

مطالعه تخریب فاز جامد کامپوزیت پلی اتیلن-رودامین B تحت تابش نور UV

حامد پولادی، عبدالله عمرانی*، محمد جواد چایچی

دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۹

تاریخ تصحیح: ۹۵/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۰

چکیده

در کار حاضر، کامپوزیت پلی اتیلن-رودامین B در غلظت‌های مختلف ($0/1$ ، $0/07$ ، $0/05$ ، $0/03$ ، $0/01$) از رنگدانه رودامین B در ضخامت ۲۰۰ میکرومتر تهیه شد. مفاهیم مختلف موثر بر تخریب نوری مانند شدت نور، زمان تابش و غلظت رودامین B مورد بررسی قرار گرفته است. اکسیداسیون توسط طیف سنجی FT-IR مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که محصولات اکسیداسیون واجد گروه کربونیل بدست آمدند. همه نمونه‌ها تغییرات رنگ عمده ای را با شرایط تابش نشان دادند. نتایج به دست آمده نشان دادند که بازده تخریب نوری با افزایش شدت نور، غلظت رنگدانه و زمان افزایش یافته است. همچنین نشان داده شد که سینتیک فرایند تخریب نوری با مدل مرتبه اول پیروی می‌کند. واژگان کلیدی: رودامین B، تخریب، پلی اتیلن، کامپوزیت.

۱- مقدمه

پلی اتیلن بدلیل خواص خوب نظیر هزینه تولید نسبتاً پایین، خواص الکتریکی و مکانیکی عالی، مقاومت شیمیایی و فرایند پذیری خوب یکی از پلیمرهای پرکاربرد است [۱]. پلی اتیلن با مصرف سالانه بیش از ۶۰ میلیون تن پرمصرف‌ترین ترمو پلاستیک در جهان می‌باشد. این پلیمر به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف از جمله صنعت کشاورزی به عنوان یک پلاستیک پرکاربرد برای حفاظت و کشت سبزیجات و محصولات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزایش در مصرف پلاستیک‌ها در صنعت کشاورزی، کشاورزان را قادر به افزایش تولید محصولات زراعی و کاهش وابستگی محصولات خود به شرایط آب و هوایی ساخته است. امروزه استفاده از پلاستیک‌ها در صنعت کشاورزی نتایجی در افزایش عملکرد قبل از برداشت محصولات زراعی و سبزیجات، اتکای کمتر بر علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، حفاظت بهتر از محصولات غذایی و بهبود فرایند آبیاری دارد. اگرچه استفاده از پلاستیک‌ها در صنعت کشاورزی همواره عامه پسند بوده اما با اثرات منفی ناشی از دفع هزاران تن زباله پلاستیکی همراه است. یک بخش بزرگی از پلاستیک‌ها توسط کشاورزان دور انداخته یا بدون کنترل سوزانده می‌شوند که ضمن تولید مواد مضر عواقب منفی برای محیط زیست بهمراه خواهند داشت [۲-۴]. جهت کاهش هزینه تولید پلاستیک‌های مصرفی کشاورزی به طور معمول ضخامت آنها را

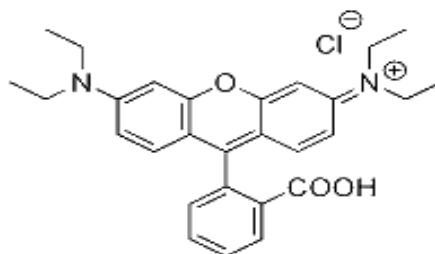
تا ۵ میکرومتر کاهش می دهند که این امر بازیافت آنها را به فرایندی پر هزینه و زمان بر تبدیل خواهد نمود. در حال حاضر به تنهایی درصد کوچکی از زباله های پلاستیکی بازیافت می شوند [۵].

از طرف دیگر پلی الفین ها خیلی اوقات برای کاربردهای خارج از محیط های سر بسته استفاده می شوند. با تغییر شرایط آب و هوایی عمر مواد و خواص آنها تغییر می یابد که می تواند متاثر از عواملی مانند شکستگی در اثر کهولت، شکستن سطح، تغییر رنگ، کاهش خصوصیات مکانیکی و غیره باشد. فرسایش پلیمرها در هوا ممکن است به علت فاکتورهای متعددی نظیر فشار مکانیکی، اکسیداسیون، حرارت یا تخریب زیستی باشد. یکی از فاکتورهای بسیار مهم در تخریب پلیمرها، تابش UV است [۶]. کامپوزیت های چوب-پلاستیک عمدتاً از ترکیب فیبرهای چوب با یک ترمو پلاستیک به همراه برخی از افزودنی ها تهیه شده که در سال های اخیر بطور گسترده ای در صنعت ساختمان بکار رفته اند. پیش بینی می شود که بازار جهانی این نوع کامپوزیت ها بالغ بر ۴ میلیارد دلار تا سال ۲۰۱۹ باشد. عیب عمده این نوع کامپوزیت ها تغییر رنگ و از دست رفتن خواص مکانیکی در استفاده طولانی مدت آنها در شرایط محیط می باشد. برخی از محققین افزودن رنگدانه ها را به کامپوزیت های چوب-پلاستیک به منظور بهبود خواص هوازگی آنها پیشنهاد دادند. مطالعه پیشینه تخریب پلی اتیلن برای توسعه تکنولوژی های تخریب موثر و اقتصادی برای آن جهت توسعه پایدار محصولات کشاورزی و حفاظت از محیط زیست و مزایای نسبی برای کشاورزان مهم است. تخریب فتوکاتالیستی فاز جامد پلیمرها مثل پلی وینیل کلراید یا هر پلیمری که درصد کمی از کلر را دارد مثل پلی اتیلن اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۷-۱۲]. در عین حال که خواص مناسب پلی اتیلن متاثر از فرایندهای مختلف حین تولید می باشد اثرات محیطی مانند تخریب تحت تابش نور UV نیز بایستی مد نظر قرار گیرند. این تا حدودی دلیل علاقه زیاد به مطالعه اکسیداسیون نوری پلی اتیلن را طی سه دهه گذشته نشان می دهد. مکانیزم تخریب با نور UV پلیمرها بسیار پیچیده است زیرا پدیده های متعددی شامل تغییر در مورفولوژی (شکست زنجیر، اتصالات عرضی و کریستالیزاسیون)، تشکیل و تجزیه همزمان هیدروپراکسیدها در آن دخیل هستند [۱۳-۱۷]. استفاده از رنگدانه ها به عنوان پرکننده به طور گسترده ای برای بهبود خواص ترمو پلاستیک ها و کامپوزیت هایی از آنها گزارش شده است [۱۸-۳۳].

رنگدانه های رودامین (آمینو زانتن ها) گروه خیلی مهم از خانواده رنگدانه زانتن ها می باشند. رنگدانه های فلورسنت آبی-قرمز با ضرب جذب مولی خیلی بالا و بازده کوانتومی بالا برای جوهرهای رنگی کاغذ و پلاستیک ها استفاده می شوند. مشتقات سولفونه شده آنها در رنگرزی پشم و پلی آمیدها بکار می روند. رنگدانه رودامین به تنهایی ماده آغازی برای تولید رنگدانه های قرمز بوده و بعضی از آنها در رنگ های لیزری به کار می روند [۳۴].

رودامین B بعنوان یک رنگ فلورسنت معمولی دارای کاربردهای متنوعی در صنایع رنگ، پزشکی، دارویی، و شیمیایی می باشد. این رنگدانه خواص سودمند زیادی مثل پایداری نوری بالا و قابلیت حل شدن در آب را دارا است. محلول های رودامین B می بایست

در ظروف شیشه‌ای نگهداری شوند زیرا آنها بشدت توسط پلاستیک‌ها جذب می‌شوند [۳۴-۳۵]. شکل ۱ ساختار شیمیایی رنگدانه رودامین B را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ساختار مولکولی رنگدانه رودامین B [۳۴].

کامپوزیت‌ها بر پایه پلی‌اتیلن در صنعت ساختمان بکار می‌روند. عمده این کامپوزیت‌ها بواسطه زیبایی و بهبود خواص مکانیکی حاوی رنگدانه می‌باشند. تغییر رنگ این کامپوزیت‌ها بواسطه تابش مخصوصاً نور UV در حین استفاده طولانی مدت از آنها مشکل اصلی کاربرد آنهاست. پایدار کننده‌های نوری ترکیباتی هستند که می‌توانند پلیمرها را در مقابل تخریب با نور UV محافظت نمایند. رنگدانه‌ها اغلب به عنوان مسدود کننده نوری جهت جلوگیری از تخریب نوری پلاستیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هم رنگدانه‌ها و هم جاذب‌های نور UV پایدار کننده‌های نوری بسیار موثری برای کامپوزیت‌ها بر پایه پلی‌اتیلن هستند. در زمینه تخریب نوری رودامین B در بافت پلی‌اتیلن تا کنون تحقیقاتی انجام نشده است. اما مطالعات زیادی در زمینه تخریب نوری و کاتالیستی این رنگدانه در محلول انجام شده است [۳۶-۳۹]. لذا هدف این تحقیق مطالعه سینتیک تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی‌اتیلن تحت تابش نور UV می‌باشد. نتایج این بررسی می‌تواند در تخمین طول عمر کامپوزیت‌ها بر پایه پلی‌اتیلن- رودامین B مفید باشد.

۲- روش تجربی

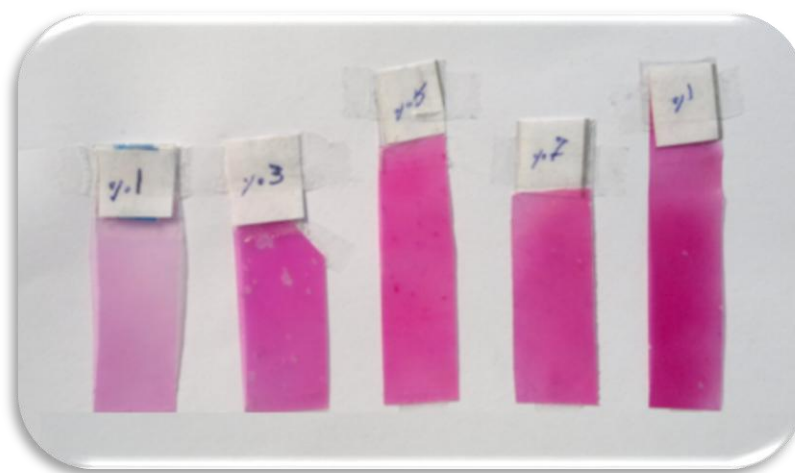
۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاه‌ها

پلی‌اتیلن با شاخص ذوب ۱۸ g/۱۰ min، دانسیته ۰٫۹۵۲ g/cm^۳ و نقطه ذوب ۱۳۱ °C از شرکت پتروشیمی تبریز خریداری گردید. رنگدانه رودامین B با درصد خلوص ۹۹ درصد از شرکت فلوکا کشور سوئیس خریداری شد. طیف‌های UV-Vis با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Cecil مدل (Cambridge, UK) CE ۵۵۰۱ بدست آمد. طیف‌های FT-IR با استفاده از دستگاه طیف سنجی Bruker مدل ۲۲ Vector ساخت کشور آلمان در ناحیه فرکانسی ۴۰۰-۴۰۰۰ cm^{-۱} ثبت شدند. آنالیز اولیه طیف‌ها با استفاده از نسخه ۴ نرم‌افزار OPUS (Germany, Ettlingen, Bruker Optics GmbH) انجام شد.

انجام گردید. از دستگاه فتوشیمی ORIEL مدل (Stamford, CT, USA) ۸۵۰۰ برای مطالعه تخریب نوری رنگدانه در پلیمر استفاده شد.

۲-۲- تهیه فیلم‌های نازک پلی اتیلن رنگی

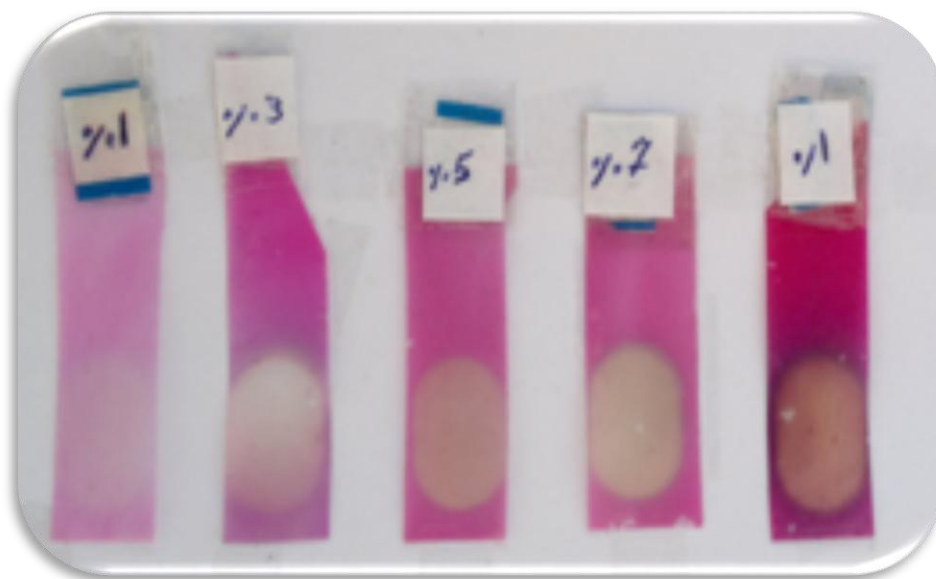
برای جلوگیری از جذب رطوبت، پلی‌اتیلن و رنگدانه به مدت ۴۸ h درون آون در دمای 60°C قرار داده شده اند. کامپوزیت پلی اتیلن-رودامین B با استفاده از دستگاه آمیزه سازی (Brabender, Germany) تولید شد. درصدهای وزنی مختلف از رنگدانه رودامین B (۰/۱، ۰/۰۷، ۰/۰۵، ۰/۰۳، ۰/۰۱ w/w/.) به بستر پلیمر اضافه گردید. فیلم‌های نازک کامپوزیت به روش اکستروژن کردن توسط دستگاه اکستروژن مدل (Kiefel, Germany) تولید شد. اختلاط در حدود ۲ تا ۴ دقیقه تا یکنواخت شدن منحنی گشتاور-زمان که توسط نرم افزار دستگاه ارائه می گردد در دمای 180°C تولید گردید. فیلم‌های نازک با ضخامت $(200 \pm 2 \mu\text{m})$ برای آزمایش‌های تخریب نوری آماده شدند. شکل ۲ نمایی از فیلم‌های تولید شده را در غلظت‌های مختلف رنگدانه نشان می‌دهد.



شکل ۲- لایه‌های نازک پلی‌اتیلنی در غلظت‌های مختلف رنگدانه رودامین B.

۲-۳- تخریب نوری رنگدانه لایه‌های نازک پلیمری

تخریب نوری رنگدانه رودامین B در بافت پلیمری رنگی توسط دستگاه فتوشیمی ORIEL در شدت جریان‌های مختلف (A) ۳، ۲/۵، ۲، ۱/۵ و در زمان‌های تابش متفاوت مورد مطالعه قرار گرفت. ارزیابی میزان تخریب رنگدانه در فیلم‌های پلیمری توسط دستگاه‌های اسپکتروسکوپی UV-Vis و FT-IR صورت پذیرفت. شکل ۳ نمونه‌هایی از فیلم‌های کامپوزیت پلی‌اتیلنی تخریب شده را در غلظت‌های مختلف از رنگدانه رودامین B بعد از ۲۰۰ دقیقه نشان می‌دهد.

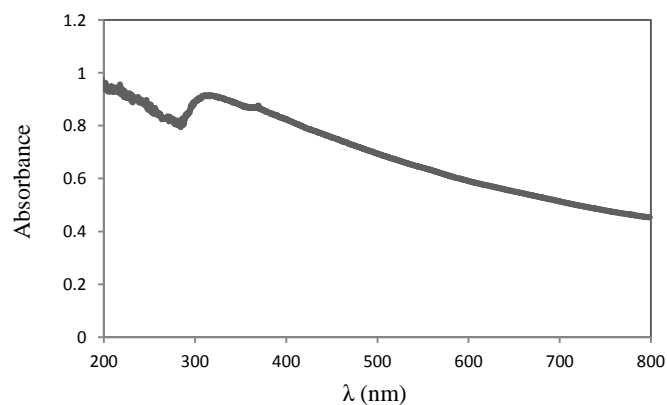


شکل ۳- لایه‌های پلی‌اتیلنی رنگی تخریب شده در غلظت‌های متفاوت رنگدانه رودامین B تحت شدت جریان نور معادل ۱/۵ آمپر بعد از ۲۰۰ دقیقه.

۳- بحث و نتیجه گیری

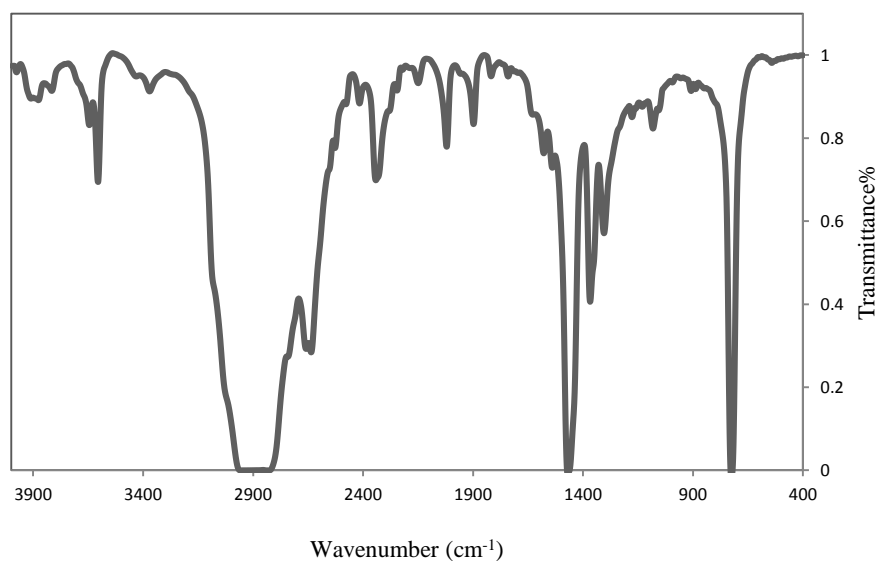
۳-۱- طیف سنجی پلی‌اتیلن، رودامین B و کامپوزیت آنها:

همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود با توجه به ساختار پلی‌اتیلن طیف UV-Vis این ماده در ناحیه ۸۰۰ - ۲۰۰ nm جذب خاصی از خود نشان نمی‌دهد.



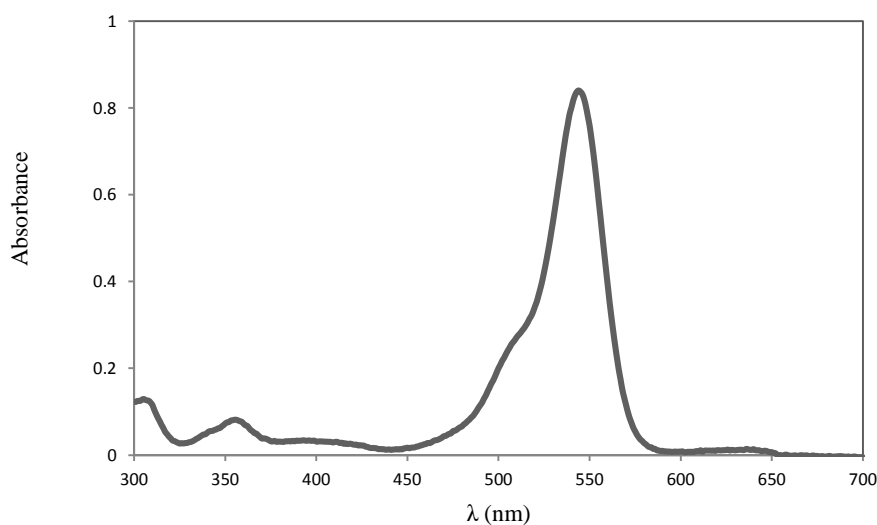
شکل ۴- طیف UV-Vis پلی‌اتیلن.

شکل ۵ طیف FT-IR پلی‌اتیلن را نشان می‌دهد. باند مشاهده شده در ناحیه 2927 cm^{-1} مربوط به جذب گروه CH_2 خمشی خارج صفحه‌ای و پیک دیده شده در ناحیه 1467 cm^{-1} مربوط به جذب گروه CH_2 خمشی را نشان می‌دهند. پیک پهن مشاهده شده در ناحیه 2900 cm^{-1} مربوط به جذب گروه C-H کششی می‌باشد.



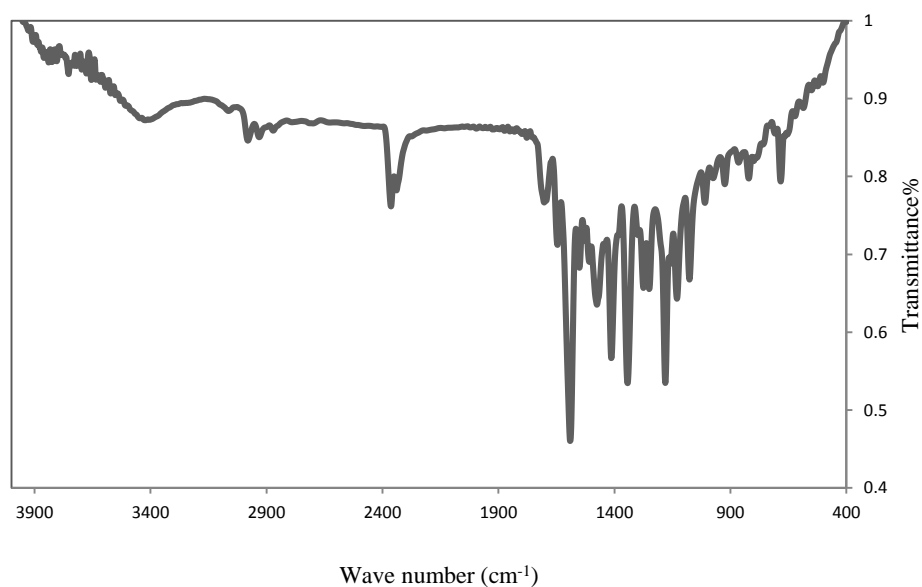
شکل ۵- طیف FT-IR پلی اتیلن با دانسیته بالا.

بوضوح طیف UV-Vis رودامین B (شکل ۶) در طول موج ۵۵۰ nm بیشترین جذب را دارد و در این طول موج این رنگدانه رنگ زرد را جذب و رنگ بنفش را از خود ساطع می‌کند.



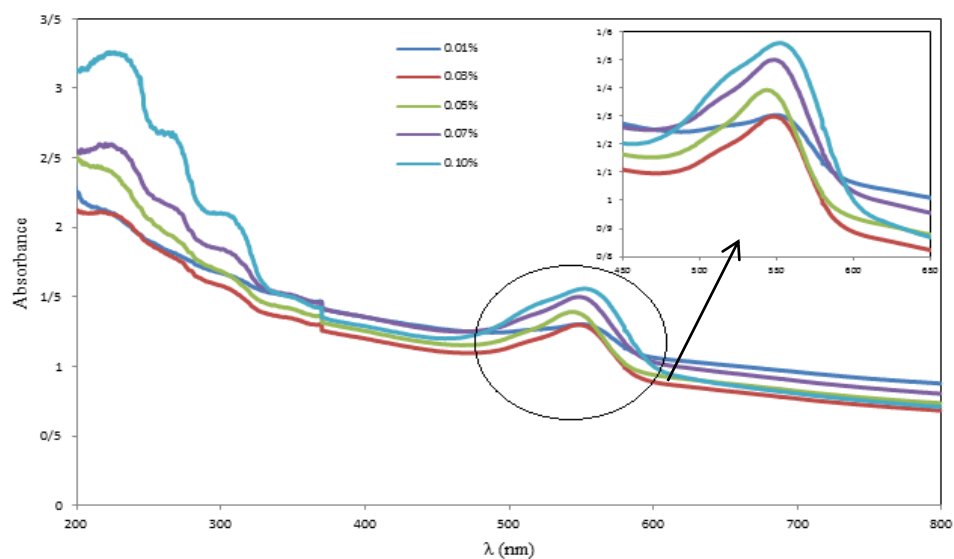
شکل ۶- طیف UV-Vis رودامین B.

شکل ۷ طیف FT-IR رنگدانه رودامین B را در گستره $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ نشان می‌دهد. باندهای مشخصه این رنگدانه در نواحی 1182 cm^{-1} (مربوط به گروه C-O)، 1600 cm^{-1} (مربوط به جذب گروه C=C) و 3450 cm^{-1} (مربوط به پیک جذبی گروه عاملی O-H در ساختار رودامین B) قابل مشاهده هستند.



شکل ۷- طیف FT-IR رنگدانه رودامین B در گستره $4000-400 \text{ cm}^{-1}$.

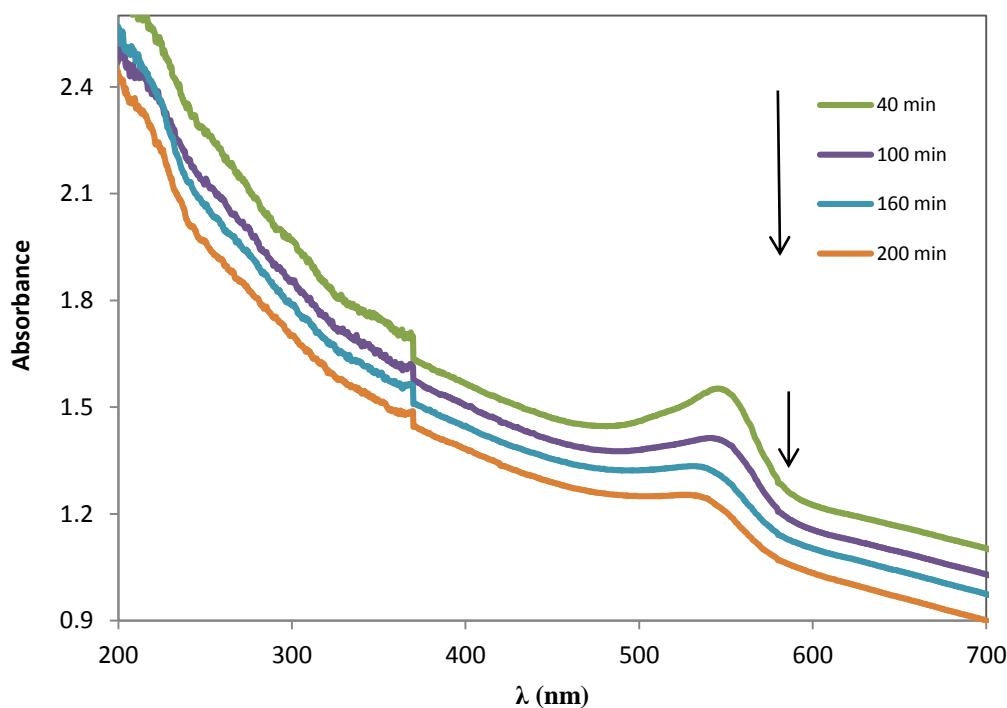
به منظور درک برهمکنش‌های احتمالی بین اجزای کامپوزیت طیف UV-Vis مربوط به کامپوزیت در غلظت‌های مختلف رودامین B تهیه گردید. همانگونه که در شکل ۸ نشان داده شد هیچ برهمکنش خاص بین پلیمر و رنگدانه اتفاق نمی‌افتد. باند جذبی رنگدانه بوضوح در 550 nm در فیلم‌های کامپوزیت قابل مشاهده است.



شکل ۸- طیف UV-Vis سیستم رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت‌های مختلف رنگدانه.

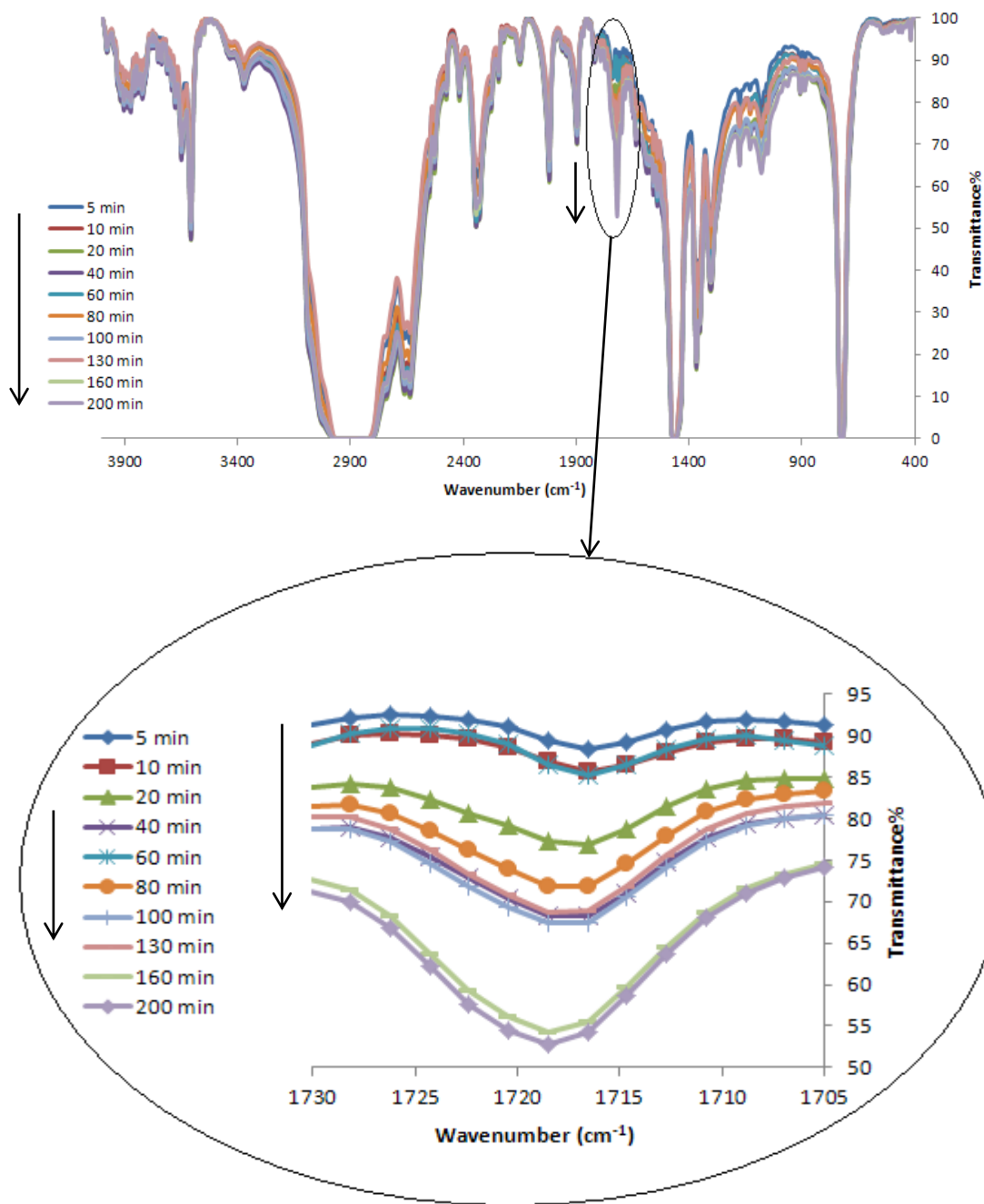
۳-۲- اثر تابش نور UV بر تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن

شکل ۹ طیف‌های UV-Vis مربوط به تخریب کامپوزیت حاوی ۰.۱ (wt)٪ رنگدانه رودامین B را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. بطور واضح با گذشت زمان میزان جذب در طول موج ۵۵۰ nm کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد میزان تخریب رنگدانه با افزایش زمان افزایش می‌یابد.



شکل ۹- طیف UV-Vis مربوط به تخریب نوری سیستم رنگدانه رودامین B با غلظت ۰.۱ (wt)٪ در بستر پلی اتیلن تحت شدت نور معادل ۱/۵ آمپر در زمان‌های مختلف.

طیف‌های FT-IR نمونه‌های تخریب شده تحت شرایط یکسان ثبت گردید و نتایج در شکل ۱۰ نشان داده شد. بارزترین تغییرات طیفی مربوط به تغییر در جذب گروه کربونیل در ناحیه 1718 cm^{-1} می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان تخریب میزان تشکیل گروه کربونیل افزایش یافته که می‌تواند گواهی بر تخریب رنگدانه در پلیمر و همچنین تخریب پلیمر باشد.



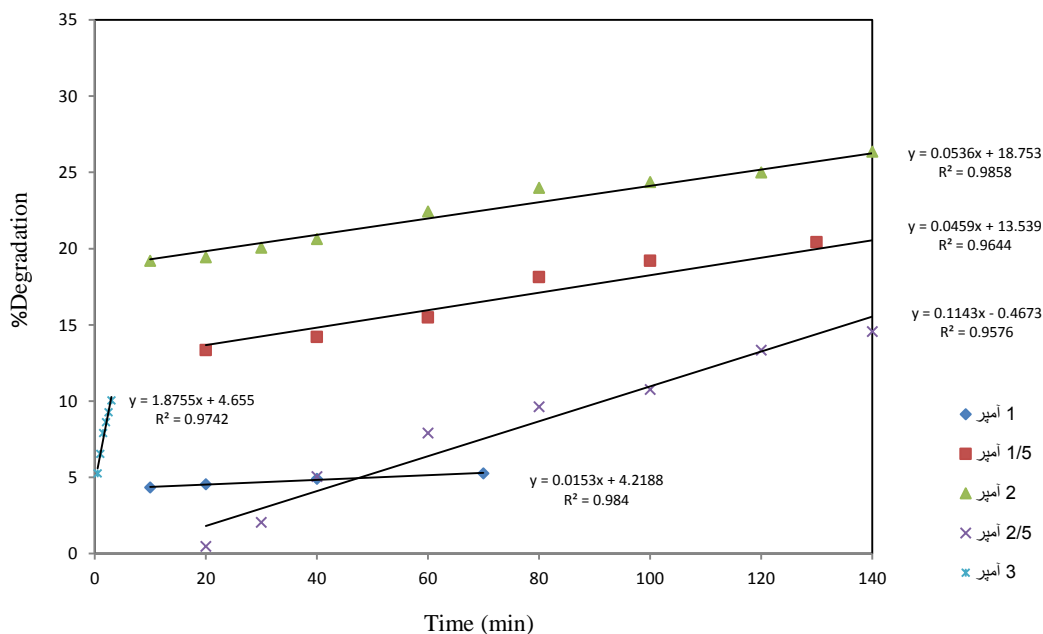
شکل ۱۰- طیف FT-IR مربوط به تخریب نوری رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در زمان‌های مختلف در شدت جریان معادل ۱/۵ آمپر و در غلظت ۰/۰۱ (wt)٪ از رنگدانه.

۳-۳- محاسبه درصد تخریب رنگدانه در کامپوزیت‌ها

با محاسبه این پارامتر می‌توان درصد تخریب را بدست آورد و آنرا بر حسب پارامترهای مختلف بررسی کرد.

$$\% \text{ Degradation} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، A_0 جذب رنگدانه در طول موج 550 nm در بستر پلیمر قبل از تخریب و A جذب رنگدانه بعد از گذشت زمان دلخواه است [۳۹]. شکل ۱۱ نمودار اثر زمان تابش بر درصد تخریب رنگدانه رودامین B (Wt) ۰.۰۵٪ در بستر پلی اتیلن را در شدت جریان‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار مشخص است با افزایش شدت نور، شیب نمودارها افزایش یافته که حاکی از تخریب سریعتر رنگدانه با افزایش شدت نور می‌باشد.



شکل ۱۱- نمودار مربوط به اثرات زمان تخریب بر روی درصد تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت ثابت (Wt) ۰.۰۵٪ از رنگدانه و در شدت نورهای مختلف.

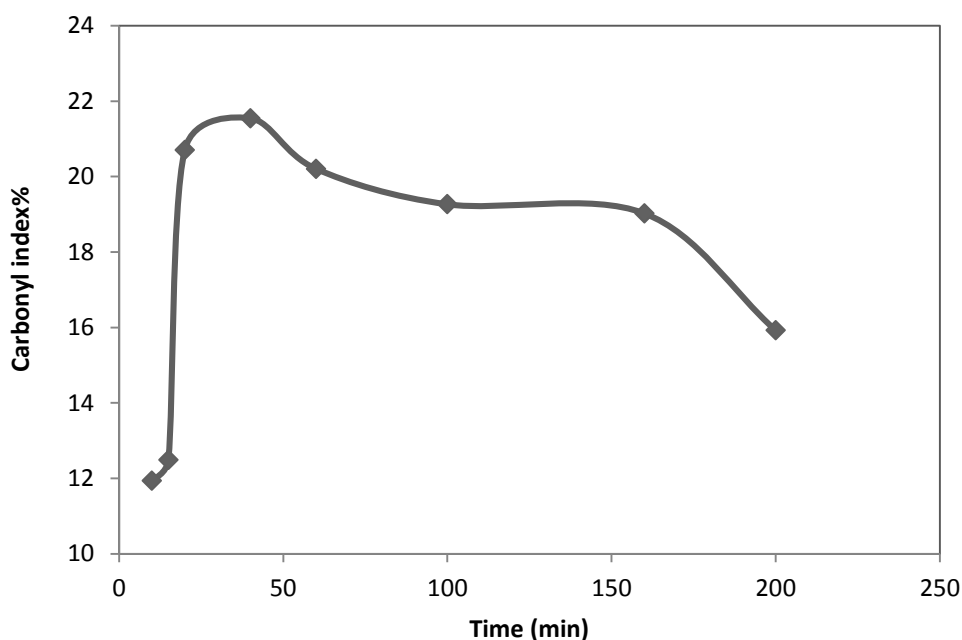
۳-۴- محاسبه شاخص کربونیل در سیستم رنگدانه-پلی اتیلن

محاسبه شاخص کربونیل می‌تواند پارامتر خوبی برای بررسی میزان تخریب رنگدانه در پلیمر و هم تخریب خود پلیمر در اثر تابش نور UV باشد. این پارامتر از آنالیز نمودارهای FT-IR بدست آمد.

$$\text{Carbonyl index} = \frac{A_{1716}}{A_{2912}} \times 100 \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله، A_{1716} جذب گروه کربونیل و A_{2912} جذب گروه C-H آلکانی گروه متیلن به عنوان پیک مرجع می‌باشد [۴۰].

شکل ۱۲ میزان شاخص کربونیل را بر حسب زمان تخریب در غلظت (Wt) ۰.۱٪ از رنگدانه و شدت جریان ۲ آمپر نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل مشخص است در زمان‌های اولیه تخریب (بعد از گذشت حدود ۴۰ دقیقه) تولید گروه کربونیل از سرعت بیشتری برخوردار است. این امر ممکن است به بالا بودن غلظت رنگدانه در اوایل تخریب در بستر پلیمر مربوط شود. بعد از این زمان گروه کربونیل با سرعت کمتری تشکیل می‌گردد. در هر حال تشکیل گروه کربونیل در زمان‌های بالاتر از ۴۰ دقیقه ممکن است بیشتر به تخریب نوری پلی‌اتیلن مربوط شود.



شکل ۱۲- نمودار شاخص کربونیل بر حسب زمان تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی‌اتیلن در غلظت (wt) ۰.۱٪ از رنگدانه و شدت جریان معادل ۲ آمپر.

۳-۵- بررسی سینتیکی تخریب نوری رنگدانه رودامین B در بستر پلی‌اتیلن

به منظور مطالعه سینتیک تخریب نوری رنگدانه در پلی‌اتیلن، امکان تطبیق داده‌های تجربی با مدل‌های سینتیکی مختلف امتحان گردید و بهترین نتایج با مدل مرتبه اول بدست آمد. اگر میزان پیشرفت واکنش تخریب به صورت زیر تعریف شود:

$$\alpha = \frac{[RB]}{[RB]_0} \quad (۳)$$

در آن صورت شکل انتگرال‌گیری شده معادله سرعت به شکل زیر خواهد بود:

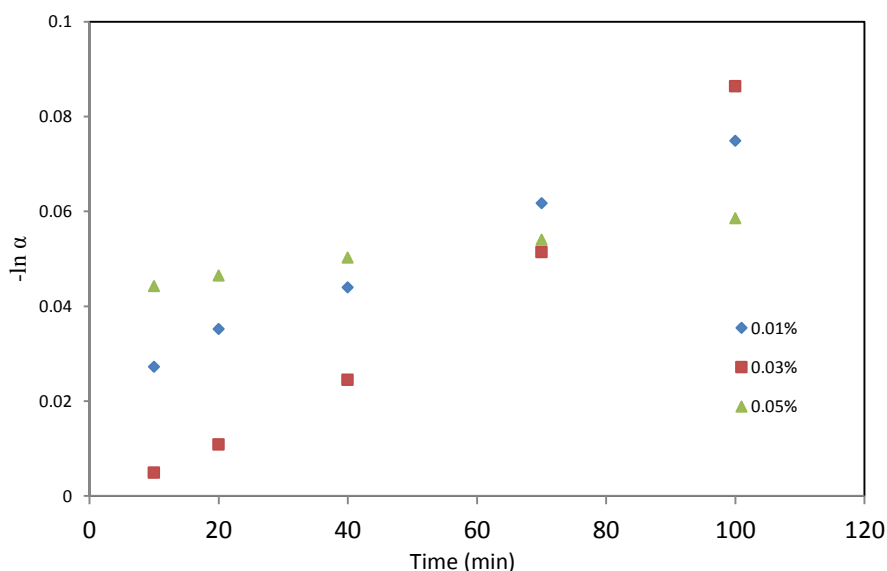
$$\ln \frac{[RB]}{[RB]_0} = \ln \alpha = -kt \quad (۴)$$

پر واضح است که نمودار $\ln \frac{[RB]}{[RB]_0}$ بر حسب زمان یک رابطه خطی خواهد بود که از روی شیب آن ثابت سرعت تخریب رنگدانه محاسبه گردید. نیمه عمر یک واکنش مرتبه اول را می توان با معادله زیر حساب کرد:

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k} \quad (5)$$

در این روابط $[RB]$ غلظت رنگدانه رودامین B در هر لحظه از زمان تخریب و $[RB]_0$ غلظت اولیه رنگدانه رودامین B و k ثابت سرعت می باشد.

برای انتخاب بهترین مدل سینتیکی نمودار $-\ln \alpha$ را بر حسب زمان تخریب رسم کردیم.



شکل ۱۳- نمودار $-\ln \alpha$ بر حسب زمان تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت مختلف از رنگدانه و در شدت جریان معادل ۱ آمپر.

همانطور که در نمودار ۱۳ مشاهده می شود تغییرات $-\ln \alpha$ بر حسب زمان تخریب و تغییرات α بر حسب زمان تخریب در شدت جریان معادل ۱ آمپر رسم شده است. با توجه به این نمودارها تغییرات $-\ln \alpha$ بر حسب زمان تخریب به صورت خطی در آمده و به غلظت اولیه رنگدانه بستگی ندارد. از آنجاییکه در معادله سینتیکی مرتبه اول تغییرات $-\ln \alpha$ بر حسب زمان تخریب به غلظت اولیه رنگدانه بستگی ندارد می توان چنین نتیجه گرفت که سینتیک واکنش تخریب از مرتبه اول می باشد [۳۶]. در جدول های ۱ الی ۵ داده های سینتیکی مربوط به تخریب نوری رنگدانه تحت شرایط مختلف آورده شده است.

جدول ۱- داده‌های مربوط به تخریب نوری سیستم رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن به ضخامت $200\mu\text{m}$ در غلظت‌های مختلف رنگدانه و در شدت جریان ثابت معادل ۱ آمپر.

سیستم	[R.B] (wt%)	معادله خط	r^2	K (min^{-1})	$t_{1/2}$ (hr)
PE-R.B	۰٫۰۱	$y = -0/0004x + 0/2345$	۰٫۹۹	$3/74 \times 10^{-4}$	۳۰٫۸۸
PE-R.B	۰٫۰۳	$y = -0/0009x + 0/3060$	۰٫۹۸	$9/01 \times 10^{-4}$	۱۲٫۸۲
PE-R.B	۰٫۰۵	$y = -0/0002x + 0/2923$	۰٫۹۸	$1/61 \times 10^{-4}$	۷۱٫۷۴
PE-R.B	۰٫۰۷	$y = -0/0006x + 0/1059$	۰٫۹۹	$6/11 \times 10^{-4}$	۱۸٫۹۰
PE-R.B	۰٫۱۰	-	-	-	-

جدول ۲- داده‌های مربوط به تخریب نوری سیستم رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن به ضخامت $200\mu\text{m}$ در غلظت‌های مختلف رنگدانه و در شدت جریان ثابت معادل ۱٫۵ آمپر.

سیستم	[R.B] (wt%)	معادله خط	r^2	K (min^{-1})	$t_{1/2}$ (hr)
PE-R.B	۰٫۰۱	$y = -0/0015x + 0/4954$	۰٫۹۹	$1/52 \times 10^{-3}$	۷٫۶۰
PE-R.B	۰٫۰۳	$y = -0/0002x + 0/2797$	۰٫۹۷	$1/54 \times 10^{-4}$	۷۵٫۰۰
PE-R.B	۰٫۰۵	$y = -0/0006x + 0/1927$	۰٫۹۷	$5/58 \times 10^{-4}$	۱۹٫۷۴
PE-R.B	۰٫۰۷	$y = -0/0003x + 0/2338$	۰٫۹۸	$3/11 \times 10^{-4}$	۳۷٫۱۴
PE-R.B	۰٫۱۰	-	-	-	-

جدول ۳- داده‌های مربوط به تخریب نوری سیستم رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن به ضخامت $200\mu\text{m}$ در غلظت‌های مختلف رنگدانه و در شدت جریان ثابت معادل ۲ آمپر.

سیستم	[R.B] (wt%)	معادله خط	r^2	K (min^{-1})	$t_{1/2}$ (hr)
PE-R.B	۰٫۰۱	$y = -0/0014x + 0/2813$	۰٫۹۶	$1/35 \times 10^{-4}$	۸٫۵۵
PE-R.B	۰٫۰۳	$y = -0/0006x + 0/1312$	۰٫۹۹	$5/54 \times 10^{-4}$	۲۰٫۸۵
PE-R.B	۰٫۰۵	$y = -0/0007x + 0/1301$	۰٫۹۹	$7/13 \times 10^{-4}$	۱۶٫۲۰
PE-R.B	۰٫۰۷	$y = -0/0002x + 0/0893$	۰٫۹۸	$1/99 \times 10^{-4}$	۵۸٫۰۴
PE-R.B	۰٫۱۰	$y = -0/0003x + 0/4233$	۰٫۹۸	$3/03 \times 10^{-4}$	۳۸٫۱۲

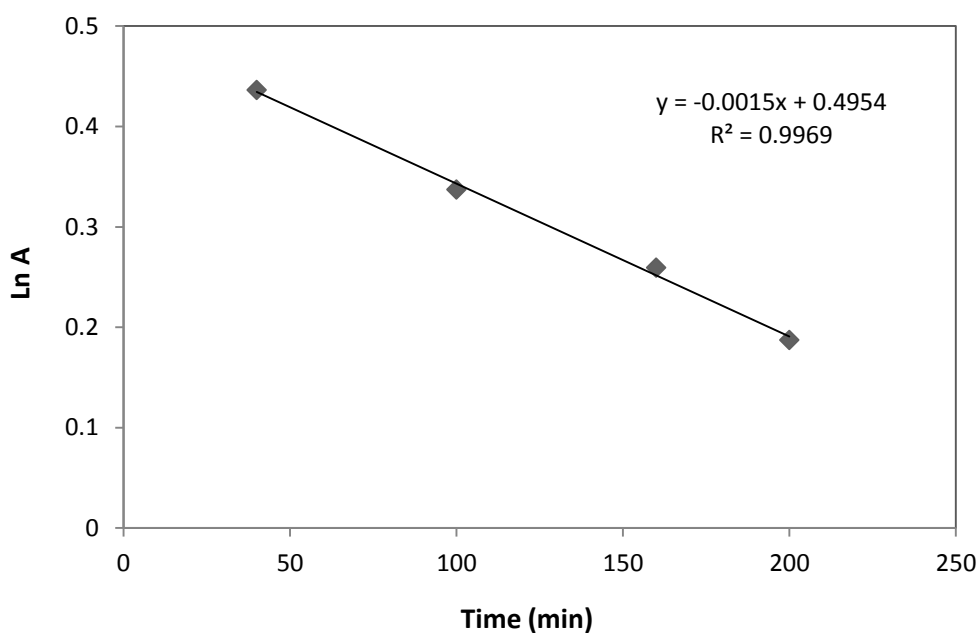
جدول ۴- داده‌های مربوط به تخریب نوری سیستم رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن به ضخامت $200\mu\text{m}$ در غلظت‌های مختلف رنگدانه و در شدت جریان ثابت معادل ۲٫۵ آمپر.

سیستم	[R.B] (wt%)	معادله خط	r^2	K (min^{-1})	$t_{1/2}$ (hr)
PE-R.B	۰٫۰۱	-	-	-	-
PE-R.B	۰٫۰۳	$y = -0/0011x + 0/686$	۰٫۹۸	$1/11 \times 10^{-3}$	۱۰٫۴۰
PE-R.B	۰٫۰۵	$y = -0/0012x + 0/3427$	۰٫۹۶	$1/24 \times 10^{-3}$	۹٫۳۱
PE-R.B	۰٫۰۷	$y = -0/0007x + 0/1581$	۰٫۹۸	$7/00 \times 10^{-4}$	۱۶٫۵۰
PE-R.B	۰٫۱۰	$y = -0/0005x + 0/3708$	۰٫۹۷	$5/05 \times 10^{-4}$	۲۲٫۸۷

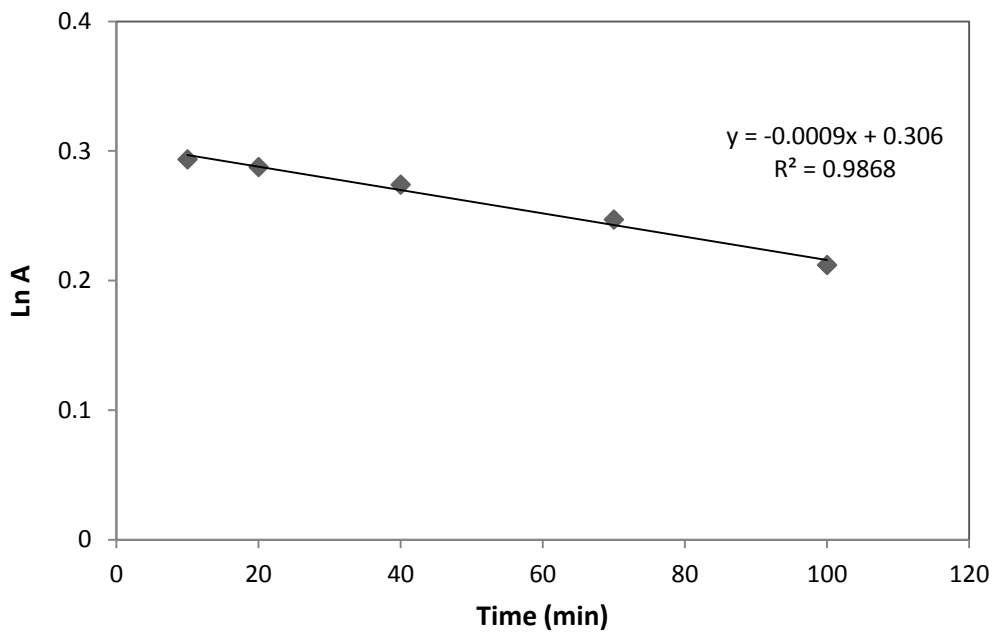
جدول ۵- داده‌های مربوط به تخریب نوری سیستم رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن به ضخامت $200\ \mu\text{m}$ در غلظت‌های مختلف رنگدانه و در شدت جریان ثابت معادل ۳ آمپر.

سیستم	[R.B] (wt%)	معادله خط	r^2	K (min^{-1})	$t_{1/2}$ (hr)
PE-R.B	۰٫۰۱	$y = -0.0068x + 0.375$	۰٫۹۶	6.83×10^{-3}	۱٫۶۹
PE-R.B	۰٫۰۳	$y = -0.0104x + 0.1035$	۰٫۹۸	1.04×10^{-2}	۱٫۱۱
PE-R.B	۰٫۰۵	$y = -0.0203x + 0.2881$	۰٫۹۷	2.03×10^{-2}	۰٫۵۶
PE-R.B	۰٫۰۷	$y = -0.074x + 0.1434$	۰٫۹۹	7.44×10^{-2}	۱٫۵۵
PE-R.B	۰٫۱۰	$y = -0.084x + 0.4975$	۰٫۹۸	8.37×10^{-2}	۱٫۳۸

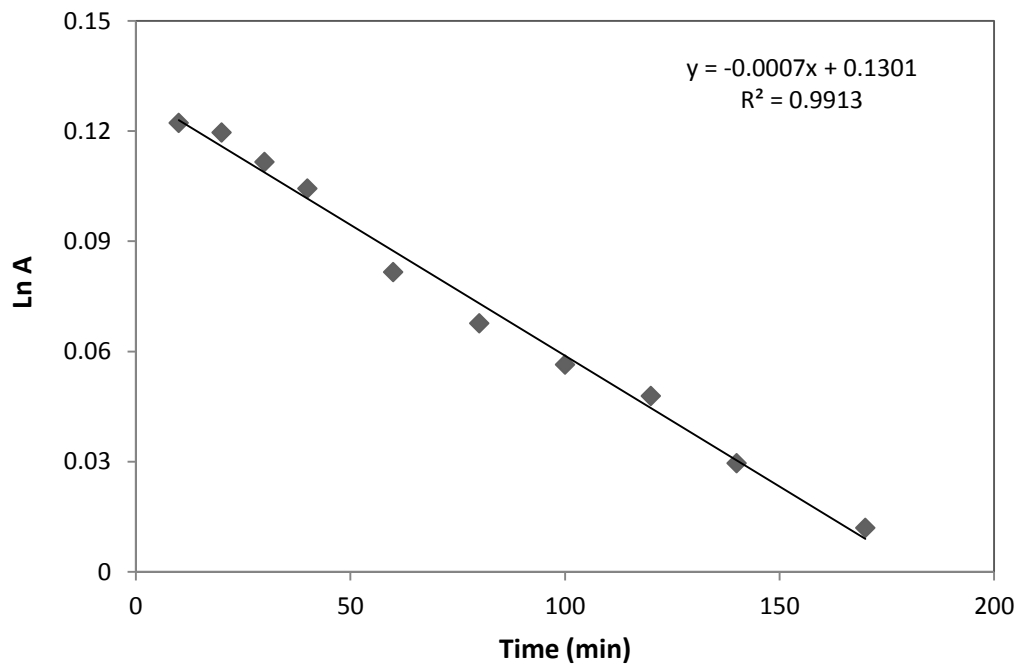
با توجه به محاسبات سینتیک مرتبه اول نمودارهای لگاریتم جذب بر حسب زمان تخریب در غلظت‌های مختلف و تحت شدت نورهای متفاوت رسم گردید و بعنوان نمونه چند مورد در شکل‌های ۱۴ الی ۱۸ گزارش شده است. همانطور که از شکل‌ها واضح است رفتار خطی مناسب آنها دلالت بر مدل سینتیکی مرتبه اول دارد [۴۱-۴۵].



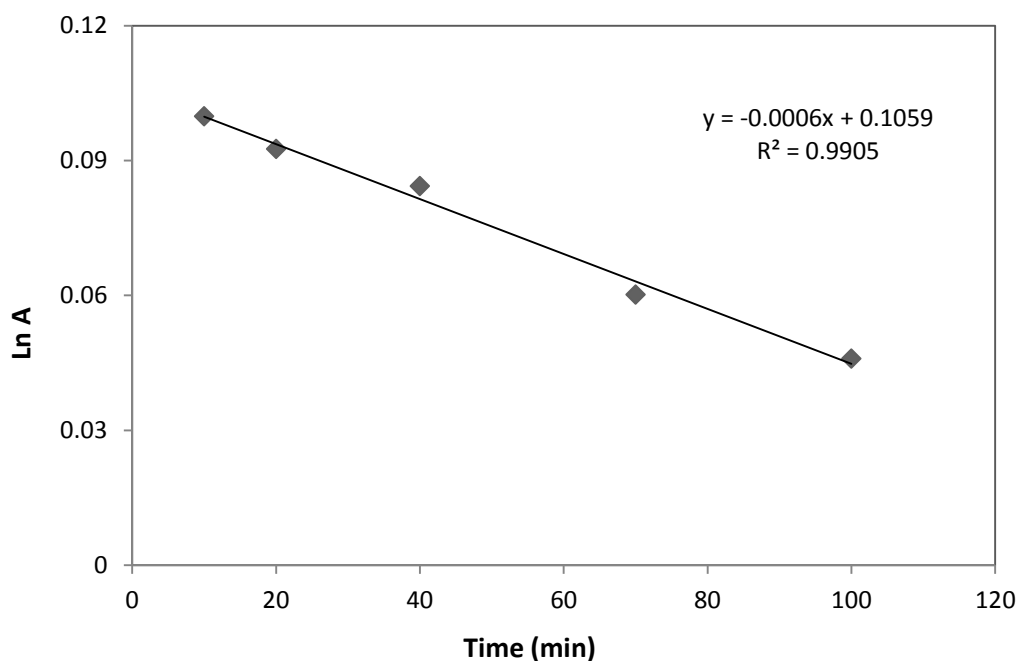
شکل ۱۴- نمودار لگاریتم جذب بر حسب زمان مربوط به تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت (wt) ۰٫۰۱٪ از رنگدانه و شدت نور معادل ۱٫۵ آمپر.



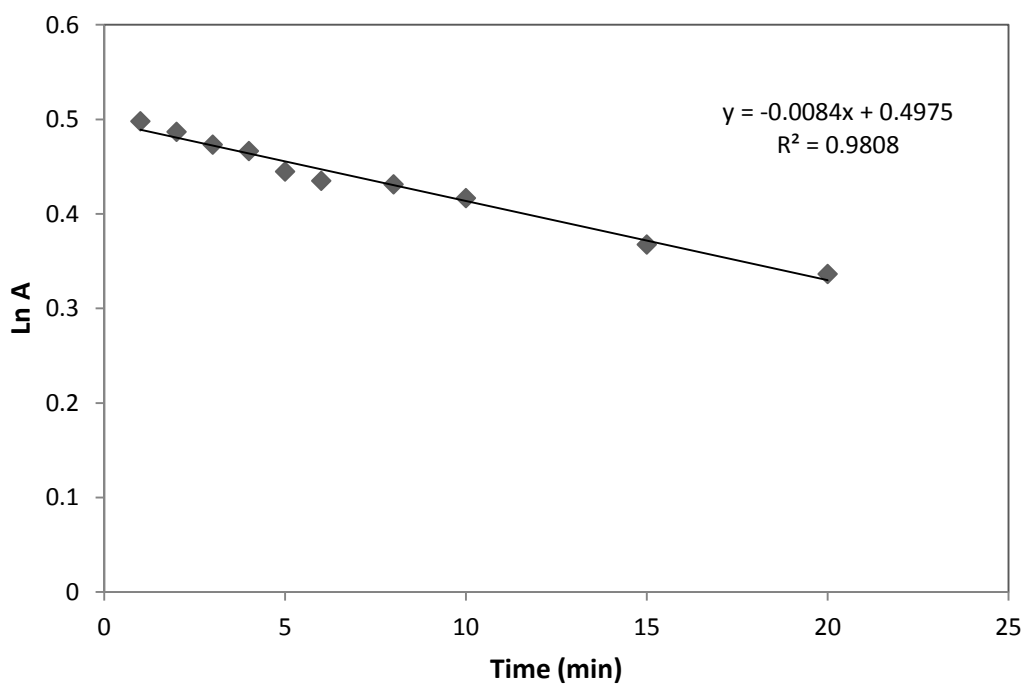
شکل ۱۵- نمودار لگاریتم جذب بر حسب زمان مربوط به تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت (wt) ۰٫۰۳٪ از رنگدانه و شدت نور معادل ۱ آمپر.



شکل ۱۶- نمودار لگاریتم جذب بر حسب زمان مربوط به تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت (wt) ۰٫۰۵٪ از رنگدانه و شدت نور معادل ۲ آمپر.



شکل ۱۷- نمودار لگاریتم جذب بر حسب زمان مربوط به تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت (wt) ۰٫۰۷٪ از رنگدانه و شدت نور معادل ۱ آمپر.



شکل ۱۸- نمودار لگاریتم جذب بر حسب زمان مربوط به تخریب رنگدانه رودامین B در بستر پلی اتیلن در غلظت (wt) ۰٫۱٪ از رنگدانه و شدت نور معادل ۳ آمپر.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش لایه‌های نازک پلی‌اتیلنی واجد رنگدانه رودامین B در ضخامت‌های ثابت ۲۰۰ میکرومتر و در غلظت‌های مختلفی از رنگدانه ساخته شدند. از روش اکسترودر جهت تهیه فیلم‌ها استفاده گردید. تخریب نوری این فیلم‌ها با تغییر غلظت رنگدانه، زمان تخریب و شدت نورهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند غلظت رنگدانه، زمان تخریب و شدت نور با میزان و سرعت تخریب رابطه مستقیم دارد. شاخص کربونیل بعنوان معیاری از درجه تخریب رنگدانه و پلیمر با روش FT-IR محاسبه شد. با توجه به محاسبات انجام شده سینتیک تمامی واکنش‌های تخریب نوری از مرتبه اول پیروی می‌کند.

۵- مراجع

- [1] J.V. Gulmine , P.R. Janissek , H. M. Heise, L. Akcelrud, *Polymer Degradation and Stability*, **79** (2003) 385.
- [2] D. Briassoulis, A. Aristopoulou, M. Bonora, I. Verloft, *Biosystems Engineering*, **88** (2004)131.
- [3] D. Briassoulis *Polymer Degradation and Stability*, **91** (2006) 1256.
- [4] G. Scarascia, E. Schettini, G. Vox, M. Malinconico, B. Immirzi, S. Pagliara, *Polymer Degradation and Stability*, **91**(2006) 2801.
- [5] C.R. Yan, X.R. Mei, W.Q. He, *Trans. CSAE*, **22** (2006) 269.
- [6] Leos, Vasek, *Bachelor Thesis*, Tomas Bata University in Zlin Faculty of Technology, (2006).
- [7] S.H. Kim, S.Y. Kwak, T. Suzuki, *Polymer*, **47** (2006) 3005.
- [8] S. Chakrabarti, B. Chaudhuri, S. Bhattacharjee, P. Das, B.K. Dutta, *Journal of Hazardous Materials*, **22** (2007) 428.
- [9] J. Shang, M. Chai, Y.F. Zhu, *Journal of Solid State Chemistry*, **174** (2003) 104.
- [10] X. Zhao, Z. Li, Y. Chen, L. Shi, Y. Zhu, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, **269** (2007) 101.
- [11] X. Zhao, Z. Li, Y. Chen, L. Shi, Y. Zhu, *Applications of Surface Science*, **254** (2007) 1825.
- [12] W.J. Fa, L. Zan, C. Gong, J.C. Zhong, K.J. Deng, *Applied Catalysis B: Environmental*, **79** (2008) 216.
- [13] F. Carrasco, P. Pages, S. Pascual, X. Colom, *European Polymer Journal*, **37** (2001) 1457.
- [14] T. Corrales, F. Catalina, C. Peinado, N.S. Allen, E. c. Fontan, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **147**(2002) 213.
- [15] I. H. Craig, J. R. White, A.V. Shyichuk, I. Syrotynska, *Polymer Engineering & Science*, **45** (2005) 579.
- [16] L. Guadagno, C. Naddeo, V. Vittoria, G. Camino, *Polymer Degradation and Stability*, **72** (2001) 175.

- [17] A. Valadez-Gonzalez, J. M. Cervantes-Uc, L. Veleza, *Polymer Degradation and Stability*, **63** (1999) 253.
- [18] C. Alfred-Duplan, J. Musso, j. R. Gavarrı, C. Cesari, *Journal of Solid State Chemistry*, **110** (1994) 6.
- [19] V. S. Smitha, K. A. Manjumol, S. Ghosh, M. Brahmakumar, C. Pavithran, P. Perumal, K. G. Warriar, *Journal of the American Ceramic Society*, **94** (2011) 1731.
- [20] H. Miyazaki, Y. Teranishi, T. Ota, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **90** (2006) 2640.
- [21] W. Caseri, *Chemical Engineering Communications*, **196** (2008) 549.
- [22] R. Yang, P. A. Christensen, T. A. Egerton, J. R. White, A. Maltby, *Journal of Applied Polymer Science*, **119** (2011) 1330.
- [23] C. Jin, P. A. Christensen, T. A. Egerton, E. J. Lawson, J. R. White, *Polymer Degradation and Stability*, **91**(2006) 1086.
- [24] S. S. Fernando, P. A Christensen., T. A. Egerton, J. R. White, *Polymer Degradation and Stability*, **92** (2007) 2163.
- [25] P. A. Christensen, T. A. Egerton, S. S. Fernando, J. R. White, *Polymer Degradation and Stability*, **94**(2009) 1999.
- [26] S. Wang, J. Zhang, *Journal of Alloys and Compounds*, **617** (2014) 163.
- [27] E. Jakab, M. Omastova, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **74** (2005) 204.
- [28] Z. Zheng-ming, D. Hua, W. Wei-hong, W. Qing-wen, *Journal of Forestry Research*, **21** (2010) 59.
- [29] N. M. Stark, L. M. Matuana, *Polymer degradation and stability*, **91** (2006) 3048.
- [30] P. A. Zapata, F. M. Rabagliati, L. Lieberwirth, F. Catalina, T. Corrales, *Polymer Degradation and Stability*, **109** (2014) 106.
- [31] S. Butylina, O. Martikka, T. Karki, *Polymer Degradation and Stability*, **120** (2015) 10.
- [32] Y. Chen, Y. Qi, Z. Tai, X. Yan, F. Zhu, Q. Xue, *European Polymer Journal*, **48** (2012) 1026.
- [33] R. Yang, P. A. Christensen, T. A. Egerton, J. R. White, *Polymer Degradation and Stability*, **95** (2010) 1533.
- [34] B. Elvers, J. F. Rounsaville, G. Schulz, *Ulmans Encyclopedia of Industrial Chemistry*, German, (1988) 279.
- [35] A. K. Gustavsson, *MSc thesis, Physics of Materials and Biological Systems Radiation Physics, Gothenburg University*, March 2010.
- [36] A. Mehrdad, B. Massoumi, R. Hashemzadeh, *Chemical Engineering Journal*, **168** (2011) 1073.
- [37] Ch. Guo, J. Xu, Y. He, Y. Zhang, Y. Wang, *Applied Surface Science*, **257** (2011) 3798.
- [38] D. Yu, R. Cai, Zh. Liu, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **60** (2004) 1617.
- [39] R. Nagaraja, N. Kottam, C.R. Girija, B. M. Nagabhushana, *Powder Technology*, **91-97** (2012) 215.

- [40] L. Douminge, S. Mallarino, S. Chendoz, X. Feaugas, J. Bernard, *Current Applied Physics*, **10** (2010) 1211.
- [41] L. Youji, S. Shuguo, M. Mingyuan, O. Yuzhu, Y. Wenbin, *Chemical Engineering Journal*, **142** (2008) 147.
- [42] K. Vinod, R. Gupta, S. A. Jain, S. Meenakshi, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **378** (2011) 22.
- [43] J. Wang, Z. Jiang, L. Zhang, P. Kang, Y. Xie, Y. Lv, R. Xu, X. Zhang, *Ultrasonics Sonochemistry*, **16** (2009) 225.
- [44] J. Wang, Z. Jiang, Z. Zhang, Y. Xie, Y. Lv, J. Li, Y. Deng, X. Zhang, *Separation and Purification Technology*, **67** (2009) 38.
- [45] F. H. AlHamedi, M. A. Rauf, S. S. Ashraf, *Desalination*, **239** (2009) 159.

