لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۸، دورهٔ ۱۶، شمارهٔ ۲، صفحات: ۳۳-۲۷ .

مقاله پژوهشی

آشکارسازی گلوکز و فروکتوز با استفاده از طیف‌سنجی رامان و بسترهای پلاسمونیکی پوشش‌داده‌شده با نانوذرات طلا

وحید اسکندری [۱]
نفیسه شریفی [۲]

خلاصه

مقدمه: گلوکز و فروکتوز در بسیاری از مواد غذایی یافت می‌شوند و شناسایی آن‌ها در مواد غذایی و در کشاورزی دارای اهمیت است تا به کنترل بیماری‌هایی مانند بیماری دیابت کمک شود. از طرفی طیف‌سنجی رامان به کمک سطوح فلزی زبر می‌تواند برای شناسایی مقادیر اندک مواد گوناگون به‌کار گرفته شود. با قرار گرفتن گونه‌های مختلف در نزدیکی سطح فلز و جذب فیزیکی آن‌ها روی سطح فلزی، به علت برهم‌کنش میان پلاسمون‌های سطحی فلز و ارتعاش‌های مولکولی گونه‌ها شدت سیگنال رامان افزایش می‌یابد که در این مقاله برای شناسایی گلوکز و فروکتوز از این روش استفاده شده است.

روش بررسی: با استفاده از نمک طلا و عامل کاهندهٔ تری‌سدیم‌سیترات دوآبه، نانوذرات طلا به روش سادهٔ شیمیایی ساخته شدند و به روش قطره افشانی، زیرلایه‌های شیشه‌ای با نانوذرات طلا پوشش داده شدند تا بسترهای پلاسمونیکی ساخته شوند. در نهایت، با استفاده از این بسترهای پلاسمونیکی و طیف‌سنجی رامان، شدت رامان هر یک از ارتعاش‌های مولکولی گلوکز و فروکتوز بررسی شدند.

یافته‌ها: با مشاهدهٔ قلهٔ پلاسمونی ذرات ساخته‌شده در حدود ۵۲۰ نانومتر و مشاهدهٔ ساختار **FCC** در مشخصه‌یابی **XRD**، ساخت نانوذرات طلا تأیید شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی از بسترهای پلاسمونیک نشان می‌دهد تعداد زیادی از ذرات اندازهٔ بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر دارند هر چند ذرات کوچک‌تر تا اندازهٔ حدود ۵ نانومتر و ذرات بزرگ‌تر تا اندازهٔ حدود ۱۰۰۰ نانومتر نیز ساخته شده‌اند. زبری بسترهای پلاسمونیکی که حاصل از یکنواخت نبودن پوشش طلا است، منجر به پراکندگی نور از جزایر مشاهده‌شده در تصویر میکروسکوپ الکترونی می‌شود. با حکاکی گلوکز یا فروکتوز روی بسترهای پلاسمونیکی، به دلیل تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوذرات کوچک‌تر و پراکندگی نور از نانوذرات بزرگ‌تر طلا، ارتعاش‌های مولکولی گلوکز یا فروکتوز تقویت می‌شوند و شدت طیف **SERS** این دو در مقایسه با شدت طیف رامان آن‌ها افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: استفاده از بسترهای پلاسمونیکی طلای ساخته‌شده در طیف‌سنجی رامان به‌دلیل تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوذرات طلا و پراکندگی نور از ذرات طلای بزرگ‌تر،

۱. *کارشناس ارشد، پژوهشکدهٔ علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران*

۲. *استادیار، گروه لیزر و فوتونیک، دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران*

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-15]

سیگنال رامان ارتعاش‌های مولکولی گلوکز و فروکتوز را تقویت می‌کنند. بنابراین، انتخاب مناسبی برای آشکارسازی غلظت‌های مختلف گلوکز و فروکتوز به حساب می‌آیند تا بیماری دیابت کنترل شود. با کاهش غلظت گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی بسترهای پلاسمونیک، سیگنال‌های **SERS** نیز به‌دلیل کاهش تعداد ارتعاش‌های مولکولی کاهش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: بسترهای پلاسمونیک، نانوذرات طلا، طیف‌سنجی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی (**SERS**[1])، گلوکز، فروکتوز، ارتعاش‌های مولکولی

نویسندهٔ مسئول: نفیسه شریفی تلفن: ۰۳۱۵۵۹۱۳۲۲۰
پست الکترونیک: sharifi@kashanu.ac.ir

1. Surface-enhanced Raman spectroscopy

مقدمه

شناسایی و کنترل گلوکز و فروکتوز در کنترل بیماری دیابت، صنعت کشاورزی، غذا و صنایع فرآوری مورد توجه است که دستگاه‌های مختلفی از جمله طیف‌سنجی زیرقرمز و طیف‌سنجی رامان که ارتعاش‌های مولکولی آن‌ها را شناسایی می‌کنند، استفاده می‌شود. ازآن‌جایی‌که گونه‌های بیولوژیکی مانند گلوکز و فروکتوز در محیط‌های آبی قرار دارند و به‌دلیل فعال بودن ارتعاش‌های مولکولی آب، اندازه‌گیری با طیف‌سنجی زیرقرمز مناسب گونه‌های موجود در محیط آبی نیست و طیف‌سنجی رامان گزینهٔ مناسب برای تشخیص گونه‌های بیولوژیکی است[۱،۲،۳و۴]. اما، به دلیل ضعیف بودن ذاتی سیگنال حاصل از پراکندگی رامان، مطالعهٔ مواد با غلظت‌های اندک عملاً امکان‌پذیر نیست[۵] که روش پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی (SERS) یکی از روش‌های کارآمد برای تشخیص و شناسایی مقادیر اندک و حتی شناسایی تک مولکول است[۶ و۷]. در این روش، با قرار گرفتن گونه‌ها در نزدیکی سطح و یا جذب فیزیکی آن‌ها روی نانوذرات فلزی، به علت برهم‌کنش میان پلاسمون‌های سطحی فلز و گونه‌ها، شدت سیگنال رامان افزایش می‌یابد و بدین‌ترتیب SERS می‌تواند برای تشخیص سریع و دقیق گونه‌های بیولوژیکی استفاده شود [۸ و۹]. در اینجا پس از ساخت نانوذرات طلا، این ذرات با استفاده از روش سادهٔ قطره افشانی برروی زیرلایهٔ شیشه‌ای قرار گرفتند تا با ساخت بسترهای فعال در SERS، گلوکز و فروکتوز شناسایی شوند. این حسگر در مقایسه با سایر روش‌های شناسایی با صرف هزینه‌های کمتر می‌تواند گلوکز و فروکتوز موجود در مواد غذایی و حتی خون را شناسایی کند.

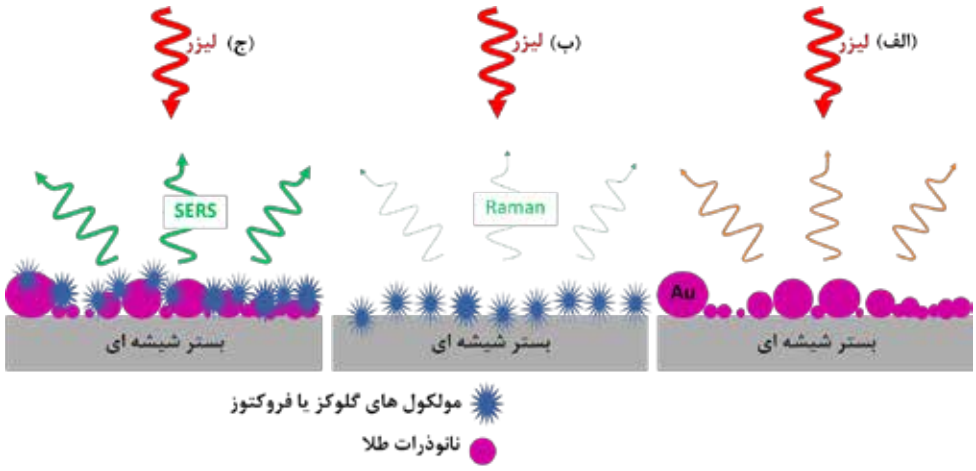
شکل ۱، طرح‌وارهٔ آشکارسازی مولکول‌های گلوکز و فروکتوز را نشان می‌دهد که الف) بستر پلاسمونیکی، ب) زیرلایهٔ شیشه‌ای حکاکی‌شده با مولکول‌های گلوکز و فروکتوز و ج) بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با مولکول‌های گلوکز و فروکتوز است که با تابش نور لیزر با طول‌موج ۵۳۲ نانومتر، سیگنال نور رامان پراکنده‌شده اندازه‌گیری می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود سیگنال رامان پراکنده‌شده از بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با گلوکز یا فروکتوز قوی‌تر از سیگنال رامان حاصل از گلوکز یا فروکتوز حکاکی‌شده روی زیرلایهٔ شیشه‌ای است. درواقع، با تابش نور (لیزر) به سطح ناصاف فلز، در اثر تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوساختارهای فلزی به‌وسیلهٔ میدان الکترومغناطیسی لیزر، میدان‌های الکتریکی ارتقاءیافته در اطراف فلز ایجاد می‌شود[۱۰و۱۱] گویی میدان الکتریکی حاصل از تابش نور لیزر تقویت شده است. بنابراین، مولکولی که در این میدان الکتریکی ارتقاءیافته قرار می‌گیرد، بیشتر قطبیده می‌شود و در نتیجه سیگنال رامان آن بهبود می‌یابد[۱۲]. درادامه، روش ساخت بسترهای پلاسمونیکی، حکاکی آن‌ها با گلوکز و فروکتوز، ساخت حسگر و نتایج طیف رامان ارائه می‌شود.

روش بررسی

روش ساخت بسترهای پلاسمونیکی

قطعات شیشه‌ای با ابعاد ۲ cm × ۲ cm پس‌از شستشو با شوینده و آب، با استون شستشو داده شدند که هم‌زمان از امواج فراصوت نیز استفاده شد. پس از خشک شدن این زیرلایه‌ها در دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در کوره حرارت‌دهی داده شدند تا آلودگی‌های آلی نیز از سطح شیشه حذف شوند و سطح آن‌ها آب‌دوست شوند. ساخت نانوذرات طلا، به ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۱ mM نمک طلای $HAuCl_4$ در حال جوش و هم‌خوردن، ۲ میلی‌لیتر محلول ۳۸/۸ mM از محلول تری‌سدیم‌سیترات دوآبه ($NaC_6H_5O_7.H_2O$) اضافه شد که کلوئید ارغوانی‌رنگ نهایی حاوی نانوذرات طلا است. سپس، ۱۰۰ میکرولیتر از این کلوئید روی زیرلایه‌های شیشه‌ای پخش و در دمای آزمایشگاه خشک

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-15]



شـــکل۱: طرح‌وارۀ آشکارسازی و مشـــاهده الف) سیگنال رامان حاصل از بستر پلاسمونیکی، ب) ســـیگنال رامان حاصل از مولکول‌های گلوکز یا فروکتوز حکاکی‌شده روی زیرلایۀ شیشه‌ای، ج) سیگنال SERS مولکول‌های گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی بســـتر پلاسمونیکی که بهبود سیگنال رامان مولکول‌های گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی بستر پلاسمونیکی نسبت به سیگنال رامان مولکول‌های گلوکز یا فروکتوز که در معرض تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوذرات طلا قرار نگرفته است را نمایش می‌دهد.

شـــدند تا بستر پلاسمونیکی آماده شـــوند. به هدف آشکارسازی گلوکز و فروکتوز، ابتدا غلظت M ۰/۱ آن‌ها ساخته شد و سپس غلظت‌های 10^{-2}، 10^{-3}، 10^{-4}، 10^{-5} و 10^{-6} مـــولار با اســـتفاده از آن تهیه شـــد. درادامه ۱۰ میکرولیتر از هرکدام از غلظت‌ها به‌صورت جداگانه برروی بســـترهای پلاســـمونیکی قرار گرفتند و در معرض هوا خشک شدند و طیف رامان و SERS نمونه‌های ساخته‌شده بررسی شدند.

مشخصه‌یابی

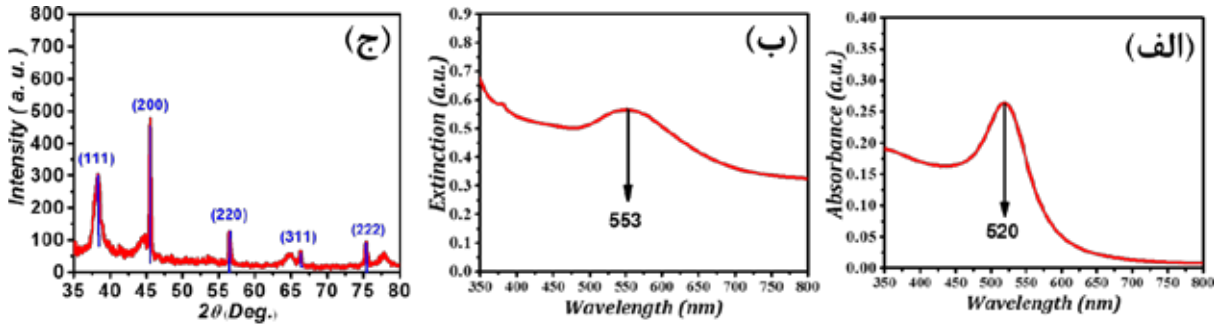
طیف‌ســـنجی UV-Vis و الگوی پراش پرتوی X پوشش طلا به‌ترتیب به‌وســـیلۀ دســـتگاه Perkin-Elmer مدل Lambda25 و دســـتگاه X Pert -Pro ساخت شرکت Panalytical کشور هلند با پرتوی تک‌فام Cu Kα بـــا طول‌موج ۰/۱۵۴ نانومتر، جریان ۴۰ میلی‌آمپر و با ولتاژ ۴۰ کیلوولت در دمای اتاق انجام شـــد. تصویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FE-SEM) بســـتر پلاسمونیکی به‌وســـیلۀ دستگاه Hitachi مدل S4160 انجام شـــد. تصویر میکروســـکوپ نیروی اتمی (AFM) نمونه‌ها نیز با اســـتفاده از دستگاه شرکت نانوسیستم پارس ساخت ایران بررسی شد. دستگاه طیف‌ســـنجی رامان دستگاه رامان Takram مدل P50C0R10 ساخت شرکت تکســـان با تابش نور لیزر Nd :YAG با طول‌مـــوج ۵۳۲ نانومتر و توان خروجی قابـــل تنظیم ۷۵ میلی‌وات برای اندازه‌گیری طیف رامان و طیف SERS نمونه‌ها استفاده شد.

یافته‌ها

طیف جذب کلوئید طلا، طیف خاموشـــی بســـتر پلاسمونیک و الگوی XRD نانوذرات طلا

شـــکل۲-الف طیف جذب نانوذرات طلا ساخته‌شده به روش شیمیایی با عامل کاهندۀ تری‌ســـدیم ســـیترات دوآبه را نشان می‌دهد. ظاهر شدن قلۀ تشـــدید پلاســـمونی در ۵۲۰ نانومتر، تشـــکیل نانوذرات طلا را تأیید می‌کند[۱۳]. شکل۲-ب طیف جذب بستر پلاسمونیکی را نشان می‌دهد. قلۀ تشـــدید پلاســـمونی در طول‌موج ۵۵۳ نانومتر حضور نانوساختارهای طلا را برروی زیرلایۀ شیشـــه نشـــان می‌دهد. مشاهدۀ یک قلۀ جذبی در طیف‌های جذبی نانوذرات پلاســـمونیک مانند طلا و نقره بیانگر کروی یا شـــبه کروی بودن نانوذرات اســـت[۱۴]. همان‌طورکه مشاهده می‌شود با نشاندن نانوذرات طلا روی زیرلایۀ شیشه‌ای با تغییر محیط دربردارندۀ این ذرات که از آب به شیشـــه و هوا تغییر می‌کند، قلۀ پلاسمونی جابه‌جایی را تجربـــه می‌کند و ارتفاع آن کاهـــش و پهنای قله نیز افزایش می‌یابد به این دلیل که موقعیت قلۀ پلاسمونی به ضریب شکست محیط دربردارنده آن وابســـته است[۱۵]. بر خلاف محلول کلوئیدی پایدار که نانوذرات طلا در داخل محلول آبی پراکنده هستند و به فاصله‌های مشخصی از یکدیگر قرار دارند، با قرار گرفتن نانوذرات طلا روی زیرلایۀ شیشه‌ای، حین خشک شـــدن، ذرات در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند و کلوخه‌هایی متشـــکل از چندین نانوذره روی بســـتر شـــکل می‌گیرد به‌گونه‌ای که می‌توان این کلوخه‌هـــا را ذرات بزرگ‌تری درنظر گرفت که منجـــر به افزایش پهنای طیف می‌شـــود[۱۵]. کاهش شدت قله نیز ناشی از پراکندگی نور از ذرات کلوخه شـــده اســـت[۱۵]. این که زمینۀ طیف خاموشی (طیف جذب + طیف پراکندگی) بســـتر پلاسمونیکی در مقایسه با طیف جذب در مقادیر بالاتری رخ داده اســـت، ناشـــی از بازتاب و پراکندگی نور از سطح شیشه اســـت. شـــکل-۲ ج، الگوی پراش اشـــعۀ ایکس نانوذرات طلا است که با مشـــاهدۀ بزرگ‌ترین و اصلی‌تریـــن قله‌ها در زاویـــۀ 2θ برابر با ۳۸/۳۸، ۴۵/۵۲، ۵۶/۵۰، ۶۶/۴۱ و ۷۵/۴۲ درجـــه کـــه به‌ترتیب مربوط به صفحات بلوری (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱) و (۲۲۲) است؛ ساختار FCC طلا را تأیید می‌کند.

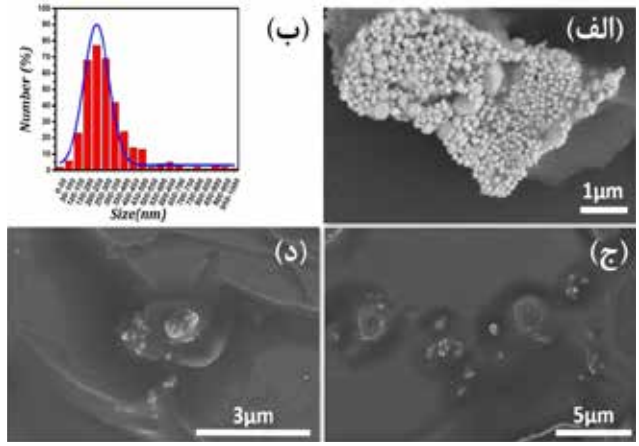
[Downloaded from icml.ir on 2026-11-15]



شکل۲: الف) طیف جذب نانوذرات طلا ساخته‌شده به روش شیمیایی با عامل کاهندهٔ تری‌سدیم سیترات دوآبه با بیشینهٔ جذب در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر، ب) طیف خاموشی بستر پلاسمونیکی با بیشینهٔ جذب در طول‌موج ۵۵۳ نانومتر و ج) الگوی پراش اشعهٔ ایکس نانوذرات طلا

تصویر FE-SEM بستر پلاسمونیکی و پوشش گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی بسترهای پلاسمونیکی

در شـــکل ۳- الف تصویر FE-SEM بســـتر پلاســـمونیکی مشـــاهده می‌شود پوشش طلای ایجادشـــده به‌صورت یک‌پارچه و یکنواخت نیست و مجموعه‌ای از ذرات کروی یا شـــبه کروی در بخش‌های مختلف زیرلایهٔ شیشـــه‌ای به مانند جزایر مشاهده می‌شود که توزیع اندازهٔ ذرات در شکل ۳- ب نشان می‌دهد که ذرات طلا اندازه‌های بین ۵ تا ۱۰۰۰ نانومتر دارند و تعداد زیادی ذره با اندازه ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر مشاهده می‌شود. نانوذرات پلاســـمونیکی کوچک‌تر، میدان‌های الکتریکی نزدیک قابل توجهی ایجاد می‌کنند که حاصل تشدید پلاســـمون‌های سطحی طلا است و نانوذرات بزرگ‌تـــر، میدان‌های الکتریکی نزدیک ناچیز دارند و نور تابیده‌شـــده به آن‌ها از ســـطح آن‌ها پراکنده می‌شـــود یا میدان الکتریکی دور را تقویت می‌کنند[۱۶و۱۷]. شـــکل-۳ ج و د، به‌ترتیب تصویر FE-SEM بســـتر پلاســـمونیکی حکاکی‌شده به‌وســـیلهٔ گلوکز و فروکتوز را نشان می‌دهد. بخش‌هایی از تصویر که به رنگ ســـفید مشـــاهده می‌شود، قسمت‌هایی از نانوذراتی هســـتند که در زیر پوشش گلوکز و فروکتوز دفن نشده یعنی

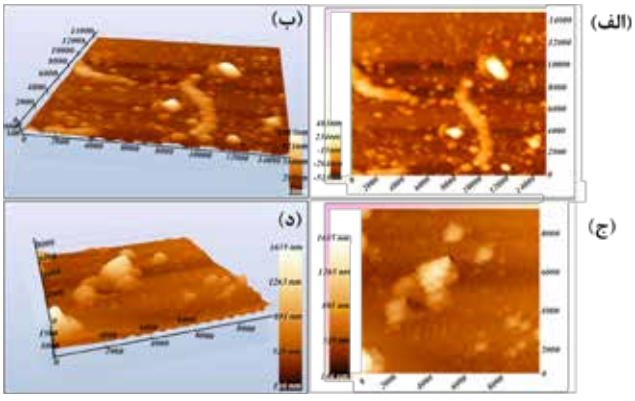


شـــکل۳: الف) تصویر FE-SEM بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شـــده با نانوذرات طلا، ب) توزیع اندازهٔ ذرات طلا بستر پلاســـمونیکی مشاهده‌شده در الف، تصاویر FE-SEM ج) بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با گلوکز و د) بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با فروکتوز.

این بخش از جزایر با گلوکز و فروکتوز پوشـــیده نشـــده اســـت. بنابراین می‌توان گفت پوشش گلوکز و فروکتوز تقریباً به طور یکنواخت روی بستر پلاسمونیک را پوشانده است.

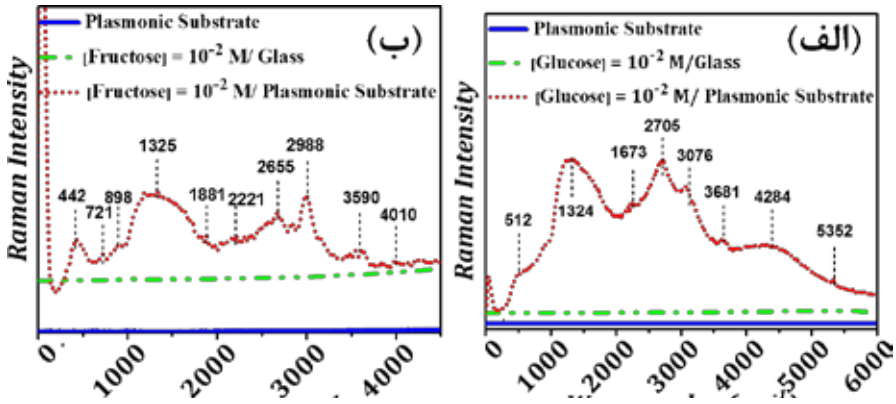
تصویر AFM بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با گلوکز و فروکتوز

شـــکل -۴ الف و ب به ترتیب تصویر AFM دوبعدی و سه‌بعدی بستر پلاســـمونیکی حکاکی‌شـــده با گلوکـــز، ج) تصویر دوبعـــدی و د) تصویر سه‌بعدی بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شـــده با فروکتوز را نشان می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار Image Plus، میانگین زبری ۱۶/۹ و ۲۱/۹ نانومتر، میانگین مرتفع‌ترین زبری ۱۳۷/۸ و ۱۵۶/۸ نانومتر و میانگین عمیق‌ترین زبری ۲۴/۳ و ۳۱/۳ نانومتر به‌ترتیب برای بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با گلوکز و فروکتوز به‌دســـت آمد که نشان می‌دهد به دلیل یکسان بودن بسترهای پلاســـمونیکی، پســـتی و بلندی مشـــابهی در هر دو مشاهده می‌شـــود. بخش‌هایی از تصویر که به رنگ روشن‌تر دیده می‌شوند حضور نانوذرات طلا را نشـــان می‌دهند که جزایر کوچک‌تر و بزرگ‌تری را روی سطح شیشه تشکیل داده‌اند. زبری سطحی که با نانوذرات طلا روی سطح شیشه ایجاد کرده‌اند، می‌تواند باعث تقویت سیگنال رامان شود[۱۸].



شکل۴: تصاویر AFM الف) دوبعدی و ب) ســـه‌بعدی بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با گلوکز. تصاویر ج) دوبعدی و د) سه‌بعدی بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با فروکتوز

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-15]



شـــکل۵: الف) طیف رامان (نمودار آبی) بستر پلاســـمونیکی، طیف رامان (نمودار سبز) گلوکز با غلظت ۲-۱۰ مولار حکاکی‌شده روی شیشه و طیف SERS (نمودار قرمز) گلوکز با غلظت ۲-۱۰ مولار حکاکی‌شـــده روی بستر پلاسمونیکی و ب) طیف رامان (نمودار آبی) بستر پلاسمونیکی، طیف رامان (نمودار سبز) فروکتوز با غلظت ۲-۱۰ مولار حکاکی‌شده روی شیشه و طیف SERS (نمودار قرمز) فروکتوز با غلظت ۲-۱۰ مولار حکاکی‌شده روی بستر پلاسمونیکی

طیف رامان و آشکارسازی گلوکز و فروکتوز

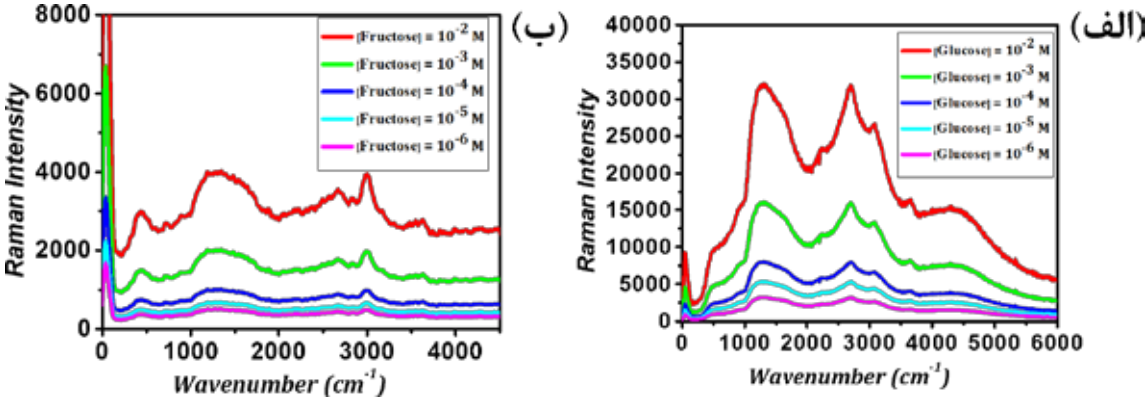
طیـف رامان بســتر پلاســمونیکی، طیف رامـــان زیرلایهٔ شیشـــه‌ای حکاکی‌شـــده با گلوکز و طیف SERS بســـتر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با گلوکز در شـــکل -۵ الف مشاهده می‌شود. شکل -۵ ب نیز طیف رامان بستر پلاسمونیکی، طیف رامان زیرلایهٔ شیشه‌ای حکاکی‌شده با فروکتوز و طیف SERS بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با فروکتوز را نشان می‌دهد. همان‌طورکه دیده می‌شود سیگنال SERS گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی بســتر پلاسمونیکی در مقایسه با ســیگنال رامان گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی زیرلایهٔ شیشه‌ای بهبود یافته است. این بهبود هم ناشی از پراکندگی نور از نقاط زبر روی ســـطح یعنی پراکندگی نور از نانوذرات بزرگ‌تر طلا اســـت که روی شیشه قرار گرفته‌اند (شکل ۴) و هم ناشی از تشدید پلاسمون‌های سطحی ذرات کوچک‌تر یا میدان‌های نزدیک اطراف این نانوذرات اســـت. نانوذرات کوچک‌تر به مانند لنز، نور لیزر تابیده شده را در اطـــراف خود متمرکز می‌کنند و بـــا قرارگیری گلوکز یا فروکتوز در اطراف نانوذرات، شدت میدان قوی را تجربه می‌کنند و قطبیده‌تر می‌شوند و در نتیجه ارتعاش‌های مولکولی آن‌ها تقویت می‌شـــود و ســـیگنال‌های پرشدت‌تری را نشـــان می‌دهند[۱۹و۲۰]. اعداد نمایش‌داده‌شده در شکل ۵، عـــدد موج متناظر با ارتعاش‌های مولکولی گلوکز و فروکتوز را نشـــان می‌دهد که در جدول ۱ آورده شده است.

شـــکل -۶ الف، طیف SERS گلوکز حکاکی‌شده با غلظت‌های مختلف 10^{-2}، 10^{-3}، 10^{-4}، 10^{-5} و 10^{-6} مـــولار را نشـــان می‌دهـــد. با کاهش غلظت، شـــدت ســـیگنال‌های SERS گلوکز نیز کاهـــش می‌یابد به این دلیل که بـــا کاهش غلظت تعداد مولکول‌های گلوکـــز و در نتیجه تعداد ارتعاشـــات مولکولی آن نیز کاهش می‌یابد. در مورد فروکتوز حکاکی‌شده با غلظت‌های گوناگون 10^{-2}، 10^{-3}، 10^{-4}، 10^{-5} و 10^{-6} مولار نیز روندی مشابه مشاهده می‌شود.

جدول۱: ارتعاش‌های مولکولی و موقعیت آن‌ها برای گلوکز و فروکتوز[۲۱]

	ارتعاش‌های مولکولی گلوکز	موقعیت ارتعاش مولکولی گلوکز cm^{-1}	ارتعاش‌های مولکولی فروکتوز	موقعیت ارتعاش مولکولی فروکتوز cm^{-1}
۱	C-C-C (ارتعاشی)	۵۱۲	C-C-C (ارتعاشی)	۴۴۲
۲	CH , CH_2 (ارتعاشی)	۱۳۲۴	C-O (ارتعاشی)	۷۲۱
۳	C-C (ارتعاشی)	۱۶۷۳	C-C (ارتعاشی)	۸۹۸
۴	C-H (ارتعاشی)	۲۷۰۵	CH , CH_2 (ارتعاشی)	۱۳۲۵
۵	C-OH (ارتعاشی)	۳۰۷۶	C=O-H (ارتعاشی)	۱۸۸۱
۶	C-C-H (ارتعاشی)	۳۶۸۱	COH (ارتعاشی)	۲۲۲۱
۷	C-C (ارتعاشی)	۴۲۸۴	C-O (ارتعاشی)	۲۶۵۵
۸	C-C-O (ارتعاشی)	۵۳۵۲	C-OH (ارتعاشی)	۲۹۸۸
۹			C-C-H (ارتعاشی)	۳۵۹۰
۱۰			C-C (ارتعاشی)	۴۰۱۰

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-15]



شکل۶: طیف SERS الف) گلوکز و ب) فروکتوز با غلظت‌های 10^{-2}، 10^{-3}، 10^{-4}، 10^{-5} و 10^{-6} مولار حکاکی‌شده برروی بستر پلاسمونیک

نتیجه‌گیری

در ایـــن پژوهش، نانوذرات طلا با اســـتفاده از احیای شـــیمیایی نمک طلا ســـاخته شدند. ســـپس بســـترهای پلاســـمونیکی به روش ساده و ارزان قطره‌چکانی ســـاخته شدند و با اســـتفاده از زیرلایه‌های شیشه‌ای و بسترهای پلاسمونیکی و طیف‌سنجی رامان، اثر بسترهای پلاسمونیک بر آشکارســـازی گلوکز و فروکتوز که اثر قابل ملاحظه‌ای در کنترل بیماری دیابت دارند، بررســـی شد و مشاهده شد که ســـیگنال SERS گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی بستر پلاسمونیکی در مقایسه با سیگنال رامان گلوکز و فروکتوز حکاکی‌شده روی زیرلایهٔ شیشه‌ای به‌دلیل پراکندگی نور از نانوذرات بزرگ‌تر طلا و تشـــدید پلاسمون‌های سطحی ذرات کوچک‌تر تقویت شود و ارتعاش‌های مولکولی که در طیف رامان مشاهده نمی‌شوند، در طیف SERS ظاهر شـــوند. با کاهش غلظت گلوکز و فروکتوز به دلیل کاهش تعداد ارتعاش‌های مولکولی، شـــدت سیگنال‌ها نیز کاهش می‌یابد. بسترهای پلاسمونیکی معرفی‌شده در این پژوهش می‌توانند به تشخیص کم‌هزینـــه و زود هنگام بیماری‌های دیابت ناشـــی از گلوکز و فروکتوز و پاتوژن‌های موجود در مواد غذایی کمک کنند.

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-15]

References:

1. Shaw JE, Sicree RA, Zimmet PZ. Global estimates of the prevalence of diabetes for 2010 and 2030. Diabetes Research and Clinical Practice. 2010; 87: 4–14.

2. Sharma B, Bugga P, Madison LR, Henry AI, Henry MGX, Greeneltch NG, Chiang N, Mrksich M, Mrksich GCX, Richard P, Duyne V. Bisboronic Acids for Selective , Physiologically Relevant Direct Glucose Sensing with Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. JACS. 2016; 138(42):13952-9.

3. Moor TJ, Moody AS, Payne TD, Sarabia GM, Daniel AR. In Vitro and In Vivo SERS Biosensing for Disease Diagnosis. Biosensors. 2018; 8(2): 46.

4. Novais Â, Freitas AR, Rodrigues C, Peixe L. Fourier transform infrared spectroscopy : unlocking fundamentals and prospects for bacterial strain typing. European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases. 2018; 38: 427–48.

5. Duan N, Chang B, Zhang H, Wang Z, Wu S. Salmonella typhimurium detection using a surface-enhanced Raman scattering-based aptasensor. Int. J. Food Microbiology. 2016; 218: 38–43.

6. Wang C, Meloni MM, Wu X, Zhuo M, He T, Wang J, Dong P. Magnetic plasmonic particles for SERS-based bacteria sensing: A review. AIP Advances. 2019; 9: 010701.

7. Su SR, Chen YY, Li KY, Fang YC, Wang CH, Yang CY, Chau LK, Wang SC. Electrohydrodynamically enhanced drying droplets for concentration of Salmonella bacteria prior to their detections using antibody-functionalized SERS-reporter submicron beads. Sensors and Actuators B: Chemical. 2019; 283: 384-9.

8. Zhou H, Yang D, Ivleva NP, Mircescu NE, Niessner R, Haisch C. SERS detection of bacteria in water by in situ coating with Ag nanoparticles. Analytical chemistry. 2014; 86(3): 1525-33.

9. Mosier-Boss P. Review on SERS of Bacteria. Biosensors. 2017; 7(4): 51.

10. Ren B, Liu GK, Lian XB, Yang ZL, Tian ZQ. Raman spectroscopy on transition metals. Analytical and bioanalytical chemistry. 2007; 388: 29-45.

11. Matricardi C, Hanske C, Garcia-Pomar JL, Langer J, Mihi A, Liz-Marzan LM. Gold Nanoparticle Plasmonic Superlattices as Surface-Enhanced Raman Spectroscopy Substrates. ACS Nano. 2018; 12 (8): 8531-9.

12. Lin KQ, Yi J, Hu S, Liu BJ, Liu JY, Wang X, Ren B. Size effect on SERS of gold nanorods demonstrated via single nanoparticle spectroscopy. The Journal of Physical Chemistry C. 2016; 120(37): 20806-13.

13. Ngumbi PK, Mugo SW, Ngaruiya JM. Determination of Gold Nanoparticles Sizes via Surface Plasmon Resonance. IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC). 2018; 11: 25–9.

14. António M, Nogueira J, Vitorino R, Daniel-da-Silva A. Functionalized Gold Review Nanoparticles for the Detection of C-Reactive Protein. Nano materials. 2018; 8(4): 200.

15. Bohren CF, Huffman DR. Absorption and Scattering of Light by Small Particles. Wiley: New York, 1983.

16. Wang LR, Fang Y. IR-SERS study and theoretical analogue on the adsorption behavior of pyridine carboxylic acid on silver nanoparticles. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2006; 63: 614-8.

17. Canamares MV, Garcia-Ramos JV, Sanchez-Cortes S, Castillejo M, Oujja M. Comparative SERS effectiveness of silver nanoparticles prepared by different methods: A study of the enhancement factor and the interfacial properties. Journal of colloid and interface science. 2008; 326: 103-9.

18. Fujiwara K, Ogawa N. Aggregate Domain Growth of Gold Nanoparticle on Chemically Modified Glass Surface. Nanoscience and Nanotechnology. 2012; 12(8): 6596-8.

19. Chen HY, Lin MH, Wang CY, Chang YM, Gwo S. Large-scale hot spot engineering for quantitative SERS at the single-molecule scale. Journal of the American Chemical Society. 2015; 137(42): 13698-705.

20. Granger JH, Schlotter NE, Crawford AC, Porter MD. Prospects for point-of-care pathogen diagnostics using surface-enhanced Raman scattering (SERS). Chemical Society Reviews. 2016; 45: 3865-82.

21. Stefan S, ROOS Y, Meinander N, Hotokka M. Raman Spectra of Fructose and Glucose in the Amorphous and CrystallineStates.RamanSpectroscopy.1999;1018:1009–18.

[Downloaded from icml.ir on 2026-11-15]