



ستز و کاربرد آلکیده‌های سیلیکونی در پوشش‌های کوره‌ای و آستری‌های حاوی روی

مرتضی احسانی^{۱*}، مهدی باریکانی^۲، طاهر صنایع پرکار^۳

۱- استادیار، گروه لاستیک، پژوهشگاه فرآیند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۲- استاد، گروه پلی‌یورتان، الیاف و نانوپلیمرها، پژوهشگاه علوم، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۳- کارشناس ارشد، مرکز بهمن موتور، مدیریت رنگ، واحد ED، تهران، ایران، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵/۱۷۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۶/۱۷ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۷/۶/۲۸

چکیده

رزین‌های آلکیدی که در صنعت پوشش‌های آلی کاربرد دارند، خواص گسترده‌ای در ابعاد مختلف مانند انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر ضربه، چسبندگی خوب و مقاومت در برابر ترک خوردگی دارند. اما علی‌رغم خواص خوب دارای معایبی نیز هستند که برحسب مورد با رزین‌ها و پلیمرهای دیگر اصلاح می‌شوند یکی از این موارد، اصلاح مقاومت حرارتی و زردگرایی آنها با رزین‌ها (پلیمرهای سیلیکونی است، که رزین اصلاح شده مصرف ویژه‌ای در پوشش‌های کوره‌ای و آستری‌های اتیل سیلیکاتی خواهد داشت. در این تحقیق به نحوه تهیه کاپلیمر آلکید - سیلیکون و کاربرد آن در پوشش کوره‌ای و همچنین استفاده از آن به جای اتیل سیلیکات در آستری اتیل - سیلیکاتی و بررسی خواص آن پرداخته شده است. مقاومت حرارتی پوشش تهیه شده با آلکید - سیلیکونی در مقایسه با پوشش کوره‌ای بر پایه الکید بهبود پیدا کرده است و آستر بر پایه آلکید - سیلیکون قابل رقابت با آستر تهیه شده از اتیل سیلیکات گران‌قیمت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رزین آلکیدی، سیلیکون‌ها، کاپلیمر آلکید - سیلیکون، گرد روی، اتیل سیلیکات.

Synthesis and Application of Silicon-Alkyds in Stoving Paint and Zinc-Rich Primers

M. Ehsani^{1*}, M. Barikani², T. S. Porkar³

¹ Department of Rubber, Faculty of Processing, Iran Polymers and Petrochemicals Institute, P.O. Box 14965/115, Tehran, Iran

² Department of Polyurethane, Fibers & Nanopolymers, Faculty of Science Iran Polymers and Petrochemicals Institute, P.O. Box 14965/115, Tehran, Iran

³ ED Department, Paint Management, Bahman Motor Center, P.O. Box 37515/171, Tehran, Iran

Abstract

Alkyd resins which are used in the organic coating industry have various properties with different applications which include flexibility, resistance to stroke, high adhesion property and resistance to breakage. Nevertheless, it has some shortcomings as well, which should be removed by combination of other resins and polymers. One of the properties which need correction is weak thermal properties that can be removed by combining with silicon resins. In the present study manner of preparing silicon - alkyd copolymer, it's properties, specifications and it's thermal application range have been explained. Thermal resistance of alkyd based coating is improved with silicone effect in resin and flexibility of ethyl silicate primer increased by alkyd effect in silicon modified resin. Silicone-alkyd based of primer is comparable with ethyl silicate primer in mechanical properties and has lower price. *J. Color Sci. Tech.* 2(2008), 123-128. © Institute for Colorants, Paint and Coatings.

Keyword: Alkyd resin, Silicones, Alkyd-silicon copolymer, Zinc dust, Ethyl silicate.

۱- مقدمه

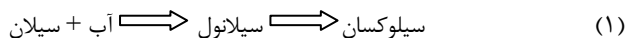
آلکیدها محصول واکنش الکل‌های چندعاملی با اسیدهای پلی‌کربوکسیلیک یا انیدریدهای آنها در حضور اسیدهای چرب یا روغن‌های آنها هستند. مصارف عمده آلکیدها در پوشش‌های سطح (رنگ‌ها، لعاب‌ها و لاک‌ها) است که به عنوان عامل چسبنده، ایجاد یک لایه چسبنده، سخت و بادوام و فیلمی پیوسته می‌نماید. تقریباً حدود ۱/۳ از تمام پوشش‌های آلی را آلکیدها به عنوان رزین اولیه تشکیل می‌دهند [۵-۱]. آلکید رزین‌ها در مقایسه با اکثر پلیمرهای تجاری، اغلب دارای درجه حرارت انتقال شیشه‌ای (Tg) پایین‌تری هستند و در نتیجه موادی چسبناک و گرانبه می‌باشند و با حل کردن آنها در محلول‌های آلی و دستیابی به محلول‌هایی که به راحتی جریان یابند و پمپ گردند می‌توان بر مشکل انتقال و استعمال آنها نیز غلبه نمود. خواص خوب در پوشش‌های ایجاد شده معمولاً با ایجاد پیوند عرضی همراه است و غالباً تشکیل پیوند عرضی نتیجه واکنش فیلم پوششی با اکسیژن هوا می‌باشد. ضمناً اضافه نمودن یک رزین ثانویه با روکش پایه به اثر فوق کمک می‌نماید [۵]. علیرغم خواص خوب اعم از چسبندگی عالی، ارزان بودن، سختی مناسب، انعطاف‌پذیری و براقیت خوب رزین‌های آلکیدی، مقاومت جوی و مقاومت حرارتی آنها کم است و از طرف دیگر پلیمرهای سیلیکونی مقاومت حرارتی و جوی عالی، عدم زردگرایی و مقاومت حلالی و شیمیایی خوبی دارند [۴-۶]. با توجه به کارایی عالی رزین‌های سیلیکونی در زمینه یاد شده رزین‌های آلکیدی را با استفاده از این رزین‌ها اصلاح می‌کنند. تحقیقاتی برای اصلاح آلکید رزین با استفاده از سیلیکون رزین انجام شده است [۶]. واکنش تشکیل پلیمر سیلیکونی نیز یک واکنش تراکمی است و به علت تشابه آن با نحوه واکنش تشکیل رزین‌الکید، امتزاج‌پذیری و اصلاح رزین آلکید با پلیمر سیلیکونی علی‌رغم خطر زل شدن رزین، امکان‌پذیر است [۶]. به این ترتیب از یک طرف به علت مصرف کمتر مواد سیلیکونی (اتیل سیلیکات) و استفاده از مواد ترکیبی، محصولی با قیمت بسیار پایین‌تر در مقایسه با محصولات سیلیکونی، همراه با حفظ کیفیت، قابل دستیابی است. از طرف دیگر با استفاده از ترکیبات سیلیکونی در ساختار رزین‌های آلکیدی، می‌توان به پوششی با خواص حرارتی و دوام‌پذیری بهتر دست یافت.

در ساخت آلکید رزین ترکیبات اسید چرب، پلی‌الکل‌ها و پلی‌اسیدها یا انیدریدهای آنها را به همراه ۳-۵٪ وزن کل با یک حلال آروماتیک مثل زایلن در داخل راکتور حرارت می‌دهند. نقطه پایان (تکمیل) واکنش تراکمی استری شدن با بررسی عدد اسیدی (پایین‌تر از عدد ۶) و گرانبه‌ی در یک درصد معینی از حلال مشخص می‌گردد. مخلوط واکنش ۳۰-۵۰٪ اسید چرب، ۳۰-۴۰٪ پلی‌اسید و ۲۰-۳۰٪ پلی‌الکل می‌باشد. در دسته‌بندی آلکید رزین‌ها به رزین‌های آلکید با درصد روغنی (اسید چرب) در حدود فوق رزین‌های کوتاه روغن

گفته می‌شود. در حین واکنش آزمون‌های عدد اسیدی و گرانبه‌ی و تعیین درصد جامد برای کنترل واکنش صورت می‌گیرد [۷، ۱].

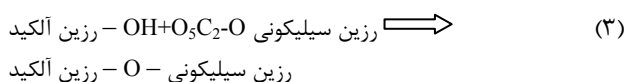
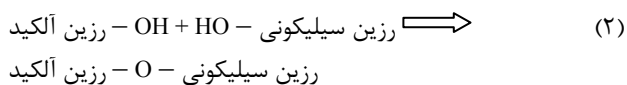
در رزین (پلیمر) سیلیکونی سلیسیم همانند کربن در ترکیب با هیدروژن مولکول سیلان (SiH₂+2) را خواهد داد. هالوسیلان‌ها (ترکیبات سیلیکونی هالوژن‌دار) بر خلاف ترکیبات کربنی هالوژن‌دار به راحتی با آب و یا الکل واکنش می‌دهند و ترکیبات سیلیکونی با گروه انتهایی هیدروکسیل‌دار (سیلانول) را به وجود می‌آورند و سیلانول‌ها هم به راحتی متراکم شده و الکل آزاد می‌کنند و سیلوکسان به دست می‌آید که از این پدیده جهت ساخت پلیمرهای سیلیکونی استفاده می‌شود [۸، ۵].

معادله ۱ چگونگی تشکیل سیلوکسان را از متیل‌تری‌اتوکسی سیلان نشان می‌دهد، با اضافه کردن آب به دو مولکول سیلان، دو مولکول الکل آزاد شده و سیلانول به دست می‌آید. این واکنش از طریق سیلانول (SiOH) ادامه می‌یابد و سیلوکسان به دست می‌آید. برحسب قاعده هر چه میزان آب اضافه شده، کمتر باشد الکل کمتری آزاد می‌شود، و سیلوکسان به دست آمده از وزن مولکولی کمتری برخوردار است. واکنش تراکمی توسط کاتالیزورهای اسیدی و بازی و همچنین کاتالیزورهای آلی فلزی ادامه می‌یابد.



معادله فوق تشکیل سیلوکسان را از متیل‌تری‌اتوکسی سیلان نشان می‌دهد [۸]. مزیت سیلوکسان‌ها نسبت به سیلان‌ها، در مرحله نخست واکنش سریع‌تر آنها در تشکیل ماده فعال می‌باشد. ترکیبات سیلان - سیلوکسان در مصالح ساختمانی به منظور ضد آب کردن آنها، غیر قابل نفوذ در برابر آب مانند بتن نیازمند استفاده از ترکیبات حاوی سیلان مورد استفاده قرار می‌گیرند. رزین‌های سیلیکونی با برخورداری از وزن مولکولی ۵۰۰۰-۲۰۰۰ از ۸۰-۳۰ واحد مواد سیلیکونی ۴ عاملی تشکیل شده‌اند و از نظر وزنی دارای ۶-۲٪ وزنی الکل می‌باشند. گروه‌های الکل پیوندی از طریق واکنش تراکمی با سایر مولکول‌های سیلیکون، یک ساختار شبکه‌ای رزین سیلیکونی را به وجود می‌آورند و معمولاً گروه‌های هیدروکسیل رزین سیلیکونی که به طور کلی وجود گروه‌های جانبی آلی (نظیر متیل، اتیل و غیره) بر روی رزین‌های سیلیکونی، ویژگی دفع آب (رطوبت) را به رزین سیلیکونی می‌دهد. بخش غیرآلی رزین سیلیکونی در برابر حرارت تا ۲۰۰ °C به آسانی مقاومت می‌کند و افت وزنی این رزین‌ها در اثر حرارت بسیار اندک می‌باشد. چنین رزین‌هایی در حین حرارت دیدن، رنگ خود را از دست نمی‌دهند [۵]. از سوی دیگر، رزین‌های سیلیکونی وقتی در شرایط آب و هوایی خاصی قرار گیرند، مقاومت مناسبی در برابر سایش از خود نشان می‌دهند این امر به واسطه وجود ساختار غیرآلی در رزین‌های سیلیکونی می‌باشد. رزین‌های سیلیکونی

شده را در دمایی زیر 150°C کم کم و در طی چند مرحله به رزین آلکید پایه اضافه می‌گردد و فرصت داده می‌شود تا واکنش تراکمی انجام و واکنش‌های احتمالی در فرآیند تولید رزین آلکید - سیلیکونی به شرح ذیل صورت گیرد (معادلات ۲ و ۳) [۸]. عمل افزودن اتیل سیلیکات هیدرولیز شده تا رسیدن به عدد اسیدی حدود (۱۰) ادامه پیدا می‌کند.



به طور کلی مواد اصلی تشکیل دهنده آستری اتیل سیلیکاتی شامل پلیمر سیلیکونی یا پلیمر حاوی مواد سیلیکونی و گرد روی می‌باشد. پلیمر سیلیکونی به کار برده شده، اتیل سیلیکات خالص یا آلکید - سیلیکونی است و گرد روی مصرف شده پودر خاکستری رنگ متمایل به آبی می‌باشد که ۹۷-۹۵٪ آن را فلز روی و بقیه آن را اکسید روی تشکیل می‌دهد. شکل ذرات کروی و متوسط اندازه ذرات آن ۵-۹ میکرون می‌باشد. قدرت پوشاندگی گرد روی بسیار خوب ولی قدرت هم‌رنگ‌کنندگی آن کم است. این رنگدانه بسیار فعال می‌باشد. استفاده از گرد روی در صنعت پوشش بیشتر به منظور حفاظت سطوح فولادی می‌باشد. در فیلم خشک آستری‌های اولیه بیشتر از ۸۰٪ فلز روی وجود دارد به همین دلیل آنها را آستری‌های اولیه غنی از روی می‌نامند. مکانیسم حفاظت فولاد توسط آستری‌های حاوی روی یک فرآیند الکتروشیمیایی شبیه به عمل حفاظتی روی در آهن گالوانیزه می‌باشد که در آن ذرات گرد روی به عنوان قطب آند و سطح فلز مورد نظر قطب کاتد خواهد بود و به دلیل فرآیند الکتروشیمیایی از خوردگی آن جلوگیری می‌شود.

برای تهیه آستری‌های حاوی روی به عنوان نمونه شاهد، حدود ۸۰-۶۰٪ از گرد روی را با ۴۰-۲۰٪ اتیل سیلیکات رزین پایه مخلوط و سپس روی سطح فلز و یا شیشه فیلمی به ضخامت ۹۰-۶۰ میکرون از آستری مذکور تهیه می‌شود. لازم به ذکر است که سطح ورق فلزی که جهت تهیه نمونه‌ها به کار برده می‌شود باید کاملاً صاف و صیقلی و در صورت امکان سند بلاست گردد که در این صورت آستری مقاومت و سختی بهتری را از خود نشان خواهد داد.

به علت گران بودن اتیل سیلیکات، می‌توان فرآیند تولید آستری را با استفاده از آلکید رزین اصلاح شده با اتیل سیلیکات به عنوان یک فرآیند اقتصادی و قابل توجه در نظر گرفت. در این صورت در تهیه نمونه آزمون از آلکید رزین اصلاح شده با اتیل سیلیکات استفاده و مقدار کمی از حلال قوی مانند متیل اتیل کیتون (MEK) به آن افزود.

نسبت به رزین‌های دیگر آلکید - سیلیکون‌ها در سال ۱۹۵۵ در انگلیس ارائه شد [۵]. در این فرآیند مخلوطی از اسیدهای چرب و الکل‌های چندعاملی و اسیدهای پلی‌کربوکسیلیک تشکیل رزین آلکیدی را داده و سپس گروه‌های هیدروکسیل باقیمانده با منومرهای ارگانوسیلیکونی دو یا سه عاملی که گروه‌های آلکوکسی دارند واکنش می‌دهند و رزین آلکید - سیلیکون به دست می‌آید [۵، ۶، ۸-۱۱]. در سال ۱۹۷۷ یک شرکت ژاپنی روش یک مرحله‌ای تولید رزین آلکید اصلاحی با سیلیکون را ارائه نمود که بر اساس آن رزین مذکور را می‌توان از واکنش پلی‌الکل‌ها، اسیدهای پلی‌کربوکسیلیک و ترکیبات ارگانوسیلیکونی حاوی گروه‌های هیدروکسیل یا الکوکسی تهیه نمود در این روش محصول به دست آمده به صورت ژل می‌باشد که معمولاً تهیه این رزین‌ها مشکل‌ساز خواهد بود. این رزین‌ها در محیط مرطوب بسیار عالی عمل می‌کنند [۷، ۱۲، ۸-۱۴].

در این تحقیق، نحوه تهیه کوپلیمر آلکید - سیلیکون و کاربرد آن در پوشش کوره‌ای و همچنین استفاده از آن به جای اتیل سیلیکات در آستری اتیل - سیلیکاتی و بررسی خواص آن مطالعه خواهد شد. ارگانوسیلان یا مخلوطی از ارگانوسیلان‌ها که دارای فرمول عمومی $\text{R}_n\text{Si}(\text{OR})_{4-n}$ باشد، که در آن گروه R شامل فنیل، اتیل، متیل و پروپیل و گروه R' یک رادیکال آلکیل شامل ۴-۱ کربن است. که از اتیل سیلیکات، فنیل اتوکسی پلی‌سیلیکون، متیل سیلیکون‌ها می‌توان استفاده نمود.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی

در این تحقیق، از گلیسرین (گلیسرین خرمشهر)، پنتااریتربوتول (LG کره جنوبی)، سوربیتول (شرکت تولیدی شهید مدرس اصفهان)، اسید پلی‌کربوکسیلیک یا انیدریدهای آن یا مخلوطی از آنها مثل انیدرید فتالیک (پتروشیمی فارابی)، انیدرید مالئیک (LG کره جنوبی)، اسیدهای چرب گیاهی و یا روغن‌های آن مثل اسید چرب سویا (شرکت چرب شیمی ایران)، نارگیل (مالزی)، اتیل سیلیکات (شرکت واکر آلمان) و حلال‌های مصرفی شامل زایلن، تولوئن، ایزوپروپانل الکل (شرکت ملی نفت ایران) استفاده شد.

۲-۲- روش کار

برای تهیه رزین آلکید - سیلیکونی، از فرآیند دومرحله‌ای استفاده شد که در آن ابتدا یک رزین آلکید تولید و سپس با افزودن حلال آروماتیک به درصد جامد مورد نظر رسانده می‌شود. از طرف دیگر ماده آلی سیلیکونی نظیر اتیل سیلیکات را به نسبت ۶۰٪ اتیل سیلیکات، ۱۴-۱۰٪ آب، ۲-۵٪ اسید کلریدریک و ۲۵-۲۰٪ ایزوپروپانل الکل به عنوان حلال کمکی هیدرولیز نمود. سپس اتیل سیلیکات هیدرولیز

تخریب و مقاومت حرارتی نمونه آلکید - سیلیکون بسیار بهتر از آلکید رزین پایه است و تخریب نمونه کندتر انجام می‌شود. از طرف دیگر Tg کمتر نمونه آلکید - سیلیکون نسبت به شاهد انعطاف‌پذیری بهتر آن را نشان می‌دهد که این به عنوان مزیتی مهم در سیستم پوشش‌های کوره‌ای می‌باشد. اهمیت این نکته وقتی مشخص می‌شود که رزین‌های سیلیکونی سختی زیادی دارند و ساخت کوپلیمر آلکید - سیلیکونی علاوه بر تعدیل سختی، چسبندگی خوبی را نیز به همراه دارد. همچنین با مصرف حداقل میزان اصلاح کننده، حدود ۶۰-۳۰٪ بر بهبود مقاومت حرارتی افزوده شده است.

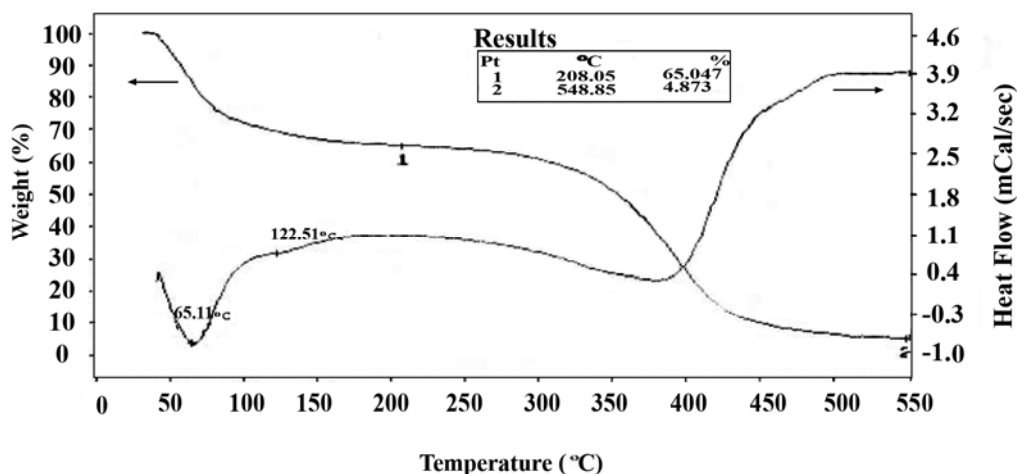
سپس فیلمی به ضخامت ۹۰-۶۰ میکرون از آن تهیه کرد و با نمونه شاهد مقایسه نمود. روش مقایسه بدین صورت است که نمونه‌ها به مدت حدود ۳۰ دقیقه در کوره قرار می‌گیرند و دما از ۲۵۰ به ۳۷۰ °C افزایش داده می‌شود. نمونه‌ای مورد قبول است که پس از طی این مرحله هیچگونه ترک سطحی در آن مشاهده نگردد.

۳- نتایج و بحث

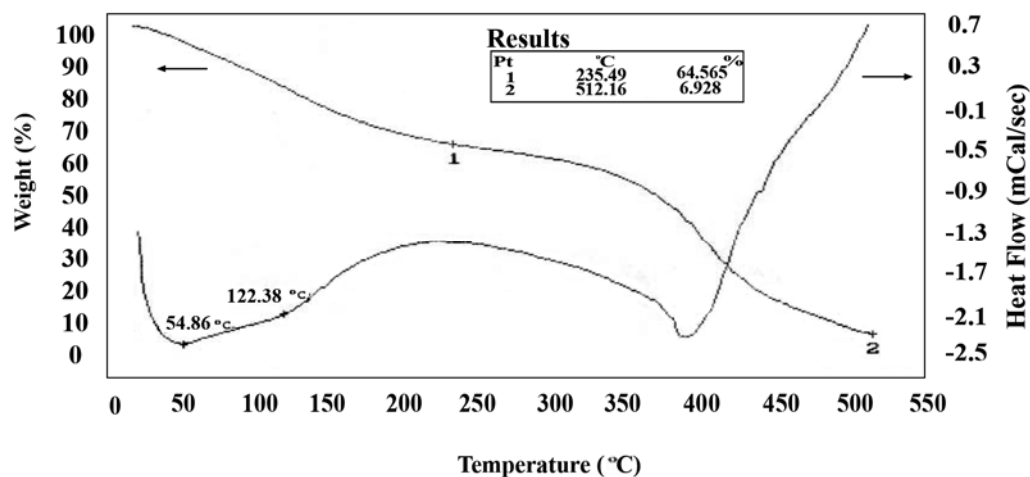
۳-۱- مقایسه رزین آلکید - سیلیکونی با رزین آلکید پایه (استاندارد)

1- Thermogravimetry Analysis/ Differential scanning calorimetry

نتایج آزمون TGA/DSC^۱ نمونه‌ها در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. با مقایسه نمودارهای TGA/DSC، مشاهده می‌شود که نمودار



شکل ۱: آزمون DSC نمونه آلکید رزین اصلاح شده با رزین سیلیکونی



شکل ۲: آزمون TGA/DSC رزین آلکیدی.

۳-۳- ساخت پوشش کوره‌ای سفید

پوشش کوره‌ای سفید با استفاده از رزین آلکید کوتاه روغن سویایی استاندارد (به عنوان شاهد) و با رزین اصلاح شده سیلیکونی (به عنوان نمونه) طبق جدول ۲ ساخته شد. رزین کوتاه روغن سویایی دارای ۳۵-۳۷٪ اسید چرب سویا، ۳۰-۳۲٪ انیدرید فتالیک و مالئیک و ۳۵٪ گلیسرین و پنتاریتول می‌باشد.

جدول ۲: فرمول پوشش‌های نمونه و شاهد تهیه شده.

اجزاء پوشش	شاهد (%)	نمونه (%)
رزین آلکیدی بر پایه اسید چرب نارگیل	۳۰	۳۰
رزین آلکیدی بر پایه اسید چرب سویا	۲۰	-
رزین آلکیدی اصلاح شده با سیلیکون	-	۲۰
تیتان	۲۵	۲۵
رزین ملامین فرم الدئید	۱۵	۱۵
عامل ضد ته‌نشینی	۱,۵	۱,۵
حلال کوره‌ای (بوتانل / زایلن)	۸,۵	۸,۵

۲-۳- مقایسه نتایج آستری ساخته شده با اتیل سیلیکات و

آلکید - سیلیکون

نتایج آزمایش‌های انجام شده بین نمونه شاهد و نمونه مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به اینکه سختی نمونه‌ها در اثر رطوبت، بالا می‌رود می‌توان با قرار دادن نمونه‌ها در معرض بخار آب، سختی و چسبندگی آنها را بالا برد. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود خواص نمونه مشابه شاهد است ضمن اینکه باید به این نکته توجه داشت که نمونه آلکید رزین اصلاح شده با سیلیکون از نمونه تهیه شده با اتیل سیلیکات بسیار ارزان تر می‌باشد.

جدول ۱: نتایج آزمایش‌های مقایسه‌ای بین نمونه و شاهد.

آزمون	سختی (sec)	مقاومت حرارتی (°C)	Salt spray حاوی ۰.۵٪ نمک (h)	چسبندگی (B)
نمونه اتیل سیلیکات	۱۵۰	۳۷۰	۵۰۰	>۵
نمونه الکید - سیلیکون	۱۶۰	۳۷۰	۵۰۰	>۵

جدول ۳: نتایج آزمون‌ها در پوشش کوره‌ای سفید.

نوع آزمون	شاهد	نمونه	محدوده مورد قبول	نتیجه‌گیری
براقیت (۸۷-۳۹-۴۰ D۴۰ ASTM و (D۵۲۳)	۸۷,۵	۸۶,۵	۸۰-۹۰	هر دو قبول
سختی (۸۷-۴۳۶۶-۴۰ ASTM)	۹۵	۹۴,۸	۸۰-۱۲۰	هر دو قبول
چسبندگی (D۳۳۵۹) ASTM	۵B	۵B	۵B	هر دو قبول
ضربه‌خوری مستقیم	۹۰	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	هر دو قبول
هم‌رنگی و پوشش	-	-	-	هر دو قبول
زردگرایی در ۱۶۰ °C	ندارد	ندارد	عدم زردگرایی	شاهد رد است
زردگرایی در ۱۸۰ °C	دارد	ندارد	عدم زردگرایی	شاهد رد است
زردگرایی در ۲۰۰ °C	دارد	ندارد	عدم زردگرایی	شاهد رد است
زمان زل شدن	حداقل پس از یکسال	حداقل پس از یکسال	حداقل پس از یکسال	هر دو قبول

نتیجه گیری

رزین آلکیدی بر پایه اسید چرب سوپا سنتز و با رزین سیلیکونی مورد اصلاح قرار گرفت. رزین اصلاح شده برای کاربرد به عنوان پوشش کوره‌ای و حفاظت از خوردگی بررسی شد. پوشش‌های کوره‌ای بر پایه آلکیده‌های سیلیکونی سختی و چسبندگی عالی و کارایی بسیار خوبی در محیط‌های روباز ارائه می‌دهند. مقاومت حرارتی رزین‌های آلکید - سیلیکون در مقایسه با رزین‌های آلکید، بهتر و نمونه‌ها در اثر فرسودگی حرارتی زردگرایی ندارند. با توجه به خواص تقریباً مشابه آستری‌های ساخته شده از اتیل سیلیکات و آلکید - سیلیکون، از لحاظ مقاومت حرارتی، چسبندگی و مقاومت در محیط نمک، قیمت محصولات تهیه شده از آلکید - سیلیکون در مقایسه با اتیل سیلیکات بسیار کمتر و اقتصادی‌تر است. پدیده ژل شدن به عنوان یکی از مشکلات بارز در تهیه این رزین‌ها پس از طی مدت ۲۴ ماه مشاهده نگردید که این امر، بسیار مهم و قابل توجه می‌باشد.

پس از تهیه پوشش و رساندن آن به گرانیروی استاندارد (۱۵۰-۱۲۰ ثانیه)، بر روی کاغذ شطرنج و صفحات فلزی از رنگ فیلم ۹۰ میکرونی کشیده می‌شود و به مدت ۱۵ دقیقه در دماهای مختلف ۱۶۰ و ۱۸۰ و ۲۰۰ °C در کوره قرار می‌گیرد. پس از ۲۴ ساعت آزمون‌های سختی، براقیت، چسبندگی، ضربه خوری، هم‌رنگی و پوشش و زردگرایی از آنها به عمل آمد. در پدیده ژل شدن به عنوان یکی از مشکلات بارز در تهیه این رزین‌ها پس از طی مدت ۲۴ ماه مشاهده نگردید که این امر، بسیار مهم و قابل توجه می‌باشد.

۳-۴- نتایج آزمون رنگ کوره‌ای سفید

نتایج آزمون پوشش کوره‌ای سفید در جدول ۳ ارائه شده است.

۵- مراجع

1. A. Yousefi, E. Bigdeli. Synthesis of water-based alkyd resins. *J. Color Sci. Tech.* 1(2007), 25-40.
2. N. Jiratumnukul, S. Pruthipaatoon, Nanocomposite alkyd coatings. *J. Appl. Polym. Sci.* 102(2006), 2639-2642.
3. R. Radicevic, J. Budinski-Simendic, The effect of alkyd/melamine resin ratio and curing temperature on the properties of the coatings. *J. Serb. Chem. Soc.* 70(2005), 593-599.
4. F. J. Jones, Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Fargo, USA, (1986).
5. H. Mayer, Pigment & Resin Technology. MCB University Press, Germany, (1998).
6. W. D. Ho, C. C. M. Ma, Mid-infrared reflectance of silicone resin coating on metal substrates: Effect of polymeric binders' absorption. *Infrared Phys. Techn.* 38(1997), 123-131.
7. S. Paul, Surface Coating Science & Technology. John Willey & Sons, USA, (1986).
8. S. J. Spadafora, High-temperature, corrosion-preventive coating. U. S. Patent, 4,960,817, (1990).
9. H. Furukawa, J. Kawamura, N. Ando, H. Ohnari, Curable composition at room temperature, U.S. Patent, 4,975,488, (1990).
10. R. G. Jone, Silicon-containing polymers. University of Kent Canterbury, UK, (1995).
11. G. R. Chatwal, Inorganic polymers. Himalaya Publishing House, India, (1996).
12. T. C. Patton, Alkyd resin technology. John Wiley, USA, (1962).
13. R. B. Frye, Silicone flame retardants for plastics. U. S. Patent, 4387176, (1983).
14. H. Yoshioka, I. Ono, H. Sugahara, Coating Composition, U.S. Patent, 4774278, (1988).