



مروری بر نانوذرات طلا: روش‌های سنتز و کاربردهای آن

اعظم زمانی*، فاطمه آبسالان

دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

طلا در ابعاد ماکروسکوپی، فلزی زرد و درخشنده و یکی از بی اثرترین فلزات محسوب می شود؛ خنثی بودن طلا و مقاومت آن در مقابل اکسیداسیون سطحی یکی از خصوصیات مهم این ماده است. زمانی که فلز طلا در ابعاد نانو تولید می شود، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن دستخوش تغییرات بسیاری می گردد. نانوذرات طلا به روش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تولید می شود. کارایی و پتانسیل کاربردی این ذره ها در کاتالیست و استفاده از آن به عنوان نشانگرهای میکروسکوپ الکترونی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. همچنین نانو ذرات طلا کاربرد وسیعی در تشخیص و درمان بیماری‌ها دارد و دارای اثرات ضد باکتریایی مناسبی بر علیه عفونت‌های انسانی است.

واژه های کلیدی: نانوذرات طلا، تولید، کاربرد، پزشکی

Azamani646@gmail.com : ایمیل نویسنده مسئول

۱- مقدمه

دو حالت محلول های آبی و محلول های غیر قطبی آلی تهیه می شوند [۶-۲].

تغییر و تنظیم خواص الکتریکی، الکتروشیمیایی، نوری و مغناطیسی، کاندیدای مناسبی برای جایگزینی با دیگر مولکول-های رنگی رایج به عنوان نشان-گر در تشخیص مولکولی می-باشد [۷،۱]. اگر ذره-های طلا به قطعات کوچکتر تقسیم شود به نقطه-های می-رسیم که اندازه-ی ذره-ها از طول موج بازتاب کم-تر می-شود در این حالت برهمکنش بین طلا و نور بسیار با اهمیت است و شامل نوسانات الکترونی است که این امر ناشی از رزونانس پلاسمن سطح است [۸]. براساس نظریه-های برخی از پژوهشگران فلزهایی همچون طلا و نقره (دارای الکترون در لایه-ی d) رزونانس-هایی با عنوان پلاسمون در طیف فرابنفش- مرئی از خود نشان می-دهند که این رزونانس-ها از برهمکنش امواج الکترومغناطیس و الکترون-های گازی محبوس ایجاد می-شود. این خاصیت رزونانسی نانوذره-ها را می-توان به کمک طیف-سنجی مشاهده کرد. این خاصیت تنها زمانی بروز

امروزه گرافن طلا در حالت توده-ای یک فلز زردرنگ، نرم، خنثی با ساختار مکعب مراکز وجوه پر و دمای ذوب ۱۰۶۸ درجه سانتی-گراد و رسانای خوب جریان برق است ولی هیچ یک از این خواص در مقیاس نانو وجود ندارد. رنگ زرد طلا به دلیل بازتاب نور رنگ آبی در انتهای طیف است. خنثی بودن طلا و مقاومت آن در مقابل اکسیداسیون سطحی یکی از خصوصیات مهم این ماده است. زمانی که فلز طلا در ابعاد نانو تولید می-شود، ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی آن دستخوش تغییرات بسیاری می-گردد [۱]. نانو ذرات طلا از دسته نانو ذره هایی هستند که بیشینه ای طو لانی در استفاده از آن ها وجود دارد. از شیشه گران قرون وسطی گرفته تا پژوهشگران پیشرفته ترین مرکز علمی امروز دنیا، همگی به این ویژگی ذره علاقه ویژه ای داشته و دارند فارادی را اولین فردی می توان دانست که نانو ذره-های طلا (که به شکل امروزی تولید شده است) را در حالت محلول تهیه کرده است. اما امروزه نانو ذره-های طلا با روش-های مختلف در هر



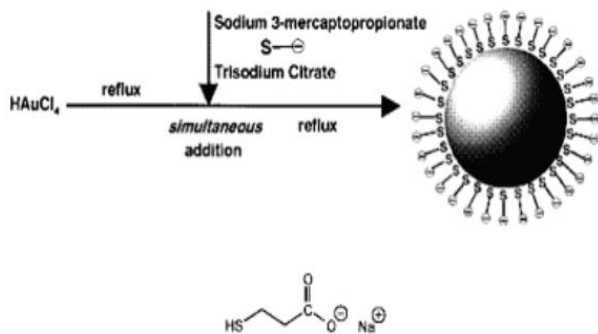
آلودگی استفاده شده است [۱۳]. براساس این خصوصیات بی-نظیر، کاربردهای جدید فناوری با استفاده از طلا در حال گسترش است. این کاربردها شامل کشاورزی، مواد و تجهیزات الکترونیکی، کاربردهای نظامی، معالجه سرطان و تکنیک‌های داروهای زیستی، کاتالیزت‌های جدید برای کنترل آلودگی، پیل‌های سوختی و فرآیندهای شیمیایی می‌باشد [۱۷-۱۴]. هدف از این تحقیق مروری بر بیان روش سنتز و کاربرد نانوذرات طلا در صنایع مختلف می‌باشد.

۲- روش‌های سنتز

برای تهیه نانوذره‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد، که از این طریق می‌توان ذره‌هایی با ویژگی‌های خاص تولید نمود. اما در حالت کلی می‌توان گفت اندازه، شکل و توزیع نانوذره‌ها مهم‌ترین عوامل مورد توجه پژوهشگران در تهیه نانوذره‌ها محسوب می‌شود. روش بالا به پایین در واقع همان روشی است که قرن‌هاست استفاده می‌شود و همان کاری است که دانشمندان از عنصر برنز، روی، چوب و سنگ انجام می‌دادند. روش بالا به پایین برای اولین‌بار توسط فاینمن به عنوان روشی برای ساخت دستگاه‌هایی در ابعاد نانومتری مطرح شد. به این ترتیب که دستگاه‌هایی با ابعاد بزرگتر دستگاه‌های کوچکتر را می‌سازند. این کار به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا اینکه ماشین‌هایی با ابعاد نانومتری به دست می‌آید. در روش بالا به پایین برای تولید محصول یک ماده توده‌ها را شکل‌دهی و اصلاح می‌کنند تا به اندازه‌های نانومتری برسند. در این روش دقت ابعاد به دست آمده بستگی به دقت ابزارها دارد. روش‌های لیتوگرافی، ریسندگی، مکانیکی (مثل آسیاب کردن) روش‌هایی هستند که منجر به ایجاد نانو ساختارها می‌شوند. در روش پایین به بالا مواد نانو با استفاده از به هم پیوستن بلوک‌های سازنده مانند اتم‌ها و مولکول‌ها و قرار دادن آن‌ها در کنار یکدیگر تولید می‌شوند. معمولاً روش‌های پایین به بالا ضایعاتی ندارند، هر چند الزاماً این مسأله صادق نیست. این فرآیندها شامل

می‌کند که ذره‌ها به یک اندازه معین در مقیاس نانو می‌رسند. با توجه به قطر لایه‌های مولکولی روی سطح فلز رزونانس‌های متفاوت و انعکاس‌های نوری متفاوتی ایجاد می‌شود و با تغییر اندازه و شکل نانوذره‌ها، رزونانس پلاسمون سطح هم دچار تغییر و جابه‌جایی می‌شود و در نتیجه خواص ظاهری، رنگ و جذب این نانوذره‌ها تغییر می‌کند [۱۰، ۹]. همانطور که اشاره شد دمای ذوب طلا ۱۰۶۴ درجه سانتی‌گراد است اما این دما در مقیاس نانو ثابت نمی‌ماند و تغییر می‌کند، به طوری که نانوذره‌های طلا با قطر تقریبی کم‌تر از 20 nm در دماهای پایین به آهستگی ذوب می‌شوند. نقطه ذوب در اندازه 3-4 nm به شدت افت می‌کند. علت این پدیده این است که هرچه ذره‌ها کوچک‌تر می‌شوند درصد اتم‌های سطحی افزایش می‌یابد. اتم‌های سطحی پیوند کوئوردیناسیون ضعیف‌تری نسبت به اتم‌های داخلی دارند و بنابراین با افزایش دما راحت‌تر به حالت سیال در می‌آیند و در دماهای پایین‌تر این اتفاق می‌افتد [۱۱]. پدیده‌های خاص الکترونیکی نیز یکی از خواصی است که در حوزه نانو اتفاق می‌افتد. همه بر این باورند که جریان برق در رساناها و نیم‌رساناها با حرکت الکترون‌ها برقرار می‌شود اما این ایده کلاسیک در مقیاس نانو صحیح نیست. در مقیاس نانو بعد فیزیکی اجسام از مقادیر کوانتومی شروع می‌شود [۱۲]. همان‌طور که می‌دانید طلا یکی از عنصرهای مهم در صنایع الکترونیک است. علت این امر رسانای الکتریکی بالای آن و مقاومت زیاد آن در برابر اکسایش است. سیمی که جنس آن از طلا نباشد در مقیاس نانو به خودی خود اکسید می‌شود. به همین دلیل برای لوازم الکترونیکی مولکولی از طلا استفاده می‌شود. طلا که رسانای خوب برق است در مقیاس نانو این ویژگی خود را از دست می‌دهد. ساختارهای طلا در مقیاس نانو بسته به شکلشان، به صورت نیمه هادی در می‌آیند [۱۲]. بعلاوه در حال حاضر ثابت شده است که نانوذرات طلا فعالیت خود را در دماهای پایین حفظ می‌کنند که از این مزیت به عنوان کاتالیزت در واکنش‌های شیمیایی و کنترل

اساس اخیراً نانوذره‌های طلا را با افزایش همزمان نمک سیترات و یک ماده مؤثر سطحی مانند سدیم ۳-مرکاپتو پروپیونات تهیه می‌کنند (شکل ۲) [۲۴].



شکل ۱: AuNPs پایدار شده با لیگاند مرکاپتو در آب

۲-۱-۲- روش براست- شیفین

براست- شیفین در سال ۱۹۹۴ روشی برای سنتز AuNPs ارائه کردند که اثر قابل توجهی در این رشته در کم‌تر از یک دهه گذاشت [۲۵]. زیرا این روش نانوذره‌هایی با پایداری گرمایی بالا و پایدار در هوا را تولید می‌کند (اندازه‌ی این ذره‌ها بین ۲/۵-۱/۵ نانومتر بود). در این روش که از سامانه‌ی دوفازی فارادی الهام گرفته شده است AuCl₄ با استفاده از تترااکیل آمونیوم برمید به عنوان عامل انتقال فاز به تولوئن منتقل می‌شود و به وسیله NaBH₄ در حضور دودکان-تیول کاهش می‌یابد. به محض افزایش رنگ فاز آلی از نارنجی به قهوه‌ای تغییر می‌کند (شکل ۲) [۶]. همچنین براست این سنتز را با پارامرکاپتوفنول در یک سامانه تک-فازی انجام داد که روش مناسبی برای سنتز AuNPs پایدار شده با لیگاندهای تیول عامل-دار است. او متوجه شد که با کنترل نسبت تیول به طلا می‌توان اندازه‌ی نانوذره‌های طلا را کنترل کرد [۲۷، ۲۸، ۲۶، ۱۸].

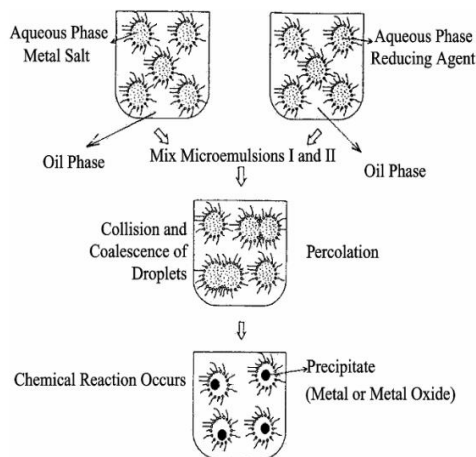
فرآیندهای فیزیکی مانند: نشست شیمیایی بخار، نشست فیزیکی بخار، آئروسول و فرآیندهای شیمیایی مانند: سل-ژل، میکروامولسیون، هم-رسوبی و ... می‌باشد [۱۸]. از این میان روش‌های فیزیکی و شیمیایی به‌منظور تولید نانوذرات فلزی به دما، فشار و زمان بالا نیاز دارند و همچنین پرهزینه نیز می‌باشند. از طرفی باقی ماندن میزان کمی از پیش ماده‌های سنتز نانوذرات تولیدی، سبب ایجاد سمیت در بدن انسان می‌گردد. بنابراین برای به‌دست آوردن نانوذراتی که دارای سازگاری بیشتری با بدن باشند، از روش بیولوژیکی استفاده می‌کنند. این روش عمدتاً توسط فرآیندهای آنزیمی و گاهی غیر آنزیمی رخ داده و به دلیل عدم تولید مواد سمی در محیط، به عنوان تکنولوژی سبز نیز خوانده می‌شود [۱۹].

۲-۱-۲- روش‌های شیمیایی

۱-۱-۲- کاهش توسط سیترات

از جمله روش‌های تهیه نانوذره‌های طلا، روش کاهش شیمیایی است که در این روش، به منظور کاهش یون‌های طلا از یک کاهنده استفاده می‌شود؛ این روش اولین بار توسط ترکویچ در سال ۱۹۵۱ معرفی شد. نانوذره‌های طلا به‌وسیله کاهش نمک‌های طلا در آب با استفاده از یون سیترات به عنوان عامل کاهنده ایجاد می‌شود که به تولید نانوذره‌های کروی به قطر ۲۰ nm می‌انجامد [۲، ۲۰]. همچنین می‌توان از اسیدهای آمینه (فنیل آلانین) به عنوان عامل کاهنده در زمینه تهیه نانوذرات طلا استفاده کرد [۲۲، ۲۱]. پس از آن فرانس در سال ۱۹۷۳ بیان کرد که می‌توان AuNPs را در اندازه‌های مختلف با استفاده از کنترل نسبت عامل کاهش‌دهنده/ عامل پایدار کننده به‌دست آورد [۲۳]. همچنین پایدارکننده‌های مختلفی در تهیه نانوذرات مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان به پلی-مرهایی مثل پلی-اتیلن گلیکول (با جرم‌های مولکولی مختلف)، پلی-وینیل-الکل، توئین ۸۰، تریتون و کربوهیدرات‌هایی از قبیل کیتوزان اشاره کرد [۲۳]. بر این

به صورت محیطی برای پیشرفت واکنش عمل نمی‌کنند، بلکه در کنترل رشد و پایداری AuNP یا نانوبلور نقش دارند [۳۰].



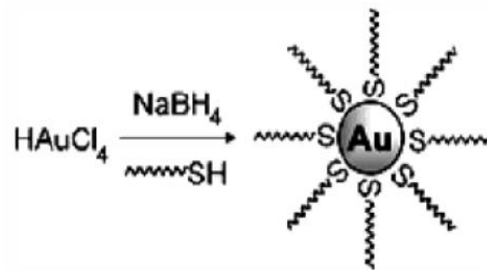
شکل ۳: شمایی از روش میکروامولسیون

۲-۲-۲- روش‌های فیزیکی

فوتوشیمیایی، پرتوکافت، گرماکافت و سونوشیمی تابش فرابنفش پارامتر دیگری است که می‌تواند کیفیت AuNPs را بهبود دهد. در کاهش فوتوشیمیایی آغازگرهای فوتونی نور را در ناحیه Vis-UV جذب می‌کنند و واسطه‌های فعالی مانند رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌دهند که یون‌های فلزی را به فلز کاهش می‌دهند [۳۴]. ترکیب‌های فنولی مدت طولانی است که به عنوان آغازگر شناخته شده‌اند، همچنین انواع دیگر آغازگرهای فوتونی مانند پلیونیل پیرولیدن، پلیونیل الکل، متانول، فرمیک-اسید، اتیلن‌دی‌آمین-تتراستیک-اسید و ... نیز گزارش شده‌است [۳۷، ۳۶، ۳۵، ۴].

۲-۲-۱- میدان فراصوت

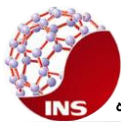
حضور یک میدان فراصوت (200 kHz) اجازه کنترل سرعت کاهش AuCl₄ را در یک محلول آبی می‌دهد و می‌توان با به‌کار بردن پارامترهایی همچون دمای محلول، شدت فراصوت و موقعیت راکتور، اندازه‌ی AuNPs تشکیل شده را تعیین کرد [۳۸]. میدان فراصوت می‌تواند حباب‌های صوتی تولید کند، در مرحله اول حباب‌ها رشد می‌کنند و در مرحله بعد هنگامیکه اندازه حباب‌ها به بیشته خود برسد حباب‌ها منفجر می‌شود. براساس مباحث نظری نقاط داغ پس از انفجار حباب‌ها دمای بسیار زیاد حدود ۲۵۰۰-۵۰۰۰ کلوین ایجاد می‌شود که می‌تواند مولکول‌های آب را به رادیکال‌های هیدروکسیل و هیدروژن تفکیک کند. این روش یک واکنش سریعی را در مقایسه با سنتز شیمیایی ارائه می‌دهد و قادر به تولید ذره‌های خیلی



شکل ۲: شمای ساده از روش سنتز براست- شیفین

۳-۱-۲- میکروامولسیون

اسکالمن در سال ۱۹۴۳ عنوان کرد که ترکیب آب، روغن، ماده‌ی مؤثر سطحی با پایه الکل یا آمین محلول همگن و شفاف را ایجاد می‌کند. او برای نخستین بار سامانه‌های میکروامولسیونی را توضیح داد. در ابتدا او این سامانه را به صورت سامانه‌های خودآرا، در مخلوط روغن و آب همراه با نسبت زیادی از ماده‌ی مؤثر سطحی در نظر گرفت. بعداً در سال ۱۹۵۹ او و همکارانش تصویر کلی از میکروامولسیون‌های شفاف و نیمه‌شفاف با اندازه‌های کروی و استوانه‌های در محدوده ۸-۱۰ نانومتر را معرفی کردند [۲۹]. دوگانه دوستی مواد مؤثر سطحی آن‌ها را در هیدروکربن‌ها و نیز در آب انحلال‌پذیر کرده است. این ترکیب‌ها به صورت مونومر وجود دارند ولی وقتی غلظت آن‌ها از غلظت میسل بحرانی افزایش می‌یابد به طور خودبه‌خود میسل تشکیل می‌دهند. تشکیل میسل به‌وسیله برهمکنش قوی دم‌های غیرقطبی از مولکول ماده‌ی مؤثر سطحی (فاز پیوسته آب) یا به‌وسیله برهمکنش آبدوست سرقطبی مولکول ماده‌ی مؤثر سطحی پیش می‌رود (فاز پیوسته آلی) [۳۰]. امروزه روش میکروامولسیون‌ها، کوپلیمر میسل‌ها، میسل‌های معکوس و مواد مؤثر سطحی به طور قابل ملاحظه‌ای در تهیه AuNPs و سایر نانوذره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۳۳، ۳۲، ۳۱]. تهیه AuNPs با این روش شامل یک سامانه دوفازی با یک ماده‌ی مؤثر سطحی است که سبب تشکیل میکروامولسیون در یک میکرو محیط مناسب، با استخراج یون‌های فلزی از فاز آبی به فاز آلی می‌شود (شکل ۳). از مزیت‌های این سامانه‌ی دوفازی، نقش دو جانبه ماده‌ی مؤثر سطحی است، آن‌ها تنها



نانوذره‌ها در نانوکامپوزیت‌ها بسیاری از خواص نوری، الکترونیکی، مغناطیسی، شیمیایی و گرمایی آن تغییر خواهد کرد. به تازگی در ساخت شیشه‌های ضدآفتاب از نانوذره‌های اکسید روی استفاده شده‌است. استفاده از این ماده علاوه بر افزایش کارایی این نوع شیشه‌ها، عمر آن‌ها را نیز چندین برابر می‌کند. از نانوذره‌ها همچنین در ساخت انواع ساینده‌ها، رنگ‌ها، کاتالیزورها، لایه‌های محافظتی جدید و بسیار مقاوم برای شیشه‌ها و عینک‌ها (ضدجوش و نشکن)، کاشی‌ها و در حفاظت‌های الکترومغناطیسی شیشه‌های خودرو و در و پنجره استفاده می‌شود. پوشش‌های ضدنوشته برای دیوارها و پوشش‌های سرامیکی برای افزایش استحکام سلول‌های خورشیدی نیز با استفاده از نانوذره‌ها تولید شدند. همچنین نانولوله‌های کربنی کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف دارند که از آن جمله می‌توان به تصویربرداری زیستی دقیق، حسگرهای شیمیایی و زیستی قابل اطمینان و دارای عمر طولانی، شناسائی و جداسازی کاملاً اختصاصی DNA، ژن‌درمانی و از بین بردن باکتری‌ها اشاره کرد [۱۸]. بی‌اثر بودن طلا و مقاومت آن در مقابل اکسایش سطحی یکی از ویژگی‌های مهم این فلز می‌باشد. همچنین خواص اپتیکی طلا در مقیاس نانو بسیار جالب است، در حال حاضر ثابت شده است که نانوذره‌های طلا در تعدادی از واکنش‌های مهم تجاری به صورت کاتالیزورهای فعال بوده و دارای شیمی سطح مناسبی هستند. براساس این ویژگی‌های بی‌نظیر، کاربردهای جدید فناوری نانو با استفاده از طلا در حال گسترش است. این نانوذره در زمینه‌های کشاورزی، الکترونیک، کاتالیزورها، رنگ‌ها، پوشش‌دهی و داروها کاربردهایی دارند [۱۸].

۱-۳- کاتالیزورها

یکی از کاربردهای جدید نانوذره‌های طلا، استفاده از آن‌ها به عنوان کاتالیزور در فرآیندهای شیمیایی، کنترل آلودگی و پیل‌های سوختی است. هرچند تا به امروز بیشتر پژوهشگران، امکان استفاده از طلا را به عنوان یک کاتالیزور سودمند نمی‌دانند. برای استفاده از طلا به عنوان کاتالیزور، نیاز به تهیه طلا با اندازه ذره‌های بسیار کوچک (کمتر از ۵ nm) روی یک ماده حامل اکسیدی است. استفاده از این نانوذره‌ها منجر به یک سطح تماس بسیار بزرگ بین کاتالیزور و فاز مایع یا گاز می‌شود. البته بالا بودن سطح فعال تنها دلیل استفاده از نانوذره‌ها به عنوان کاتالیزور نیست. طلا معمولاً از نظر شیمیایی در دسته فلزهای نجیب طبقه‌بندی می‌شود؛ اما هاروتا اولین کسی بود که نشان داد، نانوذره‌های طلا کاتالیزورهای بسیار فعالی هستند که در دماهای خیلی پایین می‌توانند مؤثر باشند [۱]. او نشان داد، کاتالیزورهای نانوذره طلا برای اکسایش کربن-مونوکسید بسیار فعال هستند. وی تعدادی از پایه‌های اکسید فلزی را آزمایش کرد و مشاهده نمود که بهترین نتایج با $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ و با بارگذاری ۵٪ نانوذره‌های طلا به دست می‌آید. او همکارانش خواص کاتالیزگری نانوذره‌های طلا را برای اکسایش H_2 و CO، کاهش NO، احتراق متانول نشان دادند [۲۵، ۵۱، ۵۰، ۲۵، ۴]. نتایج به دست

کوچک است، اگرچه نانوذره‌های تولید شده با این روش توزیع اندازه وسیعی دارند (شکل ۵) [۳۹]. پرتوکافت نیز در کنترل اندازه‌ی AuNPs یا سنتز آن‌ها در حضور رادیکال‌های ویژه به کار می‌رود [۴۰].

۳-۲- روش بیولوژیکی

با توجه به نیاز روز افزون بشر به ابداع روش‌هایی برای ساخت نانوذرات که آلودگی‌های زیست-محیطی در بر نداشته باشند، و علاوه بر این دارای سازگاری بیشتری با بدن باشند، استفاده از میکروارگانیسم‌ها بسیار مناسب است [۴۲، ۴۱، ۱۹]. یکی از دلایل تولید نانوذرات فلزی توسط میکروارگانیسم‌ها، کاهش اثرات سمی یون‌های فلزی موجود در محیط رشد میکروب‌ها می‌باشد. این امر موجب شده که میکروارگانیسم‌ها نتوانند بر غلظت‌های بالای یون‌های فلزی رشد نموده و زنده بمانند. میکروارگانیسم‌ها این عمل را از طریق احیای بیولوژیکی یون‌های فلزی سمی (با استفاده از آنزیم‌های خاص مانند NADH ردوکتاز و یا نیترات ردوکتاز) به عناصر فلزی کم‌تر سمی، انجام می‌دهند [۴۳]. علاوه بر این حضور برخی پلی-ساکاریدها و مواد آلی تولیدی توسط میکروارگانیسم‌ها در درون سلول‌ها و نیز در درون محیط کشت سبب تولید نانوذرات فلزی می‌گردد. این مواد آلی از طریق گروه‌های عملکردی خود مانند سیستئین، هیستیدین، آلدئیدها، کتون‌ها و... موجب احیای یون‌های فلزی به ناذرات فلز می‌باشند [۴۳].

۳-۱- کاربردهای نانوذرات طلا

اگر پذیرفته شود که فناوری نانو، توانمندی تولید مواد، ابزار و سامانه‌های جدید همراه با کنترل در سطح مولکولی، اتمی و استفاده از خواص آن سطوح است آنگاه دریافت می‌شود که کاربردهای این فناوری، در حوزه‌های مختلف به گونه‌های است که به زحمت می‌توان عرصه‌های را که از آن تأثیر نپذیرد معرفی نمود. با استفاده از فناوری نانو، در مقایسه با مواد قدیمی یا متداول، فرآورده‌های بهتر و ارزان‌تری را می‌توان در دسترس بشر قرار داد. انواع متعددی از مواد که در حال حاضر می‌توان به شکل ذره‌هایی در مقیاس نانو ساخت، فقط شامل مثال‌های آشنایی چون، نانولوله‌های کربنیف سلنید کادمیم CdSe و نقاط کوانتومی نیست؛ بلکه شامل طیف وسیعی از فلزها و اکسیدهای فلزی، سولفیدها، فلئوریدها، کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و چندین دسته مواد دیگر نیز می‌شود. توسعه در زمینه شیمی نانوذره‌ها و اصول ریخت-شناسی سطح وسیع کاربردهای آن را آشکار می‌کند. استفاده از نانولوله‌های کربنی در بافت‌ها و نانوذره‌های روی یا اکسید-تیتانیوم در صفحات خورشیدی، فقط قسمتی از این کاربردهای پرشمار است. از اولین باری که بشر مواد مصنوعی را ساخت، اضافه کردن مواد ریز به مواد زمینه یکی از روش‌های مرسوم برای تغییر خواص مواد بوده‌است. به هر حال ذره‌های افزودنی که اولین بار استفاده شدند بزرگتر از ابعاد نانو بودند. پس اولین کاربردی که برای نانوذره‌ها می‌توان تصور کرد، استفاده از این مواد در تولید نانوکامپوزیت‌هاست. با استفاده از

آمده توسط هاروتا و همکارانش تاکنون در بسیاری از آزمایشگاه‌های سراسر جهان تکرار شده و علاقه روز افزونی را برای استفاده از کاتالیزگرهای طلا ایجاد کرده است [۱۱]. از جمله کاربردهای کاتالیزگری نانوذره‌های طلا، می‌توان به استفاده از نانوکاتالیزگرهای طلا بر پایه کربن برای ساخت الکتروکاتالیزور غشایی پیل‌های سوختی اشاره کرد. یکی از چالش‌های استفاده از پیل‌های سوختی، کاهش قیمت این سامانه‌ها است. در تعدادی از واکنش‌های کاتالیزی که در پیل سوختی اتفاق می‌افتند، کاتالیزگرهای متداول بر پایه استفاده از فلزهای گروه پلاتین است. قیمت کاتالیزگر فلزی گرانبها بخش مهمی از هزینه کلی سامانه است و با توجه به قیمت بالای پلاتین، کاتالیزگرهای ارزان‌تر به شدت مورد توجه هستند. با توجه به قیمت پایین‌تر طلا نسبت به پلاتین، تحقیقاتی در رابطه با استفاده از طلا به عنوان الکتروکاتالیزگر، به‌ویژه به‌عنوان بخشی از یک سامانه دو فلزی با لزه‌های گروه پلاتین در حال انجام است [۱].

۳-۲- پوشش‌ها

رنگ یاقوتی کلئیدهای طلا قرن‌هاست که برای شیشه‌های رنگی و ظروف تزئینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اکنون استفاده از نانوذره‌های فلزی گرانبها برای کاربردهای ساخت دکور و پوشش‌دهی مورد توجه قرار گرفته است. به تازگی شرکت تولید کننده رنگ نیپون در ژاپن روش جدیدی را برای تهیه نانوذره‌های طلای پایدار با قطر ۵-۱۵ نانومتر گسترش داده‌اند که شامل دو فناوری کلیدی می‌شود، یکی محافظت ذره‌ها از تجمع با استفاده از یک کوپلیمر بلوک شانه‌ای شکل برای پایدار کردن ذره‌ها و دیگری استفاده از یک روش کاهش آمین برای تولید نانوذره‌های طلا تحت شرایط صنعتی است. این شرکت موفق به تولید نانوخمیر شامل ۹۵٪ ذره‌های فلزی شده‌اند. این فناوری در تولید رنگ دینامیک یا پوشش‌دهی به کار می‌رود [۲، ۴، ۲۵، ۵۰].

۳-۳- زیست-فناوری و پزشکی

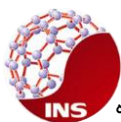
از جمله مسائل دیگری که اهمیت تولید نانوذره‌های طلا را مشخص می‌کند، استفاده از این ذره‌ها به منظور ایجاد روش‌های نوین برای تشخیص انواع بیماری‌های ژنتیکی و پاتوزنیک می‌باشد؛ که معمولاً در این موارد از اتصال رشته‌های DNA به نانوذره‌های طلا و نیز اتصال آنتی‌بادی، آنتی‌ژن بیماری‌ها به این نانوذره‌های استفاده می‌کنند [۵۲، ۵۳، ۵۴]. همچنین، با توجه به فعالیت بالای نانوذره‌های طلا و تمایل آن‌ها به اتصال با زیست مولکول‌ها و درشت مولکول‌ها، می‌توان کاربردهای متعددی را برای این ذره‌ها در نظر گرفت؛ همچنین با استفاده از نانوذره‌های طلا و اتصال این ذره‌ها به پپتیدها، پروتئین‌ها، DNAها و پلیمرهای زیست‌شیمیایی، کمپلکس‌ها و مواد جدیدی را می‌توان تولید نمود که در تشخیص میکروارگانیزم‌ها، بافت‌های سرطانی و غیره هم در شرایط داخل بدن و هم در شرایط آزمایشگاهی مؤثر باشد [۵۴، ۵۲].

۴. نتیجه‌گیری

تهیه نانو ذرات طلا با روشی نسبتاً آسان و سریع از یک سو، و نیز استفاده از مواد اولیه بی‌خطر و غیر سمی از سوی دیگر، منجر به افزایش کاربرد آن در صنایع مختلف می‌شود. با توجه به فعالیت بالای نانوذرات طلا و تمایل آنها به اتصال با بیومولکول‌ها و ماکرومولکول‌ها، از نانوذرات طلای متصل شده به پپتیدها، می‌توان به منظور ردیابی مسیر آن‌ها در درون سلول‌ها بهره‌گیری نمود که روشی مفید و مهم برای تصاویر سلولی، دارورسانی و شناسایی بیومولکول‌هاست. همچنین استفاده از نانوذرات طلا باعث بهبود کیفیت تشخیص و شناسایی بیماری‌ها و درمان شده است.

مراجع

1. Daniel, M.C., Astruc, D. Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology. *Chem. Rev.*, 104 (1): 293-346, 2004 .
2. Turkevich J, Stevenson PC, Hillier J. Preparation of 2.5×10^{-4} M gold colloids (Sodium citrate reduction method) *Discuss. Faraday Soc.* (11):55-59, 1951.
3. Duff DG, Baiker A, Edwards PP. A new hydrosol of gold clusters. 1. formation and particle size variation. *Langmuir*, 9(9):2301-2309, 1993 .
4. Henglein A. Radiolytic preparation of ultrafine colloidal gold particles in aqueous solution: optical spectrum, controlled growth, and some chemical reactions. *Langmuir*, 15(20):6738-6744, 1999 .
5. Mizukoshi Y, Fujimoto T, Nagata Y, Oshima R, Maeda Y. Characterization and catalytic activity of core-shell structured gold/palladium bimetallic nanoparticles synthesized by the sonochemical method. *J Phys Chem B.*(104):6028-6032, 2000.
6. Brust M, Walker M, Bethell D, Schiffrin DJ, Whyman R. Synthesis of thiolderivatised gold nanoparticles in a two-phase Liquid-Liquid system. *J Chem Soc Chem Commun.*(7):801-802, 1994.
7. Jianrong, C.h., Yuqing, M., Nongyue, H., Xiaohua, W., Sijiao, L. and et al. Nanotechnology And biosensors. *Biotechnology Advances*, (22):505-518, 2004.
8. Frens G. Controlled Nucleation for the Regulation of the Particle Size in Monodisperse Gold Suspensions. *Nature: Phys. Sci.* (241): 20-22, 1973.
9. Sales EA, Benhamida B, Caizergues V, Lagier J-P, Fievet F, Bozon-Verduraz F. Alumina-supported Au,



- arrays. Appl. Phys. Lett Bhargava, S.K., Booth, J.M.; Agrawal, S., Coloe, P., and Kar, G., Langmuir, (82): 3095-3097, 2003.
24. Yonezawa T. Kunitake T. Practical preparation of anionic mercapto ligand-stabilized gold nanoparticles and their immobilization. Colloids Surf. A: Physicochemical. Eng. Asp Bhargava, S.K., Booth, J.M.; Agrawal, S., Coloe, P., and Kar, G., Langmuir, (149): 193-199, 1999.
25. Haruta M, Yamada N, Kobayashi T, Ijima S. Gold Catalysts Prepared by Coprecipitation for Low-Temperature Oxidation of Hydrogen and of Carbon Monoxide. J. Catal Bhargava, S.K., Booth, J.M.; Agrawal, S., Coloe, P., and Kar, G., Langmuir, (115): 301- 309, 1989.
26. Capek I. Preparation of metal nanoparticles in water-in-oil (w/o) microemulsions. Colloid and Interface Science, 30, 110(1-2): 49-74, 2004.
27. Graffet E, Tchikart M, ElKedim O, Rahouadj R. Nanostructural materials formation by mechanical alloying: Morphologic analysis based on transmission and scanning electron microscopic observations. Mater. Charact, 36 (11): 185, 1996.
28. Park J E, Atobe M, Fuchigami T. Synthesis of Multiple Shapes of Gold Nanoparticles with Controlled Sizes in Aqueous Solution Using Ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry, 13 (3): 237-241, 2006.
29. Shevchenko E, Talapin D, Kornowski A, Wiekhorst F, Weller H. Colloidal Crystals of Monodisperse FePt Nanoparticles Grown by a Three-Layer Technique of Controlled Oversaturation. Adv. Mater, 14(4): 287-29, 2002.
30. Corti C W, Holliday R J, Thompson D T. Developing new industrial applications for gold: gold nanotechnology. Gold Bull, 35 (4): 111-117, 2002.
31. Manna A, Chen P L, Akiyama H, Wei T X, Tamada K, Knoll W. Optimized Photoisomerization on Gold Nanoparticles Capped by Unsymmetrical Azobenzene Disulfides. Chem. Mater, 15 (21): 20-28, 2003.
32. Kewal K, Jain T. Nanotechnology in clinical laboratory diagnostics. Clinica Chimica Acta, 358 (1-2): 37-54, 2005.
33. Salavati niasar, M. nanochemical (fabrication methods, properties, and applications), Publications of knowledge, (203): 1388.
34. Porter L A, Ji D, Westcott S L, Graupe M, Czernuszewicz R S, Halas N J, Lee T R. Gold and Pd, Ag and Pd-Ag catalysts: preparation through the polyol process, characterization and reactivity in hexa-1,5-diene hydrogenation. Appl Catal A, 172(2): 273-283, 2013.
10. Salata O. V. Applications of nanoparticles in biology and medicine, J. N anobiotechnology, (2): 1-8, 2004.
11. Giersig M, Mulvaney P. Preparation of ordered colloid gold nanoparticle monolayers by electrophoretic deposition. Langmuir, 9(12): 3408-3413, 1993.
12. Faraday M. The bakerian lecture: Experimental relation of gold (and other metals) to light. Philos. Trans. R. Soc. Lond, (147): 145-181, 1857.
13. Liu, ZP., Hu, P., Alavi, A. Catalytic role of gold in gold-based catalysts: a density functional Theory study on the CO oxidation on gold. J Am Chem Soc, 11, 124(49): 14770-14779, 2002.
14. Ingram RS, Hostetler MJ, Murray RW. Poly-hetero-functionalized alkanethiolate-stabilized gold cluster compounds. J Am Chem Soc, 119 (39): 9175-9178, 1997 .
15. Storhoff JJ, Mirkin CA. gold nanoparticle synthesis with DNA. Chem Rev, (99): 1849-1862, 2009 .
16. Niemeyer CM. gold Nanoparticles, proteins, and nucleic acids: biotechnology meets materials science. Angew Chem Int Ed, (40): 4128-4158, 2001 .
17. Bielinska A, Eichman JD, Lee I, Baker JR Jr, Balogh L. Imaging {Au0-PAMAM} gold-dendrimer nanocomposites in cells. J Nanopart Res, (4): 395-403, 2002 .
18. Eustis S, El-Sayed M A. Why gold nanoparticles are more precious than pretty gold: Noble metal surface plasmon resonance and its enhancement of the radiative and nonradiative properties of nanocrystals of different shapes. Chemical. Soc. Rev, (35): 209-217, 2006.
19. Mohanpuria, P., Rana, N.K., Yadav, Su.K. Biosynthesis of gold nanoparticles: technological concepts and future applications. J Nanopart Res, 10: 507-517 (2013) .
20. Tzhayik O, Sawant P, Efrima S, Kovalev E, Klug J T. Xanthate Capping of Silver, Copper, and Gold Colloids. Langmuir, 18(8): 3364-3369, 2002.
21. cong-cong Lu, Min Zhang, An-Jun Li, Xi-Wen He and ; Xue-Bo Yin, 117(40) 20681-20688, 2013.
22. cong-cong Lu, Min Zhang, An-Jun Li, Xi-Wen He and ; Xue-Bo Yin, 23(10) 2421-2428, 2011.
23. Fe'lidj N, Aubard J, Le'vi G, Krenn J R, Hohenau A, Schider G, Aussenegg F R. Optimized surface enhanced Raman scattering on Gold nanoparticle

- characteristics and practical importance. Academic Press London, 1-10, 1973.
47. Ahmad, A., Senapati, S., Islam Khan, M., Kumar, R., Ramani, R., Srinivas, V. Intracellular. Synthesis of gold nanoparticles by a novel alkalotolerant Actinomycete, *Rhodococcus* sp. *Nanotechnology*, (14): 824-828, 2003.
48. Ahmad, A., Senapati, S., Islam Khan, M., Kumar, R., Sastry, M. Extracellular biosynthesis of monodisperse gold nanoparticles by a novel extremophilic Actinomycete, *Thermo- monospora* sp. *Langmuir*, 19 (8): 3550-3553, 2003.
49. Bhattarai, Sh.R., Bahadur, R., Aryal, S., Bhattarai, N., Young, Kim, S., Keun Yi, H. and et al. Hydrophobically modified chitosan/ gold nanoparticles for DNA delivery. *J Nanopart Res*, 10:151-162 (2008).
50. Weaver S, Taylor D, Gale W. Mills G. Photoinitiated Reversible Formation of Small Gold Crystallites in Polymer Gels. *Langmuir*,(12): 4618-4620, 1996.
51. Rogach A L, Shevchenko G P, Afanas'eva Z M, Sviridov V V. Changes in the morphology and optical absorption of colloidal silver reduced with formic acid in the polymer matrix under UV irradiation. *J. Phys. Chem. B*, 101 (41): 8129-8132, 1997.
52. Logunov S L, Ahmadi T S, El-Sayed M A, Khoury J T, Whetten R L. Electron Dynamics of Passivated Gold Nanocrystals Probed by Subpicosecond Transient Absorption Spectroscopy. *J. Phys. Chem. B*, (101): 3713-3719, 1997.
53. Pal A. photochemical synthesis of gold nanoparticles via controlled nucleation using a bioactive molecule. *Materials Letters*,(58): 529- 534, 2004.
54. Sakurai H, Haruta M. Synergism. Methanol Synthesis from Carbon Dioxide Over Gold Catalysts Supported on Metal Oxides. *Catal. Today*, 29 (1-4): 361-365, 1996.
6. پی نوشت
1. British Retail Consortium (BRC) Institute of Packaging (IOP).
2. Good Manufacturing Practice (GMP) European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO).
3. International Organization for Standardization.
35. Reed J A, Cook A, Halaas D J, Parazolli P, Robinson A, Matula T J, Griezer F. The effects of microgravity on nanoparticle size distributions generated by the ultrasonic reduction of an aqueous gold-chloride solution. *Ultrason. Sonochem*, 10(4-5):285-289, 2003.
36. Sohn B H, Choi J M, Yoo S II, Yun S H, Zin W C, Jung J C, Kanehara M, Hirata T, Teranishi T. Directed Self-Assembly of Two Kinds of Nanoparticles Utilizing Monolayer Films of Diblock Copolymer Micelles. *J. Am. Chem*, 2001.
37. Yonezawa T. Kunitake T. Practical preparation of anionic mercapto ligand-stabilized gold nanoparticles and their immobilization. *Colloids Surf. A: Physicochemical. Eng. Asp*, (149): 193-199, 1999.
38. Shad T C, Dimitra G, Mirkin C A. Gold nanoparticle probes for the detection of nucleic acid targets. *Clinica Chimica Acta*. 2005; xx : xxx - xxx.
39. Paolo F, Larry J, Saul S. *Nanobiotechnology: the promise and reality of new approaches to molecular recognition. Trends in biotechnology*, 23 (4) : 169-173, 2005.
40. Kawai T, Neivandt D J, Davies P B. Sum frequency generation on surfactant-coated gold nanoparticles . *J. Am. Chem. Soc*, (122): 12031-12032, 2000.
41. Glomm, W.R. Functionalized gold nanoparticles for applications in bionanotechnology *Journal of Dispersion Science and Technology*, (26):389-414 2005.
42. Mandal, D., Bolander, M.E. Mukhopadhyay, D., Sarkar, G., Mukherjee, P. The use of microorganisms for the formation of metal nanoparticles and their application. *Appl Microbiol Biotechnol*,(69): 485-492, 2006.
43. Mollazadeh moghadam k. An introduction to microbial metal nanoparticle preparation method. *J Young Invest*,(19):18-24, 2010.
44. Southamand, G., Bevreidge, T. The occurrence of sulfur and phosphorus within bacterially derived crystalline and pseudocrystalline, (60): 4369-4376, 1996.
45. Nair, B., Pradeep, T. Coalescence of nanoclusters and formation of submicron crystallites assisted by *Lactobacillus* strains. *Crystal Growth & Design*, 2(4):293-298, 2002.
46. Gottlieb, D., Sykes, G., Shinner, F.A. General consideration and implication of the actinomycetales,