Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۳ (۱۳۹۲) ۶۴-۵۷
Journal of Studies in Color World, 3 (1392)/ 57-64

مروری بر تهیه و کاربرد نانو ذرات طلا

شیرین ساکت[۱]، سوسن رسولی[*۳]، محمد علی فقیهی ثانی[۳]، امیر مسعود اعرابی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مواد سرامیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۹۳۳ - ۱۴۱۵۵
۲- دانشیار، گروه پژوهشی نانوفناوری، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۳- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مواد سرامیک، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۹۳۳ - ۱۴۱۵۵
۴- استادیار، گروه پژوهشی نانوفناوری، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴- ۱۶۷۶۵

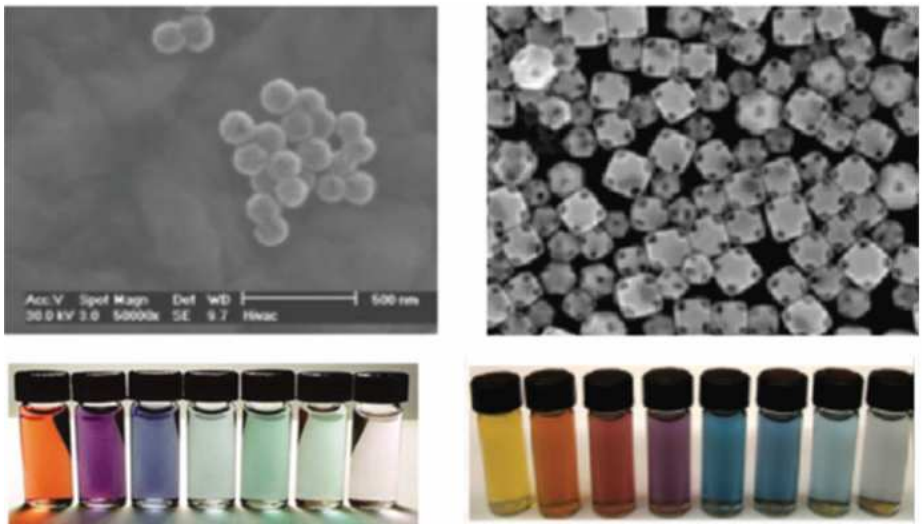
تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱ تاریخ بازبینی۱: ۹۲/۷/۱۴ تاریخ بازبینی۲: ۹۲/۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۱

چکیده

نانو ذرات طلا به عنوان موادی ارزشمند مطرح هستند که کاربردهای بسیار زیادی در انواع فیلترهای نوری، سلول‌های خورشیدی، بلورهای مایع، ذخیره‌سازی اطلاعات، کاتالیزور، حسگرهای بیولوژیک، پزشکی و رهایش دارو داشته و دامنه کاربرد آنها در حال گسترش است. رنگ در توزیع ذرات کلوئیدی طلا بسته به شکل و اندازه ذرات از قرمز تا آبی تغییر می‌کند. این امر، می‌تواند نوید بخش کاربرد آنها به عنوان رنگدانه در چاپگرهای دیجیتال و یا لعاب‌های دکوری باشد. در این مقاله روش‌های سنتز، خواص نوری و کاربردهای نانو ذرات طلا با تاکید بر تاثیر شکل و اندازه ذرات بر خواص آنها بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی

نانو ذرات طلا، روش‌های تولید، اندازه ذرات، خواص نوری و الکتریکی.

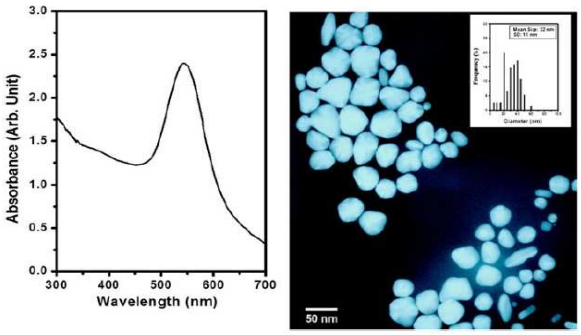


*Corresponding author: Rasouli@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

استفاده از نانو ترکیبات طلا، نقره و مس به دوران روم باستان و به خصوص به قرون وسطی و رنسانس باز می‌گردد که در شیشه‌های رنگی کلیساها مورد استفاده قرار می‌گرفت. خواص نوری، الکتریکی و شیمیایی نانوذرات طلا بسیار وابسته به اندازه و شکل آن‌ها می‌باشد. با ورود به محدوده نانو، تغییراتی از قبیل کاهش دمای ذوب، افزایش کشش سطحی، افزایش نورتابی نسبت به جامد حجمی مشاهده شده است. در واقع با کاهش اندازه ذره، اتم‌های سطحی اهمیت پیدا می‌کنند و هنگامی که ذره تحت تابش الکترومغناطیس قرار می‌گیرد الکترون‌های رسانش (پلاسمون‌ها) شروع به نوسان می‌کنند و تشدید پلاسمون‌های سطحی، یک جذب قوی در ناحیه مرئی ایجاد می‌کند که منشا رنگ‌های زیبا در این ذرات می‌باشد. به‌طور کلی، طول موج‌هایی که در آن تشدید پلاسمون سطحی روی می‌دهد به اندازه، جنس، شکل ذرات و همچنین ویژگی دی‌الکتریک محیطی که ذره در آن قرار دارد وابسته است [۱].

شکل ۱ تصویر میکروسکوپی الکترونی عبوری[1] و نمودار طیف‌سنجی فرابنفش- مریی[2] محلول آبی طلا را نشان می‌دهد. در تصویر میکروسکوپی الکترونی عبوری توزیع نسبتاً یکنواخت ذرات کروی طلا با اندازه متوسط ۲۰ nm دیده می‌شود. طیف جذب نانوذرات نشان دهنده پیک تیز با پهنای کم در محدوده ۵۲۰ nm نانومتر می‌باشد که محلول طلا قرمز یاقوتی مشاهده می‌شود، در حالی‌که طلای حجمی زرد است [۲].



شکل ۱- نانوذرات کروی طلا UV-visible (چپ) و TEM (راست) [۳].

۲- روش‌های سنتز نانو ذرات طلا

۲-۱- روش احیای شیمیایی

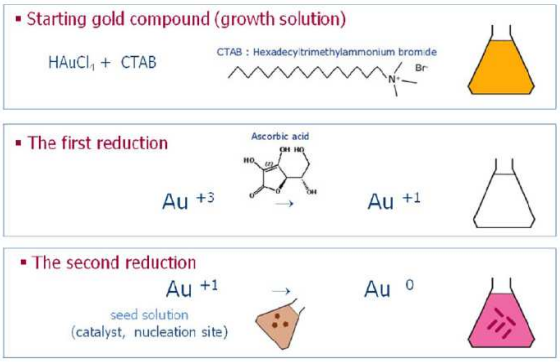
سنتز نانوذرات طلا معمولاً به روش شیمیائی و از طریق احیاء یک پیش ماده طلا انجام می‌شود. گاز هیدروژن همواره به عنوان یک عامل کاهنده استاندارد در شیمی شناخته می‌شود. مقدار E^0 برای واکنش کاهش یون پروتون به هیدروژن صفر ولت است:

$$2H^+ + 2e^- \rightleftarrows H_2 \qquad E^\circ = 0.00V$$

برای ترکیباتی که مقادیر E^0 مثبت دارند، هیدروژن نقش یک کاهنده را بازی می‌کند. بسیاری از نمک‌های فلزی در محیط آبی از این دست هستند. از دیگر ترکیبات کاهنده شیمیایی می‌توان به هیدرازین و نمک‌های بوروهیدرید با فرمول ABH_4 اشاره کرد که A بیانگر یک فلز قلیایی است. مقدار E^0 برای هیدرازین و بوروهیدرید به ترتیب ۲۳۰- و ۴۸۰- میلی‌ولت می‌باشد. معمولاً $AuCl_4$ به عنوان نمک محلول در آب برای تهیه یون طلا مورد استفاده قرار می‌گیرد، با E^0 در حدود ۱+ ولت به عنوان یک اکسنده قوی محسوب می‌شود. علاوه بر عوامل کاهنده فوق، بسیاری از ترکیبات دیگر توسط نمک طلا اکسید می‌شوند و از این رو می‌توانند نمک طلا را به طلای فلزی (Au^0) تبدیل کنند. بسیاری از اسیدهای آلی که با نام کربوکسیلیک اسیدها شناخته می‌شوند و همچنین بسیاری از الکل‌ها می‌توانند نقش کاهنده را در مقابل یون طلا به عنوان یک عامل اکسنده قوی بازی کنند. به عنوان یک یون کربوکسیلاتی مرسوم، می‌توان از سدیم سیترات نام برد. علاوه بر نقش یک عامل کاهنده، سیترات همزمان نقش یک عامل پوشاننده (پایدارکننده) را نیز بازی می‌کند. در خصوص یون‌های فلزی واسطه دیگر، مقدار E^0 معمولاً مقادیر منفی‌تری دارد و لذا در خصوص انتخاب عامل کاهنده باید دقت بیشتری به کار گرفته شود [۴]. در روش احیای شیمیائی شرایط آزمایشی مانند ماده احیاءکننده، غلظت مواد اولیه، دما و pH و حتی نحوه اختلاط مواد نقش به سزائی در نتیجه حاصله از نظر شکل و اندازه و در نتیجه خواص رنگی آن دارد. از معمول‌ترین روش‌های تهیه نانو ذرات طلا، کاهش یون‌های محلول $AuCl_4$ توسط اسید سیتریک می‌باشد [۵].

$$6AuCl_4 + C_6H_8O_7 + 5H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12Cl_2 + 6Au + 9H_2$$

اولین بار تور کویچ[3] در سال ۱۹۵۱ از این روش بهره برد. اسید سیتریک در این روش هم عامل احیاکننده است و هم پایدارکننده، که منجر به سنتز نانوذرات طلا می‌شود [۶] شمایی از مراحل احیای Au^{+3} به Au^{+1} و تبدیل آن به Au فلزی توسط اسید آسکوربیک در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- شمای از احیای شیمیایی $HAuCl_4$ [۸].

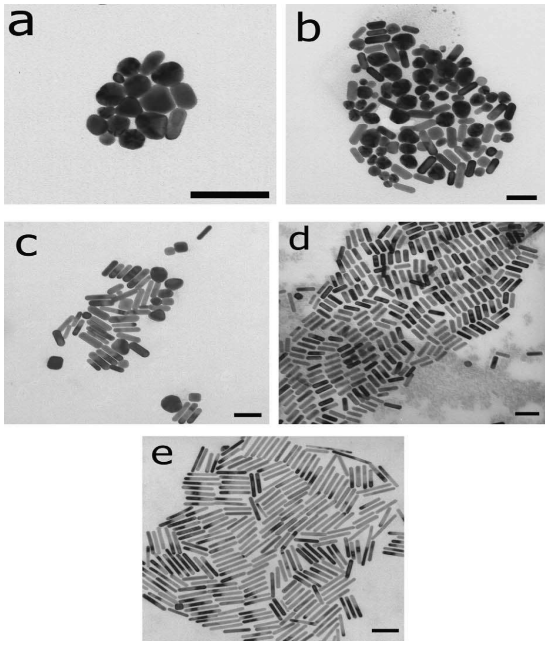
[1] TEM
[2] UV-visible
[3] Toor Kovij

عوامل فعال‌کننده سطحی اغلب ترکیبات پلیمری آلی هستند که در این میان می‌توان به ترکیبات پلی‌وینیل‌الکل[1]، پلی‌وینیل پیرولیدن[2]، اشاره کرد و همچنین سایر فعال‌کننده‌های سطحی با حلالیت پایین نظیر ستیل دی متیل آمونیم بورومید[3]، سدیم دودسیل سولفات[4] نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عوامل می‌توانند پس از جذب شدن به سطح ذرات از رشد آن‌ها در هنگام واکنش جلوگیری کنند و بدین ترتیب مانع ایجاد پدیده انعقاد شوند و به‌علاوه این عوامل باعث پایداری محلول نیز می‌شوند [۴]. پایدارکننده‌های آلی مورد استفاده در سنتز نانوذرات بسته به سازوکاری که در واکنش دارند شکل‌های مختلفی ایجاد می‌کنند که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری[5] زیر قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بسته به نوع پایدارکننده شکل ذرات از کروی تا میله‌ای کوتاه و بلند و یا مخلوطی از آنها تغییر می‌کند. در واقع، برخی از این مواد با اتصال بر روی بلورهای اولیه از رشد آنها در برخی صفحات جلوگیری کرده و منجر به ایجاد ساختار میله‌ای می‌شود [۸].

۲-۲- روش الکتروشیمیایی

در صورتی که الکترون مورد نیاز برای کاهش یون فلزی در ازای یک ماده شیمیایی (کاهنده) بر سطح یک الکترود فراهم آید، سنتز یک فرآیند الکتروشیمیایی نامیده می‌شود. همان‌گونه که ذکر شد، کاهنده‌های شیمیایی مختلف توانایی‌های متفاوتی برای کاهش کاتیون‌های فلزی دارند (برحسب مقادیر E^0) برای انواع مختلف سنتز باید کاهنده مناسبی انتخاب شود در سامانه‌های الکتروشیمیایی، قدرت کاهندگی یک الکترود تابعی از پتانسیل الکتریکی اعمال‌شده بر سطح است. عاملی همچون چگالی جریان نیز در حکم غلظت عوامل کاهنده دخالت دارد و می‌تواند به‌طور مستقیم بر فرآیندهای هسته‌زایی و رشد اثر بگذارد. همچنین نحوه اعمال پتانسیل نیز می‌تواند اثرگذار باشد. الکترودی که فرآیند احیا بر سطح آن اتفاق می‌افتد اصطلاحاً تحت عنوان کاتد شناخته می‌شود. در این روش‌ها نیز استفاده از عوامل پایدارکننده ضروری به‌نظر می‌رسد.

برای تهیه نانوذرات طلا از طریق روش‌های الکتروشیمیایی نشان داده شده است که اندازه ذرات با تنظیم شدت جریان تغییر می‌کند. به علاوه، تاثیر عوامل گوناگون مثل دما، جنس کاتد، ولتاژ، گرانروی جریان، زمان، نوع الکترولیت بر روی اندازه ذرات و ساختار آنها بررسی شده است. یکی از روش‌های سنتز نانوذرات فلزی با روش الکتروشیمی الکتروپالس است که بر پایه استفاده از الکتروشیمی پالسی و شیمی صوت قرار دارد. روشی نیز برای جانشینی الکتروستاتیکی طلا روی سطح الکترود در الکتروشیمی و ایجاد باند بین طلا با تیول‌ها و دی سولفیدها گزارش شده است. رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی بر پایه، سولفات، کلرید، برمید و یدید نقره انجام می‌شود. در تمام موارد لایه‌ای از طلا تشکیل می‌شود. از جمله فواید روش‌های الکتروشیمیایی برای تهیه نانوپودرها این است که محصول به راحتی جدا می‌شود و محصول فرعی حاصل از ماده کاهنده ایجاد نمی شود. برای جلوگیری از جانشینی خود بخودی Au^+ روی سطح پتانسیل را باید کنترل کرد [۵].



شکل ۳- اثراستفاده از برخی پایدارکننده‌ها بر شکل نانو ذرات طلا. CTAB (a، CTAC+KBr (b، CTAC+KBr (c، CTAC+BDAC (d، CTAB+BDAC (e [۸]

۲-۳- روش لیزری

پژوهشگران با استفاده از تابش امواج فراصوت به همراه کندوسوز لیزری[6]، بازدهی سنتز لیزری نانوذرات طلا را افزایش دادند. نانوذرات سنتز شده به روش لیزری، که در اثر سرد شدن سریع پلاسمای حاوی گونه‌های جدا شده از سطح هدف، در اثر کندوسوز لیزری تشکیل می‌شود، نیاز به خالص‌سازی پس از سنتز ندارند که از مزایای این روش به شمار می‌رود. در این روش، از تابش هم زمان امواج بسیار کوتاه لیزر Nd:YAG با امواج فراصوت، برای انجام آزمایش‌های سنتز نانوذرات طلا استفاده می‌شود. فرآیند کندوسوز لیزری با چگالی‌های انرژی مختلف لیزر در حضور یا عدم حضور امواج نامبرده بررسی شده که نتایج نشان می‌دهند که در حالت استفاده از امواج فراصوت در تمامی چگالی‌های انرژی لیزر اعمال شده، غلظت نانوذرات طلا (بدون تغییر در توزیع اندازه و شکل آنها) افزایش می‌یابد. طلای به‌کار رفته در سنتز نانوذرات طلا، یک قطعه طلا با خلوص ۹۹/۹۹٪ است که در کف یک ظرف شیشه‌ای محتوی آب مقطر بدون افزودنی‌های شیمیایی قرار می‌گیرد [۶].

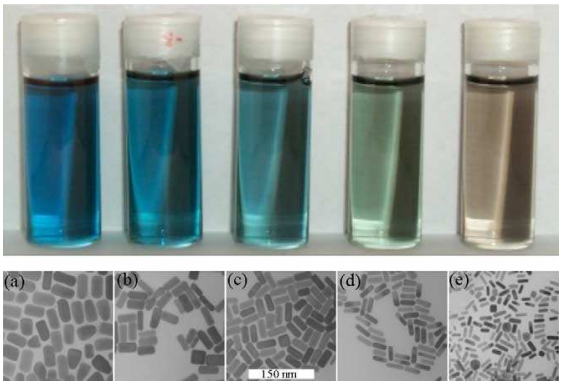
[1] Polyvinyl acetate (PVA)
[2] Polyvinyl pyrrolidone (PVP)
[3] Cetyl trimethylammonium bromide (CTAB)
[4] Sodium dodecyl sulfate (SDS)
[5] Transmission electron microscopy (TEM)
[6] Laser Ablation

۲-۴- استفاده از دارچین در سنتز نانوذرات طلا

محققان در زمینه نانوفناوری سبز نشان دادند که دارچین و اجزای دیگری همچون گیاهان، برگ‌ها و دانه‌ها می‌توانند به عنوان منابعی برای مواد شیمیایی گیاهی عمل نموده و مواد را به نانوذرات تبدیل کنند. بنابراین راهکاری در زمینه نانوفناوری سبز ایجاد کرده اند. در این فرآیند نمک طلا را با دارچین مخلوط کرده و محلول آبی تهیه می‌کنند تا نانوذرات طلا را سنتز نمایند. در این روش جدید از الکتریسیته یا مواد سمی استفاده نمی‌شود. محققان در طول این مطالعه دریافتند که مواد شیمیایی فعال دارچین به هنگام تشکیل نانوذرات آزاد می‌شوند. زمانی که این مواد فعال که مواد شیمیایی گیاهی[1] نامیده می‌شوند، با نانوذرات طلا ترکیب شوند، می‌توانند در درمان سرطان به کار روند. این مواد گیاهی وارد سلول‌های سرطانی شده و به تخریب یا تصویربرداری از آنها کمک می‌کنند. این نانوذرات طلا نه تنها از نظر محیطی و زیستی بی‌اثر هستند، بلکه از نظر زیستی فعال بوده و می‌توانند بر علیه سرطان به‌کار روند [۷].

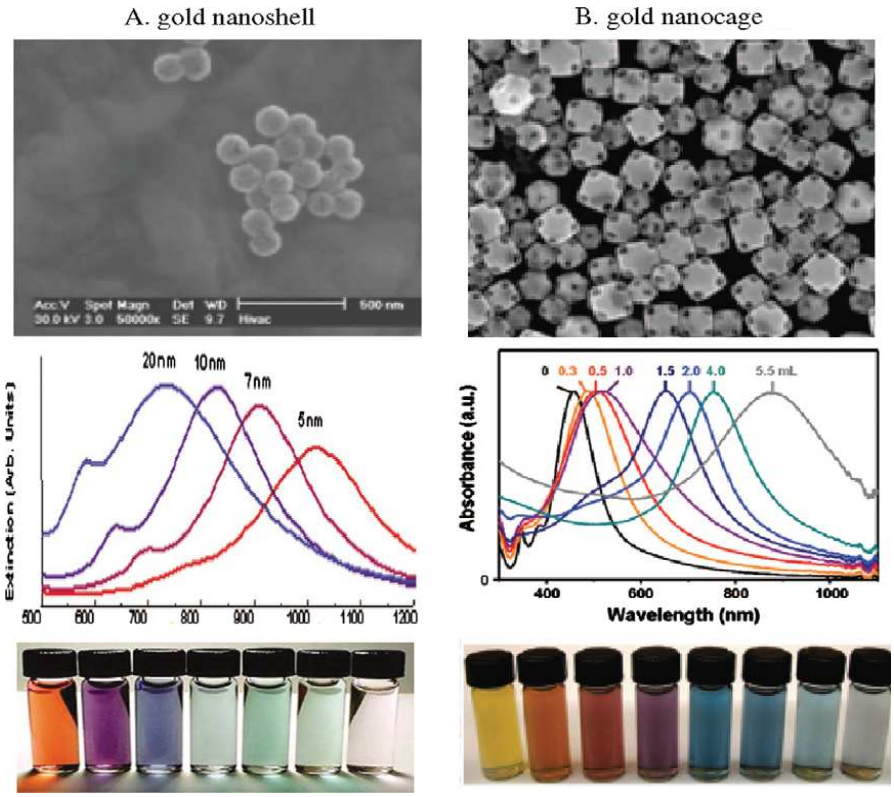
۳- تاثیر اندازه و شکل نانوذرات طلا بر رنگ نمونه حاصل

روش‌های سنتز نانوذرات طلا و عوامل موثر بر آن، برای مثال پایدارکننده و احیاکننده نقش مهمی در تعیین اندازه و شکل و رنگ محصول ایفا کرده و تحقیقات قبلی نشان داده که رنگ نمونه‌های به دست آمده ارتباط مستقیمی با اندازه و شکل ذرات دارد. تصاویر شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب طیف‌های رنگی مختلفی از محلول حاوی نانومیله‌های طلا با ابعاد مختلف و نانوذرات کروی و مکعبی را نشان می‌دهند. در این تصاویر، ملاحظه می‌شود که طیف رنگی مشاهده در مورد ذرات میله‌ای با طیف مشاهده شده به صورت کروی و مکعبی تفاوت عمده‌ای دارد که این امر به نحوه اندرکنش امواج نور و ذرات و چگونگی بازتابش آنها دارد. به علاوه، در یک ساختار مشخص از ذرات این طیف رنگی بسته به اندازه ذرات متفاوت خواهد بود [۱۰].



شکل ۴- طیف رنگی و تصاویر میکروسکوپی نانومیله‌های طلا با نسبت طول به عرض متفاوت [۵].

[1] phytochemicals



شکل ۵- A) تغییر خواص نوری نانوپوسته طلا با تغییر ضخامت پوسته، B) سنتز نانو قفس‌های طلا با اسید اوریک [۱۰].

۴- کاربرد نانوذرات طلا

در جدول زیر زمینه‌های مختلف کاربرد نانو ذرات طلا و نقش آنها در صنایع مطرح شده است.

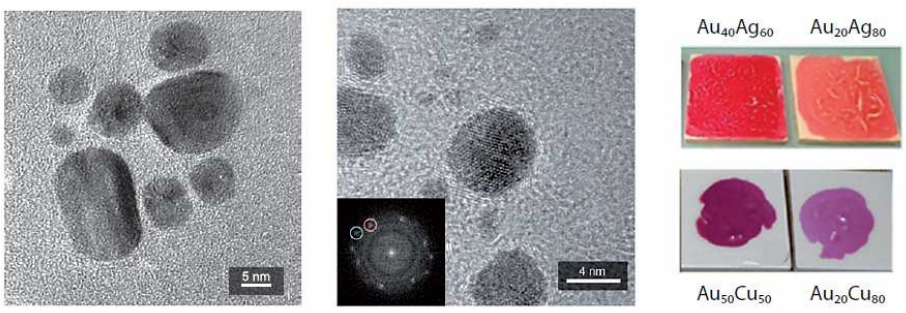
۴-۱- جوهر چاپگرهای دیجیتال مورد استفاده در صنعت کاشی و سرامیک

در گذشته برای تزیین 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 تزیین مناسب در صنعت سرامیک نبوده و از لحاظ اقتصادی قادر به تهیه محصولات سفارشی با قیمت مناسب نبود، اما با ورود چاپگرهای جوهرافشان قابلیت ایجاد چاپ با کیفیت بسیار بالا بر روی سطوح سرامیکی، کاشی امکان تهیه محصولات سفارشی با صرفه اقتصادی به وجود آمد. البته، به خاطر ساختار چاپگرهای جوهرافشان محدودیت‌هایی در تهیه مرکب برای چاپگرها وجود دارد که مهم‌ترین آنها تهیه مرکب است. اما با ورود نانومرکب‌های سرامیکی بسیاری از این مشکلات و محدودیت‌ها حل شده است. امروزه نسبت به گذشته نیاز بیشتری به تهیه این مرکب‌های سرامیکی وجود داشته و این مواد بیش از پیش مطالعه و پژوهش می‌شوند. نانورنگدانه‌های طلا در شرایط مختلف دمایی (تا ۱۲۰۰ °C) و شرایط مختلف شیمیایی (لعاب‌های متفاوت، پوشش‌های شیشه‌ای و بدنه‌های پرسلانی) پایدار هستند. در تصاویر ۶ نمونه‌ای از این بدنه‌ها قابل مشاهده است [۱۳].

جدول ۱- محدوده اندازه ذرات طلا و کاربرد [۱۱].

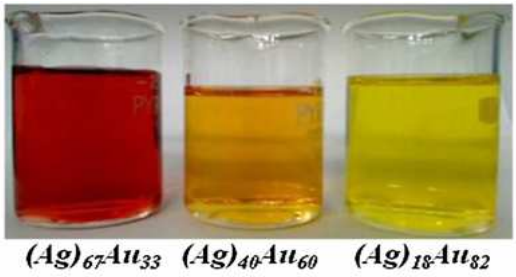
محدوده اندازه نانو ذرات	موارد استفاده	توضیحات
کوچک ۱۵-۲ nm	میکروسکوپ نوری HTEM حسگر گازی پوشش دارو رسانی چاپگرهای دیجیتال	پوشش‌های تزئینی در صنایع رنگ و نساجی و سرامیک، پوشش نازک برای تولید نیمه هادی‌ها و یا دستگاه‌های الکتروشیمیایی، هدف قرار دادن تومورسرطانی و رساندن دارو
متوسط ۶۰nm –۲۰	SEM TEM ذخیره سازی داده‌ها SERS[1] حسگر شیمیایی تشخیص DNA دارو رسانی کاتالیست در محیط زیست	تشخیص و حذف جیوه از آب آلوده، عوامل تصویربرداری مولکولی، حسگرهای زیستی، تشخیص پلی مورفیسم نوکلئوتید، هدف قرار دادن سلول‌های تومور و تصویربرداری، کاهش تجزیه شیمیایی، اکسیداسیون مواد آلی
بزرگ ۲۵۰ nm –۸۰	فیلم‌های رسانا ماموگرافی نوری تجهیزات الکترونیکی	تشخیص سلول‌ها با استفاده از فلوسیتومتری[2]، بازده سلول سوختی، پشتیبانی از الیاف ابریشم برای استفاده در صنعت نساجی، چاپ مستقیم ذرات طلا بر روی کاغذ و پارچه، شناسایی و سنجش نشانگرهای زیستی در سلول‌ها برای مقاصد تصویربرداری

[1]Surface-Enhanced Raman scattering
[2]Flowcytometry



شکل ۶- تصاویر TEM نمونه های a) Au40Ag60 b) Au20Cu80 و c) اعمال نمونه‌ها روی لعاب کاشی پرسلانی [۱۳].

رنگ نمونه توسط اثر رزونانس پلاسمون سطحی[1] ایجاد می‌شود که به نوسان الکتریکی نانوذرات فلزی و اندازه ذرات، فاصله‌ی بین ذرات، لایه‌های دی الکتریک متناوب و لایه‌های ذرات هم محور بستگی دارد. برانگیختگی پلاسمون‌های سطحی و ایجاد رزونانس توسط یک میدان الکتریکی با طول موج مشخص، باعث پخش نور و ایجاد باندهای جذب SPR و قوی‌شدن میدان مغناطیسی به‌وجود آمده می‌شود. بسامد و شدت باندهای SPR به نوع فلز و شکل و اندازه ذرات آن فلز بستگی دارد [۱۱]. اگر چه بدلیل قیمت بالای طلا همچنان محدودیت‌های زیادی برای استفاده از این ماده وجود دارد ولی به هر حال اگر بتوان با غلظت‌های کم طلا به بازدهی بالای رنگ‌دهی رسید، می‌تواند در صنعت سرامیک جایگاه ویژه‌ای داشته باشد. همچنین، پژوهشگران از نقره در کنار طلا برای ایجاد طیف رنگی استفاده کردند: زیرا که نقره به میزان قابل توجهی از طلا ارزان‌تر است. علاوه بر آن رنگ‌دانه‌هایی که هر دوی ذرات طلا و نقره را دارا باشند، به‌دلیل اینکه انرژی باندهای SPR با نسبت Au/Ag تغییر می‌کند، خواص نوری متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. این موارد می‌توانند تاثیر مثبتی بر خواص رنگ‌ها داشته باشند، به عنوان مثال می‌توانند کیفیت رنگ‌دهی را بهبود دهند. در شکل ۷ می‌توان تغییر رنگ ناشی از تغییر نسبت طلا به نقره را به خوبی مشاهده کرد [۱].



شکل ۷- ترکیب Ag/Au با درصدمولی مختلف [۱].

۴-۲- استفاده از نانوذرات طلا در ساخت رنگزاهای صنعتی

در سال‌های اخیر روشی جدید و زیست‌سازگاری برای تولید ایمن رنگزاهای صنعتی با استفاده از کاتالیزور نانوذرات طلا ابداع شده است. معمولاً برای ساخت رنگزاهای آزوبنزنی، باید از فلزات واسطه سمی یا نیترات‌ها استفاده کرد. اولینور کورما و همکارانش، نشان داده‌اند که نانوذرات طلا بر روی دی‌اکسید تیتانیم یا دی‌اکسید سدیم، می‌تواند واکنش‌های لازم برای تولید آزوبنزن‌ها را سرعت دهد و این فرآیند تحت شرایط ملایم، بیشتر از ۹۸٪ بازدهی دارد. به گفته این پژوهشگران، این روش می‌تواند در تولید ارزان‌تر و ایمن‌تر رنگ‌ها برای استفاده در رنگدانه‌ها، افزودنی‌های غذایی و داروها مورد استفاده قرار گیرد. نکته کلیدی این روش، استفاده از یک فرآیند کاتالیزوری به جای یک فرآیند استوکیومتری است. در این روش می‌توان تشکیل محصولات جانبی را به میزان زیادی کاهش داد. این پژوهشگران دریافته‌اند که نانوذرات طلا می‌توانند جاهای خالی[2] در اکسید تیتانیم را پایدار کرده، مولکول‌های واکنش‌دهنده آنیلین را فعال نموده و اکسیژن را که به‌عنوان یک واکنش‌دهنده عمل می‌نماید را نیز فعال کنند. آنیلین با دادن یک الکترون به جاهای خالی موجود در تیتانیا یا به اتم‌های طلای کاتیونی، می‌تواند یک کاتیون رادیکالی تشکیل دهد. در این هنگام واکنش آغاز می‌گردد. اکسیژن هم بر روی جاهای خالی موجود در TiO^2 یا CeO^2 و یا روی نانوخوشه‌های طلا، فعال می‌شود. مزیت این روش این است که در آن به تترا استات سرب یا مقادیر استوکیومتری نیترات نیازی نیست. به علاوه می‌توان فرآیند تک‌ظرفی[3] را که به جای استفاده از آنیلین‌ها، با نیتروآروماتیک‌ها (که در فرآیند ساخت آزوبنزن‌ها نیاز هستند) شروع می‌شود، انجام داد. این امر مانع از انجام مرحله تشکیل آنیلین از نیتروآروماتیک‌ها می‌شود. این کار می‌تواند برای استفاده تولیدکنندگان رنگ به‌منظور تولید ترکیبات آزو در مقیاس صنعتی، یک روش زیست‌سازگار را فراهم نماید [۱۲].

۴-۳- محیط زیست

نانوفناوری و سنتز نانوذرات طلا توانسته راه‌حل‌هایی برای مشکلات بزرگ زیست‌محیطی مانند کنترل آلودگی هوا، تصفیه آب، تولید کمتر زباله و صرفه‌جویی در منابع طبیعی ارائه کند. طلا از فلزات پایدار است که در مقابل اکسیداسیون مقاوم است. این خاصیت نانوذرات طلا، توانایی تولید بسیاری از کاتالیزورها را فراهم می‌کند: به عنوان مثال کاتالیزور در واکنش اکسیداسیون CO، کاتالیزور واکنش هیدروژن‌دارشدن مواد اولیه اشباع نشده، کاتالیزور اکسایش یا کاهش CO و اکسایش CH_3OH و کاهش O_2 و غیره می‌توان اشاره کرد. کنترل و آشکارسازی جیوه: علم نانوفناوری می‌تواند به‌وسیله نانوذرات طلا، عنصر جیوه را در محیط شناسایی و کنترل کند. جیوه یکی از سمی‌ترین موادی است که در تمام دنیا وجود دارد. جیوه می‌تواند باعث بوجود آمدن بیماری‌هایی مانند آلزایمر و آسم شود. هر ساله ۱۰۰ تن جیوه از طرق مختلف به خصوص از طریق صنعت وارد اتمسفر و محیط زیست می‌شود. نانوذرات طلا می‌توانند به عنوان کاتالیزور اکسیداسیون جیوه به کار برده شوند [۱۴].

بهبود کیفیت آب و هوا: یکی از کاربردهای مهم نانوذرات طلا تمیزکردن هوا و بهبود کیفیت آب می‌باشد. منواکسید کربن گازی بی بو و بی رنگ و بسیار سمی برای انسان است. نانوذرات طلا می‌توانند کاتالیزور واکنش تبدیل CO به CO_2 باشند و آن را سرعت ببخشند. گاز CO_2 ماده‌ای است که برای انسان ضرر خاصی ندارد. پس نانوذرات طلا می‌توانند مشکل گاز سمی CO را در محیط زیست حل کرده و آن را به گاز غیر سمی CO_2 تبدیل کنند. در سال‌های اخیر استفاده از نانوذرات فلزات برای تشخیص و از بین بردن آلودگی آب، افزایش پیدا کرده است. استفاده از نانوذرات طلا برای جذب و حذف مقدار قابل توجهی جیوه از آب آشامیدنی، بسیار موثر و امیدوارکننده بوده است [۱۴].

[1] Surface plasmon resonance

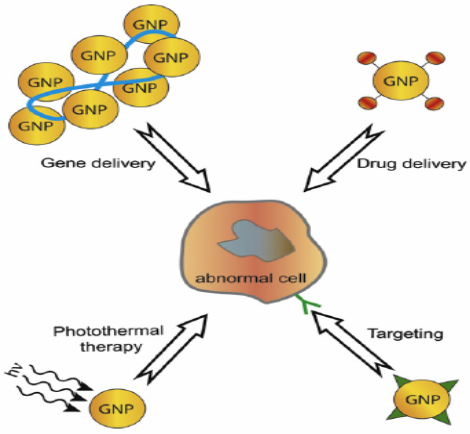
[2] Vacancies
[3] One-pot

۴-۴- سلول‌های خورشیدی

عملکرد سلول‌های خورشیدی بر اساس بازه توان و مقدار توانی که دریافت و تبدیل به انرژی الکتریکی می‌کند، سنجیده می‌شوند از این رو به منظور ارتقای بازه این سلول‌ها از نانوذرات استفاده می‌شود. نانوذرات طلا باتوجه به دارا بودن پلاسمون‌های شدید سطحی و در نتیجه افزایش جذب نور خورشید می‌توانند در سلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار گیرند. لایه‌ای از نانو ذرات طلا را بین دو زیر لایه جاذب نور در سلول خورشیدی پلیمری آلی قرار می‌دهند. که این باعث تاثیر پلاسمونیک آن شده، به طوری که ذرات، میدان الکترومغناطیسی ایجاد می‌کنند که به متمرکز کردن نور کمک می‌کند، بنابراین نورهای دریافتی، به‌وسیله زیر لایه‌ها جذب می‌شوند. تاثیر پلاسمونیک، در میان محل اتصال لایه‌ها، موجب ارتقای زیر لایه‌های بالا و پایین می‌شود که این منجر به بهبود بازدهی تبدیل انرژی از سلول‌های خورشیدی از ۵/۲۲ ٪ به ۶/۲۴ ٪ می‌شود. و همچنین کارآیی آن را به میزان ۲۰٪ افزایش می‌دهد [۱۵].

۴-۵- پزشکی و زیست شناسی

در زمینه‌های بیولوژیکی و پزشکی، این نانوذرات به‌دلیل خواص ضدقارچ و ضدباکتری که دارند، بسیار مورد مطالعه قرار گرفته‌اند: گزارش شده که اثر ضد باکتری این مواد با افزایش غلظت فلز در سوسپانسیون و در اندازه ذرات کمتر از ۵۰ nm، زیاد می‌شود. سال‌های طولانی از نقره به عنوان یک ضدمیکروب استفاده می‌شد: ولی در سال‌های اخیر طلا به عنوان رقیبی برای نقره در ضدمیکروب بودن، محسوب می‌شود. برای مثال نانوذرات طلا می‌توانند از رشد باکتری E. coli جلوگیری کند [۱۶]. یکی از دلایل مهم برای استفاده از نانوذرات طلا در پزشکی غیرسمی بودن و سازگاری با محیط زیست این ذرات است. در این مصارف غلظت نانوذرات طلا بسیار مهم است که رقیق بودن این ذرات تغییری در خواص آن‌ها ایجاد نکند. به‌علاوه نانوذرات طلا ای که به روش‌های مختلف تولید شده‌اند باید در شرایط آزمایشگاهی (خارج از محیط آلی) پایدار بماند تا بتواند همان اثر را در محیط‌های آلی اعمال کند. نانوذراتی که اندازه‌ی آن‌ها بین ۱ تا ۵۰۰ nm است بسیار کوچک‌تر از سلول‌های بدن انسان می‌باشند (اندازه سلول‌های بدن انسان بین ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر یا میکرون می‌باشد). اندازه خاص نانوذرات باعث به وجود آمدن نانو حسگرهایی شده‌اند که می‌توانند پروتئین یا DNA را در داخل و خارج سلول پیدا کنند. خواص منحصر به فرد نانو مواد امکان پیش‌بینی رویدادهای بیولوژیکی توسط مبدل پیام الکتریکی را فراهم می‌کند: این امر موجب تولید نسل جدیدی از قطعات بیوالکترونیکی با کاربردهای جدید می‌شود شکل ۸ کاربردهای نانوذرات طلا در پزشکی را نشان می‌دهد. [۱۶].



شکل ۸- کاربردهای نانو ذرات طلا در پزشکی.

۴-۶- الکترونیک

افزایش امنیت داده‌های الکترونیکی با استفاده از نانوذرات طلا به علت خواص مغناطیسی در کنار خواص نوری و فوتوگرمایی[1] منحصر به فردی که دارند، مقدور است. این نانوذرات می‌تواند به یک بسامد خاص تنظیم شوند. هنگامی که امواج نوری به ماده تابانده می‌شوند، جهت میدان الکتریکی با ذرات معینی در ماده نوری هم‌خط شده و به آنها اجازه ذخیره داده‌ها را می‌دهد. هنگامی که جهت نور فرودی عوض شود، میدان الکتریکی آن مجموعه دیگری از ذرات را هم‌خط خواهد کرد. امواج نوری زیاد با قطبش‌های مختلف منجر به این می‌شوند که هر ذره ذخیره‌کننده اطلاعات نوری باشد [۱۷].

۵- نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام گرفته در این مقاله نشان دادند که نانوذرات طلا از مواد بسیار ارزشمندی هستند که می توانند در آینده نزدیک کاربردهای بسیار متنوعی در بسیاری از صنایع مهم داشته باشند. این امر اهمیت توجه به آنها را روشن کرده و نیاز به تحقیقات گسترده تری در این زمینه می باشد. یکی از مسائل مهم که کاربرد این مواد را در صنایع وابسته به رنگ و پوشش مطرح می کند وابستگی رنگ در توزیع ذرات کلوئیدی طلا به شکل و اندازه ذرات می باشد که می تواند از قرمز تا آبی تغییر کند. این امر، می تواند نوید بخش کاربرد آنها به عنوان رنگدانه در چاپگرهای دیجیتال و یا لعاب‌های دکوری باشد. کنترل دقیق شرایط سنتز نانوذرات طلا یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل شکل و اندازه ذرات بوده و موجب ایجاد تنوع رنگی می شود و این امر مسئله تحقیق بیشتر بر روی سنتز این مواد را مهم‌تر می‌سازد.

[1] Photo thermal

۶- مراجع

1. M. Blosi, "Au-Ag nanoparticles as red pigment in ceramic inks for digital decoration", Dyes and pigments. 93, 55-362, **2012**.
2. J. Vosburgh, "Optical absorption spectra of gold nano- clusters in potassium borosilicate glass", J. Non-cryst solids. 14, 349-309, **2004**.

3. L. Juncheng, N. Jennifer, "Seed-mediated growth and manipulation of Au nanorods via size-controlled synthesis of Au seeds", J. Nanopart Res. 14, 1289-1297, **2012**.
4. M. Blosi, S. Albonetti, M. Dondi, G. Baldi, A. Barzanti "Process for preparing stable suspensions of metal nanoparticles and the stable colloidal suspensions obtained thereby",. WO 2010/100107 PCT/EP2010/052534, **2010**.
5. J. A. P´erez-Juste, I. Pastoriza-Santo, "Gold nanorods: Synthesis, characterization and applications", Coord. Chem. Rev. 249, 1870-1901, **2005**.
6. S. Dadras, P. Jafarkhani, "Effects of ultrasound radiation on the synthesis of laser ablated gold nanoparticles", J. Phys. D: Appl. Phys. 42, 1-5, **2009**.
7. http://irannano.org/nano/index.php?ctrl=news&actn=news_view&id=35105&lang=1, **1389.**
8. V. Sharma, K. Park, M. Srinivasarao, "Colloidal dispersion of gold nanorods:Historical background, optical properties,seed-mediated synthesis, shape separation and self-assembly", Mater. Sci. Eng., R 6, 1-38, **2009**.
9. K. Franklin, J- H- Song, Y. Peidong, "Photochemical Synthesis of Gold Nanorods", J. Am. Chem. Soc, 124, 14316-14317, **2002**.
10. X. Huang, M. A. El-Sayed, "Gold nanoparticles: Optical properties and implementations in cancer diagnosis and photothermal therapy", J. Adv. Res., 1, 13-28, **2010**.
11. M. Dondi, P. M. T. Cavalcantea, "Colour performance of ceramic nano-pigments", Dyes Pigm., 80, 226-232, **2009**.
12. D. Rowles, "Gold Colloid and Its Applications", Particle Synthesis Group Manager at BBI, **2010**.
13. M. Dondi, M. Blosi, "Ceramic pigments for Digital decoration inks: An overview", istec-cnr, Inst. Sci. Technol. Ceram., Faenza (Italy), **2010**.
14. A. Granmayeh Rad, "Gold nanoparticles:synthesising, characterizing and reviewing novel application in recenr years", Physics Procedia. 22, 203- 208, **2011**.
15. http://nano.ir/index.php?ctrl=news&actn=news_view&id=41567&lang=1, **1391**.
16. P. Ghosh, G. Han, M. De, Ch. K. Kim, V. M. Rotello, "Gold nanoparticles:interesting optical properties and recenr application in cancer diagnostics and therapy", Reviews. Nanomedicine. 2(5), 681-693, **2007**.
17. "Gold nanoparticles in delivery applications", Reviews. Advanced Drug Delivery. 60, 1307-1315. **2008**.