

## بازیافت نانوذرات نقره از ضایعات قطعات الکترونیکی به روش احیاء

## شیمیایی

نوع مقاله: علمی پژوهشی

مهدی خوئینی\*، ابوالحسن نجفی، امیر صاحبقران

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران

\*Khoeini\_m@srbiau.ac.ir

## اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۸ مهر ۱۳۹۸

پذیرش: ۱۶ اسفند ۱۳۹۹

صفحه ۳۵ تا صفحه ۴۸

در دسترس در نشانی:

[www.ijcse.ir](http://www.ijcse.ir)

زبان نشریه: فارسی

شاپا چاپی: ۲۳۵۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی:

۳۰۰۳-۲۷۸۳

## کلیدواژه:

بازیافت، ضایعات قطعات

الکترونیکی، نانو ذرات نقره، احیاء

شیمیایی

20.1001.1.23222352.1400.10.2.3.0

:DOR

مهم‌ترین مباحث مدنظر مدیران بخش‌های دولتی و هم چنین سرمایه‌گذاران بخش‌های خصوصی می‌باشد. نگاه مدیران بخش‌های دولتی به این مساله اتخاذ تدابیر مدیریتی

## ۱- مقدمه

اخیرا بحث بازیابی و فرآوری باطله‌های الکترونیکی یکی از



مناسب جهت حفاظت از محیط زیست و عدم آلودگی خاک و آبها توسط عناصر و فلزات موجود در این ترکیبات می باشد. از طرف دیگر سرمایه گذاران در بخش خصوصی به این مساله به عنوان یک فرصت در جهت بازیابی و استحصال عناصر و فلزات قیمتی موجود در این مواد به عنوان مواد اولیه بسیار ارزان قیمت نگاه می کنند. بوردها و مدارات الکترونیکی (PCB) یکی از مهمترین دسته های قطعات و پسماندهای الکترونیکی را تشکیل می دهند که به دلیل وجود عناصر ارزشمند در آنها بحث بازیابی و استحصال فلزات ارزشمند نظیر نقره یکی از ایده های نوین در این راستا خواهد بود. به طور معمول در یک مدار الکترونیکی در حدود ۰/۱ درصد فلز نقره وجود دارد که با توجه به قیمت بالای این فلز و هزینه پایین مواد اولیه و هم چنین تولید یک محصول پیشرفته (محلول کلوئیدی نانونقره) موجب خواهد شد تا طرح حاضر از نظر نوآوری و توجیه پذیری یکی از طرح های حائز اهمیت در حوزه ی تحقیقات دانشگاهی به شمار رود. نانوذرات فلزی به دلیل خواص منحصر به فردی که دارند کاربردهای ویژه ای در صنایع مختلف دارا می باشند. این خواص شامل خواص الکتریکی، مغناطیسی، کاتالیستی و نوری خاص می باشد. این خواص سبب کاربردهای ویژه این نانوذرات در مهندسی پزشکی، علوم زیستی، شیمیایی، نوری و الکترونیکی می شود [۶-۸]. از میان نانوذرات فلزی، نانوذرات نقره به علت دارا بودن خواص کاتالیستی، ضد میکروبی نقش پررنگ ایفا می کند [۷، ۸]. نانونقره دستاورد شگرف علمی از نانو تکنولوژی است که در عرصه های مختلف پزشکی، صنایع مختلف مثل کشاورزی و دامپروری و بسته بندی، لوازم خانگی، آرایشی،

بهداشتی و نظامی کاربرد دارد [۹، ۱۰]. روش های مختلفی برای سنتز نانوذرات نقره استفاده می شود. از جمله ی این روش ها می توان احیای شیمیایی یون های نقره در محلول های آبی یا غیر آبی، روش های بر پایه بستر، احیای الکتروشیمیایی، احیا به کمک امواج اولتراسونیک، احیای فتوکاتالیستی یا احیا توسط تهییج نوری، سنتز به کمک امواج ریزموج، احیای تابشی، روش میکرو امولسیون، احیای بیوشیمیایی و ... را نام برد [۹-۱۱].

مهم ترین نکته در سنتز نانوذرات نقره جلوگیری از کلوخه شدن و به هم چسبیدن این نانوذرات در طول سنتز و نگهداری آنها می باشد. معمولاً از مواد آلی خاصی نظیر مواد فعال سطحی مثل سورفکتانت ها، پلیمرها و لیگاندهای پایدارکننده برای اثر ناپذیر ساختن ذرات برای جلوگیری از توده ای شدن آنها استفاده می شود. ترکیبات آلی می توانند از به هم چسبیدن نانوذرات ممانعت کنند و اجازه دهند تا نانو ذرات جدا از هم تولید شوند. مواد پلیمری هم معمولاً به عنوان عوامل محافظت کننده برای جلوگیری از انباشتگی از طریق برهم کنش آنها با نانوذرات کوچک استفاده می شوند. انتخاب عوامل محافظت کننده یکی از فاکتورهای اساسی در تهیه نانوذرات می باشد. به دلیل اینکه فرایندهای رشد نانو نقره توسط پایدارکننده ها قابل کنترل می باشد امکان دستکاری در شکل و سایز نانوذرات نقره به وسیله انتخاب پایدارکننده های متفاوت وجود دارد. پس عوامل محافظت کننده مختلفی جهت به دست آوردن اشکال مختلف نانو ذرات نقره برای کاربرد هدف امکان پذیر است. رایج ترین روش برای سنتز نانوذرات نقره احیای شیمیایی محلول نمک های نقره توسط عوامل احیاکننده نظیر  $\text{NaBH}_4$ ، سیترات و



به دست آمده با استفاده از سورفکتانت‌ها و عوامل احیاکننده نظیر متاسولفیدها در فاز مایع به کلاسترهای نقره تبدیل می‌شود که در این مرحله نیز دما، زمان و نسبت واکنشگرها در تولید یک محلول کلوئیدی با غلظت قابل توجه ( ppm ۲۰۰۰ تا ۱۰۰) جزو پارامترها و متغیرهای فرآیندی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

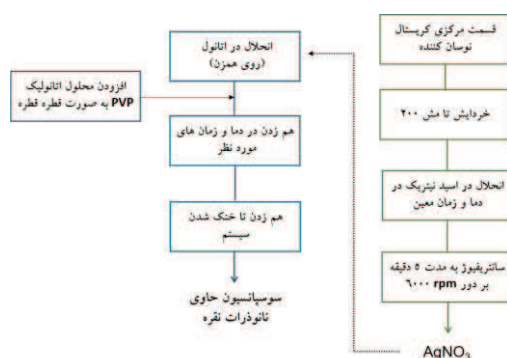
### ۲-۱- مواد اولیه

مواد اولیه مصرفی در تحقیق حاضر با ذکر مشخصات در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه مورد استفاده در پروژه حاضر

ردیف	ماده	شرح
۱	PVP	Sigma Aldrich, PVP10, (C6H9NO)n
۲	اسید نیتریک	Merck, 65%, 100456
۳	اتانول	Merck, 100014
۴	استون	Merck, CAS 64-17-5, 100983

شکل ۱ مراحل انجام سنتز نانوذرات نقره را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مراحل عملیاتی سنتز نانوذرات نقره در پروژه حاضر

آسکوربات است. استفاده از احیاکننده‌های خیلی قوی مانند بروهیدرید، باعث تولید ذرات بسیار ریزی از نقره می‌شود اما به همان اندازه کنترل رشد ذرات درشت را نیز مشکل خواهد کرد [۱۰-۱۶].

در تحقیقی که آقای سندی و همکارانش، در کرواسی انجام دادند، از اسید آیکوربیک به عنوان احیاکننده نقره از محلول نیترات نقره و از Doxd19 (نمک سدیم نفتالین با وزن مولکولی بالا، تغلیظ شده با سولفانات فرمالدئید) به عنوان سورفکتانت استفاده کردند [۱۷]. در این روش هیدروسل نقره توسط اضافه کردن  $10 \text{ cm}^3$  از اسید آسکوربیک ۱ مولار با سرعت  $3 \text{ cm}^3/\text{min}$  به  $90 \text{ cm}^3$  محلول شامل ۵ درصد وزنی Doxad19 و ۳۳ مولار نیترات نقره، در حین هم خوردن با سرعت  $900 \text{ rpm}$  در دمای اتاق به دست آمد. سپس برای خارج کردن سورفکتانت و یون‌های نقره اضافه، نقره رسوب داده شده ۵ بار توسط آب دیونیزه شسته شد. در نهایت پودر نانو ساین نقره پس از خشک شدن به دست آمد. در تست آنتی باکتری که بر روی باکتری E-coli با این ذرات انجام شد، رشد E-coli در حضور ۲۰ از نقره، به زیر ۵ درصد رسید.

در پروژه حاضر هدف از انجام این طرح در این طرح استفاده از ماده‌ی اولیه ضایعاتی و ارزان قیمت جهت سنتز نانوذرات نقره می‌باشد. بدین منظور ابتدا بوردهای الکترونیکی با استفاده از خردکن‌های دندان‌های در ابعاد مناسب خرد می‌شوند و سپس پودر به دست آمده در محلول حاوی ترکیبات جاذب نقره نظیر برومیدها قرار گرفته و دما و زمان فرآیند به عنوان دو پارامتر مهم در تعیین درصد بازیابی فلز مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در نهایت محلول نمک نقره‌ی



(ICP-OES) و دستگاه جذب اتمی استفاده شد. نمونه‌های مورد نظر در ظرف‌های در بسته قرار داده شدند و به همان صورت به آزمایشگاه کانسارن بینالود ارسال گردیدند و آنالیز تعیین میزان نقره بر روی آن‌ها انجام شود. جهت تهیه طیف های ماورای بنفش - مرئی از دستگاه UV-Vis کمپانی Perkinelmer مدل Lambda 25 استفاده شد. بدین منظور نمونه‌ها درون ظرف‌های کوارتزی دستگاه ریخته شدند و در محدوده ۲۰۰ الی ۹۰۰ نانومتر با دقت ۰/۵ نانومتر از نمونه‌ها طیف گرفته شد. همچنین نمونه‌ها به نسبت ۱ به ۳ با اتانول خالص رقیق شدند تا از خطای دستگاهی ناشی از پدیده ماسک شدن و over crowding جلوگیری شود. جهت تصویربرداری از نمونه‌های سنتز شده از میکروسکوپ الکترونی عبوری کمپانی Phillips مدل CM200 و در ولتاژ کاری 100 Kv استفاده شد. جهت تهیه نمونه‌ها ابتدا مقدار معینی از محلول نانو نقره به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت و سپس یک قطره از آن بر روی زیر پایه مخصوص دستگاه از جنس مس ریخته شد و اجازه داده شد تا حلال از روی زیر پایه خارج شود. به‌منظور تعیین میانگین اندازه ذرات از روش تفریق دینامیک لیزر DLS استفاده شد. بدین منظور نمونه‌ها درون ظرف معینی ریخته شدند و با استفاده از دستگاه مدل Malvern اندازه‌گیری انجام شد. جهت تهیه الگوی پراش نمونه‌ها از دستگاه X'pert و با لامپی با کاتد از جنس مس (Cu K $\alpha$ ) استفاده شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن بر روی نگهدارنده قرار گرفتند و سرعت ۱<sup>o</sup>/min در محدوده زاویه پراش ۲۰ الی ۹۰ الگوی پراش اشعه ایکس تهیه شد.

جهت انجام این آنالیز از دستگاه AFM ساخت کمپانی

در گام اول و جهت تامین منبع نقره مورد نیاز ۱۰ گرم از قسمت مرکزی کریستال نوسان‌کننده در هاون عقیق خرد شد و پس از تهیه‌ی یک پودر همگن در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در کوره باکسی نگهداری شد تا تمام آلودگی‌ها و چربی‌های احتمالی از آن حذف شود. سپس از محلول اسید نیتریک جهت حل نمودن بخش نقره این پودر استفاده شد و پس از انحلال با استفاده از سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ rpm بخش مایع حاوی نقره جدا و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و خلاء ۱۰ میلی بار خشک شد تا پودر نیترات نقره جهت استفاده در مراحل بعد به‌دست آید. جهت سنتز نانوذرات نقره بدین روش ابتدا ۵ گرم نیترات نقره به ۱۰۰ سی سی اتانول افزوده و سیستم به مدت ۳۰ دقیقه تحت همزن مغناطیسی قرار گرفت. سپس محلول PVP (۵ درصد وزنی) به آرامی و قطره‌قطره به سیستم افزوده شد بطوریکه در هر ۱۰ ثانیه ۱ قطره افزوده گردید [۱۸، ۱۹]. در نهایت سیستم در دمای و زمان معین تحت اختلاط قرار گرفت.

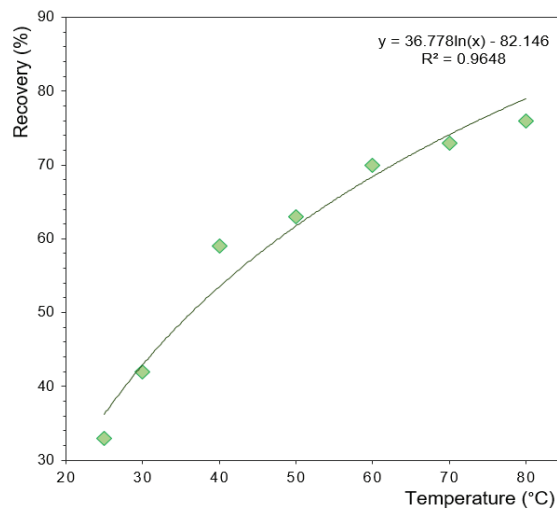
جهت بررسی تأثیر زمان انحلال بر ویژگی‌های محصول نهایی، سنتز در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام گرفت. در مورد دمای واکنش نیز نمونه‌ها در دماهای مختلف ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد سنتز شدند. همچنین در مورد بررسی اثر غلظت نیترات نقره بر کیفیت محصول نهایی، نمونه‌هایی با استفاده از محلول ۱ و ۲ مولار نیترات نقره در ۱۰۰ سی سی اتانول سنتز شدند [۲۰-۲۲].

## ۲-۲- روش‌های شناسایی و آنالیز مواد

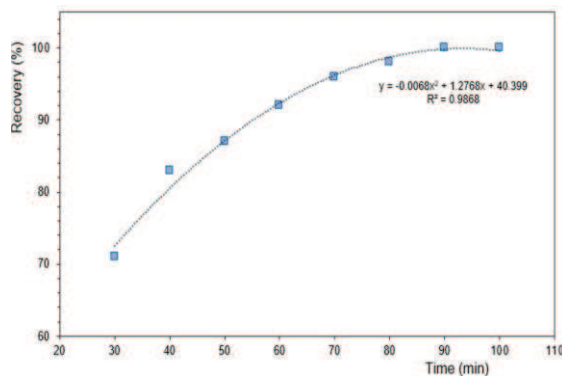
جهت تعیین میزان غلظت نقره در محلول از آنالیز شیمی تر



بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در این بخش دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای بهینه مدنظر قرار گرفت در شکل ۳ نتایج منحنی زمان انحلال و میزان درصد بازیابی نقره در هر زمان مشاهده می‌شود.



شکل ۲- منحنی درصد بازیابی عنصر نقره در دماهای مختلف و با استفاده از انحلال اسید نیتریک در زمان ۳۰ دقیقه



شکل ۳- منحنی درصد بازیابی عنصر نقره در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در زمان‌های مختلف

همانطور که مشخص است با افزایش زمان انحلال از ۳۰ به ۶۰ دقیقه، درصد بازیافت نقره افزایش می‌یابد بطوریکه در مدت زمان ۶۰ دقیقه میزان بازیافت نقره در حدود ۹۲ درصد

veeco آمریکا استفاده شد. نمونه‌ها ابتدا به نسبت ۱ به ۵ با اتانول خالص رقیق شدند و سپس ۱ قطره از آن‌ها بر روی زیر پایه‌ای از جنس میکا ریخته شد و اجازه داده شد تا به مدت ۱ ساعت کل حلال از سیستم حذف گردد.

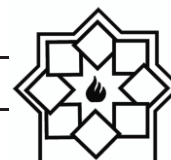
### ۳- نتایج و بحث

در اولین گام از استخراج نقره از قسمت مرکزی نوسان‌کننده کریستالی، درصد بازیافت و استخراج فلز نقره در دماهای مختلف و در مدت زمان ۳۰ دقیقه با استفاده از محلول اسید نیتریک مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲ نتایج درصد بازیابی در دماهای مختلف انحلال آورده شده است. همانطور که از این نمودار مشخص است با افزایش دما از ۲۵ الی ۸۰ درجه سانتی‌گراد، درصد بازیافت به‌صورت لگاریتمی افزایش پیدا می‌کند به‌طوریکه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد با حدود ۷۵ درصد بازیافت و انحلال نقره مواجه هستیم. لازم به ذکر است که درصد بازیافت از رابطه ۱ محاسبه گردید:

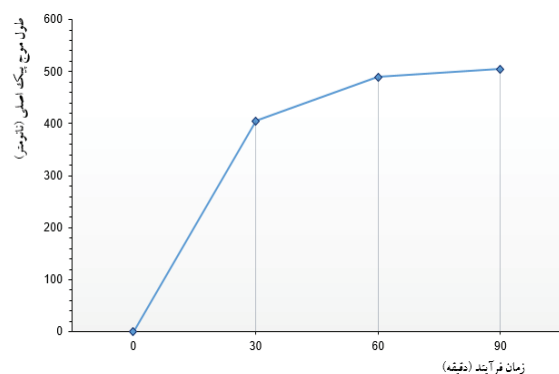
$$\text{Recovery (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه  $C_t$  برابر ۵۰۰۰ ppm و  $C_0$  میزان نقره در محلول اسید نیتریک است که با استفاده از روش آنالیز شیمی تر تعیین می‌گردد.

همانطور که مشخص است درصد بازیافت با افزایش دمای انحلال افزایش می‌یابد به‌طوریکه با افزایش دمای انحلال میزان حل شدن نقره در اسید نیتریک افزایش یافته و طبق رابطه ۱ با افزایش میزان نقره در محلول نیترات نقره، درصد بازیافت افزایش می‌یابد. با توجه به محدودیت‌های انجام فرآیند انحلال و مشکلات موجود در افزایش دمای اسید نیتریک و همچنین تفاوت کم در میزان بازیافت در دماهای



شکل مشخص است افزایش زمان از ۳۰ به ۶۰ دقیقه موجب جابجایی موقعیت  $\lambda_{max}$  (پیک اصلی) به سمت طول موج های بالاتر شده است و شدت نیز به میزان بسیار کمی افزایش یافته است. با این حال در نمونه تهیه شده در زمان ۹۰ دقیقه نسبت به نمونه ۶۰ دقیقه تغییرات چندانی محسوس نمی باشد و با وجود یک افزایش بسیار جزئی در  $\lambda_{max}$  می توان گفت که افزایش زمان از ۶۰ به ۹۰ دقیقه تغییری در ویژگی های نمونه ایجاد نکرده است. این نتیجه نشان می دهد که با افزایش زمان واکنش از ۳۰ به ۹۰ دقیقه با افزایش اندازه ذرات ناشی از پدیده رشد و اتصال خوشه های اولیه تشکیل شده مواجه می باشیم که این افزایش اندازه ذرات تا زمان ۶۰ دقیقه کاملاً محسوس است. که دلیل اصلی این امر کاهش قابل توجه غلظت  $Ag^+$  و خوراک لازم برای افزایش اندازه ذرات خوشه هاست [۲۹].

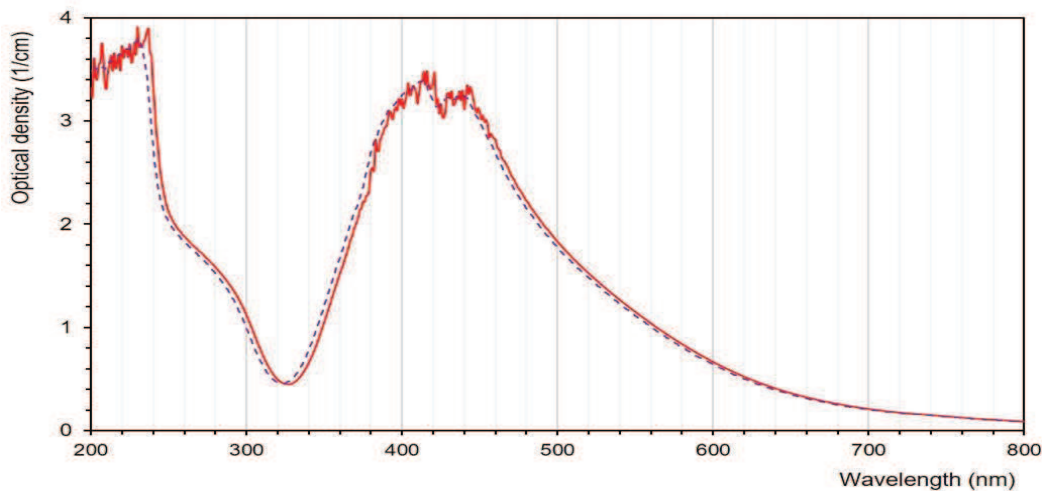


شکل ۴- منحنی تغییرات طول موج پیک اصلی در نمونه های سنتز شده در زمان فرآیند متفاوت

در شکل ۵ طیف ماورای بنفش مریی مربوط به نمونه سنتز شده در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و مدت زمان یک ساعت (به عنوان یک نمونه از کل طیف های ماورای بنفش مریی) مشاهده می شود.

محاسبه شده است. با این حال با افزایش زمان انحلال از ۶۰ به ۹۰ دقیقه صد در صد نقره موجود در باطله الکترونیکی بازیافت شده و در محلول اسید نیتریک وارد شده است. این نتایج نشان می دهد که جهت انحلال تمام عنصر نقره موجود در باطله الکترونیکی با استفاده از اسید نیتریک ۱ مولار و دمای فرآیندی ۶۰ درجه سانتی گراد به ۱/۵ ساعت زمان نیاز است. با این حال اگر جهت صرفه جویی در انرژی و هزینه های تمام شده و همچنین زمان واکنش مدت زمان فرایند از ۱/۵ ساعت به ۱ ساعت نیز کاهش داده شود فقط ۸ درصد از نقره موجود در باطله الکترونیکی از دست می رود و شاید با توجه به ملاحظات اقتصادی به توان گفت که زمان ۶۰ دقیقه زمان بهینه در این شرایط است. در نهایت اگر این مسائل محدودیت نباشد از نقطه نظر علمی زمان لازم جهت دستیابی به بازیافت صد در صد ۱/۵ ساعت می باشد. زمان واکنش احیای یون نقره در حضور اتانول یک پارامتر مهم فرآیندی که می بایست در تمام سیستم های سنتز نانو ذرات نقره به دقت بررسی گردد. همانطور که در فصل سوم بیان شد جهت سنتز نانو ذرات نقره نمونه هایی در سه زمان مختلف تهیه شدند تا به دقت تأثیر این پارامترها در کیفیت محصول نهایی مورد بررسی قرار گیرد. جهت بررسی شرایط مختلف زمانی بر اندازه ذرات نانو نقره (به عنوان مهم ترین ویژگی مورد نیاز) از طیف سنجی ماورای بنفش استفاده شد. در شکل ۴ تأثیر زمان فرآیند بر ویژگی حاصل از طیف ماورای بنفش مریی نمونه های سنتز شده مشاهده می شود. لازم به ذکر است که در تهیه این نمونه ها غلظت نیترات نقره و پلیمر به ترتیب ۱ و ۰/۵ مولار در نظر گرفته شده است. همانطور که از این





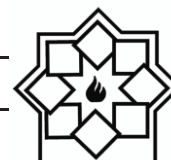
شکل ۵- طیف ماورای بنفش مرئی نانوذرات نقره سنتز شده در زمان ۶۰ دقیقه و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد

های فلزی با سرعت بیش‌تری انجام می‌شود و لذا اتانول می‌تواند نقش احیاکننده داشته باشد. همچنین افزایش دما نقش بسیار مهمی در واکنش اکسیداسیون اتانول دارد و لذا در دماهای بالاتر در واحد زمان تعداد بیش‌تری  $Ag^+$  توسط اتانول احیا می‌شوند که این امر موجب تشکیل جوانه‌های زیاد  $Ag$  در واحد زمان شده و علاوه بر کاهش اندازه ذرات نانو نقره‌های سنتز شده جمعیت این ذرات نیز افزایش قابل توجهی می‌یابد که تمامی این موارد از نتایج طیف‌های ارائه شده قابل استنباط است.

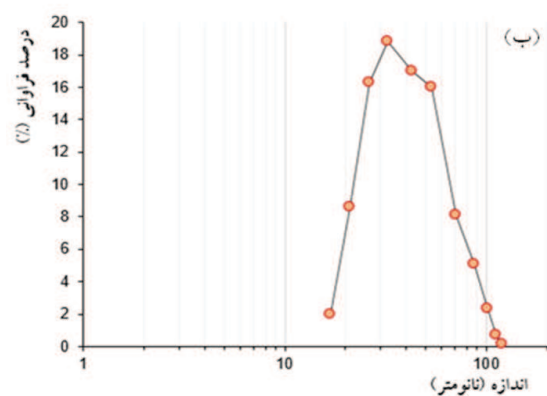
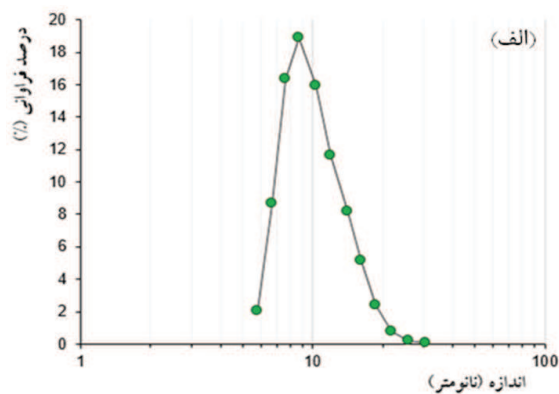
شکل ۷ منحنی توزیع اندازه ذرات داخل فاز مایع را با غلظت های ۱ مولار و ۲ مولار به ترتیب در شکل‌های (۷-الف) و (۷-ب) نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج منحنی DLS این دو نمونه مشخص می‌شود که در نمونه تهیه شده با غلظت ۲ مولار از نیترات نقره، توزیع اندازه ذرات پهن است و با طیف وسیعی از نانوذرات نقره در محدوده اندازه ۸ الی ۳۰ نانومتر مواجه می‌باشیم. این در حالی است که در نمونه تهیه شده با غلظت ۱ مولار نیترات نقره منحنی DLS نشان‌دهنده حضور ذرات سنتز شده در یک محدوده باریک از

همانطور که در این شکل مشخص است یک پیک اصلی در محدوده ۴۰۰ الی ۴۵۰ نانومتر مشاهده می‌شود که به پیک اصلی نانوذرات نقره نسبت داده می‌شود و از نقطه نظر موقعیت پیک نیز، حضور پیک اصلی در شدت حداکثر به‌طور دقیق با نتایج به‌دست آمده همخوانی دارد.

مکانیزم فرآیند سنتز نانوذرات نقره و استحالتهی تبدیل  $Ag^+$  به  $Ag$  یکی از مهم‌ترین مواردی است که می‌بایست در تمامی فرآیندهای سنتز نانوذرات نقره به دقت مورد بررسی قرار گیرد. در شکل ۶ واکنش‌های اصلی موجود در سیستم اتانول با نقش احیاکنندگی آن آورده شده است. دستیابی به دلایل انجام واکنش‌های مورد نظر در کنار واکنش‌های موجود در سیستم کمک می‌کند تا به‌توان درک صحیحی از پارامترها و مجهولات فرآیند به‌دست آورد. جهت مشخص نمودن این موضوع لازم است به این نکته اشاره شود که ویژگی احیاکنندگی اتانول در واقع به اکسید شدن آن و تبدیل شدن به الکل‌های ثانویه مربوط می‌باشد. در واقع اتانول می‌تواند بسته به شرایط سیستم اکسید شده و به آلدئید و یا کتون تبدیل شود که این تبدیل در حضور یون

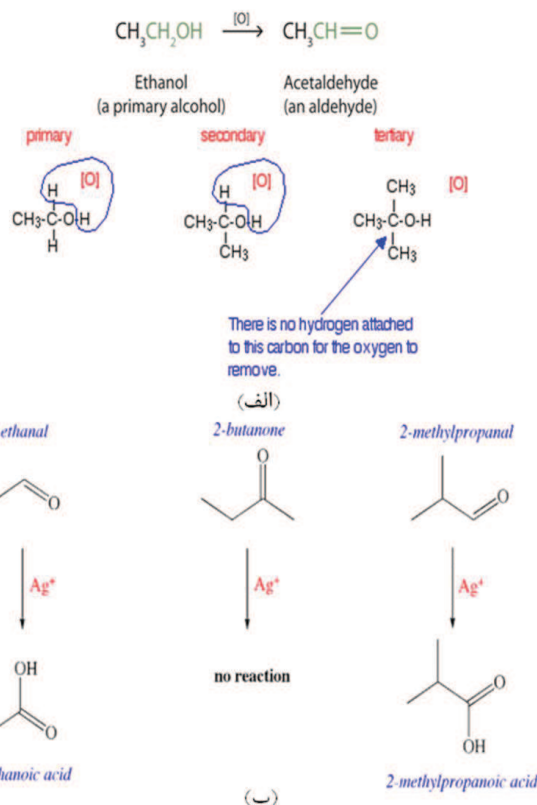


فاز مکعبی (FCC) نقره شامل دسته صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) نسبت داده می‌شود و عدم حضور پیک‌های دیگر مربوط به فازهای مختلف در این الگو به خوبی موید خلوص بالای نانوذرات سنتز شده است. ثابت شبکه  $a_0$  محاسبه شده از الگوهای پراش اشعه ایکس در حدود  $4/08$  آنگستروم می‌باشد که به خوبی با ثابت شبکه گزارش شده در مراجع برابر  $4/086$  آنگستروم برای فاز نقره همخوانی دارد. لازم به ذکر است که از کارت استاندارد (JCPDS) شماره  $04-0783$  جهت مقایسه و سنجش این فاز استفاده شد.



شکل ۷- توزیع اندازه ذرات نانو نقره در غلظت‌های مختلف نیترات نقره مورد استفاده الف) ۱ مولار ب) ۲ مولار

نظر اندازه می‌باشند و میانگین نانوذرات در حدود ۱۵ نانومتر محاسبه می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نمونه حاوی ۱ مولار نیترات نقره از نظر اندازه و توزیع آن‌ها برای تهیه محصول نهایی مورد ایده‌آل است.



شکل ۶- الف) واکنش‌های اصلی در سیستم احیاء شیمیایی نقره با استفاده از اتانول [۳۰].

در شکل ۸ الگوی پراش اشعه ایکس نانو ذرات نقره با غلظت ۱ مولار آورده شده است.

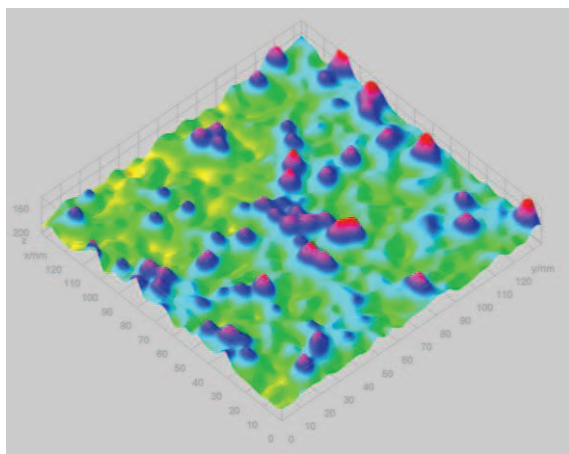
همانطور که مشاهده می‌شود نانو ذرات نقره سنتز شده از یک ساختار کریستالین برخوردارند و چندین پیک مربوط به دسته صفحات فاز نقره در این الگو مشاهده می‌شود. پیک‌های مشخصه در این الگو که در زوایای  $44/4$ ،  $38/15$ ،  $65$  و  $78$  درجه ظاهر شده‌اند همگی به دسته صفحات اصلی

$$a_0 = d / (h^2 + k^2 + l^2)$$





شده از میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. شکل ۱۰ تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات نقره با غلظت ۱ مولار را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است میانگین اندازه ذرات در محدوده ۱۰ الی ۱۵ نانومتر قرار دارد و دارای توزیعی یکنواخت با مورفولوژی کروی می‌باشند. نتایج حاصله در این تصاویر، نتایج حاصل از آنالیز DLS را تایید می‌کند.



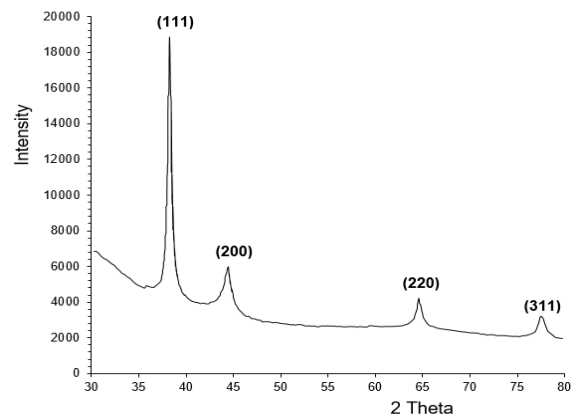
شکل ۹- تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانو ذرات نقره سنتز شده

#### ۴- نتیجه گیری کلی

در پروژه حاضر سنتز نانوذرات نقره به روش احیاء شیمیایی با استفاده از اتانول به عنوان حلال و عامل احیاگر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین یکی از اهداف اصلی این طرح استفاده از باطله‌های الکترونیکی جهت تهیه منبع نقره اولیه بود. در این راستا اصلی‌ترین نتایج به‌دست آمده در پروژه حاضر را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱- قطعات الکترونیکی و باطله‌های آن‌ها یکی از منابع پراهمیت جهت استخراج فلزات به شمار می‌روند. در این بین نوسان‌کننده‌های کریستالی یک منبع غنی از

همچنین با استفاده از رابطه شرر<sup>۲</sup> و در نظر گرفتن پهنای موجود در نصف شدت حداکثر پیک اصلی نانوذرات نقره، اندازه کریستالیت‌ها در حدود ۱۰۵ آنگستروم اندازه‌گیری شد.



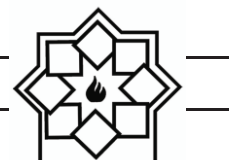
شکل ۸- الگوی پراش اشعه ایکس نانو ذرات نقره در محدوده زاویه پراش ۲۰ الی ۸۰ درجه

از میکروسکوپ نیروی اتمی به منظور بررسی دقیق‌تر مورفولوژی و اندازه نانو ذرات نقره سنتز شده استفاده شد (شکل ۹). همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی این نانوذرات به‌خوبی توزیع یکنواخت نانوذرات سنتز شده را از نقطه نظر مورفولوژی و اندازه نشان می‌دهد. میانگین اندازه نانوذرات از این تصویر حدود ۱۵ نانومتر محاسبه شده است که به‌خوبی با اطلاعات به‌دست آمده از نتایج DLS همخوانی دارد.

که در این رابطه  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس (۱,۵۴ آنگستروم)،  $B$  پهنای ناشی از اندازه کریستالیت و نصف زاویه پراش پیک مورد نظر است. در این مورد  $B$  برابر  $0,13$  رادیان و  $\theta$  برابر  $19,1$  درجه است.

جهت بررسی مورفولوژی و یکنواختی نانوذرات نقره‌ی سنتز

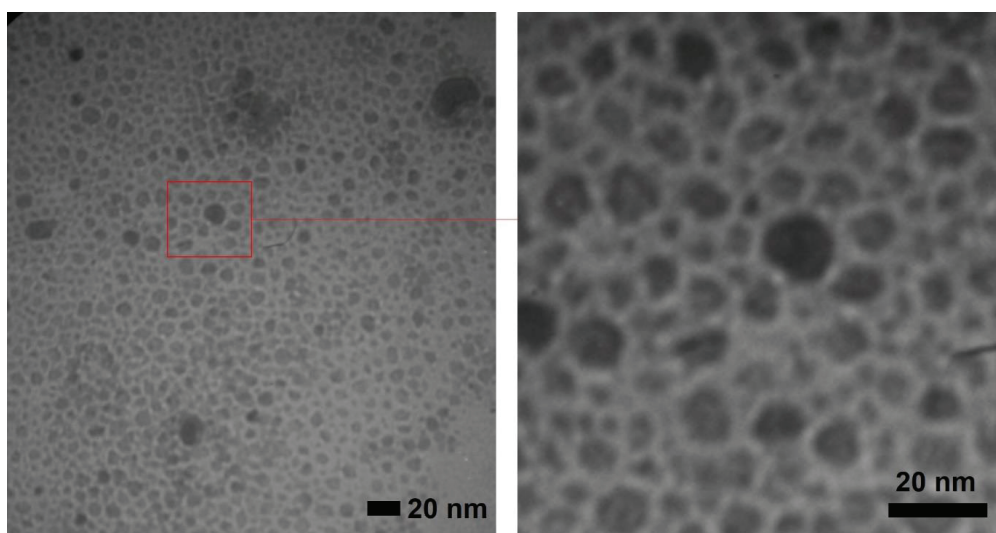
$$t = 0.9\lambda / B \cos \theta$$



۴- نتایج آنالیز طیفسنجی ماوراء بنفش-مرئی نشان داد که در غلظت نیترات اولیه برابر ۱ مولار زمان فرآیند نه تنها بر میزان نانوذرات سنتز شده تاثیر گذار است و اندازه‌ی نانوذرات با تغییر زمان فرآیند تغییری نمی‌کند. با این حال دمای فرآیند به شدت بر اندازه‌ی نانوذرات سنتز شده تاثیر دارد به طوری که از محدوده‌ی ۱۰ نانومتر تا بالای ۳۰۰ نانومتر اندازه ذرات متفاوتی با تغییر دما می‌توان تهیه نمود.

۵- نتایج حاصل از آنالیز DLS نشان داد که با افزایش غلظت نیترات نقره از ۱ مولار به ۲ مولار اندازه ذرات جامد بسیار افزایش یافته و توزیع اندازه ذرات از حالت باریک به حالت پهن تغییر می‌یابد. به عبارت دیگر کیفیت ذرات جامد داخل فاز مایع بسیار افت می‌کند بنابراین جهت ادامه بررسی خواص پودر سنتز شده از پودر حاوی غلظت ۱ مولار نیترات نقره استفاده گردید.

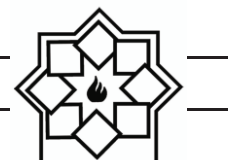
نقره به شمار می‌روند که نه تنها میزان نقره در آن‌ها بسیار بالاست، بلکه نقره به صورت خالص در قسمت مرکزی آن قرار دارد و لذا می‌توان با جداسازی آن قسمت یک منبع ثانویه و خالص نقره در اختیار داشت. ۲- استفاده از اسید نیتریک با غلظت معین و در محدوده‌ی دمایی ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای مدت زمان ۱-۲ ساعت بهترین شرایط را جهت انحلال نقره فراهم می‌آورد. راندمان در این شرایط بیش از ۹۵ درصد نتیجه‌گیری شد. ۳- نانوذرات نقره با استفاده از محلول نیترات نقره به دست آمده از باطله‌ی الکترونیکی به روش PVP capping و با استفاده از حلال و عامل احیاگر اتانول انجام گرفت. نتایج نشان داد که در غلظت نیترات نقره اولیه در محدوده ۱ الی ۲ مولار و نسبت مولی مناسب اتانول می‌توان نانوذرات نقره را با موفقیت سنتز نمود.



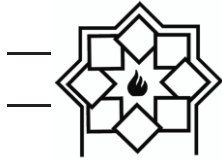
شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نمونه‌های نانوذرات نقره سنتز شده با غلظت ۱ مولار



- options”, Resources, Conservation and Recycling, Volume 45, Issue 4, 2005, Pages 368-400.
- [5] Federic Cucchiell, Idiano D’Adamo, S.C. Lenny Koh, Paolo Rosa, “Recycling of WEEE: An economic assessment of present and future e-waste streams”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 51, 2015, Pages 263-272.
- [6] Chiara Frazzolia, Orish Ebere, “Diagnostic health risk assessment of electronic waste on the general population in developing countries' scenarios”, Environmental Impact Assessment Review, Volume 30, Issue 6, 2010, Pages 388-399.
- [8] Abdul Khaliq, Muhammad Akbar Rhamdhani, Geoffrey Brooks and Syed Masood, “Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective”, Resources 2014, 3(1), 152-179.
- [9] Pejman Hadi, Meng Xua, Carol S.K. Linb, Chi-Wai Hui, Gordon McKay, “Waste printed circuit board recycling techniques and product utilization”, Journal of Hazardous Materials, Journal of Hazardous Materials, Volume 283, 2015, Pages 234-243.
- [10] M.H.Wong, S.C. Wu, W.J. Deng, “Export of toxic chemicals – A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling”, Environmental Pollution, Volume ۶- طیف آنالیز اشعه X از نمونه تهیه شده در غلظت ۱ مولار نشان داد که اولاً پودر سنتز شده دارای فاز کریستالین مکعبی FCC است و هیچگونه فاز ناخواسته‌ای در پودر سنتز شده مشاهده نشد و اندازه کریستال‌های موجود در این پودرها بسیار ریز و در محدوده ۱۰۵ آنگستروم به دست آمد.
- ۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نیز نشان داد که نمونه‌های تهیه شده با محلول نیترات نقره با غلظت ۱ مولار بهترین شرایط را دارا می‌باشند و نانوذرات نقره سنتز شده در محدوده ۱۵ نانومتر و با مورفولوژی یکنواخت کروی به دست آمد.
- ### ۵- مراجع
- [1] Peeranart Kiddee, Ravi Naidu, Ming H.Wong, “Electronic waste management approaches: An overview”, Waste Management Review, Volume 33, Issue 5, 2013, Pages 1237-1250. Acta Materialia.
- [2] PiaT anskanen, “Management and recycling of electronic waste”, Acta Materialia, Volume 61, Issue 3, 2013, Pages 1001-1011.
- [3] Grazia Cecerea, Arianna Martinellic, “Drivers of knowledge accumulation in electronic waste management: An analysis of publication data”, Research Policy, Volume 46, Issue 5, June 2017, Pages 925-938.
- [4] Hai-YongKang, Julie M.Schoenung, “Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology



- Dong Jiantai. Ma, "Silver nanoparticles immobilized on fibrous nano-silica as highly efficient and recyclable heterogeneous catalyst for reduction of 4-nitrophenol and 2-nitroaniline", *Journal of Applied Catalysis B: Environmental*, Volumes 158–159, 2014, Pages 129-135.
- [18] Sondi, I, Salopek-Sondi, B: Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J. Colloid Interface Sci.* 275, 177–182.(۲۰۰۴)
- [19] Feng, QL, Wu, J, Chen, GQ, Cui, FZ, Kim, TN, Kim, JO: A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus Aureus*. *J. Biomed. Mater. Res.* 52, 662–668 (2008).
- [20] Dapeng Chen, Xueliang Qiao, Xiaolin Qiu, Jianguo Chen, "Synthesis and electrical properties of uniform silver nanoparticles for electronic applications", *Journal of Materials Science*, 2009, Volume 44, Issue 4, pp 1076–1081.
- [21] Krishna Balantrapu, Dan V. Goi, "Silver nanoparticles for printable electronics and biological applications", *Journal of material research*, Volume 24, Issue 9, 2009, pp. 2828-2836.
- [22] Fumiao. Shen, He. Qian, Yuliang. Cheng, Yunfei. Xie, 149, Issue 2, September 2007, Pages 131-140.
- [11] Wolfgang J. Parak, Andre E. Nel, Paul S. Weiss, "Grand Challenges for Nanoscience and Nanotechnology", *ACS Nano*, 2015, 9 (7), pp 6637–6640.
- [12] Mahdi Khoeini, Abolhassan Najafi, Hossein Rastegar, Mostafa Amani, "Improvement of hollow mesoporous silica nanoparticles synthesis by hard-templating method via CTAB surfactant", *Ceramics International* 45 (10), 12700-12707.
- [13] Guozhong Cao, "Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications", Imperial college press, 2004.
- [14] W. J. Stark, P. R. Stoessel, W. Wohlleben and A. Hafner, "Industrial applications of nanoparticles", *Chemical Society Reviews*, Issue 16, 2015.
- [15] Maqusood Ahamed, Mohamad S. AlSalhi, M.K.J. Siddiqui, "Silver nanoparticle applications and human health", *Clinica Chimica Acta*, Volume 411, Issues 23–24, 14 December 2010, Pages 1841-1848
- [16] Mahendr Rai, Alka Yadav, Aniket Gade, "Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials", *Biotechnology Advances*, Volume 27, Issue 1, January–February 2009, Pages 76-83.
- [17] Zhengping. Dong, Xuanduong. Le, Xinlin. Li, Wei Zhang, Chunxu.



Hang. Yu, Weirong. Yao, Renjun. Pei, Yahui. Guo, HungWing. Li, “Three-way junction-promoted recycling amplification for sensitive DNA detection using highly bright DNA-silver nanocluster as label-free output” , Talanta, Volume 206, 1 January 2020, 120216.

- [23] Shakeel Ahmed, Mudasir Ahmad, Babu Lal Swami, “A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise”, Journal of Advanced Research, Volume 7, Issue 1, January 2016, Pages 17-28.

## **Recycling of Silver Nanoparticles from Scarp Electronic Components by Chemical Reduction**

**Mahdi Khoeini\*, Abolhassan Najafi, Amir Sahebgharan**

**Assistant Professor, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran**

\* Khoeini\_m@srbiau.ac.ir

**Abstract:** In the present project, the use of scarp electronic components in the synthesis of silver nanoparticles was investigated. For this purpose, crystalline oscillators were used as a consumable piece to synthesize these particles. The results showed that by optimizing the time and temperature of dissolution process with nitric acid solution up to 90% silver can be separated from these components. The temperature of 60°C and the time of one hour were determined as the optimum conditions of this section. Then, the synthesis of silver nanoparticles was investigated using silver nitrate solution. The results showed that the initial silver nitrate concentration had a significant effect on the final product quality, so that at 1 molar concentration, the best conditions were provided for the synthesis of silver nanoparticles with suitable properties. Phase's evaluation illustrated that the main phase of the synthesized silver particles had an FCC structure and no unwanted phase was observed. UV analysis of the synthesized powder showed that the core peak of the silver nanoparticles appeared in the wavelength range of 400 to 450 nm. The DLS results showed that the concentration of 1 molar was the optimum concentration of silver nitrate in the present study. The AFM and TEM observation show that the silver particles synthesized with a particle size less than 20 nanometer, spherical morphology and uniform particle size distribution.

**Keywords:** Recycling, scarp electronic components, Nano Silver particle, chemical reduction.