



سنتز الکتروشیمیایی نانوذرات طلائی محافظت شده با گلوپتایون و محلول در آب

حمید صالح زاده

گروه شیمی تجزیه و کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی، تهران

چکیده: در این پژوهش، یک روش الکتروشیمیایی برای سنتز نانوذرات طلائی محلول در آب با اندازه کمتر از ۱۰ نانومتر گزارش شده است. برای سنتز این نانوذرات، از یک آند فداشونده از جنس طلا در حضور گلوپتایون به عنوان عامل محافظت کننده نانوذرات در شرایط جریان ثابت استفاده شده است. یونهای طلائی سه (Au^{3+}) حاصل از اکسایش الکتروشیمیایی آند توسط یونهای هیدرید موجود در محلول احیا شده و از طریق محافظت با گلوپتایون به نانوذرات طلائی محلول در آب تبدیل شد. نانوذرات تولید شده با استفاده از دستگاههای مختلف طیفسنجی فرابنفش-مرئی، میکروسکوپی الکترونی عبوری و پراش پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفتند. بررسیهای میکروسکوپی الکترونی عبوری نشان داد که توزیع اندازه نانوذرات در گستره ۴/۰ تا ۷/۰ نانومتر قرار دارد. این پژوهش، یک روش موثر برای تولید نانوذرات طلائی محلول در آب و زیست سازگار را ارائه میدهد.

واژگان کلیدی: نانوذرات طلا، گلوپتایون، اکسایش آندی، الکترولیز با جریان ثابت.

*h.salehzadeh@khu.ac.ir

سازگاری این نانوذرات میشود محافظت شوند. گلوپتایون^۲ (GSH) یکی از سه پپتید زیستی (گلوپتایون، سیستین و گلايسین) است که در سیستمهای زیستی^۳ به عنوان عامل احیا کننده عمل میکند [۹]. گلوپتایون به عنوان یک تایول زیستی به دلیل دارا بودن گروههای عاملی متفاوت مانند گروههای کربوکسیلیک اسید و آمین می تواند سبب قابلیت انحلال نانوذرات متفاوت در آب شود [۱۰]. به دلیل ویژگی متعدد مانند انحلال پذیری در pHهای زیستی و سادگی مشتق سازی، گلوپتایون یک لیگاند بسیار جذاب در ساختن نانوذرات محلول در آب برای کاربردهای زیستی است. برای سنتز نانوذرات طلا روشهای متفاوتی شامل روشهای شیمیایی [۱۰]، فوتوشیمیایی [۱۱] و الکتروشیمیایی [۱۲] ارائه شده است. در روشهای شیمیایی معمول، با افزایش مقادیر معینی

۱- مقدمه

نانوذرات فلزی به دلیل ویژگی متعدد در زمینههای متفاوت بسیار پرکاربرد هستند [۲،۱]. در این میان، نانوذرات طلا (AuNPs) به دلیل ویژگی الکترونیکی، گرمایی و نوری و همچنین، ویژگی کاتالیزوری بسیار مورد توجه بوده اند [۳،۴]. این نانو ذرات در بسیاری از زمینههای پژوهشی شامل فیزیک، شیمی، زیست شناسی، داروسازی و علوم مواد مورد استفاده قرار گرفته اند [۵]. آنها همچنین کاندیداهای مناسبی برای تصویربرداری سل [۶]، مستقر کردن پروتئینها برای مطالعات ساختاری [۷]، و دارورسانی [۸] هستند. نانوذرات طلا، به طرز جالبی می توانند به وسیله لیگاندهای تایولی زیست سازگار^۱ که سبب ویژگی زیست

² Glutathione

³ Biologic

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲

¹ Biocompatible

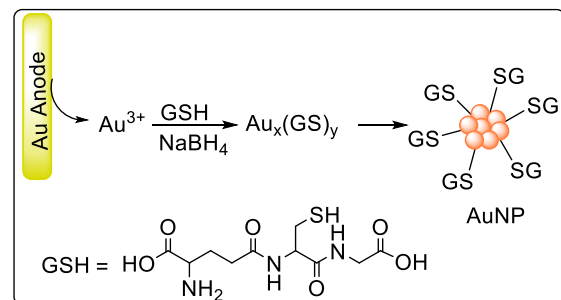
شرایط واکنش شامل چگالی جریان، غلظت گلوکاتایون و مدت زمان الکترولیز بهینه شدند. و در نهایت نانوذرات طلائی تولید شده به وسیله طیف سنجی جذب فرابنفش-مرئی (UV-vis)، پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپی الکترونی عبوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- بخش تجربی

ورقه طلا (با خلوص ۹۹/۹۹٪)، گلوکاتایون، هیدروژن پراکسید و اسید سولفوریک از شرکت آلدریچ خریداری شدند. سدیم بورهیدرید و پتاسیم کلرید از شرکت مرک تهیه شدند. ورقه طلا به عنوان آند و یک میله پلاتین به عنوان کاتد استفاده شدند. قبل از استفاده، ورقه طلا در محلول پیرانا (یک مخلوط ۳۰٪ H_2O_2 و اسید سولفوریک غلیظ با نسبت ۱ به ۳) تمیز شد (در استفاده از محلول پیرانا مراقبت‌های ویژه نیاز است). سپس ورقه طلا با استفاده از آب مقطر شستشو داده شد و تحت جریان هوا خشک شد. سپس برای تمیز شدن بیشتر، به الکتروکود تمیز شده پتانسیل به صورت روبشی در محدوده ۰/۱- تا ۱/۲ ولت با سرعت روبش ۰/۱ ولت بر ثانیه و به صورت چرخه‌ای (۱۵ چرخه) در محلول محتوی ۰/۱ مولار اسیدسولفوریک اعمال شد. اکسایش الکتروشیمیایی الکتروکود طلا (یک سانتی متر در دو سانتی متر) جهت تولید نانوذرات طلا در یک سل ۱۰۰ میلی لیتری در شرایط دمایی اتاق و با استفاده از طراحی دو الکترودی انجام شد. الکترودها به صورت موازی با هم قرار داده شدند و طی الکترولیز محلول با استفاده از یک مگنت جهت همگن‌سازی هم زده شد. در محلول مورد آزمایش ۰/۱ مولار KCl به عنوان الکترولیت کمکی و ۱٪ (حجمی/وزنی) $NaBH_4$ به عنوان عامل احیا کننده استفاده شد. برای بهینه سازی روش، آزمایش‌هایی در غلظت‌های متفاوت از گلوکاتایون و چگالی جریان‌های متفاوت و زمان‌های متفاوت الکترولیز انجام شد. الکترولیز با استفاده از پتانسیواستات به پژه (مدل ۲۶۳) انجام شد. پس از انجام الکترولیز، نانوذرات سنتز شده به داخل لوله سانتریفیوژ منتقل شد و جدا شد. پس از آن محلول شفاف جدا شد و ذرات جامد به جا مانده تحت خلا به مدت یک ساعت خشک شد. در نهایت ویژگی‌های نانوذرات تولید

از عامل احیا کننده، یونهای طلائی (III) به یونهای طلائی (I) احیا می‌شوند. سپس، یونهای طلائی (I) از طریق تجمع به وسیله یک لایه از لیگاندها که سطح هسته طلا را پوشش میدهد محافظت شده و به نانوذرات طلا تبدیل می‌شوند [۱۳]. روش‌های الکتروشیمیایی در مقایسه با روش‌های شیمیایی مزایای متعددی دارند. در این روش‌ها، یونهای طلا به صورت درجا و از طریق اعمال پتانسیل برنامه‌ریزی شده که قابلیت کنترل بهتری بر تولید یون دارند، تولید میشوند. بنابراین، نانوذرات طلا میتوانند از طریق عبور جریان بین دو الکتروکود در یک محیط مناسب تولید شوند. همچنین، اندازه نانوذرات طلا میتواند با تغییر شرایط تجربی مانند جریان یا پتانسیل کاربردی، زمان الکترولیز، دما و فاصله الکترودها کنترل شود. نمونه‌هایی جالب توجهی از تولید الکتروشیمیایی نانوذرات طلا، نقره، پلاتین و پالادیوم گزارش شده است که در آنها نانوذرات به وسیله ماده فعال در سطح^۴ پایدار می‌شوند [۱۲-۲۴]. مکانیسم‌های ارائه شده بر اساس احیا یونهای فلزی در کاتد هستند که به دنبال آن به وسیله ماده فعال در سطح در محلول پایدار میشوند.

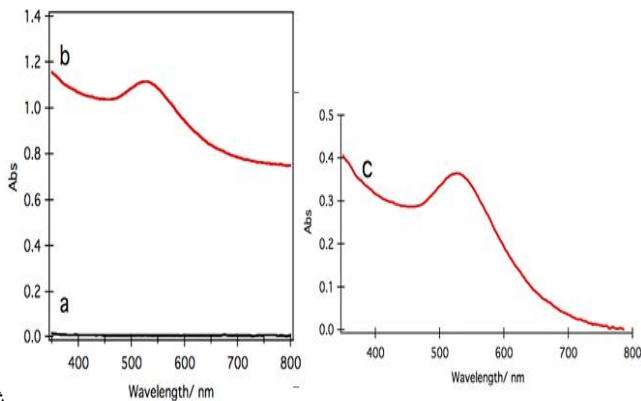
در این کار، یک روش الکتروشیمیایی موثر برای سنتز نانوذرات طلا در محلول‌های آبی با استفاده از گلوکاتایون به عنوان لیگاند محافظت کننده^۵ ارائه شده است. برای این منظور، در طی الکترولیز با جریان ثابت، یونهای طلائی (III) از یک الکتروکود از جنس طلا به داخل محلول رها می‌شود که در حضور گلوکاتایون با سدیم بورهیدرید واکنش داده و احیا میشود (طرح ۱).



طرح ۱: مکانیسم ارائه شده برای سنتز نانوذرات طلائی محافظت شده با گلوکاتایون (GSH) از طریق اکسایش آندی طلا در حضور $NaBH_4$ به عنوان عامل احیا کننده.

^۴ Surfactant

^۵ Capping agent



ش

کل ۱. طیف جذبی فرابنفش-مرئی محلول محتوی KCl و NaBH_4 (a) پیش از الکترولیز، (b) پس از الکترولیز و (c) نانوذرات خالص شده. چگالی جریان طی الکترولیز $0/05$ میلی آمپر بر سانتی مربع. غلظت گلوکاتینون: 20 میلی مولار، و زمان الکترولیز: 20 دقیقه.

۳-۲. اثر چگالی جریان

از آنجایی که یونهای طلا (III) تولید شده از طریق اکسایش الکتروشیمیایی آند طلا به داخل محلول مهاجرت میکنند و سرعت تولید این یونها به چگالی جریان بستگی دارد، انتظار می رود که اندازه نانوذرات تولید شده تحت تاثیر چگالی جریان قرار گیرد. اثر چگالی جریان در گستره $0/05$ تا $0/5$ میلی آمپر بر سانتی متر مربع مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲a-۲d). شکل ۲a، طیف جذبی فرابنفش-مرئی نانوذرات تولید شده با چگالی جریان $0/05$ میلی آمپر بر سانتی مربع را نشان میدهد. همانطور که دیده می شود با تغییر چگالی جریان یک جابجایی کوچک در ماکسیمم پیک طیف نانوذرات دیده می شود که ناشی از تغییر توزیع اندازه نانوذرات با تغییر چگالی جریان است. این طیفها نشان می دهند که چگالی جریان $0/05$ میلی آمپر چگالی جریان بهینه برای تولید نانوذرات طلا تحت شرایط ذکر شده است.

شده با استفاده از دستگاههای پراش پرتو ایکس^۶ مدل APD 2000، میکروسکوپی الکترونی عبوری^۷ مدل TEM 1050 Mill و طیف سنج فرابنفش-مرئی مدل Uv-mini-WPA مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتیجه ها و بحث

۳-۱. مطالعات طیف سنجی جذب فرابنفش-مرئی

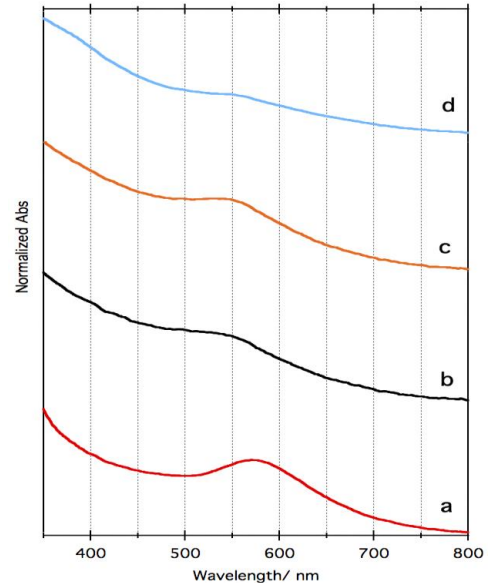
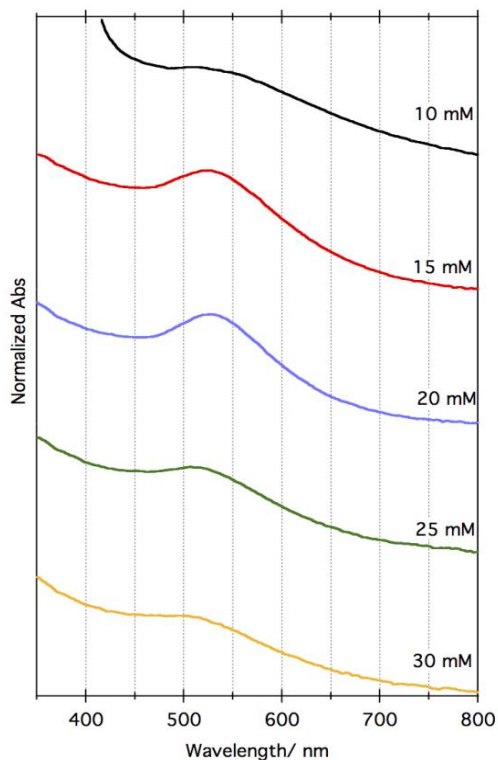
شکل 1a، طیف جذب فرابنفش-مرئی محلول محتوی KCl و NaBH_4 پیش از اعمال جریان را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود، در ابتدای الکترولیز هیچ گونه پیک جذبی دیده نمی شود. شکل 1b، طیف جذب فرابنفش-مرئی همان محلول بعد از به کار بردن جریان $0/05$ میلی آمپر بر سانتی متر مربع به مدت 20 دقیقه را نشان می دهد. طیف یک پیک جذبی در حدود 520 نانومتر را نشان می دهد. به طور کلی، به دلیل اندازه کوچک نانوذرات طلا و دارا بودن سطوح انرژی کوآنتیزه، محلولهای محتوی این نانوذرات رنگی هستند. پیک جذبی حدود 520 نانومتر، مشخصه رزونانس پلاسمون سطحی^۸ باند نانوذرات طلا با اندازه متوسط حدود 5 نانومتر است [۲۵].

پس از اتمام الکترولیز، نانوذرات سنتز شده جمع آوری و خالص سازی شد (بخش تجربی مشاهده شود). در شکل 1c طیف جذب فرابنفش-مرئی نانوذرات طلای خالص شده همان پیک در موقعیت حدود 520 نانومتر را نشان می دهد. همچنین هیچ گونه پراکندگی نور ناشی از خارج کردن غلظت بالای الکترولیت وجود ندارد.

⁶ X-ray diffraction

⁷ Transmission electron microscopy

⁸ Surface plasmon resonance



شکل ۲. طیف جذب فرابنفش-مرئی نانوذرات طلائی سنتز شده در چگالی جریان‌های متفاوت (a) ۰/۰۵، (b) ۰/۱۰، (c) ۰/۳۰ و (d) ۰/۵۰ میلی آمپر بر سانتی متر مربع. غلظت گلوکاتایون ۲۰ میلی مولار و زمان الکترولیز ۲۰ دقیقه.

شکل ۳. طیف جذبی فرابنفش-مرئی نانوذرات سنتز شده در محلول‌های با غلظت‌های متفاوت از گلوکاتایون از ۱۰ تا ۳۰ میلی مولار. چگالی جریان ۰/۰۵ میلی آمپر بر سانتی متر مربع. زمان الکترولیز ۲۰ دقیقه.

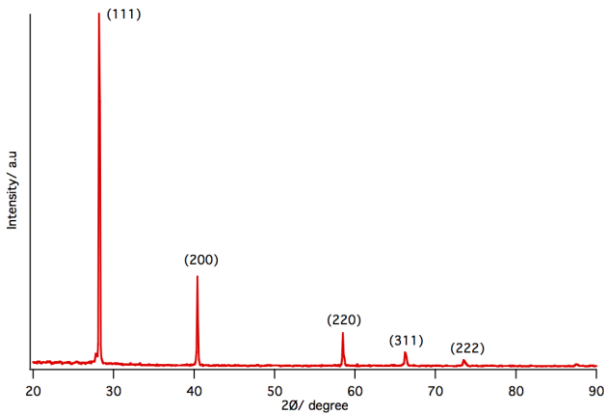
۳-۴. زمان الکترولیز

یکی از مهمترین متغیرهایی که باید بهینه شود مدت زمان الکترولیز است. پس از گذشت یک زمان مشخص از الکترولیز، به دلیل کاهش غلظت گلوکاتایون (طی واکنش با یون‌های طلائی (III))، و در نتیجه عدم محافظت، نانوذرات تشکیل شده طلا دچار تجمع می‌شوند. شکل ۴ طیف جذب فرابنفش-مرئی نانوذرات تولید شده در مدت الکترولیز با مدت زمان‌های متفاوت در گستره ۰ تا ۸۰ دقیقه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بیشترین مقدار جذب پس از ۲۰ دقیقه الکترولیز به دست می‌آید (نمودار d). در گزارش‌های پیشین، نشان داده شده است که طیف جذب فرابنفش-مرئی نانوذرات طلا می‌تواند نشان دهنده شکل و اندازه این نانوذرات باشد [۲۶] که این موضوع با استفاده از میکروسکوپ روبش الکترونی توسط چن^۹ و همکارانش مورد بررسی قرار گرفته است. آنها نشان داده‌اند که با تغییر شکل نانوذرات طلا از ده وجهی به مکعبی و در نهایت به صفحه نازک،

۳-۳. اثر غلظت عامل محافظت کننده

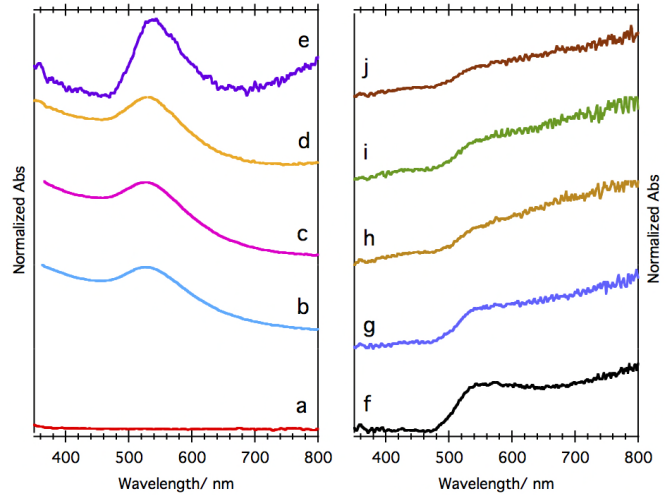
برای بهینه کردن اثر غلظت عامل محافظت کننده، الکترولیز در غلظت‌های متفاوت از گلوکاتایون در گستره ۱۰ تا ۳۰ میلی مولار انجام شد. مولفه‌های دیگر شامل دما (۲۵ درجه سلسیوس)، چگالی جریان (۰/۰۵ میلی آمپر بر سانتی مترمربع) و زمان الکترولیز (۲۰ دقیقه) ثابت نگه داشته شدند. بعد از هر آزمایش، محصول جدا و خالص سازی شد و ویژگی نوری آن با طیف سنجی فرابنفش-مرئی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). در غلظت‌های پایین گلوکاتایون (۱۰ میلی مولار)، شدت پیک جذبی در طیف مربوطه کمترین مقدار است. همانطور که غلظت گلوکاتایون از ۱۰ تا ۲۰ میلی مولار افزایش می‌یابد، نانوذرات و در نتیجه شدت پیک جذبی مربوط به آنها هم افزایش می‌یابد. افزایش بیشتر غلظت گلوکاتایون از ۲۰ تا ۳۰ میلی مولار، منجر به تشکیل ذرات کلوییدی و در نتیجه حذف پیک جذبی می‌شود. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، بزرگترین پیک جذبی در غلظت‌های ۱۵ و ۲۰ میلی مولار از گلوکاتایون به دست آمد. بر اساس این نتایج، غلظت ۱۵ میلی مولار از گلوکاتایون به عنوان غلظت بهینه انتخاب شد.

⁹ Chen



شکل ۵. الگوی پراش پرتو ایکس نانو ذرات سنتز شده.

شکل طیف جذبی فرابنفش-مرئی آنها نیز از پیک به سکو تغییر میکند. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است در مطالعات ما نیز نتایج مشابهی به دست آمد.

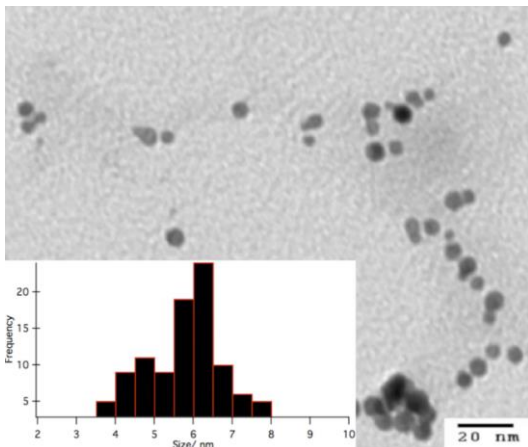


شکل ۴. طیف جذبی فرابنفش-مرئی نانو ذرات تولید شده طی الکترولیز، بعد از (a) ۰، (b) ۵، (c) ۱۰، (d) ۲۰، (e) ۳۰، (f) ۴۰، (g) ۵۰، (h) ۶۰، (i) ۷۰ و (j) ۸۰ دقیقه. چگالی جریان ۰/۰۵ میلی آمپر بر سانتی متر مربع. غلظت گلو تاتیون ۱۵ میلی مولار.

۳-۴. شناسایی نانو ذرات سنتز شده با پراش پرتو ایکس و میکروسکوب الکترونی عبوری

پراش پرتو ایکس یک روش موثر برای آنالیز نانو ذرات فلزی است که با استفاده از آن، تشکیل نانو ذرات و شکل آنها می تواند مورد بررسی قرار بگیرد. الگوی پراش پرتو ایکس نانو ذرات سنتز شده در شرایط بهینه در شکل ۵ نشان داده شده است. الگوی پراش پرتو ایکس نشان داده در این شکل مشابه با الگوهایی است که در کارهای پیش گزارش شده است [۲۷]. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، طیف به دست آمده فاقد نویز است که نشان دهنده درجه خلوص نانو ذرات سنتز شده است. افزون بر این، پیک های باریک در شکل ۵ نشان دهنده تشکیل کلاسترهای طلا با تعداد کم اتم با یک هندسه مسطح است [۲۸].

توزیع اندازه نانو ذرات با استفاده از میکروسکوب الکترونی عبوری مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۶ تصویر TEM نانو ذرات طلای سنتز شده را نشان می دهد. همانطور که در تصویر دیده می شود، نانو ذرات مجزا با توزیع اندازه باریک وجود دارد. هیستوگرام^{۱۰} توزیع اندازه نانو ذرات (داخل شکل ۶) نشان می دهد که توزیع اندازه بیشتر نانو ذرات بین ۷/۰ - ۴/۰ نانومتر است. همگن بودن اندازه نانو ذرات تولید شده در شرایط بهینه نشان دهنده موثر بودن روش ارائه شده برای سنتز نانو ذرات طلای محلول در آب است.



شکل ۶. تصویر میکروسکوب الکترونی عبوری نانو ذرات طلای سنتز شده. نمودار داخلی، هیستوگرام توزیع اندازه نانو ذرات سنتز شده را نشان می دهد.

¹⁰ Histogram

۴. نتیجه گیری

روش ارائه شده برای سنتز نانوذرات طلا بر اساس تولید همزمان یونهای طلا (Au^{3+}) از فلز طلا به عنوان آند فدا شونده با استفاده از الکترولیز با جریان ثابت است که یونهای تولید شده با استفاده از گلوپتایون محافظت شده و با استفاده سدیم بورهیدرید احیا می‌شود. در این روش از آنجایی که مقدار آزاد شدن یونهای Au^{3+} از سطح فلز طلا به خوبی با استفاده از چگالی جریان کنترل می‌شود، توزیع اندازه نانوذرات تولید شده بسیار همگن خواهد بود که به غربالگری بیشتر نیاز نخواهد بود. از طرفی، استفاده از گلوپتایون به عنوان عامل محافظت کننده سبب انحلال پذیری نانوذرات تولید شده در آب می‌شود.

مراجع

- [1] B.C.H. Steele, A. Heinze, "Materials for fuel-cell technologies", *Nature*, 414, 345-352, 2001.
- [2] P.A. Pyykko, "Theoretical Chemistry of Gold", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 43, 4412-4456, 2004.
- [3] G. Li, R. Jin, "Atomically Precise Gold Nanoclusters as New Model Catalysts", *Acc. Chem. Res.*, 46, 1749-1758, 2013.
- [4] S. Yu, S. Chang, C.L. Lee, C.R.C. Wang, "Gold Nanorods: Electrochemical Synthesis and Optical Properties", *J. Phys. Chem. B*, 101, 6661-6664, 1997.
- [5] M.H. Rashid, R.R. Bhattacharjee, A. Kotal, T.K. Mandal, "Synthesis, Structure, and Magnetic Properties of Co, Ni, and Co-Ni Alloy Nanocluster-Doped SiO_2 Films by Sol-Gel Processing", *Langmuir*, 22, 3440-3447, 2006.
- [6] S. Shukla, A. Priscilla, M. Banerjee, R.R. Bhonde, J. Ghatak, P.V. Satyam, M. Sastry, "Porous Gold Nanospheres by Controlled Transmetalation Reaction: A Novel Material for Application in Cell Imaging", *Chem. Mater.*, 17, 5000-5005, 2005.
- [7] S. Kramer, H. Xie, J. Gaff, J.R. Williamson, A.G. Tkachenko, N. Nouri, D.A. Feldheim, D.L. Feldheim, "Preparation of Protein Gradients through the Controlled Deposition of Protein-Nanoparticle Conjugates onto

Functionalized Surfaces", *J. Am. Chem. Soc.* 126, 5388-5395, 2004.

[8] A.K. Salem, P.C. Searson, K.W. Leong, "Multifunctional nanorods for gene delivery", *Nature Mater.*, 2, 668-671, 2003.

[9] M. Deponte, "Glutathione catalysis and the reaction mechanisms of glutathione-dependent enzymes", *Biochim Biophys Acta*, 1830, 3217-3266, 2013.

[10] A.M. Alkilany, S. Alstotari, M. Y. Alkawareek, S.R. Abulateefeh, "Facile Hydrophobication of Glutathione-Protected Gold Nanoclusters and Encapsulation into Poly(lactide-co-glycolide) Nanocarriers" *Scientific Reports*, 9, 11098, 2019.

[11] T.C. Chiu, S.H. Chiou, M.M. Hsieh, Y.T. Chen, H.T. Chang, "Photosynthesis of Gold Nanoparticles in Presence of Proteins" *J. Nanoscience Nanotechnol.* 5, 2128-2132 2005.

[12] D.H. Nagaraju, V. Lakshminarayanan, "Electrochemical Synthesis of Thiol-Monolayer-Protected Clusters of Gold", *Langmuir*, 24, 13855-13857, 2008.

[13] L. Meli, P.F. Green, "Aggregation and Coarsening of Ligand-Stabilized Gold Nanoparticles in Poly(methyl methacrylate) Thin Films", *ACS Nano*, 2, 1305-1312, 2008.

[14] M.T. Reetz, W. Helbig, "Size-Selective Synthesis of Nanostructured Transition Metal Clusters", *J. Am. Chem. Soc.* 116, 7401-7402, 1994.

[15] M. Paunovic, M. Schlesinger, "Fundamentals of Electrochemical Deposition, Wiley, New York, 1998.

[16] M.T. Reetz, M. Winter, R. Breinbauer, T. Thurn-Albrecht, W. Vogel, "Size-Selective Electrochemical Preparation of Surfactant - Stabilized Pd-, Ni- and Pt/Pd Colloids", *Chem. Eur. J.*, 7, 1084-1094, 2001.

[17] M.T. Reetz, W. Helbig, S.A. Quaiser, U. Stimming, N. Breuer, R. Vogel, "Visualization of Surfactants on Nanostructured Palladium Clusters by a Combination of STM and High-Resolution TEM", *Science*, 267, 367-369, 1995.

[18] W. Pan, X. Zhang, H. Ma, J. Zhang, "Electrochemical Synthesis, Voltammetric Behavior, and Electrocatalytic Activity of Pd Nanoparticles", *J. Phys. Chem. C*, 112, 2456-2461, 2008.

- [19] Y.C. Liu, L.H. Lin, W.H. Chiu, "Size-Controlled Synthesis of Gold Nanoparticles from Bulk Gold Substrates by Sonoelectrochemical Methods", *J. Phys. Chem. B*, 108, 19237-19240 2004.
- [20] S. Huang, H. Ma, X. Zhang, F. Yong, X. Feng, W. Pan, X. Wang, Y. Wang, S. Chen, "Photophysical and (Photo)electrochemical Properties of a Coumarin Dye" *J. Phys. Chem. B*, 109, 3907-3914, 2005.
- [21] Y.Y. Yu, S.S. Chang, C.L. Lee, C.R.C. Wang, "Gold Nanorods: Electrochemical Synthesis and Optical Properties", *J. Phys. Chem. B*, 101, 6661-6664, 1997.
- [22] C.J. Huang, P.H. Chiu, Y.H. Wang, W.R. Chen, T.H. Meen, "Electrochemically Controlling the Size of Gold Nanoparticles", *J. Electrochem. Soc.* 153, D193-D198, 2006.
- [23] B.S. Yin, H.Y. Ma, S.Y. Wang, S.H. Chen, "Electrochemical Synthesis of Silver Nanoparticles under Protection of Poly(N-vinylpyrrolidone)", *J. Phys. Chem. B*, 107, 8898-8904, 2003.
- [24] T. Hirsch, M. Zharnikov, A. Shaporenko, J. Stahl, D. Weiss, O.S. Wolfbeis, V.M. Mirsky, "Size - Controlled Electrochemical Synthesis of Metal Nanoparticles on Monomolecular Templates", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44, 6775-6778, 2005.
- [25] J. Tournebize, A. Boudier, A. Sapin-Minet, P. Maincent, P. Leroy, R. Schneider, "Role of Gold Nanoparticles Capping Density on Stability and Surface Reactivity to Design Drug Delivery Platforms", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 4, 5790-5799, 2012.
- [26] Y. Chen, X. Gu, C.G. Nie, Z.Y. Jiang, Z.X. Xie, C.J. Lin, "Shape controlled growth of gold nanoparticles by a solution synthesis" *Chem. Commun.*, 4181-4183, 2005.
- [27] Z. Wang, Y. Zhang, Q. Zhang, Y. Shen, D. Kuehner, A. Ivaska, L. Niu, "Green synthesis of 1–2 nm gold nanoparticles stabilized by amine-terminated ionic liquid and their electrocatalytic activity in oxygen reduction", *Green Chem.*, 10, 907-909, 2008.
- [28] P.L. Gai, M.A. Harmer, "Surface Atomic Defect Structures and Growth of Gold Nanorods" *Nano Lett.*, 2, 771-774, 2002.

Electrochemical synthesis of water-soluble glutathione protected gold nanoparticles

H. Salehzadeh

Department of analytical and applied chemistry, Faculty of Chemistry, Kharazmi University, Tehran

Abstract: Electrochemical synthesis of water-soluble gold nanoparticles with sizes smaller than 10 nm in a green condition is reported. A sacrificial gold anode in the presence of glutathione as a protecting ligand was used under constant current condition. The electrogenerated gold (III) ions were reduced by hydride ions and decorated by glutathione, resulted in the formation of bio-compatible gold nanoparticles. The produced nanoparticles were characterized using different techniques, including Uv-vis spectroscopy, transmission electron microscopy (TEM), and X-ray diffraction (XRD). TEM analysis indicates that the size distribution of nanoparticles is in the range of 4.0 to 7.0 nm. This work provides a new way to produce biocompatible gold nanoparticles.

Keywords: Gold nanoparticles, Glutathione, Anodic oxidation, Constant current electrolysis.