



تونرهای پخت‌شونده با پرتو فرابنفش: تولید و تشکیل فیلم در چاپ الکتروفوتوگرافی

فرزانه عنابستانی^۱، سعید باستانی^{۲،۳*}، مریم عطایی فرد^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
- ۲- دانشیار، گروه علوم و فناوری چاپ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
- ۳- دانشیار، قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
- ۴- استادیار، گروه علوم و فناوری چاپ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۸ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۵/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۰ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۵/۵/۱۰

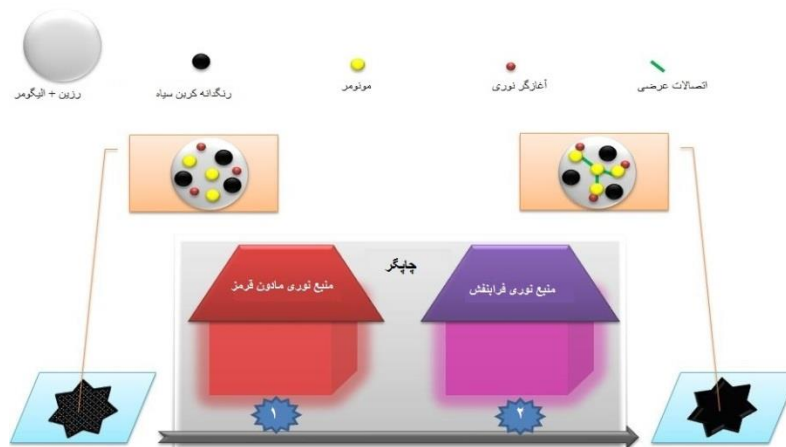
چکیده

تونر به ماده‌ای گفته می‌شود که در دو حالت مایع و جامد (پودری) جهت ایجاد تصویر در الکتروفوتوگرافی، یونوگرافی و مگنتوگرافی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چاپ الکتروفوتوگرافی شامل هفت مرحله شارژ بارالکتریکی، آشکارسازی تصویر، ظهور، انتقال تونر، تمیز کردن، تخلیه بار الکتریکی و تشکیل فیلم است. از آنجایی که مرحله تشکیل فیلم، آخرین مرحله در چاپ الکتروفوتوگرافی می‌باشد، این مرحله خواص فیزیکی و کیفیت چشمی چاپ را مشخص می‌کند. در یک دسته بندی کلی می‌توان این مرحله را به دو گروه تشکیل فیلم تماسی و تشکیل فیلم غیرتماسی تقسیم کرد. در تشکیل فیلم تماسی، انرژی مورد نظر جهت تثبیت تونر توسط فشار غلتک‌ها و یک رسانای حرارتی فراهم می‌شود. در تشکیل فیلم غیرتماسی از روش‌هایی نظیر گرمای غیرتماسی، ذوب توسط بخار، تثبیت توسط فشار سرد و بطور عمده از روش گرمادهی توسط تابش که به تشکیل فیلم تابشی مرسوم است، استفاده می‌گردد. در فرآیند پخت تابشی فیلم اعمال شده در معرض تابش فرابنفش، نور مرئی یا باریکه الکترونی (EB) گرفته و بدین وسیله پلیمریزاسیون فوتوشیمیایی یا ایجاد اتصالات عرضی یک مونومر یا پلی الیگومر گردد. پس از تشکیل فیلم تابشی می‌توان به صورت جداگانه از پخت با تابش استفاده نمود که برای این سامانه‌ها باید از تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش که حاوی حداقل یک رزین قابل پخت با پرتو فرابنفش و آغازگر نوری می‌باشد، استفاده نمود. این تونر را می‌توان به دو روش سنتی (فیزیکی) و یا روش شیمیایی تجمع امولسیون تولید کرد. در چاپ الکتروفوتوگرافی، از تونرهای تابش پز جهت چاپ در بسته‌بندی مواد غذایی، لوازم آرایشی و پزشکی استفاده می‌گردد.

واژه‌های کلیدی

الکتروفوتوگرافی، تشکیل فیلم تابشی، تجمع امولسیون، تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش.

چکیده تصویری





UV-Curable Toners: Production and Film Formation in Electrophotographic Printing

F. Anabestani¹, S. Bastani^{2,3*}, M. Ataefard⁴

1- MSc Student, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran. P. O. Box: 16765-654.

2- Associate Professor, Printing Science and Technology Department, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran. P. O. Box: 16765-654.

3- Associate Professor, Center of Excellence for Color Science and Technology, Tehran, Iran. P. O. Box: 16765-654.

4- Assistant Professor, Printing Science and Technology Department, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran. P. O. Box: 16765-654.

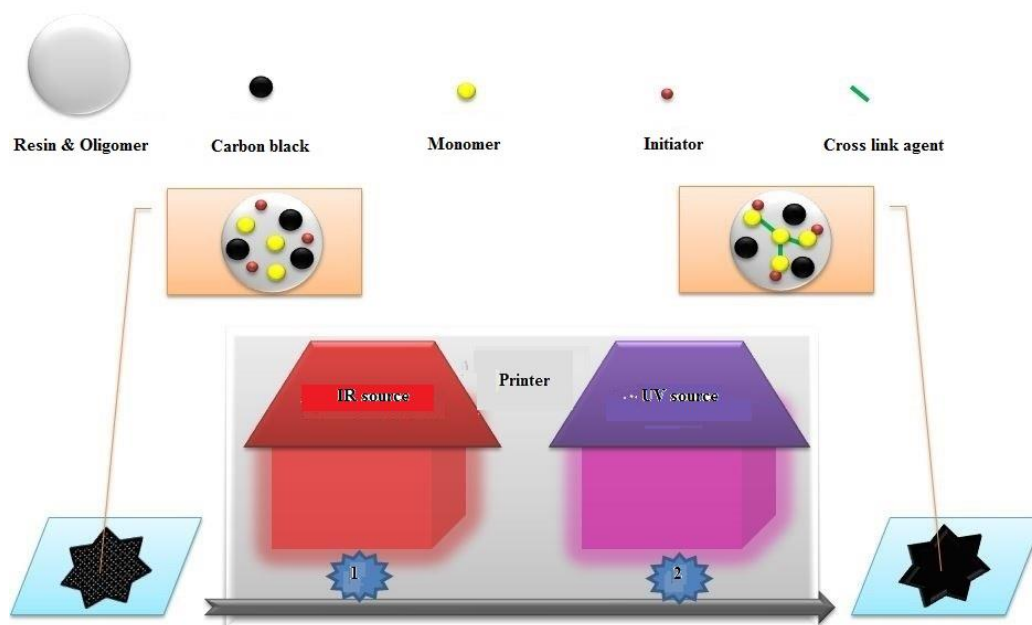
Abstract

Toner, in both liquid and powder forms is used to create an image in electrophotographic, ionographic and magnetographic printing. Electrophotographic printing is one of the most applicable non-impact printing methods consisted of seven steps including charging, exposure, development, transferring, cleaning, and fusing. The physical properties and optical quality of the printing is mostly dependent on the fusing step. Generally, this step is divided into contact and non-contact fusing. In contact fusing, the fusing energy is supplied by pressure and a conductive heat transfer. In non-contact fusing, other methods such as non-contact heating, vapor melting, and cold pressure fixing and flash fusing is used. In flash fusing high energy beam such as UV or electron beams is used to form a crosslinked network film. UV-curable toners contain a photurable resin and photoinitiator which the film will be created after exposing to UV. This toner can be prepared by a physical or emulsion aggregation as chemical method. This toner can be used in food, cosmetic and medical packaging industries.

Keywords

Electrophotography, Flash fusing, Emulsion aggregation method, UV-curable toner

Graphical abstract



۱- مقدمه

زیرآیند است. پخش شدن و نفوذ تونر به عواملی مانند چگالی تونر، گرانروی تونر^{۱۱} و صافی و زبری سطح زیرآیند بستگی دارد [۱۰، ۹، ۱۵].

یکی از عوامل اساسی در چاپ الکتروفوتوگرافی چسبندگی تونر به سطح زیرآیند است که میزان انرژی سطحی تونر و کاغذ در مقدار چسبندگی نقش به سزایی ایفا می‌کنند. به طور کلی افزایش انرژی سطحی کاغذ نسبت به انرژی سطحی تونر سبب افزایش چسبندگی بیشتر تونر به کاغذ و بهبود کیفیت چاپ می‌شود. تونرهای با شکل ذرات منظم تر دارای انرژی سطحی بالاتر نسبت به تونرها با ذرات نامنظم بوده و کاغذهای پوشش داده شده نیز انرژی سطحی بالاتری به نسبت کاغذهای فاقد پوشش دارند [۱۳-۱۱، ۵]. به طور کلی به منظور کنترل کیفیت مرحله تشکیل فیلم در چاپ الکتروفوتوگرافی سه گروه را شامل می‌شوند که عبارتند از: مشخصه‌های تونری، زیرآیند و فرآیند [۱۵، ۱۴].

۲-۱- تشکیل فیلم تماسی

در تشکیل فیلم تماسی، انرژی مورد نیاز جهت تثبیت تونر توسط فشار و یک رسانای حرارت فراهم می‌شود، گاهی فشار به تنهایی توسط دو غلتک فولادی در دمای محیط جهت براقیت بالای تصویر اعمال می‌گردد. در این روش، فشار به جریان یافتن تونر در حین تغییر حالت کمک می‌کند. در این مرحله کاغذ و غلتک باهم برهم‌کنش پیدا کرده و این موضوع سبب نفوذ عمیق تر تونر به داخل زیرآیند می‌شود [۵]. امروزه این روش به طور گسترده در چاپ‌هایی با سرعت کم و متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت تلاش برای یافتن روشی جدیدتر که منجر به استفاده از روش غیر تماسی گردید را می‌توان شرایط نگهداری سخت از تجهیزات و استفاده از روغن‌های روان‌کننده مانند سیلکون و یا یک لایه پلیمری با انرژی سطحی کم به میزان زیاد، جهت جلوگیری از چسبیدن تونر مذاب بر روی غلتک و یا نقاله عنوان نمود. از مشکلات دیگر این روش می‌توان به خشکی کاغذ به دلیل اعمال گرمای زیاد و تغییر شکل تصویر و چروک خوردن کاغذ به دلیل اعمال فشار اشاره کرد [۱۶، ۱۵، ۵]. مشخصه‌های فرآیندی قابل بررسی در این روش شامل دمای غلتک‌های حرارتی، متوسط فشار گیره، زمان توقف^{۱۲}، ارتفاع توده تونر، دمای محیط، پهنای گیره^{۱۳} می‌باشند [۱۴].

اگر سختی کاغذ زیاد باشد، تونر در داخل خلل و فرج سطح می‌ماند و تماس خوبی با غلتک‌ها ندارد؛ بنابراین بعضی از مناطق، مات و کدر باقی می‌مانند. از آن جایی که تاثیرات عبور از غلتک و فشار گیره با هم متناسبند می‌توان کاهش براقیت و تغییرات چگالی نوری^{۱۴} را از کاهش فشار گیره نتیجه گرفت. هم چنین کاهش فشار می‌بایست توسط افزایش

تونر به ماده‌ای اطلاق می‌گردد که در دو حالت مایع و جامد (پودری) جهت ایجاد تصویر در الکتروفوتوگرافی^۱، یونوگرافی^۲ و مگنتوگرافی^۳ استفاده می‌شود. چاپ الکتروفوتوگرافی یکی از پرکاربردترین چاپ‌های غیرتماسی بر پایه استفاده از برهم‌کنش مکانیکی، الکتریکی و فناوری نوری است. از آغاز فرآیند چاپ در یک چاپگر لیزری یا دستگاه فتوکپی تا چاپ نهایی روی زمینه، هفت مرحله وجود دارد. این مراحل که شامل شارژ بارالکتریکی^۴، آشکارسازی تصویر^۵، ظهور^۶، انتقال^۷، تمیزکردن^۸، تخلیه بار الکتریکی^۹ و تشکیل فیلم^{۱۰} می‌باشند، در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند [۳-۱].

مرحله تشکیل فیلم به عنوان آخرین مرحله در چاپ الکتروفوتوگرافی، بر روی خواص نهایی چاپ تاثیر دارد. در ابتدا، این مرحله به صورت اعمال حرارت و فشار با تماس مستقیم غلتک‌های حرارتی و فشاری بر روی زیرآیند صورت می‌گرفته است، اما امروزه علاوه بر روش تماسی از روش تشکیل فیلم غیرتماسی، به منظور بهبود سرعت و خواص فیزیکی در چاپ الکتروفوتوگرافی استفاده می‌شود [۴، ۵]. جایگزینی تونرهای قابل پخت با پرتو فرابنفش و تونرهای معمولی، امکان دسترسی به خواص فیزیکی و شیمیایی بهتری را فراهم می‌آورد. تونر پخت شونده با تابش فرابنفش دارای حداقل یک رزین پلیمری با قابلیت پخت توسط تابش فرابنفش است [۶]. استفاده از این تونرها دارای مزایایی هم چون براقیت بیشتر چاپ نهایی، وضوح بالاتر تصویر، مقاومت بالا در برابر خراش، سایش و مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی در مقایسه با تونر بدون این قابلیت می‌باشد. از مزایای استفاده از فناوری تشکیل فیلم تابشی غیرتماسی، افزایش کیفیت چاپی محصول نهایی، سرعت بیشتر در چاپ، گستردگی دامنه زیرآیندهای مورد استفاده و صرفه‌جویی در انرژی هستند [۷، ۸].

۲-۲- مرحله تشکیل فیلم در چاپ الکتروفوتوگرافی

بعد از مرحله انتقال تونر، ذرات تونر خشک به صورت موقت بر روی کاغذ چسبیده تا امکان انتقال به مرحله نهایی تشکیل فیلم برای تثبیت نهایی و دائمی را داشته باشند. انرژی اعمال شده در این مرحله باید به اندازه‌ای باشد تا امکان نرم‌شدن، گسترش و نفوذ تونر در کاغذ میسر شده و تصویر نهایی چاپ گردد. فرآیند تشکیل فیلم به طور کلی شامل ذوب و نرم‌شدن ذرات تونر، چسبیدن ذرات به یکدیگر، پخش و نفوذ به داخل

¹ Electrophotography

² Ionography

³ Magnetography

⁴ Charging

⁵ Exposure

⁶ Development

⁷ Transferring

⁸ Cleaning

⁹ Erasure

¹⁰ Fusing

¹¹ Viscosity

¹² Non-Contact fusing

¹² Dwell time

¹³ Nip width

¹⁴ Optical density

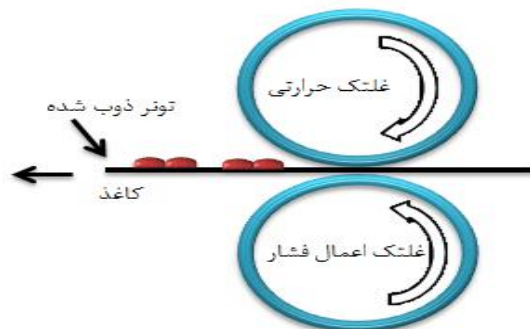
اعمال شده به جای صرف شدن جهت تشکیل فیلم تونر، در کاغذ اتلاف می‌شود. هرچه وزن (g/m²) کاغذ مورد استفاده بیشتر باشد این اتلاف انرژی بیشتر شده و انرژی کم‌تری برای تشکیل فیلم تونر باقی می‌ماند. در هر دو روش گیره سخت و گیره نرم، تنها غلتک تثبیت دارای حرارت می‌باشد. در غلتک سخت این دما در حدود ۱۶۵ °C می‌باشد. روش گیره نرم در واقع حالت اصلاح شده گیره سخت می‌باشد که در آن غلتک زیرین از مواد الاستیکی و نرمتری ساخته شده و پهنای گیره در این روش به نسبت روش گیره سخت افزایش و فشار کاهش یافته است. از آنجایی که دستیابی به فضای مسطح و پهن بین دو غلتک در گیره نرم امکان‌پذیر نیست، از روش نقاله تشکیل فیلم استفاده گردید. این نقاله رسانایی حرارتی بالایی داشته و طراحی این روش به گونه‌ای است که انرژی گرمایی به پشت زیرآیند توسط غلتک زیرین اعمال می‌شود و گرمای سطح تصویر توسط نقاله انتقال‌دهنده حرارت تامین می‌گردد. ایده کاهش انرژی گرمایی اعمال شده در واقع برای افزایش کیفیت تصویر چاپ شده می‌باشد. شکل ۵ نمایی از این روش می‌باشد [۱۵، ۵]. شکل ۳ فناوری‌های تشکیل فیلم تماسی را نشان می‌دهد.

زمان توقف (یا پهنای گیره) جبران کرد [۵]. نمایی از غلتک‌های تشکیل فیلم در شکل ۲ نشان داده شده است. در تشکیل فیلم تماسی از ۴ فناوری برای تثبیت نهایی تصویر استفاده می‌شود:

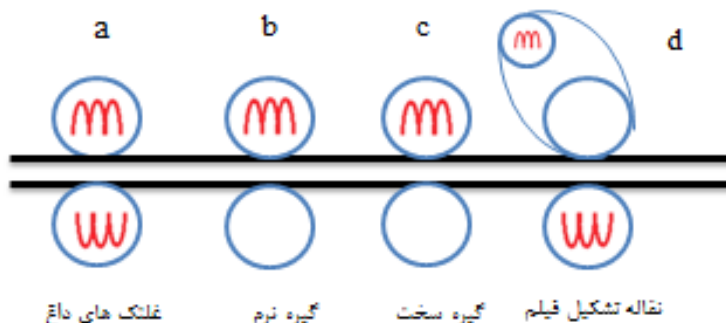
- غلتک‌های داغ^۱
- گیره سخت^۲
- گیره نرم^۳
- نقاله تشکیل فیلم^۴

در روش غلتک‌های داغ، غلتک‌های زیرین و تثبیت هر دو از لحاظ مواد و اندازه کاملاً یکسان بوده و دما در این غلتک‌ها بین ۲۳۰-۲۰ °C می‌باشد. انرژی گرمایی هم برای تصویر، بر پشت کاغذ اعمال می‌شود. در این روش به دلیل گرم شدن تصویر از هر دو طرف، تصویر از پوشش دهی بیشتر و چاقی ترام^۵ بیشتری برخوردار است. در این روش بیشتر انرژی

- 1 Hot rollers
- 2 Hard nip
- 3 Soft nip
- 4 Belt fusing
- 5 Dot gain



شکل ۲- غلتک‌های تشکیل فیلم تماسی [۳].



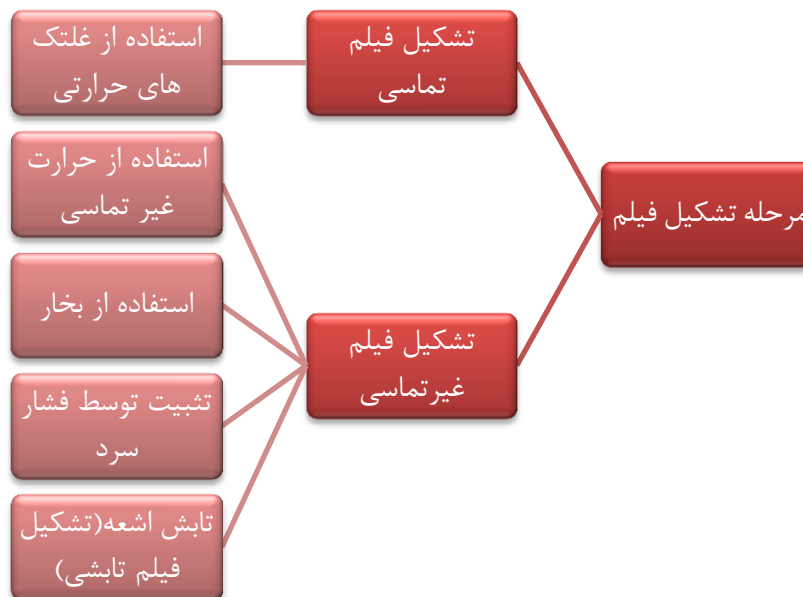
شکل ۳- a غلتک‌های داغ. b گیره نرم. c گیره سخت. d نقاله تشکیل فیلم [۱۴].

۲-۲- تشکیل فیلم غیر تماسی

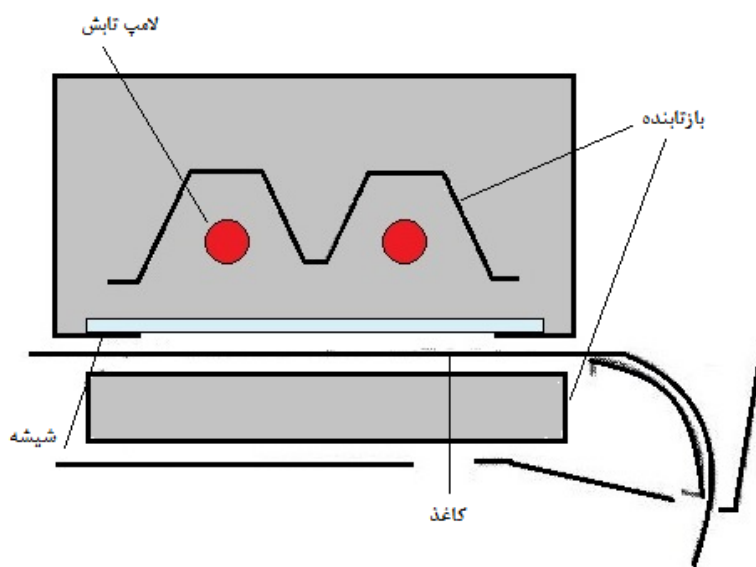
تشکیل فیلم غیر تماسی در سال‌های اخیر به عنوان یک فناوری جدید در چاپ الکتروفوتوگرافی مورد توجه قرار گرفته است. در تشکیل فیلم غیر تماسی از روش‌هایی نظیر گرمای غیر تماسی، ذوب توسط بخار، تثبیت توسط فشار سرد و بطور عمده از روش گرمادهی توسط تابش که

به تشکیل فیلم تابشی^۱ مرسوم است، استفاده می‌گردد [۱۶]. از مزایای تشکیل فیلم غیر تماسی، می‌توان به سرعت بالای چاپ، عدم وجود فشار و تغییر شکل تصویر اشاره نمود [۵]. در این مقاله به بررسی روش تشکیل فیلم تابشی به عنوان زیر مجموعه‌ای از تشکیل فیلم غیر تماسی پرداخته می‌شود. در نمودار ۱ این تقسیم بندی بیان شده است.

^۱ Flash fusing



نمودار ۱- تقسیم بندی تشکیل فیلم تماسی و غیر تماسی [۵, ۱۰, ۱۱].



شکل ۴- نمایی از فرآیند تشکیل فیلم تابشی [۱۶].

۱-۲-۲- تشکیل فیلم تابشی

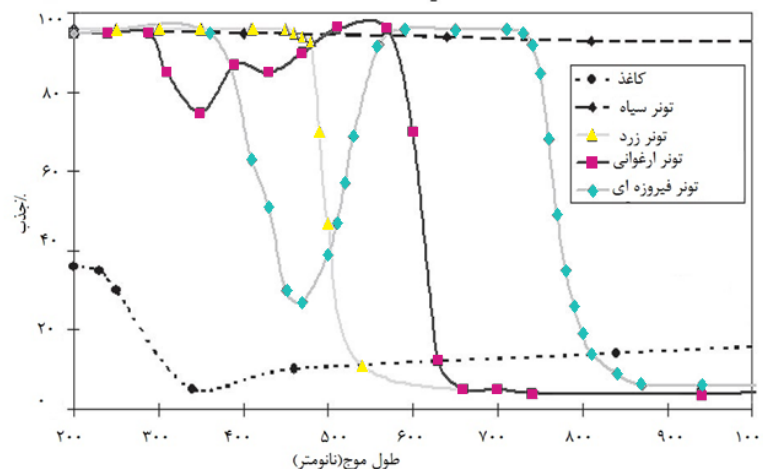
از آنجایی که تشکیل فیلم تابشی بیشتر به حساسیت تونر به انرژی اعمالی در این مرحله بستگی دارد، در صورت در دسترس بودن این انرژی، می‌تواند در طیف گسترده‌ای از کاربردها بدون در نظر گرفتن نوع کاغذ، مورد استفاده قرار بگیرد. اندازه و شکل و هم چنین ترکیبات تونر در محصول نهایی تشکیل فیلم تابشی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در صورت نامنظم بودن شکل ذرات تونر اولین قسمت انرژی تابشی صرف تغییر شکل ذرات به سمت شکل کره می‌شود. در مرحله دوم انرژی صرف منعقد شدن و تشکیل یک فیلم نازک از لایه تونر می‌گردد. مابقی انرژی در صورت باقی ماندن برای ذوب شدن، پخش شدن و نفوذ به داخل کاغذ صرف می‌شود. به همین دلیل به عنوان نتیجه، تونرهایی با ذرات کوچک‌تر و توزیع اندازه ذرات باریک‌تر و شکل کره‌ای به انرژی کمتری برای تشکیل فیلم نیازمند هستند. از لحاظ ترکیب شیمیایی نیز باید موادی با وزن مولکولی کم، مانند واکس‌ها به ترکیب تونر، جهت افزایش جریان پذیری تونر اضافه گردد. حضور واکس در ترکیبات تونر سبب کاهش انرژی ذوب شدن می‌گردد. به همین دلیل وجود آن برای نفوذ بهتر تونر به درون کاغذ به دلیل مرطوب کردن کاغذ بسیار مهم است [۵، ۱۱، ۱۶، ۱۷].

بهینه‌سازی رابطه بین میزان انرژی تابشی و پهنای ضرابان در رابطه با ترکیبات تونر و میزان جریان پذیری آن صورت می‌گیرد. اگر مقدار ثابتی انرژی با ضرابان‌های کوتاه $1 \text{ ms} <$ بر روی سطح تونر اعمال شود سبب ایجاد بیش از اندازه حرارت در سطح تونر شده و آن را تبخیر می‌کند. با همین میزان انرژی با پالس‌های بلندتر $2-5 \text{ ms} >$ مواد تونر با گرانش بالا در نقطه تماس تونر و کاغذ باقی می‌مانند. این شرایط از مرطوب شدن و پخش شدن تونر بر روی کاغذ جلوگیری می‌کند، اما به انعقاد ذرات تونر منجر شده و سبب محو شدگی تصویر می‌شود. از دیگر معایب استفاده از منبع تغذیه با ضرابان‌های کوتاه می‌توان به حضور خازن‌ها در این منابع اشاره کرد که از لحاظ اقتصادی و حجم دستگاهی به صرفه نمی‌باشد [۱۱].

در این فرآیند، انرژی توسط تابش با شدت یکنواخت توسط یک لامپ پر قدرت زنون با طول باند^۱ کوتاه برای نرم شدن تونر و اجازه برای جریان یافتن آن بر روی کاغذ و تثبیت دائمی اعمال می‌شود. این روش در محدوده طول موج بین ۵۰۰ نانومتر تا ۱۰ میکرومتر (محدوده مرئی و زیر قرمز) با تابش مداوم و یا تابش همراه با ضرابان امروزه به صورت برنامه جدید تجاری در چاپ الکتروفوتوگرافی استفاده می‌شود. وضوح تصویر بالا و بدست آمدن نقاط بسیار کوچک سبب کاهش اختلالات کناره‌های تصویر و ارائه جزییات بیشتر تصویر در این فناوری، از جمله مزایای آن می‌باشد [۵، ۱۶]. شکل ۴ نمای از تشکیل فیلم تابشی نشان داده شده است.

از لحاظ تئوری، تونر مشکی که حاوی ۲ تا ۲/۵٪ کربن سیاه می‌باشد، تقریباً تمامی طول موج‌ها که شامل طول موج محدوده نزدیک به زیر قرمز نیز می‌باشد را جذب می‌کند. در حالی که کاغذ در این محدوده طول موج‌ها را منعکس می‌کند. به دلیل اینکه کاغذ طول موج‌های ناحیه مرئی و نزدیک به زیر قرمز را منعکس می‌کند، اکثر انرژی تابشی توسط ذرات تونر در سازوکاری شبیه جسم سیاه جذب می‌شود. برای رسیدن به نهایت انعکاس کاغذ و سرعت بخشیدن به رسیدن تعادل گرمایی نقطه تماس تونر و کاغذ بهتر است کاغذ از پیش گرمادهی شود [۵، ۱۵].

به دلیل جذب انتخابی در تونرهای رنگی در محدوده طول موج نزدیک به زیر قرمز، علاوه بر استفاده از تابش زیر قرمز می‌توان بخشی از طیف انتشار لامپ زنون را نیز استفاده کرد. هم چنین می‌توان از مواد جاذب زیر قرمز و افزودنی‌های حساس به گرما برای حل این مشکل در تونرهای رنگی استفاده نمود، استفاده از این افزودنی‌ها می‌توانند سبب تیره‌تر شدن رنگ تونر گردند [۵، ۱۶].

Pulse width^۱

شکل ۵- نمودار درصد جذب کاغذ و تونرهای رنگی استفاده شده در محدوده طول موج ۱۰۰۰-۲۰۰ نانومتر برای کاغذ و تونرهای متفاوت [۱۶].

می‌گیرد. در پخت با فرابنفش مرحله اول، تهییج آغازگر نوری^۴ با جذب تابش الکترومغناطیسی است. هم چنین در هنگام استفاده از باریکه الکترونی (EB) رزین‌های موجود در سامانه توسط الکترون‌های پراثری یونیزه و تهییج می‌گردند [۱۸، ۱۹]. مواد قابل پخت با تابش فرابنفش با رشد سالانه حدود ۱۰٪، کاربرد بسیار گسترده‌ای در صنایع پوشش، مرکب چاپ و چسب دارند. مزایا و مشخصه‌های استفاده از صنعت پخت با تابش به اختصار در زیر نام برده شده‌اند:

- مصرف انرژی کم و قیمت نهایی پایین‌تر.
- درصد جامد بالا و حذف حلال‌ها.
- امکان پخت زیرآیندهای حساس به حرارت و زیرآیندهای پلاستیکی.
- سرعت پخت و تولید بالا.
- امکان استفاده چند منظوره.
- کم بودن فضای مورد نیاز تجهیزات و دستگاه‌ها و سهولت در به روز رسانی آن‌ها.
- درجه شبکه‌ای شدن بالا و بهبود یافتن خواص سایشی، شیمیایی و لکه‌گذاری [۱۸].

۳-۱- پخت با تابش در چاپ الکتروفوتوگرافی

ویژگی‌های بدست آمده از تونر با قابلیت پخت با فرابنفش در چاپ الکتروفوتوگرافی، کاربردهای بی‌شماری را برای این تونر به خصوص در بسته‌بندی مواد غذایی، لوازم آرایشی و پزشکی به ارمغان آورده است. شکل ۶ نشان دهنده دو بسته بندی چاپ شده با تونر معمولی و تونر پخت شونده با پرتو فرابنفش می‌باشد. در این تصاویر نبودن تونر در محدوده عایق شدن بسته بندی در نمونه تونر پخت شونده با پرتو فرابنفش مشخص می‌باشد.

⁴ Photoinitiator

مقدار انرژی E و پهنای ضربان از روابط ۱ و ۲ بدست می‌آیند. در این روابط C ظرفیت خازن، V ولتاژ ورودی و L ظرفیت القاء مغناطیسی می‌باشد. برای یک لامپ خاص با توجه به ثابت بودن برخی پارامترها تنها یک میزان انرژی و پهنای ضربان موجود است [۱۱].

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

$$t_{1/3} = 3(LC)^{1/2} \quad (2)$$

بسته به نوع لامپ، هندسه لامپ و سرعت فرآیند، زمان حرارت‌دهی در این فرآیند بین ۴۰۰-۱ ms می‌باشد [۱۶].

مشخصه‌های فرآیندی در تشکیل فیلم به روش تابشی شامل: انرژی خروجی، ولتاژ ورودی، مشخصات لامپ مصرفی و سیستم انعکاس نوری می‌باشند [۱۵].

پس از تشکیل فیلم تابشی دستگاه مورد استفاده حتما باید دارای قسمت عبوردهی کاغذ غیرتماسی و سیستم خنک‌کننده باشد، همچنین می‌توان در این مرحله به صورت جدا گانه از پخت با تابش استفاده کرد [۱۶].

۳- پخت با تابش

صنعت پخت با تابش^۱ یکی از حوزه‌هایی می‌باشد که به سرعت در حال رشد است. سمیت پایین، ارزانی، سرعت، کنترل و آسانی در فرمولاسیون و بهره‌برداری، از جمله مزایای استفاده از این روش می‌باشند. به طور کلی در این سیستم‌ها یک ماده پوشش‌دهنده واکنش‌گر با گرانش کم معمولاً فاقد حلال، بر روی سطح اعمال شده و سپس در معرض تابش با انرژی بالا مانند تابش فرابنفش^۲، نور مرئی یا باریکه الکترونی (EB^۳) قرار

¹ Radiant curing

² Ultraviolet

³ Electron Beam



شکل ۶ - نمونه سمت راست: چاپ شده با تونر معمولی، سمت چپ: چاپ شده با تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش [۱۸].

میزان می تواند شامل مخلوط چندین رزین باشد، ۱۵-۰/۵٪ وزن رزین، آغازگر نوری، ۲۵-۰/۳٪ وزن تونر، واکس می باشد. از جمله ترکیبات رزینی که قابلیت پخت با تابش را دارند، می توان به گروه های زیر اشاره نمود:

- مخلوط پلی استر- استایرن
- ترکیباتی با گروه های متا اکریلیک
- پری پلیمرها و مونومرها با عامل اکریلیک
- رزین های اپوکسی
- یورتان اکریلات و یورتان دی اکریلات

استفاده از رزین های پلیمری با عدد اسیدی کمتر ($50-30 \text{ mgKOH/g}$) سبب ایجاد اتصالات عرضی بهتر تحت تابش فرابنفش می گردد. مرحله تشکیل فیلم به منظور ذوب و تثبیت تونر بر روی سطح زیرآیند در دمایی بین ۷۰-۱۲۰ درجه سانتی گراد صورت می گیرد، در حالی که پخت تونر سبب ایجاد پیوندهای عرضی در زنجیره پلیمری می گردد که این پیوندهای عرضی سبب افزایش گرانروی تونر در هنگام پخت و ایجاد ساختاری لاستیکی می گردد که سبب انعطاف محصول نهایی چاپ می گردد. شکل ۷ ایجاد این اتصالات در زیر پرتو فرابنفش را نشان می دهد [۱۶، ۱۹-۲۲].

۴- روش های تولید تونرهای پخت شونده با فرابنفش

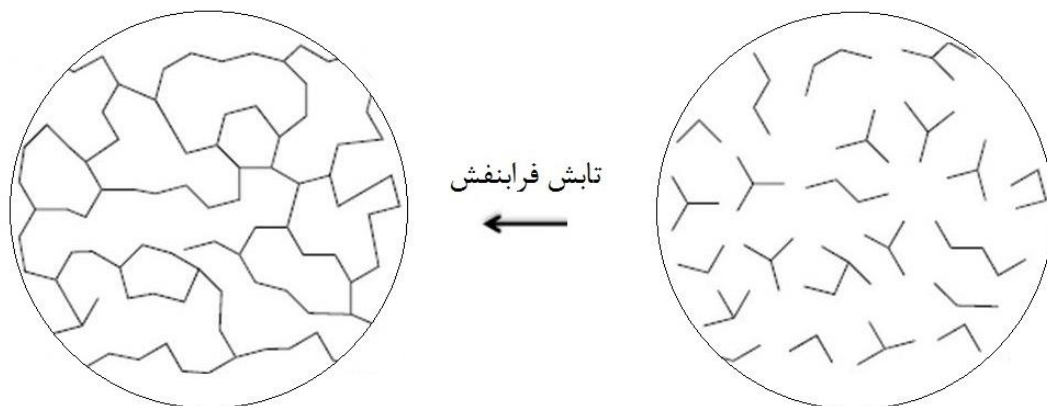
تونر پودری در یک تقسیم بندی کلی به دو صورت تک جزئی و دو جزئی موجود می باشد. تمامی تونرها شامل رزین پلیمری، ماده رنگی^۱ و مواد افزودنی متعددی می باشند. مواد افزودنی جهت بهبود خواص جریان پذیری و تسهیل در جداسازی تونر از غلتک حامل تصویر به اجزا تونر افزوده می شوند [۱]. تونر به روش های متعددی تولید می شود که به طور کلی به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می شوند که تمامی این روش های برای تولید تونر پخت شونده با پرتو فرابنفش مناسب نمی باشند.

تونرهای سنتی بر پایه رزین های ترموپلاستیک می باشند بنابراین تونر در بالای دمای مشخصی شروع به ذوب شدن و در هنگام خنک شدن دوباره جامد می شود، که این یک فرآیند برگشت پذیر است. این موضوع نشان می دهد که تصویر چاپ شده ممکن است در حین عملیات های پس از تشکیل فیلم نظیر بسته بندی حرارتی دچار آسیب گردد. هم چنین این تونرها در حلال ها و تحت سایش نیز ثبات ضعیفی دارند. این موضوع سبب گردیده تا رویکرد به سامانه ای که تونر پس از تشکیل فیلم نیز از ثبات خوبی در برابر حرارت، حلال ها و عوامل مکانیکی داشته باشد، افزایش یابد. استفاده از تونر با قابلیت پخت با پرتو فرابنفش راهی موثر برای رسیدن به این اهداف می باشند. مشخصه و مزیت های چاپ با تونر پخت شونده با پرتو فرابنفش عبارتند از:

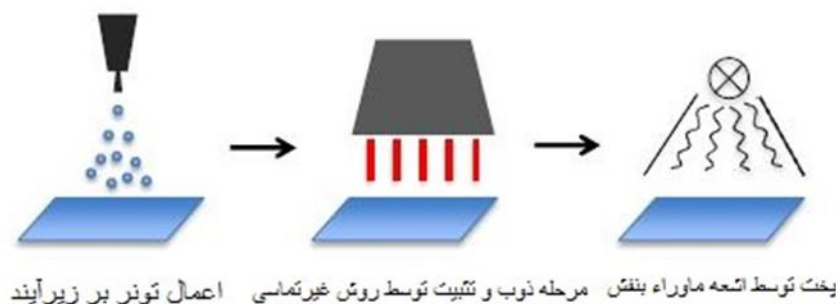
- مقاومت حرارتی بالا (تصویر حاصل از تونرهای معمولی در دمای ۱۲۰-۱۱۰ سانتی گراد شروع به از شکل افتادگی می کند).
- قابلیت مهر و موم کردن حرارتی (بسته بندی مواد غذایی در دمایی حدود ۲۵۰ اتفاق می افتد که در این دما تنها چاپ تونر پخت شونده با پرتو فرابنفش بدون تغییر باقی می ماند. هم چنین برخی محصولات غذایی باید داخل بسته بندی خود پخته شوند).
- قدرت چسبندگی (تونر در شرایط معمولی توسط نوار چسب از روی زیرآیند بلند نشود)
- مقاومت در محیط های آبی
- مقاومت در برابر حلال ها
- مقاومت سایشی
- ثبات نوری
- انعطاف پذیری محصول نهایی [۷، ۸].

تونر با قابلیت پخت با پرتو فرابنفش علاوه بر ترکیبات تونرهای معمولی دارای حداقل یک رزین با قابلیت پخت با پرتو فرابنفش و آغازگر نوری می باشد. این تونر به طور معمول دارای ۶۵-۹۰٪ وزن تونر، رزین (این

¹ Colorant



شکل ۷- تشکیل پیوندهای عرضی در رزین با قابلیت پخت با پرتو فرابنفش.



شکل ۱- تشکیل فیلم تابشی (غیرتماسی) و پخت با پرتو فرابنفش.

۱-۴- روش فیزیکی

از جمله روش‌های تولید تونر روش مخلوط-مذاب یا خردکردن می‌باشد. این روش شامل پراکنده کردن اجزاء تونر در پلیمر مذاب، سردشدن و جامد شدن پراکنش حاصل، آسیاب کردن و خردکردن محصول جامد و در نهایت جداسازی ذرات تونر با اندازه‌ی مطلوب و اضافه کردن افزودنی‌ها برای بهبود خواص جریان‌پذیری و پایداری بار الکتریکی است [۱۳]. در روش تولید فیزیکی (سنتی) تونر، کوچک‌ترین ذره ۷ میکرون بوده و ذرات حاصل دارای توزیع اندازه ذرات گسترده همراه با شکل هندسی غیرکروی، نامنظم و زاویه‌دار می‌باشند. شرکت بین‌المللی زایکون^۱ در دو مقاله خود [۷، ۸] از این روش در تولید تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش استفاده نموده و به بررسی مقاومت حرارتی و مقاومت در برابر حلال و هم چنین تاثیرات نوع رزین پخت‌شونده با پرتو فرابنفش و آغازگر نوری در این آزمون‌ها پرداخته است. در مقاله [۸] از حلال متیل اتیل کتون^۲ که بر روی نمونه پخت‌شده توسط تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش و تونر معمولی چاپ شده از بالا تا پایین و از پایین تا بالا کشیده شده و تعداد این رفت و برگشت‌ها تا زمان پدید آمدن سطح زیرآیند شمارش می‌شود. این آزمون نشان‌گر افزایش مقاومت در برابر حلال در تونر پخت‌شونده با فرابنفش می‌باشد. برای تست حرارتی نیز نمونه‌های چاپ شده توسط تونر معمولی و پخت‌نشده و تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش بین دو صفحه با فشار مشخص قرار گرفته که یکی از صفحات را گرمادهی می‌کنند دمای آغاز به چسبیدن تونر به عنوان دمای مقاومتی تونر عنوان می‌گردد. در این مقاله مقاومت حرارتی تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش به نسبت تونر معمولی افزایش یافته است. جدول ۵ نمایان‌گر نتایج به دست آمده از آزمون‌های مقاومت حرارتی و مقاومت در برابر حلال می‌باشد.

پلیمر ۱ و ۲ از رزین‌های پلی استری با عامل‌های اکریلیکی، پلیمر ۳ پلی استر بر پایه اسید فوماریک و پلیمر ۴ یورتان اکریلات می‌باشد. ترکیب پلیمرها سبب افزایش نتایج حاصله در هر دو تست شده است.

۲-۴- روش شیمیایی

متداول‌ترین روش‌های شیمیایی برای تولید تونر روش‌های پلیمریزاسیون تعلیقی درجا^۳ و تجمع امولسیون^۴ هستند که از روش پلیمریزاسیون تعلیقی درجا تا کنون برای تولید تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش استفاده نگردیده است. اندازه ذرات در روش شیمیایی تجمع امولسیونی به حداقل ۳ میکرون و در روش پلیمریزاسیون سوسپانسیونی درجا به میانگین ۵ میکرون رسیده است. از آنجایی که نزدیک‌تر شدن به شکل کروی رفتارهای مکانیکی و الکتریکی را قابل پیش‌بینی کرده و شکل یکنواخت ذرات رسیدن به کیفیت بالای تصویر را میسر می‌سازد، روش‌های تولید شیمیایی تونر به روش فیزیکی برتری داده می‌شوند. در [۹، ۱۲]. بسیاری از خواص حرارتی تونر به دمای انتقال شیشه‌ای پلیمر مصرفی در ترکیبات آن بستگی دارد. این پلیمرها پلیمرهایی نرم، بی‌شکل و سازگار با حرارت مرحله تشکیل فیلم می‌باشند. در تشکیل فیلم تماسی این دما در محدوده ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد بوده و در تشکیل فیلم غیرتماسی به دلیل عدم وجود فشار این دما بهتر است در محدوده ۴۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد بوده و تونر انتخابی در دمای زیر ۵۰ درجه سانتی‌گراد هیچ رفتار چسبندگی از خود نشان ندهد. اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای به آسانی توسط آزمون‌های حرارتی به ویژه

³ In-situ suspension polymerization

⁴ Emulsion Aggregation

¹ Xeikon International NV

² MEK

در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی برای رسیدن به یک روش بهینه برای تولید تونر پخت‌شونده با پرتو فرابنفش توسط این روش انجام شده است. در مقالاتی نظیر [۲۵، ۲۳، ۲۱، ۶] مطالعات و پیشنهاداتی برای زمان اضافه کردن رزین پخت شونده با پرتو فرابنفش و آغازگر نوری ارائه شده است. در این مقالات یک یا چند رزین با قابلیت پخت با پرتو فرابنفش به همراه آغازگر نوری به سایر ترکیبات موجود در تونر در دو نقطه‌ی پیشنهادی؛ پیش از مرحله رشد و یا در مرحله انعقاد به همراه ماده منعقد کننده؛ اضافه شده است. در این مقالات هم چنین رزین‌های غیراشباعی^۳ مانند الیگومرهای آکریلاتی مانند اپوکسی آکریلات^۴، پلی استر آکریلات^۵ و یورتان آکریلات^۶ و سیکلوالیفاتیک اپوکساید^۷ و آغازگرهای نوری مانند هیدروکسی سیکلوهگزیل فنیل کتون^۸، بنزوفنون^۹، دی فنیل (۶،۴،۲-تری متیل بنزویل)-فسفین اکساید^{۱۰} برای تولید تونرهای با قابلیت پخت با پرتو فرابنفش پیشنهاد شده است [۲۵، ۲۳، ۲۱، ۶].

بهره‌گیری از آزمون گرماسنجی روبشی تفاضلی^۱ قابل محاسبه می‌باشد [۲۳، ۱۶].

۴-۲-۱- تجمع امولسیون

پلیمریزاسیون امولسیون روشی است که در آن مونومرها در مایسل‌ها^۲ پراکنده شده و ذرات پلیمری توسط فرآیند رادیکال آزاد در مایسل‌ها شکل می‌گیرند. در مرحله رشد سایر مواد تونر (ماده رنگی، ماده کنترل کننده شارژ الکتریکی، واکس و سایر مواد) وانند وارد ذرات پلیمری شوند و در واقع اجزای تونر در بستری از پلیمر قرار گرفته و ذرات نهایی را در مرحله انعقاد تشکیل می‌دهند. در این روش با استفاده از عامل منعقد کننده، کنترل دما و pH ذراتی با اندازه حدود ۱۰ میکرون با توزیع اندازه ذرات باریک و دارای شکل هندسی کروی و شبه کروی تشکیل می‌شوند. در این روش می‌توان از رزین استایرن یا استایرن آکریلیک استفاده نمود [۴]. با توجه به آزمایشات انجام شده، نتایج حاصل نشان می‌دهد تشکیل فیلم غیرتماسی و پخت با پرتو فرابنفش بر روی تونرهایی با اندازه ذرات کوچک‌تر و شکل هندسی منظم‌تر، بهتر بوده لذا روش تجمع امولسیون به روشی ایده‌آل برای تولید تونرهای پخت‌شونده با فرابنفش تبدیل شده است [۲۴، ۵].

³ Unsaturate

⁴ Epoxy acrylate

⁵ Polyester acrylate

⁶ Urethane acrylate

⁷ Cyclo aliphatic epoxid

⁸ Hydroxycyclohexylphenylketon

⁹ Benzophenone

¹⁰ Diphenyl-(2,4,6-trimethylbenzoyl)-phosphine oxide(TPO)

¹ Differential scanning calorimetry

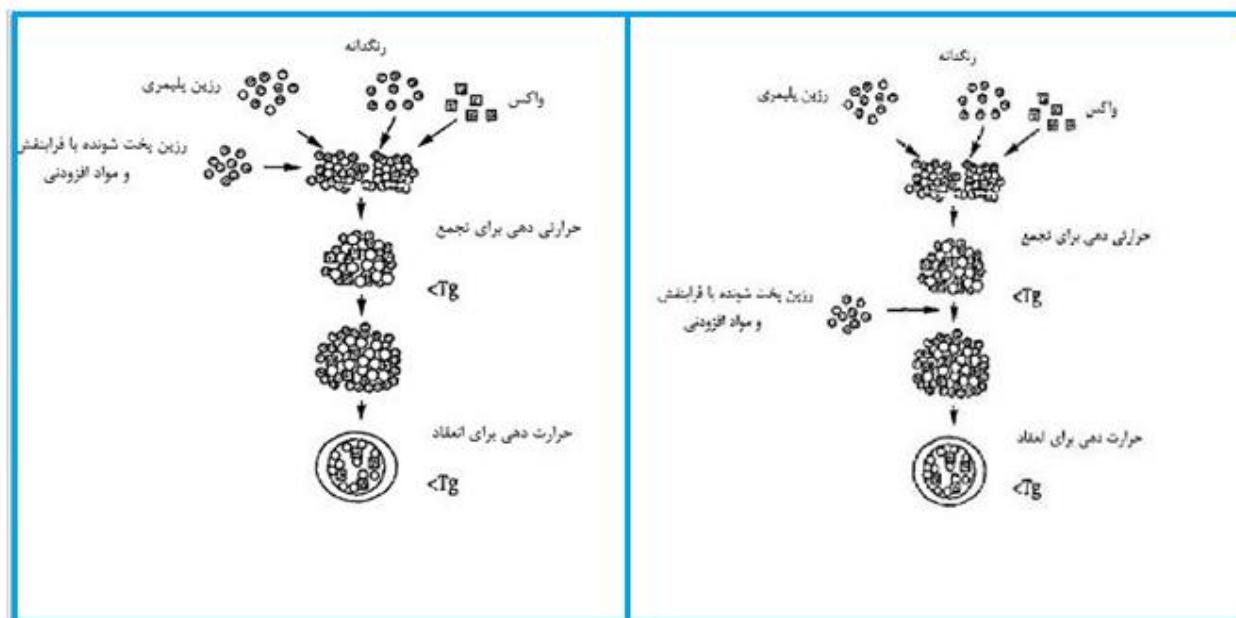
² Micelle

جدول ۱- نتایج آزمون مقاومت حرارتی و مقاومت در برابر حلال چهار پلیمر استفاده شده در هفت تونر [۸].

شماره	رزین	فعالیت پذیری ^{۱۱}	آزمون مالشی MEK	دمای مقاومت حرارتی ^{۱۲}
۱	پلیمر ۱	۰.۹	۷۰	>۱۳۰
۲	پلیمر ۲	۰.۷	۱۲	>۱۰۰
۳	پلیمر ۲	۱.۹	۲۲	>۱۲۰
۴	پلیمر ۱	۰.۹	۵۵	>۱۳۰
۵	پلیمر ۲	۱.۲۶	۸۰	>۱۳۰
	پلیمر ۴			
۶	پلیمر ۱	۱.۲۳	۶۷۰	>۱۳۰
	پلیمر ۴			
۷	پلیمر ۱	۱.۲۳	۵۰۰	>۱۳۰
	پلیمر ۴			

¹¹ Reactivity

¹² Temperature Resistance



شکل ۹- تولید تونر پخت شونده با پرتو فرابنفش به روش تجمع امولسیون، سمت چپ: اضافه نمودن رزین پخت شونده با پرتو فرابنفش در پیش از مرحله رشد. سمت راست: اضافه نمودن رزین پخت شونده با پرتو فرابنفش در مرحله انعقاد [۲۵].

۵- نتیجه گیری

در خواص چاپ نهایی در الکتروفوتوگرافی دارد امروزه علاوه بر روش قدیمی تماسی و بهره‌گیری از غلتک‌های حرارتی و فشاری، توسط روش غیرتماسی و استفاده از لامپ‌های زیر قرمز و زنون برای دستیابی به کیفیت بالاتر و سرعت بیشتر و حل مشکلات روش تماسی مانند تغییر شکل دادن کاغذ بر اثر فشار صورت می‌گیرد. تونرهای مناسب برای این روش و پخت باید دارای مواد سازگار و رزین پلیمری مناسب جهت پخت بوده و می‌توانند با بهره‌گیری از روش‌هایی نظیر تجمع امولسیون که ذراتی با اندازه کوچک و توزیع اندازه ذرات باریک و شکل نیمه‌کروی می‌دهد تولید گردند.

فناوری پخت تابشی یا تابش پز یکی از حوزه‌هایی می‌باشد که با سرعت در حال رشد است. سمیت پایین، ارزانی، سرعت، کنترل و آسانی در فرمولاسیون و بهره‌برداری، از جمله مزایای استفاده از این روش می‌باشند. از فناوری پخت با تابش به خصوص تابش فرابنفش در مرحله تشکیل فیلم در چاپ الکتروفوتوگرافی برای رسیدن به مزایایی نظیر براقت بیشتر، قدرت رنگی بالاتر، وضوح تصویر بیشتر، مقاومت بالا در برابر خش و سایش، مقاوم در برابر مواد شیمیایی، انعطاف پذیری بیش تر چاپ نهایی می‌توان استفاده کرد. مرحله تشکیل فیلم که تاثیر بسزایی

۶- مراجع

1. H. Kipphan, Handbook of print media: technologies and production methods: Springer Science & Business Media, 2001.
2. G. Galliford, "The anatomy of a toner," <http://www.gallifordconsulting.com/>, 2006.
3. L. Schein, "Benjamin Franklin and electrophotography," Journal of Vacuum Science & Technology A, vol. 25, pp. 1256-1260, 2007.
4. م.عبادی، م. عطایی فرد، "تولید تونر چاپگر لیزر جت به روش تجمع امولسیون" نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ-41, pp. 48, 1391.
5. H. AL-Rubaiey, "Toner Transfer and Fusing in Electrophotography," Graphic Arts in Finland, vol. 39, p. 1, 2010.
6. D. Tyagi, L. J. Sorriero, and M. Aslam, "Imparting gloss or texture to image by use of a belt fusing

- system having surface texture on belt with certain surface energy," ed: Google Patents, **1998**.
7. L. Deprez and K. Rosenberger, "Digital Production Printing with UV-Curable Dry Toners for Paper and Flexible Packaging," in NIP & Digital Fabrication Conference, **2003**, pp. 486-491.
 8. L. Deprez and W. O. d. Beeck, "Digital Production Printing with Dry Full Color UV Curable Toner," **2005**.
 9. G. Galliford, "Particle shape of toners and the advantage of using chemical toner manufacturing methods," Ventura, CA: Galliford Consulting & Marketing, **2005**.
 10. T. Mitsuya and L. Hunt, "Recent Progress in Toner Technology," pp. 429-433, **1997**.
 11. H. AL-Rubaiey, T. Hartus, and P. Oittinen, "Flash fusing in electrophotography," Graphic Arts Finland, vol. 41, p. 1, **2012**.
 12. M. Ataefard, "Production of carbon black acrylic composite as an electrophotographic toner using emulsion aggregation method: Investigation the effect of agitation rate," Composites Part B: Engineering, vol. 64, pp. 78-83, **2014**.
 13. J. Hasegawa, N. Yanagida, and M. Tamura, "Toner prepared by the direct polymerization method in comparison with the pulverization method," Colloids Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 153, pp. 215-220, **1999**.
 14. H. Al-Rubaiey and P. Oittinen, "Controlling Fusing Parameters by Optical Image Quality," Graphic Arts in Finland, vol. 33, p. 1, **2004**.
 15. H. Al-Rubaiey, T. Hartus, and P. Oittinen, "The influence of flash fusing variables on image fixing quality," Graphic Arts in Finland, vol. 31, **2002**.
 16. D. Schulze-Hagenest and D. Rohde, "Duplex color radiant fusing," J. Imaging Sci. Technol., vol. 48, pp. 486-494, **2004**.
 17. N. Edul Dalal, J. Anthony Paine, E. Sue, D. Blaszak, and M. Lan Morrison, "The Predictive Modeling of Color Projection Quality II Experimental Validation," **1997**.
 18. J. V. Koleske, Radiation curing of coatings: ASTM International West Conshohocken, PA, **2002**.
 19. N. S. Allen, "Photoinitiators for UV and visible curing of coatings: mechanisms and properties," J. Photochem. Photobiol. A: chemistry, vol. 100, pp. 101-107, **1996**.
 20. W. O. de Beeck, M. Vervoort, and L. Deprez, "UV curable toner with improved scratch resistance," ed: Google Patents, **2013**.
 21. E. G. Zwartz and G. G. Sacripante, "Curable toner compositions and processes," ed: Google Patents, **2009**.
 22. D. C. Neckers and W. Jager, "Chemistry & Technology of UV & EB Formulations for Coating, Inks and Paints, vol. VII of Photo initiation for Polymerization: UV & EB at the Millennium," John wily and sons, **1998**.
 23. F. Einarsson, "Thermal analysis of toners," ANNUAL TRANSACTIONS-NORDIC RHEOLOGY SOCIETY, vol. 10, pp. 155-160, **2002**.
 24. G. Galliford, "Emulsion Aggregation Toner Technology," <http://www.gallifordconsulting.com/>, **2006**.
 25. M. C. Fromm, M. M. Bruzee, G. E. Kmiecik-Lawrynowicz, P. Lin, and C.-M. Cheng, "Toners and processes thereof," ed: Google Patents, **2007**.