



Antioxidant potential of nano cerium oxide synthesized from macroalgae (*Sargassum ilicifolium*) and brittle star (*Ophiocoma scolopendrina*)

Mahdieh Amirinezhad¹, Narges Amrollahi Biuki^{1,2*}, Morteza Yousefzadi³, Arash Ghaderi⁴

1. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Department, of Modern Technologies, Mangrove Forest Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
3. Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Qom, Qom, Iran.
4. Department of Chemistry, College of Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

* Corresponding Author Email: amrollahi@hormozgan.ac.ir

Received: 12 November 2023

Revise Date: 2 December 2023

Accepted: 29 January 2024

Abstract

This study investigated the green synthesis of cerium oxide nanoparticles using natural marine extracts. Characteristic peaks for CeO₂ with X-ray diffraction spectrum to crystal planes (111), (200), (220) (311), (331), (420), and (422) are related. In the SEM images, the synthesized cerium oxide nanoparticles are generally spherical with a size of about 10 to 12 nm. The FTIR analysis indicated the presence of prominent peaks that showed the presence of this nanoparticle in different capacity states of Ce⁺³, Ce⁺⁴ acts as an antioxidant on the surface of nano cerium. Nanoparticles synthesized from algae at concentrations of 1000, 500, and 250 µg/ml showed between 60-65% DPPH free radical inhibition. The highest reduction rate of macroalgae *Sargassum ilicifolium* at a concentration of 500 µg/ml, it is a significant difference between nanoparticles synthesized from the available extracts and tested at different concentrations. Antibacterial activity was observed (P≤0.05). It showed that Gram-negative bacteria are more resistant to CeO₂ nanoparticles than Gram-positive bacteria.

Keywords: Nanotechnology, marine compounds, green synthesis

1. INTRODUCTION

Today, biological methods of nanoparticle synthesis using microorganisms, natural extracts, and nutrients have been suggested as suitable alternatives to chemical and physical methods (Das et al., 2013). Researchers have reported that cerium nanoparticles are effective in dealing with oxidative stress and have an antioxidant role, so these nanoparticles can act as a remover of various forms of reactive oxygen in many physiological and biochemical reactions in the body of living organisms (Dhall et al., 2017). Microalgae are the main group of photoautotrophic organisms known as potential sources of secondary metabolites, phenolic compounds, pigments and polysaccharides. Biosynthesis targets algal secondary metabolites as reducing agents for stabilization of nanoparticles (NPs) (Barciela et al., 2022). Metabolites extracted from starfish with low molecular weight have remarkable characteristics. These isolated compounds include steroids, anthroquinones, alkaloids, phospholipids and peptides, which are a rich source of activity against microbes and have many uses in the field of medicine (Baharara et al., 2020). In this study, the antioxidant and antibacterial properties of green cerium oxide nanoparticles synthesized from marine extracts have been investigated.

2. MATERIALS AND METHODS

Sargassum ilicifolium macroalgae was collected from the coast of Chabahar and transported to the laboratory. Then the samples were washed several times with distilled water in order to separate the mud and dried in the shade and at a suitable temperature for a week and then ground to powder. Brittle star *Ophiocoma*

scolopendrina was collected from Qeshm Island at the time of low tide and dried with a freeze dryer at -40C and then powdered with an industrial mill. In order to extract and synthesize CeO₂NPs nano cerium oxide, 10 grams of powdered each of the samples was added to 100 ml of double distilled water and stirred for 3 to 4 hours at 60 degrees Celsius, then it was collected with filter paper and then Whatman. In an Erlenmeyer flask, 100 ml of 0.05 M of Ce(NO₃)₃.6H₂O and 20 ml of distilled water were added to it and this solution was stirred using a magnetic stirrer until a homogeneous solution was formed (Altaf et al. al., 2021). Then 40 ml of the extract was added to the solution and the final volume was brought to 100 ml with distilled water and the reaction mixture was stirred on a hot magnetic plate with a temperature of 70-80 degrees Celsius for 3-4 hours. The formed particles after sufficient stirring time were centrifuged at 5000 rpm for 10 minutes, the nanoparticles were repeatedly washed with deionized water and dried in an oven at 60 degrees for 6 hours. Then, the obtained product was calcined in the oven at 400°C for 2 hours to produce a yellow powder of cerium oxide (Elahi et al., 2019). In the test of measuring the antioxidant capacity by the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical method, concentrations of 1000, 500, 125, 250, 62.5 and 31.25 µg/ml were made from 10 mg/ml stock, from 100 µl of each concentration was taken and poured into 96-well plates in triplicate. Also, 100 microliters of 0.3 mM DPPH solution (394.3 g/mol) was added. The 96-well plates were placed in the dark for 30 minutes, and the absorbance of the samples was read by an Elizarider device at a wavelength of 517 nm.

3. RESULTS

In the FT-IR study, the peaks around 1417, 1575, and 1577, 1432 cm² in samples A and B are related to carbonate compounds. Scanning electron microscopy (SEM) has shown that the nanoparticles are spherical and tend to aggregate. The highest reduction rate against ascorbic acid was observed in *Sargassum macroalgae* at a concentration of 500 µg/ml.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The highest inhibitory activity of NPS synthesized for *S. ilicifolium* was observed (65.45 ± 0.5% at 1000 µg/ml). The basis of the biological activities of cerium nanoparticles is the Ce³⁺/Ce⁴⁺ surface ratio, the cycle of oxidation and reduction between the Ce³⁺ and Ce⁴⁺ states, which have a unique ability to absorb and release oxygen on their surface and play a key role in antioxidant activity (Dhall and Self, 2018)

REFERENCES:

- Altaf, M., Manoharadas, S. and Zeyad, M.T., 2021. Green synthesis of cerium oxide nanoparticles using *Acorus calamus* extract and their antibiofilm activity against bacterial pathogens. *Microscopy Research and Technique*, 84(8), pp.1638-1648. <https://doi.org/10.1002/jemt.23724>.
- Baharara, J., Amini, E. and Salek-Abdollahi, F., 2020. Anti-inflammatory properties of saponin fraction from *Ophiocoma erinaceus*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(2), pp.638-652. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118961.0>.
- Barciela, P., Carpena, M., Li, N.Y., Liu, C., Jafari, S.M., Simal-Gandara, J. and Prieto, M.A., 2022. Macroalgae as biofactories of metal nanoparticles; biosynthesis and food applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, p.102829. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.10282>.
- Das, S., Dowding, J.M., Klump, K.E., McGinnis, J.F., Self, W. and Seal, S., 2013. Cerium oxide nanoparticles: applications and prospects in nanomedicine. *Nanomedicine*, 8(9), pp.1483-1508. <https://doi.org/10.2217/nmm.13.133>.
- Dhall, A. and Self, W., 2018. Cerium oxide nanoparticles: a brief review of their synthesis methods and biomedical applications. *Antioxidants*, 7(8), p.97. <https://doi.org/10.3390/antiox7080097>.
- Dhall, A., Burns, A., Dowding, J., Das, S., Seal, S. and Self, W., 2017. Characterizing the phosphatase mimetic activity of cerium oxide nanoparticles and distinguishing its active site from that for catalase mimetic activity using anionic inhibitors. *Environmental Science: Nano*, 4(8), pp.1742-1749. <https://doi.org/10.1039/C7EN00394C>.
- Elahi, B., Mirzaee, M., Darroudi, M., Oskuee, R.K., Sadri, K. and Amiri, M.S., 2019. Preparation of cerium oxide nanoparticles in *Salvia Macrosiphon* Boiss seeds extract and investigation of their photo-catalytic activities. *Ceramics International*, 45(4), pp.4790-4797. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.11.173>.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.





مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>پتانسیل آنتی اکسیدانی نانو اکسیدسیریم سنتز شده از ماکرو جلبک *Sargassum ilicifolium* وستاره ی شکننده گونه *Ophiocoma scolopendrina*مهديه امیری نژاد^۱، نرگس امراللهی بیوکی^{۱*}، مرتضی یوسف زادی^۳، آرش قادری^۴

۱. گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲. گروه فناوری های نوین، پژوهشکده منطقه ای جنگل های حرا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۳. استاد، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم، ایران

۴. دانشیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: amrollahi@hormozgan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

چکیده

امروزه نانو تکنولوژی تقریباً در تمام حوزه های علمی و تکنیکی نفوذ کرده است. این مطالعه سنتز سبز نانوذرات اکسیدسیریم با استفاده از عصاره های طبیعی دریایی ماکرو جلبک *Sargassum ilicifolium* و ستاره شکننده *Ophiocoma scolopendrina* را مورد بررسی قرار داد. ترکیبات موجود در عصاره های دریایی می توانند به عنوان عوامل کاهنده و تثبیت کننده برای یون های سیریم عمل کنند. انتقال اکسیداسیون بین یون های Ce^{3+} و Ce^{4+} به طور همزمان منجر به محصول نانوذرات های سیریم اکساید می شود. پیک های مشخصه برای CeO_2 با تیف پراش اشعه ایکس به صفحات کریستالی (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۳۳۱)، (۴۲۰) و (۴۲۲) مربوط می شوند. در تصاویر SEM نانوذرات اکسیدسیریم سنتز شده به طور کلی شکل کروی با اندازه حدود ۱۰ تا ۱۲ نانومتر دارند، همچنین تجزیه و تحلیل FTIR حاکی از وجود قله های برجسته ای بود که حضور این نانوذره را نشان داد. حالت های ظرفیتی متفاوت Ce^{3+} و Ce^{4+} روی سطح نانوسیریم به عنوان یک آنتی اکسیدان عمل می کند. نانوذره ی سنتز شده از جلبک در غلظت های ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ میکروگرم بر میلی لیتر بین ۶۰-۶۵ درصد مهار رادیکال آزاد DPPH را نشان داد. بالاترین میزان احیاکنندگی ماکرو جلبک *S. ilicifolium* در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر که اختلاف معنی داری با نانو ذرات سنتز شده از عصاره جانوری موجود و غلظت های مختلف مورد آزمایش مشاهده گردید ($P \leq 0.05$). فعالیت ضدباکتریایی نشان داد که باکتری گرم منفی نسبت به باکتری گرم مثبت در برابر نانوذرات CeO_2 مقاوم تر است.

واژگان کلیدی: نانو تکنولوژی، ترکیبات دریایی، سنتز سبز.

۱. مقدمه

سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می باشند، همچنین به فعالیت های تقلیدی پراکسیداز، اکسیداز و فسفاتاز و مهار رادیکال های هیدروکسیل، رادیکال های اکسیدنیتریک و پروکسی نیتريت است. حالت های ظرفیتی متفاوت Ce^{3+} و Ce^{4+} روی سطح نانوسیریا به عنوان یک آنتی اکسیدان عمل کرده و اجازه می دهد تا نانوذرات در محیط کشت رادیکال های آزاد را بربایند از طرفی اثر آنتی اکسیدانی نانوسیریا با زدودن رادیکال های آزاد اکسیژن، نقش محافظتی در بدن دارد (Das et al., 2007).

سنتز سبز برای اجتناب از تولید مواد ناخواسته و مضر از طریق ایجاد روش های مطمئن، پایدار و سازگار با محیط زیست مورد نیاز است. امروزه، روش های بیولوژیکی سنتز نانوذرات با استفاده از میکروارگانیسم ها، عصاره های طبیعی و مواد مغذی به عنوان جایگزین مناسب برای روش های شیمیایی و فیزیکی پیشنهاد شده است (Das et al., 2013). نانوذرات اکسیدسیریم (نانوسیریا) شکل اکسید شده عنصر کمیاب سیریم هستند که به دلیل تغییرات جای خالی اکسیژن سطحی و آرایش ظرفیتی قادر به تقلید فعالیت

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



Ce^{3+} و Ce^{4+} به‌طور همزمان انجام که منجر به محصول نانوذرات‌های سیریم اکساید می‌شود. اخیراً، CeO_2NP ها از طریق روش‌های زیستی با استفاده از ترکیبات طبیعی به‌عنوان معرف به‌منظور ساخت مواد زیستی سازگار و حل‌چالش‌های استفاده‌ایمن و موثر از این اکسید فلزی برای کاربردهای زیست‌پزشکی سنتز شده‌اند (Javadi et al., 2019). در این مطالعه به بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌باکتریایی نانوذره‌ی اکسید سیریم سبز سنتز شده از عصاره‌های دریایی پرداخته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

ماکرو جلبک *Sargassum ilicifolium* را از سواحل چابهار جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید. سپس نمونه‌ها را به‌منظور جداسازی گل و لای چند بار با آب مقطر شستشو داده و در سایه و دمای مناسب به مدت یک هفته خشک و سپس جهت پودر شدن آسیاب گردید. ستاره‌ی شکننده گونه‌ی *Ophiocoma scolopendrina* زمان شروع جزر از جزیره‌ی قشم جمع‌آوری و با دستگاه فریز درایر در دمای $-40^{\circ}C$ سانتی‌گراد خشک و سپس با آسیاب صنعتی پودر شد. جهت عصاره‌گیری و سنتز نانو اکسیدسیریم CeO_2NPs مقدار ۱۰ گرم از پودر شده‌ی هر کدام از نمونه‌ها را به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر اضافه و به‌مدت ۳ تا ۴ ساعت در دمای $60^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد هم زده شد، سپس با کاغذ صافی و سپس واتمن جمع‌آوری گردید. در یک ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری 0.05 مولار از $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ و 20 میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه و این محلول با استفاده از همزن مغناطیسی هم زده تا محلول همگن تشکیل شود (Arunachalam et al., 2017; Altaf et al., 2021). سپس 40 میلی‌لیتر از عصاره به محلول اضافه و حجم نهایی را با آب مقطر به 100 میلی‌لیتر رسانده و مخلوط واکنش روی یک صفحه گرم مغناطیسی با دمای $70-80^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد به‌مدت $3-4$ ساعت هم زده شد. ذرات پس از زمان کافی هم زدن تشکیل شده با دور 5000 دور در دقیقه به‌مدت 10 دقیقه سانتریفیوژ شد نانوذره‌ها با آب دیونیزه به‌طور مکرر شستشو و در آن $60^{\circ}C$ درجه به‌مدت 6 ساعت خشک شد. سپس محصول بدست آمده در کوره در دمای $400^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد به‌مدت 2 ساعت کلسینه گردید، تا پودر زرد رنگ نانو اکسیدسیریم بوجود آید (Elahi et al., 2019; Maqbool et al., 2016). شناسایی نانوذرات با استفاده از SEM، XRD و FT-IR انجام شد. برای محاسبه اندازه کریستالیت از فرمول شرر طبق معادله زیر استفاده شد: $Crystallite\ size = k\lambda / b \cos\theta$ جایی که λ طول موج است، k ثابت شرر (0.94)، b پهنای پیک در نصف ارتفاع بیشینه پیک (FWHM) و θ موقعیت پیک الگوی پراش نصف دو تا می‌باشد. در روش اندازه‌گیری قدرت احیاکنندگی آهن (III) نانوذره‌ی سنتز شده در غلظت‌های 500 ، 250 ، 125 ، 62.5 ، 31.25 و 15.62 میکروگرم بر میلی‌لیتر تهیه شد. سپس از هر غلظت 400 میکروگرم در سه تکرار ریخته و به آن یک میلی‌لیتر بافر فسفات با $pH 6/6$

بدن انسان به‌طور مداوم گونه‌های رادیکال آزاد را از طریق تنفس سلولی و سایر فرآیندهای ناشی از اکسیداسیون تولید می‌کند. سیستم آنتی‌اکسیدانی طبیعی بدن به‌طور مداوم برای کاهش و متعادل کردن تعداد گونه‌های اکسیداتیو در داخل بدن کار می‌کند. با این حال، در مورد بیماری‌ها یا هر اختلالی، زمانی که سیستم آنتی‌اکسیدانی طبیعی نتواند تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS: Reactive Oxygen Species) را جبران کند و آن‌ها را کاهش دهد، شرایط استرس اکسیداتیو در بدن ایجاد می‌شود (Liu et al., 2018).

سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی طبیعی تعادل بین تولید و تخریب گونه‌های رادیکال آزاد را حفظ می‌کنند. علاوه بر این، آنتی‌اکسیدان‌ها نقش مهمی در درمان استرس اکسیداتیو، اختلالات دژنراتیو و اختلالات خودایمنی مانند آرتریت دارند (Aseyd et al., 2020). محققان گزارش داده‌اند که نانوذرات سیریم در مقابله با استرس اکسیداتیو مؤثر هستند و نقش آنتی‌اکسیدانی دارند، بنابراین این نانوذرات می‌توانند به‌عنوان حذف‌کننده انواع شکل‌های مختلف اکسیژن واکنش‌پذیر در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی درون بدن موجودات زنده عمل کنند (Dhall et al., 2017). برخی از مطالعات به القای استرس اکسیداتیو ناشی از نانو سیریا در شرایط *in vivo* و *in vitro* پرداختند، در حالی که آن‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان مستقیم و جاذب رادیکال آزاد رفتار می‌کنند؛ این رخداد با واکنش رادیکال سوپراکسید، رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن، مرگ سلول را به دلیل استرس اکسیداتیو محدود می‌کنند (Rajeshkumar et al., 2018; Dhall and Self, 2018; and Naik, 2018). طیف وسیعی از نانوذرات سیریم اکسیدها در فعالیت آنتی‌اکسیدانی و توانایی در بازسازی یا احیاء مجدد سطح خود، آن‌ها را به کاندیدهای قوی به‌عنوان مهارکننده‌های ROS در داخل بدن تبدیل کرده است. نانوسیریا می‌تواند به‌طور بالقوه از سلول‌های عضلانی موش در برابر استرس اکسیداتیو با تعدیل بیان ژن محافظت کند (Li et al., 2018). ماکرو جلبک‌ها گروه اصلی فوتوتوتروفیک موجودات زنده هستند که به‌عنوان منبع بالقوه متابولیت‌های ثانویه، ترکیبات فنلی، رنگدانه‌ها و پلی‌ساکاریدها شناخته می‌شوند. بیوسنتز، متابولیت‌های ثانویه جلبکی را به‌عنوان عوامل کاهنده برای تثبیت نانوذرات (NPs) هدف قرار می‌دهد (Barciela et al., 2022). متابولیت‌های استخراج شده از ستاره دریایی با وزن مولکولی کم مشخصه‌های قابل توجهی دارند. این ترکیبات جدا شده شامل استروئیدها، آنتروکینون‌ها، آلکالوئیدها، فسفولیپیدها و پپتیدها هستند که منبع غنی از فعالیت در برابر میکروب‌ها محسوب می‌شوند و در زمینه‌ی پزشکی استفاده‌های متعددی دارند (Baharara et al., 2020). نانوذرات CeO_2 پتانسیل کشتن بسیاری از گونه‌های باکتریایی را دارند (Nyoka et al., 2020). ترکیبات موجود در عصاره‌های طبیعی می‌توانند به‌عنوان عوامل کاهنده و تثبیت‌کننده برای یون‌های سیریم عمل کنند، سپس انتقال اکسیداسیون بین یون‌های

به اضافه یک میلی‌لیتر فروسیانید پتاسیم اضافه شد و در حمام آب گرم، با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد. سپس به یک میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید و یک میلی‌لیتر آب مقطر و ۲۰۰ میکرولیتر کلروفوریک اضافه شد، سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانش شد. با افزایش جذب قدرت احیاکنندگی هم افزایش می‌یابد، اسیدآسکوربیک به‌عنوان استاندارد در نظر گرفته شد (Yen and Chen., 1995). در آزمایش سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به روش رادیکال DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) از استوک ۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر غلظت‌های ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۲/۵ و ۳۱/۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر ساخته شد، از هر

غلظت به اندازه‌ی ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و در پلیت‌های ۹۶ چاهکی در سه تکرار ریخته شد. همچنین به اندازه ۱۰۰ میکرولیتر محلول ۰/۳ میلی‌مولار DPPH (جرم مولی ۳۹۴/۳ گرم بر مول) اضافه شد. پلیت‌های ۹۶ چاهکی به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه الایزیدر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. در این آزمایش BHT (Butylhydroxyanisole) به‌عنوان کنترل مثبت و در بلانک از متانول به جای DPPH به اضافه ۱۰۰ میکرولیتر نمونه از غلظت‌هایی که آماده شده است و فقط از محلول DPPH به‌عنوان کنترل منفی و در نهایت از رابطه (۱) برای ارزیابی درصد مهار رادیکال آزاد استفاده شد (Mensor et al., 2001).

رابطه (۱)

$$DPPH = 1 - \left[\frac{Abs_{sample} - Abs_{blank}}{Abs_{control}} \right] \times 100$$

(ANOVA) و همچنین به روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد انجام شد.

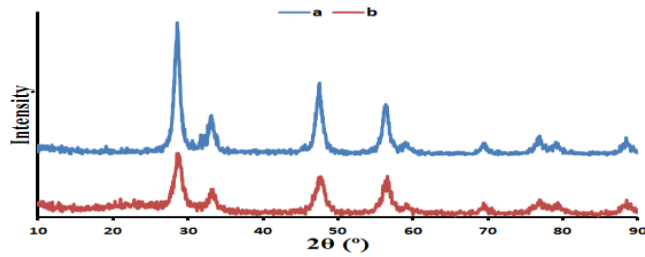
۳. نتایج

مطابق شکل ۱- با توجه به مشخص بودن افزایش میزان کریستاله شدن، نمونه a از ماهیت کریستالی بالاتری نسبت به نمونه b برخوردار است.

در شکل ۱ پیک‌های مشخصه برای CeO_2 با ساختار مکعبی به صفحات کریستالی (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۲۲۲)، (۴۰۰)، (۳۳۱)، (۴۲۰) و (۴۲۲) مربوط می‌شوند. میانگین اندازه کریستالیت ۹/۹۷ نانومتر برای نمونه a و ۷/۷۵ نانومتر برای نمونه b بدست آمد. در آنالیز FT-IR (شکل ۲) پهنای باند در نمونه‌های A و B به ترتیب ۳۴۵۳ و ۳۴۵۹ سانتی‌متر در شکل ۲ مشاهده شد، که به ارتعاشات کششی O-H نسبت داده می‌شود. همچنین پیک‌های جذب ۱۱۱۳، ۱۰۴۸، ۱۰۱۵ سانتی‌متر مربع و ۱۱۲۴، ۱۰۴۶ در نمونه‌های A و B مربوط به ارتعاش کششی C-O است. نوار قوی در نمونه A در ۵۳۵ و در نمونه B در ۵۱۷ سانتی‌متر مربع متعلق به ارتعاشات کششی Ce-O است و به تشکیل نانوذرات اکسید سیریم اختصاص دارد، در مطالعه FT-IR، پیک‌های حدود ۱۴۱۷، ۱۵۷۵، ۱۵۷۷، ۱۴۳۲ سانتی‌متر مربع در نمونه‌های A و B مربوط به ترکیبات کربناته است. میکروسکوپ الکترونی رویشی (SEM) نشان داده شده که نانوذرات کروی هستند و تمایل زیادی به تجمع دارند. الگوهای مشابهی برای سنتز نانوذرات اکسید سیریم سبز با اندازه بین ۱۲-۱۰ نانومتر و اشکال کروی ثبت شده است که با اندازه بدست آمده از رابطه شرر مطابقت دارد (شکل ۳).

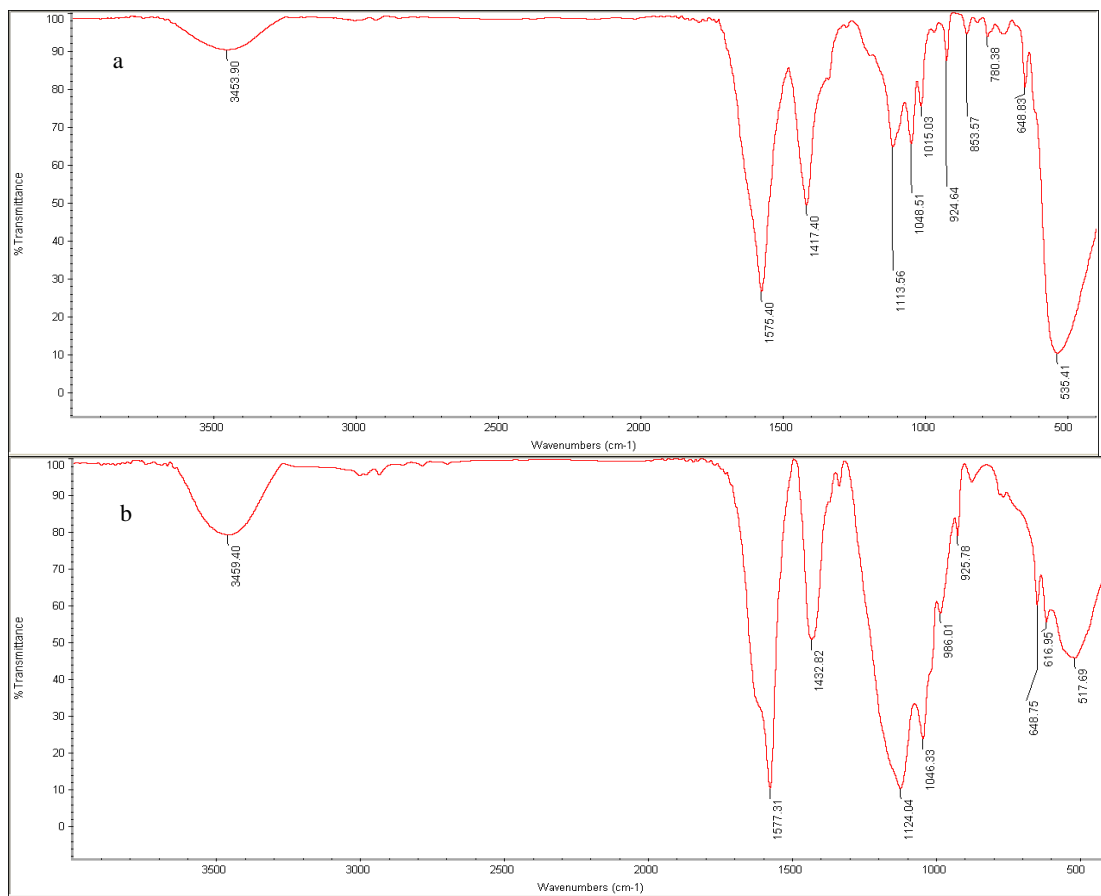
برای تعیین حداقل غلظت بازدارندگی (Minimum Inhibitory Concentration) از سویه‌های باکتری‌های گرم منفی اشریشاکلای و گرم مثبت باکتری استفیلوکوکوس به روش خطی در محیط کاملاً استریل پلیت آماده شد. سپس در زیر هود و در کنار شعله از پلیت واکشت داده، توسط فیلدوپلاتین باکتری تک کلونی جدا و در لوله‌های حاوی ۳ سی‌سی نوترینت برات کشت داده شد. لوله‌ها جهت رشد باکتری به انکوباتور دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت منتقل گردید. جهت یکسان نمودن کدورت سوسپانسیون باکتری با استاندارد نیم مک فارلند (کدورت معادل $10^8 \times 5/1$ باکتری در هر میلی‌لیتر) مقایسه گردید. ابتدا در پلیت‌های ۹۶ خانه تا چاهک شماره ده، ۱۰۰ میکرولیتر محیط کشت مولر هیتون برات ریخته شد. از استوک ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و در چاهک اول با حداقل سه تکرار اضافه شد. رقت نانوذره‌ی مورد نظر در چاهک اول به نصف رسید. پس از آن ۱۰۰ میکرولیتر از چاهک اول برداشته و به چاهک دوم اضافه شد و به این ترتیب تا چاهک آخر سری رقتی تهیه شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری (دارای غلظت برابر با استاندارد نیم مک فارلند) با استفاده از محیط کشت مایع، ۱ به ۱۰۰ رقیق شد. به همه چاهک‌ها تا چاهک شماره ۱۰ تلقیح شد. چاهک شماره ۱۱ به‌عنوان کنترل آلودگی حاوی ۲۰۰ میکرولیتر محیط کشت برات و چاهک شماره ۱۲ حاوی ۱۰۰ میکرولیتر محیط کشت برات و ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون باکتری که با نسبت یک به صد رقیق شده است و فاقد ترکیب مورد آزمایش است به‌عنوان کنترل رشد در نظر گرفته شده و پس از گذشت ۲۴ ساعت میزان کدورت بررسی شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ استفاده شد.

آنالیز آماری توسط نرم افزار SPSS 19 و مقایسه میانگین داده ها توسط آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (One-way)



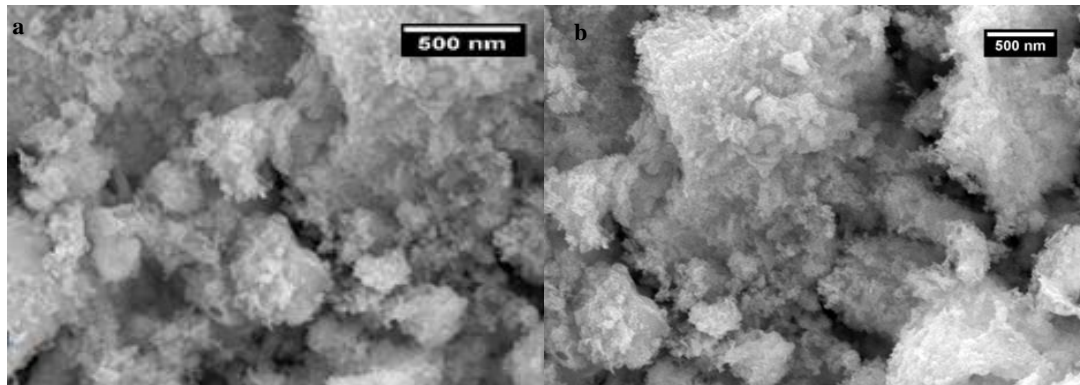
شکل ۱- مقایسه الگوی XRD نمونه‌های a (*Sargassum ilicifolium*) و b (*Ophiocoma scolopendrina*)

Fig. 1- Comparison of XRD patterns of a (*Sargassum ilicifolium*) and b (*Ophiocoma scolopendrina*) samples



شکل ۲- طیف FTIR از CeO_2 -NP های سنتز شده از A) (*Sargassum ilicifolium*) B) (*Ophiocoma scolopendrina*)

Fig. 2- FTIR spectrum of CeO_2 -NPs synthesized from A) *Sargassum ilicifolium* B) *Ophiocoma scolopendrina*

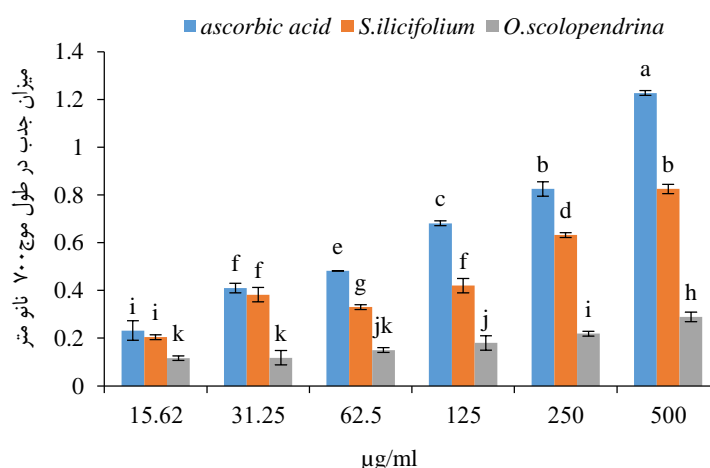


شکل ۳- تصاویر SEM. نانو اکسیدسریم سنتز شده (a) عصاره *Sargassum ilicifolium* (b) عصاره *Ophiocoma scolopendrina*

Figure 3- SEM images of cerium nano oxide synthesized a) from *Sargassum ilicifolium* extract b) from *Ophiocoma scolopendrina* extract

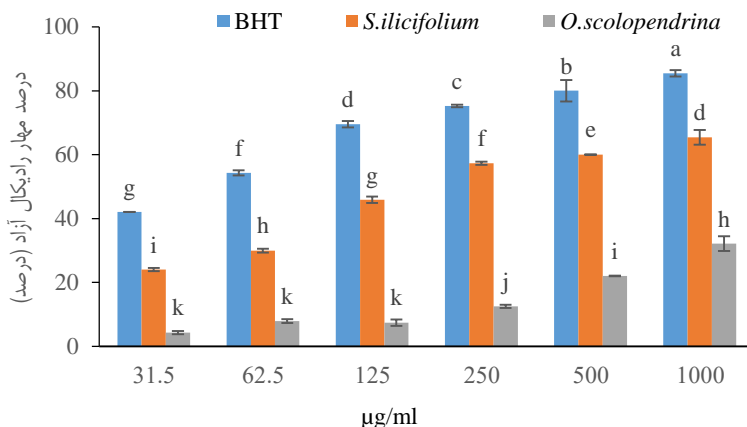
معناداری وجود دارد. در غلظت‌های ۱۵/۶۲ و ۳۱/۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر بین نانوذره سنتز شده از ماکرو جلبک و اسیدآسکوربیک اختلاف معناداری مشاهده نشد. نتایج آزمایش DPPH افزایش فعالیت مهار رادیکال آزاد با افزایش غلظت نمونه‌ها نشان داد (شکل ۵) در عین حال، پتانسیل آنتی‌اکسیدانی پودرهای CeO_2 بیوسنتز شده از شاهد بیشتر نبود، اما نانوذره سنتز شده از جلبک در غلظت‌های ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر بین ۶۰-۶۵ درصد مهار رادیکال آزاد DPPH را نشان دادند، که تفاوت قابل توجهی با ستاره شکننده مشاهده شد. میزان مهارکنندگی توسط نانو ذرات سنتز شده در غلظت‌های مختلف، دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال $P \leq 0.05$ می‌باشند. کمترین میزان مهارکنندگی مربوط به ستاره شکننده گونه *O. scolopendrina* بود که در غلظت‌های پایین تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد.

در مقایسه نتایج ارزیابی آنتی‌اکسیدانی بین نانوذره سنتز شده از عصاره جلبک و ستاره شکننده در شکل ۴ نشان می‌دهد، قوی‌ترین قدرت احیاکنندگی مربوط به ماکرو جلبک *S. ilicifolium* می‌باشد. بالاترین میزان احیاکنندگی در برابر آسکوربیک اسید در ماکرو جلبک سارگاسوم در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر مشاهده شد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین نانوذرات سنتز شده از عصاره‌های موجود و غلظت‌های مختلف مورد آزمایش مشاهده گردید ($P \leq 0.05$) در غلظت‌های ۶۲/۵۰، ۳۱/۲۵ و ۱۵/۶۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر تفاوت معنی‌داری در نانوذره سنتز شده از ستاره شکننده گونه *O. scolopendrina* مشاهده نشد. میزان قابل توجهی از قدرت احیاکنندگی در غلظت ۵۰۰ و ۲۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر جلبک *S. ilicifolium* و آسکوربیک اسید مشاهده گردید. در غلظت‌های ۵۰۰ و ۲۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر جلبک و ستاره شکننده تفاوت



شکل ۴- مقایسه قدرت احیاکنندگی نانوذره سنتز شده از جلبک و ستاره شکننده با آسکوربیک اسید به عنوان استاندارد در غلظت‌های مختلف (میکروگرم بر میلی‌لیتر). حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P \leq 0.05$ است.

Figure 4- Comparison of the reductive power of nanoparticle synthesized from algae and brittle star with ascorbic acid as a standard in different concentrations (µg/ml). Dissimilar letters indicate a significant difference at the probability level of $P \leq 0.05$.



شکل ۵- مقایسه فعالیت درصد مهار رادیکال آزاد DPPH از نانوذرات سنتز شده و (BHT) به عنوان استاندارد در غلظت‌های مختلف. حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P \leq 0.05$ است.

Figure 5- Comparison of DPPH free radical inhibition activity of synthesized nanoparticles and BHT as a standard in different concentrations. Dissimilar letters indicate a significant difference at the probability level of $P \leq 0.05$.

میلی‌لیتر، باکتری گرم منفی *E. coli* ۱/۵۶ میکروگرم در میلی‌لیتر و نانوذرات سنتز شده از *O. scolopendrina* در مقابل استافیلوکوکوس ۰/۷۸ و اشیریشیا کلاهی ۶/۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر مشاهده شد، اما به‌طور کلی باکتری گرم منفی نسبت به گرم مثبت مقاومت بیشتری در این مطالعه از خود نشان دادند.

در بررسی خواص ضدباکتریایی نانوذرات اکسیدسیریم سبز سنتز شده از ترکیبات طبیعی دریایی با استفاده از تعیین کمترین غلظت بازدارندگی در جدول ۱ نشان داده شده است. حداقل غلظت بازدارندگی نانوذرات CeO_2 سنتز شده از *S. ilicifolium* در برابر باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس ۰/۱۹۵ میکروگرم در

جدول ۱- نتایج حاصل MIC بر دو سویه از باکتری پاتوژن

Table 1- MIC results on two strains of pathogenic bacteria

غلظت نانوذره ی سنتز شده از <i>Ophiocoma scolopendrina</i>	غلظت نانوذره ی سنتز شده از <i>Sargassum ilicifolium</i>	باکتری
µg/mL		
۰/۷۸ ± ۰/۰۳	۰ / ۱۹۵ ± ۰/۰۲	<i>S. aureus</i>
۶/۲۵ ± ۰/۰۱	۱/۵۶ ± ۰/۰۲	<i>E. coli</i>

با روش‌های فیزیکی و شیمیایی امکان‌پذیر نیست. سنتز نانوذرات از طریق فیزیکی و شیمیایی گران، خطرناک و زمان‌بر است از این‌رو تمرکز بیشتری روی سنتز نانوذرات با استفاده از منابع طبیعی است (Korde et al., 2020). در میان اکثر نانوذرات اکسید فلزی، نانوذرات اکسیدسیریم بیشترین پتانسیل را در مهار کاتالیزوری ROS دارد که در آن رادیکال هیدروکسیل به‌عنوان رادیکال آزاد فعال در زیست‌شناسی شناخته شده است. همچنین نقش مهمی برای از بین بردن هیدروکسیل و آسیب اکسیداتیو ایفا می‌کند. Ce^{3+} به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند و در پاسخ به رادیکال‌های آزاد تولید شده برای تولید Ce^{4+} اکسید می‌شود. همین‌طور می‌تواند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان نقش کلیدی در عملکرد محافظت‌کننده عصبی داشته باشد. نانوذرات توانایی تبادل بین حالت‌های ردوکس Ce^{3+} و Ce^{4+}

۴. بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های بیوسنتزی که در آن عصاره‌های طبیعی به‌عنوان عوامل تثبیت‌کننده و مهارکننده عمل می‌کنند نتیجه نسبتاً خوبی نسبت به سریم اکسیدهای بالک دارند که در حال حاضر برای کاربردهای پزشکی مناسب نیستند. نانوذرات اکسیدسیریم توسط عصاره قسمت‌های مختلف گیاهان (Sebastiani et al., 2022; Kargar et al., 2020) ، مواد مغذی (Muthuvel et al., 2020) ، جلبک‌ها (Rosi et al., 2016; Reddy et al., 2015) و غیره سنتز می‌شوند. مطالعه حاضر ثابت کرد عصاره‌های ترکیبات دریایی حاصل از ماکرو جلبک و ستاره شکننده می‌توانند یون‌های سریم را کاهش داده و نانو اکسیدسیریم تولید شود. موارد استفاده از روش‌های بیولوژیک برای ساخت نانوذرات ایمن است که

را دارند که با ظرفیت ذخیره‌سازی قابل توجه اکسیژن در ساختار آن‌ها فراهم می‌شود (Wu et al., 2017). نتایج XRD پیک‌های مشخصه برای CeO_2 با ساختار مکعبی و اندازه ی کریستالیت ۷-۱۰ نانومتر را نشان داد. همچنین تجزیه و تحلیل توسط SEM ذرات کروی، متقارن و همگن را تایید کرد. در آنالیز FT-IR قوی در نمونه A در ۵۳۵ و در نمونه B در ۵۱۷ سانتی‌متر مربع متعلق به ارتعاشات کششی Ce-O است و به تشکیل نانوذرات اکسیدسیریم اختصاص دارد. نتیجه مشابهی توسط محققان مختلف دیگر به دست آمد (Khatami et al., 2019; Miri et al., 2020). بالاترین فعالیت بازدارندگی از NPS سنتز شده برای *S. ilicifolium* مشاهده شد ($65/45 \pm 0/5$) درصد در ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر، $60/02 \pm 0/1$ درصد در ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر، $57/32 \pm 0/2$ درصد در غلظت ۲۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر). نانوذرات اکسیدسیریم فعالیتی با مقدار IC_{50} ۴۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر نشان می‌دهند. تفاوت معنی‌داری در مهار رادیکال‌های آزاد بین نانوذرات سنتز شده توسط *S. ilicifolium* و *O. scolopendrine* وجود داشت ($P \leq 0/05$). اساس فعالیت‌های بیولوژیکی نانوذرات سیریم نسبت سطح $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ ، چرخه اکسیداسیون و کاهش بین حالت‌های Ce^{3+} و Ce^{4+} است که توانایی منحصر به فرد برای جذب و آزادسازی اکسیژن در سطح آن‌ها داشته و نقش کلیدی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند (Dhall and Self, 2018). ترکیبات بیولوژیک موجود در ستاره شکننده نیز در سنتز نانوذره اکسیدسیریم موثر می‌باشد، اما به دلیل ساختار اسکلت آهکی از خلوص بالا برخوردار نبوده و در ارزیابی آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با جلبک موفق ظاهر نشد. نانوذرات CeO_2 به دلیل کاربردهای مختلفی مانند جذب اشعه ماوراء بنفش، کاتالیزورها، حسگرهای گاز، محصولات آرایشی و بهداشتی، کاربردهای زیست پزشکی از جمله پرواکسیدان و آنتی‌اکسیدان توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است (Li et al., 2018). یکی از اولین مطالعاتی که Das et al. (۲۰۰۷) به‌طور غیرمستقیم نشان داد که نانوذرات‌های سیریم دارای پتانسیل ذاتی مهار OH^\bullet هستند جایی که آن‌ها نشان دادند نانوذرات‌های سیریم قادر به حذف OH^\bullet تشکیل شده از H_2O_2 در محلول‌های آبی هستند. نانوذرات‌ها به‌طور موثر OH^\bullet را براساس اندازه نانو‌ها و سطوح Ce^{3+} را حذف می‌کنند. توانایی نانوذرات‌ها، برای تغییر برگشت‌پذیر از Ce^{3+} به Ce^{4+} یک عامل کلیدی برای مهار ROS آن‌ها است (Xue et al., 2011). در واقع نانوذرات‌های سیریم به‌عنوان عوامل آنتی‌اکسیدانی برای درمان اختلالات و بیماری‌های ناشی از استرس اکسیداتیو در نظر گرفته شده است. با این حال مکانیسم‌های بیوشیمیایی دقیقی که توسط نانوذرات‌های سیریم به‌عنوان تقلیدکننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در داخل محیط سلولی عمل می‌کنند هنوز مورد بحث است. علاوه بر این اهمیت بیولوژیک جای خالی اکسیژن در نانوذرات‌های سیریم هنوز یک سوال باز است (Walkey et al., 2015). طبق مقالات تحقیقاتی قبلی،

نانوذرات CeO_2 پتانسیل کشتن بسیاری از گونه‌های باکتریایی را دارند. این نانو ذرات CeO_2 عمل خود را روی دیواره سلولی باکتری انجام می‌دهند و به سلول باکتری نفوذ کرده، سپس به آنزیم‌ها و پروتئین‌ها متصل می‌شوند و آن‌ها را دناتوره می‌کنند. نانوذرات CeO_2 با اندازه کمتر از ۵۰ نانومتر در سلول‌ها سمیت ایجاد می‌کنند و با تغییر pH مانع از فرآیندهای متابولیک مختلف می‌شوند. همچنین واکنش‌های ردوکس را القا می‌کنند و دیواره های سلولی باکتری را سوراخ می‌کنند. نانوذرات CeO_2 با واسطه *Acalypha indica* L. سلول‌های اشرفیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس را سوراخ و لیز می‌کند (Nyoka et al., 2020). همچنین در مطالعاتی که Arasu et al. (۲۰۱۷) انجام دادند مشخص شد که نانوذرات به آنزیم‌های باکتری متصل می‌شوند و تولیدمثل آن‌ها را متوقف می‌کنند. نانوذرات ضدباکتریایی اکسیدسیریم هنگامی که با جذب الکترواستاتیکی با سلول باکتری در تعامل هستند، ROS تولید می‌کنند که منجر به مرگ سلول‌های باکتریایی می‌شود و این کارایی ضدباکتریایی آن‌ها را تعیین می‌کند. همچنین در سلول‌های باکتریایی باعث اختلال در عملکردهای درون سلولی می‌شود که ROS را القا می‌کند. نانوذرات اکسیدسیریم سبز سنتز شده روشی برای بررسی فعالیت ضدباکتریایی با استفاده از باکتری‌های گرم منفی اشرفیاکلاهی و گرم مثبت باکتری استافیلوکوکوس است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند باکتری‌های گرم مثبت در مقایسه با باکتری‌های گرم منفی نسبت به این نانوذرات حساس‌تر هستند (Senthilkumar et al., 2017) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. این ویژگی‌ها و حالت‌های مکانیزم نانوذرات اکسیدسیریم نشان‌دهنده نقش بالقوه به‌عنوان یک عامل درمانی برای درمان بسیاری از بیماری‌ها است. غلظت‌های مختلف نانوذرات این را نشان داد که برای اتصال اکسید فلزی با دیواره سلول باکتری نیروهای الکترواستاتیکی مورد نیاز است، که منجر به مهار رشد باکتری می‌شوند. بنابراین غلظت بالای این نانوذرات اثر ضدباکتریایی عالی از خود نشان داد. همچنین تفاوت در سطح غشا، تراکم بار سطحی و فرایندهای متابولیک نیز مسئول تغییر در اثر بازدارندگی نانوذرات اکسیدسیریم روی باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت هستند. علاوه بر این هنگامی که سلول‌های باکتری *E. Coli* در معرض نانوذرات اکسیدسیریم قرار می‌گیرند، این نانوذرات به‌طور مستقیم توسط سطح سلول باکتری جذب می‌شوند که باعث استرس اکسیداتیو و منجر به مرگ سلول‌های باکتری می‌شوند (Kim and Chung, 2016). سیریم اکسایدها به‌طور قابل توجهی رشد تومور را در تخمدان موش کاهش و توانایی بالقوه برای محدود کردن متاستاز را دارند. استرس اکسیداتیو در ایجاد و پیشرفت بسیاری از بیماری‌ها نقش دارد. طیف وسیعی از نانوذرات سیریم اکسایدها در فعالیت آنتی‌اکسیدانی و توانایی در بازسازی یا احیا مجدد سطح خود، آن‌ها را به کاندیدهای قوی به‌عنوان مهارکننده‌های ROS در داخل بدن تبدیل کرده است (Li et al., 2018). رادیکال‌های سوپراکسید یکی از فراوان‌ترین رادیکال‌های آزاد شده در سلول‌های پستانداران که

نانوسریا به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و اجازه می‌دهد تا نانوذرات در محیط کشت رادیکال‌های آزاد را بربایند، از طرفی اثر آنتی‌اکسیدانی نانوسریا با زدودن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، نقش محافظتی در بدن دارد (Das et al., 2007).

۵. تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از آزمایشگاه دانشگاه هرمزگان به سبب فراهم آوردن امکانات انجام این پژوهش ابراز می‌نمایند.

References:

Altaf, M., Manoharadas, S. and Zeyad, M.T., 2021. Green synthesis of cerium oxide nanoparticles using *Acorus calamus* extract and their antibiofilm activity against bacterial pathogens. *Microscopy Research and Technique*, 84(8), pp.1638-1648. <https://doi.org/10.1002/jemt.23724>

Arasu, M.V., Thirumamagal, R., Srinivasan, M.P., Al-Dhabi, N.A., Ayeshamariam, A., Kumar, D.S., Punithavelan, N. and Jayachandran, M., 2017. Green chemical approach towards the synthesis of CeO₂ doped with seashell and its bacterial applications intermediated with fruit extracts. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 173, pp.50-60. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.05.032>

Arunachalam, T., Karpagasundaram, M. and Rajarathinam, N., 2017. Ultrasound assisted green synthesis of cerium oxide nanoparticles using *Prosopis juliflora* leaf extract and their structural, optical and antibacterial properties. *Materials Science-Poland*, 35(4): 791-798 <https://doi.org/10.1515/msp-2017-010>

Aseyd Nezhad, S., Es-haghi, A. and Tabrizi, M.H., 2020. Green synthesis of cerium oxide nanoparticle using *Origanum majorana* L. leaf extract, its characterization and biological activities. *Applied Organometallic Chemistry*, 34(2), p. e5314. <http://dx.doi.org/10.1002/aoc.5314>.

Baharara, J., Amini, E. and Salek-Abdollahi, F., 2020. Anti-inflammatory properties of saponin fraction from *Ophiocoma erinaceus*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(2), pp.638-652. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118961.0>

Barciela, P., Carpena, M., Li, N.Y., Liu, C., Jafari, S.M., Simal-Gandara, J. and Prieto, M.A., 2022. Macroalgae as biofactories of metal nanoparticles; biosynthesis and food applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, p.102829. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102829>

در نتیجه متابولیسم هوازی طبیعی تولید می‌شوند. رادیکال‌های سوپراکسید سیگنال‌دهنده مولکول‌ها هستند و یک جز اصلی و کلیدی در پاسخ اکسیداتیو به عوامل بیماری‌زا است. مازاد این رادیکال‌ها به‌طور معمول توسط آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) ریشه کن می‌شود. کاتالاز مسئول تخریب H₂O₂ است و آن را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند. نانوذرات‌های سریم اکساید با نسبت‌های 4+/3+ پایین تقلید فعالیت کاتالازی بیشتری در مقایسه با نسبت‌های 4+/3+ بالاتر دارند این فعالیت‌ها می‌توانند نانوپارذرات‌های سریم اکساید را به آنتی‌اکسیدان‌های عالی تبدیل کند. حالت‌های ظرفیتی متفاوت Ce⁴⁺ و Ce³⁺ روی سطح

Das, M., Patil, S., Bhargava, N., Kang, J.F., Riedel, L.M., Seal, S. and Hickman, J.J., 2007. Auto-catalytic ceria nanoparticles offer neuroprotection to adult rat spinal cord neurons. *Biomaterials*, 28(10), pp.1918-1925. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.11.036>

Das, S., Dowding, J.M., Klump, K.E., McGinnis, J.F., Self, W. and Seal, S., 2013. Cerium oxide nanoparticles: applications and prospects in nanomedicine. *Nanomedicine*, 8(9), pp.1483-1508. <https://doi.org/10.2217/nmm.13.133>

Dhall, A. and Self, W., 2018. Cerium oxide nanoparticles: a brief review of their synthesis methods and biomedical applications. *Antioxidants*, 7(8), p.97. <https://doi.org/10.3390/antiox7080097>

Dhall, A., Burns, A., Dowding, J., Das, S., Seal, S. and Self, W., 2017. Characterizing the phosphatase mimetic activity of cerium oxide nanoparticles and distinguishing its active site from that for catalase mimetic activity using anionic inhibitors. *Environmental Science: Nano*, 4(8), pp.1742-1749. <https://doi.org/10.1039/C7EN00394C>

Elahi, B., Mirzaee, M., Darroudi, M., Oskuee, R.K., Sadri, K. and Amiri, M.S., 2019. Preparation of cerium oxide nanoparticles in *Salvia Macrosiphon* Boiss seeds extract and investigation of their photo-catalytic activities. *Ceramics International*, 45(4), pp.4790-4797. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.11.173>

Javadi, F., Yazdi, M.E.T., Baghani, M. and Es-haghi, A., 2019. Biosynthesis, characterization of cerium oxide nanoparticles using *Ceratonia siliqua* and evaluation of antioxidant and cytotoxicity activities. *Materials Research Express*, 6(6), p.065408. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab08ff>

Kargar, H., Ghazavi, H. and Darroudi, M., 2015. Size-controlled and bio-directed synthesis of ceria nanopowders and their in vitro

- cytotoxicity effects. *Ceramics International*, 41(3), pp.4123-4128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.11.108>
- Khatami, M., Sarani, M., Mosazadeh, F., Rajabalipour, M., Izadi, A., Abdollahpour-Alitappeh, M., Lima Nobre, M.A. and Borhani, F., 2019. Nickel-doped cerium oxide nanoparticles: green synthesis using stevia and protective effect against harmful ultraviolet rays. *Molecules*, 24(24), p.4424. <https://doi.org/10.3390/molecules24244424>
- Kim, S.J. and Chung, B.H., 2016. Antioxidant activity of levan coated cerium oxide nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 150, pp.400-407. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.021>
- Korde, P., Ghotekar, S., Pagar, T., Pansambal, S., Oza, R. and Mane, D., 2020. Plant extract assisted eco-benevolent synthesis of selenium nanoparticles-a review on plant parts involved, characterization and their recent applications. *J. Chem. Rev.*, 2(3), pp.157-168. <https://doi.org/10.22034/jcr.2020.106601>
- Li, C., Sun, Y., Hess, F., Djerdj, I., Sann, J., Voepel, P., Cop, P., Guo, Y., Smarsly, B.M. and Over, H., 2018. Catalytic HCl oxidation reaction: Stabilizing effect of Zr-doping on CeO₂ nano-rods. *Applied Catalysis B: Environmental*, 239, pp. 628-635. doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c02366
- Liu, N., Fu, X., Duan, D., Xu, J., Gao, X. and Zhao, L., 2018. Evaluation of bioactivity of phenolic compounds from the brown seaweed of *Sargassum fusiforme* and development of their stable emulsion. *Journal of Applied Phycology*, 30, pp.1955-1970. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-017-1383-0>
- Maqbool, Q., Nazar, M., Naz, S., Hussain, T., Jabeen, N., Kausar, R., Anwaar, S., Abbas, F. and Jan, T., 2016. Antimicrobial potential of green synthesized CeO₂ nanoparticles from *Olea europaea* leaf extract. *International journal of nanomedicine*, pp.5015-5025. <https://doi.org/10.2147/ijn.s113508>
- Mensor, L., Menezes, F., Leita, G., Reis, A., Santos, T., Coube, C and Leita, S., 2001. Screening of Brazilian Plant Extracts for Antioxidant Activity by the Use of DPPH Free Radical Method. *Phytother. Res*, 15, pp. 127-130. <https://doi.org/10.1002/ptr.687>
- Miri, A., Darroudi, M. and Sarani, M., 2020. Biosynthesis of cerium oxide nanoparticles and its cytotoxicity survey against colon cancer cell line. *Applied Organometallic Chemistry*, 34(1), p. e5308. <https://doi.org/10.1002/aoc.5308>
- Muthuvel, A., Jothibas, M., Mohana, V. and Manoharan, C., 2020. Green synthesis of cerium oxide nanoparticles using Calotropis procera flower extract and their photocatalytic degradation and antibacterial activity. *Inorganic Chemistry Communications*, 119, p.108086. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.108086>
- Nyoka, M., Choonara, Y.E., Kumar, P., Kondiah, P.P. and Pillay, V., 2020. Synthesis of cerium oxide nanoparticles using various methods: implications for biomedical applications. *Nanomaterials*, 10(2), p.242. <https://doi.org/10.3390/nano10020242>
- Rajeshkumar, S. and Naik, P., 2018. Synthesis and biomedical applications of cerium oxide nanoparticles—a review. *Biotechnology Reports*, 17, pp.1-5. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.11.008>
- Reddy Yadav, L.S., Manjunath, K., Archana, B., Madhu, C., Raja Naika, H., Nagabhushana, H., Kavitha, C. and Nagaraju, G., 2016. Fruit juice extract mediated synthesis of CeO₂ nanoparticles for antibacterial and photocatalytic activities. *The European Physical Journal Plus*, 131, pp.1-10. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2016EPJP.131.154R/doi:10.1140/epjp/i2016-16154-y
- Rosi, H., Ethrajavalli, R. and Janci, M.I., 2020, July. Synthesis of Cerium Oxide Nanoparticles Using Marine Algae *Sargassum Wightii* Greville Extract: Implications for Antioxidant Applications. *International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)* (pp. 1-3). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ICSCAN49426.2020.9262367>
- Sebastiani, F., Arteta, M.Y., Lindfors, L. and Cárdenas, M., 2022. Screening of the binding affinity of serum proteins to lipid nanoparticles in a cell free environment. *Journal of Colloid and Interface Science*, 610, pp.766-774. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.11.117>
- Senthilkumar, R.P., Bhuvaneshwari, V., Ranjithkumar, R., Sathiyavimal, S., Malayaman, V. and Chandarshekar, B., 2017. Synthesis, characterization and antibacterial activity of hybrid chitosan-cerium oxide nanoparticles: as a bionanomaterials. *International journal of biological macromolecules*, 104, pp.1746-1752. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.139>
- Walkey, C., Das, S., Seal, S., Erlichman, J., Heckman, K., Ghibelli, L., Traversa, E., McGinnis, J.F. and Self, W.T., 2015. Catalytic properties and biomedical applications of cerium oxide nanoparticles. *Environmental*

- Science: Nano*, 2(1), pp.33-53.
<https://doi.org/10.1039%2FC4EN00138A>
- Wu, H., Tito, N. and Giraldo, J.P., 2017. Anionic cerium oxide nanoparticles protect plant photosynthesis from abiotic stress by scavenging reactive oxygen species. *ACS nano*, 11(11), pp.11283-11297.
<https://doi.org/10.1021/acsnano.7b05723>
- Xue, Y., Luan, Q., Yang, D., Yao, X. and Zhou, K., 2011. Direct evidence for hydroxyl radical scavenging activity of cerium oxide nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115(11), pp.4433-4438.
<https://doi.org/10.1021/jp109819u>
- Yen, G. and Chen, H.Y., 1995. Antioxidant Activity of Various Tea Extracts in Relation to Their Antimutagenicity, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, pp.27-32. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00049a007>