

فرمولاسیون پوشش متالیک خود لایه ای شونده بر پایه پلی‌یورتان با بهره‌گیری از روش طراحی آزمایش

تاگوچی

محمد فرخی^۱، داود زارعی^{۲*}

۱ کارشناس ارشد، گروه مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی شیمی و پلیمر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲ استادیار، گروه مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی شیمی و پلیمر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:

۹۹/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش:

۹۹/۰۸/۰۱

در این پژوهش، پوشش‌رنگ رویه متالیک از نوع خود لایه شونده بر پایه رزین پلی‌یورتان متشکل از پلی ال اکریلیک بصورت تک لایه و با براقیت بالا، بدون استفاده از لایه لاک بیرنگ (لایه شفاف فاقد رنگدانه)، با هدف پوشش دهی قطعات صنعتی و لوازم خانگی و بعضاً تعمیر بدنه خودرو بالانس و طراحی شد. هدف از انجام کار، کاهش میزان مواد مصرفی، خطای کار و زمان پوشش دهی نسبت به حالت مرسوم و سنتی (بصورت دو لایه پوشش متشکل از پوشش میانی متالیک و یک لاک بیرنگ شفاف) بوده است. برای طراحی آزمون‌ها (DOE) از روش تاگوچی جهت بهینه یابی نوع و مقدار مواد اولیه اصلی تاثیرگذار بر پوشش اعم از نوع رزین اکریلیک پلی ال، سلولز یوتیرات استات و وکس استفاده شد. آزمونهای مختلف نظیر چسبندگی، براقیت، سختی، میزان ابلقی شدن، مه نمک، غوطه وری بر روی پوشش‌های بهینه شده انجام شد. نتایج برای نمونه بهینه نشان دهنده میزان چسبندگی درجه (5B)، براقیت در حدود ۸۹ درصد، میزان ابلقی شدن در سطح ۵۱ و سختی در حد ۲۱۰ ثانیه با مقیاس پرسوز بود. همچنین هیچ گونه رسوب و ته نشینی در حالت مایع مشاهده نشد و نتایج آزمونهای مقاومت در برابر رطوبت و غوطه وری در آب، بر اساس معیارهای استاندارد در قیاس با نمونه های دولایه مرسوم، قابل قبول و تایید بودند.

خود لایه شونده، پوشش‌رنگ متالیک، پلی ال اکریلیک، واکس، سلولز استات یوتیرات

واژگان کلیدی

Self-Stratifying Metallic Coating Formulation Based on Polyurethane using Taguchi Experimental Design Method

M. Farrokhi¹, D. Zaarei^{2*}

1. Polymer Faculty, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Polymer Engineering Department, Technical Faculty, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

In this study, self-stratified metallic surface coating based on polyurethane resin consisting of single-layer polymer acrylic with high gloss, without the use of clear coat, with the aim of covering industrial parts, home appliances and even car body repair was designed and formulated. The purpose of the work was to reduce the amount of consumables, work error and coverage time compared to the conventional and traditional coating (two layers of coating consisting of metallic base coat and clear coat). To design the experiments (DOE), the Taguchi method was used to optimize the type and amount of the main raw materials, including polyol acrylic resin type, cellulose acetate butyrate and wax. Various tests such as adhesion, gloss, hardness, abrasion salt fog and immersion were performed on the formulated coatings. The results showed, for example, an optimal adhesion rate of (5B), a gloss about 89%, mottling level of 51, and hardness of 210 seconds. Also, no sedimentation was observed in the liquid state and the results of moisture resistance and water immersion tests were acceptable based on standard criteria, compared to conventional double-layered samples.

Keywords

Self-stratifying, metallic paint, Acrylic-polyol, wax, cellulose-acetate-butyrate

۱- مقدمه

عموما پوشش‌های تزئینی به عنوان لایه های نهایی به دو دسته عمده تقسیم بندی می شوند: دسته اول تک پوشش (یا اصطلاحاً ساده) نام داشته که مشکل از یک لایه نهایی بر روی آستر می باشند و دسته دوم که دوپوشش نام دارند که بر روی آستر، دو لایه پوشش، لایه اول متالیک (اصطلاحاً رنگ‌های میانی متالیک) و لایه دوم شفاف فاقد رنگدانه (اصطلاحاً لاک) اعمال می شود و عموماً برای ایجاد سیستم‌های متالیک (پر فلزی) و صدفی (جلوه پوشش با ذرات صدفی) مورد استفاده قرار می گیرند. پوشش‌های تک پوشش (ساده) با توجه به رزین و رنگدانه بکار رفته در آنها در برابر شرایط جوی، خراش و ضربه مقاوم بوده و در فام های متنوع اما با ظاهری ساده و بدون تاللو فلزی تولید و عرضه می شوند. پوشش‌های متالیک یا صدفی به صورت دوپوشش دارای ذرات بسیار ریز پرکهای آلومنیوم و یا صدف بوده که وجود این ذرات فلزی یا صدف بکار رفته در آنها باعث ایجاد ظاهری درخشان و ایجاد تاللو شده و نهایتاً این محصولات در برابر نور انعکاس بهتری نسبت به رنگ‌های تک پوشش دارند [۱].

پوشش‌های متالیک دوپوشش برای قطعات صنعتی تزئینی نظیر مصنوعات و لوازم خانگی فلزی و پلاستیکی و هم چنین تعمیر پوشش آسیب دیده بدنه خودرو بکار می روند که با توجه به فرایند تعریف شده برای آنها، این مواد می بایست بصورت دو لایه بر روی آستر، با اعمال میانی متالیک بعنوان لایه اول (فام و افکت دهنده متالیک) و لایه دوم (پوشش شفاف دو جزئی بر پایه پلی یورتان) رنگ آمیزی شوند. فرایند پوشش دهی در رنگ‌های دوپوشش متالیک مستلزم کار در دو مرحله و صرف هزینه و زمان بیشتر جهت ایجاد دو لایه می باشد که در هر حال احتمال خطا و آلودگی و ایجاد شرایط نامطلوب، در حد فاصله‌ی زمانی اعمال دو لایه وجود دارد. از این رو بلانس و ساخت پوشش متالیک تک لایه به صورت خود لایه شونده بر پایه پلی یورتان موجب کاهش هزینه و زمان اعمال پوشش و همچنین کاهش احتمال آلودگی بیشتر در شرایط نامطلوب می گردد [۲].

در طراحی و فرمولاسیون پوشش متالیک خود لایه شونده ویژگی مطلوب پوشش عبارت است از: الف) مقاومت مناسب در برابر شرایط جوی، ب) ایجاد چسبندگی مناسب، ج) جهت گیری مناسب ذرات آلومینیوم و عدم وجود مشکل ابلقی و ابری شدن، د) عدم ته نشینی و رسوب ذرات آلومینیوم، ه) پوشش دهی مناسب، و) عدم وجود زبری سطح نهایی و نهایتاً ز) عدم وجود ماتی [۳].

در سالهای اخیر استفاده از روش‌های طراحی آزمایش با لحاظ عوامل مختلف اعم از ترکیب اجزای سازنده پوشش و شرایط اعمال، جهت دستیابی به خواص بهینه و کاهش تعداد آزمایشات و ارزیابی همزمان چند پارامتر، مورد توجه زیادی قرار گرفته است و در این راستا روش‌های شبکه عصبی و تاکوچی به دلیل قابلیت تحلیل بهتر نتایج عمومیت بیشتری یافته اند [۴-۶].

رزین پلی ال اکریلیک با عامل سخت کننده ایزوسیانات به عنوان بستر

حاوی ذرات خمیر آلومینیوم دارای جلای فلزی خواهد بود. در حالت کلی، بعلت عدم جهت گیری و قرارگیری نامناسب ذرات آلومینیوم در قشر پوشش، محصول نهایی دارای سطح زبر و مات و نامناسب تبدیل می شود. برای بدست آوردن سطحی براق می بایست یک لایه لاک شفاف فاقد رنگدانه بر روی سطح وجود داشته باشد لذا در جهت ایجاد یک پوشش خود لایه شونده، از رزین سلولز استات بوتیرات و افزودنی وکس EVA (کوپلیمر اتیلن وینیل استات) برای کنترل صحیح ذرات آلومینیوم در جهت قرارگیری و چیدمان مناسب در لایه میانی پوشش استفاده شده است. در این تحقیق، با توجه به ویژگی‌ها و ساختار پوشش‌های دولایه متالیک متداول، ضمن بهینه سازی ساختار فرمولی و بکارگیری اجزای مناسب (رزین، پیگمنت، افزودنی، حلال) فرمولاسیون مناسبی جهت پوشش متالیک خود لایه شونده طراحی و ارایه گردیده است. در این راستا اثر پارامترهای مختلف بر خواص پوشش متالیک خود لایه شونده پلی یورتان از طریق طراحی آزمایشات به روش تاکوچی استخراج شد و نتایج آزمون‌های مختلف بر روی این پوشش با نتایج اخذ شده بر روی سیستم های دو پوشش متالیک دو لایه مرسوم بر اساس استاندارد مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

مواد اولیه مورد استفاده بر اساس مشخصات مندرج در جدول ۱ تهیه و به کار گرفته شدند. با توجه به رویکرد اخذ نتایج میدانی و قابل تکرار، کلیه مواد از نوع صنعتی و در دسترس تهیه شدند. برای انتخاب مواد و فرمولاسیون اولیه از مراجع مرتبط استفاده شد [۷-۸]. همان طور که در جدول ۱ آورده شده است برای رزین اکریلیک پلی ال و سلولز استات بوتیرات و وکس بعنوان متغیر، هر کدام دو گرید به کار گرفته شده است که در مبحث طراحی آزمون به آنها پرداخته شده است.

۲-۲- روش انجام کار

۲-۱- انتخاب مواد

در فرایند انجام تحقیق سه ماده اصلی اولیه تاثیر گذار بر ساختار پوشش شامل رزین پلی ال اکریلیک، سلولز استات بوتیرات، افزودنی وکس به عنوان متغیر در نظر گرفته شدند و طراحی آزمایشات بر مبنای تغییر کمیت این متغیرها و اثر آنها بر کیفیت پوشش نهایی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس متغیرهای اشاره شده در جداول ۲ الی ۴، دو نوع رزین پلی ال اکریلیک، دو رزین سلولز استات بوتیرات و دو افزودنی وکس، با شاخص A و B در فرمولاسیون مورد استفاده قرار گرفتند. نکته قابل ذکر آن بود که میزان کمی استفاده از این مواد بر اساس جداول اعم از A یا B در هر فرمولاسیون یکسان بوده و صرفاً کارخانه سازنده و در نتیجه ساختار شیمیایی و فیزیکی آن ماده اولیه مورد نظر متفاوت بوده است.

اصلی این ماده، جلوگیری از زبری سطح فیلم است. این رزین با ایجاد چیدمان و نشست مناسب اکلیل ها در حالت تخت و موازی با سطح، باعث می شود اکلیل ها بصورت نوک تیز در سطح قشر پوشش قرار نگیرند و از زبری سطح جلوگیری شود. در جدول ۳، مشخصات دو سیستم رزینی سلولز استات بوتیرات را نشان می دهد و تفاوت آنها علاوه بر ساختار شیمیایی، بر نحوه چیدمان و آرایش اکلیل ها در کنار رزین پلی ال اکریلیک می باشد و با توجه به حالت رزین سلولز استات بوتیرات که بصورت جامد است و می بایست ابتدا در حلال هایی نظیر بوتیل استات (BA) و نرمال بوتانل (B.N) با درصد های متناسب حل شود و حالت رزین مایع ایجاد شود سپس قابل استفاده در فرمولاسیون رنگ متالیک خودلایه شونده گردد. تفاوت این دو سیستم رزینی سلولز استات بوتیرات علاوه بر تفاوت در ساختار شیمیایی، میزان و قدرت چیدمان و نشست مناسب اکلیل ها در حالت تخت، در سازگاری با رزین پلی ال اکریلیک می باشد [۹].

افزودنی وکس یک مخلوط دیسپرس شده حاوی کوپلیمر اتیلن وینیل استات (EVA) می باشد که این افزودنی برای بهبود جهت

بر اساس جدول ۲ در خصوص انتخاب رزین پلی ال اکریلیک، این رزین با گرید اروپایی کمپانی نیوپلکس با عنوان A و گرید ایرانی تاک رزین با عنوان B مورد استفاده قرار داده شدند. تفاوت عمده این دو رزین علاوه بر کمپانی سازنده و قیمت، میزان درصد گروه هیدروکسیل در ساختار شیمیایی و مقاومت مکانیکی و براقیت نهایی فیلم رنگ بوده است علت انتخاب دو رزین بررسی تاثیر برهمکنش یک رزین با دیگر اجزاء بر کیفیت محصول نهایی بوده است تا مشخص گردد آیا کیفیت پوشش نهایی خودلایه شونده تحت تاثیر نوع رزین و ساختار شیمیایی است و با تفاوت نوع رزین و ساختار شیمیایی رزین، آیا می توان تاثیرات بسزایی را در میزان براقیت نهایی سطح پوشش نهایی دید یا خیر؟. لذا بنا بر تجربه از دو رزین با گروه هیدروکسیل بالای ۴ در جهت ایجاد یک قشر ضخیم تر فیلم رنگ استفاده گردید و تفاوت نتایج عمدتا در آزمون سنجش میزان براقیت مورد بررسی قرار گرفت [۷-۸].

انتخاب رزین سلولز استات بوتیرات (CAB) مناسب یکی از عوامل مهم در طراحی و تولید پوشش رنگهای متالیک و یا صدفی می باشد. وظیفه

جدول ۱: مشخصات مواد اولیه مورد استفاده در فرمولاسیون پوشش رنگ متالیک خودلایه شونده پلی یورتان

نام سازنده	گرید تجاری	مواد اولیه
تاک رزین	1210N	رزین پلی ال اکریلیک
Nuplex	Setalux 1152 SS-60	بوتیل گلیکول استات
پتروکم	BGA	سولوسو 100
پتروکم	S100	سولوسو 150
پتروکم	S150	افزودنی همتراز کننده سطح
BYK	358N	افزودنی ضد خش و لغزش سطح
BYK	333	افزودنی ضد اشعه UV
BASF	TINUVIN 1130	افزودنی ضد اشعه UV
BASF	TINUVIN 292	حلال بوتیل استات
پتروشیمی اصفهان	BA	حلال زایلین
پتروشیمی اصفهان	مخلوط ارتو و پارا	افزودنی ضد ته نشینی و رسوب
دگوسا	اروزیل 972	افزودنی ضد ته نشینی و رسوب
BYK	410	افزودنی پخش کننده
BYK	162	افزودنی شتاب دهنده
ELMNTIES	DBTL کاتالیزور	رزین سلولز استات بوتیرات
EASTMAN	CAB-381-20	افزودنی وکس
	CAB-531-1	
BASF	EVA	ذرات آلومینیم
ECKAR	SILVER DOLLAR	

جدول ۲: دو سیستم رزینی پلی ال اکریلیک به کار رفته در ساختار پوشش رنگ متالیک خود لایه ای شونده

سیستم	کد رزین	میزان OH%	درصد جامد رزین
A	SETALUX 1152 SS-60	4.2	60%
B	1210 N	4.5	60%

جدول ۳: مشخصات دو سیستم رزینی سلولز استات بوتیرات به کار رفته در پوشش رنگ متالیک خودلایه شونده

سیستم	نوع CAB	ساختار شیمیایی	گرم میزان پودر	حلال N.B - BA	درصد CAB
A	CAB381-20	37% بوتیریل - 13.5% استیل - 1.8% هیدروکسیل	20	10+70=80	20%
B	CAB531-1	50% بوتیریل - 2.8% استیل - 1.7% هیدروکسیل	20	10+70=80	20%

ماتلینگ نیز گفته می شود مورد سنجش قرار گرفت. این دستگاه یک پوششگر موج پیشرفته با لنزهای ظریف می باشد. آزمون براقیت پوشش با توجه به بالا بودن درجه اهمیت آن در تمامی نمونه های ساخته شده بر اساس استاندارد ASTM D5223-14 با دستگاه براقیت سنج اندازه گیری شد. نکته حائز اهمیت در انجام این آزمون، اطمینان از صاف و بدون موج بودن سطح بستر پوشش می باشد زیرا در صورت وجود کوچکترین انحناء در سطح با وجود براقیت بالای پوشش، نتیجه نشان داده شده در خروجی دستگاه مقادیری پایین بودن تر از حد واقعی خواهد بود که موجب خطا در تحلیل نتایج می شود.

با توجه نوع کاربری عملی این پوششگرها، فیلم پوشش ها با فرمولاسیون مندرج در جدول ۶ با استفاده از سخت کننده ایزوسیانات N75 (مندرج در جدول ۷) با ضخامت ۴۰ تا ۴۵ میکرون بر روی قطعات پلاستیکی از جنس اکریلو نیتریل بوتادین استایرن (ABS) و هم چنین پلیتهای فلزی آهنی از جنس St 10 با ابعاد ۱۵×۱۰ سانتی متر پاشش شدند و مورد انجام آزمونهای مختلف قرار گرفتند.

در جدول ۷ نیز مقدار هاردنر لازم برای سخت شدن این پوششگر محاسبه شد که درصد ایزوسیانات ۱۶٫۵ لحاظ گردید که این عدد طبق محاسبات مختص رزین ایزوسیانات ۷۵ درصدی می باشد [۸].

با توجه به فرمول مندرج در جدول ۶، هر سه متغیر رزین آکرلیک پلی ال، سلولز استات بوتیرات و وکس برای دستیابی به نوع بهینه، قبل از انجام آزمونهای مرتبط با طراحی آزمایش در سیستم پوشش به کار گرفته شدند و نتایج مرتبط با براقیت، زبری سطح و میزان ابلقی شدن به ترتیب برای تعیین نوع رزین پلی ال آکرلیک، سلولز استات بوتیرات و وکس با مشخصات فنی مندرج در جداول ۲ تا ۴ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

پس از مشخص شدن گرید هریک از متغیرهای سه گانه، با استفاده

گیری و تنظیم فاصله ذرات آلومینیم و صدف از هم در پوششگر متالیک، صدفی به کار گرفته می شود و موجب افزایش کیفیت در عمق تصویر و در نهایت بهبود ظاهر سطح و عدم ابلقی شدن و ابری شدن پوشش خواهد شد. افزودنی وکس علاوه بر آن از ته نشینی و رسوب اکلیل و صدف ممانعت می نماید نکته حائز اهمیت در خصوص این ماده آن است که افزودنی وکس با کنترل رئولوژی پوشش موجب جهت گیری مناسب ذرات آلومینیم و صدف خواهد شد و با تحت کنترل داشتن رئولوژی مانع از ته نشینی و رسوب اجزاء پوششگر متالیک خواهد شد. معمولاً افزودنی وکس متشکل از دو نوع گرانول اتیلن وینیل استات بوده و در جدول ۴ مشخصات آنها آورده شده است. این دو سیستم افزودنی وکس تفاوت در ساختار شیمیایی (بعلا تفاوت در درصد ترکیب گرانولهای سازنده) دارند که باعث ایجاد مخلوط های دیسپرس با حالتهای کشسانی متفاوت و تاثیرگذار در تعیین جایگاه ذرات آلومینیم و صدف در سطح خارجی فیلم پوششگر بوده و از ابلقی و ابری شدن سطح فیلم جلوگیری می نمایند [۱۰-۱۱].

۲-۲- آزمون ها

پس از هر مرحله نمونه سازی و فرمولاسیون پوششگر، آزمونهای مندرج در جدول ۵ جهت انتخاب بهینه نوع ماده اولیه (نوع پلی ال، نوع سلولز استات بوتیرات و نوع وکس) به کار گرفته شدند و معیار استاندارد ASTM و محدوده ی کران بالا و پایین نیز از متون استاندارد و الزامات پوششگرهای صنعتی انتخاب شد و پس از انجام آزمونها، نتایج مطلوب جهت بکارگیری در طراحی فرمولاسیون نهایی و ساخت و تولید پوششگر متالیک خود لایه شونده نهایی به کار گرفته شد.

میزان ابری و یا ابلقی شدن سطح پوششگر بر اساس استاندارد ASTM D3003-01 انجام شد. اندازه گیری میزان ابلقی و ابری شدن سطح با دستگاه کلود رانساخت کمپانی (B.Y.K) که به آن

جدول ۴: ساختار دو نوع افزودنی وکس مورد استفاده جهت بهینه یابی در پوششگر متالیک خود لایه شونده

سیستم	درصد EVA 1	درصد EVA 2	X(زایلین)	BA(بوتیل استات)	N.B(نرمال بوتانل)
A	1.6	4.4	42.1	47.19	4.74
B	4.4	1.6	42.1	47.19	4.74

جدول ۵: آزمونهای کنترلی جهت بهینه یابی نوع مواد اولیه و مقایسه نمونه ها

نوع آزمون	کد استاندارد ASTM	محدوده
براقیت در زاویه ۲۰ درجه	D5223-14	85≤
میزان ابلقی شدن	D3003-01	50-54
میزان ته نشینی	D551326	0-4
عدم وجود زبری سطح رنگ	D7127-17	0-3

ستون) را انتخاب نموده و در نتیجه نرم افزار تاگوچی، الگویی بر اساس جدول ۹ را جهت نمونه سازی پیشنهاد نمود که براساس آن نمونه سازی انجام گردید [۱۲].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج و تحلیل آزمونها جهت بهینه یابی مواد اولیه

بهینه یابی مواد اولیه (رزین پلی ال اکریلیک، رزین سلولز استات بوتیرات، افزودنی وکس) جهت دستیابی به خواص بهینه صورت پذیرفت. بر اساس نمودار ۳-۱، براقت پوششهای ساخته شده متشکل از سیستمهای رزینی پلی ال اکریلیک A و B مقایسه شد

از نرم افزار Minitab در قسمت طراحی آزمایش (DOE) و با استفاده از برنامه تاگوچی (Taguchi)، سه متغیر رزین پلی ال اکریلیک، سلولز استات بوتیرات و افزودنی وکس به عنوان سه فاکتور اصلی در نظر گرفته شدند تا در فرمول نهایی میزان بهینه مقدار مصرف آنها مشخص شود. سه متغیر (سه فاکتور یا سه سطح) تاثیر گذار که در جدول ۸ مقدار مصرف آنها با دو مقدار بالاتر و پایین تر بصورت سه فرمول ۱، ۲ و ۳ مشخص شد و مورد تست و آزمون قرار گرفتند. در نرم افزار مذکور، با توجه به وجود سه متغیر تاثیرگذار با سه میزان مصرف مختلف، گزینه طراحی سه سطحی (2 to 5 factors) و تعداد فاکتور ها ۳ (سه سطح در سه

جدول ۶: طرح اصلی فرمولاسیون پوشش رنگ متالیک خودلایه شونده پلی یورتان

مقدار	کد تجاری	مواد اولیه
61	1210N OR SETALUX 1152 SS-60	رزین پلی ال اکریلیک
1.95	----	بوتیل گلیکول استات
1.64	----	سولوسو ۱۰۰
1	----	سولوسو ۱۵۰
0.1	BYK 333	افزودنی ضد خش، لغزش سطح
0.2	BYK 358N	افزودنی یکنواخت کننده سطح
0.7	TINVIN 1130	افزودنی ضد اشعه UV
0.34	TINVIN 292	افزودنی ضد اشعه UV
2	----	حلال بوتیل استات
1.5	----	حلال زایلین
0.025	BYK410	افزودنی ضد ته نشینی و رسوب
0.025	R972	افزودنی ضد ته نشینی و رسوب
0.5	BYK 162	افزودنی دیسپرس کننده
0.02	DBTL	افزودنی کاتالیزور شتاب دهنده
8	CAB 381-20 OR CAB 531-1	رزین سلولز استات بوتیرات
7	EVA 1 OR EVA 2	افزودنی وکس
14	ECKART	ذرات آلومینیوم + بوتیل استات
100	جمع کل	

جدول ۷: محاسبه میزان ایزوسیانات (هاردنر) برای پوشش رنگ متالیک خودلایه شونده پلی یورتان [۸]

که برای پوشش متالیک نامطلوب است و هرچه این عدد به ۵۰ نزدیک شود نشانگر کاهش ابلقی و مطلوبیت جلوه نهایی پوشش خواهد بود.

مکانیسم عملکرد افزودنی وکس (کوپلیمر اتیلن وینیل استات) جهت کاهش میزان ابلقی شدن پوششهای متالیک و یا صدفی دارای پیچیدگی خاصی است که هنوز بطور دقیق معلوم نیست اما آزمونهای تجربی نشان داده است که بعد از وارد نمودن افزودنی وکس داخل پوشش متالیک و در هنگام تشکیل فیلم، گروه های پلیمری اتیلن وینیل استات که حالت شناوری در لایه مرکزی فیلم را دارند به سمت سطح میانی و بالایی لایه فیلم حرکت کرده و ذرات آلومینیم و صدف های پخش شده درون رزین را با توجه به تشکیل یک غشاء در اطراف ذرات به سمت سطح فیلم بالا می آورند. در شکل ۳-۴ تشکیل لایه پیوسته از کوپلیمر اتیلن وینیل استات و ذرات اکلیل و صدف در حضور و عدم حضور افزودنی وکس نمایش داده شده است [۱۳].

در هر حال حضور افزودنی وکس به میزان متناسب موجب می شود

که نشان دهنده آن است که سیستم رزین B با ایجاد براقیت ۸۸ درجه در قیاس با پوشش ساخته شده از سیستم A (۸۴ درجه) می باشد و دلیل این تفاوت می تواند درصد جامد عدد و هیدروکسیل بالاتر رزین B در قیاس با رزین A باشد.

همانطور که در نمودار ۲-۳ نشان داده شده است در مقایسه دو پوشش متشکل از سلولز استات بوتیرات، میزان زبری سطح درپوشش نهایی حاوی رزین A کمتر از B می باشد و دلیل این امر می تواند تفاوت ساختار شیمیایی این دو نوع ماده باشد که در نتیجه آن، استفاده از ماده CAB 381-20 در ساختار پوشش نهایی موجب یکنواختی قرارگیری و به اصطلاح خواب مناسب اکلیل ها در حالت افقی شده است که در نهایت درجه زبری سطح پوشش نهایی کاهش یافته است.

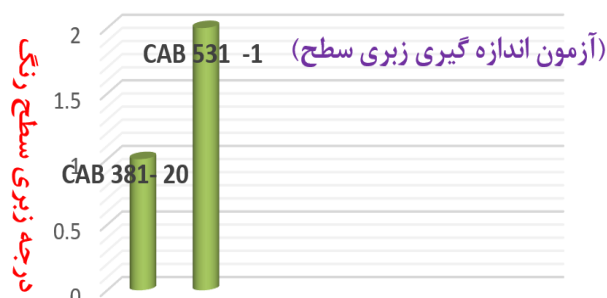
شکل ۳-۳ نشان میدهد که در دو نوع سیستم افزودنی وکس، میزان ابلقی در سیستم B حدود ۵۱ می باشد و این میزان برای پوششهای خودرویی عدد مطلوبی است و در بازه بین ۵۰ تا ۶۰ هرچه این عدد هرچه به ۶۰ نزدیک شود عدد ابلقی افزایش می یابد

جدول ۸: سه فرمول با ضریب مصرف مختلف از سه متغیر تاثیر گذار در فرمول پوشش متالیک خود لایه شونده پلی یورتان

مواد اولیه	کد فنی	فرمول ۱	فرمول ۲	فرمول ۳
رزین پلی ال اکریلیک	1210 N	61	55	65
رزین سلولز استات بوتیرات	381-20%	8	5	6
افزودنی وکس	EVA (A)	7	4	5

جدول ۹: الگوی پیشنهادی نرم افزار تاکوچی با توجه به سه متغیر با سه میزان مصرف مختلف [۱۲]

فرمول	RESIN	CAB	WAX
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2



دو نوع سیستم رزینی سلولز استات بوتیرات مختلف

شکل ۲: نتایج آزمون میزان زبری سطح پوششهای حاصل از دو نوع رزین سلولز استات بوتیرات



دو نوع سیستم رزینی پلی ال اکریلیک مختلف

شکل ۱: نتایج آزمون براقیت بر روی دو نوع رزین پلی ال اکریلیک جهت بهینه یابی

پیوسته حاوی ماده کشسانی کوپلیمر اتیلن وینیل استات، مقدار بیشتری از وکس در سطح بالایی فیلم وجود خواهد داشت و در نتیجه این مهاجرت پلیمری، ذرات آلومینیم و صدف نیز با جهت گیری و آرایش بهتر و منظم تر موجب کاهش میزان ابلقی شدن سطح پوشش خواهند شد. مکانیسم حرکت و مهاجرت ذرات جامد وکس بصورت انفرادی در پوشش که بسمت سطح و قشر بالایی پوشش می باشد و آزادی عملی که ذرات کوپلیمر اتیلن وینیل استات با توجه به ماهیت کشسانی خود دارند موجب می شود که این ذرات مانند توپ پینگ پنگ درون قشر میانی و بالایی جابجا شده و ذرات آلومینیم و صدف ها را نیز با خود حرکت می دهند تا آرایش و جایگاه مناسب تری را برای خود ایجاد کنند و موجب جهت گیری بهتر و کاهش ضریب ابلقی شدن در پوشش متالیک شوند. همانطور که در شکل ۳-۶ مشخص است ذرات افزودنی وکس در کل بستر و سطح پوشش پخش می شوند و حلقه و فضای فیزیکی ای را در اطراف ذرات آلومینیم و صدف بوجود می آورند که مانع ارتباط نزدیک ذرات آلومینیم و صدف شده و در نتیجه کاهش میزان ابلقی شدن اتفاق می افتد [۱۵].

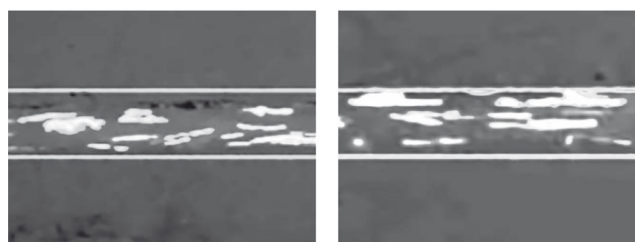
که ذرات آلومینیم و صدف ها به سطح فوقانی پوشش مهاجرت نموده و ته نشینی ذرات اتفاق نخواهد افتاد. حضور این افزودنی با قرار گرفتن در بین فضای خالی بین ذرات آلومینیم (و یا صدف) موجب جهت گیری بهتر این ذرات و در نتیجه کاهش میزان ابلقی آنها در سطح نهایی پوشش خواهد شد.

این نکته حائز اهمیت است که گریدی از گرانولهای اتیلن وینیل استات که نقطه ذوب پایین تری دارند با تشکیل لایه ای نازک از کوپلیمر اتیلن وینیل استات بصورت پیوسته بر روی سطح، موجب جهت گیری بهتر اکلیل و صدف ها خواهد شد و همانطور که در شکل ۳-۵ مشخص است، با بالا رفتن دما تشکیل لایه پیوسته کوپلیمر اتیلن وینیل استات بهتر صورت می گیرد و در نتیجه فیلم پوشش دارای میزان ابلقی شدن کمتری خواهد بود [۱۴].

سازگاری افزودنی وکس و اجزاء دیگر در فرمولاسیون پوشش به وسیله نرخ مهاجرت ذرات اکلیل و صدف به روی سطح و میزان عدم ابلقی شدن فیلم رنگ تعیین می شود و همانطور که در شکل ۳-۵ مشخص است وقتی دما به سمت بالاتر می رود با مهاجرت بیشتر کوپلیمر اتیلن وینیل استات به سطح و تشکیل لایه های



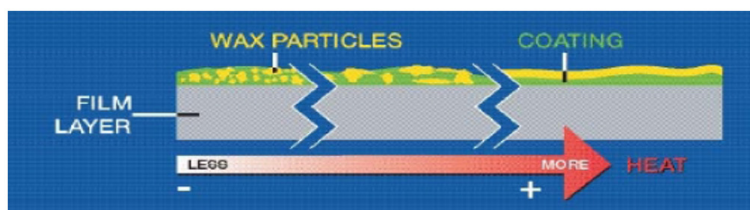
شکل ۳: نتایج آزمون میزان ابلقی سطح رنگ بر روی دو نوع سیستم وکس جهت بهینه یابی



پوشش رنگ متالیک بدون حضور افزودنی وکس

پوشش رنگ متالیک با افزودنی وکس

شکل ۴: شناور شدن و بالا آمدن افزودنی وکس و تشکیل لایه پیوسته این ماده در سطح بالای فیلم پوشش رنگ [۱۳]



شکل ۵: تاثیر دما بر عملکرد افزودنی وکس با نقطه ذوب پایین [۱۴]

حالت ۱ (بر اساس جدول ۸) یعنی ۶۱ درصد وزنی در فرمولاسیون لحاظ گردد بیشترین افزایش براقیت در رنگ را ایجاد می شود و متغیرهای رزین سلولز استات بوتیرات CAB و افزودنی وکس به اندازه ی میزان رزین پلی ال اکریلیک بر فاکتور براقیت پوشش رنگ تاثیرگذار نمی باشند.

نمودار ۳-۸ به وضوح نشان می دهد زمانی که مقدار رزین سلولز استات بوتیرات در حالت ۱ یعنی مقدار ۸ درصد وزنی در فرمولاسیون لحاظ گردد بیشترین تاثیر بر کاهش میزان زبری سطح مشاهده می شود و مقادیر سایر متغیرها اعم از رزین پلی ال اکریلیک و افزودنی وکس به اندازه ی میزان رزین سلولز استات بوتیرات بر کاهش مقدار زبری سطح پوشش رنگ تاثیر گذار نمی باشند.

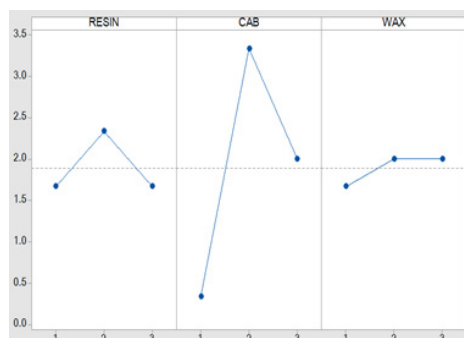
بر اساس نمودار ۳-۹ می توان دریافت هنگامی که مقدار افزودنی وکس در حالت ۱ یعنی مقدار ۷ درصد وزنی در فرمولاسیون رنگ لحاظ گردد بیشترین تاثیر بر کاهش میزان ابلقی و ابری شدن

۳-۲- تحلیل نتایج و بررسی آزمونهای انجام شده بر روی پوشش رنگ بر اساس نرم افزار تاکوچی

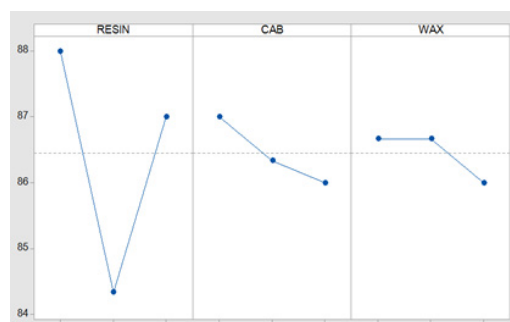
بر اساس مقادیر مندرج در جدول ۸ و با تحلیل و بررسی نمودارهای ۳-۷ تا ۳-۹، که از نرم افزار طراحی آزمایش استخراج شده اند، اثر هر یک از متغیرهای سه گانه تاثیرگذار بر کیفیت پوشش رنگ نهایی مورد بررسی قرار گرفت و نهایتا با تحلیل نمودارهای این نرم افزار، فرمولاسیون بهینه برای ساخت پوشش رنگ در مقیاس نیمه صنعتی ارائه شد. براساس نتایج از آزمونها و لحاظ ۳ متغیر مشخص است که میزان رزین پلی ال اکریلیک بر براقیت، رزین سلولز استات بوتیرات بر میزان زبری سطح و افزودنی وکس نیز بر میزان ابلقی شدن و میزان ته نشینی و رسوب اجزاء پوشش رنگ متالیک خودلایه شونده تاثیر بسزایی داشته اند. نمودار ۳-۷ نشان می دهد که اگر مقدار رزین پلی ال اکریلیک در



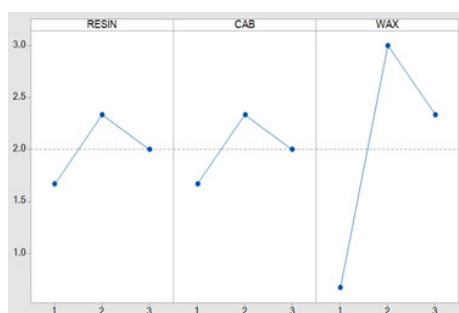
شکل ۶: پخش ذرات افزودنی وکس در کل بستر رنگ [۱۵]



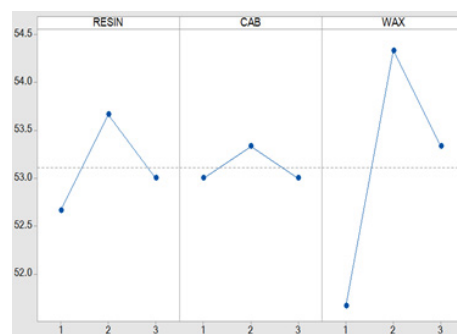
شکل ۸: تعیین بهینه مقدار مصرف پلی ال اکریلیک و سلولز استات بوتیرات و وکس از طریق نتایج تست زبری



شکل ۷: تعیین بهینه مقدار مصرف پلی ال اکریلیک و سلولز استات بوتیرات و وکس با اندازه گیری براقیت



شکل ۱۰: تعیین میزان بهینه متغیرهای پلی ال اکریلیک و سلولز استات بوتیرات و وکس از طریق نتایج تست ته نشینی



شکل ۹: تعیین میزان بهینه مصرف پلی ال اکریلیک و سلولز استات بوتیرات و وکس از طریق نتایج تست ابلقی

پوشش رنگ متالیک خود لایه ای شونده در قیاس با پوششهای دو لایه متالیک مرسوم، موجب کاهش هزینه (بعثت تک لایه بودن) و کم نمودن زمان پوشش دهی و کاهش احتمال آلودگی و عیوب سطح می شود. طراحی و فرمولاسیون پوشش رنگ متالیک خود لایه شونده (بدون لاک) با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی انجام شد و مشخص شد که سه پارامتر تاثیر گذار بر فرمولاسیون این ماده شامل نوع و مقدار رزین آکریلیک پلی ال، سلولز استات بوتیرات و وکس می باشند و مقادیر بهینه آنها در فرمولاسیون با توجه به نتایج آزمونهای متفاوت و قیاس با پوششهای متداول دو جزیی استحصال گردید. در این خصوص تاثیر رزین آکریلیک پلی ال، سلولز استات بوتیرات و وکس به ترتیب بر براقیت، زبری سطح و میزان ابلقی شدن می باشد.

پوشش رنگ متالیک خود لایه شونده بصورت تک پوشش با مقاومتی مناسب در برابر شرایط جوی و ظاهری متالیک، دارای درخشندگی و براقیت، مناسب برای رنگ آمیزی قطعات صنعتی و لوازم خانگی و حتی تعمیر بدنه و قسمتهای منفصله خودرو نظیر سپر، قالیاق و.... می باشد و در صنایع لوازم خانگی بخصوص رنگ آمیزی و تولید جارو برقی کاربرد فراوانی پیدا کرده است و در حال حاضر این پوشش رنگ متالیک خود لایه شونده پلی یورتان در حین تولید صنعتی و مورد استقبال تولید کنندگان این صنف قرار گرفته است. زیرا علاوه بر کاهش زمان فرآیند رنگ آمیزی دارای میزان براقیت مناسب و مقاومت مطلوبی در برابر آب و رطوبت بوده و از نظر میزان ابری و ابلقی و زبری سطح نیز دارای بهینه ترین حالت برای یک پوشش رنگ نهایی است که بعنوان یک رویکرد زیست محیطی و اقتصادی می تواند مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

سطح مشاهده و مقادیر متغیرهای رزین پلی ال آکریلیک و رزین سلولز استات بوتیرات به اندازه ی میزان افزودنی وکس بر کاهش مقدار ابلقی شدن سطح رنگ تاثیر گذار نمی باشند.

با ارزیابی نمودار ۳-۱۰ می توان نتیجه گرفت هنگامی که مقدار افزودنی وکس در حالت ۱ یعنی مقدار ۷ درصد وزنی در فرمولاسیون پوشش رنگ لحاظ گردد بیشترین تاثیر بر کاهش میزان ته نشینی رنگ مشاهده می شود و مقادیر متغیرهای رزین پلی ال آکریلیک و رزین سلولز استات بوتیرات به اندازه ی میزان افزودنی وکس بر کاهش ته نشینی پوشش رنگ تاثیر گذار نمی باشند.

۳-۳- مقایسه نتایج آزمونهای محصول فرموله شده با پوشش رنگهای دو پوشش متالیک براق

نظر به آنکه یکی از اهداف اصلی این تحقیق، طراحی و ساخت پوشش رنگ تک پوشش خود لایه ای شونده و مقایسه آن با سیستم های متداول متالیک دو پوشش بوده است، لذا بر اساس جدول ۱۰، نمونه بهینه ساخته شده در این تحقیق با پوشش رنگ متالیک دو پوشش بر پایه رزین پلی استر ملامین به همراه کلیرکت آکریلیک، براساس نتایج تستهای براقیت، چسبندگی، میزان عدم ابلقی شدن، میزان ته نشینی و تست سختی مورد مقایسه قرار گرفته اند. همان گونه که جدول ۱۰ نشان می دهد نتایج آزمونهای اصلی برای هر دو نمونه تقریباً یکسان می باشد لذا می توان روند طراحی و ساخت و تولید رنگ متالیک خود لایه شونده پلی یورتان و فرمولاسیون نهایی این محصول را تصدیق نمود.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

جدول ۱۰: مقایسه نتایج آزمونهای پوشش رنگ متالیک خود لایه ای شونده (بدون لاک) با پوشش رنگ متالیک دو پوشش

نوع آزمون	نتایج آزمون پوشش رنگ متالیک خود لایه شونده (بدون لاک براق)	نتایج آزمون پوشش رنگ متالیک دو پوشش با لاک براق
Cross hatch	5B	5B
Gloss	89	91
Mottling	51	50
Hardness	210	220
Hiding Power	12	12
Settling	1	1
Bending	بدون ترک خوردگی	بدون ترک خوردگی
cupping	5mm	5mm
Solvent	ok	ok
Roughness	1	1
Impact	25	24
Humidity	تاؤل زدگی و تغییر فام : 0 چسبندگی : a	تاؤل زدگی و تغییر فام : 0 چسبندگی : a
Immersion	تاؤل زدگی و تغییر فام : 0 چسبندگی : a	تاؤل زدگی و تغییر فام : 0 چسبندگی : a

۵- مراجع

- [1] L. Sivik, NCS - reflecting the color sense as a perceptual system, in Proceedings of the 8th congress of the international color association, AIC Color 97, Kyoto, Japan, I (1997), 50-57.
- [2] Nelson K. Akafuah, Sadegh Poozesh, Ahmad Salaimah, Gabriela Patrick, Kevin Lawler, and Kozo Saito , Evolution of the Automotive Body Coating Process—A, Coatings. 2(2016), 1-22,
- [3] J.R. Moore, Automotive Paint Application. In: Wen M., Dušek K. (Eds.), Protective Coatings. Springer, 2017, Cham, 465-496
- [4] K.V. Chidhambara, B. Latha shankar, Optimization of Robotic Spray Painting process Parameters using Taguchi Method, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering IN PROCEEDING OF International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Applications (IConAMMA-2017), Bengaluru, India 1(2017), 1-8
- [5] S. Jamb, X. Liang, K. Dam-Johansen, G.M. Kontogeorgis, A model-based solvent selection and design framework for organic coating formulations, Progress in Organic Coatings, 140(2020), 105479
- [6] V.S. Favini, M.M. Aguiar, D.R. Vianna, Taguchi design applied to process parameters optimization of sol-gel anticorrosive films. J. Sol-Gel Sci. Technol. 91(2019), 407-414
- [7] I. Wheeler, Metallic Pigments in Polymers, iSmithers Rapra Publishing. , Exeter, 1999, 146-147
- [8] Ł. Pasiecznyński, N. Radek, Development of polyurethane paint with special metallic effect. Production engineering archives, 7(2015), 2-5
- [9] Eastman publication E-241, Handling -precaution for cellulose esters in formulating
- [10] Coating - contains handing procedures for Eastman - cellulose esters. E-325H 10/14
- [11] Waxes and wax emulsions- industrial applications- LUWAS BASF EMV 0108 e- 05.2008
- [12] R.K. Roy, Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and process improvement, Wiley, New York.2001, 240-255
- [13] WAX -BYK Additives & Instruments Rheology Additives Technical [12] Information L-RI 1
- [14] Wax Emulsions - Formulation and Properties of Wax Emulsions Coatings for Industrial Applications by Michelman, LP EX. NO 1059, 2009, 1-9
- [15] H.J. Streitberger, K.F. Dossel, Automotive Paints and Coatings, Wiley VCH, Wenham, 2008, 467-470