سنتز نانوذرات نقره با استفاده از سه گونه ماکروجلبک دریایی خلیج فارس

زهره رحیمی[۱]، مرتضی یوسف‌زادی[۲*]، احمد نوری[۳]، آرش اکبرزاده[۴]

۱- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، استان هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: zohrehrahimi13@gmail.com

۲- گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، استان هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: morteza110110@gmail.com

۳- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، استان هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: nooryahmad@gmail.com

۴- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، استان هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: akbarzadeh@alumni.ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۴ * نویسنده مسوول تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۳، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

توسعه روش‌های تولید نانوذرات نقره که سازگار با محیط و فاقد مواد سمی باشند، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های علم نانوفناوری است. هدف از این پژوهش تولید نانوذرات نقره با استفاده از عصاره آبی سه گونه ماکروجلبک دریایی *Ulva flexuosa* از گروه جلبک‌های سبز (Chlorophyta)، *Colpomenia sinuosa* از گروه جلبک‌های قهوه‌ای (Phaeophyceae) و *Gracilariopsis persica* از دسته جلبک‌های قرمز (Rhodophyta) است. احیای کامل یون‌های نقره ۲۴ ساعت بعد از واکنش عصاره‌ها و نیترات نقره ($AgNO_3$) در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد صورت گرفت. نانوذرات نقره ساخته شده با روش‌های اسپکتروفتومتر، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و پراش اشعه ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاکی از این است که هر سه گونه ماکروجلبک مذکور قادر به تولید نانوذرات نقره در محلول حاوی نیترات نقره در دمای اتاق هستند.

کلمات کلیدی: *میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ الکترونی عبوری، پراش اشعه ایکس، اسپکتروفتومتر.*

۱. مقدمه

نانوزیست‌فناوری، فناوری بالقوه‌ای است که از تلفیق علوم فناوری‌زیستی و نانوفناوری ظهور کرده است که با هدف تولید مواد در مقیاس نانومتر از طریق روش‌های زیستی سازگار با محیط زیست در حال توسعه و پیشرفت است (Sahayaraj and Rajesh, 2011; Prasad et al., 2012). این دانش حوزه‌های متنوع زیست‌فناوری و علوم زیستی، پزشکی، شیمی، فیزیک، الکترونیک و علم مواد را شامل می‌شود (شجاع الساداتی و صالحی‌زاده، ۱۳۹۰) و به دلیل شکستن محدودیت‌ها و قابلیت استفاده از

نانوذرات در کاربردهای صنعتی، پزشکی و الکترونیک مانند کاتالیزور و درمان سرطان توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Cai et al., 2011). از این رو، نانوزیست فناوری علمی کاربردی جهت کنترل مواد در سطح مولکولی است (Marchiol, 2012).

نانوفناوری در قرن حاضر علم و زندگی روزمره انسان را تحت تاثیر قرار داده است (Vanaja and Annadurai, 2012). این علم در سرتاسر جهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های پژوهشی توسعه یافته و پیش بینی شده است (Dubey et al., 2010) که در قرن حاضر می‌تواند آغازکننده‌ی بسیاری از روش‌های جدید فناوری باشد (Rajeshkumar et al., 2013)، به‌طوری که یکی از جنبه‌های مهم در نانوفناوری سنتز نانومواد با اندازه، ویژگی‌های شیمیایی و ابعاد قابل کنترل در زیست‌شناسی است (Rajeshkumar et al., 2013; Thangaraju et al., 2012). بنابراین هدف از نانوفناوری، کنترل بر تک تک اتم‌ها و مولکول‌ها است (Devina Merin et al., 2010).

نانوذرات عناصر اساسی و پایه‌ای در چارچوب نانوفناوری هستند (Vanaja and Annadurai, 2012) که قطر حداقل یکی از ابعاد آنها کمتر از ۱۰۰ نانومتر است (Dubey et al., 2010). در قرن حاضر استفاده و مطالعه بر روی نانوذرات به دلیل داشتن خواص فیزیکی، نوری و شیمیایی منحصر به فرد، در مقایسه با همتایان خود در مقیاس ماکرو توجه بسیاری را به خود جلب کرده است (Bala and Arya, 2013). لازم به ذکر است که این ویژگی قابل توجه نانوذرات به‌دلیل نسبت سطح به حجم بالای آنها است (El-Sheikh et al., 2013). در بین انواع مختلف نانوذرات، نانوذرات نقره از فواید گسترده‌ی در زمینه‌های نانوفناوری، زیست‌نانوفناوری و پزشکی برخوردار هستند (Jagtap and Bapat, 2012). نانوذرات نقره دارای کاربردهای بالقوه‌ای در عرصه‌ی علوم پایه زندگی بشر به ویژه در پزشکی، شیمی مواد غذایی، علم پزشکی قانونی، کشاورزی و لوازم آرایشی است (Vanaja and Annadurai, 2012). در این میان، مطالعات بیانگر آن است که نانوذرات نقره نسبت به سایر نانوذرات اثرات بیشتری در برابر باکتری‌ها و ویروس‌ها از خود نشان می‌دهند (Rekha and Arya, 2013).

تمایل به تولید و استفاده از مواد با ابعاد نانومتری با توجه به خصوصیات جالب صنعتی این مواد روز به روز در حال افزایش است. روش‌های مختلفی از جمله روش‌های شیمیایی و فیزیکی برای سنتز نانوذرات نقره در اندازه‌های مختلف وجود دارد (Senapati et al., 2012). نانوذرات حاصل از این روش‌ها به‌دلیل استفاده از مواد شیمیایی سمی مانند سدیم، نیترات سدیم و الکل که نقش عوامل احیایی و تثبیت کننده را ایفا می‌کنند (Senapati et al., 2012)، به شدت آتش زا بوده و در طبیعت به صورت تجزیه نشده باقی می‌مانند، که در نهایت موجب آلودگی‌های شیمیایی محیط زیست می‌شوند (Sahayaraj and Rajesh, 2011). از دیگر معایب این روش‌ها میزان تولید پایین و استفاده از فشار، دما و انرژی بالا در طی فرآیند واکنش است (Rajeshkumar et al., 2013).

با توجه به مشکلات عمده‌ای که در روش‌های شیمیایی و فیزیکی برای تولید نانوذرات نقره وجود دارد نیاز به توسعه روش‌های زیستی سازگار با محیط زیست، مقرون به صرفه و فاقد مواد شیمیایی وجود دارد (Jagtap and Bapat, 2012). یکی از این روش‌ها، روش‌های زیستی است که موضوع کلیدی است که از همگرایی نانوفناوری و زیست‌فناوری حاصل شده و به سمت توسعه نانوزیست‌فناوری پیش می‌رود (Prasad et al., 2012). سنتز زیستی نانوذرات نقره با استفاده از میکروارگانیسم‌ها، قارچ‌ها، گیاهان و جلبک‌ها جایگزینی مناسب محسوب می‌شود (Jagtap and Bapat, 2012)، چرا که نقش بسیار مهم و قابل توجهی را در اصلاح مواد شیمیایی سمی از طریق احیایی یون‌های فلزی ایفا می‌کند (Sahayaraj and Rajesh, 2011). دلیل محکم جهت تلاش برای سنتز نانوذرات نقره با استفاده از سامانه‌های زیستی این است که روشی ایمن، ساده، بادوام (Devina Merin et al., 2010)، سازگار با محیط زیست، مقرون به صرفه (Thangaraju et al., 2012) و غیرسمی است (Ponarulselvam et al., 2012)، به‌طوری که در دمای اتاق و بدون نیاز به فشار بالا قابل انجام می‌باشد و هیچ‌گونه محصولات جانبی سمی تولید نمی‌کند (Marchiol, 2012).

از بین این عوامل زیستی، جلبک‌ها به ویژه ماکروجلبک‌ها جایگاه بهتری را به خود اختصاص داده‌اند. چرا که این منابع دریایی، به صورت طبیعی در دسترس و دارای منابع مهم فتوشیمیایی از جمله کارتنوئید، پروتئین، اسیدهای چرب ضروری، پلی ساکاریدها، ویتامین‌ها و مواد معدنی هستند، همچنین نانوذراتی تولید می‌کنند که پایداری بالایی داشته، و به آسانی قابل دستکاری هستند (Rajeshkumar et al., 2013).

بررسی مطالعات نشان می‌دهد که سنتز نانوذرات با استفاده از جلبک‌ها کمتر شناخته شده است، از این رو توجه محققین را در

مطالعات و بررسی‌های حاضر به خود جلب کرده است (Singaravelu et al., 2007). لذا این تحقیق سنتز نانوذرات نقره از سه گونه ماکروجلبک دریایی *U. flexuosa*، *C. sinuosa* و *G. persica* به ویژه *U. flexuosa* را به‌دلیل داشتن خواص زیستی قابل توجه، مورد بررسی قرار داده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. جمع آوری و آماده سازی جلبک‌ها

ماکروجلبک‌های *G. persica*، *U. flexuosa* و *C. sinuosa* به‌ترتیب از سواحل بندرعباس، قشم و بندر لنگه در زمان بیشینه‌ی جزر جمع‌آوری شدند. جلبک‌های جمع‌آوری شده درون نایلون به همراه آب دریا به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس به‌منظور از بین بردن گل و لای، نمک و اپی‌فیت‌های چسبیده بر روی جلبک‌ها، دو مرتبه با آب معمولی و دو مرتبه با آب مقطر شسته شدند. نمونه‌های شسته شده در دمای اتاق و در سایه به‌مدت یک هفته خشک و سپس با استفاده از دستگاه آسیاب پودر شدند.

۲-۲. سنتز نانوذرات نقره

۱۰ گرم پودر تهیه شده از جلبک‌های *U. flexuosa* و *C. sinuosa* را به صورت جداگانه با ۲۰۰ سی‌سی آب دیونیزه مخلوط کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای جوش روی هیتر نگه داشته و بعد از سرد شدن، از کاغذ واتمن عبور داده و عصاره آبی حاصله برای آزمایشات بعدی در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد.

۱۰ سی سی عصاره آبی از هرکدام از جلبک‌های *U. flexuosa* و *C. sinuosa* را به ۹۰ سی‌سی محلول نیترات نقره ۱ میلی مولار اضافه کرده و محلول به مدت ۲۴ ساعت در روشنایی و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد جهت مشاهده تغییر رنگ و بررسی روند میزان جذب آن‌ها، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Visible) تحت کنترل قرار گرفت.

۰/۲۵ گرم پودر جلبک قرمز *G. persica* را با ۱۰۰ سی‌سی آب دیونیزه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد روی هیتر نگه داشته و بعد از سرد شدن، با استفاده از کاغذ صافی واتمن صاف کرده، سپس ۷۹/۹ سی‌سی از عصاره آبی جلبک را با ۱۰۰ ماکرولیتر (۰/۱ سی‌سی) محلول نیترات نقره ۱ مولار مخلوط کرده و به‌مدت ۲۴ ساعت در روشنایی و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفت (Kumar et al., 2012).

۲-۳. تعیین ویژگی‌های نانوذرات نقره

احیایی زیستی یون‌های نقره عصاره آبی توسط اشعه ماورا بنفش مریی از طریق اندازه‌گیری میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Visible) در فاصله زمانی مشخص (۰، ۱ ساعت، ۲ ساعت و... تا ۲۴ ساعت) و در طول موج ۴۲۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت.

محلول حاوی نانوذرات ساخته شده، با دور (rpm) ۱۲۰۰۰ سه مرتبه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد، آنگاه محلول رویی دور ریخته شد و رسوب حاصله (پلت) در آون برای خشک شدن نگهداری شد. سرانجام پودر خشک شده نانوذرات نقره برای بررسی نانوذرات کریستالی با دستگاه XRD (X-ray) مورد استفاده قرار گرفت.

با استفاده از دستگاه TEM شکل و اندازه نانوذرات نقره سنتز شده مورد بررسی قرار گرفت، به‌طوری که در ابتدا محلول به مدت ۱۵ دقیقه سونیکیت شد، سپس یک قطره از نمونه بر روی توری‌های مسی پوشیده شده با کربن قرار داده شد تا لایه نازکی از نمونه حاصل شود. با استفاده از دستمال‌های مخصوص نمونه‌های اضافی برداشته می‌شود. طریقه کار با SEM به این شکل است که روکش نازکی از طلا روی نمونه‌ها ایجاد می‌شود. ویژگی‌های ریخت‌شناسی و اندازه نانوذرات با استفاده از دستگاه SEM مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳. نتایج

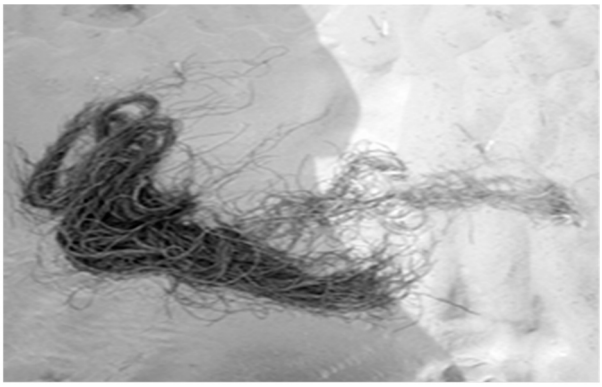
این تحقیق سنتز نانوذرات نقره از سه گونه ماکروجلبک *U. flexuosa*، *C. sinuosa* و *G. persica* خلیج فارس را مورد بررسی قرار داده است (شکل ۱).

روش سنتز زیستی نانوذرات نقره با استفاده از احیای یون‌های نقره به‌وسیله توده زیستی ماکروجلبک‌ها در مقایسه با روش‌های الکتروشیمیایی، فتوشیمیایی و یا میدان فراصوت روش نسبتا ساده‌ی است. به‌عبارت دیگر اساس سنتز نانوذرات نقره احیای یون‌های نقره است. به‌منظور ساخت نانوذرات نقره عصاره جلبک‌ها به

محلول نیترات نقره اضافه گردید و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و شرایط روشنایی تحت کنترل قرار گرفت. اولین نشانه از تولید نانوذرات نقره تغییر رنگ محلول است. در لحظه شروع واکنش محلول حاوی عصاره جلبک‌ها با نیترات نقره کاملا بی رنگ بوده (شکل ۲ الف) و بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون محلول کاملا تیره رنگ شد که در شکل ۲ ب نشان داده شده است.

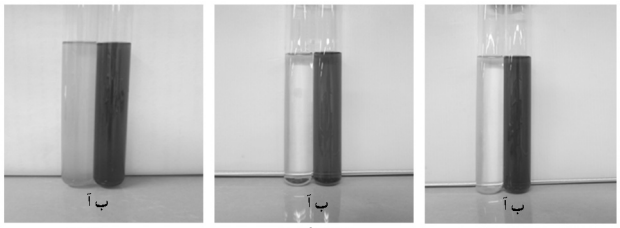
(الف)

(ب)



(ج)

شکل ۱: (الف) جلبک سبز *U. flexuosa* (ب) جلبک قهوه‌ای *C. sinuosa* (ج) جلبک قرمز *G. persica*



U. flexuosa *C. sinuosa* *G. persica*

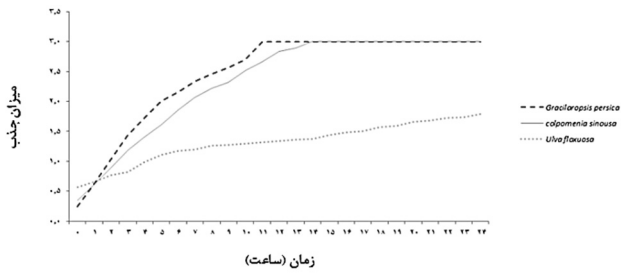
شکل ۲: محلول نیترات نقره به همراه عصاره جلبک‌ها *G. persica*، *C. sinuosa* و *U. flexuosa* (الف) عصاره جلبک‌ها قبل از اضافه کردن محلول نیترات نقره و (ب) عصاره جلبک‌ها بعد از اضافه کردن نیترات نقره بعد از ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و روشنایی

عصاره آبی جلبک‌های *U. flexuosa*، *C. sinuosa* و *G. persica* حاوی نیترات نقره به ترتیب ۳۰ دقیقه، ۲۰ دقیقه و ۱۵ دقیقه بعد از شروع واکنش تغییر رنگ داده و در طی دوران انکوباسیون رنگ محلول‌ها به سمت تیره تر شدن پیش رفت. به طوری که رنگ محلول *U. flexuosa* از سبز روشن به قهوه‌ای تیره، *C. sinuosa* از زرد روشن به قهوه‌ای تیره و *G. persica* از بی رنگ به قهوه‌ای تیره در مدت زمان ۲۴ ساعت و شرایط روشنایی تغییر پیدا کرد. این تغییر رنگ، نشان از احیایی یون‌های نقره در محلول و تولید نانوذرات نقره است. لازم به ذکر است که با گذشت زمان، به دلیل احیایی یون‌های نقره میزان تغییر رنگ افزایش پیدا کرد و در محلول کنترل حاوی نیترات نقره بدون عصاره جلبکی هیچ تغییر رنگی مشاهده نشد.

برای نشان دادن ریخت‌شناسی و پایداری نانوذرات می‌توان از اسپکتروفتومتر استفاده کرد. به‌عبارت دیگر با استفاده از آن می‌توان از تولید نانوذرات نقره اطمینان حاصل کرد. این دستگاه می‌تواند میزان جذب محلول حاوی عصاره آبی جلبک و یون‌های نقره را در طول موج ۴۲۰ نانومتر و در فواصل زمانی مختلف نشان دهد. طیف‌های Uv- Visible ثبت شده در واکنش عصاره جلبک‌ها با محلول نیترات نقره در طول موج ۴۲۰ نانومتر نشان از سنتز نانوذرات نقره توسط این عصاره‌ها است (نمودار ۱). به طور پیوسته، میزان جذب عصاره ماکروجلبک‌ها بدون تغییر طول موج به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق افزایش یافت.

از بین سه گونه ماکروجلبک *C. sinuosa* بعد از ۱۴ ساعت و *G. persica* بعد از ۱۱ ساعت به بیشترین میزان جذب خود رسیدند. درحالی‌که *U. flexuosa* گونه‌ی است که با توجه به افزایش تدریجی میزان جذب آن در طی دوران انکوباسیون، به

نظر می‌آمد که ساخت نانوذرات نقره آن حتی بعد از ۲۴ ساعت ادامه داشته باشد.

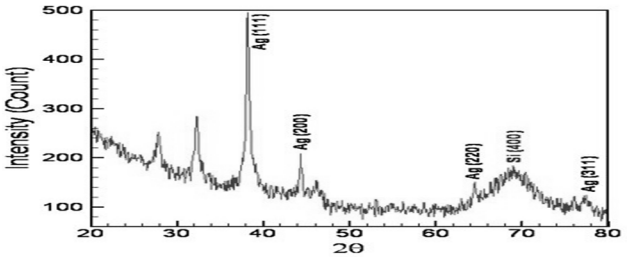


نمودار ۱: میزان جذب عصاره هرسه گونه جلبک به همراه محلول نیترات نقره در طول موج ۴۲۰ نانومتر به مدت ۲۴ ساعت

با توجه به این که *G. persica* یک گونه بومی ایران است، اما با افزایش دما و مقدار جلبک مورد استفاده در طی فرآیند عصاره‌گیری با آب، آگار تولید می‌کند که برای سنتز نانوذرات به خصوص در حین جداسازی آن‌ها مشکل ساز است. برای حل این مشکل مجبور به استفاده کمتر از جلبک *G. persica* و استفاده بیشتر از محلول نیترات نقره که به هرحال یک ماده شیمیایی است، وجود دارد. در حقیقت این جلبک بیش از آن که برای تولید نانوذرات نقره مناسب باشد برای استخراج آگار می‌تواند کاربرد داشته باشد. لازم به ذکر است که *C. sinuosa* هم به‌دلیل اینکه در طبیعت به شکل توپ توخالی وجود دارد. گل و لای و دیگر جلبک‌ها در هنگام جزر و مد به درون آن می‌روند که روند شستشو این جلبک را مشکل و زمان بر می‌کند. از آنجا که *U. flexuosa* هم از نظر منطقه‌بندی و هم از نظر مدت زمانی که در دریا به صورت انبوه وجود دارد به راحتی در دسترس است، و به ویژه به علت وجود خواص زیستی از جمله خواص آنتی اکسیدان این گونه (Kokabi et al., 2013) و ضد سرطانی که در گونه‌های دیگر جنس *Ulva* (Devi and Bhimba, 2012) گزارش شده است، در تحقیق پیش رو از گونه *U. flexuosa* جهت بررسی ویژگی‌های نانوذرات ساخته شده‌ی آن استفاده گردید.

برای به‌دست آوردن طیف Uv-Visible محلول جلبک *U. flexuosa* از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. حدود ۱ سی‌سی از محلول قهوه‌ای رنگ حاصل از برهمکنش عصاره *U. flexuosa* و نمک نقره با استفاده از این دستگاه در بازه طول موج ۳۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر بررسی شد. طیف Uv-Visible ثبت شده از نمونه جلبک مورد نظر، بعد از کامل شدن واکنش، نشان داد که باندهای جذبی قوی در طول موج ۴۲۰ نانومتر متمرکز شده‌اند که اثبات کننده‌ی حضور نانوذرات نقره و در واقع تولید آن در محلول قهوه‌ای رنگ است (نتایج نشان داده نشده است).

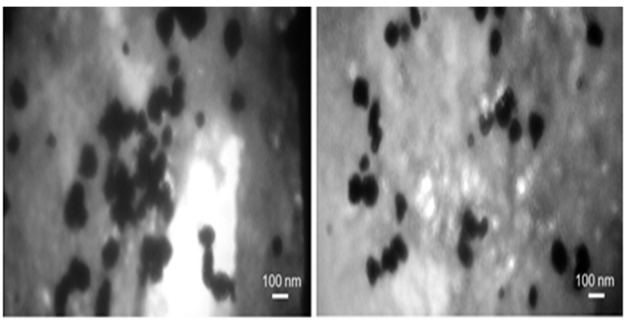
جهت تائید کریستالی بودن نوع فلز تولید شده از روش پراش اشعه‌ی X استفاده شد (نمودار ۲).



نمودار ۲: الگوی XRD از نانوذرات نقره تولید شده توسط *U. flexuosa*

طی مقایسه نمودار به‌دست آمده از جلبک مورد نظر با نمودار استاندارد نقره مشخص شد که هر دو نمودار صد در صد با هم، همخوانی دارند و همگی در نقاط معینی مانند (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۱) پیک داده‌اند. بنابراین اطمینان حاصل شد که فلز تولید شده نانوکریستال‌های نقره هستند.

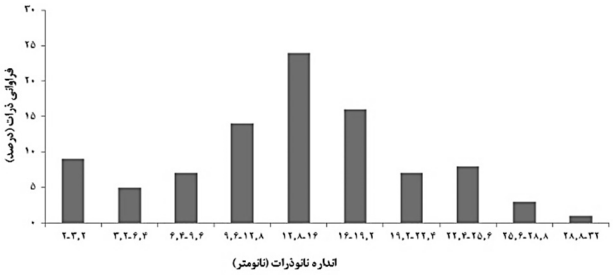
برای پی بردن به اندازه، ریخت شناسی و پراکنش نانوذرات نقره تولید شده توسط جلبک‌ها از میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده گردید، چرا که TEM راهی مطمئن برای تعیین اندازه و شکل نانوذرات است. ارزیابی تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری ثبت شده از نانوذرات نقره بر روی یک صفحه کربنی پوشانیده شده از مس نشان داد که اندازه نانوذرات تولید شده توسط *U. flexuosa* در حدود ۲۵ نانومتر است (شکل ۳).



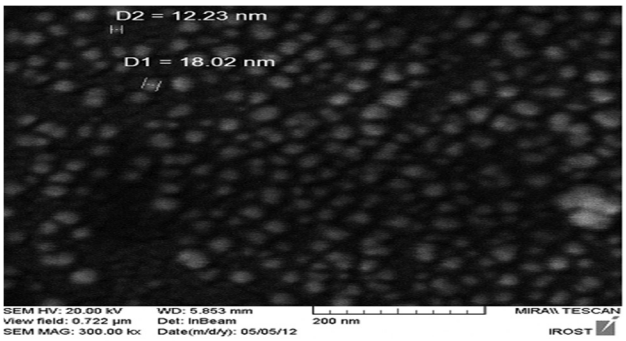
شکل ۳: تصویر TEM نانوذرات نقره *U. flexuosa*

با توجه به نمودار پراکنش، این نانوذرات نقره به صورت دایره‌ای با حداکثر اندازه ۲ تا ۳۲ نانومتر و متوسط قطر ۱/۵ ± ۱۵ دیده شدند (نمودار ۳).

نتایج آنالیز تصویر SEM نشان می‌دهد که بیشتر نانوذرات نقره ساخته شده اندازه‌ی کمتر از ۴۵ نانومتر دارند (شکل ۴).



نمودار ۳: نمودار پراکنش نانوذرات نقره *U. flexuosa*



شکل ۴: تصویر SEM نانوذرات نقره *U. flexuosa*

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نانوفناوری، توانایی فعالیت در مقیاس مولکولی، اتم به اتم، برای تولید ساختارهای بزرگ‌تر، با نظم و خصوصیات مولکولی جدید برای کنترل ساختار و تولید وسایل در سطح اتمی، مولکولی و درشت مولکولی و استفاده مؤثر از آنها تعریف شده است. به‌طور خلاصه، نانوفناوری توانایی ساخت مواد ریز و درشت با دقت اتمی است (شجاع الساداتی و صالحی زاده، ۱۳۹۰). نانوذرات نقره از طریق موجودات زنده مانند میکروارگانیسم‌ها از قبیل قارچ‌ها (سجادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ شیخ لو و همکاران، ۱۳۹۱)، باکتری‌ها (Ahmad et al., 2005)، مخمرها (Kowshik et al., 2003) و یا ماکروارگانیسم‌ها مانند گیاهان (Dubey et al., 2010)، جلبک‌ها (Prasad et al., 2012) و غیره سنتز می‌شود. این تحقیق سنتز نانوذرات نقره با استفاده از سه گونه ماکروجلبک خلیج فارس که توانایی احیایی یون‌های نقره و تولید نانوذرات نقره را دارا هستند، گزارش می‌دهد. از بین سه گونه ذکر شده جلبک سبز *U. flexuosa* با توجه به تاثیرات زیستی بهتر از نظر کیفی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

تغییر رنگ مشاهده شده از سبز کم رنگ به قهوه‌ای تیره در عصاره جلبک *U. flexuosa*، یک نشانه واضح از تشکیل نانوذرات نقره در محلول واکنش بوده، که این تغییر رنگ ناشی از ارتعاشات پلاسمون سطحی در نانوذرات است که با نتایج حاصل از پژوهش Jegadeeswaran و همکاران (۲۰۱۲) کاملا مشابه بود و اولین نشانه از تولید نانوذرات نقره محسوب می‌شود. طیف‌های Uv-Visible ثبت شده، به‌طور کامل نشان دهنده افزایش ارتعاشات پلاسمون سطحی در طول موج ۴۲۰ نانومتر است. وجود پیک نانوذرات نقره در طول موج ۴۲۰ نانومتر با نتایج حاصل از پژوهش Thangaraju و همکاران (۲۰۱۲) مشابه بود. نتایج آنالیز طیف‌های Uv-Visible ثبت شده با استفاده از جلبک سبز *Chaetomorpha linum* توسط Ragupathi Raja Kannan و همکاران (۲۰۱۲) و جلبک قرمز *Gracilaria corticata* توسط Kumar و همکاران (۲۰۱۲) با نتایج حاصل از این پژوهش هم‌خوانی داشت.

در این مطالعه با استفاده از روش XRD از وجود و سنتز نانوکریستال‌های نقره توسط جلبک اطمینان حاصل شد. با استفاده از این الگو XRD اندازه کریستال، نانوکریستال‌های نقره و متوسط آن مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که اندازه کریستال در قسمت‌های مختلف نقره ۱۳/۸، ۴۰ و ۵۹/۲ نانومتر و متوسط آن در هر ۴ پیک مورد بررسی ۳۶/۶ نانومتر تعیین گردید. نتایج حاصل از TEM نشان می‌دهد که دامنه نانوذرات نقره تولید شده به روش زیستی در محدوده ی ۲ تا ۳۲ نانومتر و به شکل دایره‌ای است که با نتایج سایر محققین نیز همخوانی دارد (Devi and Bhimba, 2012). لازم به ذکر است که ویژگی‌ها و قابلیت زیستی این نانوذرات با استفاده از اندازه آن‌ها کنترل می‌شود (Cai et al., 2011).

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که جلبک‌های ماکروسکوپی خلیج فارس می‌توانند به منظور تولید نانوذرات نقره در روش زیستی مورد استفاده قرار بگیرند.

منابع

سجادی، گ.؛ شجاعی، ا.؛ فاضلی، م.ر.؛ امینی، ج.؛ جمالی فر، ح.، ۱۳۸۸. تولید برون سلولی نانوذرات نقره به وسیله قارچ فوزاریوم اگزیسپورویم در مقیاس آزمایشگاهی. مجله دنیای میکروب ها، سال دوم، شماره ۱، صفحات ۴۴-۴۷.

شجاع الساداتی، ع.؛ صالحی زاده، ح.، ۱۳۹۰. اصول، مفاهیم و کاربردهای نانوبیوتکنولوژی. مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت

مدرس، چاپ دوم، ۲۶۳صفحه.

شیخ لو، ز.؛ صولتی، م.؛ فرهمندکیا، ز.؛ مهمازی، س.؛ عینلو، ع.، ۱۳۹۰. بیوسنتز داخلی و خارجی نانوذرات طلا توسط قارچ رایزوپوس اوریزا. مجله دانشگاه علوم پزشکی زنجان، دوره بیستم، شماره ۷۸، صفحات ۴۷ - ۵۶.

Ahmad, A.; Senapati, S.; Khan, M. I.; Kumar, R.; Sastry, M., 2005. Extra-intracellular, biosynthesis of gold nanoparticles by an alkalotolerant fungus, Trichothecium. Journal of Biomedical Nanotechnology, 1: 47-53.

Bala, M.; Arya, V., 2013. Biological synthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of endophytic fungus *Aspergillus fumigatus* and its antibacterial action. International Journal of Nanomaterials and Biostructures, 3: 37-41.

Cai, F.; Li, J.; Sun, J.; Ji, Y., 2011. Biosynthesis of gold nanoparticles by biosorption using *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1. Chemical Engineering Journal, 175: 70–75.

Devina Merin, D.; Prakash, S.; Valentine Bhimba, B., 2010. Antibacterial screening of silver nanoparticles synthesized by marine micro algae. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 797-799.

Dubey, S.; Lahtinen, M.; Sillanpaa, M., 2010. Green synthesis and characterizations of silver and gold nanoparticles using leaf extract of *Rosa rugosa*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 364: 34-41.

El-Sheikh, M.A.; El-Rafie, S.M.; Abdel-Halim, E.S.; El-Rafie, M.H., 2013. Green synthesis of hydroxyethyl cellulose-stabilized silver nanoparticles, DOI: 10.1155/2013/650837.

Jagtap, U.B.; Bapat, V.A., 2013. Green synthesis of silver nanoparticles using *Artocarpus heterophyllus lam*. seed extract and its antibacterial activity. Industrial Crops and Products, 46: 132–137.

Jegadeeswaran, P.; Shivaraj, R.; Venckatesh, R., 2012. Green synthesis of silver nanoparticles from extracts of *Padina tetrastromatica* leaf. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 7(3): 991 – 998.

Kokabi, M.; Yousefzadi, M.; Ali Ahmadi, A.; Feghhi, M. A.; Keshavarze, M., 2013. Antioxidant activity of extracts of selected algae from the Persian Gulf, Iran. Journal of the Persian Gulf, 4(12): 45-50.

Kowshik, M.; Ashtaputre, S.; Kharrazi, S.; Vogel, W.; Urban, J.; Kulkarni, S.K.; Paknikar, K.M., 2003. Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver- tolerant yeast strain MKY3. Nanotechnology, 14: 95-100.

Kumar, p.; Senthamil Selvi, S.; Govindaraju, M., 2012. Seaweed-mediated biosynthesis of silver nanoparticles using *Gracilaria corticata* for its antifungal activity against *Candida* spp. Applied Nanoscience, DOI: 10.1007/s13204-012-0151-3.

Marchiol, L., 2012. Synthesis of metal nanoparticles in living plants. Italian Journal of Agronomy, 7: e37.

Ponarulselvam, S.; Panneerselvam, C.; Murugan, K.; Aarthi, N.; Kalimuthu, K.; Thangamani, S., 2012. Synthesis of silver nanoparticles using leaves of *Catharanthus roseus* Linn. G. Don and their antiplasmodial activities. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 574-580.

Prasad, T.N.V.K.V.; Kambala, V.S.R.; Naidu, R., 2012. Phyconanotechnology: synthesis of silver nanoparticles using brown marine algae *Cystophora moniliformis* and their characterization. Journal of Applied Phycology, DOI: 10.1007/s10811-012-9851-z.

Ragupathi Raja Kannan, R.; Arumugam, R.; Ramya, D.; Manivannan, K.; Anantharaman, P., 2012. Green synthesis of silver nanoparticles using marine macroalga *Chaetomorpha linum*. Applied Nanoscience, 3: 229-233.

Rajeshkumar, S.; Malarkodi, C.; Gnanajobitha, G.; Paulkumar, K.; Vanaja, M.; Kannan, C.; Annadurai, G.,

Senapati, S.; Syde, A.; Moeez, S.; Kumar, A.; Ahmah, A., 2012. Intracellular synthesis of gold nanoparticles using alga *Tetraselmis kochinensis*. Materials Letters, DOI:10.1016/j.matlet.2012.04.009.

Singaravelu, G.; Arockiamary, J.S.; Ganesh Kumar, V.; Govindaraju, K., 2007. A novel extracellular synthesis of monodisperse gold nanoparticles using marine alga, *Sargassum wightii* Greville. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 57: 97–101.

Thangaraju, N.; Venkatalakshmi, R.P.; Chinnasamy, A., 2012. Synthesis of silver nanoparticles and the antibacterial anticancer activities of the crude extract of *Sargassum polycystum* C. Agardh. Nano-Biomedical Engineering, 4(2): 89-94.

Vanaja, V.; Annadurai, G., 2012. *Coleus aromaticus* leaf extract mediated synthesis of silver nanoparticles and its bactericidal activity. Applied Nanoscience, 3: 217-223.

2013. Seaweed-mediated synthesis of gold nanoparticles using *Turbinaria conoides* and its characterization. Journal of Nanostructure in Chemistry, 3: 44.

Rekha, V., 2013. Biological synthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of endophytic fungus *Aspergillus terrus* and its antibacterial activity. International Journal of Nanomaterials and Biostructures, 3(2): 35-37.

Sahayaraj, K.; Rajesh, S., 2011. Bionanoparticles: synthesis and antimicrobial applications. Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances.

Saraniya Devi, J.; Valentin Bhimba, B., 2012. Anticancer activity of silver nanoparticles synthesized by the seaweed *Ulva lactuca* In vitro. Open Access Scientific Report, 1:4.