New Cell Mol Biotech
j.10/39 , 2020

Research article

Scan online to view this article

Green synthesis of silica nanoparticles from the *horsetail (Equisetum telmateia Ehrh.)* plant

Niloufar boromand, Mandana Behbahani*, Ghasem Dini

Faculty of Advanced Science and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Abstract

Aim and Background: Todays, the demand and application areas of nanoparticles, especially silica nanoparticles have been increased, progressively. Hence, there is always an effort to find new sources for producing nanoparticles with minimal cost and environmental problems. In this study, the *horsetail* plant which is categorized in the group of plants with high silica content has been used to synthesis silica nanoparticles.

Materials and Methods: To do this, the ash obtained from this plant after the calcination process and several steps of acid leaching was characterized by different methods. The morphology, chemical composition, and crystal structure of the synthesized silica nanoparticles were investigated by the scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and X-ray fluorescence (XRF) methods, respectively. Also, the specific surface area of the particles was determined by the BET technique.

Results: The results showed that the synthesized silica powder had a high purity (97.5 %), amorphous structure, an average particle size of about 30 nm, and a porous structure with surface area of about 410 m^2/g, and pore diameter of 11.6 nm.

Conclusion: Therefore, the ash obtained from the *horsetail* plant can be used to produce porous silica nanoparticles with appropriate functional properties.

Key words: Nanoparticle; Silica; Green Synthesis; horsetail.

Corresponding author:
Faculty of Advanced Science and Technologies, University of Isfahan, Isfahan, Iran
Email: ma_behbahani@yahoo.com

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

مجله تازه های بیوتکنولوژی سلولی مولکولی
دوره ۱۰ - شماره -۳۹ تابستان ۱۳۹۹
مقاله پژوهشی

برای مشاهده این مقاله به صورت آنلاین اسکن کنید

سنتز سبز نانوذرات سیلیس از گیاه دم‌اسب (*Equisetum telmateia Ehrh.*)

نیلوفر برومند، ماندانا بهبهانی*، قاسم دینی

دانشکده علوم و فن‌آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

سابقه و هدف: با پیشرفت فناوری نانو و افزایش تقاضا، کاربردهای مختلفی برای نانوذرات به‌خصوص نانوذرات سیلیس توس یافته است. در نتیجه، تلاش برای یافتن منابع جدید برای تولید نانوذرات با حداقل هزینه و مشکلات زیست‌محیطی همواره وج دارد. در این پژوهش از گیاه دم‌اسب (*Equisetum telmateia Ehrh.*) که در گروه گیاهانی با مقدار بالای سیلیس بیوژنیکی قر دارد، به‌منظور استخراج نانوذرات سیلیس استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: به‌همین منظور، خاکستر به‌دست آمده از این گیاه پس از فرآیند کلسینه کردن و مراحل متعدد اسیدشوی توسط روش‌های مختلف مشخصه‌یابی مورد ارزیابی قرار گرفت. مورفولوژی ذرات سیلیس سنتزشده توسط میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM)، ترکیب شیمیایی و ساختار کریستالی توسط پراش اشعه ایکس (XRD) و فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF) تعیی گردید. هم‌چنین، مساحت سطح ویژه ذرات نیز با استفاده از روش BET محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان داد که پودر سیلیس نهایی از خلوص بالا (۹۷/۵ درصد)، ساختار آمورف، متوسط اندازه ذرا حدود ۳۰ نانومتر و ساختاری متخلخل با مساحت سطح ویژه حدود m^2/g ۴۱۰ و با قطر حفرات ۱۱/۶ نانومتر برخوردار است.

نتیجه‌گیری: بنابراین، خاکستر به‌دست آمده از گیاه دم‌اسب را می‌توان برای تولید نانوذرات سیلیس متخلخل با ویژگی‌ها کاربردی مناسب مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: نانوذره، سیلیس، سنتز سبز، دم‌اسب.

مقدمه

امروزه، محصولات تولید شده به‌روش نانوفناوری در زمینه های مختلف تحقیقاتی و کاربردهای صنعتی توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند (۱،۲). استفاده از نانوفناوری منجر به تولید مواد جدیدی شده است که پتانسیل کاربردی بس بالایی دارند. در واقع، در حال حاضر نانومواد به یک واقعی صنعتی و اقتصادی تبدیل شده‌اند. در یک ارزیابی کل برآورد شده است که مواد مورد استفاده برای تولید نانوذرا کمابیش ۱۶/۸ میلیون تن از منابع معدنی، ۳/۶ میلیون ت از نمک‌های دریایی و ۱/۸ میلیون تن از زیست‌توده‌ها اس (۳). از این مقدار، تنها فرانسه سالیانه حدود ۴۵۸ هزار ت سیلیس تولید می‌کند (۴).

نویسنده مسئول:
دانشکده علوم و فن‌آوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
پست الکترونیکی: ma_behbahani@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

سیلیسیوم دومین عنصر فراوان در پوسته زمین و سیلیس (اکسید سیلیسوم) جزء اصلی بیش از ۹۵ درصد از سنگ-های زمین است (۵). سیلیس در دو ساختار بلوری و آمورف وجود دارد که شکل بلوری آن در پوسته زمین فراوان‌تر است (۶). در میان بسیاری از نانوذرات تولید شده، نانوذرات سیلیس با ساختار آمورف به‌دلیل کاربردهای مختلف در بخش‌های علمی و صنعتی مانند کشاورزی، کاتالیزورها، انرژی، محیط‌زیست، سلامت انسان، فتوکاتالیست‌ها، جاذب-ها، عایق حرارتی، مکمل لوازم آرایشی، مواد غذایی و حشره-کش‌ها توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۷، ۶). علاوه‌براین، نانوذرات سیلیس دارای کاربردهای زیست-پزشکی و بیوتکنولوژی است و برای کنترل رهایش داروها و در بیوسنسورها به‌خصوص در درمان سرطان و برای انتقال DNA استفاده می‌شود (۱۱-۷). بنابراین، نیاز به تولید نانوذرات سیلیس در مقیاس صنعتی وجود دارد (۱۲).

در بیش‌تر پژوهش‌ها، نانوذرات سیلیس در بیش‌تر اوقات از پیش ماده‌های سیلیکاتی مانند آلکوکسیدهای سیلیسوم و با استفاده از روش‌های مختلف مانند فرآیندهای شیمیایی شامل واکنش‌های فاز بخار و سل-ژل تولید می‌شود (۱۵-۱۳). این فرآیندها به‌علت نیاز به دما و فشار بالا، انرژی زیادی مصرف می‌کنند. هم‌چنین، دوست‌دار محیط‌زیست نیستند. بنابراین، تلاش برای جست‌وجوی منابع و روش‌های جدید تولید نانوذرات سیلیس آمورف با کیفیت بالا و هم-چنین با هزینه‌های کم‌تر به کمک فرآیندهای سازگار با محیط‌زیست در حال انجام است.

بعضی از گیاهان، جلبک‌ها و حیوانات می‌توانند سیلیس را در بافت‌های خود (به طور عمده به‌صورت نانوساختار) جمع-آوری کنند. این نوع از سیلیس، سیلیس بیوژنیکی نامیده می‌شود. گیاهان و حیوانات، سیلیس را از طریق جذب اسید اورتوسیلیک موجود در آب یا خاک (با محدوده غلظت کم‌تر از ۰/۶-۰/۱ میلی‌مولار و در pH کم‌تر از ۹) به دست می-آورند.

علی‌رغم این‌که سیلیس برای رشد طبیعی تمامی گیاهان ضروری نیست، اما به‌نظر می‌رسد برای برخی از اثرهای ثانویه مانند نقش ساختاری و عملکردی به صورت یک سد معدنی برای جلوگیری از حمله پاتوژن‌ها مفید باشد(۱۶). از سوی دیگر، زیست‌توده (مواد لیگنوسلولزی) توانایی تجمع مقدار زیادی از سیلیس را دارند و بنابراین از زیست‌توده گیاهان می‌توان برای تولید نانوذرات سیلیس استفاده کرد (۱۸، ۱۷). گزارش‌های متعددی وجود دارد که به تولید نانوذرات سیلیس از زیست‌توده اشاره دارند. اصلی‌ترین منابع زیست‌توده مورد استفاده تا به امروز برای تولید نانوذرات سیلیس عبارتند از قسمت‌های مختلف (ساقه، پوست و الیاف) گیاهانی مانند موز، کنف، برگ‌های آناناس، سیزال و پسماندهای کشاورزی و صنعتی مانند سبوس برنج (۲۳-۱۹)، تفاله نیشکر و پوسته قهوه (۲۱).

گونه‌های اکوئی ستوم[1] به‌عنوان گیاهانی با تجمع بالای سیلیس شناخته می‌شوند. این گیاهان در مقایسه با بسیاری از گیاهان دیگر، سیلیس را به شکل سیلیس آمورف هیدراته ذخیره می‌کنند. به‌علت وجود برآمدگی‌های سیلیکایی روی ساقه این گیاهان، گونه‌های اکوئی ستوم در گذشته به‌منظور صیقل دادن صفحات فلزی و محصولات قلع مورد استفاده قرار می‌گرفتند (۱۹). سیلیس در تمام بخش‌های اکوئی‌ستوم آرونس[2] مشاهده می‌شود (۲۴). هولژوتر[3] و همکاران نشان دادند که بیش‌تر سیلیس به‌صورت یک لایه نازک روی سطح داخلی دیواره سلول گیاهی قرار می‌گیرد که در آن ضخامت لایه سطحی از چند نانومتر تا حدود ۷ میکرومتر متفاوت است (۱۶). لایه‌های سیلیس از ذرات متراکم با اندازه ۴۰-۲۵ نانومتری تشکیل شده‌اند. این لایه‌ها می‌توانند برای تولید نانوذرات سیلیسی مورد استفاده قرار گیرند. امکان به-دست آوردن سیلیس در حدود ۲۵ درصد وزن خشک گیاه در این گونه‌های گیاهی وجود دارد و مقدار آن به شرایط آب و هوایی و خاک مورد استفاده برای رشد گیاه بستگی دارد (۱۹،۱۸). از آنجاکه گیاه دم‌اسب علاوه‌بر ماده مناسب برای استخراج نانوذرات سیلیس، یک عصاره هیدروالکلی با چندین عملکرد ضددرد، ضد التهاب، حفاظت هپاتیکی، ضدقارچ و خواص آنتی‌متوتوکسینژیک ایجاد کند، از این نظر نیز مورد توجه قرار گرفته است (۲۵). هم‌چنین بیش از ۷۰

[1] *Equisetum*
[2] *Equisetum arvensis*
[3] Holzhuter

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

درصد زیست‌توده دم‌اسب شامل کربوهیدرات‌هایی است که طی فرآیند تخمیر می‌تواند به مواد مفیدی مانند سوخت‌های مایع، اسیدهای ارگانیک، بیوپلی‌مرها و سایر مواد شیمیایی سبز تبدیل گردد (۲۶).

باتوجه‌به مباحث مطرح شده در بالا، هدف اصلی این پژوهش تولید ارزان قیمت و کارآمد نانوذرات سیلیس با خلوص بالا با استفاده از گیاه اکوئی‌ستوم آرونس و بررسی ویژگی- های محصول به‌دست آمده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور استخراج نانوذرات سیلیس از گیاه دم‌اسب، مراحل زیر در این تحقیق انجام گرفت (۲۷): در این تحقیق گیاه موردنظر از شمال ایران و شهر تنکابن تهیه گردید. کد هرباریومی برای این گیاه در سال ۱۸۹۱ در کالیفرنیا، ۳۵۱۸۳۷۷ به‌دست آمده است که این گیاه توسط یک گیاه- شناس با این کد هرباریومی تأیید شد. لازم‌به ذکر است که برای این گیاه چندین کد باریومی وجود دارد و گیاه مورد استفاده در این پژوهش، دارای کد هرباریومی ذکر شده در بالاست.

ابتدا ساقه‌های خشک گیاه دم‌اسب، به‌طور کامل خرد شد. سپس به‌طور کامل با آب دیونیزه شسته شده تا گرد و غبار از آن خارج شود. بعد از آن در آون و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا به‌طور کامل خشک شود. به‌منظور حذف ناخالصی‌ها که ممکن است خلوص سیلیس تولید شده را تحت تأثیر قرار دهند، گیاه دم‌اسب خشک شده با محلول اسیدی HCl (۰/۱ M) به- مدت دو ساعت رفلاکس گردید. سپس به‌مدت ۲۰ ساعت به‌همان صورت باقی ماند تا خنک شود. در مرحله بعد، از طریق شستشو با آب مقطر، اسید مورد استفاده خارج گردید و سپس نمونه در آون و در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به- مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. نمونه خشک شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در کوره الکتریکی قرار داده شد (کلسینه کردن) تا پودر به- نسبت سفید رنگی حاصل شود. سپس، ۲۰ گرم از نمونه به ۱۶۰ میلی‌لیتر محلول NaOH (۲/۵ M) اضافه گردید. محلول در یک ظرف در بسته به‌مدت ۳ ساعت بر روی هم- زن و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از صاف کردن، محلول باقی‌مانده در زیر صافی با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد. سپس اسیدسولفوریک (۵ M) تحت شرایط کنترل‌شده در حین هم‌خوردن محلول تا pH< ۲ اضافه گردید. سپس آمونیوم هیدروکسید اضافه گردید تا pH> ۸/۵ شود. محلول به‌مدت ۳ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. رسوب به‌دست آمده چندین مرتبه با آب دیونیزه گرم شسته شد و در نهایت در ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در آون خشک گردید.

در نهایت ویژگی‌های مورفولوژیکی، ساختار کریستالی، ترکیب شیمیایی، مساحت سطح ویژه و اندازه ذرات پودر سیلیس سنتز شده توسط روش‌های مختلفی مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراش اشعه ایکس (XRD)، فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF)، پراکندگی نور دینامیکی (DLS) و تکنیک BET ارزیابی گردید.

از روش SEM می‌توان برای دست‌یابی به اطلاعاتی مانند شکل، اندازه و حتی ترکیب شیمیایی نانوذرات استفاده کرد. هم‌چنین، تکنیک XRD برای تعیین ساختار کریستالی مواد و تعیین درصد فازها بسیار پرکاربرد است. از سوی دیگر، از روش XRF می‌توان عناصر موجود در یک نمونه را شناسایی کرد و هم‌چنین مقدار کمی آن‌ها را نیز تعیین کرد. این روش به‌خصوص برای نمونه‌های معدنی نتایج خوبی را ارائه می‌کند. روش XRF به‌دلیل سرعت عمل، دقت مناسب و عدم وابستگی‌به شخص آنالیز کننده، جایگزین مناسبی برای سایر روش‌های آنالیز شیمی در شناسایی مواد است. علاوه‌بر این، از روش DLS برای تعیین توزیع ذرات موجود در محلول‌ها و سوسپانسیون‌ها استفاده می‌شود. در نهایت، سیستم BET براساس سنجش حجم گاز (به‌طور معمول نیتروژن) جذب و واجذب شده توسط سطح ماده در دمای ثابت (نیتروژن مایع) کار می‌کند. این روش برای اندازه‌گیری مساحت سطح ویژه و تعیین میزان تخلخل نانومواد استفاده می‌شود.

یافته‌ها

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

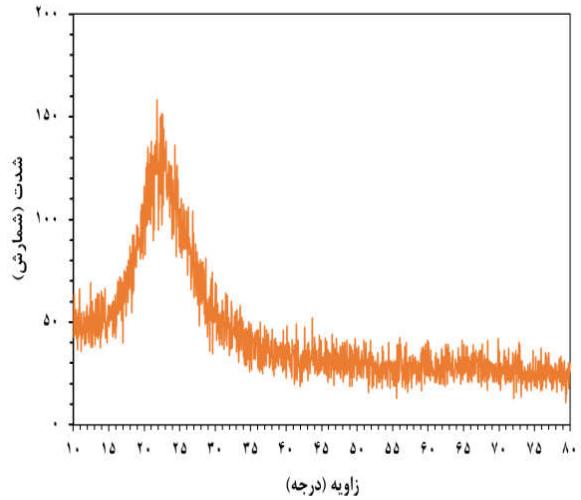
پودر سیلیس به دست آمده بعد از مرحله کلسینه کردن، رنگ خاکستری مایل به سفید دارد. می توان گفت که بخش آلی (به‌طور عمده کربن) موجود در گیاه به‌طور کامل در این مرحله حذف شده است. طبق تحقیقات صورت گرفته بر روی خاکستر گیاه دم‌اسب، رنگ قهوه‌ای بیانگر این است که مقدار زیادی از مواد ارگانیک در خاکستر وجود دارد و در نتیجه سیلیس با درصد خلوص کم‌تری به‌دست می‌آید (۲۸).

در جدول ۱ نتایج آزمون XRF (S4 PIONEER از شرکت Bruker آلمان) استفاده شده برای تعیین درصد عناصر تشکیل دهنده ذرات Sio_2 به دست آمده از گیاه دم‌اسب ارائه شده است. از این جدول به‌خوبی مشاهده می‌گردد که ترکیب اصلی خاکستر گیاه دم‌اسب پس از مراحل متعدد شست‌وشو حاوی حدود ۹۷ درصد Sio_2 است. اما هم‌چنان برخی از عناصر دیگر در ترکیب باقی مانده‌اند که مجموع آن‌ها در حدود ۲/۵ درصد است. در تحقیقی دیگر بر روی گیاه دم‌اسب که در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد کلسینه شده است، مشاهده گردید که ترکیب اصلی خاکستر گیاه دم‌اسب حاوی ۵۹/۶ درصد Sio_2 است. در همان تحقیق پس از کلسینه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و شست‌وشو با اسید، این مقدار به ۹۳/۵ درصد رسیده است (۲۸،۱۹). هم‌چنین طبق تحقیقات مقدار درصد Sio_2 به‌دست آمده از خاکستر پوسته برنج پس از کلسیناسون و اسیدشویی در حدود ۹۸/۵ به‌دست آمده است (۲۹).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی پودر به‌دست آمده از گیاه دم‌اسب بعد از کلسیناسیون و اسیدشویی

ترکیب	مقدار (wt./wt. %)
SiO_2	۹۷/۵۰
Al_2O_3	۰/۷۴
Na_2O	۰/۶۰
P_2O_5	۰/۳۸
Cr_2O_3	۰/۲۲
Fe_2O_3	۰/۱۷
CaO	۰/۱۶
MgO	۰/۱۱
جمع	۹۹/۶

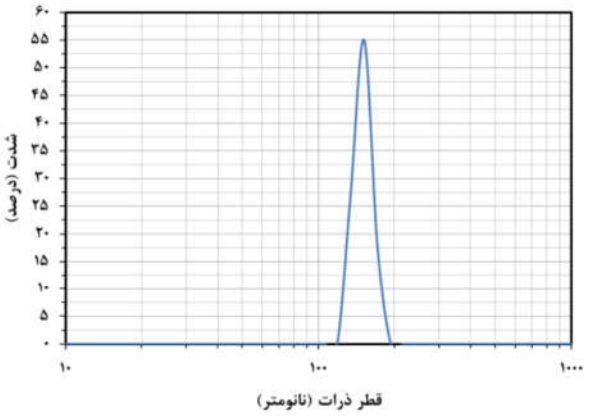
شکل ۱ الگوی XRD پودر سیلیس به‌دست آمده با خلوص بالا را نشان می‌دهد. همان‌طورکه از الگو مشاهده می‌گردد، تنها یک پیک پهن در محدوده ۱۵ تا ۳۰ درجه وجود دارد که نشان‌دهنده ساختار آمورف سیلیس به‌دست آمده است. به‌عبارت دیگر عدم وجود پیک‌های باریک با شدت بالا، نشان‌دهنده عدم وجود ساختارهای کریستالی سیلیس مانند کوارتز یا کریستوبالیت است. نتیجه به‌دست آمده با دیگر مشاهدات گزارش شده، برای سیلیس به‌دست آمده از سبوس برنج مطابقت دارد. هم‌چنین با گزارش‌های دیگر، بر روی سیلیس به‌دست آمده از پوسته برنج و آندوکرپ نارگیل مطابق است (۳۰). محققان دیگری نیز این پیک را برای نانوسیلیس به‌دست آمده از سبوس برنج پس از فرآیند اسیدشویی در همین محدوده مشاهده کردند (۳۱).



شکل ۱- الگوی XRD ترکیب پودر به‌دست آمده از گیاه دم‌اسب پس از کلسناسیون و اسیدشویی

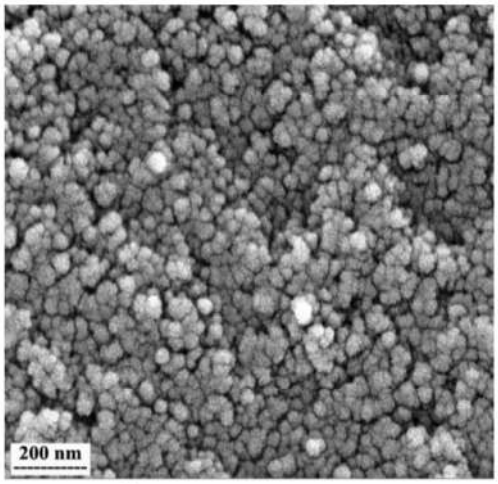
نمودار به‌دست آمده از آزمون DLS (Nano Partice Analyzer SZ-100) برای خاکستر به‌دست آمده از گیاه دم‌اسب پس از شست‌وشو در شکل ۲ ارائه شده است. از این شکل می‌توان به این نتیجه رسید که توزیع اندازه ذرات تنها در یک گستره قرار دارد و میانگین به‌دست آمده برای آن‌ها در حدود ۱۵۰ نانومتر است.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]



شکل ۲- نتیجه آزمون DLS برای پودر به-دست آمده از گیاه دم اسب

مورفولوژی نانوذرات سیلیس توسط روش SEM (ZEISS SIGMA 500 VP) مشاهده گردید. در شکل ۳ نمونه‌ای از تصاویر به‌دست آمده ارائه شده است. توزیع اندازه ذرات کمابیش یکنواخت و میانگین اندازه‌ی آن‌ها در حدود ۳۰ نانومتر است. هم‌چنین شکل ذرات کمابیش کروی است. البته میانگین اندازه به‌دست آمده برای ذرات در مقایسه با آزمون DLS به مراتب کوچک‌تر است. علت این امر تأثیر قطر هیدرودینامیکی بر نتایج DLS است. به‌عبارت ساده‌تر قطر به‌دست آمده از آزمون DLS به‌طور معمول بزرگ‌تر از مشاهده‌های مستقیم میکروسکوپی است. در مطالعه‌ای با استفاده از SEM گزارش شده است که نانو ذرات سیلیس به‌دست آمده از گیاه دم‌اسب در حالت خشک به‌طور معمول به‌هم پیوسته‌اند. علاوه‌براین، اندازه ذرات تجمع یافته مشاهده شده در آن مطالعه در حدود ۳۰۰ نانومتر گزارش شده است (۴).



شکل ۳- تصویر SEM نانوذرات سیلیس به‌دست آمده از گیاه دم‌اسب

نتایج به‌دست آمده از آزمون BET در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، مقدار به-دست آمده برای مساحت سطح ویژه در نمونه سنتز شده در این پژوهش، به‌نسبت بالا است. در سایر مطالعه‌های صورت گرفته بر روی گیاه دم‌اسب کلسینه شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، این مقدار برای مساحت سطح ویژه m^2/g ۵۴، برای قطر حفرات ۵۰/۲۸ نانومتر به‌دست آمده است. هنگامی که خاکستر این گیاه علاوه‌بر کلسینه شدن در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد با اسید نیز شسته شد، مساحت سطح به ویژه به حدود m^2/g ۳۳۰ و قطر حفرات به ۸/۲۱ نانومتر رسیده است (۱۹). بالا بودن عدد مساحت سطح ویژه در پژوهش فعلی می‌تواند به تعدد مراحل شست‌وشو در هنگام آماده‌سازی سیلیس از خاکستر گیاه دم‌اسب مربوط باشد. به‌عبارت دیگر این مراحل منجر به خروج بیش‌تر ناخالصی‌ها از ساختار سیلیس و ایجاد تخلخل در نانوذرات شده است.

جدول ۲- نتایج آزمون BET پودر به‌دست آمده از گیاه دم اسب

حجم کل حفرات (cm^2/g)	قطر حفرات (nm)	مساحت سطح ویژه (m^2/g)
۱/۲۱	۱۱/۶	۴۱۴

بحث

نانوذرات سیلیکا می‌توانند توسط طیف‌های گسترده‌ای از روش‌ها، شامل روش سل-ژل، روش سنتز هیدروترمال، سنتز flame، تکنیک میکروامولسیون برگشتی تهیه شوند. عامل-دار کردن نانوذرات سلیکا، ممکن است توسط روش‌های پیوندی و هم‌رسوبی انجام شود.

طبق تحقیقات انجام گرفته بر روی گیاه *Equisetum arvense*، خاکستر این گیاه بیش‌تر از Sio_2 تشکیل شده است (۹۸-۸۱ درصد) (۳۲) که درصد Sio_2 به‌دست آمده در این پژوهش (۹۷/۵ درصد) برای گیاه دم‌اسب مورد استفاده، نزدیک به بالاترین درصد، گزارش شده است. سایر نویسندگان با انجام تیمار اسیدی خاکستر پوسته برنج، سطوح مشابهی از سیلیس خالص (بیش از ۹۶ درصد) را به-دست آوردند(۶).

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

گزارش شده است که pH مراحل آماده‌سازی و دمای کلسینه کردن بر کیفیت سیلیس به‌دست آمده از زیست‌توده گیاهان تأثیر می‌گذارند (۳۲). کلسینه کردن منجر به تجزیه ترکیب‌های کربنی به مونوکسیدکربن و خروج آب ساختاری می‌گردد و ترکیب‌های سیلیکاتی را به سیلیس تبدیل می‌کند (۲۸). سیلیس به‌دست آمده از این طریق شبیه به لیگنین و زیست تقلید شده است و بنابراین از ذرات متخلخل نانومتری تشکیل است. این نانوذرات می‌توانند بسته به دمای کلسینه شدن به ذرات میکرومتری تبدیل شوند. در واقع دمای کلسینه کردن، مساحت سطح ویژه سیلیس و رنگ آن را تعیین می‌کند. براساس تحقیقات (۲۸)، کم‌ترین دمای کلسیه کردن در فرایند استخراج سیلیس از زیست‌توده گیاهان که منجر به تولید نانوذرات سیلیس سفید رنگ با بیش‌ترین مساحت سطح ویژه می‌گردد، دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است. افزایش دمای کلسینه شدن، باعث کاهش مقدار مساحت سطح ویژه می‌شود که این کاهش می‌تواند به‌دلیل نفوذ و به‌هم پیوستن ذرات ریز و رشد ذرات درشت و در نتیجه افزایش میانگین اندازه ذرات و کاهش سطح کلی مرتبط باشد. در بررسی صورت گرفته بر روی نمونه‌های *Equisetum hyemale* در محدوده دمای کلسینه شدن از۳۵۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، بهترین نتیجه برای سطح ویژه در دمای ۵۰۰ درجهی سانتی‌گراد به‌دست آمده است (۱۹). اگرچه، در مطالعه دیگری بر روی خاکستر ضایعات نیشکر به‌دست آمده از سوزاندن ضایعات نیشکر، که می‌تواند شامل بسیاری از ناخالصی‌های مختلف، به‌ویژه نمک و گونه‌های کربن باشد، پس از انجام مراحل پیش تیمار، تحت دمای۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و توسط واکنش با سدیم‌هیدروکسید، سیلیکا از خاکستر ضایعات نیشکر استخراج شد (۳۴). در این مطالعه نیز سیلیکا با خلوص بالایی (بیش از ۹۹ درصد) به‌دست آمد.

در پژوهش حاضر، چندین مرتبه شست‌وشو با اسید انجام گرفت. دلیل چندین مرتبه شست‌وشو با اسید این است که پژوهشگران نشان دادند که درست است که آب می‌تواند مقدار زیادی از پتاسیم را از بافت گیاه حذف کند. با این حال، دیگر فلزات مانند کلسیم برای حذف مؤثر، نیاز به اسیدی شدن دارند (۳۲). در واقع، شست‌وشو با اسید یکی دیگر از مراحل اصلی تأثیرگذار بر روند تولید نانوذرات سیلیس متخلخل از منابع زیست‌توده است. در نتیجه عامل مهم بعدی در سنتز نانوذرات سیلیس با خلوص بالا، تعداد چرخه شست‌وشو با اسید است که بر روی مساحت سطح ویژه پودر سیلیس تأثیر می‌گذارد. گزارش شده است که افزایش چرخه شست‌وشو با اسید منجر به افزایش مساحت سطح ویژه می‌شود (۳۲).

در نتایج به‌دست آمده از این تحقیق به‌خوبی مشهود است که مساحت سطح ویژه به‌دست آمده (۴۱۴ m^2/g) در مقایسه با دیگر پژوهش‌های صورت گرفته قبلی (۵۴ m^2/g) به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر است (۱۹). pH مراحل فرآوری نیز بر روی مساحت سطح ویژه ذرات سیلیس به‌دست آمده تأثیر می‌گذارد. به‌عبارت دیگر، هنگامی‌که نمونه گیاهی با اسید شسته شود، نه تنها مواد معدنی نظیر سدیم، پتاسیم و کلسیم حذف می‌شوند، بلکه این امر ممکن است پکتین‌ها و همی‌سلولزهای موجود در ساختار نمونه گیاهی را نیز حل کند (۳۱). هم‌چنین در طی این فرآیند، ممکن است سلولز آمورف نیز حل شود (۳۱). هم‌چنین در طی این فرآیند، ممکن است سلولز آمورف نیز حل شود (۳۳). در این فرآیند، حدود ۹۵ درصد مواد معدنی و ۶۵ درصد مواد آلی حذف می‌شوند. در نتیجه، محصول به‌دست آمده پس از اسیدشویی، یک ماده متخلخل است (۱۹،۳۵،۳۲).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از گیاه دم‌اسب *Equisetum telmateia Ehrh.* به‌عنوان منبع سیلیس برای تهیه نانوذرات سیلیس متخلخل استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که این گیاه را می‌توان به‌عنوان مواد اولیه برای تولید نانوذرات سیلیس استفاده کرد. پودر سیلیس به‌دست آمده از خاکستر گیاه دم‌اسب پس از کلسینه کردن در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و مراحل متعدد اسیدشویی دارای خلوص بالا (۹۷/۵ درصد)، ساختار آمورف، سطح ویژه به نسبت بالا (حدود ۴۱۰ m^2/g) و متوسط اندازه ذرات حدود ۳۰ نانومتر است. بنابراین، بیوسیلیس به‌دست آمده از گیاه دم‌اسب می-

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

تواند یک گزینه مناسب به‌عنوان مواد اولیه در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

منابع

1- Serrano E, Rus G, Garcia-Martinez J. Nanotechnology for sustainable energy. Renew Sustain Energy Rev. 2009;13(9):2373–84.

2- Thuadaij N, Nuntiya A. Preparation of nanosilica powder from rice husk ash by precipitation method. Chiang Mai J Sci. 2008;35(1):206–11.

3- Gaffet E. Nanomaterials: a review of the definitions, applications, health effects. How to implement secure development nano materiaux: une revue des definitions, des applications, des effets sanitaires et des moyensa mettre en oeuvre pour un developp. arxiv Prepr arxiv. 2011;1(10):6220-6.

4- Senff L, Hotza D, Repette WL. Rhelogycal behaviour of cement pastes with addition of silica fume, nanosilica and polycarboxilic dispersant. Matéria (Rio Janeiro). 2010;15(1):12–20.

5- Sapei L. Characterisation of silica in Equisetum hyemale and its transformation into biomorphous ceramics. 2007.s

6- Wang W, Martin JC, Zhang N, Ma C, Han A, Sun L. Harvesting silica nanoparticles from rice husks. J Nanoparticle Res. 2011;13(12):6981–90.

7- Barik TK, Sahu B, Swain V. Nanosilica—from medicine to pest control. Parasitol Res. 2008;103(2):253.

8- Mellaerts R, Houthoofd K, Elen K, Chen H, Van Speybroeck M, Van Humbeeck J, et al. Aging behavior of pharmaceutical formulations of itraconazole on SBA-15 ordered mesoporous silica carrier material. Microporous Mesoporous Mater. 2010;130(1–3):154–61.

9- Napierska D, Thomassen LCJ, Lison D, Martens JA, Hoet PH. The nanosilica hazard: another variable entity. Part Fibre Toxicol. 2010;7(1):39.

10- Slowing II, Vivero-Escoto JL, Wu C-W, Lin VS-Y. Mesoporous silica nanoparticles as controlled release drug delivery and gene transfection carriers. Adv Drug Deliv Rev. 2008;60(11):1278–88.

11- Slowing II, Trewyn BG, Giri S, Lin V-Y. Mesoporous silica nanoparticles for drug delivery and biosensing applications. Adv Funct Mater. 2007;17(8):1225–36.

12- Subbiah R, Veerapandian M, S Yun K. Nanoparticles: functionalization and multifunctional applications in biomedical sciences. Curr Med Chem. 2010;17(36):4559–77.

13- BernArdos A, Kou\vrimsKá L. Applications of mesoporous silica materials in food-a review. Czech J Food Sci. 2013;31(2):99–107.

14- Holzhüter G, Narayanan K, Gerber T. Structure of silica in Equisetum arvense. Anal Bioanal Chem. 2003;376(4):512–7.

15- Law C, Exley C. New insight into silica deposition in horsetail (Equisetum arvense). BMC Plant Biol. 2011;11(1):112.

16- Hassan AF, Abdelghny AM, Elhadidy H, Youssef AM. Synthesis and characterization of high surface area nanosilica from rice husk ash by surfactant-free sol--gel method. J sol-gel Sci Technol. 2014;69(3):465–72.

17- Liu S-H, Kuok C-H. Preparation of stable tetraethylenepentamine-modified ordered mesoporous silica sorbents by recycling natural Equisetum ramosissimum. Chemosphere. 2018;191:566–72.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

18- Ludueña L, Fasce D, Alvarez VA, Stefani PM. Nanocellulose from rice husk following alkaline treatment to remove silica. BioResources. 2011;6(2):1440–53.

19- Carneiro ME. Obtaining nano silica from Equisetum arvenses L and their use in the modification of veneers of schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber ex Ducke) wood. Ph. D. thesis, Federal University of Parana, Curitiba, Brazil (in Portuguese); 2012.

20- Espindola-Gonzalez A, Mart\'\inez-Hernández AL, Angeles-Chávez C, Castano VM, Velasco-Santos C. Novel crystalline SiO 2 nanoparticles via annelids bioprocessing of agro-industrial wastes. Nanoscale Res Lett. 2010;5(9):1408.

21- Fortunati E, Puglia D, Monti M, Peponi L, Santulli C, Kenny JM, et al. Extraction of cellulose nanocrystals from Phormium tenax fibres. J Polym Environ. 2013;21(2):319–28.

22- Sapei L, Nöske R, Strauch P, Paris O. Isolation of mesoporous biogenic silica from the perennial plant Equisetum hyemale. Chem Mater. 2008;20(5):2020–5.

23- Sheltami RM, Abdullah I, Ahmad I, Dufresne A, Kargarzadeh H. Extraction of cellulose nanocrystals from mengkuang leaves (Pandanus tectorius). Carbohydr Polym. 2012;88(2):772–9.

24- Rahman IA, Padavettan V. Synthesis of silica nanoparticles by sol-gel: size-dependent properties, surface modification, and applications in silica-polymer nano composites—a review. J Nanomater. 2012;2012:8.

25- Dos Santos Jr JG, Blanco MM, Do Monte FHM, Russi M, Lanziotti V, Leal L, et al. Sedative and anticonvulsant effects of hydroalcoholic extract of Equisetum arvense. Fitoterapia. 2005;76(6):508–13.

26- Gandini A, Lacerda TM. From monomers to polymers from renewable resources: Recent advances. Prog Polym Sci. 2015;48:1–39.

27- Assefi M, Davar F, Hadadzadeh H. Green synthesis of nanosilica by thermal decomposition of pine cones and pine needles. Adv Powder Technol. 2015;26(6):1583–9.

28- Carneiro ME, Magalhães WLE, BOLZON DE MUÑIZ GI, Nisgoski S, Satyanarayana KG. Preparation and characterization of nano silica from Equisetum arvenses. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado. 2015;

29- Ferreira CS, Santos PL, Bonacin JA, Passos RR, Pocrifka LA. Rice Husk Reuse in the Preparation of SnO2/SiO2Nanocomposite. Mater Res. 2015;18(3):639–43.

30- Freitas JCC, Emmerich FG, Bonagamba TJ. High-resolution solid-state NMR study of the occurrence and thermal transformations of silicon-containing species in biomass materials. Chem Mater. 2000;12(3):711–8.

31- Smirnova LG, Grunin YB, Krasil'nikova S V, Zaverkina MA, Bakieva DR, Smirnov E V. Study of the structure and sorption properties of some types of cellulose. Colloid J. 2003;65(6):778–81.

32- Mattos BD, Gomes GR, de Matos M, Ramos LP, Magalhães WLE. Consecutive production of hydroalcoholic extracts, carbohydrates derivatives and silica nanoparticles from equisetum arvense. Waste and biomass valorization. 2018;9(11):1993–2002.

33- Zhang Y-HP, Himmel ME, Mielenz JR. Outlook for cellulase improvement: screening and selection strategies. Biotechnol Adv. 2006;24(5):452–81.

34- Rovani S, Santos JJ, Corio P, Fungaro DA. Highly pure silica nanoparticles with high adsorption capacity obtained from sugarcane waste ash. ACS omega. 2018 Mar 5;3(3):2618-27.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

35- Nandiyanto ABD, Kim S-G, Iskandar F, Okuyama K. Synthesis of spherical mesoporous silica nanoparticles with nanometer-size controllable pores and outer diameters. Microporous Mesoporous Mater. 2009;120(3):447–53.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1399.10.39.3.0] [Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-09]