available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ/ ۲ (۱۳۹۱)،۳۶-۲۹
نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir
وزارت علوم تحقیقات و فناوری
مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ

نانومرکب‌های سرامیکی جوهرافشان

مسعود پیمان نیا[۱]، آتشه سلیمانی گرگانی[*۲]، مهدی قهاری[۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی علوم وفناوری چاپ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۲- استادیار، گروه پژوهشی علوم فناوری چاپ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۳- استادیار، گروه پژوهشی نانو، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

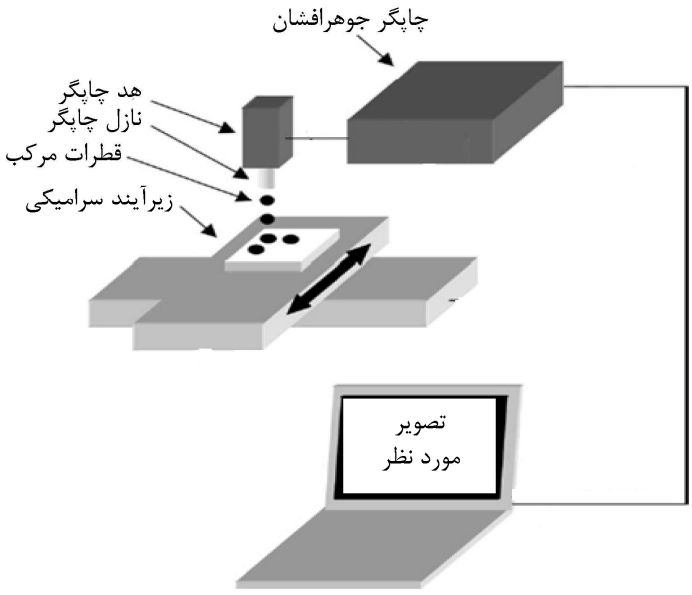
تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۲۵ تاریخ بازبینی: ۹۱/۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۱۵

چکیده

ورود فناوری چاپگرهای جوهرافشان در صنعت سرامیک قدمت کمی دارد ولی با این وجود استفاده از این چاپگرهای دیجیتال، روند رو به رشد بسیار سریعی را طی کرده‌اند و روز به روز در حال پیشرفت و تکامل می‌باشند. این چاپگرها به‌طور گسترده‌ای برای تزئین سطوح سرامیکی، کاشی‌ها و ظروف غذاخوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. چاپگرهای سیلک اسکرین در گذشته تنها دستگاه مناسب برای تزئین این سطوح محسوب می‌شدند اما با ورود چاپگرهای جوهرافشان و پیشرفت‌های کنونی، این چاپگرها در حال جایگزینی چاپگرهای سیلک اسکرین در این صنعت می‌باشند. این چاپگرها نیز با توجه به نحوه خروج قطرات مرکب از نازل به دو دسته کلی جوهرافشان‌های پیوسته و جوهرافشان‌های قطره در صورت نیاز تقسیم‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین موضوع در چاپگرهای جوهرافشان تهیه مرکب مناسب می‌باشد، که با توجه به ساختارشان در تهیه مرکب دارای محدودیت‌هایی از قبیل اندازه رنگدانه‌ها، پراکنش ذرات و پایداری مناسب مرکب می‌باشند. با استفاده از نانومرکب‌های سرامیکی در این چاپگرها می‌توان گفت بسیاری از این مشکلات در حال حل‌شدن می‌باشد و نانومرکب‌های مناسب صنعت تهیه شده است. در این مقاله به بررسی پرکاربردترین روش‌های تهیه نانومرکب‌های سرامیکی چاپگرهای جوهرافشان که شامل هم‌رسوبی، میکروامولسیون و سل-ژل هستند، پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی

چاپگرهای جوهرافشان، مرکب‌های سرامیکی، هم‌رسوبی، میکروامولسیون و سل- ژل.



*Corresponding author: asoleimani@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

مرکب‌های سرامیکی غالباً از رنگدانه‌های معدنی تشکیل می‌شوند تا در مقابل حرارت تحمل بالای را داشته باشند زیرا پس از اعمال برروی سطوح سرامیکی باید قابلیت پخت و پایداری مناسب در دمای بالا را داشته باشند. این مرکب‌ها به‌طور گسترده‌ای جایگزین چاپگرهای سیلک اسکرین و روش‌های سنتی شده‌اند و برای تزئین و یا ایجاد نقش بر روی سطوح سرامیکی، کاشی‌ها و ظروف غذاخوری مورد استفاده قرار می‌گیرند و نقش‌های دلخواه را بر روی این سطوح به‌صورت سفارشی با هزینه بسیار کم ایجاد می‌کنند. در واقع موارد ذکر شده دلیل اصلی استفاده گسترده از این چاپگرهای جوهرافشان و تهیه مرکب‌های سرامیکی مناسب برای آنها می‌باشد [۱].

در روش چاپ سیلک اسکرین، ابتدا مرکب‌های رنگدانه سرامیکی تهیه شده و توسط دستگاه چاپ سیلک اسکرین بر روی سطح مورد نظر تصویر ایجاد می‌شود اما به دلیل قیمت گران صفحات اسکرین و هدر رفتن مقدار بسیار زیادی از مرکب‌ها، کیفیت پایین تصویر چاپ شده، عدم توانایی ایجاد جزئیات در تصویر، تهیه شابلون برای هر طرح جدید به‌صورت مجزا و هزینه بالای این فرآیندها اجازه تولید در مقیاس کوچک را نمی‌دهد، به همین دلایل صنعتگران سرامیکی به دنبال استفاده از راه مناسب‌تری برای تزئین سطوح سرامیکی هستند و به‌سراغ چاپگرهای دیجیتالی در این صنعت رفته‌اند. چاپگرهای جوهرافشان و لیزرجت، نمونه‌های از این چاپگرهای دیجیتالی می‌باشند.

چاپگرهای جوهرافشان تاکنون توانسته‌اند بسیاری از مشکلات موجود در دستگاه‌های سیلک اسکرین را برطرف کنند. در چاپگرهای جوهرافشان امکان بالا قراردادن قطرات بسیار ریز، از مواد مختلف بر روی سطح زیرآیند با دقت و قابلیت تکرارپذیری بیشتر از چاپ سیلک اسکرین وجود دارد.

این تصاویر توسط نرم افزارهای کامپیوتری بر روی صفحه کامپیوتر طراحی و قبل از چاپ مشاهده می‌شوند و در صورت لزوم قابل اصلاح می‌باشند. تولید محصولات سرامیکی تزئین شده با استفاده از چاپگرهای جوهرافشان زمینه تحقیقاتی نوینی می‌باشد که هنوز هم در حال مطالعه، تحقیق و پیشرفت می‌باشد.

چاپگرهای جوهرافشان در موارد متعددی مانند دیواره‌های سرامیکی نازک[1]، فیلم‌های سرامیکی ضخیم[2] و آرایه‌های میکرو ذرات سرامیکی[3] و موارد متعدد دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲،۳]. در سال ۲۰۰۰، اولین نمایشگاه برای معرفی چاپگرهای جوهرافشان جهت چاپ برروی سطوح سرامیکی به منظور تزئین، در کشور اسپانیا برگزار شد. این نمایشگاه توجه بسیاری از صنعتگران سرامیک را به این روش نوین چاپ، برای تزئین سطوح سرامیکی به خود جلب کرد.

پس از برگزاری این نمایشگاه روند بسیار سریعی برای حل مشکلات و محدودیت‌های این روش چاپ طی شد و باعث بهبود برخی از محدودیت‌ها از قبیل سرعت چاپ، افزایش کیفیت چاپ و بهبود مرکب‌های مصرفی، نسبت به قبل شد و این چاپگرها به سرعت جای خود را در صنعت سرامیک و دکوراسیون باز کردند.

البته این فناوری چاپ محدودیت‌هایی نیز در اعمال و تهیه مرکب به همراه دارد. مرکب‌های سرامیکی جوهرافشان، باید دارای خصوصیات فیزیکی قابل قبولی مانند پایداری سوسپانسیون، گران‌روی[4]، کشش سطحی[5] و اندازه ذرات مناسب باشند تا امکان اعمال این مرکب‌ها توسط چاپگر جوهرافشان بصورت مناسب ایجاد گردد [۴].

تاکنون مرکب‌های بسیار زیادی به روش‌های مختلف برای استفاده در چاپگرهای جوهرافشان تهیه شده می‌باشند. اما مناسب‌ترین روش تولید، برای مرکب‌های سرامیکی در چاپگرهای جوهرافشان شامل، هم‌رسوبی[6] [۵]، میکروامولسیون [۶] و سل-ژل[7] [۷] می‌باشد.

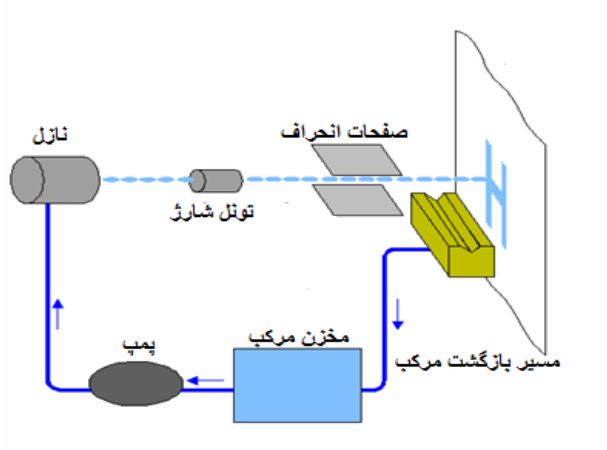
این مرکب‌ها علاوه بر تزئین سطوح سرامیکی در موارد خاص مانند وسایل علوم پزشکی [۸]، اشیاء سه بعدی [۹] و تولید میکرو آرایه‌ها[8] نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۱-۱۰].

تمام مرکب‌های سرامیکی باید پایداری مناسب داشته باشند و پراکنش ذرات موجود در آنها باید همگن باشد، همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی آنها متناسب با خصوصیات چاپگر جوهرافشان مورد استفاده باشد تا قابلیت استفاده در چاپگرجوهرافشان را داشته باشند [۱۲].

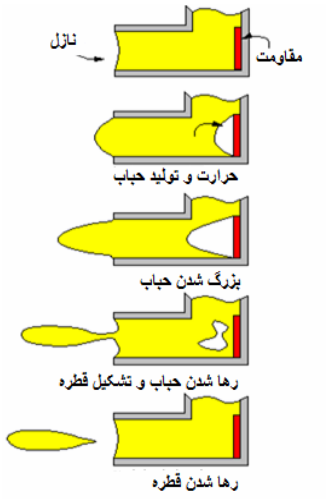
۲- انواع چاپگرهای جوهرافشان

فناوری جوهرافشان روش بسیار امید بخشی برای تزئین محصولات سرامیکی و تولید محصولات سفارشی خاص می‌باشد همانطور اشاره شد چاپ جوهرافشان، یکی از روش‌های چاپ غیرتماسی[9] می‌باشد که اساس آن افشاندن قطرات مرکب بر روی سطح مورد نظر می‌باشد. قطرات پرتاب‌شده بر روی سطح مستحکم می‌شوند، این استحکام به خاطر تبخیر حلال، افزایش دما و یا واکنش شیمیایی می‌باشد. چاپگرهای جوهرافشان با توجه به نحوه خروج قطرات مرکب از نازل[10] به‌صورت مداوم و خروج قطرات مرکب در صورت نیاز به دو دسته چاپگرهای جوهرافشان مداوم و قطره در صورت نیاز[11] تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به نوع چاپگرهای جوهرافشان مرکب مصرفی برای هر کدام از این چاپگرها نیز متفاوت می‌باشد.

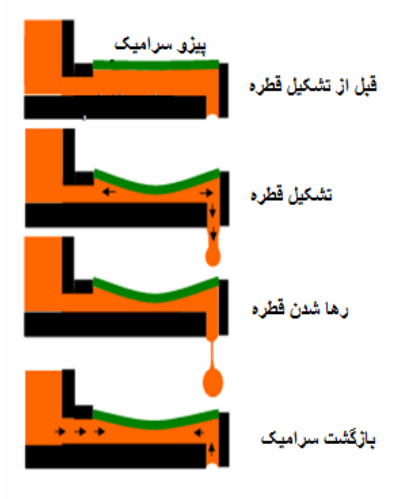
[1] Thin ceramic wall
[2] Thick ceramic films
[3] Ceramic microdot array
[4] Viscosity
[5] Surface tension
[6] Co-precipitation
[7] Sol -gel
[8] Micro-pillar array
[9] Non impact
[10] Nozzle
[11] Drop-on-demand



شکل ۱- تصویر سازوکار چاپگر جوهرافشان مداوم [۱۲].



شکل ۲- نحوه تشکیل قطرات مرکب در چاپگرهای جوهرافشان حرارتی [۱۲].

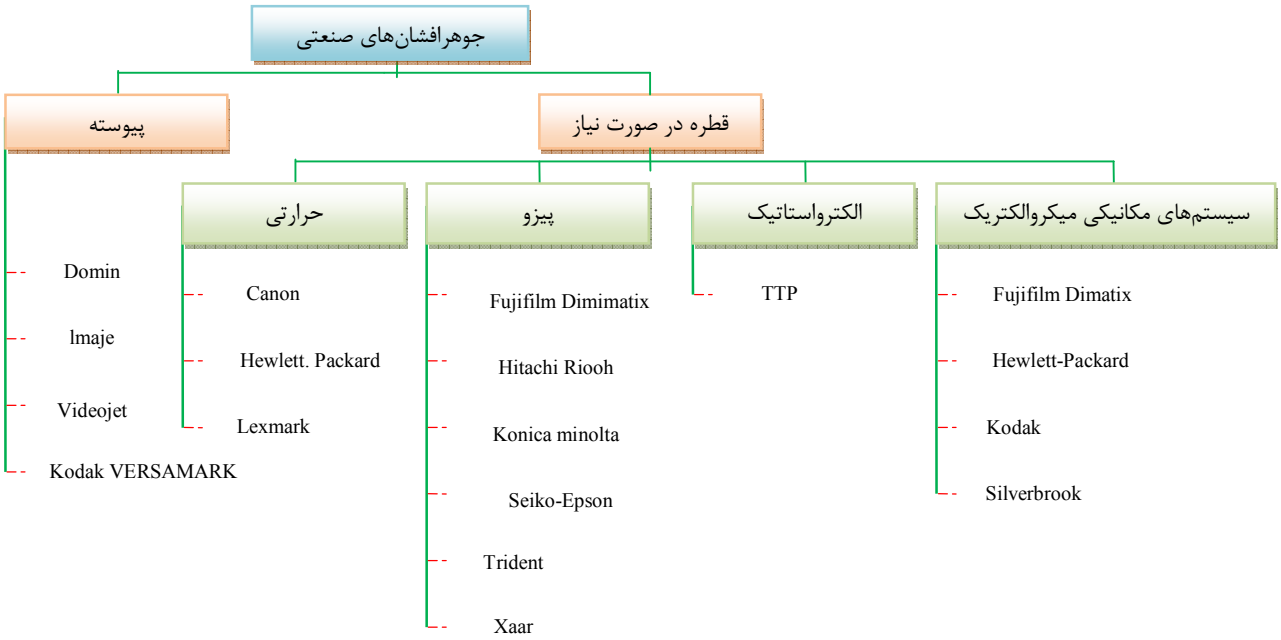


شکل ۳- نحوه تشکیل قطرات مرکب در چاپگرهای جوهرافشان پیزو [۱۶].

تصویر سازوکار چاپگر جوهرافشان مداوم در شکل ۱ نشان داده شده است [۱]. جوهرافشان‌های قطره در صورت نیاز با توجه به نحوه ایجاد قطرات مرکب و خروج آنها از نازل‌های هد[1] به دو دسته چاپگر جوهرافشان حرارتی[2] و جوهرافشان پیزو[3] تقسیم می‌شوند، چاپگرهای حرارتی در چاپ مرکب‌های سرامیکی به‌خاطر وجود رنگدانه‌های معدنی، نسبت به جوهرافشان‌های پیزو محدودیت‌های بیشتری دارند. مرکب جوهرافشان حرارتی باید دارای فشار بخار و نقطه اشتعال پایین باشد تا در مرکب به راحتی حباب ایجاد شود و امکان خروج قطرات مرکب از نازل فراهم گردد، علاوه بر این وقتی مرکب گرما می‌بیند ممکن است پایداری خود را از دست بدهند و بلورهای کوچک نامحلول، ایجاد شوند که باعث گرفتگی نازل‌ها و تخریب هد جوهرافشان شود. به‌همین علت بیشتر از چاپگرهای پیزو که پرتاب‌شدن قطره بدون اعمال گرما و به دلیل تغییر شکل و اندازه حجم هد جوهرافشان ایجاد می‌شود برای چاپ مرکب‌های سرامیکی استفاده می‌شود. در شکل ۲ و ۳ به‌ترتیب نحوه تشکیل قطرات مرکب در جوهرافشان‌های حرارتی و پیزو نشان داده شده است [۱۶-۱۳].

فناوری جوهرافشان محدودیت‌های زیادی را بر مرکب‌ها تحمیل می‌کند که شامل ملزوماتی چون پایداری سوسپانسیون، گران‌روی، کشش سطحی، اندازه ذرات رنگدانه و استحکام رنگ می‌باشد. گران‌روی مرکب‌های سرامیکی رفتار وابسته به برش[4] از خود نشان می‌دهند، این رفتار وابسته به جزء حجمی جامد، اندازه ذرات، شکل ذرات و همچنین نیروهای موجود بین ذرات می‌باشد. در حین فرآیند چاپ، سرعت برشی بالایی بر روی مرکب اعمال می‌شود، گران‌روی مرکب وابسته به برش و جزء حجمی جامد می‌باشد و معمولاً بر سازوکار خروج مرکب از نازل تاثیر می‌گذارد، معمولاً جزء حجمی جامد در مرکب‌های سرامیکی حدود ۳۰٪ الی ۲۰٪ حجمی در نظر گرفته می‌شود اما در مواردی، خارج از این محدوده نیز فرمولاسیون شده‌اند. مناسب‌ترین گران‌روی برای این مرکب‌ها حدود ۶ mpa.s - ۲۰ می‌باشد.

[1] Head
[2] Thermal
[3] Piezo
[4] Shear dependency



شکل ۴- تقسیم‌بندی کلی چاپگرهای جوهرافشان و شرکت‌های پیشرو در هر روش از این فناوری [۱].

اگر گران‌روی مرکب در محدوده پائین باشد امکان حرکت سریع در نازل‌های هد چاپگر، حرکت آسانتر در کانال‌های موجود در مخزن مرکب و نفوذ آسان‌تر در زیر لایه‌های متخلخل را فراهم می‌کند اما اگر گران‌روی بیش از حد پایین باشد احتمال خروج بی‌مورد قطرات مرکب نیز وجود دارد. در مرکب‌های سرامیکی، کشش سطحی نیز بسیار مهم می‌باشد. کشش سطحی مناسب مرکب باعث تسهیل خروج قطرات مرکب از نازل، بدون چسبندگی به دیواره‌های هد و یا چکه‌کردن بی‌مورد از نازل می‌شود، محدوده کشش سطحی مناسب برای مرکب‌های سرامیکی ۲۵ -۳۵ mN/m می‌باشد. بزرگ بودن اندازه ذرات جامد در مرکب نیز ممکن است باعث بسته‌شدن نازل‌های هد جوهرافشان بشود. تاکنون دو روش برای ساخت مرکب‌های سرامیکی گسترش یافته است که البته هیچ کدام کاملاً مناسب با انتظارات بازار نبوده‌اند. در یکی از این مرکب‌ها، از رنگ‌های نمکی محلول استفاده شده و رنگ‌های ایجاد شده به‌صورت ناچیزی اشباع می‌شوند در روش دوم، از رنگدانه‌های میکرونیزه شده استفاده شده است که منجر به ایجاد مشکلاتی چون بسته‌شدن نازل‌ها، ناپایداری مرکب، پراکندگی نامناسب رنگدانه‌ها و کاهش دوام رنگ می‌شود. تحقیقات زیادی جهت چیره شدن به این محدودیت‌ها انجام شده است. بخشی از این تحقیقات بر روی توسعه رنگدانه‌های نانومتری متمرکز شده می‌باشد. این مرکب‌های سرامیکی نانومتری می‌توانند قابلیت تکرار، تولید خوب و اشباع رنگی بالایی بر روی کاشی‌ها، ظروف غذاخوری و سطوح سرامیکی ایجاد کنند [۱،۱۴،۱۵].

قطر نازل‌ها در چاپگرهای جوهرافشان با توجه به نوع و کاربرد آنها می‌تواند متفاوت باشد. غالباً قطر نازل‌های جوهرافشان‌های رایج در بازار حدود۱۰۰-۵۰ میکرومتر می باشد، که برای جلوگیری از خطر گرفتگی آنها باید قطر ذرات جامد موجود در مرکب‌ها حدود ۱٪ قطر نازل‌های هد جوهرافشان باشند. اما برای بالا بردن میزان پایداری این مرکب‌ها بهتر است اندازه ذرات حدود ۱۰۰- ۵۰ نانومتر در نظر گرفته شود تا هنگام خروج قطرات مرکب از نازل ذرات جامد به هم چسبیده نشوند و در مرکب تشکیل کلوخه ندهند. در مناسب‌ترین حالت باید شکل ذرات جامد کروی باشد تا کمترین تماس سطح را با هم برقرار کنند و کمترین خطر کلوخه‌شدن ایجاد شود، رسوب‌گذاری این کلوخه‌ها در هد جوهرافشان باعث مسدودشدن نازل‌های چاپگر می‌شود. البته خواص رئولوژیکی نیز در نانو مرکب‌های سرامیکی بسیار مهم و قابل بحث می‌باشد. موارد متعددی برای ساخت مرکب‌ها وجود دارد که باید باتوجه به کاربرد آنها هنگام ساخت مرکب در نظر گرفته شود، در شکل ۴ تقسیم‌بندی کلی چاپگرهای جوهرافشان و شرکت‌های پیشرو در هر روش از فناوری جوهرافشان نشان داده شده است [۱]. البته چاپگرهای موجود در بازار که به‌صورت فراگیر مورد استفاده قرار می‌گیرند از نوع پیزوالکتریک و حرارتی می‌باشند و چاپگرهای الکترواستاتیک و مکانیکی میکرو الکتریک در بازار به تعداد محدودی موجود می‌باشد [۱].

۳- روش‌های تهیه نانومرکب‌های سرامیکی جوهرافشان

مرکب‌های رنگدانه سرامیکی معمولاً برای تزیین کردن سطوح سرامیکی استفاده می‌شوند. این مرکب‌ها دارای ذرات درشت، در حدود ۱۰ میکرومتر می‌باشند اما این مرکب‌های سرامیکی میکرونیزه، اشباع رنگی خوبی بر روی سطوح سرامیک ایجاد نمی‌کنند به همین خاطر از غلظت رنگدانه بیشتری برای اعمال بر روی سرامیک نسبت به سطوح دیگر استفاده می‌شود. غلظت و بزرگ بودن این رنگدانه‌ها مشکلات زیادی را بوجود می‌آورد.

این مشکلات منجر به تهیه نانومرکب‌های سرامیکی شدند. با استفاده کردن از نانورنگدانه‌های سرامیکی مشکلاتی که در رنگدانه‌های میکرونی دیده می‌شود دیگر وجود ندارد و نیاز روز افزون صنعت سرامیک به تزیین ارزان قیمت و با دوام که دارای کیفیت مطلوبی باشد درحال برطرف شدن می‌باشد. پرکاربردترین روش‌های تهیه نانومرکب‌های سرامیکی عبارتند از هم‌رسوبی، سل- ژل و میکروامولسیون[1] و یا میکروامولسیون معکوس[2] که در موارد متعدد، برای تهیه نانو مرکب‌های سرامیکی جوهرافشان و تهیه رنگدانه‌های سرامیکی استفاده شده‌اند. در ادامه شرحی از این روش‌های پرکاربرد برای تهیه نانومرکب‌های سرامیکی توضیح داده شده است [۱].

۳-۱- روش هم‌رسوبی

روش هم‌رسوبی، یکی از روش‌های پرکاربرد برای تولید نانوذرات در روش‌های شیمی تر[3] می‌باشد. این روش شیمیایی به‌صورت گسترده برای تولید نانوذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. تهیه نانوذرات در روش هم‌رسوبی از سه مرحله هسته‌گذاری، رشد و انعقاد تشکیل شده است.

از روش هم‌رسوبی به‌خاطر سادگی روش کار، عدم نیاز به امکانات زیاد آزمایشگاهی، انجام واکنش در دمای محیط و توزیع اندازه ذرات مناسب [۱۷]، در مقالات متعدد، برای تولید نانوذرات و تهیه نانومرکب‌های سرامیکی مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال سیزو اباتا و همکاران[4] در سال ۲۰۱۱ موفق به ساخت نانومرکب سرامیکی کبالت آلومینا[5] شدند این مرکب به خوبی در چاپگرهای جوهرافشان قطره در صورت نیاز مورد استفاده قرار گرفت و تصویر به‌دست آمده است. از این مرکب بر روی سطح سرامیکی چاپ شد که از کیفیت خوبی برخوردار بود، نانورنگدانه‌های تهیه شده در pHهای ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ به‌دست آمدند و مناسب‌ترین رنگدانه سنتز شده در pH ۱۲ به‌دست آمد و قطری حدود ۷۰ نانومتر داشت سپس رنگدانه‌های به‌دست آمده را با استفاده از نمک آمنیوم پلی کربکسیلات به‌عنوان عامل پراکنش استفاده کردند و مرکب به‌دست آمده را ۲۴ ساعت در آسیاب ماهواره‌ای آسیاب کردند [۵،۱۸].

در روش هم‌رسوبی، با کنترل مراحل مختلف واکنش این امکان وجود دارد که دو و یا بیشتر از دو نوع پودر را به صورت هم‌زمان در یک ساختار رسوب دهیم، و رنگدانه‌هایی با قدرت رنگی بالا و یا با ویژگی‌های خاصی در ذرات که با قرار گرفتن دو نوع اکسید و یا ذره، در یک ساختار مانند ساختار اسپینلی[6] امکان پذیر است برخوردار شویم.

برای سنتز نانوذرات در روش هم‌رسوبی غالباً از نمک‌های نیترات و یا کلرید پیش ماده‌های مورد نظر استفاده می‌شود. با استفاده از پیش‌ماده‌های مورد نظر محلول‌های مورد نیاز ایجاد می‌شود و با افزودن عامل رسوب‌دهنده در سیستم ایجاد رسوب می‌شود، سپس با کلسینه[7] کردن این رسوبات به نانوذرات یا نانورنگدانه‌های مورد نظر دست می‌یابند [۵،۱۹،۲۰]. در مرحله بعد نانورنگدانه‌های به‌دست آمده را با پراکنش[8] کننده‌های مختلف در محیط مناسب بصورت پایدار پراکنده می‌کنند و مرکب‌های پایداری که حاوی نانوذرات تهیه شده هستند، به‌دست می‌آیند. بعد از تشکیل نانومرکب، خواص فیزیکی شیمیایی سوسپانسیون‌های به‌دست آمده را بررسی می‌کنند تا با چاپگر جوهرافشان مورد نظر هماهنگی لازم را داشته باشند [۵].

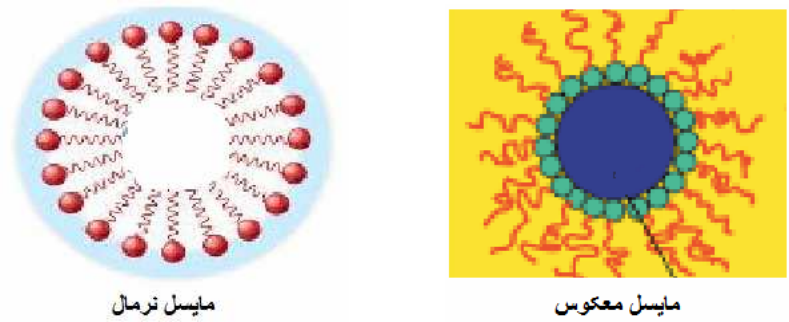
۳-۲- روش میکروامولسیون و میکرو امولسیون معکوس

روش میکروامولسیون و میکروامولسیون معکوس نیز از دیگر روش‌های شیمی تر محسوب می‌شوند و برای تهیه نانوذرات و تولید مرکب‌های جوهرافشان در موارد متعددی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۱،۲۲].

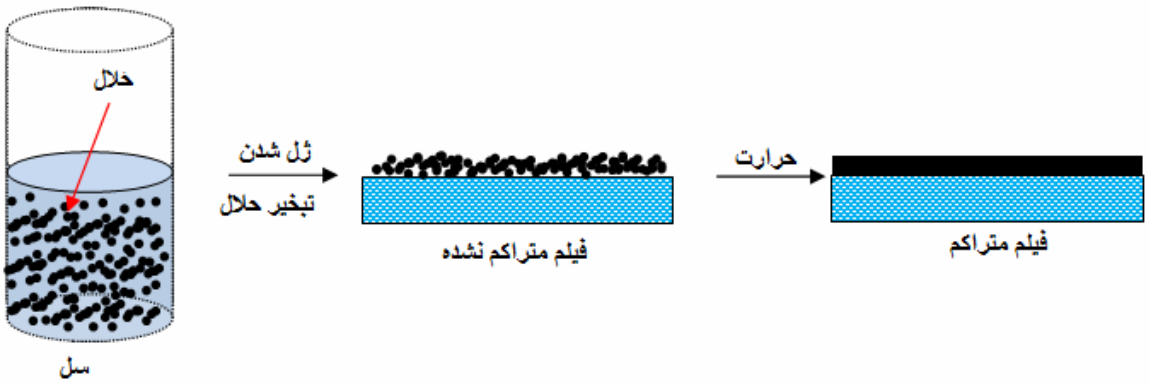
به‌عنوان مثال رویسونگ و همکاران[9] در سال ۲۰۰۴ با استفاده از سیستم میکروامولسیون معکوس نانومرکب سرامیکی بر پایه زیرکونیا تهیه کردند. نانومرکب تهیه شده مخصوص جوهرافشان‌های قطره در صورت نیاز بود که با ایجاد برخی از تغییرات در فرمولاسیون این مرکب توانستند آن را برای چاپگرهای جوهرافشان پیوسته[10] نیز مورد استفاده قرار دهند و با موفقیت بر روی سطح سرامیک چاپ بزنند. آنها برای تهیه سیستم میکروامولسیون از ان اکتان[11] به‌عنوان فاز روغن و از ان بوتانول به‌عنوان فعال‌کننده کمکی سطح استفاده کردند و اجزای سیستم را با درصدهای متفاوت با هم مخلوط کردند تا مناسب‌ترین حالت سیستم به‌دست بیاید در نهایت مرکب مناسبی با اندازه رنگدانه‌های پراکنده شده در حدود ۶-۴ نانومتر به‌دست آمد [۶].

سیستم میکروامولسیون‌ها از مخلوط آب، روغن، فعال‌کننده سطح[12] و یا کمک فعال‌کننده‌های سطح[13] تشکیل می‌شوند، این سیستم‌ها همیشه از یک فاز پیوسته و یک فاز گسسته، که معمولاً آب و روغن هستند تشکیل می‌شوند. فعال‌کننده‌های سطح و کمک فعال‌کننده‌های سطح نیز در مرز مشترک این دو فاز قرار می‌گیرند. با توجه به این که فاز پیوسته روغن باشد و یا آب، در سیستم کره‌های از فعال‌کننده‌های سطح و کمک فعال‌کننده‌های سطح به نام مایسل[14] و مایسل معکوس[15] تشکیل می‌شوند که فاز گسسته درون این کره‌ها قرار می‌گیرد. اگر فاز گسسته از روغن تشکیل شده باشد، سیستم تشکیل شده میکروامولسیون نامیده می‌شود و در صورتی که فاز گسسته سیستم از آب تشکیل شده باشد سیستم، میکروامولسیون معکوس نامیده می‌شود. قطر مایسل‌ها و مایسل‌های معکوس در ابعاد نانو می‌باشد، در واقع این مایسل‌ها و مایسل‌های معکوس در سیستم‌های میکروامولسیونی و میکروامولسیونی معکوس مانند نانوراکتورها عمل می‌کنند و واکنش‌های که منجر به تولید نانوذرات می‌شوند درون این کره‌ها صورت می‌گیرند، قطر مایسل‌ها و شکل آنها را می‌توان با تنظیم شرایط سیستم مانند دمای سیستم، سرعت هم‌زدن سیستم و نوع فعال‌کننده‌های سطح مشخص کرد.

[1] Micro-emulsion
[2] Reverse microemulsion
[3] Wet Chemistry
[4] Seizo Obata
[5] Cobalt aluminate ($CoAl_2O_4$)
[6] Spinal structured
[7] Calcination
[8] Dispersion
[9] Ruisong Guo
[10] Continuous
[11] Octane
[12] Surfactant
[13] Co-surfactants
[14] Micelle
[15] Reverse micelle



شکل ۵- تصویر مایسل نرمال و مایسل معکوس در سیستم‌های میکروامولسیون و میکروامولسیون معکوس از چپ به راست [۱].



شکل ۶- اعمال ژل بر رود سطح زیرآیند و تشکیل فیلم [۱]

پس از انجام واکنش‌ها و تولید نانوذرات باید سیستم میکروامولسیون کاملاً پایدار و شفاف یا نیمه‌شفاف باشد تا مشخص شود این سیستم با موفقیت تشکیل شده است [۱،۱۲،۱۷]. در شکل ۵ تصور مایسل و مایسل معکوس نشان داده شده است. برای سنتز نانو مرکب‌های سرامیکی با روش میکروامولسیون پس از تشکیل سیستم میکروامولسیون مورد نظر و تشکیل نانو ذرات حاصل شده باید به بررسی و تنظیم خواص فیزیکی شیمیایی میکروامولسیون به‌دست آمده پرداخته شود و با خصوصیات چاپگر جوهرافشان مورد نظر تنظیم می‌شوند تا مرکب سرامیکی، مناسب با چاپگر جوهرافشان تهیه شود و در روند چاپ مشکلی ایجاد نشود [۶].

۳-۳- روش سل- ژل

یکی دیگر از روش‌های مناسب برای سنتز نانوذرات روش سل- ژل می‌باشد که برای تهیه نانورنگدانه‌های سرامیکی در موارد مختلف از جمله تهیه نانومرکب‌های سرامیکی چاپگر جوهرافشان مورد استفاده، قرار گرفته است [۱۴-۲۳،۲۵]. به عنوان مثال زهن جون و همکاران[1] در سال ۲۰۰۸ با استفاده از روش سل- ژل مرکب سرامیکی جوهرافشان‌های قطره در صورت نیاز که برپایی باریوم تیتانات[2] بود تهیه کردند و با روش اختلاط مکانیکی مقایسه کردند درصد جامد موجود در روش سل- ژل ۲۲٪ بود و درصد جامد موجود در روش اختلاط مکانیکی حدود ۱۶٪ به‌دست آمده است، اندازه رنگدانه‌های به‌دست آمده در روش سل- ژل حدود ۲۰۰ نانومتر بوده است هنگام اختلاط مکانیکی اندازه ذرات افزایش یافته و باعث کاهش کیفیت شده است [۷]. در این روش سنتز ابتدا با استفاده از پیش ماده‌های مورد نیاز یک محلول کلوئیدی تشکیل می‌شود، سیستم کلوئیدی با توجه به خواسته ما از محصول نهایی می‌تواند در محیط آب و یا الکل تشکیل می‌شود. سپس با اضافه‌کردن عامل ژل‌کننده به محلول کلوئیدی سیستم به ژل تبدیل می‌شود آنگاه باید ژل به‌دست آمده را خشک کرد و نانوذرات مورد نظر را به‌دست آورد [۱۷]. در روش سل- ژل، می‌توان ژل به‌دست آمده را بر روی سطح اعمال کرد و سپس سطح مورد نظر را حرارت داد تا یک لایه از مرکب مانند فیلم ایجاد شود [۱] در شکل ۶ تشکیل فیلم بر روی زیرآیند نشان داده شده است. ماده آغازگر در فرآیند سل- ژل، "سل" می‌باشد که عموماً از نمک فلزات معدنی و یا ترکیب فلزات آلی تشکیل می‌شود، در مرحله بعد برای تهیه نانومرکب‌های جوهرافشان پودر به‌دست آمده را در حلال مناسب برای تهیه مرکب به‌صورت پایدار با استفاده از پراکنده‌کننده‌های مناسب پراکنده می‌کنند و خواص فیزیکی شیمیایی آن را با توجه به چاپگر جوهرافشان مورد نظر تنظیم می‌کنند [۱].

[1] Zhen-jun
[2] Barium titanate

۴- نتیجه‌گیری

در گذشته برای تزئین سطوح سرامیکی، کاشی و دکوراسیون فقط از دستگاه‌های چاپ سیلک اسکرین استفاده می‌شده است این روش چاپ دارای مشکلات و محدودیت‌های فراوانی بود که پاسخ‌گوی تزئین مناسب در صنعت سرامیک نبود و از لحاظ اقتصادی قادر به تهیه محصولات سفارشی با قیمت مناسب نبود، اما با ورود چاپگرهای جوهرافشان در صنعت سرامیک و تزئین دکوراسیون، دیگر مشکلاتی که در چاپگرهای سیلک اسکرین وجود داشت، در چاپگرهای جوهرافشان وجود ندارد و قابلیت ایجاد چاپ با کیفیت بسیار بالا بر روی سطوح سرامیکی، کاشی و تهیه محصولات سفارشی با صرفه اقتصادی به‌وجود آمد. البته به خاطر ساختار چاپگرهای جوهرافشان محدودیت‌های در تهیه مرکب برای چاپگرهای جوهرافشان وجود دارد. مهم‌ترین موضوع در چاپگرهای جوهرافشان تهیه مرکب است. که محدودیت‌های را شامل می‌شود، اما با ورود نانومرکب‌های سرامیکی بسیاری از این مشکلات و محدودیت‌ها حل شده است. امروزه نسبت به گذشته نیاز بیشتری به تهیه این مرکب‌ها بوجود آمده است و صنعت را واداشته است تا در تهیه مرکب‌های سرامیکی متناسب با نیازشان بیش از پیش مطالعه و پژوهش انجام بدهند در این مطالعات مشخص شد مناسب‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تهیه نانومرکب‌های سرامیکی چاپگرهای جوهرافشان شامل هم‌رسوبی، میکروامولسیون و سل- ژل می‌باشد که در موارد متعدد، برای سنتز نانومرکب‌های سرامیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پیشرفت‌های بیشتری در ساخت مرکب و سیستم چاپگرهای جوهرافشان در حال شکل‌گیری می‌باشد، که نشان دهنده آینده درخشان برای چاپگرهای جوهرافشان در صنعت سرامیک و تزئین دکوراسیون می‌باشد.

۵- مراجع

1. S. Magdassi, "*The chemistry of ink jet inks*", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore, **2010**.
2. O. F. Xiang, J. R. G. Evans, M. J. Edirisinghe, P .F. Blazdell, "Solid free forming of ceramics using a drop-on-demand jet printer", J. Eng. Manuf, 37, 211-214, **1997**.
3. M. Mott, J. H. Song, J. R. G. Evans. "Micro engineering of ceramics by direct ink-jet printing", J. Am Ceram Soc, 82, 1653–1658, **1999**.
4. N. Tozzi, "Inkjet decoration of ceramic tiles", htte://print-cmyk.blogfa.com/author-printcmyk.aspx, **2012**.
5. S. Obata, M. Kato, O. Sakurada, "Synthesis of nano $C_OAL_2O_4$ pigment for ink- jet printing to decorate porcelain", J. Ceram. Soc. Jpn., 119, 208-213, **2011**.
6. G. U. O. Ruisong, Q. i. Haitao, "Preparation and properties of the AEO9/agcohol/alkane/water reverse microemulsion ceramic inks", Ceram. Internal, 30, 2259-2267, **2004**.
7. Z. Zhen-jun, Y. Zheng-fang, Y. Qi-ming, "Barium titanate ceramic inks for continuous ink-jet printing synthesized by mechanical mixing and sol-gel methods", Trans. Nonferrous Met. China, 18, 150-154, **2007**.
8. H. Seitz, W. Rieder, S. Irsen, B. Leukers, "Three-Dimensional printing of porous ceramic scaffolds for bone tissue engineering", jbm, 74B(2), 782-788, **2005**.
9. R. Emi Noguera, M. Lejeune, T. Chartier, "3D fine scale ceramic components formed by ink-jet prototyping process", J. Eur. Ceram. Soc., 25, 2055-2059, **2005**.
10. M. Lejeune, T. Chartier, C. Dossou-Yovo, R. Noguera, "Ink-jet printing of ceramic micro-pillar arrays", Ceram. Int., 29, 887-892, **2009**.
11. M. Lejeune, T. Chartier, C. Dossou-Yovo, R. Noguera, "Ink-jet printing of ceramic micro-pillar arrays", J. Eur. Ceram. Soc., 29, 905-91, **2009**.

۱۲. محمد مومنی نسب، سید منصور بیدکی، کاربردهای متنوع چاپگرهای جوهرافشان DOD بعنوان ابزار تولید، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، سال اول شماره اول- تابستان، **۱۳۹۰**.

۱۳. نجوا شکیب، دکترآتشه سلیمانی گرگانی، مروری بر چاپ پارچه‌های پنبه‌ای به وسیله چاپگر جوهرافشان، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ،سال اول شماره دوم-زمستان، **۱۳۹۰**.

14. B .Derby, "Inkjet printing of functional and structural materials-fluid property requirements", featurestability and resolution, Ann. Rev. Mater. Res., 40, 395-414, **2010**.
15. G. D. Martin, S .D. Hoath, I. M. Hutchings," Inkjet printing the physics of manipulating liquid jets and drops". J. Phys: Conf. Ser, 105, 1968-1972, **2008**.
16. L. Yuen-Wong, "OrganicElectronics@NUSScience", http:// vhosts .science.nus.edu.sg/organicelectronics/?p=617, **2010**.

۱۷. مسعود صلواتی نیاسری، زینب فرشته، نانوشیمی، روش‌های ساخت، بررسی خواص و کاربردها، علم و دانش، **۱۳۸۸**.

18. Z. Ding, Q. Li, Z. Ho u, J. I. Anqiang Wang, "Preparation of i to na noparticles by liquid phase coprecipitat ion method", J. Nanomaterials, 75, 1-5, **2010**.
19. H. P. Fu, R. Y. Hong, Y. Zheng, D. G. Wei, "Influence of surfactants on co-precipitation synthesis of Bi–YIG particles", J. Alloys Compd., 470, 497-501, **2008**.
20. P. Derakhshi, S. A. Khorrami, R. Lotfi, "An investigation on synthesis and morphology of nickel doped cobalt ferrite in presence

of surfactant at different calcination temperature by Co-Precipitation route", World. Appli. Sci. J., 16 (2), 156-159, **2012**.

21. H. Ke-long, Y. I. N. Liang-guo, L. I. U. Su-qin, L. I. Chao-jian, "Preparation and formation mechanism of Al_2O_3 nanoparticles by reverse microemulsion,Trans", Nonferrous Met. Soc., 17, 633-637, **2006**.
22. M. Hosseini-Zori, A. Soleimani-Gorgani, "Ink-jet printing of micro-emulsion TiO_2 nano-particles ink on the surface of glass", J. Eur. Ceram. Soc., 32, 4271-4277, **2012**.
23. X. Duan, M. Pan, F. Yu, D. Yuan, "Synthesis, structure and optical properties of $C_oAl_2O_4$ spinel nanocrystals", J. Alloys Compd., 509, 1079-1083, **2011**.
24. F. Yu, J. Yang, J. Ma, J. Du, Y. Zhou, "Preparation of nanosized $C_oAl_2O_4$ powders by sol-gel and sol-gel-hydrothermal methods", J. Sol-Gel Sci Technol., 52, 321-327, **2009**.
25. M .Salavati-Niasari, M. Farhadi-Khouzani, F. Davar, "Bright blue pigment $C_oAl_2O_4$ nanocrystals prepared by modified sol-gel method", J. Alloys Compd., 468, 443-446, **2009**.