

## بررسی اثر جاذب‌های آلی نور فرابنفش بر روی خواص واکنش‌پذیری رزین پلی‌استری غیراشباع مختلف بر پایه ارتوفتالیک، ایزوفتالیک و وینیل استر

حمیدرضا موحد<sup>۱</sup>، مصیب رضایی<sup>۲</sup>، محمد ایزدی<sup>۳</sup>، ذکریا فرهادی<sup>۴</sup>

۱- استاد گروه مهندسی شیمی نساجی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد مجتمع دانشگاهی یادگار

امام شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

۲- سرپرست کنترل کیفیت، شرکت صنایع شیمیایی فراپل جم، همدان، ایران

۳- مسئول کنترل کیفیت، شرکت صنایع شیمیایی فراپل جم، همدان، ایران

۴- مدیر مجتمع دانش‌بنیان، شرکت صنایع شیمیایی فراپل جم، همدان، ایران

نویسنده اول: sobabse@gmail.com

نویسنده دوم: mosayebrezaei@gmail.com

نویسنده سوم: izadi.mohammad9@gmail.com

نویسنده چهارم: zakariaf81@gmail.com

### چکیده

خورشید منبع اصلی انرژی برای زمین است و طیف گسترده‌ای از طول‌موج‌ها را ساطع می‌کند که در آن فقط نور ماوراءبنفش و نور مرئی و مادون قرمز به زمین می‌رسد. اشعه ماوراءبنفش برای ترکیبات پلیمر مضر بوده و پدیده‌ای به نام تخریب نوری را باعث می‌شود که بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی پلیمرها تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین جاذب‌های آلی نور فرابنفش به مواد پلیمری اضافه می‌کنند تا از تخریب آن‌ها جلوگیری شود. از جمله این مواد می‌توان به تینووین ۳۲۶ و ۳۲۸ اشاره کرد. افزودن این مواد باعث تغییر در خواص واکنش‌پذیری پلی‌استرهای غیراشباع می‌شود و میزان تغییرات به نوع پلی‌استر غیراشباع بستگی دارد. در این تحقیق اثر افزودن این دو نوع جاذب‌های آلی نور فرابنفش به رزین‌های پلی‌استر غیراشباع بر پایه ارتوفتالیک، ایزوفتالیک و وینیل استر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد زمانی که فقط از تینووین ۳۲۶ یا ۳۲۸ استفاده شد، بیشترین تغییر ژل تایم مربوط به رزین بر پایه ارتوفتالیک و پس‌از آن مربوط به رزین وینیل استر می‌باشد؛ اما برای نمونه‌های حاوی مخلوط تینووین بیشترین تغییر ژل تایم مربوط به رزین بر پایه ارتوفتالیک و بعد از آن مربوط به رزین بر پایه ایزوفتالیک به دست آمد.

کلمات کلیدی: رزین پلی‌استر غیراشباع، تینووین ۳۲۶، تینووین ۳۲۸، واکنش‌پذیری، زمان ژل شدن.

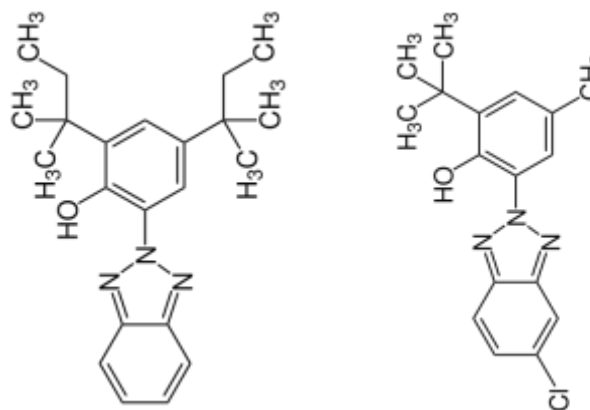
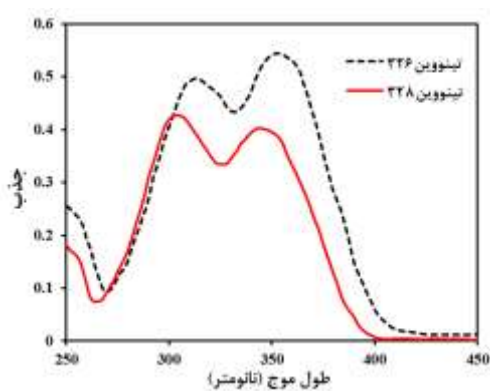
### ۱. مقدمه

امروزه مواد پلیمری مختلفی به‌صورت تجاری در دسترس هستند که در بسیاری از زمینه‌ها مانند پوشش‌های محافظ سطح، مواد مورد استفاده در مهندسی عمران، کامپوزیت‌های مربوط به صنایع هوافضا، خودروسازی و صنایع دریایی استفاده می‌شوند. دوام مواد یک عامل کلیدی برای بسیاری

از کاربردها است که بر عملکرد مواد پلیمری تأثیر می‌گذارد. خورشید منبع اصلی انرژی برای زمین است و طیف گسترده‌ای از طول‌موج‌ها را ساطع می‌کند که در آن فقط نور ماوراءبنفش و نور مرئی و مادون قرمز به زمین می‌رسد. لایه اوزون طول‌موج‌های ۱۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر را به صورت کامل و بیشتر طول‌موج‌های ۲۸۰ الی ۳۱۵ نانومتر را جذب می‌کند و فقط مقدار کمی از طول‌موج‌های ۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر می‌تواند به سطح زمین برسد. اشعه ماوراءبنفش برای ترکیبات پلیمر مضر بوده و پدیده‌ای به نام تخریب نوری آغاز را باعث می‌شود که بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی پلیمرها تأثیر می‌گذارد. اشعه ماوراءبنفش نور خورشید، باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد روی سطح مواد پلیمر می‌شوند که در حمله به ساختارهای پلیمری بسیار فعال هستند. انرژی اشعه ماوراءبنفش معمولاً بالاتر از استحکام پیوندهای شیمیایی موجود در مواد پلیمری مانند C-O، O-O، H-O و C-N می‌باشد و در نتیجه این پیوندهای شیمیایی مستعد شکستن و تخریب نوری هستند. سایر عوامل محیطی از جمله رطوبت، اکسیژن، دما و آلاینده‌ها می‌توانند سرعت تخریب نور را به طور قابل توجهی تشدید کنند. زرد شدن، ترک خوردن و کاهش خواص مکانیکی جنبه‌های اجتناب‌ناپذیری در استفاده از پلیمرها در زیر نور خورشید می‌باشد [۱].

امروزه برای جلوگیری یا کاهش تخریب نور، از جاذب‌های غیر آلی و آلی UV و همچنین تثبیت‌کننده‌ها استفاده می‌شود. مکانیسم اثر این جاذب‌ها در برابر نور UV از یک ماده به ماده دیگر متفاوت است. جاذب‌های غیر آلی UV اغلب نور را پراکنده می‌کنند، درحالی‌که جاذب‌های آلی UV نور UV را به گرما، طول‌موج‌های بالاتر و رادیکال‌های قابل رهگیری تبدیل می‌کنند. همچنین این مواد می‌توانند رادیکال‌های آزاد را جذب کنند. در مقایسه با جاذب‌های UV معدنی، جاذب‌های آلی UV دارای راندمان بالاتری هستند اما به دلیل تبخیر و مهاجرت به سطح پلیمرها دوام کمتری دارند [۲].

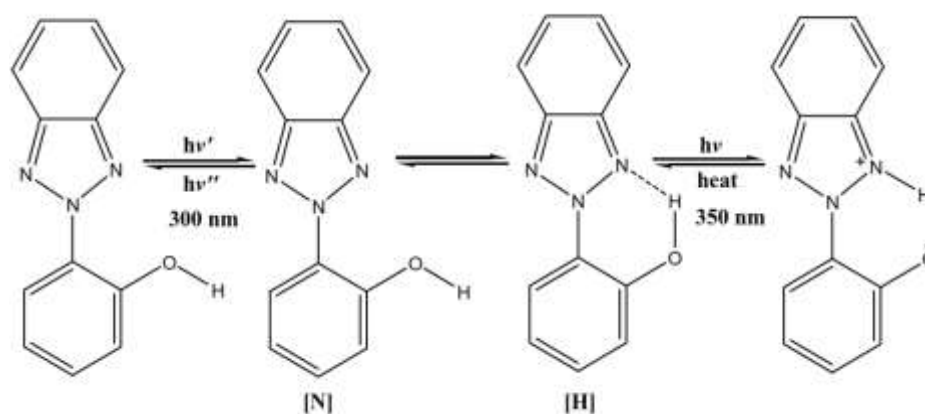
در حال حاضر، چندین تثبیت‌کننده UV آلی با طول موج جذب متفاوت به صورت تجاری تولید می‌شوند. با توجه به ساختار شیمیایی تثبیت‌کننده‌های آلی UV، آن‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: بنزوتریازول‌ها، بنزوفنون‌ها و تثبیت‌کننده‌های نور آمین تقسیم‌بندی کرد. یکی از مهم‌ترین تثبیت‌کننده‌های ارگانیک بانام تجاری Tinuvin تولید می‌شوند. به‌عنوان مثال، Tinuvin 5151، Tinuvin 326 (تینووین ۳۲۶)، Tinuvin 328 (تینووین ۳۲۸) و Tinuvin 1130 بر پایه بنزوتریازول‌ها از این دسته هستند. ساختار تینووین ۳۲۶ و تینووین ۳۲۸ و همچنین طیف جذبی UV-Vis این ترکیبات در شکل ۱ آورده شده است. با توجه به طیف جذبی تینووین ۳۲۶ بیشینه جذب در ۳۱۳ و ۳۵۳ نانومتر و برای تینووین ۳۲۸ بیشینه جذب در ۳۰۵ و ۳۴۷ نانومتر می‌باشد [۳ و ۴].



شکل ۱ الف) تینووین ۳۲۶، ب) تینووین ۳۲۸ و ج) طیف جذبی مواد در حلال کلروفرم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر

تینووین ۳۲۶ یک جاذب نور ماوراءبنفش کلردار بوده که باعث تغییر طول‌موج نور به سمت طول‌موج‌های کوتاه‌تر شده و فقط امکان عبور کمتر از ۱٪ نور تا طول‌موج ۳۷۰ نانومتر را فراهم می‌کند. تینووین ۳۲۶ یک جاذب نور یو وی بر پایه ترکیبات بنزوتریازول‌ها

بوده که در پلی الفین ها از قبیل پلی اتیلن، پلی پروپیلن و پلیمرهای کلردار از قبیل پلی وینیل کلراید و پلی استرها و صنایع ساخت کامپوزیتها کاربرد دارد. این جاذب نور UV مانع از تخریب ساختار و رنگ پلیمرها در مقابل اشعه نور آفتاب می گردد. تینوئین ۳۲۸ یک جاذب UV از کلاس هیدروکسی فنیل-بنزوتریازول است که برای پوششها طراحی شده است. تینوئین ۳۲۸ به دلیل جذب گسترده اشعه ماوراءبنفش، محافظت موثری از پوششها و بستریهای حساس به نور را ارائه می دهد. این پودر کمی زردرنگ را می توان در ترکیب با یک تثبیت کننده نور از نوع آمینی استفاده کرد. این ترکیبات پوششها را در برابر کاهش براقیت، ترک خوردگی، تاول زدن، لایه لایه شدن و تغییر رنگ محافظت می کند. تینوئین ۳۲۸ فقط برای سیستمهای پخت در دمای محیطی و یا دمای پایین توصیه می شود. مکانیسم تاثیر نور UV بر روی گروه بنزوتریازول در تینوئین ۳۲۶ و ۳۲۸ در شکل ۲ آورده شده است [۳ و ۴].



شکل ۲ واکنش بین گروه بنزوتریازول و نور UV

رزینهای ضد شعله بر پایه هالوژن اغلب برای کاهش اشتعال پذیری و بهبود خواص مقاومت در برابر آتش پلیمرها و کامپوزیتهای پلیمری تقویت شده با الیاف استفاده می شود. رزینهای وینیل استر بروم دار دسته ای از ماتریسهای پلیمری هالوژنه هستند که کارایی بالایی دارند که به طور گسترده در کامپوزیتها برای کاربردهای تخصصی، مانند ساخت بدنه کشتیها، ماشینها، قطارها و سیستمهای نظامی و تجاری ... استفاده می شود. این رزین مشابه با رزین وینیل استر بوده و تفاوت آن در وجود هالوژن می باشد. ساختار این رزین در شکل ۳ آورده شده است [۴].

با توجه به موارد اشاره شده، در این تحقیق تاثیر نوع تثبیت کنندههای ارگانیک شامل تینوئین ۳۲۶ و ۳۲۸ بر روی رزینهای پلی استر غیراشباع شامل رزین بر پایه ارتوفتالیک، رزین بر پایه ایزوفتالیک و رزین وینیل استر غیراشباع مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲. بخش تجربی

### ۲.۱. مواد و دستگاهها

رزینها بر پایه ارتوفتالیک، رزین بر پایه ایزوفتالیک و رزین وینیل استر غیراشباع در شرکت صنایع شیمیایی فراپل جم سنتز و موردا استفاده قرار گرفت. تینوئین ۳۲۶ و ۳۲۸ از شرکت BASF Schweiz AG تهیه و موردا استفاده قرار گرفت. در جدول ۱ میزان تینوئین ۳۲۶ و ۳۲۸ اضافه شده به رزینهای مختلف آورده شده است.

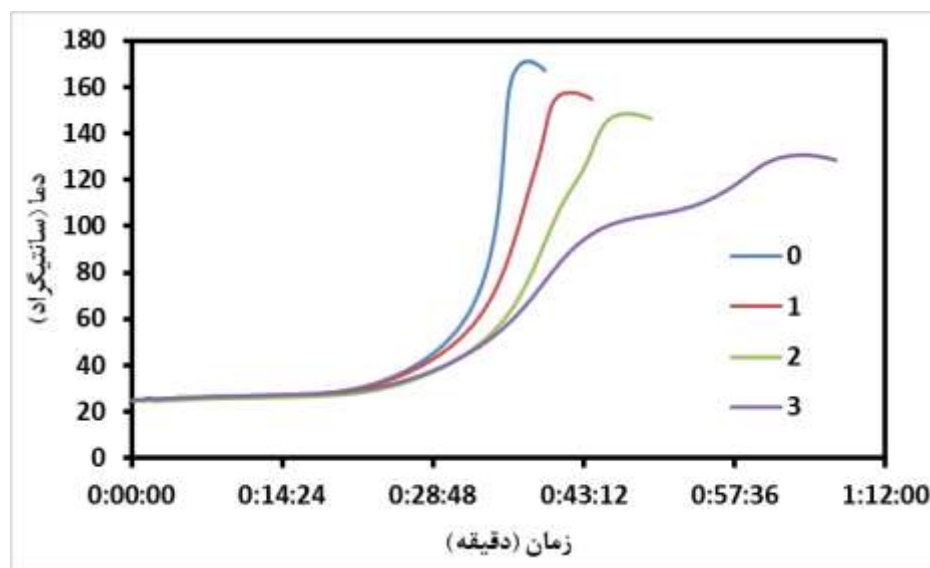
جدول ۱ نمونه‌های ساخته‌شده از رزین‌های مختلف

ردیف	درصد تینووین ۳۲۸	درصد تینووین ۳۲۶
۰	۰	۰
۱	۰	۰/۳
۲	۰	۰/۵
۳	۰	۱
۴	۰/۳	۰
۵	۰/۵	۰
۶	۱	۰
۷	۰/۱۵	۰/۱۵
۸	۰/۲۵	۰/۲۵
۹	۰/۵	۰/۵

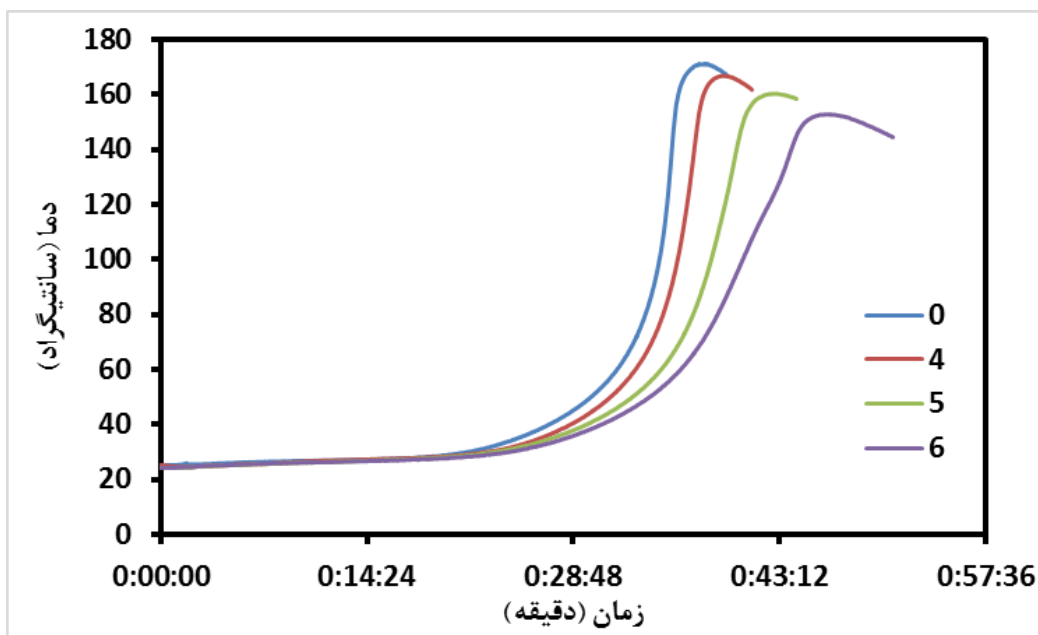
### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱، ۳.۲ تأثیر تینووین ۳۲۶ و ۳۲۸ و مخلوط آن‌ها با ترکیب درصد مختلف بر روی خواص واکنش‌پذیری رزین بر پایه ارتوفتالیک

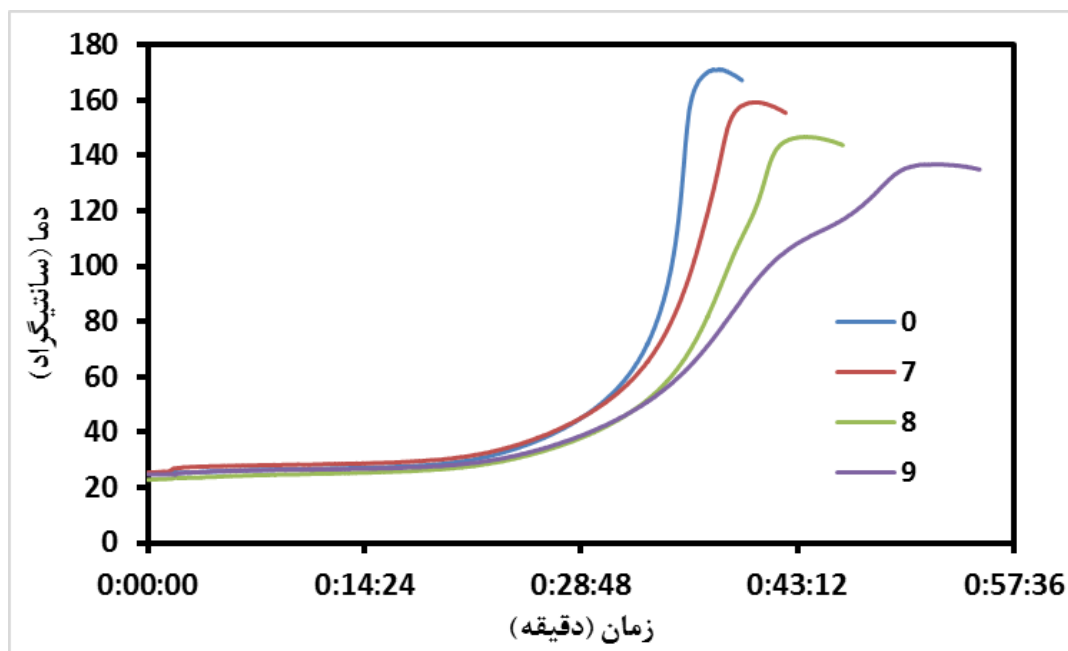
در این بخش تأثیر تینووین ۳۲۶ و ۳۲۸ بر روی رزین پلی‌استر بر پایه ارتوفتالیک مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳، ۴ و ۵ نمودارهای واکنش‌پذیری نمونه‌های مختلف ساخته‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳ نمودارهای واکنش‌پذیری نمونه‌ها بر پایه ارتوفتالیک ۰، ۱، ۲ و ۳



شکل ۴ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌ها بر پایه ارتوفتالیک، ۰، ۴، ۵ و ۶



شکل ۴ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌ها بر پایه ارتوفتالیک، ۰، ۷، ۸ و ۹

در جدول ۲ ژل تایم‌ها و فاکتورهای  $a$ ،  $b$  و  $b/a$  به همراه دمای پیک اگزوترم نمونه‌ها آورده شده است.

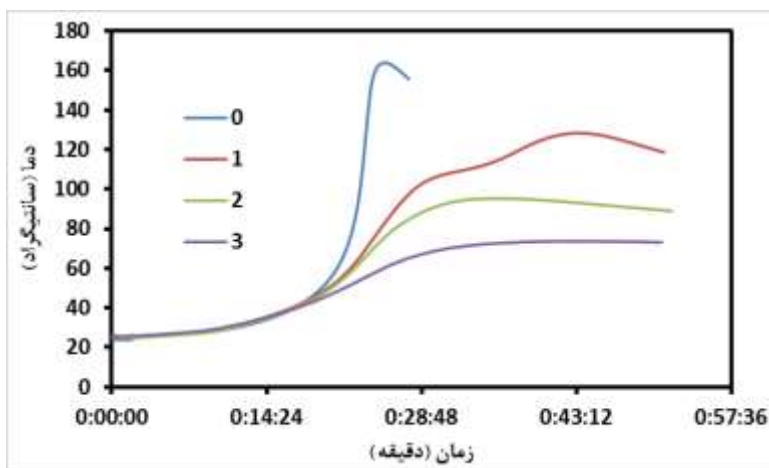
جدول ۲ داده‌های تست واکنش‌پذیری نمونه‌های مختلف ساخته‌شده با رزین بر پایه ارتوفتالیک

نمونه	ژل تایم	a	b	b/a	Peak
۰	18:45:00	24:51:00	37:36:00	1.51	171.2
۱	21:10:00	25:21:00	41:45:00	1.65	157.6
۲	23:00:00	27:37:00	47:10:00	1.71	148.5
۳	25:10:00	27:12:00	63:39:00	2.34	130.7
۴	24:30:00	26:30:00	39:14:00	1.48	166.8
۵	25:45:00	27:17:00	42:44:00	1.57	160.3
۶	26:55:00	28:20:00	46:39:00	1.65	152.8
۷	24:20:00	25:15:00	40:27:00	1.6	159.3
۸	26:40:00	27:20:00	43:37:00	1.6	146.7
۹	28:10:00	29:50:00	52:09:00	1.75	136.9

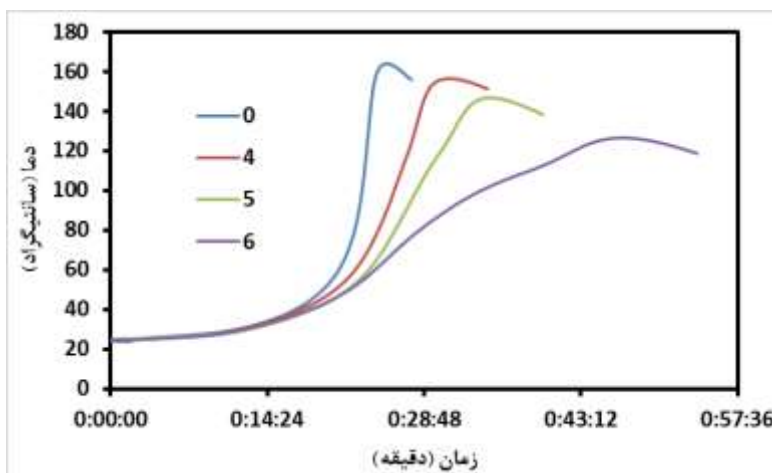
با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، داده‌ها نشان می‌دهد با افزایش تینوین ۳۲۶ به رزین بر پایه ارتوفتالیک ژل تایم، فاکتورهای a و b و نسبت b/a افزایش یافته که نشان‌دهنده خاصیت بازدارندگی این تثبیت‌کننده می‌باشد. از طرفی دمای پیک آگزوترم از ۱۷۱/۲ درجه به ۱۳۰/۷ درجه کاهش می‌یابد. داده مشخص می‌کند که تغییرات فاکتورهای واکنش‌پذیری برای تینوین ۳۲۸ بیشتر از تینوین ۳۲۶ می‌باشد.

### ۲،۳. تاثیر تینوین ۳۲۶ و ۳۲۸ و مخلوط آن‌ها با ترکیب درصد مختلف بر روی خواص واکنش‌پذیری رزین بر پایه ایزوفتالیک

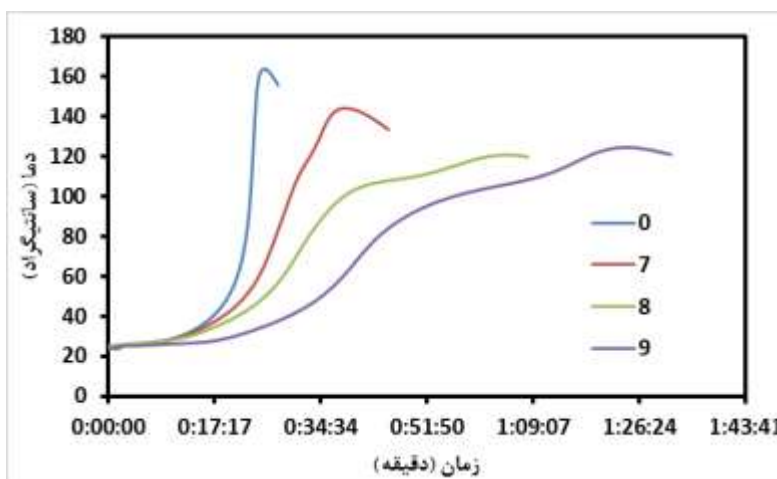
با بکارگیری رزین بر پایه ایزوفتالیک تاثیر نوع و مقدار تینوین بر روی واکنش‌پذیری موردبررسی قرار گرفت. شکل ۶، ۷ و ۸ نمودارهای واکنش‌پذیری نمونه‌های مختلف ساخته‌شده با این رزین را نشان می‌دهد.



شکل ۶ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌ها بر پایه ایزوفتالیک ۰، ۱، ۲ و ۳



شکل ۷ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌ها بر پایه ایزوفتالیک ۰، ۴، ۵ و ۶



شکل ۸ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌ها بر پایه ایزوفتالیک ۰، ۷، ۸ و ۹



در جدول ۳ ژل تایمها و فاکتورهای  $b/a$ ،  $b$  و  $a$  به همراه دمای پیک اگزوترم نمونهها آورده شده است.

جدول ۳ دادههای تست واکنش پذیری نمونههای مختلف ساخته شده با رزین بر پایه ایزوفتالیک

نمونه	ژل تایم	a	b	b/a	Peak
۰	11:10:00	14:00:00	25:18:00	1.7	163.9
۱	11:50:00	14:20:00	30:10:00	2.1	128.4
۲	12:15:00	14:34:00	35:25:00	2.43	95.4
۳	12:30:00	14:55:00	41:40:00	2.79	73.8
۴	12:50:00	15:02:00	31:09:00	2.07	156.5
۵	13:15:00	16:04:00	34:42:00	2.16	146.8
۶	13:50:00	16:25:00	46:49:00	2.85	126.6
۷	13:00:00	15:52:00	38:05:00	2.4	144.2
۸	14:15:00	17:30:00	65:16:30	3.73	120.9
۹	17:15:00	25:24:00	83:49:12	3.3	124.7

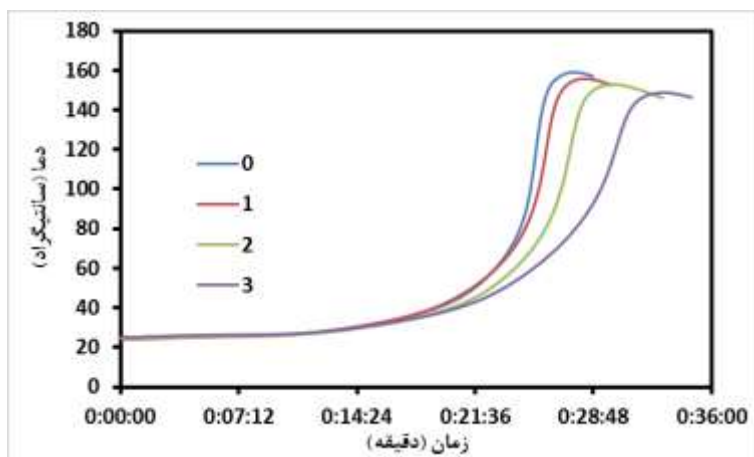
با توجه به نتایج به دست آمده، دادهها نشان می دهد با افزایش تینوین ۳۲۶ به رزین بر پایه ایزوفتالیک ژل تایم، فاکتورهای  $a$  و  $b$  و  $b/a$  نسبت به نمونهی بدون تینوین افزایش یافته که نشان دهنده خاصیت بازدارندگی این تثبیت کننده می باشد. از طرفی دمای پیک اگزوترم از ۱۶۳/۹ درجه به ۷۳/۸ درجه کاهش می یابد. داده مشخص می کند که تغییرات فاکتورهای واکنش پذیری برای تینوین ۳۲۸ بیشتر از تینوین ۳۲۶ می باشد. به طوری که ژل تایم افزایش بیشتری داشته و از طرفی میزان کاهش دمای پیک اگزوترم با افزودن تینوین ۳۲۸، کاهش کمتری داشته است. استفاده از مخلوط تینوین ها باعث ایجاد یک اثر هم افزایی شده و افزایش بسیار بیشتری در ژل تایم و فاکتورهای  $a$  و  $b$  و  $b/a$  شده است.

### ۳،۳. تاثیر تینوین ۳۲۶ و ۳۲۸ و مخلوط آنها با ترکیب درصد مختلف بر روی خواص واکنش پذیری رزین وینیل

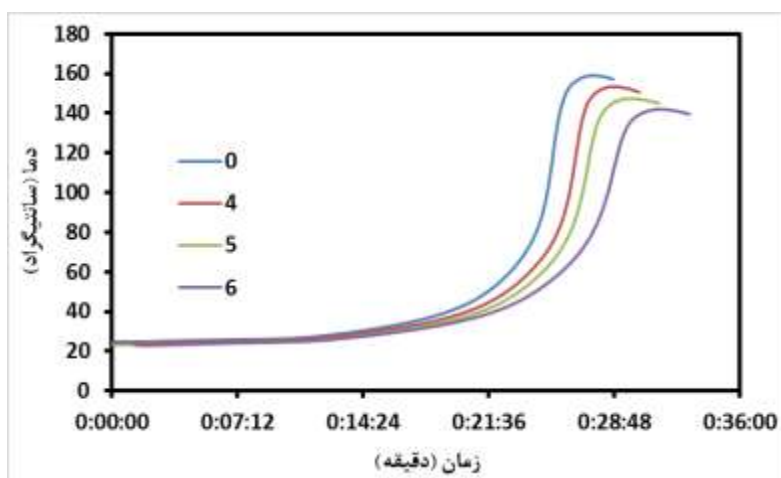
#### استر

با بکارگیری رزین وینیل استر تاثیر نوع و مقدار تینوین بر روی واکنش پذیری مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۹، ۱۰ و ۱۱ نمودارهای واکنش پذیری نمونههای مختلف ساخته شده با رزین وینیل استر را نشان می دهد.

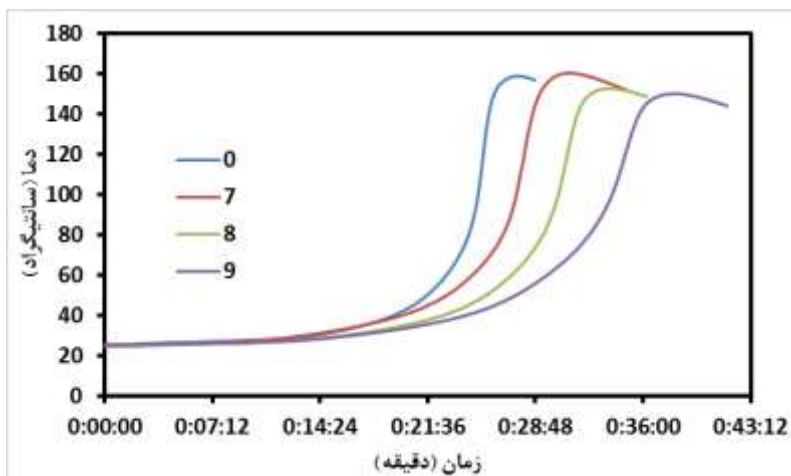




شکل ۹ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌ها رزین وینیل استر ۰، ۱، ۲ و ۳



شکل ۱۰ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌های ساخته شده با رزین وینیل استر ۰، ۴، ۵ و ۶



شکل ۱۱ نمودارهای واکنش پذیری نمونه‌های ساخته شده با رزین وینیل استر ۰، ۷، ۸ و ۹

در جدول ۴ ژل تایم‌ها و فاکتور های  $a$ ،  $b$  و  $b/a$  به همراه دمای پیک اگزوترم نمونه‌های ساخته شده با رزین وینیل استر آورده شده است.

جدول ۴ داده‌های تست واکنش پذیری نمونه‌های مختلف ساخته شده با رزین وینیل استر

نمونه	ژل تایم	a	b	b/a	Peak
۰	13:10:00	16:30:00	26:45:00	1.62	159.1
۱	14:05:00	17:11:00	28:06:00	1.64	155.8
۲	15:00:00	18:06:00	29:49:00	1.65	152.9
۳	15:55:00	18:51:00	32:46:00	1.74	148.7
۴	15:10:00	18:19:00	28:40:00	1.57	153.4
۵	15:55:00	19:12:00	29:35:00	1.54	147.3
۶	16:15:00	19:51:00	31:24:00	1.58	142
۷	14:10:00	17:16:00	31:01:00	1.80	160.6
۸	17:00:00	20:02:00	33:37:00	1.68	152.9
۹	17:45:00	21:10:00	37:54:00	1.79	150.3

با توجه به نتایج به دست آمده، داده‌ها نشان می‌دهد با افزایش تینوین ۳۲۶ به رزین وینیل استر ژل تایم، فاکتور های  $a$  و  $b$  و  $b/a$  نسبت به نمونه‌ی بدون تینوین افزایش یافته که نشان دهنده خاصیت بازدارندگی این تثبیت کننده می‌باشد. از طرفی دمای پیک اگزوترم از ۱۵۹/۱ درجه به ۱۴۸/۷ درجه کاهش می‌یابد. داده مشخص می‌کند که تغییرات فاکتورهای واکنش پذیری برای تینوین ۳۲۸ بیشتر از تینوین ۳۲۶ می‌باشد. به طوری که ژل تایم افزایش بیشتری داشته و از طرفی میزان کاهش دمای پیک اگزوترم با افزودن تینوین ۳۲۸، مقدار بیشتری بوده است. استفاده از مخلوط تینوین‌ها باعث ایجاد یک اثر هم‌افزایی شده و افزایش بسیار بیشتری در ژل تایم و فاکتور های  $a$  و  $b$  و  $b/a$  شده است. همچنین میزان کاهش دمای پیک اگزوترم در نمونه‌های ساخته شده با مخلوط تینوین کمتر بوده است.

### ۳،۴. مقایسه تغییرات ایجاد شده در رزین‌های مختلف

تغییرات ژل تایم نسبت به نمونه بدون تینوین در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای نمونه‌های مشابه با تغییر نوع رزین، میزان تغییرات ژل تایم متفاوت می‌باشد.

جدول ۵ تغییرات ژل تایم نسبت به نمونه بدون تینووین

نمونه	رزین بر پایه ارتوفتالیک	رزین بر پایه ایزوفتالیک	رزین وینیل استر
۱	2:25:00	1:05:00	0:55:00
۲	4:15:00	0:40:00	1:50:00
۳	6:25:00	1:20:00	2:45:00
۴	5:45:00	1:40:00	2:00:00
۵	7:00:00	2:05:00	2:45:00
۶	8:10:00	2:40:00	3:05:00
۷	5:35:00	1:50:00	1:00:00
۸	7:55:00	3:05:00	3:50:00
۹	9:25:00	6:05:00	4:35:00

زمانی که فقط از تینووین ۳۲۶ یا ۳۲۸ استفاده شد، بیشترین تغییر ژل تایم مربوط به رزین بر پایه ارتوفتالیک و پس از آن مربوط به رزین وینیل استر می‌باشد؛ اما برای نمونه‌های حاوی مخلوط تینووین بیشترین تغییر ژل تایم مربوط به رزین بر پایه ارتوفتالیک و بعد از آن مربوط به رزین بر پایه ایزوفتالیک به دست آمد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

انواع مختلف جاذب‌های آلی نور فرابنفش شامل تینووین ۳۲۶ و ۳۲۸ می‌تواند بر روی خواص واکنش‌پذیری رزین پلی‌استر غیراشباع یا وینیل استر تاثیر گذار باشد. این مواد رفتاری مشابه با بازدارنده‌های مورد استفاده در فرآیند تولید را دارند در نتیجه می‌تواند بر روی ژل تایم و فاکتور های  $a$ ،  $b$  و  $b/a$  تاثیر گذارد. با تغییر نوع رزین شدت این تغییرات متفاوت خواهد بود و همچنین می‌توان با تغییر درصد جاذب‌های آلی نور فرابنفش به نتایج متفاوتی رسید. در این تحقیق بررسی‌ها نشان داد زمانی که فقط از تینووین ۳۲۶ یا ۳۲۸ استفاده شد، بیشترین تغییر ژل تایم مربوط به رزین بر پایه ارتوفتالیک و پس از آن مربوط به رزین وینیل استر می‌باشد؛ اما برای نمونه‌های حاوی مخلوط تینووین بیشترین تغییر ژل تایم مربوط به رزین بر پایه ارتوفتالیک و بعد از آن مربوط به رزین بر پایه ایزوفتالیک به دست آمد.

#### ۵. مراجع

1. Penczek, P., Czub, P. and Pielichowski, J., Unsaturated polyester resins: Chemistry and technology. Crosslinking in materials science, 2005, pp.1-95.
2. Jaswal, S. and Gaur, B., New trends in vinyl ester resins. Reviews in Chemical Engineering, 30(6), 2014, pp.567-581.
3. Ikarashi, Y., Tsuchiya, T. and Nakamura, A., Contact sensitivity of and cross-sensitivity between 2-(2'-hydroxy-5'-methylphenyl) benzotriazole (Tinuvin® P) and 2-(2'-hydroxy-3'-tert-butyl-5'-methylphenyl)-5-chlorobenzotriazole (Tinuvin® 326) evaluated by lymph node cell proliferation and ear swelling response in mice. Toxicology letters, 71(2), 1994, pp.151-159.
4. Jia, H., Wang, H. and Chen, W., The combination effect of hindered amine light stabilizers with UV absorbers on the radiation resistance of polypropylene. Radiation Physics and Chemistry, 76(7), 2007, pp.1179-1188.