



سنتز سبز نانوذرات اکسید روی با استفاده از عصاره گیاه خوراکی- دارویی بن سرخ (*Allium jesdianum*)

نرگس کریمی: دانشجوی دکتری، دانشکده علوم و فن آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

ماندانا بهبهانی: دانشیار، دانشکده علوم و فن آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران (*نویسنده مسئول) ma_behbahani@yahoo.com

قاسم دینی: استادیار، دانشکده علوم و فن آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

امیر رزمجو: استادیار، دانشکده علوم و فن آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

سنتز سبز،
نانوذرات اکسید روی،
گیاه بن سرخ

زمینه و هدف: سنتز نانوذرات اکسید روی به دلیل کاربردهای فراوان در شناسایی عوامل بیماری‌زا، درمان سرطان، ویژگی‌های حرارتی، نوری و الکترونیکی منحصر به فرد بسیار ارزشمند است. در این مطالعه سنتز نانوذرات اکسید روی با استفاده از عصاره گیاه بن سرخ به روش سبز انجام شد و از لحاظ‌های طبیعی که هم کم هزینه بوده و هم خطری برای محیط زیست به همراه ندارند، استفاده شد.

روش کار: در این مطالعه از عصاره گیاه دارویی بن سرخ به عنوان عامل کاهنده و پایدارکننده برای تولید زیستی نانوذرات اکسید روی استفاده گردید. با افزودن عصاره به نمک نیترات روی با غلظت ۰/۱ مول همراه با افزایش دما به ۷۵ درجه سانتی‌گراد در مدت ۲ ساعت، واکنش انجام شد. تغییر رنگ عصاره از قهوه‌ای به زرد نشان دهنده تولید نانو ذرات اکسید روی بود.

یافته‌ها: تشکیل نانوذرات اکسید روی با تشکیل پیک جذب در طول موج حدود ۳۷۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری و همچنین الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نشان داده شد. اندازه و مورفولوژی نانوذرات سنتز شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی تعیین شد و مشخص گردید که شکل ذرات چند وجهی و گرد و اندازه متوسط آن‌ها در حدود ۳۰ نانومتر است. دامنه‌ی تغییرات اندازه‌ی نانوذرات توسط دستگاه پراکندگی نور دینامیکی بین ۱۴ تا ۶۰ نانومتر به دست آمد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش، نانوذرات اکسید روی با یک روش زیست‌سازگار با طبیعت و بدون استفاده از مواد شیمیایی مضر تولید گردید. گیاهان به دلیل داشتن متابولیت‌های ثانویه بالا و خواص آنتی‌اکسیدانی، نقش احیاء‌کنندگی و پایدار کردن نانوذرات را انجام می‌دهند.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت‌کننده: گزارش نشده است.

شیوه استناد به این مقاله:

Karimi N, Behbahani M, Dini Gh, Razmjou A. Green synthesis of ZnO nanoparticles using extract of edible and medicinal Plant (*Allium jesdianum*). Razi J Med Sci.2018;25(9):1-7.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با **CC BY-NC-SA 1.0** صورت گرفته است.



Green synthesis of ZnO nanoparticles using extract of edible and medicinal plant (*Allium jesdianum*)

Narges Karimi, PhD student, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Mandana Behbahani, Associate Professor, Faculty of Science and Technology, Isfahan University, Isfahan, Iran. (*Corresponding author) ma_behbahani@yahoo.com

Hassan Mirzahosseini, Associate Professor, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Ghasem Dini, Assistant Professor, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Amir Razmjou, Assistant Professor, Faculty of Advanced Sciences and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

Background: Synthesis of ZnO nanoparticles (ZnO NPs) is very valuable due to their applications in cancer treatment, unique thermal, optical and electronic properties. In this study, green synthesis of ZnO nanoparticles was performed using *Allium jesdianum* extract. The green synthesis is a successful process that is *environment friendly* and *low-cost* as well.

Methods: In this study, the extract of *Allium jesdianum* was used as a reducing and stabilizing agent for biosynthesis of zinc oxide nanoparticles. The reaction was carried out by adding the extract to 0.1 mol zinc nitrate solution with increasing temperature to 75° C for 2 hours. Changing the color from brown to yellow indicates the production of nano zinc oxide particles.

Results: The formation of zinc oxide nanoparticles was confirmed by monitoring the sharp *absorption peak* at 375 nm. The size and morphology of these nanoparticles were determined by scanning electron microscopy. These *particles* have *polyhedral shapes* with *round edges*. DLS and AFM analysis reveals that the green synthesized ZnO NPs are in the range 14-60 nm.

Conclusion: In this research, NPs obtained from the green synthesis method were useful and coated peripherally with potent secondary metabolite.

Conflicts of interest: None

Funding: None.

Keywords

Green Synthesis,
ZnO nanoparticle,
Allium jesdianum,

Received: 09/06/2018

Accepted: 08/09/2018

Cite this article as:

Karimi N, Behbahani M, Dini Gh, Razmjou A. Green synthesis of ZnO nanoparticles using extract of edible and medicinal Plant (*Allium jesdianum*). Razi J Med Sci.2018;25(9):1-7.

This work is published under [CC BY-NC-SA 1.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



فلاونوئید، سولفور و پلی سولفور آلیل و آلیل پروپیل است که دارای خواص دارویی و درمانی مختلف و خواص ضد میکروبی بسیار بالا می باشد (۹). در این مطالعه از بالبهای خشک شده این گیاه دارویی برای سنتز نانوذرات اکسید روی استفاده شده است.

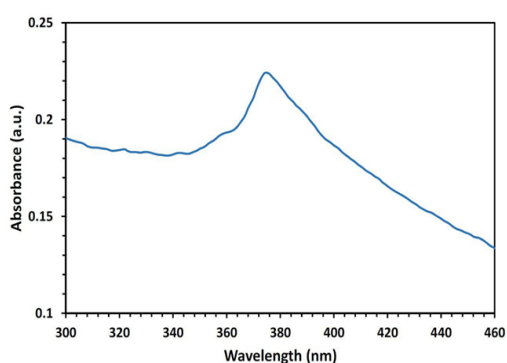
روش کار

تولید نانوذرات اکسید روی: ابتدا ۲۰۰ گرم از بالبهای خشک شده گیاه بن سرخ در داخل یک ارلن ریخته و به حجم ۵۰۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس به مدت ۷۲ ساعت در شیکر قرار گرفته و عصاره به دست آمده توسط کاغذ صافی، فیلتر شد و در دستگاه روتاری تغلیظ گردید. سپس ۱۰ میلی لیتر از این عصاره به نمک نترات روی ۶ آبه ۰/۱ مولال در حال جوش به مدت ۲ ساعت و دمای ۷۵ درجه سانتی گراد اضافه گردید. پس از سانتریفیوژ (۸۰۰۰ هزار دور بر دقیقه) محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه، رسوب به دست آمده در آن ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت نگهداری گردید. پودر سفید رنگ به وجود آمده پس از خردایش توسط هاون دستی در کوره با دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. سپس حدود ۲۰۰ میکرولیتر از محلول سفید رنگ حاصل از برهمکنش عصاره گیاهی بن سرخ و نمک نترات روی، به حجم ۱ میلی لیتر رسانده و پس از سونیکاسیون به مدت ۱۵ دقیقه با استفاده از دستگاه طیفسنجی مرئی-فرابنفش (Ultraviolet visible spectroscopy-UV-Vis)، در طول موج ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر بررسی گردید.

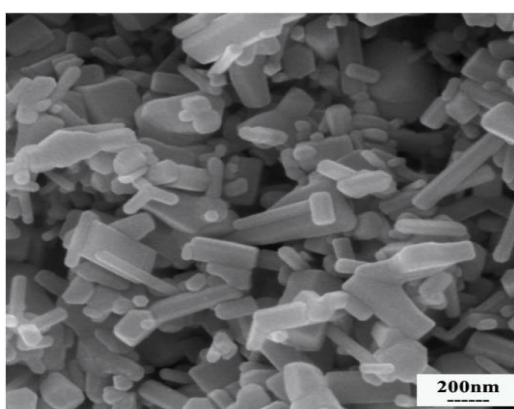
تعیین اندازه و مورفولوژی نانوذرات توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy-SEM): برای این منظور، پودر سفید به دست آمده با الکل ۹۶ درصد مخلوط و ۱۵ دقیقه سونیکیت شد و یک قطره از آن را پس از خشک شدن با قرار دادن پوششی از طلا به روی آن با SEM مورد تصویربرداری قرار گرفت.

فناوری نانو امکان ساخت و طراحی موادی را می دهد که کاملاً دارای خواص و ویژگی های جدید بوده و اندازه آن ها در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می باشد (۱). امروزه بسیاری از نانوذرات به روش های شیمیایی یا فیزیکی تهیه می شوند، اما به دلیل استفاده از مواد شیمیایی خطرناک و سمی و آسیب های زیست محیطی حاصل از آن ها، نگرانی های زیادی را ایجاد کرده است (۲). در این میان نانوذرات اکسید روی به جهت اهمیت های زیستی و کاربردهای پزشکی مورد توجه قرار گرفته است، اما روش های شیمیایی تهیه این نانوذرات سبب باقی ماندن مقداری از مواد واکنش دهنده سمی و عدم استفاده از نانوذرات حاصل در کاربردهای زیستی می شود.

تولید نانوذرات با استفاده از روش سبز جایگاه ویژه ای در پژوهش ها پیدا کرده است. اخیراً استفاده از عصاره گیاهان برای تهیه نانوذرات اکسید فلزی به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش های شیمیایی و فیزیکی مورد توجه قرار گرفته است. کاربردهای نانوذرات در زمینه های کشاورزی، صنایع و پزشکی آنقدر زیاد و متنوع است که قابل شمارش نمی باشد (۳ و ۴). نانوذرات اکسید فلزی در چند سال اخیر به دلیل ویژگی های منحصر به فرد و کاربردهای بسیار زیاد در عرصه های مختلف از جمله کاتالیزورها، اپتوالکترونیک، نشانگرهای بیولوژیکی و کاربردهای دارویی و پزشکی توجه طیف وسیعی از دانشمندان را به خود جلب کرده اند (۵ و ۶). تعداد زیادی از این کاربردها مربوط می شود به نانوذره اکسید روی که در این پژوهش به روش سبز تولید شده است. استفاده از گیاه برای سنتز این نانوذرات در سطح وسیع تر می تواند فوائد بیشتری از جمله جذب یون فلزی و کاهش آن داشته باشد (۷). گیاه بن سرخ (*Allium jesdianum*)، گیاهی است دارویی و از خانواده لیلیاسه به صورت علفی، با برگ هایی شبیه تره و گل آذین چتر که در ارتفاعات سردسیری کهگلویه و بویراحمد و کوه های بختیاری (و برخی کوه های گرمسیری) می روید (۸) و عمدتاً حاوی اسانس،



شکل ۱- طیف اسپکتروفتومتری فرابنفش-مرئی نانوذرات اکسید روی سنتز شده



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات اکسید روی سنتز شده

الکتریکی است. در این پژوهش عصاره بن سرخ به عنوان عامل احیا کننده در تولید نانوذره نقش داشته و در این برهمکنش، فلاونوئید عصاره گیاه عمل احیا را انجام داده است که تشکیل آن نیز با دستگاه‌های UV-Vis و XRD به تایید رسید.

طبق گزارش های، "استان" و دیگر همکاران توانستند از سیر، ریحان و رزماری، نانوذره اکسید روی به دست آورند (۱۳) و این کار توسط دیگر دانشمندان از جمله آمبیکا از گیاه (*vitex negundo*) (۱۴)، دوی از گیاه ختمی (۱۵) و راج از گیاه (*Zingiber Officinale*) (۱۶) با اندازه‌های مختلف صورت گرفته است. نیاز به دمای بالا جهت انجام واکنش و تغییر رنگ از قهوه‌ای به زرد نشان برهمکنش عصاره گیاهی و محلول نمک نیترات روی بود که با نتایج حاصل از دانشمندان سلواکومار و کارنان در تهیه نانوذره اکسید روی از گیاه *Nepheium lappacumil* مطابقت داشت (۱۷).

شکل ۱ نشان دهنده طیف جذبی نانوذرات به دست

تعیین دامنه‌ی گستردگی اندازه‌ی نانوذرات اکسید روی توسط دستگاه پراکندگی نور دینامیکی (Dynamic Light Scattering-DLS): یک میلی متر از مخلوط حاصل از نانوذرات سنتز شده با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شد و پس از سونیکیت شدن به مدت ۳۰ دقیقه توسط دستگاه DLS مورد آنالیز قرار گرفت.

تعیین توپوگرافی نانوذرات با میکروسکوپ الکترونی اتمی (Atomic Force Microscopy-AFM): ابتدا سوسپانسیونی از نانوذرات اکسید روی و آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه سونیکیت شده و یک قطره از آن برای بررسی توپوگرافی سطحی روی لام قرار داده و توسط AFM بررسی گردید.

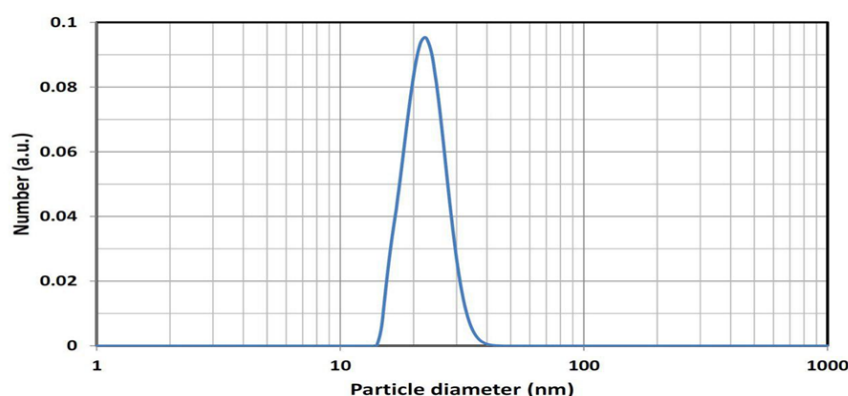
بررسی الگوی پراش توسط دستگاه پراش سنج اشعه‌ی ایکس (X-ray Diffraction-XRD): برای مطالعه دقیق تر ساختار بلوری نانوذرات اکسید روی سنتز شده، آنالیز XRD انجام گرفت. همچنین برای تعیین اندازه ذرات از الگوی به دست آمده از روش ریتولد و نرم افزار MAUD استفاده گردید (۱۰ و ۱۱).

یافته‌ها

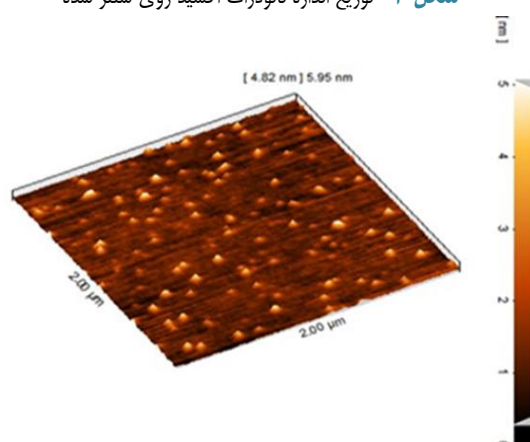
پیک (قله) در طیف جذبی نانوذرات به دست آمده از دستگاه UV-Vis مطابق شکل در حدود ۳۷۵ نانومتر است که نشان دهنده وجود نانوذرات اکسید روی است. همچنین تشکیل نانوذره با دستگاه XRD به اثبات رسید. تصویر SEM نانوذرات اکسید روی شکل چند وجهی و با اندازه ۲۵-۷۰ را نشان می‌دهد. نتیجه‌ی آزمون DLS این محدوده را از ۱۴ تا ۶۰ نانومتر نشان می‌دهد که بیشترین ذرات در محدوده ۳۵ نانومتری هستند. در میکروسکوپ اتمی AFM دامنه نانوذرات سنتز شده اکسید روی در محدوده ۳۰ تا ۸۰ نانومتر تخمین زده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

گونه‌های سیر به دلیل داشتن فنولیکی انتخاب مناسبی برای تولید نانوذره می‌باشند (۱۲). از میان آن‌ها گونه بن سرخ که بومی ایران است، دارای اهمیت خاصی می‌باشد. اساس سنتز نانوذرات، احیای یون‌های نمک آن‌ها و در واقع خنثی شدن بار



شکل ۳- توزیع اندازه نانوذرات اکسید روی سنتز شده

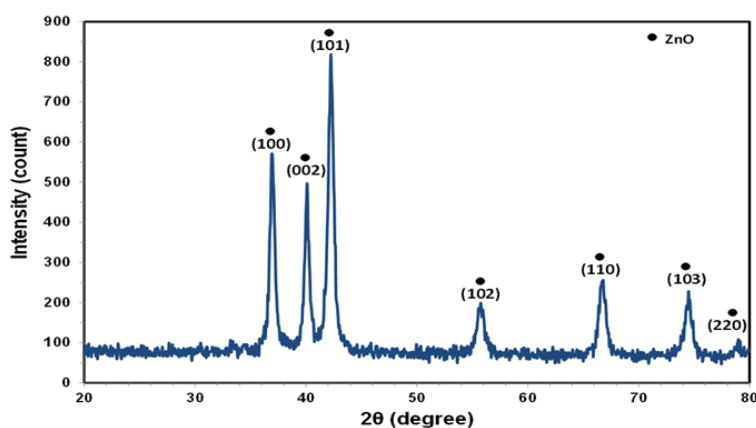


شکل ۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی اتمی نانوذرات اکسید روی سنتز شده

DLS است. الگوی XRD نانوذرات سنتز شده اکسید روی به روش سبز در شکل ۵ ارایه شده است. در این شکل تمامی پیک‌های قابل تشخیص به ساختار اکسید روی مرتبط می‌باشند و پهنای زیاد پیک‌ها می‌تواند نشان دهنده‌ی نانومتری بودن ذرات باشد. اندازه ذرات به دست آمده با نرم‌افزار MAUD از الگوی XRD نانوذرات اکسید روی سنتز شده در حدود ۳۵ نانومتر بود که با نتایج SEM و DLS مطابقت دارد.

بنابراین، بررسی اندازه‌ی نانوذرات اکسید روی سنتز شده در تحقیق حاضر با دستگاه‌های مختلف نشان داد که این ذرات در دامنه‌ی ۱۴ تا ۴۵ نانومتر قرار دارند و نشان می‌دهد که نسبت به نانوذرات سنتز شده‌ی اکسید روی توسط دیگر گیاهان دارای اندازه‌ی نسبتاً کوچک تری است. اندازه‌ی نانوذرات اکسید روی سنتز شده توسط گیاهان *Allium sativum* در حدود ۱۴ تا ۵۴ نانومتر (۱۲)، گیاه *Vitex negundo* در حدود ۸۰ نانومتر (۱۴)، گیاه ختمی در حدود ۳۰ تا ۳۵ نانومتر

آمده از دستگاه UV-Vis است. پیک (قله) جذب در حدود طول موج ۳۷۵ نانومتر نشان دهنده وجود و تاییدی بر تولید نانوذرات اکسید روی می‌باشد که با نتایج سانگیتا و همکاران در تولید نانو ذره اکسید روی از آلونته‌ورا (۱۸) و جابر و همکارش (۱۹) در سنتز نانو اکسید روی مشابهت دارد. شکل ۲ تصویر SEM نانوذرات اکسید روی با اشکال چند وجهی و با اندازه‌ها در محدوده‌ی نانومتر را نشان می‌دهد. در سنتز به روش سبز ممکن است اندازه ذرات در محدوده وسیعتری باشند که در این مطالعه، مطابق شکل ۳ (نتیجه‌ی آزمون DLS) این محدوده از ۱۴ تا ۶۰ نانومتر است و بیشترین ذرات در حدود ۳۵ نانومتری هستند که با تغییر اسیدیته اندازه مطلوب نانوذره به دست خواهد آمد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود دامنه نانوذرات سنتز شده اکسید روی به روش سبز به روش AFM در محدوده ۳۰ تا ۸۰ نانومتر تخمین زده شده است که این اندازه تاییدی بر اندازه نانوذره در



شکل ۵- تصویر الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نانوذرات اکسید روی سنتز شده

تقدیر و تشکر

از اساتید محترم گروه بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی دانشکده علوم و فن آوری های نوین دانشگاه اصفهان و همکاران در معاونت خدمات شهری شهرداری منطقه ده اصفهان که در اجرای این پایان نامه همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Govindaraju K, Tamilselvan S, Kiruthiga V, Singaravelu G. Biogenic silver nanoparticles by *Solanum torvum* and their promising antimicrobial activity. *J Biopest*; 2010. 3:394-9.
- Nadagouda MN, Hoag G, Collins J, Varma RS. Green synthesis of Au nanostructures at room temperature using biodegradable plant surfactants. *Cryst Growth Des*; 2009.9:4979-83.
- Kim F, Connor S, Song H, Kuykendall T, Yang P. Platonic Gold Nano-crystals. *Angew Chem*; 2004. 116:3759-63.
- Sperling RA, Zhang F, Zanella M, Parak WJ. Biological applications of gold nanoparticles. *Chem Soc Rev*; 2008. 37: 1896-908.
- Kelly KL, Coronado E, Zhao LL, Schatz GC. The optical properties of metal nanoparticles: the influence of size, shape, and dielectric environment. *J Phys Chem B* ;2002. 107:668-77.
- Boisselier E, Astruc D. Gold nanoparticles in nanomedicine: Preparations, imaging, diagnostics, therapies and toxicity. *Chem Soc Rev*; 2009. 38:1759-82.
- Iravani S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chem*; 2011. 13:2638-50.
- Abrari Vajari K, Veiskarami Gh.H, Attar F. Recognition of endemic plants in Zagros Region (Case study: Lorestan Province, Iran). *Ecologia Balkanica*; 2014. 6:95-101.

(۱۵)، گیاه *Zingiber Officinale* در حدود ۳۰ تا ۵۰ نانومتر (۱۶) و گیاه *Nepheium lappacuml* در حدود ۲۵ تا ۴۰ نانومتر (۱۷) است که در روش سبز سطح نانوذرات توسط فنل و پلی‌ساکارید گیاه پوشانده می‌شود و در خواص آن تغییراتی بوجود می‌آورد (۲۰).

در این پژوهش، نانو ذرات اکسید روی با روش زیستی و با استفاده از پتانسیل طبیعت، بدون استفاده از مواد شیمیایی مضر و آسیب‌رسان به محیط زیست تولید گردید که در مقایسه با روش‌های شیمیایی دارای پایداری بیشتری بود. در این رابطه می‌توان گفت مزیت تولید گیاهی نانوذرات بر سایر روش‌ها، بی‌خطر بودن و قابلیت‌های بالای گیاهان دارویی است که بسیار سالم‌تر از باکتری، قارچ و مخمر برای تولید نانوذرات می‌باشند (۲۱). همچنین نانوذرات تولید شده توسط گیاهان دارویی به عنوان انتقال دارو در بدن خطر کمتری دارد. از طرفی به دلیل ارزان بودن روش‌های زیستی نسبت به سایر روش‌ها، از نظر اقتصادی نیز دارای اهمیت زیادی است. بخصوص اینکه مشکلات روش‌های شیمیایی را ندارد (۲۲). با توجه به اینکه رها شدن نانوذرات در طبیعت با تناسب اندازه و غلظت نانو ذره می‌تواند بر سلامت انسان و دیگر میکرو ارگانیسم‌ها اثر بگذارد، تولید گیاهی آن‌ها تا حد زیادی از این آثار سوء جلوگیری می‌کند. اما در هر صورت نانوذرات به دلیل نفوذ پذیری بالا، بی‌خطر نبوده و لازم است نکات ایمنی را در استفاده از آن‌ها رعایت نمود.

9. Amiri H. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Allium jesdianum* Boiss. & Buhse From Iran. JMP; 2007. 1(S3):39-44.

10. Lutterotti L, Chateigner D, Ferrari S, Ricote J. Texture, residual stress and structural analysis of thin films using a combined X-ray analysis. Thin Solid Films J; 2004. 450:34-41.

11. Lutterotti L. Total pattern fitting for the combined size-strain-stress-texture determination in thin film diffraction, Nucl. Inst Methods Phys Res; 2010. 268:334-40.

12. Manokari M, Ravindran CP, Shekhawat MS. Production of zinc oxide nanoparticles using aqueous extracts of a medicinal plant *Micrococca mercurialis* (L.) Benth. WSN; 2016. 30:117.

13. Stan M, Popa A, Toloman D, Silipas TD, Vodnar DC. Antibacterial and antioxidant activities of ZnO nanoparticles synthesized using extracts of *Allium sativum*, *Rosmarinus officinalis* and *Ocimum basilicum*. Acta Metall Sin (Engl. Lett.); 2016. 29(3): 228-36.

14. Ambika S, Sundrarajan M. Green biosynthesis of ZnO nanoparticles using *Vitex negundo* L. extract: spectroscopic investigation of interaction between ZnO nanoparticles and human serum albumin. J Photochem Photobiol; 2015. 149:143-8.

15. Bala N, Saha S, Chakraborty M, Maiti M, Das S, Basu Rand and Nandy P. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Hibiscus subdariffa* leaf extract: effect of temperature on synthesis, antibacterial activity and anti-diabetic activity. RSC Adv; 2015. 5(7):4993-5003.

16. Raj LFA, Jayalakshmy E. Biosynthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using root extract of *zingiber officinale*. Orient J Chem; 2015. 31(1):51-6.

17. Karnan T, Selvakumar SAS. Biosynthesis of ZnO nanoparticles using rambutan (*Nephelium lappaceum*L.) peel extract and their photocatalytic activity on methyl orange dye. J Mol Struct; 2016. 1125:358-65.

18. Sangeetha G, Rajeshwari S, Venckatesh R, Green synthesis of zinc oxide nanoparticles by aloe *barbadensis miller* leaf extract: Structure and optical properties. Mate Res Bull; 2011. 46(12):2560-6.

19. Jaber B, Laânab L. One step synthesis of ZnO nanoparticles in free organic medium: Structural and optical characterizations. Mat Sci Semicon Proc; 2014. 27:446-51.

20. Lin SD, Sung JM, Lichen Ch. Effect of drying and storage conditions on caffeic acid derivatives and total phenolics of *Echinacea purpurea* grown in Taiwan. Food Chem; 2011. 125(1):226-231.

21. Karimi Andeani J, Kazemi H, Mohsenzadeh S, Safavi A. Biosynthesis of gold nanoparticles using dried flowers extract of *Achillea Wilhemsii* plant. Dig J Nanomater Bios; 2011. 6(3):1011-6.

22. Mohanpuria P, Rana NK, Yadav SK.

Biosynthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications. J Nanopart Res; 2009. 10:507-17.