

تولید نانو ذرات طلا با استفاده از توده زیستی گندم و بررسی پارامترهای مؤثر

مهدی ذاکری*⁺

تهران، دانشگاه تربیت مدرس، جهاد دانشگاهی تربیت مدرس، گروه پژوهشی فراوری مواد معدنی

جواد فصیحی

تهران، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

چکیده: استفاده از توده‌های زیستی برای تولید نانو ذرات روشی به نسبت ساده و مقرون به صرفه‌تر از روش‌های دیگر تولید نانو ذرات می‌باشد. در این پژوهش گندم به‌عنوان توده زیستی و عمل کاهنده برای تولید نانو ذرات طلا مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب طلا دار مورد استفاده در این طرح تترا کلرو اوریت ($H_2AuCl_4 \cdot 2H_2O$) بود. سوسپانسیونی از پودر سبوس گندم در ۱۰ میلی‌لیتر محلول $Au(III)$ با غلظت‌های مشخص در گستره‌ی pH از ۱/۵ تا ۵ در مدت زمان‌های معین به هم زده شده و پس از انجام واکنش، محلول سوسپانسیون به مدت بیست دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. محلول به دست آمده با دستگاه اسپکتروفتومتری و TEM تجزیه شد. در این مطالعه تأثیر پارامترهایی همچون میزان pH، دما، زمان و غلظت بون کلرید محیط واکنش مورد بررسی قرار گرفت. بازه‌ی اندازه نانو ذرات طلای تولید شده در این روش بین ۵ تا ۵۰ نانومتر بود.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات طلا، توده‌های زیستی، گندم.

KEY WORDS: Nanogold particles, Biomass, Wheat.

مقدمه

فراهم کرده است. انتقال الکترون در نانوذرات طلا مورد توجه بسیاری از گروه‌های پژوهشی بوده است. در الکترونیک با ابعاد نانویی، طلا ماده‌ای بسیار جذاب است، زیرا ذرات آن در ابعاد گوناگون (از ۰/۸ تا ۲۰۰ نانومتر) قابل تهیه بوده و همچنین امکان جداسازی این نانوذرات با گستره اندازه بسیار کوچک (مونودیسپرس) وجود دارد. ویژگی‌های الکتریکی ذرات فلزی مشابه با فلزات توده‌ای است. در برابر مولکول‌ها که ویژگی انتقال الکترون نشان نیازمند توصیف مکانیک کوانتومی است، باردار شدن در نانوذرات فلزی تنها نیاز به دانشی از اندازه آنها و خواص دی‌الکتریک محیط اطراف آنها دارد.

در طی چند سال اخیر استفاده از نانوذرات فلزی کاربردهای بسیاری در تکنولوژی‌های جدید پیدا کرده است. به ویژه استفاده از نانوذرات فلزی در ابزار نانو الکترونیک بسیار امیدبخش بوده است [۱]. نانوذرات طلا بیش از ۴۰۰ سال برای درمان بیماری‌ها و پوشش دادن شیشه‌ها و میناکاری به کار رفته‌اند. امروزه، تهیه مواد از طلا در اندازه نانویی با توجه به ویژگی‌های کم‌نظیرش که متمایز از طلای توده‌ای است، بسیار اهمیت یافته است. خواص ویژه نانو ساختارهای طلا پتانسیل به کارگیری آنها را فناوری‌های گوناگون مانند کاتالیز، صنایع شیمیایی، بیوتکنولوژی، ابزار الکترونیکی و الکترواپتیکی

*E-mail: m.zakeri@acecr.ac.ir

*عقد دار مکاتبات

آرمنداریز^(۵) و همکاران از بافت مرده ساقه جو برای جذب سطحی یون طلا (III) از محلول آبی و امکان شکل‌گیری نانوذرات طلا را بررسی کرده‌اند [۵]. آنها از آزمایش‌های حالت ایستا برای مطالعه تأثیر pH و به‌منظور درک بهتر از مکانیسم درگیر در پیوند شدن یون فلزی به پیکره توده زیستی و شکل‌گیری نانوذره طلا بهره‌برداری کرده‌اند. افزون بر این، آنها آنالیز TEM با تفکیک بالا را برای تعیین ساختار نانوذرات طلا به کار بستند. آنها نتیجه‌گیری کردند که شکل‌های متفاوتی چون چهار ضلعی، ده ضلعی، شش ضلعی، بیست وجهی با خطوط دوتایی، شکل‌های نامنظم و نانوذرات با شکل میله‌ای هنگام واکنش طلا (III) با توده زیستی جو در pH های مختلف تشکیل می‌شود. در واقع می‌توان با کنترل pH اندازه نانوذره تولید شده را کنترل کرد.

سینگاراولو^(۶) و همکاران [۶]. در سال ۲۰۰۷ میلادی سنتز نانوذرات طلا با توزیع یکنواخت را به‌وسیله‌ی احیای یون طلا (III) با استفاده از نوعی جلبک‌های دریایی (*Sargassum wightii greville*) به ثبت رسانیده‌اند. در اینجا مطالعه‌ها TEM و اشعه X نشان‌دهنده تشکیل نانوذرات با اندازه‌های ۸ تا ۱۲ نانومتر است. مهم‌ترین برتری این روش تشکیل نانوذرات به طور کامل پایدار در محلول در مقایسه با سایر روش‌های زیستی مطرح شده است.

بخش تجربی

مواد

به منظور تولید نانو ذرات طلا از توده زیستی و به‌طور ویژه از سیوس استفاده شده است طلا (III) مورد استفاده در این طرح ترکیب‌های H_2O ، $2HCl$ ، $4AuCl_3$ ، هیدروکلریک اسید، سدیم هیدروکسید بوده است که از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند. همچنین در طول آزمایش‌ها برای شستشو و محلول‌سازی از آب دوبار یون‌زدایی شده استفاده شد.

دستگاه‌ها

از دستگاه اسپکتروفتومتری مدل Varian-Carey3 برای به‌دست آوردن طیف UV-visible محلول‌ها استفاده شد. از pH متر infolab مدل wtw برای تنظیم pH محلول‌ها استفاده شد. تصاویر TEM با استفاده از یک دستگاه Philips مدل CM200

در سال ۲۰۰۳ میلادی رید^(۱) و همکاران تولید نانو ذرات طلا را در محلول آبی با استفاده از روش میدان فراصوت گزارش کرده‌اند [۲]. آنها عامل‌های مؤثر در اندازه و شکل نانوذرات طلا (III) تولید شده را بررسی کرده‌اند و نتیجه‌گیری نموده‌اند که محیط بی‌وزنی (نیروی گرانش بسیار ناچیز است) بیشترین تأثیر را بر اندازه و هندسه نانوذرات دارد. این در حالی است که، این مسأله که تغییر در فشار محیط و تغییرهای دمایی تأثیر مهمی را بر فرایند دارد یا نه، به طور کامل مشخص نشده است. گارد^(۲) و همکاران [۳]. بافت‌های گیاهی مدیکا ساتیوا^(۳) (آلفالفا) را برای جداسازی یون‌های فلزی سنگین از آب‌های آلوده مورد استفاده قرار داده‌اند. به‌ویژه، آنها توانایی ریشه‌ها و جوانه‌های این گیاه را برای پیوند شدن با طلا (III) در محلول‌های آبی نشان دادند، جایی که یون طلا (III) به‌وسیله بیومس به طلا (III) فلزی کاهش پیدا می‌کند. این فناوری روشی ارزان و از نظر محیطی جذاب را برای استخراج طلا از پسماندهای معدنی و خروجی‌های صنعتی که دارای مقادیر بسیار کمی از این یون هستند، به‌دست می‌دهد. این رویکرد برای تولید نانوذرات با بهایی کم و مراحل ایمن مورد توجه قرار گرفته است.

احیای زیستی موفقیت‌آمیز طلا (III) با بهره‌گیری از بافت‌های مرده و زنده آلفالفا (*Medicago sativa*)، توده زیستی هوب (*Humulus lupulus*)، قارچ‌هایی مثل *Verticillium sp.* و *Fusarium oxysporum* و جلبک‌های دریایی صورت گرفته است. مطالعه‌های پیشین با توده زیستی آلفالفا نشان داده‌اند که اسیدیته محلول فاکتور مهمی در تشکیل طلا (III) کلونیدی است. در واقع جذب سطحی یون‌های طلا روی توده زیستی آلفالفا چندان تابع pH نیست ولی اندازه نانوذرات به شدت با آن تغییر می‌کند.

در سال ۲۰۰۱ میلادی کانیزال^(۴) و همکاران [۴] نانومیله‌های طلا را با استفاده از این روش تهیه کردند. روش آنها مشابه روش ونگ بود، ولی اصلاحاتی را کرده بودند. آنها ساختار نانومیله‌های طلا را با روش‌های کلونیدی به‌دست آمده بودند را روش‌های میکروسکوپی مطالعه کردند. بر خلاف گزارش ونگ و همکاران [۴] در سال ۱۹۹۹ میلادی که هیچ نقضی در ساختار نانومیله‌های کوتاه طلا ندیدند و در نانومیله‌های بلند خط دوتایی منفردی یافتند، کانیزال و همکاران در پژوهش‌های خود نانومیله‌هایی را یافتند که دارای چندین خط دوتایی موازی و در برخی موارد تقارن دوتایی پنتاگونال بودند.

(۱) Reed

(۲) Gardea

(۳) *Medicago sativa* (alfalfa)

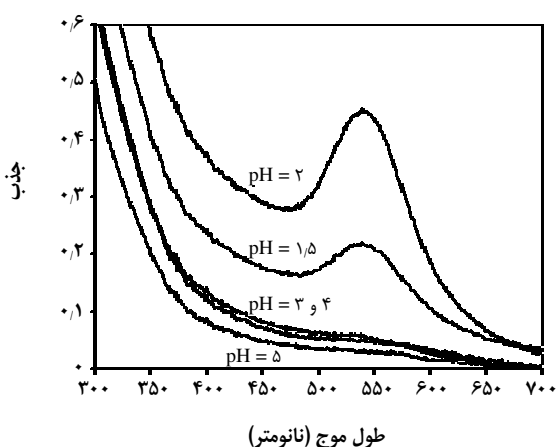
(۴) Canizal

(۵) Armendariz

(۶) Singaravelu



شکل ۱- نمایی از تفاوت رنگ شدید محلول‌های حاوی نانوذرات در اثر تغییر pH محیط واکنش. 5×10^{-4} مولار $Au(III)$ ، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد زمان مجاورت ۵ ساعت.



شکل ۲- جذب اسپکتروفوتومتري محلول‌های حاوی نانوذرات طلا در pH مختلف. 5×10^{-4} مولار $Au(III)$ ، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و زمان مجاورت ۵ ساعت.

یون طلا شد و در نهایت موجب جلوگیری از ورود این یون به واکنش احیاء زیستی شود [۶].

گزارش‌های پیشین حاکی از این است که pH بر روی شکل نانوذرات تأثیر چشمگیری ندارد و تنها اندازه آنها به میزان زیاد تحت تأثیر قرار می‌دهد [۵]. تغییر رنگ شدید محلول به ویژه pH برابر با ۲ در شکل ۱ نشان داده شده است. تصاویر TEM که از محلول نانوذرات طلا در pH برابر با ۲ تهیه شده‌اند در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده‌اند. شکل‌های گوناگونی از نانوذرات در اندازه‌های ۵ تا ۵۰ نانومتر چشم می‌خورند. شکل‌های گوناگون این ذرات در شکل ۴ دیده می‌شوند. تصاویر TEM به وضوح حاکی از تعداد بسیار کم نانومیله‌ها نسبت به سایر شکل‌ها هستند.

تهیه شدند. برای بهم زدن سوسپانسیونها از یک همزن مکانیکی مجهز به ترموستات حمام آب GFL مدل ۱۰۸۳ استفاده شد.

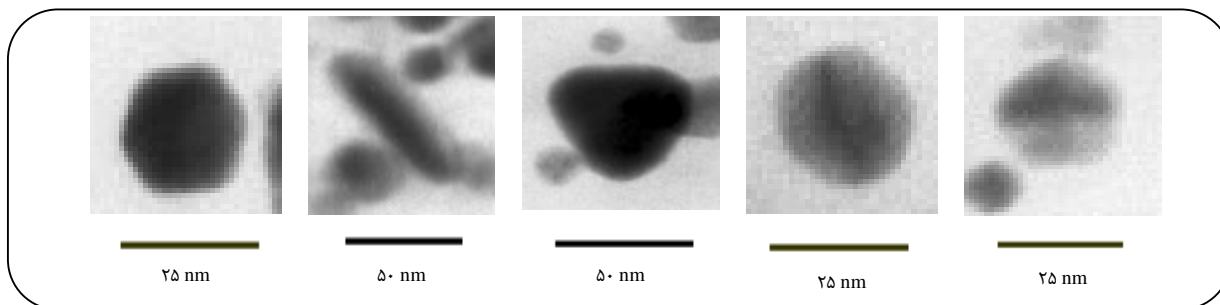
روش کار

۱۰۰ گرم از توده زیستی سیوس را پس از چندین بار شستشو با آب آسیاب شد تا پودر نرمی به دست آید. سپس برای جدا کردن مولکول‌های زیستی محلول در آب از توده زیستی آن را با هیدروکلریک اسید ۰/۰۱ مولار شستشو داده و خشک شد. سپس ماده به دست آمده دوباره با آسیاب مورد عمل قرار گرفت و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به طور کامل خشک شد. محلول استوک طلا (III) با استفاده از $HAuCl_4 \cdot 2H_2O$ تهیه شد. روش کار به صورت زیر بوده است که سوسپانسیونی از پودر سیوس گندم در ۱۰ میلی‌لیتر محلول $Au(III)$ با غلظت‌های مشخص در گستره‌ی pH از ۱/۵ تا ۵ در مدت زمان‌های معین به هم زده می‌شد. pH محلول‌ها با استفاده از محلول سود و هیدروکلریک اسید در گستره‌ی ۱/۵ تا ۵ تنظیم می‌شوند. پس از مجاورت و انجام واکنش محلول سوسپانسیون به مدت بیست دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ rpm سانتریفوژ شده و محلول به دست آمده با دستگاه اسپکتروفوتومتر و TEM مورد تجزیه قرار می‌گرفت.

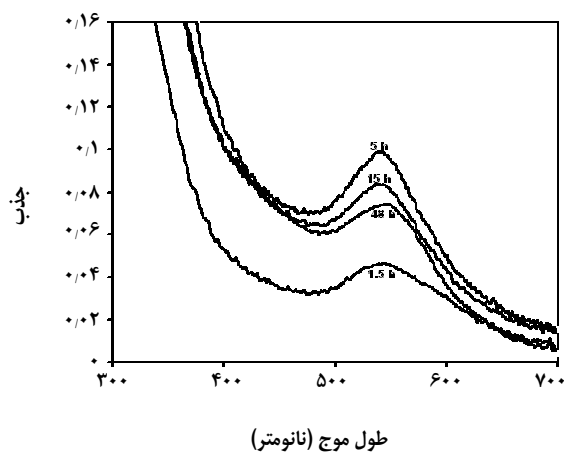
نتیجه‌ها و بحث

تأثیر pH بر روی واکنش

پیش از این گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر شدید pH بر روی روند تشکیل نانوذرات طلا با استفاده از توده‌های زیستی گوناگون به ثبت رسیده‌اند [۵، ۳]. در این مرحله، ۵ آزمایش در pH‌های مختلف از ۱/۵ تا ۵ انجام شد علاوه بر اینکه از محلول‌های سود و هیدروکلریک اسید برای تنظیم pH استفاده شده بود. شکل ۲ که شامل طیف‌های اسپکتروفوتومتري محلول‌های طلا پس از واکنش است تأثیر این پارامتر در جریان احیاء $Au(III)$ و تشکیل نانوذرات طلا نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود از pH حدود ۱/۵ تا ۳ جذبی در طول موج ۵۳۴ دیده می‌شود که ناشی از رزونانس پلاسما سطحی در نانوذرات طلا است. تغییر شدید در طیف‌های اسپکتروفوتومتري محلول در pH‌های متفاوت نشان دهنده این است که در مورد توده زیستی سیوس نیز اندازه نانوذرات تولید شده تا حدود زیادی به این پارامتر وابسته است. به نظر می‌رسد که در pH‌های بالاتر با هیدرولیز گسترده یون $Au(III)$ روبرو هستیم به طوری که باعث بوجود آمدن گونه‌های پایدار هیدروکسیدهای



شکل ۳- نمایش بزرگنمایی شده از انواع متفاوت نانوذرات مشاهده شده به دست آمده از واکنش محلول 5×10^{-4} مولار $Au(III)$ با توده زیستی در pH برابر با ۲ و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، زمان مجاورت ۵ ساعت.

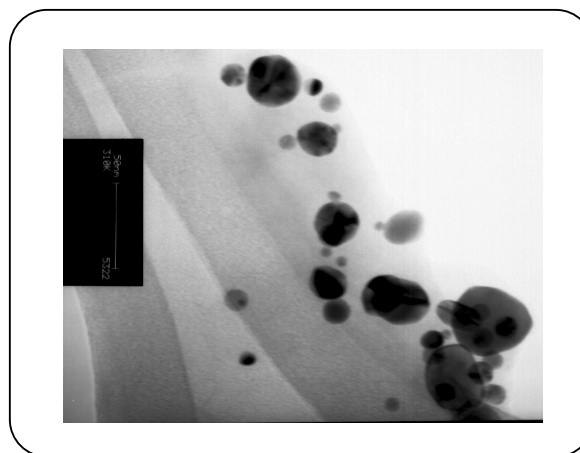


شکل ۵- جذب اسپکتروفوتومتری محلول‌های حاوی نانوذرات طلا در مدت زمان‌های مجاورت مختلف. 10^{-4} مولار طلا(III) با توده زیستی سبوس در pH برابر با ۲ و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد.

از محیط‌های آبی پیش از این به ثبت رسیده‌اند [۸]. نکته جالب توجه جابه‌جایی محسوس طول موج بیشینه در طیف اسپکتروفوتومتری در زمان‌های بسیار طولانی است، که شاید به علت بهم چسبیدن و امتزاج نانوذرات کوچکتر و تشکیل نانوذرات با اندازه متفاوت از اندازه‌های اولیه است. به هم چسبیدن نانوذرات و تشکیل نانوذرات با اندازه بزرگتر در روش‌های این‌چنینی پیش از این گزارش شده‌اند [۷].

تأثیر یون کلرید بر روی روند تشکیل نانوذرات

به نظر می‌رسد یون کلرید نقش ویژه‌ای در روند تشکیل نانوذرات طلا بازی می‌کند [۵]. آزمایش‌هایی با غلظت‌های گوناگون یون کلرید (pH برابر با ۲ و زمان ۵ ساعت) طراحی و انجام شدند. نتیجه‌ها به صورت طیف‌های اسپکتروفوتومتری



شکل ۴- تصویرهای TEM نانوذرات طلا تهیه شده با استفاده از واکنش محلول 5×10^{-4} مولار طلا(III) با توده زیستی سبوس در pH برابر با ۲ و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و زمان مجاورت ۵ ساعت.

تأثیر زمان مجاورت بر روند تشکیل نانوذرات طلا

تأثیر زمان مجاورت محلول $Au(III)$ با توده زیستی سبوس (در pH برابر با ۲) بر روند واکنش بررسی شد. نتیجه‌ها نشان دادند که جذب ناشی از رزونانس پلاسمون سطحی که نشان‌دهنده وجود نانوذرات طلا است به روشنی از زمان واکنش ۱٫۵ ساعت تا ۵ ساعت در طول موج ثابت افزایش می‌یابد. این نشان‌دهنده افزایش میزان نانوذرات طلا در محلول است. ولی اگر زمان مجاورت توده زیستی با محلول طلا (III) به عنوان مثال تا ۱۵ ساعت بیشتر شود، جذب در محلول کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده کم شدن نانوذرات طلا در محلول است. این پدیده با احتمال بسیار زیاد ناشی از جذب شدن نانو ذرات بر روی توده زیستی در زمان‌های طولانی است. گزارش‌هایی مبنی بر بازیافت طلا (III) با استفاده از توده‌های زیستی به معنی جذب کامل آن

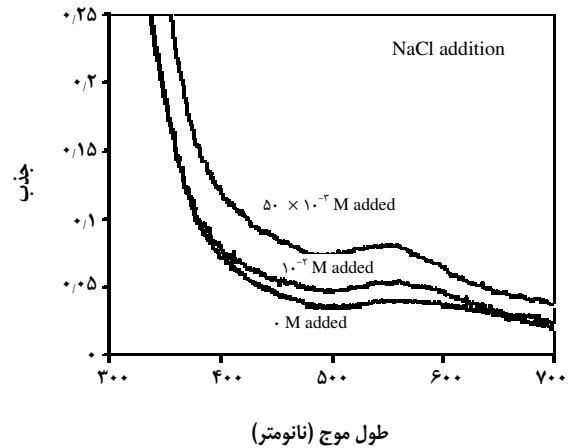
در شکل ۶ نمایش داده شده‌اند. این نتیجه‌ها حاکی از تأثیر غلظت یون کلرید در تشکیل نانو ذرات طلا است. به طوری که با افزایش غلظت یون کلرید میزان تشکیل نانوذرات افزایش می‌یابد. افزون بر این طول موج جذب بیشینه مربوط به رزونانس پلاسمون تا حدودی تغییر کرده است (از ۵۳۶ نانومتر به حدود ۵۵۶ نانومتر)، که نشان دهنده تغییر در اندازه، شکل و یا شاید دانسیته نانوذرات تولید شده است.

تأثیر دما بر روند تشکیل نانوذرات طلا

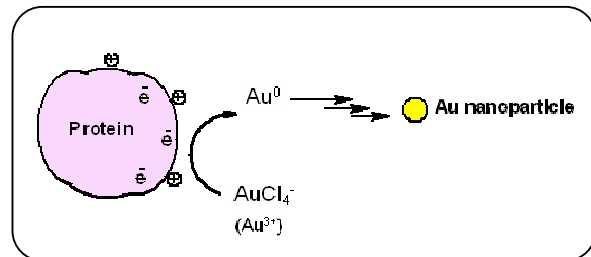
دما می‌تواند تأثیری دوگانه در تولید نانوذرات طلا با توده زیستی داشته باشد. یکی تأثیر دما بر شکل‌گیری نانوذرات که اندازه و شکل آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و دیگری تأثیر دما بر جذب سطحی نانوذرات طلا پس از تشکیل آنها بر روی توده زیستی است. نتیجه‌ها به صورت طیف‌های اسپکتروفوتومتری و تصویرهای TEM در شکل‌های ۱۰-۸ نمایش داده شده‌اند. جابه‌جایی محسوس در طول موج جذب بیشینه از دمای ۲۵ درجه تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد نشان دهنده تغییر در اندازه و یا شکل نانوذرات است. تصویرهای TEM مربوط به نانوذرات تولید شده در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد نیز گویای این مطلب است که اندازه ذره‌ها به صورت چشم‌گیری بزرگتر شده و گستره اندازه آنها نیز محدودتر شده است. از طرف دیگر جذب سطحی نانوذرات در دماهای بالاتر شاید کمتر می‌شود که در اینجا رنگ شدید محلول نشان دهنده حضور نانوذرات بیشتر در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود. در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد ضمن اینکه اثری از نانومیله‌ها در این دما دیده نمی‌شود، نانوذرات مثلثی هم به چشم نمی‌خورند و پنج‌ضلعی و شش‌ضلعی مسطح و ذرات با شکل بی‌نظم دیده می‌شوند. وجود ذره‌های بی‌نظم شاید ناشی سرعت بالای امتزاج ذرات کوچکتر در دماهای بالاتر است. به هم چسبیدن نانوذرات در دماهای بالا در مدت سنتر نانوذرات با روش‌های این‌چنینی پیش از این گزارش شده‌اند [۹].

نتیجه‌گیری

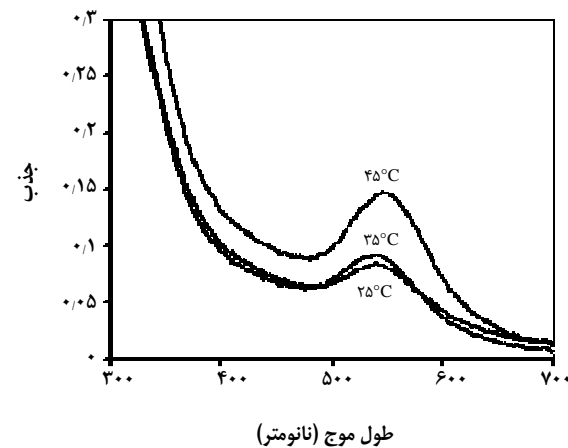
روش تولید نانوذرات طلا با استفاده از احیای طلا (III) به وسیله توده زیستی سبوس روشی ساده را نسبت به روش‌های پیچیده‌تری چون روش‌های الکتروشیمیایی، فتوشیمیایی و یا میدان فراصوت است. نتیجه‌گیری این پژوهش نشان می‌دهد که پارامترهای pH، زمان واکنش و دما چه نقش‌هایی در چگونگی تولید نانوذرات طلا دارند. در زمانی در حدود ۵ ساعت واکنش به خوبی انجام می‌شود



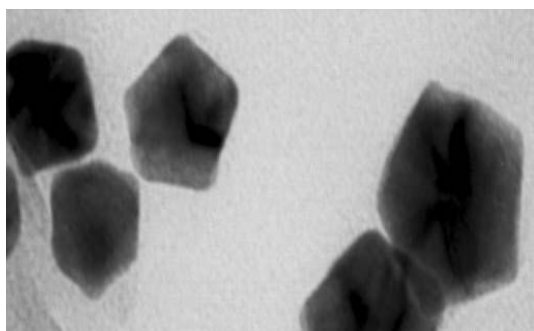
شکل ۶- جذب اسپکتروفوتومتری محلول‌های حاوی نانوذرات طلا تهیه شده در غلظت‌های متفاوت NaCl. 5.0×10^{-2} مولار طلا (III) با توده زیستی سبوس در pH برابر با ۲ و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان مجاورت ۵ ساعت.



شکل ۷- نمای شماتیک از فرایند نزدیک شدن و احیاء طلا در سطح توده زیستی.



شکل ۸ - جذب اسپکتروفوتومتری محلول‌های حاوی نانوذرات طلا تهیه شده در دماهای متفاوت. 10^{-4} مولار طلا (III) با توده زیستی سبوس در pH برابر با ۲ و زمان مجاورت ۵ ساعت.

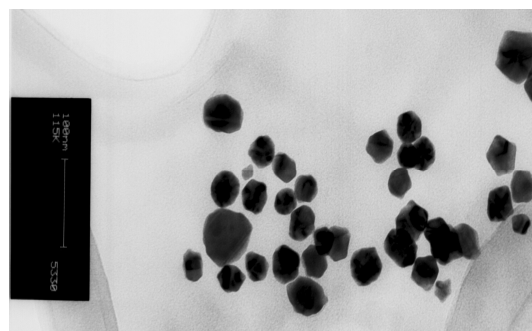


شکل ۱۰- میکروگراف بزرگنمایی شده TEM نانوذرات طلا تهیه شده با استفاده از واکنش محلول ۰/۱ میلی مولار طلا(III) با توده زیستی سپوس در pH برابر با ۲ و دمای ۴۵ درجه سانتیگراد و زمان مجاورت ۵ ساعت.

مملو از گروه‌های آماده برای اکسید شدن می‌شود. با درک کردن نقش این پارامترها در روند تشکیل نانوذرات می‌توان اندازه و شکل آنها را کنترل کرد.

با ابداع روش‌های نو در سنتز کنترل شده نانوذرات طلا راه برای کاربرد این ذرات در ساخت ابزار نانو الکترونیک و کاربردهای زیستی به‌ویژه مواردی همچون زیست‌حسگرها هموارتر می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۴/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۵



شکل ۹- میکروگراف TEM نانوذرات طلا تهیه شده با استفاده از واکنش محلول ۰/۱ میلی مولار طلا(III) با توده زیستی سپوس در pH برابر با ۲ و دمای ۴۵ درجه سانتیگراد و زمان مجاورت ۵ ساعت

و در زمان‌های طولانی‌تر نانوذرات پس از تشکیل دوباره به پیکره بافت گیاهی جذب می‌شوند و از تعدادشان در محلول کاسته می‌شود. دما هم بر روی اندازه شکل نانوذرات و هم بر روی جذب نشدن مجدد آنها بر سطح بافت گیاهی تأثیر می‌گذارد. نتیجه‌ها نشان دادند که یون کلرید نقش انکار ناپذیری در تشکیل نانوذرات دارد. از آنجایی که شاید گروه‌های عاملی در سطح بافت گیاهی در شرایط pH اسیدی پروتونه هستند، یون کلرید در واقع با تشکیل یون AuCl_4^- باعث آسانتر نزدیک شدن یون طلا (III) به بافت گیاهی

مراجع

- [1] Feldhein D.L., Foss G.A., "Metal Nanoparticles; Synthesis, Characterization and Applications", Marcel Dekker, Switzerland (2002).
- [2] Reed J.A., Cook A., Halaas D.J., Parazzoli P., Robinson A., Matula T.J., Grieser F., The Effects of Microgravity on Nanoparticle Size Distributions Generated by the Ultrasonic Reduction of an Aqueous Gold-Chloride Solution, *Ultrasonics Sonochemistry*, **10**, p. 285 (2003).
- [3] Gardea-Torresdey J.L., Tiemann K.J., Gamez G., Dokken K., Tehuacanero S., Jose-Yacamán M., Gold Nanoparticles Obtained by Bio-Precipitation from Gold(III) Solutions, *Journal of Nanoparticle Research*, **1**, p. 397 (1999).
- [4] Canizal G., Ascencio J.A., Gardea-Torresdey J., Jose Yacamán M., Multiple Twinned Gold Nanorods Grown by Bio-Reduction Techniques, *Journal of Nanoparticle Research*, **3**, p. 475 (2001).
- [5] Armendariz V., Herrera I., Peralta-Videa J.R., Jose-Yacamán M., Size Controlled Gold Nanoparticle Formation by Avena Sativa Biomass: Use of Plants in Nanobiotechnology, *Journal of Nanoparticle Research*, **6**, p. 377 (2004).

- [6] Mironov I.V., Makotchenko E.V., The Hydrolysis of AuCl₄⁻ and the Stability of Aquachlorohydroxocomplexes of Gold(III) in Aqueous Solution, *J Solution Chem.*, **38**, p. 725 (2009).
- [7] Singaravelu G., Arockiamary J.S., Ganesh Kumar V., Govindaraju K., A Novel Extracellular Synthesis of Monodisperse Gold Nanoparticles Using Marine Alga, *Sargassum Wightii* Greville, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **57**, p. 97 (2007).
- [8] Gardea-Torresdey J.L., Tiemann K.J., Parsons J.G., Gamez G., Jose-Yacaman M., Characterization of Trace Level Au(III) Binding to Alfalfa Biomass by GFAAS, *Advances in Environmental Research*, **6**, p. 313 (2002).
- [9] Chandran S.P., Chaudhary M., Pasricha R., Ahmad A., Sastry M., Synthesis of Gold Nanotriangles and Silver Nanoparticles Using Aloe Vera Plant Extract, *Biotechnol. Prog.*, **22**, p. 577 (2006).