available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ/ ۲(۱۳۹۱) ۴۸-۴۱

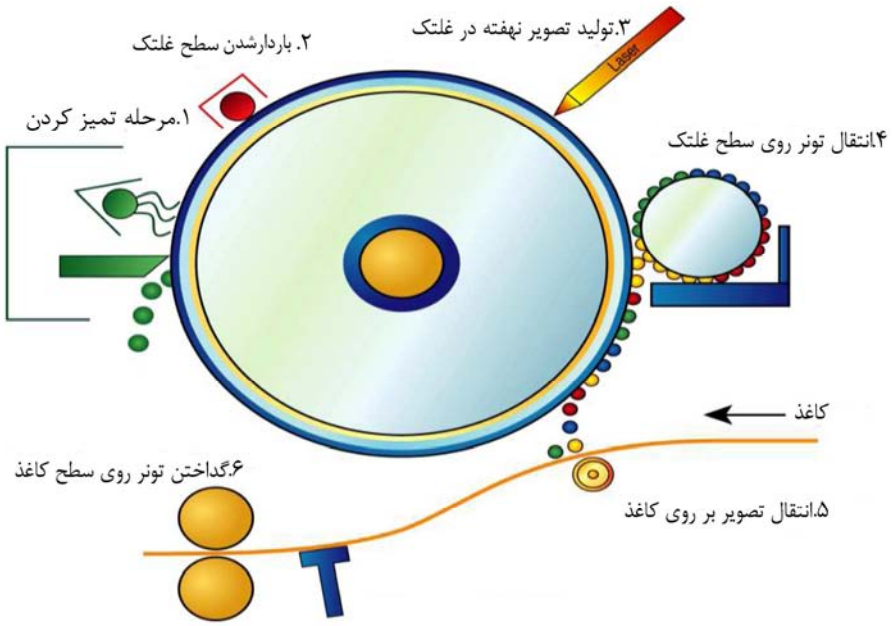
تولید تونر چاپگر لیزر جت به روش تجمع امولسیونی

مونا عبادی[۱]، مریم عطایی فرد[۲*]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران، صندوق پستی: ۳۳۹۵۵/۱۶۳
۲- استادیار،گروه پژوهشی علوم و فناوری چاپ، موسسه علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۵ تاریخ بازبینی۱: ۹۱/۷/۳ تاریخ بازبینی۲: ۹۱/۷/۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۱

چکیده
چاپگر لیزرجت یکی از انواع تجهیزات جانبی رایانه است که متن یا تصویر ایجاد شده را بر روی کاغذ یا زمینه مشابه دیگر منتقل کرده و در دو نوع تک رنگ و رنگی موجود می‌باشد. پودر ایجاد کننده تصویر در چاپگر لیزرجت، تونر نامیده می‌شود. روش‌های متعددی برای تولید تونر وجود دارد، از جمله روش تجمع امولسیونی که سبب تولید ذراتی با توزیع اندازه کوچک‌تر و باریک‌تر شده که این خاصیت باعث بهبود توانایی جریان‌پذیری ذرات تونر، انتقال بهتر به کاغذ و در نهایت بهترشدن کیفیت تصاویر چاپ شده می‌شود. تونر تولیدشده به روش تجمع امولسیونی بر پایه رزین استایرن- اکریلیک می‌باشد. از دیگر اجزاء سازنده این تونر نیز می‌توان به ماده رنگزا، واکس، عامل کنترل بار و سایر افزودنی‌ها اشاره کرد. هدف از این بررسی مطالعه روش‌های مختلف تولید تونر می‌باشد و در ادامه روش تجمع امولسیونی به‌عنوان روشی مناسب مورد بحث قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی
چاپگر لیزر جت، تونر، روش تجمع امولسیون، دمای انتقال شیشه‌ای، اندازه ذره.



*Corresponding author: ataeefard-m@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

۱-۱- چاپگر لیزر جت و نحوه عملکرد آن

چاپگر لیزرجت[1] نوع متداولی از چاپگرهای رایانه‌ای است که در آن از پرتوهای لیزر برای نشاندن تونر[2] بر روی کاغذ استفاده می‌گردد. این چاپگرها با توجه به ویژگی‌های خاص خود طی سالیان اخیر با استقبال عموم کاربران درسراسر جهان مواجه شده‌اند و شرکت‌های تولیدکننده متناسب با خواسته‌های جدید و همزمان با پیشرفت فناوری، مدل‌های متفاوتی از آنها را به بازار عرضه نموده‌اند [۱].

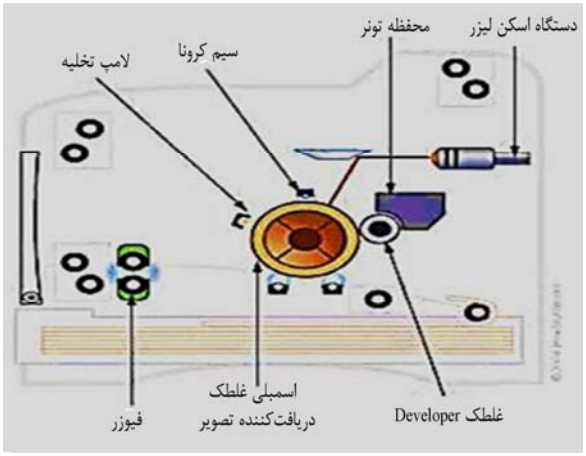
چاپگرهای لیزرجت به دو دسته رنگی و سیاه سفید تقسیم می‌شوند. در ابتدا اغلب چاپگرهای لیزر جت به‌صورت تک رنگ بوده و در تولید تونر فقط از رنگدانه مشکی استفاده می‌شده است. این نوع از چاپگرها برای چاپ عکس مناسب نبوده و بیشتر برای چاپ متن به‌کار برده می‌شوند. امروزه چاپگرهای لیزر جت رنگی نیز متداول و توسط تولیدکنندگان عرضه می‌شوند. چگونگی عملکرد چاپگرهای رنگی مشابه چاپگرهای سیاه و سفید است، با این تفاوت که در این چاپگرها برای انجام فرآیند چاپ از چهار رنگ اصلی فیروزه‌ای[3]، سرخابی[4]، زرد و سیاه استفاده می‌شود. این نوع از چاپگرها به دلیل استفاده از رنگ‌های متفاوت برای چاپ عکس نیز مناسب می‌باشند [۲].

در چاپگرهای لیزرجت از سیستم الکتروفتوگرافی[5] استفاده می‌شود که در آن روش چاپ بر اساس استفاده از پودر و نیروهای الکتروستاتیک می‌باشد [۳]. در این روش بخش‌هایی از سطح که حاوی تصویر می‌باشند انتخاب شده و تخلیه بار می‌شوند و سپس سطح غلطک در نقاط خنثی شده با لایه نازکی از تونر پوشیده و در نهایت این تصویر نهفته[6] به کاغذ منتقل می‌شود [۲]. هسته اصلی این سیستم، گیرنده نور[7] نامیده می‌شود که به صورت غلطک است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در ابتدا، تمام سطح غلطک از طریق یک سیم حامل جریان الکتریکی[8] بار منفی پیدا می‌کند، همزمان با چرخش غلطک، چاپگر پرتو نور لیزر را بر سطح غلطک می‌تاباند تا بارها را بر روی نقاطی که حاوی متن و تصویر است تخلیه کند [۲]. نقش لیزر در چاپگر برای ایجاد تصویر بسیار حائز اهمیت است. لیزر داده‌ها را دریافت و بر اساس اطلاعات، متن و تصویر مورد نظر را روی غلطک مشخص می‌کند. در واقع لیزر یک پالس نوری برای خنثی‌سازی بار در هر یک از نقاط تصویر ایجاد می‌نماید [۴].

با توجه به اینکه تونر این نوع از چاپگرها عموماً دارای بار منفی هستند، به ناحیه خنثی شده روی سطح غلطک چسبیده، سپس کاغذ با بار مثبت حول غلطک به حرکت در می‌آید. این بار مثبت به مراتب قوی‌تر از بار منفی الکترواستاتیک مربوط به تصویر بوده و به کاغذ این اجازه را می‌دهد که پودر را از غلطک جدا کند. به این ترتیب همزمان با حرکت کاغذ، تصویر روی آن منتقل خواهد شد. استفاده از الکتریسیته ساکن[9] در چاپگرهای لیزرجت بسیار حائز اهمیت است. الکتریسیته ساکن نوعی شارژ الکتریکی است که در اشیاء نارسانا ایجاد می‌شود. انرژی حاصل از الکتریسیته ساکن باعث ایجاد چسبندگی بین اجزاء گشته و به‌عنوان نوعی چسب موقت برای انتقال تونر به کاغذ استفاده می‌شود. به‌منظور ممانعت از چسبیدن کاغذ به غلطک، بلافاصله پس از انتقال تصویر عملیات تخلیه بار غلطک انجام خواهد گرفت. در نهایت، کاغذ از بین یک زوج غلطک گرم عبور داده‌شده و تونر قرار گرفته روی آن در حرارتی بین ۱۵۰ - ۱۰۰ °C ذوب[10] می‌گردد [۲].

به‌طور کلی فرآیند انجام چاپ در چاپگر لیزرجت در ۶ مرحله صورت می‌پذیرد (شکل ۲):

۱. تخلیه کلیه بارهای قبلی موجود روی سطح غلطک
۲. باردارشدن مجدد کل سطح غلطک
۳. قرار گرفتن غلطک در معرض نور لیزر برای خنثی‌سازی نقاط تصویر و تولید تصویر نهفته در غلطک
۴. انتقال تونر به سطح غلطک
۵. انتقال تصویر از غلطک به کاغذ
۶. ذوب‌شدن و ثابت‌شدن تونر بر روی سطح کاغذ



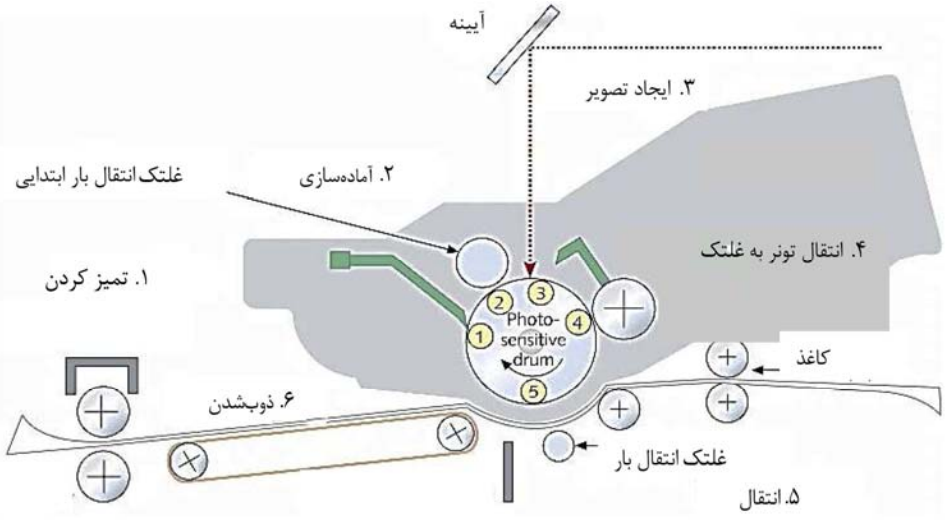
شکل ۱- عناصر اصلی تشکیل دهنده یک چاپگر لیزرجت.

۱-۲- تونر

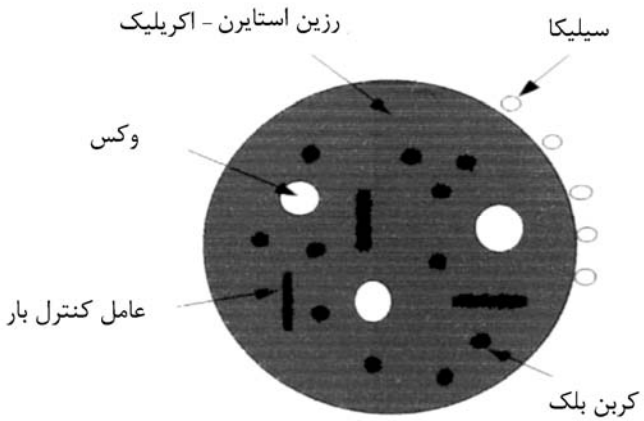
تونر از سه عنصر اصلی تشکیل شده است:

الف) پلیمر ماده اصلی در تولید تونر محسوب می‌شود و نقش محمل را ایفا می‌کند، خاصیت چسبندگی داشته و بخش عمده آن را تشکیل می‌دهد (در حدود ۹۵٪ تا ۷۰٪). در صنعت ساخت تونر استفاده از رزین استایرن - اکریلیک و استایرن- بوتادی‌ان بسیار متداول است.

[1] Laser jet printer
[2] Toner
[3] Cyan
[4] Magenta
[5] Electrography
[6] Latent images
[7] Photoreceptor
[8] Electrical current
[9] Static electricity
[10] Fuse



شکل ۲- مراحل انجام فرآیند چاپ در چاپگر لیزر جت.



شکل ۳- اجزاء تشکیل دهنده یک ذره تونر [۱۱].

ب) عامل رنگزا که برای تولید تونر مشکی معمولاً از کربن بلک استفاده می‌شود. این ماده ۰/۵٪ تا ۲۰٪ از کل ذرات تونر را شکل می‌دهد [۵].

ج) عامل ایجاد بار الکتریکی که در تونرهای مغناطیسی اکسید آهن[1] است. ذرات تونر بسته به ویژگی‌های چاپگر و ترکیبات به‌کار رفته در ساخت آنها دارای بار مثبت و یا بار منفی هستند. عامل ایجاد بار، مقدار بار و قطبیت ذرات تونر را کنترل می‌کند. این عامل ۱٪ تا ۲٪ از کل ذرات تونر را تشکیل می‌دهد. از دیگر عوامل ایجاد بار الکتریکی در تونر، کمپلکس آزو - فلز کروم[2] و اکسی اسید کربوکسیلیک آلومنیوم[3] برای ایجاد بار منفی و نیگروزین[4] برای ایجاد بار مثبت را می‌توان نام برد [۶]. ماده افزودنی در تولید تونر عامل کنترل جریان‌پذیری[5] است که به طور معمول از طریق مخلوط‌کردن مکانیکی به سطح ذرات تونر افزوده می‌شود. این ماده از هر گونه انسداد و انعقاد ذرات جلوگیری کرده و کیفیت تصاویر چاپ شده را بهبود می‌بخشد. همچنین مانع از چسبیدن آنها به سطح غلطک می‌شود. در برخی از موارد نیز این ماده به منظور جلوگیری از ایجاد آلودگی همراه رزین استفاده می‌شود. دو نوع افزودنی کنترل‌کننده جریان برای تونر وجود دارد: افزودنی‌های داخلی مانند واکس بر پایه پلی اتیلن و پلی پروپیلن که هنگام آمیخته شدن مواد با یکدیگر به آنها اضافه می‌شوند و افزودنی‌های خارجی مانند سیلیکا که در هنگام پردازش نهایی ذرات تونر به آن اضافه می‌شوند [۷]. در شکل ۳ اجزاء اصلی تشکیل دهنده تونر نشان داده شده است.

برای انواع سیستم‌های چاپگر از دو نوع تونر می‌توان استفاده کرد:

- تونر تک جزئی
- تونر دو جزئی

[1] Fe_3O_4
[2] Complex Azo - Chromium Metal
[3] Oxi Carboxylic Acid Aluminum
[4] Nigrosine
[5] Flow Control Acting (FCA)

چاپگرهای رومیزی عمدتاً از تونر تک جزئی استفاده می‌کنند. این تونرها را می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی کرد:

۱. تونر مغناطیسی که حاوی حامل بار مغناطیسی (Fe_3O_4) است.

۲. تونر غیرمغناطیسی که دارای حامل بار مغناطیسی (Fe_3O_4) نمی‌باشد.

تونرهای مغناطیسی دارای سهم نسبتاً بالایی از اکسید آهن (در حدود ۳۰٪-۶۰٪) به عنوان عامل ایجادکننده بار می‌باشند. لایه‌های چاپ شده با تونرهای مغناطیسی نسبت به تونرهای غیر مغناطیسی شکننده‌تر و تیره‌تر هستند، بنابراین محدوده استفاده از آنها در تولید تونر با رنگ مشکی می‌باشد. تونرهای دو جزئی معمولاً در دستگاه‌های فتوکپی استفاده می‌شوند. در شکل ۴ ذرات تونر و ذرات حامل مغناطیسی نشان داده شده است [۸].

۲- روش‌های تولید تونر

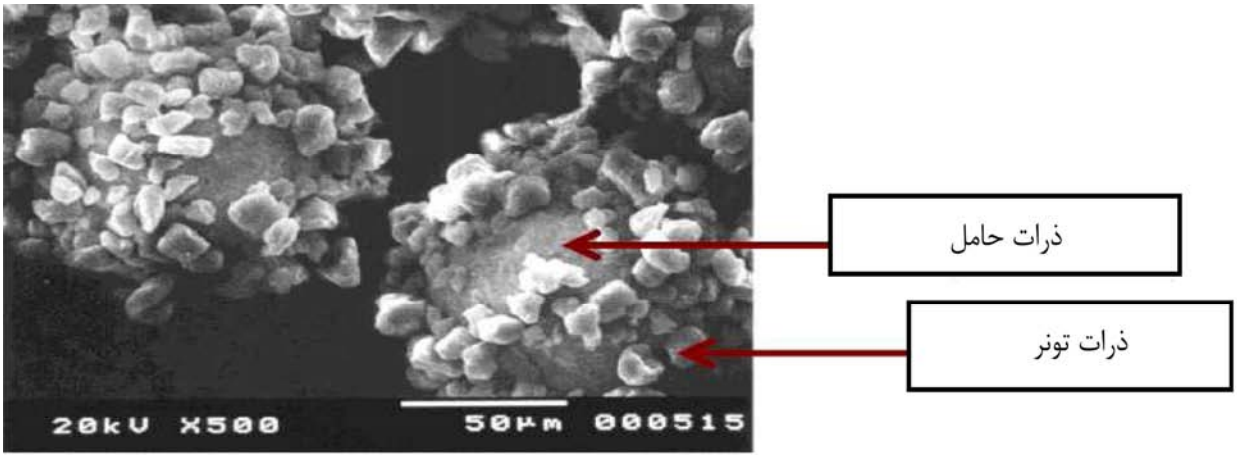
سالها پیش صنعت تونرسازی محدود به روش پودرسازی[1] بوده است ولی به تدریج برای پاسخ به افزایش تقاضای استفاده از تونر و بهبود کیفیت نهایی چاپ، روش‌های دیگری نیز برای ساخت تونر مورد استفاده قرار گرفت. امروزه دو فناوری اصلی برای ساخت و تولید تونر به‌کار گرفته می‌شود.

۲-۱- روش سنتی یا پودرسازی

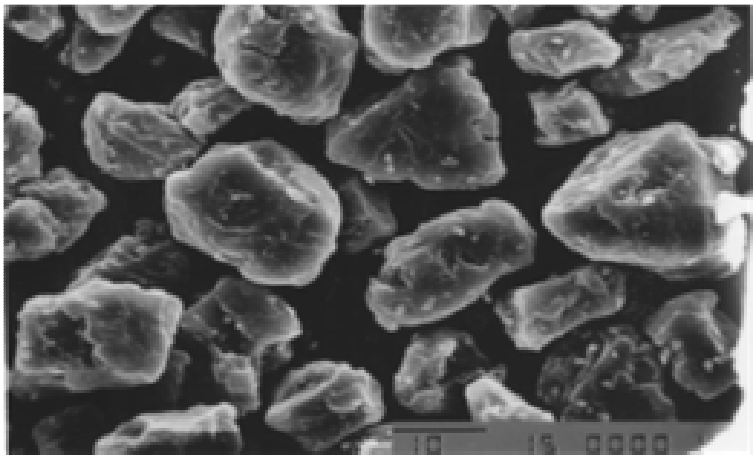
در روش سنتی برای تولید ذرات تونر عامل کنترل بارالکتریکی، واکس، کربن بلک، اکسیدآهن و غیره در حضور پلیمر گرم شده و به صورت مذاب در می‌آید، سپس ذرات تولید شده توسط آسیاب ایرجت[2] تا رسیدن به اندازه مطلوب پودر می‌شوند. ذرات تونر در نهایت با سایر افزودنی‌ها جهت بهبود خواص جریان‌پذیری و رئولوژیکی مخلوط می‌شوند. چون این ذرات به طور مکانیکی خرد می‌شوند میزان یکنواختی درآنها محدود است (شکل۵). در این روش گاهی ذراتی با اندازه نامناسب تولید می‌شود که این موضوع باعث بروز مشکلاتی در کیفیت تصویر خواهد شد [۸-۹].

[1] Pulverized

[2] Air-jet grinding



شکل ۴- ذرات تونر و حامل در تونر دوجزئی [۸].



شکل ۵- ذرات تونر تولید شده به روش سنتی [۱۱].

۲-۲- روش‌های شیمیایی[1]

امروزه به منظور بهبود کیفیت نهایی چاپ برای تولید تونر از روش‌های شیمیایی استفاده می‌شود. در روش‌های شیمیایی، فرآیند ذوب و خرد شدن مکانیکی انجام نمی‌گیرد، بلکه از واکنش‌های شیمیایی و تغییر شرایط محیط واکنش برای رسیدن به اندازه ذره مطلوب کمک گرفته می‌شود. روش‌های شیمیایی کنترل بیشتری روی توزیع اندازه ذره، میزان بار الکتریکی، شکل و خواص ذرات تونر داشته و شکل ذرات تولید شده نیز کروی شکل می‌باشد (شکل۶). کروی بودن ذرات تونر افزایش میزان سیالیت، وضوح بالای تصاویر چاپ شده و صرفه‌جویی در انرژی را به همراه خواهد داشت [۱۲-۱۰].

۲-۲-۱- روش پلیمریزاسیون سوسپانسیونی درجا

یکی از روش‌های شیمیایی برای تولید تونر، روش پلیمریزاسیون سوسپانسیونی[2] درجا است که در آن فرآیند پلیمریزاسیون و تشکیل پلیمر از مونومرها در حضور سایر اجزاء تونر یعنی رنگدانه، عامل کنترل‌کننده بار و سایر افزودنی‌ها انجام می‌شود و این اجزاء عمل هسته‌گذاری در پلیمریزاسیون را انجام می‌دهند که با در نظر گرفتن شرایط خاصی می‌توانند توزیع یکنواختی در ذرات پلیمری تشکیل شده، داشته باشند. حضور اجزاء تشکیل دهنده در محیط پلیمریزاسیون ذراتی کروی شکل با اندازه زیر ۱۰ میکرون را تشکیل می‌دهد.

شکل کروی ذرات تونر تولید شده به روش پلیمریزاسیون درجا امکان توزیع یکنواخت بار الکتریکی در سطح ذرات، تسهیل در جریان‌پذیری و ایجاد یک چاپ یکنواخت را فراهم می‌آورد، همچنین ذرات کروی جامد با جذب مقدار کمی پایدارکننده و بدون نیاز به عوامل متراکم‌کننده در یک مرحله تولید خواهند شد [۱۵-۱۳].

[1] Chemical
[2] Suspension polymerization

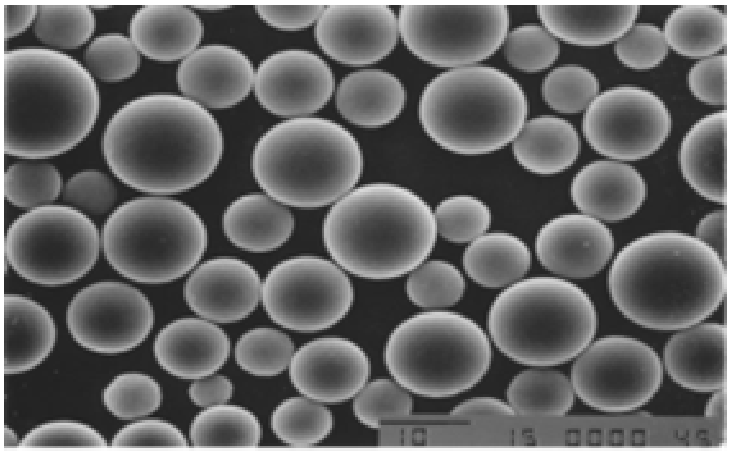
۲-۲-۲- روش تجمع امولسیونی[3]

در حال حاضر بیشتر شرکت‌های تولید کننده تونر تمایل به ساخت تونر تک رنگ و یا رنگی با استفاده از فرآیند تجمع امولسیونی که یکی از انواع روش‌های شیمیایی می‌باشد را دارند. در این فرآیند ذرات تونر به‌طور مستقیم از سوسپانسیون ذرات لاتکس[4] پلیمری در آب تولید می‌شوند، این سوسپانسیون در ابتدا با افزودنی‌ها و رنگدانه مخلوط شده و با کاهش pH و استفاده از عامل انعقاد[5] متراکم می‌شود.

ساختار تولید شده ژل[6] نامیده می‌شود. ژل را توسط فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی می‌شکنند تا به سمت تجمعات کوچکتر و همگن‌تر پیش رفته و با افزایش مجدد pH پایدار شود. این تجمعات تحت تاثیر دمایی بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای[7] ذوب و در هم ادغام می‌شوند. این کار سبب می‌شود ذرات تونر کروی و توزیع اندازه ذره آنها یکنواخت شود.

در نهایت به منظور حذف یون‌های غیر ضروری و مواد فعالی که در سطح ذرات باقی می‌ماند، محصول با آب مقطر شستشو داده می‌شود. تونر تولید شده نهایی را خشک کرده و با برخی از افزودنی‌های دیگر به منظور بهبود قابلیت جریان‌پذیری پودر مخلوط می‌کنند. تونر تولید شده به این روش ذراتی با توزیع اندازه کوچک و باریک دارد که این خاصیت سبب بهبود توانایی جریان‌پذیری ذرات تونر، انتقال بهتر به کاغذ و در نهایت بهتر شدن کیفیت تصاویر چاپ شده می‌شود [۱۶, ۱۷].

[3] Emulsion/Aggregation (E/A)
[4] Latex
[5] Coagulation agent
[6] Gel
[7] Glass Transition Temperature (Tg)



شکل ۶- ذرات تونر سنتز شده به روش شیمیایی [۱۱].

مطابق شکل ۷ انجام فرآیند تجمع امولسیونی با تهیه ذرات رزین در اندازه نانو و پایداری‌سازی آن در آب شروع می‌شود. رزین مورد استفاده می‌تواند استایرن و استایرن- اکریلیک باشد. مرحله دوم شامل رشد[1] ذرات همراه با مخلوط‌شدن در آب دیونیزه در حضور عامل تجمع‌کننده است. در این مرحله می‌توان دیگر اجزاء تشکیل دهنده را نیز اضافه نمود. ذرات تولید شده بایستی همگن و اختلاط موثر و پیوسته‌ایی داشته باشند، هنگامی که اندازه ذرات به میزان دلخواه رسید فرآیند رشد خاتمه می‌یابد. مرحله بعدی مرحله انعقاد می‌باشد.

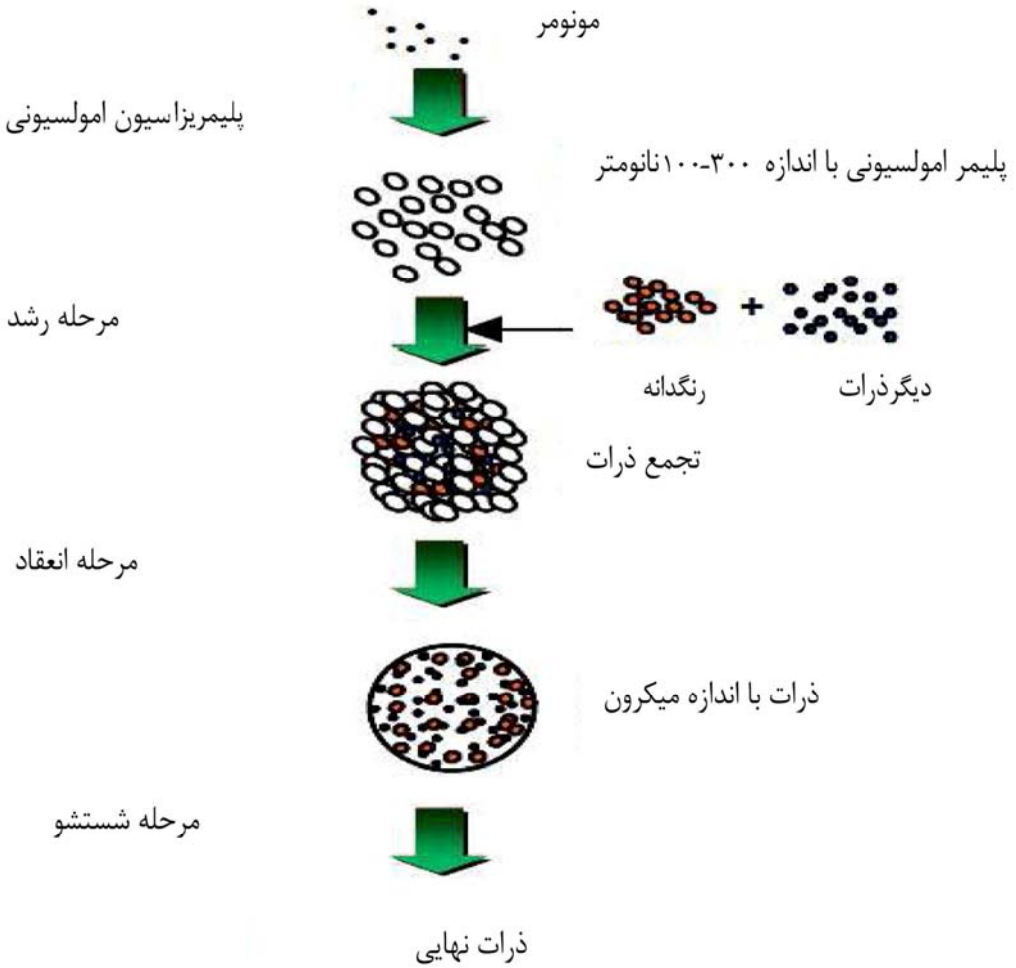
در این مرحله دما افزایش می‌یابد. به این ترتیب سوسپانسیون به دمایی بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای خود برده می‌شود تا ذرات در یکدیگر ادغام شده و شکل کروی پیدا کنند. در مرحله آخر ذرات تونر چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده می‌شوند تا مواد فعالی که در سطح آنها قرار گرفته است حذف شود [۱۸].

[1] Growth

۳- عوامل موثر بر کیفیت تونر تولید شده به روش تجمع امولسیونی

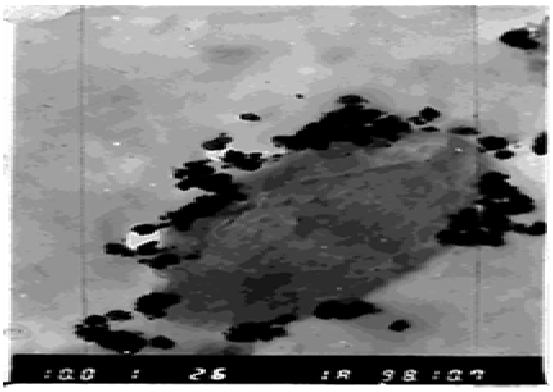
از عوامل موثر در فرآیند تولید تونر با کیفیت مناسب می‌توان به نوع و غلظت عامل ایجاد بار الکتریکی اشاره کرد. این ماده (عامل ایجاد بار الکتریکی) در میزان بارپذیری و پایداری بارالکتریکی ذرات تونر و همچنین اندازه ذرات آنها موثر خواهد بود [۱۰].

مطالعات در مورد اثر پوششی افزودنی‌های خارجی از جمله سیلیکا بر میزان چسبندگی ذرات تونر نیز نشان می‌دهد، هنگامی که ذرات تونر با سیلیکا پوشش داده شوند، خاصیت چسبندگی آنها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۹].



شکل ۷- مراحل تولید تونر به روش تجمع امولسیونی [۱۸].

شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی یک برش از ذرات تونر را نشان می‌دهد که در آن ذرات رنگدانه کربن بلک در سطح تونر مشاهده می‌شود. [۱۰]. سرعت هم‌زن از دیگر عوامل موثر بر اندازه ذرات تونر تولید شده است. با افزایش سرعت هم‌زن در مرحله رشد اندازه ذرات کاهش می‌یابد، این افزایش بصورت خطی نبوده و با رسیدن به دور مشخصی تغییرات سرعت اثری روی اندازه ذره نخواهد داشت.



شکل ۸- برشی از ذرات تونر حاوی ذرات رنگدانه کربن بلک در سطح آن [۱۰].

۴- نتیجه‌گیری

در چاپگرهای لیزر جت از پرتو لیزر برای نشاندن تونر بر روی سطح کاغذ استفاده می‌گردد. تونر پودرالکتریکی شارژ شده است که از سه عنصر اصلی رنگدانه، پلیمر و عامل کنترل بار الکتریکی تشکیل شده است. دو روش اصلی برای تولید تونر به کار گرفته می‌شود: روش سنتی و روش شیمیایی. یکی از انواع روش‌های شیمیایی برای تولید تونر، فرآیند تجمع امولسیونی است. تونر شده با این روش ذراتی با توزیع اندازه کوچک و باریک دارد که سبب بهبود توانایی جریان‌پذیری، انتقال بهتر به کاغذ و در نهایت بهترشدن کیفیت تصاویر چاپ شده می‌گردد این روش شامل مراحل آماده‌سازی، تثبیت ذرات، رشد و انعقاد می‌باشد. هدف اصلی در تولید تونر با استفاده از این روش کنترل و بهبود توزیع اندازه ذره می‌باشد، زیرا خواص تونر چاپگرهای لیرز جت وابسته به اندازه ذرات، میزان جریان‌پذیری و قابلیت دریافت بار الکتریکی برای انتقال مناسب به کاغذ می‌باشد. عوامل مانند دور هم‌زن، شرایط اختلاط و نیز نوع و مقدار اجزاء به‌کار رفته در تولید تونر می‌تواند روی خواص نهایی موثر باشد.

۵- مراجع

1. S. Y. Kim, Y. Kim, J. H. Byeon, D. Y. Lee, J. Hwang, "Emission of submicron aerosol particles in operating a laser beam printer", Int. J. Precis. Eng. Manuf., 10, 5, 33–36, **2009**.
2. Y. Nakamura, N. Kutsuwada, "Direct measurement of toner particle size", Ind. Appl. Soc. Annu. Meeting, 2, 2239–2242, **1989**.
3. U. Ewers, D. Nowak, "Health hazards caused by emissionsof laser printers and copiers", Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft, 66, 5, 203–210, **2006**.
4. S. Banerjee, "Development of a novel toner for electrophotography based additive manufacturing process", Ph. D. thesis, De Montfory University Leicester, UK, **2011**.
5. J. Sanders, T. L. Peeten, "*Carbon Black: Production, Properties and Uses*", Nova Science Pub Incorporated, Mater. Sci. Technol., England, **2011**.
6. S. Laurent, D. Forge, M. Port, A. Roch, C. Robic, L.Vander Elst, R. N. Muller, "Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis", Stabilization, 2064–2110, **2008**.
7. Ö. Akin, "Synthesis and characterization of waterborne silane coupling agent containing silicone-acrylic resin", Ph. D. thesis, The Degree of Master of Science, **2004**.
8. C. L. do Lago, H. D. T. da Silva, C. A. Neves, J. G. A. Brito -Neto, " A dry process for production of microfluidic devices based on the lamination of laser-printed polyester films", Anal. Chem., 75, 15, 3853–3858, **2003**.
9. G. R. Jo, K. Hoshino, T. Kitamura, "Toner display based on particle movements", Chem. Mater., 14, 664–669, **2002**.
10. J. Yang, T. J Wang, H. He, F. Wei, Y. Jin, "Particle size distribution and morphology of in situ suspension polymerized toner", Ind. Eng. Chem. Res. 42, 5568–5575, **2003**.
11. J. Hasegawa, N. Yanagida, M. Tamura, "Toner prepared by direct polymerization method in comparion with the pulverization method", Colloid Surface A, 153, 215–220, **1999**.
12. P. Ding, A. W. Pacek, K. Abinhava, S. Pickard, M. R. Edwards, A. W. Nienow, "A process for the manufacture of chemically roduced (CPT) i. evolution of structure and rheology", Ind. Eng. Chem. Res., 44, 6004–6011, **2005**.
13. S. Kiatkamjornwong, P. Pomsanam, "Synthesis and characterization of styrenic-based polymerized toner and its composite for electrophotographic printing", J. Appl. Polym. Sci., 89, 238, **2002**.
14. H. G. Yuan, G. Kalfas, W. H. Ray, "Suspension polymerization" J. Macromol. Sci., Rev. Macromol. Chem. Phys. C31 (2 and 3), 215–299, **1991**.
15. F. Andami, M. Ataeefard, F. Najafi, M. R. Saeb, "Synthesis of toner by in situ suspension polymerization method", JSCW. (2012), JSCW-15-05-2012-10035.
16. M. Bakhshaee, J. H. Daly, D. Hayward, R. A. Pethrick, H. Rashid, S. Roe, D. C. Sherrington, "Triboelectric charging of carbon-black impregnated suspension- polymerized copolymers", Polym., 28, 9, **1987**.
17. C. D. Immanuel, F. J. Doyle, "Computationally effcient solution of population balance models incorporating nucleation, growth and coagulation: Application to emulsion polymerization", Chem. Eng. Sci., 58, 3681–3698, **2003**.

18. P. Burns, P. Gerroir, H. Mahabadi, R. Patel, D. Vanbesien, "Emulsion/aggregation technology: A process for preparing microspheres of narrow polydispersity", Eur. Cells Mater. 3, 2, 148–150, **2002**.

19. H. Zhang, W. Ding, K .Y. Law, C. Cetinkaya, "Adhesion properties of nanoparticle-coated emulsion aggregation toner", Powder Technol., 208, 582–589, **2011**.