

بهبود چسبندگی مرکب‌های بر پایه آب فلکسوگرافی بر روی مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن با استفاده از عوامل ارتقاء دهنده چسبندگی سیلانی

علیرضا سوخته سرایی^۱، محمد آزاد فلاح^{۲*} و سعید باستانی^۳

۱- دانشجوی دکترای مهندسی علوم و صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: adfallah@ut.ac.ir

۳- دانشیار، مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۶

چکیده

چاپ فلکسوگرافی پرکاربردترین تکنولوژی چاپ در صنایع بسته‌بندی می‌باشد. اما عدم چسبندگی مناسب مرکب بر پایه آب بر روی مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن یکی از مهمترین مشکلات محسوب می‌شود. عوامل ارتقاء دهنده چسبندگی از نوع سیلان از جمله بهترین افزودنی‌هایی هستند که به‌عنوان عامل تشکیل دهنده اتصالات عرضی و عوامل ضد آب در صنایع مرکب و پوشش می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش از عامل ارتقا دهنده N-بتا-(آمینو اتیل)-گاما-آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲-(۴،۳-اپوکسی سیکلو هگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان به‌منظور بهبود چسبندگی مرکب آب پایه به مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان چسبندگی با افزایش ۵ درصد N-بتا-(آمینو اتیل)-گاما-آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان حاصل شد. افزودن ترکیبات سیلانی به ترکیب مرکب چاپ باعث افزایش زاویه تماس و آب‌گریزی فیلم مرکب بر روی سطح مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن شد. همچنین، با افزودن سیلان به ترکیب مرکب، کشش سطحی مرکب چاپ کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: چاپ فلکسوگرافی، چسبندگی، بسته‌بندی، مرکب بر پایه آب، سیلان.

مقدمه

چاپ فلکسوگرافی یک روش فراگیر برای انواع محصولات چاپی و پرکاربردترین روش چاپ برای صنعت بسته‌بندی است. زیرا حالت ارتجاعی صفحات چاپ فلکسوگرافی امکان چاپ بر روی سطح زیرآیندهای^۱ مختلف اعم از کاغذ، مقوا، پلی‌استرها، پلی‌اولفین‌ها

(پلی اتیلن و پلی پروپیلن)، سطوح متخلخل، غیرمتخلخل، سطوح فلزدار شده، کاغذ دیواری، مجلات، روزنامه‌ها و غیره را فراهم می‌سازد. کیفیت این نوع چاپ بستگی به خواص فیزیکی-شیمیایی مرکب‌ها و خصوصیات زیرآیند دارد (Kippen, 2001). خصوصیات زیرآیند مانند توپوگرافی سطح، تخلخل، انرژی سطحی و انواع گروه‌های عاملی موجود در سطح، تعیین‌کننده گیرایی مرکب چاپ و امکان چسبندگی آن به سطح زیرآیند بوده و کیفیت نهایی

1- Substrate

شدن و انتقال اجزای تشکیل دهنده مرکب چاپ به داخل مواد غذایی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. این پژوهش به منظور بهبود چسبندگی مرکب‌های بر پایه آب فلکسوگرافی بر روی سطح مقوای پوشش داده شده با پلی-اتیلن از طریق تعیین مناسب‌ترین شرایط و میزان مصرف عوامل ارتقاء دهنده چسبندگی سیلانی در ترکیب مرکب بر پایه آب فلکسوگرافی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این پژوهش به منظور تهیه مرکب چاپ از ایزوپروپیل الکل ۹۸٪ (شرکت مرک آلمان) استفاده گردید. رنگ‌دانه مورد استفاده در این پژوهش از نوع رنگدانه آبی L 7080 شرکت BASF و اتصال دهنده از نوع رزین امولسیون استایرن آکریلیک با کد PR578C از شرکت رزین فام (جدول ۱) تهیه شده است. در این تحقیق از عامل ضد کف عاری از سیلیکون از نوع BYK-011 و عامل پخش کننده با شماره DISBYK-2015 تهیه شده از شرکت BYK که مناسب سیستم آبی هستند، استفاده شد. مقوای پشت سفید^۱ پوشش داده شده با پلی‌اتیلن و اصلاح شده با کرونا از چاپخانه ماندگار (ایران) تهیه شد. وزن پایه مقوا برابر با ۱۳۰ گرم بر مترمربع و وزن پوشش^۲ پلی‌اتیلن پوشش داده شده بر روی مقوا برابر با ۱۵ گرم بر مترمربع می‌باشد.

در این پژوهش از عوامل ارتقاء دهنده چسبندگی N-بتا-(آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲-(۳-اپوکسی سیکلو هگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان به منظور بهبود چسبندگی مرکب بر پایه آب فلکسوگرافی استفاده شد. ساختار این عوامل در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

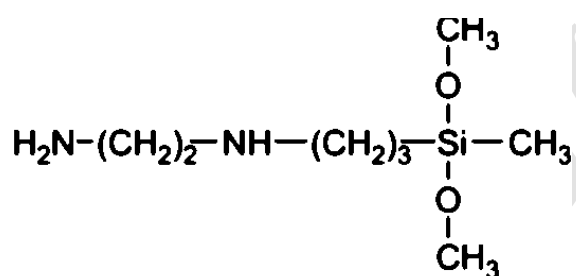
چاپ را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بکارگیری و گسترش مرکب‌های بر پایه آب در چاپ فلکسوگرافی یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در گسترش چاپ فلکسوگرافی بوده و این تکنیک چاپ را به یک فرایند دوست‌دار محیط‌زیست مبدل کرده است (Rentzhog, 2005). اگرچه فرایند فلکسوگرافی فرایند غالب چاپ دنیا در صنعت بسته‌بندی می‌باشد، اما کیفیت چاپ محصولات چاپ شده کمتر از چاپ افست است (Tryznowska, 2013). یکی از مهمترین مشکلات مطرح شده در مورد کیفیت چاپ فلکسوگرافی، عدم چسبندگی مناسب مرکب‌های فلکسوگرافی به سطح زیرآیند به ویژه سطوح پلی‌اولفینی می‌باشد (Laden, 1997). از جمله عوامل مؤثر در چسبندگی ضعیف بر سطوح این نوع زیرآیندهای پلیمری می‌توان به کم بودن انرژی سطحی و قطبیت کم اشاره کرد (Garnish, 1980). لازمه ترشوندگی چنین زیرآیندهایی توسط مرکب و ایجاد چسبندگی خوب، کاستن از کشش سطحی مرکب یا افزایش انرژی سطحی زیرآیند با روش‌های مختلف عمل‌آوری سطح می‌باشد (Podhajny, 1991). چسبندگی ضعیف مرکب‌های بر پایه آب علاوه بر کاهش کیفیت چاپ مشکلات متعددی از جمله افزایش مهاجرت^۱ اجزای مرکب به داخل ماده غذایی را در بسته‌بندی مواد غذایی ایجاد خواهد کرد (Vasile, 2000). سیلان‌ها از جمله مهمترین عوامل ارتقاء دهنده چسبندگی محسوب شده و به‌عنوان عوامل اتصال‌دهنده عرضی و ضد آب نیز در صنایع مختلف مانند صنایع رنگ، مرکب و پوشش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از متداول‌ترین کاربردهای خانواده سیلان‌ها، به‌کارگیری آنها به صورت افزودنی مرکب می‌باشد (Witucki, 1992). به همین دلیل ساخت یک مرکب مناسب دارای اهمیت زیادی در ارتباط با بهبود چسبندگی مرکب چاپ می‌باشد. همچنین توسعه مرکب‌های چاپ با قابلیت چسبندگی بهتر و جلوگیری از بروز مشکلات ناشی از عدم چسبندگی مناسب مرکب به سطوح پلی‌اولفینی مانند شسته

2-White Back Duplex Board
3-Coat weight

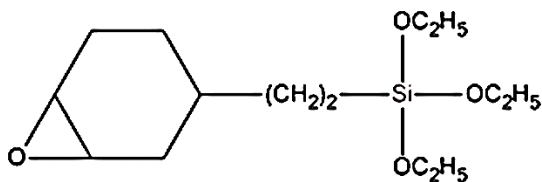
1- Migration

جدول ۱- مشخصات رزین امولسیون استایرن آکرلیک PR578C

مقدار/کیفیت	فاکتور
سفید شیری	ظاهر
۴۶	مقدار مواد جامد (درصد وزنی)
۱/۰۴	دانسیته (g/cm ³)
۸	pH
۱۲۰۰	ویسکوزیته
۵۰	میزان اسید
۱۹	حداقل دمای تشکیل فیلم ۱ (°C)



شکل ۱- ساختار N-بتا- (آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان



شکل ۲- ساختار ۲- (۴،۳- اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان

1- Minimum film formation temperature

روش‌ها

در ابتدا به منظور سنتز مرکب - آب مقطر، ایزوپروپیل الکل، عامل پخش کننده در درون یک ظرف نمونه مخلوط شده و برای اختلاط کامل آنها پنج دقیقه بر روی همزن مخلوط شدند. سپس رنگدانه^۱ به آرامی به سوسپانسیون اضافه شد. بعد از افزودن رنگدانه سرعت همزن را بر روی ۲۰۰۰ دور در دقیقه تنظیم کرده و عمل اختلاط تا زمانی که اندازه رنگدانه‌ها به زیر ۳ میکرون برسند، ادامه یافت. لازم به ذکر است که برای پخش بهتر رنگدانه در ساختار مرکب از دانه‌های ریز کریستال (با قطر ۱ میلی‌متر) استفاده شد. در پایان رزین استایرن آکریلات و ارتقا دهنده چسبندگی از نوع سیلان به ترکیب مرکب اضافه شد. به منظور تشکیل فیلم مرکب بر روی سطح مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن و اصلاح شده با کرونا از دستگاه پوشش دهنده میله‌ای^۲ شرکت R.K با قابلیت تشکیل فیلم خشک با ضخامت ۴ میکرومتر استفاده شده است. پس از آماده سازی تیمارها و تشکیل فیلم مرکب آزمایش‌های مورد نظر بر روی زیرآیند مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن انجام شد. به منظور بررسی تأثیر ترکیبات سیلانی بر کشش سطحی مرکب از دستگاه کشش سطحی^۳ مدل K100MK2 شرکت KRUSS استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری زاویه تماس استاتیک از دستگاه OCA 15 plus شرکت Dataphysics و برای بررسی چسبندگی مرکب بر روی فیلم پلی اتیلن از آزمون چسب نواری^۴ استفاده شد. در ابتدا چسب نواری بر روی فیلم مرکب خشک شده چسبانده شد و بعد از روی سطح برداشته شد، در ادامه سطح فیلم مرکب خشک شده روی مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن توسط پیمایشگر بسیار هوشمند ساخت شرکت VIOSCAN تصویربرداری شده و نقاطی از فیلم مرکب که توسط چسب نواری برداشته شده است، اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون مرکب، بررسی تأثیر فاکتورهای مختلف و طراحی آزمایش از نرم‌افزار Design Expert 7 استفاده شد. در این تحقیق روش طراحی آزمایش D-Optimal (روش طراحی D-Optimal از جمله روش‌های طراحی سطح پاسخ^۵ CGD است که از جمله مهمترین ویژگی آن به حداقل رساندن بیشینه تغییرات مقادیر پاسخ‌های پیش بینی شده در ناحیه مورد تحقیق است) انتخاب شد. نوع و میزان ارتقاء دهنده چسبندگی سیلانی، میزان رنگدانه و اتصال دهنده از جمله عوامل متغیر در این پژوهش در نظر گرفته شدند. سپس تعداد، نام و محدوده تغییرات فاکتورها به نرم‌افزار داده شد و تحلیل انجام گردید. در این پژوهش چسبندگی فیلم مرکب طبق استاندارد ASTM F2252-03، زاویه تماس طبق استاندارد ISO 15989:2004، کشش سطحی طبق استاندارد ASTM D1331-1 و مقاومت چاپ نسبت به آب طبق استاندارد ISO - 2836 - 2007 اندازه‌گیری شد.

نتایج

در ابتدا با توجه به فرمول پیش فرض، محدوده اجزا متغیر ترکیب مرکب از جمله نوع و میزان سیلان، میزان رنگدانه و میزان اتصال دهنده به نرم‌افزار Design-Expert داده شد (جدول ۲).

با توجه به محدوده مشخص شده اجزای مختلف، نرم‌افزار تعداد ۱۹ تیمار به معنای ۱۹ نقطه از محدوده مورد بررسی را انتخاب کرد که در جدول ۳ ارائه شده است. در ادامه تعداد پاسخ‌ها و واحد فاکتورها به نرم‌افزار داده شد.

1- Pigment
2- Rod coater
3- Tensiometer
4- Tape test

5- Central generated design

جدول ۲- محدوده اجزا متغیر ترکیب مرکب

فاکتور	حداقل (درصد)	حداکثر (درصد)
میزان سیلان	۲/۵	۶
رنگدانه	۸	۱۸
اتصال دهنده	۲۵	۳۵
نوع سیلان	اپوکسی سیلان- آمینوسیلان	

جدول ۳- نسبت اجزاء مختلف مرکب چاپ

تیمار	نوع سیلان	سیلان (درصد)	مقدار رنگدانه (درصد)	اتصال دهنده (درصد)
شاهد	-	۰	۱۰	۳۵
۱	آمینو سیلان	۲/۹۱۷	۱۰/۴۱	۳۱/۶۶
۲	آمینو سیلان	۵	۱۰	۳۰
۳	اپوکسی سیلان	۳/۳۳	۱۰/۸۳	۳۰/۸۳
۴	اپوکسی سیلان	۳/۷۵	۱۱/۲۵	۳۰
۵	آمینو سیلان	۲/۵	۱۱/۲۵	۳۱/۲۵
۶	آمینو سیلان	۲/۵	۱۲/۵	۳۰
۷	اپوکسی سیلان	۲/۵	۱۰	۳۰/۵
۸	اپوکسی سیلان	۲/۵	۱۱/۲۵	۳۱/۲۵
۹	اپوکسی سیلان	۳/۷۵	۱۰	۳۱/۲۵
۱۰	اپوکسی سیلان	۲/۹۱۷	۱۰/۴۱	۳۱/۶۶
۱۱	آمینو سیلان	۲/۵	۱۲/۵	۳۰
۱۲	اپوکسی سیلان	۵	۱۰	۳۰
۱۳	آمینو سیلان	۳/۷۵	۱۱/۲۵	۳۰
۱۴	آمینو سیلان	۲/۵	۱۰	۳۲/۵
۱۵	اپوکسی سیلان	۲/۵	۱۲/۵	۳۰
۱۶	آمینو سیلان	۳/۷۵	۱۰	۳۱/۲۵
۱۷	اپوکسی سیلان	۴/۱۶۷	۱۰/۴۱	۳۰/۴۱
۱۸	آمینو سیلان	۳/۳۳	۱۰/۸۳	۳۰/۸۳

مقاومت چاپ نسبت به آب اندازه‌گیری شدند. طبق خروجی نرم‌افزار طراحی آزمایش اجرا شد و پس از انجام آزمون‌های مذکور مقادیر هر پاسخ با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده به نرم‌افزار گزارش شد.

در تمامی تیمارها مجموع مقدار سیلان، رنگدانه و اتصال دهنده ۴۵ درصد و میزان آب ۵۵ درصد می‌باشد. برای نمونه‌های مورد بررسی چهار ویژگی به ترتیب شامل چسبندگی، کشش سطحی مرکب، زاویه تماس و

استفاده از چهار اندازه‌گیری از چهار نمونه متفاوت می‌باشد. تجزیه و تحلیل آماری تأثیر نوع تیمار بر ویژگی‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های زاویه تماس، چسبندگی (میزان برداشت مرکب)، کشش سطحی مرکب و مقاومت چاپ نسبت به آب تیمارهای ساخته شده در شکل‌های ۵-۷ به طور خلاصه ارائه شده‌اند. هر یک از مقادیر میانگین با

جدول ۴- خلاصه جدول تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر خواص اندازه‌گیری شده

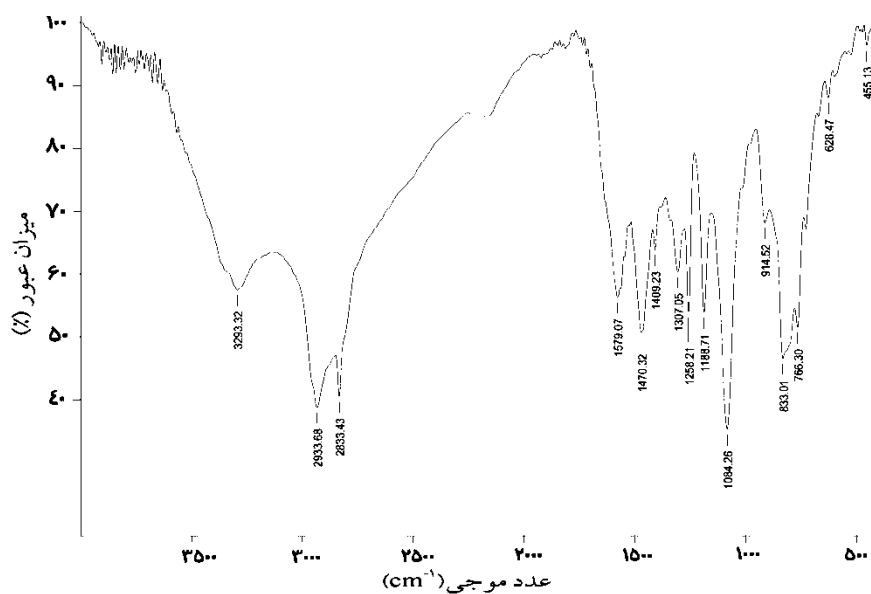
F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی	منابع تغییر
۳۳/۶۴*	۸/۰۸	۴۰/۳۸	۵	چسبندگی
۱۴/۶۵*	۱۱/۲۵	۲۲/۴۹	۲	زاویه تماس
۱۰۶/۸۱*	۲/۰۰	۲۲/۰۳	۱۱	کشش سطحی
.	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱	مقاومت چاپ نسبت به آب

*: سطح معنی‌دار ۹۵ درصد، NS: معنی‌دار نمی‌باشد.

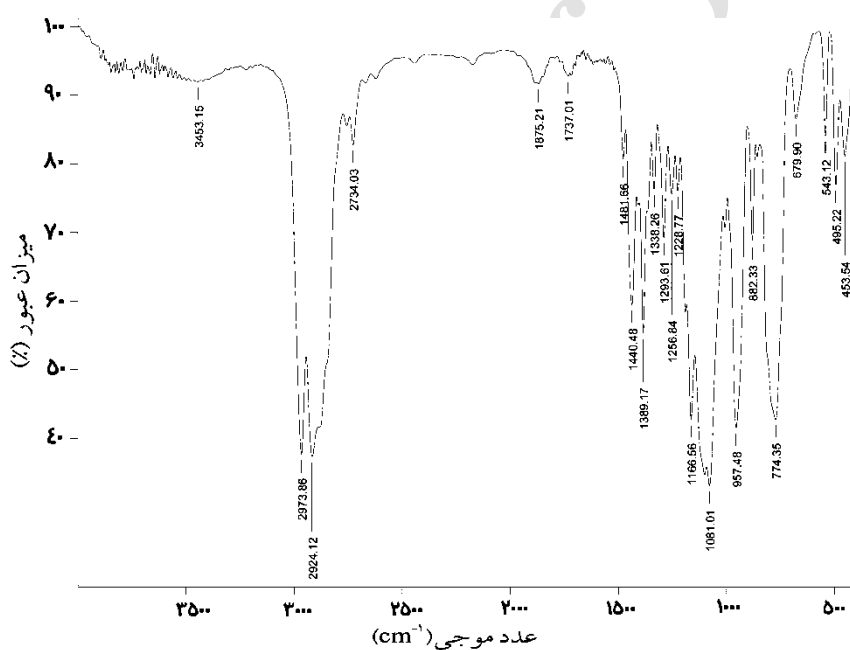
2833 cm^{-1} مشاهده می‌شوند. در طیف FTIR ترکیب ۲- (۳،۴- اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان (شکل ۴) پیک ظاهر شده در 1081 cm^{-1} مربوط به پیوند Si-O و پیک 914 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی C-O اپوکسی می‌باشد. همچنین پیک‌های 2924 cm^{-1} و 2973 cm^{-1} مربوط به C-H می‌باشد. قابل ذکر است که پیک مربوط به 3293 cm^{-1} مربوط به C-H اپوکسی است (Barbara, 2004). آنالیزهای انجام شده به خوبی ساختار شیمیایی این ترکیب‌ها را تأیید کردند.

طیف بینی فرو سرخ فوریه^۱ طیف FTIR برای شناسایی ساختار شیمیایی افزودنی‌های سیلانی، از ترکیب N-بتا-(آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲- (۳،۴- اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان گرفته شد (شکل‌های ۳ و ۴). در طیف FTIR ترکیب گاما-آمینو تری اتوکسی سیلان (شکل ۳) پیک ظاهر شده در 833 cm^{-1} و 1084 cm^{-1} مربوط به پیوند Si-O و Si-O-Si می‌باشد. همچنین پیک موجود در ناحیه 1188 cm^{-1} مربوط به پیوند C-N و پیک ناحیه 1307 cm^{-1} نیز مربوط به پیوند Si-C می‌باشد. پیک‌های ناحیه 1579 cm^{-1} ، 2933 cm^{-1} و 3293 cm^{-1} نیز مربوط به ارتعاشات خمشی و کششی گروه آمینی NH_2 می‌باشند. پیک مربوط به پیوندهای C-H موجود در ساختار نیز در

1- FTIR



شکل ۳- طیف FTIR از *N*-بتا-(آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان



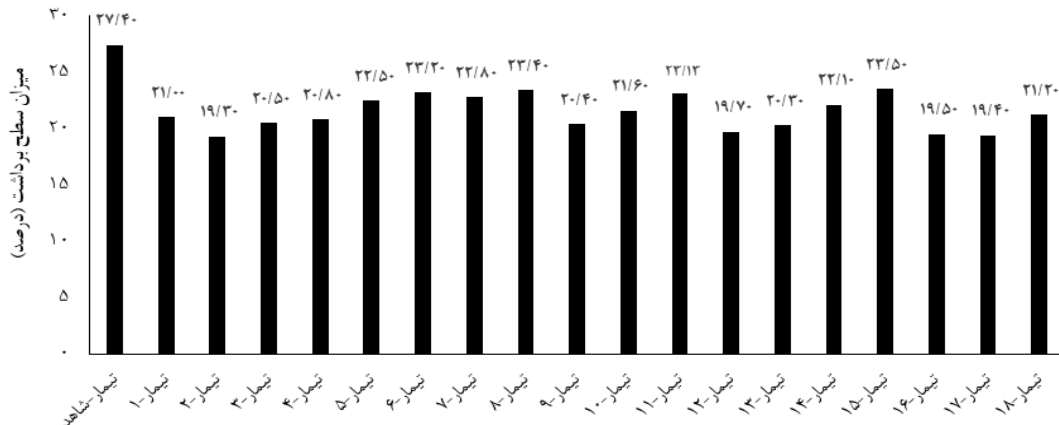
شکل ۴- طیف FTIR از ۲-(۴،۳- اپوکسی سیکلو هگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان

سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار بوده است (جدول ۴). همان-
طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار سطح
برداشت (کمترین میزان چسبندگی) مربوط به تیمار شاهد می-
باشد که فاقد ارتقاء دهنده چسبندگی سیلان بوده است و
کمترین مقدار (بیشترین میزان چسبندگی) آن مربوط به تیمار
شماره ۲ می‌باشد که دارای ۵ درصد ترکیب *N*-بتا-(آمینو

چسبندگی فیلم مرکب (میزان سطح برداشت مرکب^۱ در
آزمون نواری)
تأثیر میزان افزایش سیلان به فرمولاسیون مرکب بر
چسبندگی (میزان سطح برداشت مرکب در آزمون نواری) در

1- Picked up ink level

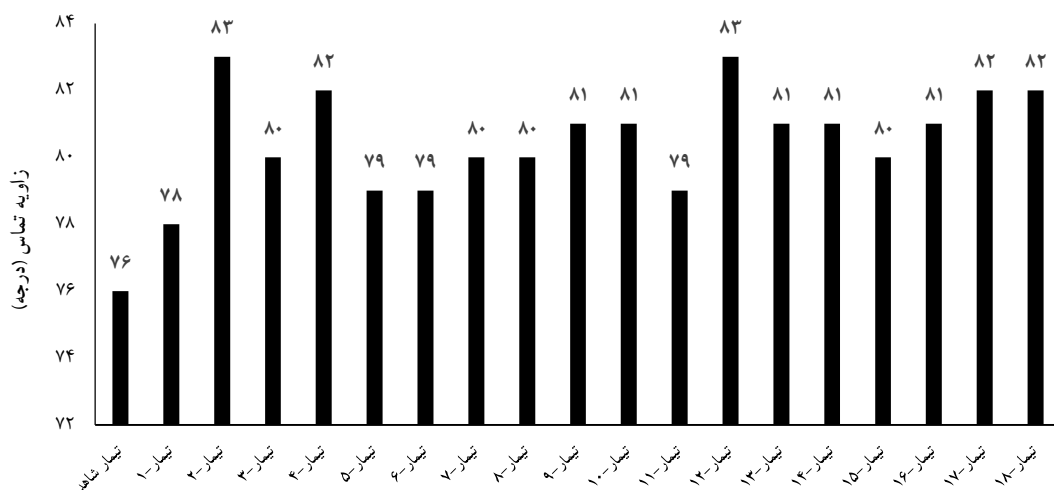
اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان است.



شکل ۵- تأثیر تیمارهای اعمال شده بر میزان سطح برداشت فیلم مرکب

زاویه تماس مربوط به تیمار شاهد با میزان ۷۶ درجه و بیشترین میزان زاویه تماس با مقدار ۸۳ درجه مربوط به تیمارهای شماره ۲ و ۱۲ است که به ترتیب حاوی ۵ درصد ارتقا دهنده چسبندگی N -بتا-(آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲-(۴،۳)-اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان بودند. قابل ذکر است که بین تیمارهای دارای ترکیبات سیلانی با سطح برابر، اختلاف معنی داری مشاهده نشده است.

زاویه تماس همان طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، تأثیر تیمارها بر زاویه تماس حاصل از فیلم مرکب بر روی سطح زیرآیند در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار می باشد. بدین معنی که با افزودن ارتقا دهنده چسبندگی N -بتا-(آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲-(۴،۳)-اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان در ساختار مرکب، اختلاف معنی داری در زاویه تماس مشاهده شده است. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، کمترین

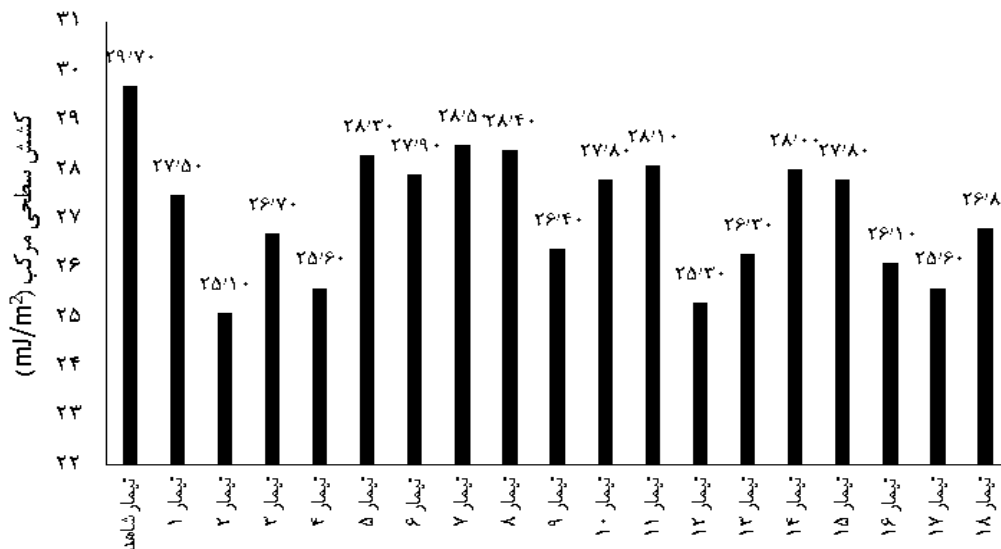


شکل ۶- تأثیر تیمارهای اعمال شده بر زاویه تماس فیلم مرکب

کشش سطحی

در این پژوهش تأثیر نوع تیمار بر کشش سطحی مرکب در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. بدین معنی که با افزودن ترکیبات سیلانی به فرمولاسیون مرکب کشش سطحی مرکب به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود تیمار

شاهد دارای کشش سطحی 29.7 mJ/m^2 می‌باشد، در حالی که تیمار شماره ۲ و ۱۲ که به ترتیب حاوی ۵ درصد N -بتا-(آمینو اتیل) - گاما-آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲-(۴،۳-اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان هستند، دارای کشش سطحی $25/3$ و $25/1$ mJ/m^2 می‌باشند.



شکل ۶- تأثیر تیمارهای اعمال شده بر کشش سطحی مرکب

مقاومت چاپ نسبت به آب

در این پژوهش ویژگی مقاومت چاپ نسبت به آب فیلم مرکب طبق استاندارد ISO - 2836 - 2007 بررسی شد. قابل ذکر است که هیچگونه تفاوتی در مقاومت چاپ نسبت به آب فیلم مرکب مشاهده نشد و میزان تغییرات تمام تیمارها صفر درصد بود.

بحث

کاربرد پلی اتیلن در صنایع مختلف روز به روز در حال افزایش است. انرژی سطحی کم و فقدان گروه‌های عاملی مؤثر بر روی سطح آن چسبندگی مرکب بر روی این پلیمر را ضعیف می‌کند. با توجه به شکل ۶ کمترین زاویه تماس مربوط به نمونه شاهد است که فاقد هر گونه ترکیبات سیلانی است و بیشترین زاویه تماس مربوط به تیمارهای شماره ۲ و ۱۲ می‌باشد که

به ترتیب دارای ۵ درصد N -بتا-(آمینو اتیل) - گاما-آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲-(۴،۳-اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان می‌باشند. به‌طوری‌که زاویه تماس نسبت به نمونه شاهد ۹ درصد افزایش نشان می‌دهد. افزایش زاویه تماس به معنی ایجاد سطحی با خاصیت آب‌گریزی بیشتر می‌باشد. ترکیبات سیلانی دارای کشش سطحی نسبتاً کم هستند که این عامل باعث کاهش کشش سطحی نهایی مرکب و در نهایت بهبود چسبندگی پوشش مرکب بر روی سطح می‌شوند. با توجه به نتایج حاصل از زاویه تماس می‌توان شاهد افزایش خاصیت آب‌گریزی فیلم مرکب بر روی سطح زیراینده بعد از افزایش ترکیبات سیلان آلی بود. در تحقیقی Rostami و همکاران (۲۰۱۴) به این نتیجه رسیدند که اتصال ترکیبات سیلانی به سطح نانوذرات سیلیکا، قابلیت پراکنش نانوذرات را در حلال‌هایی با قابلیت تشکیل پیوند

نتایج به دست آمده بیانگر آن بود که ایجاد پیوندهای عرضی در پلی اتیلن بسیاری از خواص مانند خواص گرمایی، الکتریکی، مکانیکی و شیمیایی را افزایش می دهد.

بیشترین میزان کشش سطحی مربوط به نمونه مرکب شاهد (فاقد ترکیبات سیلانی) به میزان $29/70 \text{ mJ/m}^2$ و کمترین کشش سطحی نیز مربوط به تیمار شماره ۲ به میزان $25/10 \text{ mJ/m}^2$ می باشد که $18/32$ درصد کاهش در کشش سطحی را نشان می دهد. سیلان های آلی از کشش سطحی کمی برخوردار هستند، به همین جهت افزودن ترکیبات سیلیکونی به ترکیب مرکب موجب کاهش جزء قطبی انرژی آزاد سطح چاپ می شود (Rentzhog, et al. 2006). مقاومت چاپ نسبت به آب تمامی نمونه ها با قرارگیری نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آب بین کاغذ صافی و همچنین انجام آزمون چسبندگی بررسی شد. شایان ذکر است که تمامی تیمارها (نمونه های بدون سیلان و نمونه های حاوی سیلان) دارای مقاومت چاپ بالایی نسبت به آب بوده و افزایش ترکیبات سیلانی هیچ گونه تأثیری بر مقاومت چاپ نسبت به آب فیلم های مرکب نداشته است. از آکوکی سیلان و تری اتوکسی سیلان به عنوان اتصال دهنده عرضی در ترکیب مرکب استفاده شده است (Menoud, et al., 2003). نتایج گزارش های منتشر شده نشان می دهد که پایداری مرکب و مقاومت به شستشو با ارتقا دهنده چسبندگی سیلانی بهبود می یابد. Castle و همکاران (۲۰۱۴)، به منظور افزایش چسبندگی پوشش از ۳- آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان، N-(۲- آمینواتیل)-۳- آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان، ۳- آمینو پروپیل متیل دی اتوکسی سیلان و ۳-[۲-۲]- آمینو اتیل آمینو (اتیل آمینو) پروپیل تری اتوکسی سیلان به ساختار پوشش استفاده کردند. از جمله نتایج این تحقیق تولید پوشش با خاصیت مانع شونده زیاد به اکسیژن و مقاومت بالای پیوند در حضور آب گزارش شده است. افزودن N-بتا-(آمینو اتیل)- گاما- آمینو پروپیل متیل دی اتوکسی سیلان و ۲-(۳)- اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان منجر به بهبود خواص فیزیکی چاپ بر روی مقوای پوشش داده شده شد.

در پایان با توجه به اهمیت این پژوهش و لزوم توجه بیشتر به مشکلات احتمالی مربوط به چسبندگی مرکب چاپ (به ویژه

هیدروژنی بیشتر و قطبیت کمتر بهبود می بخشد. آنان این پدیده را به دلیل افزایش آب گریزی و کاهش قطبیت نانوذرات در اثر اصلاح با ترکیبات سیلانی نسبت دادند. همچنین Naderi و همکاران (۲۰۰۴) با اندازه گیری زاویه تماس و کشش سطحی به روش استاتیک، بهبود ترشوندگی و افزایش کشش سطحی آلومینوم را در حضور لایه سیلان گزارش کردند.

کاهش میزان سطح برداشت فیلم مرکب در آزمون چسبندگی نواری نشان دهنده افزایش چسبندگی مرکب به سطح پلی اتیلن می باشد. نتایج حاصل از آزمون چسبندگی مرکب حکایت از آن دارد که بیشترین میزان سطح برداشت شده مربوط به نمونه شاهد به مقدار $27/4$ درصد (کمترین سطح چسبندگی) و کمترین میزان سطح برداشت شده مربوط به نمونه های شماره ۲ حاوی ۵ درصد N-بتا-(آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی اتوکسی سیلان به مقدار $19/3$ (بیشترین میزان چسبندگی) و تیمار شماره ۱۲ حاوی ۵ درصد - (۳،۴- اپوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان به مقدار $19/7$ درصد می باشد. عامل جفت کننده آمینو سیلان باعث تشکیل پیوند فیزیکی و شیمیایی با سطح زیرآیند می شود. در تحقیقی گزارش شده است که با افزایش نسبت وزنی نیم تا دو درصد آمینو سیلان چسبندگی پوشش به زیرآیند بهبود می یابد (Yamaguchi, et al., 2001). بهبود چسبندگی توسط گاما- آمینو تری اتوکسی سیلان می تواند مربوط به وجود گروه های قطبی آمین و هیدروکسیل های حاصل از هیدرولیز گروه های اتوکسی باشند که از طریق پیوند هیدروژنی با گروه های عاملی قطبی بر روی اجزای مرکب و اتصال به سطح باعث کنار هم قرار گرفتن این اجزا شده و منجر به بهبود چسبندگی می شوند (Tari و همکاران (۲۰۰۶) و Yousefi, et al., 2017). استفاده از ۱٪ آمینو سیلان ۱۱۷۰-A در مخلوط ۵۰/۵۰ درصد وزنی پرایمر اپوکسی و پوشش رویی سیلیکونی نسبت به نمونه بدون سیلان، افزایش استحکام چسبندگی را حدود ۶۵ درصد گزارش کردند. در تحقیق انجام شده توسط Mehrabzadeh و همکاران (۱۹۹۶)، تأثیر ایجاد پیوندهای عرضی در پلی اتیلن توسط ترکیبات سیلانی بررسی شد و

- November, 3755-3762.
- Podhajny, R.M., 1991. Surface Tension Effects on the Adhesion and Drying of Water-Based Inks and Coatings. *Coatings and Printing Technology*, Springer. USA, 333p.
 - Rentzhog, M. and Fogden, A., 2005. Influence of formulation and properties of water-based flexographic inks on printing performance for PE-coated board. *Nordic Pulp and Paper Research*, 20(4): 410-417.
 - Rentzhog, M. and Fogden, A., 2006. Print quality and resistance for water-based flexography on polymer-coated boards: dependence on ink formulation and substrate pretreatment. *Progress in Organic Coatings*, 57(3): 183-194.
 - Rentzhog, M., 2006. Water-based flexographic printing on polymer-coated board. Ph.D. Thesis, the Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden.
 - Rostami, M., Mohseni, M. and Ranjbar, Z., 2014. Surface treatment of nano silica with epoxy silane coupling agent for improving its properties in polyurethane matrix. *Journal of Color Science and Technology*, 9: 21-33.
 - Shakeri, A. and Hashemi, S.A., 2003. Investigation of silane coupling agent on physical and mechanical properties of PVC/cellulose (PVC/pulp paper) fiber composite. *Journal of Polymer science and technology*, 16(2):71-78.
 - Tari, M., Esfandeh, M., Mirabedini, M. and Pazoukifard, Sh., 2006. Application of silane compounds for improving adhesion of a silicone elastomer top coat to an epoxy primer. *Journal of Polymer Science and Technology*, 19(1): 33-41.
 - Tryznowska, Z. and Izdebska, J., 2013. Flexographic printing ink modified with hyperbranched polymers: BoltornTM P500 and BoltornTM P1000. *Dyes and Pigments*, 96(2): 602-608.
 - Vasile, C., 2000. *Handbook of Polyolefins*, CRC Press, USA, 1032p.
 - Witucki, G., 1992. A silane primer: chemistry and applications of alkoxy silanes. The 57th Annual Meeting of the Federation of Societies for Coatings Technology. Chicago, 21October: 47-51.
 - Yamaguchi, K. and Kishita, H., 2001. Perfluoropolyether-modified aminosilane, surface treating agent, and aminosilane-coated article. US Patent No. 6200684. 2001Mar 13.
 - Yousefi, N., 2017. Optimize the synthesis of epoxy and amino silanol in the formulation heliogravure composite and check increasing adhesion. MSc Thesis, Chemistry Department of Shomal Azad University. Iran.
- مرکب بر پایه آب فلکسوگرافی) بر روی مقوا، پیشنهاد می‌شود افزایش N -[۳-تری متوکسی سیلیل) پروپیل] اتیلن دی آمین به ترکیب مرکب فلکسوگرافی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. بنابراین انتظار می‌رود که این ترکیب به دلیل داشتن گروه آمین بیشتر تأثیر زیادی بر چسبندگی مرکب بر روی مقوای پوشش داده شده با پلی اتیلن داشته باشد. همچنین ارزیابی میزان انتقال اجزای مختلف مرکب چاپ به ماده غذایی با افزایش N -بتا- (آمینو اتیل) - گاما- آمینو پروپیل متیل دی متوکسی سیلان و ۲- (۳،۴-ایوکسی سیکلوهگزیل) اتیل تری اتوکسی سیلان پیشنهاد می‌شود.
- منابع مورد استفاده**
- Barbara, S., 2004. *Handbook of Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley, 244p.
 - Castle, T.C., Finch, R.L., Pears, D.A., Preston, M., Shanmugam, P., Young, B.D. and Illsely, D.R., 2014. Vinyl alcohol polymers with silane side chains and compositions comprising the same. US Patent No. 20140141262 A1. 2014 May 22.
 - Garnish, E.W. and Haskines, G.G., 1980. *Aspects of Adhesion*. University of London press, London, 259p.
 - Kippen, H., 2001. *Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods*. Springer, Berlin, Germany, 1207p.
 - Laden, P., 1997. *Chemistry and Technology of Water-Based Inks*. Blackie Academic and Professional: London, UK, 345p.
 - Larsen C.E., Trip R., Johnson C.R., 1995. Inventors; Novoste Corporation, assignee. Methods for procedures related to the electrophysiology of the heart. US patent 5,529,067. 1995 Jun 25.
 - Mehrabzadeh, M., Morshedian, K. and Barzin, J., 1998. Preparation of silane grating and crosslinking of polyethylene: studies of the factors affecting the rafting and crosslinking processes. *Journal of Polymer Science and Technology*, 11(1): 3-10.
 - Menoud, A. and VeyaInk, P, inventors; Water-Based Screen Printing Ink. US Patent No. WO 2003020835 A1. 2003 Mar 13.
 - Naderi, B., Mohseni, M. and Mirabedini, M., 2004. Evaluating the performance of vinyl-trimethoxysilane to improve adhesion of epoxy and acrylic coating on aluminum surface. The Ninth National Congress of Iranian Chemical Engineering, Iran University of Science & Technology , 23-25

Adhesion improvement of water-based flexographic inks on polyethylene coated paperboard using silane adhesion promoters

A. sukhtesaraie¹, M. Azadfallah^{2*} and S. Bastani³

1-Ph.D. Student¹, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

2*-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran, Email: adfallah@ut.ac.ir

3-Associate Professor, Institute for Color Science and Technology, Tehran, I.R. Iran

Received: July, 2017

Accepted: Dec., 2017

Abstract

Flexographic printing is the most applicable technology in the packaging industry. But the lack of proper adhesion of water-based ink on cardboard coated with polyethylene is one of the most important problems. Silane adhesion promoters are considered among the best compounds used as the crosslinking and waterproofing agents in coating and ink industries. In this study, N-(2-Aminoethyl) (3-aminopropyl) methyltrimethoxysilane and 2-(3, 4-Epoxy cyclohexyl) ethyl triethoxy silane were used to improve the adhesion of water-based ink on paper board-coated with polyethylene. Results showed that highest degree of adhesion was achieved by adding 5% of N-(2-Aminoethyl) (3-aminopropyl) methyltrimethoxysilane to ink. Adding silane compounds to ink formulation increased the contact angle of the ink film on the surface of cardboard coated with polyethylene which means that inks containing silane compounds act more successful in the formation of hydrophobic surface. It is worth noting that surface tension was decreased by addition of silane components to the formulation of the ink.

Keywords: Flexographic printing, adhesion, packaging, water-based ink, silane.