

## مطالعه تأثیر افزودنی‌های رزینی و اروزیل بر بهبود چسبندگی لاستیک به فلز

سجاد شیخی<sup>۱</sup>، سید محمدرضا پرن<sup>۲\*</sup>

۱ تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ

۲ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند

### چکیده

چسبندگی در فصل مشترک قطعات لاستیک به فلز از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. کارایی بهینه این نوع چسبندگی به استحکام چسبندگی بین آمیزه لاستیکی و سطح فلز و رفتار پخت آمیزه بستگی دارد. افزودنی‌های رزینی و حضور ذرات سیلیکا نقش متفاوتی بر بهبود چسبندگی دارند. برای ارزیابی تأثیر افزودنی‌ها از آزمون‌های کششی و پوست کنی ۹۰ درجه استفاده شد. براساس نتایج بدست آمده حضور ۱۵phr از رزین فنول‌فرمالدهید موجب افزایش ۱۷ درصدی چسبندگی لاستیک به فلز و موجب کاهش ۴۳ درصدی در استحکام کششی آمیزه گردید. همچنین حضور ۵phr رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین در کنار رزین فنول‌فرمالدهید توانست چسبندگی لاستیک به فلز را به میزان ۱۳۷ درصد بهبود دهد در حالی که افت خواص کششی آمیزه به ۱۲ درصد کاهش یافت. این در حالیست که افزودن ۵phr اروزیل در کنار رزین‌های فوق توانست افزایش استحکام چسبندگی را به ۱۷۵ درصد برساند و استحکام کششی خود را همانند حالت بدون اروزیل حفظ کند.

### واژه‌های کلیدی

لاستیک  
فلز  
چسبندگی  
فصل مشترک  
اروزیل

\*مسئول مکاتبات:

m.paran@ippi.ac.ir

## مقدمه

کاربردهای فراوان این گونه از مواد مرکب (لاستیک-فلز) به خصوص در صنعت خودرو به دلیل خاصیت لرزه‌گیری خوب آنها در اواخر سال ۱۹۳۰ باعث گسترش این صنعت شد. در این زمان با استفاده از روش لاستیک سخت و با تهیه محلول، لایه‌های لاستیک بر روی فلز قرار داده می‌شدند. در بین سال‌های ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ تلاش‌هایی برای ایجاد پیوند بین لاستیک با فلز به استفاده از ایزوسیانات صورت پذیرفت. در همین سال‌ها به کمک چسب پیشرفته به نام کملوک ۲۲۰ که در اواسط این دهه ساخته شد دانشمندان موفق به ایجاد پیوند لاستیم-فلز شدند. این چسب با نام تجاری کموزیل توسط شرکت هنکل آلمان به صورت انحصاری به بازار عرضه شد. سازوکار عملکرد این عامل پیوند جدید به گونه‌ای است که در حین پخت به طور همزمان با هر دو لایه لاستیک و فلز واکنش شیمیایی می‌دهد و موجب پیوند این دو ماده غیر هم جنس می‌شود. این چسب به گونه‌ای طراحی شده است که پایداری بسیار زیادی در شرایط دمایی محیط داشته باشد [۱-۴]. در بسیاری از این کاربردها لازم است که لاستیک در تماس با سطح فلزی قرار گیرد تا قابل اطمینان تر باشد. از این رو برای دستیابی به پیوندی پایدار و مقاوم، آماده سازی مکانیکی و تمیز کاری شیمیایی سطح مشترک با لاستیک اهمیت بسزایی دارد. همچنین عوامل پیوندی مورد استفاده در آمیزه‌های لاستیکی نیز بر چسبندگی تأثیر گذار هستند [۳-۴]. با توجه به اهمیت موضوع پیوند لاستیک به فلز و کاربردهای روز افزون این مواد مرکب، نیاز به پژوهش در زمینه عوامل مؤثر در تشکیل و پایداری پیوند لاستیک به فلز بیش از پیش لازم و ضروری به نظر می‌رسد. تغییر و بهینه سازی اجزاء در آمیزه لاستیک می‌تواند پیوندهایی با قدرت همسان و یا حتی بیشتر از پیوندهای به وجود آمده با چسب کموزیل را ایجاد کند.

ایوانس و همکارانش [۵] تأثیر افزودن ۲۰ phr سیلیکا به آمیزه‌ی بر پایه لاستیک طبیعی را بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد استحکام پارگی و کارایی

چسبندگی بهبود یافته‌اند. همچنین با تنظیم میزان مدول آمیزه، مقادیر انرژی چسبندگی را نیز محاسبه کردند به طوری که با افزایش مقدار سیلیکا روند افزایش خطی در چسبندگی مشاهده شد. این یافته پیش‌بینی کرد که افزایش سیلیکا نه تنها منجر به بهبود خواص فیزیکی آمیزه می‌شود بلکه بر لایه بین‌سطحی نیز تأثیر دارد. کریسی و همکارانش [۶] طی تحقیقاتی تأثیر ذرات سیلیکا و سیلیکات بر چسبندگی لاستیک به سیم فلزی را بررسی کردند. تحقیقات آنها نشان داد مقدار ۳۰-۱۰ phr از ذرات سیلیکا و سیلیکات توانسته چسبندگی آمیزه‌های لاستیک طبیعی به سیم‌های پوشش داده شده با برنج را بهبود دهد. در سال‌های اخیر نیز تحقیقاتی بر میزان تأثیر سیلیکا بر بهبود چسبندگی و استحکام چسب‌های بر پایه لاستیک استایرن-بوتادی‌ان انجام شده است. این نتایج نشان داد که مقدار ۲۰ phr از سیلیکا مقدار بهینه‌ای برای بهبود خواص چسبندگی و استحکام چسب لاستیکی است [۷].

جوونگ و همکارانش [۸] گزارش کردند که افزایش مقدار کم (۲ phr) از لاستیک طبیعی اپوکسی دار شده تأثیر به‌سزایی در خواص فیزیکی آمیزه تیر سیمی (نرخ پخت، استحکام کششی و میزان کشش پایین و مدول و سختی بالا) دارد. تشکیل لایه‌ای با وزن مولکولی بالا در فصل مشترک و در برخی مواقع تسریع تشکیل سولفید ناشی از حضور ترکیب اپوکسی دار موجب بهبود چسبندگی می‌شود. افزودن مقادیر بالاتر از ۱۰ phr منجر به ضعف خواص لاستیک و در نتیجه چسبندگی ضعیف‌تر شد.

رزین زورسینول‌فرمالدهید به عنوان گیرنده متیلن و هگزامتوکسی‌متیل‌لامین به عنوان دهنده متیلن استفاده شده است. فرایند تغلیظ و تراکم زورسینول‌فرمالدهید در سامانه توسط هگزامتوکسی‌متیل‌لامین به عنوان پیش‌برنده چسبندگی عمل می‌کند. کمپلکس زورسینول‌فرمالدهید و هگزامتوکسی‌متیل‌لامین تأثیر زیادی بر چسبندگی در شروع و بعد از پیرشدگی تحت بخار و رطوبت را نشان می‌دهد. همچنین برای سامانه کمپلکس هگزامتوکسی‌متیل‌لامین و زورسینول‌فرمالدهید ترکیب شده با کبالت، کارایی

و ۴۱۱ و چسب‌های XW ۷۴۸۴ و XW ۱۱۸۰ و مخلوطی از رزین‌های اکریلیک و اپوکسی، بررسی شد. نتایج نشان داد که نیتریل‌بوتادی‌ان لاستیک نسبت به لاستیک طبیعی و چسب‌های دپوششی نسبت به تک‌پوششی‌ها چسبندگی بهتری را ایجاد می‌کنند. همچنین مشخص شد که چسب‌های کموزیل استحکام بیشتری نسبت به سایر چسب‌ها دارند. در این پژوهش نوع شکست نیز اعلام شده است و با توجه به اینکه شکست در بیشتر مواقع در داخل لاستیک روی داده است، می‌توان پیوندهای ایجاد شده را کارآمد دانست.

در این پژوهش به بررسی تأثیر افزودنی‌های رزینی و ذرات اروزیل بر استحکام چسبندگی بین آمیزه لاستیکی و فلز و تأثیر هم‌افزایی عوامل افزوده شده پرداخته شده است.

## تجربی

### مواد اولیه

در این پژوهش از لاستیک خام طبیعی RSS (Ribbed Smoked Sheets) با چگالی ۰/۹۱۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب به عنوان لاستیک پایه، از دوده نوع N ۳۳۰ با عدد جذب (mg/g) ۸۲ و جذب (DBP (Dibutyl Phthalate) (ml / 100g) ۱۰۲ به عنوان پرکننده، از روغن آلیفاتیک ۸۴۰ با چگالی ۰/۸۹±۰/۰۵ و نقطه آنیلین ۸۱±۱ درجه سانتی‌گراد و گرانیروی (در ۱۰۰°C) ۳۵ (cSt) به عنوان نرم‌کننده، از اکسید روی با چگالی ۵/۶±۰/۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب و اندازه مش ۳۲۵ به عنوان فعال‌کننده واکنش پخت، از اسید استئاریک با چگالی ۰/۹۵±۰/۰۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و عدد اسیدی ۲۰۰±۱۰ به عنوان کمک فعال‌کننده واکنش پخت، از گوگرد با چگالی ۲/۰۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب به عنوان عامل اتصال عرضی، از CBS (N-Cyclohexyl-2-benzothiazole Sulfenamide) با نقطه ذوب ۹۰ درجه سانتی‌گراد و چگالی ۱/۱±۰/۰۵ به عنوان شتاب‌دهنده واکنش پخت، از MBTS (Dibenzothiazole Disulfide) با نقطه ذوب ۱۷۲±۵ و چگالی ۱/۵±۰/۰۵ به عنوان شتاب‌دهنده ثانویه، از TMQ (2,2,4-Thimethyl-1,2-Dihydroquinoline) با نقطه نرمی ۹۰±۵ درجه سانتی‌گراد، شاخص آلکانیتی ۵۴۰±۳۰ به عنوان عامل

بهتری گزارش شد [۹]. تاکشی و همکارانش [۱۰] نیز طی تحقیقاتی دریافتند که نیروی چسبندگی و چگالی شبکه‌ای شدن با اعمال هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین افزایش می‌یابد. آنها بیان کردند که ترکیبات آمینی ایجاد شده از تجزیه شتاب‌دهنده‌های پخت، دی‌سیکلوهاگزایل بنزوتیازول سولفون آمید، در حین وولکانش گوگرد توسط هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین به دام می‌افتد، که با نفوذ به لایه چسبی بین لاستیک دی‌ان و سیم فولادی پوشش شده با برنج، تأثیر معکوس بر چسبندگی دارد. کریسی و همکاران [۶] با افزایش رزین‌هایی مانند رزورسینول و فرمالدهید با خاصیت متیل‌دهندگی به ترکیبات لاستیکی، بهبود چسبندگی لاستیک-فلز بیشتری ایجاد کرده‌اند. از طرفی استفاده از سامانه رزورسینول و هگزامتیلن‌ترامین در مقایسه با سیم پوشش شده با لاتکس رزورسینول فرمالدهید، چسبندگی را به‌طور قابل توجهی بهبود داده است. انتخاب میزان رزورسینول و هگزامتیلن‌ترامین به سامانه الاستومر وابسته است. میزان بهینه رزورسینول و هگزامتیلن‌ترامین در ترکیبات لاستیک طبیعی / استایرن بوتادی‌ان لاستیک به ترتیب مقادیر ۲/۵phr و ۱/۶ به دست آمده است.

چسب‌های پایه حلال متداول معمولاً دارای سامانه دو پوششی هستند: چسب پرایمر و کاور. پرایمرها معمولاً شامل رزین‌هایی مانند فنولیک‌ها، ایزوسیانات‌ها و دیگر اجزای ویژه حل شده در حلال‌های آلی مانند تولوئن، پرکلرواتیلن و زایلن هستند. نیاز اساسی پرایمر برای رسیدن به بهترین خیس‌کنندگی سطح فلز است. چسب کاور با استفاده از پلیمرهای هالوژنه با افزودنی‌های ویژه مانند سیلان، پرکننده‌ها (دوده) و حلال‌های آلی فرمول‌بندی می‌شوند. پوشش رویی برای رسیدن به پیوند خوب بین فلز و لاستیک با آمیزه لاستیک واکنش داد [۱۱-۱۲].

در سال ۲۰۰۲ طی پژوهشی که توسط شلناخ و لانگه [۱۳] با همکاری شرکت هنکل آلمان انجام گرفت چسبندگی آمیزه‌های لاستیک طبیعی و نیتریل بوتادی‌ان لاستیک به آهن با استفاده از چسب‌های مختلف تک‌پوششی و دو پوششی کموزیل ۲۱۱، ۲۲۲

سپس به کمک پرس گرم بر روی فلز پخت شده‌اند. به منظور اندازه گیری چسبندگی از آزمون پوست کنی بر اساس استاندارد ASTM D 429-14 استفاده شده است. همچنین بر روی نمونه‌های لاستیکی تهیه شده مطابق استاندارد ASTM D 412 آزمون کشش انجام شده است. سطح فلزات مورد استفاده در آزمون چسبندگی، پیش از اعمال آستر و چسب بر روی آن باید تمیز کاری شوند. مراحل انجام کار به ترتیب زیر است.

الف) ساییدن سطح فلز با برس فلزی و سنباده

ب) شستشو با آب برای از بین رفتن خرده فلزها

ج) شستشو با مواد شوینده صابونی برای از بین رفتن چربی‌ها

د) شستشو با حلال

نمونه‌های مورد بررسی به صورتی که در جدول ۲ نام گذاری شده و توضیح داده شده، تهیه شده‌اند. نام گذاری نمونه‌ها به این صورت است که نماد Gum نشان دهنده آمیزه لاستیکی حاوی ترکیبات گفته شده در جدول ۱ است. نماد Ph، H و N به ترتیب نشان دهنده افزایش رزین فنول‌فرمالدهید، هگزامتوکسی‌متیل‌لامین و ذرات اروزیل به آمیزه لاستیکی گفته شده است و اعداد مقابل نشان‌دهنده مقادیر آنها در ۱۰۰ قسمت وزنی از لاستیک خام است. لازم به ذکر است که دما و زمان واکنش پخت بهینه برای دستیابی به بهترین میزان پیوندهای عرضی لاستیک با توجه به آزمون رئومتری تعیین شده است.

ضداکسندنده استفاده شده است. همچنین برای بهبود چسبندگی از پارا-ترشیویوتیل‌فنول‌فرمالدهید و برای بهبود اتصال عرضی از هگزامتوکسی‌متیل‌لامین با گرانیروی ۲۶۰۰ mPa/s و pH بلاستیک با ۸/۲ استفاده شده است. همچنین از ذرات اروزیل با سطح ویژه ۲۰۰ متر مربع بر گرم و چگالی ۰/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای ایجاد شبکه فیزیکی و بهبود پیوستگی آمیزه استفاده شده است. مقادیر اجزای آمیزه تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است.

## روش کار

به طور کلی دو روند در این پژوهش پیگیری می‌شود. روند اول بر اساس چسبندگی لاستیک به فلز با افزودن رزین در آمیزه لاستیکی و با استفاده از چسب کموزیل ۲۲۲/۲۱۱ است و در روند دوم از اروزیل برای بهبود چسبندگی لاستیک به فلز استفاده شده است و از چسب کموزیل مشابه روند اول استفاده شده است. آستر و چسب کموزیل با ضخامت ۶۰ میکرون بر روی سطح فلز آماده سازی شده قرار داده شد. آمیزه لاستیکی با استفاده از دستگاه میل دو غلتکی با قطر ۱۵ سانتی متری طبق فرمول بندی جدول ۱ تهیه شدند. همچنین عوامل بهبود دهنده چسبندگی لاستیک به فلز نیز در میل دو غلتکی به آمیزه لاستیکی اضافه شده و

جدول ۱ ترکیب اجزای مواد مورد استفاده در آمیزه‌های مورد بررسی در پژوهش

شرکت سازنده	مقدار (phr)	اجزا
CIPA	۱۰۰	RSS (Natural Rubber)
ROKEM	۲۰	۳۳۰N
شرکت مهندسی فرا پلیمر	۵	ZnO
شرکت مهندسی فرا پلیمر	۲	Stearic Acid
پارسیان کیش	۵	۸۴۰ Aliphatic oil
ROKEM	۱/۵	TMQ
	۲	Sulfur
ROKEM	۱/۵	MBTS
ROKEM	۰/۵	CBS

جدول ۲ اجزا و ترکیب درصد مواد مورد استفاده در پژوهش و کدگذاری نمونه‌ها.

نوع ذره	مقدار ذره (phr)	مقدار رزین (phr)	نوع رزین	کد نمونه
-----	-----	-----	-----	Gum
-----	-----	۵	فنول فرمالدهید	Ph-R۵
-----	-----	۱۰	فنول فرمالدهید	Ph-R۱۰
-----	-----	۱۵	فنول فرمالدهید	Ph-R۱۵
-----	-----	۱۵ + ۵	هگزامتوکسی متیل ملامین + فنول فرمالدهید	Ph۱۵-H۵
-----	-----	۱۵ + ۱۰	هگزامتوکسی متیل ملامین + فنول فرمالدهید	Ph۱۵-H۱۰
-----	-----	۱۵ + ۱۵	هگزامتوکسی متیل ملامین + فنول فرمالدهید	Ph۱۵-H۱۵
Aerosil	۵	۱۵ + ۵	هگزامتوکسی متیل ملامین + فنول فرمالدهید	Ph۱۵-H۵-N۵

## نتایج و بحث

### آزمون‌های رئومتر

پخت لاستیک برای هشت آمیزه مختلف در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد انجام شده است، جدول ۳. همان گونه که در نمودارهای پخت مشاهده می‌شود، شکل ۱، حضور رزین فنول فرمالدهید، زمان برشته‌گی را کاهش داده اما افزودن رزین هگزامتوکسی متیل ملامین زمان برشته‌گی را افزایش داده است. زمان پخت و گشتاور بیشینه نیز با افزایش مقدار عامل افزایش دهنده چسبندگی به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. این در حالیست که حضور اروزیل در کنار ترکیب دو رزین توانسته ضمن پایین نگه داشتن زمان پخت، مقدار گشتاور بیشینه را نیز تقریباً حفظ کند که نشان دهنده پخت کامل لاستیک در زمان کمتر است.

همانگونه که از نمودارها مشاهده شده، آمیزه‌های تهیه شده منطقه ترازه (منطقه‌ای که نمودار پخت ثابت می‌شود) وسیعی را نشان داده است که به دلیل مقاومت گرمایی بسیار عالی آمیزه‌ها است، و به این معنی است که لاستیک زمان طولانی تری را قبل از تخریب شدن می‌تواند در دمای پخت باقی بماند و در نتیجه امکان پخت کامل درون قطعات ضخیم را نیز فراهم می‌آورد و سبب همگونی بهتر و افزایش یکپارچگی لاستیک می‌شود. از این مزیت میتوان برای ساخت قطعاتی که

## آزمون‌ها بر روی نمونه‌ها

### آزمون رئومتر

آزمون پخت با استفاده از دستگاه رئومتر مدل ۱۰۰ ساخت شرکت Monsanto انجام شده است. نتایج این آزمون زمان پخت، زمان برشته‌گی، گشتاور بیشینه، گشتاور کمینه و دمای پخت را مشخص می‌کند. به همین منظوری در این پژوهش از رئومتر استفاده شده است.

### آزمون پوست کنی ۹۰ درجه

آزمون پوست کنی ۹۰ درجه بر روی ماده مرکب لاستیک-فلز انجام شده است، به طوریکه در این آزمون لاستیک را تحت زاویه خاص ۹۰ درجه و با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه از فلز جدا کرده و انرژی لازم برای جدا کردن لاستیک از سطح فلز و نوع شکست ثبت شده است. این آزمون بر اساس استاندارد ASTM D 429-14 انجام شده است.

### آزمون کشش بر روی لاستیک پخت شده بدون

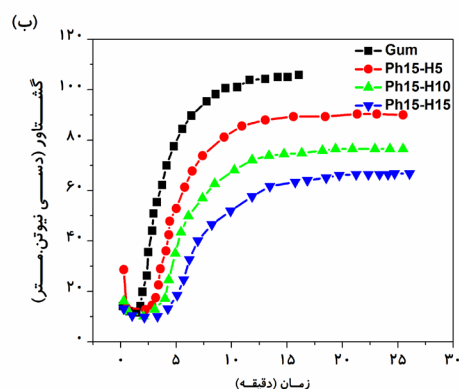
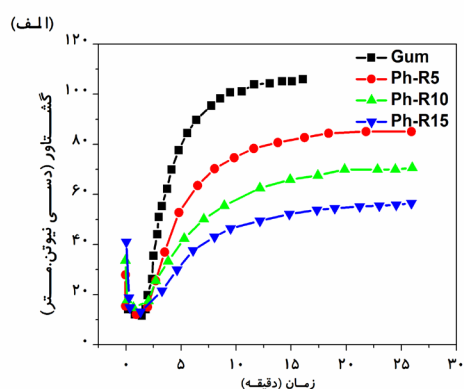
#### تماس با فلز

آزمون کشش بر روی نمونه‌های لاستیکی پخت شده انجام گرفت. میزان استحکام درونی لاستیک‌های پخت شده بررسی شده است. آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM D412 با استفاده از دستگاه مدل SAF500 ساخت شرکت سنتام (ایران) و با سرعت کشش ۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه انجام گرفته است.

جدول ۳ مشخصات پخت آمیزه‌های لاستیکی خام، حاوی رزین‌های فنول‌فرمالدهید و رزین هگزامتوکسی متیل‌لامین با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ PHR و ذرات اروزیل با مقدار ۵ PHR.

کد آمیزه	زمان برشتگی M:S	زمان پخت M:S	گشتاور پخت kg.cm	گشتاور بیشینه kg.cm	گشتاور کمینه kg.cm	شاخص نرخ پخت
Gum	۲:۱۵	۸:۲۶	۱۰۵/۳۴	۱۰۹/۸۵	۱۹/۷۵	۱۶/۲۰
Ph-R۵	۱:۴۸	۱۱:۴۳	۸۱/۵۲	۸۵/۱۵	۱۲/۷۳	۱۰/۸۱
Ph-R۱۰	۱:۳۶	۱۴:۱۰	۶۸/۰۸	۷۰/۹۳	۱۳/۹۶	۷/۹۶
Ph-R۱۵	۱:۳۵	۱۴:۲۹	۵۴/۴۸	۵۶/۶۲	۱۳/۹۲	۷/۷۵
Ph۱۵-H۵	۲:۳۰	۹:۲۲	۸۶/۳۰	۹۰/۲۱	۱۲/۰۹	۱۴/۵۵
Ph۱۵-H۱۰	۲:۵۰	۱۰:۴۷	۷۳/۴۱	۷۶/۷۲	۱۰/۶۴	۱۲/۵۷
Ph۱۵-H۱۵	۳:۴۱	۱۲:۵۹	۶۳/۴۶	۶۶/۲۹	۹/۷۰	۱۰/۷۵
Ph۱۵-H۵-N۵	۱:۵۸	۹:۴۳	۱۰۶/۱۱	۱۱۱/۰۵	۱۲/۳۹	۱۲/۹۰

قطر بالایی دارند استفاده کرد.



شکل ۱ تصاویر رئومتر پخت آمیزه‌های لاستیکی

(الف) نمونه‌های Ph-R۵، Ph-R۱۰ و Ph-R۱۵، در مقایسه با

آمیزه خالص (ب) نمونه‌های Ph۱۵-H۵، Ph۱۵-H۱۰ و

Ph۱۵-H۱۵ در مقایسه با آمیزه خالص

از طرفی مشاهده شده که افزودن رزین فنول‌فرمالدهید و هگزامتوکسی متیل‌لامین گشتاور بیشینه و کمینه را کاهش داده است، در مقابل افزودن اروزیل به مقدار ۵ phr هر چند مقدار گشتاور بیشینه را افزایش داده ولی گشتاور کمینه و زمان پخت را نیز در مقدار بهینه نگه داشته است. به طور کلی رزین فنول‌فرمالدهید و رزین هگزامتوکسی متیل‌لامین تأثیر متفاوتی بر زمان برشتگی داشته است. افزودن رزین فنول‌فرمالدهید موجب کاهش زمان برشتگی شده در حالی که افزودن رزین هگزامتوکسی متیل‌لامین موجب افزایش زمان برشتگی شده است. از طرفی مشاهده شده که حضور اروزیل در کنار دو رزین زمان برشتگی را کاهش داده است. همانطور که از نتایج نشان می‌دهد، حضور این دو رزین زمان پخت آمیزه را به شدت افزایش داده است. از این رو استفاده از اروزیل توانسته تا مقدار قابل قبولی این اثر را خنثی کرده و زمان پخت آمیزه را بهینه کند. شاخص نرخ پخت مقیاسی از شیب متوسط میزان پخت در ناحیه افزایش گشتاور پخت است که با استفاده از معادله ۱ از نتایج آزمون رئومتری محاسبه می‌شود [۱۴]. شاخص نرخ پخت نشان دهنده سرعت پخت لاستیک است و افزایش مقدار این شاخص به معنای پخت سریع‌تر آمیزه است. مقادیر این شاخص

برای آمیزه‌های تهیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

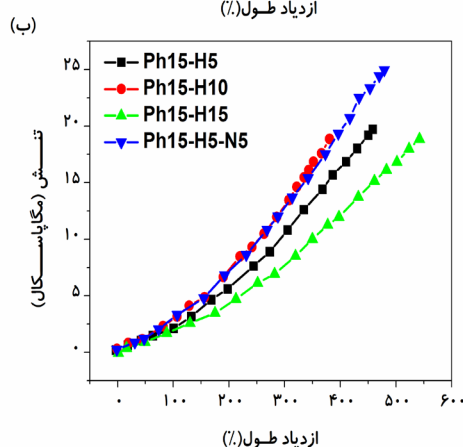
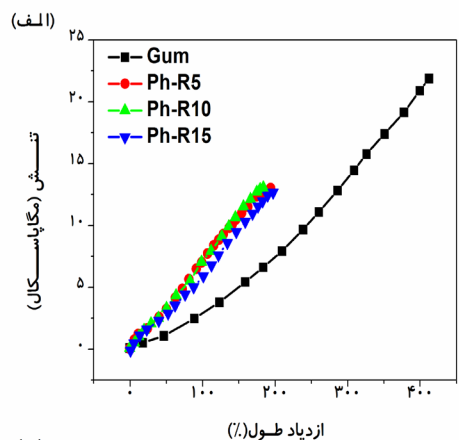
$$CRI = \frac{100}{(t_{95} - t_{57})} \quad (1)$$

CRI (Cure Rate Index) به ترتیب نشان دهنده شاخص نرخ پخت، زمان برشتگی و زمان پخت آمیزه لاستیکی هستند.

### آزمون کشش تک جهته

آزمون کشش تک جهته بر روی هشت نمونه انجام گرفته است که هفت نمونه به بررسی اثر مواد افزاینده چسبندگی در آمیزه مربوط است. در این آزمون تأثیر افزودن رزین فنول‌فرمالدهید، رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین و اروزیل به آمیزه اولیه بررسی و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج آزمون کشش به صورت خلاصه در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین این نتایج به صورت منحنی‌های تنش- کرنش در شکل ۲ آمده است.

بنابر نتایج نشان داده شده در شکل ۲ الف، می‌توان گفت که افزودن رزین فنول‌فرمالدهید در آمیزه لاستیکی موجب کاهش استحکام کششی نمونه و همچنین حضور رزین تا مقدار ۱۰ phr موجب کاهش ازدیاد طول در نقطه پارگی شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش



شکل ۲ نمودار تنش-کرنش نمونه‌های (الف) Gum، (ب) Ph-R5، Ph-R10، Ph-R15، Ph15-H5، Ph15-H10، Ph15-H15 و Ph15-H5-N5

جدول ۴ نتایج آزمون کشش آمیزه‌های خالص و حاوی رزین‌های پارا ترشیو بوتیل فنول‌فرمالدهید و هگزامتوکسی‌متیل‌لامین و ذرات اروزیل

کد نمونه	استحکام کششی MPa	تغییرات استحکام		ازدیاد طول (%)
		کششی (%)	مدول کششی GPa	
Gum	۲۲/۳۸	---	۵/۴۶	۴۱۰/۱۲
Ph-R5	۱۳/۷۱	-۴۳/۲	۷/۱۸	۱۹۱/۷۵
Ph-R10	۱۳/۵۳	-۳۹/۵	۷/۴۲	۱۸۲/۴۳
Ph-R15	۱۲/۵۸	-۴۳/۸	۶/۵۰	۱۹۳/۹۰
Ph15-H5	۱۹/۶۰	-۱۲/۴	۴/۴۱	۴۴۱/۱۵
Ph15-H10	۱۷/۷۱	-۲۰/۵	۴/۸۶	۳۶۰/۶۷
Ph15-H15	۱۷/۷۸	-۲۰/۵	۳/۳۴	۵۳۲/۱۰
Ph15-H5-N5	۲۳/۰۵	+۳	۴/۸۴	۴۷۶/۱۵



### آزمون پوست کنی ۹۰ درجه

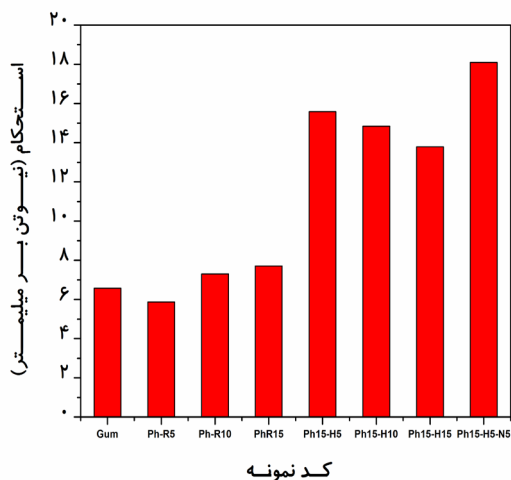
در این آزمون، شش نمونه آمیزه حاوی مواد افزایش‌دهنده چسبندگی و تأثیر آن بر استحکام پوست کنی ۹۰ درجه بررسی شده‌اند. دیگر نمونه‌ها برای بررسی نمونه خالص و تأثیر حضور اروزیل بر استحکام پوست کنی ۹۰ درجه انتخاب شده‌اند. نتایج این آزمون برای نمونه‌ها در شکل‌های ۴-۳ نشان داده شده‌اند.

بنابر نتایج آزمون پوست کنی ۹۰ درجه که به‌صورت نمودار میله‌ای در شکل ۴ آمده، افزودن رزین فنول‌فرمالدهید موجب افزایش جزئی در استحکام چسبندگی آمیزه شده است. این نتیجه با نتایج آزمون مربوط به آمیزه‌های حاوی رزین فنول‌فرمالدهید متفاوت است. افزایش چسبندگی می‌تواند به خاصیت چسبناک‌کننده رزین فنول‌فرمالدهید مربوط باشد. در حالی که در نتایج آزمون کشش حضور رزین در آمیزه لاستیکی موجب کاهش استحکام آمیزه شده است. از طرفی مشاهده شده که افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین در آمیزه لاستیکی تأثیر قابل توجهی بر هر دو استحکام چسبندگی و استحکام کششی داشته است. می‌توان مشاهده کرد که برهمکنش دو رزین در آمیزه لاستیکی موجب بهبود چسبندگی لاستیک به لایه چسبی نیز شده است.

با توجه به شکل ۵ (الف) که مربوط به آمیزه خالص و آمیزه حاوی رزین فنول‌فرمالدهید است، با افزودن رزین فنول‌فرمالدهید، شکست از درون لاستیک مشاهده شده است که با نتایج حاصل از آزمون چسبندگی و کشش تک‌جهته همخوانی داشته و نشان دهنده بهبود چسبندگی و کاهش استحکام آمیزه است. در شکل ۵ (ب) تصاویر پس از آزمون نمونه‌های مربوط به آمیزه‌های حاوی دو نوع رزین فنول‌فرمالدهید و رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین و همچنین آمیزه حاوی اروزیل نشان داده است. این تصاویر نشان دهنده پوشش کامل سطح توسط لاستیک است که دلیلی بر این مساله است که علاوه بر حفظ چسبندگی لاستیک به چسب، لاستیک توانسته استحکام خود را نیز حفظ کند.

مقدار رزین به مقدار ۱۵phr تا حدودی ازدیاد طول در نقطه پارگی افزایش یافته است. که این پدیده ناشی از کاهش پیوستگی آمیزه در اثر حضور رزین بوده است. از طرفی نتایج نشان می‌دهند که روند تغییرات مدول آمیزه پخت شده در اثر حضور رزین فنول‌فرمالدهید برخلاف روند مربوط به ازدیاد طول در نقطه پارگی است. از آنجا که رزین‌های فنول‌فرمالدهید در دمای محیط در حالت شیشه‌ای هستند، حضور رزین می‌تواند دلیلی بر افزایش مدول کششی و کاهش ازدیاد طول نمونه‌ها باشد. همچنین انحراف از این روند در مقادیر ۱۵phr رزین می‌تواند به علت توزیع و برهمکنش ضعیف‌تر رزین با زنجیرهای لاستیکی باشد. همانطور که از شکل ۲ب مشاهده شده، در نمونه‌های Ph ۱۵-H ۵، Ph ۱۵-H ۱۰ و Ph ۱۵-H ۱۵ با افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین به علت انجام برهمکنش با رزین فنول‌فرمالدهید، بهبود استحکام کششی آمیزه‌ها مشاهده شده است. از آنجایی که رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین خاصیت متیل‌دهندگی دارد، در حضور رزین فنول‌فرمالدهید که متیل‌گیرنده است می‌تواند در واکنش ایجاد اتصالات عرضی شرکت کند و موجب بهبود خواص مکانیکی نهایی آمیزه لاستیکی شود. اما همانطور که مشاهده شده افزودن بیشتر مقدار رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین تأثیر معکوس داشته است، به طوری که با افزودن مقدار رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین از ۵phr تا ۱۵ کاهش در استحکام کششی آمیزه‌ها مشاهده شده است که به دلیل مقدار اضافی رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین است و مقدار متیل‌دهنده بیشتر از حد مورد نیاز برای متیل‌گیرنده موجب تأثیرات منفی بر روی سامانه می‌شود. از طرفی می‌دانیم که حضور ذرات و به‌ویژه ذرات اروزیل با سطح ویژه بالا می‌تواند موجب بهبود استحکام و پیوستگی آمیزه‌های لاستیکی شود. از این رو برای بهبود پیوستگی آمیزه‌های حاوی دو رزین از اروزیل استفاده شده است. حضور ذرات اروزیل توانسته با ایجاد ساختار شبکه سه بعدی فیزیکی پیوسته موجب بهبود پیوستگی سامانه شود و در پی آن استحکام آمیزه را بهبود دهد.

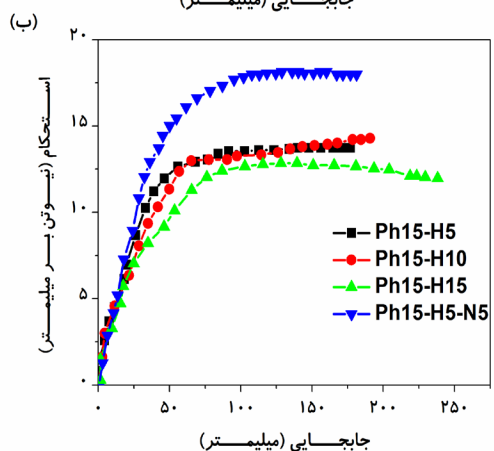
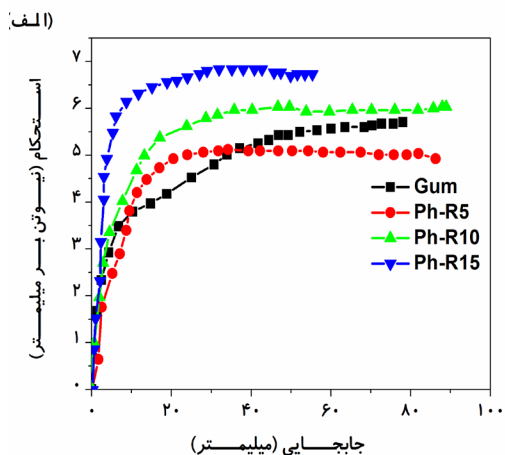




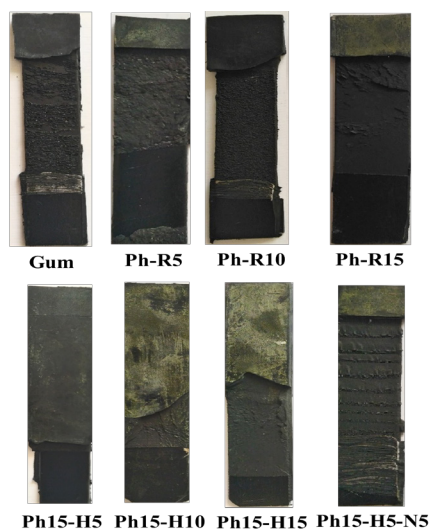
شکل ۴ نمودار میله‌ای نتایج آزمون پوست کتی ۹۰ درجه برای هشت نمونه بررسی شده.

### نتیجه گیری

از آنجایی که چسب‌های استفاده شده در این پژوهش چسبندگی مناسبی با سطح فلز ایجاد می‌کند. پژوهش حاضر با هدف افزایش چسبندگی بین آمیزه لاستیکی و چسب انجام شده است. نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که افزودن رزین فنول‌فرمالدهید به مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ phr، چسبندگی لاستیک را به ترتیب در حدود ۱۰/۶۵-، ۱۱/۱+ و ۱۷/۳۵+ درصد تغییر می‌دهد. اما موجب کاهش پیوستگی و استحکام کششی آمیزه لاستیکی به ترتیب در حدود ۴۳/۲، ۳۹/۵ و ۴۳/۸ درصد می‌شود. از این رو از رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین برای ایجاد برهمکنش با رزین فنول‌فرمالدهید و مشارکت در فرایند شبکه‌ای شدن استفاده شده است. بنابر نتایج، مشاهده شده است که در حضور مقدار ۱۵ phr از رزین فنول‌فرمالدهید، افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌لامین در مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ phr، چسبندگی را به ترتیب به مقدار ۱۳۷، ۱۲۵ و ۱۱۰ درصد افزایش یافت. در حالی که اثرات منفی حضور رزین بر پیوستگی و استحکام کششی آمیزه کمتر شد. میزان کاهش خواص کششی به ترتیب ۱۲-، ۲۰- و ۲۰- درصد بود. حضور دو رزین با وجود تأثیر مثبت بر روی چسبندگی، استحکام کششی مناسبی از خود نشان نداد. برای بهبود پیوستگی آمیزه‌ها



شکل ۳ نمودار نیرو بر حسب ازدیاد طول آزمون پوست کتی ۹۰ درجه برای نمونه‌های (الف) Gum، Ph-R5، Ph-R10 و Ph-R15 و (ب) Ph15-H5، Ph15-H10، Ph15-H15 و Ph15-H5-N5



شکل ۵ تصاویر پس از آزمون پوست کتی ۹۰ درجه برای نمونه‌های مختلف

۳ درصد تغییر کرده است. نتایج نشان داد که بهبود چسبندگی لاستیک به فلز در کنار ثابت نگه داشتن تقریبی استحکام کششی آمیزه با استفاده ترکیب رزین های فوق امکان پذیر است.

و استحکام کششی تک جهت از اروزیل به مقدار ۵phr برای آمیزه حاوی ۱۵phr رزین فنول فرمالدهید و ۵phr رزین هگزامتوکسی متیل ملامین استفاده شد از این رو مشاهده شد که حدود ۱۷۵/۵ درصد افزایش چسبندگی ایجاد گردید. درحالی که استحکام کششی در حدود

## مراجع

- 1- Crowther B., The Handbook of Rubber Bonding, Revised Edition, RAPRA Technology Limited, Revised and Reprinted 2003.
- 2- Hafmann W., Rubber Technology Handbook, LTD, Hanser Publishers, Network 1989.
- 3- Alan D. R., Rubber Contact Phenomena, Rubber Chemistry and Technology, 87, 383-416, 2014.
- 4- MH A.S., JA Kh., Hamdi H. H., Factors Affecting the Adhesive Force Between Metallic Substrate and Carbon Black Filled Rubber Composites, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 32, 974-986, 2013.
- 5- Walter H. W., Larry R. E., Edward G., Linda J. S., Mechanism by Which Precipitated Silica Improves Brass-Coated Wire-To-Natural Rubber Adhesion, Rubber Chemistry and Technology, 69,48-58, 1996.
- 6- Creasy J. R., Russel D. B., Wagner M. P., Role of Silicas and Silicates in Rubber Adhesion, Rubber Chemistry and Technology, 41, 1300-1311, 1968.
- 7- Poh, B. T., Loh, W. S., Effect of Silica Filler on Viscosity, Peel Strength, Shear Strength and Tack of Styrene-Butadiene Rubber-Based Adhesive, Pertanika J. Sci. & Technol., 24, 307-317, 2016.
- 8- Gyung S. J., Boric Acid Ester as an Adhesion Promoter for Rubber Compounds to Brass-plated Steel cord, J. Adhes. Sci. Technol., 17, 797-814, 2003.
- 9- Gyung S. J., On Characterizing Microscopically the Adhesion Interphase for the Adhesion Between Metal and Rubber Compound Part I. Effect of hexamethoxymethylmelamine in Rubber Compound, J. Adhes. Sci. Technol., 27, 1666-1680, 2013.
- 10- Takeshi H., Yasuhiro I., Kunio M., Effect of Compound Ingredients on Adhesion between Rubber and Brass-Plated Steel Cord, Rubber Chemistry and Technology, 78, 175-187, 2005.
- 11- Roman M., Rubber-to-metal Bonding Agents, Rubber World, 3, 26-31, 1996.
- 12- Sophie N, Camille B., Lionel B., Frederic H., Zineb M., Joseph D., Jean-Jacques P., Adhesion properties and Surface Analyses of Monolayers of N-dodecanethiol Self-assembled on Galvanic Gold, Surf. Interface Anal., 26, 889-895, 1998.
- 13- Schelnach R., Lange I., Rubber-Metal Composite, Us Pat. 6379752 B1, 2002.
- 14- Ansarifard M.A., Zhang J., Baker J., Bell A., Ellis R.J., Bonding properties of Rubber to Steel, Aluminium and Nylon66, International Journal of Adhesion & Adhesives, 12, 369-380, 2001.

