



چاپ انتقالی در صنعت نساجی

الهام پاکزاد^۱، مرضیه خطیبزاده^{۲*}

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

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

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۴/۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲ در دسترس به صورت الکترونیک: ۹۴/۶/۱۲

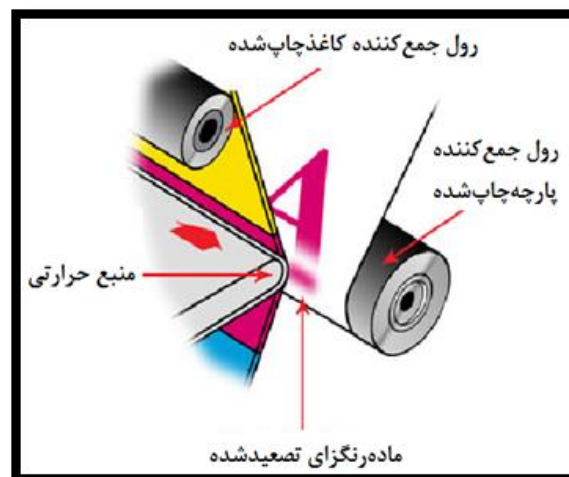
چکیده

تا پیش از سال ۱۹۶۸، برای چاپ منسوجات و سطوح حجم‌دار از چاپ اسکرین (سیلک) استفاده می‌شده است. از مشکلات این چاپ می‌توان به خطای ناشی از تعویض شابلون‌ها اشاره نمود که این خطا با افزودن تعداد شابلون‌ها و رنگ‌های به کار رفته در طرح بیشتر می‌گردد. به همین دلیل عموماً برای ایجاد یک طرح قابل قبول در چاپ اسکرین، از رنگ‌های محدودی استفاده می‌شود. از طرفی با توجه به فرآیند چاپ اسکرین، ایجاد رنگ‌های پیوسته و رسیدن به رنگ‌های ترکیبی بسیار دشوار و در مواردی غیرممکن است. به همین دلیل تصاویر چاپ شده حالت غیرواقعی داشته و از پیوستگی مطلوب برخوردار نیستند. برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ در راستای رفع معایب چاپ اسکرین در صنعت نساجی، ایده ترکیب روش‌های چاپ بر کاغذ و پارچه به شکل صنعتی ارائه و چاپ انتقالی متولد شد. چاپ انتقالی گونه‌ای از چاپ است که در طی آن یک طرح رنگی از یک چاپ کاغذی، به یک پارچه یا فیلم پلیمری انتقال می‌یابد. هدف این مقاله، مروری بر روش‌های چاپ انتقالی و عوامل موثر بر این چاپ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

چاپ انتقالی، تصعید، منسوجات، فیلم‌های پلیمری، مواد رنگزای پراکنش.

چکیده تصویری





Transfer printing in textile industry

Elham Pakzad¹, Marziyeh Khatibzadeh^{2*}

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

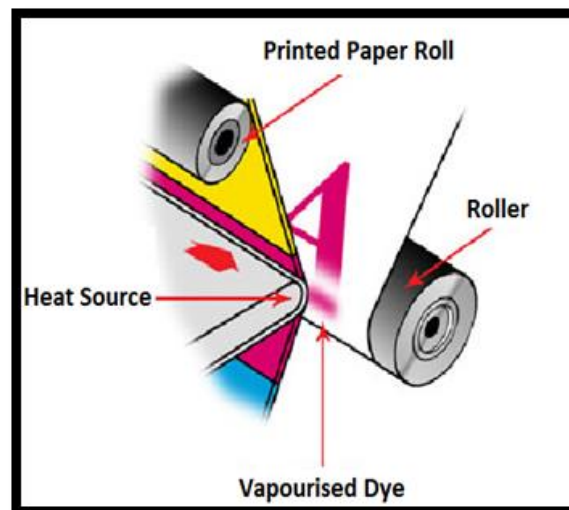
Abstract

Prior to 1968, screen printing was used for textile printing (silk). One of the problems of this method is the error due to switching the screens for the different printed colors, the error will increase by adding the number of used screens based on design. So generally the colors are limited for an acceptable plan in screen printing. On the other hand, according to the screen printing process, creating a continuous color tone and the color combination is very difficult and sometimes impossible. Therefore the printed images by this method are unreal and do not have the desired continuity. For the first time in 1970 in order to overcome the disadvantages of screen printing industry, the idea of combining methods of paper and fabric printing were presented and transfer printing was born. Transfer printing is a type of printing in which a color scheme of a printed paper will transfer on a cloth or polymeric film. This paper provides an overview of the methods and affecting factor the transfer printing.

Keywords:

Transfer printing, Sublimation, Textiles, Polymeric films, Disperse dyes.

Graphical abstract



*Corresponding author: khatib@aut.ac.ir

۱- مقدمه

چاپ انتقالی گونه‌ای از چاپ است که در طی آن یک طرح رنگی از یک چاپ کاغذی، بر روی یک پارچه یا فیلم پلیمری انتقال می‌یابد. برای ایجاد چاپ به روش انتقالی لازم است ابتدا طرح چاپی با یکی از روش‌های متداول، بر روی کاغذ انتقالی چاپ گردد و سپس کاغذ چاپ شده در مجاورت پارچه یا فیلم پلیمری قرار گیرد و تحت فشار به آن حرارت داده شود، در این مرحله که به مرحله انتقال معروف است، فیلم پلیمری یا الیاف پارچه منبسط شده و بخارات حاصل از تصعید جوهر را جذب می‌نماید و در مرحله بعد پس از سرد شدن، ذرات جوهر در آن به دام افتاده و تثبیت می‌گردد. مبتکر این روش به شیوه صنعتی، شرکت سابلیستیک اس^۱ می‌باشد که برای اولین بار این ایده را در سال ۱۹۷۰ ارائه نمود. شرکت سابلیستیک اس^۱ حاصل همکاری دو شرکت رنگی سیبا- گایگی AG^۲ است، که از پیشتر یکی در زمینه نساجی و دیگری در زمینه چاپ کاغذی فعالیت داشتند. بدین ترتیب متخصصین چاپ با مواد نساجی و ثبات مورد نظر در این صنعت، و مهندسی نساجی با مواع موجود در زمینه پراکنش مواد رنگزا و رنگدانه‌ها آشنا شدند. اعمال چاپ انتقالی بر روی منسوجات و فیلم‌های پلیمری آسان است و نیاز به نیروی متخصص ندارد، به همین دلیل از همان ابتدای پیدایش مورد استقبال چاپگران بوده است. از طرفی چاپ انتقالی چاپی خشک و دوست‌دار محیط‌زیست بوده و تجهیزات آن گران نمی‌باشد، اتلاف مرکب در آن نسبت به چاپ اسکرین کمتر است و پس از چاپ نیازی به شست‌وشو ندارد، در نتیجه از نظر اقتصادی به صرفه می‌باشد [۱]. حداقل چهار روش برای انتقال تصویر به زیرآیند وجود دارد، این روش‌ها عبارتند از:

الف- انتقال ذوبی^۳: پیش‌تر از این روش برای انتقال یک طرح بافتنی از کاغذ به پارچه، با استفاده از تماس یک فلز داغ به پشت کاغذ استفاده می‌شده است. طی این فرآیند طرح مورد نظر به صورت مذاب در اثر تماس به پارچه انتقال می‌یابد.

ب- سیستم‌های رهایش فیلم^۴: در این روش فیلم حامل تصویر رنگی کاملاً بر روی زیرآیند پارچه‌ای انتقال می‌یابد. در رهایش فیلم، باید نیروهای چسبندگی میان فیلم و پارچه به طرز چشمگیری بیشتر از نیروی بین فیلم و کاغذ باشد.

ج- فرآیند نیمه‌تر^۵: در فرآیند نیمه‌تر ماده رنگزای پایه آبی بر روی کاغذ چاپ شده و سپس به شبکه مایعی که از قبل بر روی پارچه اعمال شده است انتقال می‌یابد. در این روش طرح مورد نظر در بستری از مایعی گرانرو و با فشاری دقیق نگه داشته می‌شود.

د- چاپ انتقال بخار^۶: این روش انتقال از نظر تجاری مناسب است و کاربرد گسترده‌ای دارد. این روش به فراریت ماده رنگزای موجود در طرح

چاپ و میزان جذب بخار جوهر توسط پارچه در حال تماس با کاغذ بستگی دارد. برای چاپ انتقال بخار، استفاده از دماهای بالا ($>180^{\circ}\text{C}$) برای اطمینان از تولید بخار مناسب الزامی است، از این رو می‌توان این چاپ را چاپ انتقالی حرارتی نامید [۲].

در طی پنج سال اول، تولید کاغذهای چاپ انتقالی در حدود سیصد تا چهارصد میلیون متر در سال افزایش یافت. این مقدار تنها ۲٪ از کل تولیدات پارچه‌های تزئینی دنیا را تشکیل می‌داد، اما در همان زمان در اروپا درصد تولید این نوع پارچه‌ها اندکی بیشتر از این میزان بود. یک تقریب از پارچه‌های چاپ شده (با همه روش‌های انتقالی) نشان می‌دهد که تا سال ۱۹۸۰ حدوداً چهار هزار میلیون متر پارچه با این روش چاپ شده است [۲].

نخستین دلیل موفقیت چاپ انتقالی همان‌طور که گفته شد سهولت در اعمال این چاپ بود. زمانی که شرکت سابلیستیک اس^۱ برای نخستین بار این چاپ را معرفی کرد، کاغذهای چاپ شده عرض بسیار کمی برابر با ۳۱ اینچ (معادل ۷۷/۵ سانتی‌متر) داشتند. با این حال این چاپ به یک پیشرفت شگرف در صنعت نساجی بدل شد، چرا که این صنعت از نظر ایجاد طرح‌های به‌روز و نوین دچار ضعف شده بود و به دنبال فرآیندی جدید در خط تولید خود می‌گشت. چاپ انتقالی خشک بود، تجهیزات آن گران نبود و به نیروی متخصص نیاز نداشت، بدین ترتیب صنعت‌گران کش‌باف در مدت بسیار کوتاهی توانستند چاپگرهای خود را داشته باشند. پس از مدت کوتاهی عرض کاغذهای چاپ خورده به ۶۳ اینچ (معادل ۱۵۷/۵ سانتی‌متر) افزایش یافت و نقص اولیه برطرف گشت [۱].

ایده اولیه چاپ انتقالی به کارهای صورت گرفته توسط شرکت بریتیش سلانس^۷ در طی سال‌های ۳۱-۱۹۲۹ بر می‌گردد. فرآیند شرح داده شده در طرح اولیه اندکی با آنچه امروزه مورد استفاده است متفاوت می‌باشد و بر مبنای کارهای کراشهوف^۸ بوده است. کراشهوف استات سلولز را به عنوان زیرآیندی معرفی کرد که می‌تواند پس از مدتی حرارت دیدن در حضور پودرهای رنگی و دیسپرس، با قابلیت اشباع بالا رنگ‌آمیزی گردد. با این حال، فقط استرهای سلولز در آن زمان موجود بودند، که از نظر ثبات موادرنگزا و پایداری حرارتی الیاف در طی دمای فرآیند ضعیف عمل می‌کردند و گسترش تجاری این روش را ناموفق می‌ساختند.

در دهه پنجاه با پیدایش الیاف جدید، به خصوص پلی اتیلن ترفتالات (پلی‌استر)، در دهه پنجاه انگیزه عظیمی برای مطالعات جدید در روش‌های نوین رنگرزی ایجاد شد. این مطالعات شامل روش‌های تثبیت در دماهای بالا برای سیستم‌های آبی (140°C) و خشک (200°C)، مانند فرآیند ترموزول جوهرهای دیپونت^۹، می‌شد. در هر دو نوع رنگرزی، پایداری حرارتی، اندازه نسبتاً کوچک مولکولی و ثبات قابل قبول موادرنگزای دیسپرس باعث شدند مواد پلی‌استری زیرآیندهای مطلوبی به حساب بیایند. به علاوه، روش‌های تثبیت حرارتی در پلی‌استر و ترکیبات

1 Sublistic SA
2 Ciba-Geigy AG
3 Melt-transfer
4 Film-release systems
5 Semi-wet process
6 Vapor transfer printing

7 British Celanese Ltd
8 Kartaschoff
9 Thermosol process of Du Pont Inc

پلی استر و سلولز، به میزان فراریت جامد ماده رنگزا و در درجه بعدی به میزان جذب بخار ماده رنگزا توسط پلی استر بستگی دارد. این مشاهدات محققین را بر آن داشت تا ایده اولیه در مورد چاپ انتقالی را دوباره مورد مطالعه قرار داده و امکان اعمال آن را بر روی پلی استر و دیگر منسوجات بررسی نمایند [۲]. برای اولین بار در ژانویه سال ۱۹۷۲ این سوال مطرح شد که آیا می توان از چاپ انتقالی بر روی پارچه های پشمی استفاده کرد که پاسخ منفی بود. علت را می توان به فرآیند چاپ انتقالی نسبت داد که در طی چاپ انتقالی، سطح پارچه تا دمای 200°C و به مدت ۳۰ ثانیه حرارت می بیند و انتظار می رود با حذف حرارت پارچه منبسط شده دوباره به فرم اولیه بازگردد، الیاف طبیعی در چنین دمایی شروع به سوختن می کنند و پس از سرد شدن مقاومت خود را از دست می دهند. ضمن این که مواد رنگزای موجود در جوهرهای انتقالی از خانواده مواد رنگزای دیسپرس می باشند و الیاف طبیعی تمایل ذاتی بسیار کمی نسبت به بخارات این دسته از مواد رنگزا از خود نشان می دهند [۱]. امروزه مواد رنگزای تصعیدشونده به دو شکل جوهر (برای چاپ با چاپگرهای جوهرافشان) و مرکب های بسیار گرانبه (برای چاپ با دستگاه افست) برای چاپ انتقالی، استفاده می شوند.

آنچه از کاغذ چاپ شده در مرحله انتقال انتظاری رود عبارت است از:

- آزادسازی مناسب بخارات ماده رنگزا از لایه جوهر
- حفظ مقاومت در طی حرارت دهی تا دمای 220°C
- تراوایی کم نسبت به بخار جوهر

میزان آزادسازی بخار جوهر تنها به فشار بخار جوهر وابسته نیست، تمایل جذب (افینیت) بخار جوهر به زیرآیند سلولزی و پرکننده و دیگر افزودنی های استفاده شده در کاغذ یا جوهر چاپ نیز در آزادسازی از عوامل مهم هستند. این طور به نظر می رسد که تنها اثری که حرارت در دمای انتقال و برای زمان های بیش از ۳۰ ثانیه می گذارد، تبخیر آب موجود در کاغذ و گرفتن رطوبت آن است، که در نتیجه آن کاغذ استحکام خود را از دست داده و ترد می شود. این اتفاق حتی در کاغذهایی با بافت های بلند و مقاوم در برابر پارگی مانند کاغذهای کرافت^۳ (ساخته شده از چوب نرم و خمیر کاغذ آلکالینی) نیز مشاهده می شود، مقاومت این نوع کاغذها پس از حرارت دیدن به شدت کاهش می یابد و این مسئله باعث شده است کاغذهای ذکر شده برای چاپ انتقالی مناسب نباشند. عامل مهم دیگر میزان تراوایی کاغذ نسبت به بخار جوهر است. تراوایی کم برای کاغذ، در چاپ انتقالی تحت فشار اتمسفریک یا خلاء و در جایی که یک روی کاغذ در سیستم خلا قرار می گیرد، یک ویژگی مثبت به حساب می آید. هنگامی که انتقال به پارچه با استفاده از سیستم خلاء با جریان هوا صورت می گیرد، لازم است کاغذ انتقال نسبت به هوا تراوا باشد تا بتواند سرعت نفوذ بخارات جوهر و هوا به پارچه را به شیوه ای مناسب کنترل کند. در همه روش ها می توان نفوذ مقداری از بخار جوهر را به کاغذ زیرآیند پیش بینی نمود. هنگامی که سطح زیرین و فوقانی یک چاپ انتقالی با هم تماس پیدا می کند (اتفاقی که به وفور در انبارداری رول ها و برگ های کاغذ رخ می دهد)، جوهر می تواند از سطح چاپ شده به پشت کاغذ انتقال پیدا کند. اگر کاغذها در حین چاپ به این شیوه آلوده شوند، طرح های کمرنگ و نامطلوبی بر روی پارچه ظاهر می گردد [۲].

۲- کاغذهای مناسب برای چاپ انتقالی

برای انتخاب کاغذ مناسب معیارهایی وجود دارد، از جمله این که کاغذی مناسب است که در سرعت های بالای چاپ مقاوم بوده و پاره نشود و بتواند این مقاومت را در دماهای بالاتر از 200°C برای ۳۰ ثانیه یا بیشتر حفظ کند (شرایط گفته شده مربوط به مرحله انتقال هستند). کاغذهایی با جرم g/m ۵۵-۲۸۰ برای این کار پیشنهاد می شوند، این کاغذها را می توان از خمیر کاغذ طی یک سری فرآیندهای مکانیکی مانند آسیاب کردن و کوبیدن و یا فرآیندهای شیمیایی تهیه نمود. البته وزن کاغذ معیار مناسبی برای نشان دادن ضخامت نیست، مثلاً برای افزایش پشت پوشی خمیر کاغذ ممکن است به آن رنگدانه های غیرآلی، گرد چینی یا دی اکسید تیتان اضافه شود تا قیمت تمام شده کاهش یابد.

به علاوه، ممکن است در پایان مرحله خشک شدن خمیر، کاغذ در طی عملیات تکمیلی تحت فشار و ورقه سازی^۱ قرار گیرد. این عمل از آن جهت صورت می گیرد که چگالی کاغذ تحت فشار افزایش یافته و سطح آن صاف گردد (در این فرآیند یک روی کاغذ را به صورت خشک زیر رول های لعابدار فشرده می کنند).

مشخصات کاغذ انتقالی به نوع فرآیند مورد نظر بستگی دارد، اما در کل صافی سطح و عاری بودن از ناخالصی و گرد و غبار و مقاوم بودن در طی فرآیند از حداقل مشخصه هایی است که از یک کاغذ انتظار می رود. تراوایی یکی از مهم ترین ویژگی های کاغذهای انتقالی است، زیرا دمای مناسب برای نفوذ

^۱ Calendering:

ورقه سازی با غلطک یا مهره کشی. با یک شی صاف و پرداخته شده مانند سنگ تراش خورده و صیقل داده شده (که بهترین نوع آن عقیق می باشد) بر روی سطح کاغذ می کشند تا خلل و فرج سطح را گرفته و از نفوذ مرکب در کاغذ جلوگیری کنند (اصطلاحاً: مرکب خوری کاغذ را کاهش دهند)

گونه ای رزین طبیعی است که در صنایع چاپ کاربرد گسترده دارد Rosin^۲

Kraft paper^۳

Vacuum-induced air-flow^۴

۳- جوهرهای چاپ انتقالی

مواد رنگزای استفاده شده در فرمولاسیون جوهرهای انتقالی باید در دمای فرآیند انتقال فرار باشند، یعنی باید کوچک مولکول بوده و هیچ گروه یونی یا آب دوستی نداشته باشند زیرا وجود این گروه‌ها مانع فراریت ماده رنگزا می‌گردند [۲]. از طرفی از آنجایی که زیرآیندی که انتقال به آن انجام می‌شود مصنوعی و آب‌گریز است، باید از جوهرهای نامحلول یا کم‌محلول برای این چاپ استفاده شود که در نتیجه مواد رنگزا نمی‌توانند از گروه مواد رنگزای اسیدی یا مستقیم باشند [۳]. اغلب مواد رنگزای به کار گرفته شده برای این منظور از گروه مواد رنگزای پراکنش می‌باشند در نتیجه رسیدن به یک پراکنش پایدار در ساخت این دسته از جوهرها از اهمیت بالایی برخوردار است و یکی از مهم‌ترین افزودنی‌ها در ساختار جوهرها و مرکب‌های چاپ انتقالی عامل دیسپرس‌کننده می‌باشد، که این مواد نسبت به pH محیط بسیار حساس هستند [۴]. این مواد می‌توانند در محمل‌های حلالی، روغنی و یا آبی عرضه شوند [۲]. آنچه این مواد رنگزا را محدود می‌نماید، خاصیت تصعید و در درجه بعدی قابلیت پخش شدن در زیرآیند است. پخش شدن در زیرآیند در دماهای بالای انتقال شیشه‌ای رخ می‌دهد (برای پلی‌استر این دما 170°C می‌باشد)، همچنین این دما باید با دقت انتخاب شود و کمتر از دمای ذوب زیرآیند باشد تا زیرآیند ذوب نشده و تغییر رنگ ندهد. دمای ماشین‌های انتقال (برای پلی‌استر) بین 200°C تا 210°C است، با این حال لازم است ماده رنگزا در دمای کمتر از 200°C تصعید شود. همچنین این دما نباید خیلی هم کم باشد زیرا ممکن است ماده رنگزا در مراحل اتو یا پلیسه‌کردن از زیرآیند خارج شود [۳]. برای ایجاد پیوند میان مواد رنگزا و کاغذ انتقالی و همچنین جلوگیری از لکه‌گذاری رول‌های کاغذ بر هم‌دیگر وجود یک رزین ضروری است. موارد گفته شده و افزودنی‌های مصرفی در این جوهرها نباید از فراریت ماده رنگزا در مرحله انتقال بکاهند. چنین افزودنی‌هایی نباید هیچ‌گونه افینیت‌ای به ماده رنگزا داشته باشند و از طرفی نباید مانند یک ماده ترموپلاستیک به صورت مذاب به پارچه انتقال یابند [۲]. برای جوهرهای پایه آبی استفاده شده در سیستم‌های فلکسو یا اسکرین، محمل‌های آلی یا آبی مانند آلکیل سلولزها و آلجینات‌ها^۱، برای سیستم‌های

پایه حلالی پلی (وینیل استات) یا پلیمرهای آکریلاتی پراکنش شده در الکل و برای افست محمل‌های سلولزی، اکریلیکی و پروتئینی مناسب هستند [۲، ۵]. اطلاعات کمی درباره فرمولاسیون دقیق جوهرهای چاپ در دست می‌باشد.

تجربه نشان داده است، وجود برخی مواد خام در فرمولاسیون جوهر از انتقال ماده رنگزا جلوگیری می‌کنند. محمل باید تا حد امکان ساده انتخاب شود و شامل رزین، حلال یا آب باشد. خوشبختانه اغلب مواد رنگزای دیسپرس فرار در چاپ انتقالی می‌توانند قابلیت اشباع رنگی خوبی بدهند، با این حال مواد رنگزای خام قابلیت اشباع بالاتر و فام‌های تیره‌تری را می‌توانند ایجاد نمایند. مواد رنگزای دیسپرس به سه دسته تقسیم می‌شوند [۵]:

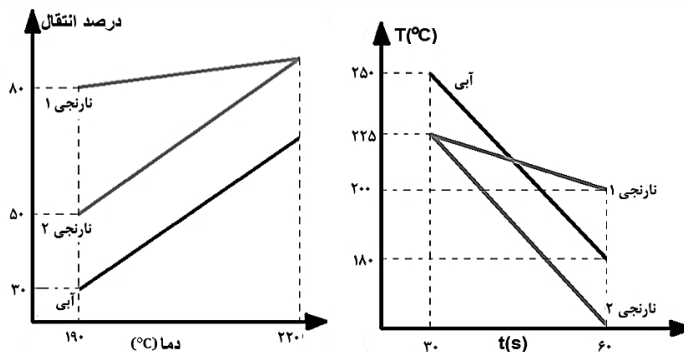
۱. آنهایی که با انرژی کم در حدود $80\% - 90\%$ رمق کشی دارند.

۲. آنهایی که با انرژی متوسط در حدود $65\% - 80\%$ رمق کشی دارند.

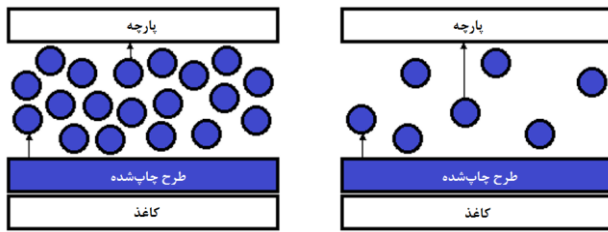
۳. آنهایی که با انرژی زیاد، کمتر از 65% رمق کشی دارند.

در این جا این نکته مهم است که در ترکیب مواد رنگزا به انرژی آنها دقت شود و اجزای ترکیبی از یک گروه انرژی انتخاب گردند، تا میزان تصعید مواد در دماهای مختلف یکسان بوده و رنگ ترکیبی مورد نظر بدون تغییر فام بتواند روشنایی‌های مختلف را ایجاد نماید. از طرفی وقتی هدف کار با مواد رنگزای گروه اول است، باید در حمل و نقل و اعمال توسط رول بسیار دقت شود زیرا با اندکی حرارت دادن، ماده رنگزا تصعید می‌شود [۵، ۶]. شکل ۱ نمودار سمت راست، چند ماده رنگزا را در دما و زمان تصعید نشان می‌دهد. برای همه مواد رنگزا، با افزایش دما مطابق شکل ۱ (نمودار سمت چپ)، مقدار انتقال نیز افزایش می‌یابد. تغییرات دو نارنجی نشان داده شده نسبت به هم در طی زمان تصعید بسیار زیاد است، در حالی که تغییرات نارنجی ۲ نسبت به آبی در همین مدت زمان ثابت است. در نتیجه با تغییرات دما در یک ماشین چاپ، اگر از نارنجی ۲ و آبی استفاده شده باشد، نسبت تغییرات ثابت می‌ماند، ولی اگر از آبی و نارنجی ۱ استفاده شده باشد، با افزایش دما رنگ نهایی به آبی میل می‌کند. با توجه به شکل ۱ نمودار سمت چپ، مخلوط نارنجی ۱ و آبی در 220°C سیاه رنگ می‌باشد، در حالی که در 190°C قهوه‌ای سوخته است. ولی ترکیب آبی و نارنجی ۲ می‌تواند در هر دمایی رنگ سیاه را ایجاد نماید. از طرفی ناهم‌خوانی جوهرها ممکن است موجب بروز هاله در چاپ گردد [۷].

^۱ Alkylcelluloses and alginates

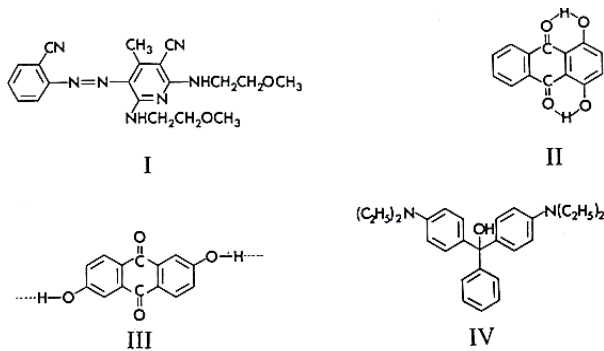


شکل ۱- نمودار سمت راست تغییرات دما نسبت به زمان را برای ظهور 90% از ماده رنگزا بر روی پارچه نشان می‌دهد و نمودار سمت چپ درصد انتقال را نسبت به دما نشان می‌دهد [۲، ۶].



شکل ۲- یک ماده رنگزا با فشار بخار کم، مولکول‌های کمتری در فاز گاز دارد [۳]. ممکن است یک ماده رنگزا در دمای کمتری تصعید گردد ولی به دلیل نداشتن فشار بخار کافی، قابلیت اشباع رنگی مناسبی نتواند ایجاد نماید.

مشخصه‌های ساختاری می‌توانند در ساخت مواد رنگزای کم وزن با فراریت بالای جامد کمک نمایند. وجود دو گروه استخلافی حجیم بر روی مولکول نشان داده شده در شکل ۳- (I)، از فشرده شدن مولکول‌های ماده رنگزا جلوگیری می‌کند و باعث به وجود آمدن نیروهای درون مولکولی قوی در ساختار ماده رنگزای جامد می‌شود، در نتیجه انرژی نهان تصعید آن نسبت به بسیاری از مواد رنگزای سنگین افزایش می‌یابد. از طرفی وجود گروه‌های قدرتمند قطبی هیدروژنی (-NH₂, -NHR, -OH, -SH) به شرط آن که پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی باشند، برای این منظور قابل قبول می‌باشند. فشار بخار در ۲۰۰ °C برای کوینزارین^۱ (شکل ۳- (II)) برابر ۱/۱۸ میلی‌متر جیوه است در حالی که این فشار برای دی‌هیدروکسی‌آنتراکینون^۲ (شکل ۳- (III)) با وجود وزن مولکولی یکسان به مراتب کمتر بوده و برابر ۳/۷۱×۱۰^{-۵} میلی‌متر جیوه است.



شکل ۳- مقایسه ساختارهای مولکولی چند ماده رنگزا [۲]

در حالی که پلی‌استر و استات سلولز را (با احتیاط) می‌توان به طور رضایت‌بخشی با جوهرهای انتقالی مرسوم چاپ نمود، این جوهرها بر روی پارچه‌های نایلونی رنگ‌های بسیار قوی و درخشانی از خود به جا می‌گذارند، اما عموماً ثبات شست‌وشویی آنها بر روی این الیاف کم است [۲]. در رابطه با الیاف تری‌استات سلولز باید گفت که این الیاف در حالت عادی نمی‌توانند چاپ انتقالی را بپذیرند، زیرا دمای چاپ بالا است. محققین با یک عمل صابونی کردن کنترل شده و اعمال یک لایه

۴- ویژگی‌های ساختاری جوهرهای چاپ انتقالی

اغلب جوهرهای تجاری برای چاپ‌های انتقالی حاوی ساختارهای مونوازو یا آمینوآنتراکینونی هستند، البته ادعا شده است ساختارهای نیترودی‌فنیل‌آمین، دی‌آزو و سیانووینیلی نیز می‌توانند خواص فراریت خوبی را برای چاپ انتقالی ایجاد نمایند. به طور کلی اگر ماده رنگزایی برای تهیه جوهر انتقالی مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود که از نظر مولکولی، وزن آن کمتر از ۳۵۰ و تعداد گروه‌های قطبی آن (مانند -NH₂, -SO₂R, -CN, -NO₂) نباید زیاد باشد، و گروه‌های یونی مانند گروه‌های سولفونیک اسید به طور کلی نباید حضور داشته باشند. برای یک فرآیند تجاری میزان تمایل جذب ماده رنگزا به پارچه زیرآیند باید دست کم به اندازه‌ای باشد که بتواند حداقل انتظارها را از ثبات مورد نظر در چاپ نهایی حاصل نماید. با توجه به شرایط گفته شده تعداد محدودی از مواد رنگزا می‌توانند فرآیند چاپ انتقالی را به صورت مطلوب به ثمر برسانند، این مسئله باعث شده است که برای یافتن مواد رنگزای جدید، شیمی‌دان‌ها مجبور شوند از روش‌های تجربی بهره گیرند. این تحقیقات محدود به ساخت مواد رنگزای جدید نمی‌شود، به عنوان مثال ماده رنگزای زرد (I) که فراریت بالایی دارد و در عین حال ثبات شست‌وشویی آن بر روی نایلون بالا است، ولی به دلیل وزن مولکولی کم، مانند ماده رنگزای ۱-هیدروکسی-۴-کلروآنتراکینون، آن را فقط به عنوان یک واسطه می‌شناسند. لیست مواد رنگزای تجاری در جدول ۱ آمده است، به علاوه با بررسی منابع می‌توان دریافت تنها ۵۰ یا ۶۰ ماده با ساختار مونوازو و آنتراکینون حجم مطلوبی از فشار بخار را می‌توانند ایجاد کنند [۲].

جدول ۱- فشار بخار و غلظت مواد رنگزای موجود در بخار در ۲۲۰ °C [۲]

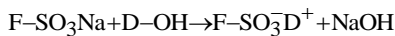
مواد رنگزای پراکنش	جرم مولکولی	فشار بخار (mm Hg)	غلظت بخار (g/l)
زرد ۳	۲۶۹	$۶/۳۱ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۷۶ \times ۱۰^{-۴}$
زرد ۸	۲۶۱	$۴/۴۷ \times ۱۰^{-۱}$	$۳/۹۶ \times ۱۰^{-۳}$
زرد ۵۸	۲۴۲	$۶/۸۴ \times ۱۰^{-۳}$	-
نارنجی ۳	-	$۱/۵۷ \times ۱۰^{-۱}$	$۱/۲۹ \times ۱۰^{-۳}$
قرمز ۴	۲۳۷	۱/۰۲۳	$۸/۲۳ \times ۱۰^{-۳}$
قرمز ۱۵	۲۳۹	$۳/۶۳ \times ۱۰^{-۱}$	$۲/۹۴ \times ۱۰^{-۳}$
قرمز ۶۰	۳۳۱	$۴/۷۹ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۳۸ \times ۱۰^{-۴}$
ارغوانی ۵	۲۳۸	$۲/۰۶ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۶۷ \times ۱۰^{-۴}$
آبی ۱۴	۲۶۶	$۶/۱۶ \times ۱۰^{-۲}$	$۵/۵۶ \times ۱۰^{-۴}$
آبی ۵۶	-	$۱/۶۷ \times ۱۰^{-۳}$	-

با توجه به فشار بخار، حتی اگر ماده رنگزایی به راحتی بتواند تصعید شود، نمی‌توان آن را برای این چاپ مناسب دانست. یک ماده رنگزا با فشار بخار کم مولکول‌های کمتری برای نفوذ و انتشار دارد [۳]. شکل ۲ فرآیند تصعید مواد رنگزا و جذب شدن توسط پارچه را به صورت نمادین نشان داده است.

¹ Quinizarin

² Dihydroxyanthraquinone

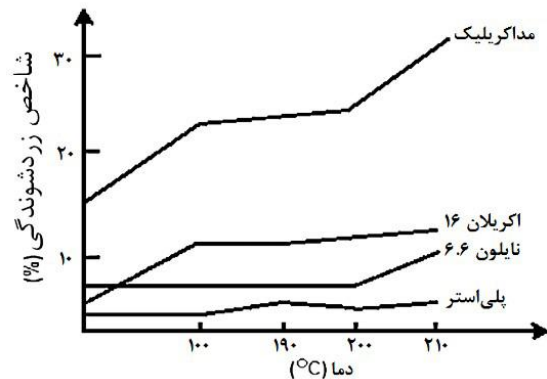
اکریلیکی، حفظ براقیت و ثباتی که از رنگرزی با مواد رنگزای بازیگ به دست آمده است باید مورد توجه قرار گیرد. متاسفانه اعمال مستقیم با این روش امکان پذیر نیست، زیرا پیوندهای یونی قوی موجود در ماده جامد بازیگ از فراریت مطلوب جلوگیری می کند. با این حال کاربینول موجود در برخی مواد رنگزای بازیگ دارای ساختار تری آریل-متان مانند آنچه در شکل ۳- (IV) نشان داده شده است، بوده و می تواند از لایه های قلبیای جوهر تصعید شوند. برهم کنش های بخار با گروه های سولفونات موجود در زیرآیند اکریلیکی، باعث احیای دوباره یون های رنگی ماده رنگزا با واکنش کلی زیر می شود:



که در آن F و D به ترتیب نشان دهنده پارچه و ماده رنگزا است. اگر به جای کاتیون سدیم، یک یون آمونیم قرار گیرد، آمونیم هیدروکسید آزاد شده می تواند از سیستم خارج شود و تثبیت مطلوب تری حاصل گردد. یک مزیت در استفاده از مواد رنگزای بازیگ آن است که این مواد می توانند پروتون خود را از دست بدهد و یک گونه خنثی فرار تشکیل دهند، بدین ترتیب پس از انتقال می توانند دوباره پروتون از دست رفته خود را به دست بیاورد تثبیت گردند. گونه های فرار معمولاً به صورت آمینی هستند و نکته جالب اینجا است که موفق ترین مواد رنگزای دیسپرس اعمال شده بر روی پارچه های اکریلیکی آمینوآنتراکینون ها می باشند. متاسفانه در هنگام اعمال مواد رنگزای بازیگ با روش های انتقالی، این مواد ثبات نوری و شست و شویی ضعیفی نسبت به محصولات چاپ شده با شرایط آبی معمول، از خود نشان می دهند. تا به امروز هیچ ماده رنگزای فراری تمایل جذب مطلوبی به پارچه های پشمی یا پنبه ای از خود نشان نداده است. چاپ انتقالی بر روی این زیرآیندها با مواد دیسپرس موجود، رنگ های بسیار ضعیفی می دهند و این رنگ ها غالباً در سطح مانده و جذب پارچه نمی شوند و در نتیجه با شست و شو و سایش کاملاً از سطح پاک می شوند. طبیعت آب گریز آبی کیوتیکول پشم به گروهی از مواد رنگزای دیسپرس خاص اجازه لکه گذاری می دهد، ولی این برای رقابت های تجاری کافی نیست. البته این قضیه که می توان از طریق ترکیب کردن الیاف پشم با الیاف پلی استر و یا استفاده از رزین بر روی پشم و همچنین استفاده از مبدل های شیمیایی بر روی سطح سلولز و ایجاد مشتقات استیل که نسبت به مواد فرار تمایل جذب دارند، بر روی این دسته از پارچه ها چاپ نمود با آنچه گفته شد مغایرت نخواهد داشت. در این زمینه پیشنهاد شده است که پنبه با یک یون فلزی محلول (مانند Ni^{2+}) آماده سازی شده، سپس توسط جوهر انتقالی با ایجاد پیوندهای کمپلکس فلزی، چاپ انجام شود [۲]. شرکت داونسون^۲ در انگلیس یک روش عملی برای چاپ پشم ارائه داده است، اما این روش به یک مرحله تثبیت بخار نیاز دارد و به دو طریق عمل می کند:

۱- پد کردن پارچه با یک محلول پیش ساخته قبل از چاپ کردن

سیلیکونی در مرحله آماده سازی برای چاپ، این امکان را برای این گونه زیرآیندها به وجود آورده اند که بتوانند با چاپ انتقالی چاپ گردند. این نوع پارچه ها را با نام آرئل^۱ می شناسند. ترکیب ۶۵-۳۵ الیاف نایلون-آرئل نیازی به پیش آماده سازی ندارند [۶]. پارچه های اکریلیکی قابل رنگرزی با مواد رنگزای بازیگ، با مواد رنگزای دیسپرس چاپ هایی با قدرت کم می دهند و در کل بعد از پلی استر بهترین زیرآیندی است که می توان با چاپ انتقالی بر روی آن چاپ نمود [۲]. در رابطه با الیاف اکریلیک باید به دو نکته توجه کرد، اولاً این الیاف بر اثر حرارت دیدن تغییر رنگ داده و زرد می شوند و ثانیاً در دماهای بالا الیاف اکریلیک خشن می شوند. برای رفع این مشکلات، بر روی جوهرهای انتقالی اصلاحاتی صورت گرفت تا دمای تصعید تا $120^\circ C$ و با تغییر در ساختار الیاف نام برده توانستند پایداری آنها را تا دما $200^\circ C$ افزایش دهند که شکل ۴- شاخص زردی چند پارچه مصنوعی را بر حسب دما نشان می دهد. در این شکل به نظر می رسد پلی استر در برابر حرارت پایداری بهتری از خود نشان داده و کمتر تغییر رنگ می دهد. نایلون ۶/۶ در دماهای بالاتر از $200^\circ C$ پایداری اولیه خود را از دست داده و به زردی می زند، با این حال بعد از پلی استر پایداری بهتری نسبت به دیگر الیاف دارد [۸، ۶].



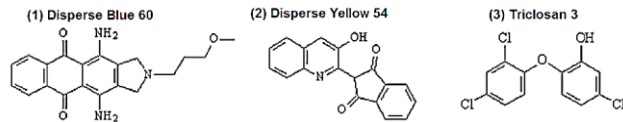
شکل ۴- شاخص زردشوندگی الیاف مصنوعی بر حسب افزایش دما (مدت زمان حرارت دهی ۲۰ s) [۵].

برای نایلون، وقتی که مواد رنگزای مونوآزوی فرار را به همراه مقداری ماده رنگزای راکتیو مانند گروه های دی کلروتری-آزینیل آمین یا کلرواستیل آمین (که معمولاً در طی فرآیند تقطیر در مخلوط مواد آزو باقی می ماند) به کار می برند، ثبات تری افزایش می یابد. تثبیت بر روی کالا به برهم کنش های گروه های انتهایی آمین در پلی آمید وابسته است. اخیراً کروموفورهای مشابه، حاوی گروه های آزید مانند SO_2N_3 مورد آزمایش قرار گرفته اند، برهم کنش های این دسته از مواد به تولید یک جزء نیترو و جایگیری آن در میان پیوندهای C-H موجود در زنجیره پلیمر بستگی دارد. از آن جایی که مثال اخیر می تواند یک تثبیت ۷۷٪ بر چاپ انتقالی ایجاد نماید، مواد رنگزای فرار حاوی گروه کلرواستیل آمین نسبتاً ثبات کمی می دهند. برای چاپ انتقالی بر روی پارچه های

² Dawson

¹ Arnel

۲- اضافه کردن ترکیبات شیمیایی فعال به جوهر چاپ پارچه پیش از چاپ باید تر شود. شرکت دیویدگسنر^۱ دارنده حق ساخت و فروش جدیدترین دستگاه‌های سیستم تر است که با عنوان چاپ شبنم معروف هستند. ادعا شده است که با چاپ شبنم می‌توان با موادرنگزای غیر از دیسپرس بر روی پشم، نایلون، پنبه و اکریلیک چاپ انتقالی ایجاد نمود. همچنین چون دمای چاپ پایین‌تر از حالت خشک است، لطافت سطح پارچه بسیار مطلوب‌تر است [۶].



شکل ۶- (۱) و (۲) ساختار شیمیایی مواد رنگزای پراکنش و (۳) ساختار شیمیایی ماده ضدباکتری استفاده شده در جوهرهای انتقالی ضدباکتری [۴].

هم‌چنین با گذر زمان تنش سطحی افزایش می‌یابد ولی برای همه نمونه‌های ساخته شده می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که پس از گذشت هفت روز جوهر به پایداری نسبی می‌رسد و کشش سطحی آن تغییر چشمگیری نمی‌کند. افزودن مواد فعال یادشده به جوهر، محصول نهایی را دست‌خوش تغییرات شدید نمی‌نماید و با کنترل مقدار مواد افزودنی می‌توان تغییرات را در محدوده مجاز نگه داشت. نتایج به‌دست آمده از طیف‌سنجی UV-Vis به وضوح نشان می‌دهند که افزودن ماده فعال به ترکیب جوهر، باعث شیفت رنگی نشده و λ_{max} در نمونه‌های هم‌رنگ یکسان می‌باشد. در مرحله بعدی جوهرهای ساخته شده بر روی پارچه‌های پلی‌استری و پلی‌آمیدی به روش چاپ انتقالی اعمال شدند و با حرارت تثبیت گشتند. توجه به مقادیر رنگ‌سنجی نمونه‌های چاپ شده داده شده می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با افزودن ماده ۵ Silpure FBR- به جوهر آبی و زرد تغییر رنگ مشاهده نمی‌گردد، که این نشان می‌دهد افزودنی یاد شده با ترکیب جوهر سازگار است. اما افزودن ماده Ultrafresh NM-V2 باعث افزایش نسبت K/S می‌شود. این مسئله را می‌توان به ساختار شیمیایی این افزودنی نسبت داد، Ultrafresh NM-V2 در چاپ انتقالی الیاف مصنوعی تا حدودی نقش یک حامل را ایفا می‌کند و این عملکرد باعث بروز جابجایی رنگی در مرحله چاپ می‌گردد. نتایج آزمون‌های ثبات شست‌وشویی و نوری نمونه پلی‌استری چاپ شده بسیار عالی است و در شست‌وشو هیچ لکه‌ای بر روی پارچه همراه مشاهده نشده است. اما ثبات نوری نمونه پلی‌آمیدی کم است، با توجه به این که نمونه بدون افزودنی نیز ثبات خوبی از خود نشان نداده است، می‌توان دریافت که این مسئله به خاطر ماده فعال نیست و به ساختار ماده رنگزا مرتبط است. در نتیجه مواد فعال به کار برده شده در نمونه‌ها هیچ تاثیر منفی‌ای بر ثبات‌های نوری و شست‌وشویی ندارند. در سال ۲۰۱۴، لیزاک^۴ اثر دمای انتقال در چاپ انتقالی را بر روی رسانایی حرارتی پارچه‌های چندلایه ورزشی مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهند که با افزایش دمای انتقال در بازه

۵- چاپ انتقالی در صنایع نساجی

در سال ۲۰۰۹، یوگان^۲ و همکارانش برای ایجاد چاپ انتقالی بر روی پارچه پنبه‌ای، سطح پارچه را با محلول آبی تلین‌دی‌ایزوسیانات (TDD) پوشش داده و آن را پخت کردند و سپس آن را با چاپ انتقالی چاپ نمودند. آنها نشان دادند، درجه تصعید با افزایش غلظت TDD، دمای پخت و زمان انتقال افزایش، و قابلیت انعطاف الیاف و سفیدی پارچه کاهش می‌یابد. در این تحقیق شرایط بهینه برای آماده‌سازی پارچه، دمای ۱۶۰ °C و زمان ثانیه ۱۰۰ و برای ایجاد چاپ انتقالی، دمای ۲۲۰ °C و فشار ۲/۱ atm و زمان ثانیه ۲۴ گزارش شده است. نتایج حاصل از آزمون ثبات شست‌وشویی در محدوده قابل قبول قرار دارند و نشان‌دهنده مناسب بودن این چاپ می‌باشند. شکل ۵ ساختار شیمیایی موادرنگزای استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد [۱۳].

نام شیمیایی	نام ژنریک (CI)	ساختار
قرمز دیسپرس E-4B	CI Disperse Red 60	
زرد دیسپرس SE-3GE	CI Disperse Yellow 54	
آبی دیسپرس GL	CI Disperse Blue 60	

شکل ۵- ساختار شیمیایی موادرنگزای استفاده شده [۱۳].

در سال ۲۰۱۳، کارانیکاس^۳ که در زمینه خواص ضدباکتری چاپ انتقالی بر روی الیاف مصنوعی کار می‌کرد، نشان داد که حضور مواد سطح فعال باعث افزایش کشش سطحی جوهر انتقالی می‌شوند، اما پس از گذشت ۷ روز کشش سطحی جوهر به حالت پایدار رسیده و تغییر نمی‌نماید. همچنین نتایج حاصل از انتقال طرح به پارچه نشان می‌دهند که حضور

¹ David Gessener

² Yu Guan

³ Karanikas

⁴ Liza k

صفحات رهاساز در ابعاد میکرو است که می‌تواند ریزتراشه‌ها را در بر بگیرد. مزیت این روش در بالا بودن سطح موثر است. چاپ انتقالی به وسیله اعمال بار^۶ در مرحله انتقال به صفحه حامل تصویر یک بار مکانیکی مشخص اعمال می‌شود و با ایجاد یک برش افقی انتقال از صفحه حامل صورت می‌گیرد. مراحل این چاپ در شکل ۷ آمده است. چاپ انتقالی لیزری^۷: در حین انتقال از یک لیزر استفاده می‌شود تا به کمک ایجاد پالس بین مهر و ریزتراشه‌ها ایجاد حرارت کرده و باعث رهاسدن ریزتراشه‌ها از مهر شود [۹, ۱۰]. از جمله کاربردهای چاپ انتقالی می‌توان به چاپ ریزتراشه‌ها بر روی وسایل الکترونیکی آلی^۸ مانند کارت‌های حافظه‌ای اشاره نمود که از پلیمرهای فروالکترونیک مانند پلی‌وینیلیدین فلورید^۹ (PVDF) و کوپلیمرهای آن با مونومر تری‌فلورواتیلن اشاره نمود. از مواد فروالکترونیک در جاهایی که به انعطاف بالا نیاز است استفاده می‌شود از دیگر کاربردهای این مواد می‌توان به ریزحسگرها، ترانسدیوسرها، حسگرهای لمسی و غیره اشاره نمود. از آنجایی که خاصیت مواد فروالکترونیک (P(VDF-TrFE)) به جهت‌گیری فضایی باندهای قطبی F-H بستگی دارد، تنظیم شاخه‌های جانبی در مقیاس مولکولی در فیلم نازکی که اعمال می‌شود بسیار حائز اهمیت می‌باشد. روش متداول برای شکل‌گیری الکترودها بر پایه تهنشینی خلاء می‌باشد، مانند پرتودهی الکترونی یا تبخیر حرارتی یا روش‌های پرتاب پلاسما. با توجه به روش‌های گفته شده، سطح نمونه فیلم (P(VDF-TrFE)) در معرض ذرات پر انرژی قرار می‌گیرد (مانند فوتون‌ها، الکترون‌های ثانویه، پلاسما و بخار داغ فلزات)، این فرآیندها باعث تغییر ساختار سطح و کاهش خواص فروالکترونیکی می‌شود و سطح را خنثی می‌نماید، از طرفی انرژی بالا باعث شکستگی شاخه‌ها و تغییر در جهت‌گیری فضایی می‌شود.

۱۸۰-۲۲۰ °C، ضخامت نمونه‌های چندلایه پلی-استری کاهش می‌یابد، این کاهش ضخامت باعث افزایش تراکم و چگالی الیاف می‌گردد و در نهایت با افزایش چگالی، رسانایی حرارتی افزایش می‌یابد. این کاهش ضخامت در برخی نمونه‌ها در دمای ۲۲۰ °C تا نصف مقدار اولیه بوده است و در این تحقیق افزایش رسانایی حرارتی یک تغییر مطلوب به حساب می‌آید [۱۴].

۶- سایر کاربردهای چاپ انتقالی

در سال‌های اخیر به طور گسترده از تئوری چاپ انتقالی در صنایع الکترونیک استفاده شده است، به گونه‌ای که در برخی موارد چاپ انتقالی را در اصل یک شاخه از علم الکترونیک دانسته و برای روش‌های انتقال به مدل‌سازی ریاضی پرداخته‌اند [۹]. چایی که در این صنعت با عنوان چاپ انتقالی شناخته می‌شود، در واقع همان سیستم رهایش فیلم است که پیش‌تر به آن اشاره شده است. علت استفاده از این روش، دقت بالای چاپ انتقالی نسبت به روش‌های سنتی متداول و کاهش آسیب‌های سطحی به حداقل ممکن است. در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۲ با هدف ارائه مدلی تحلیلی در زمینه چاپ انتقالی در صنعت الکترونیک عنوان "یک مدل تحلیلی برای برش‌های تسهیل یافته غیرچسبنده در چاپ انتقالی"^۱ منتشر شد، چاپ انتقالی این گونه توصیف شده است: "به طور کلی چاپ انتقالی یک روش برای انتقال ریزتراشه‌ها به زیرآیند اصلی به کمک یک الاستومر رابط است"^۲. و در ادامه چهار روش اصلی انتقال در صنایع الکترونیک معرفی شده است. این چهار روش به شرح زیر هستند:

چاپ انتقالی با کنترل سینتیکی^۳: حامل واسط ریزتراشه‌ها یک مهر ویسکوالاستیکی^۴ است که ریزتراشه‌ها را به سرعت برداشته و به آرامی بر روی زیرآیند اصلی چاپ می‌نماید. مهر واسط دارای چسبندگی‌های متفاوت برای نرخ‌های انتقال متفاوت است.

چاپ انتقالی به کمک سطوح رهاکننده^۵: سطح مهر^۵ دارای تعداد زیادی

⁵ The stamp surface

⁶ Load-enhanced transfer printing

⁷ Laser-driven transfer printing

⁸ Organic

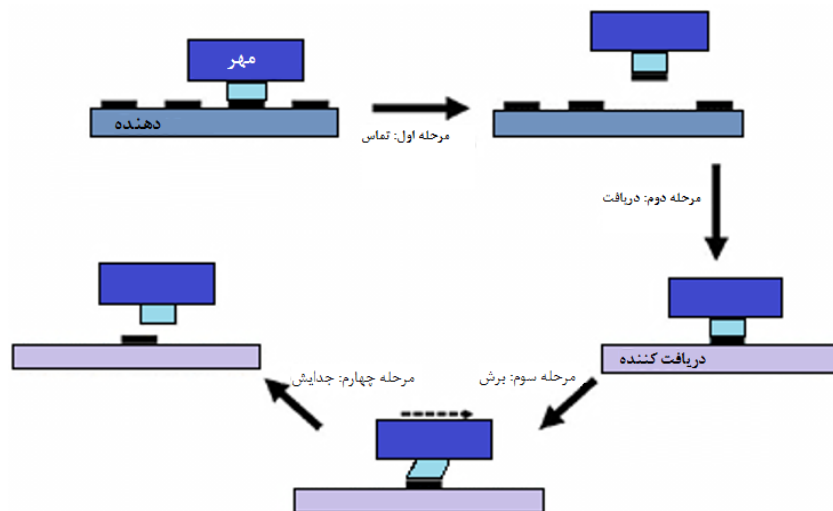
⁹ Polyvinylidene fluoride

¹ An analytical model for shear-enhanced adhesiveless transfer printing

² Kinetically controlled transfer printing

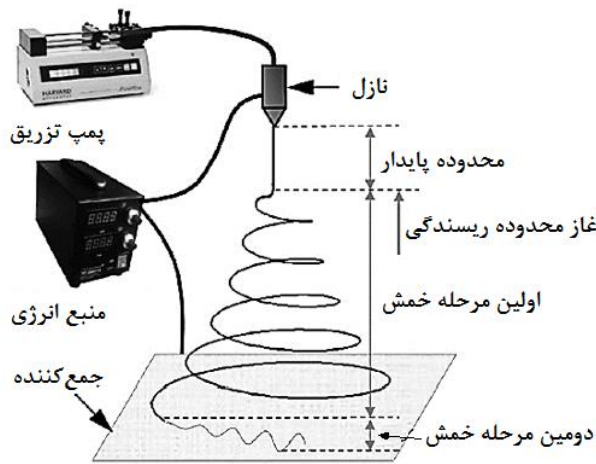
³ The viscoelastic stamp

⁴ Surface-relief-assisted transfer printing



شکل ۷- مراحل چاپ انتقالی به وسیله اعمال بار مکانیکی [۱۰].

مانند PDMS است. شکل ۸ نمای کلی الکتروریسی را نشان می‌دهد، همان‌گونه که مشاهده می‌شود بین نازل و صفحه مقابل آن یک اختلاف پتانسیل ایجاد می‌گردد و این اختلاف پتانسیل نیروی محرکه جریان مایعی است که در درون نازل قرار دارد در نتیجه مخلوط مورد نظر به صورت مایع از نازل خارج شده و بر اثر تبخیر حلال به حالت جامد در می‌آید.



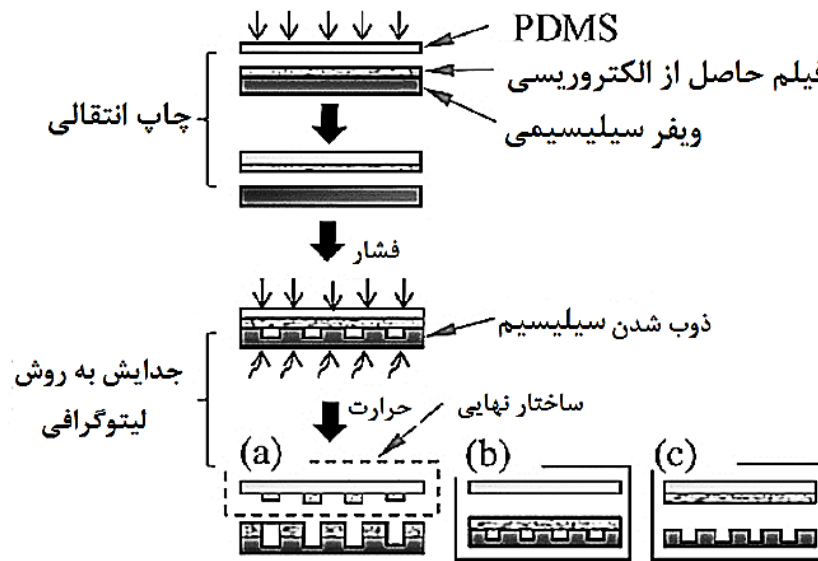
شکل ۸- تصاویری از الکتروریسی [۱۲].

روش کار به این صورت است که ابتدا فیلم الیاف مورد نظر بر روی یک زیرآیند ویفری سیلیسیمی تشکیل می‌شود، سپس زیرآیند PDMS بر روی سطح فیلم قرار گرفته و تحت فشار و حرارت فیلم را از ویفر جدا می‌نماید (در این مرحله تمام فیلم به PDMS انتقال می‌یابد). در مرحله بعدی باید طرح مورد نظر بر روی فیلم چاپ شود. بدین منظور یک زیرآیند سیلیسیمی به روش لیتوگرافی حکاکی شده و PDMS حاوی فیلم بر روی آن فشرده می‌گردد. سپس به زیرآیند سیلیسیمی حرارت داده می‌شود، در این مرحله در نقاط برجسته الیاف موجود بر روی PDMS ذوب و از سطح جدا می‌شوند و الیاف حرارت ندیده بر روی سطح باقی می‌مانند. سپس به سرعت فیلم PDMS از روی سیلیسیم جدا می‌شود و طرح مورد نظر بر روی سطح باقی می‌ماند. حال مجدداً فیلم نهایی می‌تواند بر روی قطعات الکترونیکی به روش چاپ انتقالی انتقال یابد [۱۲]. با توجه به مقالات مطرح شده در این بخش می‌توان دریافت که در صنایع الکترونیک از فیلم الاستومری PDMS به عنوان یک زیرآیند واسط متداول استفاده می‌شود که ریزتراشه‌ها، نانوذرات فلزی و یا فیلم‌های پلیمری مورد نظر می‌توانند بر روی آن شکل گرفته و سپس به سطح زیرآیند نهایی انتقال یابند. در مقاله اخیر هدف، چاپ طرح نهایی بر روی PDMS بود و در واقع این زیرآیند سیلیسیمی بود که نقش یک زیرآیند واسط را ایفا می‌کرد. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد فیلم PDMS تهیه شده می‌تواند در مراحل بعدی بر روی قطعه الکترونیکی مورد نظر به روش چاپ انتقالی انتقال یابد. مزیت این روش در ایجاد و کنترل طرح‌های نهایی الیاف ریسیده شده و دقت بالای این چاپ است. شکل ۹ فرآیند چاپ انتقالی بر روی فیلم PDMS را نشان می‌دهد.

با توجه به این که این آسیب‌ها در مرحله خلاء به سطح وارد می‌شوند، به عنوان یک جایگزین مناسب می‌توان از چاپ انتقالی الکترودهای فلزی استفاده نمود. در این روش به زیرآیند اصلی آسیبی نمی‌رسد زیرا این زیرآیند دهنده یا واسطه است که در معرض پرتوی الکترونی قرار می‌گیرد، در نتیجه قطعه نهایی از کارایی بالاتری برخوردار خواهد بود. در مقاله‌ای که در آوریل ۲۰۱۴ انتشار یافته کارایی دو روش چاپ مستقیم و انتقالی الکترودهای طلا بر روی زیرآیند P(VDF-TrFE) با یکدیگر مقایسه شده است. در این مقاله برای روش چاپ مستقیم، ذرات طلا به وسیله تبخیر پرتوی الکترونی به P(VDF-TrFE) انتقال داده شدند و برای روش چاپ انتقالی از فیلم PDMS به عنوان یک زیرآیند واسط استفاده شد که ذرات طلا ابتدا به کمک پرتوی الکترونی بر روی آن قرار می‌گیرند و سپس فیلم تهیه شده بر روی زیرآیند اصلی قرار گرفته و در دمای ۹۰ و به مدت ۳۰ دقیقه به آن حرارت داده می‌شود، پس از حرارت دیدن، فیلم PDMS از نمونه جدا شده و آن چه بر روی P(VDF-TrFE) باقی می‌ماند چاپ انتقال یافته طلا می‌باشد. در نهایت هر دو نمونه تهیه شده به مدت یک ساعت در دمای ۱۳۵ °C کوره قرار می‌گیرند تا فیلم P(VDF-TrFE) حالت بلوری به خود بگیرد.

آن چه از بررسی‌های سطحی نمونه‌ها در این مقاله به دست می‌آید، کارایی بهتر و دقت بالاتر چاپ انتقالی می‌باشد زیرا همان‌طور که اشاره شد در این چاپ زیرآیند اصلی در معرض انرژی بالا قرار نگرفته و آسیب نمی‌بیند [۱۱]. در آوریل ۲۰۱۳ مقاله‌ای منتشر شد که در آن از چاپ انتقالی برای چاپ و شکل‌دهی فیلم‌های حاصل از الکتروریسی استفاده شده است. در الکتروریسی از یک شارژ الکتریکی استفاده می‌شود تا از یک مایع، الیافی در مقیاس نانو یا میکرو بافته شود. در این روش هم از اسپری الکتریکی استفاده می‌شود و هم از روش تبخیر حلال و خشک ریزی. این فرایند به واکنش شیمیایی و یا دمای بالا نیازی ندارد، در نتیجه می‌توان از مولکول‌های بزرگ و پیچیده در آن استفاده نمود. فرآیند بدین ترتیب است که یک ولتاژ قوی به دو قطبی‌های موجود در قطرات مایع اعمال می‌شود و آنها را شارژ می‌نماید. نیروی الکترواستاتیک به وجود آمده در قطرات باعث ایجاد تنش سطح شده و قطرات به فرم کشیده درمی‌آیند و در یک نقطه بحرانی یک باریکه مایع از نازل خارج می‌شود. این نقطه بحرانی را مخروط تیلور می‌نامند. بر اثر این فرآیند الیافی تولید می‌شوند که در ابعاد نانو هستند و دارای نسبت سطح به حجم بسیار بالا و سطحی بی‌عیب و نقص می‌باشند. در الکتروریسی متداول، جت مایع شارژ شده و پس از خروج از نازل تنها تا چند سانتی‌متر می‌تواند بر روی خط مستقیم حرکت کند. جت خم می‌شود و حالت آن از شکل مخروطی خارج می‌گردد. از آن جایی که هدف این فرآیند ایجاد الیافی با الگوی قابل پیش‌بینی می‌باشد، این پدیده اصلاً مطلوب و مورد قبول نیست. یکی از مصارف الیاف نانویی در ساخت وسایل الکترونیکی است، این پدیده باعث ایجاد الیاف خشن می‌شود و استفاده آنها را در این وسایل غیرممکن می‌سازد [۱۲].

هدف مقاله یاد شده ایجاد یک فیلم از الیاف نانویی به روش الکتروریسی و سپس چاپ این فیلم در الگوهای دلخواه بر روی یک فیلم الاستومری



شکل ۹- مراحل انتقال الیاف رسیده شده به فیلم PDMS و سپس چاپ این الیاف در طرح مورد نظر به کمک زیرآیند حکاکی شده به روش لیتوگرافی. a. یک چاپ مطلوب را نشان می‌دهد b. حرارت زیرآیند سیلیسیمی بالا بوده و فیلم الیاف را کاملاً از سطح جدا کرده c. حرارت زیرآیند به قدری کم بوده که نتوانسته طرح مورد نظر را بر روی PDMS ایجاد نماید [۱۲].

۷- نتیجه‌گیری

مزایای چاپ انتقالی را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱. اعمال این چاپ آسان است و نیاز به تخصص خاصی ندارد
 ۲. نیازی به سرمایه‌گذاری عظیم اولیه ندارد
 ۳. کنترل کیفیت چاپ در آن بسیار بالا است
 ۴. از آن جایی که چاپ انتقالی یک چاپ خشک است، پساب صنعتی آن بسیار کم است و دوست‌دار محیط زیست می‌باشد
 ۵. فرآیند انعطاف‌پذیری دارد و با روش‌های مختلف سازگار است
 ۶. چاپ بر روی سطوح رنگ‌شده امکان‌پذیر می‌باشد
 ۷. کیفیت تصاویر چاپ شده بسیار بالاتر از دیگر روش‌ها است
 ۸. ماندگاری تصویر چاپ شده بالا است
 ۹. قابلیت شست‌وشوی بالا و بدون کاهش کیفیت دارد
 ۱۰. قابلیت چاپ رنگ‌های پیوسته را دارد و تصویر حاصل از چاپ شباهت زیادی به تصاویر شیمیایی دارد
- بزرگ‌ترین عیب این روش چاپ، محدود بودن مواد رنگزای فرار و پارچه‌هایی است که این مواد به آنها افینیتته نشان می‌دهند. همچنین با

توجه به آنچه در بخش‌های قبل گفته شد فرموله کردن جوهرهای انتقالی بسیار دشوار است، زیرا باید به طور هم‌زمان به فراریت مواد رنگزا و قدرت جذب این مواد به زیرآیند توجه داشت. یکی دیگر از معایب این چاپ، ایمنی اطلاعات آن است. کاغذهایی که تصویر را به پارچه یا زیرآیندهای مصنوعی (مانند کارت‌های اعتباری و شناسایی) انتقال می‌دهند، باید پس از انتقال خرد و سوزانده شوند تا اطلاعات موجود بر روی آنها به دست سوجویان نرسد.

از جمله کاربردهای جدید چاپ انتقالی می‌توان به چاپ ریزتراشه‌ها بر روی وسایل الکترونیکی آلی مانند کارت‌های حافظه‌ای اشاره نمود که در آنها از فیلم الاستومری PDMS به عنوان یک زیرآیند واسط متداول استفاده می‌شود، بدین ترتیب که ابتدا ریزتراشه‌ها، نانوذرات فلزی و یا بافت‌های پلیمری مورد نظر بر روی زیرآیند واسط شکل می‌گیرند و سپس تحت فشار یا حرارت به سطح زیرآیند نهایی انتقال می‌یابند. مزیت این روش نسبت به روش‌های متداول آن است که اولاً زیرآیند اصلی هیچ‌گاه به طور مستقیم در معرض پرتودهی یا اعمال مکانیکی قرار نمی‌گیرد، ثانیاً دقت این روش به مراتب بالاتر می‌باشد.

۱۰- مراجع

1. Y. Mahe, Transfer Printing Manual (Chapter 4 Gravure Method of Preparing Paper for Transfer Printing), 1976.
2. F. Jones, Textile Printing (Chapter 3 Transfer Printing), L.W.C. Miles, 1981.
3. F. Schlaeppli, Transfer Printing Manual (Chapter 10 Properties of Dyes for Transfer printing.), 1976.
4. E. K. Karanikas, "Preparation of Novel ink-jet inks with Antimicrobial and Bacteriostatic properties to be used for Digital printing of polyester and Polyamide fibers", Prog. Org. Coat., Department of Industrial Chemistry and Chemical Technology, School of Chemistry, Aristotle University of Thessaloniki, GR54124 Thessaloniki, Greece, p.p. 1112-1118, 2013.
5. R. John, Transfer Printing Manual (Chapter 9 Printing Inks for Transfer Printing.), 1976.
6. M. Louis, Transfer Printing Manual (Chapter 3 Recent Developments in Transfer Printing Inks, Dyes, Paper and Equipment), 1976.
7. F. Schlaeppli, Transfer Printing Manual (Chapter 11 New Generation of Transfer Dyes), 1976.

8. P. Shroff, Transfer Printing Manual (Chapter 20 Transfer Printing of 100% Spun and Combination Spun/Filament Fabrics), **1976**.
9. H. Cheng, "An analytical model for Shear-enhanced adhesiveless transfer printing", Mechanics Research Communications, Department of Mechanical Engineering and Department of Civil and Environmental Engineering, Northwestern University, Evanston, IL 60208, United States, 46-49, **2012**.
10. R. Saeidpourazar, "A prototype printer for laser driven micro-transfer printing", J. Manuf. Processes, Brooks Automation, Inc., Chelmsford, MA 01824, USA, p.p. 416-424, **2012**.
11. D. Kim, "Transfer-printed thin film metal electrodes for High-performance ferroelectric P(VDF-TrFE) devices", Polymer, Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Republic of Korea, 2491-2495, **2014**.
12. Y. Duan, "Transfer printing and Patterning of Stretchable electrospun film", Thin Solid Films, State Key Laboratory of Digital Manufacturing Equipment and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China, 152-156, **2013**.
13. Yu. Guan, "Transfer Printing with Disperse Dyes on Cotton Fabric Modified with an Aqueous Tolyene Diisocyanate Derivative", Fibers and Polymers, College of Light Industry, Textile and Food Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China, Vol.10, 4, 488-495, **2009**.
14. Lizač, Pavol; "The effect of Sublimation print on Thermal conductivity of Layered sports textiles", J. Therm Anal Calorim, Faculty of Industrial Technologies, University of Alexander Dubč'ek in Trenč'ín, I. Krasku 1809/34, 020 01 Puč'ov, Slovakia, 891-897, **2014**.