در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir

نشریه علمی‌مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۱۰، شماره ۱، (۱۳۹۹) ۶۴-۵۷

نوع مقاله: مروری

چاپ جوهرافشان انتقالی تصعیدی: بررسی خواص جوهر، مواد رنگزای مصرفی، کاغذ انتقال و زیرآیند

مجتبی جلیلی[1*]، محسن ونک[2]، مازیار دهقانی[2]

۱- استادیار، گروه پژوهشی علوم و فناوری چاپ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق‌پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵۴.

۲- شرکت رنگ‌های صنعتی ایران، گیشا، خیابان هفدهم، پلاک ۲۵۶، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۴۷۷۹۴۳۱۱.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱۶ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۹/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۳ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۹۹/۰۴/۱۸

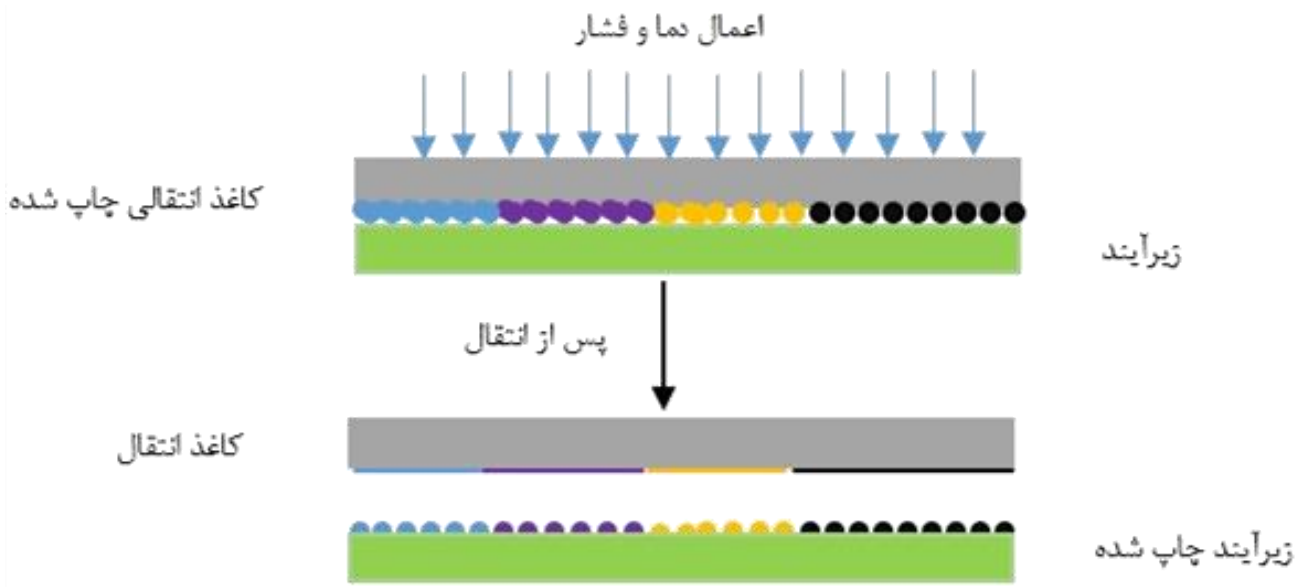
چکیده

استفاده از چاپ دیجیتال در صنایع نساجی با توجه به کیفیت چاپ عالی، میزان آلودگی بسیار کم و همگام بودن با میزان و نوع تقاضای بازار مد روبه رشد است. از طرفی پلی‌استر یکی از مهم‌ترین الیاف مصنوعی است که در صنایع نساجی از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و دارای حجم مصرف بالایی است. چاپ جوهرافشان روی پارچه پلی‌استر به دو روش مستقیم و انتقالی انجام می‌شود که در روش مستقیم می‌بایست سطح پارچه به روش شیمیایی آمایش شود و در روش انتقالی از کاغذ انتقال استفاده می‌شود. در فناوری تصعیدی انتقالی به آماده‌سازی پارچه به روش‌های فیزیکی و یا شیمیایی و همچنین عملیات شستشو پس از چاپ نیازی نیست. از نکات بسیار مهم در چاپ تصعیدی انتخاب صحیح مواد رنگزا و تنظیم خواص فیزیکی جوهر متناسب با نوع هد است. در این مقاله با توجه به جایگاه مهم این فناوری در صنایع نساجی، مواردی از قبیل بازار جوهرهای چاپ، فرآیند چاپ و ملزومات آن، مواد رنگزای مصرفی و خواص آنها، خواص فیزیکی جوهر، کاغذ انتقال و زیرآیند مطالعه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی

چاپ جوهرافشان تصعیدی انتقالی، جوهر، مواد رنگزای دیسپرس، کاغذ انتقال، نساجی.

چکیده تصویری



*نویسنده مسئول: jalili@icrc.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 10, No.1, (2020) 57-64
Type: Review paper

نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

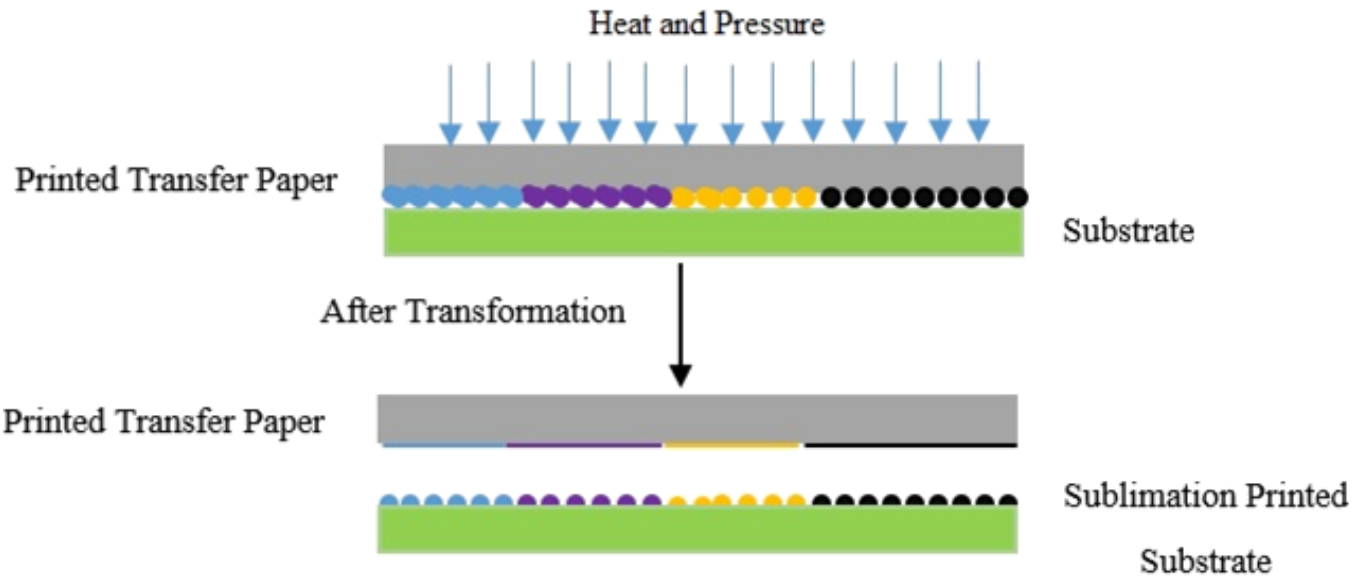
Transfer Sublimation Inkjet Printing: Investigating the Ink Properties, Dyes, Transfer Paper and Substrate

Mojtaba Jalili[*1], Mohsen Vanak[2], Maziar Dehghani [3]
1- Department of Printing Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 1668814811, Tehran, Iran.
2- Industrial Paint of Iran Co., No. 256, Gisha St., P. O. code: 1447794311, Tehran, Iran.

Abstract
Digital printing is growing in textile industries due to excellent pattern quality, considerably little pollution, and specially fast response to the frequent shift of fashion market. On the other hand, polyester is one of the most important synthetic fibers with high consumption volume in textile industry. Ink jet printing on polyester textiles is performed either by direct or transfer approaches. The former needs chemical surface treatment, while the latter uses transfer paper. Transfer sublimation technology does not need any chemical or physical surface treatment or post-printing washing. The proper choice of dye and physical properties of the ink with respect to the print-head are of great importance in sublimation printing. In this paper, parameters such as printing inks market, printing process and its requirements, dyes and their properties, physical properties of inks, transfer paper, and the substrates are studied due to the high position of this technology in the textile industry.

Keywords
Transfer Sublimation Inkjet Printing, Ink, Disperse Dye, Transfer Paper, Textile.

Graphical abstract



Corresponding author: jalili@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

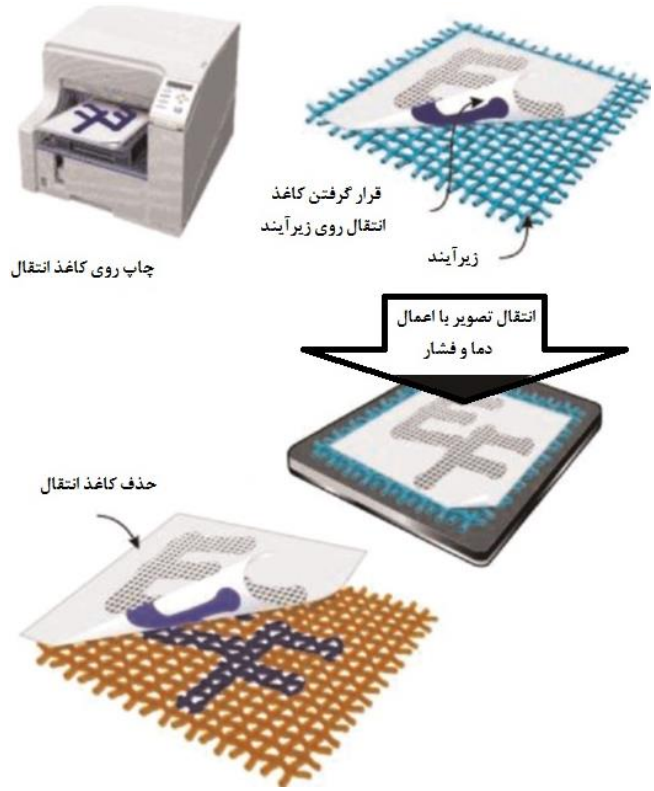
جوهرهای بر پایه مواد رنگزای دیسپرس[1] از اواسط دهه ۱۹۹۰ به طور گسترده جهت کاربرد در فناوری جوهرافشان ارائه شدند. بر اساس بررسی بازار انجام شده توسط شرکت TTP Meteor، بیش از ۵۰٪ جوهرهای دیجیتال مصرفی در صنایع نساجی در سال ۲۰۱۶ از جوهرهای جوهرافشان تصعیدی بوده‌اند. این درحالی است که ارزش کل بازار مصرف جوهرهای دیجیتال در صنایع نساجی به میزان یک میلیارد دلار بوده است [۱]. نتایج تحقیق موسسه Smithers Pira نشان می‌دهد که در همین سال بازار چاپ منسوجات به روش تصعیدی بیش از ۴۰۰ میلیون متر مربع بوده که ممکن است تا سال ۲۰۲۱ به ۹۰۰ میلیون متر مربع برسد [۲]. مواد رنگزای تصعیدی اولین بار در چاپ دیجیتال توسط صنایع شیمیایی ایمپریال[2] (ICI) جهت انتقال حرارتی نفوذ مواد رنگزا[3] (D2T2) یا چاپ انتقالی حرارتی تصعیدی[4] معرفی شدند. در این روش، مواد رنگزای تصعیدی به‌صورت مستقیم تصعید شده و یا در اثر تماس هد حرارتی با ریبون در دمای بسیار بالا، تصعید شده و به زیرآیند منتقل می‌شوند. از معایب این روش، وضوح کم چاپ (dpi ۴۰۰- ۱۰۰)، قیمت بالای تولید ریبون و تنوع محدود زیرآیند را می‌توان نام برد. با ارائه فناوری چاپ جوهرافشان تصعیدی این محدودیت‌ها برطرف شد [۳].

۱-۱- انواع فناوری‌های چاپ جوهرافشان تصعیدی

جوهرهای تصعیدی دیجیتال به دو روش مستقیم و انتقالی در فرآیند چاپ استفاده می‌شوند. در روش مستقیم نیاز به کاغذ انتقال نبوده و چاپ به‌طور مستقیم روی زیرآیند انجام می‌شود. در شکل ۱ مراحل چاپ انتقالی نشان داده شده است [۴]. در روش انتقالی ابتدا طرح چاپی با چاپگر دیجیتال جوهرافشان بر روی کاغذ انتقالی چاپ می‌شود. تصویر آیینه‌ای حاصل شده در تماس با پارچه یا فیلم پلیمری قرار گرفته و برای مدت زمان مشخصی تحت فشار و درجه حرارت معینی قرار می‌گیرد، در این مرحله که به انتقال معروف است فیلم پلیمری یا الیاف پارچه منبسط شده و بخارات حاصل از تصعید ماده رنگزا را جذب می‌نمایند و در مرحله بعد پس از سرد شدن، ذرات ماده رنگزا در آن به دام افتاده و تثبیت می‌گردند. در روش مستقیم تثبیت حرارتی روی چاپی که بطور مستقیم روی پارچه صورت گرفته، انجام می‌شود و از تصویر آیینه‌ای استفاده نمی‌شود [۴].

وابسته به نوع ماده رنگزا، جنس و ظرفیت گرمایی زیرآیند و نوع پرس حرارتی زمان انتقال یا تثبیت حرارتی متغییر بوده و ممکن است از ۲۰ ثانیه تا چندین دقیقه باشد. معمولا دمای انتقال در بازه ۱۷۵ تا ۲۱۰ °C و فشار مکانیکی بین ۱۵ تا ۶۰ psig (۴/۱۴ bar- ۱/۰۳) قرار دارد. در جدول ۱ مقدار مشخصه‌های معمول فرآیند چاپ انتقالی گزارش شده است. مقدارهای گزارش شده را می توان به عنوان مرجع در نظر گرفت و با تنظیم عوامل به شرایط بهینه دست یافت [۴].

[1] Disperse dye
[2] Imperial chemical industries
[3] Dye diffusion thermal transfer
[4] Sublimation thermal transfer printing



شکل ۱- فرآیند چاپ انتقال تصعیدی [۴].

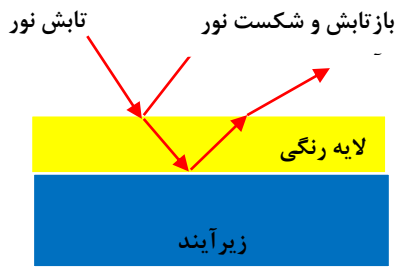
۱-۲- مهم‌ترین مزایای چاپ تصعیدی

چاپ تصعیدی روی مواد پلیمری، شفاف یا نیمه‌شفاف است زیرا مولکول‌های ماده رنگزا به جای آنکه روی سطح زیرآیند قرار بگیرند، بطور یکنواخت و در ابعاد مولکولی در داخل توده پلیمری پخش می‌شوند. در نتیجه چاپ حاصل شده بدون نیاز به پوشش براق و یا هر گونه آمایشی، براق و جذاب به نظر می‌رسد. نور نه تنها از سطح مشترک پلیمر-هوا منعکس می‌شود بلکه از داخل توده پلیمری نیز شکسته می‌شود (شکل ۲). ضخامت لایه رنگی ممکن است از چندین میکرون تا ۱۰۰ میکرون متغییر باشد. این خاصیت بی‌نظیر سبب کاربرد روزافزون فناوری چاپ تصعیدی در صنایعی از جمله پوشاک، هنرهای تزیینی و طراحی تصویر شده است [۴].

برخلاف بیشتر جوهرهای بر پایه مواد رنگزای از جمله راکتیو، اسیدی و یا خمی، در چاپ تصعیدی با استفاده از مواد رنگزای دیسپرس (بخصوص در صنایع نساجی) نیازی به هیچ‌گونه آمایش سطح اولیه و یا پس از چاپ، مانند روکش‌کردن و شستشو نیست. زیرا در اثر دما و فشار فقط مواد رنگزای دیسپرس از کاغذ انتقال تصعید شده و به داخل بافت پلیمری نفوذ کرده و تشکیل نواحی تصویری می‌دهند. از این‌رو مقدار فاضلاب و یا آلودگی مربوط به فرآیند کم‌ترین مقدار است. از طرفی از آنجا که سایر مواد مصرفی در فرمول‌بندی جوهرهای تصعیدی قابلیت تصعید ندارند در نتیجه مواد حساسیت‌زا و یا خطرناک به زیرآیند منتقل نمی‌شوند. علاوه بر این جوهرهای دیجیتال تصعیدی اغلب فاقد ترکیبات آلی فرار بوده که از جنبه‌های زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت است. از دیگر مزایای چاپ تصعیدی انتقالی امکان چاپ روی سطوح با هندسه متنوع است [۴].

۲- مواد رنگزای چاپ انتقالی تصعیدی

بدون شک مواد رنگزا جز کلیدی جوهرهای انتقالی تصعیدی هستند که می‌بایست تحت شرایط انتقال تصعید شده و مناسب جهت چاپ پارچه باشند. از این‌رو مولکول‌های مواد رنگزا می بایست نسبتا کوچک بوده و تا حد امکان دارای کم‌ترین تعداد گروه‌های عاملی یونی باشند تا فراریت آنها محدود نشود. در نتیجه مواد رنگزا از دسته ترکیبات دیسپرس انتخاب می‌شوند. فراریت مناسب یکی از ملزومات مواد رنگزا جهت چاپ تصعیدی است و حلالیت خیلی کم، خلوص بالا و عدم تمایل به بلوری‌شدن در زمان انبارداری از دیگر خواص لازم هستند. در شکل ۳، سه نوع ماده رنگزای متداول در چاپ تصعیدی معرفی شده است.

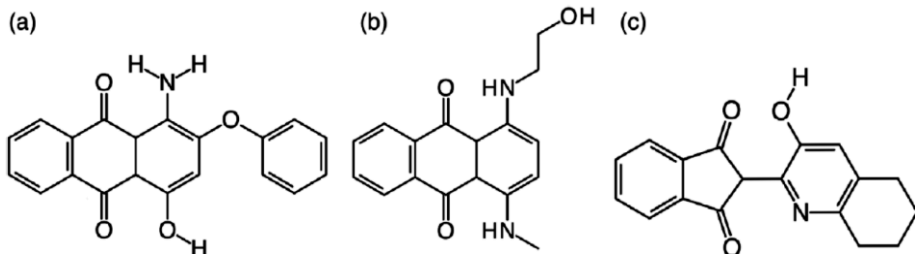


شکل ۲- برهم‌کنش نور با زیرآیند چاپ شده به روش تصعیدی [۴].

جدول ۱- مقدار مشخصه‌های معمول در چاپ تصعیدی وابسته به نوع زیرآیند [۴].

زیرآیند	دما (°C)	فشار (psi)	زمان (s)
پارچه	۲۰۴	۴۰	۳۵-۶۵
لیوان سرامیکی، کاشی، شیشه*	۲۰۴- ۱۷۵	۶۰-۴۰	۱۵۰-۲۱۰
زیرآیندهای الیاف ترکیبی	۲۰۴	۴۰	۶۰
فیلم‌های نازک	۲۰۴- ۱۷۵		۶۰-۳۵
صفحات فلزی*	۲۰۴	۴۰	۶۰
پلاستیک‌های کندکننده آتش[4]	۲۰۴	۴۰	۷۵-۶۰

*زیرآیند دارای پوشش پلیمری است



شکل ۳- ساختار شیمیایی مواد رنگزای نمونه مصرفی در چاپ تصعیدی: a) دیسپرس قرمز ۶۰، b) دیسپرس آبی ۳ و c) دیسپرس زرد ۵۴ [۱۱].

[1] Diffract
[2] Image design
[3] Lamination
[4] Fire retardant

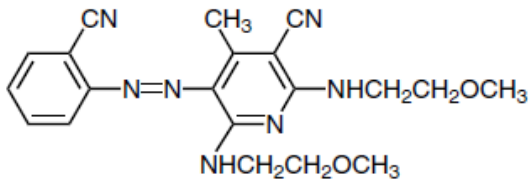
در فرمول‌بندی مرکب‌های تصعیدی معمولاً از پیونده[1] جهت تثبیت ماده رنگزا روی کاغذ استفاده می‌شود. انتخاب پیونده به شکلی صورت می‌گیرد که مرکب، خواص رئولوژیکی مناسبی جهت چاپ داشته باشد و از طرفی پیونده مانع از انتقال ماده رنگزا به پارچه طی فرآیند انتقال نشود. در مرکب‌های آب پایه پیونده‌ها اغلب آلکیل سلولزها هستند درحالی که در مرکب‌های حلالی پلی وینیل استات یا آکریلیک‌ها استفاده می‌شوند. در مرکب‌های امولسیونی که از جذابیت خاص برخوردار هستند از پیوند آب‌دوست هیدروکسی متیل سلولز در مخلوط حلالی آب و تولوئن استفاده می شود. در تهیه مرکب به منظور کاهش اندازه ذرات از روش آسیاب استفاده می شود تا ذرات به اندازه مناسب برسند. با توجه به رابطه اندازه ذره و حلالیت، آسیاب بیش از حد باعث تولید ذرات با اندازه بسیار کوچک می‌شود که ممکن است مشکلات احتمالی از جمله لخته شدن یا رشد ذرات مشاهده شود [۵].

۲-۱- شاخص های ساختاری مواد رنگزای مناسب

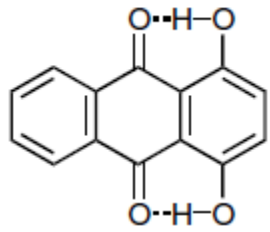
به علت محدودیت‌های بازار، تولیدکنندگان انگیزه کمی جهت تولید مواد رنگزایی دارند که صرفاً در چاپ تصعیدی استفاده شوند. بلکه در فرآیند تولید به روش معمول، بخشی از محصول را جهت کاربرد در جوهر آمایش کرده و به بازار عرضه می‌کنند. بیشتر مواد رنگزای مصرفی در چاپ انتقالی از نوع مواد رنگزای مونو آزو یا آمینو آنتراکینونی هستند و ادعا شده است که ترکیبات خاصی از جمله نیترو دی فنیل آمین ها، دی آزوها و سیانو وینیل ها از فراریت مناسبی برخوردار هستند اما در راستای تحقق این ادعاها هیچ‌گونه فعالیت تجاری صورت نگرفته است. به‌طور تجربی مشخص شده که مواد رنگزای مناسب، لازم است ترجیحاً جرم مولکولی بیش از ۳۵۰ g/mol نداشته باشند و مولکول آنها دارای کم ترین تعداد گروه‌های عاملی اکسوکروم مانند NO_2، CN، SO_2R، NH_2، یا NHR و فاقد گروه‌های یونی مانند COOH و SO_3H باشند. چنین ملزوماتی انتخاب ماده رنگزا را به گروه مواد رنگزایدیسپرس محدود می‌کند که مناسب جهت چاپ روی پارچه‌هایی (مانند پلی استر، پلی آمید، تری استات یا آکریلیک‌ها) هستند که تمایل کافی به آنها دارند. از آنجا که نیروهای پیوستگی موجود در ذرات مواد رنگزای دیسپرس مشابه نوع نیروهای اتصال مولکول ماده رنگزا به الیاف است. عموماً سهولت تبخیر به ثبات حرارتی ماده رنگزا منتقل شده، نسبت داده می‌شود البته این رابطه با منظور کردن سهولت نسبی آزاد شدن مولکول ماده رنگزا از بلور آن و سختی نفوذ مولکول به داخل توده پلیمری اصلاح می‌شود. با این وجود دو شاخص ساختاری وجود دارد که می‌توانند قابلیت تبخیر را بدون کاهش ثبات حرارتی بهبود دهند. حضور گروه‌های استخلافی حجیم اولین شاخص است که از انباشتگی فشرده مولکول‌های ماده رنگزا در حالت جامد جلوگیری کرده و قدرت نیروهای بین مولکولی را بدون تاثیر قابل‌توجه روی قدرت پیوند ماده رنگزا- الیاف کاهش می‌دهد (ساختار ۱). این ساختار دارای گرمای نهان تصعید کمتر از حد انتظار و تمایل بیشتر به زیرآیند است که با توجه به جرم مولکولی بالای آن، اثر استخلاف‌های حجیم کاملا مشهود است [۶].

مشخصه دوم حضور گروه‌های عاملی قطبی است که قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی با زیرآیند پلیمری هستند. این گروه‌ها از جمله NH_2، OH و NHR اغلب تشکیل پیوند درون مولکولی می‌دهند و تاثیر چندانی روی کاهش میزان فراریت نداشته بلکه پیوند ماده رنگزا- الیاف را تقویت می کنند. این اثر با مقایسه دو ساختار ۲ و ۳ به خوبی روشن می شود. در دمای ۲۰۰ °C فشار بخار ترکیب ۲ که دارای پیوند هیدروژنی درون مولکولی است معادل ۱۵۷ Pa (۱/۱۸ mmHg) است در صورتی که ترکیب ۳ با جرم مولکولی یکسان با برقراری پیوند هیدروژنی بین مولکولی دارای فشار بخاری معادل ۰/۰۰۵ Pa (۳/۷۱×۱۰-۵mmHg) است [۶].

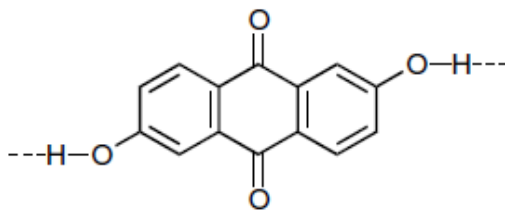
الیاف پلی استر و استات سلولز قابلیت چاپ خوبی به روش انتقال تصعیدی داشته و ثبات های خوبی نیز دارا هستند. اگرچه الیاف پلی آمید نیز به سهولت چاپ می‌شوند اما چاپ ثبات خوبی به شستشو یا دما ندارد. آکریلیک‌ها نیز قابلیت چاپ به روش انتقالی را نیز دارند ولی چاپ حاصل شده از قدرت رنگی کافی برخوردار نیست. برای دستیابی به نتایج بهتر روی این زیرآیندها دو راهکار نوین ارائه شده است. ثبات تر چاپ انتقال تصعیدی روی نایلون در صورتی بهبود می‌یابد که گروه راکتیو مناسبی مانند کلرو استیل آمینو یا دی کلرو تری آزینیل آمینو وارد ساختار مولکول ماده رنگزا شود که در نتیجه میزان برهم‌کنش ماده رنگزا- الیاف افزایش می‌یابد. این اثر اگرچه ملموس است ولی چندان قوی نیست.



ساختار ۱



ساختار ۲



ساختار ۳

[1] Binder

مقاله

تاثیرات بیشتر را می‌توان با وارد کردن گروه آزید مانند SO_2N_3 به داخل مولکول مشاهده کرد که در اثر حرارت واکنش کرده و سبب ورود گروه نیترن داخل الیاف می شود. این اثر باعث تثبیت بیش از ۷۷ درصدی ماده رنگزا می‌شود که به مراتب بهتر از سایر مواد رنگزای راکتیو تحت این شرایط است [۶].

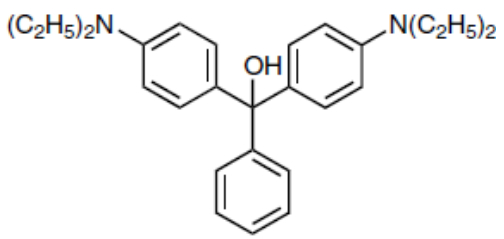
تلاش‌هایی جهت استفاده از مواد رنگزای بازی اصلاح شده جهت چاپ انتقالی تصعیدی بر روی آکریلیک ها صورت گرفته است. مواد رنگزای تری آریل متان بازی (ساختار ۴) می‌توانند از لایه جوهر قلیایی تبخیر شده و با گروه‌های سولفونات لیف واکنش کرده، که در نتیجه شکل یونی رنگی ماده رنگزا حاصل می‌شود (رابطه ۱) [۶].

$$F\text{-}SO_3Na + D\text{-}OH \rightarrow F\text{-}SO_3^- D^+ + NaOH \quad (1)$$

اگر کاتیون، یون آمونیم (به جای سدیم) باشد، سیستم موثرتر عمل می کند زیرا هیدروکسید آمونیم از سیستم خارج می‌شود. مشکل این سیستم اطمینان از قلیایی ماندن فیلم جوهر کاغذ انتقال در زمان انبارداری است. دیدگاه دیگر استفاده از مواد رنگزا بازی است که می‌توانند پروتون از دست داده و به حالت بخار خنثی تبدیل شوند. ماده رنگزا بعد از انتقال، مجدد پروتون‌دار می‌شود. در این روش اجزا فرار معمولاً آمین‌ها هستند که ممکن است دارای استخلاف‌هایی روی اتم نیتروژن نیز باشند. رنگینه‌های بازی اعمال شده به روش انتقال تصعیدی نسبت به روش معمول دارای ثبات شستشویی و نوری کمتری هستند. این معایب همراه با عدم توجیه اقتصادی باعث شده تا این روش از محبوبیت چندانی برخوردار نباشد. نکته حائز اهمیت، آن است که گرایش به چاپ انتقال تصعیدی طرح‌های غیربراق بر روی لباس‌های تهیه شده از الیاف ترکیبی که بخش عمده آنها آکریلیک هستند روبه رشد است [۵، ۷-۹].

۳- سازگاری در خلال انتقال تصعیدی

به علت تعداد زیاد عوامل دخیل در چاپ انتقالی (نفوذ از میان محمل جوهر، تصعید، تمایل و نفوذ به داخل بالک پلیمری لیف)، فام‌های حاصل شده تحت شرایط تولید مختلف به طور قابل‌توجهی متفاوت هستند. صرف‌نظر از فاکتورهای مذکور، مهم‌ترین عامل دما است. تغیرات دما نه تنها بین سری‌های مختلف تولید بلکه در عرض الیاف عریض نیز مشاهده می‌شود. در رابطه با الیاف ضخیم، تغیرات دما ممکن است در عمق بروز کند.از این‌رو انتخاب مخلوط مواد رنگزا باید به شیوه‌ای انجام شود تا همگی رفتار یکسانی داشته باشند تا در اثر بروز هرگونه تغییر شرایطی، به‌جای تغییر در فام، تغییر در عمق مشاهده شود.



ساختار ۴

روش متداول طبقه‌بندی مواد رنگزای دیسپرس جهت کاربرد در چاپ انتقال تصعیدی بر اساس آزمون های تجربی است که انعکاس‌دهنده نقش عوامل موثر در شرایط عملی است.

در کشور انگلیس شرکت‌های متعددی، مواد رنگزا را از A به D بر حسب کاهش میزان انتقال طبقه‌بندی کرده‌اند. معمولاً مواد رنگزای گروه A فرارتر بوده که چاپ آن‌ها ثبات‌های ضعیف‌تری به‌خصوص در برابر دما دارند. از طرفی مواد رنگزای گروه D به سختی منتقل می‌شوند. از این‌رو مواد رنگزایی اغلب از گروه B و C انتخاب می‌شوند [۱۰، ۱۱].

طبقه‌بندی دیگری از مواد رنگزا ارائه شده که اهمیت کمتری دارد. در این طبقه‌بندی، مواد رنگزا به گروه‌های با انرژی تصعید زیاد، متوسط و کم دسته‌بندی شده‌اند. این طبقه‌بندی بر مبتنی انتقال ۹۰٪ مواد رنگزا در زمان ثابت (۳۰ ثانیه) است. از مشکلات این طبقه‌بندی منظور کردن زمان به صورت استاندارد است که با شرایط عملی مطابقت ندارد. در عمل معمولاً زمان بیشتری اعمال می شود که مستلزم دمای انتقال کمتری است. همچنین با تغییر ماده رنگزا شرایط انتقال نیز تغییر می‌کند. در نتیجه باید در استفاده از این سیستم دقت کرد [۱۲].

۴- جوهر، کاغذ انتقال[1] و زیرآیند

اگرچه مواد رنگزای تصعیدی ممکن است در بسیاری از روش‌های چاپی از جمله الکتروفتوگرافی، انتقال حرارتی بر پایه واکس، افست، گراوور و یا فلکسو استفاده شوند ولی کاربرد آنها در چاپ دیجیتال جوهرافشان بسیار متداول‌تر است. پیشرفت‌های صورت گرفته در فناوری چاپ قطره به درخواست (DOD) و ارائه نسل‌های جدید چاپگرهای پیزوالکتریک آب‌پایه نقش بارزی در رشد سریع و چشمگیر چاپ دیجیتال تصعیدی داشته‌اند [۱۳].

امروزه علاوه بر جوهرهای تصعیدی دیجیتال آب‌پایه پیزو، انواع آب‌پایه حرارتی، حلالی و کمک‌حلالی-روغن پایه پیزو الکتریک و حتی تابش‌پز نیز در مقیاس تجاری تولید و به بازار عرضه می‌شوند. هر یک از این جوهرها مزایای ویژه‌ای داشته و مصرف آنها مستلزم شرایط خاصی است. با این حال جوهرهای تصعیدی آب‌پایه جهت چاپگرهای پیزو بخش عمده بازار را به خود اختصاص داده‌اند. در واقع چنین دستاوردی در اثر تجمیع عواملی ازجمله پایداری بهتر ذرات ماده رنگزا در محمل جوهر، دردسترس بودن بیشتر چاپگرهای مربوطه، قیمت مناسب‌تر، ایمنی بیشتر، دردسترس بودن بیشتر تجهیزات آسیاب تر پیشرفته[2] حاصل شده است [۱۴، ۱۵].

از مهم‌ترین خواص فیزیکی جوهرهای تصعیدی جوهرافشان پایداری پراکنش[3] ذرات ماده رنگزا در جوهر است که عملکرد جوهر در چاپگر، عمر مفید هد و کیفیت چاپ وابستگی زیادی به این عامل دارد. از این‌رو انتخاب صحیح عامل پراکنش[4] از اهمیت خاصی برخوردار است. امروزه در اندازه تجاری از سه نوع عامل پراکنش‌کننده مهم آنیونی شامل لیگنین[5] یا لیگنین

[1] Transfer media
[2] Advanced wet grinding
[3] Dispersion
[4] Dispersing agent
[5] Lignin

سولفونه، کوپلیمرهای نفتالن-فرمالدئید سولفونه و کوپلیمرهای استایرن-آکریلیک استفاده می‌شود [۱۶، ۱۷].

سازوکار پایداری پراکنش در هر سه نوع سامانه[1] الکترواستریک بوده و از جنبه‌های اقتصادی تولید و کاربرد آنها به‌صرفه است. گونه‌های مختلف این مواد با اصلاحات خاص جهت کاربرد در جوهرهای تصعیدی و دیسپرس تهیه و ارائه شده است. معمولا استفاده از پلیمرهای سولفونه با وزن مولکولی بالا باعث تیره یا ماتشدن فام جوهر می‌شود که ممکن است سبب لکشدن کالای چاپی در روش چاپ مستقیم شود. ولی در چاپ انتقالی مشکل لک بوجود نمی‌آید. علاوه‌براین پایداری جوهر و ثبات رنگی تصویر نهایی ممکن است، تحت تاثیر نوع سامانه پراکنش قرار گیرد [۱۸].

فرمول‌بندی جوهر باید ازدیدگاه ترکیب شیمیایی و اجزا به‌گونه‌ای باشد که خواص فیزیکی- شیمیایی جوهر، سازگاری خوبی با فناوری هد داشته باشد. علاوه بر انتخاب سیستم مناسب جهت پراکنش-پایدارسازی ذرات ماده رنگزا، عوامل دیگری شامل اندازه ذره، توزیع اندازه ذره، حلالیت حلال یا کمک‌حلال، pH، رسانایی الکتریکی، گرانروی، رئولوژی، کشش سطحی و بین سطحی و بازده انتقال ماده رنگزا از عوامل متداول در کنترل کیفی هستند. خواص فیزیکی مهم جوهرهای پیزو آب‌پایه در جدول ۲ گزارش شده است [۱۹].

خواص جوهر بوسیله ترکیب شیمیایی آن کنترل می‌شود که می‌توان جهت تنظیم آن درصد جامد ماده رنگزا و یا سایر اجزا (فعال‌سطح، رطوبت‌گیر، بافر، عوامل کی‌لیت و کمک‌حلال‌ها) را تغییر داد و یا عملیات مهندسی از قبیل صاف‌کردن، سانتریفیوژ و گازززدایی[2] انجام شود. معمولا در فرمول‌بندی جوهرهای تصعیدی انتقالی از پیونده استفاده نمی‌شود مگر اینکه جهت تنظیم حواص فیزیکی مدنظر قرار گیرد [۷].

کاغذ انتقال که به‌طور معمول در چاپ انتقالی تصعیدی استفاده می‌شود کاغذهای سلولزی هستند که با مواد شیمیایی پوشش داده شده تا قابلیت پذیرش جوهر، کیفیت تثبیت قطره جوهر و بازده انتقال ماده رنگزا افزایش یابند. ترکیب شیمیایی پوشش، کاهش تخلخل بستر سلولزی، ریخت‌شناسی سطح پوشش و قابلیت جذب سطحی مایع، پایداری در دماهای بالا و ضخامت پوشش، عوامل مهمی هستند که بر بازده انتقال تصویر، سرعت چاپ- خشکانش، وضوح دات، دوباره تولید دقیق رنگ و تمیزی زیرآیند موثر هستند. موادی که تمایل زیادی به جذب ماده رنگزا داشته باشند را نمی‌توان در مقادیر زیاد به عنول محمل و یا افزودنی جهت کنترل خواص در پوشش استفاده کرد. برای کسب بازده بالا بهتر است که وابسته به نوع جوهر، کاغذ انتقال و یا بستر مناسب (متخلخل یا بدون تخلخل) انتخاب شود. هنگام استفاده از کاغذهای انتقال تصویر گرما-ذوب[3] دقت نمود زیرا ممکن است پوشش بطور جزئی یا کلی ذوب و به زیرآیند منتقل شود بدون آنکه تصعید کامل و حبس ماده رنگزا داخل توده پلیمری زیرآیند حاصل شود [۶، ۲۰].

جدول ۲- خواص فیزیکی جوهرهای تصعیدی انتقالی جوهرافشان [۱۹].

مشخصه	محدوده مناسب
گرانروی (cp)	۷-۲۰
کشش سطحی (mN/m)	۲۷-۴۴
pH	۶-۸
رسانایی الکتریکی (mS)	۱-۶
متوسط اندازه ذرات (nm)	۱۰۰-۵۰۰
میزان هوای حل‌شده (ppm)	<۲۰

زیرآیند در چاپ تصعیدی انتقالی ممکن است کاملا از ماده سنتزی آب‌گریز باشد (به عنوان مثال پارچه و منسوجات پلی‌استر) و یا اینکه سطح آن با پوشش یا مواد شیمیایی/ پلیمری (به عنوان مثال صفحات آلومینیمی اصلاح سطح شده) اصلاح شده باشد. سامانه‌های پلیمری گرماسختی به عنوان پوشش پیشنهاد می‌شوند که فاقد نرم‌کننده، رادیکال آزاد، عامل کاهنده یا اکسنده و اجزا یونی قوی باشند. چنین ملزومات سختی علاوه بر کمک به جلوگیری از مهاجرت مولکول ماده رنگزا در داخل شبکه پلیمری، از تخریب یا تجزیه مولکول‌های ماده رنگزا نیز ممانعت می‌کنند [۶].

بر اساس عواملی از جمله نوع مواد رنگزای تصعیدی (سطح انرژی و یا میزان شفافیت)، جنس زیرآیند پلیمری و شرایط فرآیند تصعید، مولکول‌های ماده رنگزا ممکن است از سطح به داخل توده پلیمری از عمق چندین میکرومتر تا بیش از ۱۰۰ µm نفوذ کنند. مواد رنگزا مختلف ممکن است در سرعت‌های مختلف و عمق متفاوت نفوذ کنند. از این‌رو به هنگام استفاده از مواد رنگزا متفاوت لازم است که کالیبراسیون دقیق انجام شود [۸].

۵- نتیجه‌گیری

روش معمول برای چاپ تصعیدی روی پارچه‌های پلی‌استر، استفاده از مرکب‌های چاپ افست، فلکسو و یا گراوور است. از طرفی با پیشرفت فناوری چاپ دیجیتال و تشدید قوانین زیست‌محیطی تقاضا برای چاپ جوهرافشان بر مبنای جوهرهای آب‌پایه با سرعت قابل ملاحظه‌ای روبه رشد است. زیرا چاپ جوهرافشان نسبت به روش‌های چاپ سنتی دارای مزایای از جمله نیروی انسانی کمتر، عرضه متناسب با تقاضا (اقتصادی بودن تیراژهای کم)، عدم نیاز به کلیشه، زیست‌سازگار و دارای سرعت و کیفیت قابل قبول است. از مهم‌ترین عامل‌ها در تهیه جوهرهای جوهرافشان تصعیدی پایداری مواد رنگزای دیسپرس در محمل جوهر است که عملکرد چاپگر و کیفیت چاپ به آن شدیداً وابسته است. از دیگر عوامل مهم در فرمول‌بندی جوهرهای تصعیدی دیجیتال، گرانروی، کشش‌سطحی، اندازه ذرات و توزیع اندازه ذرات و میزان رسانایی الکتریکی است که باید در محدوده بهینه تنظیم شوند.

[1] System
[2] Degassing
[3] Hot-melt

۶- مراجع

1. M. Raymond, "The coming of age for digital textiles", IMI Inkjet Printing Conference, 4, Orlando, **2015**.
2. J. Hayward, "Dye sublimation printing: insights into trends, drivers, markets and growth", https://www. mordorintelligence .com/industry-reports/dye-sublimation-printing-market, FESPA, Amsterdam, **2016**.
3. D. J. Toms, "An update on dye diffusion thermal transfer imaging", First Annual Thermal and Ink Jet Imaging Conference, Santa Barbara, **1989**.
4. W. Zapka, "*Handbook of industrial inkjet printing*", 1th ed,Wiley-VCH, **2018**.
5. K. Consterdin, "Heat transfer printing", Rev. Prog. Coloration. 7, 34-43, **1976**.
6. L. W. C. Miles, "*Textile Printing*", 2nd Ed, Society of Dyers and Colourists, 2003.
7. M. Fryberg, "Dyes for ink-jet printing", Rev. Prog. Color. 35, 1-30, **2005**
8. N. Moore, "Heat-transfer Printing: A Review of the Literature", Color. Technol. 90, 318-325,**1974**.
9. J. F. Dawson, "Developments in disperse dyes", Rev. Prog. Color. 9, 25-35, **1978**.
10. G. Holland and A. Litherland, "Vapour-phase Transfer Printing", Color. Technol. 87, 488-495, **1971**
11. R. S. Bradley, C. L. Bird, F. Jones, "The vapor pressures and heats of sublimation of some disperse dyes", Color. Technol. 56, 23-28, **1960**
12. H. Ujiie, "*Digital printing of textile*", 1th ed, Woodhead Publishing, **2006**.
13. C. T. Kosolia, E. G. Tsatsaroni and N. F. Nikolaidis, "Disperse ink-jet inks: properties and application to polyester fiber", Rev. Prog. Color. 127, 357-364, 2011.
14. Y. Wang, K. Zhou, T. Hwee Ng, M. Saban, "Curable sublimation ink and sublimation transfer process using same", US Patent No. 8337007B2, **2012**.
15. N. Takeda, Y. Otani, N. Okajima, Y. Ito, S. I. Kinoshita, "Sublimation type thermal ink transfer printing material", US Patent No. 4, 895, 830, **1990**.
16. Y. He, C. D. Campbell, G. Schilling, R. Carter,"Process for aqueous milling of quinacridone pigments", US Patent No. 7, 122, 081, **2006**.
17. M. H. Kowalski, "Water fast and smear fast inks using ink jet delivered dye sublimation dyes", US Patent No. 6, 536, 893, **2003**.
18. T. Oura, H. Tanaka,"Sublimating dye ink for inkjets and dyeing methods", EP Patent No. 2,.960,.304 A1, **2015**.
19. S. Magdassi, "*The chemistry of inkjet inks*", 1st ed, World Scientific, 2009.

۲۰. ا. پاکزاد، م. خطیب زاده، چاپ انتقالی در صنعت نساجی، نشریه علمی‌مطالعات در دنیای رنگ، ۵، ۱۰۴-۹۳، ۱۳۹۴.