

اللهم صل على محمد



دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی معدنی

سنتز سبز و شناسایی نانوکامپوزیت نقره - گرافن اکسید کاهش یافته به کمک عصاره عناب

دانشجو: عصمت محمدی

استاد راهنما:

دکتر اسماعیل سلیمانی

بهمن ۹۸

تقدیم بہ:

مادر مہربانم، کہ زندگیم را دیدیون مہر و عطوفتش، مستم.
پدرم، مہربانی مشوق، بردبار و حامی، ہمیشگی در زندگیم.
خواہر و برادر عزیزم، کہ با تلاش ہای محبت آمیزیشان در دوران مختلف زندگی ام چگونہ زیستن را بہ من آموختند.

بہ استادان فرزانه و فرہنگانی کہ در راہ کسب علم و معرفت مراری نمودند.
بہ آنان کہ در راہ کسب دانش را ہمہنایم بودند.
بہ آنان کہ نفس خیریشان و دعای روح پرورشان بدرقہی را ہم بود.

پاسکزاری:

پاس بیکران پروردگار یکتا را که، هستی مان بخشید
و به طریق علم و دانش، رهنمونان شد
و به هم نشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود
و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

مراتب پاس صیمانه خود را خدمت استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر اسماعیل سلیمانی که در تمام مراحل انجام
این پایان نامه، همواره مشوق و پشتیبان من بوده و بارها، نمودهای ارزنده و تقدیمهای سازنده، راهگشای اینجانب بوده اند، ابراز
می نمایم.

تعمدنامه

اینجانب عصمت محمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته شیمی معدنی دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه سنتز سبز و شناسایی نانوکامپوزیت نقره- گرافن اکسید کاهش یافته به کمک عصاره عناب تحت راهنمایی دکتر اسماعیل سلیمانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در این پژوهش، نانوکامپوزیت نقره - گرافن اکسید کاهش یافته (Ag/RGO) با استفاده از عصاره عناب در نقش کاهنده و پایدار کننده تهیه شد. از گرافن اکسید کاهش یافته به عنوان بستر به دلیل مساحت سطح بالا و پایداری شیمیایی استفاده گردید. نانوکامپوزیت Ag/RGO به وسیله روش‌های متداول نظیر طیف سنجی فرسرخ تبدیل فوریه (FT-IR)، الگوی پراش پرتو X (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM)، طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS)، طیف سنجی مرئی - ماوراء بنفش (UV-Vis) و طیف سنجی رامان (Raman) شناسایی شد. رفتار فتوکاتالیزوری نانوکامپوزیت Ag/RGO در تخریب رنگ ردآمین بی در محلول آبی و همچنین عوامل موثر بر آن نظیر غلظت رنگ ردآمین بی، مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO و pH محلول، مورد بررسی قرار گرفت. تخریب فتوکاتالیزوری ۱۰۰ میلی لیتر محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm، توسط ۲۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO در pH برابر با ۶، طی ۴۵ دقیقه به طور کامل انجام گرفت که بیشترین درصد تخریب ردآمین بی برابر با ۹۱/۳۴ درصد بود. همچنین مشخص شد که سرعت تخریب از سینتیک مرتبه اول تبعیت می کند.

کلمات کلیدی: عصاره عناب، نانوکامپوزیت نقره - گرافن اکسید کاهش یافته، فتوکاتالیزور، ردآمین بی، گرافن اکسید کاهش یافته

فهرست مطالب

ي	فهرست جداول
ل	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: مقدمه و تئوری
۲	۱-۱ فناوری نانو.....
۳	۲-۱ نانوذرات.....
۴	۳-۱ روشهای سنتز نانوذرات.....
۵	۴-۱ سنتز سبز نانوذرات نقره توسط عصاره گیاهان.....
۶	۵-۱ عصاره گیاهان.....
۷	۶-۱ روشهای عصاره گیری.....
۷	۱-۶-۱ روش خیساندن.....
۷	۲-۶-۱ روش پرکولاسیون.....
۸	۳-۶-۱ روش سوکسله.....
۸	۴-۶-۱ روش دمکردن.....
۹	۷-۱ عناب.....
۹	۸-۱ نانوذرات نقره.....
۱۰	۹-۱ نانوذرات گرافن اکسید و گرافن اکسید کاهش یافته.....
۱۱	۱۰-۱ رنگهای آلی.....
۱۳	۱۱-۱ فرآیند کاتالیزوری.....
۱۳	۱۲-۱ فرآیند فتوکاتالیزوری.....
۱۵	۱۳-۱ مروری بر پژوهشهای انجام شده.....
۱۹	فصل ۲: بخش تجربی
۲۰	۱-۲ دستگاهها و مواد مورد استفاده.....

۲۰	..... دستگاهها. ۱-۱-۲
۲۰	..... مواد شیمیایی ۲-۱-۲
۲۱	..... روش تهیه عصاره و نانوذرات ۲-۲
۲۱	..... تهیه عصاره عناب ۱-۲-۲
۲۲	..... تهیه نانوذرات نقره ۲-۲-۲
۲۲	..... تهیه گرافن اکسید ۳-۲-۲
۲۲	..... تهیه نانوذرات RGO ۲-۲-۴
۲۳	..... تهیه نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵-۲-۲
۲۳	..... تعیین نقطه ایزوالکتریک ۳-۲
۲۴	..... تخریب فتوکاتالیزوری ردآمینی توسط نانوذرات ۴-۲
۲۴	..... تاثیر غلظت ردآمینی در فرآیند فتوکاتالیزوری ۱-۴-۲
۲۴	..... تاثیر مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO در فرآیند فتوکاتالیزوری ۲-۴-۲
۲۵	..... تاثیر pH در فرآیند فتوکاتالیزوری ۳-۴-۲
۲۵	..... بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری در شرایط بهینه ۵-۲
۲۷	..... فصل ۳ : بحث و نتیجه گیری
۲۸	..... ۳-۱ شناسایی نانوکامپوزیت Ag/RGO
۲۸	..... طیف UV-Vis ۱-۱-۳
۲۹	..... طیف FT-IR ۲-۱-۳
۳۰	..... الگوی پراش XRD ۳-۱-۳
۳۱	..... تصاویر FE-SEM ۳-۱-۴
۳۲	..... طیف EDS ۳-۱-۵
۳۳	..... طیف رامان ۶-۱-۳
۳۴	..... تعیین نقطه ایزوالکتریک ۷-۱-۳
۳۶	..... تخریب فتوکاتالیزوری ردآمینی توسط نانوذرات ۲-۳
۳۸	..... تاثیر غلظت رنگ در فرآیند فتوکاتالیزوری ۱-۲-۳
۴۱	..... تاثیر مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO در فرآیند فتوکاتالیزوری ۲-۲-۳
۴۴	..... تاثیر pH در فرآیند فتوکاتالیزوری ۳-۲-۳

۳-۳ بررسی سینتیک فرآیند در شرایط بهینه ۴۷

۳-۳-۱ سینتیک مرتبه اول ۴۷

۳-۳-۲ سینتیک مرتبه دوم ۴۸

۳-۴ مقایسه تحقیقات انجام گرفته بر تخریب فتوکاتالیزوری ردآمینی ۶۳

۳-۵ نتیجه گیری ۶۴

۳-۶ آینده نگری ۶۴

۶۵

مراجع

فهرست جداول

۱. جدول ۱-۲: فهرست مواد مورد استفاده ۲۱
۲. جدول ۱-۳: تعیین نقطه ایزوالکتریک ۳۵
۳. جدول ۲-۳: درصد تخریب محلول ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور نانوذرات تهیه شده در مدت زمان ۴۵ دقیقه ۳۸
۴. جدول ۳-۳: بررسی غلظت رنگ در فرآیند فتوکاتالیزوری در مدت زمان ۴۵ دقیقه ۴۱
۵. جدول ۴-۳: بررسی مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO در فرآیند فتوکاتالیزوری در مدت زمان ۴۵ دقیقه ۴۴
۶. جدول ۵-۳: بررسی PH در فرآیند فتوکاتالیزوری در مدت زمان ۴۵ دقیقه ۴۶
۷. جدول ۶-۳: مقادیر A_0/A و $\text{Log}A_0/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی در شرایط بهینه ۴۸
۸. جدول ۷-۳: مقادیر $1/A$ و $1/A_0 - 1/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی در شرایط بهینه ۴۹
۹. جدول ۸-۳: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری در شرایط بهینه ۵۰
۱۰. جدول ۹-۳: مقادیر A ، A_0/A و $\text{Log}A_0/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۱
۱۱. جدول ۱۰-۳: مقادیر $1/A$ و $1/A_0 - 1/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۲
۱۲. جدول ۱۱-۳: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمینبی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۳
۱۳. جدول ۱۲-۳: مقادیر A ، A_0/A و $\text{Log}A_0/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۳
۱۴. جدول ۱۳-۳: مقادیر $1/A$ و $1/A_0 - 1/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۴
۱۵. جدول ۱۴-۳: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمینبی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۴
۱۶. جدول ۱۵-۳: مقادیر A ، A_0/A و $\text{Log}A_0/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۵
۱۷. جدول ۱۶-۳: مقادیر $1/A$ و $1/A_0 - 1/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۶
۱۸. جدول ۱۷-۳: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمینبی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۷
۱۹. جدول ۱۸-۳: مقادیر A ، A_0/A و $\text{Log}A_0/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۸
۲۰. جدول ۱۹-۳: مقادیر $1/A$ و $1/A_0 - 1/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۸

۲۰. جدول ۳-۱۹: مقادیر $1/A$ و $1/A_0$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۹
۲۱. جدول ۳-۲۰: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۶۰
۲۲. جدول ۳-۲۱: مقادیر A ، A_0/A و $\text{Log}A_0/A$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۶۱
۲۳. جدول ۳-۲۲: مقادیر $1/A$ و $1/A_0$ برای واکنش تخریب ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۶۲
۲۴. جدول ۳-۲۳: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۶۳

فهرست اشکال

۲۵. شکل ۱-۱: ساختار گرافن اکسید شکل ۱۱
۲۶. شکل ۲-۱: فرمول ساختاری ردآمینبی شکل ۱۲
۲۷. شکل ۳-۱: شماتیک برانگیختگی الکترونی در فتوکاتالیزور شکل ۱۵
۲۸. شکل ۱-۳: طیف UV-Vis نانوذرات Ag شکل ۲۸
۲۹. شکل ۲-۳: طیف FT-IR نانوکامپوزیت Ag/RGO شکل ۲۹
۳۰. شکل ۳-۳: طیف FT-IR نانوذرات Ag شکل ۳۰
۳۱. شکل ۴-۳: الگوی پراش XRD نانوکامپوزیت Ag/RGO شکل ۳۱
۳۲. شکل ۵-۳: تصویر FE-SEM نانوکامپوزیت Ag/RGO شکل ۳۲
۳۳. شکل ۶-۳: طیف EDS نانوکامپوزیت Ag/RGO شکل ۳۲
۳۴. شکل ۷-۳: طیف رامان نانوذرات GO شکل ۳۳
۳۵. شکل ۸-۳: طیف رامان نانوکامپوزیت Ag/RGO شکل ۳۴
۳۶. شکل ۹-۳: نمودار تعیین نقطه ایزوالکتریک شکل ۳۵
۳۷. شکل ۱۰-۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمینبی ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱ mg ۲۰/۰ نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمانهای مختلف تخریب از ۵ تا ۴۵ دقیقه شکل ۳۷
۳۸. شکل ۱۱-۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمینبی ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱ mg ۲۰/۰ نانوذرات RGO در زمانهای مختلف تخریب از ۳۰ تا ۴۸۰ دقیقه شکل ۳۸
۳۹. شکل ۱۲-۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمینبی با غلظت ۴ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱ mg ۲۰/۰ نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمانهای مختلف تخریب از ۱۵ تا ۲۷۰ دقیقه شکل ۳۹
۴۰. شکل ۱۳-۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمینبی با غلظت ۷ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱ mg ۲۰/۰ نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمانهای مختلف تخریب از ۳۰ تا ۴۸۰ دقیقه شکل ۴۰
۴۱. شکل ۱۴-۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمینبی با غلظت ۱۰ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱ mg ۲۰/۰ نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمانهای مختلف تخریب از ۳۰ تا ۴۸۰ دقیقه شکل ۴۱
۴۲. شکل ۱۵-۳: نمودار درصد تخریب رنگ بر حسب غلظتهای مختلف رنگ در مدت زمان ۴۵ دقیقه شکل ۴۱
۴۳. شکل ۱۶-۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱ mg ۱۰/۰ نانوکامپوزیت Ag/RGO طی زمانهای مختلف تخریب از ۵ تا ۸۰ دقیقه شکل ۴۳
۴۴. شکل ۱۷-۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمینبی با غلظت ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱ mg ۳۰/۰ نانوکامپوزیت Ag/RGO طی زمانهای مختلف تخریب از ۵ تا ۸۰ دقیقه شکل ۴۳
۴۵. شکل ۱۸-۳: نمودار درصد تخریب رنگ ردآمینبی بر حسب مقادیر مختلف نانوکامپوزیت Ag/RGO در مدت زمان ۴۵ دقیقه شکل ۴۴
۴۶. شکل ۱۹-۳: نمودار تغییرات درصد حذف بر حسب pHهای مختلف در مدت زمان ۴۵ دقیقه شکل ۴۶
۴۷. شکل ۲۰-۳: نمودار تغییرات $\text{Log}A_0/A$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۵ دقیقه در شرایط بهینه شکل ۴۸
۴۸. شکل ۲۱-۳: نمودار تغییرات $1/A - 1/A_0$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۵ دقیقه در شرایط بهینه شکل ۴۹

۴۹. شکل ۳-۲۲: نمودار تغییرات $\text{Log}A_0/A$ بر حسب زمان تخریب تا ۲۷۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۱
۵۰. شکل ۳-۲۳: نمودار تغییرات $1/A - 1/A_0$ بر حسب زمان تخریب تا ۲۷۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۲
۵۱. شکل ۳-۲۴: نمودار تغییرات $\text{Log}A_0/A$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۴
۵۲. شکل ۳-۲۵: نمودار تغییرات $1/A - 1/A_0$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۵
۵۳. شکل ۳-۲۶: نمودار تغییرات $\text{Log}A_0/A$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۶
۵۴. شکل ۳-۲۷: نمودار تغییرات $1/A - 1/A_0$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۷
۵۵. شکل ۳-۲۸: نمودار تغییرات $\text{Log}A_0/A$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۵۹
۵۶. شکل ۳-۲۹: نمودار تغییرات $1/A - 1/A_0$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۶۰
۵۷. شکل ۳-۳۰: نمودار تغییرات $\text{Log}A_0/A$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه ۶۱
۵۸. شکل ۳-۳۱: نمودار تغییرات $1/A - 1/A_0$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمینی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلیگرم نانوکامپوزیت Ag/RGO ۶۲

فصل ۱ : مقدمه و تئوری

۱-۱ فناوری نانو

پیدایش فناوری نانو^۱ تحول عظیمی را در بسیاری از عرصه‌های علمی و فناوری ایجاد کرده و به سرعت در حال پیشرفت و گسترش است. فناوری نانو، علم طراحی، ساخت و کاربرد نانوساختارها یا نانومواد و بررسی ارتباط خواص مختلف مواد با ابعاد نانومتری آنها است. از نگاه واژه شناسی، نانومتر یک واحد متریک برای اندازه‌گیری طول و به معنای یک میلیاردم (10^{-9}) است. در این محدوده اندازه، کلیه خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی ذرات، نسبت به اتم / مولکول‌های فردی و بخش عمده آنها تغییر اساسی می‌کند [۱].

یکی از شاخه‌های فناوری نانو، نانوشیمی است که تلفیقی از علم شیمی و فناوری نانو می‌باشد. اصطلاح شیمی سبز، عبارت است از طراحی، توسعه و به کارگیری فرآیندها و محصولات برای کاهش یا حذف موادی که برای انسان یا محیط زیست خطرناک هستند [۲]. شیمی سبز دارای اصولی است که عبارتند از: پیشگیری از تولید فرآورده‌های بیهوده، پرهیز از مشتق‌های شیمیایی، طراحی فرآیند با شرایط مناسب‌تر برای محیط زیست، استفاده از حلال‌های بی‌خطر، بهره‌گیری از کاتالیزور، طراحی مواد و فرآورده‌های شیمیایی پاک، طراحی برای تخریب پذیر بودن محصولات و افزایش بازده انرژی. بطور کلی استفاده از شیمی سبز با کاهش هزینه‌ها همراه است و پیامدهای منفی بر محیط زیست را به حداقل می‌رساند [۳].

از مهم‌ترین کاربردهایی که فناوری نانو دارد می‌توان به تصفیه آب، بسته بندی غذا، تهیه وسایل پزشکی، الکترونیک، نساجی، مواد آرایشی، حسگرهای زیستی و اجزایی برای آلودگی زدایی محیط اشاره نمود. امروزه استفاده از این فناوری در حوزه زیستی، باعث صرفه‌جویی فوق‌العاده در مصرف هزینه، انرژی و پیشگیری از آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردد. بنابراین، با توجه به پیشرفت روزافزون فناوری نانو در زمینه‌های مختلف، نیاز به تحقیقات در زمینه سنتز مواد با ابعاد نانو به طور چشمگیری افزایش

¹ Nanotechnology

یافته است [۴].

۱-۲ نانوذرات

اصطلاح نانوذرات جهت توصیف ذراتی که حداقل یکی از ابعاد آن در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد، بکار می‌رود. با کاهش ابعاد و رسیدن به مقیاس نانو، بسیاری از خواص فیزیکی نظیر دمای ذوب، دمای جوش، رفتار مغناطیسی و خواص شیمیایی نظیر فعالیت کاتالیزوری و هدایت حرارتی نانومواد دستخوش تغییر می‌شوند. این نانوذرات در شکل‌ها و مورفولوژی‌های گوناگون از قبیل کروی، استوانه‌ای، صفحه‌ای، لوله‌ای و میله‌ای یافت می‌شوند که براساس یک طبقه بندی کلی می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:

نانوذرات آلی: نانوذرات آلی عمدتاً از اتم‌های کربن تشکیل شده است نظیر نانولوله‌های کربنی تک جداره و چند جداره، گرافن، گرافن اکسید و گرافن اکسید کاهش یافته.

نانوذرات معدنی: این دسته از نانوذرات شامل نانوذرات مغناطیسی، نانوذرات فلزی (نظیر طلا و نقره) و نانوذرات نیمه هادی (نظیر تیتانیوم اکسید و اکسید روی) می‌باشند [۵].

نانوذرات فلزی نیز مانند سایر مواد در نانومقیاس از ویژگی‌های منحصر به فردی در مقایسه با فلزات توده‌ای برخوردار هستند که چگونگی این خواص به اندازه ذرات بستگی دارد. بنابراین هرچه ذره کوچک‌تر باشد این وابستگی افزایش می‌یابد. خواص منحصر به فرد ذرات نانومتری به دلیل وجود مساحت سطح زیاد، گسسته شدن ترازهای انرژی، تغییر شبکه بلوری، انرژی پیوستگی بین اتمی و ساختار الکترونیکی آن‌ها می‌باشد که در ابعاد نانومتری اتفاق می‌افتد. از میان خواص بسیار متنوع نانوذرات فلزی، ویژگی‌های نوری، خواص ابر پارامغناطیسی، کاتالیزوری، ضد باکتری و الکترونیکی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند [۶ و ۷].

تاکنون تلاش‌های زیادی به منظور توسعه روش‌های گوناگون برای سنتز نانوذرات فلزی از قبیل روش‌های

شیمیایی، فیزیکی و سنتز سبز اختصاص داده شده است. از میان نانوذرات فلزی، نانوذرات نقره به جهت اهمیت‌های زیستی و کارایی بالقوه آن‌ها در پزشکی و همچنین خواص بهبود یافته و منحصر به فرد، بیش‌ترین توجه را در سال‌های اخیر داشته و هر روزه بر کاربرد آن در دنیای نانو افزوده می‌شود [۸].

۱-۳ روش‌های سنتز نانوذرات

نانوذرات را می‌توان با روش‌های مختلف مانند روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سنتز کرد. روش‌های فیزیکی و شیمیایی برای سنتز نانوذرات شامل تخلیه لیزر، پیرولیز، رسوب بخار شیمیایی^۱، سل - ژل^۲ و احیاء شیمیایی است [۹]. با این حال، بسیاری از آن‌ها گران هستند و نیاز به استفاده از مواد شیمیایی خطرناک دارند و در اکثر موارد، منجر به تولید برخی از مواد شیمیایی سمی می‌شوند که علاوه بر اینکه می‌توانند خطرات زیست محیطی و بیولوژیکی بالقوه داشته باشند و در صنایع دارویی، پزشکی و لوازم آرایشی غیرقابل پذیرش هستند و همچنین نیاز به مقدار زیادی انرژی دارند. بنابراین، برای تهیه نانوذرات، روش سنتز سازگار با محیط زیست و اقتصادی مورد نیاز است.

اخیرا تلاش‌های زیادی به منظور ترویج روش‌های سنتز سبز با استفاده از واکنش‌گرها یا عوامل طبیعی نظیر میکروارگانیسم‌ها و گیاهان برای تهیه نانوذرات فلزی صورت گرفته است. روش‌های شیمی سبز نه تنها به دلیل انتخاب مواد شیمیایی غیرسمی، خطرپذیری برای انسان، هوا و در مجموع اکوسیستم را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهد، بلکه از مزایایی چون مقرون به صرفه بودن، عدم نیاز به دما، انرژی و فشار بالا برخوردار است و همچنین می‌توان برای سنتز انواع مختلف نانوذرات فلزی از این تکنیک استفاده کرد. از روش‌های سنتز سبز می‌توان برای تولید مقادیر زیادی نانوذرات که عاری از آلودگی هستند و اندازه و مورفولوژی مشخصی دارند، استفاده کرد [۱۰ و ۱۱].

چندین مسیر برای سنتز بیولوژیکی نانوذرات از نمک‌های فلزات مربوطه وجود دارد. از میکروارگانیسم‌ها،

¹ Chemical vapor deposition

² Sol-gel

بافت گیاهان و میوه‌ها، عصاره‌های گیاهی و جلبک‌های دریایی برای تولید نانوذرات استفاده شده است. روش‌های سنتز به واسطه‌ی میکروارگانیزم‌ها به دلیل شرایط سخت نگهداری و نیاز شدید به محیط کاملاً استریل و ضدعفونی شده، قابلیت صنعتی شدن را ندارند. افزون بر این، قارچ‌ها و باکتری‌ها جهت کاهش یون‌های فلز، نیاز به زمان نسبتاً طولانی دارند (۲۴ الی ۱۲۴ ساعت)، در صورتی که ترکیبات شیمیایی گیاهان که محلول در آب می‌باشند، در مدت زمان بسیار کمتری این واکنش را انجام می‌دهند و همچنین نیاز به تمرکز، برای از بین بردن آلودگی مانند میکروب‌ها ندارند [۱۲ و ۱۳]. مزیت‌های اصلی استفاده از عصاره‌های گیاهی برای تولید نانوذرات، دسترسی آسان، در اغلب موارد غیر سمی بودن مواد شیمیایی موجود در عصاره گیاهان و دارا بودن طیف وسیعی از مولکول‌های زیستی که در کاهش یون‌های فلزی نقش اساسی دارند، می‌باشد. گیاهان، مولکول‌های زیستی متفاوتی دارند که می‌توانند در کاهش یون‌های نقره کمک کنند و سریع‌تر از روش بکارگیری میکروب‌ها تهیه شوند. منبع عصاره گیاه بر خصوصیات نانوذرات تأثیر می‌گذارد [۱].

بیوسنتز نانوذرات با استفاده از عصاره‌های گیاهی قبلاً در گیاهان مختلفی از قبیل برگ خرمالو، دارچین، پوست موز، لیمو، آلوئه ورا و برگ توت گزارش شده است [۱۴]. همچنین از عصاره گونه‌های مختلفی نظیر چای سیاه، گل رز، برگ نعناع، آفتابگردان و ذرت به منظور تهیه نانوذرات نقره استفاده شده است [۱۵]. عصاره‌های گیاهان مختلف، حاوی غلظت‌ها و ترکیب‌های مختلفی از مواد کاهش دهنده آلی هستند. به دلیل پتانسیل زیاد گیاهان به عنوان عامل کاهش دهنده تولید نانوذرات با شکل‌های مختلف، مورد توجه قرار گرفته‌اند. بنابراین، عصاره گیاهان مناسب‌ترین گزینه برای سنتز سبز نانوذرات در مقیاس وسیع می‌باشند [۱۴].

۴-۱ سنتز سبز نانوذرات نقره توسط عصاره گیاهان

در سنتز نانوذرات با استفاده از عصاره گیاهان، عصاره به آسانی با محلولی از نمک فلزی در دمای اتاق

مخلوط گردیده و واکنش در مدت زمان کوتاهی کامل می‌شود که ماهیت و غلظت عصاره گیاهی، غلظت محلول نمک فلزی و دما بر سرعت تشکیل نانوذرات تاثیر می‌گذارند.

احیاء و تثبیت یون‌های فلزی از طریق مولکول‌های زیستی موجود در عصاره گیاهان نظیر پروتئین‌ها، آمینواسیدها، آنزیم‌ها، پلی‌ساکاریدها^۱، آلکالوئیدها^۲، پلی‌فنول‌ها^۳، ساپونین‌ها^۴، ترپنوئیدها^۵، فلاون‌ها^۶، اسیدهای کربوکسیلیک و ویتامین‌ها که دارای ساختارهای پیچیده‌ی شیمیایی و ارزش‌های دارویی و زیست محیطی بسیاری هستند، انجام می‌پذیرد [۱۶].

کنترل اندازه و مورفولوژی نانوذرات به دست آمده تا حد زیادی به برهم‌کنش بین مولکول‌های زیستی موجود در عصاره گیاه و اتم‌های فلزی بستگی دارد. این نکته حائز اهمیت است که نوع عصاره گیاهی مورد استفاده، خواص نانوذرات را به طور چشمگیری تحت تاثیر قرار می‌دهد چرا که عصاره گیاهان گوناگون حاوی ترکیبات و غلظت‌های مختلفی از عوامل کاهنده آلی می‌باشند [۱۷].

۱-۵ عصاره گیاهان

عصاره به فرآورده‌های حاصل از استخراج مواد گیاهی به وسیله حلال‌های مناسب گفته می‌شود. برای تهیه عصاره از بخش‌های مختلف گیاهان مانند ریشه، برگ، ساقه، دانه و میوه استفاده می‌شود. حلال‌هایی نظیر متانول، اتانول، دی اتیل اتر، کلروفرم و آب برای استخراج اجزای گیاه، به منظور سنتز نانوذرات استفاده می‌شود. با توجه به سازگاری بیشتر حلال نسبت به محیط زیست و همچنین کم هزینه بودن آن، حلال آب ترجیح داده می‌شود [۱۳].

¹ Poly saccharide

² Alkaloids

³ Phenolics

⁴ Saponins

⁵ Terpenoids

⁶ Flavans

۱-۶ روش‌های عصاره‌گیری

چندین روش برای عصاره‌گیری اندام‌های گیاهی وجود دارند که عبارتند از:

۱-۶-۱ روش خیساندن

روش خیساندن^۱ شامل سه مرحله است: ۱- آسیاب کردن گیاه مورد نظر به منظور افزایش سطح تماس با حلال ۲- خیساندن با حلال مناسب در مدت زمان مشخص ۳- صاف کردن مخلوط عصاره و گیاه. در این روش گیاه پودر شده را در ظرفی که از جنس مناسب (شیشه، استیل و چینی) باشد قرار داده و حلال مناسب را به آن اضافه می‌کنند. برای جلوگیری از تغییرات شیمیایی در اثر تابش نور، عمل عصاره‌گیری در مکانی که از تابش نور خورشید محفوظ باشد، انجام می‌شود. فرآیند عصاره‌گیری را با تکان دادن مکرر طی چند روز در دمای اتاق ادامه داده و با برقراری تعادل غلظت مواد موجود در حلال و بافت گیاهی، عصاره‌گیری به اتمام رسیده و عصاره حاصل صاف می‌گردد. از مزایای روش خیساندن این است که بدون به کار بردن دستگاه‌های پیچیده و در یک محیط کار محدود قابل انجام و همچنین روشی ارزان است. اما این روش به زمان طولانی و حجم زیادی از حلال نیاز دارد.

۱-۶-۲ روش پرکولاسیون

در روش پرکولاسیون^۲ از دستگاه پرکولاتور که اغلب به صورت استوانه‌ای یا قیفی است، استفاده می‌گردد. در انتهای این ظرف یک شیر مناسب تعبیه شده است که به وسیله‌ی آن می‌توان سرعت خروج عصاره تهیه شده را تنظیم نمود. جهت انجام عصاره‌گیری، گیاه پودر شده را با مقداری از حلال مورد نظر مرطوب نموده و چند ساعت در آن قرار می‌دهند. این عمل، از خشک شدن محتویات گیاهی داخل پرکولاتور جلوگیری می‌نماید. گیاه مرطوب شده را از طریق غربال‌های مخصوص، داخل پرکولاتور

¹ Soaking method

² Percolation

عبور می‌دهند. سپس بقیه حلال را بر روی توده گیاهی اضافه کرده به‌طوری که حلال به طور یکنواخت در کل توده گیاهی نفوذ کند. طی زمان ۲۴ الی ۴۸ ساعت عمل پرکولاسیون، در حالی که حلال به طور کامل روی توده گیاهی را پوشانده باشد، انجام می‌شود. بعد از این مدت، ضمن ورود مرتب حلال از بالا عصاره قطره قطره از پرکولاتور خارج می‌شود.

۱-۶-۳ روش سوکسله

برای عصاره‌گیری در این روش، از دستگاه سوکسله استفاده می‌شود. ابتدا گیاه مورد نظر درون یک محفظه یا بالن تقطیر ریخته شده و به آن حلال اضافه می‌گردد. سپس تا نقطه جوش حلال، حرارت داده می‌شود. در ادامه با تبخیر مرتب حلال از بالن تحتانی، به طور مداوم حلال خالص بر روی ماده گیاهی قرار گرفته و موجب خروج کامل مواد موثر از درون سلول‌های گیاهی می‌گردد. با این دستگاه فقط می‌توان از حلال‌های خالص فرار و یا مخلوطی از حلال‌هایی که دارای نقطه جوش پایینی هستند، استفاده نمود. از این روش به طور کلی برای تهیه عصاره‌ها در مقیاس آزمایشگاهی استفاده می‌گردد. شایان ذکر است که دماهای بالا و مدت زمان طولانی، منجر به تخریب برخی ترکیبات حساس به حرارت در عصاره می‌گردد. از این رو کنترل زمان و دما در فرآیند تقطیر بسیار حائز اهمیت است [۱۸ و ۱۹].

۱-۶-۴ روش دم‌کردن

در این روش، گیاه خشک شده را پودر و به حجم معینی از حلال اضافه می‌کنند و در دما و زمان مشخصی حرارت می‌دهند و سپس محلول را با کاغذ واتمن صاف می‌کنند. از محلول زیر صافی به عنوان عصاره استفاده و تا زمان انجام آزمایش در یخچال نگهداری می‌شود.

۱-۷ عناب

نام علمی عناب *Ziziphus zizyphus* و نام انگلیسی آن *Jujube fruit* می‌باشد. این میوه دارای خاصیت اسیدی است. تمام قسمت‌ها و عصاره‌های آن فعالیت دارویی قابل توجهی نشان داده‌اند که به طور سنتی برای درمان بیماری‌های مختلف به عنوان یک ضد باکتری و ضد قارچ کاربرد دارد. این گونه گیاهی حاوی کلسیم، پتاسیم، فسفات و غلظت بالای آهن و ویتامین‌های A، B و C می‌باشد. همچنین شامل گروه‌های مختلفی از جمله ترکیبات فنولی، ساپونین‌ها، آلکالوئیدها، ترپنوئیدها، اسیدهای آمینه و پلی‌ساکاریدها می‌باشد. انواع مختلف ترکیبات فنولی نظیر فلاونوئیدها، اسیدهای فنولی و روتین^۱ در میوه عناب یافت می‌شوند. ترکیبات موجود در میوه عناب باعث شده که به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی کاربرد داشته باشد و در کاهش یون‌های فلزی بتوان از آن استفاده کرد [۲۰ - ۲۲].

۱-۸ نانوذرات نقره

نقره عنصری دارای عدد اتمی ۴۷ از عناصر گروه واسطه می‌باشد. نانوذرات نقره توسط یک عامل کاهنده از نمک نقره تهیه می‌شوند. نانوذرات نقره عمدتاً به علت خواص فیزیکی، شیمیایی و الکترونیکی منحصر به فردی که دارا می‌باشند در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از مهم‌ترین کاربردهای نانوذرات نقره فعالیت کاتالیزوری و فتوکاتالیزوری آن‌ها می‌باشد. مساحت سطح زیاد، سبب عملکرد کاتالیزوری نانوذرات نقره شده است. نانوذرات نقره در فرآیندهای کاهش ترکیبات نیترو، تخریب رنگ‌های آلی و تصفیه‌ی آب کاربرد دارند [۱۰].

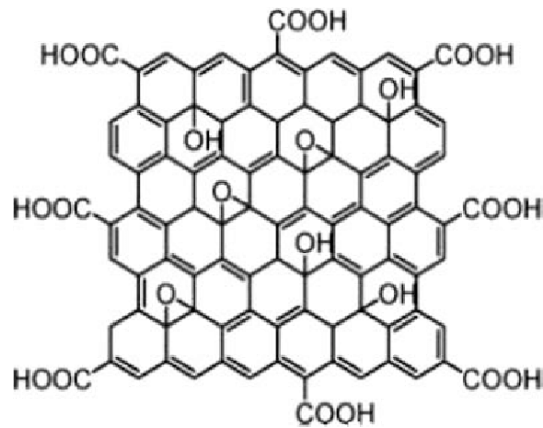
علاوه بر این، نانوذرات نقره دارای خواص ضد میکروبی و ضد باکتری می‌باشند. نقره در حالت توده‌ای فعالیت ضد میکروبی کمتری دارد در حالی که نانوذرات نقره فعالیت ضد میکروبی قابل مقایسه‌ای نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها در مقابل برخی از گونه‌های باکتریایی از خود نشان می‌دهند. از جمله کاربردهای ضد

¹ Rutin

میکروبی نانوذرات نقره می‌توان به کاربرد آن در لوازم آرایشی، ظروف پلاستیکی و تجهیزات بهداشتی اشاره کرد. همچنین ابعاد نانوذرات نقره به همراه خواص الکتریکی و نوری آن‌ها باعث شده است که در زمینه الکترونیک و در ذخیره سازی نوری اطلاعات، کاربرد داشته باشند [۲۳ و ۲۴].

۹-۱ نانوذرات گرافن اکسید

گرافن، یک صفحه تک لایه‌ای از اتم‌های کربن با هیبرید sp^2 می‌باشد که درون یک شبکه لانه زنبوری دو بعدی فشرده شده است. خواص فوق العاده گرافن نظیر خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی و مساحت سطح بسیار بالای آن، زمینه‌های تحقیقاتی و کاربردی فراوانی را فراهم نموده است. گرافن اکسید یکی از مشتقات گرافن می‌باشد که دارای گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن نظیر هیدروکسیل، اپوکسید، کربوکسیل و کربونیل می‌باشد. اکسیژن موجود در این گروه‌های عاملی اجازه می‌دهد گرافن اکسید به خوبی در آب پخش شود [۲۵]. در گرافن اکسید کاهش یافته، گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن کم شده و فضای انتقال الکترون فراهم می‌گردد. بنابراین می‌تواند به عنوان انتقال دهنده الکترون عمل کند. گرافن اکسید و گرافن اکسید کاهش یافته به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود از جمله مساحت سطح بالا، خواص سطحی قابل تنظیم و پایداری شیمیایی به عنوان بستر در مطالعات کاتالیزوری استفاده می‌شوند [۱۰]. ساختار مولکولی گرافن اکسید در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: ساختار گرافن اکسید

۱-۱۰ رنگ‌های آلی

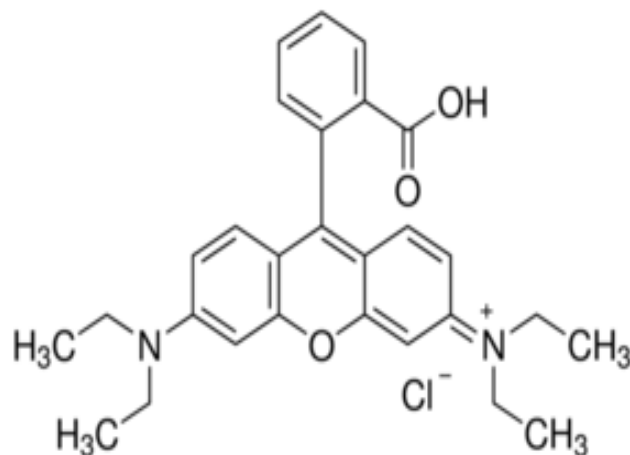
رنگ‌های آلی دارای ترکیبات آروماتیک پایدار هستند که نور با طول موج در ناحیه مرئی ۸۵۰ - ۳۵۰ نانومتر را جذب می‌کنند. یکی از بزرگترین گروه‌های رنگ‌های آلی، رنگ‌های آزو هستند. این گروه از رنگ‌ها دارای گروه عاملی (-N=N-) می‌باشند که معمولاً به اتم‌های کربن با هیبرید sp^2 متصل هستند و به دلیل ارزان بودن بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۶].

امروزه یکی از اصلی‌ترین مشکلات زیست محیطی، تولید مقادیر زیادی پساب رنگی از صنایع مختلف نظیر نساجی، لوازم آرایشی، پلاستیک، چرم، بسته بندی و کارخانه‌های تولید رنگ می‌باشد [۲۵]. تخلیه مستقیم پساب‌های رنگی به فاضلاب، در طولانی مدت به طور چشمگیری بر اکوسیستم تأثیر می‌گذارد زیرا مواد رنگ‌زا عمدتاً دارای یک سیستم آروماتیک پایدارند که غیر تخریب پذیر و جهش‌زا و برخی از آن‌ها در طبیعت بسیار سمی هستند، در نتیجه خطرات جدی را برای سلامتی انسان پدید می‌آورند و بر بهداشت محیط اثر می‌گذارند. وجود رنگ‌ها حتی در غلظت‌های کم در آب (کمتر از ۱ ppm) قابل مشاهده و نامطلوب است، زیرا می‌توانند مانع از انتقال نور خورشید شوند و فرآیند فتوسنتز را مختل کنند و در نهایت آثار نامطلوبی بر زنجیره غذایی می‌گذارند [۲۷].

ساختار ردآمین بی در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. ردآمین بی دارای فرمول مولکولی $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ می‌باشد که در نساجی و لوازم آرایشی استفاده می‌شود. ردآمین بی به خوبی در آب

حل می‌شود و از طریق پساب کارخانه‌ها وارد محیط می‌شود، که بسیار سمی است و باعث آلوده شدن محصولات کشاورزی و دامی می‌شود. همچنین از طریق پوست جذب و باعث ایجاد بیماری‌هایی از جمله سرطان می‌شود [۲۸]. بنابراین، تصفیه پساب‌های رنگی قبل از ورود آن‌ها به محیط زیست امری ضروری می‌باشد.

برای از بین بردن آلاینده‌های رنگی از پساب، تکنیک‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به روش‌هایی نظیر انعقاد، لخته سازی، اکسیداسیون، جذب و نانو فیلتراسیون اشاره کرد. این روش‌ها گران هستند و در طی فرآیند تصفیه، پسماندهای زیادی ایجاد می‌کنند که کاربرد آن‌ها در تصفیه پساب را محدود می‌کند [۲۹]. یکی دیگر از روش‌های تصفیه پساب، روش‌های بیولوژیکی هستند. اگر چه مقرون به صرفه‌اند اما برای از بین بردن بسیاری از رنگ‌ها کند، عمل می‌کنند و نمی‌توانند برخی از رنگ‌ها را به طور کامل تخریب کنند. بنابراین بسیاری از مطالعات به سمت یک فرآیند تصفیه کارآمد هدایت می‌شوند، که تکنیک‌های کاتالیزوری و فوتوکاتالیزوری با استفاده از نانوذرات در این زمینه توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. استفاده از یک نانو فوتوکاتالیزور مناسب در حذف آلودگی‌ها بسیار پر بازده، کم هزینه و کوتاه مدت می‌باشد.



شکل ۱-۲: فرمول ساختاری ردآمین بی

۱-۱۱ فرآیند کاتالیزوری

کاتالیزورها با کاهش انرژی فعالسازی واکنش، سرعت واکنش را افزایش می‌دهند. کاتالیزورها با توجه به فازی که واکنش‌ها در آن‌ها انجام می‌شوند به سه دسته همگن^۱، ناهمگن^۲ و آنزیمی تقسیم می‌شوند. در کاتالیزورهای همگن، کاتالیزور و واکنش‌گر دارای فاز یکسان هستند که معمولاً در فاز مایع استفاده می‌شوند. از مزایای این کاتالیزورها، گزینش پذیری، بازده خوب و قابل دسترس بودن تمام مکان‌های فعال کاتالیزور می‌باشد. از معایب این کاتالیزورها، می‌توان به جداسازی دشوار آن‌ها از مخلوط واکنش اشاره کرد و همچنین این کاتالیزورها قابلیت بازیابی مجدد را ندارند [۳۰].

کاتالیزورهایی که با واکنش‌گر در فاز مختلف باشند، کاتالیزورهای ناهمگن نام دارند. این کاتالیزورها، به دلیل ناهم‌فاز بودن با مخلوط واکنش، به آسانی جدا می‌شوند و امکان استفاده مجدد از این کاتالیزورها وجود دارد [۳۱]. از آنجا که واکنش‌های کاتالیزوری در سطح کاتالیزور انجام می‌شوند و این کاتالیزورها، سطح فعال کمی دارند در نتیجه بازده کمتری نسبت به کاتالیزورهای همگن دارند. فناوری نانو با ایجاد نانو کاتالیزورها، توانسته معایب ناشی از این کاتالیزورها را برطرف کند. کاتالیزورها با کوچک شدن ابعاد آن‌ها در حد نانو، سطح تماس آن‌ها افزایش یافته است. بنابراین می‌توانند بازده بالاتری نسبت به کاتالیزورهای ناهمگن داشته باشند [۳۲].

۱-۱۲ فرآیند فتوکاتالیزوری

در این فرآیند، فتوکاتالیزور انرژی تابشی برابر یا بالاتر از اختلاف انرژی نوارها را جذب می‌کند که منجر به برانگیخته شدن الکترون (e^-) از نوار ظرفیت^۳ (VB) به نوار هدایت^۴ (CB) می‌شود. برانگیختگی الکترون‌ها منجر به ایجاد حفره‌هایی (h^+) در تراز ظرفیت می‌شود. جفت‌های الکترون - حفره، بسته به

¹ Homogeneous

² Hetrogeneous

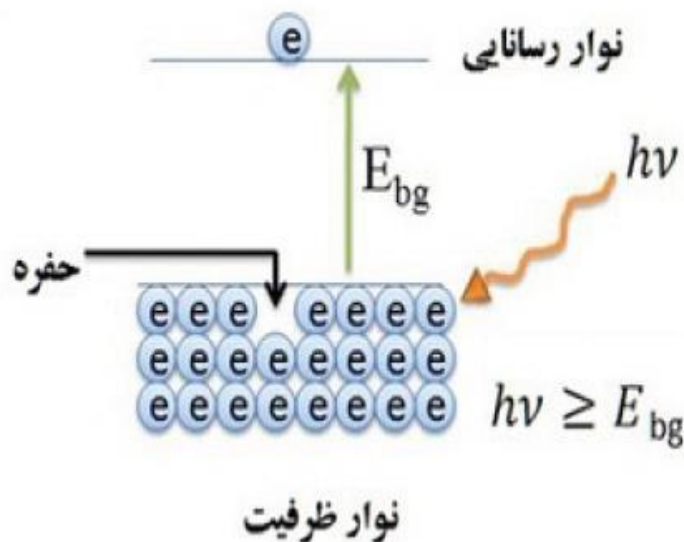
³ Valence band

⁴ Conduction band

شرایط واکنش و ساختارهای مولکولی فتوکاتالیزورها ممکن است در مدت زمان کوتاهی با هم مجدداً ترکیب شوند و یا در واکنش‌های شیمیایی شرکت کنند.

در مرحله بعد، حفره‌های ایجاد شده با آب برای تولید رادیکال‌های بسیار فعال هیدروکسیل (OH^0) واکنش می‌دهند. OH رادیکالی که تا حد زیادی ناپایدار است، طی یک اکسیداسیون قوی الکترون را از نزدیک‌ترین ترکیب آلی همسایه دریافت می‌کند تا به پایداری بیشتری برسد. با این روش ترکیبات آلی با از دست دادن الکترون و در نهایت تبدیل شدن به دی‌اکسید کربن و آب تخریب می‌شوند. همچنین الکترون‌های برانگیخته شده با اکسیژن واکنش داده و آنیون سوپراکسید ایجاد می‌کنند. سوپراکسید تقریباً به اندازه حفرات و رادیکال‌های هیدروکسیل در واکنش‌های زنجیره‌ای برای شکستن و تجزیه ترکیبات آلی موثر است. بنابراین رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید در واکنش‌های مورد نظر جهت کاربردهای فتوکاتالیزوری نقش اصلی را ایفا می‌کنند. این رادیکال‌ها توانایی اکسندگی مناسبی دارند و می‌توانند با سازوکارهای مختلفی با ترکیب‌های آلی از جمله گروه‌های آروماتیک، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، فلزات چند ظرفیتی، رنگ‌های آلی و حتی باکتری‌ها واکنش دهند. مهم‌ترین خاصیت یک فتوکاتالیزور سطح فعال آن است که واکنش در آن اتفاق می‌افتد. با کاهش اندازه ذرات، سطح فعال فتوکاتالیزور افزایش می‌یابد بطوری که منجر به افزایش راندمان واکنش می‌شود [۳۳].

از نانوذرات در فرآیندهای فتوکاتالیزوری و تخریب رنگ‌ها استفاده می‌شود. به عنوان مثال از نانوذرات اکسید قلع و نانوذرات TiO_2 به منظور تخریب رنگ کنگورد استفاده شده است [۳۴ و ۳۵]. نانوذرات فلزی با جذب انرژی تابشی، الکترون آن‌ها از نوار ظرفیت به نوار هدایت برانگیخته می‌شود و جفت الکترون-حفره را تولید می‌کند. بنابراین نانوذرات فلزی در تخریب رنگ‌های آلی کاربرد دارند.



شکل ۱-۳: شماتیک برانگیختگی الکترونی در فتوکاتالیزور

۱-۱۳ مروری بر پژوهش‌های انجام شده

سنوگ^۱ و همکارش در سال ۲۰۰۹ نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره برگ گیاهان کاج و خرمالو بررسی کردند. اندازه متوسط نانوذرات بین ۱۵ تا ۵۰۰ نانومتر بود. اندازه ذرات را می‌توان با تغییر دمای واکنش، غلظت عصاره گیاهان و غلظت محلول $AgNO_3$ کنترل کرد [۳۶].

احمد^۲ و همکارش در سال ۲۰۱۲ از طریق تکنولوژی سبز با استفاده از عصاره لیمو و گوجه فرنگی، نانوذرات نقره و طلا را تهیه کردند. عصاره لیمو و گوجه فرنگی هر دو محلول‌های اسیدی هستند که حاوی اسید سیتریک می‌باشند. اسیدهای موجود در عصاره در کاهش محلول‌های نمک از طلا و نقره موثر است [۳۷].

فیلیپ^۳ و همکارش در سال ۲۰۱۳ نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره گل ساراکای هندی^۴ تهیه و

¹ Snog

² Ahmed

³ Philip

⁴ Indica Saraca

خصوصیات کاتالیزوری نانوذرات را مورد مطالعه قرار دادند. فعالیت کاتالیزوری نانوذرات نقره در کاهش رنگ متیلن بلو توسط سدیم بورو هیدرید مورد بررسی قرار گرفت. متیلن بلو توسط سدیم بورو هیدرید بدون حضور نانوکاتالیزور طی ۲۰ دقیقه تخریب شد ولی در حضور نانوذرات نقره تهیه شده بعد از ۸ دقیقه به طور کامل تخریب گردید [۳۸].

ونگ^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با استفاده از عصاره چای سبز، نانوذرات آهن را تهیه کردند و آن را در تخریب مالاکیت به کار گرفتند. بیشترین درصد حذف مالاکیت با غلظت ۵۰ ppm توسط نانوذرات تهیه شده، ۹۶ درصد بود. مطالعات سینتیکی نشان داد که حذف مالاکیت متناسب با حالت شبه مرتبه اول بود [۳۹].

لی^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به روش شیمیایی، نانوکامپوزیت Ag/GO را سنتز کردند و از آن در فرایند احیای کاتالیزوری ۴-نیترو فنول و تبدیل آن به ۴-آمینو فنول در حضور کاهنده NaBH_4 استفاده کردند [۴۰].

سینگ^۳ و همکارش در سال ۲۰۱۶ نانوذرات نقره را به روش سبز تهیه و فعالیت کاتالیزوری آن‌ها را در تخریب رنگ‌ها بررسی کردند. در این تحقیق، نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره برگ‌های فاخره^۴ تهیه و به عنوان فتوکاتالیزور در تخریب رنگ‌های خطرناک از جمله متیل اورانژ، متیل رد و متیلن بلو استفاده شد. این رنگ‌ها در حضور نانوذرات تهیه شده طی ۲۴ ساعت به طور کامل تخریب شدند [۴۱].

المایک^۵ و همکارانش در سال ۲۰۱۶ نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره گل ماهور اروپایی^۶ به عنوان عامل کاهش دهنده و پایدار کننده، سنتز کردند. از نانوذرات تهیه شده در تخریب فتوکاتالیزوری نیتروبنزن استفاده شد. درصد تخریب نیتروبنزن با غلظت‌های ۱۲۰ و ۱۲۰۰ ppm در زمان‌های ۲۰ و

¹ Weng

² Li

³ Singh

⁴ Zanthoxylum armatum

⁵ Elemike

⁶ Verbascum Thapsus

۴۸ ساعت، به ترتیب ۷۹/۵ و ۸۷/۵ درصد بود [۴۲].

خان^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۶ با استفاده از عصاره چای ترش^۲ نانوذرات نقره را با اندازه متوسط ۹/۷۱ نانومتر تهیه کردند. از نانوذرات تهیه شده در فرآیند فتوکاتالیزوری استفاده شد. محلول آبی رنگ‌های ردآمین بی و متیلن بلو با غلظت ۱۰ ppm در حضور سدیم بوروهیدرید توسط نانوذرات تهیه شده، بعد از ۸ دقیقه به طور کامل بی‌رنگ شد. بررسی سینتیک واکنش نشان داد که تخریب رنگ‌ها از سینتیک مرتبه اول پیروی می‌کند [۴۳].

نصرالله زاده و همکارانش در سال ۲۰۱۶ با استفاده از عصاره میوه زرشک نانوذرات Pd را بر روی سطح GO نشاندهند و از آن در فرآیند احیای کاتالیزوری ۴-نیترو فنول و تبدیل آن به ۴-آمینو فنول در حضور کاهنده NaBH_۴ استفاده کردند [۴۴].

هلوانی^۳ در سال ۲۰۱۷ نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره برگ کنار تهیه کرد. نانوذرات تهیه شده فعالیت ضد باکتری نسبت به باکتری استافیلوکوکوس اورئوس^۴ نشان دادند [۱۳].

بهراون و همکارانش در سال ۲۰۱۸ نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره برگ و ریشه زرشک سنتز کردند. نتایج نشان داد که نانوذرات نقره دارای شکل کروی و اندازه ۳۰ تا ۷۰ نانومتر بود. این نانوذرات دارای خواص ضد باکتری علیه باکتری اش‌ریشیا کلی^۵ می‌باشند [۱].

راج^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۸ نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره برگ گل بابونه^۷ تهیه کردند. نانوذرات تهیه شده، عمدتاً کروی و اندازه متوسط آن‌ها در محدوده ۱۵ تا ۲۰ نانومتر محاسبه شد [۹].

الجبالی^۸ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ با استفاده از عصاره برگ عناب نانوذرات طلا را تهیه کردند. اندازه نانوذرات طلا تهیه شده، حدود ۳۰ نانومتر بود. عصاره گیاهی حاوی بیومولکول‌هایی شامل پلی‌فنول‌ها،

¹ Khan

² *Diplazium esculentum* (retz)

³ Halawani

⁴ *Staphylococcus aureus*

⁵ *Escherichia coli*

⁶ Raj

⁷ *Enicostemma axillare*

⁸ Aljabali

فلانوئیدها، آلکانوئیدها، ترکیبات الکلی، ساپونین‌ها، پلی‌ساکاریدها و آنزیم‌ها می‌باشد که می‌تواند به عنوان کاهش دهنده یون‌های فلزی منجر به تشکیل نانوذرات فلزی شود و مقاومت شدیدی نسبت به تجمع نانوذرات شکل گرفته، ایجاد می‌کند. نانوذرات معدنی از جمله نانوذرات طلا می‌توانند با میکروارگانسیم‌ها واکنش و در نتیجه فعالیت ضد باکتری و ضد قارچی را نشان دهند [۴۵].

آریا^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۹ نانوذرات نقره را از طریق سنتز سبز با استفاده از جلبک بوتریکوکوس براونیای^۲ تهیه کردند و رفتار کاتالیزوری آن را برای کاهش ۲- نیتروآنیلین بررسی کردند. عصاره آبی این جلبک سبز می‌تواند یون‌های نقره را به نانوذرات نقره کاهش دهد. اندازه نانوذرات تهیه شده، ۲ تا ۱۰۰ نانومتر بود. نانوذرات نقره منجر به کاهش ۲- نیتروآنیلین و تبدیل به ۲- آریل بنزایمیدازول گردید [۴۶].

ویسی و همکارانش در سال ۲۰۱۹ نانوذرات نقره را با استفاده از عصاره برگ پسته کوهی بر روی سطح گرافن اکسید تهیه و فعالیت ضد باکتریایی آن را بررسی کردند. نانوذرات تهیه شده فعالیت ضد باکتری علیه باکتری باسیلوس سابتلیس^۳ و استافیلوکوکوس ساپروفیتیکوس^۴ دارند [۱۰].

در سال‌های اخیر سنتز سبز نانوذرات فلزی با استفاده از عصاره گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. در این پروژه نانوکامپوزیت Ag/RGO به روش سبز، از واکنش مخلوط نمک نترات نقره و گرافن اکسید با استفاده از عصاره میوه عناب تهیه شد و فعالیت فتوکاتالیزوری آن، در کاهش رنگ ردآمین بی بررسی شد. عوامل موثر در فرآیند فتوکاتالیزوری نظیر غلظت رنگ ردآمین بی، مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO و PH محلول مورد مطالعه قرار گرفت.

¹ Arya

² *Botryococcus braunii*

³ *Bacillus subtilis*

⁴ *Staphylococcus saprophyticus*

فصل ۲ : بخش تجربی

۱-۲ دستگاه‌ها و مواد مورد استفاده

۱-۱-۲ دستگاه‌ها

طیف‌های الکترونی توسط دستگاه طیف سنج مرئی – ماوراء بنفش شیمادزو مدل Unico S-2150 UV ثبت شده است. طیف‌های مادون قرمز با استفاده از دستگاه طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز مدل WQF-510A FT-IR از شرکت Rayleigh ساخت کشور چین، ثبت شد. الگوی پراش پرتو اشعه ایکس نمونه‌های پودری توسط دستگاه D8 – Bruker با لامپ مس ثبت شد. جهت بررسی اندازه و مورفولوژی سطوح نانوکامپوزیت، از میکروسکوپ الکترونی روبشی محصول شرکت Zeiss آلمان استفاده شد. همچنین طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس به منظور بررسی خصوصیات شیمیایی نمونه و تعیین درصد عناصر آن، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی به کار برده شد. طیف‌های رامان توسط دستگاه طیف سنج رامان مدل uRaman-532-Ci محصول شرکت Avantes با طول موج ۵۳۲ نانومتر ثبت شد. اندازه گیری pH محلول‌ها با استفاده از pH متر محصول شرکت Metrohm مدل ۷۴۴ انجام شد. به منظور جدا کردن ذرات سوسپانسیونی موجود در محلول، از سانتریفیوژ شرکت hastaran teb استفاده شد. جهت گرم کردن و هم‌زدن محلول، از همزن مغناطیسی شرکت هیدولف مدل MR Hei- Standard ساخت کشور آلمان استفاده شد. حمام بن ماری مورد استفاده از شرکت شیماز بود. به منظور خشک کردن نانوذرات از آون مدل BM 55 E و آون خلا ساخت شرکت فن‌آزما گستر استفاده شد. برای اندازه گیری مواد از ترازو Sartorius مدل A200s استفاده شد.

۲-۱-۲ مواد شیمیایی

مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش از نمایندگان شرکت‌های مرک و آلدریچ تهیه شده و بدون خالص سازی اضافی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مواد مورد نیاز در جدول ۱-۲ فهرست شده‌اند.

جدول ۱-۲: فهرست مواد مورد استفاده

نام	فرمول شیمیایی	درصد خلوص
نقره نیترات	AgNO ₃	۱۰۰
پتاسیم پرمنگنات	KMnO ₄	۹۹
سدیم نیترات	NaNO ₃	۹۹
پتاسیم نیترات	KNO ₃	۹۹
سدیم دودسیل سولفات (SDS)	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CH ₂ OSO ₃ Na	۱۰۰
گرافیت	C	۱۰۰
سدیم هیدروکسید	NaOH	۹۸/۵
پراکسید هیدروژن	H ₂ O ₂	۳۰
اسید سولفوریک	H ₂ SO ₄	۹۸
هیدروکلریک اسید	HCl	۳۶/۵
ردآمین بی	C ₂₈ H ₃₁ N ₂ O ₃ Cl	۱۰۰

۲-۲ روش تهیه عصاره و نانوذرات

۱-۲-۲ تهیه عصاره عناب

عصاره عناب از روش دم کردن تهیه شد. به این صورت که میوه عناب، با آب مقطر شسته و هسته‌های آن جدا و خشک شد. سپس میوه عناب با استفاده از دستگاه خردکن پودر شد. ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به ۱۰٪ گرم از پودر تهیه شده، اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام آب در دمای ۸۰ درجه

سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت با کاغذ واتمن شماره ۱ صاف شد. محلول زیر صافی به عنوان عصاره تا زمان انجام آزمایشات در یخچال نگهداری شد.

۲-۲-۲ تهیه نانوذرات نقره

۲۰ میلی لیتر از عصاره عناب به ۰/۵ گرم SDS اضافه شد. ۲۵ میلی لیتر محلول نیترات نقره ۰/۰۲ مولار به محلول عصاره و SDS، اضافه شد. سپس با افزودن سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار، pH محلول روی ۹/۰۰ تنظیم گشت. در نهایت محلول حاصل به مدت ۶ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در حمام آب قرار داده شد و رسوبات به دست آمده با سانتریفیوژ جدا شد و چهار مرتبه با آب مقطر شسته و سانتریفیوژ شدند. در نهایت در آن در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲ ساعت خشک شد [۴۳].

۳-۲-۲ تهیه گرافن اکسید

به ۲۳ میلی لیتر اسید سولفوریک، ۱/۰ گرم گرافیت و ۰/۵ گرم سدیم نیترات اضافه و به مدت یک ساعت هم‌زده شد. سپس بشر در حمام یخ قرار گرفت و ۳/۰ گرم پتاسیم پر منگنات به آن اضافه شد. محلول طی ۱۲ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد هم‌زده شد. برای رقیق شدن محلول ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. در مرحله بعد ۵ میلی لیتر پر اکسید هیدروژن ۳۰٪ به محلول اضافه شد. بعد از ۳۰ دقیقه محلول صاف و رسوب در آن خلا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک شد [۴۷].

۴-۲-۲ تهیه نانوذرات RGO

۰/۱ گرم گرافن اکسید به ۳۰ میلی لیتر آب اضافه شد و طی ۳۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. ۰/۵ گرم SDS در ۱۰ میلی لیتر آب حل و ۲۰ میلی لیتر عصاره به آن اضافه شد. محلول حاوی عصاره و SDS به محلول گرافن اکسید اضافه شد. سپس محلول نهایی، به مدت ۶ ساعت در حمام آب

در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در پایان محلول سانتریفیوژ و رسوب به دست آمده، سه مرتبه با آب مقطر شسته شد و در آن خلا در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک شد.

۵-۲-۲ تهیه نانوکامپوزیت Ag/RGO

۰/۱ گرم گرافن اکسید به ۳۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد و طی ۳۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. سپس ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۲ مولار نیترات نقره به آن اضافه شد. ۰/۵ گرم SDS در ۱۰ میلی‌لیتر آب حل و ۲۰ میلی‌لیتر عصاره به آن اضافه شد. محلول حاوی عصاره و SDS به محلول نیترات نقره و گرافن اکسید اضافه شد و با افزودن سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار، pH محلول روی ۹/۰۰ تنظیم گشت. در نهایت محلول به مدت ۶ ساعت در حمام آب در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در پایان محلول سانتریفیوژ و رسوبات به دست آمده، سه مرتبه با آب مقطر شسته و سانتریفیوژ شد و در آن خلا در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک شد.

۳-۲ تعیین نقطه ایزوالکتریک

۹ محلول پتاسیم نیترات ۰/۱ مولار با حجم ۵۰ میلی‌لیتر به ارلن منتقل شدند. سپس pH این محلول‌ها با افزودن هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار یا سدیم هیدروکسید ۰/۰۱ مولار با استفاده از pH متر در محدوده ۳/۰۰ تا ۹/۰۰ تنظیم گردید (pH₁). سپس به هر یک از محلول‌های آماده شده مقدار ۲۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت Ag/RGO افزوده شد و بعد از ۸ ساعت همزدن، pH هر یک از محلول‌ها اندازه‌گیری شد (pH₂).

pH ای که در آن تغییرات برابر با صفر باشد، به عنوان نقطه بار صفر^۱ یا نقطه ایزوالکتریک (pH_{zpc}) در نظر گرفته شد.

¹ Zero point charge

۴-۲ تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی توسط نانوذرات

ابتدا ۰/۱ گرم از ردآمین بی در بالن حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و با آب مقطر به حجم رسانده تا محلول ۱۰۰۰ ppm از ردآمین بی به دست آمد. سپس مقادیر ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷ و ۱/۰ میلی‌لیتر از محلول مادر برداشته و به حجم ۱۰۰ رسانده تا به ترتیب محلول‌هایی با غلظت‌های ۱، ۴، ۷ و ۱۰ ppm به دست آمدند.

محلول‌های ردآمین بی با غلظت معین تهیه شده و به آن مقادیر معینی از نانوذرات Ag، Ag/RGO و RGO اضافه شد و تحت تابش نور مرئی قرار گرفت. مثلاً سه محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm و حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر تهیه و روی همزن مغناطیسی قرار گرفتند و به هر یک از این محلول‌ها ۲۰/۰ میلی‌گرم از یکی از نانوذرات Ag، Ag/RGO و RGO جداگانه اضافه شد. سپس ۴ میلی‌لیتر از محلول برداشته و بعد از سانتریفیوژ به درون سل کوارتز منتقل شد. جذب آن در گستره ۳۵۰-۷۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج UV-Vis اندازه‌گیری شد. از آن جایی که ماکزیمم جذب محلول ردآمین بی در طول موج ۵۴۲ نانومتر مشاهده شده است لذا جذب محلول در این طول موج به عنوان مقیاسی از کاهش جذب یا کاهش غلظت در تخریب رنگ به کار گرفته شد.

۴-۲-۱ تاثیر غلظت ردآمین بی در فرآیند فتوکاتالیزوری

برای تعیین غلظت بهینه ردآمین بی در فرآیند فتوکاتالیزوری، محلول‌هایی با غلظت‌های ۱، ۴، ۷ و ۱۰ ppm با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر تهیه شد و با افزودن ۲۰/۰ میلی‌گرم از نانو کامپوزیت Ag/RGO زمان بی‌رنگ شدن محلول‌ها تحت تابش نور مرئی و تغییرات جذبی مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۲-۲ تاثیر مقدار نانو کامپوزیت Ag/RGO در فرآیند فتوکاتالیزوری

فرآیند تخریب رنگ محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm و حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر، با استفاده از مقادیر

متفاوتی از نانوکامپوزیت Ag/RGO انجام شد (۱۰/۰، ۲۰/۰ و ۳۰/۰ میلی گرم). زمان تخریب رنگ ردآمین بی تحت تابش نور مرئی و همچنین تغییرات جذبی مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۳-۴ تاثیر pH در فرآیند فتوکاتالیزوری

pH محلول ردآمین بی ۶/۰۰ می باشد. برای بررسی تاثیر pH در این فرآیند، ۱۰۰ میلی لیتر از محلول ردآمین بی ۱ ppm تهیه و ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO به آن اضافه شد. بلافاصله با افزودن مقدار مشخصی از اسید کلریدریک یا سدیم هیدروکسید، pH محلول در pHهای ۳/۰۰ تا ۱۰/۰۰ تنظیم شد. سپس تغییرات جذبی مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۵ بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری در شرایط بهینه

برای بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری، ۱۰۰ میلی لیتر محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm توسط ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO تحت تابش نور مرئی، تخریب شد. تغییرات جذب محلول ردآمین بی هر ۵ دقیقه تا زمان ۴۵ دقیقه ثبت شد. با توجه به جذب‌های به دست آمده در زمان‌های مختلف، سینتیک مرتبه اول و دوم برای فرآیند فتوکاتالیزوری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری برای تمامی واکنش‌های بخش ۲-۴-۱ و ۲-۴-۲ بررسی شد.

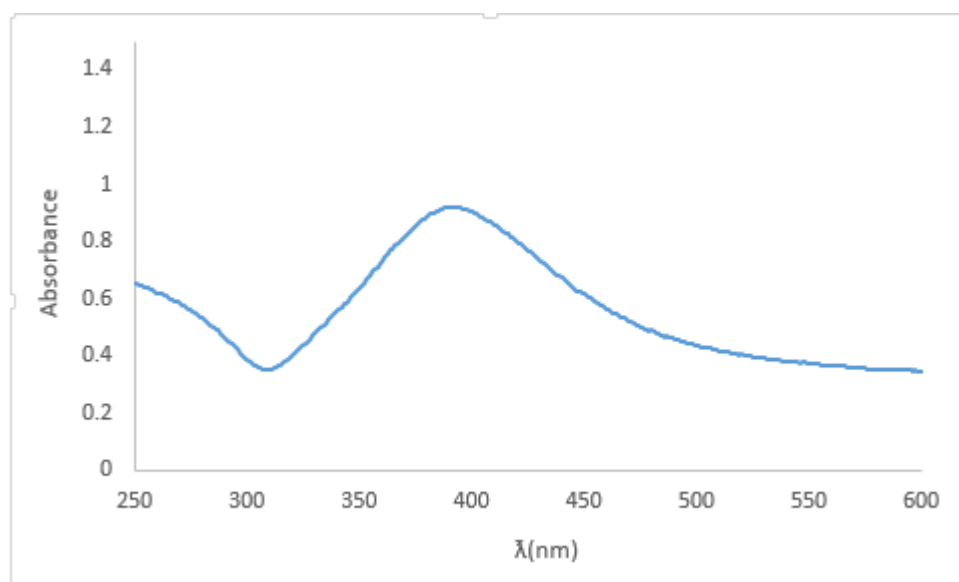
فصل ۳: بحث و نتیجه گیری

۱-۳ شناسایی نانوکامپوزیت Ag/RGO

نانوذرات تهیه شده، با استفاده از تکنیک‌های دستگاهی XRD، RAMAN، EDS، FE-SEM، FT-IR و UV-Vis شناسایی و از لحاظ مورفولوژی، اندازه، ساختار و عناصر سازنده مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین فرآیند فتوکاتالیزوری نانوذرات در تخریب رنگ ردآمین بی تحت شرایط مختلف بررسی شد.

۱-۱-۳ طیف UV-Vis

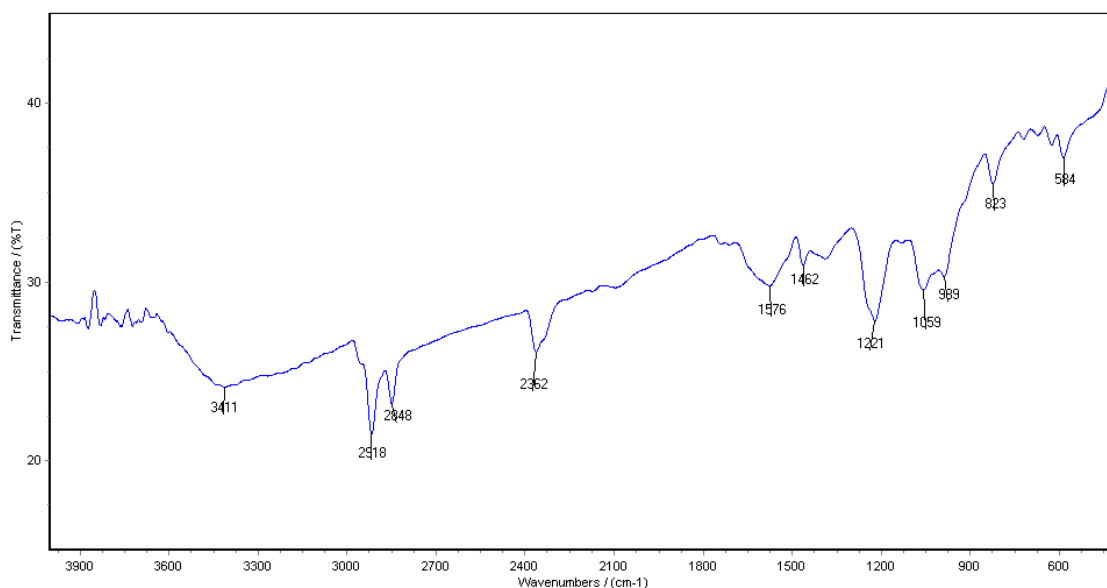
طیف UV-Vis نانوذرات نقره تهیه شده در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. ماکزیمم جذبی در طول موج ۳۹۵ نانومتر مشاهده می‌شود که مربوط به رزونانس پلاسمای سطحی نانوذرات نقره می‌باشد [۴۸]. تشکیل نانوذرات براساس طول موج پلاسمای سطحی را می‌توان به توانایی عصاره عناب به کاهش یون نقره در محلول نسبت داد.



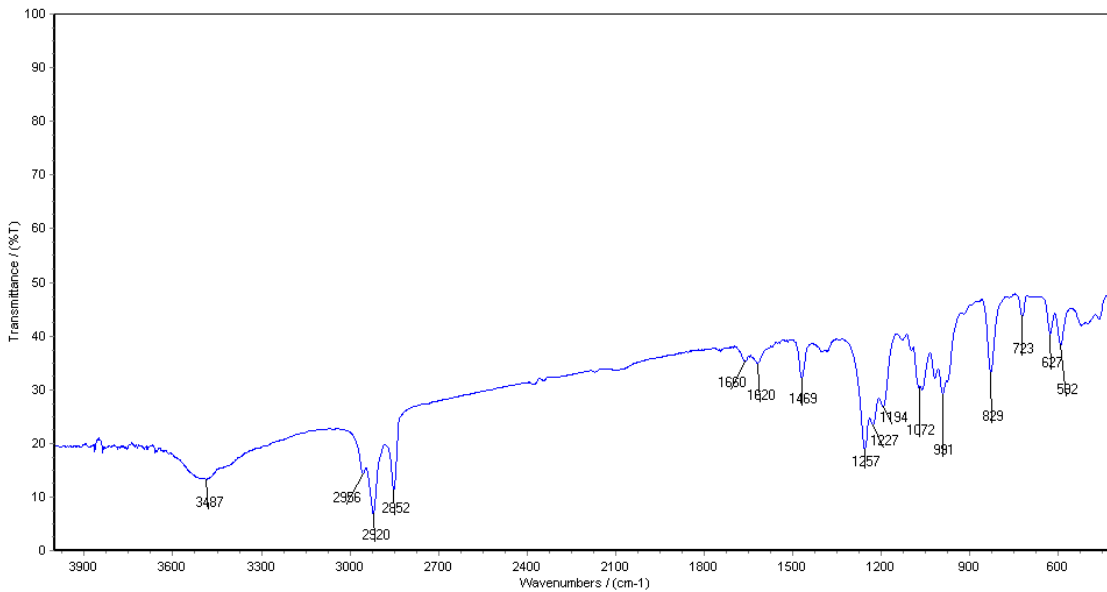
شکل ۱-۳: طیف UV-Vis نانوذرات Ag

۳-۱-۲ طیف FT-IR

طیف FT-IR نانوکامپوزیت Ag/RGO و نانوذرات Ag تهیه شده، به ترتیب در شکل‌های ۲-۳ و ۳-۳ نشان داده شده است. در طیف FT-IR نانوکامپوزیت Ag/RGO، پیک پهن ظاهر شده در ناحیه‌ی 3411 cm^{-1} مربوط به هیدروکسیل فنولی می‌باشد [۱۰]. نوارهای موجود در نواحی 2918 cm^{-1} و 2848 cm^{-1} را می‌توان به فرکانس کششی CH_2 و CH_3 نسبت داد. پیک‌های ظاهر شده در 2362 cm^{-1} و محدوده‌ی 1400 تا 1500 cm^{-1} مربوط به کربنات و $\text{C}=\text{C}$ حلقه آروماتیک می‌باشد [۹]. پیک در ناحیه 1059 cm^{-1} را می‌توان به $\text{C}-\text{OH}$ نسبت داد [۴۶]. این پیک‌های ظاهر شده مربوط به ترکیبات آلی مخصوصا ترکیبات فنولی موجود در عصاره است. پیک‌های ظاهر شده در طیف FT-IR نانوذرات نقره، همانند طیف FT-IR نانوکامپوزیت Ag/RGO مربوط به گروه‌های عاملی ذکر شده، می‌باشد. حضور این پیک‌ها بیانگر تثبیت گروه‌های فنولی موجود در عصاره بر سطح نانوذرات می‌باشد.



شکل ۲-۳: طیف FT-IR نانوکامپوزیت Ag/RGO



شکل ۳-۳: طیف FT-IR نانوذرات Ag

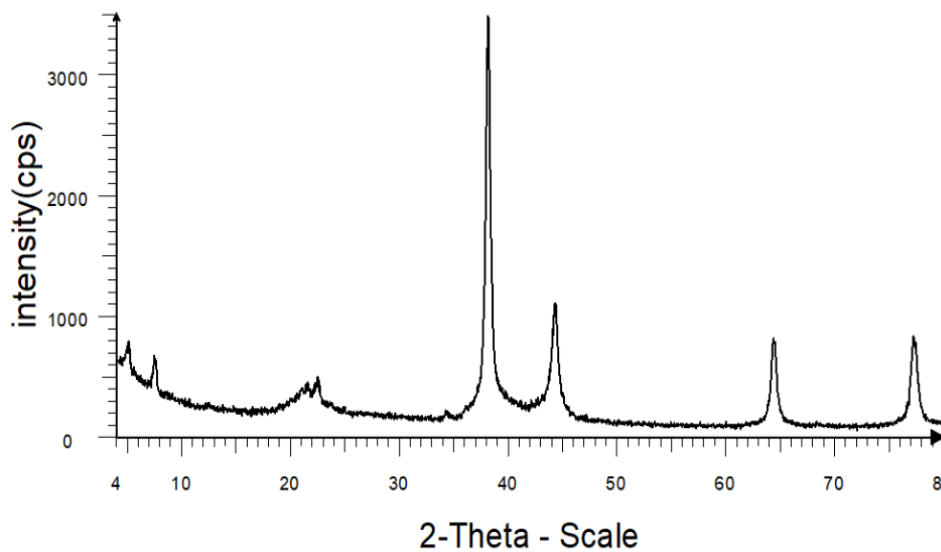
۳-۱-۳ الگوی پراش XRD

جهت تعیین اندازه و ساختار نانوکامپوزیت Ag/RGO، الگوی پراش XRD نمونه تهیه شده ثبت و در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. الگوی پراش XRD نانوکامپوزیت Ag/RGO، چهار نوار مربوط به نانوذرات نقره در زوایه‌های $38/1$ ، $44/3$ ، $64/4$ ، $77/4$ درجه نشان می‌دهد که به ترتیب مربوط به صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) می‌باشد و با کارت استاندارد JCPDS-04-0783 مربوط به ساختار مکعبی نقره مطابقت دارد [۹]. نوار ظاهر شده در زاویه $22/5$ درجه مربوط به نانوذرات RGO می‌باشد که با صفحه بلوری (۰۰۲) مطابقت می‌کند [۴۹].

اندازه متوسط نانوذرات نقره در نانوکامپوزیت Ag/RGO با استفاده از معادله دبای - شرر محاسبه گردید:

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

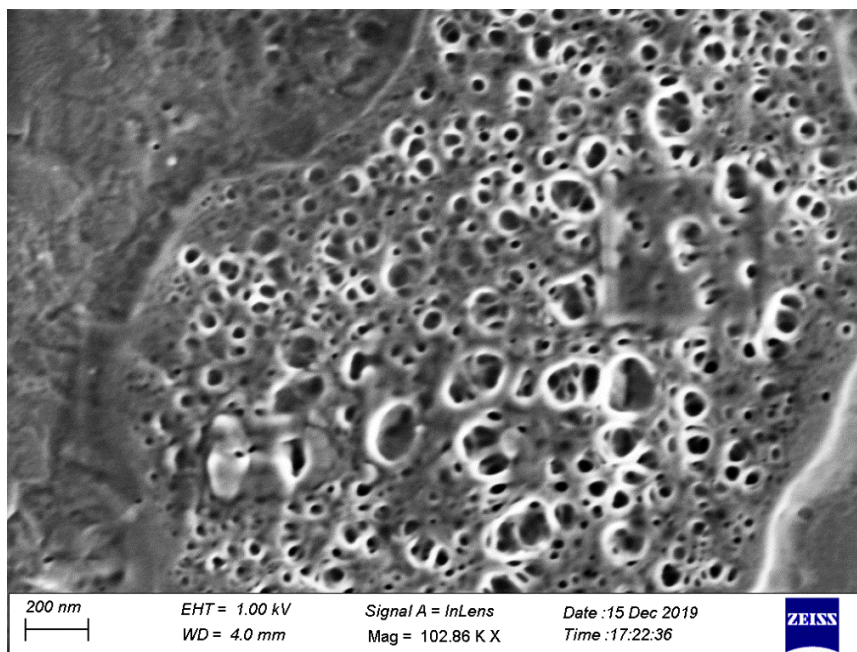
در این رابطه K مقدار ثابت برابر با $0/89$ ، طول موج تابش (λ) برابر با $1/54 \text{ \AA}$ می‌باشد. β پهنای نصف شدت بیشینه برحسب رادیان که برای نانوذرات تهیه شده با استفاده از عصاره عناب، برابر با $0/484$ درجه است. 2θ زاویه براگ است [۵۰]. اندازه متوسط نانوذرات تهیه شده برابر با 54 نانومتر بدست آمد.



شکل ۳-۴: الگوی پراش XRD نانوکامپوزیت Ag/RGO

۳-۱-۴ تصویر FE-SEM

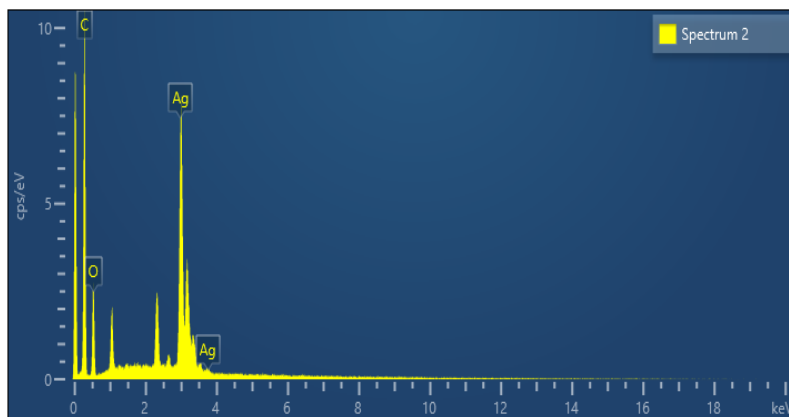
به منظور بررسی مورفولوژی و اندازه نانوذرات، تصویر FE-SEM نانوکامپوزیت Ag/RGO، در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. تصویر نشان می‌دهد که نانوذرات به صورت کروی و غیر یکنواخت هستند. این تصویر نشان دهنده تثبیت نانوذرات نقره بر بستر گرافن اکسید کاهش یافته است. اندازه متوسط ذرات برابر با ۶۲ نانومتر است که با مقدار محاسبه شده با الگوی XRD تقریباً مطابقت دارد.



شکل ۳-۵: تصویر FE-SEM نانوکامپوزیت Ag/RGO

۳-۱-۵ طیف EDS

طیف EDS نانوکامپوزیت Ag/RGO در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. این طیف نشان می‌دهد که نمونه تهیه شده، دارای عناصر کربن، اکسیژن و نقره می‌باشد. درصد وزنی عناصر کربن، اکسیژن و نقره به ترتیب برابر با ۳۴/۶۲، ۲۸/۹۵ و ۳۶/۴۳ می‌باشد. عناصر کربن و اکسیژن مربوط به گرافن اکسید و ترکیبات فنولی موجود در عصاره می‌باشند و حضور نقره نشان دهنده قرار گرفتن آن بر سطح گرافن اکسید می‌باشد.



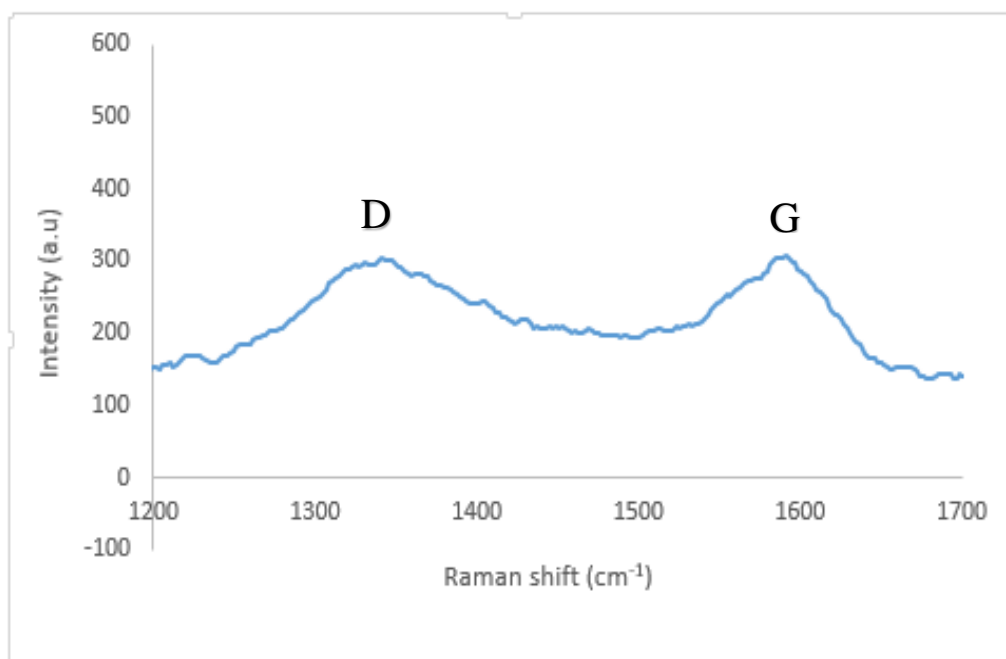
شکل ۳-۶: طیف EDS نانوکامپوزیت Ag/RGO

۳-۱-۶ طیف رامان

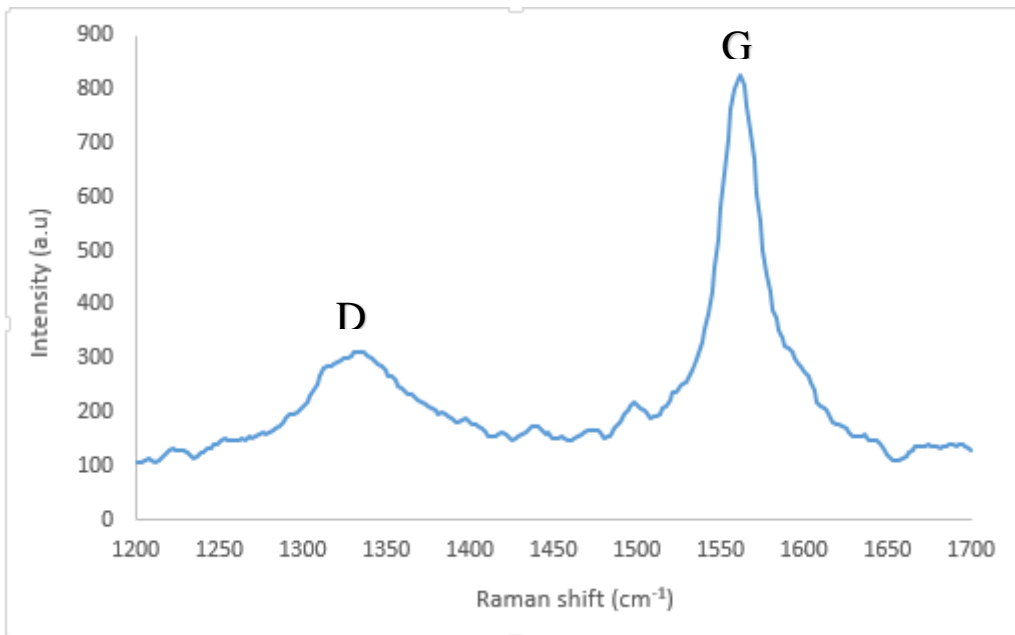
طیف‌های رامان نانوذرات GO و Ag/RGO به ترتیب در شکل‌های ۳-۷ و ۳-۸ نشان داده شده است. در طیف رامان GO دو پیک در ۱۳۴۱ و 1590 cm^{-1} ظاهر شده است که به ترتیب به نوارهای D و G نسبت داده می‌شود. نوارهای D و G به ترتیب به تقارن A_{1g} و E_{2g} شیوه تنفسی مربوط به اتم‌های کربن sp^2 تعلق دارد [۵۱].

نوارهای D و G مربوط به نانوکامپوزیت Ag/RGO در 1334 cm^{-1} و 1561 cm^{-1} ظاهر شده‌اند. موقعیت نوارهای D و G در نانوکامپوزیت Ag/RGO نسبت به GO با عدد موجی کمتر ظاهر شده است که می‌توان به اندرکنش کمتر سیستم‌های $\pi-\pi$ حلقه آروماتیک در گرافن اکسید کاهش یافته با ترکیبات آروماتیک موجود در عصاره تثبیت شده بر سطح نانوذرات نسبت داد [۵۲].

افزایش نسبت شدت نوارهای D و G (I_D/I_G) در نانوکامپوزیت Ag/RGO نسبت به GO نشان دهنده وجود گرافن اکسید کاهش یافته است.



شکل ۳-۷: طیف رامان نانوذرات GO



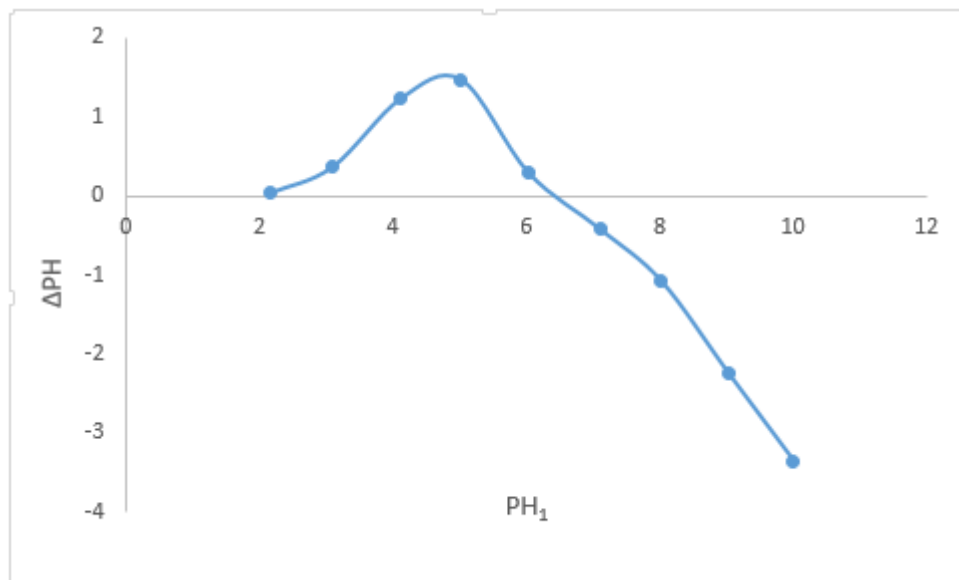
شکل ۳-۸: طیف رامان نانوکامپوزیت Ag/RGO

۳-۱-۷ تعیین نقطه ایزوالکتریک

با استفاده از این آزمایش، می‌توان pH ای را که در آن سطح نانوکامپوزیت بدون بار است، تعیین کرد. در واقع یون‌های H^+ و OH^- به شدت جذب سطح می‌شوند و می‌توانند بار سطحی نانوکامپوزیت را تغییر دهند. نقطه ایزوالکتریک (pH_{zpc})، نشان دهنده‌ی pH ای است که بار نانوکامپوزیت در آن صفر می‌باشد. آزمایش مطابق روش ذکر شده در بخش ۲-۳ انجام شد و تغییرات pH به صورت جدول ۳-۱ می‌باشد و شکل ۳-۹ نمودار تغییرات pH برحسب pH اولیه، را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، بار سطحی نانوکامپوزیت Ag/RGO در pH برابر با ۶/۰۰، صفر می‌باشد. در pH های کمتر از ۶/۰۰، سطح نانوکامپوزیت دارای بار مثبت می‌باشد و در pH های بالاتر از ۶/۰۰ بار سطحی نانوکامپوزیت منفی است. با توجه به این که ردآمین بی یک رنگ کاتیونی است انتظار می‌رود در pH های بالاتر از ۶ که بار سطحی نانوکامپوزیت منفی است، بیشترین بازده تخریب را داشته باشد.

جدول ۳-۱: تعیین نقطه ایزوالکتریک

PH ₁	PH ₂	Δ PH
۲/۱۵	۲/۱۸	۰/۰۳
۳/۰۹	۳/۴۵	۰/۳۶
۴/۱۲	۵/۳۵	۱/۲۳
۵/۰۲	۶/۴۹	۱/۴۷
۶/۰۳	۶/۳۲	۰/۲۹
۷/۱	۶/۶۰	-۰/۵
۸/۰۲	۶/۹۴	-۱/۰۸
۹/۰۴	۶/۷۸	-۲/۲۵
۱۰/۰۳	۶/۶۸	-۳/۳۵



شکل ۳-۹: نمودار تعیین نقطه ایزوالکتریک

۲-۳ تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی توسط نانوذرات

۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ردآمین بی ۱ ppm که رنگ صورتی دارد، در تاریکی قرار گرفت که تغییر رنگی مشاهده نشد. همچنین در آزمایش دیگری، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ردآمین بی ۱ ppm طی ۸ ساعت در حضور نانوذرات تحت تابش نور مرئی قرار گرفت. مشاهده شد که محلول به تدریج کم رنگ شده و سرانجام بی‌رنگ شد.

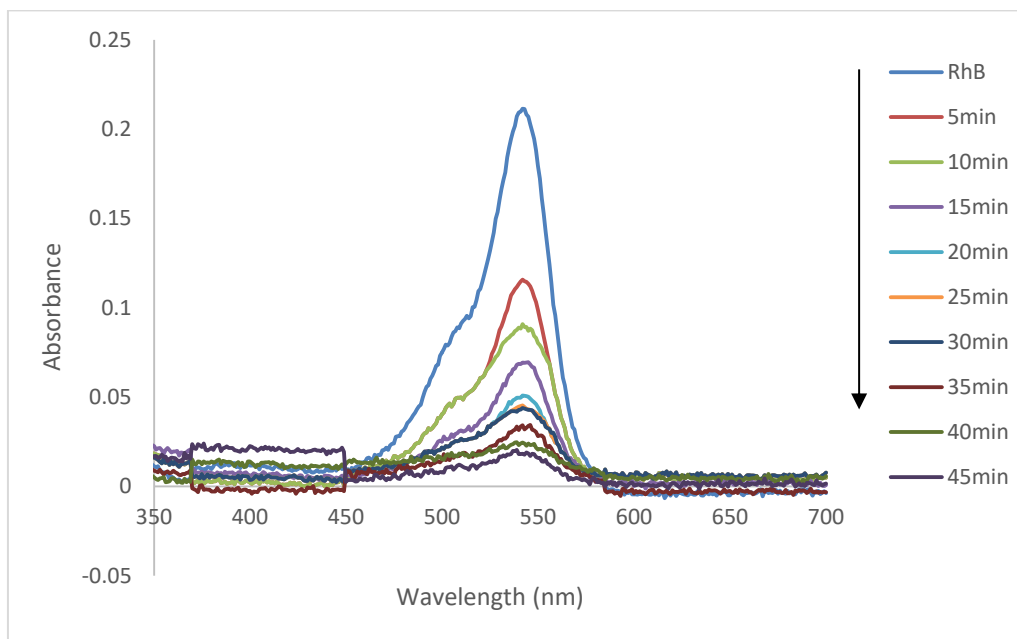
تخریب فتوکاتالیزوری ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی‌گرم از نانوذرات Ag/RGO، Ag و RGO تحت تابش نور مرئی انجام گرفت. طیف الکترونی ردآمین بی یک جذب ماکزیمم در طول موج ۵۴۲ نانومتر نشان می‌دهد. این محلول در حضور ۲۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت Ag/RGO بعد از گذشت ۴۵ دقیقه به طور کامل بی‌رنگ شد. مقدار جذب ماکزیمم ردآمین بی با غلظت ۱ ppm، در طول موج ۵۴۲ نانومتر، برابر با ۰/۲۱۱۴ بوده که در حضور نانوکامپوزیت Ag/RGO بعد از تماس ۴۵ دقیقه، مقدار جذب به ۰/۰۱۸۳ کاهش یافت. نمودار تغییرات جذب محلول در زمان‌های مشخص در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است. درصد تخریب ردآمین بی برابر با ۹۱/۳۴ بود. درصد تخریب ردآمین بی طبق معادله ۲-۳ محاسبه می‌شود:

$$\%R = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad \text{معادله (۲-۳)}$$

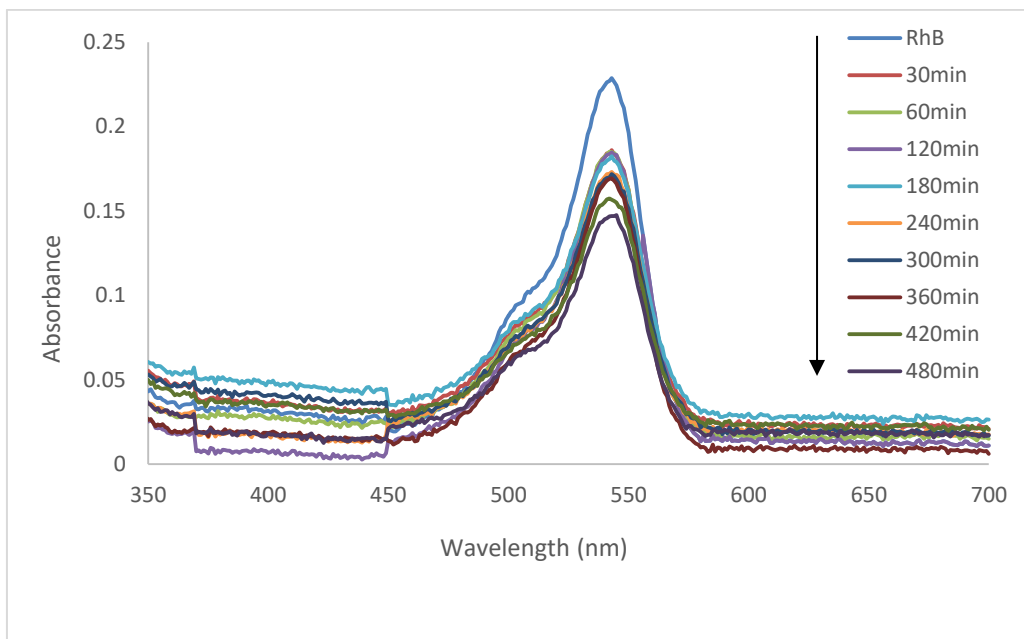
در این رابطه R درصد تخریب ردآمین بی، A_0 جذب اولیه و A جذب محلول ردآمین بی در زمان t است.

تخریب ردآمین بی در حضور نانوذرات Ag، نیز به روش مشابه بررسی گردید. نتایج نشان داد در حضور این نانوذرات تغییر رنگی بعد از گذشت ۸ ساعت مشاهده نشد به این صورت که تخریبی در حضور این نانوذرات انجام نشد. تغییر رنگ محلول ردآمین بی در حضور نانوذرات RGO، بعد از گذشت ۸ ساعت بسیار کم بوده است. نمودار تغییرات جذب محلول ردآمین بی در حضور نانوذرات RGO در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.

در RGO تعداد گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن کاهش یافته است و می‌تواند به نقره که بر روی سطح آن قرار گرفته، در انتقال الکترون کمک کند. الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانایی منتقل می‌شود. این الکترون با اکسیژن محلول در آب واکنش می‌دهد و یون سوپراکسید ایجاد می‌کند. همچنین حفره ایجاد شده در نوار ظرفیت، با آب واکنش می‌دهد و رادیکال هیدروکسیل تولید می‌کند. بنابراین رادیکال هیدروکسیل و یون سوپراکسید بیشتری تولید می‌شوند که نقش مهمی در تخریب رنگ دارند و آن را به H_2O و CO_2 تبدیل می‌کنند [۵۳]. درصد تخریب محلول ردآمین بی در حضور نانوذرات Ag، RGO، Ag/RGO تحت تابش نور مرئی در جدول ۳-۲ مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین درصد تخریب محلول ردآمین بی در حضور نانوکامپوزیت Ag/RGO می‌باشد.



شکل ۳-۱۰: طیف جذب ۱۰۰ ml محلول ردآمین بی ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۲۰/۰ mg نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمان‌های مختلف تخریب از ۵ تا ۴۵ دقیقه



شکل ۳-۱۱: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمین بی ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۲۰/۰ mg حضور ۳۰ تا ۴۸۰ دقیقه نانوذرات RGO در زمان‌های مختلف تخریب از ۳۰ تا ۴۸۰ دقیقه

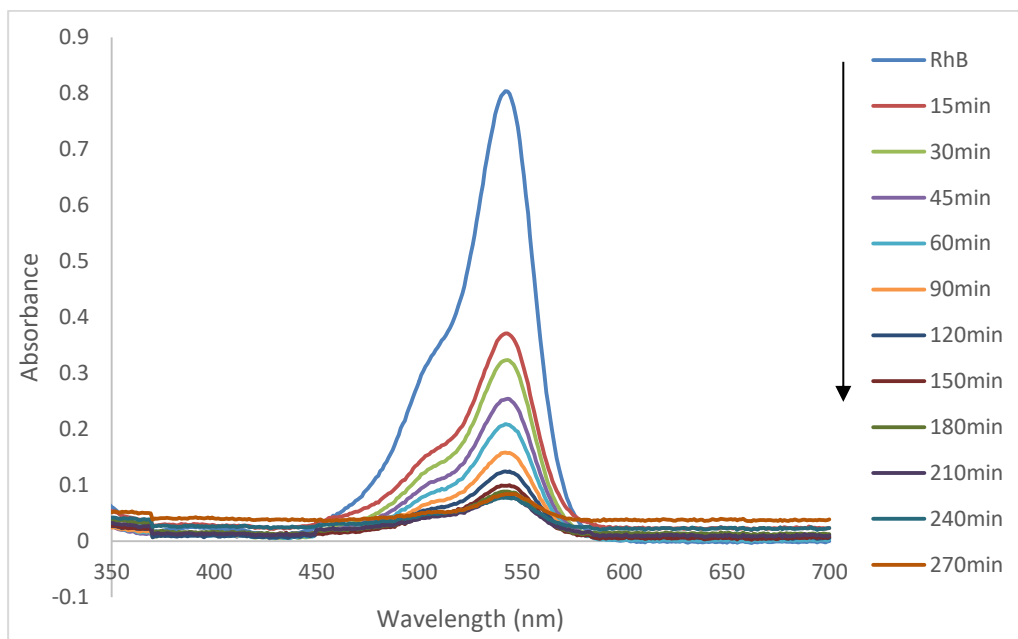
جدول ۳-۲: درصد تخریب محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور نانوذرات تهیه شده در مدت زمان ۴۵ دقیقه

درصد تخریب	نانوذرات
۹۱/۳۴	Ag/RGO
-	Ag
۱۸/۱۸	RGO

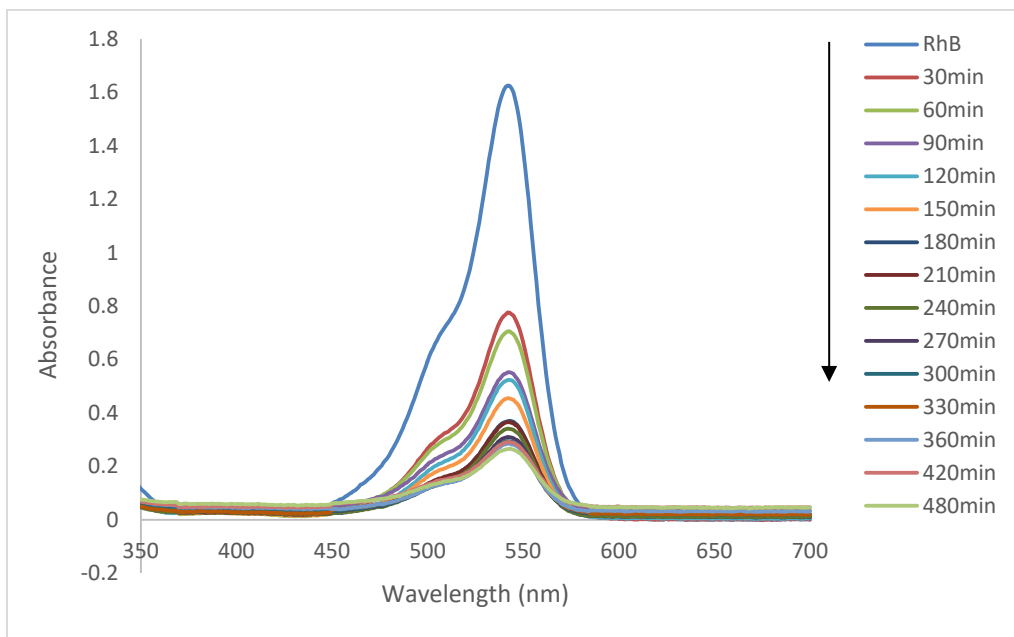
۳-۲-۱ تاثیر غلظت رنگ در فرآیند فتوکاتالیزوری

جهت بررسی غلظت ردآمین بی در فرآیند فتوکاتالیزوری، غلظت‌های ۴، ۷ و ۱۰ ppm از ردآمین بی انتخاب و زمان تخریب کامل رنگ، در این غلظت‌ها تعیین شد. نمودار طیف جذبی محلول ردآمین بی در غلظت‌های ۴، ۷ و ۱۰ ppm بر حسب زمان‌های متفاوت تخریب به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۲، ۳-۱۳، ۳-۱۴ نشان داده شده است. در حضور ۲۰/۰ میلی‌گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO، محلول

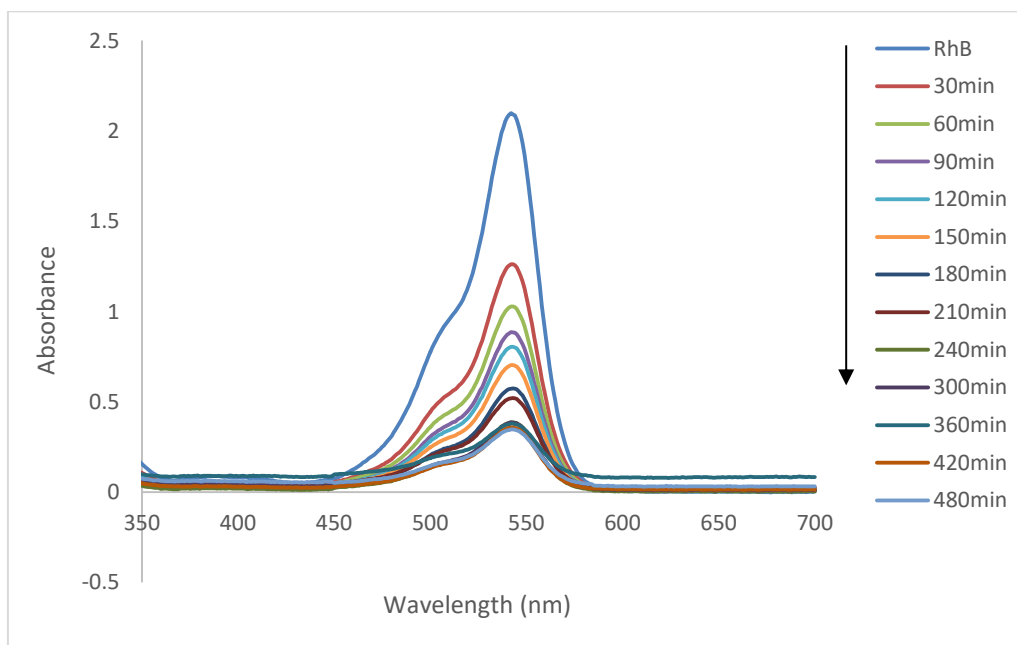
ردآمین بی با غلظت ۴ ppm بعد از گذشت ۴ ساعت و ۳۰ دقیقه به طور کامل تخریب شد که درصد تخریب آن برابر با ۹۰/۳۲ بود و محلول ردآمین بی با غلظت ۷ ppm بعد از گذشت ۸ ساعت، ۸۳/۷۸ درصد تخریب شد. همچنین محلول ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm بعد از گذشت ۸ ساعت، فقط ۸۱/۹۳ درصد تخریب شد. برای تعیین غلظت بهینه ردآمین بی در فرآیند فتوکاتالیزوری، درصد تخریب در زمان یکسان ۴۵ دقیقه محاسبه شد و نتایج در جدول ۳-۳ آورده شده است. همچنین نمودار درصد تخریب برحسب غلظت ردآمین بی در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در مقدار یکسان از نانوکامپوزیت Ag/RGO، با افزایش غلظت رنگ، زمان بیشتری برای تخریب کامل آن نیاز است. با افزایش غلظت اولیه رنگ، میزان سطح فعال برای تخریب رنگ ثابت مانده اما تعداد مول‌های آلاینده در محیط واکنش افزایش یافته است که این امر، باعث کاهش راندمان تخریب می‌گردد [۵۴ و ۵۵]. افزایش در غلظت رنگ، طول مسیر فوتون‌ها به محلول پساب را کوتاه می‌کند. در غلظت‌های زیاد، ممکن است مولکول‌های رنگ بیشتر از کاتالیزور نور جذب کنند و در نتیجه بازده فتوکاتالیزوری را کاهش دهند [۵۶].



شکل ۳-۱۲: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمین بی با غلظت ۴ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۲۰/۰ mg نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمان‌های مختلف تخریب از ۱۵ تا ۲۷۰ دقیقه



شکل ۳-۱۳: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمین بی با غلظت ۷ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۲۰/۰ mg نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمان‌های مختلف تخریب از ۳۰ تا ۴۸۰ دقیقه

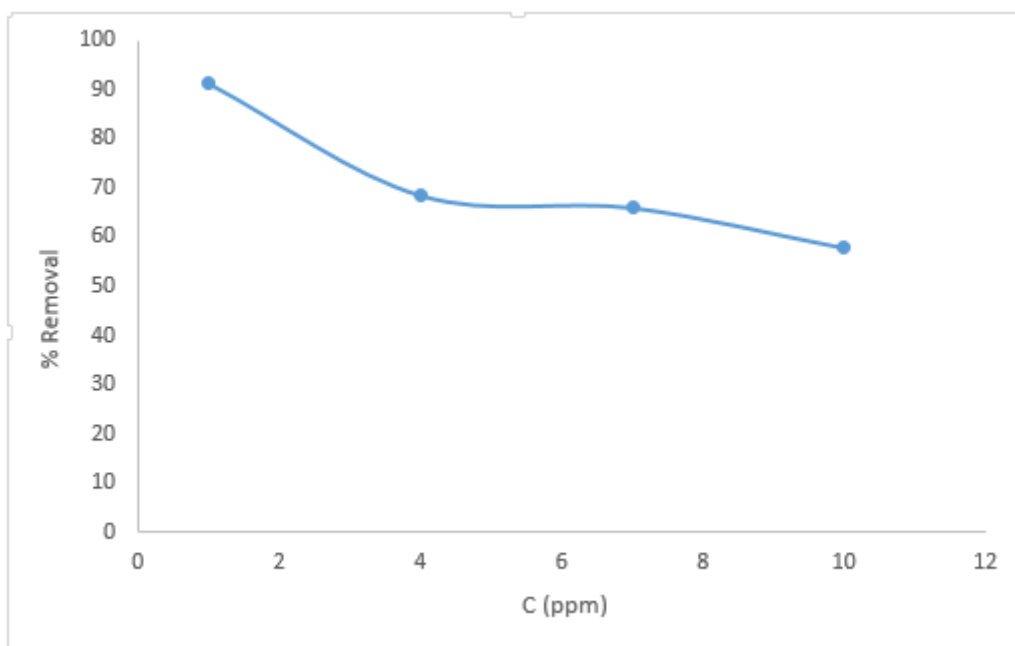


شکل ۳-۱۴: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۲۰/۰ mg نانوکامپوزیت Ag/RGO در زمان‌های مختلف تخریب از ۳۰ تا ۴۸۰ دقیقه

جدول ۳-۳: بررسی غلظت رنگ در فرآیند فتوکاتالیزوری در مدت زمان ۴۵ دقیقه

درصد تخریب	مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO (mg)	غلظت ردآمین بی (ppm)
۹۱/۳	۲۰/۰	۱
۶۸/۵	۲۰/۰	۴
۶۶/۰	۲۰/۰	۷
۵۷/۸	۲۰/۰	۱۰

همانطور که از جدول ۳-۳ استخراج می‌شود، بیشترین بازده تخریب مربوط به غلظت ۱ ppm از رنگ ردآمین بی می‌باشد.



شکل ۳-۱۵: نمودار درصد تخریب رنگ بر حسب غلظت‌های مختلف رنگ در مدت زمان ۴۵ دقیقه

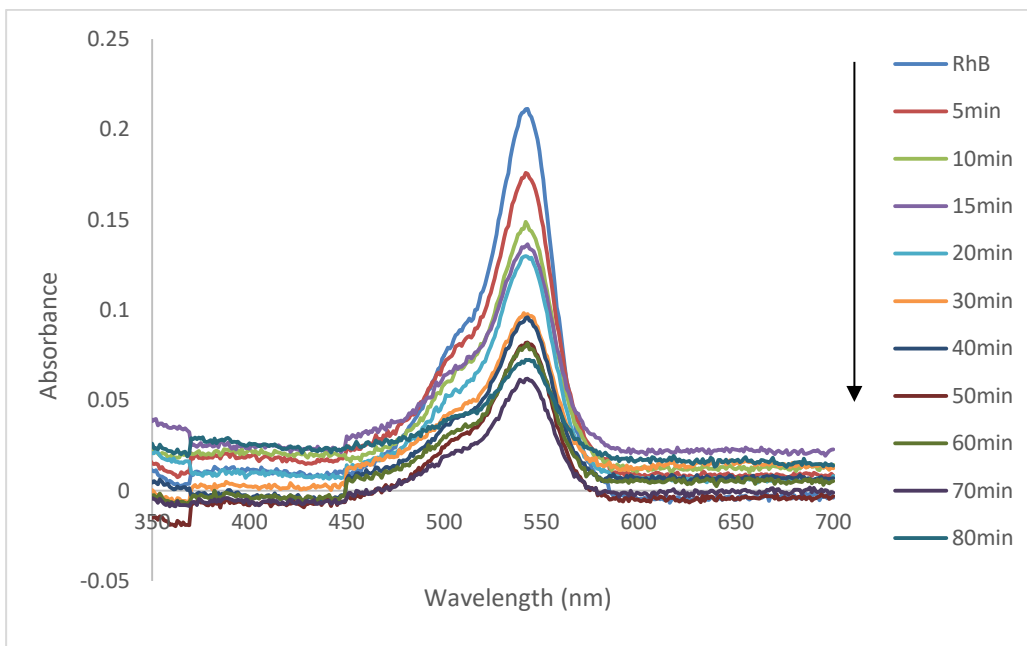
۲-۲-۳ تاثیر مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO در فرآیند فتوکاتالیزوری

به منظور بررسی تاثیر مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO در تخریب ردآمین بی، مقادیر متفاوت ۱۰/۰، ۲۰/۰ و ۳۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت انتخاب و به محلول ردآمین بی با غلظت یکسان ۱ ppm اضافه شد (حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر). زمان تخریب کامل رنگ در این مقادیر از نانوذرات تعیین شد. نمودار طیف

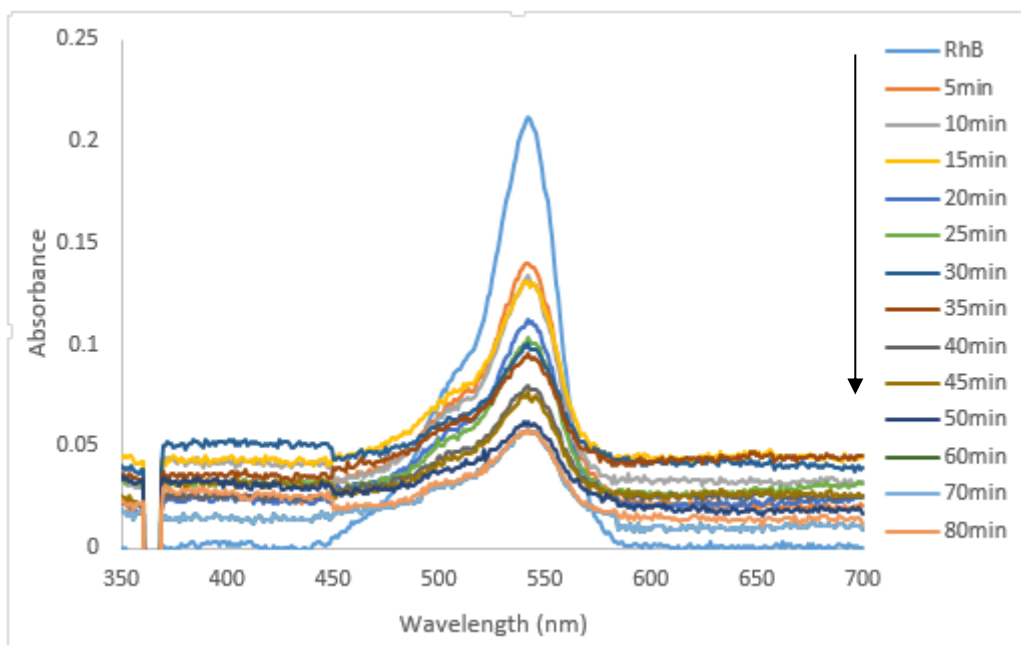
جذبی محلول ردآمین بی بر حسب زمان‌های مختلف تخریب با مقدار ۱۰/۰ و ۳۰/۰ میلی‌گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO به ترتیب در شکل‌های ۳-۱۶ و ۳-۱۷ نشان داده شده است.

در حضور ۱۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت، بعد از گذشت ۸۰ دقیقه تخریب رنگ، به طور کامل انجام شد (۸۹/۶۹ درصد). اما در حضور ۳۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت، در ۲۰ دقیقه اول رنگ محلول بسیار کم‌رنگ شد و بعد از آن، رنگ ثابت ماند و بطور کامل از بین نرفت (۷۲/۰۴ درصد). برای تعیین مقدار بهینه نانوکامپوزیت در فرآیند کاتالیزوری، درصد تخریب برای مقادیر مختلف نانوکامپوزیت، در زمان یکسان ۴۵ دقیقه محاسبه و نتایج در جدول ۳-۴ آورده شده است. همچنین نمودار درصد تخریب بر حسب مقادیر نانوکامپوزیت در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که فرآیند فتوکاتالیزوری با افزایش مقدار کاتالیزور، در زمان کمتری انجام می‌شود. افزایش مقدار کاتالیزور، باعث افزایش تعداد مکان‌های فعال روی سطح فتوکاتالیزور در محلول می‌شود که سبب افزایش تعداد رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید می‌شود. اما هنگامی که غلظت کاتالیزور از حد بهینه بیشتر شود سرعت تخریب در اثر ممانعت از نفوذ نور به وسیله سوسپانسیون کاهش می‌یابد. علاوه بر اینکه، کاتالیزور اضافی از نفوذ نور جلوگیری می‌کند، متعاقباً رادیکال هیدروکسیل که نقش اصلی در تخریب فتوکاتالیزوری را ایفا می‌کند، کاهش یافته و در نتیجه بازده تخریب نیز کاهش می‌یابد. همچنین افزایش غلظت فتوکاتالیزور بیشتر از مقدار بهینه، منجر به توده شدن ذرات می‌شود. بنابراین بخشی از سطح فتوکاتالیزور برای جذب فوتون غیر قابل دسترس می‌شود و سرعت تخریب کاهش می‌یابد. در نتیجه، مقدار بهینه نانوکامپوزیت Ag/RGO در فرآیند فتوکاتالیزوری برابر با ۲۰/۰ میلی‌گرم می‌باشد [۵۷].



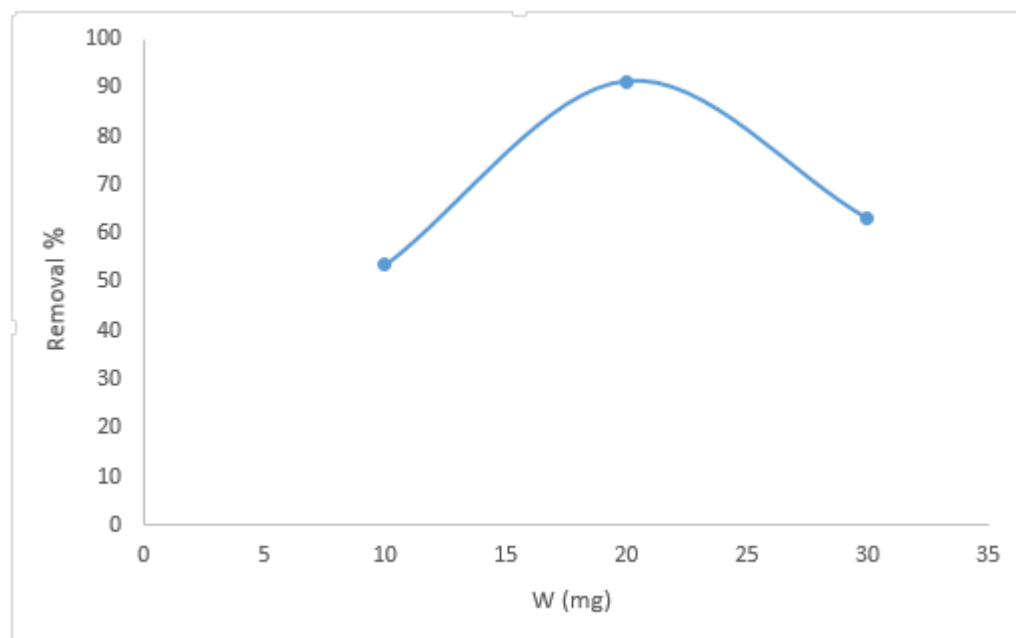
شکل ۳-۱۶: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۱۰/۰ mg نانوکامپوزیت Ag/RGO طی زمان‌های مختلف تخریب از ۵ تا ۸۰ دقیقه



شکل ۳-۱۷: طیف جذبی ۱۰۰ ml محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در عدم حضور نانوکامپوزیت و در حضور ۳۰/۰ mg نانوکامپوزیت Ag/RGO طی زمان‌های مختلف تخریب از ۵ تا ۸۰ دقیقه

جدول ۳-۴: بررسی مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO در فرآیند فتوکاتالیزوری در مدت زمان ۴۵ دقیقه

درصد تخریب	مقدار نانوکامپوزیت Ag/RGO (mg)	غلظت ردآمین بی (ppm)
۵۳/۷	۱۰/۰	۱
۹۱/۳	۲۰/۰	۱
۶۳/۲	۳۰/۰	۱



شکل ۳-۱۸: نمودار درصد تخریب رنگ ردآمین بی بر حسب مقادیر مختلف نانوکامپوزیت Ag/RGO در مدت زمان ۴۵ دقیقه

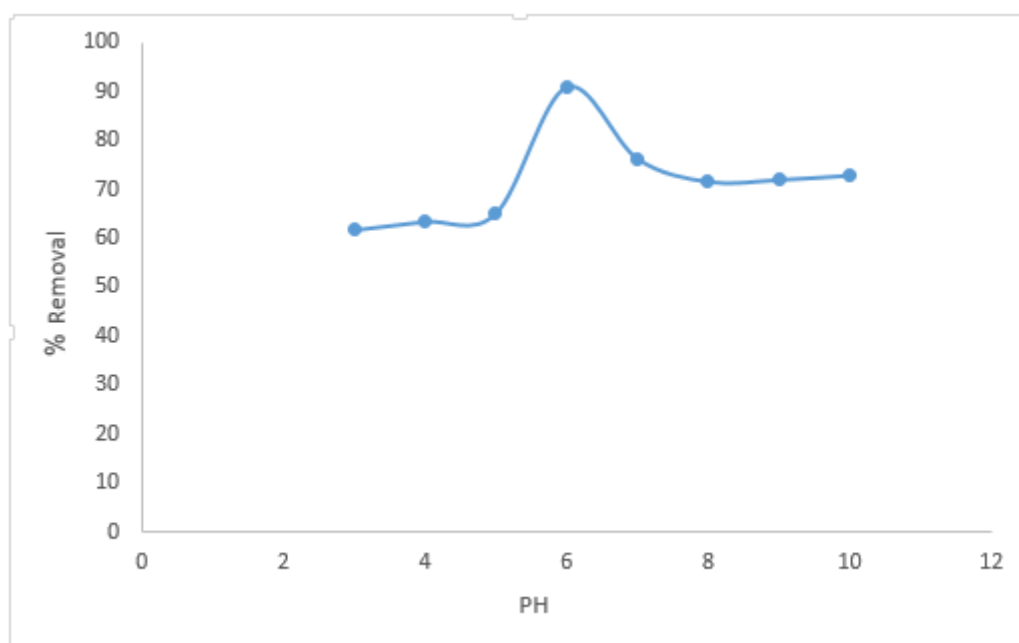
۳-۲-۳ تاثیر pH در فرآیند فتوکاتالیزوری

جهت بررسی pH در فرآیند فتوکاتالیزوری، زمان تخریب رنگ و درصد تخریب در pH های مختلف تعیین شد. در pH های کمتر از ۶/۰۰، رنگ محلول ردآمین بی بعد از گذشت تقریباً ۷۰ دقیقه تخریب شد. در pH برابر با ۶/۰۰، طی ۴۵ دقیقه رنگ محلول ردآمین بی به طور کامل تخریب شد و در pH های

بالتر از ۶/۰۰، زمان مورد نیاز برای تخریب رنگ، تقریباً ۶۰ دقیقه بود. درصد تخریب ردآمین بی در زمان یکسان ۴۵ دقیقه در pHهای مختلف محاسبه شد و نتایج در جدول ۳-۵ آورده شده است. شکل ۳-۱۹ نمودار تغییرات درصد تخریب بر حسب pHهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این است که نانوکامپوزیت Ag/RGO در pH برابر با ۶/۰۰ بهترین عملکرد فتوکاتالیزوری را نشان می‌دهد. به طور کلی اثر pH بر تخریب رنگ‌ها بر سطح کاتالیزور را می‌توان به وسیله دو مکانیسم شامل برهم‌کنش‌های الکتروستاتیک و برهم‌کنش‌های شیمیایی بین کاتالیزور و مولکول‌های رنگ توضیح داد. در صورت وجود برهم‌کنش‌های الکتروستاتیک، انتظار می‌رود که کاهش pH به دلیل افزایش بار مثبت موجود بر سطح، موجب افزایش تمایل آن برای جذب گونه‌های آنیونی شود و افزایش pH به دلیل افزایش بار منفی موجود بر سطح، احتمال جذب کاتیون‌ها را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه نانوکامپوزیت Ag/RGO در pHهای بیشتر از ۶/۰۰ دارای بار منفی است و ردآمین بی یک رنگ کاتیونی می‌باشد، انتظار می‌رود که در pHهای بالاتر از ۶/۰۰ بیشترین بازده تخریب رنگ را داشته باشد. اما طبق نتایج به دست آمده، تخریب رنگ ردآمین بی را نمی‌توان براساس نیروهای الکتروستاتیک توضیح داد. بنابراین، به نظر می‌رسد که فرآیند تخریب ردآمین بی از مکانیسم برهم‌کنش شیمیایی ناشی از برقراری پیوندهای π - π بین سیستم‌های π موجود در نانوکامپوزیت Ag/RGO و حلقه‌های بنزنی موجود در ساختار مولکول‌های ردآمین بی پیروی می‌کند [۵۸].

جدول ۳-۵: بررسی pH در فرآیند فتوکاتالیزوری در مدت زمان ۴۵ دقیقه

درصد تخریب	pH
۶۱/۸	۳/۰
۶۳/۵	۴/۰
۶۵/۱	۵/۰
۹۱/۳	۶/۰
۷۲/۳	۷/۰
۷۱/۶	۸/۰
۷۱/۸	۹/۰
۷۲/۹	۱۰/۰



شکل ۳-۱۹: نمودار تغییرات درصد حذف بر حسب pHهای مختلف در مدت زمان ۴۵ دقیقه

۳-۳ بررسی سینتیک فرآیند در شرایط بهینه

سینتیک واکنش، سرعت تخریب رنگ را بررسی می‌کند. برای سینتیک، مدل‌های مختلفی وجود دارد که هر کدام مکانیسم و سرعت را به طریقی بیان می‌کند. در این پژوهش، سینتیک فرآیند، با استفاده از مدل‌های مرتبه اول و دوم بررسی شدند.

با توجه به نتایج به دست آمده از بخش‌های قبلی، شرایط بهینه برای فرآیند فتوکاتالیزوری، محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی‌گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO و pH برابر با ۶/۰۰ می‌باشد که سینتیک مرتبه اول و دوم در این شرایط بررسی شد.

۱-۳-۳ سینتیک مرتبه اول

واکنش‌های مرتبه اول، واکنش‌هایی هستند که نسبت به یکی از اجزاء درجه یک باشند. قانون سرعت برای واکنش‌های درجه اول، بدین صورت است:

$$\ln [A] - \ln [A]_0 = -Kt \quad \text{معادله (۳-۳)}$$

$$-\ln [A] + \ln [A]_0 = Kt$$

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]} = Kt$$

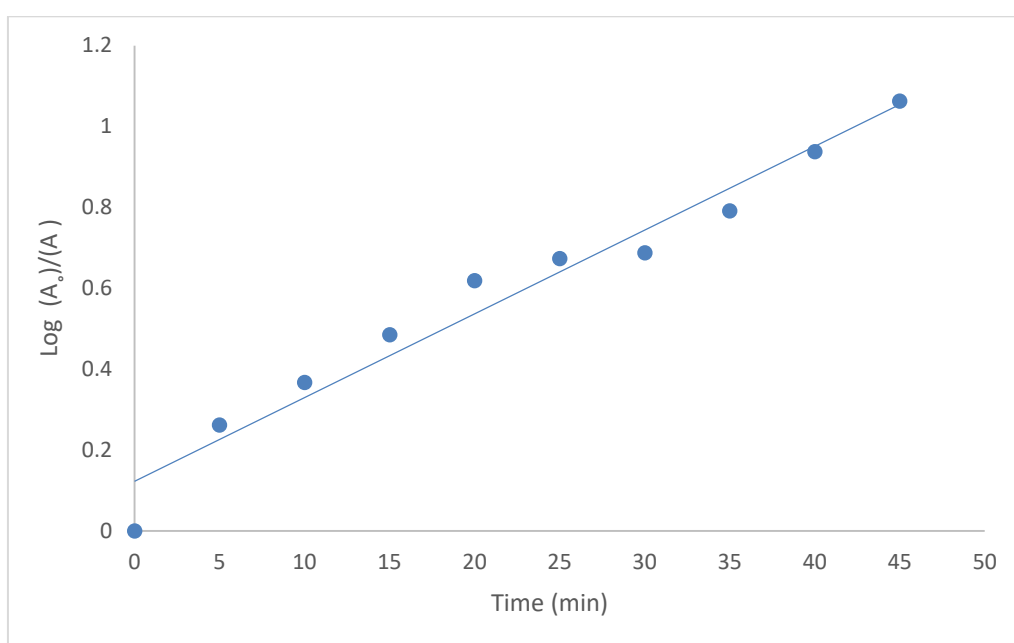
$$\text{Log} \frac{[A]_0}{[A]} = \frac{Kt}{2.303}$$

A جذب در زمان مشخص t، A₀ جذب اولیه، K ثابت سرعت واکنش و t زمان می‌باشد.

در جدول ۳-۶ مقادیر A، $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ در زمان‌های مختلف تخریب تا ۴۵ دقیقه محاسبه شده است. نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب با استفاده از مقادیر جدول ۳-۶ در شکل ۳-۲۰ ترسیم شده است.

جدول ۳-۶: مقادیر $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی در شرایط بهینه

T (min)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
A	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱
$\frac{A_0}{A}$	۱	۱/۸۳	۲/۳۳	۳/۰۵	۴/۱۶	۴/۷۲	۴/۸۷	۶/۱۸	۸/۶۶	۱۱/۵۵
$\text{Log} \frac{A_0}{A}$	۰	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۹	۰/۹۴	۱/۰۶



شکل ۳-۲۰: نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۵ دقیقه در شرایط بهینه

۳-۲-۳ سینتیک مرتبه دوم

واکنش‌های مرتبه دوم، واکنش‌هایی هستند که سرعت واکنش به یکی از اجزاء وابستگی درجه ۲ داشته باشد و یا این که مرتبه کلی واکنش، درجه ۲ باشد. قانون سرعت برای سینتیک مرتبه دوم به صورت

معادله ۳-۴ می‌باشد:

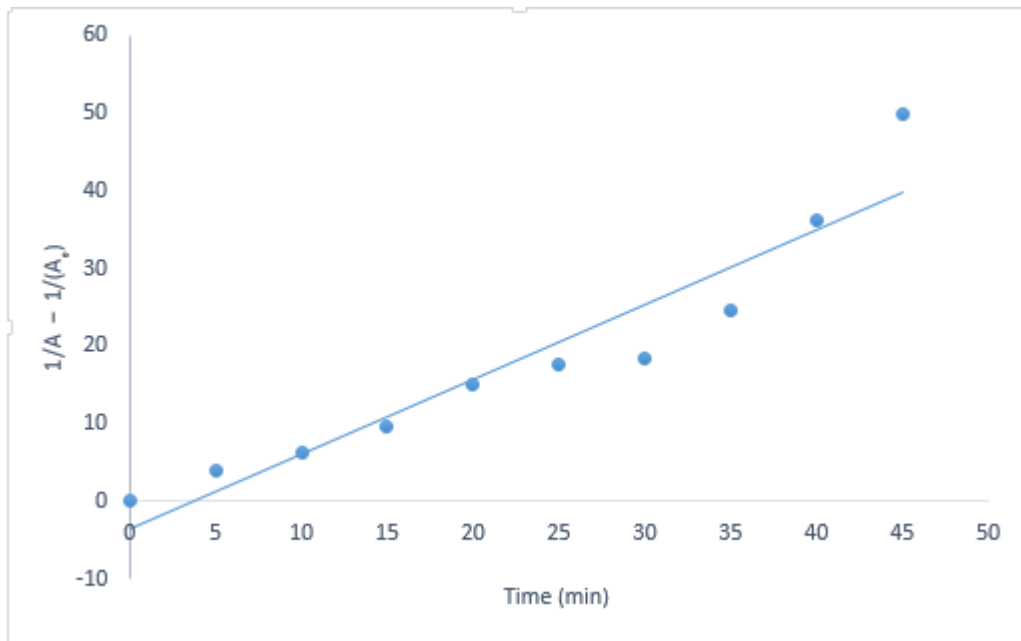
$$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0} = Kt$$

معادله (۳-۴)

با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش مربوط به میزان تخریب رنگ در زمان‌های مختلف (A)، مقادیر $\frac{1}{A}$ و $\frac{1}{A_0} - \frac{1}{A}$ در زمان‌های مختلف تخریب تا ۴۵ دقیقه محاسبه شده است و در جدول ۳-۷ ذکر شده است. نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب با استفاده از مقادیر جدول ۳-۷ در شکل ۳-۲۱ ترسیم شده است.

جدول ۳-۷: مقادیر $\frac{1}{A}$ و $\frac{1}{A_0} - \frac{1}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی در شرایط بهینه

T (min)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
A	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱
$\frac{1}{A}$	۴/۷۳	۸/۶۴	۱۱/۰۱	۱۴/۴۵	۱۹/۶۸	۲۲/۳۲	۲۳/۰۴	۲۹/۲۳	۴۰/۹۸	۵۴/۶۴
$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$	۰	۳/۹۱	۶/۲۸	۹/۷۲	۱۴/۹۵	۱۷/۵۹	۱۸/۳۱	۲۴/۵۰	۳۶/۲۵	۴۹/۹۱



شکل ۳-۲۱: نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۵ دقیقه در شرایط بهینه

جدول ۳-۸: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری در شرایط بهینه

سینتیک واکنش	R^2	k
مرتبه اول	۰/۹۶	۰/۰۲۰۷
مرتبه دوم	۰/۸۹	۰/۹۶۳۸

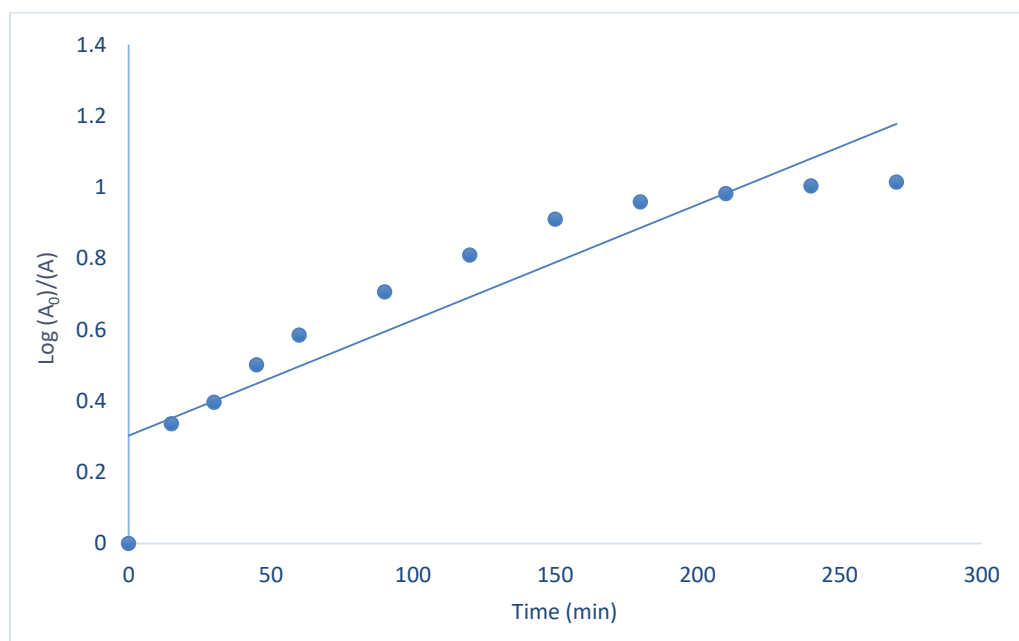
ضریب هم‌بستگی (R^2) و ثابت سرعت (k) مربوط به تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی توسط نانوکامپوزیت Ag/RGO برای دو مدل سرعت واکنش در جدول ۳-۸ آورده شده است. از مقایسه داده‌های جدول ۳-۸ می‌توان دریافت کرد که سرعت واکنش فتوکاتالیزوری تطابق مناسب‌تری با سرعت واکنش مرتبه اول دارد، زیرا ضریب هم‌بستگی ۰/۹۶ مربوط به سینتیک مرتبه اول بهتر از ضریب هم‌بستگی ۰/۸۹ مربوط به سینتیک مرتبه دوم است.

سینتیک مرتبه اول و دوم برای فرآیندهای تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی با غلظت‌های ۴، ۷ و ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت Ag/RGO و همچنین تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ و ۳۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت Ag/RGO بررسی شد که نتایج به شرح زیر می‌باشد. (pH برای تمامی آزمایشات برابر با ۶/۰۰ می‌باشد).

مقادیر A ، $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log}\frac{A_0}{A}$ برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۴ ppm در زمان‌های مختلف تا ۲۷۰ دقیقه محاسبه شده است. نمودار تغییرات $\text{Log}\frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب با استفاده از مقادیر جدول ۳-۹ در شکل ۳-۲۲ ترسیم شده است. همچنین مقادیر $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ و $\frac{1}{A}$ در زمان‌های مختلف تخریب تا ۲۷۰ دقیقه محاسبه شده است و در جدول ۳-۱۰ ذکر شده است. نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب با استفاده از مقادیر به دست آمده در شکل ۳-۲۳ ترسیم شده است.

جدول ۳-۹: مقادیر A، $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

T (min)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۷۰
A	۰/۸۰	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷
$\frac{A_0}{A}$	۱	۲/۱۶	۲/۴۸	۳/۱۷	۳/۸۴	۵/۰۸	۶/۴۴	۸/۱۳	۹/۱۰	۹/۶۰	۱۰/۰۸	۱۰/۳۳
$\text{Log} \frac{A_0}{A}$	۰	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۵۸	۰/۷۰	۰/۸۰	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۸۲	۱/۰۰	۱/۰۱

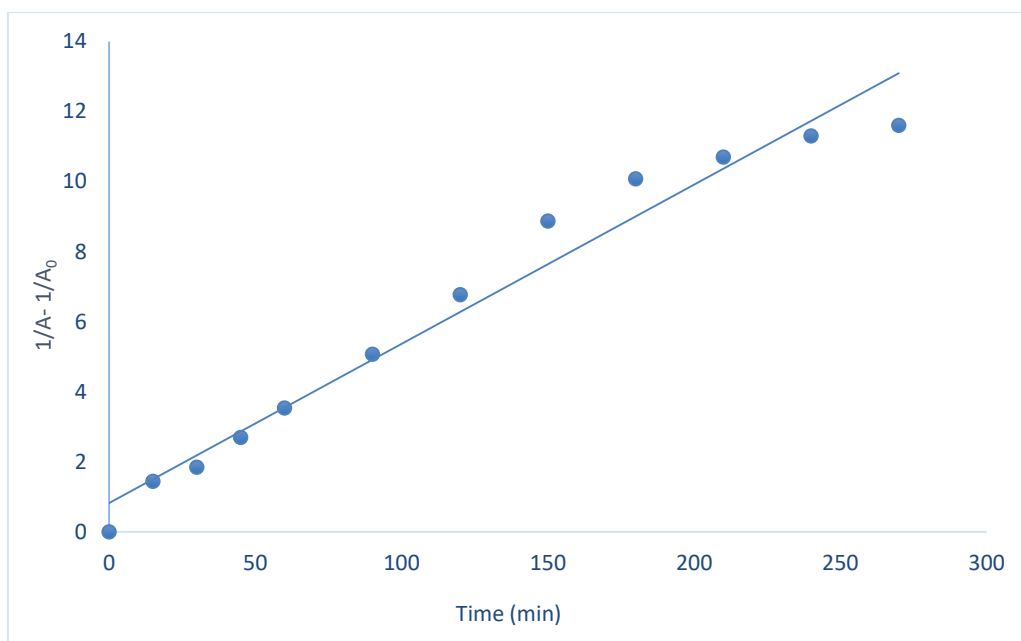


شکل ۳-۲۲: نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۲۷۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۱۰: مقادیر $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰٪ میلی گرم

نانوکامپوزیت Ag/RGO

T (min)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۷۰
A	۰/۸۰	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷
$\frac{1}{A}$	۱/۲۴	۲/۶۹	۳/۰۹	۳/۹۴	۴/۷۸	۶/۳۲	۸/۰۱	۱۰/۱۲	۱۱/۳۲	۱۱/۹۴	۱۲/۵۴	۱۲/۸۵
$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$	۰	۱/۴۵	۱/۸۵	۲/۷۰	۳/۵۴	۵/۰۷	۶/۷۷	۸/۸۷	۱۰/۰۸	۱۰/۷۰	۱۱/۳۰	۱۱/۶۰



شکل ۳-۲۳: نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۲۷۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰٪ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۱۱-۳: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمین بی با غلظت ۴ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

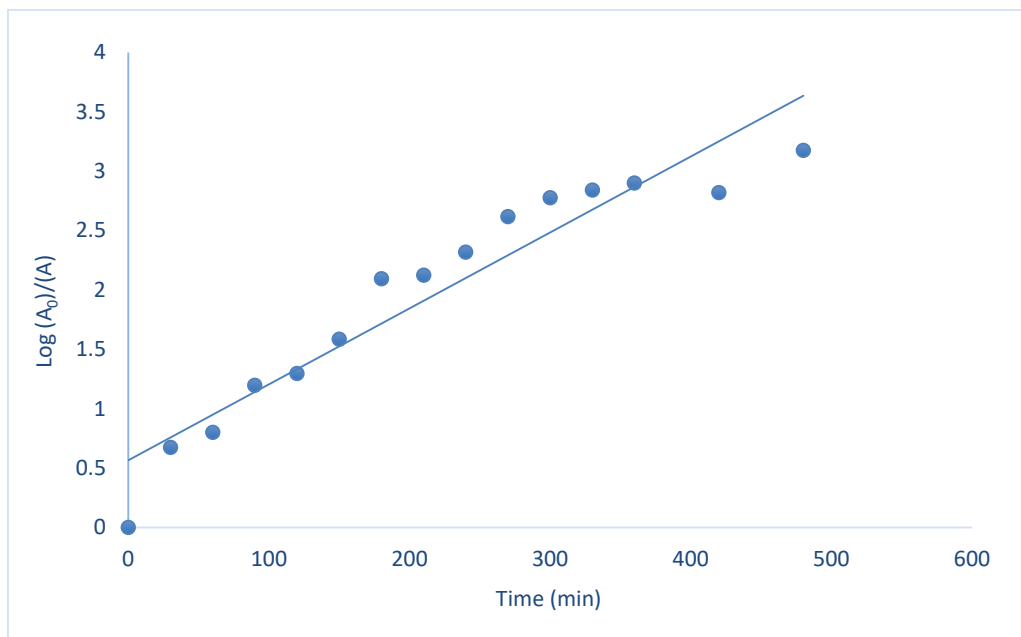
سینتیک واکنش	R^2	k
مرتبه اول	۰/۹۶	۰/۰۱
مرتبه دوم	۰/۸۶	۰/۰۴

با توجه به نتایج جدول ۱۱-۳، ضریب هم‌بستگی ۰/۹۶ مربوط به سینتیک مرتبه اول بهتر از ضریب هم‌بستگی ۰/۸۶ مربوط به سینتیک مرتبه دوم است. بنابراین سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری هماهنگی بهتری با سینتیک مرتبه اول دارد.

با توجه به داده‌های جدول ۱۲-۳ نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای محلول ردآمین بی با غلظت ۷ ppm، در شکل ۳-۲۴ نشان داده شده است. همچنین نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه با استفاده از مقادیر ذکر شده در جدول ۱۳-۳ رسم شده است (شکل ۳-۲۵).

جدول ۱۲-۳: مقادیر A ، $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

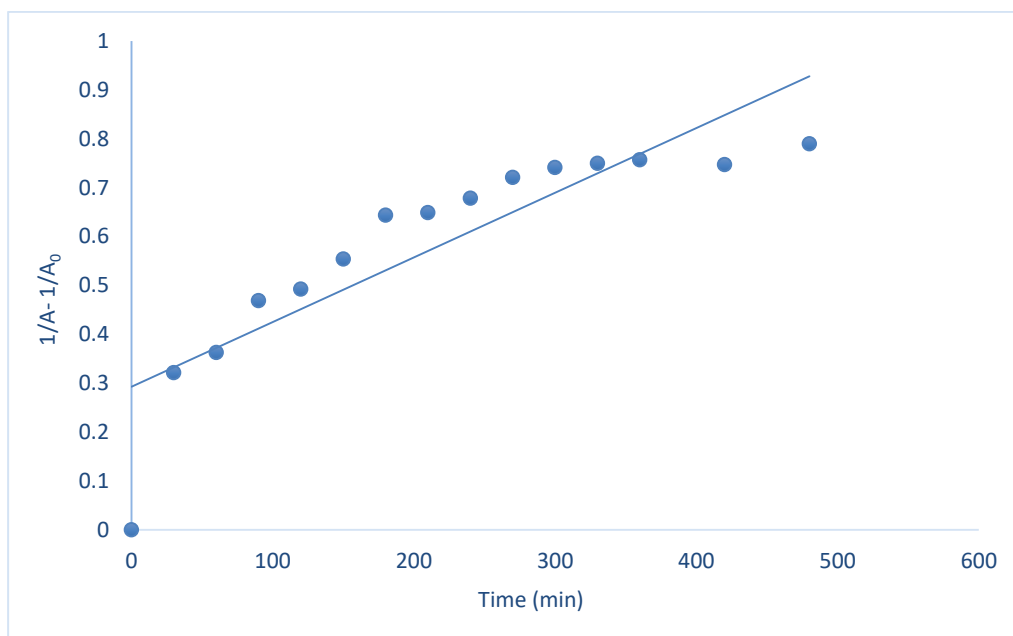
T (min)	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۴۰	۳۰۰	۳۶۰	۴۸۰
A	۱/۶۲	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۶
$\frac{A_0}{A}$	۱	۲/۰۹	۲/۳۰	۲/۹۴	۳/۱۰	۳/۵۸	۴/۴۰	۴/۷۷	۵/۵۱	۵/۷۱	۶/۱۶
$\text{Log} \frac{A_0}{A}$	۰	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۷۹



شکل ۳-۲۴: نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۱۳: مقادیر $\frac{1}{A}$ و $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

T (min)	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۴۰	۳۰۰	۳۶۰	۴۸۰
A	۱/۶۲	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۶
$\frac{1}{A}$	۰/۶۱	۱/۲۸	۱/۴۱	۱/۸۱	۱/۹۱	۲/۲۰	۲/۷۰	۲/۹۳	۳/۳۹	۳/۵۱	۳/۷۸
$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$	۰	۰/۶۷	۰/۸۰	۱/۱۹	۱/۲۹	۱/۵۸	۲/۰۹	۲/۳۱	۲/۷۷	۲/۹۰	۳/۱۷



شکل ۳-۲۵: نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۱۴: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمین بی با غلظت ۷ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

سینتیک واکنش	R^2	k
مرتبۀ اول	۰/۹۰	۰/۰۰۶
مرتبۀ دوم	۰/۷۶	۰/۰۰۱

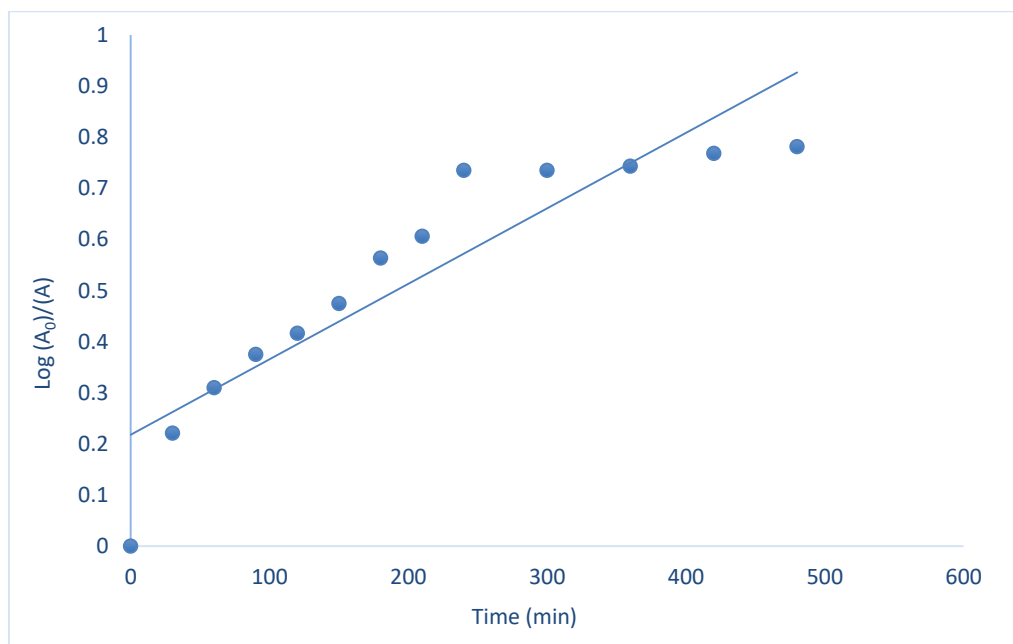
با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳-۱۴، ضریب همبستگی ۰/۹۰ مربوط به سینتیک مرتبۀ اول بهتر از ضریب همبستگی ۰/۷۶ مربوط به سینتیک مرتبۀ دوم است. بنابراین سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری هماهنگی بهتری با سینتیک مرتبۀ اول دارد.

با توجه به داده‌های جدول ۳-۱۵ نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای محلول ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm، در شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است. همچنین نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه با استفاده از مقادیر محاسبه شده در جدول ۳-۱۶ رسم

شده است (شکل ۳-۲۷).

جدول ۳-۱۵: مقادیر A ، $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

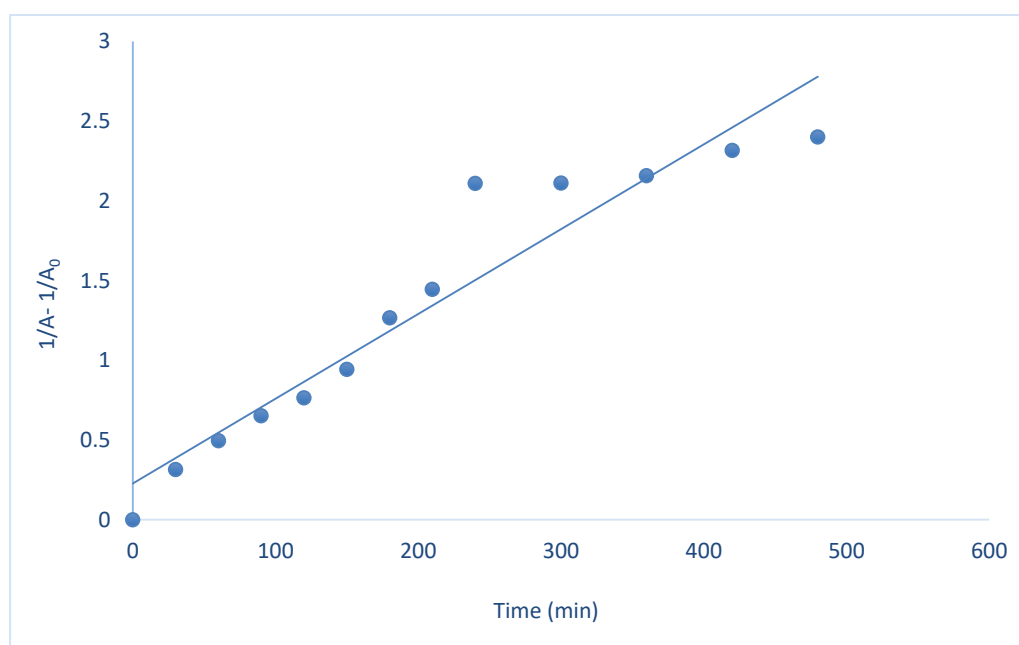
T (min)	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۴۰	۳۰۰	۳۶۰	۴۸۰
A	۲/۰۹	۱/۲۶	۱/۰۲	۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۵۷	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۴
$\frac{A_0}{A}$	۱	۱/۶۶	۲/۰۴	۲/۳۷	۲/۶۰	۹۸/۲	۳/۶۶	۵/۴۳	۵/۴۳	۵/۵۳	۶/۰۴
$\text{Log} \frac{A_0}{A}$	۰	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۴	۰/۷۸



شکل ۳-۲۶: نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۱۶: مقادیر $\frac{1}{A}$ و $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰٪ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

T (min)	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۴۰	۳۰۰	۳۶۰	۴۸۰
A	۲/۰۹	۱/۲۶	۱/۰۲	۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۵۷	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۴
$\frac{1}{A}$	۰/۴۷	۰/۷۹	۰/۹۷	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۴۲	۱/۷۴	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۶۳	۲/۸۷
$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$	۰	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۹۴	۱/۲۶	۲/۱۱	۲/۱۱	۲/۱۵	۲/۴۰



شکل ۳-۲۷: نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۴۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰٪ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۱۷: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمین بی با غلظت ۱۰ ppm در حضور ۲۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

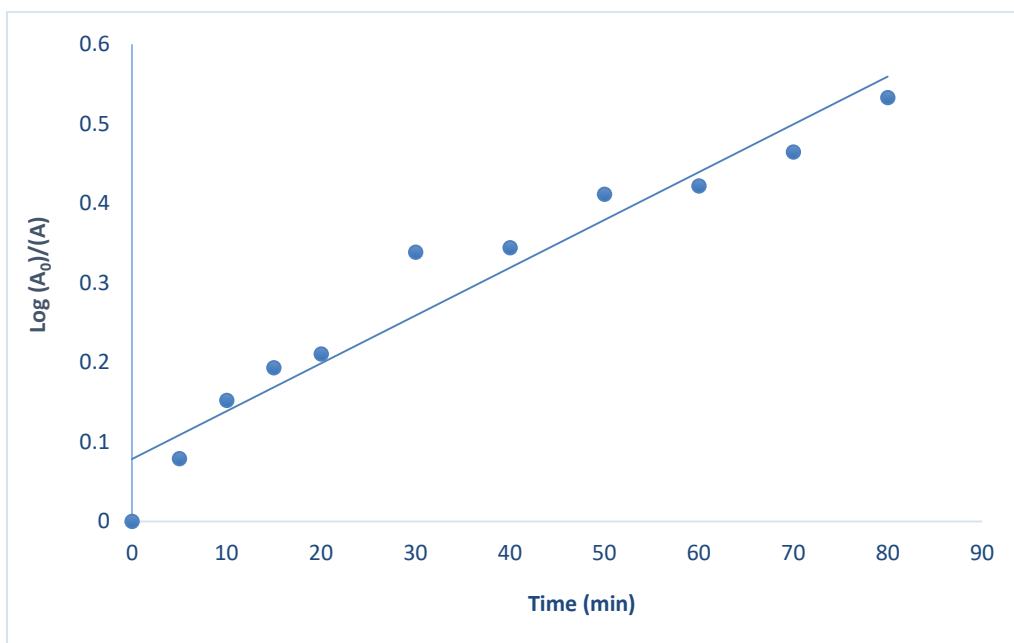
ک	R ²	سینتیک واکنش
۰/۰۰۴	۰/۹۱۶	مرتبه اول
۰/۰۰۵	۰/۹۱۵	مرتبه دوم

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳-۱۷، ضریب هم‌بستگی ۰/۹۱۶ مربوط به سینتیک مرتبه اول بهتر از ضریب هم‌بستگی ۰/۹۱۵ مربوط به سینتیک مرتبه دوم است. بنابراین سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری هماهنگی بهتری با سینتیک مرتبه اول دارد.

با توجه به داده‌های جدول ۳-۱۸ نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO، در شکل ۳-۲۸ ترسیم شده است. همچنین نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه با استفاده از داده‌های به دست آمده در جدول ۳-۱۹ در شکل ۳-۲۹ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۸: مقادیر A ، $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

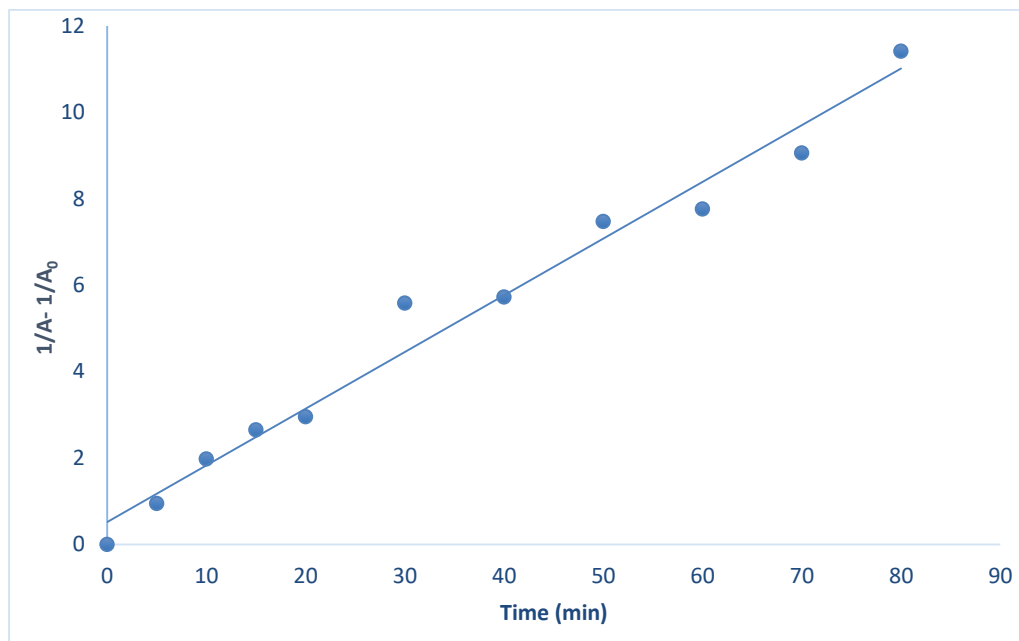
T (min)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
A	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۹۶	۰/۰۹	۰/۰۸۱	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶
$\frac{A_0}{A}$	۱	۱/۲	۱/۴۱	۱/۵۵	۱/۶۲	۲/۱۷	۲/۲۰	۲/۵۷	۲/۶۴	۲/۹۱	۳/۴۱
$\text{Log} \frac{A_0}{A}$	۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۵۳



شکل ۳-۲۸: نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۱۹: مقادیر $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ و $\frac{1}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

T (min)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
A	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۹۶	۰/۰۹	۰/۰۸۱	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶
$\frac{1}{A}$	۴/۷۳	۵/۶۸	۶/۷۱	۷/۳۸	۷/۶۹	۱۰/۳۱	۱۰/۴۶	۱۲/۲۱	۱۲/۵	۱۳/۷۹	۱۶/۱۵
$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$	۰	۰/۹۴	۱/۹۸	۲/۶۵	۲/۹۵	۵/۵۸	۵/۷۲	۷/۴۷	۷/۷۶	۹/۰۵	۱۱/۴۲



شکل ۳-۲۹: نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۲۰: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۱۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

k	R ²	سینتیک واکنش
۰/۱۳	۰/۹۷	مرتبه اول
۰/۰۰۷	۰/۹۴	مرتبه دوم

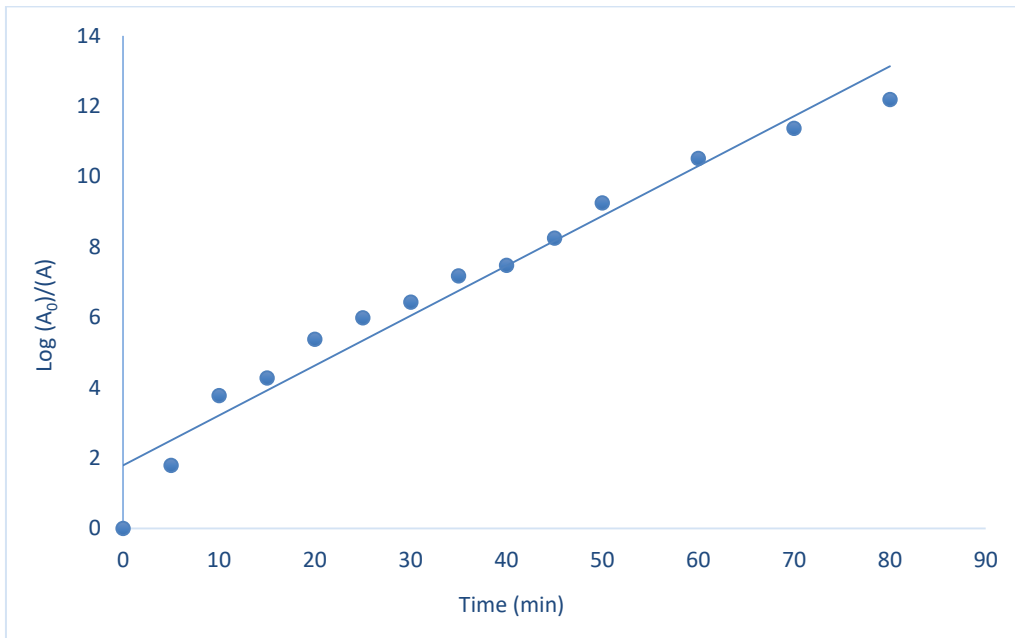
با توجه به مقادیر ضریب هم‌بستگی به دست آمده در جدول ۳-۲۰، ضریب هم‌بستگی ۰/۹۷ مربوط به سینتیک مرتبه اول بهتر از ضریب هم‌بستگی ۰/۹۴ مربوط به سینتیک مرتبه دوم است. بنابراین سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری هماهنگی بهتری با سینتیک مرتبه اول دارد.

با توجه به داده‌های جدول ۳-۲۱ نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای محلول ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO، در شکل ۳-۳۰ رسم شده است. همچنین نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه با استفاده از

داده‌های به دست آمده در جدول ۳-۲۲ در شکل ۳-۳۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲۱: مقادیر A ، $\frac{A_0}{A}$ و $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰٪ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

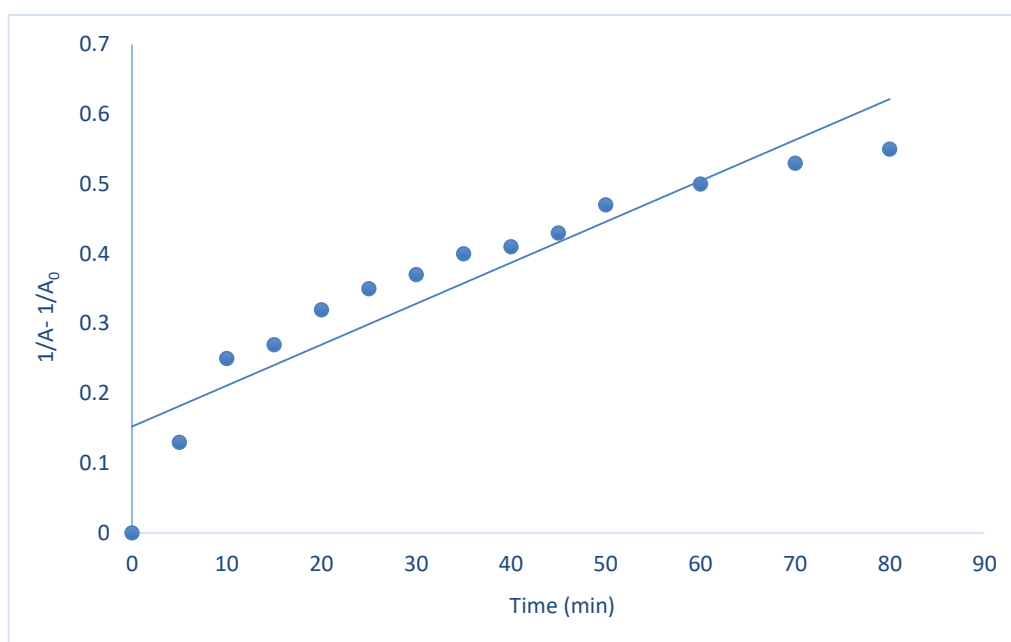
T (min)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
A	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۱۱۷	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶۵	۰/۰۶	۰/۰۵
$\frac{A_0}{A}$	۱	۱/۳۷	۱/۷۹	۱/۹۰	۲/۱۳	۲/۳۵	۲/۵۸	۲/۹۵	۳/۲۲	۳/۴۰	۳/۵۷
$\text{Log} \frac{A_0}{A}$	۰	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۵۵



شکل ۳-۳۰: نمودار تغییرات $\text{Log} \frac{A_0}{A}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه

جدول ۳-۲۲: مقادیر $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ و $\frac{1}{A}$ برای واکنش تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

T (min)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
A	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۱۱۷	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶۵	۰/۰۶	۰/۰۵
$\frac{1}{A}$	۴/۷۳	۶/۵۲	۸/۵۰	۹/۰۰	۱۰/۱	۱۱/۱۶	۱۲/۲	۱۳/۹۸	۱۵/۲۴	۱۶/۱	۱۶/۹
$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$	۰	۱/۷۹	۳/۷۷	۴/۲۷	۵/۳۷	۶/۴۳	۷/۴۷	۹/۲۵	۱۰/۵۱	۱۱/۳۷	۱۲/۱۹



شکل ۳-۳۱: نمودار تغییرات $\frac{1}{A} - \frac{1}{A_0}$ بر حسب زمان تخریب تا ۸۰ دقیقه برای تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

جدول ۳-۲۳: بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری تخریب ردآمین بی با غلظت ۱ ppm در حضور ۳۰/۰ میلی گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO

ک	R ²	سینتیک واکنش
۰/۱۴	۰/۹۵	مرتبه اول
۰/۰۰۵	۰/۸۵	مرتبه دوم

با توجه به مقادیر ضریب هم‌بستگی به دست آمده در جدول ۳-۲۳، ضریب هم‌بستگی ۰/۹۵ مربوط به سینتیک مرتبه اول بهتر از ضریب هم‌بستگی ۰/۸۵ مربوط به سینتیک مرتبه دوم است. بنابراین سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری هماهنگی بهتری با سینتیک مرتبه اول دارد.

۴-۳ مقایسه تحقیقات انجام گرفته بر تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی

قاضی^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ نانوذرات ZnO را سنتز کردند و تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی را در حضور این نانوذرات تحت تابش نور فرابنفش مورد بررسی قرار دادند. درصد تخریب ردآمین بی توسط نانوذرات ZnO برابر با ۹۵٪ بوده است [۵۹].

تیواهاران^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۹ نانوذرات ZnO را با استفاده از عصاره برگ ماش سنتز کردند. درصد تخریب فتوکاتالیزوری ردآمین بی تحت تابش نور خورشید در حضور این نانوذرات برابر با ۹۸٪ گزارش شد [۶۰].

اخلاقیان و همکارش در سال ۱۳۹۴ نانوسیم‌های ZnO تقویت شده با لانتانیوم را به روش هیدروترمال سنتز کردند. این نانوذرات در فرآیند فتوکاتالیزوری ردآمین بی تحت تابش نور فرابنفش استفاده شد. درصد تخریب ردآمین بی در حضور نانوسیم‌های ZnO برابر با ۸۹٪ بوده است [۶۱].

درصد تخریب ردآمین بی در این پژوهش برابر با ۹۱/۳۴٪ می‌باشد.

¹ Qazi

² Thivaharan

۳-۵ نتیجه گیری

در این پژوهش از یک روش ساده، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای تهیه نانوذرات نقره و نانوکامپوزیت Ag/RGO با استفاده از عصاره میوه عناب استفاده شد. مواد موجود در عصاره عناب نظیر ترکیبات فنولی، ساپونین‌ها و آلکالوئیدها به عنوان عامل کاهش دهنده یون‌های فلزی و پایدار کننده نانوذرات نقره عمل می‌کند. بررسی نتایج نشان داد که برای تخریب ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ردآمین بی ۱ ppm، توسط ۲۰/۰ میلی‌گرم نانوکامپوزیت Ag/RGO بهترین عملکرد کاتالیزوری را نشان داد و بازده درصد تخریب رنگ در زمان ۴۵ دقیقه برابر با ۹۱/۳ درصد بوده است. همچنین بررسی PH نشان می‌دهد که بهترین عملکرد کاتالیزوری در PH برابر با ۶/۰۰ که همان PH محلول آبکی ردآمین بی می‌باشد، است. در حضور ۲۰/۰ میلی‌گرم از نانوکامپوزیت تهیه شده، با افزایش غلظت ردآمین بی، زمان بیشتری برای تخریب آن مورد نیاز است. همچنین در غلظت یکسان از رنگ، با افزایش مقدار نانوکامپوزیت، زمان تخریب رنگ کاهش می‌یابد تا اینکه به یک مقدار بهینه (۲۰/۰ میلی‌گرم) برسد. بررسی سینتیک فرآیند فتوکاتالیزوری نشان داد که فرآیند تخریب از سینتیک مرتبه اول پیروی می‌کند.

۳-۶ آینده نگری

- ✓ از عصاره میوه عناب می‌توان برای سنتز نانوذرات فلزی نظیر آهن و مس و طلا استفاده کرد.
- ✓ می‌توان از عصاره گیاهان مختلف در تهیه نانوذرات نقره و نانوکامپوزیت Ag/RGO استفاده کرد.
- ✓ از بسترهای مختلف جهت تهیه نانوکامپوزیت، برای فعالیت کاتالیزوری می‌توان استفاده کرد.
- ✓ از نانوکامپوزیت تهیه شده می‌توان در تخریب رنگ‌هایی نظیر متیل اورانژ، متیلن بلو و کنگورد و... استفاده کرد.

- [1] Behravan, M., Panahi, A. H., Naghizadeh, A., Ziaee, M., Mahdavi, R., Mirzapour, A. (2019). Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. *Int. J. Biol. Macromol.*124, 148-154.
- [2] Lavilla, I., Romero, V., Costas, I., Bendicho, C. (2014). Greener derivatization in analytical chemistry. *Trends Anal. Chem.*61, 1-10.
- [3] Gałuszka, A., Migaszewski, Z., & Namieśnik, J. (2013). The 12 principles of green analytical chemistry and the Significance mnemonic of green analytical practices. *Trends Anal. Chem.*50, 78-84.
- [4] Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016). A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise. *J. Adv. Res.*7, 17-28.
- [5] Asmathunisha, N., Kathiresan, K. (2013). A review on biosynthesis of nanoparticles by marine organisms. *Colloids Surfaces B.*103, 283-287.
- [6] Li, J., & Zhang, J. Z. (2009). Optical properties and applications of hybrid semiconductor nanomaterials. *Coord. Chem. Rev.*253, 3015-3041.
- [7] Ray, P. C. (2010). Size and shape dependent second order nonlinear optical properties of nanomaterials and their application in biological and chemical sensing. *Chem. Rev.*110, 5332-5365.
- [8] Leary, S. P., Liu, C. Y., Apuzzo, M. L. (2006). Toward the emergence of nanoneurosurgery: part III--nanomedicine: targeted nanotherapy, nanosurgery, and progress toward the realization of nanoneurosurgery. *Neurosurgery.*58, 1009-1026.
- [9] Raj, S., Mali, S. C., Trivedi, R. (2018). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Enicostemma axillare* (Lam.) leaf extract. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*503, 2814-2819.
- [10] Veisi, H., Kavian, M., Hekmati, M., Hemmati, S. (2019). Biosynthesis of the silver nanoparticles on the graphene oxide's surface using *Pistacia atlantica* leaves extract and its antibacterial activity against some human pathogens. *Polyhedron.*161, 338-345.
- [11] Kalaiarasi, R., Jayallakshmi, N., Venkatachalam, P. (2010). Phytosynthesis of nanoparticles and its applications. *Plant Cell Biotechnol. Mol. Biol.* 11, 1-16.

- [12] Rath, M., Panda, S. S., Dhal, N. K. (2014). Synthesis of silver nano particles from plant extract and its application in cancer treatment: A review. *Int. J. Plant Anim. Environ. Sci.*4, 137-45.
- [13] Halawani, E. M. (2016). Rapid biosynthesis method and characterization of silver nanoparticles using *Zizyphus spina christi* leaf extract and their antibacterial efficacy in therapeutic application. *J. Biomater. Nanobiotechnol.* 8, 22-35.
- [14] Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chem.*13, 2638-2650.
- [15] Mittal, A. K., Chisti, Y., Banerjee, U. C. (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnol. Adv.*31, 346-356.
- [16] Kulkarni, N., Muddapur, U. (2014). Biosynthesis of metal nanoparticles: A review. *J. Nanotechnol.*2014.
- [17] Li, Y., Wu, T. Y., Chen, S. M., Ali, M. A., AlHemaid, F. M. (2012). Green synthesis and electrochemical characterizations of gold nanoparticles using leaf extract of *Magnolia kobus*. *Int. J. Electrochem. Sci.*7, 12742-12751.
- [18] Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *J. Food Eng.*117, 426-436.
- [19] Dai, J., Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*,15, 7313-7352.
- [20] Hossain, M. A. (2018). A phytopharmacological review on the Omani medicinal plant: *Ziziphus jujube*. *J. King Saud Univ.*
- [21] Ji, X., Peng, Q., Yuan, Y., Shen, J., Xie, X., Wang, M. (2017). Isolation, structures and bioactivities of the polysaccharides from jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.): A review. *Food chem.*227, 349-357.
- [22] Gao, Q. H., Wu, C. S., & Wang, M. (2013). The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: A review of current knowledge of fruit composition and health benefits. *J. Agric. Food chem.*61, 3351-3363.
- [23] Parfitt, G. D., Tideswell, M. W. (1981). Structuring phenomena at the n-alkane/graphon interface. *J. Colloid Interface Sci.*79, 518-524.
- [24] Kvítek, L., Pucek, R., Panáček, A., Novotný, R., Hrbáč, J., Zbořil, R. (2005). The influence of complexing agent concentration on particle size in the process of SERS active silver colloid synthesis. *J. Mater. Chem.*15, 1099-1105.

- [25] Huyen, N. T. M., Trang, P. T. T., Dat, N. M., Hieu, N. H. (2017). Synthesis of chitosan/graphene oxide nanocomposites for methylene blue adsorption. *AIP Conf. Proc.*
- [26] Tao, T., Xu, F., Chen, X. C., Liu, Q. Q., Huang, W., You, X. Z. (2012). Comparisons between azo dyes and schiff bases having the same benzothiazole/phenol skeleton: Syntheses, crystal structures and spectroscopic properties. *Dyes Pigments*, 92, 916-922.
- [27] Boudechiche, N., Fares, M., Ouyahia, S., Yazid, H., Trari, M., Sadaoui, Z. (2019). Comparative study on removal of two basic dyes in aqueous medium by adsorption using activated carbon from *Ziziphus lotus* stones. *Microchem. J.* 146, 1010-1018.
- [28] Elliott, G. S., Mason, R. W., Edwards, I. R. (1990). Studies on the pharmacokinetics and mutagenic potential of Rhodamine B. *J. Clin. Toxicol.* 28, 45-59.
- [29] Agorku, E. S., Mamo, M. A., Mamba, B. B., Pandey, A. C., Mishra, A. K. (2015). Palladium-decorated zinc sulfide/reduced graphene oxide nanocomposites for enhanced visible light-driven photodegradation of Indigo carmine. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 33, 119-126.
- [30] Cole-Hamilton, D. J. (2003). Homogeneous catalysis--new approaches to catalyst separation, recovery, and recycling. *Science*, 299(5613), 1702-1706.
- [31] Mcnamara, C. A., Dixon, M. J., Bradley, M. (2002). Recoverable catalysts and reagents using recyclable polystyrene-based supports. *Chem. Rev.* 102, 3275-3300.
- [32] Polshettiwar, V., Varma, R. S. (2010). Green chemistry by nano-catalysis. *Green Chem.* 12, 743-754.
- [33] Chen, J., Poon, C.S. (2009). Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications. *Building Environ.* 44, 1899-1906.
- [34] Shukla, S., Chaudhary, S., Umar, A., Chaudhary, G. R., Kansal, S. K., Mehta, S. K. (2016). Surfactant functionalized tungsten oxide nanoparticles with enhanced photocatalytic activity. *Chem. Eng. J.* 288, 423-431.
- [35] Ljubas, D., Smoljanić, G., Juretić, H. (2015). Degradation of Methyl Orange and Congo Red dyes by using TiO₂ nanoparticles activated by the solar and the solar-like radiation. *J. Environ. Manage.* 161, 83-91.
- [36] Song, J. Y., Kim, B. S. (2009). Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess Biosyst. Eng.* 32, 79-84.
- [37] Ahmed, Z., Balu, S. S. (2012). Synthesis of gold nanoparticles and silver nanoparticles via green technology. *AIP Conf. Proc.* 1502, 158-170.
- [38] Vidhu, V. K., Philip, D. (2014). Spectroscopic, microscopic and catalytic properties

of silver nanoparticles synthesized using *Saraca indica* flower. *Spectrochim. Acta A*.117, 102-108.

[39] Weng, X., Huang, L., Chen, Z., Megharaj, M., Naidu, R. (2013). Synthesis of iron-based nanoparticles by green tea extract and their degradation of malachite. *Ind. Crops Prod.*51, 342-347.

[40] Y. Li, Y. Cao, J. Xie, D. Jia, H. Qin and Z. Liang (2015) "Facile solid-state synthesis of Ag/graphene oxide nanocomposites as highly active and stable catalyst for the reduction of 4-nitrophenol" *Catal. Commun.* **58**, 21-25.

[41] Jyoti, K., & Singh, A. (2016). Green synthesis of nanostructured silver particles and their catalytic application in dye degradation. *J. Genet. Eng. Biotechnol.*14, 311-317.

[42] Elemike, E. E., Onwudiwe, D. C., Mkhize, Z. (2016). Eco-friendly synthesis of AgNPs using *Verbascum thapsus* extract and its photocatalytic activity. *Mater. Lett.*185, 452-455.

[43] Khan, Z. U. H., Khan, A., Shah, A., Wan, P., Chen, Y., Khan, G. M., Khan, H. U. (2016). Enhanced photocatalytic and electrocatalytic applications of green synthesized silver nanoparticles. *J. Molecular liquids*, 220, 248-257.

[44] M. Nasrollahzadeh, S.M. Sajadi, A. Rostami Vartooni, M. Alizadeh and M. Bagherzadeh (2016) "Green synthesis of the Pd nanoparticles supported on reduced graphene oxide using barberry fruit extract and its application as a recyclable and heterogeneous catalyst for the reduction of nitroarenes" *J. Colloid Interface Sci.* **466**, 360–368.

[45] Aljabali, A., Akkam, Y., Al Zoubi, M., Al-Batayneh, K., Al-Trad, B., Abo Alrob, O., Evans, D. (2018). Synthesis of gold nanoparticles using leaf extract of *Ziziphus zizyphus* and their antimicrobial activity. *Nanomater.*8, 174.

[46] Arya, A., Mishra, V., Chundawat, T. S. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles from green algae (*Botryococcus braunii*) and its catalytic behavior for the synthesis of benzimidazoles. *Chem. Data Collect.*20.

[47] Shahriary, L., Athawale, A. A. (2014). Graphene oxide synthesized by using modified hummers approach. *Int. J. Renew. Energy Environ. Eng.* 2, 58-63.

[48] Sur, U. K., Ankamwar, B., Karmakar, S., Halder, A., & Das, P. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of shikakai and reetha. *Mater. Today: Proceedings*, 5, 2321-2329.

[49] Chettri, P., Vendamani, V. S., Tripathi, A., Singh, M. K., Pathak, A. P., Tiwari, A. (2017). Green synthesis of silver nanoparticle-reduced graphene oxide using Psidium guajava and its application in SERS for the detection of methylene blue. *App. Surf. Sci.* 406, 312-318.

[50] Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., & Khalaj, M. (2014). Green synthesis of copper nanoparticles using aqueous extract of the leaves of Euphorbia esula L and their catalytic activity for ligand-free Ullmann-coupling reaction and reduction of 4-nitrophenol. *RSC Adv.* 4, 47313-47318.

[51] W. Weiwei, W. Wenfang, C. Xiaoli, W. Yucheng and D. Lingshu (2015) "Synthesis and characterization of Ag/graphene nano-composite" *Rare Metal Mater.Eng.* 44, 2138-2142.

[52] Chettri, P., Vendamani, V. S., Tripathi, A., Singh, M. K., Pathak, A. P., Tiwari, A. (2017). Green synthesis of silver nanoparticle-reduced graphene oxide using Psidium guajava and its application in SERS for the detection of methylene blue. *App. Surf. Sci.* 406, 312-318.

[۵۳] فاطمه سخائی، اسماعیل صلاحی، محمدابراهیم علیا، ایمان مباشرپور (۲۰۱۷). بررسی ویژگی جذبی و فتوکاتالیستی نانوجندسازهای سنتز شده بر پایه گرافن در حذف مواد رنگزای پساب‌های صنعتی. پژوهش‌های کاربردی در شیمی، ۱۱، ۵-۱۹.

[54] Shirzad-Siboni, M., Khataee, A., Joo, S. W. (2014). Kinetics and equilibrium studies of removal of an azo dye from aqueous solution by adsorption onto scallop. *J. Ind. Eng. Chem.* 20, 610-615.

[55] Garg, V. K., Amita, M., Kumar, R., Gupta, R. (2004). Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste. *Dyes pigments*, 63, 243-250.

[56] Chakrabarti, S., Dutta, B. K. (2004). Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. *J. Hazard. Mater.* 112, 269-278.

[۵۷] نعیمه ستاره شناس، سید حسین حسینی، محسن نصر اصفهانی، محسن منصوری، گودرز احمدی (۲۰۱۸). تجزیه فتوکاتالیستی رنگ آزوی قرمز بازیک ۴۶ با استفاده از فرایند ZrO_2/UV غنی شده با کربن فعال. شیمی کاربردی، ۱۳، ۵۳-۶۶.

[۵۸] شیدا شوکتی، فریبا صفا (۲۰۱۸). کاربرد نانوکامپوزیت مغناطیسی نانولوله کربنی چند دیواره جهت حذف رنگ

سبز مستقیم ۲۶ از محلول های آبی: مدل سازی سطح پاسخ و مطالعات سینتیکی. شیمی کاربردی ۱۳، ۱۲۵-۱۳۶.

[59] Rahman, Q. I., Ahmad, M., Misra, S. K., & Lohani, M. (2013). Effective photocatalytic degradation of rhodamine B dye by ZnO nanoparticles. *Materi. Letter*, 91, 170-174.

[60] Varadavenkatesan, T., Lyubchik, E., Pai, S., Pugazhendhi, A., Vinayagam, R., Selvaraj, R. (2019). Photocatalytic degradation of Rhodamine B by zinc oxide nanoparticles synthesized using the leaf extract of *Cyanometra ramiflora*. *J. Photochem. Photobio. B*, 199.

[61] Akhlaghian, F., & Azadi, H. (2017). Removal of Rhodamine B from aqueous solution using photocatalyst of nanowire of zinc oxide doped with lanthanum. *Iranian J. Health and Environment*, 10, 249-258.

Abstract

In this study, silver-reduced graphene oxide nanocomposite (Ag / RGO) was prepared using *Ziziphus zizyphus* extract as a reducing and stabilizing agent. Reduced graphene oxide was used as substrate because of its high surface area and chemical stability. Ag / RGO nanocomposites were characterized by Common methods such as Fourier- transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction pattern (XRD), Scanning electron microscopy (FE-SEM), energy- dispersive X-ray spectroscopy (EDS), UV-Vis spectroscopy and Raman spectra. The photocatalytic behavior of Ag / RGO nanocomposite in the degradation of rhodamine bi dye in aqueous solution as well as its effective factors such as the concentration of rhodamine bi dye, the amount of Ag / RGO nanocomposite and the pH of the solution were investigated. Photocatalytic degradation of 100 ml of rhodium solution at 1 ppm concentration by 20 mg Ag / RGO nanocomposite at pH 6 was complete within 45 minutes, with the highest percentage of rhodamine degradation being 91.34%. It was also found that the rate of degradation was first-order.

Keywords: *Ziziphus zizyphus* extract, silver-reduced graphene oxide nanocomposite, Photocatalytic, Rhodamine B, reduced graphene oxide



Shahrood University of
Technology

Faculty of Chemistry

M.Sc. Thesis in Inorganic Chemistry

**Green synthesis and characterization of silver-reduced graphene oxide
nanocomposite using *Ziziphus zizyphus* extract**

Student: Esmat Mohammadi

Supervisor:
Dr. Esmail Soleimani

January 2020