لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۷، دورهٔ ۱۵، شمارهٔ ٤، صفحات: ۳۱-۲۶ .

مقاله پژوهشی

ساخت بسترهای پلاسمونیک به روش آسان چرخشی و به هدف آشکارسازی باکتری سالمونلا

وحید اسکندری [۱]
نفیسه شریفی [۲]

خلاصه

مقدمه: روش پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی (SERS) یکی از روش‌های کارآمد برای شناسایی مقادیر اندک و حتی شناسایی تک مولکول است. با قرار گرفتن گونه‌های مختلف در نزدیکی سطح فلز و یا جذب فیزیکی گونه‌ها به نانوساختارهای فلزی، به علت برهم‌کنش گونه‌ها و پلاسمون‌های سطحی فلز، شدت سیگنال رامان افزایش می‌یابد. از طرفی باکتری سالمونلا در بسیاری از مواد غذایی یافت می‌شود و به‌راحتی می‌تواند رشد کند که شناسایی این باکتری در صنایع غذایی و کشاورزی مورد توجه است که برای شناسایی این باکتری می‌توان استفاده از تکنیک SERS را پیشنهاد کرد.

روش بررسی: در این پژوهش، نانوذرات نقره به روش شیمیایی و با استفاده از عامل کاهندهٔ ساکاروز ساخته شدند، سپس با به‌کارگیری روش چرخشی و نشست نانوذرات نقره روی بسترهای شیشه‌ای، بسترهای پلاسمونیکی ساخته شدند. با استفاده از بسترهای پلاسمونیکی و طیف‌سنجی رامان که تکنیکی غیرمخرب است، آشکارسازی باکتری سالمونلا انجام شد.

یافته‌ها: با استفاده از آنالیزهای طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی (UV-Vis)، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، مشخصه‌های بسترهای پلاسمونیکی بررسی شدند و به‌عنوان حسگر زیستی پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی (SERS) مورد استفاده قرار گرفتند. استفاده از بستر پلاسمونیکی سبب می‌شود که به دلیل تشدید پلاسمون-های سطحی نانوجزایر نقره و پراکندگی نور از جزایر نقرهٔ میکرومتری، ارتعاش‌های مولکولی باکتری سالمونلا تقویت شوند بنابراین شدت قله‌های ارتعاش‌های مولکولی طیف SERS باکتری سالمونلا نسبت به طیف رامان آن که از حکاکی باکتری روی بستر شیشه‌ای به‌دست می‌آید، قوی‌تر است. بسترهای پلاسمونیکی معرفی‌شده می‌تواند به تشخیص کم‌هزینه و زودهنگام بیماری‌های ناشی از باکتری سالمونلا و پاتوژن‌های موجود در مواد غذایی کمک کند.

نتیجه‌گیری: ازآن‌جایی‌که نقره به‌دلیل تشدید پلاسمون‌های سطحی و پراکندگی نور، سیگنال رامان حاصل از مولکول‌های مختلف را بهبود می‌دهد، بسترهای پلاسمونیکی

۱. *کارشناسی 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 2026-02-03]

به‌عنوان بســتر فعال در طیف‌ســنجی ارتقاءیافتهٔ ســطحی (SERS) برای آشکارســازی غلظت‌های مختلف باکتری سالمونلا به‌کارگرفته شدند. با استفاده از بسترهای پلاسمونیکی که متشکل از نانوجزایر و جزایر میکرومتری نقره هستند می‌توان از اثر تشدید پلاسمون‌های ســطحی و اثر پراکندگی نور به‌طور هم‌زمان استفاده کرد و سیگنال رامان باکتری سالمونلا را افزایــش داد. بــا کاهش غلظــت باکتری، ســیگنال‌های SERS نیز کاهــش می‌یابند. برخلاف رامان باکتری‌هایی که روی بســتر غیرپلاسمونیکی شیشه قرار دارند در بسترهای پلاســمونیکی، با کاهش غلظت باکتری، شدت قله‌های ارتعاش‌های مولکولی سالمونلا هنوز هم از شدت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است که نتیجهٔ تحریک ارتعاش‌های مولکولی به‌وسیلهٔ پلاســمون‌های ســطحی و پراکندگی نور از بســتر پلاسمونیک اســت و می‌توان باکتری ســالمونلا تا غلظت $۱۰^{۲}$ $cfu\ mL^{-۱}$ را شناســایی کرد هرچند این بسترهای پلاسمونیکی توانایی شناســایی تک مولکول را ندارد که برای انجام این کار باید از ســوزن میکروسکوپ نیروی اتمی اســتفاده کرد که هزینه‌ها را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بســترهای پلاســمونیک، نانوذرات نقره، پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی (SERS)، باکتری سالمونلا، ارتعاش‌های مولکولی

نویسندهٔمســئول: نفیســه شــریفی تلفن: ۰۳۱۵۵۹۱۳۰۹۱
پســت الکترونیــک: sharifi@kashanu.ac.ir

مقدمه

باکتری سالمونلا در بســیاری از مواد غذایی یافت می‌شود و در شرایط محیطی نامناســب نیز نه‌تنها می‌تواند زنده بمانــد که به‌راحتی می‌تواند رشــد کند. بنابراین کنترل باکتری ســالمونلا در صنعت کشاورزی، غذا و صنایع فرآوری همواره مسئله‌ســاز است و شناسایی و تشخیص مقادیر بســیار اندک آن مورد توجه قرار دارد. ازطرفی شناسایی و تشخیص مواد میکروبیولوژیکــی زمان‌بر و نیازمند هزینه‌های گزاف اســت و تشــخیص سریع باکتری‌ها در مواد غذایی از اهداف حوزه‌های مرتبط با آن است که دستگاه‌های مختلفی ازجمله طیف‌ســنجی زیرقرمز و طیف‌سنجی رامان که هر دو طیف‌ســنجی اثر انگشــتی محسوب می‌شــوند و با استفاده از ارتعاش‌های مولکولی ماده را بررســی می‌کنند برای تشخیص باکتری‌ها به‌کار گرفته می‌شــوند. اما، ازآن‌جایی‌که گونه‌های میکروبیولوژیکی مانند باکتری‌هــا در محیط‌های آبی قرار دارند و به‌دلیل فعال بودن ارتعاش‌های مولکولی آب، اندازه‌گیری با طیف‌سنجی زیرقرمز مناسب گونه‌های موجود در محیط آبی نیست، طیف‌ســنجی رامان گزینهٔ مناسبی برای تشخیص گونه‌های میکروبیولوژیکی است[۱] اما به‌دلیل ضعیف بودن ذاتی سیگنال حاصــل از پراکندگی رامان، مطالعهٔ مولکول‌هــا با غلظت‌های اندک عملاً امکان‌پذیر نیست[۲]. یکی از روش‌های کارآمد برای تشخیص و شناسایی مقادیر اندک و حتی شناسایی تک‌مولکول، روش پراکندگی رامان ارتقاءیافتهٔ سطحی (SERS) است[۳و۴]. در این روش هنگامی‌که گونه‌های مختلف مورد مطالعه در نزدیک ســطح فلز قرار می‌گیرند یا به‌طور فیزیکی جذب نانوذرات فلزی می‌شــوند، به‌علــت برهم‌کنش گونه‌ها و پلاســمون‌های سطحی نقره، شدت سیگنال رامان افزایش می‌یابد و بدین‌ترتیب SERS می‌تواند برای تشخیص سریع و دقیق گونه‌های میکروبیولوژیکی استفاده شــود[۵ و۶]. در این پژوهش، نانوذرات نقره با اســتفاده از روش ســادهٔ چرخشــی، برروی بسترهای شیشــه‌ای قرار گرفتند تا به‌عنوان بسترهای فعال در SERS برای تشــخیص غلظت‌های مختلفی از باکتری سالمونلا بــه‌کار گرفته شــوند. بدین‌ترتیب می‌توان با صــرف هزینه‌های کمتر به تشخیص زودهنگام بیماری‌های ناشــی از باکتری سالمونلا و پاتوژن‌های موجود در مواد غذایی دست بیابیم.

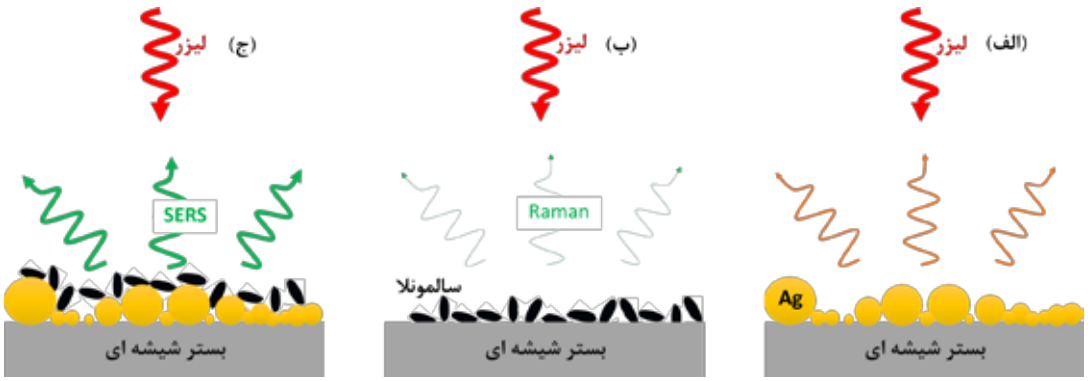
شکل۱ طرح‌وارهٔ آشکارسازی باکتری سالمونلا را نشان می‌دهد که الف: بستر پلاسمونیکی، ب: بستر شیشه‌ای حکاکی‌شده با باکتری سالمونلا و ج: بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با باکتری سالمونلا است که با تابش نور لیزر با طول‌موج ۷۸۵ نانومتر سیگنال نور رامان پراکنده‌شده اندازه‌گیری می‌شود.

روش‌های ساخت و شناسایی

روش ساخت بسترهای پلاسمونیکی

لام‌های شیشه‌ای با ابعاد ۲ cm × ۲ cm به‌عنوان بستر برش داده شدند و ابتدا با شــوینده‌های آنیونی و آب و سپس با استون شستشو داده شدند و حین شستشــو از امواج فراصوت نیز استفاده شد. سپس بسترها خشک و درنهایت در دمــای $۴۰۰^{o}C$ به مدت ۳۰ دقیقــه در کوره حرارت‌دهی شــدند تا آلودگی‌های آلی نیز از سطح شیشه حذف شوند و سطح بسترها

[Downloaded from icml.ir on 2026-02-03]



شکل۱: طرح‌وارهٔ آشکارسازی الف) سیگنال رامان بستر پلاسمونیکی، ب) سیگنال رامان بستر شیشه‌ای حکاکی‌شده با باکتری سالمونلا و ج) سیگنال SERS بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با باکتری سالمونلا که بهبود سیگنال رامان باکتری سالمونلای حکاکی‌شده روی بستر پلاسمونیکی را نسبت به حالتی که باکتری سالمونلا در معرض نور پراکنده‌شده از نانوذرات نقره قرار نگرفته است، نمایش می‌دهد.

آب‌دوست شوند. به‌منظور ساخت نانوذرات نقره با استفاده از هم‌زن مغناطیسی و با افزودن آمونیا به ۲۱ mL محلول ۰/۱ مولار نقره نیترات، کمپلکس آمونیاکی نقره ساخته شد. سپس با اضافه کردن ۲۰ mL محلول پتاس ۰/۰۵ مولار به‌صورت قطره قطره، رسوب نقره اکسید که به‌رنگ تیره است، تشکیل می‌شود. اضافه کردن آمونیا به‌صورت قطره قطره باعث حل شدن رسوب حاصل و شفاف شدن محلول می‌شود. بعد از اضافه کردن ۰۱ mL محلول ساکاروز ۰/۰۷ مولار و استفاده از حمام گرمایی با دمای ۵۰°C به مدت ۴ دقیقه، کمپلکس نقره کاهیده می‌شود و نقره در داخل محلول تشکیل می‌شود[۷]. سپس برای پوشش‌دهی نقره روی لام‌های شیشه‌ای و ساخت بسترهای پلاسمونیکی، ۱۰۰ mL محلول کلوئیدی نقره روی لام‌های شیشه‌ای قرار داده شد و با استفاده از دستگاه چرخشی به مدت ۶۰ ثانیه با سرعت ۳۶۰۰ دور بر دقیقه لایه‌نشانی انجام شد که مدت‌زمان شتاب‌گیری ۱۲ ثانیه تنظیم شد.

کشت و حکاکی باکتری سالمونلا روی بستر شیشه‌ای و بستر پلاسمونیکی

مقداری کلنی باکتری در محیط کشت سوی براث (SOY-BROTH) در دمای ۳۷°C به مدت ۱۸ ساعت در اتوکلاو (شرکت ریحان طب مدل RT-۲، ایران) قرار داده شد تا باکتری‌ها فعال شوند. پس از سانتریفیوژ به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور بردقیقه، مایع زردرنگ جدا شد که از لوله‌های سانتریفیوژ خارج شد و ۳ بار، هر بار با ۱۰ mL آب بدون یون این عمل تکرار شد و باکتری سالمونلا در غلظت‌های $۱۰^{۲}$، $۱۰^{۳}$، $۱۰^{۴}$، $۱۰^{۵}$ و $۱۰^{۶}$ cfu mL^{-1} (colony-forming unit mL^{-1}) تهیه شد و از هر کدام ۱۰ mL روی بسترهای شیشه‌ای و بسترهای پلاسمونیکی حکاکی شد و در دمای آزمایشگاه خشک شدند.

مشخصه‌یابی

طیف‌سنجی UV-Vis و تصویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FE-SEM) بستر پلاسمونیکی به‌ترتیب به‌وسیلهٔ دستگاه Perkin-Elmer مدل Lambda 25 و Hitachi مدل S4160 انجام شد. تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) این نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه شرکت نانوسیستم پارس ساخت ایران تهیه شد. با تابش نور لیزر Nd:YAG با طول‌موج ۷۸۵ نانومتر و توان خروجی قابل تنظیم ۷۵ میلی‌وات دستگاه طیف‌سنجی رامان Metrohm Raman مدل MIRA، طیف رامان و طیف SERS نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها و بحث

طیف جذب و تصویر FE-SEM بستر پلاسمونیکی

شکل ۲-الف طیف جذب بستر پلاسمونیکی را نشان می‌دهد که مشاهدهٔ بیشینهٔ جذب در طول‌موج ۴۲۴ نانومتر که قلهٔ پلاسمونی نقره است، تشکیل نانوذرات نقره را تأیید می‌کند. وجود تنها یک قلهٔ جذبی در طیف جذب نقره نیز نشان می‌دهد که نانوذرات کروی یا شبه کروی هستند. درشکل ۲-ب تصویر FE-SEM بستر پلاسمونیکی مشاهده می‌شود که نقره به‌صورت جزایری روی سطح بستر شیشه قرار گرفته‌اند. اندازهٔ جزایر کوچک‌تر که به‌صورت نقاطی روشن چه برروی سطح تیرهٔ شیشه و چه برروی ذرات بزرگ‌تر و کلوخه‌ای در تصویر دیده می‌شود، حدود ۱۰ نانومتر است. توزیع اندازهٔ جزایر بزرگ‌تر در منحنی که برروی تصویر قرار داده شده مشاهده می‌شود که اندازهٔ بین ۲۰ تا ۱۸۰ دارند. درواقع، با کاهش کمپلکس نقره و تشکیل نانوذرات نقره، ذرات کروی یا شبه‌کروی ساخته می‌شوند که در مورد بسیاری از آن‌ها پدیدهٔ کلوخه شدن اتفاق افتاده است که به‌صورت جزایری بی‌شکل دیده می‌شوند. بنابراین با روش ساخت به‌کارگرفته‌شده، بستر پلاسمونیکی هم شامل ذرات میکرونی و هم شامل نانوذرات است که ذرات بزرگ‌تر نقره منجر به پراکندگی نور (تقویت میدان الکتریکی دور) می‌شوند و ذرات کوچک‌تر، میدان‌های الکتریکی نزدیک قابل توجهی ایجاد می‌کنند که حاصل تشدید پلاسمون‌های سطحی است[۸و۹].

[Downloaded from icml.ir on 2026-02-03]

درواقع، با تابش نور (لیزر) به سطح ناصاف فلز، در اثر تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوســاختارهای فلزی به‌وســیلهٔ میدان الکترومغناطیسی لیزر، میدان‌های الکتریکی ارتقاءیافته در اطراف فلز ایجاد می‌شــود[۱۰و۱۱]. گویی میدان الکتریکی حاصل از تابش نور لیزر تقویت شده است. بنابراین مولکولی کــه در این میدان الکتریکی ارتقاءیافتــه قرار می‌گیرد، بیش‌تر قطبیده می‌شود و درنتیجه سیگنال رامان بهبود می‌یابد[۱۲].

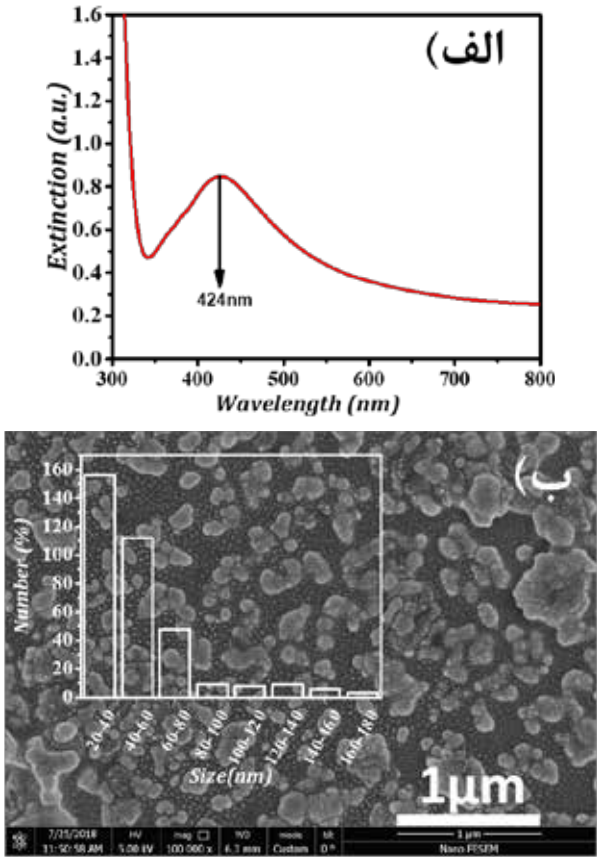
تصویر AFM بستر پلاسمونیکی

شکل۳ تصویر AFM الف: دوبعدی و ب: سه‌بعدی بستر پلاسمونیکی را نشــان می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار Image Plus میانگین زبری ۱۶/۹ نانومتــر، میانگین مرتفع‌ترین زبری ۱۳۷/۸ نانومتر و میانگین عمیق‌ترین زبری ۲۴/۳ نانومتر برای بستر پلاسمونیکی به‌دست آمد. همان‌طورکه در تصویر FESEM شکل ۲-ب مشاهده می‌شود ساختارهای نقره در تمام سطح شیشــه به‌طورکامل به یکدیگر متصل نشده‌اند و ساختار جزیره‌ای دارند. ازطرفی اندازهٔ ذرات یکســان نیســت و توزیعی بــرای اندازهٔ ذرات مشاهده می‌شود که این غیریکنواختی اندازه در ارتفاع نیز وجود دارد و در تصاویر AFM نیز مشــاهده می‌شود. همان‌طورکه گفته شد، این زبری و ناصافی نقره می‌تواند باعث تقویت سیگنال رامان شود.

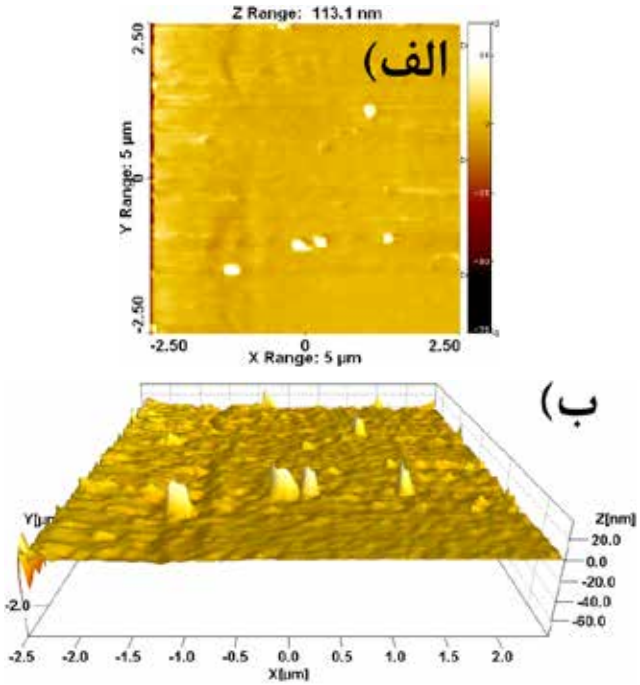
طیف رامان و SERS و آشکارسازی باکتری سالمونلا

شــکل ۴-الف طیــف SERS باکتری ســالمونلا بــا غلظت‌های $۱۰^{۶}$، $۱۰^{۵}$، $۱۰^{۴}$، $۱۰^{۳}$ و $۱۰^{۲}$ $cfu\ mL^{-1}$ که روی بســترهای پلاســمونیکی حکاکی شــده‌اند را نشان می‌دهد. قله‌هایی که مشاهده می‌شود مربوط به ارتعاش‌های مولکولی باکتری سالمونلا است که در جدول ۱ مولکول‌های سازندهٔ باکتری سالمونلا و ارتعاش‌های مولکولی و موقعیت آن‌ها مشاهده می‌شود. با کاهش غلظت باکتری، شدت قله‌های ارتعاش‌های مولکولی آن کاهش می‌یابد چون تعداد باکتری‌ها و درنتیجه تعداد سیگنال‌های ارتعاشی آن‌ها کاهش یافته اســت[۱و۲]. شــکل ۴-ب تغییرات شدت قوی‌ترین سیگنال SERS مشاهده‌شده، I، که مربوط به فسفولیپیدها در عدد موج ۹۹۸ cm^{-1} است را برحسب تغییرات لگاریتمی غلظت باکتری سالمونلا، C، نشان می‌دهد که با برازش انجام‌شده از رابطهٔ (۱) پیروی می‌کند.

همان‌طورکه در شکل ۴-الف مشــاهده شد با کاهش غلظت باکتری تا غلظت $۱۰^{۲}$ $cfu\ mL^{-1}$ حتی شــدت قوی‌ترین قلهٔ SERS نیز کاهش می‌یابد. در شــکل۵ طیف رامان بســتر پلاســمونیکی طیف رامان بستر شیشه‌ای (غیر پلاسمونیکی) حکاکی‌شده با باکتری و طیف SERS بستر پلاسمونیکی حکاکی‌شده با ســالمونلا مشاهده می‌شود. با تابش نور لیزر با طول‌موج ۷۸۵ نانومتر ارتعاش‌های مولکولی باکتری ســالمونلا تحریک می‌شوند. همان‌طورکه دیده می‌شــود سیگنال SERS باکتری سالمونلا حکاکی‌شــده روی بستر پلاسمونیکی در مقایسه با سیگنال رامان باکتری حکاکی‌شده روی بستر شیشه‌ای بهبود یافته است که همان‌طورکه در شکل

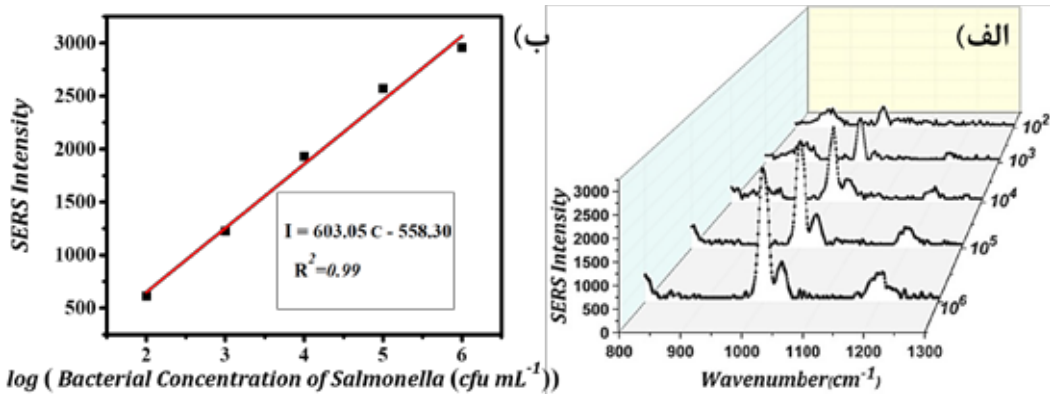


شکل۲: الف) طیف جذب بســتر پلاسمونیکی با بیشینهٔ جذب در طول‌موج ۴۲۴ نانومتر و ب) تصویر FE-SEM بستر پلاســمونیکی و (داخل شکل) توزیع اندازهٔ جزایر نقره روی بستر پلاسمونیکی



شکل۳: تصویر AFM الف) دوبعدی و ب) سه‌بعدی بستر پلاسمونیکی

[Downloaded from icml.ir on 2026-02-03]



شکل۴-الف) طیف SERS باکتری سالمونلا با غلظت‌های ۱۰^۶، ۱۰^۵، ۱۰^۴، ۱۰^۳ و ۱۰^۲ cfu mL^-1 که روی بستر پلاسمونیکی حکاکی شده‌اند و ب) منحنی تغییرات شدت قوی‌ترین سیگنال SERS مربوط به فسفولیپیدها در عدد موج ۹۹۸ cm^-1، I برحسب تغییرات لگاریتمی غلظت باکتری سالمونلا، C

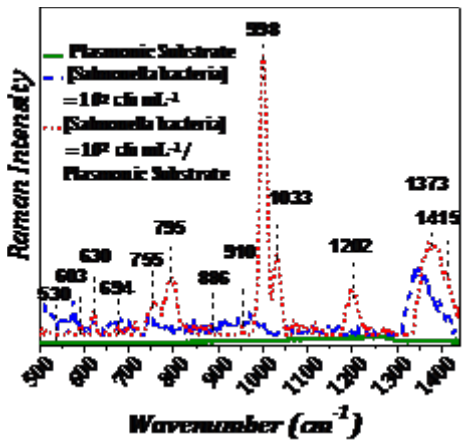
۲-ب نیز مشاهده شد ناشی‌از تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوجزایر نقره و پراکندگی بالای نور از جزایر نقره میکرومتری است[۱۶و۱۷]. که با تابش نور (لیزر) به سطح ناصاف فلز (شکل۳) و تقویت میدان‌های الکتریکی دور و نزدیک سطح ناصاف، مولکول‌های سازندهٔ باکتری سالمونلا که در این میدان الکتریکی ارتقاءیافته قرار گرفته‌اند، قطبیده‌تر می‌شوند و درنتیجه سیگنال رامان ارتعاش‌های آن‌ها تقویت می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، آشکارسازی باکتری سالمونلا با استفاده از بسترهای پلاسمونیکی که به روش سادهٔ چرخشی ساخته شدند، با استفاده از طیف سنجی رامان که تکنیکی غیرمخرب است بررسی شد. ابتدا، بسترهای پلاسمونیکی فعال در SERS به روش شیمیایی ساخته شدند. غلظت‌های مختلف ۱۰^۶، ۱۰^۵، ۱۰^۴، ۱۰^۳ و ۱۰^۲ cfu mL^-1 از باکتری سالمونلا روی بستر پلاسمونیکی حکاکی شد. استفاده از بستر پلاسمونیکی سبب می‌شود که به‌دلیل تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوجزایر نقره و پراکندگی بالای نور از جزایر نقرهٔ میکرومتری، ارتعاش‌های مولکولی باکتری سالمونلا تقویت شوند. با کاهش غلظت باکتری، شدت سیگنال‌های SERS کاهش می‌یابد اما، بسترهای پلاسمونیکی سبب می‌شوند حتی برای غلظت کمتر ۱۰^۲ cfu mL^-1 باز هم قله‌های ارتعاش مولکولی فعال در رامان مشاهده شوند درصورتی‌که این قله‌ها برای باکتری حکاکی‌شده روی بستر غیرپلاسمونکی قابل مشاهده و شناسایی نیستند. بنابراین، بسترهای پلاسمونیکی معرفی‌شده در این پژوهش می‌توانند به تشخیص کم‌هزینه و زودهنگام بیماری‌های ناشی از باکتری سالمونلا و پاتوژن‌های موجود در مواد غذایی کمک کنند.

جدول۱: ارتعاش‌های مولکولی و موقعیت آن‌ها برای باکتری سالمونلا[۱۵-۱۳]

ارتعاش‌های مولکولی باکتری سالمونلا	موقعیت ارتعاش‌های مولکولی باکتری سالمونلا (cm^-1)
کربوهیدرات‌ها (کششی)	۵۳۰
COO- (کششی)	۶۰۳
COO- (خمشی)	۶۳۰-۶۹۴
C-N (کششی)	۷۵۵-۷۹۵
تیروزین، C-N (کششی)	۸۸۶
فسفولیپیدها	۹۱۰
فسفولیپیدها	۹۹۸
C-O و CH_2OH (کششی)	۱۰۳۳
CH (لیپید) و آمید I، II (پروتئین)	۱۲۰۲
C-H (خمشی-پروتئین)	۱۳۷۳
کربوکسیلیک‌اسید (کششی) N-H CH_2 (خمشی)	۱۴۱۵



شکل۵: طیف رامان بستر پلاسمونیکی (منحنی ممتد سبز)، طیف رامان باکتری سالمونلا با غلظت ۱۰^۲ cfu mL^-1 حکاکی‌شده روی بستر شیشه‌ای (منحنی خط‌چین آبی) و طیف SERS باکتری سالمونلا با غلظت ۱۰^۲ cfu mL^-1 حکاکی‌شده روی بستر پلاسمونیکی (منحنی نقطه‌چین قرمز)

[Downloaded from icml.ir on 2026-02-03]

References:

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

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

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

4. Su SR, Chen YY, Li KY, Fang YC, Wang CH, Yang CY, Chau LK and 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.

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

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

7. Sharifi N and Taghavinia N. Silver nano-islands on glass fibers using heat segregation method. Materials Chemistry and Physics. 2009; 113: 63–6.

8. Wang LR and 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.

9. Canamares MV, Garcia-Ramos JV, Sanchez-Cortes S, Castillejo M and 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.

10. Ren B, Liu GK, Lian XB, Yang ZL and 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 and . 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 and 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. Zeiri L and Efrima S. Surface-enhanced Raman spectroscopy of bacteria: the effect of excitation wavelength and chemical modification of the colloidal milieu. Journal of Raman Spectroscopy. 2005; 36: 667–75.

14. Sengupta A, Laucks ML and Davis EJ. Surface-enhanced Raman spectroscopy of bacteria and pollen. Applied Spectroscopy. 2005; 59:1016–23.

15. Zeiri L, Bronk BV, Shabtai Y, Eichler J and Efrima S. Surface-enhanced Raman spectroscopy as a tool for probing specific biochemical components in bacteria. Applied Spectroscopy. 2004; 58(1): 33–40.

16. Chen HY, Lin MH, Wang CY, Chang YM and 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.

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

[Downloaded from icml.ir on 2026-02-03]