مقاله پژوهشی

حذف بخار جیوه از هوای مطب‌های دندان‌پزشکی با استفاده از یک سامانه پالایش گر مبتنی بر نانوذرات نقره

چیمن سعیدی[۱]، محمد جواد عصاری[۲*]، فرشید قربانی شهنا[۳]، زهرا خاموردی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: جیوه یک آلاینده سمی با قابلیت تجمع‌پذیری زیستی بوده که اثرات مخربی بر محیط زیست و سلامت انسان دارد. تلاش‌های بسیاری برای حذف جیوه در محیط زیست انجام شده است. نانوذرات نقره یکی از موادی است که برای جذب جیوه و تشکیل آمالگام جیوه از پتانسیل بالائی برخوردار است. هدف از این مطالعه، حذف بخار جیوه از هوای مطب‌های دندان‌پزشکی با استفاده از یک سیستم پالایشگر مبتنی بر نانوذرات نقره می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه، ابتدا نانوذرات نقره بر روی بستری از جنس فوم پوشش داده شده، و ویژگی‌های شیمیائی و ساختاری آن با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی UV-VIS-NIRو میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) متصل به طیف‌سنجی X-ray انتشار انرژی (EDS) تعیین گردید.سپس راندمان پالایشگر از نظر حذف بخار جیوه در شرایط شبیه‌سازی شده در آزمایشگاه و شرایط واقعی در مطب دندان‌پزشکی، توسط روش طیف‌سنجی جذب اتمی بخار سرد (CVAAS) مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج: تصاویر SEM، حاکی از سنتز نانوذرات نقره با اندازه ۳۰ nm~در محلول کلوئیدی، و توزیع یکنواخت و مناسبی از نانوذرات نقره پوشش داده شده بر فوم بود. طیف EDS مرتبط با SEM نیز وجود نانوذرات نقره پوشش داده شده بر فوم را تایید نمود. بین غلظت بخار جیوه در حالات خاموش ($۹/٤۳\pm۰/۳٤۲\mu g.m^{-3}$) و روشن ($۰/۵۱\pm۰/۰۳۱\mu g.m^{-3}$) بودن سامانه پالایش گر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. راندمان حذف جیوه سامانه پالایش گر نیز ۹۵٪ محاسبه گردید.

نتیجه گیری: پالایش گر مبتنی بر فوم پوشش داده شده با نانوذرات نقره، به علت برخورداری از مزایائی مانند سهولت بهره‌برداری، ظرفیت جذب عملیات بسیار کارآمد و مقرون به‌صرفه بودن، جهت حذف بخار جیوه از هوای مطب‌های دندان‌پزشکی از قابلیت بالائی برخوردار می‌باشد.

کلیدواژه ها: حذف بخار جیوه، نانوذرات نقره، سامانه پالایش گر هوا، مطب دندان‌پزشکی

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۲*. (نویسنده مسئول) استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. پست الکترونیک:Asari@umsha.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

٤. استاد گروه ترمیمی و زیبایی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

مقدمه

امروزه تولید ونشر آلاینده های سمی زندگی بشر را تهدید می‌کند. جیوه و ترکیبات آنبه‌عنوان مواد بالقوه خطرناک شناخته شده و در گروه اصلی آلاینده‌های زیست محیطی طبقه بندی می‌گردند [۱]. جیوه از منابع مختلف طبیعی و انسانی در اتمسفر انتشار می‌یابد [۲]. از دیرباز تاکنون نگرانی‌های زیادی در رابطه با آلودگی هوا ناشی از جیوه وجود داشته، مواجهه با سطوح بالای جیوه موجب ایجاد اثرات مخرب بر سیستم عصبی، کلیه‌ها، عضلات و سیستم ایمنی می‌شود[۳]. جیوه معمولاً به سه شکل اصلی شامل جیوه عنصری، ترکیبات معدنی و آلی وجود دارد و بخار جیوه عنصری را می‌توان منبع خطرناک آلودگی هوا به حساب آورد [۴]. اشکال مختلف جیوه بر میکروارگانیسم‌ها، گیاهان و بی‌مهرگان آبزی، ماهی‌ها، پستانداران دریایی، پرندگان، گیاهان و انسان اثرات نامطلوبی دارند [۵]. مواجهات شغلی با جیوه عمدتاً در واحدهای کلرآلکالی صنایع پتروشیمی، معادن جیوه، کارخانه‌های تولید دماسنج، معادن طلا، الکترولیز نمک طعام و در مطب‌های دندانپزشکی رخ می‌دهد [۶]. خطرات ناشی از مواجهه شغلی با جیوه در مشاغل مختلف در طی چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۷]. بر اساس مطالعات انجام شدهدندان‌پزشکان به دلیل کار با آمالگام مورد استفاده جهت ترمیم دندان، با بخار جیوه در تماس هستند[۹-۸]. آمالگام علی‌رغم سمی‌بودن به علت قیمت پایین و استحکام بالاتر و مهروموم شدن بهتر با دندان، استفاده بسیار زیادی در دندانپزشکی دارد [۱۰].

در حال حاضر تحقیقات زیادی در زمینه توسعه استراتژی‌ها و فن‌آوری‌های کاهش جیوه در حال انجام است. تکنولوژی تزریق کربن فعال(Activated carbon injection: ACI) ، یکی از روش‌های پرکاربرد کنترل جیوه عنصری می‌باشد، که در حال حاضر استفاده گسترده‌ای دارد. درحالی‌که روش‌های ته نشینی الکترواستاتیک (ESP: Electrostatic precipitators) تنها قادر به کنترل جیوه معدنی بوده و واحدهای دی‌سولفوراسیون جریان گاز (Flue gas desulfurization:FGD)نیز تنها می‌تواند جیوه آلی را حذف را کند [۲ و ۶]. نتایج مطالعات انجام شده حاکی از آن‌است که ساختار متخلخل کربن فعال، مهم‌ترین عامل جذب در این جاذب می‌باشد [۲]. تمایل ضعیف بین کربن‌های اصلاح نشده (فاقد جایگاه‌های فعال ویژه) و جیوه عنصری، و نیز افت فشار بالا از جمله مشکلات عمده در ارتباط با تکنولوژی ACI در بستر ثابت می‌باشد. علاوه بر این، از گوگرد پوشش‌شده بر کربن نیز برای جذب بخار جیوه با راندمان بالا در بستر ثابت استفاده می‌شود، که در این روش، مشکل زباله‌های سمی حائز اهمیت است [۶]. از پیشرفت‌های موثری که امروزه در زمینه کنترل آلودگی هوا صورت گرفته، می‌توان به استفاده از فناوری نانو، و نقش موثر نانوکامپوزیت‌ها در کنترل آلودگی هوا و حفظ محیط زیست اشاره نمود [۱۴]. ظرفیت جذب جاذب‌های نانومقیاس، به‌علت مساحت سطحی بالا، حجم منافذ و ساختار کریستالی در مقایسه با سایر جاذب‌های معمولی، به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر می‌باشد[۱۵] علاوه بر راندمان بالای جاذب در جذب جیوه، توسعه استفاده از یک جاذب کم‌هزینه و مقرون به صرفه نیز همواره حائز اهمیت بسیار بوده و بسیاری از محققان روش‌های افزایش توانایی جاذب‌ها در جذب جیوه را به‌همراه کاهش هزینه‌ها مورد مطالعه قرار داده‌اند. وزارت انرژی امریکا هزینه‌های پیش‌بینی شده برای کنترل جیوه به‌میزان ۹۰٪را بین ۲۵،۰۰۰ تا۷۰،۰۰۰ دلار به ازای حذف هر پوند جیوه برآورد نموده است [۱۶].

لذا با توجه به هزینه بالا و ناکارآمدی بسترهای کربن فعال، اکسیدها، سولفیدها و هالوژن‌های فلزی، خاکستر و مواد معدنی در جهت حذف بخار جیوه، و با اذعان بهاهمیت فناوری نانو در زمینه کنترل آلودگی هوا و توانایی نانوذرات نقره (AgNPs) برای جذب و ایجاد آمالگام پایدار با جیوه ، این مطالعه با هدف طراحی و ساخت یک پالایشگر مبتنی بر نانوذرات نقره، به منظور حذف بخار جیوه از هوای مطب‌های دندانپزشکی انجام پذیرفت.

روش بررسی

مواد شیمیایی

در کلیه مراحل آزمایش از آب دیونیزه (TKA, Smart2Pure, Germany)، و گاز آرگون به‌عنوان گاز حامل استفاده گردید. محلول مادر ($1000\ mg.l^{-1}$) جیوه (II)، با استفاده از حل نمودن نمک کلرید جیوه تهیه گردید. محلول استاندارد مادر جیوه قبل از استفاده، در دمای $4\ ^{\circ}C$ نگاه داشته شد. محلول‌های استاندارد کاربردی Hg(II) در سطوح غلظتی مورد نیاز، توسط رقیق‌نمودن مرحله‌ای محلول استاندارد مادر، بلافاصله قبل از استفاده، توسط اسیدنیتریک $0/5\ mol.l^{-1}$ آماده گردید. عامل احیاءکننده ($SnCl_2$) ۲/۵٪ به‌صورت تازه و روزانه تهیه گردید. برای انجام سنتز نانوذرات نقره نیز از نقره نیترات ۰/۰۰۱ M، بوروهیدرید

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

سدیم M ۰/۰۰۲ و تری‌سیترات سدیم ۱٪ استفاده شد.

تجهیزات

برای تعیین پیک جذبی UV-VIS-NIR محلول کلوئیدی نانوذرات نقره از دستگاه طیف‌سنج Lambda 950Perkin – Elmer استفاده گردید. اندازه و مورفولوژی نانوذرات سنتز شده و محتوای عنصری و مشخصه‌های ساختاری جاذب، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مجهز به JEOL JSM،EDS 7500F ساخت شرکت ZEISS تعیین، و جهت بررسی میزان توانایی جذب بخار جیوه پالایشگر نیز از سیستم بخار سرد دستگاه جذب اتمی مدل AAnalyst700 که از طریق نرم افزار WinLab32™ کنترل می‌شد، استفاده گردید.

سنتز و ویژگی یابی نانوذرات نقره وساخت جاذب

با توجه به اهداف و فرضیات مطالعه، ابتدا نانوذرات نقره با استفاده از عامل احیاءکننده تری‌سیترات سدیم سنتز شد. بدین‌منظور، ابتدا ml ۵۰ محلول نیترات نقره M ۰/۰۰۱ تا رسیدن به دمای جوش حرارت داده شد. سپس ml۱۰ تری‌سیترات سدیم ۱٪، قطره قطره در حین مخلوط شدن، به محلول اضافه گردید. حرارت تا زمان تغییر رنگ محلول ادامه یافت و بعد از بروز تغییر رنگ، محلول جهت خنک شدن در دمای اتاق قرار گرفت. در ادامه، پیک جذبی محلول کلوئیدی نانوذرات نقره سنتز شده توسط طیف سنج UV-VIS-NIR اندازه‌گیری گردید. درنهایت نانوذرات سنتز شده، با کمک حمام اولتراسونیک مدل SONICA در فرکانس ۲۲۰۰MHz و دمای ^{o}C ۶۰به‌صورت مجزا بر روی فوم پوشش شده و جاذب تهیه گردید.

بررسی کارائی جذب جاذب در آزمایشگاه

در این مرحله، ابتدا کارائی جذب جاذب در مقیاس آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. وزن و الک مش جاذب به ترتیب mg ۱۰۰ و ۴۰ - ۲۰ بود، که درون یک لوله کوارتزی (با طول ۱۸۵/۶mm، قطر بیرونی ۷/۹mm و قطر داخلی ۴/۹mm) قرار داده شد. جهت انجام آزمایش، ابتدا غلظت‌های معین بخار جیوه (اتمسفر استاندارد)، مطابق روش پیشنهادی عصاری و همکاران [۱۷]، با استفاده از تزریق محلول کلرید جیوه(II) و عامل احیاءکننده ($SnCl_2$) ۲/۵٪ به داخل یک محفظه جداسازی مخصوص تهیه، و توسط گاز آرگون درون کیسه‌های نمونه‌برداری تدلار (ساخت کمپانی SKC انگلستان) پر گردید. سپسبخار جیوه داخل کیسه توسط پمپ نمونه‌برداری فردی با دبی $ml.min^{-1}$ ۲۰۰ به داخل لوله حاوی جاذب هدایت، و نهایتاً جهت تعیین زمان نقطه شکست Break through time (BTT) و ظرفیت جذب جاذب به صورت برخط (On-line)، مستقیما به داخل طیف‌سنج جذب اتمی بخار سرد (CVAAS) وارد گردید. جهت ارزیابی عملکرد جاذب نیز ظرفیت جذب برحسب $\mu g.g^{-1}$ در دو حالت اندازه‌گیری شد. نقطه شکست (Breakpoint) به‌عنوان زمان آغاز خروج بخار جیوهاز جاذب، و زمان گذر شکست کل (Total breakthrough time) به‌عنوان زمانی‌که بخار جیوه خروجی با ورودی برابر گردد.

به‌منظور تهیه جاذب مورد استفاده در سیستم پالایشگر، ابتدا فوم‌های برش داده شده به مدت h ۱۲ در محلول کلوئیدی نانوذرات نقره سنتز شده با روش سیترات سدیم، و متعاقب آن، h ۲ در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. سپس فوم‌ها با آب مقطر شستشو، و به مدت h ۲۴ در آون با دمای ^{o}C ۸۰ خشک گردید. در ادامه، فوم‌های پوشش شده، درون حلقه‌هائی از جنس مقوای ضخیم و محکم به قطر cm ۱۱ و ضخامت cm ۳/۵ چسبانیده شد تا جهت ارزیابی راندمان جاذب در شرایط واقعی، در سیستم پالایشگر تعبیه گردد. برای شبیه‌سازی محیط کار دندان‌پزشکی در آزمایشگاه، دبی متناسب با میزان مکش هواکش سیستم، توسط پمپ نمونه‌برداری محیطی تامین گردید. بدین‌منظور ابتدا پمپ نمونه‌برداری محیطی توسط گازمتر تر بر روی دبی $l.min^{-1}$ ۲۵ تنظیم، و با قرار دادن جاذب تهیه شده در مسیر خروجی محفظه تولید بخار جیوه [۱۷]،زمان نقطه شکست با استفاده از طیف‌سنج جذب اتمی بخار سرد (CVAAS) به صورت برخط تعیین گردید. همچنین به‌منظور اطمینان از قابلیت پالایشگر در جذب بخار جیوه در شرایط واقعی، پس از شبیه‌سازی محیط کار دندانپزشکی در آزمایشگاه، با لحاظ سرعت دهانه هود fpm ۱۰۰ ناشی از تعبیه جاذب، و با درنظرگرفتن حداکثر غلظت بخار جیوه قابل انتظار در هوای مطب‌های دندان‌پزشکی [۱۸]، مدت زمان لازم جهت اشباع جاذب، بالغ بر ۱۵ روز کاری برآورد گردید.

بررسی کارایی سامانه پالایش گردرمطب دندان‌پزشکی

در این مرحله، ابتدا سامانه پالایش گر با استفاده از یک دستگاه هواکش با دور موتور rpm ۱۸۰۰ و دبی $m^3.h^{-1}$ ۴۰۰ خریداری شده از شرکت آروین تک تهران، و لوله‌ی انعطاف‌پذیر آلومینیومی با بازویی به طول cm ۱۳۰، قطر دهانه cm ۵ و توانایی گردش ۳۶۰ درجه مدل MT50 ساخت کمپانی FUMEX سوئد طراحی و ساخته شد. سپس جاذب آماده شده در سامانه پالایش گر تعبیه و بعد از اطمینان از سرعت خطی مناسب مکش هوا در دهانه هود

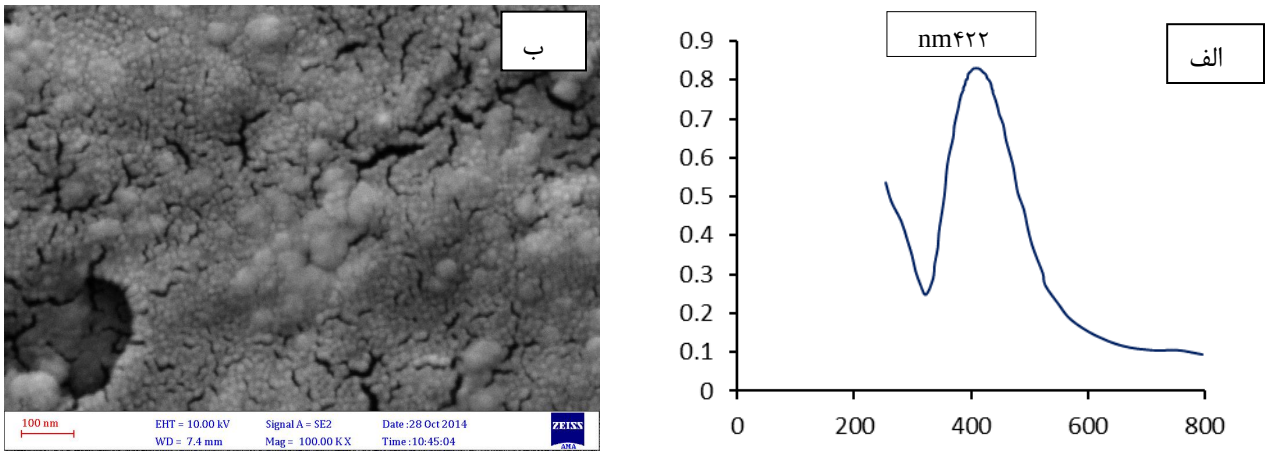
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

توسط آنمومتر پره‌ای مدلAM4201در مطب دندان‌پزشکی نصب و راه اندازی گردید. جهت بررسی راندمان سیستم پالایشگر حین انجام عملیات ترمیم دندان، ۳ نمونه هوا در هر یک از حالات خاموش و روشن بودن سیستم، از منطقه تنفسی دندان‌پزشک جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری، مطابق روش شماره ۶۰۰۹ انستیتوی ملی بهداشت و ایمنی شغلی(NIOSH)،با استفاده از پمپ نمونه‌بردار با دبی پائین ($ml.min^{-1}$ ۲۰۰-۵۰) مدل ۳-۲۲۲، فلومتر الکترونیکی مدل DC- LiteBIOS Drycal و لوله‌های جاذب سطحی هاپکالایت (Hopcalite)(کلا ساخت کمپانی SKC انگلستان)، با دبی $ml.min^{-1}$ ۲۰۰ به مدت ۱۲۰min در مجاورت یونیتدندان‌پزشکی انجام شد [۱۹]. نمونه‌ها سپس جهت تجزیه به آزمایشگاه مرکز تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی همدان منتقل گردید.

جهت تعیین مقدار جیوه در نمونه‌های هوای جمع‌آوری شده، ابتدا لوله‌های جاذب، پشم شیشه و جاذب جلوئی هر لوله به صورت جداگانه در یک بالن ژوژه ۵۰ ml قرار داده شد و ۲/۵ ml HNO_3 غلیظ و به دنبال آن ۲/۵ ml HCl غلیظ به آن اضافه گردید. نمونه به مدت ۱ h ساعت در دمای اتاق باقی مانده، و سپس با آب دیونیزه به حجم رسانیده شد. سپس دستگاه CVAAS تنظیم، و بعد از قرائت مقادیر جذب استانداردهای کاربردی و رسم منحنی استاندارد مربوطه، غلظت جیوه در نمونه هوا تعیین گردید. و میزان تکرار پذیری با انحراف استاندارد نسبی (R.S.D.%) نشان داده شد.

یافته‌ها

سنتز و ویژگی‌یابی نانوذرات نقره: محلول کلوئیدی حاصل از سنتز نانوذرات نقره، با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی UV-VIS-NIR، و SEM ویژگی‌یابی شد. طیف جذبی UV-VIS-NIR محلول مورد بررسی، به‌ترتیب در طول موج nm ۴۲۲ نشان داده شد.به‌منظور حصول اطمینان از اعتبار یافته‌های فوق و کسب اطلاعات مورفولوژیکی اضافی مرتبط با شکل و ابعاد نانوذرات، با استفاده از SEM، از نانوذرات سنتز شده، تصویربرداری گردید.تصویر SEM، با این واقعیت که نانوذرات سنتز شده دارای قطر میانگین ۳۰nm~می‌باشند، مطابقت داشت.طیف جذبی و تصویر SEM نانوذرات سنتز شده در شکل ۱نشان داده شده است.

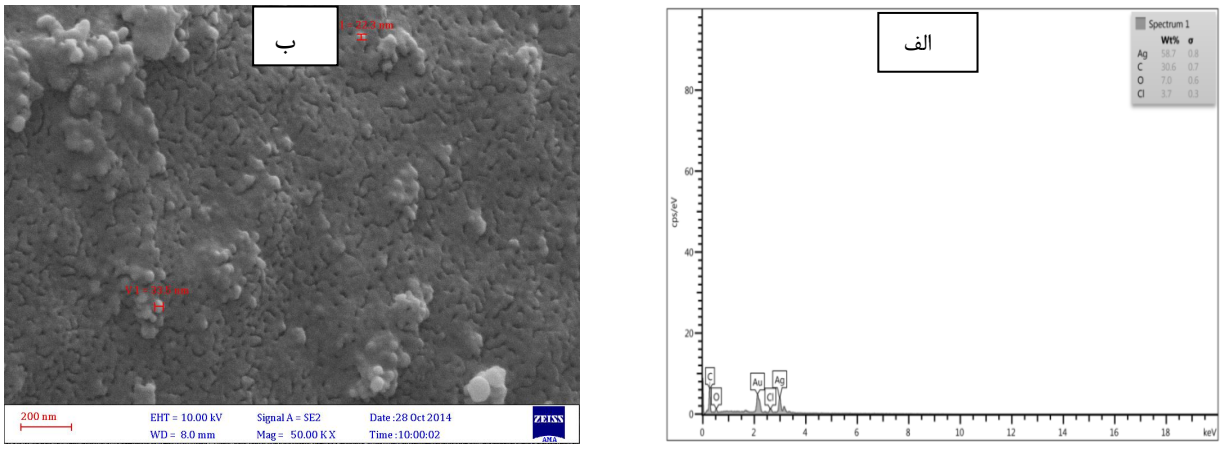


شکل ۱: الف) طیف جذبی UV-VIS-NIRنانوذرات نقره، و ب) تصویر SEM نانوذرات نقره

همان‌طور که در تصویر SEM جاذب مشاهده می‌گردد، توزیع یکنواخت و مناسبی از نانوذرات نقره پوشش شده بر فوم در مقیاس نانو یافت شد برای تجزیه عنصری جاذب، طیف EDS مرتبط با SEM، مورد استفاده قرار گرفت. در این تجزیه، پرتو الکتریکی صرفا بر نقره متمرکز شد، بنابراین نتایج می‌تواند گویای فوم پوشش داده شده با نقره باشد. علاوه بر این، همان‌طور که در شکل ۲- الف مشاهده می‌گردد، تصویر SEM فوم پوشش داده شده با نانوذرات نقره نیز،پوشش یکنواخت خوبی را در مقیاس نانوئی نشان داد و هیچ‌گونه انباشتگی نانوذرات در تعامل با فوم

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

مشاهده نشد (شکل ۲- ب).



شکل ۲: الف) طیف EDS جاذب، و ب) تصویر SEM جاذب

نتایج آزمایشات جذب دینامیکی جاذب در جدول ۱ خلاصه شده است. یافته‌ها نشان داد که زمان نقطه شکست در جاذب، به‌میزان قابل ملاحظه‌ای از فوم پوشش نشده بیش‌تر است.

جدول ۱ نتایج جذب دینامیکی جاذب کامپوزیتی مبتنی برنانوذرات نقره

جاذب	نقطه شکست (min)	ظرفیت جذب بخار جیوه در نقطه شکست ($\mu g.g^{-1}$)	زمان گذر شکست کل (min)	ظرفیت جذب بخار جیوه در زمان گذر شکست کل ($\mu g.g^{-1}$)
فوم پوشش شده با نانوذرات نقره	۹	۳۶۰	۱۳	۵۲۰
فوم پوشش نشده	۰/۴۵	۳/۴۲	۰/۷۵	۵/۷

بحث

سیستم پالایشگر مستقر در مطب دندانپزشکی در شکل ۳ نشان داده شده است. جهت اطمینان از کارائی سیستم پالایشگر در مطب‌های دندان‌پزشکی، در ۲ حالت خاموش و روشن بودن سیستم، ۳ نمونه هوا با دبی $200\ ml.min^{-1}$ به مدت ۱۲۰ min از منطقه تنفسی دندان‌پزشک جمع‌آوری گردید. غلظت بخار جیوه در حالات خاموش و روشن بودن سیستم به‌ترتیب $\mu g.m^{-3}$ ۹/۴۳±۰/۳۴۲ با انحراف معیار نسبی ۹/۳٪ و $\mu g.m^{-3}$ ۰/۵۱±۰/۰۳۱ با انحراف معیار نسبی ۵/۵۳٪ به‌دست آمد، که نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین حالات مورد مطالعه بود. همچنین راندمان حذف جیوه سیستم پالایشگر نیز ۹۵٪ محاسبه گردید.



شکل ۳: نحوه استقرار سیستم پالایشگر در مطب دندان‌پزشکی

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

بحث

طیف جذبی UV-VIS-NIR محلول کلوئیدی نانوذرات سنتز شده با روش سیترات سدیم در این مطالعه، در طول موج۴۲۲ nm مشاهده گردید (شکل ۱- الف). مطالعات انجام شده در زمینه سنتز و ویژگی‌یابی نانوذرات نقره،روش طیف‌سنجیUV-VIS را به‌عنوان روشی ساده و قابل اعتماد جهت کسب اطلاعاتی در زمینه اندازه، شکل و غلظت نانوذرات سنتز شده در واحد سطح معرفی کرده‌اند. نتایج این مطالعات این مساله را در پژوهش حاضررا تأیید می‌کنند و نتایج حاصل حاکی از آن است که با افزایش اندازه نانوذرات نقره، طول موج طیف جذبی به سمت طول موج‌های قرمز شیفت پیدا می‌کند.ازطرفی میزان شدت طیف جذبیUV-VIS بیان‌کننده تعداد و غلظت نانوذرات سنتز شده می‌باشد،که خود به نوع احیاءکننده بستگی دارد[۲۲-۲۰]. در این‌راستا، می‌توان به مطالعه آشریتا و همکاران (۲۰۱۳) اشاره نمود که با سنتز نانوذرات نقره با روش سیترات سدیم، و ویژگی‌یابی توسط روش طیف‌سنجیUV-VIS، ارتباط اندازه نانوذرات با طیف جذبی UV-VISرا نشان دادند. در این مطالعه، روش طیف‌سنجیUV-VIS به‌عنوان روشی مناسب جهت بررسی و ویژگی‌یابی نانوذرات معرفی، و حداکثر پیک جذبی نانوذرات نقره در ۴۳۰ نانومتر مشاهده گردید [۲۳].

همان‌طور که در تصویر SEM مشاهده گردید (شکل ۱-ب)، قطر نانوذرات نقره سنتز شده حدود۳۰ nmبه‌دست آمد که با نتایج به‌دست آمده از طیف‌سنجی جذبی UV-VIS-NIR مطابقت داشت. نتایج این بخش از مطالعه با نتایج مطالعه امانی و همکاران (۲۰۱۲)در خصوص سنتزنانوذرات نقره با روش‌های تترابورات سدیم و سیترات سدیم، و توسط طیف‌سنجیUV-VIS و TEM ویژگی‌یابی نمودند، در یک‌راستا می‌باشد.محققین مذکور نشان دادند که نانوذرات سنتز شده با روش تترابورات سدیم دارای اندازه۱۲-۳nmو پیک جذبی۳۲۰nm بوده، درحالی‌که نانوذرات سنتز شده با روش سیترات سدیم،دارای اندازه۴۰-۲۰nm و حداکثرپیک جذبی۴۲۰nmمی‌باشد[۲۴].

در این مطالعه جهت پوشش‌دادن نانوذرات نقره بر روی بستر فوم، از روش ترسیب با استفاده از دستگاه اولتراسونیک استفاده شد.این روش پوشش‌دهی، در کلیه مراحل آزمایش از کارایی بسیار خوبی برخوردار بود و همان‌طور که در شکل ۲-ب مشاهده می‌گردد، تصویر SEM بستر فوم پوشش داده شده با نانوذرات نقره، پوشش یکنواختی را در مقیاس نانو نشان می‌دهد. این یافته، همچنین با نتایج مطالعه Perelshtein و همکاران (۲۰۰۹) در استفاده از روش اولتراسونیک برای پوشش نانوذرات نقره بر روی سطح پلاستیک انجام شد، هم‌خوانی دارد. محققین مذکور نشان دادند که روش اولتراسونیک روشی کاملاً مناسب و قابل اطمینان در پوشش‌دهی بوده و میزان پوشش‌دهی بستر توسط نانوذرات نقره با غلظت نانوذرات و مدت زمان انجام اولتراسونیک رابطه مستقیم دارد[۲۵]. سایر مطالعات انجام شده در این‌خصوص نیز، روش اولتراسونیک را روشی مناسب، راحت و اقتصادی برای پوشش‌دادن بسترهای مختلف توسط نانوذرات معرفی کرده‌اند[۳۰-۲۶].

با توجه به مشکلات ناشی از فراریت زیاد و واکنش‌پذیری بسیار کم بخار جیوه و همچنین ظرفیت جذب پایین ناشی از اختلاط ضعیف، پایداری حرارتی کم و هزینه زیاد جاذب‌های تجاری موجود، در این تحقیق جهت کنترل بخار جیوهازجاذب کامپوزیتی مبتنی بر نانوذرات نقره پوشش‌شده بر فوم استفاده گردید.همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شد، ظرفیت جذب دینامیکی کل جاذب کامپوزیتی بعد از پوشش فوم با نانوذرات نقره، حدود ۱۰۰ برابر افزایش یافته و بعد از گذشت ۱۳ دقیقه، به ۰/۵۲ mgHg/gr می‌رسد. مطالعات متعددی در زمینه کنترل و حذف بخار جیوه در هوا با استفاده از فناوری نانو انجام شده است [۳۷-۳۰] که استفاده از نانوذرات نقره باتوجه به خواص فیزیکی و شیمیایی بی‌نظیر، برهم‌کنش قابل توجه و افزایش قدرت جذب در مقادیر بسیار کم جاذب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. جانسون (Johnson)و همکاران(۲۰۰۸) در مطالعه‌ای، توانایی جذب بخار جیوه آزاد شده از لامپ‌های فلورسنت شکسته شده را توسط نانوذرات نقره، مس، سیلیس، نیکل و روی بررسی، و با توانایی جذب بخار جیوه توسط مواد در مقیاس میکرو مقایسه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی جذب بخار جیوه مواد نانو به‌ویژه نانوذرات نقره از مواد در مقیاس میکرو بسیار بیش‌تر بوده است[۳۸].

مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعات مشابه، حاکی از ظرفیت جذب قابل ملاحظه جاذب کامپوزیتی و راندمان حذف بخار جیوه بالای پالایشگر می‌باشد. پیتونیاک (pitoniak) و همکاران (۲۰۰۵)در مطالعه‌ای،توانایی بستر نانوکامپوزیتی سیلیکا-تیتانیوم را در جذب و کنترل بخار جیوه بررسی نمودند.نتایج این بررسی‌ها

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

نشـان داد کـه جیـوه عنصـری و اکسـید جیـوه بـا کمـک بسـتر نانوکـامپوزیتی بـا رانـدمان ۹۰٪ جـذف شـده، و ظرفیـت جـذب بسترنیز۱۰mgHg/grبه‌دست آمد[۳۳].

در مطالعه مالیوبـا (Malyuba) و همکـاران (۲۰۰۵) کـه جهـت بررسی توانایی جذب بخار جیوه توسط بستر نانوکامپوزیتی حـاوی نانومواد کلیت‌کننده برروی یک بستر سیلیسی،درهمین‌راستا انجام شد، بیش‌ترین و کم‌ترین ظرفیت جـذب بسـتر نانوکـامپوزیتی بـه ترتیب معادل ۱۲ و ۳۳mgHg/gr-گزارش گردید[۱۶].در تحقیـق دیگریکه جهت بررسی توانایی کنترل و جـذب بخـار جیـوه بسـتر نانوکـامپوزیتی مبتنـی بـر نـانوذرات اکسـید آهـن ۳ ظرفیتـی پوشش‌شـده بـر بسـتر شیشـه‌ای، توسـط بـورادری (borderi) و همکاران (۲۰۰۴) انجام شد، ظرفیت جذب نانوکامپوزیـت توسـعه داده شـده،۱/۳۹mgHg/gr تعیـین گردیـد[۳۹]. همچنـین در مطالعه اریکی (Eriki) و همکاران (۲۰۰۳)، که یـک بسـتر جـاذب جدید مبتنی بر اکسید تیتانیوم جهت حذف بخار جیـوه حاصـل از احتراق زغال‌سنگ مورد بررسی قرار گرفت، ظرفیـت بسـتر جهـت جذب بخار جیوه ۱/۵۱۲mgHg/grبه دست آمد[۴۰].

علت پائین بودن نسبی ظرفیـت جـذب به‌دسـت آمـده در ایـن مطالعه در مقایسه با سایر مطالعات پیش‌گفت را می‌توان بـا تعـداد نانوذرات پوشش شده در واحد جرم بستر (فوم) مرتبط دانست، که این موضوع، خود ازعدم کنترل شرایط آزمایشگاهیاز قبیـل نـوع و میزان عامل احیاء کننده مصرفی و عدم کنترل pH در حین سنتز نانوذرات و همچنین عدم استفاده از ترکیبات اصلاح کننده سـطح جهت پوشش‌دهی بستر ناشی می‌شود. زیرا همان‌طور که در دیگـر مطالعات نیز تاکید گردیده، تعداد و غلظت نانوذرات سنتز شـده بـا نوع و میزان عامل احیاءکننده مصرفی ارتبـاط مسـتقیم دارد[۲۲-۲۰]،و از طرفی مقدار جذب جیوه با اندازه نانوذرات نسـبت عکـس داشته، و نانوذرات چندضـلعی نسـبت بـه نـانوذرات کـروی جیـوه بیش‌تری جذب می‌نماید[۴۱]. کنترلpH محلـول نـانوذرات نقـره حین سنتز نیز نقش مهمی در بهبود کارائی جذب نـانوذرات نقـره دارد. نتایج مطالعه چیتـرا (chitra) و همکـاران نشـان داد کـه بـا افـزایش pH، میـزان جـذب بخـار جیـوه بـیش‌تـر می‌شـود[۴۲]. همچنیندر مطالعات به استفاده از ترکیبات اصـلاح کننـده سـطح، جهت افزایش قدرت پیوند بین نانوذرات و بسـترها تاکیـد ویـژه‌ای شده است. با این اسـتراتژی، کنتـرل خـوب ضـخامت نـانوذرات و همچنین ویژگی‌های سطحی با اطمینان بیش‌تری انجام می شـود [۴۳].در این مطالعه، بین غلظت بخار جیوه در حـالات خـاموش و روشن بودن سیستم پالایشگر اختلاف معنی‌دار مشاهده، و راندمان حذف سیستم نیز ۹۵٪ محاسبه گردید. این یافته که بـا توجـه بـه ظرفیت جذب بالای جاذب توسـعه داده شـده چنـدان نیـز دور از انتظار نبـود، را در درجـه اول مـی‌تـوان بـا تشـکیل آمالگـام بـین نـانوذرات نقـره و جیـوه عنصـری مـرتبط دانست.آمالگاماسـیون قدیمی‌ترین روش شناخته جذب بخار جیوه بوده وآمالگام نقـره بـا جیوه، در دمای اتاق بسیار پایدار است[۴۴]. از دیگـر عوامـل مـوثر بر افزایش راندمان جذب پالایشگر می‌توان به کاهش دبـی و افـت فشار ناشی از نصب جاذب،غلظت پائین بخار جیـوه و عـدم وجـود عوامل مداخله‌گر در هوای مطب‌های دندان‌پزشکی اشاره نمود. زیرا دبی و غلظت بالای جیوه و همچنین وجود ترکیبات مداخله‌گر، بـا اشباع سریع جاذب، سبب کاهش رانـدمان پالایشـگر خواهـد شـد. این یافته با نتایج مبنی بر کاهش راندمان جـاذب ناشـی ازافـزایش دبی و غلظت بخار جیوه گزارش شده در سایر مطالعات، همخـوانی دارد [۴۵و۱۷].

در خصـوص نقـش عوامـل مداخلـه‌گر در جـذب بخـار جیـوه، می‌توانمطالعه لی (Li) و همکاران (۲۰۰۷)را ذکـر نمـود [۳۶]. در این مطالعه که به‌منظور حذف جیوه عنصری ناشی از احتراق زغال سنگ انجام شد،بالا بودن غلظت جیوه عنصـری و وجـود بخـار آب به‌عنوان عوامل کاهش کارائی بستر نانوکامپوزیتی، و وجود گازهای اسیدی عامل افزایش کارائی جاذب معرفی گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که فوم پوشش‌شده با نانوذرات نقـره سنتز شده به روش سیترات سدیم، به علت برخورداری از ظرفیـت جذب عملیاتی بالا، جهت کنترل و حذف بخار جیوه در مطب‌هـای دندان‌پزشکی، دارای راندمان۹۵٪ می‌باشـد. نتـایجهمچنین نشـان داد که کارائی جذب بخار جیوه به ویژگی‌های ساختاری کامپوزیت وابسته بوده و بهینه‌سازی شرایط آزمایشگاهی حین سنتز نانوذرات نقره، نیاز به انجام مطالعات بیش‌تر دارد. این مطالعه همچنـین بـر استفاده از جاذب نانوکامپوزیتی پیشنهادی بـه‌عنـوان یـک جـاذب مناسب مقرون به‌صرفه و با سهولت بهره‌برداری، جهت اسـتفاده در سیستم‌های پالایشگر هوا در سایر عرصه‌های کاری در مواجهـه بـا بخار جیوه تأکید دارد.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

منابع

1. Patrick L. Mercury toxicity and antioxidants: Part 1: role of glutathione and alpha-lipoic acid in the treatment of mercury toxicity. Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic. 2002;7(6):456-71.
2. Rezaee A, Derayat J, Mortazavi S, Yamini Y, Jafarzadeh M. Removal of mercury from chlor-alkali industry wastewater using Acetobacter xylinum cellulose. American Journal of Environmental Sciences. 2005;1(2):102.
3. Rezaee A, Derayat J, Godini H, Pourtaghi G. Adsorption of mercury from synthetic solutions by an Acetobacter xylinum biofilm. Res J Env Sci. 2008;2(5):401-07.
4. Zhao B, Zhang Z, Jin J, Pan W-P. Simulation of mercury capture by sorbent injection using a simplified model. Journal of hazardous materials. 2009;170(2):1179-85.
5. Scallan K, Lucas D, Koshland C. A novel uv-vis spectroscopic method to detect elemental mercury using gold nanoparticles. Epidemiology. 2006;17(6):S493.
6. Nor Kamarudin KS, Mohamad M, Nik Mohamed Fathilah N, Mohamed M. Effects of PVP concentration on the fonnation of size and shape of gold (au) nanoparticles for mercury adsorption. Journal of Applied Sciences. 2010;10(24):3374-8.
7. Neghab M, Chobineh A. R, Hassanzadeh J, A. G. The prevalence of subclinical symptoms of mercury poisoning in dentistry due to occupational exposure amalgam. Iran Occupational Health. 2011;8(3): 120-128.
8. Hasani Tabatabaei M, Golbabaei F, Shariati B. Evaluation of mercury vapor in dental offices in Tehran. Journal of Dental Medicine. 2007;20(1):46-52.
9. Stone ME, Cohen ME, Debban BA. Mercury vapor levels in exhaust air from dental vacuum systems. dental materials. 2007;23(5):527-32.
10. Zolfaghari G, Esmaili-Sari A, Ghasempouri SM, Faghihzadeh S. Evaluation of environmental and occupational exposure to mercury among Iranian dentists. Science of the total environment. 2007;381(1):59-67.
11. Wu S, Uddin MA, Sasaoka E. Characteristics of the removal of mercury vapor in coal derived fuel gas over iron oxide sorbents. Fuel. 2006;85(2):213-8.
12. Alptekin G. A New Non-carbon Sorbent for Hg Removal from Flue Gases. Powder Technology, Jan. 2008;180:1-2.
13. Philip L, Deshusses MA. The control of mercury vapor using biotrickling filters. Chemosphere. 2008;70(3):411-7.
14. Mostaghni M. Synthesis and application of nanotechnology encompasses compounds in the environment. First National Conference on Nanotechnology; Esfahan1386.
15. Jadhav, R. A. Meyer, H. Development and Evaluation of Nanoscale Sorbents forMercury Capture from Warm Fuel Gas. Gas technology institute. 2005
16. Abu-Daabes, M. A. Pinto,N. G. Synthesis and characterization of a nano-structured sorbent for the direct removal of mercury vapor from flue gases by chelation. Chemical Engineering Science. 2005; 60: 1901 –10
17. Assari MJ, Abbas R, Ahmad JJ, Abdolrahman B. Optimization of a Novel Setup for an On-Line Study of Elemental Mercury Adsorption by Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry. Journal of Research in Health Sciences. 2013;13(1):37-42.
18. Tabatabaei, m. Golbabaei, F. Shariatei, B. Evaluation of mercury vapor in dental offices in tehran. Journal of University of Medical Sciences and Health Services Tehran. 1385; 19(3): 46-52.
19. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 15 August 1994; 4thed:[Available from: www.NationalInstituteofOccupationalSafety&Health.com
20. Desai, R. Mankad, V. Gupta, S. K. Jha, P. K. Size Distribution of Silver Nanoparticles: UV-Visible Spectroscopic Assessment. Nanoscience and Nanotechnology Letters,2012; 4(1): 30-34.
21. Hussain, J. I. Kumar, S. Hashmi, A. A. Khan, Z. Silver nanoparticles: preparation, characterization, and kinetics. Adv. Mat. Lett. 2011; 2(3): 188-194
22. Šileikaitė, A. Prosyčevas, I. Puišo, J. Juraitis, A. Guobienė, A.. Analysis of silver nanoparticles produced by chemical reduction of silver salt solution. Mater. Sci.-Medzg, 2006; 12: 287-291.
23. Aashritha, Sh. Synthesis of silver nanoparticles by chimical reduction method and their antifungal activity. International Research Journal of Pharmacy. 2013; 4(10): 111-13
24. Amany, A. El-Rab, S. F. G. Effect of reducing and protecting agents on size of silver nanoparticles and their anti-bacterial activity. Der Pharma Chemica. 2012; 4(1): 53-65.
25. Perelshtein, I., Applerot, G., Perkas, N., Guibert, G., Mikhailov, S., & Gedanken, A. (2008). Sonochemical coating of silver nanoparticles on textile fabrics (nylon, polyester and cotton) and their antibacterial activity. Nanotechnology, 19(24), 245705.
26. Ye, X. Zhou, Y. Chen, J. Sun, Y. Deposition of silver nanoparticles on silica spheres via ultrasound irradiation. Applied surface science. 2007; 253(14): 6264-67.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

27. Pol, V. G. Srivastava, D. N. Palchik, O. Palchik, V. Slifkin, M. A. Weiss, A. M. Gedanken, A. Sonochemical deposition of silver nanoparticles on silica spheres. Langmuir. 2002 ;18(8): 3352-57.
28. Applerot, G. Perkas, N. Amirian, G. Girshevitz, O. Gedanken, A. Coating of glass with ZnO via ultrasonic irradiation and a study of its antibacterial properties. Applied surface science.2009; 256(3): S3-S8.
29. Kotlyar, A. Perkas, N. Amiryan, G. Meyer, M. Zimmermann, W. Gedanken, A. Coating silver nanoparticles on poly (methyl methacrylate) chips and spheres via ultrasound irradiation. Journal of applied polymer science. 2007; 104(5): 2868-76.
30. Perkas, N. Amirian, G. Applerot, G. Efendiev, E. Kaganovskii, Y. Ghule, A. V. Gedanken, A. Depositing silver nanoparticles on/in a glass slide by the sonochemical method. Nanotechnology.2008; 19(43).
31. Li, Y., Murphy, P. D., Wu, C. Y., Powers, K. W., & Bonzongo, J. C. J. Development of silica/vanadia/titania catalysts for removal of elemental mercury from coal-combustion flue gas. Environmental science & technology, 2008; 42(14): 5304-5309
32. Jamir, R. Nanotechnology for water treatment. Asian textile conference. 2005
33. Pitoniak, E., Wu, C. Y., Londeree, D., Mazyck, D., Bonzongo, J. C., Powers, K., & Sigmund, W. Nanostructured silica-gel doped with TiO2 for mercury vapor control. Journal of Nanoparticle Research, 2003; 5(3-4): 281-292.
34. Izquierdo MT, Ballestero D, Juan R, Garcia-Diez E, Rubio B, Ruiz C, M.Pino MR. Tail-end Hg capture on Au/carbon-monolith regenerable sorbents. J Hazard Mater 2011; 193: 304-310.
35. Pitoniak, E., Wu, C. Y., Mazyck, D. W., Powers, K. W., & Sigmund, W. Adsorption enhancement mechanisms of silica-titania nanocomposites for elemental mercury vapor removal. Environmental science & technology, 2005; 39(5), 1269-1274.
36. Li, Y., Murphy, P., & Wu, C. Y. Removal of elemental mercury from simulated coal-combustion flue gas using a SiO 2–TiO 2 nanocomposite. Fuel processing technology, 2008; 89(6): 567-573.
37. Dong, J., Xu, Z., & Kuznicki, S. M.
Mercury removal from flue gases by novel regenerable magnetic nanocomposite sorbents. Environmental science & technology, 2009; 43(9): 3266-3271.
38. Johnson, N. C. Manchester, S. Sarin, L. Gao, Y. Kulaots, I. Hurt, R. H. Mercury vapor release from broken compact fluorescent lamps and in situ capture by new nanomaterial sorbents. Environmental science & technology, 2008; 42(15): 5772-78.
39. Borderieux, S. Wu, C. Y. Bonzongo, J. C. Powers, K. Control of elemental mercury vapor in combustion systems using Fe2O3 nanoparticles. Aerosol Air Qual. Res, 2004; 4(1): 74-90.
40. Pitoniak, E. Wu, C. Y. Londeree, D. Mazyck, D. Bonzongo, J. C. Powers, K. Sigmund, W. Nanostructured silica-gel doped with TiO2 for mercury vapor control. Journal of Nanoparticle Research. 2003; 5(3-4): 281-92.
41. Nor Kamarudin, K. S. Mohamad, M. F. Synthesis of gold (Au) nanoparticles for mercury adsorption. American Journal of Applied Sciences, 2010; 7(6): 835-39.
42. Chitra, K. Annadurai, G. Antibacterial Activity of pH-Dependent Biosynthesized Silver Nanoparticles against Clinical Pathogen. BioMed research international; 2014.
43. Jankiewicz, B. J. Jamiola, D., Choma, J. Jaroniec, M. Silica–metal core–shell nanostructures. Advances in colloid and interface science. 2012; 170(1): 28-47.
44. Wang, Y. Yang, F. Yang, X. Colorimetric detection of mercury (II) ion using unmodified silver nanoparticles and mercury-specific oligonucleotides. ACS applied materials & interfaces. 2010; 2(2): 339-42
45. Skodras, G. Diamantopoulou, I. Pantoleontos, G. Sakellaropoulos, G. P. Kinetic studies of elemental mercury adsorption in activated carbon fixed bed reactor. Journal of hazardous materials. 2008; 158(1): 1-13.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]

Research Article

Removal of mercury vapor from ambient air of dental clinics using an air cleaning system based on silver nanoparticles

Chiman Saeidi[1], Mohammad Javad Asari[2]*, Farshid Ghorbani -Shahna[3] , Zahra Khamverdi[4]

Received: 2 July 2015 Accepted: 13 September 2015

Abstract

Background & objective: Mercury is a toxic and bio-accumulative pollutant that has adverse effects on environmental and human health. There have been a number of attempts to regulate mercury emissions tothe atmosphere. Silver nanoparticles are a number of materials that have highly potential to absorb mercury and formation of mercury amalgam.The aim of this study is removal of mercury vapors in the dental clinic using anair cleaningsystem based on silver nanoparticles.

Methods: In this study, silver nanoparticles coated on the bed of foam and chemical and structural properties were determined using a number of methods such as UV-VIS-NIR spectroscopy and Scanning Electron Microscope (SEM) connected the X-ray Emission Spectroscopy Energy (EDS). The air cleaningsystem efficiency to remove of the mercury vapor in simulated conditions in the laboratory and real conditions in the dental clinicwere measured by Cold Vapor Atomic Absorption Spectroscopy (CVAAS).

Results: The images of SEM, showed that average sizeof silver nanoparticles in colloidal solution was ~30nm and distribution of silver nanoparticles coated on foam was good. EDS spectrum confirmed associated the presence of silver nanoparticles coated on foam. The significantly difference observed between the concentration of mercury vapor in the off state (9.43 ± 0.342 $\mu g.m^{-3}$) and on state ($0.51 \pm 0.031 \mu g.m^{-3}$) of the air cleaning system. The mercury vapor removal efficiencyof the air cleaningsystem was calculated 95%.

Conclusion: The air cleaning system based on foam coated by silver nanoparticles, undertaken to provide the advantages such as use facilitating, highly efficient operational capacity and cost effective, have highly sufficiency to remove mercury vapor from dental clinics.

Keywords: Mercury vapor removal, Silver nanoparticles, Air cleaning system, Dental clinic

Please cite this article as: Saeidi Ch, Asari M, Ghorbani-Shahna F, Khamverdi Z. Removal of mercury vapor from ambient air of dental clinics using an air cleaning system based on silver nanoparticles. *Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2015; 2(1):1-10.*

1. Msc student of Occupational Health, School of Public Health, hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
2*. (Corresponding author): Department of Occupational Health, School of Public Health, hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: Asari@umsha.ac.ir.
3. Department of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
4. Department of Operative Dentistry, Dental Faculty, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-03]