



بررسی خواص اپتیکی نانوساختار Ag@TEOS-IM به عنوان جاذب آرسنیک

یاسمن چنگایی | سلمان مهاجر مازندرانی* | محمود غرباوی

آزمایشگاه بیوفوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

چکیده: نانوذرات نقره به دلیل ویژگی‌های برتر خود، کارایی و اهمیت ویژه‌ای در صنعت دارند. در این مقاله طراحی و تهیه یک نانوساختار (Ag@TEOS-IM) به روش سنتز سبز بر پایه نانوذرات نقره، به عنوان کاندید مناسب جهت استفاده در تشخیص و حذف فلزات سنگین آورده شده است. موفقیت آمیز بودن سنتز نانوذرات با استفاده از تکنیک‌های DLS و FTIR بررسی شد، و از طیف سنج جذب اتمی برای کارایی این نانوذرات در حذف فلزات سنگین استفاده شده. همچنین برخی از خواص اپتیکی خطی و غیر خطی نانوذرات Ag@TEOS-IM در غلظت‌های مختلف به تنهایی و به همراه فلز سنگین آرسنیک به عنوان آلودگی بررسی و گزارش شده‌اند. جذب خطی نمونه‌ها بدون آلودگی و با آلودگی آرسنیک با افزایش غلظت افزایش یافته، ضریب شکست غیر خطی برای نمونه‌های بدون آلودگی منفی، و با آلودگی مثبت گزارش شده است، و تمامی نمونه‌ها جذب غیر خطی اشباع دارند.

واژگان کلیدی: نانوذرات، نقره، سنتز سبز، خواص اپتیکی، اپتیک غیرخطی، روبش محوری (z-scan).

۱- مقدمه

بزرگشان است. [۱] شرایط مرزی ذرات کریستالی زمانی از بین می‌رود که، اندازه ذرات به محدوده نانو با طول و مقیاس مشخص شده نزدیک و یا کوچک تر از طول موج دوبروی یا طول موج نور شود. [۲] به همین دلیل، بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی نانوذرات به طور قابل توجهی با ویژگی‌های مواد حجیم متفاوت است، که منجر به طیف گسترده‌ای از کاربردهای جدید آن‌ها می‌شود. نانوذرات کاربردهای قابل توجه‌ای در بخش‌های مختلف مانند محیط زیست، کشاورزی، غذا، بیوتکنولوژی، زیست پزشکی، دارو و غیره دارند. [3] از کاربرد نانوذرات می‌توان به حذف آلاینده‌های

ذراتی از مواد با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر (nm) به عنوان نانوذرات (NPs) یا ذرات بسیار ریز شناخته می‌شوند. نانوذرات بر اساس شکل، اندازه و ویژگی‌های شیمیایی به دسته‌بندی‌های نانوذرات مبتنی بر کربن، نانوذرات فلزی، نانوذرات سرامیکی، نانوذرات مبتنی بر چربی، نانوذرات نیمه رسانا و نانوذرات پلیمری تقسیم می‌شوند. نانوذرات غالباً ویژگی‌های متمایزی از خود نشان می‌دهند (نسبت به مواد با اندازه بزرگتر)، که به دلیل اندازه کوچک و مساحت سطح

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳

زمستان ۱۴۰۳ | شماره ۴ | سال یازدهم

عمدتاً سه نوع رویکرد برای سنتز نانوذرات نقره وجود دارد: فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی.

در روش‌های فیزیکی، نانوذرات با تبخیر-تراکم با استفاده از یک کوره لوله‌ای در فشار اتمسفر تهیه می‌شوند. روش‌های فیزیکی مرسوم، از جمله تخلیه جرقه و تبخیر در اثر حرارت برای سنتز نانوذرات نقره استفاده شده است. [۷،۸] در روش‌های شیمیایی از آب یا حلال‌های آبی برای تهیه نانوذرات نقره استفاده می‌شود. این فرآیند معمولاً شامل سه جزء اصلی مانند پیش‌سازهای فلزی، عوامل کاهنده و عوامل تثبیت‌کننده/پوشش‌دهنده است. [۹،۱۰] از مزایای روش‌های فیزیکی سرعت بالا و عدم دخالت مواد شیمیایی خطرناک است، اما نقاط منفی آن عبارت‌اند از بازدهی کم، مصرف انرژی بالا و عدم توزیع یکنواخت. روش‌های شیمیایی برخلاف روش‌های فیزیکی بازدهی بالایی دارند، اما از مواد سمی و خطرناک برای سنتز نانوذرات استفاده می‌شود و در طول سنتز محصولات جانبی و سمی بسیاری تولید می‌شود، همینطور نانوذرات تهیه شده خلوص مورد انتظار را ندارند و تهیه آن‌ها با اندازه مشخص بسیار دشوار است. در نهایت این روش‌ها بسیار گران هستند. [۱۱]

۱-۲-۱- سنتز سبز (بیولوژیکی)

به طور کلی روش‌های فیزیکی و شیمیایی مرسوم بسیار گران و خطرناک به نظر می‌رسند، و همین‌طور نانوذرات نقره‌ای که به صورت بیولوژیکی سنتز شده‌اند عملکرد، حلالیت و پایداری بالایی دارند. بنابراین به نظر می‌رسد برای سنتز نانوذرات روش‌های بیولوژیکی ساده، سریع، قابل اعتماد، غیر سمی و سازگار با محیط زیست هستند که می‌توان اندازه و ساختار تعریف شده را به خوبی و تحت شرایط بهینه برای تحقیقات ایجاد کرد. [۱۲] در سال‌های اخیر ابتکارات متعددی برای ایجاد فناوری سنتز سبز صورت گرفته است، و از منابع طبیعی به جای مواد شیمیایی خطرناک برای تولید نانوذرات بیولوژیکی استفاده می‌شود؛ در این روش، سنتز نانوذرات با استفاده از عوامل زیستی فعال از جمله، مواد گیاهی، میکروبی، ضایعات زیستی مختلف مانند، ضایعات سبزیجات، پوست میوه، پوسته تخم مرغ، ضایعات کشاورزی، جلبک‌ها و غیره انجام می‌شود. [۱]

به منظور حفظ ایمنی و برای استفاده از پتانسیل کامل هر ماده نانو در اهداف رفاه انسان، نانو دارو، صنعت و غیره، پس از سنتز و قبل از

محیطی، مانند فلزات سنگین در آب و آلاینده‌های آلی از خاک در حوزه محیط زیست اشاره کرد. مطالعات در سال‌های اخیر نشان داده است که توسعه نانوتکنولوژی و علم نانو توانایی قابل توجهی در مقابله با آلودگی محیط زیست و حذف آلودگی‌ها نشان داده است. مواد بر پایه نانو سرعت و کارایی بالایی در تصفیه آب و حذف عناصر فلزی آلاینده را نشان می‌دهند. به عنوان مثال بررسی شده است که نانوذرات نقره می‌توانند آلاینده‌های خاصی مانند رنگ‌های آلی و ترکیبات موجود در فاضلاب را تجزیه کنند. [۴] تشخیص و حذف فلزات سنگین مانند جیوه (Hg)، سرب (Pb)، تالیوم (Tl)، کادمیوم (Cd) و آرسنیک (As) از آب طبیعی به دلیل اثرات نامطلوب آن‌ها بر سلامت محیط زیست و انسان توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. [۱]

تاکنون روش‌های مختلفی برای این کار در نمونه‌های فاضلاب توسعه داده شده است، اما بسیاری از این روش‌ها پرهزینه و وقت گیر هستند. اخیراً، روش‌های اپتیکی به عنوان تکنیک بالقوه برای تشخیص یون‌های فلزی یا مولکول‌های کوچک شناخته شده‌اند و همینطور مطالعات بر روی نانومواد کاربردی برای شناسایی و جذب یون‌های فلزی مختلف گزارش شده‌اند. با این حال، طراحی چنین نانومواد برای تشخیص و حذف این فلزات در نمونه‌های مختلف، هنوز یک چالش بزرگ است. [۵]

۱-۱-۱- نانوذرات نقره (AgNPs)

نانوذرات نقره جزو دسته بندی نانوذرات فلزی هستند. در میان سایر فلزات نقره بالاترین رسانایی الکتریکی و حرارتی، با کمترین مقاومت تماسی، را دارد؛ و همین‌طور مقرون به صرفه تر و مستحکم تر از بسیاری از فلزات است حتی اگر بسیار انعطاف پذیر و چکش خوار باشد. نانوذرات نقره به دلیل خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برتر خود، که به شکل، اندازه و ساختار آن‌ها مرتبط است، کارایی بالایی در تشخیص مولکول‌های زیستی با حساسیت بالا، تشخیص و درمان، فعالیت ضد میکروبی، رسانایی الکتریکی و حرارتی بالا و کاتالیزور دارند، بنابراین از اهمیت ویژه ای در صنعت برخوردار هستند. [۶]

۲-۱-۱- سنتز نانوذرات نقره (AgNPs)

کاربرد، بررسی دقیق خصوصیات نانوذرات ضروری است، زیرا خواص فیزیکی و شیمیایی می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر خواص بیولوژیکی آن‌ها داشته باشد. [۱۱]

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی مواد

در این مطالعه سعی بر این بوده تا یک نانساختاری به عنوان کاندید مناسب جهت استفاده در تشخیص و حذف فلزات سنگین طراحی و به روش سنتز سبز بر پایه نانوذرات نقره، تهیه شود. برای این منظور، پس از تهیه نانوذرات نقره، سطح نانوذرات با سیلیکا پوشش داده شد و در ادامه نانوکامپوزیت تهیه شده را با یک لیگاند مناسب مانند کربوکسیلیک ایمیدازول کنژوگه شد. این لیگاند با متصل شدن به فلزات سنگین کراتی ویژه ای در حذف این فلزات از نمونه های آب، به این نانساختار پیشنهاد شده خواهد داد.

۲-۱-۱- سنتز نانوذرات نقره و نانوکامپوزیت نقره-سیلیکات

در این فرایند ابتدا نانوذرات نقره با استفاده از روش زیر تهیه شدند. برای این منظور ابتدا ۴۱ میلی گرم نیترات نقره ($AgNO_3$) (۶۰۰ میکرومولار) در ۲۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه حل شده و به مدت ۱۵ دقیقه تا دمای ۶۰ درجه سانتیگراد گرم می شود. سپس ۵ میلی لیتر محلول سدیم سیترات با غلظت ۱۲/۲ میلی مولار به صورت قطره‌ای به محلول فوق و تحت شرایط هم زدن اضافه شد. پس از ۱۰ دقیقه، pH محلول را با افزودن چند قطره NH_3 به ۹-۱۱ تنظیم شد و سپس مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط جوشیدن نگه داشته و در نهایت در دمای اتاق خنک خواهد شد. تغییر رنگ محلول از رنگ زرد به رنگ مشکی نشان دهنده آماده سازی موفقیت آمیز نانوذرات نقره است ($AgNPs$). مخلوط حاصل دو بار (۱۱۰۰۰ دور در دقیقه، ۲۰ دقیقه) سانتریفیوژ شده و مجدداً در ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه شده پراکنده می شود.

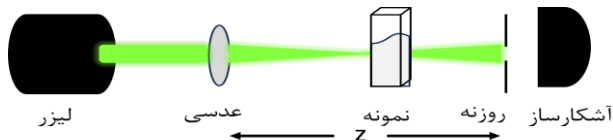
نانوذرات نقره پوشش داده شده با سیلیکات ($AgNPs@TEOS$) با استفاده از یک روش ارائه شده در مطالعات قبلی تهیه شد. [۱۳، ۱۴] برای این منظور در ابتدا ۲/۵ میلی لیتر محلول پلی وینیل پیریلیدون (PVP) (۱۲/۸ میلی گرم بر میلی لیتر) به آرامی به مخلوط $AgNPs$

اضافه شد و سپس مخلوط واکنش در دمای محیط و به مدت ۲۴ ساعت در شرایط هم زدن نگه داشته شد. رسوبات تهیه شده از نانوذرات نقره اصلاح شده با PVP با سانتریفیوژ (۱۱۰۰۰ دور در دقیقه، ۲۰ دقیقه) جمع‌آوری و در ۱۰ میلی لیتر حلال ۲-پروپانول دیسپرس شدند. در مرحله بعد، ۲ میلی لیتر تترا اتیل اورتوسیلیکات (TEOS) (۱۰ درصد حجمی/حجمی در اتانول) اضافه شد و سپس مخلوط به مدت ۴ ساعت دیگر در شرایط هم زدن شدید نگه داشته شد، تا از تشکیل نانوذرات نقره پوشش داده شده با سیلیکات ($AgNPs@TEOS$) اطمینان حاصل شود. نانساختار به دست آمده با سانتریفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه جمع‌آوری شد و مجدداً در ۱۰۰ میلی لیتر اتانول پراکنده شد.

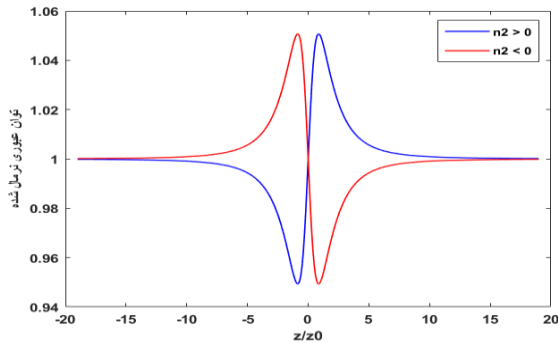
۲-۱-۲- تهیه نانوکامپوزیت $AgNPs@TEOS$ کنژوگه شده با کربوکسیلیک ایمیدازول

پس از تهیه محلول ۴-کربوکسیلیک ایمیدازول با غلظت mg/mL ۳۰، جهت فعال شدن گروه کربوکسیلیک اسید این ترکیب به محلول تهیه شده ۱۰۰ mg EDC و ۸۰ mg اضافه شد. pH محلول حاصل با استفاده سود ۲ نرمال در ۹-۸ تنظیم، و در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۴ ساعت در شرایط هم زدن نگه داشته شد. در ادامه محلول حاصل را به آرامی به محلول نانوکامپوزیت $AgNPs@TEOS$ اضافه می شود و محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در شرایط قبلی نگه داشته شد تا نانوکامپوزیت $AgNPs@TEOS$ کنژوگه شده با کربوکسیلیک ایمیدازول به عنوان فرمولاسیون نهائی ($AgNPs@TEOS-IM$) تهیه شدند. در ادامه جهت خاص سازی نانوذرات تهیه شده از کیسه دیالیز KDa ۱۲، جهت دیالیز نمونه سنتز شده استفاده شد. موفقیت آمیز بودن نانوکامپوزیت تهیه شده ($Ag@TEOS-IM NPs$) و با استفاده از تکنیک های DLS و FTIR و بررسی شد. همچنین به منظور بررسی کارایی این نانوذرات در حذف فلزات سنگین (آرسنیک) از طیف سنج جذب اتمی (AAS) استفاده شده است.

در ادامه مقادیر مختلف (۰.۲، ۰.۵، ۱، ۱.۵) میلی گرم از نانوذرات تولید شده را به ۱ میلی لیتر آب (حلال) افزوده و در حمام اولتراسونیک قرار داده‌ایم تا همگن شوند. با استفاده از نمک آرسنیک (As_2O_3) محلول ۵ppm آرسنیک را تهیه کرده و دوباره مقادیر بیان شده از

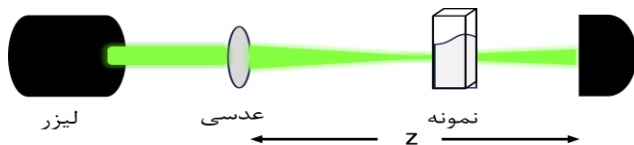


شکل ۲: شماتیک حیدروستات، روش محوری، درجه بسته

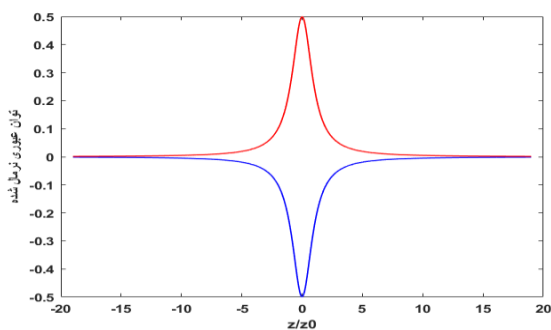


شکل ۳: نمودار شکست غیر خطی

حال اگر در همین روش روزنه را باز گذاشته و آشکار ساز را به نمونه نزدیک کنیم که پراکندگی به حداقل مقدار خود برسد و آزمایش را تکرار کنیم، می‌توانیم با رسم نمودار شدت نرمالیزه شده برحسب مکان نمونه، نمودار ضریب جذب غیر خطی را مشاهده کنیم. (شکل ۵)



شکل ۴: شماتیک چیدمان روش محوری درجه باز



شکل ۵: نمودار جذب غیر خطی

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی سائز هیدرودینامیکی

از دستگاه پراکندگی دینامیک نور (DLS) برای مشخصه یابی ذرات سنتز شده در مراحل مختلف استفاده گردید. نتایج به دست

نانوذرات Ag@TEOS-IM را به شیوه قبل به این محلول اضافه کردیم.

۲-۲- جذب خطی

برای محاسبه ضریب جذب خطی (α) نمونه‌ها از رابطه زیر (معروف به بیر-لامبرت) استفاده می‌کنیم.

$$P = P_0 e^{-\alpha L} \quad (1)$$

که در آن P توان ورودی نور به نمونه، P_0 توان خروجی و L طول نمونه است. در این روش مطابق شکل ۱ با استفاده از یک قطبشگر توان نور ورودی به نمونه را تغییر داده و با استفاده از نسبت تغییرات توان خروجی بر حسب توان ورودی، می‌توان ضریب جذب خطی را از طریق رابطه زیر محاسبه کرد.

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \frac{p_0}{p} \quad (2)$$



شکل ۱: شماتیک چیدمان جذب خطی

۲-۳- روش محوری (z-scan)

در این روش از حالت های روزنه بسته و باز چیدمان Z-scan به ترتیب برای محاسبه ضریب شکست و ضریب جذب غیر خطی استفاده می‌کنیم.

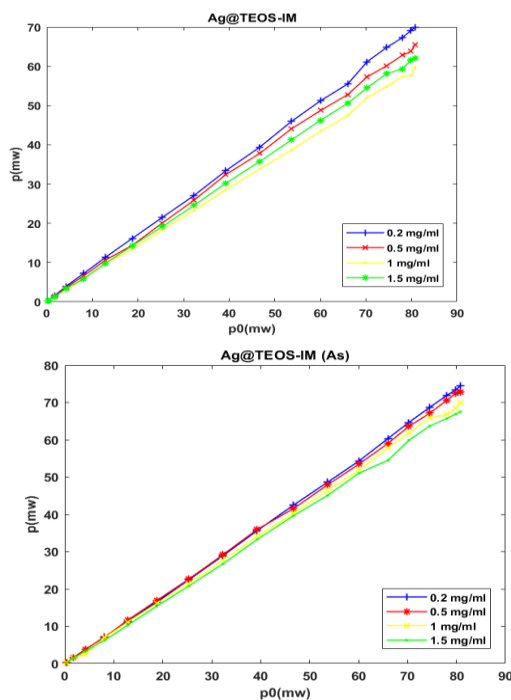
به این ترتیب با استفاده از یک عدسی همگرا نور لیزر را در نقطه کانونی عدسی متمرکز می‌کنیم. دسته پرتو پس از عبور از عدسی به نمونه ای که در فاصله کانونی عدسی قرار دارد برخورد کرده و در آخر به روزنه در انتهای ریل اپتیکی می‌رسد؛ با جابه‌جا کردن نمونه حول فاصله کانونی عدسی ($-Z$ تا $+Z$) تغییراتی در شدت نور فرودی به نمونه ایجاد می‌کنیم و پس از هر جابه‌جایی توان خروجی را توسط آشکار ساز ثبت می‌کنیم. پس از رسم نمودار شدت نرمالیزه شده برحسب مکان نمونه می‌توان نمودار شکست غیر خطی را مشاهده کرد. (شکل ۳)

(جدول ۱) و این کارایی این نانوذرات را در حذف آلودگی فلز سنگین آرسنیک در مایعات نشان می‌دهد.

جدول ۱: جذب اتمی آرسنیک

نمونه	As (mg.lit ⁻¹)
محلول آرسنیک	2.73
محلول آرسنیک با Ag@TEOS-IM NPs	0.45

همچنین ضریب جذب خطی نمونه‌های محلول نانوذرات به تنهایی و با آلودگی آرسنیک بررسی و نمودار آن رسم شده است. (شکل ۸) در هر دو نمونه با افزایش غلظت مقدار ضریب جذب خطی نیز افزایش یافته، اما محلول‌های آلوده به آرسنیک ضریب جذب کمتری دارند. (جدول ۲)



شکل ۸:

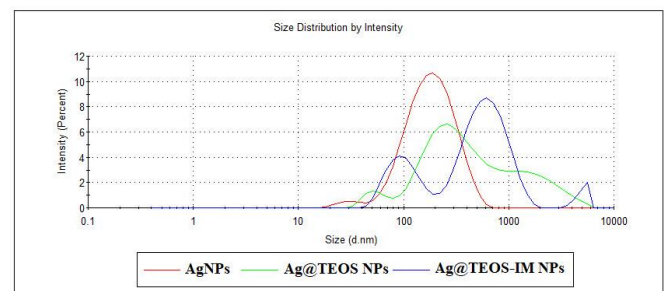
نمودار جذب خطی نمونه‌های بدون آلودگی و با آلودگی آرسنیک، توان خروجی بر حسب توان ورودی

جدول ۲: ضریب جذب خطی (α)

نمونه	Ag@TEOS-IM	Ag@TEOS-IM (As)
0.2 mg/ml	0.298 ± 0.001	0.163 ± 0.001
0.5 mg/ml	0.421 ± 0.001	0.203 ± 0.001
1 mg/ml	0.520 ± 0.001	0.276 ± 0.001
1.5 mg/ml	0.625 ± 0.001	0.335 ± 0.001

آمده از بررسی سائز هیدرودینامیکی نانوذرات تهیه شده، AgNPs، Ag@TEOS NPs، Ag@TEOS-IM NPs به ترتیب میانگین قطر هیدرودینامیکی ۱۴۸ nm، ۲۷۷.۸ nm و ۲۹۵.۵ nm را نشان می‌دهد، (شکل ۶) که با توجه به این اعداد قطر واقعی نانوذرات زیر ۱۰۰ nm است.

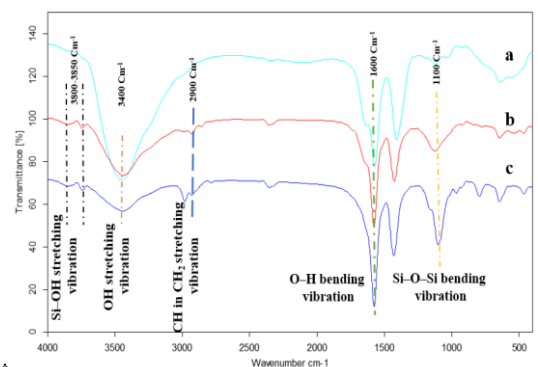
Size (d.nm): % Intensity: St Dev (d.nm):
 Z-Average (d.nm): 148.0 Peak 1: 201.6 97.5 100.8
 Pdl: 0.250 Peak 2: 31.67 2.5 7.481
 Intercept: 0.943 Peak 3: 0.000 0.0 0.000
 Result quality: Good



شکل ۶: مقایسه میانگین قطر هیدرودینامیکی نانوذرات تهیه شده

۲-۳- آنالیز طیف سنجی FTIR

بررسی گروه‌های عاملی جهت مشخصه‌یابی سنتز نانوذرات تهیه شده، با توجه به حضور ترکیبات Si-OH و Si-O-Si در نمودار C، به خوبی نشان می‌دهد که سنتز با موفقیت انجام شده است. (شکل ۷)

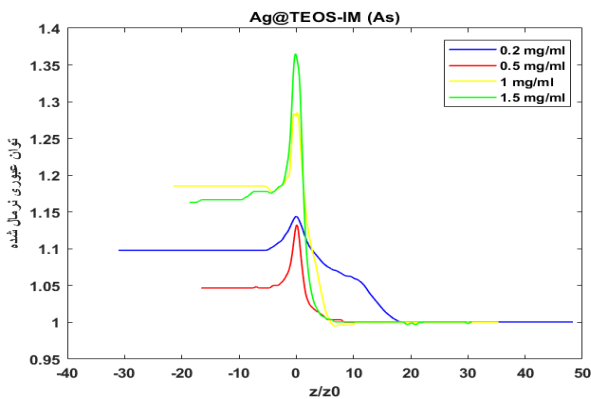
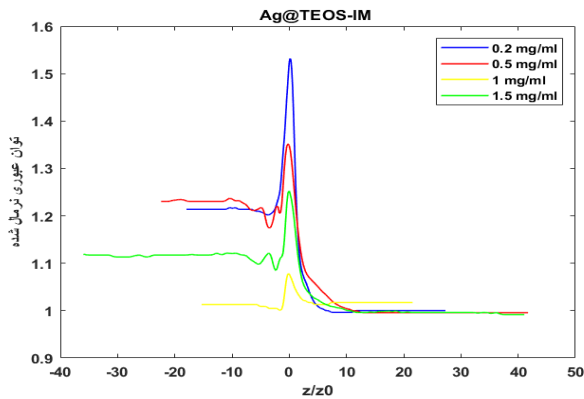


شکل ۷: طیف

سنج FTIR. طیف AgNPs (a)، طیف Ag@TEOS NPs (b)، طیف Ag@TEOS-IM NPs (c)

۳-۳- جذب اتمی (AAS)

آزمون جذب اتمی (AAS) از محلول آرسنیک به تنهایی و به همراه نانوذرات نقره سنتز شده انجام شده و مشخص شد که پس از افزودن نانوذرات به محلول مقدار آرسنیک کاهش یافته است



شکل ۱۰: نمودار نرمال شده جذب غیر خطی نمونه‌های بدون آلودگی و با آلودگی آرسنیک

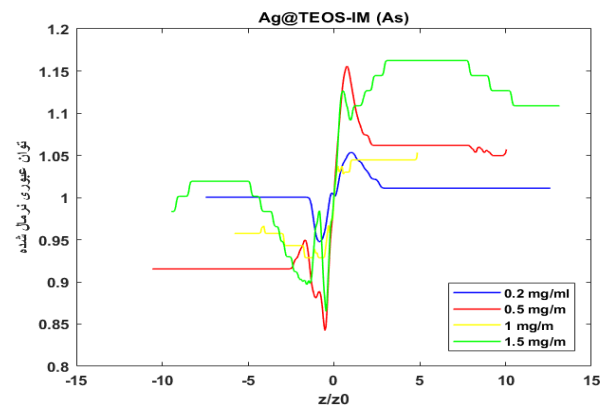
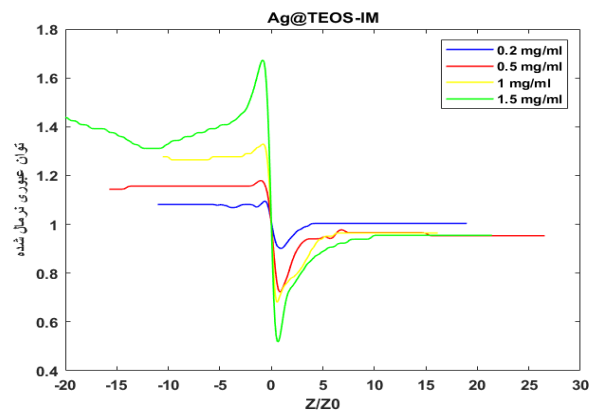
۴- جمع بندی

در این مقاله سنتز نانوذرات Ag@TEOS-IM به روش سبز گزارش شده، و بررسی طیف سنجی FTIR و سائز هیدرودینامیکی نشان می‌دهد سنتز نانوذرات به خوبی انجام شده است. ویژگی‌های اپتیکی خطی و غیر خطی این نانوذرات در غلظت‌های مختلف به تنهایی و به همراه فلز سنگین آرسنیک به عنوان آلودگی بررسی و گزارش شده‌اند. از تفاوت بین علامت ضریب شکست غیر خطی نمونه‌های بدون آلودگی و آلوده به آرسنیک، به عنوان یک ابزار تشخیص بدون آلودگی آرسنیک در مایعات می‌توان استفاده کرد. همچنین با توجه به نتایج جذب اتمی و ویژگی‌های اپتیکی مشخص شد که این نانوذرات می‌توانند کارایی خوبی در حذف فلز آرسنیک داشته باشند.

مراجع

- [1] K. A. Altammar, "A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges," *Frontiers in Microbiology*, vol. 14. Frontiers Media S.A., 2023. doi: 10.3389/fmicb.2023.1155622.

همچنین ویژگی‌های اپتیکی غیر خطی نمونه‌ها بررسی شده و نمودار شکست و جذب غیر خطی آورده شده است. از نمودارهای شکست غیر خطی (شکل ۹) مشخص است که ضریب شکست غیر خطی برای نمونه‌های بدون آلودگی منفی و برای نمونه‌های آلوده مثبت است، که این ویژگی می‌تواند به تشخیص آلودگی فلز سنگین آرسنیک در مایعات کمک کند؛ اختلاف توان عبوری بین نمونه‌ها نشان می‌دهد که قدر مطلق مقدار ضریب شکست غیر خطی برای نمونه‌های بدون آلودگی بزرگتر است. با توجه به نمودارهای جذب غیر خطی (شکل ۱۰) تمامی نمونه‌ها دارای جذب اشباع هستند.



شکل ۹: نمودار نرمال شده شکست غیر خطی برای نمونه‌های بدون آلودگی و با آلودگی آرسنیک

- [11] X. Zhang, Z. Liu, W. Shen, and S. Gurunathan, "Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches," 2016, doi: 10.3390/ijms17091534.
- [12] S. Gurunathan, J. H. Park, J. W. Han, and J. H. Kim, "Comparative assessment of the apoptotic potential of silver nanoparticles synthesized by *Bacillus tequilensis* and *Calocybe indica* in MDA-MB-231 human breast cancer cells: Targeting p53 for anticancer therapy," *Int. J. Nanomedicine*, vol. 10, pp. 4203–4223, 2015, doi: 10.2147/IJN.S83953.
- [13] L. Rainville, M. C. Dorais, and D. Boudreau, "Controlled synthesis of low polydispersity Ag@SiO₂ core-shell nanoparticles for use in plasmonic applications," *RSC Adv.*, vol. 3, no. 33, pp. 13953–13960, 2013, doi: 10.1039/c3ra41677a.
- [14] N. Sui *et al.*, "Preparation of core-shell silver/silica nanoparticles and their application for enhancement of cyanine 3 fluorescence," *Int. J. Nanosci.*, vol. 11, no. 4, 2012, doi: 10.1142/S0219581X12400200.
- [2] D. Guo, G. Xie, and J. Luo, "Mechanical properties of nanoparticles: basics and applications," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 47, no. 1, p. 13001, 2013.
- [3] Z. Zahra, Z. Habib, S. Chung, and M. A. Badshah, "Exposure route of TiO₂ nps from industrial applications to wastewater treatment and their impacts on the agro-environment," *Nanomaterials*, vol. 10, no. 8, pp. 1–22, 2020, doi: 10.3390/nano10081469.
- [4] J. Zhuang and R. W. Gentry, "Environmental application and risks of nanotechnology: A balanced view," *ACS Symp. Ser.*, vol. 1079, pp. 41–67, 2011, doi: 10.1021/bk-2011-1079.ch003.
- [5] A. Odoaba and S. Begi, "Biosensors for Determination of Heavy Metals in Waters".
- [6] N. S. R. Rosman, N. A. Harun, I. Idris, and W. I. Wan Ismail, "Nanobiotechnology: Nature-inspired silver nanoparticles towards green synthesis," *Energy Environ.*, vol. 32, no. 7, pp. 1183–1206, Nov. 2021, doi: 10.1177/0958305X21989883.
- [7] D. C. Tien *et al.*, "Novel technique for preparing a nano-silver water suspension by the arc-discharge method," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 18, no. 8, pp. 752–758, 2008.
- [8] G. Li, "and H. O.," vol. 24, no. 3, pp. 383–392, 1993.
- [9] B. Wiley, Y. Sun, B. Mayers, and Y. Xia, "Shape-Controlled Synthesis of Metal Nanostructures: The Case of Silver," pp. 454–463, 2005, doi: 10.1002/chem.200400927.
- [10] S. Signatures, "Polyhedral Silver Nanocrystals with Distinct Scattering Signatures**," pp. 4597–4601, 2006, doi: 10.1002/anie.200601277.

Investigating the optical properties of Ag@TEOS-IM nanostructure as arsenic absorbent

Y.Changae , S.Mohajer Mazandarani *, M.Gharbavi

Biophotonics Laboratory, Faculty of Physics, Kharazmi University, Karaj, Iran

Abstract: Silver nanoparticles due to their superior characteristics have special efficiency and importance in the industry. In this article, the design and preparation of a nanostructure (Ag@TEOS-IM) by the green synthesis method based on silver nanoparticles, as a suitable candidate to use in the detection and removal of heavy metals, is given. The success of the synthesis of nanoparticles was checked using DLS and FTIR techniques, and the atomic absorption spectrometer was used for the efficiency of these nanoparticles in removing heavy metals. Also, some linear and non-linear optical properties of Ag@TEOS-IM nanoparticles in different concentrations with and without heavy metal arsenic as pollution have been investigated and reported. Linear absorption of with and without arsenic contamination samples increased with increasing concentration, nonlinear refractive index was negative for contamination free samples and positive for contaminated samples, and all samples have saturated nonlinear absorption.

Keywords: nanoparticles, silver, green synthesis, optical properties, nonlinear optics, z-scan