

## واژه‌های کلیدی:

پوشش سطح  
رسوب‌دهی الکتریکی  
رزین  
روش کاتدی  
رنگ‌دانه

## پوشش نوین بدنه خودروها

احمد ربیعی<sup>۱\*</sup>، طاهره طاهرزاده لاری<sup>۲</sup>  
۱ و ۲ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، گروه علوم

## چکیده ...

برای جلوگیری از زنگ زدن بیش از حد بدنه خودروها، به پوشش سطحی، نیاز است. در حال حاضر پوشش سطحی به روش الکتریکی انجام می‌گیرد. در واقع به جای روش ساده غوطه‌ورسازی بدنه ماشین در مخزن حاوی رنگ، پوشش‌دهی با استفاده از واکنش الکتروشیمیایی اعمال می‌شود. فرایند پوشش الکتریکی شامل پنج مرحله است. این مراحل به صورت خلاصه عبارتند از:

- پیش‌تمیزسازی: برای حذف کثیفی و چربی روی فلز به کار می‌رود.
- فسفات‌دهی: برای ارائه سطح بهتر به منظور رنگ‌آمیزی و برای حفاظت در برابر خوردگی به کار می‌رود.
- پوشش‌دهی الکتریکی: روش انتخابی رنگ‌آمیزی است.
- عمل شست‌وشو: برای حذف پوشش کرم مانند است که به سطح فلز متصل نیست.
- عمل پخت: برای شبکه‌ای شدن پوشش پلیمری به کار می‌رود.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:  
a.rabbii@ippi.ac.ir

## ۱ مقدمه

آستر معروف است، پوشش دهی می شود. سپس لایه دوم که رنگ تزئینی و نهایی است افزوده می شود [۱۰].

### ۲ فرایندهای پوشش دهی الکتریکی

فرایند آندی مانند فرایند غوطه ورسازی در حال حاضر تنها برای تعداد کمی از کاربردهای ویژه مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال در انتهای این مقاله به آن اشاره شده است زیرا از اهمیت تاریخی مهمی برخوردار است و اولین روش الکتریکی است که برای پوشش سطحی بدنه ی خودرو استفاده شده است. فرایند کاتدی اساساً شبیه فرایند آندی است؛ با این تفاوت که این فرایند به جای شبکه شدن گروه های اسیدی شامل شبکه شدن گروه های قلیایی می شود [۱۱].

### ۲-۱ فرایند تولید پوشش پلیمری

بدنه خودروها در فرایندی پنج مرحله ای پوشش دهی می شوند. این مراحل پنج گانه عبارتند از:

#### ۲-۱-۱ مرحله اول: پیش تمیزسازی

چربی ها و روغن ها باعث تداخل مراحل رنگ آمیزی می شوند و شکاف هایی را در پوشش ایجاد می کنند که باعث گسترش خوردگی می شود. به همین دلیل، چربی قرار گرفته بر روی فلز در طی مونتاژ بدنه خودرو باید در اسرع وقت حذف شود. این کار با حل کردن چربی در نفت سفید و سپس حذف مخلوط روغن- حلال انجام می شود. سپس بدنه ماشین با قلیا شست و شو داده می شود تا فرایند چربی زدایی، کامل شود و در نهایت با آب شسته می شود.

#### ۲-۱-۲ مرحله دوم: فسفاته کردن

فولاد مورد استفاده، لایه لایه است و با لایه خارجی از جنس روی، پوشانده شده است (شکل ۱). این لایه با اسید فسفریک در دمای ۵۵-۵۰ درجه سانتی گراد پوشانده می شود. اسید با روی واکنش داده، مخلوطی از فسفات روی را در سطح فولاد تشکیل می دهد. اتصال رنگ پوشش الکتریکی به فسفات های روی، نسبت به فلز خالص، بهتر انجام می گیرد و خوردگی فسفات های روی بسیار کندتر از فولاد خالص است [۱۲].

قبلاً به منظور رنگ آمیزی، بدنه خودروها را درون مخزن رنگ فرو می بردند [۱]. اما رنگ معمولاً کل سطح را به طور مساوی پوشش نمی داد؛ مخصوصاً نقاطی را که دارای خوردگی در اثر نمک هستند. در اوایل دهه ی ۱۹۷۰ مشخص شد که خودروها را می توان به روش آبکاری آندی رنگ آمیزی کرد [۲]. این پوشش ها خیلی بهتر از پوشش به روش غوطه ورسازی بودند؛ اما آن ها هم حاوی رزینی شامل گروه های اسیدی آلی هستند. با توجه به این که این گروه های عاملی با فلز روی، در فولاد گالوانیزه واکنش می دهند در نتیجه پوشش دهی مناسبی روی بدنه و سایل نقلیه ایجاد نمی شود [۳].

در حال حاضر اکثر وسایل نقلیه با استفاده از فرایند پوشش دهی الکتریکی کاتدی پوشش دهی می شوند [۴]. در این فرایند از برق کمتری استفاده می شود و پوششی را فراهم می کند که مقاومت بیشتری نسبت به خوردگی نمک نسبت به سایر روش ها دارد [۵]. این روش منجر به تولید پوشش مناسب می شود و می تواند در مواردی که عنصر فولاد با فلز روی، پوشیده شده است استفاده شود. علاوه بر این، استفاده از سامانه رزین اپوکسی بیس فنول آ-یورتان، پوششی با خواص مکانیکی برجسته و مقاوم در برابر خوردگی ایجاد می کند [۶]. روش پوشش دهی الکتریکی در دهه ی ۱۹۶۰ به سرعت رشد کرده، توسعه یافت و تا سال ۱۹۷۰ ده درصد کل وسایل نقلیه در سراسر جهان با این روش، پوشش دهی الکتریکی شده اند [۷]. تا سال ۱۹۹۰ این میزان به نود درصد از کل وسایل نقلیه افزایش یافت و امروزه اغلب صنایع خودروسازی دنیا از این فرایند پوشش دهی استفاده می کنند.

از آن جا که وسیله نقلیه باید به نحوی پوشش دهی شود تا سرعت خوردگی فلزی که از آن ساخته شده کاهش یابد، پوشش سطحی مناسب برای خودرو باید صاف و انعطاف پذیر باشد و به آسانی با سنگ و امثال آن خراش بر ندارد. با توجه به بررسی های انجام شده سعی شده تا از بین انواع مختلف روش های رنگ آمیزی شیوه ای برگزیده شود که هم ارزان باشد و هم به طور موثر این الزامات را برآورده کند [۸]. در این مقاله به بررسی فرایند پوشش دهی الکتریکی به شیوه کاتدی که امروزه بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد پرداخته شده است [۹]. در این فرایند ابتدا وسیله نقلیه با زیرلایه ای به رنگ خاکستری و مقاوم در برابر خوردگی که به

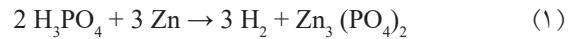
اجازه ورود و حذف سریع هوا را از وسایل نقلیه بدهد.  
- جریان چرخشی یکنواخت و مناسب برای حذف گردوغبار و ذرات معلق و حذف کثیفی رسوب کرده توسط عمل فیلتراسیون.

- رنگ بازگشتی از خطوط صافی بخش خارجی از ایجاد رنگ مرده در مخزن جلوگیری کرده و مانع تولید لکه می شود.  
- حرکت افقی رنگ در لایه ی بالایی مخزن، حداقل دو برابر حرکت وسیله نقلیه است. این به منظور جلوگیری از نشستن رنگ روی سطوح و ایجاد فیلم ناصاف است.

مخازنی که برای این منظور به کار می روند بهتر است بین ۵۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ لیتر گنجایش داشته و تحت کنترل pH بوده و نسبت سطح کاتد به آند تا ۴:۱ برابر باشد.

رنگ و حلال تازه در صورت نیاز به مخزن رنگ، اضافه می شوند. رنگ با حلال مخلوط شده و سپس به طور پیوسته اضافه می شود و میزان افزایش آن وابسته به سرعتی است که وسیله نقلیه پوشش دهی می شود. حلال نیز در صورت نیاز و بر حسب تبخیر به درون مخزن افزوده می شود.

برای حفظ ذرات رنگ به صورت پایدار و منفصل، لازم است که مخزن، خنک نگه داشته شود. خنک کننده ها و مبدل های حرارتی طوری طراحی شده اند که دمای حمام را در تمام شرایط عملیاتی روی حداقل ۱۵ درجه سانتی گراد حفظ کنند. انواع رنگ هایی که به صورت الکتریکی اعمال می شوند برای دستیابی به پایداری مناسب و تثبیت رنگ، دارای شرایط دمایی عملیاتی بهینه هستند.



این عمل به طور مستقیم و به واسطه کمک به چسبیدن رنگ، مقاومت در برابر خوردگی را بهبود می بخشد. عمل فسفات کردن و رنگ آمیزی در مجموع ۷۵ تا ۹۰ درصد از کل مقاومت خوردگی را باعث می شوند و عمر وسیله نقلیه را ۵ تا ۱۰ سال افزایش می دهند [۱۳].

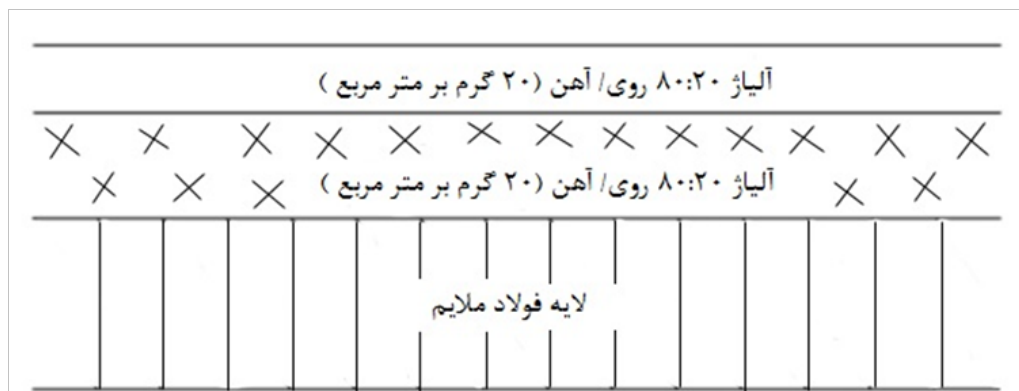
اسید فسفریک اضافی با آب شسته شده و بدنه وسیله نقلیه توسط تسمه نقاله به داخل مخزن پوشش الکتریکی حمل می شود.

### ۳-۱-۲ مرحله سوم: پوشش دهی الکتریکی

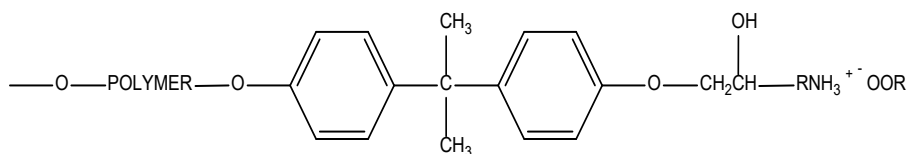
مخلوط رزین و اتصال دهنده و خمیر حاوی رنگ دانه ها به مخزن تزریق می شوند. سپس وسیله ای توسط تسمه نقاله پایین آمده و جریان الکتریکی را به درون مخزن اعمال می کند. در واکنش الکتروپوششی، بدنه ماشین به عنوان کاتد و مخزن رنگ به آند متصل شده که نتیجه آن اتصال محکم و یکنواخت پلیمر رزین به سطح فلز بدنه ماشین خواهد بود [۱۴].

مخزن پوشش دهی از جنس فولاد با لایه ای از پوشش اپوکسی ساخته شده تا به عنوان عایق الکتریکی عمل کرده و همچنین در برابر خوردگی مقاوم باشد [۱۵]. مخزن برای دستیابی به شرایط فرایندی زیر طراحی شده است:

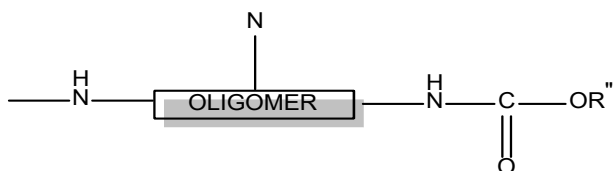
- حداقل اندازه را از نظر اقتصادی داشته باشد و به راحتی



شکل ۱ آهن پوشش داده شده با روی (فولاد گالوانیزه) [۱۲]



شکل ۲ مشتق نمک آمین رزین اپوکسی بیس فنول-آ



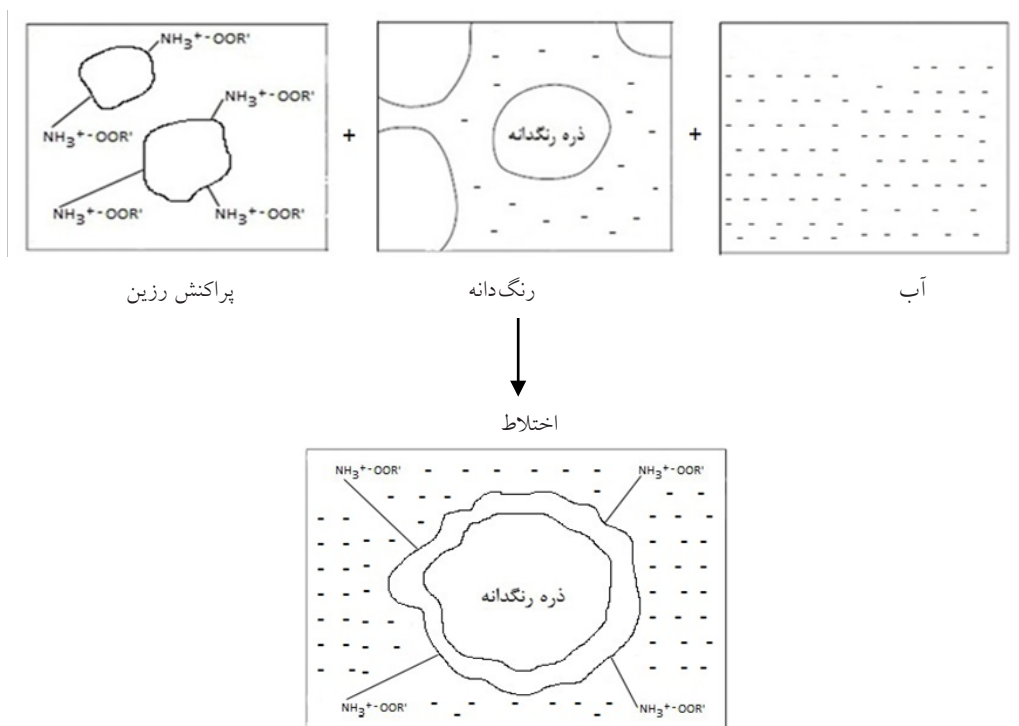
شکل ۳ الیگومر اتصال دهنده ایزوسیانات مسدود شده با R''-OH

### ۲-۳-۱-۲ واکنش های فیزیکی و شیمیایی رسوب دهی الکترواستاتیکی

فرایند رسوب دهی الکترواستاتیکی شامل چهار واکنش الکتروشیمیایی هم زمان یعنی الکتروفورز، رسوب دهی، الکترواسمز و الکترولیز است که منجر به تشکیل لایه ای با استحکام قابل توجه می شود [۴]. استحکام لایه

### ۲-۳-۱-۲ ترکیب و اجزای رنگ

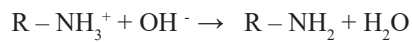
رنگ از دو قسمت تشکیل شده است: یک قسمت رنگ از رزین و اتصال دهنده تشکیل شده و قسمت دیگر آن شامل رنگ دانه ها است [۱۶]. معمولاً بخش رزین، مشتق نمک آمین از رزین اپوکسی بیس فنول-آ با الیگومرهای ایزوسیاناتی مسدود شده در ساختار اتصال دهنده است (شکل ۲ و ۳). این بخش از ساختار پلی یورتان انعطاف پذیر در حالت شبکه شده دارای مقاومت بسیار در برابر خوردگی می شود [۵]. تشکیل ذره رنگ پایدار از مخلوط کردن این دو جزء حاصل می شود. طرح واره ذره پایدار در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ ذرات رنگ دانه پایدار شده توسط رزین

### ۲- رسوب دهی

ذرات رنگ با یون های هیدروکسید که توسط الکترولیز آب تشکیل شده، واکنش داده، گروه های نمکی آمین تخریب شده، باعث ایجاد رسوب روی بدنه خودرو می شود [۱۸]. این مرحله در شکل ۶ نشان داده شده است.

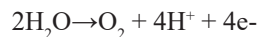


### ۳- الکترواسمز

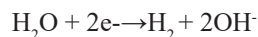
مواد محلول در آب از فیلم جدا شده مهاجرت می کنند. در اثر فشار اسمزی، آب از فیلم خارج می شود [۱۹]. فرایند الکترواسمز در شکل ۷ نشان داده شده است.

### ۴- الکترولیز

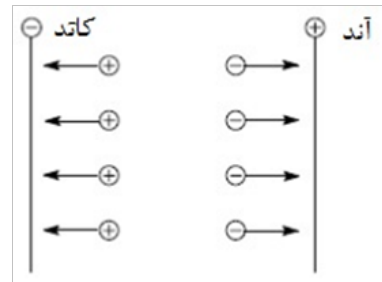
آب در آند تجزیه شده و  $O_2$  به صورت زیر تولید می شود:



$H_2$  روی وسیله نقلیه تولید می شود:



هیدروژن حاصل لایه فیلم را جدا کرده، ویژگی های زبری قبل از عمل پخت را در آن ایجاد می کند [۲۰]. فرایند الکترولیز در شکل ۸ نشان داده شده است.



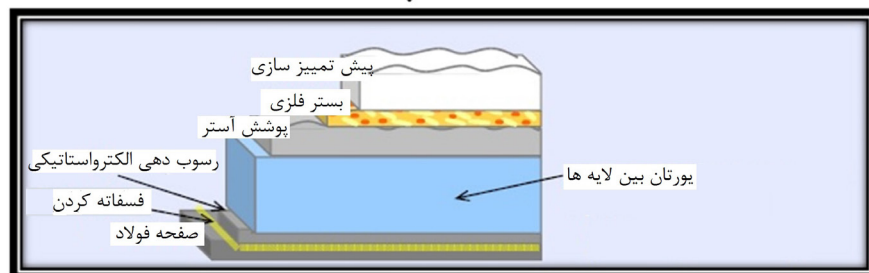
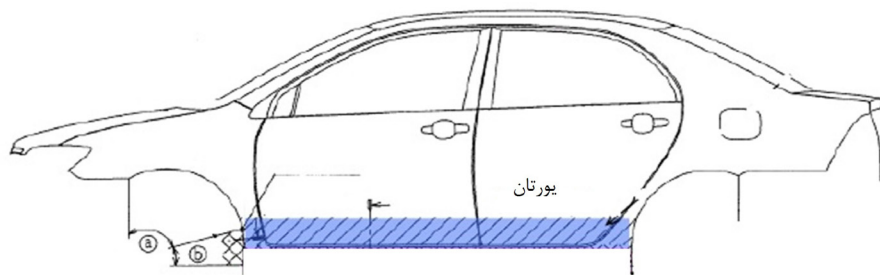
شکل ۵ فرایند الکتروفورز [۵]

تشکیل شده باعث مقاومت آن در برابر شستشوی زیاد می شود. پس از ایجاد پوشش الکترواستاتیکی بر روی بدنه وسیله نقلیه، توسط تسمه نقاله به مرحله شستشو انتقال داده می شود.

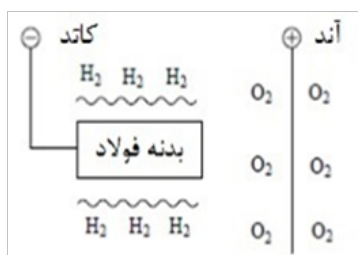
چهار واکنش الکتروشیمیایی و تغییراتی که طی فرایند رسوب دهی الکترواستاتیکی رخ می دهد به شرح زیر است:

### ۱- الکتروفورز

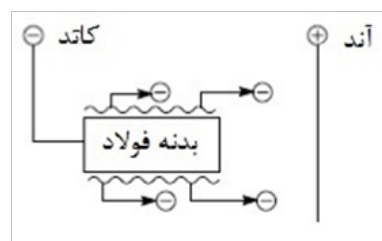
مطابق شکل شماره ۵، ذرات رنگ حاوی بار مثبت ( $R-NH_3^+$ ) بر روی وسیله نقلیه حاوی بار منفی منتقل می شود [۱۷].



شکل ۶ فرایند رسوب دهی رنگ روی بدنه خودرو [۲]



شکل ۸ فرایند الکترولیز [۲۰]



شکل ۷ فرایند الکترواسمز [۱۹]

### ۳ بهبود کارایی خوردگی

در حال حاضر با استفاده از رزین‌های مبتنی بر یورتان-اپوکسی بیس فنول آ می‌توان فیلم‌هایی با ضخامت ۲۸ تا ۳۵ میکرومتری ساخت، در صورتی که ضخامت استاندارد ساخت فیلم بین ۱۸ تا ۲۳ میکرومتر است. این بدان معنی است که حتی در کشورهایی با فرسایش بالای نمک، ایجاد فیلم با دوام و تضمین شش ساله برای رنگ خودرو امکان‌پذیر است.

### ۴ پوشش دهی الکتریکی لبه فلز

تنش سطحی در اکثر پوشش‌های الکتریکی باعث می‌شود تا رنگ در ناحیه لبه‌ها عقب‌نشینی کرده، در طول فرایند پخت، ضخامت پوشش در لبه‌ها کم شود. سازندگان این روش‌های پوشش‌دهی سامانه‌هایی را برای غلبه بر این مشکل طراحی کرده‌اند:

- محدود کردن سیالیت رزین
- استفاده از روش پوشش‌دهی دوگانه در حمام‌های جداگانه
- استفاده از روش ایجاد دو لایه که یکی پس از دیگری و در یک حمام حاصل می‌شود

در حال حاضر دو روش اول با استفاده از روش سوم به صورت تجاری استفاده می‌شود. برای رنگ‌آمیزی قطعات کوچک که میزان صاف بودن سطح فیلم خیلی مطرح نیست، محدود کردن جریان مواد درون تک حمام رنگ برای رنگ‌آمیزی کافی است. در بخش‌های قابل رویت وسیله نقلیه که صافی فیلم و ظاهر رنگ اهمیت دارد، پوشش دادن لبه‌ها با سامانه دولایه‌ای تحقق می‌یابد [۲۳]. به دلیل کم اهمیت بودن صافی سطح لایه اول،

### ۲-۱-۴ مرحله چهارم: عمل شستشو

طی این عملیات، لایه نازک رنگ که به وسایل نقلیه متصل اما به فلز متصل نیست، حذف می‌شود. حذف «این پوشش کرم‌گونه» برای جلوگیری از نقص‌های پوشش‌دهی و ایجاد لایه رنگ صاف ضروری است. این فرایند شامل شست‌شو با آب و محلول رقیق از رنگ به روش غوطه‌وری است. رنگی که طی این شست‌شوها حاصل شده، بازیافت شده، مجدداً در پوشش وسایل نقلیه دیگر استفاده می‌شود. پس از شست‌شو، تسمه نقاله‌ها خودرو را به منظور عمل پخت به گرم‌خانه منتقل می‌کنند.

### ۲-۱-۵ مرحله پنجم: عمل پخت

در این مرحله بدنه خودرو در دمای ۱۷۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در کوره، پخت می‌شود. این فرایند باعث می‌شود زنجیرهای مختلف پلیمری با یکدیگر پیوند عرضی بسیار قوی و انعطاف‌پذیری تشکیل و شبکه به هم پیوسته‌ای از پلیمر در سراسر سطح خودرو فراهم شود [۲۱ و ۲۲]. در طی این فرایند، اتصالات اوره و یورتان بین رزین و اتصال‌دهنده تشکیل شده و گروه‌هایی که پیش از این یورتان‌ها را مسدود کرده بودند، به صورت بخار همراه با حلال‌های در جریان و دیگر محصولات حاصل از شکست آزاد می‌شوند. در حال حاضر انواع جدیدی از رنگ‌های سازگار با محیط‌زیست، دارای طول عمر بالاتر و دوام بیشتر طراحی شده و روش‌های پوشش‌الکتریکی از نوع کاتدی به‌طور مداوم برای بهبود عملکرد خوردگی، ظاهر پوشش و خواص مکانیکی و کاهش اثرات زیست‌محیطی در حال توسعه است.

از پروفیلومتر اندازه‌گیری می‌شود [۲۴]. مقادیر درجه زبری (Ra) بر حسب میکرون برای لایه‌های سامانه پوششی روی فولاد در جدول ۱ آورده شده است. کیفیت و صاف بودن رنگ در پوشش دهی الکتریکی می‌تواند اثر قابل توجهی روی ظاهر کلی رنگ پس از پوشش نهایی داشته باشد. سطح رنگ می‌تواند به علت تشکیل حفره، ظاهر ناصاف داشته باشد. اگر بعد از تمیز کردن اولیه، روی بدنه وسیله نقلیه چربی باقی مانده باشد، در طول فرایند پخت این چربی می‌جوشد و حفراتی را در سطح ایجاد می‌کند. این حفره‌ها از طریق رنگ منتقل می‌شوند و به وضوح در سطح بالایی پوشش قابل مشاهده است. در حال حاضر رنگ‌های ICI سامانه‌های رنگی را تایید می‌کنند که شامل حفرات نبوده و وضعیت چشمگیری داشته باشند (جدول ۲). نتایج حاصل مقاومت نسبت به ایجاد حفرات در انواع جدیدی از پوشش که شامل پوشش دهی الکتریکی به روش کاتدی است را نشان می‌دهد.

## ۷ سایر خواص مکانیکی

سایر خواص مکانیکی مانند مقاومت در برابر ایجاد خراش با سنگ، انعطاف پذیری و مقاومت نسبت به ضربه را در کل سامانه رنگ می‌توان با روش پوشش دهی الکتریکی پلیمری طراحی کرد. سایر اجزای رزین را می‌توان به صورت جداگانه به منظور دستیابی به ویژگی‌های مکانیکی بهینه پوشش دهی مطلوب، طراحی کرد؛ بدون این‌که عملکرد خوردگی، رسوب گذاری و ویژگی‌های ظاهر پوشش آسیب ببیند.

رنگ این لایه با جریان محدود ساخته می‌شود؛ اما برای ایجاد لایه دوم رنگ، داشتن جریان خوب برای رسیدن به فیلم صاف، ضروری است. سامانه پوشش دهی دوگانه به دلیل وجود معایب نیاز به دو مخزن رنگ ضروری است، البته به جهت مزایای مالی، انگیزه زیادی برای اعمال پوشش دهی دوگانه توسط یک حمام وجود دارد.

## ۵ فولادهای پوشش دهی شده با فلز روی

وسایل نقلیه جدید به طور عمده از فولادهای پوشش دهی شده با روی، ساخته شده‌اند. یک نمونه از آلیاژ چندلایه از فولاد پوشش دهی شده در شکل ۱ نشان داده شده است. به طور معمول فلز روی، به روش الکتروشیمیایی بر سطح فولاد آبکاری شده است زیرا باعث ایجاد پوشش صاف تر نسبت به حالتی که فولاد در روی مذاب غوطه‌ور است، خواهد شد. آلیاژ غنی از روی باعث حفاظت در برابر خوردگی می‌شود؛ درحالی که سطح بالایی آلیاژ غنی از آهن، محل خوبی برای افزایش رشد مطلوب بلوردر طی فرایند فسفات‌ه کردن است.

## ۶ صاف بودن پوشش

سطح «شیشه‌ای مانند» برای بدنه خودرو به عنوان محک و معیار صنعت برای کنترل کیفیت پوشش تلقی می‌شود. توانایی تولیدکننده خودرو برای دستیابی به رنگ صاف، به کیفیت بستر فولادی بدنه خودرو و همچنین به ویژگی سیالیت رنگ آمیزی لایه‌هایی که سامانه رنگ را تشکیل می‌دهند، بستگی دارد. میزان صاف بودن رنگ با تعیین درجه زبری رنگ (Ra) و با استفاده

جدول ۱ مقادیر درجه زبری برای کل سامانه رنگ خودرو

محدوده درجه زبری Ra (میکرومتر)	بستر لایه پوششی
۰/۸-۱/۴	فولاد عاری از پوشش
۰/۷-۰/۹	فولاد فسفات‌ه شده
۰/۱۷-۰/۳۵	پوشش دهی الکتریکی
۰/۰۵-۰/۱۵	لایه پلی استری
۰/۰۴-۰/۰۹	پوشش شفاف روی لعاب

جدول ۲ اثر آلودگی روغنی روی پوشش دهی کاتدی

نوع پوشش دهی الکتریکی	تعداد حفره‌های مشاهده شده در آزمایشگاه	
	سطح بدون آلودگی روغن	سطح با مقداری آلودگی روغن
فیلم استاندارد ساخته شده از رزین	۳	۵۰۰
فیلم ساخته شده با محصول جدید	۳	۲۰

غلظت‌های بالاتر نامطلوب است. حضور این مواد در رنگ می‌تواند منجر به هدایت بالای رنگ و ظاهر خشن ورق‌های پخته شده شود؛ بنابراین آن‌ها توسط این روش با سرعت حدود ۱۲ لیتر بر دقیقه به ازای هر خودرو حذف می‌شوند.

### ۱۱ فرایند آندی

بخش‌های زیر واکنش‌های انجام شده در فرایند آندی را شرح می‌دهد. این فرایند شبیه فرایند کاتدی است اما در حال حاضر به‌دلیلی که در ابتدای مقاله اشاره شد، کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۱۱-۱ تشکیل مالوفا

اسید چرب روغن بزرک (مالوفا) یکی از معرف‌های به‌کاررفته در تشکیل رزین است. این ماده طی واکنش دیلز-آلدر و به‌صورت شکل ۹ تشکیل می‌شود [۲۵].

#### ۱۱-۲ تهیه استر بیس فنول

این استر یکی دیگر از معرف‌های مهم به‌کاررفته در فرایند ساخت رزین است [۲۶ و ۲۷]. بیس فنول A، ماده اولیه‌ای است که با اپی کلروهیدرین واکنش داده محصول میانی تولید می‌کند (شکل ۱۰)، سپس پلیمری شده و در مرحله آخر در اثر واکنش با اسید آلی به محصول نهایی که استر است منتهی می‌شود (شکل ۱۱).

#### ۱۱-۳ تهیه پلیمر

برای تهیه پلیمر، دو واکنش دهنده و استر بیس فنول (مالوفا) استر بیس فنول به‌عنوان مواد اولیه با یکدیگر

### ۸ سامانه الکتریکی مخزن

الکتریسته لازم به منظور پوشش دهی توسط کابل‌های یک سوکننده با ولتاژی بین صفر تا ۵۰۰ ولت فراهم می‌شود. برای انجام پوشش دهی در ابتدا جریان زیادی اعمال می‌شود، سپس طی مدت زمان دو دقیقه‌ای رسوب گذاری، جریان افت می‌کند تا به ولتاژ متوسط در محدوده ۲۵۰ تا ۳۲۰ ولت برسد. فرایند رسوب دهی الکتریکی روشی خودمحدودکننده است؛ زیرا رنگ، خودرو را عایق کرده، به وضعیتی می‌رسد که هیچ رنگ بیشتری را نمی‌توان افزود.

### ۹ صاف‌رنگ

به منظور جلوگیری از کثیف شدن رنگ، رنگ موجود در مخزن به‌طور پیوسته با ۲ تا ۳ بار چرخش کامل در هر ساعت، صاف می‌شود. عمل صاف‌رنگ توسط مجموعه‌ای از صافی‌های کیسه‌ای GAF انجام می‌شود که کثیفی را حذف و توده ذرات رنگ را جدا کرده و سپس رنگ را به درون مخزن برمی‌گرداند.

### ۱۰ فراصافش

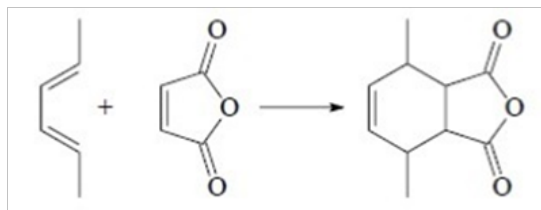
در این فرایند، آب و گونه‌های با وزن مولکولی پایین مانند حلال‌ها و پلیمرهای کوتاه زنجیر موجود در مخزن الکتریکی طی صافش رنگ توسط غشای لوله‌ای و تحت فشار، حذف می‌شوند. مایع حذف شده به‌عنوان "پرمیات (نفوذ کننده)" موسوم است و برای پاشش به‌منظور شست‌وشوی وسایل نقلیه در مخزن الکتریکی استفاده می‌شود. علاوه بر این، برخی از انواع رنگ‌های پوششی حاوی گونه‌های با وزن مولکولی پایین هستند که در



یا پتاسیم ترکیب می شود تا گروه های هیدروکسیل موجود در ساختار پلیمر به گروه های یونی تبدیل شوند [۲۸].

### ۱۱-۵ رنگ آمیزی

در این مرحله، رنگی که طی واکنش های پیشین تهیه شده به مخزنی که در آن بدنه خودرو قرار دارد تزریق می شود. در فرایند پوشش دهی الکتریکی، خودرو به عنوان آند لحاظ می شود. آب در محلول به یون های  $H^+$  و  $OH^-$  تفکیک می شود، سپس این یون ها در هر دو واکنش های آندی و کاتدی استفاده می شوند. در آند گروه های کربوکسیلات با جذب پروتون به شکل خنثی تبدیل می شوند:

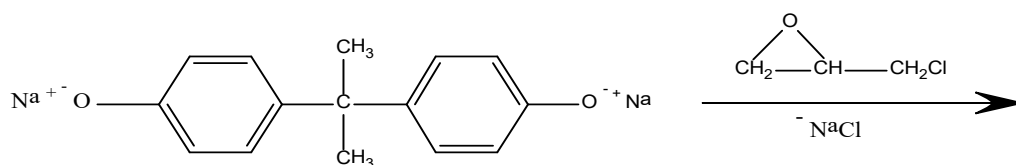


شکل ۹ واکنش بین اسید چرب بزرگ و مالئیک انیدرید جهت تشکیل مالوفا

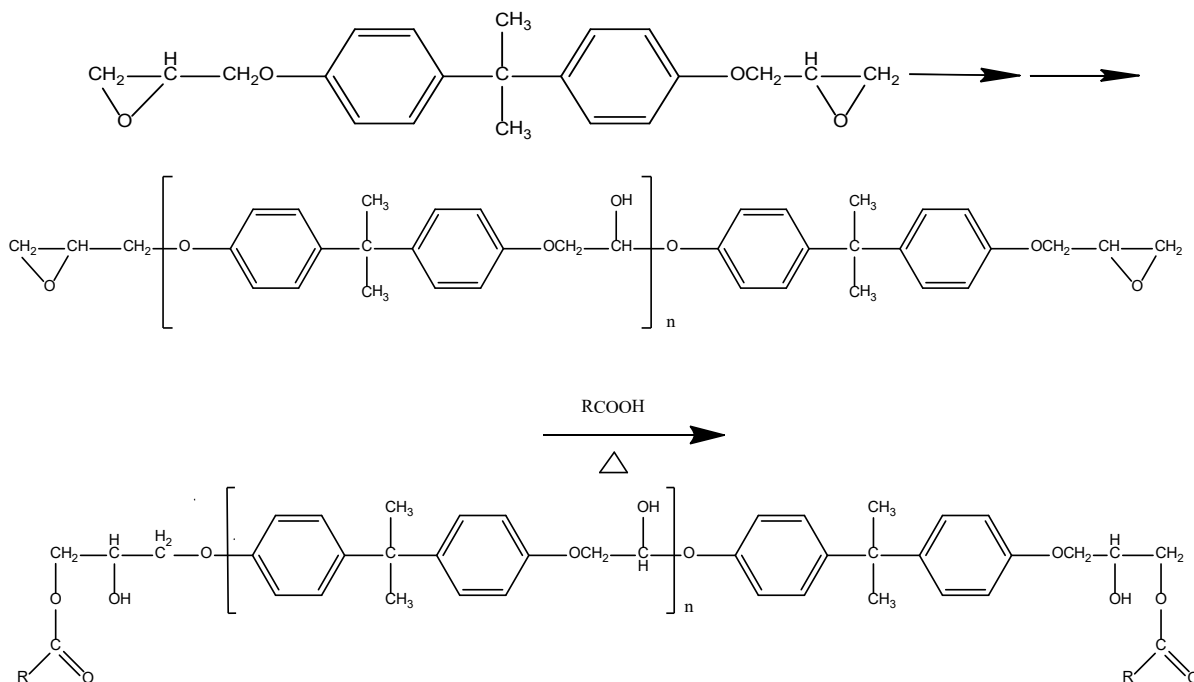
واکنش می دهند (شکل ۱۲).

### ۱۱-۴ امولسیون کردن

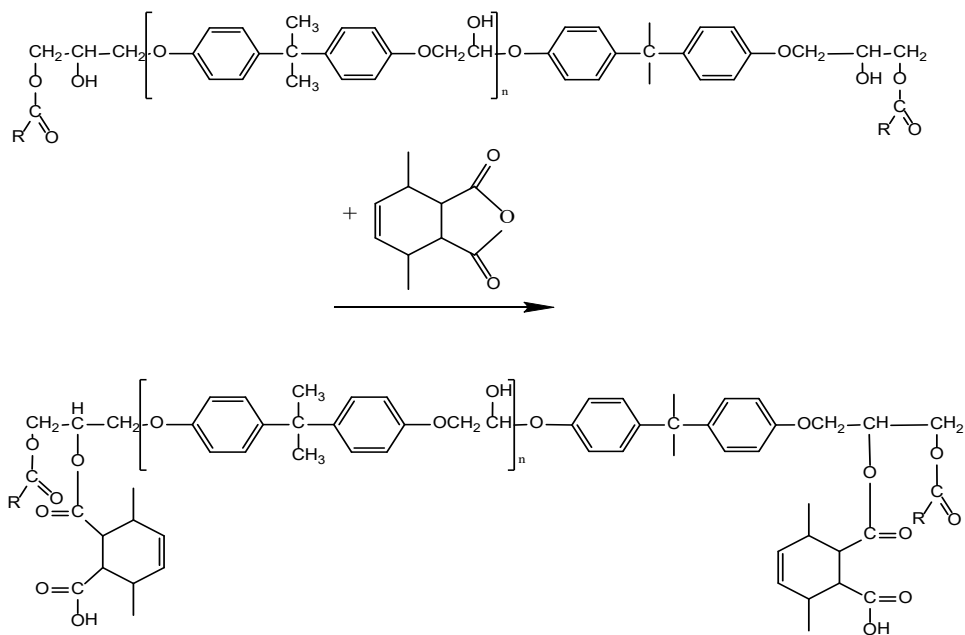
در این فرایند، پلیمر با باز قوی همچون هیدروکسید سدیم



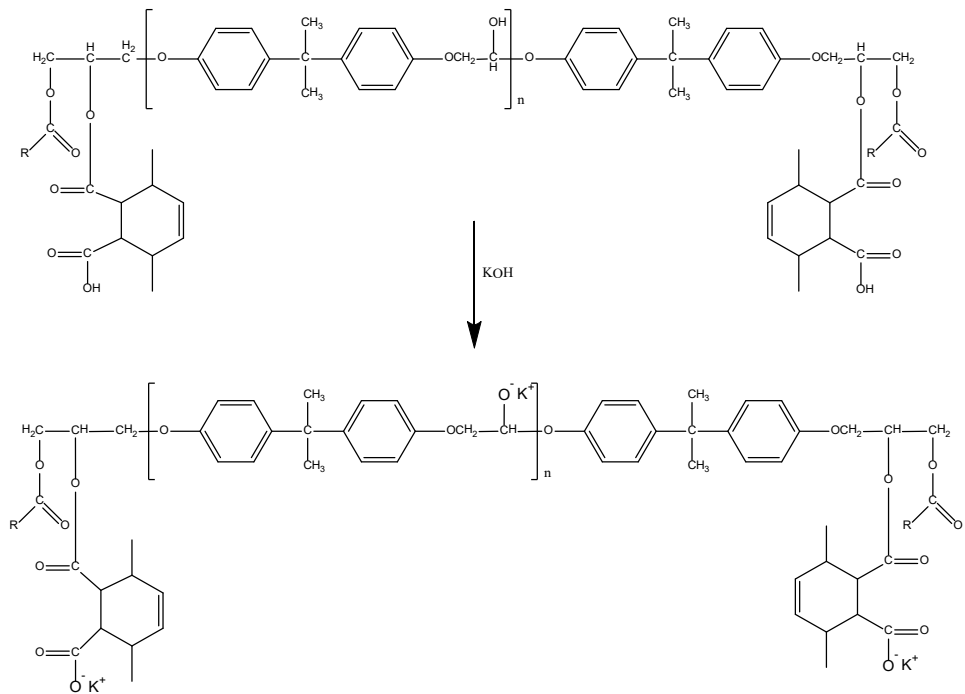
شکل ۱۰ ماده اولیه بیس فنول A جهت تهیه رزین



شکل ۱۱ واکنش پلیمری شدن تهیه استر بیس فنول



شکل ۱۲ واکنش تهیه پلیمر توسط استر بیس فنول به عنوان ماده اولیه



شکل ۱۳ واکنش امولسیون کردن برای تبدیل ساختار پلیمری به گروه های یونی

### ۱۳ پیامدهای زیست محیطی

رسوب دهی یا آبکاری الکتریکی همیشه به عنوان فناوری پوشش دهی «زیست سازگار» شناخته شده است. سامانه حلقه بسته، تضمین کننده حداکثر استفاده از رنگ و بخش عمده‌ای از ماده فرار در فرایند شامل آب است. با این حال برخی از مواد، نگران کننده هستند که مورد توجه قرار گرفته‌اند.

### ۱۳-۱ اجزای آلی فرار

رنگ‌هایی که به روش پوشش دهی الکتریکی تهیه می‌شوند به میزان قابل ملاحظه‌ای حاوی مواد آلی فرار هستند [۲۹]. این مواد آلی فرار حاوی اجزای زیر است:

- حلال‌های در جریان
- عوامل یا معرف‌های مسدودکننده ناشی از یورتان به عنوان عامل شبکه کننده
- محصولات مختلف ناشی از فرایند شکست
- این مواد آلی فرار، نگران کننده هستند زیرا حاوی بسیاری از حلال‌های آلی سمی بوده، برای انسان مضر هستند و طبیعت فرار، مصرف آن‌ها را آسان می‌کند. علاوه بر این، بسیاری از مواد آلی فرار در تشکیل دود مشارکت می‌کنند.

درحالی که در کاتد، KOH دوباره تولید شده و  $H_2(g)$  تشکیل می‌شود:



### ۱۱-۶ عمل پخت

در این مرحله وسیله نقلیه در کوره پخت می‌شود که طی این زمان، پوشش پلیمری سخت شده، مجموعه‌ای از واکنش‌های شبکه‌ای شدن از طریق ایجاد پیوندهای غیراشباع (پیوندهای دوگانه) روی می‌دهد.

### ۱۲ کنترل کیفیت

برای اطمینان از کارایی مطلوب و عملکرد پوشش سطح، بخش‌های مختلف فرایند توسط آزمایشگاه، نظارت و کنترل می‌شود. این اطلاعات در جدول ۳ ارائه شده است. علاوه بر موارد فوق مجموعه‌ای از مولفه‌های عملیاتی هم مانند هدایت الکتریکی آب دوبار تقطیر شده، میزان هدایت بدنه خودرو قبل از رسوب دهی الکتریکی، دمای پخت شدن و ضخامت فیلم بر حسب میکرومتر بررسی و اندازه گیری می‌شوند.

جدول ۳ مولفه‌های اندازه گرفته شده طی مراحل مختلف پوشش سطح

شست و شو به شکل غوطه‌ور کردن	آنولیت	تصفیه بیشتر رنگ	مخزن پوشش دهی الکتریکی
✓	✓	✓	اسیدپته
✓	✓	✓	هدایت ( $\mu S/cm$ )
✓		✓	مقدار مواد جامد (% w/w)
			مقدار خاکستر (% w/w)
✓		✓	مقدار حلال (% w/w)
			MEQ (مقیاس اندازه گیری اسیدپته)
			دمای مخزن ( $^{\circ}C$ )
			بازده کلومبیک / میلی گرم جامد بر کلومب

کاتالیستی است که باعث پخت در دمای کم تر می شود و به این معنی که دمای کوره را می توان از سطح معمول یعنی دمای ۱۸۰-۱۷۵ درجه سانتی گراد پایین تر آورد. این اقدامات میزان مصرف برق و میزان آسیب زیست محیطی ناشی از تولید برق را کاهش می دهد.

### ۱۳-۳ جنبه های مالی

هزینه رنگ کردن وسیله نقلیه، ۱۵ تا ۲۰ درصد هزینه کل ساخت آن است و از دید اقتصادی روش های کاهش هزینه ها به طور مداوم در دست بررسی قرار دارد.

### ۱۴ نتیجه گیری

اگرچه در گذشته برای رنگ آمیزی وسایل نقلیه از روش غوطه ورسازی و آبکاری به روش آندی استفاده می کردند اما امروزه اکثر وسایل نقلیه با استفاده از فرایند پوشش دهی الکتریکی به روش کاتدی پوشش دهی می شوند. در این فرایند از برق کم تری استفاده می شود و میزان آسیب زیست محیطی ناشی از تولید برق نیز بهینه شده است. این روش منجر به تولید پوشش مناسب شده، باعث پوشش با مقاومت بیشتری نسبت به خوردگی نمک در مقایسه با سایر روش ها می شود. علاوه بر این، استفاده از سامانه رزین، پوششی با خواص مکانیکی مطلوب و مقاومت در برابر خوردگی ایجاد می کند.

انواع جدیدتر پوشش های الکتریکی از نوع کاتدی از سامانه رزین استفاده می کنند که استفاده از مقدار کم تر حلال های سیال را فراهم کرده است. همچنین اتصال دهنده های جدید، که از شبکه کننده هایی استفاده می کنند که حاوی میزان کمی عوامل مسدودکننده هستند. همچنین سامانه رزین به گونه ای طراحی شده است که حاوی حداقل مقداری از محصولات شکست ناشی از تخریب پلیمر در کوره پخت است. از طرف دیگر، رنگ های ICI روش پوشش دهی الکتریکی کاتدی را توسعه داده اند که معادل نیمی از مقدار معمول حلال سیال را در مقایسه با روش های دیگر تولید می کند و تحقیق درباره عوامل مسدودکننده و حلال های سیال ادامه دارد.

### ۱۳-۲ مصرف انرژی

روش پوشش دهی الکتریکی به میزان قابل توجهی برق را در هر دو مرحله ی الکترولیز و پخت مصرف می کند. از آنجا که میزان برق مورد استفاده برای الکترولیز را نمی توان کاهش داد، می توان از پوشش هایی استفاده کرد که در دمای پایین تر پخت شده، مصرف انرژی را طی فرایند پخت کاهش دهد. روش های جدیدتری از پوشش دهی الکتریکی به روش کاتدی ابداع شده که در دماهای پایین تر انجام می پذیرد و حاوی عامل های شبکه کننده از نوع ایزوسیاناتی مسدودشده و سامانه های

## مراجع

1. Torok T., Urban P., and Lassu G., "Surface Cleaning and Corrosion Protection Using Plasma Technology" *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 4,116-124, **2015**.
2. Akafuah N. K., Poozesh S., Salaimeh A., Patrick G., Lawler K., and Saito K., "Evolution of the Automotive Body Coating Process-A Review" *Coatings*, 6, 1-22, **2016**.
3. Amirudin A. and Thierry D., "Corrosion Mechanisms of Phosphate Zinc Layers on Steel as Substrates for Automotive Coatings" *Prog. Org. Coat.*, 28, 59-76, **1996**.
4. Streitberger H.J. and Dossel K.F., "Automotive Paints and Coatings", Wiley, 517, 9, **2008**.
5. Debnath N. C., "Importance of Surface Preparation for Corrosion Protection of Automobiles" *J. Surf. Eng. Mater. Adv. Technol.*, 3, 94-105, **2013**.
6. Sapper E. and Woltering J., "Aqueous Powder Paint Dispersions" US6177487B1, **1995**.
7. Wang Y. M., Kuo H. H., Okeefe M. J., Maddela S., and Okeefe T.J., "Electrocoating Process for Mixed-Metal Automotive Bodies-In-White", **2009**.
8. Geffen C. A. and Rothenberg Sandra., "Suppliers and Environmental Innovation: The Automotive Paint Process" *Int. J. Oper. Prod. Man.*, 20, 166-186, **2000**.
9. Ansdell D.A., "Paint and Surface Coatings: Theory and Practice" Chapter 10, *Automotive Paints*, Cambridge England 696, **1987**.
10. Berger D. M., and Wint R. F., "New Concepts for Coating Protection of Steel Structures" ASTM Special Technical Publication, *American Society for Testing and Materials*, 134, **1984**.
11. Lister J., "A review of Cathodic Electrocoating and its Impact on the Corrosion Performanc and Paint Quality of Vehicles" *ICI Paints*, **1992**.
12. Zhang X. G., "Galvanic Protection Distance of Zinc-Coated Steels under Various Environmental Conditions" *Corros. Sci.: J. Sci. Eng.*, 56, 139-143, **2000**.
13. Feng L., Benhamida B. N., Lu C.Y., Sung L. P., Morel P., Detwiler, A. T., Skelly J. M., Baker L. T., and Bhattacharya D., "Fundamentals and Characterizations of Scratch Resistance on Automotive" *Prog. Org. Coat.*, 125, 339-347, **2018**.
14. Elwood K., Tardiff J. L., Gray L. J., Gaffney P., Braslaw J., Moldekleiv K., and Halvorsen A., "Development of a Full Vehicle Electrocoat Paint Simulation Tool" *Int. J. Mat. Manuf.*, 2, 234-240, **2009**.
15. Cook D. C., "An Active Coating and New Protection Technology for Weathering Steel Structures In Chloride Containing Environments" *NACE Int. Corros. Conf & Expo*, Paper No. 07360, **2007**.
16. Hayashi H., and Ishii M., "Development of 3-Wet Paint System with Improved Appearance-Paint Design Based on Transfer Mechanism of Unevenness from under Layers" *SAE Technical Paper; SAE International: Warren dale, PA, USA*, 04, 1048, **2014**.
17. Char cosset C., "Electrophoretic Painting, Encyclopedia of Membranes", France1-2, **2014**.
18. Hilt M., "Automotive Painting Processes – Today and Tomorrow" Research Society for Pigments and Coatings, *Department Coatings and Pigments*, 08-22, **2011**.
19. Spagnoli G., Klitzsch N., Fernandez-Steeger T., Feinendegen M., Real Rey A., Stanjek H., and Azzam R., "Application of Electro-Osmosis to Reduce the Adhesion of Clay during Mechanical Tunnel Driving" *Environ. Eng. Geosci.* 17, 417-426, **2011**.
20. "Electrolysis- A Superior Cleaning Process" www. Antique-engine.ns.ca/electrolysis.html, **2016**.
21. Groven F.J., "Paint Baking Process" US1998615A, **1933**.
22. Gwak S., Jang I. J., Lee J., Noh W., Lee M. G., Song J. H., and Jeong C. Y., "Influence of Paint Baking Process on the Fracture Initiation of an AL-Mg-Si Alloy Sheet" *J. Phys.: Conf. Ser.* 1063, 012027, **2018**.
23. Bakhtiary Noodeh M., Moradian S., and Ranjbar Z., "Improvement of the Edge Protection of an Automotive Electrocoating in Presence of a Prepared Epoxy-Amine Microgel" *Prog. Org. Coat.*, 103, 111-125, **2017**.
24. Alam A., Manuilskiy A., Thim J., O'Nils M., Lindgren J., and Liden J., "Online Surface Roughness Characterization of Paper and Paperboard using aLine of Light Triangulation Technique" *Nordic. Pulp. Pap. Res. J.*, 27, 662-670, **2012**.
25. Seltzer S., "The Mechanism of a Diels-Alder Reaction" *J. Am. Chem. Soc.*, 85, 1360-1361, **1963**.
26. Roberts J., Caserio M., "Basic Principles of Organic Chemistry" *New Polymer Technology for Auto Body*, Second Edition, American, **1964**.
27. Ikegami T., Mukawa T., Nariai H., and Takeuchi T., "Bisphenol A-Recognition Polymers Prepared by Covalent Molecular Imprinting" *Anal. Chim. Acta.*, 504, 131-135, **2004**.
28. Shunji K., Yoshiki W., Hiroaki G., and Toshinori M., "Emulsion Type Water Paint, *Process for its Production, and Process*

*for Applying Same*" US5087645, **1986**.

29. Klein D. H., and Jorg K., "Two-Component Aqueous Ep-

oxy Binders Free of Volatile Organic Content (VOC)" *Prog. Org. Coat.*, 32, 119-125,1997.