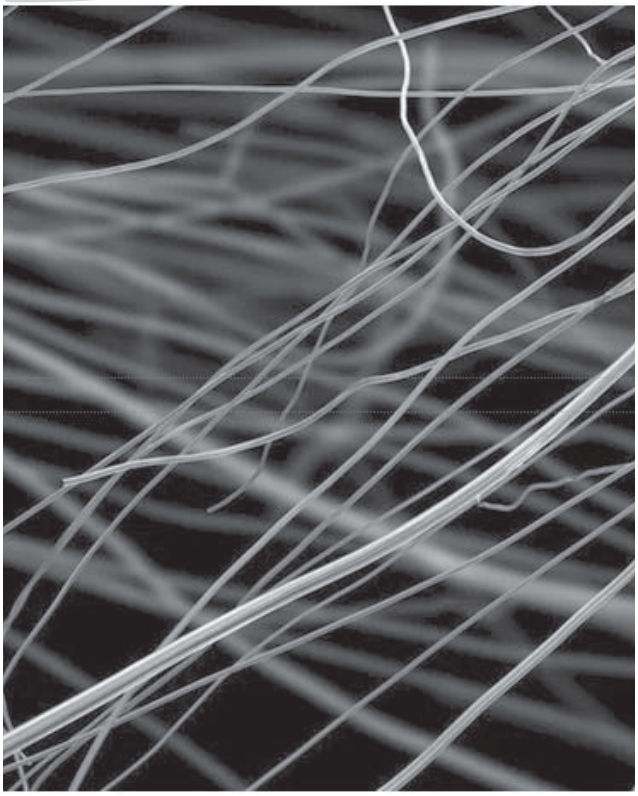
در حالت دوم نخ به صورت یک لایه طول دو سانتیمتر از سطح خارجی لوله با قطر ۱ سانتیمتر پوشاند. لوله مذکور داخل لوله با قطر ۱/۵ سانتیمتر قرار گرفته و آب از فضای میانی دو لوله عبور کرد.

(ج) (ب) (الف)

شکل ۳- آرایش نخ در (الف) و (ب) راکتور مداوم بستر آکنده، (ج) لوله‌های هم‌مرکز

جریان سیال در لوله با استفاده از قانون لوله‌های مرتبط به نحوی طراحی شد که بستر در طول آزمایش همواره آکنده از سیال باشد، یعنی در هر لحظه از آزمایش سیال پساب در مجاورت کاتالیست است.

تغذیه سیال به راکتور از راه سرم انجام گرفته و کنترل نرخ جریان به کمک محفظه قطره و گیره غلتکی ست سرم و با محاسبه حجم هر قطره و تعداد قطره‌های تغذیه شده به راکتور در هر دقیقه انجام گرفت.



براساس نتایج دستگاه اسپکتروفتومتر راکتور حاصل تحت تابش لامپ فرابنفش ۸۰ وات در حالت بستر آکنده ۴۵ درصد و در حالت لوله‌های هم مرکز ۱۵ درصد رنگزای ورودی را تخریب نمود.

با استفاده از این راکتور می‌توان به صورت پیوسته به تصفیه پساب پرداخت و از این طریق سرعت فرایند زدودن آلاینده‌ها از آب را افزایش داد. در اثر عبور جریان سیال بستر دچار تغییر نشده و به دفعات قابل استفاده خواهد بود.

بررسی‌های بیشتری پیرامون این موضوع انجام شده و نتایج آن در گزارش‌های بعدی ارائه می‌گردد.

٤- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش راکتور تصفیه پساب پیوسته از نوع پلاگ طراحی و ساخته شد. نخ نانولیفی کامپوزیتی نایلون TiO_2، ۱۴درصد نایلون ۵ درصد TiO_2، بر مبنای پژوهش‌های پیشین به روش نازل با بارهای ناهمنام تولید و به عنوان فتوکاتالیست با آرایشی مناسب در راکتور مذکور بکار گرفته‌شد.

در نهایت راکتور تحت تابش لامپ ۸۰ وات در حالت بستر آکنده ۴۵ درصد و در حالت لوله‌های هم مرکز ۱۵ درصد رنگزای ردامین ب با غلظت ۱۰ ppm و با سرعت ۰/۶ mL/min را تخریب نمود.

با استفاده از این راکتور می‌توان با حفظ ساختار کاتالیست به صورت پیوسته به تصفیه پساب پرداخت و سرعت فرایند زدودن آلاینده‌ها از آب را افزایش داد.

پی‌نوشت:

۱- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر