کاربرگ مشخصات پایان نامه/ رساله- پیوست شماره ۲

۱- مشخصات کلی پایان‌نامه :

عنوان به فارسی :
مطالعه سیستماتیک اثر مورفولوژی کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا در عملکرد فتوکاتالیستی غشاء نانوساختار جهت حذف رنگ های آنیونی و کاتیونی

عنوان به انگلیسی :
Systematic study of the morphological effect of graphitic carbon nitride/semiconductor on the photocatalytic activity of the nanostructured membrane for anionic and cationic dyes removal

دانشگاه : صنعتی نوشیروانی بابل	**دانشکده : مهندسی شیمی**
مقطع تحصیلی : دکتری	**رشته تحصیلی : مهندسی شیمی**

آخرین وضعیت:

پروپوزال مصوب ندارد☐ دارای پروپوزال مصوب است ■ تاریخ تصویب: ۹۹/۵/۲۳ پایان نامه دفاع شده است☐ تاریخ دفاع:

تاریخ شروع و مدت زمان اجرا : ۹۹/۷/۱- ۲۴ ماه

انتخاب موضوع :

موضوع پایان نامه با کدام بند از اولویت های اعلام شده (پیوست شماره ۱ آیین نامه) توسط ستاد مطابقت دارد؟ بند۲۱

چکیده:

امروزه آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی در اثر تخلیه آلاینده های رنگی توسط صنایع مختلف به محیط زیست، مشکلی جدی و اساسی می باشد. یکی از روش های حذف آلاینده های آلی از آب و پساب فتوکاتالیز می باشد که به دلیل هزینه پایین، دوستدار محیط زیست بودن و راندمان بالا مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است. انتخاب ماده فتوکاتالیست مناسب تاثیر مهمی در فرآیند حذف آلاینده های رنگی از آب و پساب دارد. از ویژگی های ماده فتوکاتالیست مناسب می توان به پاسخ به ناحیه نور مرئی و تاخیر در بازترکیب الکترون-حفره و در نتیجه افزایش فعالیت فتوکاتالیستی اشاره کرد. کربن نیترید گرافیتی نیمه رسانایی با باند گپ متوسط بوده که در حضور نور مرئی برانگیخته می شود. از معایب این ماده می توان به بازترکیب سریع جفت الکترون-حفره اشاره کرد که سبب کاهش فعالیت فتوکاتالیستی آن می گردد. به منظور رفع این مشکل می توان از روش های دوپه کردن کربن نیترید گرافیتی و یا ترکیب آن با دیگر نیمه رساناها استفاده کرد. در این تحقیق نقش مورفولوژی نیمه رسانا و کربن نیترید گرافیتی در فعالیت فتوکاتالیستی فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا بررسی می گردد. یکی از مشکلات روش فتوکاتالیز، جداسازی ماده فتوکاتالیست از محلول می باشد. برای رفع این مشکل می توان از سیستم غشاء فتوکاتالیستی که ترکیبی از سیستم غشائی و فرآیند فتوکاتالیز می باشد استفاده نمود. در این سیستم غشاء موجب جداسازی ماده فتوکاتالیست از محلول می گردد. با توجه به موارد ذکر شده، اهم فعالیت های تحقیق حاضر عبارتند از:

- سنتز فتوکاتالیست نوین کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا و بررسی عملکرد فتوکاتالیست حاصل در حذف رنگ های آنیونی و کاتیونی
- بررسی سیستماتیک اثر مورفولوژی بر ویژگی های فتوکاتالیستی و سطحی فتوکاتالیست ها بر پایه کربن نیترید گرافیتی
- ساخت و ارزیابی عملکرد غشاء فتوکاتالیستی با فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا و بررسی پدیده گرفتگی

۲- مشخصات دانشجو :

مشخصات کلی	
نام: مرجان	**نام خانوادگی: تنظیفی**
شماره ملی: ۲۰۹۲۳۳۶۳۶۳	**تلفن همراه: ۰۹۱۱۳۵۴۴۳۰۴**
تلفن ثابت: ۰۱۱۳۳۲۱۴۴۹۰	**آدرس پست الکترونیکی:** m.tanzifi@ilam.ac.ir Ma_tanzifi@yahoo.com
نشانی دانشگاه: مازندران- بابل- خیابان شریعتی- دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل	
نشانی محل سکونت: ساری- بلوار خزر- ششصد دستگاه- کوچه تیر- تیپ ۲- بلوک ۳- طبقه سوم- فرعی ۳۸۳	

سوابق تحصیلی و علمی			
رشته تحصیلی	**مقطع**	**سال دریافت مدرک**	**نام دانشگاه/ مرکز آموزشی**
مهندسی شیمی	دکتری	در حال تحصیل	دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
مهندسی شیمی	کارشناسی ارشد	۱۳۸۹	دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
مهندسی شیمی	کارشناسی	۱۳۸۵	دانشگاه سمنان

سوابق شغلی			
سمت	**نام مؤسسه**	**نام شهر / کشور**	**مدت اشتغال**
عضو هیئت علمی- مربی	دانشگاه ایلام	ایلام	۱۳۹۱- تاکنون

۳- مشخصات استاد راهنما :

مشخصات کلی	
نام: مجید	نام خانوادگی: پیروی
شماره ملی: ۲۰۶۳۰۸۰۸۱۱	آخرین مدرک تحصیلی: دکتری
رشته تحصیلی: مهندسی شیمی	رتبه دانشگاهی:
تعداد پایان‌نامه‌های راهنمایی شده: دکتری: ۴ کارشناسی ارشد: ۳۱	
تلفن ثابت: ۳۲۳۳۴۲۰۴ - ۰۱۱	تلفن همراه:۰۹۱۱۲۱۴۴۶۸۳
پست الکترونیکی : majidpeyravi@nit.ac.ir majidpeyravi@gmail.com	نمابر :
نشانی دانشگاه: بابل، خیابان دکتر شریعتی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، ساختمان تحصیلات تکمیلی، طبقه دوم، دانشکده مهندسی شیمی، کدپستی: ۷۱۱۶۷-۴۷۱۴۸	
نشانی محل سکونت: بابل، خیابان باغ فردوس- معراج ۹	

۴ – موارد زیر توسط دانشجو و با هماهنگی استاد راهنما تکمیل شود :

۴-۱- کلیات پایان نامه (مقدمه و بیان مسئله):

اهمیت آب پاک و بدون آلودگی برای سلامتی بشر و توسعه اقتصادی بر کسی پوشیده نیست. تامین آب در سطح جهانی با روش های مقرون به صرفه، ایمن و قابل اعتماد، یکی از بزرگترین چالش های قرن بیست و یکم می باشد که نگرانی تامین آن در حال افزایش است زیرا مصرف آب با افزایش جمعیت افزایش می یابد [۱]. کمبود آب تازه تحت تاثیر عواملی همچون تغییرات آب و هوا، خشکسالی های مکرر و آلودگی آب تشدید می شود و تصفیه آب در طول زمان بسیار سخت، پیچیده و هزینه بر می گردد [۴-۲]. پساب های تصفیه نشده صنایع مختلف از جمله آلاینده های اصلی محیط زیست و از عوامل ایجاد انواع بیماری ها می باشند و دفع این پساب ها به محیط زیست سبب آلوده شدن آب های سطحی و زیرزمینی می گردد. از جمله این آلاینده ها می توان به مواد رنگی موجود در پساب صنایع مختلف اشاره کرد. اکثر رنگ های مصنوعی سرطان زا می باشند، بنابراین، حذف آلاینده های رنگی از آب و پساب برای جلوگیری از اثرات مخرب آن بر روی محیط زیست، حیوانات و انسان ضروری می باشد [۵].

فرآیند فتوکاتالیز یکی از روش های اکسیداسیون پیشرفته برای تخریب و حذف آلاینده های رنگی از آب و پساب می باشد. از مزایای این روش دوستدار محیط زیست می توان به راندمان بالا، سادگی، هزینه عملیاتی پایین، قابلیت استفاده در دما و فشار محیط و تبدیل آلاینده های آلی به مواد ساده بی خطر (مانند دی اکسید کربن و آب) اشاره کرد [۶]. یکی از مشکلات فرایند فتوکاتالیز، جداسازی ماده فتوکاتالیست از محلول می باشد. برای رفع این مشکل می توان از سیستم غشاء فتوکاتالیستی که ترکیبی از سیستم غشائی و فرآیند فتوکاتالیز می باشد استفاده نمود. این سیستم می تواند علاوه بر رفع محدودیت ناشی از جداسازی و استفاده مجدد از فتوکاتالیست از سویی، گرفتگی غشاء را توسط فرآیند فتوکاتالیز کاهش داده و در نتیجه عمر غشاء افزایش می یابد [۷,۸]. سیستم های غشائی فتوکاتالیستی دارای سه نوع اصلی می باشند: نخست ترکیب غشاء با ماده فتوکاتالیست به صورت معلق (سیستم غشائی فتوکاتالیستی دوغابی) و دوم تلفیق غشاء با ماده فتوکاتالیست بی تحرک شده درون/یا روی غشاء و غشاء فتوکاتالیستی دینامیکی. در این نوع سیستم ها، غشاء در جداسازی ذرات کاتالیست از محلول و یا به عنوان ماده نگهدارنده فتوکاتالیست دارای نقش اساسی می باشد [۸,۹].

بدیهی است که استفاده از فتوکاتالیست های نیمه رسانا در سیستم های غشائی فتوکاتالیستی می تواند عملکرد مجموعه حاصل را در تصفیه پساب رنگی بهبود بخشد. کربن نیترید گرافیتی یک نیمه رسانای پلیمری بدون فلز می باشد که اولین بار در سال ۲۰۰۹ برای تولید هیدروژن به روش فتوکاتالیز کشف گردید. این ماده دارای دو نوع ساختار با حلقه s-triazine (C_3N_3) و tri-s-triazine (C_6N_7) می باشد. کربن نیترید گرافیتی با واحدهای منظم tri-s-triazine دارای کمترین انرژی و پایدارترین فاز این ماده در شرایط محیط می باشد [۱۰,۱۱]. بر خلاف نیمه رساناهای متداول، کربن نیترید گرافیتی دارای ساختار لایه ای دوبعدی با سیستم مزدوج π و باندگپ متوسط (در حدود ۲/۷ الکترون ولت) می باشد، که منجر به ویژگی های الکترونی و نوری منحصر به فرد و جذب نور مرئی (تقریبا در ۴۶۰-۴۵۰ نانومتر) می گردد [۱۲]. از دیگر مزایای کربن نیترید گرافیتی می توان به تشکیل آن از دو عنصر فراوان در زمین، پایداری شیمیایی و گرمایی، دوستدار محیط زیست بودن و قیمت ارزان آن اشاره کرد [۱۳]. زمانی که کربن نیترید گرافیتی بوسیله تابش نور فعال می گردد، الکترون ها از نوار ظرفیت به نوار هدایت منتقل شده و حفره های مثبت در نوار ظرفیت برجا می گذارند. در حالت کلی، الکترون ها و حفره های سطحی به ترتیب به عنوان دهنده و گیرنده الکترون عمل می نمایند تا مولکول های جذب شده سطحی را برای تولید گونه های رادیکالی کاهش داده و آلاینده ها را به طور مستقیم اکسید نمایند [۱۴]. با اینحال کربن نیترید گرافیتی دارای نقاط ضعفی می باشد. اول آنکه الکترون و حفره های ایجاد شده در کربن نیترید گرافیتی به راحتی بازترکیب می گردند. دوم آنکه مساحت سطح کربن نیترید گرافیتی پایین است که منجر به ظرفیت جذب پایین و سایت های فعال کمتر می گردد [۱۵]. به منظور برطرف کردن نقاط ضعف کربن نیترید گرافیتی می توان از روش هایی مانند دوپه کردن با اتم ها و ترکیب آن با مواد دیگر استفاده نمود. ترکیب کربن نیترید گرافیتی با دیگر نیمه رساناها می تواند بازترکیب الکترون–حفره را به تاخیر انداخته و فعالیت فتوکاتالیستی را افزایش دهد [۱۶,۱۷]. همچنین، ترکیب کربن نیترید گرافیتی با مواد نیمه رسانای دیگر می تواند باعث افزایش مساحت سطح فتوکاتالیست و در نتیجه افزایش راندمان حذف آلاینده گردد. به علاوه، ترکیب کربن نیترید گرافیتی با نیمه رساناهای با باندگپ بزرگتر می تواند موجب کاهش باندگپ نیمه رساناها گردد [۱۸]. به علاوه، نوع مورفولوژی کربن نیترید گرافیتی و نیمه رسانا می تواند بر ویژگی های فتوکاتالیستی و فرآیند تخریب آلاینده رنگی اثر گذار باشد [۱۹].

۴-۲- اهداف:

پساب صنایع مصرف کننده رنگ، حاوی مقادیری مواد رنگی سمی و خطرناک استفاده نشده می باشند که در صورت تخلیه به محیط زیست صدمات جبران ناپذیری به آن وارد می نمایند. بنابراین لازم است آلاینده رنگی قبل از ورود به محیط زیست به روشی مناسب حذف گرد. روش فیلتراسیون غشائی یکی از روش های موثر در حذف آلاینده رنگی و شامل فرآیندهای اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس می باشد. در این روش حذف همه انواع رنگ از آب و پساب ممکن است [۲۰]. از مزایای این روش های غشائی با نیرو محرکه فشار می توان به راندمان بالا و تولید آب با کیفیت، عدم استفاده از مواد شیمیایی، ذخیره انرژی، مقیاس پذیری بالا و آسانی عملیات اشاره کرد [۲۱]. اگر چه تکنولوژی غشائی روشی امیدبخش در حذف آلاینده ها از آب و پساب و بهبود کیفیت آب می باشد، با اینحال گرفتگی غشاء و در نتیجه افزایش قیمت و در مواقعی کوچک تر بودن اندازه ذرات آلاینده نسبت به حفرات غشاء چالش های جدی در این نوع فرآیند جداسازی می باشند. ادغام روش فتوکاتالیز (روش شیمیایی اکسیداسیون پیشرفته) و روش جداسازی غشائی می تواند فناوری مناسبی جهت حذف آلاینده ها از آب و پساب باشد. این سیستم ترکیبی راکتور غشائی فتوکاتالیستی نامیده می شود. این سیستم می تواند مشکل جداسازی و استفاده مجدد از فتوکاتالیست را حل نموده و گرفتگی غشاء را توسط فرآیند فتوکاتالیز کاهش داده و در نتیجه عمر غشاء افزایش می یابد. یک مسئله مهم در روش های فتوکاتالیستی بدون غشاء و در مقیاس بزرگ، بازیابی ماده فتوکاتالیست از محیط واکنش می باشد. تکنولوژی راکتور غشائی فتوکاتالیستی یک رویکرد مناسب برای رسیدن به این هدف می باشد. با این روش می توان ماده فتوکاتالیست را توسط غشاء از محلول جدا و از فتوکاتالیست مجددا استفاده نمود که منجر به کاهش هزینه می گردد. این روش که به عنوان یک تکنولوژی سبز شناخته می شود، اثرات محیطی و اقتصادی را به حداقل می رساند [۲۵-۷,۲۲].

انتخاب ماده فتوکاتالیست مناسب نقش مهمی در عملکرد سیستم غشاء فتوکاتالیستی دارد. در فرآیند فتوکاتالیز از انرژی خورشیدی برای انجام واکنش تخریب آلاینده ها استفاده می شود. بر اساس گزارش ها، تنها ۵٪ انرژی خورشید به طیف اشعه ماورای بنفش در انرژی خورشیدی تعلق دارد در حالیکه این عدد در مورد نور مرئی ۴۵٪ می باشد [۲۶]. استفاده از فتوکاتالیست های فعال در نور مرئی در فرآیند فتوکاتالیز همواره مورد توجه محققین قرار دارد زیرا علاوه بر آنکه نور مرئی درصد زیادی از نور خورشید را تشکیل می دهد، در صورت تلفیق فرآیند فتوکاتالیز با فرآیند غشائی (و استفاده از نور مرئی)، ساختار غشاء حفظ می گردد. شایان ذکر است استفاده از فتوکاتالیست های فعال در ناحیه ماورای بنفش در سیستم غشائی، پس از مدتی موجب تخریب ساختار غشاء می گردد [۲۷].

ماده فتوکاتالیست انتخابی در این پژوهش کربن نیترید گرافیتی می باشد که علاوه بر مزایایی از جمله پایداری شیمیایی و گرمایی، فراوانی در زمین و قیمت ارزان، دارای باند گپ متوسط و در نتیجه فعال در ناحیه نور مرئی بوده و می تواند خاصیت فتوکاتالیستی در ناحیه نور مرئی از خود نشان دهد. ویژگی های گوناگون کربن نیترید گرافیتی به ما اجازه می دهد تا آن را به عنوان ماده فتوکاتالیست مناسب انتخاب نموده و به منظور بهبود عملکرد فتوکاتالیستی آن را با ماده نیمه رسانای دیگری ترکیب نماییم. ترکیب کربن نیترید گرافیتی با دیگر نیمه رساناها می تواند منجر به تعویق در بازترکیب الکترون-حفره و افزایش مساحت سطح گردد. مساحت سطح زیاد باعث ایجاد سایت های فعال فتوکاتالیستی بیشتر و در نتیجه افزایش راندمان تخریب آلاینده می گردد.

به طور کلی فرآیندهای انتقال جرم، ظرفیت جذب نور مرئی و توزیع سایت های فعال سطحی واکنش های فتوکاتالیستی به شدت به مورفولوژی کاتالیست ها وابسته است. کربن نیترید گرافیتی می تواند دارای مورفولوژی های مختلفی از جمله نانوصفحات [۱۶,۲۸]، نقاط کوانتومی [۲۹] و نانولوله [۳۰] باشد. همچنین سایر نیمه رساناها می توانند مورفولوژی های مختلفی را دارا باشند که از آن جمله می توان به نقاط کوانتومی، نانوذرات، نانوصفحه، نانولوله و نانومیله اشاره کرد [۳۹-۳۱]. بنابراین یکی از اهداف این پژوهش سنتز فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا با مورفولوژی های مختلف از کربن نیترید گرافیتی و نیمه رسانا و مقایسه فتوکاتالیست های حاصل از نظر تاثیر آن ها بر ویژگی های فتوکاتالیستی و سطحی می باشد. این مورد می تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت رفع محدودیت‌های کربن نیترید گرافیتی در نظر گرفته شود که تاکنون به آن پرداخته نشده است. همچنین، در این پژوهش حذف آلاینده رنگی (رنگ های آنیونی و کاتیونی) از آب توسط غشاء فتوکاتالیستی حاوی فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۳- اهمیت و ضرورت:

در سال های اخیر آلودگی های زیست محیطی موضوعی نگران کننده می باشد که انسان ها در سرتاسر جهان با آن روبرو می باشند. رنگ ها، آلاینده های آلی مقاومی می باشند که به طور وسیعی در محیط زیست رها شده و به سختی با روش های متداول تصفیه آب حذف می گردند. مولکول های رنگ های مصنوعی به علت حضور اکسوکروم ها (ترکیب پیوندی محلول در آب) و کروموفورها (ترکیب رنگ دهنده) در آن ها، دارای ساختار پیچیده و پایداری می باشند. این خاصیت رنگ، فرآیند تخریب آن با استفاده از روش های ساده را دچار مشکل می نماید [۴۰,۴۱]. رنگ های مصنوعی به عنوان مواد آلی پیچیده ای ساخته می شوند تا در مقابل تماس با آب ، مواد شوینده یا هر ماده شستشوی دیگر مقاومت کنند. مولکول های رنگ حتی در معرض منابع شدید گرما ، مواد اکسید کننده یا نور قوی می توانند در برابر تخریب مقاومت نمایند [۴۲,۴۳]. پساب صنایع مصرف کننده رنگ، حاوی مقادیری مواد رنگی سمی و خطرناک استفاده نشده می باشند که در صورت تخلیه به محیط زیست صدمات جبران ناپذیری به آن وارد می نمایند. اغلب زمانی که رنگ به منظور خاصی در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد، باقی مانده آن بدون تصفیه به محیط زیست تخلیه می گردد و باعث آلودگی آن می شود. پنج صنعت اصلی که مسئول حضور پساب رنگی در محیط زیست می باشند به ترتیب عبارتند از صنایع نساجی، رنگرزی، کاغذسازی، چرم سازی و تولیدکنندگان مواد رنگی. مقدار دقیق پساب رنگی تخلیه شده به محیط زیست توسط صنایع مختلف مشخص نیست، اما می توان گفت آنقدر زیاد است که به عنوان یک مسئله با اهمیت محیط زیستی مطرح می باشد [۴۴].

آلاینده رنگی آمیخته شده با منابع آب طبیعی، علاوه بر ایجاد بیماری در انسان و ایجاد بوی نامطبوع، برای زندگی حیوانات و گیاهان نیز مضر می باشد [۴۵,۴۶]. اختلاط آلاینده رنگی با منابع آب طبیعی باعث افزایش کدورت آب می گردد و پساب رنگی به علت دانسیته کمتر آن نسبت به دانسیته آب، به صورت یک لایه قابل رویت روی سطح آب مشاهده می گردد. در نتیجه نفوذ نور خورشید به داخل آب، که مورد نیاز موجودات زنده داخل آب برای فرآیندهایی نظیر فتوسنتز و تنفس می باشد، متوقف می گردد [۴۰,۴۴,۴۷]. همچنین در صورتی که آلاینده رنگی به مزارع و جنگل ها راه پیدا کند، به حاصلخیزی و باروری خاک آسیب وارد می نماید [۴۸]. در این صورت کیفیت آب به طور مداوم تنزل یافته و زمینه رشد و پرورش باکتری ها و ویروس ها فراهم می گردد و در نتیجه آب برای مصرف روزانه نامناسب می شود. مردم روستایی و بومی که تنها منبع آب قابل دسترسی آن ها آب رودخانه ها می باشد، از منابع آب پاک محروم و در نتیجه آن بیمار می گردند [۴۹,۵۰]. تماس آلاینده رنگی با پوست و چشم، باعث ایجاد سوزش در پوست و چشم و حتی آسیب دائمی به چشم می گردد [۵۱]. بلعیدن ماده رنگی می تواند باعث تعریق شدید، سرگیجه، بالا رفتن مت هموگلوبین، سوزش دهان و حالت تهوع در انسان گردد [۴۱,۵۲]. رنگ ها همچنین سرطان زا بوده و تاثیرات طولانی مدت بر روی بدن و یا حتی کودک متولد نشده برجا می گذارند [۵۳]. بنابراین، حذف آلاینده رنگی از آب برای جلوگیری از اثرات مخرب آن بر روی محیط زیست، حیوانات و انسان ضروری می باشد.

۴-۴- خلاصه مراحل و روش تحقیق (به طور دقیق جامعه و نمونه آماری و روش تحقیق مشخص شود):

پژوهش حاضر را می توان به دو بخش الف) سنتز و بررسی ساختاری-عملکردی فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا با مورفولوژی های مختلف از کربن نیترید گرافیتی و نیمه رسانا و ب) ساخت و ارزیابی عملکرد غشاء فتوکاتالیستی در حذف آلاینده رنگی تقسیم نمود:

الف) فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا

در حالت کلی کربن نیترید گرافیتی بوسیله حرارت دادن ملامین یا اوره در دمای بالا و مدت زمان مشخصی تهیه می گردد. با استفاده از کربن نیترید گرافیتی سنتز شده و بکارگیری روش هایی خاص می توان به مورفولوژی های مختلف از این ماده دست یافت [۶۰-۵۴]. در پژوهش حاضر یکی از دو ماده مذکور به عنوان ماده اولیه سنتز کربن نیترید گرافیتی انتخاب می گردد و با توجه به شرایط و امکانات موجود روش یا روش هایی مناسب جهت سنتز کربن نیترید گرافیتی با مورفولوژی های مختلف در نظر گرفته می شود. ترکیب کربن نیترید گرافیتی با دیگر نیمه رساناها (مانند اکسید زیرکونیوم، اکسید روی، دی اکسید تیتانیوم و دیگر مواد نیمه رسانا با باندگپ متوسط یا عریض) می تواند موجب بهبود ویژگی های سطحی و فتوکاتالیستی آن گردد. در پژوهش حاضر، ماده نیمه رسانای مناسب انتخاب و به منظور بهبود خاصیت فتوکاتالیستی با کربن نیترید گرافیتی ترکیب می گردد. جهت سنتز فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا می توان از روش های متنوعی نظیر اختلاط محلول، کلسینه کردن، آسیاب مکانیکی، هیدرولیز، روش هیدرو(سولو)ترمال، روش رسوب بخار حرارتی، روش سل-ژل، روش تابش ماکروویو و ... استفاده نمود [۷۱-۶۱]. با توجه به شرایط و امکانات موجود یک یا چند روش مناسب یا ترکیبی از آن ها انتخاب و در سنتز فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا با مورفولوژی های مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. به منظور بررسی مورفولوژی، ساختار و ویژگی های سطحی کربن نیترید گرافیتی، نیمه رسانا و ترکیب این دو ماده آنالیز های مختلفی از جمله SEM، TEM و BET انجام می گیرد. همچنین برای بررسی ساختار شیمیایی مواد خالص و ترکیب های حاصل از آنالیزهای FTIR و XRD استفاده می گردد. بعلاوه، فعالیت فتوکاتالیستی فتوکاتالیست های حاصل توسط DRS و PL مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین به منظور بررسی نقش گونه های فعال در فرآیند تخریب فتوکاتالیستی از آنالیز ESR استفاده می گردد.

ب) غشاء فتوکاتالیستی

در این پژوهش از پلی اتر سولفون به عنوان غشاء پایه استفاده می گردد. غشاء پلی اتر سولوفون خالص به روش تغییر فاز ساخته می شود [۷۲]. غشاء فتوکاتالیستی تلفیقی از غشاء پایه و ماده فتوکاتالیست بوده و می تواند به سه طریق ساخته شود. در سیستم نوع اول ماده فتوکاتالیست به صورت معلق در سیستم قرار دارد. در نوع دوم، ماده فتوکاتالیست درون/یا روی سطح غشاء بی تحرک می گردد. دسته سوم غشاهای فتوکاتالیستی دینامیکی می باشند که در آن ها محلول حاوی ماده فتوکاتالیست از میان غشاء فیلتر شده و لایه ای از فتوکاتالیست بر روی سطح غشاء تشکیل می گردد. از آنجایی که عملکرد غشاء فتوکاتالیستی در سه روش مذکور متفاوت می باشد، می توان از یکی یا تلفیقی از روش ها با توجه به نوع عملکرد غشاء استفاده کرد. روش های آنالیز مورد استفاده در این پژوهش شامل دو گروه آنالیز ساختاری و آنالیز عملکردی غشاهای فتوکاتالیستی ساخته شده می باشند. آنالیزهای AFM، SEM، FTIR و اندازه گیری زاویه تماس به منظور بررسی دقیق ساختار غشاء خالص و غشاهای فتوکاتالیستی ساخته شده استفاده می شوند. همچنین شاخص های مهم برای ارزیابی عملکرد غشاهای فتوکاتالیستی ساخته شده، اندازه گیری فلاکس جریان عبوری از غشاء و میزان پس زنی آلاینده رنگی می باشد. همچنین ارزیابی ویژگی ضد گرفتگی غشاء فتوکاتالیستی بر اساس کاهش فلاکس در طول فیلتراسیون انجام می گیرد.

خلاصه مراحل تحقیق:

۱) مطالعه و تحقیق جامع جهت دستیابی به بینشی وسیع تر در بحث نقش مورفولوژی بر ویژگی های سطحی و فتوکاتالیستی فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا در تخریب آلاینده رنگی و کاربرد آن در غشاء فتوکاتالیستی

۲) سنتز فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا با مورفولوژی های مختلف

۳) بررسی مورفولوژی، ساختار شیمیایی و ویژگی های سطحی فتوکاتالیست های سنتز شده

۴) بررسی مکانیسم جذب سطحی و تخریب فتوکاتالیستی آلاینده رنگی توسط فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا

۵) بررسی شرایط عملیاتی آزمایش بر راندمان حذف جذب سطحی و تخریب فتوکاتالیستی آلاینده رنگی توسط فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا

۶) ساخت غشاء فتوکاتالیستی حاوی فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا

۷) بررسی مورفولوژی، سطحی و ساختاری غشاء فتوکاتالیستی

۸) ارزیابی عملکرد و راندمان حذف رنگ غشاء فتوکاتالیستی حاصل

۹) بررسی و مطالعه تئوری و آزمایشگاهی پدیده گرفتگی غشاهای فتوکاتالیستی در حذف آلاینده رنگی

۱۰) جمع بندی دقیق از کلیه نتایج و تست های آزمایشگاهی و ارائه پایان نامه.

۴-۵- سوالات و فرضیات:

- فرض می شود ترکیب کربن نیترید گرافیتی با ماده نیمه رسانا موجب بهبود ویژگی های سطحی و فتوکاتالیستی می گردد.
- فرض می شود نوع مورفولوژی نیمه رسانا و کربن نیترید گرافیتی بر روی ویژگی های سطحی و فتوکاتالیستی تاثیر دارد.
- فرض می شود شرایط مختلف آزمایش بر راندمان حذف آلاینده رنگی (رنگ های آنیونی و کاتیونی) تاثیر دارد.
- فرض می شود استفاده از فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا به عنوان ماده فتوکاتالیست در غشاء موجب بهبود عملکرد غشاء می گردد.

۴-۴- جنبه نوآوری:

پژوهش حاضر در جهت حذف آلاینده رنگی (رنگ های آنیونی و کاتیونی) از آب با استفاده از غشاهای فتوکاتالیستی حاوی فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا هدف گذاری شده است که در این راستا اثر مورفولوژی های مختلف کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا بر عملکرد غشاء بطور سیستماتیک مورد مطالعه قرار می گیرد. از این رو جنبه های نوآوری پژوهش در بخش های مختلف در ذیل ارائه شده است.

- سنتز فتوکاتالیست نوین کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا و بررسی عملکرد فتوکاتالیست حاصل در حذف رنگ های آنیونی و کاتیونی
- بررسی سیستماتیک اثر مورفولوژی بر ویژگی های فتوکاتالیستی و سطحی فتوکاتالیست ها بر پایه کربن نیترید گرافیتی
- ساخت و ارزیابی عملکرد غشاء فتوکاتالیستی با فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا و بررسی پدیده گرفتگی

۴-۵- تعریف اصطلاحات انگلیسی:

AFM: میکروسکوپ نیروی اتمی

SEM: میکروسکوپ الکترونی روبشی

FTIR: تبدیل فوریه مادون قرمز

TEM: میکروسکوپ الکترونی عبوری

BET: آزمون تخلخل سنجی

XRD: پراش اشعه ایکس

DRS: طیف سنجی بازتاب پخشی

PL: طیف سنجی فتولومینسانس

ESR: طیف بینی رزونانس اسپین الکترون

۴-۶- نتایج مورد انتظار و موارد استفاده از آن‌ها در حوزه کاری ستاد (به صورت خلاصه و دسته بندی شده ارائه شود)

- انتظار می رود نانوساختارهای مختلف کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا تاثیرات مختلفی در راندمان حذف رنگ های کاتیونی و آنیونی به عنوان فاضلاب پرخطر، داشته باشند.

- شرایط مختلف آزمایش بر راندمان حذف آلاینده رنگی مورد مطالعه قرار گرفته و شرایط بهینه بدست می آید.

- انتظار می رود سیستم غشاء فتوکاتالیستی نانوساختار حاوی فتوکاتالیست کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا راندمان خوبی در حذف رنگ های آنیونی و کاتیونی از آب نشان دهد.

- انتظار می رود حضور نانوساختارهای کربن نیترید گرافیتی/نیمه رسانا در سیستم غشائی، عملکرد سیستم حاصل در حذف رنگ های کاتیونی و آنیونی را بهبود بخشد.

۴-۷- منابع و مآخذ:

[1] Alvarez PJJ, Chan CK, Elimelech M, Halas NJ, Villagrán D., Emerging opportunities for nanotechnology to enhance water security, Nature Nanotechnology, 2018; 13: 634–641.

[2] Schewe J. et al., Multimodel assessment of water scarcity under climate change, Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014; 111: 3245–3250.

[3] Bates BC, Kundzewicz ZW, Wu S, Palutikof JP, Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 2008.

[4] Stefen W. et al., Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, Science, 2015; 347: 1259855.

[5] Rai HS, Mani, Bhattacharya SH. et al., Removal of Dyes from the Effluent of Textile and Dyestuff Manufacturing Industry: A Review of Emerging Techniques with Reference to Biological Treatment, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2005; 35: 219.

[6] Zhu D, Zhou Q, Action and mechanism of semiconductor photocatalysis on degradation of organic pollutants in water treatment: A review, Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 2019; 12: 100255-100265.

[7] Molinari R, Lavorato C, Argurio P, Recent progress of photocatalytic membrane reactors in water treatment and in synthesis of organic compounds. A review, Catalysis Today, 2017; 281: 144-164.

[8] Liu T, Wang L, Liu X, Sun CH, Lv Y, Miao R, Wang X, Dynamic photocatalytic membrane coated with $ZnIn_2S_4$ for enhanced photocatalytic performance and antifouling property, Chemical Engineering Journal, 2020; 379: 122379-122390.

[9] Zhang W, Ding L, Luo J, Jaffrin M, Tang B, Membrane fouling in photocatalytic membrane reactors (PMRs) for water and wastewater treatment: A critical review, Chemical Engineering Journal, 2016; 302: 446-458.

[10] Wang X, Maeda K, Thomas A, Takanabe K, Xin G, Carlsson JM, Domen K, Antonietti M, A metal-free polymeric photocatalyst for hydrogen production from water under visible light, Nature Materials, 2009; 8: 76–80.

[11] Wang X, Blechert S, Antonietti M, Polymeric Graphitic Carbon Nitride for Heterogeneous Photocatalysis, ACS Catalysis, 2012; 2: 1596–1606.

[12] Sun S, Liang S, Recent advances in functional mesoporous graphitic carbon nitride (mpg-C_3N_4) polymers, Nanoscale, 2017; 9: 10544- 10578.

[13] Mishra A, Mehta A, Basu S, Shetti NP, Reddy KR, Aminabhavi TM, Graphitic carbon nitride (g–C_3N_4)–based metal-free photocatalysts for water splitting: A review, Carbon, 2019; 149: 693-721.

[14] Zhang S, Gu P, Ma R, Luo CH, Wen T, Zhao ZH, Cheng W, Wang X, Recent developments in fabrication and structure regulation of visible-light driven g-C_3N_4-based photocatalysts towards water purification: A critical review, Catalysis Today, 2019; 335: 65-77.

[15] Mou H, Wang J, Yu D, Zhang D, Chen W, Wang Y, Wang D, Mu T, Fabricating Amorphous g-C_3N_4/ZrO_2 Photocatalyst by One-Step Pyrolysis for Solar-Driven Ambient Ammonia Synthesis, ACS Applied Materials & Interfaces, 2019; 11: 44360–44365.

[16] Liu X, Liu Y, Zhang W, Zhong Q, Ma X, In situ self-assembly of 3D hierarchical 2D/2D CdS/g-C_3N_4 hereojunction with excellent photocatalytic performance, Materials Science in Semiconductor Processing, 2020; 105: 104734-104742.

[17] Mao N, Jiang JX, MgO/g-C_3N_4 Nanocomposites as Efficient Water Splitting Photocatalysts under Visible Light Irradiation, Applied Surface Science, 2019; 476: 144-150.

[18] Yi F, Ma J, Lin CH, Wang L, Zhang H, Qian Y, Zhang K, Insights into the enhanced adsorption/photocatalysis mechanism of a $Bi_4O_5Br_2$/g-C_3N_4 nanosheet, Journal of Alloys and Compounds, 2020; 821: 153557-153569.

[19] Prasanga Gayanath Mantilaka MMMG, De Silva RT, Ratnayake SP, Amaratunga G, Nalin de Silva KM, Photocatalytic activity of electrospun MgO nanofibres: synthesis, characterization and applications, Materials Research Bulletin, 2018; 99: 204-210.

[20] Santos, AB, Cervantes FJ, and van Lier JB, Review Paper on Current Technologies for Decolourisation of Textile Wastewaters: Perspectives for Anaerobic Biotechnology, Bioresour. Technol, 2007; 98: 2369.

[21] Cojocaru C, Clima L, Polymer assisted ultrafiltration of AO_7 anionic dye from aqueous solutions: Experimental design, multivariate optimization, and molecular docking insights, Journal of Membrane Science, 2020; 604: 118054.

[22] Liu T, Wang L, Liu X, Sun CH, Lv Y, Miao R, Wang X, Dynamic photocatalytic membrane coated with ZnIn2S4 for enhanced photocatalytic performance and antifouling property, Chemical Engineering Journal, 2020; 379: 122379.

[23] Kazemi M, Jahanshahi M, Peyravi M., Hexavalent chromium removal by multilayer membrane assisted by photocatalytic couple nanoparticle from both permeate and retentate, Journal of Hazardous Materials, 2018; 344: 12-22.

[24] Zakeritabar SF, Jahanshahi M, Peyravi M., Photocatalytic Behavior of Induced Membrane by ZrO_2–SnO_2 Nanocomposite for Pharmaceutical Wastewater Treatment, Catalysis Letters, 2018; 148: 882–893.

[25] Peyravi M, Jahanshahi M, Mirmousaei SM, Lau WJ., Dynamically Coated Photocatalytic Zeolite–TiO_2 Membrane for Oil-in-Water Emulsion Separation, Arabian Journal for Science and Engineering, 2020.

[26] Vehniainen ER, Kukkonen JVK, Multixenobiotic resistance efflux activity in Daphnia magna and Lumbriculus variegatus, Chemosphere, 2015; 124: 143-149.

[27] Song H, Shao J, He Y, Liu B, Zhong X, Natural organic matter removal and flux decline with PEG–TiO2-doped PVDF membranes by integration of ultrafiltration with photocatalysis, Journal of Membrane Science, 2012; 405–406: 48–56.
[28] Chaudhary P, Ingole P, In-Situ solid-state synthesis of 2D/2D interface between Ni/NiO hexagonal nanosheets supported on g-C_3N_4 for enhanced photo-electrochemical water splitting, International Journal of Hydrogen Energy, 2020; 45: 16060-16070.
[29] Li CH, Che H, Liu C, Che G, Charpentier P, Xu W, Wang X, Liu L, Facile fabrication of g-C_3N_4 QDs/$BiVO_4$ Z-scheme heterojunction towards enhancing photodegradation activity under visible light, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2019; 95: 669-681.
[30] Jin ZH, Zhang Q, Yuan S, Ohno T, Synthesis high specific surface area nanotube g-C_3N_4 with two-step condensation treatment of melamine to enhance photocatalysis properties, RSC Advances, 2015; 5: 4026-4029.
[31] Ghenaatgar A, Tehrani RMA, Khadir A., Photocatalytic degradation and mineralization of dexamethasone using WO_3 and ZrO_2 nanoparticles: Optimization of operational parameters and kinetic studies, Journal of Water Process Engineering, 2019; 32: 100969-100976.
[32] Midya L, Patra A, Banerjee CH, Panda A, Pal S, Novel nanocomposite derived from ZnO/CdS QDs embedded crosslinked chitosan: An efficient photocatalyst and effective antibacterial agent, Journal of Hazardous Materials, 2019; 369: 398-407.
[33] Fatimah I, Sahroni I, Muraza O, Doong R, One-pot biosynthesis of SnO_2 quantum dots mediated by Clitoria ternatea flower extract for photocatalytic degradation of rhodamine B, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2020; 8: 103879-103890.
[34] Abdel-Aziz R, Ahmed MA, Abdel-Messih MF, A novel UV and visible light driven photocatalyst $AgIO_4$/ZnO nanoparticles with highly enhanced photocatalytic performance for removal of rhodamine B and indigo carmine dyes, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2020; 389: 112245.
[35] Chen Q, Wang H, Luan Q, Duan R, Cao X, Fang Y, Ma D, Guan R, Hu X, Synergetic effects of defects and acid sites of 2D-ZnO photocatalysts on the photocatalytic performance, Journal of Hazardous Materials, 2020; 385: 121527.
[36] Prabhakar Vattikuti SV, Devarayapalli KC, Nagajyothi PC, Shim J, Binder-free WS_2/ZrO_2 hybrid as a photocatalyst for organic pollutant degradation under UV/simulated sunlight and tests for H_2 evolution, Journal of Alloys and Compounds, 2019; 809: 151805.
[37] Zheng X, Yang L, Li Y, Yang L, Luo SH, Direct Z-scheme $MoSe_2$ decorating TiO_2 nanotube arrays photocatalyst for water decontamination, Electrochimica Acta 2019; 298: 663-669.
[38] Wang CH, Tan X, Yan J, Chai B, Li J, Chen SH, Electrospinning direct synthesis of magnetic $ZnFe_2O_4$/ZnO multi-porous nanotubes with enhanced photocatalytic activity, Applied Surface Science, 2017; 396: 780-790.
[39] Prabavathi S, Saravanakumar k, Mamba G, Muthuraj V., 1D/2D $MnWO_4$ nanorods anchored on g-C_3N_4 nanosheets for enhanced photocatalytic degradation ofloxacin under visible light irradiation, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2019; 581: 123845-123856.
[40] Chacko JT, Subramaniam K, Enzymatic degradation of azo dyes—a review, International Journal of Environmental Sciences, 2011; 1: 1250–1260.
[41] Salleh M, Mahmoud D, Ghani W, Idris A, Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review, Desalination, 2011; 280: 1–13.
[42] Al-Alwani M.A.M., Norasikin A.L, Mohamad A, Kadhum AAH, Mukhlus A, Application of dyes extracted from Alternanthera Dentata leaves and Musa Acuminata Bracts as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells, Spectrochim. Acta Part A: Mol. Biomol, 2018; 192: .
[43] Forgacs E, Cserháti T, Oros G, Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review, Environ. Int., 2004; 30 (7): 953–971.
[44] Muhammad A. Rauf, S. Salman Ashraf, Survey of recent trends in biochemically assisted degradation of dyes, Chem. Eng. J. 209, 2012, 520–530.
[45] Afshin Maleki, Unes Hamesadeghi, Hiua Daraei, Bagher Hayati, Farhood Najafi, Gordon McKay, Reza Rezaee, Amine functionalized multi-walled carbon nanotubes: single and binary systems for high capacity dye removal, Chem. Eng. J., 313, 2017, 826–835.
[46] I. Ali, Z.A. AL-Othman, A. Alwarthan, Molecular uptake of congo red dye from water on iron composite nano particles, J. Mol. Liq., 224, 2016, 171–176.
[47] V.K. Gupta, Suhas, Application of low-cost adsorbents for dye removal—a review, J. Environ. Manage. 90 (8), 2009, 2313–2342.
[48] Tang L, Yu J, Pang Y, Zeng G, Deng Y, Wang J, Ren X, Ye SH, Peng B, Feng H, Sustainable efficient adsorbent: alkali-acid modified magnetic biochar derived from sewage sludge for aqueous organic contaminant removal, Chem. Eng. J., 2018; 336: 160–169.
[49] Ahmad A, Mohd-Setapar SH, Chuong CH, Khatoon A, Wani WA, Kumar R, Rafatullah M, Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater, RSC Adv., 2015; 5 (39): 30801–30818.
[50] Joshi M, Bansal R, Purwar R, Colour removal from textile effluents, Indian J. Fibre Text., 2003; 29: 239–259.
[51] Robinson, T., McMullan G, Marchant R, and Nigam P, Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative, Bioresour. Technol., 2001; 77: 247.

[52] Rafatullah M, Rokiah Hashim Sulaiman O, Ahmad A, Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review, J. Hazard. Mater., 2010; 177 (1–3): 70–80.
[53] Kant R, Textile dyeing industry an environmental hazard, Nat. Sci., 2012; 04 (01): 22–26.
[54] Sun Y, Qi X, Li R, Xie Y, Tang Q, Ren B., Hydrothermal synthesis of 2D/2D BiOCl/g-C_3N_4 Z-scheme: For TC degradation and antimicrobial activity evaluation, Optical Materials, 2020; 108: 110170-110177.
[55] Sarma L, Thirumal M, Coupling of $MoSe_2$ and graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) by facile hydrothermal route for enhanced visible-light photocatalytic properties, materialstoday: proceedings, In Press.
[56] Bi X, Yu S, Liu E, Yin X, Zhao Y, Xiong W., Nano-zirconia supported by graphitic carbon nitride for enhanced visible light photocatalytic activity, RSC Adv., 2020; 10: 524.
[57] Ismael M, Wub Y, Wark M., Photocatalytic activity of ZrO_2 composite with graphitic carbon nitride for hydrogen production under visible light, New J. Chem., 2019; 43: 4455-4462.
[58] An X, Hu CH, Lan H, Liu H, Qu J., Strongly Coupled Metal oxide/Reassembled Carbon nitride/Co-Pi Heterostructures for Efficient Photoelectrochemical Water Splitting, ACS Applied Materials & Interfaces, 2018; 10: 6424–6432
[59] Zhong Q, Lan H, Zhang M, Zhu H, Bu M., Preparation of heterostructure g-C_3N_4/ZnO nanorods for high photocatalytic activity on different pollutants (MB, RhB, Cr(VI) and eosin), Ceramics International, 2020; 46, 8: Part B, 12192-12199.
[60] Wang T, Nie CH, Ao ZH, Wang SH, An T., Recent progress in g-C_3N_4 quantum dots: synthesis, properties and applications in photocatalytic degradation of organic pollutants, Journal of Materials Chemistry A, 2020; 8: 485-508.
[61] Samsudin M, Sufian S., Hybrid 2D/3D g-C_3N_4/$BiVO_4$ photocatalyst decorated with RGO for boosted photoelectrocatalytic hydrogen production from natural lake water and photocatalytic degradation of antibiotics, Journal of Molecular Liquids, 2020; 314: 113530.
[62] Muhmood T, Xia M, Lei W, Wang F, Khan M., Efficient and stable ZrO_2/Fe modified hollow-C_3N_4 for photodegradation of the herbicide MTSM, RSC Advances, 2017; 7: 3966-3974.
[63] Dadigala R, Bandi R, Gangapuram B, Dasari A, Belay H, Guttena V., Fabrication of novel 1D/2D V_2O_5/g-C_3N_4 composites as Z-scheme photocatalysts for CR degradation and Cr (VI) reduction under sunlight irradiation, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2019; 7: 102822.
[64] Panimalar S, Uthrakumar R, Selvi E, Gomathy P, Inmozhi C, Kaviyarasu K, Kennedy J., Studies of MnO_2/g-C_3N_4 hetrostructure efficient of visible light photocatalyst for pollutants degradation by sol-gel technique, Surfaces and Interfaces, 2020; 20: 100512-100520.
[65] Wang X, Zhang L, Lin H, Nong Q, Wu Y, Wu T, He Y., Synthesis and characterization of a ZrO_2/g-C_3N_4 composite with enhanced visible-light photoactivity for rhodamine degradation, RSC Advances, 2014; 4: 40029-40035.
[66] Shi SH, Gondal MA, Al-Saadi AA, Fajgar R, Kupcik J, Chang X, Shen K, Xu Q, Seddigi ZS., Facile preparation of g-C_3N_4 modified BiOCl hybrid photocatalyst and vital role of frontier orbital energy levels of model compounds in photoactivity enhancement, Journal of Colloid and Interface Science, 2014; 416: 212–219.
[67] Li G, Nie X, Chen J, Jiang Q, An T, Wong P, Zhang H, Zhao H, Yamashita H., Enhanced visible-light-driven photocatalytic inactivation of Escherichia coli using g-C_3N_4/TiO_2 hybrid photocatalyst synthesized using a hydrothermal-calcination approach, Water Research, 2015; 86: 17-24.
[68] Lam SM, Sin JCH, Mohamed A., A review on photocatalytic application of g-C_3N_4/semiconductor (CNS) nanocomposites towards the erasure of dyeing wastewater, Materials Science in Semiconductor Processing, 2016; 47: 62–84.
[69] Chen Q, Yang W, Zhu J, Fu L, Li D, Zhou L., Enhanced visible light photocatalytic activity of g-C_3N_4 decorated ZrO_{2-x} nanotubes heterostructure for degradation of tetracycline hydrochloride, Journal of Hazardous Materials, 2020; 384: 121275-121284.
[70] Chang F, Zhang J, Xie Y, Chen J, Li CH, Wang J, Luo J, Deng B, Hu X., Fabrication, characterization, and photocatalytic performance of exfoliated g-C_3N_4–TiO_2 hybrids, Applied Surface Science, 2014; 311: 574-581.
[71] Zhou X, Yao SY, Long YM, Wang ZS, Li WF., Microwave-assisted synthesis and enhanced visible-light-driven photocatalytic property of g-C_3N_4/Bi_2S_3 nanocomposite, Materials Letters, 2015; 145: 23–26.
[72] Kazemi M, Jahanshahi M, Peyravi M., Chitosan-sodium alginate multilayer membrane developed by Fe^0@WO_3 nanoparticles: Photocatalytic removal of hexavalent chromium, Carbohydrate Polymers, 2018; 198: 164–174.

۴-۸- اطلاعات، امکانات و تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری که درپایان نامه مورد استفاده قرار می گیرد :

ردیف	عنوان
۱	سیستم غشاء فتوکاتالیستی شامل سل غشاء و محفظه نور
۲	اولتراسونیک، اسپکتروفتومتر مرئی ماوراء بنفش
۳	دستگاه های آنالیز فتوکاتالیست نظیر SEM، TEM، BET، XRD، DRS و ...
۴	دستگاه های آنالیز غشاء فتوکاتالیستی نظیر FTIR، SEM و AFM

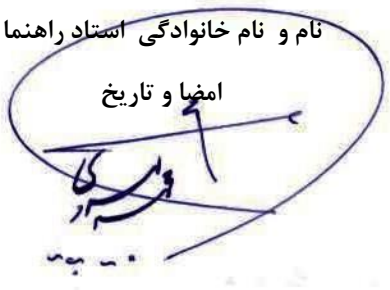
۵- جدول زمان بندی مراحل انجام پایان‌نامه/رساله

شماره مرحله	اقدامات و فعالیت‌های موضوع	درصد از کل	مدت زمان انجام کار
۱	جمع آوری اطلاعات		۲ ماه
۲	تجزیه و تحلیل اطلاعات		۲ ماه
۳	انجام پژوهش عملی/میدانی		۶ ماه
۴	ارائه فناوری در اشل آزمایشگاهی/پایلوت		۶ ماه
۵	بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج		۴ ماه
۶	ارائه گزارش مرحله‌ای/ نهایی		۴ ماه
جمع			۲۴ ماه

۶- اینجانب با اطلاع کامل از رویه‌ها و ضوابط طرح، این پرسشنامه را تکمیل نموده و کلیه مندرجات آن را تایید می‌نمایم.

نام و نام خانوادگی استاد راهنما

امضا و تاریخ



نام و نام خانوادگی دانشجو

امضا و تاریخ