AMNC
available online @ amnc.ir
نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین- ۱۸ (۱۳۹۵)۱۲۹۵- ۱۲۸۹

# اثر عاملیت رزین اکریلیک برچسبندگی لاک اعمال شده بر سطح پلی الفین

فاطمه رحیمی قهرودی[۱]، زاهد احمدی[۲]*، منوچهر خراسانی[۲]

۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات فارس، شیراز

۲ پژوهشکده رنگ و پلیمر، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران

نقصان چسبندگی پوشش‌های آلی بر روی زیرآیند های پلاستیکی ناشی از پایین بودن انرژی سطحی این سطوح می باشد. به‌منظور بهبود چسبندگی یا باید انرژی سطحی زیرآیند را افزایش داد و یا با تغییراتی در ساختار پوشش، سطح نیرو های جاذبه را ارتقاء بخشید. در این پژوهش، با طراحی و ساخت چند پلیمر آکریلیکی با گروههای عاملی متفاوت و بررسی میزان عملکرد آن ها، موضوع چسبندگی را بررسی کرده ایم. بخش ترموپلاست رزین های تهیه شده از مونومرهای متیل متاکریلات و بوتیل متا کریلات و مونومرهای عامل دار انتخاب شده شامل آکریل آمید، اسید اکریلیک و ۲ هیدروکسی اتیل متاکریلات می باشند. پس از تهیه رزین ها، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آنها مانند گرانروی، درصد مواد جامد و ... اندازه گیری شد. سپس پلیمر های ساخته شده بر سطح پلاستیک پلی پروپیلن اعمال شدند و خواص فیزیکی و شیمیایی سطح مورد بررسی قرار گرفتند. چسبندگی پوشش‌های اعمال شده با روش کراس کات و عملکرد مکانیکی سطح نیز با آزمون خراش ارزیابی شد. علاوه بر آن نتایج پژوهش نشان داد که با بهینه سازی ترکیب آستر، خواص سطحی پلاستیک پوشش یافته به مقدار زیادی بهبود می یابد و براین اساس می توانند به عنوان آسترهای موثر برسطح پلاستیک ها به کار روند.

تاریخ دریافت:
۹۵/۱/۳۱

تاریخ پذیرش:
۹۵/۵/۲

واژگان کلیدی
پوشش پلاستیک ها، رزین آکریلیک، خراش، چسبندگی، آستر

عهده دار مکاتبات: zahmadi@aut.ac.ir

## ۱- مقدمه

در بسیاری ازمصارف صنعتی و خانگی، پلاستیک ها مزایای بیش‌تری درمقایسه با فلزها دارند و به همین دلیل در ۴۰ سال گذشته میانگین رشد مصرف سالانه پلاستیک ها (۵/۴٪) در مقایسه با رشد مصرف آهن و آلومینیوم (۲/۲٪) بیش تر بوده است[۱] . مزایای فراوان پلاستیک‌های مهندسی شده مانند دانسیته کم، انعطاف در طراحی، بازده فرآیند و کارایی، سبب شده است تا این مواد جایگاه ویژه‌ای در پژوهش، مدل سازی و صنایع گوناگون مانند خودروسازی پیدا کنند[۲][۳] . از آن جایی که این قطعات اغلب در معرض مواد شیمیایی، نور UV، باران های اسیدی و ذرات ریزگرد در هوا و ... هستند، عملکرد این ابزارهای پلاستیکی به مقدار زیادی به خواص سطحی آن ها در برابر عوامل محیطی بستگی دارد[۴][۵][۶] . براین اساس، نیاز به ایجاد پوشش بر روی سطح پلاستیک‌ها در موارد بسیاری مانند قطعات خودرو و وسایل بسته‌بندی پلاستیکی، اجتناب‌ناپذیر است و چالش‌هایی را برای این گروه از صنایع ایجاد کرده است[۷][۸][۹] . در این شرایط به کارگیری پوشش های مناسب برروی پلاستیک ها سبب افزایش محافظت از پلاستیک ها در دراز مدت و عملکرد بهتر آن ها می شود.

پوشش‌های آستری پلاستیک‌ها با ایجاد یک لایهٔ نازک، خواص مهندسی خاصی را برروی سطح زیرآیند ایجاد می کنند. به کارگیری آسترهای محافظتی، یکی از روش‌های مهم و به عنوان اولین لایهٔ دفاعی در محافظت از سطح هستند. لذا مهم‌ترین نیروی محرکه در صنایع آستری، ایجاد مقاومت و بهبود خواص سطح است. ضعف پوشش پلاستیک ها، در اغلب موارد، به دلیل اتصال ضعیف شیمیایی و فیزیکی پوشش های به کار رفته برسطح پلاستیک ها است که کیفیت سطح پلاستیک ها و عملکرد آن ها را محدود می کند. این مورد به کشش سطحی کم سطح پلاستیک در مقایسه با دیگر مواد مانند فلزات و شباهت شیمیایی میان پایه مواد پوشش و زیرآیند پلاستیک مربوط می‌شود. بنابراین به کارگیری پوششی سخت با به کارگیری ترکیب های گوناگون می تواند به یافتن پوشش های مقاوم تر و مناسب تر کمک کند[۱۰] . اگرچه دست یافتن به همه ویژگی های مورد نظر عملکردی در مورد پلاستیک ها دشوار است، اما پژوهشگران با بررسی برخی روش ها توانسته اند مقاومت پلاستیک ها را با پوشش های مناسبی مانند رزین ها افزایش دهند.

پلی آکریلیک ها (رزین ها) گروهی از ترکیب های شیمیایی هستند که از سال ۱۹۳۰م به عنوان پوشش بر سطح پلاستیک ها به کار می روند تا با ایجاد پوشش مناسب، عملکرد سطح را افزایش دهند[۱۱] . آن ها هم چنین سبب افزایش مقاومت مکانیکی و رئولوژیکی سطح در برابر فرسایش می شوند[۱۲][۱۳] . عوامل متعددی در میزان اثر پوشش رزین بر پایه پلی اتیلنی نقش دارند که از آن میان می توان به مونومرهای تشکیل دهنده، روش سنتز رزین و ... اشاره کرد. پوشش رزین بر سطح پلاستیک ممکن است به صورت مایع و یا به صورت پودر اعمال شود که هر کدام مزایا و معایبی دارند[۱۲] . در یک پژوهش که با هدف تهیه پوشش سخت برروی پلاستیک ها انجام شد، رزین های آکریلیک و فیلم هایی با افزودنی های متعدد از آن ها ساخته شد. پژوهشگران توانستند به پلاستیکی با مقاومت بیش تر دست یابند. آنها نتیجه گرفتند که به کار گیری افزودنی ها در رزین می تواند در افزایش مقاومت مکانیکی و رئولوژیکی موثر باشد[۱۴] . در پژوهشی دیگر، مواد نانو به عنوان افزودنی به کار رفت. آن ها رزین را در شرایط نیمه پیوسته و در حالت امولسیون سنتز کردند و با اندازه گیری پراکنش اشعه X نشان دادند که کیفیت پوشش سطح، بهبود یافته است [۱۵][۱۶].

با توجه به این که عوامل گوناگونی در مرحله سنتز و یا اعمال پوشش برکیفیت سطح نقش دارند، بایستی اثر این ترکیب ها و شرایط به کارگیری آن ها بر پایه پلاستیک بررسی شود تا از عملکرد مورد نظر اطمینان حاصل شود. در این پژوهش، طراحی و ساخت پوشش های آکریلیک گوناگون انجام شد و به عنوان آستر بر سطح پلاستیک های پلی الفینی به کار رفت تا با این رویکرد عملکرد سطح افزایش یابد. هم چنین خواص فیزیکی پوشش ها، خواص شیمیایی و خواص مکانیکی مقاوت در برابر خراش مورد ارزیابی قرار گرفت.

## ۲- تجربیات

### ۲-۱- مواد

مونومرهای به کار رفته برای ساخت پلیمرهای پلی آکریلیک (رزین) و ویژگی های آن ها در جدول ۱ آمده است. مونومرها و سایر مواد با خلوص آزمایشگاهی از شرکت سیگما خریداری شد و بدون هرگونه خالص سازی بیش تر برای ساخت رزین به کار رفت. در جدول ۲ ویژگی های مواد افزودنی در سنتز رزین ها آمده است [۱۷]. ورق های از جنس پلی پروپیلن برای ارزیابی پوشش های به کار رفته به کار رفت. این ورق ها در ابعاد ۱۰۰ x ۱۵۰ میلی‌متر

**جدول ۱)** خواص عمومی منومر های استفاده شده در رزین اکریلیک

| | جرم مولکولی | ویسکوزیته cps | دانسیته g/ml | نقطه جوش °C | نقطه ذوب °C |
|---|---|---|---|---|---|
| بوتیل متاکریلات | ۱۴۲ | ۰/۹۲ | ۷/۴ | ۱۶۳ | |
| متیل متاکریلات | ۱۰۰ | ۰/۵۲ | ۷/۸ | ۱۰۱ | |
| آکریل آمید | ۷۱/۰۸ | | ۱/۱۳ | | ۸۴/۵ |
| اسید آکریلیک | ۷۲/۰۶ | ۱/۳ | ۱/۰۵۱ | ۱۴۱ | ۱۴ |
| ۲-هیدروکسی اتیل متاکریلات | ۱۳۰/۱۴ | | ۱/۰۷۳ | ۶۷ | |

و ضخامت ۴ میلی متر به کار رفت که از شرکت تولیدی صنعتی مهرخواه، تولید کننده قطعات پلیمری خودرو خریداری شد.

### ۲-۲- تجهیزات و روش کار

#### ۲-۲-۱- تهیه پوشش رزین

ابتدا سود ۱۰٪ وزنی تهیه و به عنوان محلول شستشوی منومر به صورت ۵۰:۵۰ با مونومرها مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه در قیف دکانتور به شدت تکان داده شد. پس از مدتی سکون، فاز دارای مونومررا جدا نمودیم. به منظور انجام فرایند پلیمریزاسیون ۱٪ وزن کل منومرهای آغازگر دی بنزوییل پروکساید به مخلوط منومری اضافه نمودیم. در این مرحله حلال زایلن به مقدار ۳۶۰ گرم (۲ برابر وزن مونومر) را درون راکتور اضافه کرده و محلول مونومرها که از قبل تهیه شده بود کم‌کم و در ۶ مرحله درمدت ۳ ساعت به راکتور افزوده شدند تا واکنش پلیمریزاسیون کامل شد. پس از پایان یافتن همهٔ مونومرها، واکنش به مدت ۱ ساعت در دمای رفلاکس ۱۴۸-۱۴۳ °C ادامه یافت تا در صد تبدیل مونومرها کامل شود. دمای راکتور در مدت سنتز رزین با کمک منتل حرارتی، کنترل شد. دکانتور، دستگاه رفلاکس و سایر ابزارها و وسایل به کاررفته

**جدول ۲)** مواد استفاده شده در ساخت رنگ نهایی

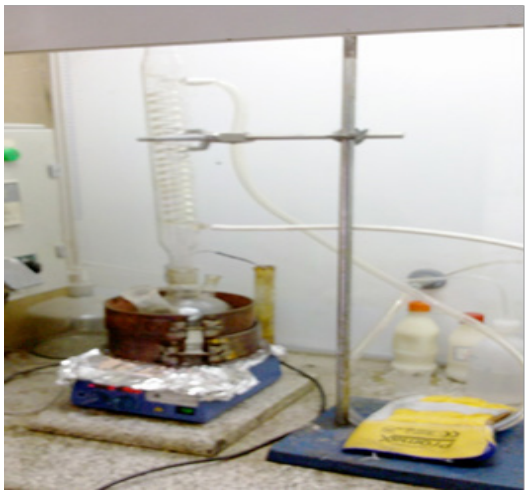
| مواد تشکیل دهنده | ٪ |
|---|---|
| رزین اکریلیک | ۴۵ |
| دی اکسید تیتانیوم | ۲۲ |
| حلال | ۳۰ |
| کل مواد افزودنی | ۳ |

در این پژوهش از نوع آزمایشگاهی بود که از شرکت آزما طب خریداری شد.[۱۸]

راکتور به کاررفته برای سنتز رزین در شکل ۱ نشان داده شده است. راکتور به کاررفته سه مسیرورودی وخروجی داشت که برای هم زدن، نمونه گیری، سیستم رفلاکس، حسگردما، ورود و خروج گاز نیتروژن و افزودن کاتالیزور به کار رفت. در کل مدت انجام آزمایش، واکنش تحت فشار مثبت ۱۰ میلی متر جیوه از نیتروژن بدون اکسیژن به کاررفت. در پایان رزین حاصل به حالت مایع جمع آوری شد.

#### ۲-۲-۲- ویژگی های رزین های سنتز شده

خواص پلیمرهای آکریلیک اسید (رزین) سنتز شده از مونومرهای گوناگون شامل گرانروی، چگالی، خواص ظاهری و میزان حلالیت مورد بررسی قرار گرفت[۱۹] .



**شکل ۱)** تصویرتجهیزات به کار رفته برای سنتز رزین

جدول ۳) ویژگی های رزین اکریلیک ساخته شده

| نام رزین | TP 44 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| جامد وزنی (٪) | ۴۶ | ۴۵ | ۴۷ | ۴۵ | ۴۱ | ۵۱ |
| حلالیت در متوکسی پروپیل استات (٪جرمی) | محلول | محلول | محلول | محلول | محلول | محلول |
| حلالیت درسولوسو ۱۰۰ (٪جرمی) | محلول | کاملا محلول | حلالیت کم | کاملا محلول | نا محلول (۱۰٪) | کاملا محلول |
| خواص ظاهری | کاملا شفاف و بی رنگ | شفاف و با زرد کمرنگ | کمی زرد دارای کدورت نسبی | کمی زرد دارای کدورت نسبی | کمی زرد دارای کدورت نسبی | کاملا شفاف و بی رنگ |
| ویسکوزیته (سانتی‌پواز) | ۵۷ | ۵۹ | ۶۲ | ۳۷ | ۱۲۰ | ۴۷ |

آزمون میزان گرانروی اندازه گیری شد. تعیین درصد جامد رزین بر اساس روش استاندارد انجام شد[۱۷] . آزمون تعیین گرانروانی برحسب واحد کربس آزمون های فیزیکی انجام شد[۱۷] . تعیین چگالی رزین با استفاده از دستگاه hair انجام شد که روی آن لوله U شکلی بصورت معکوس تعبیه شده است. حلالیت رزین براساس استاندارد ISO ۱۵۶۷ معین شد. میزان حلالیت از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$W= (M1-M2)/V$$

که در آن M۱ جرم پیش از ورود به سیال، M۲ جرم پس از ورود به سیال و حل شدن و V جرم سیال است. آزمایش ها در ۳ تکرار انجام شد و میانگین داده ها به کاررفت. جزییات روش به کار رفته در مرجع [۱۷] شرح داده شده است.

**۲-۲-۳- فرایند پوشش آستر بر سطح پلی پروپیلن**

مادهٔ پایهٔ پلی پروپیلن از شرکت سایپا و به صورت ورقه های با قطر ۲ میلی مترضخامت تهیه شد ($n_e$=۱/۶۸). پوشش سطح به صخامت ۱ میلی متر با برس بر سطح اعمال شد.

**۲-۲-٤- ویژگی های آستر**

ضخامت آستر به کار رفته بر سطح اندازه گیری شد. چسبندگی پوشش سطح و مقاومت آن در برابر رطوبت براساس روش به کار رفته مطابق [۱۷] انجام شد. آزمون تعیین ویسکوزیته آستر رنگ براساس استاندارد ASTM D562 انجام شد. برای اندازه گیری ویسکوزیته دستگاه ویسکوزیمتر کرپس دیجیتال مدل KU-۲ ساخت کمپانی بروکفیلد امریکا به‌کار رفت. سختی فیلم رنگ براساس استاندارد ISO 1522 معین شد. سختی به روش پرسوز و با دستگاه سختی سنج پاندولی مدل HA-950121 شرکت TQC اندازه گیری شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- نتایج مربوط به ساخت رزین

نتایج مربوط به پلیمرهای آکریلیک ساخته شده در جدول ۳ نشان داده شده است. همان گونه که از جدول ۳ دیده می شود، خواص ظاهری پوشش‌های آستری به دست آمده از رزین‌های با مونومر هیدروکسی اتیل متا کریلات و متیل متا کریلات شفافیت بیش‌تری در مقایسه با رزین های به دست آمده از مونومرهای بوتیل متاکریلات و آکریل آمید دارند. البته این ویژگی می تواند با زمان خشک شدن تحت تاثیر قرارگیرد.

### ۳-۲- ویژگی های آستر رزین بر سطح پلی پروپیلن

پس از اعمال رنگ آستری برروی قطعات پلیمری و قرار گرفتن آن ها به مدت ۷ روز در محیط آزمایشگاه دردمای ۲ ±۲۵ °C، کلیه آزمون ها مطابق استاندارد شامل میزان سختی، مقاومت در برابر خراش، چسبندگی و مقاومت در برابر حلال و هم چنین مقاومت در برابر رطوبت وهم چنین چسبندگی پس از رطوبت برای پوشش‌های آستری انجام شد. از بررسی نتایج مشخص شد در رزین هایی که ترکیب درصد متیل متا کریلات بیش تر از بوتیل متا کریلات است، میزان سختی بیش‌تر است. البته شرایط فرایند و ارتباط میان در صد مولی مونومرهای عاملی در رزین تاثیر زیادی در سختی رزین‌های سنتز شده داشت. اما میزان سختی همه ی رزین‌ها کم تر از سختی شیشه بود.

مقاومت رزین‌ها در برابر خراش که با روش استاندارد معین شد به خاصیت الاستیسیتی آستر بستگی دارد. تفاوت معنی داری میان مقاومت در برابر خراش دیده نشد اما پوشش‌هایی که رزین آن‌ها عمدتا از مونومرهای متیل متاکریلات تهیه شده بود، در مقایسه با پوشش هایی که رزین آن‌ها عمدتا از مونومرهای بوتیل متا کریلات تهیه شده بود عملکرد بیش‌تری نشان دادند. در جدول ٤

**جدول ٤)** ویژگی های آستر پوشش داده شده بر سطح پلی پروپیلن

| نام رزین | TP 44 | TXP 067A | TXP 067B | TXP 067C | TXP 067D | TXP 067 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| خواص ظاهری | یکنواخت ویسکوز | یکنواخت ویسکوز | یکنواخت ویسکوز | یکنواخت ویسکوز | یکنواخت ویسکوز | یکنواخت ویسکوز |
| ویسکوزیته (سانتی‌پواز) | ۴۲ | ۴۷ | ۵۹ | ۶۲ | ۳۷ | ۵۱ |
| حلالیت در۴۰۲ (٪جرمی) | ۱۷ | ۸۰ | ۵۵ | ۷۳ | ۷۰ | ۳۶ |
| حلالیت در زایلن (٪جرمی) | ۷ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۸ | ۱۴ |
| سختی (پرسوز بر ثانیه) | ۸۲ | ۹۴ | ۹۱ | ۸۲ | ۸۸ | ۶۲ |

ویژگی های آستر پوشش داده شده بر سطح پروپیلن نشان داده شده است.

همهٔ آسترها برروی سطوح پلاستیکی به کاررفته چسبندگی بسیار عالی از خود نشان دادند اما میزان چسبندگی در پوشش‌های آستری به دست آمده از رزین‌های متیل متاکریلات و هیدروکسی اتیل متا کریلات کیفیت بالاتری را نشان دادند.

همان گونه که از جدول۴ دیده می شود رزین هایی که از مونومرهای با گروه عاملی هیدروکسی، با نسبت بهینه و گروه های عاملی آکریل آمید با نسبت های متفاوت، سنتز شده بود نسبت به پوشش هایی که رزین های آن از مونومرهای عاملی اسید آکریلیک با در صد مولی متفاوت سنتز شده بود، مقاومت و چسبندگی بیش تری در مقابل رطوبت داشت تعیین چسبندگی بر اساس استاندارد ASTM D 3359 انجام شد. در جدول ۵ چسبندگی پوشش‌های آستری به دست آمده نشان داده شده است.

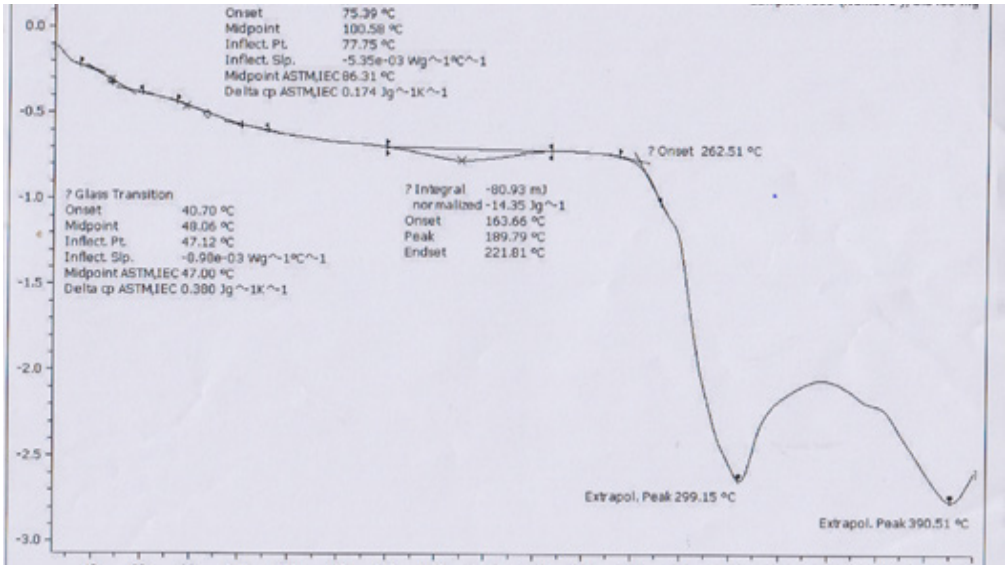
**جدول ۵)** خواص چسبندگی پوشش های آستری به دست آمده

| رزین | چسبندگی | چسبندگی بعد از شست‌وشو |
|---|---|---|
| E | 4B, 5B | چسبندگی متوسط |
| A | 5B | چسبندگی خوب |
| B | 4B, 5B | چسبندگی خوب |
| C | 3B, 4B | چسبندگی متوسط |
| D | -- | عدم چسبندگی |

به منظور بررسی بیش‌تر پوشش های آکریلیک و تعیین پایداری آن ها در برابر اشعه UV، آنالیز گرمایی با روش DSC اندازه گیری شد که در آن با اندازه گیری تفاوت سرعت جریان گرمای نمونه و یک نمونه استاندارد در یک بازهٔ دمایی کنترل شده رفتار حرارتی نمونه سنتز شده بررسی گردید و جزییات آن در شکل ۲ نشان داده شده است. این اندازه گیری در بازهٔ دمایی ۰-۳۰۰ °C انجام شده است. محور افقی دما برحسب درجه سلسیوس و محور عمودی جریان گرما برحسب میلی وات را نشان می دهد. دمای انتقال شیشه ای و دمای ذوب شدن نیز در طیف نمایش داده شده است. برخی داده های دیگر مانند ظرفیت گرمایی و آنتالپی انتقال نیز از داده های آنالیز گرمایی بامحاسبه قابل اندازه گیری است.

## ٤- نتیجه گیری

در این پژوهش، طراحی و ساخت یک نوع رزین آکریلیک با چند نمونه منومر با گروه های عاملی گوناگون تهیه شد و بهینه سازی خواص چسبندگی پوشش حاصل بر سطوح پلی الفینی مورد مصرف در قطعات خودرو مورد بررسی قرار گرفت است. فرمولاسیون های گوناگون با تغییر پارامترهای موادی (ویژگی های مونومرها) و نیز پارامترهای فرایندی (تغییر دما) برخواص رزین آکریلیک سنتز شده مورد بررسی قرار گرفت و خواص پوششی رزین آکریلیک سنتز شده از مونومرهای عاملی هیدرکسی و آکریل آمید اندازه گیری شد. نتایج به‌طور کمی نشان داد که به کارگیری مونومرهای گوناگون در ساخت رزین اکریلیک، بر خواص رزین های سنتز شده تا چه حد تاثیر دارد. هم چنین در این پژوهش، پلاستیک های پلی اتیلن و پلی پروپیلن که در صنعت خودروسازی کاربرد فراوان دارند، با ۵ نوع رزین سنتز شده از مونومرهای متیل متاکریلات و




**شکل ۲)** طیف DSC مربوط به پوشش آستر آکریلیکی

بوتیل متاکریلات پوشش داده شد. مقایسه خواص بدست آمده با منومر های مختلف نشان داد منومر های متیل متاکریلات در کنار منومر های ۲-هیدروکسی اتیل متاکریلات و البته پس از آن استفاده از منومرآکریل آمید، بهبود قابل توجهی درچسبندگی و مقاومت به رطوبت را سبب شدند. بنابراین، ساخت رزین های با گروه های عاملی ذکر شده در مقایسه با سایر گروهها چسبندگی و مقاومت بیش تر داشته و برای پوشش سطح پلاستیک های خودرو ها مناسب ارزیابی شدند. نتایج این پژوهش به طراحی آسترپلی آکریلیک با عملکرد سطحی بهتر کمک می کند که در بالا بردن کیفیت محصولات پلاستیکی مانند قطعات پلاستیکی خودرو نقش دارد.

## مراجع

[1] M. Biron, “Outline of the Actual Situation of Plastics Compared to Conventional Materials,” in Thermosets and Composites, Elsevier, 2014, pp. 1–24.

[2] Y. Nakayama, “Development of novel aqueous coatings which meet the requirements of ecology-conscious society: novel cross-linking system based on the carbonyl–hydrazide reaction and its applications,” Progress in Organic Coatings, vol. 51, no. 4, pp. 280–299, Dec. 2004.

[3] M. Barletta, S. Vesco, M. Puopolo, and V. Tagliaferri, “High performance composite coatings on [5] plastics: UV-curable cycloaliphatic epoxy resins reinforced by graphene or graphene derivatives,” Surface and Coatings Technology, vol. 272, pp. 322–336, Jun. 2015.

[4] S. I. Abdullah and M. N. M. Ansari, “Mechanical properties of graphene oxide (GO)/epoxy composites,” HBRC Journal, vol. 11, no. 2, pp. 151–156, Aug. 2015.

[5] M. de la P. Miguel and J. Pablo Tomba, “A comparison of different approaches for depth profiling of films and coatings by confocal Raman microscopy,” Progress in Organic Coatings, vol. 74, no. 1, pp. 43–49, May 2012.

[6] C. E. Corcione and M. Frigione, “UV-cured polymer-boehmite nanocomposite as protective coating for wood elements,” Progress in Organic Coatings, vol. 74, no. 4, pp. 781–787, Aug. 2012.

[7] K.-H. Nam, K. Seo, J. Seo, S. B. Khan, and H. Han, “Ultraviolet-curable polyurethane acrylate nanocomposite coatings based on surface-modified calcium carbonate,” Progress in Organic Coatings, vol. 85, pp. 22–30, Aug. 2015.

[8] M. L. Picchio, M. C. G. Passeggi, M. J. Barandiaran, L. M. Gugliotta, and R. J. Minari, “Waterborne

acrylic–casein latexes as eco-friendly binders for coatings," Progress in Organic Coatings, vol. 88, pp. 8–16, Nov. 2015.

[9] S. M. Mirabedini, I. Dutil, L. Gauquelin, N. Yan, and R. R. Farnood, "Preparation of self-healing acrylic latex coatings using novel oil-filled ethyl cellulose microcapsules," Progress in Organic Coatings, vol. 85, pp. 168–177, Aug. 2015.

[10] N. T. H. Coyard, Peter K. T. Oldring, P. Deligny, SITA Technology Limited, Resins for Surface Coatings: Acrylics & epoxies. Wiley, 2001.

[11] H. Warson, "Surface coatings, raw materials and their usage, vol. 1. Edited by the Surface Coatings Association of Australia.," Polymer International, vol. 34, no. 4, pp. 453–453, Aug. 1994.

[12] IHS, Chemical Economics Handbook Acrylic Surface Coatings. IHS, 2013.

[13] J. A. Brydson, "Acrylic Plastics," in Plastics Materials, Elsevier, 1999, pp. 398–424.

[14] M. L. Nobel, S. J. Picken, and E. Mendes, "Waterborne nanocomposite resins for automotive coating applications," Progress in Organic Coatings, vol. 58, no. 2–3, pp. 96–104, Feb. 2007.

[15] Q. Guan, H. Wang, B. Chai, and W. Li, "Modification with boehmite-derived alumina nanoparticles enhances mechanical properties of resin," RSC Adv., vol. 5, no. 65, pp. 52710–52717, 2015.

[16] A. Vatansever, T. Y. Inan, H. Dogan, and A. Sirkecioglu, "Synthesis of poly(butyl acrylate-co-methyl methacrylate)/montmorillonite waterborne nanocomposite via semibatch emulsion polymerization," Journal of Applied Polymer Science, vol. 132, no. 32, p. n/a–n/a, Aug. 2015.

[17] Fatemeh Rahimi Ghahroudi, "Study and optimization of polyacrylic primer adhesion on polyolefin surface," Islamic Azad University, Fars Branch, Faculty of Science, 2015.

[18] N. Nakayama and T. Hayashi, "Synthesis of novel UV-curable difunctional thiourethane methacrylate and studies on organic–inorganic nanocomposite hard coatings for high refractive index plastic lenses," Progress in Organic Coatings, vol. 62, no. 3, pp. 274–284, May 2008.