

سنتز نانوذرات طلا با استفاده از عصاره پوست سیب قرمز به عنوان روشی سبز و دوستدار محیط زیست

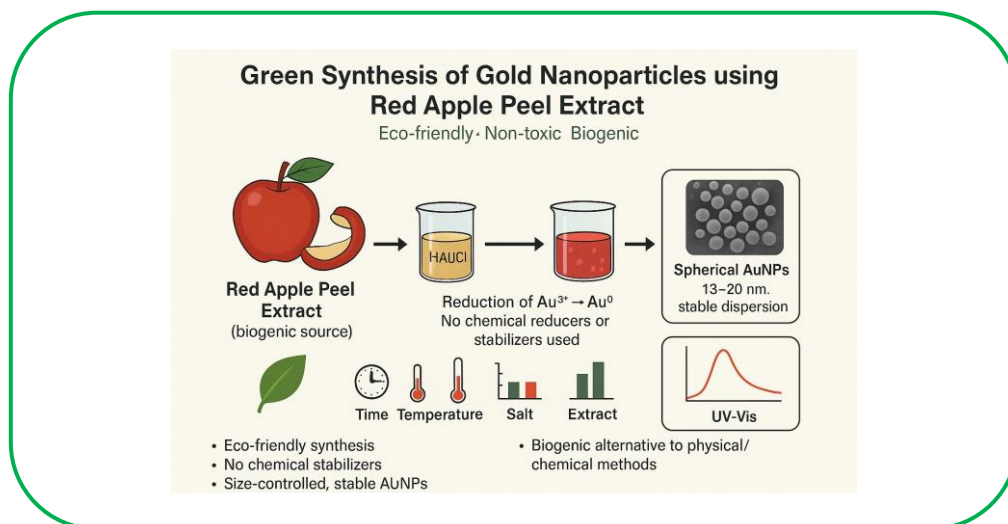
سیروان محمدی آذر^۱، اسما بهروش^۱، علی روستایی*^۲، اکبر مبارکی^۳

^۱ گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران
^۲ هیات علمی پژوهشکده تجهیزات و فناوری‌های انتظامی، پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا، دکتری تخصصی شیمی تجزیه
^۳ گروه شیمی آلی و پلیمر، دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۲۱ فروردین ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۱ مهر ۱۴۰۴

چکیده: در این پژوهش، با مد نظر قرار دادن اصول و اهداف شیمی سبز، سنتز نانوذرات طلا با استفاده از عصاره پوست سیب قرمز به عنوان منبع زیستی سنتز، بدون استفاده از عوامل شیمیایی کاهنده و پایدار کننده انجام گرفت. اثر موارد مختلف مانند زمان، دما، غلظت‌های مختلف نمک طلا و غلظت‌های مختلف عصاره پوست سیب قرمز ارزیابی شد. با استفاده از آنالیزهای دستگاهی مختلف مانند طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی، میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ الکترونی عبوری وجود نانوذرات طلای سنتز شده با عصاره پوست سیب قرمز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نانوذرات طلای تهیه شده با استفاده از عصاره پوست سیب قرمز دارای اندازه‌ای در محدوده ۱۳ الی ۲۰ نانومتر، ریخت کروی و پراکندگی بسیار خوب می‌باشند و برای مدت طولانی پایدار هستند. این روش می‌تواند به عنوان یک روش زیستی مناسب و جایگزین روش‌های شیمیایی و فیزیکی برای تولید نانوذرات طلا مطرح شود.

کلید واژه: نانوذرات طلا، سنتز سبز، عصاره پوست سیب قرمز



گرایش‌های علمی راه یافته است تا جایی که در یک دهه آینده، برتری فرایندها وابسته به این تحول خواهد بود [۲]. ماهیت فناوری نانو توانایی کار کردن در تراز اتمی، مولکولی و فراتر از آن در ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، با هدف ساخت و دخل و تصرف در چگونگی

۱- مقدمه

فناوری نانو حدود نیم قرن پیش، در دهه‌های آخر قرن بیستم همراه با توسعه فناوری‌های نوین تصویربرداری، دستکاری و شبیه‌سازی ماده در مقیاس اتمی پدید آمد [۱]. فناوری نانو پدیده‌ای عظیم می‌باشد که در همه

شدند [۲۱]. مارشال و همکارانش در سال ۲۰۰۷ تجمع نانوذرات فلز طلا به اندازه ۵۰-۵ نانومتر را در گونه خردل هندی گزارش کرده‌اند [۲۲].

استفاده از عصاره گیاهان برای سنتز نانوذرات با یک فرآیند زیستی به لحاظ محیطی بسیار سودمند است. گاردا و همکاران برای اولین بار نانوذرات طلا را در گیاهان زنده گزارش کردند [۲۳ و ۲۴]. دویی و همکاران، نانوذرات طلا را با استفاده از عصاره برگ روسا سنتز کردند، که شکل نانوذرات کروی و بعضی هم به صورت مثلثی و شش گوش بودند. این نانوذرات با استفاده از مقدار پایین عصاره برگ و بدون هیچ مواد شیمیایی و مراحل فیزیکی اضافی تهیه و پایداری نانوذرات سنتز شده در pHهای مختلف بررسی شد [۲۵]. همچنین، سنتز نانوذرات طلا با استفاده از عصاره سنتلا [۲۶]، عصاره گیاه آلوئه ورا [۲۷]، عصاره پوست و پودر دارچین [۲۸] و ریشه گیاه شیرین بیان [۲۹] انجام شده است. در این پژوهش، نانوذرات طلا به روشی سبز با استفاده از عصاره پوست سیب قرمز با موفقیت سنتز شد. با استفاده از این روش نانوذراتی تهیه شد که بدون نیاز به حلال‌های شیمیایی و روش‌های پیچیده، کارایی بالایی دارند. سنتز نانوذرات طلا به روش سبز با استفاده از عصاره پوست سیب قرمز روشی آسان و مقرون به صرفه‌تر از روش‌های دیگر می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- جمع‌آوری و تهیه عصاره پوست سیب قرمز

در این مطالعه، نمونه‌های سیب قرمز از چند باغ سیب واقع در روستای قره‌گزلو سفلی شهرستان کنگاور استان کرمانشاه جمع‌آوری و پوست سیب قرمز گرفته شد. بعد از آسیاب کردن ۷۵ گرم پوست سیب قرمز، ۵۰ میلی‌لیتر آب به آن اضافه، نمونه مورد نظر در یخچال نگهداری و پس از ۲۴ ساعت عصاره پوست سیب قرمز با سانتریفیوژ جدا سازی شد.

۲-۲- سنتز نانوذرات طلا

برای سنتز نانوذرات طلا، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول ۰/۵ میلی‌مولار HAuCl_4 در ظرف شیشه‌ای بر روی هیتر استیرر حرارت داده شد. پس از به جوش آمدن، قطره‌قطره عصاره پوست سیب قرمز به آن اضافه گردید. پس از اضافه کردن ۴۰ میکرولیتر در مدت زمان ۱ دقیقه، رنگ محلول از بی‌رنگ به بنفش تبدیل شد و سپس بعد از ۱۰ دقیقه دیگر، رنگ محلول از بنفش به قرمز تغییر رنگ داد که نشان دهنده تشکیل نانوذرات طلا بود.

آرایش اتم‌ها یا مولکول‌ها با استفاده از مواد، وسایل و سامانه‌هایی با توانایی‌های جدید و یا تغییر این ساختارها و رسیدن به بازدهی بیشتر مواد می‌باشد. هدف اصلی بیشتر پژوهش‌های فناوری نانو، شکل‌دهی ترکیب‌های جدید با ایجاد تغییراتی در مواد موجود است [۳]. امروزه تمایل به تولید و استفاده از نانوذرات باتوجه به کاربردهای فراوان آن‌ها در حال افزایش است [۴]. روش‌های مختلفی برای تهیه و ساخت نانوذرات وجود دارد که برخی از آنها شامل روش‌های سل-ژل، قوس الکتریکی، کاهش شیمیایی، فرسایش لیزر و امواج ریزموج می‌باشند [۵-۹]. نانوذرات تهیه‌شده با استفاده از روش‌های بالا به دلیل استفاده از مواد شیمیایی خطرناک و همچنین گران بودن مواد اولیه و زمان‌بر بودن مقرون به صرفه نیستند، همچنین این روش‌ها دارای خطرهای زیست محیطی فراوان می‌باشند [۱۰]. بنابراین، نیاز به جایگزین کردن روش‌هایی با خطرهای کمتر، ارزان‌تر و با صرف زمان کمتر می‌باشد. مواد شیمیایی گیاهی موجود در منابع مختلف گیاه به عنوان یک ابزار در حال توسعه و یک مسیر مصنوعی مقرون به صرفه‌تر و سازگار با محیط زیست برای سنتز نانوذرات است، در این راستا از گیاهان مختلف برای سنتز نانوذرات استفاده شده است [۱۱].

در سال‌های اخیر، نانوذرات فلزی به دلیل ویژگی‌های الکتریکی و مغناطیسی در قیاس با فاز فلزی آن‌ها در مقیاس میکرو بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، در نتیجه استفاده از این نانومواد در صنعت و فناوری در زمینه‌های مختلف رشد سریعی داشته است [۱۲]. نانوذرات فلزی مانند نانوذرات طلا بسیار مهم هستند. از این روش‌های سنتز شیمیایی، فیزیکی و ریستی (سنتز سبز) برای تهیه آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳]. برای کاربردی‌شدن و امکان استفاده فناوری نانو در پزشکی، باید اصول شیمی سبز و معیارهای مرتبط با آن رعایت گردد. نانوذرات طلا به عنوان یکی از مواد پرکاربرد در حوزه‌هایی نظیر حسگرها، کاتالیز و رهاسازی داروی شناخته می‌شوند [۱۴-۱۷]. از کاربردهای مورد انتظار نانوذرات طلا می‌توان به ایجاد سامانه‌های دارورسانی بسیار دقیق و عوامل تصویربرداری تشخیصی اشاره کرد. طلا غیرسمی بوده و می‌توان آن را به شکل‌ها و اندازه‌های مختلفی تولید نمود [۱۸ و ۱۹]. سنتز این نانوذرات با استفاده از روش‌های فیزیکی شیمیایی به دلیل ناسازگاری با محیط زیست برای مصرف‌کنندگان و پژوهشگران جذابیت زیادی ندارد. بنابراین روش‌های سنتز زیستی به دلیل زیست سازگار بودن در اولویت قرار گرفته‌اند [۲۰]. آنکامورا و همکارانش در سال ۲۰۰۵ با استفاده از عصاره برگ تهر هندی به عنوان ماده کاهنده، موفق به کاهش زیستی یون‌های طلا و تولید نانوذرات طلا

از بی‌رنگ به بنفش روشن تا تیره نشان دهنده تولید نانوذرات طلا بود (شکل ۱).

۳-۲- شناسایی نانوذرات طلا با طیف‌سنجی فرابنفش-مربی

همان‌طور که گفته شد طیف‌سنجی فرابنفش-مربی یکی از روش‌های متداول در شناسایی و بررسی ویژگی‌های نانوذرات کلئیدی از جمله نانوذرات طلا به شمار می‌آید. علت این موضوع، در دسترس بودن این روش، ارزان بودن آن و نتایج قابل قبولی است که می‌توان به آن استناد نمود. طیف فرابنفش-مربی حاصل از کلئید نانوذرات طلا سنتز شده با عصاره پوست سیب قرمز در شکل ۲ نشان داده شده‌است. همان‌طور که از نتایج مشخص است، نانوذرات تهیه شده با عصاره پوست سیب دارای طول موج بیشینه ۵۳۱ نانومتر هستند. در شکل ۱ب تصویر ظرف شیشه‌ای شامل کلئید نانوذرات طلا، نشان داده شده‌است. همچنین رنگ نانوذرات طلا سنتز شده نشان دهنده اندازه کوچک آن‌ها می‌باشد.



شکل ۱. الف) ۱۰ میلی‌لیتر محلول HAuCl_4 با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و ب) بعد از اضافه کردن ۸ قطره عصاره پوست سیب قرمز در دمای ۹۵ درجه سانتی-گراد با گذشت مدت زمان ۱ دقیقه.

۳-۳- بررسی اثر زمان در سنتز نانوذرات طلا

زمان واکنش از عوامل تعیین‌کننده در سنتز نانوذرات می‌باشد که برای تعیین آن شرایط دیگر ثابت و مدت زمان انجام واکنش متغیر بود، به این ترتیب که واکنش با استفاده از HAuCl_4 با غلظتی برابر با ۰/۵ میلی‌مولار، دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و حجم مصرفی عصاره پوست سیب قرمز برابر با ۵۰۰ میکرولیتر در زمان‌های مختلف (۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه) انجام شد. شکل ۳ نمودار مربوط به بررسی اثر زمان بر سنتز نانوذرات طلا در زمان‌های ۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ دقیقه را نشان می‌دهد. بهترین زمان طبق داده‌های جدول ۱، زمان

۳-۲- تعیین اندازه و ریخت نانوذرات

برای بررسی شکل، اندازه، ریخت، پایداری و غلظت نانوذرات سنتز شده، از روش‌های آنالیز دستگاهی مختلفی استفاده شد. موفقیت آمیز بودن سنتز نانوذرات طلا، در ابتدا با تغییر رنگ محلول و در ادامه پس از گذشت ۱۰ دقیقه از واکنش با استفاده از طیف‌سنجی فرابنفش-مربی در گستره طول موجی ۲۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین در این پژوهش، از میکروسکوپ الکترونی روبشی تسکن ساخت کشور چک برای تعیین ریخت و اندازه ذرات استفاده شد. برای این منظور رسوب حاصل از نانوذرات، سه مرتبه و با سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شده و سپس به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی از آن با بزرگنمایی ۲۰ الی ۳۰۰۰۰۰ برابر تصویربرداری شد [۳۰].

با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری فیلیپس سی‌ام ۱۰ از نانوذرات طلا سنتز شده در شرایط بهینه، تصویر TEM گرفته شد و ساختار و چگونگی توزیع اندازه نانوذرات طلا تشکیل شده بررسی شد. چگونگی توزیع اندازه نانوذرات طلا سنتز شده با استفاده از نرم افزار تصویری وی‌تی‌اچ‌اس-سی‌اس‌آی ایمیج تول نسخه ۳ تعیین گردید.

۳- یافته‌های پژوهش

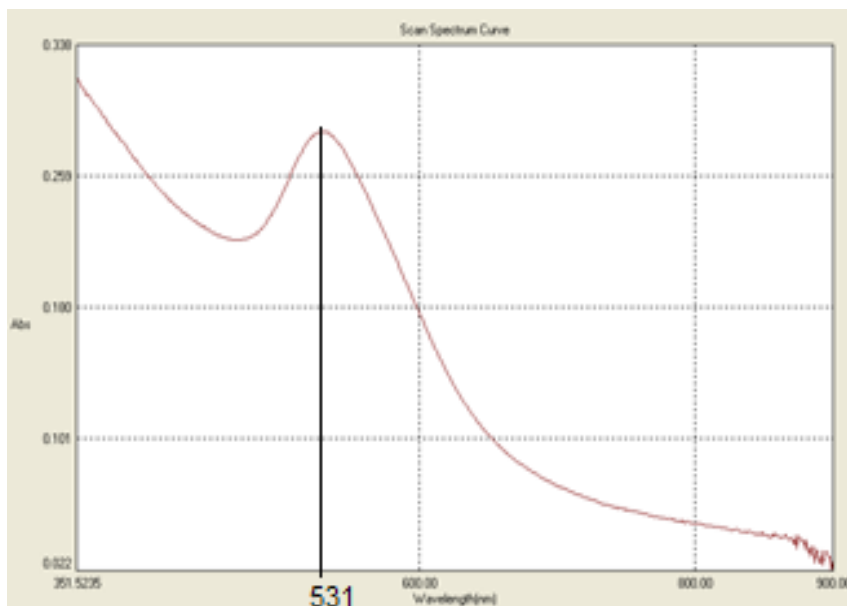
بررسی و تعیین عامل‌های مؤثر در فرآیند تولید نانوذرات، یکی از کارهای منطقی در سنتز نانوذرات طلا است. عوامل تجربی مختلف مانند غلظت نمک، عوامل کاهنده و پوشاننده، زمان و دمای واکنش می‌توانند شکل، اندازه و تجمع نانوذرات را کنترل کنند [۳۱]. پس، در این پژوهش، سنج‌های مختلف در نظر گرفته و بررسی شدند. کنترل‌های مربوطه به‌دقت مد نظر قرار داده شد و همه آزمایش‌ها جهت اطمینان دو مرتبه تکرار شد.

۳-۱- بررسی نانوذرات طلا سنتز شده با استفاده از عصاره پوست سیب قرمز

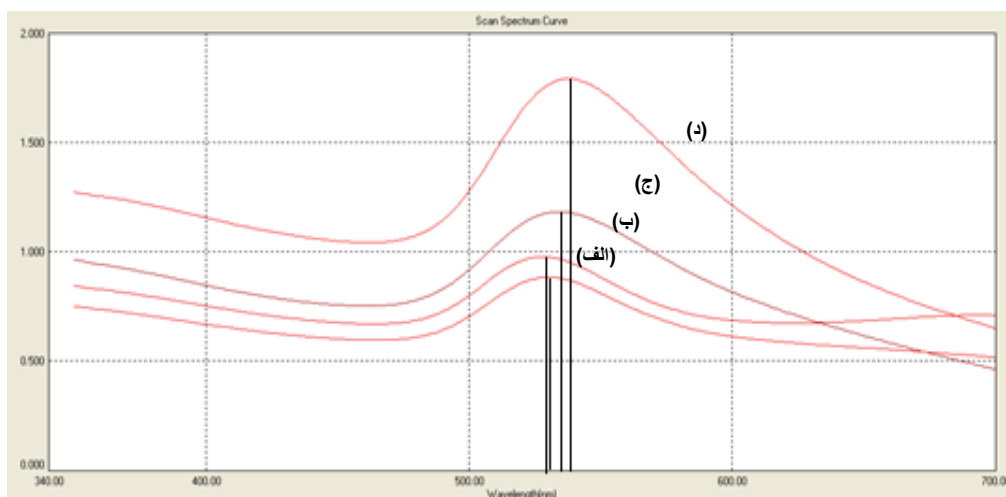
از پوست سیب قرمز، عصاره آن تهیه و برای تولید نانوذرات طلا در معرض یون‌های فلزی طلا قرار داده شد. در ابتدا پوست سیب قرمز آسیاب و ۵۰ میلی-لیتر آب به آن اضافه گردید. سپس نمونه مورد نظر در یخچال نگهداری شد. پس از ۲۴ ساعت عصاره پوست سیب قرمز به وسیله سانتریفیوژ جداسازی و در ادامه با افزودن ۸ قطره عصاره پوست سیب قرمز به ۱۰ میلی‌لیتر از محلول HAuCl_4 با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، واکنش در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمان مشخص انجام شد. تغییر رنگ محلول

کوچکتر است. در این بررسی، تغییر جذب نشان‌دهنده تغییر غلظت می‌باشد، زمان ۲۰ دقیقه دارای بالاترین جذب می‌باشد و بنابراین در این زمان نانوذرات، بیشترین غلظت را دارند (جدول ۱).

۵ دقیقه (غلظت HAuCl_4 برابر با ۰/۵ میلی‌مولار، دما ۹۰ درجه سانتی‌گراد و حجم عصاره برابر با ۵۰۰ میکرولیتر) است. زیرا زمان ۵ دقیقه کمترین طول موج را داشته که در این طول موج اندازه نانوذرات



شکل ۲. طیف طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی نانوذرات طلا سنتز شده با استفاده از عصاره پوست سیب قرمز.



شکل ۳. نمودار مربوط به بررسی اثر زمان بر سنتز نانوذرات طلا که در ۴ زمان مختلف: (الف) ۱ دقیقه، (ب) ۵ دقیقه، (ج) ۱۰ دقیقه و (د) ۲۰ دقیقه.

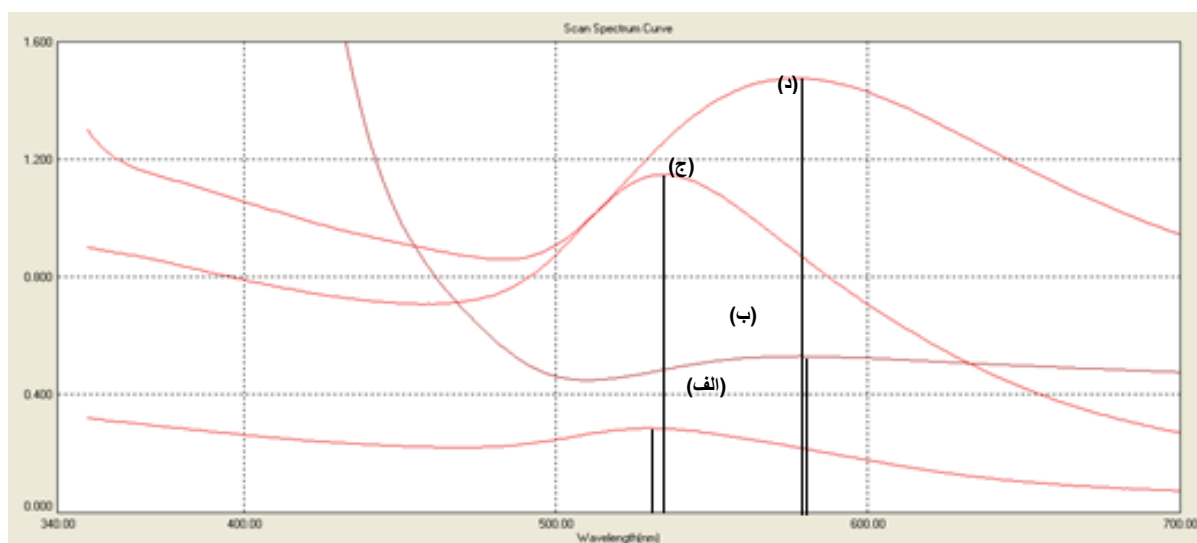
جدول ۱. بررسی اثر تغییر زمان بر طول موج‌ها و جذب‌های بیشینه مختلف نانوذرات طلا

زمان (دقیقه)	طول موج (نانومتر)	بیشینه جذب (نانومتر)
الف ۱	۵۳۳	۰/۸۰
ب ۵	۵۲۹	۰/۹۸
ج ۱۰	۵۳۸	۱/۲۴
د ۲۰	۵۳۰	۱/۸۴

به بررسی اثر غلظت HAuCl_4 در غلظت‌های ۱، ۰/۵، ۰/۱ میلی‌مولار است. بهترین غلظت طبق داده‌های جدول ۲ غلظت ۰/۱ میلی‌مولار (دما ۹۰ درجه سانتیگراد و حجم عصاره ۵۰۰ میکرولیتر) است زیرا کمترین طول موج را دارد که در این طول موج اندازه نانوذرات کوچکتر است. تغییر جذب نشان دهنده تغییر غلظت نانوذرات می‌باشد غلظت ۱۰ میلی‌مولار دارای بالاترین جذب که در این زمان نانوذرات بیشترین غلظت را دارند.

۳-۴- بررسی اثر غلظت HAuCl_4 در سنتز نانوذرات طلا

غلظت HAuCl_4 نیز از عوامل تعیین کننده سنتز نانوذرات می‌باشد. برای تعیین غلظت بهینه HAuCl_4 سایر شرایط واکنش ثابت و غلظت HAuCl_4 تغییر داده شد، به این ترتیب که دما ۹۰ درجه سانتیگراد، زمان ۱۵ دقیقه، ۵۰۰ میکرو لیتر عصاره پوست سیب قرمز و غلظت‌های متفاوت از HAuCl_4 (۱، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۱ میلی‌مولار) در نظر گرفته شد. شکل ۴ نمودار مربوط



شکل ۴. نمودار مربوط به بررسی اثر غلظت HAuCl_4 در سنتز نانوذرات طلا در ۴ غلظت‌های: (الف) ۰/۱ میلی‌مولار، (ب) ۰/۵ میلی‌مولار، (ج) ۱ میلی‌مولار و (د) ۱۰ میلی‌مولار.

جدول ۲. مربوط به بررسی اثر تغییر غلظت HAuCl_4 بر طول موج‌ها و جذب‌های مختلف نانوذرات طلا

غلظت HAuCl_4 (میلی‌مولار)	طول موج (نانومتر)	بیشینه جذب (نانومتر)	الف
۰/۱	۵۳۱	۰/۳۱۰	ب
۰/۵	۵۳۴	۰/۴۶۹	ج
۱	۵۷۷	۱/۰۴	د
۱۰	۵۷۸	۱/۳۴	

پوست سیب قرمز را نشان می‌دهد. بهترین حجم از عصاره پوست سیب قرمز طبق داده‌های جدول ۳، حجم ۵۰ و ۱۰۰ میکرولیتر (غلظت ۰/۵ میلی‌مولار از HAuCl_4 و دما ۹۰ درجه سانتیگراد) است، زیرا کمترین طول موج را دارد که در این طول موج اندازه نانوذرات کوچکتر است. تغییر جذب نشان دهنده تغییر غلظت نانوذرات می‌باشد، حجم ۱۰۰ میکرولیتر دارای بالاترین جذب است و نانوذرات بیشترین غلظت را دارند.

۳-۵- بررسی اثر حجم عصاره پوست سیب قرمز در سنتز نانوذرات طلا

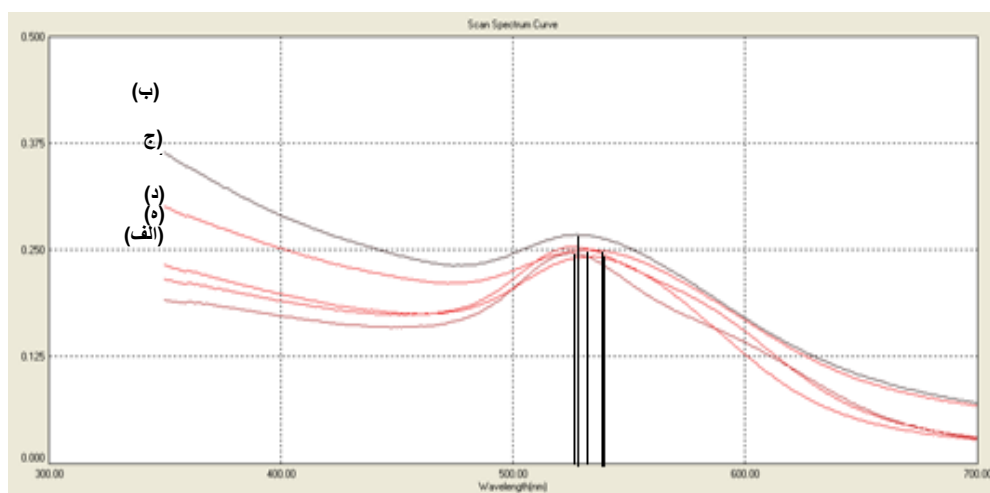
حجم عصاره پوست سیب قرمز نیز از عوامل تعیین کننده سنتز می‌باشد که برای بهینه‌سازی حجم مصرفی عصاره پوست سیب قرمز، شرایط دیگر واکنش ثابت و حجم عصاره پوست سیب قرمز تغییر داده شد. به این ترتیب که دما ۹۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۵ دقیقه، غلظت HAuCl_4 ۰/۵ میلی‌مولار و حجم‌های متفاوت از عصاره پوست سیب قرمز (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرولیتر) در نظر گرفته شد. شکل ۵ نمودار مربوط به بررسی اثر حجم عصاره پوست سیب قرمز در سنتز نانوذرات طلا در ۵ حجم ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره

۳-۷- نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات طلا

تصویرهای میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات طلا سنتز شده با عصاره پوست سیب قرمز در شکل ۷ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، میانگین اندازه نانوذرات طلا تهیه شده حدود ۱۵ نانومتر (در شرایط محلول کلوییدی شامل ۰/۵ میلی‌مولار از HAuCl_4 ، ۲۵۰ میکرولیتر عصاره پوست سیب قرمز و در مدت زمان ۱۰ دقیقه) نشان می‌دهد. همچنین، نانوذرات طلا تهیه شده ساختاری کاملاً کروی و همگن دارند. همچنین، با توجه به این که هنگام تصویر برداری، ۵ ماه از زمان سنتز نانوذرات طلا با استفاده از عصاره پوست سیب گذشته بود، تجمع نانوذرات دیده نشد که نشان‌دهنده پایداری طولانی مدت نانوذرات طلا می‌باشد.

۳-۶- نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات طلا

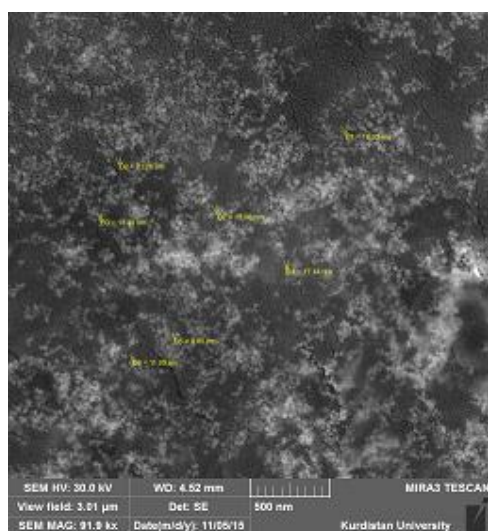
برای بررسی ریخت نانوذرات، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. تصویرهای میکروسکوپ الکترونی نشان داد که نانوذرات به دست آمده کروی بوده و دارای اندازه در محدوده ۱۳-۲۰ نانومتر با پراکندگی مناسبی می‌باشند. شکل ۶ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات طلا در بزرگنمایی‌های مختلف را در شرایط محلول کلوییدی شامل ۰/۵ میلی‌مولار از HAuCl_4 ، ۲۵۰ میکرولیتر عصاره پوست سیب قرمز و در مدت زمان ۱۰ دقیقه نشان می‌دهد.



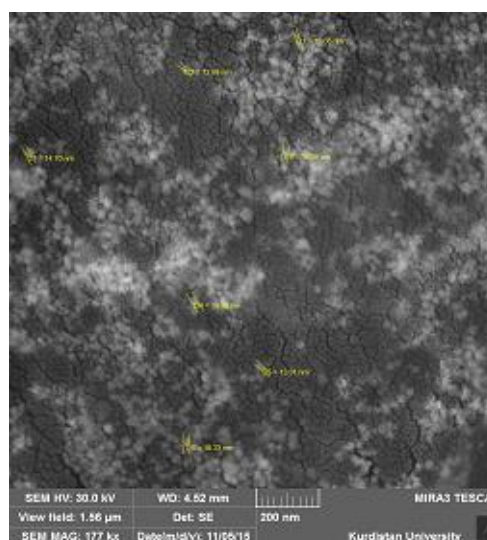
شکل ۵. نمودار مربوط به بررسی اثر حجم عصاره پوست سیب قرمز در سنتز نانوذرات طلا در ۵ حجم: الف) ۵۰ میکرولیتر، ب) ۱۰۰ میکرولیتر، ج) ۲۰۰ میکرولیتر، د) ۳۰۰ میکرولیتر و ه) ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره پوست سیب قرمز.

جدول ۳. مربوط به بررسی اثر تغییر حجم عصاره پوست سیب قرمز بر طول موج‌ها و جذب‌های مختلف نانوذرات طلا

بیشینه جذب (نانومتر)	طول موج (نانومتر)	حجم عصاره (میکرولیتر)	
۰/۱۹۵	۵۲۵	۵۰	الف
۰/۲۵۱	۵۲۵	۱۰۰	ب
۰/۱۹۶	۵۳۴	۲۰۰	ج
۰/۱۹۶	۵۳۲	۳۰۰	د
۰/۱۹۵	۵۲۸	۵۰۰	ه

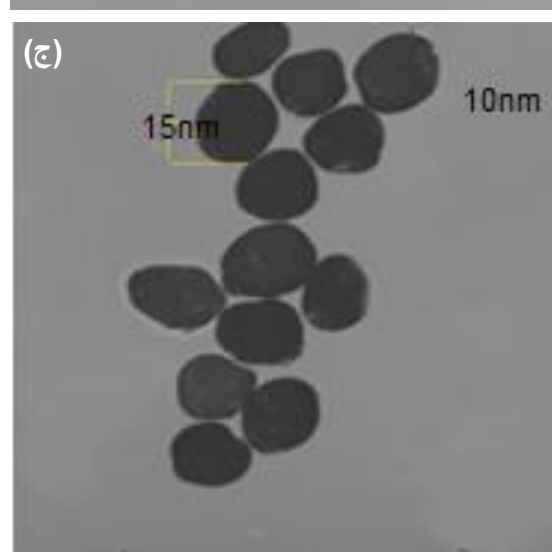
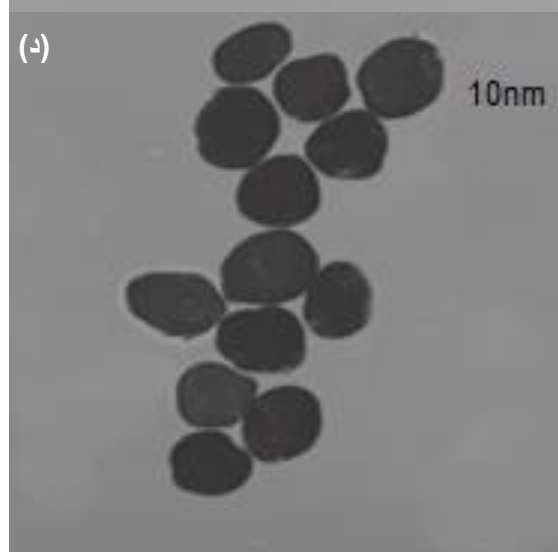
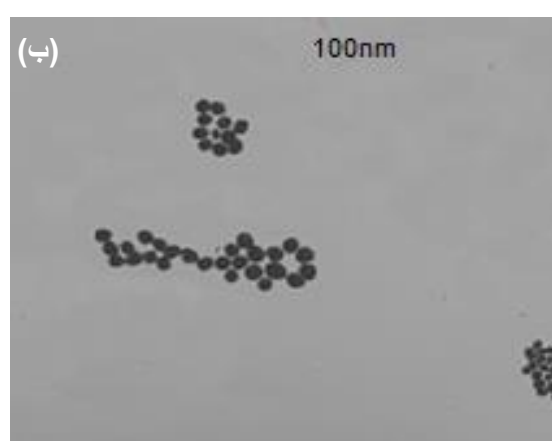
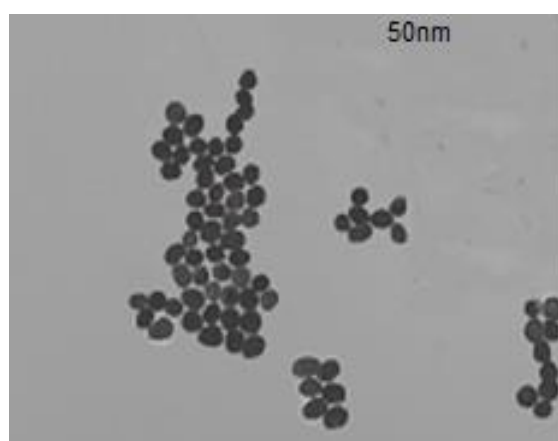


ب



الف

شکل ۶. تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات طلا در بزرگنمایی‌های مختلف الف) ۲۰۰ نانومتر و ب) ۵۰۰ نانومتر.



شکل ۷. تصویرهای میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات طلای سنتز شده.

- nanoparticles using latex of *Jatropha curcas*" Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp. **339**, 134 (2009).
- [2] H. Huang, Y. Yang, "Preparation of silver nanoparticles in inorganic clay suspensions" Compos. Sci. Technol. **68**, 2948 (2008)
- [3] S. Loeve, "About a Definition of Nano: How to Articulate Nano and Technology" Int. J. Phil. Chem. **16**, 3 (2010)
- [4] P. B. Santhosh, J. Genova, H. Chamati, "Green Synthesis of Gold Nanoparticles: An Eco-Friendly Approach" Chem. **4**, 345 (2022)
- [5] R. A. Sperling, P. R. Gil, F. Zhang, M. Zanella, W. J. Parak, "Biological applications of gold Nanoparticles" Chem. Soc. Rev. **37**, 1896 (2008)
- [6] C. Faure, A. Derre, W. Neri, "Spontaneous formation of silver nanoparticles in multilamellar vesicles" J. Phys. Chem. B. **107**, 4738 (2003)
- [7] I. Fatimah, "Green synthesis of silver nanoparticles using extract of *Parkia speciosa Hassk* pods assisted by microwave irradiation" J. Adv. Res. **7**, 961 (2016)
- [8] S. W. P. Wijnhoven, W. J. G. M. Peijnenburg, C. A. Herberths, W. I. Hagens, A. G. Oomen, E. H. W. Heugens, B. Roszek, J. Bisschops, I. Gosens, "Nanosilver-a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment" Nanotox. **3**, 109 (2009).
- [9] Y. Zhang, F. Chen, J. Zhuang, Y. Tang, D. Wang, Y. Wang, A. Dong, N. Ren, "Synthesis of silver nanoparticles via electrochemical reduction on compact zeolite film modified electrodes" Chem. Commun. **23**, 2814 (2002).
- [10] S. Senapati, A. Syed, S. Moez, A. Kumar, A. Ahmad, "Intracellular synthesis of gold nanoparticles using *alga Tetraselmis kochinensis*" Mater. Lett. **2**, 116 (2012).
- [11] P. K. Singh, K. Bhardwaj, P. Dubey, A. Prabhune, "UV-Assisted Size Sampling and Antibacterial Screening of *Lantana camara* Leaf Extract Synthesized Silver Nanoparticles" RSC Adv. **5**, 24513 (2015).
- [12] J. T. Lue, "A review of characterization and physical property studies of metallic nanoparticles" J. Phys. Chem. Solids. **62**, 1599 (2001).
- [13] Q. H. Tran, A. T. Le, "Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives" Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol. **32**, 33 (2013).
- [14] I. Hussain, M. Brust, A. J. Papworth, A. I. Cooper, "Preparation of Acrylate-Stabilized Gold and Silver Hydrosols and Gold-Polymer Composite Films" Langmuir **19**, 4831 (2003).
- [15] N. Li, P. Zhao, D. Astruc, "Anisotropic gold nanoparticles: Synthesis, properties, applications, and toxicity" Angew. Chem., Int. Ed. Engl. **53**, 1756 (2014).
- [16] T. M. Masciangioli, W. X. Zhang, "Environmental technologies at the nanometer-scale" Nanotechnol. Environ. Chap. **2**, 7 (2004).
- [17] M. A. Albrecht, C. W. Evans, C. L. Raston, "Green Chemistry and the Health Implications of Nanoparticles" Green Chem. **8**, 417 (2006).

۴- نتیجه‌گیری

اگر چه راه‌های گوناگونی برای تهیه زیستی نانوذرات فلزی وجود دارد، اما استفاده از بسترهای گیاهی برای تهیه نانومواد یک روش نو ظهور و منطبق بر اصول شیمی سبز است. در این پژوهش، با استفاده از پوست سیب به عنوان منبع گیاهی، نانوذرات طلا با ویژگی‌های مشابه و حتی بهتر از روش‌های شیمیایی سنتز شده‌اند. استفاده از پوست سیب ارزان قیمت، بدون آلاینده‌های محیطی، مواد نانو با کیفیت مناسب‌تر و نیز افزایش تولید محصولات با درصد خلوص بالاتر را ممکن می‌سازد. همچنین سنتز نانوذرات منطبق بر اصول شیمی سبز و دوستدار محیط زیست محسوب می‌شود. در این پژوهش از پوست سیب قرمز عصاره آن تهیه و نانوذرات طلا با استفاده از آن در کمترین زمان و بیشترین پایداری و در اندازه‌هایی بین گستره ۱۳ تا ۲۰ نانومتر به صورت محلول کلوئیدی سنتز شدند. همچنین تغییر متغیرهای مختلف زمان، غلظت HAuCl_4 و حجم عصاره پوست سیب قرمز مورد بررسی قرار گرفت که در این میان بهترین شرایط، زمان ۵ دقیقه، غلظت ۰/۵ میلی‌مولار از HAuCl_4 ، دمای ۹۰ درجه سانتیگراد و حجم عصاره ۵۰۰ میکرولیتر بدست آمد، زیرا کمترین طول موج در این شرایط حاصل شد. در این طول موج اندازه نانوذرات کوچک‌تر می‌باشد. در مجموع در کنار سایر پیشرفت‌های ایجاد شده در روش‌های سنتز نانوذرات فلزی، می‌توان گفت روش مورد استفاده در این پژوهش، بسیار ساده، ارزان قیمت و دوستدار محیط زیست بوده و برای سنتز سایر نانوذرات فلزی دیگر نیز قابلیت کاربرد گسترده دارد. همچنین در راستای این پژوهش، در این گروه استفاده از عصاره دیگر گیاهان جهت سنتز نانوذرات فلزی مختلف در حال بررسی و ارزیابی می‌باشد.

سپاسگزاری

از پژوهشکده تجهیزات و فناوری‌های انتظامی-پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا و دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان و دانشگاه خوارزمی که در این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌شود.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا. پیام‌نگار: ali.roostaie1@gmail.com

منابع

- [1] H. Bar, D. K. Bhui, G. P. Sahoo, P. Sarkar, S. P. De, A. Misra, "Green synthesis of silver

- [25] S. P. Dubey, M. Lahtinen, M. Sillanpää, "Green synthesis and characterizations of silver and gold nanoparticles using leaf extract of *Rosa rugosa*" *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* **364**, 34 (2010).
- [26] R. K. Das, B. B. Borthakur, U. Bora, "Green synthesis of gold nanoparticles using ethanolic leaf extract of *Centella asiatica*" *Mater. Lett.* **64**, 1445 (2010).
- [27] S. P. Chandran, M. Chaudhary, R. Pasricha, A. Ahmad, M. Sastry, "Synthesis of gold nanotriangles and silver nanoparticles using *Aloe vera* plant extract" *Biotechnol. Prog.* **22**, 577 (2006).
- [28] S. L. Smitha, D. Philip, K. G. Gopchandran, "Green synthesis of gold nanoparticles using *Cinnamomum zeylanicum* leaf broth" *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* **74**, 735 (2009).
- [29] S. Dinesh, S. Karthikeyan, P. Arumugam, "Biosynthesis of silver nanoparticles from *Glycyrrhiza glabra* root extract" *Arch. Appl. Sci. Res.* **4**, 178 (2012).
- [30] V. Babu Nagati, R. Koyyati, M. R. Donda, J. Alwala, K. R. Kundle, P. R. M. Padigya, "Green synthesis and characterization of silver nanoparticles from *Cajanus Cajan* leaf extract and its antibacterial activity" *Int. J. Nanomater. Biostruct.* **2**, 39 (2012).
- [31] I. Calinescu, M. Patrascu, A. I. Gavrila, A. Trifan, C. Boscornea, "Synthesis and characterization of silver nanoparticles in the presence of PVA and tannic acid" *UPB Sci. Bull. B* **73**, 3 (2011).
- [18] A. M. Alkilany, C. J. Murphy, "Toxicity and cellular uptake of gold nanoparticles: what we have learned so far" *J. Nanoparticle Res.* **12**, 2313 (2010).
- [19] N. Lewinski, V. Colvin, R. Drezek, "Cytotoxicity of nanoparticles" *Small* **4**, 26 (2008).
- [20] B. Bhattacharai, Y. Zaker, T. P. Bigioni, "Green synthesis of gold and silver nanoparticles: Challenges and opportunities" *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* **12**, 91 (2018).
- [21] B. Ankamwar, M. Chaudhary, M. Sastry, "Gold nanotriangles biologically synthesized using *tamarind* leaf extract and potential application in vapor sensing" *Synth. React. Inorg. Metal-Org. Nano-Met. Chem.* **35**, 19 (2005).
- [22] A. T. Marshall, R. G. Haverkamp, C. E. Davies, J. G. Parsons, J. L. Gardea-Torresdey, D. Agterveld, "Accumulation of gold nanoparticles in *Brassic Juncea*" *Int. J. Phytoremediation* **9**, 197 (2007).
- [23] J. L. Gardea-Torresdey, J. G. Parsons, E. Gomez, J. Peralta-Videa, H. E. Troiani, P. Santiago, M. J. Yacaman, "Formation and growth of Au nanoparticles inside live *alfalfa* plants" *Nano let.* **2**, 397 (2002).
- [24] J. L. Gardea-Torresdey, E. Gomez, J. R. Peralta-Videa, J. G. Parsons, H. Troiani, M. Jose-Yacaman, "*Alfalfa sprouts*: a natural source for the synthesis of silver nanoparticles" *Langmuir* **19**, 1357 (2003).