

آشکار سازی گلوکز و فروکتوز با استفاده از طیف سنجی رامان و بسترهای پلاسمونیک پوشش داده شده با نانوذرات طلا

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 به کار 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 کاهنده تری‌سدیم‌سیترات دوآبه، نانوذرات طلا به روش ساده شیمیایی ساخته شدند و به روش قطره افشانی، زیر لایه‌های شیشه‌ای با نانوذرات طلا پوشش داده شدند تا بسترهای پلاسمونیک ساخته شوند. در نهایت، با استفاده از این بسترهای پلاسمونیک و طیف‌سنجی رامان، شدت رامان هر یک از ارتعاش‌های مولکولی گلوکز و فروکتوز بررسی شدند.

یافته‌ها: با مشاهده قله پلاسمونی ذرات ساخته شده در حدود ۵۲۰ نانومتر و مشاهده ساختار FCC در مشخصه‌یابی XRD، ساخت نانوذرات طلا تأیید شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی از بسترهای پلاسمونیک نشان می‌دهد تعداد زیادی از ذرات اندازه بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر دارند هر چند ذرات کوچک‌تر تا اندازه حدود ۵ نانومتر و ذرات بزرگ‌تر تا اندازه حدود ۱۰۰۰ نانومتر نیز ساخته شده‌اند. زبری بسترهای پلاسمونیک که حاصل از یکنواخت نبودن پوشش طلا است، منجر به پراکندگی نور از جزایر مشاهده شده در تصویر میکروسکوپ الکترونی می‌شود. با حکاکی گلوکز یا فروکتوز روی بسترهای پلاسمونیک، 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 پلاسمونیک طلای ساخته شده در طیف‌سنجی رامان به دلیل تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوذرات طلا و پراکندگی نور از ذرات طلای بزرگ‌تر،

وحید اسکندری^۱
نفیسه شریفی^۲

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

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

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

واژه‌های کلیدی: بسترهای پلاسمونیک، نانوذرات طلا، طیف‌سنجی رامان ارتقاء یافته سطحی (SERS)، گلوکز، فروکتوز، ارتعاش‌های مولکولی

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

1. Surface-enhanced Raman spectroscopy

مقدمه

نانومتر، سیگنال نور رامان پراکنده شده اندازه‌گیری می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود سیگنال رامان پراکنده شده از بستر پلاسمونیک حکاکی شده با گلوکز یا فروکتوز قوی‌تر از سیگنال رامان حاصل از گلوکز یا فروکتوز حکاکی شده روی زیرلایه شیشه‌ای است. در واقع، با تابش نور (لیزر) به سطح ناصاف فلز، در اثر تشدید پلاسمون‌های سطحی نانو ساختارهای فلزی به وسیله میدان الکترومغناطیسی لیزر، میدان‌های الکتریکی ارتقاء یافته در اطراف فلز ایجاد می‌شود [۱۰ و ۱۱] گویی میدان الکتریکی حاصل از تابش نور لیزر تقویت شده است. بنابراین، مولکولی که در این میدان الکتریکی ارتقاء یافته قرار می‌گیرد، بیشتر قطبیده می‌شود و در نتیجه سیگنال رامان آن بهبود می‌یابد [۱۲]. در ادامه، روش ساخت بسترهای پلاسمونیک، حکاکی آن‌ها با گلوکز و فروکتوز، ساخت حسگر و نتایج طیف رامان ارائه می‌شود.

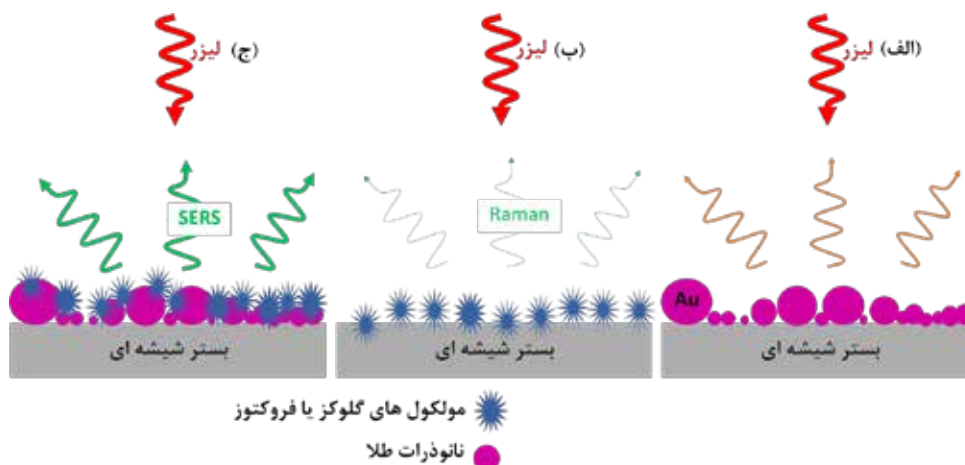
روش بررسی

روش ساخت بسترهای پلاسمونیک

قطعات شیشه‌ای با ابعاد $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ پس از 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 40°C درجه 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 20 میلی‌لیتر محلول 1 mM نمک طلا HAuCl_4 در حال جوش و هم‌خوردن، 2 میلی‌لیتر محلول $38/8\text{ mM}$ از محلول تری‌سدیم‌سیترات دوآبه ($\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) اضافه شد که کلئید ارغوانی‌رنگ نهایی حاوی نانوذرات طلا است. سپس، 100 میکرولیتر از این کلئید روی زیرلایه‌های شیشه‌ای پخش و در دمای آزمایشگاه خشک

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. از آنجایی که گونه‌های بیولوژیکی مانند گلوکز و فروکتوز در محیط‌های آبی قرار دارند و به دلیل فعال بودن ارتعاش‌های مولکولی آب، اندازه‌گیری با طیف‌سنجی زیرقرمز مناسب گونه‌های موجود در محیط آبی نیست و طیف‌سنجی رامان گزینه مناسب برای تشخیص گونه‌های بیولوژیکی است [۱، ۲، ۳ و ۴]. اما، به دلیل ضعیف بودن ذاتی سیگنال حاصل از پراکندگی رامان، مطالعه مواد با غلظت‌های اندک عملاً امکان‌پذیر نیست [۵] که روش پراکندگی رامان ارتقاء یافته سطحی (SERS) یکی از روش‌های کارآمد برای تشخیص و شناسایی مقادیر اندک و حتی شناسایی تک مولکول است [۶ و ۷]. 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 بدین ترتیب SERS می‌تواند برای تشخیص سریع و دقیق گونه‌های بیولوژیکی استفاده شود [۸ و ۹]. در اینجا پس از ساخت نانوذرات طلا، این ذرات با استفاده از روش ساده قطره افشانی بر روی زیرلایه 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، طرح‌واره آشکار سازی مولکول‌های گلوکز و فروکتوز را نشان می‌دهد که الف) بستر پلاسمونیک، ب) زیرلایه شیشه‌ای حکاکی شده با مولکول‌های گلوکز و فروکتوز و ج) بستر پلاسمونیک حکاکی شده با مولکول‌های گلوکز و فروکتوز است که با تابش نور لیزر با طول موج 532



شکل ۱: طرح‌واره آشکار سازی و مشاهده الف) سیگنال رامان حاصل از بستر پلاسمونیک، ب) سیگنال رامان حاصل از مولکول های گلوکز یا فروکتوز حکاکی شده روی زیر لایه شیشه‌ای، ج) سیگنال SERS مولکول های گلوکز و فروکتوز حکاکی شده روی بستر پلاسمونیک که بهبود سیگنال رامان مولکول های گلوکز و فروکتوز حکاکی شده روی بستر پلاسمونیک نسبت به سیگنال رامان مولکول های گلوکز یا فروکتوز که در معرض تشدید پلاسمون های سطحی نانوذرات طلا قرار نگرفته است را نمایش می دهد.

با عامل کاهنده تری سدیم سیترات دو آبه را نشان می دهد. ظاهر شدن قله تشدید پلاسمونی در ۵۲۰ نانومتر، تشکیل نانوذرات طلا را تأیید می کند [۱۳]. شکل ۲-ب طیف جذب بستر پلاسمونیک را نشان می دهد. قله تشدید پلاسمونی در طول موج ۵۵۳ نانومتر حضور نانوساختارهای طلا را بر روی زیر لایه شیشه نشان می دهد. مشاهده یک قله جذبی در طیف های جذبی نانوذرات پلاسمونیک مانند طلا و نقره بیانگر کروی یا شبه کروی بودن نانوذرات است [۱۴]. همان طور که مشاهده می شود با نشان دادن نانوذرات طلا روی زیر لایه شیشه ای با تغییر محیط در بردارنده این ذرات که از آب به شیشه و هوا تغییر می کند، قله پلاسمونی جابه جایی را تجربه می کند و ارتفاع آن کاهش و پهنای قله نیز افزایش می یابد به این دلیل که موقعیت قله پلاسمونی به ضریب شکست محیط در بردارنده آن وابسته است [۱۵]. بر خلاف محلول کلئیدی پایدار که نانوذرات طلا در داخل محلول آبی پراکنده هستند و به فاصله های مشخصی از یکدیگر قرار دارند، با قرار گرفتن نانوذرات طلا روی زیر لایه شیشه ای، حین خشک شدن، ذرات در مجاورت یکدیگر قرار می گیرند و کلوخه هایی متشکل از چندین نانوذره روی بستر شکل می گیرد به گونه ای که می توان این کلوخه ها را ذرات بزرگ تری در نظر گرفت که منجر به افزایش پهنای طیف می شود [۱۵]. کاهش شدت قله نیز ناشی از پراکندگی نور از ذرات کلوخه شده است [۱۵]. این که زمینه طیف خاموشی (طیف جذب + طیف پراکندگی) بستر پلاسمونیک در مقایسه با طیف جذب در مقادیر بالاتری رخ داده است، ناشی از بازتاب و پراکندگی نور از سطح شیشه است. شکل ۲-ج، الگوی پراش اشعه ایکس نانوذرات طلا است که با مشاهده بزرگ ترین و اصلی ترین قله ها در زاویه ۲θ برابر با ۳۸/۳۸، ۴۵/۵۲، ۵۶/۵۰، ۶۶/۴۱ و ۷۵/۴۲ درجه که به ترتیب مربوط به صفحات بلوری (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱) و (۲۲۲) است؛ ساختار FCC طلا را تأیید می کند.

شدند تا بستر پلاسمونیک آماده شوند. به هدف آشکار سازی گلوکز و فروکتوز، ابتدا غلظت ۰/۱ M آن ها ساخته شد و سپس غلظت های ۱۰^{-۲}، ۱۰^{-۳}، ۱۰^{-۴}، ۱۰^{-۵} و ۱۰^{-۶} مولار با استفاده از آن تهیه شد. در ادامه ۱۰ میکرو لیتر از هر کدام از غلظت ها به صورت جداگانه بر روی بسترهای پلاسمونیک قرار گرفتند و در معرض هوا خشک شدند و طیف رامان و SERS نمونه های ساخته شده بررسی شدند.

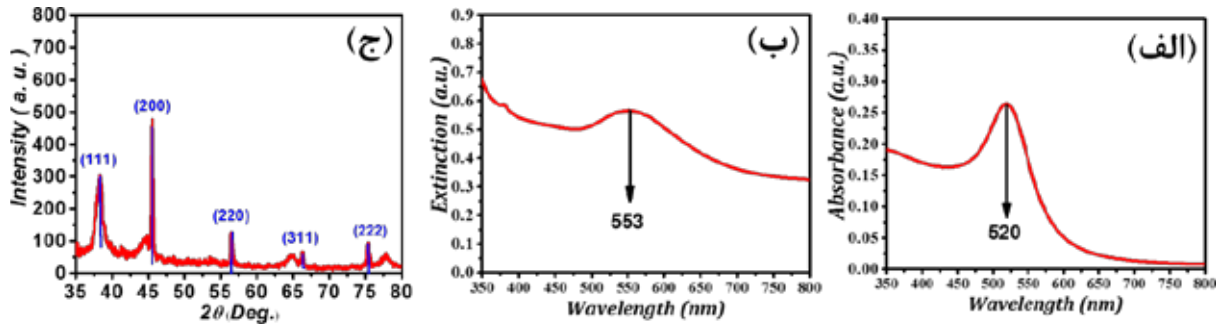
مشخصه یابی

طیف سنجی UV-Vis و الگوی پراش پرتوی X پوشش طلا به ترتیب به وسیله دستگاه Perkin-Elmer مدل Lambda25 و دستگاه X Pert-Pro ساخت شرکت Panalytical کشور هلند با پرتوی تک فام Cu Kα با طول موج ۰/۱۵۴ نانومتر، جریان ۴۰ میلی آمپر و با ولتاژ ۴۰ کیلوولت در دمای اتاق انجام شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FE-SEM) بستر پلاسمونیک به وسیله دستگاه Hitachi مدل S4160 انجام شد. تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) نمونه ها نیز با استفاده از دستگاه شرکت نانوسیستم پارس ساخت ایران بررسی شد. دستگاه طیف سنجی رامان دستگاه امان Takram مدل P50C0R10 ساخت شرکت تکسان با تابش نور لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر و توان خروجی قابل تنظیم ۷۵ میلی وات برای اندازه گیری طیف رامان و طیف SERS نمونه ها استفاده شد.

یافته ها

طیف جذب کلئید طلا، طیف خاموشی بستر پلاسمونیک و الگوی XRD نانوذرات طلا

شکل ۲-الف طیف جذب نانوذرات طلا ساخته شده به روش شیمیایی



شکل ۲: الف) طیف جذب نانوذرات طلا ساخته شده به روش شیمیایی با عامل کاهنده تری سدیم سیترات دوآبه با بیشینه جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر، ب) طیف خاموشی بستر پلاسموئیک با بیشینه جذب در طول موج ۵۵۳ نانومتر و ج) الگوی پراش اشعه ایکس نانوذرات طلا

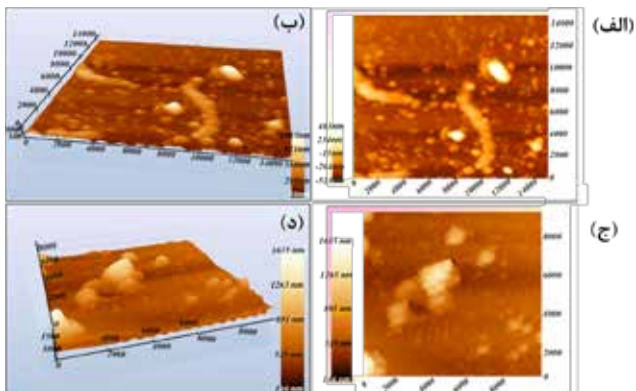
این بخش از جزایر با گلوکز و فروکتوز پوشیده نشده است. بنابراین می توان گفت پوشش گلوکز و فروکتوز تقریباً به طور یکنواخت روی بستر پلاسموئیک را پوشانده است.

تصویر AFM بستر پلاسموئیک حکاکی شده با گلوکز و فروکتوز

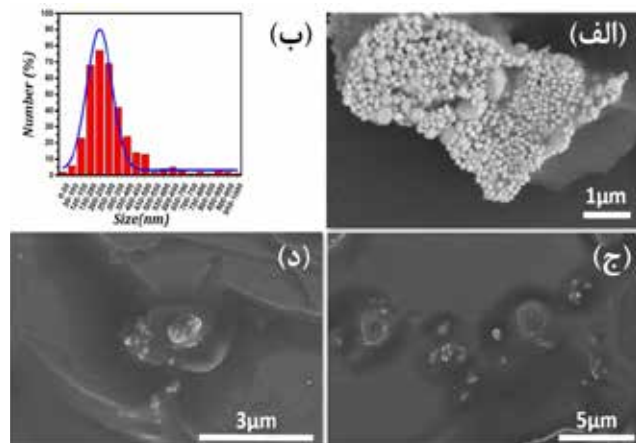
شکل ۴- الف و ب به ترتیب تصویر AFM دوبعدی و سه بعدی بستر پلاسموئیک حکاکی شده با گلوکز، ج) تصویر دوبعدی و د) تصویر سه بعدی بستر پلاسموئیک حکاکی شده با فروکتوز را نشان می دهد. با استفاده از نرم افزار Image Plus، میانگین زبری ۱۶/۹ و ۲۱/۹ نانومتر، میانگین مرتفع ترین زبری ۱۳۷/۸ و ۱۵۶/۸ نانومتر و میانگین عمیق ترین زبری ۲۴/۳ و ۳۱/۳ نانومتر به ترتیب برای بستر پلاسموئیک حکاکی شده با گلوکز و فروکتوز به دست آمد که نشان می دهد به دلیل یکسان بودن بسترهای پلاسموئیک، پستی و بلندی مشابهی در هر دو مشاهده می شود. بخش هایی از تصویر که به رنگ روشن تر دیده می شوند حضور نانوذرات طلا را نشان می دهند که جزایر کوچک تر و بزرگ تر را روی سطح شیشه تشکیل داده اند. زبری سطحی که با نانوذرات طلا روی سطح شیشه ایجاد کرده اند، می تواند باعث تقویت سیگنال رامان شود [۱۸].

تصویر FE-SEM بستر پلاسموئیک و پوشش گلوکز و فروکتوز حکاکی شده روی بسترهای پلاسموئیک

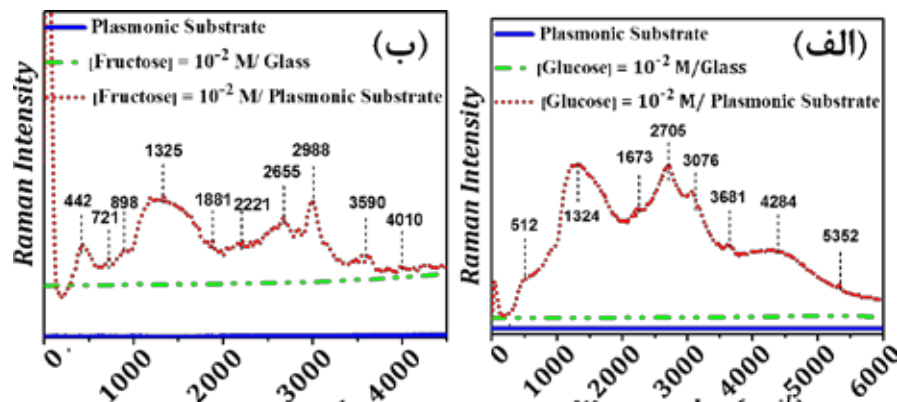
در شکل ۳- الف تصویر FE-SEM بستر پلاسموئیک مشاهده می شود پوشش طلای ایجاد شده به صورت یک پارچه و یکنواخت نیست و مجموعه ای از ذرات کروی یا شبه کروی در بخش های مختلف زیر لایه شیشه ای به مانند جزایر مشاهده می شود که توزیع اندازه ذرات در شکل ۳- ب نشان می دهد که ذرات طلا اندازه های بین ۵ تا ۱۰۰۰ نانومتر دارند و تعداد زیادی ذره با اندازه ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر مشاهده می شود. نانوذرات پلاسموئیک کوچک تر، میدان های الکتریکی نزدیک قابل توجهی ایجاد می کنند که حاصل تشدید پلاسمون های سطحی طلا است و نانوذرات بزرگ تر، میدان های الکتریکی نزدیک ناچیز دارند و نور تابیده شده به آن ها از سطح آن ها پراکنده می شود یا میدان الکتریکی دور را تقویت می کنند [۱۶ و ۱۷]. شکل ۳- ج و د، به ترتیب تصویر FE-SEM بستر پلاسموئیک حکاکی شده به وسیله گلوکز و فروکتوز را نشان می دهد. بخش هایی از تصویر که به رنگ سفید مشاهده می شود، قسمت هایی از نانوذراتی هستند که در زیر پوشش گلوکز و فروکتوز دفن نشده یعنی



شکل ۴: تصاویر AFM (الف) دوبعدی و ب) سه بعدی بستر پلاسموئیک حکاکی شده با گلوکز. تصاویر ج) دوبعدی و د) سه بعدی بستر پلاسموئیک حکاکی شده با فروکتوز



شکل ۳: الف) تصویر FE-SEM بستر پلاسموئیک حکاکی شده با نانوذرات طلا، ب) توزیع اندازه ذرات طلا بستر پلاسموئیک مشاهده شده در الف، تصاویر FE-SEM ج) بستر پلاسموئیک حکاکی شده با گلوکز و د) بستر پلاسموئیک حکاکی شده با فروکتوز.



شکل ۵: الف) طیف رامان (نمودار آبی) بستر پلاسمونیک، طیف رامان (نمودار سبز) گلوکز با غلظت ۱۰^{-۲} مولار حکاکی شده روی شیشه و طیف SERS (نمودار قرمز) گلوکز با غلظت ۱۰^{-۲} مولار حکاکی شده روی بستر پلاسمونیک و ب) طیف رامان (نمودار آبی) بستر پلاسمونیک، طیف رامان (نمودار سبز) فروکتوز با غلظت ۱۰^{-۲} مولار حکاکی شده روی شیشه و طیف SERS (نمودار قرمز) فروکتوز با غلظت ۱۰^{-۲} مولار حکاکی شده روی بستر پلاسمونیک

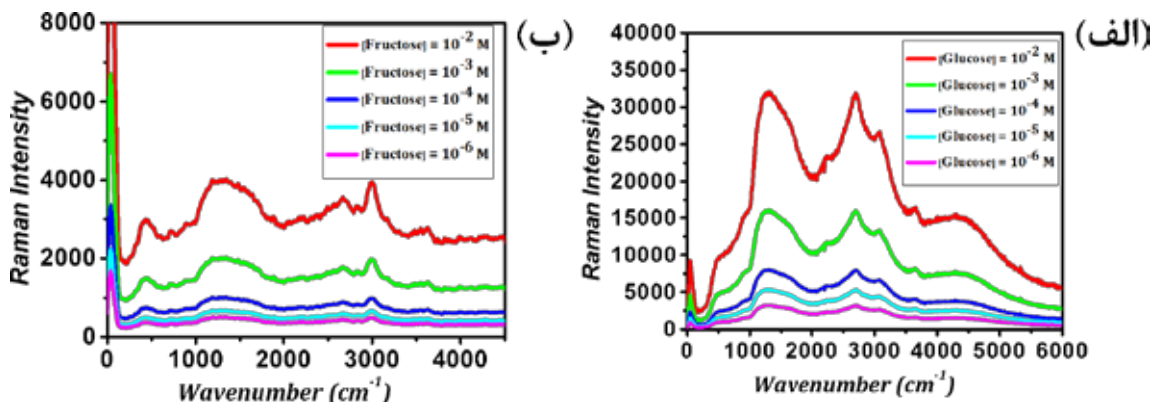
جدول ۱: ارتعاش‌های مولکولی و موقعیت آن‌ها برای گلوکز و فروکتوز [۲۱]

موقعیت ارتعاش مولکولی فروکتوز cm ^{-۱}	ارتعاش‌های مولکولی فروکتوز	موقعیت ارتعاش مولکولی گلوکز cm ^{-۱}	ارتعاش‌های مولکولی گلوکز	
۴۴۲	C-C-C (ارتعاشی)	۵۱۲	C-C-C (ارتعاشی)	۱
۷۲۱	C-O (ارتعاشی)	۱۳۲۴	CH, CH ₂ (ارتعاشی)	۲
۸۹۸	C-C (ارتعاشی)	۱۶۷۳	C-C (ارتعاشی)	۳
۱۳۲۵	CH, CH ₂ (ارتعاشی)	۲۷۰۵	C-H (ارتعاشی)	۴
۱۸۸۱	C=O-H (ارتعاشی)	۳۰۷۶	C-OH (ارتعاشی)	۵
۲۲۲۱	COH (ارتعاشی)	۳۶۸۱	C-C-H (ارتعاشی)	۶
۲۶۵۵	C-O (ارتعاشی)	۴۲۸۴	C-C (ارتعاشی)	۷
۲۹۸۸	C-OH (ارتعاشی)	۵۳۵۲	C-C-O (ارتعاشی)	۸
۳۵۹۰	C-C-H (ارتعاشی)			۹
۴۰۱۰	C-C (ارتعاشی)			۱۰

طیف رامان و آشکارسازی گلوکز و فروکتوز

طیف رامان بستر پلاسمونیک، طیف رامان زیرلایه شیشه‌ای حکاکی شده با گلوکز و طیف SERS بستر پلاسمونیک حکاکی شده با گلوکز در شکل ۵- الف مشاهده می‌شود. شکل ۵- ب نیز طیف رامان بستر پلاسمونیک، طیف رامان زیرلایه شیشه‌ای حکاکی شده با فروکتوز و طیف SERS بستر پلاسمونیک حکاکی شده با فروکتوز را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود سیگنال SERS گلوکز و فروکتوز حکاکی شده روی بستر پلاسمونیک در مقایسه با سیگنال رامان گلوکز و فروکتوز حکاکی شده روی زیرلایه شیشه‌ای بهبود یافته است. این بهبود هم ناشی از پراکندگی نور از نقاط زبر روی سطح یعنی پراکندگی نور از نانوذرات بزرگ‌تر طلا است که روی شیشه قرار گرفته‌اند (شکل ۴) و هم ناشی از تشدید پلاسمون‌های سطحی ذرات کوچک‌تر یا میدان‌های نزدیک اطراف این نانوذرات است. نانوذرات کوچک‌تر به مانند لیزر، نور لیزر تابیده شده را در اطراف خود متمرکز می‌کنند و با قرارگیری گلوکز یا فروکتوز در اطراف نانوذرات، شدت میدان قوی را تجربه می‌کنند و قطبیده‌تر می‌شوند و در نتیجه ارتعاش‌های مولکولی آن‌ها تقویت می‌شود و سیگنال‌های پرشدت‌تری را نشان می‌دهند [۱۹ و ۲۰]. اعداد نمایش داده شده در شکل ۵، عدد موج متناظر با ارتعاش‌های مولکولی گلوکز و فروکتوز را نشان می‌دهد که در جدول ۱ آورده شده است.

شکل ۶- الف، طیف SERS گلوکز حکاکی شده با غلظت‌های مختلف ۱۰^{-۲}، ۱۰^{-۳}، ۱۰^{-۴}، ۱۰^{-۵} و ۱۰^{-۶} مولار را نشان می‌دهد. با کاهش غلظت، شدت سیگنال‌های SERS گلوکز نیز کاهش می‌یابد به این دلیل که با کاهش غلظت تعداد مولکول‌های گلوکز و در نتیجه تعداد ارتعاشات مولکولی آن نیز کاهش می‌یابد. در مورد فروکتوز حکاکی شده با غلظت‌های گوناگون ۱۰^{-۲}، ۱۰^{-۳}، ۱۰^{-۴}، ۱۰^{-۵} و ۱۰^{-۶} مولار نیز روندی مشابه مشاهده می‌شود.



شکل ۶: طیف SERS (الف) گلوکز و (ب) فروکتوز با غلظت‌های 10^{-2} ، 10^{-3} ، 10^{-4} ، 10^{-5} و 10^{-6} مولار حکاکی شده بر روی بستر پلاسمونیک

نتیجه گیری

از نانوذرات بزرگ تر طلا و تشدید پلاسمون‌های سطحی ذرات کوچک تر تقویت شود و ارتعاش‌های مولکولی که در طیف رامان مشاهده نمی‌شوند، در طیف SERS ظاهر شوند. با کاهش غلظت گلوکز و فروکتوز به دلیل کاهش تعداد ارتعاش‌های مولکولی، شدت سیگنال‌ها نیز کاهش می‌یابد. بسترهای پلاسمونیک معرفی شده در این پژوهش می‌توانند به تشخیص کم‌هزینه و زود هنگام بیماری‌های دیابت ناشی از گلوکز و فروکتوز و پاتوژن‌های موجود در مواد غذایی کمک کنند.

در این پژوهش، نانوذرات طلا با استفاده از احیای شیمیایی نمک طلا ساخته شدند. سپس بسترهای پلاسمونیک به روش ساده و ارزان قطره‌چکانی ساخته شدند و با استفاده از زیرلایه‌های شیشه‌ای و بسترهای پلاسمونیک و طیف‌سنجی رامان، اثر بسترهای پلاسمونیک بر آشکار سازی گلوکز و فروکتوز که اثر قابل ملاحظه‌ای در کنترل بیماری دیابت دارند، بررسی شد و مشاهده شد که سیگنال SERS گلوکز و فروکتوز حکاکی شده روی بستر پلاسمونیک در مقایسه با سیگنال رامان گلوکز و فروکتوز حکاکی شده روی زیرلایه شیشه‌ای به دلیل پراکندگی نور

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, Greenelch 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 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 Crystalline States. *Raman Spectroscopy*. 1999; 1018: 1009–18.