



استفاده از طراحی آزمایش جهت بهینه‌سازی پایداری نوری سطح چاپ شده با تغییر در فرمولاسیون شفاف پوشه آب پایه

مهدی موسوی^۱، سیامک مرادیان^{۲*}، سعید باستانی^۳، مجتبی جلیلی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۲- استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۳- قطب علمی رنگ، مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۴- استادیار، گروه پژوهشی علوم و فناوری چاپ، مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۵- مربی، گروه پژوهشی پوشش‌های سطح و خوردگی، مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۱/۳/۲۰

چکیده

در این تحقیق بهینه‌سازی فرمولاسیون شفاف پوشه پایه آبی جهت اعمال بر روی زیرآیند چاپ شده (فلکسوگرافی)، با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7 مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که نانو سیلیکا، جاذب آلی UV (tinuvin 400) و آب از عوامل مؤثر بر خواص شفاف پوشه هستند به عنوان فاکتور در طراحی آزمایش به روش مخلوط منظور شده و تأثیر آنها بر خواص شفاف پوشه مطالعه شده است. از جمله آزمون‌هایی که بر روی نمونه‌های مرکب انجام شده شامل ثبات نوری، براقیت، مقاومت سایشی و چسبندگی می‌باشند که با بررسی پاسخ‌ها، نقش فاکتورها و برهم‌کنش آنها مطالعه و سپس نواحی بهینه در فرمولاسیون تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی: شفاف پوشه، مرکب فلکسوگرافی آب پایه، نانو سیلیکا، طراحی آزمایش، بهینه‌سازی.

The Use of Experimental Design for Optimizing the Photostabilization of a Substrate Printed by a Water-Based Overprint Clear Coat

M. Moosavi¹, S. Moradian^{*1,2}, S. Bastani^{2,3}, M. Jalili⁴

¹ Department of Polymer Engineering and Color Technology, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

² Center of Excellence for Color Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

³ Department of Printing Science & Technology, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

⁴ Department of Surface Coatings and Corrosion, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received: 15-11-2010

Accepted: 01-06-2011

Available online: 10-06-2012

Abstract

In this research optimization of water-based overprint clear coat on printed substrate (flexography) was investigated and optimized by the Design Expert 7 software. The nano silica, Tinuvin 400 and water were the components in composition of overprint clear coat, which affect properties of clear coat. So these components were considered as variable factors in a mixture experimental design and their effects on clear coat properties were studied. Measurements of some physical and mechanical properties such as light fastness, gloss, abrasion resistance and adhesion were carried out on samples. These factors and their interactions effects were determined analysing the results and finally, the optimized regions on the contour diagrams were obtained. *J. Color Sci. Tech.* 6(2012), 1-8 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Overprint clear coat, Water-based flexography ink, Nano silica, Experimental design, Optimization.

شدند و سپس فرمولاسیون‌های مختلف حاصل از طراحی آزمایش بر روی آنها اعمال شده و آزمون‌های مختلف بر روی آنها صورت گرفت.

۲- روش تجربی

۲-۱- مواد

مواد مورد استفاده در این تحقیق به همراه مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات اجزای سازنده شفاف پوشه.

درصد	شرکت سازنده یا ارائه دهنده	نام تجاری	جزء
۷۸	BASF	Joncryl 74	رزین امولسیون
۱	BYK	BYK 019	ترکننده سطح
۱	BYK	BYK 333	ضدکف
	CWK	KÖSTROSOL® 1530	پراکنش کننده نانو سیلیکا
۲۰	Ciba	Tinuvin 400	جاذب فرابنفش آلی
	مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ	Dionized water	آب دیونیزه

برای کاربرد نانو سیلیکا از دیسپرسیون آبی ذرات نانو سیلیکای اصلاح شده با میانگین اندازه ذرات ۱۵ نانومتر و درصد جامد ۳۰ درصد استفاده شد.

۲-۲- روش کار

جهت اعمال نمونه‌های شفاف پوشه بر روی زمینه چاپ شده از Hand K-Lox Proofer ساخت شرکت RK Print استفاده شد. ویسکومتر مورد استفاده Zahn cup 2 و دستگاه براقیت‌سنج ساخت شرکت BYK Gardner مدل micro-TRI-gloss بود که براقیت نمونه‌ها را زاویه ۶۰ درجه سه بار تکرار شده و میانگین آن به عنوان پاسخ گزارش شده است. آزمون چسبندگی به وسیله چسب نواری و مطابق استاندارد ASTM D3359 انجام شد. آزمون مقاومت سایشی بوسیله دستگاه Abraser 5131 (TABER) BRAIVE صورت گرفت که ساییده مربوط به زمینه چاپی و میزان بار اعمال شده ۷۵۰ گرم بود. آزمایش ثبات نوری به وسیله دستگاه Atlas Xenotest® Beta تحت شرایط زیر انجام شد:

رطوبت: ۵۰ درصد، دما: ۶۰ درجه سانتی‌گراد، توان نوردهی: ۴۵ وات بر متر مربع و محدوده تابش از ۳۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر به وسیله

۱- مقدمه

فرآیند چاپ فلکسوگرافی به دلیل کیفیت مطلوب چاپ، سادگی فرآیند، تنوع زیرآیند و ... کاربرد بسیار وسیعی در چاپ محصولات متنوع در طول دهه‌های اخیر پیدا کرده است [۱، ۲]. از جنبه‌های دیگر موفقیت چاپ فلکسو در بازار، سهولت انتقال فناوری حلال پایه به آب پایه بوده است [۳، ۴]. یکی از موارد مورد توجه، حفاظت زیرآیندهای مختلف از جمله زمینه‌های چاپ شده به خصوص چاپ فلکسوگرافی در برابر تخریب نوری^۱ است [۵]. کاربرد جاذب‌های فرابنفش در شفاف پوشه‌ها^۲ علاوه بر پایدارکنندگی این پوشش‌ها سبب محافظت زیر آینه‌های مختلف از جمله مرکب‌های چاپ می‌شود. برخی از این شفاف پوشه‌ها پرتو فرابنفش را به خوبی جذب نمی‌کنند و لذا با عبور نور فرابنفش از آنها سطح زیر آینه تخریب می‌گردد. در نتیجه با افزایش جاذب‌های فرابنفش به این شفاف پوشه‌ها می‌توان از رسیدن پرتو فرابنفش به زمینه زیرین ممانعت کرده و از تأثیرات مخرب بر روی زمینه اصلی (زیرین) جلوگیری کرد [۶].

از جمله مسائلی که در کاربرد شفاف پوشه‌های آب پایه اعمال شده بر روی زمینه چاپ مشاهده می‌شود چسبندگی، ثبات نوری، براقیت و مقاومت سایشی است [۷]. به علاوه برای افزایش پایداری نوری از نانوذرات معدنی مانند نانو اکسید تیتانیوم، همراه جاذب فرابنفش آلی در فرمولاسیون این شفاف پوشه‌ها استفاده می‌کنند [۸].

از طرفی کاربرد روش‌های طراحی آزمایش به خصوص روش مخلوط در تهیه فرمولاسیون یا بهینه‌سازی آن از اهمیت خاصی برخوردار است. در روش مخلوط مجموع اجزاء ثابت بوده و ترکیب نسبی فرمولاسیون تغییر می‌کند از این رو می‌توان تغییرات هر فاکتور نسبت به سایر فاکتورها با توجه به تأثیر آن در پاسخ مشاهده کرد [۹، ۱۰]. به طوری که بیان ریاضی آن به صورت رابطه ۱ می‌باشد:

$$x_1 + x_2 + x_3 + \dots = 1 \quad (1)$$

که در آن x_i فاکتور یا جزء i ام می‌باشد.

در این تحقیق برای افزایش ثبات نوری شفاف پوشه از نانو سیلیکا به همراه جاذب فرابنفش آلی استفاده گردید و اثر ذرات نانو سیلیکا بر روی خواص فیزیکی - مکانیکی شفاف پوشه مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت فرمولاسیون بهینه آن ارائه گردید. به منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون، نانو سیلیکا، جاذب فرابنفش و آب به عنوان سه عامل اصلی در طراحی آزمایش منظور و براساس روش مخلوط طراحی آزمایش شدند. ثبات نوری، مقاومت سایشی، چسبندگی و براقیت به عنوان پاسخ مورد بررسی قرار گرفتند تا تأثیر هر عامل و برهم‌کنش آنها مشخص شود. ابتدا بر روی زمینه استاندارد دو نوع فرمولاسیون مرکب فلکسوگرافی بر پایه رنگدانه و دیگری بر پایه ماده رنگزا^۳ اعمال

1- Photodegradation

2- Clear coat

3- Dye

جدول ۳: طراحی آزمایش مربوط به مرکب بر پایه رنگدانه.

ΔE (ثبات نوری)	چسبندگی	سایش		فرمولاسیون (Run)
		براقیت	(میلی گرم کاهش وزن)	
۴,۷۱	۵B	۷۹,۳	۳	۱
۱۲,۹۴	۵B	۷۹,۸	۲,۸	۲
۳,۳۸	۵B	۸۳,۷	۴,۵	۳
۲,۹۲	۵B	۷۱,۶	۳,۶	۴
۱۱,۹۱	۵B	۷۲,۳	۳,۴	۵
۶,۸	۵B	۷۵,۱	۳,۱	۶
۴,۲۵	۵B	۷۲,۵	۳,۴	۷
۱۳,۰۶	۵B	۸۴,۳	۴,۶	۸
۷,۵۸	۵B	۸۱,۸	۳,۳	۹
۳,۴۹	۵B	۸۴,۱	۴,۵	۱۰

پس از بررسی و انتخاب مدل مناسب تغییرات سایش با تغییر فاکتورها مطابق شکل ۱ می‌باشد. از طرفی از آنجا که مقادیر R^2 به یکدیگر نزدیک بوده مدل منظور شده جهت بررسی اثر فاکتورها مناسب می‌باشد. چنانچه مدل مناسب نباشد باید سایر موارد از قبیل منحنی توزیع نرمال، منحنی مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و تبدیل مقدار پرس را بررسی نمود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شفاف پوشه بر روی مرکب بر پایه ماده رنگرزی

سایش

در بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر سایش مشاهده شد که مدل درجه دو کاهش یافته به خوبی این تغییرات را نشان می‌دهد که نتایج آنالیز واریانس آن در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۴: آنالیز واریانس.

p-value	F Value	متوسط مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰,۰۰۰۴	۸۵,۵۶	۰,۷۸	۵	۳,۸۸	مدل
۰,۰۰۰۳	۱۱۲,۶۲	۱,۰۲	۲	۲,۰۵	مدل خطی
۰,۸۶۳۸	۰,۰۳۳	۳,۰۳۶e-۴	۱	۳,۰۳۶e-۴	AB
۰,۹۹۹۳	۷,۸۴۰e-۷	۷,۱۱۹e-۹	۱	۷,۱۱۹e-۹	AC
۰,۰۰۰۳	۱۵۰,۳۷	۱,۳۷	۱	۱,۳۷	BC
۰,۴۶۱۳	۲,۰۹	۰,۰۱۰	۳	۰,۰۳۱	Lack of Fit

فیلتر مخصوص تنظیم گردید. برای به دست آوردن منحنی انعکاس طیفی و بر اساس آن، مختصات رنگی برای همه نمونه‌ها، از دستگاه اسپکتروفوتومتر Gretage Macbeth color eye 7000 A و اسپکتروفوتومتر X-Rite SP64 Portable Sphere با هندسه ۱۰ درجه و منبع نوری D65 استفاده گردید. میزان تغییرات رنگی بر اساس رابطه (ΔE^*) به دست آمد.

بر اساس روش آماری مخلوط و با در نظر گرفتن محدوده تغییرات عوامل مؤثر، پراکنش نانو سیلیکا (B) از ۰-۷,۶۸، حلال آب (C) از ۲۰-۱۱,۳۲ و جاذب فرابنفش Tinuvin 400 (A) از ۰-۱ درصد وزنی فرمولاسیون، فضای آزمایش D-Optimal می‌باشد [۹] که نتایج طراحی آزمایش‌ها همراه با پاسخ برای شفاف پوشه بر روی هر دو نمونه مرکب بر پایه ماده رنگرزی و بر پایه رنگدانه در جداول ۱ و ۲ ذکر شده است. از آنجا که ۸۰ درصد اجزاء تشکیل دهنده شفاف پوشه در همه فرمولاسیون‌ها مقدارشان یکسان است، این مقدار ثابت فرض شده و در نتیجه مجموع اجزاء متغییر در فرمولاسیون‌های طراحی آزمایش ۲۰ درصد می‌شود. لازم به ذکر است کلیه اندازه‌گیری‌ها در دمای محیط (24°C) انجام شده است.

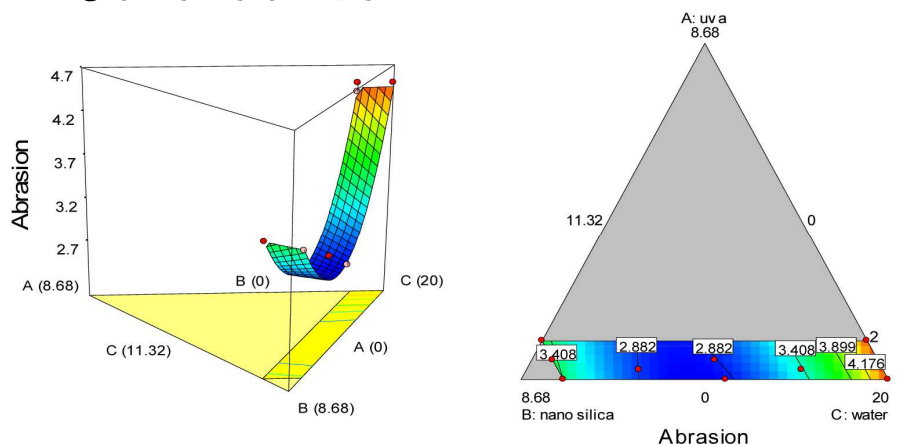
جدول ۲: طراحی آزمایش مربوط به مرکب بر پایه ماده رنگرزی.

ΔE (ثبات نوری)	چسبندگی	سایش		فرمولاسیون (Run)
		براقیت	(میلی گرم کاهش وزن)	
۲۹,۵۶	۵B	۸۳,۲	۲,۹	۱
۳۸,۴۲	۵B	۸۳,۴	۲,۸	۲
۲۶,۱۶	۵B	۸۶,۷	۴,۴	۳
۲۳,۷۴	۵B	۷۶,۸	۳,۵	۴
۳۷,۳۲	۵B	۷۷,۴	۳,۴	۵
۳۱,۸۱	۵B	۸۰,۱	۳	۶
۲۸,۳۹	۵B	۷۷,۳	۳,۴	۷
۳۹,۴۳	۵B	۸۷,۱	۴,۵	۸
۳۳,۰۳	۵B	۸۵,۵	۳,۳	۹
۲۵,۶۶	۵B	۸۶,۴	۴,۵	۱۰

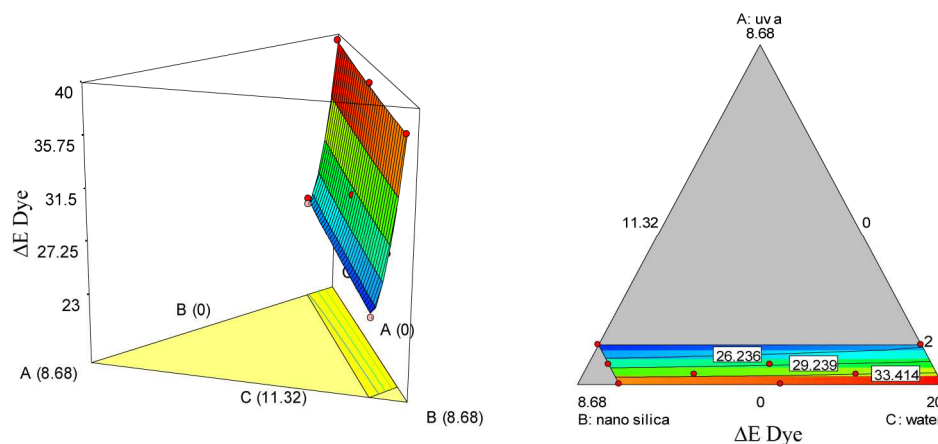
از آنجا که مقدار p-value (کمترین مقدار از α که بتوان فرضیه صفر را رد کرد) مدل از α (میزان احتمالی که فرضیه صفر رد شود در حالی که درست بوده است) کمتر است مدل انتخاب شده مناسب بوده و همچنین با توجه به اینکه p-value فاکتورها و برهم‌کنش آنها نیز کمتر از مقدار α است بیانگر مؤثر بودن آنها در مدل پیشنهادی و عدم وجود فاکتور اضافی در مدل است.

با توجه به شکل ۱ مشخص می‌گردد که جاذب فرابنفش آلی (UV A) نقشی در ثبات سایشی شفاف پوشه ندارد که البته از نظر تئوری نیز تأیید می‌گردد. لذا ضرایب مربوط به جاذب فرابنفش آلی نسبت به نانو سیلیکا بسیار کم است و همچنین نانو سیلیکا نقش بسیار تعیین کننده در میزان سایش ایفا می‌کند. زیرا یکی از دلایل کاربرد این مواد افزایش ثبات خراش و سایش پوشش‌ها بوده که این مطلب در عمل نیز اثبات گردید. میزان نانو سیلیکا برای افزایش ثبات سایشی، دارای یک مقدار بهینه است، زیرا در ابتدا با افزایش نانو سیلیکا میزان ثبات سایشی افزایش می‌یابد ولی بعد از نقطه بهینه کاهش در ثبات سایش مشاهده می‌گردد (البته هنوز نسبت به شفاف پوشه دارای ثبات سایشی بالایی است). زیرا در ابتدا با افزایش میزان ذرات نانو، ذرات نانوی سیلیکا بر روی سطح افزایش می‌یابد ولی بعد از نقطه بهینه با افزایش میزان ذرات نانو سیلیکا در سیستم، ایجاد تجمعات بزرگتر بیشتر می‌گردد و همگنی سیستم آلی - معدنی کم می‌شود و سبب پراکنش ضعیف ذرات نانو می‌گردد و در نتیجه عملکرد بهینه این ذرات نیز کاهش می‌یابد [۱۲].

لازم به ذکر است که در مورد سایر پاسخ‌ها مراحل انتخاب مدل، آنالیز واریانس، بررسی مناسب بودن مدل در مطابقت با نتایج تجربی و پیش‌بینی نتایج در سایر نقاط، تغییر مدل در صورت نیاز و رسم نمودارهای گرافیکی و ارائه مدل مناسب انجام شده که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد. به عنوان مثال از آنجا که در این روش آماری مقدار α معادل ۰,۰۵ منظور شده است لذا مدل و عواملی مؤثر هستند که مقادیر P-Value آنها از ۰,۰۵ کمتر باشد. همچنین در صورتی تغییر مدل لازم است که نتایج به دست آمده از مدل با نتایج تجربی مطابقت نداشته و یا قدرت تخمین نتایج در سایر نقاط ضعیف بوده و مدل نتایج دور از انتظار حاصل کند که بر اساس مقادیر لامبدا Box Cox (تبدیل Box Cox به منظور ثابت کردن واریانس و به دست آوردن مدل مناسب استفاده می‌شود) تغییر مدل انجام شده است. به عنوان مثال اگر مقدار لامبدا صفر باشد مدل مناسب، لگاریتمی و اگر منفی یک (-۱) باشد مدل مناسب، معکوس می‌باشد که در هر پاسخ در صورت نیاز بر حسب شرایط اعمال شده است [۱۱].



شکل ۱: نمودارهای سطح پاسخ دو بعدی و سه بعدی مربوط به سایش.



شکل ۲: نمودارهای سطح پاسخ دو بعدی و سه بعدی مربوط به ثبات نوری.

ثبات نوری

تمام نمونه‌های چاپی، میزان مقاومت چسبندگی ۵B بود و هیچ‌گونه برداشتی از روی زمینه صورت نگرفت و مطلوب‌ترین مقاومت چسبندگی حاصل گردید. لذا با توجه به اینکه چسبندگی برای همه نمونه‌ها یکسان بود، مقدار این ویژگی وارد طراحی آزمایش نشد.

بهینه‌سازی پاسخ‌ها

بعد از این که تأثیر عوامل و برهم‌کنش‌های موجود بر روی هر یک از پاسخ‌ها بررسی شد، به منظور بهینه‌سازی می‌توان از دو روش عددی و گرافیکی استفاده کرد که در این تحقیق از روش بهینه‌سازی گرافیکی استفاده گردید.

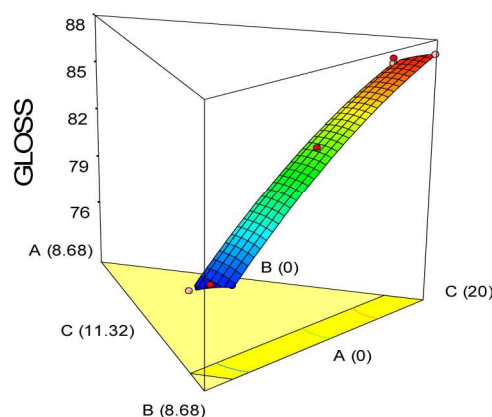
بهینه‌سازی گرافیکی پاسخ‌ها

در این مرحله می‌توان محدوده‌ای از پاسخ‌های بهینه که مورد نظر محقق یا تولیدکننده است را تعیین و به طور هم‌زمان اعمال کرد تا محدوده عواملی که چنین پاسخ‌هایی را ایجاد می‌کنند، تعیین شود. در این تحقیق شرایط بهینه هر پاسخ در جدول ۵ ذکر شده است که با اعمال آنها محدوده این عامل‌ها مطابق شکل ۵ حاصل می‌شود.

جدول ۵: محدوده بهینه پاسخ‌ها.

پاسخ	ثبات نوری (ΔE)	براقیت	مقاومت سایشی	چسبندگی
محدوده بهینه	۲۴-۳۲	۸۰-۸۷	۲,۸-۳,۵	۵ B

1- Synergistic



شکل ۳: نمودارهای سطح پاسخ دو بعدی و سه بعدی مربوط به براقیت.

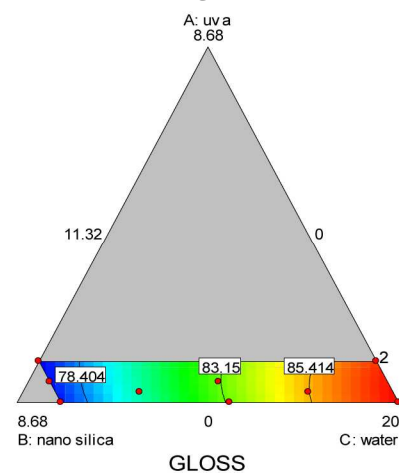
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود اثر حفاظتی جاذب فرابنفش آلی نسبت به نانو سیلیکا بسیار بیشتر است و مطلوب‌ترین حالت بر اساس حداکثر میزان نانو سیلیکا و جاذب فرابنفش آلی در منحنی کاملا مشخص است که این واقعیت با داده‌های حاصل از نمودار UV-visible نیز تطابق کامل دارد. همچنین اثر استفاده هم‌زمان جاذب‌های فرابنفش آلی و معدنی به صورت هم‌افزایی^۱ بوده و هیچ‌گونه اثر تداخلی کاهشی مشاهده نگردید. همچنین این آزمایش موثر بودن نانو سیلیکا، در جذب پرتوهای فرابنفش را نشان داد.

براقیت (زاویه ۶۰ درجه)

در شکل ۳ مشاهده می‌شود جاذب فرابنفش آلی نقشی در براقیت ندارد ولی نانو سیلیکا سبب کاهش براقیت می‌شود. البته تا قبل از نقطه بهینه، این کاهش نسبت به شفاف پوشه بدون نانو، بسیار کم است ولی در درصد‌های بالاتر، این کاهش دارای شیب بیشتری می‌گردد. این ویژگی این‌گونه تفسیر می‌شود که افزایش میزان نانو سیلیکا در فرمولاسیون، سبب افزایش تعداد تجمعات ذرات نانو و همچنین بزرگتر شدن این تجمعات روی سطح شفاف پوشه می‌گردد و از جهتی که براقیت یک پدیده سطحی است، براقیت کاهش می‌یابد [۱۳، ۱۴].

چسبندگی

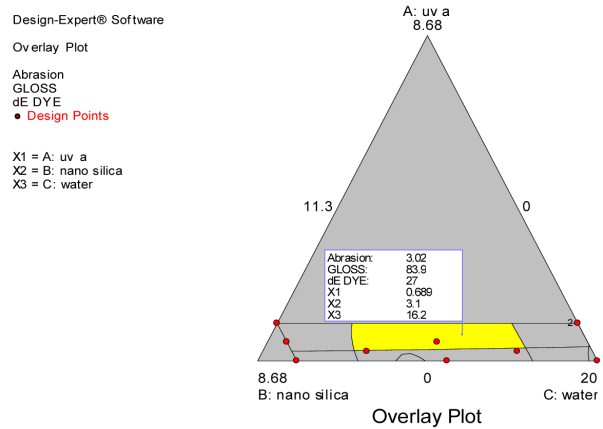
برای بررسی چسبندگی از چسب استاندارد استفاده گردید. به طوری که برای هر نمونه چاپی و همچنین نمونه چاپ همراه لاک شفاف، مقدار مشخصی از چسب جدا گردید و مطابق با روش‌های ارائه شده بر اساس میزان برداشت مرکب یا شفاف پوشه از روی زمینه میزان چسبندگی اندازه‌گیری شد [۱۵]. با بررسی‌های صورت گرفته، برای



در سایش دارد و بیشترین تأثیر را نانوذرات دارند. همان‌طور که از نظر تئوری این واقعیت قابل تأیید است، با افزایش ذرات نانو سیلیکا بعد از محدوده بهینه، تجمعات این ذرات روی سطح بیشتر می‌شود و در نتیجه زبری افزایش می‌یابد.

براقیت (زاویه ۶۰ درجه)

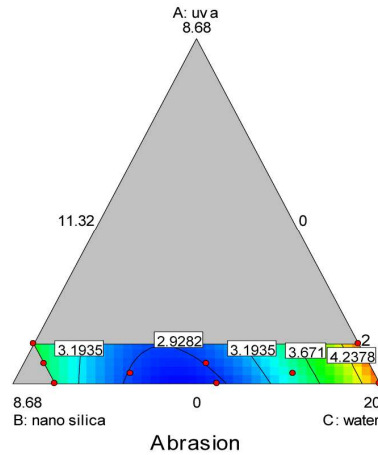
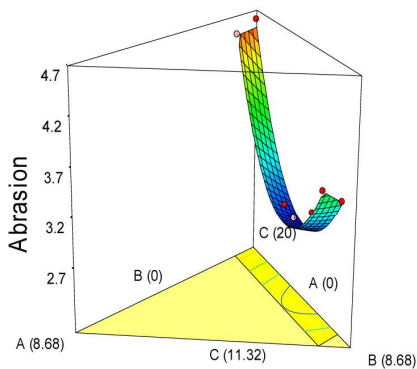
مشاهده می‌شود که مانند ماده رنگریزی، رفتار مشابهی را شاهد هستیم به طوری که هر چه میزان نانو سیلیکا افزایش می‌یابد میزان براقیت کاهش می‌یابد و عملاً جاذب فرابنفش آلی نقشی در براقیت ندارد. در فرمولاسیون رنگدانه به دلیل خصیصه ذره‌ای بودن آن، براقیت نسبت به ماده رنگریزی کاهش یافته است البته به دلیل مقدار کم (۸ درصد) رنگدانه اضافه شده به فرمولاسیون و دانه‌بندی پایین پراکنش رنگدانه، این کاهش چشمگیر نیست و این سیستم نیز دارای براقیت بالایی است (شکل ۶). همچنین روند کاهش براقیت برای لاک شفاف همراه مقادیر مختلف نانو سیلیکا و جاذب فرابنفش آلی مطابق با فرمولاسیون مرکب با ماده رنگریزی است.



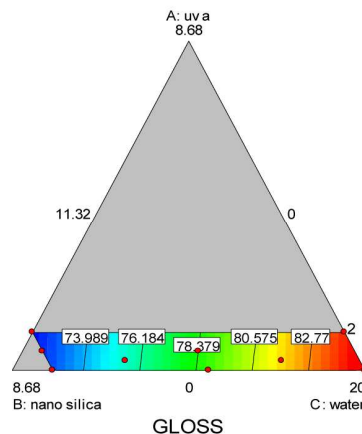
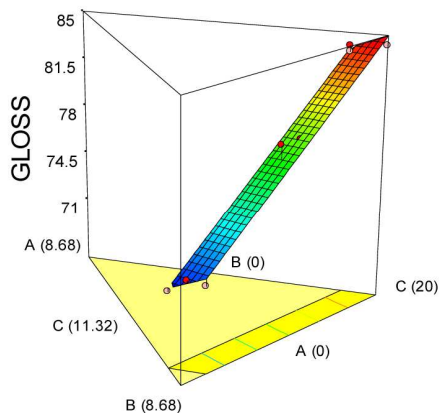
شکل ۴: نمودار بهینه‌سازی گرافیکی.

۳-۲- شفاف پوشه بر روی مرکب بر پایه رنگدانه سایش

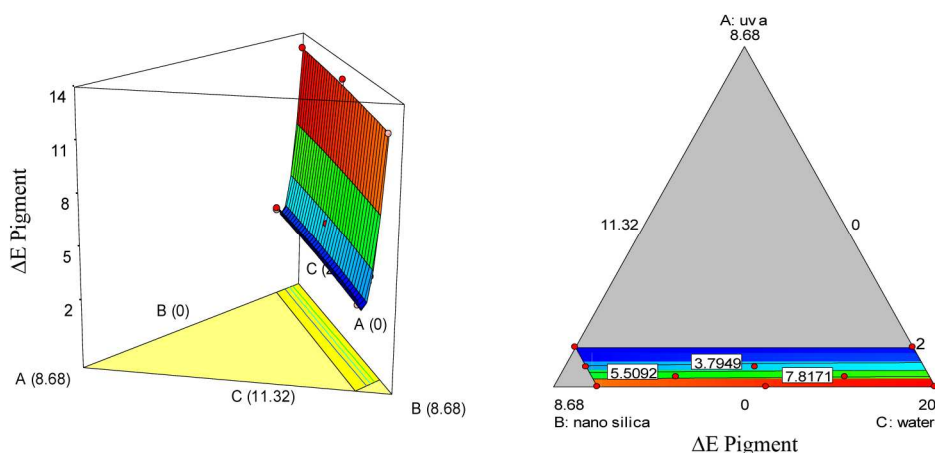
با توجه به نمودارهای شکل ۵، جاذب فرابنفش آلی اثر بسیار ناچیزی



شکل ۵: نمودارهای سطح پاسخ دو بعدی و سه بعدی مربوط به سایش.



شکل ۶: نمودارهای سطح پاسخ و تأثیر عوامل مؤثر بر براقیت.



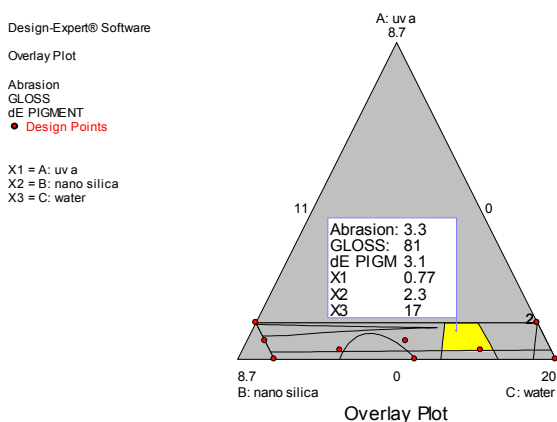
شکل ۷: نمودارهای سطح پاسخ و تاثیر فاکتورها بر ثبات نوری.

می‌شود در جدول ۶ گزارش شده که مطابق با آن بهینه‌سازی گرافیکی صورت گرفته است.

جدول ۶: محدوده بهینه پاسخ‌ها.

پاسخ	ثبات نوری (ΔE)	براقیت	مقاومت سایشی	چسبندگی
محدوده بهینه	۳-۸	۸۰-۸۴	۲,۹-۳,۶	۵ B

شکل ۸ در واقع بیانگر محدوده عوامل مؤثر است که تمامی پاسخ‌ها در محدوده بهینه ذکر شده در جدول ۹ می‌باشند.



شکل ۸: نمودار بهینه‌سازی گرافیکی.

ثبات نوری

همان‌طور که در قسمت مربوط به فرمولاسیون ثبات نوری ماده رنگری توضیح داده شد، نمودار فضای پاسخ سه‌بعدی (شکل ۷) نشان‌گر این است که جاذب فرابنفش آلی و معدنی در جذب نور فرابنفش تأثیر داشته‌اند ولی میزان جذب نانو سیلیکا نسبت به جاذب فرابنفش آلی کمتر است و لذا با مقادیر کم از این جاذب می‌توان به اثر محافظتی بالاتری دست یافت. از طرفی همان‌طور که از مقادیر مربوط به تغییرات رنگی رنگدانه و ماده رنگری مشخص است ثبات نوری رنگدانه بالاتر از ماده رنگری است زیرا علاوه بر خاصیت ذره‌ای بودن رنگدانه نسبت به مولکولی بودن ماده رنگزا، ساختار ماده رنگزا بر پایه تری‌آریل متان است در حالی که ساختار رنگدانه بر پایه آزو است که پایداری نوری بالاتری را دارا می‌باشد. لذا میزان تغییرات رنگی و همچنین تأثیر محافظت شفاف پوشه در هر دو مرکب متفاوت است.

چسبندگی

با بررسی‌های صورت گرفته، برای تمام نمونه‌های چاپی، میزان مقاومت چسبندگی ۵B بود به طوری که هیچگونه برداشتی از روی زمینه صورت نگرفت و مطلوب‌ترین مقاومت چسبندگی حاصل گردید. لذا با توجه به اینکه چسبندگی در بهترین حالت برای همه نمونه‌ها حاصل گردید، مقدار این ویژگی وارد طراحی آزمایش نشد.

بهینه‌سازی گرافیکی

دامنه خواص مطلوب مرکب که باعث چاپی با خصوصیات بهینه

سیلیکا در محافظت نوری هر دو نوع مرکب به خوبی مشهود است. با بررسی ثبات نوری مشخص گردید که نانو سیلیکا اثر کمتری نسبت به جاذب‌های فرابنفش آلی در جذب پرتوهای فرابنفش دارا است ولی این ماده افزودنی علاوه بر کاهش تخریب نوری ماده رنگزا و رنگدانه سبب بهبود سایر خصوصیات فیزیکی مکانیکی شفاف پوشه می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از روش طراحی آماری ناحیه بهینه لاک شفاف بر روی هر دو نوع نمونه مرکب با توجه به پاسخ‌های اندازه‌گیری شده تعیین شد که وابسته به نوع مرکب این نواحی با یکدیگر متفاوت هستند. میزان ثبات نوری مرکب بر پایه ماده رنگرزی بسیار پایین‌تر از مرکب بر پایه ماده رنگزا است و اثر شفاف پوشه همراه جاذب فرابنفش آلی و نانو

۵- مراجع

1. P. Laden, Chemistry and technology of water based inks. Blackie A & P, London.1997, 1-11.
2. R. H. Leach, R. J. Pierce, Eds. The printing ink manual. 5th Ed, 1993.
3. D. Argent, C. Patterson, S. Field, S. Gilbert, G. Sickinger, Flexography: Principles & Practices. Foundation of Flexographic, 1999.
4. A. C. I. A. Peters, G. C. Overbeek, T. Annable, Bimodal particle size distribution polymer/oligomer combinations for printing ink applications. *Prog. Org. Coat.* 38(2000), 137-150.
5. Ph. Katangur, P. K. Patra, S. B. Warner. Nanostructured ultraviolet resistant polymer coatings. *Polym. Degrad. Stab.* 91(2006), 2437-2442.
6. F. Aloui, A. Ahajji, Y. Irmouli, B. George, B. Charrier, A. Merlin, Inorganic UV absorbers for the photostabilisation of wood-clear coating systems: Comparison with organic UV absorbers. *Appl. Surf. Sci.* 253(2007), 3737-3745.
7. A. Fogden, M. Rentzhog, Correlations between properties of water-based flexographic inks and their print uniformity on PE-coated board. *Nordic Pulp. Paper Res. J.* 21(2006). 403-411.
8. B. Mahltig, H. Bo'ttcher, K. Rauch, U. Dieckmann, R. Nitsche, T. Fritz, Optimized UV protecting coatings by combination of organic and inorganic UV absorbers. *Thin Solid Films.* 485(2005), 108-114.
9. A. Karbasi, S. Moradian. Achievment of optimal aluminium flake orientation by the use of special cubic experimental design. *Prog. Org. Coat.* 57(2006), 175-182.
10. A. Gupta .Optimization of product performance of a paint formulation using a mixture experiment. *J. Appl. Stat.* 28(2001), 199-213.
11. S. Fatemi, M. Khakbaz Varkani, Z. Ranjbar, S. Bastani, Optimization of the water-based road-marking paint by experimental design, mixture method. *Prog. Org. Coat.* 55(2006), 337-344.
12. M. Jalili, S. Moradian, H. Dastmalchian, A. Karbasi. Investigating the variations in properties of 2-pack polyurethane clear coat through separate incorporation of hydrophilic and hydrophobic nano-silica. *Prog. Org. Coat.* 59(2007), 81-87.
13. Z. Ranjbar, S. Rastegar. The influence of surface chemistry of nano-silica on microstructure, optical and mechanical properties of the nano-silica containing clear-coats. *Prog. Org. Coat.* 65(2009), 125-130.
14. M. M. Jalili, S. Moradian. Deterministic performance parameters for an automotive polyurethane clearcoat loaded with hydrophilic or hydrophobic nano-silica. *Prog. Org. Coat.* 66(2009), 359-366.
15. M. Rentzhog, A. Fogden, Print quality and resistance for water-based flexography on polymer-coated boards: Dependence on ink formulation and substrate pretreatment. *Prog. Org. Coat.* 57(2006), 183-194.