

## تهیه سبز نانوذره‌های نقره مورد استفاده در جوهرهای رسانا به روش سونوشیمیایی

سحر فروغی‌راد، مرضیه خطیب‌زاده\*<sup>+</sup>

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، صندوق پستی ۱۵۸۷۵ - ۴۴۱۳

**چکیده:** تهیه سبز نانوذره‌های نقره در دمای محیط با استفاده از روش سونوشیمیایی انجام گرفت که در طی آن از نقره نیترات به‌عنوان پیش‌ماده‌ی نقره، از ژلاتین و آسکوربیک اسید به ترتیب به‌عنوان پایدارکننده‌ی نقره و عامل احیا استفاده شد. اثر غلظت پایدارکننده، عامل احیا و زمان قرارگیری در معرض فراصوت در تهیه بررسی شد. بررسی اثر غلظت پایدارکننده و عامل احیا نشان داد که در غلظت‌های مواد افزودنی مقدارهای بهینه‌ای وجود دارد که در صورت عبور از این مقدارها یا استفاده کمتر از حد بهینه آن‌ها، اختلال در فرایند تهیه بروز نموده و اندازه ذره‌ها و توزیع آن‌ها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. افزون بر آن، زمان قرارگیری در برابر فراصوت نیز در فرایند تهیه بسیار دارای اهمیت بوده و اندازه ذره‌ها و توزیع آن را متأثر می‌نماید. با استفاده از مقدارهای بهینه، نانوذره‌هایی با قطری در بازه ۵ الی ۹ نانومتر به دست آمد. از آزمون اسپکتروفتومتری مرئی - فرابنفش به‌منظور دیدن پیک مشخصه‌ی نانوذره‌های نقره استفاده شد و دیدن این پیک در بازه ۴۵۰ - ۴۰۰ نانومتر، حضور نانوذره‌های نقره را در محلول نشان داد. از آزمون تفرق دینامیکی نور نیز برای بررسی دقیق و کمی اندازه ذره‌ها و توزیع آن‌ها استفاده شد. نتیجه‌ها نشان داد که در صورت استفاده از مقدارهای بهینه، ذراتی با اندازه‌های کوچک‌تر و توزیع باریک‌تر به دست می‌آید.

**واژه‌های کلیدی:** نانوذره‌های فلزی، نقره، تهیه سبز، فرایند سونوشیمیایی.

**KEY WORDS:** Metal nanoparticles, Silver, Green synthesis, Sonochemical process.

### مقدمه

که از جمله‌ی آن می‌توان به ویژگی‌های نوری، الکتریکی، شیمیایی، کاتالیستی، ضد باکتریایی<sup>(۱)</sup> و ... اشاره نمود [۲، ۳]. آماده‌سازی جوهرهای رسانا نیازمند پودری از نانوذره‌ها می‌باشد که در محملی از جوهر پخش شده و به کمک دستگاه‌های چاپ بر روی قطعه‌ها اعمال شود. از کاربردهای جوهر رسانا در حیطه‌ی چاپ بر روی قطعات نوری - الکترونیکی<sup>(۲)</sup> مانند فیلترهای رنگی

دانش فناوری نانو یکی از داغ‌ترین بحث‌ها در جهان امروز است که توجه هر دو جامعه پژوهشگران و صنعت را به خود جلب نموده‌است. به دلیل ابعاد کوچک، نانوذره‌ها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی نسبت به حالت توده از خودشان نشان می‌دهند [۱]. در این میان نانوذره‌های نقره به دلیل ویژگی یگانه و وابسته به اندازه‌شان<sup>(۱)</sup> توجه ویژه‌ای را جلب نموده‌اند

\*عهده دار مکاتبات

+E-mail: khatib@aut.ac.ir

(۱) Size dependent

(۲) Optoelectronic

(۲) Antibacterial

فعال سطحی و یا از پلیمرها به عنوان عامل پایدارکننده<sup>(۶)</sup> استفاده می‌شود. این پلیمرها به دلیل داشتن ساختار بلند و پرشاخه، به دام اندازنده<sup>(۷)</sup> یون‌های فلز خواهند بود. در ادامه، با نفوذ عامل احیا<sup>(۸)</sup> و یا عامل ته‌نشینی<sup>(۹)</sup> به درون این ساختار پلیمری، یون‌های فلز به نانوذره‌ها تبدیل شده و ته‌نشین می‌شوند. تاکنون گزارش‌های زیادی در زمینه‌ی تهیه نانوذره‌های نقره ارائه شده‌است، اما کماکان مشکلاتی نظیر پایداری این نانوذرات، اندازه ذره‌های یکنواخت، حذف فرآورده‌های جانبی و خارج کردن پایدارکننده‌های اضافی باقی مانده‌است [۲].

تهیه به‌روش سونوشیمیایی در حقیقت کاربرد فرایند احیای شیمیایی با کمک دستگاه فراصوت می‌باشد. با استفاده از این روش نسبت به روش‌های دیگر، می‌توان به ذره‌هایی با اندازه‌های بسیار کوچک‌تر دست‌یافت. علت این پدیده را می‌توان به مکانیسم فرایند سونیکه شدن نسبت داد.

در این پژوهش تهیه نانوذرات نقره با کمک دستگاه فراصوت انجام گرفت که سبب سادگی در انجام این فرایند شد. افزون بر آن، در این پژوهش تلاش شد تا نانوذره‌های نقره با استفاده از مواد اولیه دوست‌دار محیط زیست تهیه شود، از همین رو است که به این نوع تهیه، تهیه سبز گفته می‌شود، چرا که تمامی مواد کاربردی و تولیدشده در تهیه برای طبیعت بی‌ضرر هستند.

## بخش تجربی

### ویژگی‌های مواد مصرفی

پودر سفید رنگ نمک نقره نیترات از شرکت Merck آلمان خریداری شد که به‌عنوان پیش‌ماده نقره در سنتز به‌کار برده‌شد. پودر زرد رنگ آسکوربیک اسید با وزن مولکولی ۱۷۶٫۱ از شرکت MP هلند تهیه شد و در فرایند تهیه به‌عنوان عامل احیا به‌کاررفت. همچنین ژلاتین با درجه غذایی نیز از شرکت MP هلند خریداری شد و به‌عنوان پایدارکننده شیمیایی استفاده شد. تمامی مواد بدون خالص‌سازی دوباره مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی ظروف نیز قبل از مصرف با آب دوبار تقطیرشده شستشو داده شدند.

ویژه نمایشگرهای کریستال رنگی<sup>(۱)</sup> [۴]، دیودهای آلی ساطع‌کننده‌ی نور<sup>(۲)</sup> [۵]، ترانزیستورهای فیلم نازک آلی و معدنی<sup>(۳)</sup> [۶]، آنتن‌های شناساگر فرکانس نوری<sup>(۴)</sup> [۷] و دستگاه‌های سنجش الکتریکی<sup>(۵)</sup> مانند حسگرها [۸، ۱] هستند که در تمامی این قطعه‌ها، فیلم نازکی از جوهر که دارای ذره‌های فلزی و در نتیجه رساناست چاپ می‌شود [۹]. از آن‌جایی که دهانه نازل در دستگاه چاپ جوهرافشان دارای قطری در حدود ۲۱ میکرون است، نانوذره‌های مصرفی در جوهر باید دارای اندازه‌هایی کمتر از ۱/۱۰۰ قطر دهانه‌ی نازل یعنی بیشترین ۲۰۰ نانومتر باشند تا از بسته شدن دهانه‌ی نازل در حین چاپ جلوگیری شود [۱۱، ۱۰]. نکته‌ی دارای اهمیت آن است که با عبور از مقیاس میکرون و ورود به مقیاس نانو، نسبت سطح به حجم ذره‌ها افزایش می‌یابد و این پدیده تمایل ذره‌ها برای تجمع را افزایش می‌دهد. در نتیجه، این ذره‌ها کلوخه شده و مولکول‌های هوا را بر روی سطح خود به دام می‌اندازند. این کلوخه‌ها و هوای گیر افتاده در سامانه، مقاومت الکتریکی سامانه را بالا برده و در نتیجه از میزان رسانایی آن می‌کاهند [۱۱].

ویژگی‌های نانوذره‌های تهیه شده به شدت وابسته به شیوه‌ی تهیه و شرایط تجربی می‌باشد. روش‌های گوناگونی برای تهیه این نانوذره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که به طور کلی به دو دسته‌ی فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. از روش‌های فیزیکی می‌توان به استفاده از لیزر [۱۲] و تابش الکترون [۱۳] اشاره نمود. روش‌های شیمیایی متداول نیز شامل احیا به روش پلی آل [۱۴]، استفاده از پرتو مایکروویو [۱۵]، احیای شیمیایی [۱۶، ۱۷] و احیا به روش سونوشیمیایی [۲۰ - ۱۸، ۲] می‌باشند.

از میان روش‌های موجود، فرایند احیای شیمیایی پرکاربردترین روش بوده‌است. خوبی‌های استفاده از این روش زمان کوتاه واکنش در حدود چند دقیقه، فرایند ساده به دلیل نیاز نداشتن به دستگاه و تجهیزات خاص و گران‌قیمت، و بازده بالاست. در فرایند تهیه نانوذره‌های فلزی، که به‌طور عموم به صورت محلول انجام می‌گیرد، نمک فلزی محلول در آب به وسیله‌ی یک عامل احیا کننده به نانوذره‌های فلزی تبدیل می‌شود. در طی فرایند، اغلب از مواد

(۱) Liquid Crystal Displays (LCDs)

(۲) Organic Light Emitting Diodes (OLEDs)

(۳) Thin Film Transistor

(۴) Radio Frequency Identification (RFID) Antennas

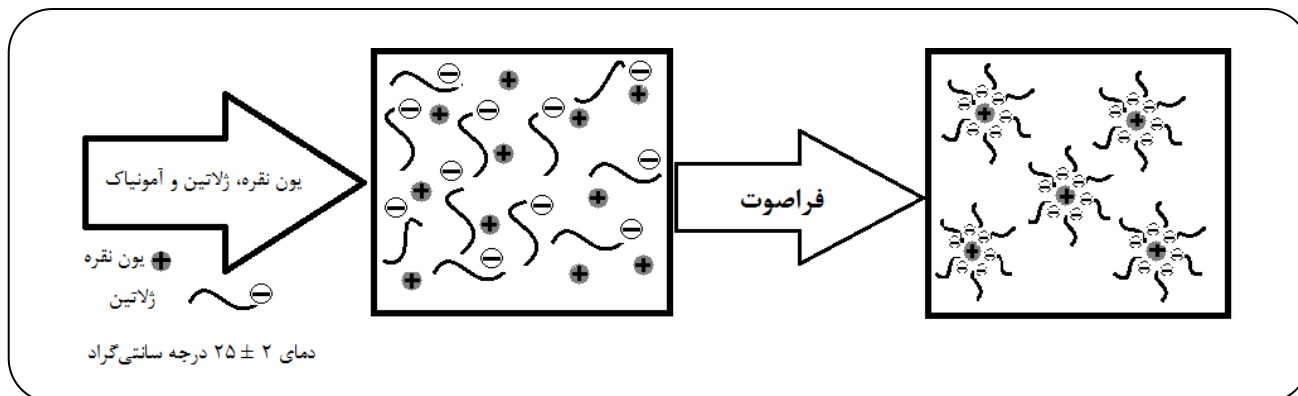
(۵) Electro analytical

(۶) Stabilizing agent

(۷) Capping agent

(۸) Reducing agent

(۹) Precipitating agent



شکل ۱- شمایی از عملکرد پایدارکننده (ژلاتین) در معرض فراصوت.

### روش تهیه

تهیه مورد استفاده در این پژوهش فرایند احیای شیمیایی با کمک امواج فراصوت می‌باشد. به‌منظور بررسی غلظت بهینه پایدارکننده، در ابتدا چهار نمونه با درصدهای وزنی ۰٫۲۵، ۰٫۵، ۱٫۰ و ۱٫۵ از ژلاتین تهیه شد، بدین ترتیب که پودر ژلاتین در داخل ۲۵ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیرشده در دمای اتاق حل شد. سپس پودر نمک نقره نیترات به محلول افزوده شده و در آن حل شد. بدین ترتیب نمک نیترات نقره تفکیک شده و به کاتیون‌های نقره و آنیون‌های نیترات تبدیل می‌شود. در ادامه و با قرار دادن محلول در معرض فراصوت، یون‌های نقره به طور کامل در داخل محلول پراکنده شده و ذرات ژلاتین نیز از سر منفی خود به یون‌های نقره نزدیک شده و آن‌ها را احاطه می‌نمایند [۲۱]. پس از آن، محلول به دست آمده به مدت ۴۰ دقیقه تحت فراصوت با قدرت ۱۵۰ وات در دمای محیط قرار گرفت. با افزودن تدریجی آسکوربیک اسید به محلول در شرایط فراصوت، ذره‌های کوچک آسکوربیک اسید از میان پلیمرها نفوذ کرده و سبب احیای یون‌های نقره و تبدیل آن به نقره فلزی می‌شوند. حضور چنین ذره‌های پایدارکننده‌ای از به‌هم پیوستن و کلوخه‌شدن ذرات نقره فلزی جلوگیری نموده و نانوذرات نقره پدید می‌آیند. شکل ۱ شمایی از عملکرد پایدارکننده را در معرض فراصوت نشان می‌دهد.

به‌دنبال آن و برای بررسی غلظت عامل احیا، سه نمونه با درصدهای وزنی متفاوت از عامل احیا (آسکوربیک اسید)، با روشی همانند آنچه گفته‌شد تهیه شدند و غلظت‌های عامل احیا به ترتیب ۱٫۰، ۲٫۵ و ۵ درصد وزنی بود. پس از پایان فرایند تهیه و خالص‌سازی، نمونه‌ها تحت آزمون قرار گرفته و غلظت بهینه‌ی عامل احیا نیز معرفی شد.

### دستگاه‌های کاربردی در حین سنتز

از دستگاه فراصوت Topsonic ۴۰۰ وات، ساخت کشور ایران در حین سنتز و جهت پراکنش یکنواخت مواد مورد استفاده در محیط آبی استفاده شد. همچنین پس از پایان فرایند تهیه و برای خالص‌سازی نانوذره‌های تهیه شده، از دستگاه سانتریفوژ Hermle Z366 استفاده شد. محلول تهیه‌شده بار اول به مدت ۴۵ دقیقه سانتریفوژ شد. پس از پایان کار نمونه‌ها خارج شده، رسوب جدا شد و چندین بار با اتانول شستشو داده‌شد و برای بار دوم به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. سرانجام رسوب خالص جداسازی شد.

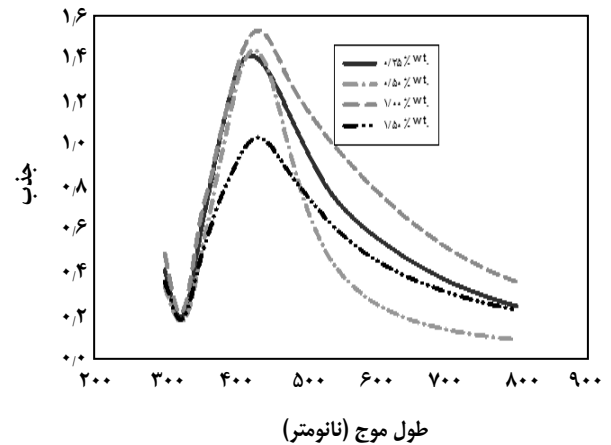
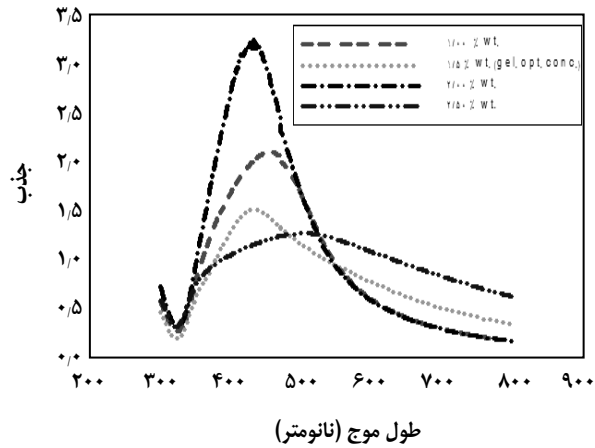
### دستگاه‌های ارزیابی و آزمون

از دستگاه طیف سنجی فرابنفش - مرئی با ویژگی‌های Analyticjena - Specord 210 به‌منظور دیدن پیک مشخصه‌ی نانوذره‌های نقره در بازه‌ی ۴۰۰ الی ۴۵۰ نانومتر و همچنین برای مقایسه‌ی کیفی اندازه‌ی ذرات و توزیع آن با استفاده از شدت پیک‌ها و پهنای آن‌ها استفاده شد. همچنین از آزمون تفرق دینامیکی نور یا به اختصار DLS، با ویژگی‌های Brookhaven - zet.pw32 برای مقایسه کمی و دقیق اندازه ذره‌ها و توزیع آن استفاده شد.

### نتیجه‌ها و بحث

#### بررسی اثر غلظت پایدارکننده (ژلاتین)

به‌منظور بررسی غلظت پایدارکننده در سنتز از چهار نمونه تهیه شده، با درصدهای وزنی متفاوت از ژلاتین، طیف فرابنفش - مرئی از آن‌ها گرفته‌شد که نتیجه‌های آن در نمودار ۱ قابل دیدن است.



نمودار ۲- نتیجه‌های آزمون طیف سنجی فرابنفش - مرئی برای نمونه‌های حاوی غلظت‌های گوناگون عامل احیا: ۱/۵۰، ۱/۱۰۰، ۲/۱۰۰ و ۲/۵۰ درصد وزنی.

نمودار ۱- نتیجه‌های آزمون طیف سنجی فرابنفش - مرئی برای نمونه‌های با درصدهای وزنی گوناگون ژلاتین: ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۱/۰۰ و ۱/۵۰.

نانوذره‌های نقره به‌طور کامل انجام نگرفته و ذره‌های درشت‌تری به دست آید. افزون بر آن، افزودن غلظت‌هایی بیش‌تر از میزان بهینه نیز سبب تجمع ذرات پایدارکننده به دور خود شده که در نتیجه‌ی آن نیز پایدارسازی به‌طور کامل انجام نشده و ذرات درشت‌تری حاصل می‌شود. بدین ترتیب میزان بهینه‌ی پایدارکننده ژلاتین، ۱/۰۰ درصد وزنی معرفی شد.

#### بررسی اثر غلظت عامل احیا (آسکوربیک اسید)

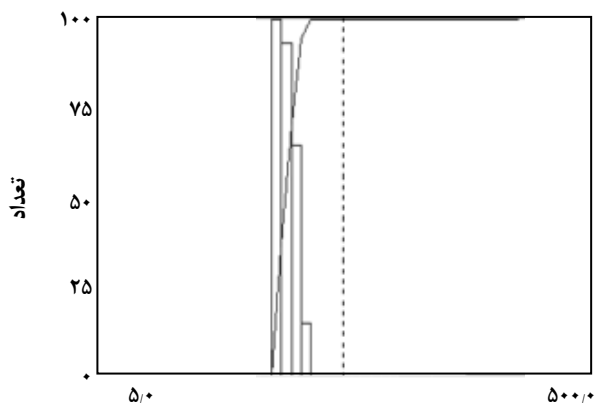
به‌منظور بررسی غلظت عامل احیا در تهیه، سه نمونه با درصدهای وزنی متفاوت از آسکوربیک اسید به روشی همانند با نمونه‌های قبلی آماده شد و طیف فرابنفش - مرئی آن تهیه شد. نتیجه‌های این سه نمونه‌ی جدید در کنار نمونه‌ی دارای غلظت بهینه پایدارکننده (۱/۰۰ درصد وزنی) در نمودار ۲ قابل دیدن است.

همان‌گونه که از نمودار ۲ پیداست، نمونه‌ی دارای ۲/۵۰ درصد وزنی آسکوربیک اسید دارای پیک مشخصه‌ای بسیار پهن است که نشان دهنده‌ی اکسیدشدن و عدم تشکیل نانوذرها می‌باشد. اما برای بررسی دقیق‌تر از هر سه نمونه دارای ۱/۰۰، ۲/۱۰۰ و ۲/۵۰ درصد وزنی آسکوربیک اسید آزمون DLS گرفته شد و با نمونه معرفی شده به‌عنوان بهینه ژلاتین که دارای ۱/۵۰ درصد وزنی آسکوربیک اسید بود مقایسه شد. نتیجه‌های آزمون DLS برای هر ۳ نمونه در شکل ۳- الف، ۳- ب و ۳- ج ارائه شده است.

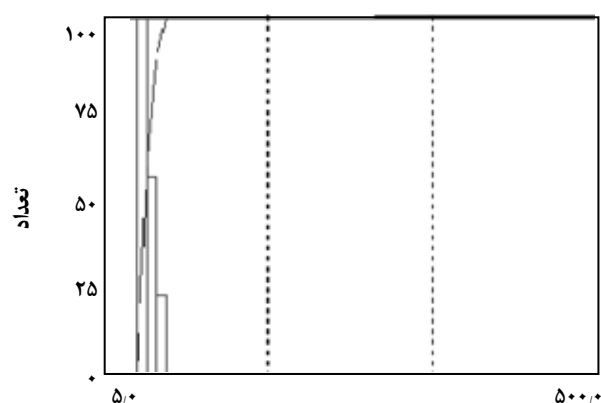
همان‌گونه که پیش از آن نیز در تفسیر آزمون طیف‌سنجی فرابنفش - مرئی اعلام شد، حضور نداشتن پیک مشخصه در نتیجه‌ها

پیک مشخصه‌ای که در بازه‌ی ۴۵۰ - ۴۰۰ نانومتر دیده می‌شود، نشان دهنده‌ی حضور نانوذره‌های نقره در محلول است [۱۹، ۲۰]. وجود این پیک مشخصه در هر چهار نمونه بیانگر ساخت موفقیت‌آمیز نانوذره‌های نقره بود. اما همان‌گونه که از منحنی‌ها نیز پیداست نمونه‌های دارای درصدهای وزنی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۱/۰۰ از ژلاتین دارای شدت پیک‌هایی به نسبت یکسان هستند اما با افزایش غلظت ژلاتین به ۱/۵۰ درصد وزنی، شدت پیک به‌روشنی افت پیدا کرده‌است. افت در شدت پیک نشان‌دهنده‌ی افزایش اندازه ذره‌ها و افزایش پهنای پیک بیانگر افزایش توزیع اندازه ذره‌ها می‌باشد [۲۰]. به‌منظور مقایسه‌ی دقیق‌تر و کمی نمونه‌های دارای ۱/۰۰ و ۱/۵۰ درصد وزنی ژلاتین، از آزمون تفرق دینامیکی نور یا به اختصار DLS استفاده شد. نتیجه‌های این آزمون برای این دو نمونه در شکل ۲- الف و ۲- ب قابل دیدن است.

همان‌گونه که از شکل ۲- الف پیداست، نمونه دارای ۱/۰۰ درصد وزنی از ژلاتین دارای قطر متوسط ۹/۲ نانومتر می‌باشد درحالی‌که این مقدار در نمونه دارای ۱/۵۰ درصد وزنی از ژلاتین به ۲۹/۴ نانومتر افزایش پیدا کرده‌است. افزون بر آن توزیع اندازه ذره‌ها در نمونه دارای ۱/۰۰ درصد وزنی از ژلاتین در محدوده‌ی ۸/۵ - ۱۱/۱ نانومتر می‌باشد درحالی‌که با افزایش میزان ژلاتین به ۱/۵ درصد وزنی توزیع پهن‌تری در محدوده‌ی ۳۵/۰ - ۲۶/۷ نانومتر دیده می‌شود. در حقیقت، افزودن غلظت‌های کم‌تر از میزان بهینه پایدارکننده سبب می‌شود عمل پایدارسازی



قطر (نانومتر)



قطر (نانومتر)

نمونه‌ای با ۱٫۵ درصد وزنی ژلاتین		
اندازه ذره	فراوانی گوسی	فراوانی تجمعی
۲۰٫۴	۰	۰
۲۲٫۳	۰	۰
۲۴٫۴	۰	۰
۲۶٫۷	۱۰۰	۳۷
۲۹٫۲	۹۳	۷۱
۳۲	۶۵	۹۴
۳۵	۱۵	۱۰۰
۳۸٫۳	۰	۱۰۰

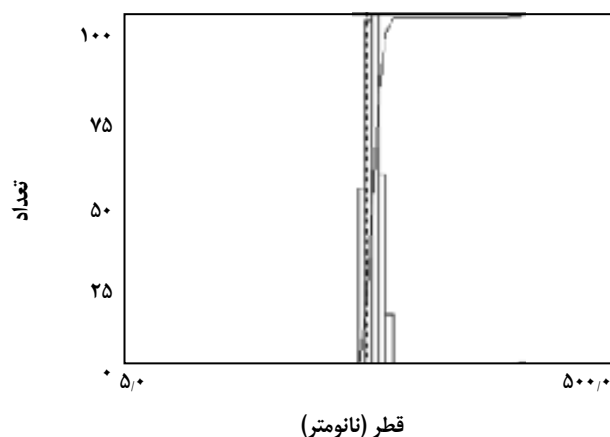
نمونه‌ای با ۱٫۰ درصد وزنی ژلاتین		
اندازه ذره	فراوانی گوسی	فراوانی تجمعی
۶٫۵	۰	۰
۷٫۴	۰	۰
۸٫۵	۱۰۰	۵۶
۹٫۷	۵۶	۸۷
۱۱٫۱	۲۲	۱۰۰
۱۲٫۷	۰	۱۰۰

شکل ۲- ب - نتایج آزمون DLS برای نمونه‌ای با ۱٫۵ درصد وزنی ژلاتین (قطر متوسط : ۲۹٫۴ نانومتر).

شکل ۲- الف - نتیجه‌های آزمون DLS برای نمونه دارای ژلاتین ۱٫۰ درصد وزنی (قطر متوسط : ۹٫۲ نانومتر).

توزیع اندازه ذره‌های بسیار پهن‌تری دیده شد که دلخواه نمی‌باشد. در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد، که نبود عامل احیا به میزان کافی سبب می‌شود هسته‌گذاری به تعداد کمتری انجام شده و با ادامه‌ی فرایند رشد، ذرات بزرگ‌تری به دست آید. اما نمونه دارای ۲٫۰ درصد وزنی عامل احیا نیز اندازه ذره‌هایی در حدود ۲۳٫۷ نانومتر داشت. نکته‌ی شایان توجه این است که در این شرایط توزیع اندازه ذره‌های بسیار باریکی دیده می‌شود که در حقیقت می‌توان این‌گونه نظر داد که در زمان‌هایی که داشتن توزیع اندازه ذره‌های باریک بیش‌تر از اندازه‌ی ذره‌های کوچک دارای اهمیت باشد، با افزودن میزان عامل احیا کمی بیشتر از میزان بهینه، می‌تواند سبب به دست آمدن ذره‌هایی با اندازه‌هایی به نسبت درشت‌تر اما توزیع اندازه ذره‌هایی بسیار باریک‌تر شود. اما در مقابل افزودن غلظت‌های خیلی بیش‌تر از میزان بهینه نیز، pH محیط را به اسیدی رسانده و سبب انجام نشدن واکنش احیای شیمیایی می‌شود.

نشان‌دهنده‌ی نبود نانوذره‌های نقره می‌باشد که نتایج DLS نیز این گفته را به‌طور کامل تایید می‌کند. نمونه‌ی با غلظت عامل احیای ۲٫۵ درصدوزنی دارای قطر متوسطی برابر با ۱۱۳٫۴ نانومتر بود که با توجه به نکاتی که در بخش اول گفته شد، در محدوده‌ی ذره‌های نانو جای نمی‌گیرد [۲۲، ۲۳]. افزون بر آن، توزیع اندازه ذره‌ها نیز بسیار پهن‌تر شده‌است. در واقع، می‌توان این‌گونه اظهار نظر نمود که با افزایش بیش از اندازه‌ی عامل احیا که در این تهیه آسکوربیک اسید بود، pH محیط واکنش به pHهای اسیدی کاهش پیدا می‌کند که این امر سبب جلوگیری از انجام واکنش احیای شیمیایی می‌شود که نتیجه‌ی آن تشکیل نشدن نانوذره‌های نقره است. اندازه ذره‌های نمونه دارای ۱٫۰ درصد وزنی عامل احیا، در حدود ۵۴٫۶ نانومتر بود که در مقایسه با نمونه بهینه ژلاتین دارای ۱٫۵۰ درصد وزنی عامل احیا که اندازه ذره‌هایی در حدود ۹٫۲ نانومتر داشت، بسیار افزایش داشته‌است. افزون بر آن



نمونه با ۱۰۰ درصد وزنی عامل احیا

اندازه ذره	فراوانی گوسی	فراوانی تجمعی
۴۱٫۶	۰	۰
۴۴٫۴	۰	۰
۴۷٫۴	۵۰	۱۶
۵۰٫۶	۹۸	۴۶
۵۴	۱۰۰	۷۷
۵۷٫۷	۵۴	۹۴
۶۵٫۷	۱۵	۹۹
۲۰۰٫۲	۱	۹۹
۲۱۳٫۷	۱	۱۰۰
۲۲۸٫۲	۱	۱۰۰
۲۴۳٫۶	۰	۱۰۰

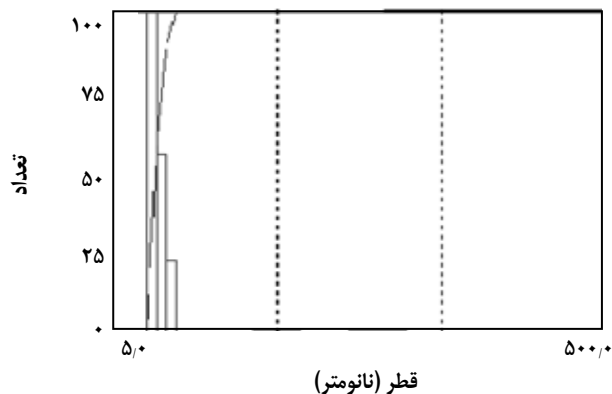
شکل ۳- الف - نتیجه‌های آزمون DLS برای نمونه با ۱۰۰ درصد وزنی عامل احیا (قطر متوسط : ۵۴٫۶ نانومتر).

و در نتیجه آن، ذره‌های پایدارکننده تشکیل می‌دهد و به دور یکدیگر گرد می‌آیند و در نتیجه این عمل، فرایند پایدارسازی نانوذره‌ها به درستی انجام نگرفته و ذره‌های درشت‌تری به دست می‌آیند. بررسی اثر غلظت عامل احیای شیمیایی نیز نشان داد که افزودن غلظت‌هایی کمتر از میزان بهینه سبب می‌شود عمل هسته‌گذاری به اندازه کافی انجام نگیرد و در ادامه فرایند رشد، ذره‌های بزرگ‌تری ایجاد شود. این در حالی است که افزودن غلظت‌هایی بیشتر از میزان بهینه سبب کاهش pH محیط واکنش به pHهای اسیدی شده و در حضور یون هیدروژن عمل احیای شیمیایی قادر به رخ دادن نخواهد بود، بدین ترتیب نانوذره‌ها نیز تشکیل نخواهد شد.

بدین ترتیب نمونه با غلظت عامل احیای ۱/۵ درصد وزنی و غلظت ژلاتین ۱/۰۰ درصد وزنی به عنوان نمونه بهینه تهیه معرفی شد.

### نتیجه‌گیری

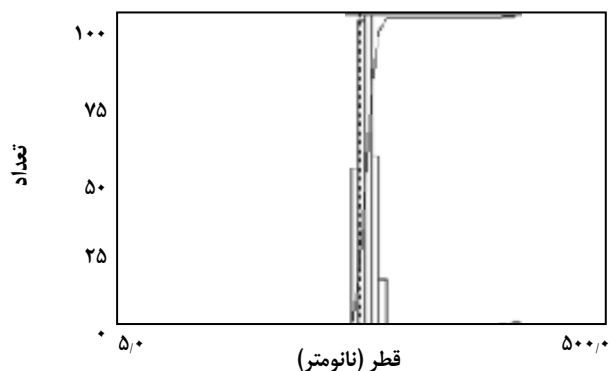
در طی پژوهش انجام شده این نکته نتیجه شد که غلظت پایدارکننده شیمیایی در زمان فرایند تهیه، اثر به‌سزایی در اندازه نانوذره‌ها دارد. به طوری که افزودن غلظت‌هایی کمتر از میزان بهینه، سبب می‌شود تا عمل پایدارسازی به درستی انجام نشده و نانوذره‌های ایجاد شده به یکدیگر چسبیده و کلوخه‌هایی درشت‌تر را ایجاد نمایند. افزون بر آن استفاده از مقادیر بیشتری از میزان بهینه نیز سبب عبور از غلظت بحرانی مایسل شده



نمونه با ۲/۰۰ درصد وزنی عامل احیا

اندازه ذره	فراوانی گوسی	فراوانی تجمعی
۱۲۲	۱۰۰	۸۷
۳۱٫۶	۱۲	۹۸
۴۵٫۳	۲	۱۰۰
۶۴٫۹	۰	۱۰۰

شکل ۳-ب - نتیجه‌های آزمون DLS برای نمونه با ۲/۰۰ درصد وزنی عامل احیا (قطر متوسط: ۲۳٫۷ نانومتر).



نمونه با ۲/۵ درصد وزنی عامل احیا

اندازه ذره	فراوانی گوسی	فراوانی تجمعی
۵۴٫۷	۱۰۰	۳۱
۵۹٫۱	۹۱	۵۹
۶۳٫۹	۶۱	۷۸
۶۹٫۱	۱۰	۸۱
۴۷٫۷	۰	۸۱
۲۸۱	۱	۸۱
۳۰۳٫۸	۲	۸۲
۳۲۸٫۴	۸	۸۵
۳۵۵	۴۹	۱۰۰
۳۸۳٫۸	۰	۱۰۰

شکل ۳-ج - نتیجه‌های آزمون DLS برای نمونه با ۲/۵ درصد وزنی عامل احیا (قطر متوسط: ۱۱۳٫۴ نانومتر).

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۷

## مراجع

- [1] Ruiz P., Macanás J., Muñoz M., Muraviev D.N., Intermatrix Synthesis: Easy Technique Permitting Preparation of Polymer-Stabilized Nanoparticles with Desired Composition and Structure, *Nanoscalereslett*, **6**: 343 (6pp) (2011).
- [2] Zhanjiang Z., Jinpei L., Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles by a Sonochemical Method, *Rare Metal Materials and Engineering*, **41**(10): 1700-1705 (2012).
- [۳] زمان خان، حسام؛ آیتی، بیتا؛ گنجی دوست، حسین؛ تجزیه فتوکاتالیستی فنل به وسیله نانوذرات روی اکسید تثبیت شده بر بستر بتنی، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، (۳) ۳۱: ۹-۱۹ (۱۳۹۱).
- [4] Lu J.P., Chen F.C., Lee Y.Z., Ring-Edged Bank Array Made by Inkjet Printing for Color Filters, *Display Technology* **5**: 162-165 (2009).
- [5] Hebner T.R., Wu C.C., Marcy D., Lu M.H., Stum J.C., Ink-Jet Printing of Doped Polymers for Organic Light Emitting Devices, *Applied Physics Letters*, **72**: 519-521 (1998).
- [6] Minemawari H., Yamada T., Matsui H., Tsutsumi J., Haas S., Chiba R., Kumai R., Hasegawa T., Inkjet Printing of Single-Crystal Films, *Nature*, **475**: 364-367 (2011).
- [7] Wang C.W., Yang M.H., Lee Y.Z., Cheng K., Hybrid Stacked RFID Antenna Coil Fabricated by Ink Jet Printing of Catalyst with Self-Assembled Polyelectrolytes and Electroless Plating, *Imaging Science and Technology*, **51**: 452-455 (2007).
- [۸] قلیزاده، اعظم؛ شاهرخیان، سعید؛ ایرجی زاد، اعظم؛ مهاجرزاده، شمس الدین؛ وثوقی، منوچهر؛ اندازه گیری گلوتامات با استفاده از حسگر زیستی بر پایه نانولوله های کربنی عمودی، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، (۴) ۳۲: ۳۳-۳۶ (۱۳۹۲).
- [9] Singh M., Haverinen H.M., Dhagat P., Jabbour G.E., Inkjet Printing Process and Its Applications, *Advanced Materials*, **22**: 673-685 (2010).
- [10] Kamyshny A., Ben-Moshe M., Aviezer Sh., Magdassi Sh., Ink-Jet Printing of Metallic Nanoparticles and Microemulsions, *Macromolecular Rapid Communications*, **26**: 281-288 (2005).
- [11] Kosmala A., Wright R., Zhang Q., Kirby P., Synthesis of Silver Nano Particles and Fabrication of Aqueous Ag Inks for Inkjet Printing, *Materials Chemistry and Physics*: 1075-1080 (2011).
- [12] Lee I., Han S. W., Kim K., Simultaneous Preparation of SERS-Active Metal Colloids and Plates by Laser Ablation, *Journal of Raman Spectroscopy*, **32**: 947-952 (2001).
- [13] Bogle K. A., Dhole S.D., Bhoraskar V. N., Silver Nanoparticles: Synthesis and Size Control by Electron Irradiation, *Nanotechnology*, **17**: 3204- (2006).
- [14] Kim D., Jeong S., Moon J., Synthesis of Silver Nanoparticles Using the Polyol Process and the Influence of Precursor Injection, *Nanotechnology*, **17**: 4019-24 (2006).



- [15] Zhu H.T., Zhang C.Y., Yin Y.Sh., Rapid Synthesis of Copper Nanoparticles by Sodium Hypophosphite Reduction in Ethylene Glycol under Microwave Irradiation, *Journal of Crystal Growth*, 722-728 (2004).
- [16] Valodkar M., Modi Sh., Pal A., Thakore S., Synthesis and Anti Bacterial Activity of Cu, Ag and Cu-Ag Alloy Nanoparticles: A Green Approach, *Materials Research Bulletin*, 384-389 (2011).
- [17] Kora A.J., Beedu S.R., Jayaraman A., Size-Controlled Green Synthesis of Silver Nanoparticles Mediated by Gum Ghatti(*Anogeissus Latifolia*) and Its Biological Activity, *orgmedchemlett.*: 2-17 (2012).
- [18] Ziarati A., Safaei-Ghomi J., Rohani S., Sonochemically Synthesis of Pyrazolones Using Reusable Catalyst CuI Nanoparticles that was Prepared by Sonication, *Ultrasonics Sonochemistry*, **20**: 1069-1075 (2013).
- [19] Manoiu V.S., Aloman A., Abtaining Silver Nanoparticles by Sonochemical Method, *U.P.B. Sci. Bull.*, 72 (2010).
- [20] Darroudi M., Khorsand Zak A., Muhamad M.R., Huang N.M., Hakimi M., Green Synthesis of Colloidal Silver Nanoparticles by Sonochemical Method, *Materials Letters*, **66**: 117-120 (2012).
- [21] Tang X.F., Yang Z.G., Wang W.J., A Simple Way of Preparing High-Concentration and High-Purity Nano Copper Colloid for Conductive Ink in Inkjet Printing Technology, *Colloids and Surfaces, A: Physicochem. Eng. Aspects*, **360**: 99-104 (2010).
- [22] "ISO ISO/TS 27687:2008 Nanotechnologies - Terminology and Definitions for Nano Objects - Nanoparticle, Nanofibre and Nanoplate" (2008).
- [23] "ASTM 2456-06 Standard Terminology Relating to Nanotechnology" (2012).