بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

آشکارسازی مواد منفجره با استفاده از بیناب‌نمایی رامان تفکیک زمانی دوربرد

سمانه شهاب، سید حسین امیری، محمدجواد رنجکش، جواد زحمتکش، ابوالحسن مبشری، سید محمدرضا دربانی

پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین‌شهر

چکیده – بیناب رامان ترکیبات انفجاری TNT و PETN از فاصله ۳۰ متر با استفاده از چیدمان رامان دوربرد بر روی پس‌زمینه‌های آلومینیوم، خاک و پلاستیک ثبت شد. برای حذف تأثیر فلوئورسانس پس‌زمینه‌ها از اعمال تأخیر زمانی و پنجره زمانی آشکارساز استفاده شد. تأثیر اعمال پنجره زمانی و تأخیر زمانی در پس‌زمینه‌های مختلف یکسان نبود. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده بهبود نسبت سیگنال به نویز بیناب‌های رامان در اثر اعمال پنجره زمانی برای آشکارساز در پس‌زمینه‌های دارای ترکیبات فلوئورسانی است.

کلیدواژه- تأخیر زمانی، ترکیبات انفجاری، پنجره زمانی، رامان دوربرد

Detection of Explosives by using Time-Resolved Stand-off Raman Spectroscopy

Samaneh Shahab, Seyyed Hossein Amiri, Mohammad Javad Ranjkesh, Javad Zahmatkesh, Abolhasan Mobashery, Seyyed Mohammad Reza Darbani

Optics and Laser Science and Technology Research Center, Malek-Ashtar University of Technology, Shahin-shahr

Abstract- Raman spectra of TNT and PETN have been recorded on different backgrounds of Aluminum, soil and plastics from a distance of 30 m. Delay and gate time were used in order to eliminate the background fluorescence effect. The effect of applying delay time and gate width was not the same for different backgrounds. The results of this study show the improvement of the signal-to-noise ratio of Raman spectra by applying a gate time for the detector in case of the backgrounds with fluorescence.

Keywords: delay time, explosive compounds, gate time, stand-off Raman

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

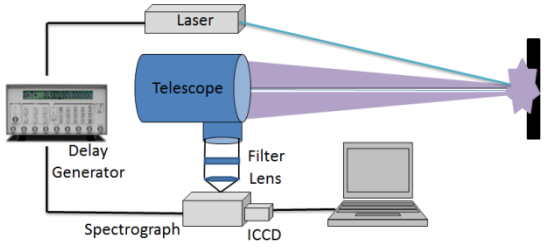
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

مقدمه

آشکارسازی آنی مقادیر کم مواد منفجره از راه دور برای جلوگیری از بروز انواع مشکلات زیست‌محیطی و یا حمله-های تروریستی از اهمیت فراوانی برخوردار است. روش بیناب‌نمایی رامان توانایی کشف و شناسایی مواد منفجره از راه دور را به‌صورت آنی و غیرمخرب دارد[۱].

سیگنال رامان یک سیگنال ضعیف است و عوامل مختلفی مانند تابش فلوئورسانس نمونه، محیط شیمیایی پیرامون آن و نوفه محیطی مثل نور خورشید باعث پوشانده شدن سیگنال رامان ماده موردنظر می‌شود. یکی از روش‌های رفع این مشکل استفاده از بیناب‌نمایی رامان تفکیک زمانی است [۲]. در این روش از یک لیزر پالسی که با یک آشکارساز با قابلیت اعمال دریچه‌ی زمانی با لیزر همگام شده است استفاده می‌شود. در این وضعیت آشکارساز فقط در مدت‌زمان برهمکنش لیزر با ماده سیگنال پراکندگی را ثبت خواهد کرد. اعمال این پنجره زمانی از یک سو باعث حذف نوفه‌های محیطی و از سوی دیگر سبب ثبت پراکندگی رامان در مدت‌زمان تابش لیزر بر روی ماده شده و پس از قطع تابش لیزر، این پراکندگی حذف می‌شود؛ بنابراین ثبت بیناب در مدت‌زمان تابش لیزر باعث کاهش اثر فلوئورسانی خواهد شد [۲]. با اعمال تأخیر زمانی و همگام‌سازی آشکارساز با تابش لیزر، امکان ثبت بیناب رامان مواد از راه دور امکان‌پذیر خواهد شد. نکته اصلی در این روش تنظیم دقیق زمان تأخیر آشکارساز (همگام‌سازی) و مدت‌زمان ثبت بیناب توسط آشکارساز (پنجره زمانی) است تا ضمن حذف نوفه محیطی و فلوئورسانی، بهترین بیناب رامان ماده نیز ثبت شود.

در این پژوهش تأثیر تأخیر زمانی و پهنای زمانی پنجره آشکارساز در ثبت بیناب رامان مقادیر کم مواد منفجره در فاصله ۳۰ متر روی پس‌زمینه‌های مختلف بررسی‌شده است.



شکل ۱: طرحواره چیدمان رامان دوربرد

چیدمان تجربی

طرحواره‌ی چیدمان تجربی برپاشده در شکل (۱) نشان داده‌شده است. در این پژوهش از هماهنگ دوم لیزر پالسی Nd:YAG ساخت شرکت Quantel در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر با پهنای پالس ۷ نانوثانیه و بیناب‌نگار Mechelle 5000 با آشکارساز ICCD ساخت شرکت Andor استفاده‌شده است. یک مولد تأخیر پالس نیز برای فعال کردن پنجره زمانی دوربین ICCD استفاده شد که با توجه به فاصله ماده موردنظر تا گیرنده، آشکارساز ICCD را با پالس لیزر هم‌زمان‌سازی می‌کند. یک تلسکوپ با قطر ۹/۵ اینچ برای جمع‌آوری نور پراکنده‌شده به‌صورت هم‌محور با لیزر قرار داده‌شده است و پالایه میان‌نگذر برای حذف نور لیزر پراکنده‌شده مورداستفاده قرار می‌گیرد. مقادیر ۵ و ۱۰ میلی‌گرم از مواد منفجره PETN و TNT بر روی پس-زمینه‌های آلومینیوم، خاک و پلاستیک قرار داده شدند. با توجه به فاصله ۳۰ متری بین ماده هدف و تلسکوپ گیرنده و همچنین در نظر گرفتن طول فیبر نوری بین گیرنده و بیناب‌نگار مقدار تأخیر زمانی اولیه برابر ۲۲۰ns در نظر گرفته شد. پنجره زمانی اولیه آشکارساز دو برابر پهنای پالس لیزر یعنی ۱۴ ns در نظر گرفته شد. در طول آزمون‌ها با توجه به نوع ماده و همچنین پس‌زمینه آن،

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

تغییراتی در مقادیر پنجره زمانی و زمان تأخیر به‌منظور ثبت سیگنال بهینه صورت گرفت.

نتایج

بیناب رامان ماده TNT بر روی پس‌زمینه‌های آلومینیوم، پلاستیک و خاک در شکل (۲) نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود قله شاخص این ماده در طول‌موج $۱۳۷۵cm^{-1}$ به‌خوبی نمایان است. بهترین نتایج برای پس‌زمینه آلومینیوم به دلیل عدم وجو فلوئورسانس در آن به دست آمد. در این پس‌زمینه، افزایش پنجره زمانی تا ۵ برابر مقدار اولیه تأثیر زیادی بر افزایش نوفه نداشت درحالی‌که مقادیر بیشتر آن باعث افزایش شدت نوفه پس‌زمینه می‌شود. همچنین کاهش آن تا حد پهنای پالس لیزر منجر به حذف سیگنال رامان می‌شود. در پس‌زمینه‌های دارای فلوئورسانس مثل پلاستیک افزایش پنجره زمانی تا ۵ برابر مقدار اولیه باعث پوشانده شدن بیناب رامان توسط فلوئورسانس شده و کاهش آن نیز باعث حذف سیگنال رامان می‌شود. افزایش یا کاهش زمان تأخیر آشکارساز به‌اندازه ۱۰ ns باعث حذف سیگنال رامان ماده برای تمام پس‌زمینه‌ها می‌شود. بیناب رامان ماده PETN با پس‌زمینه‌های آلومینیوم، پلاستیک و خاک در شکل (۳) نشان داده‌شده است.

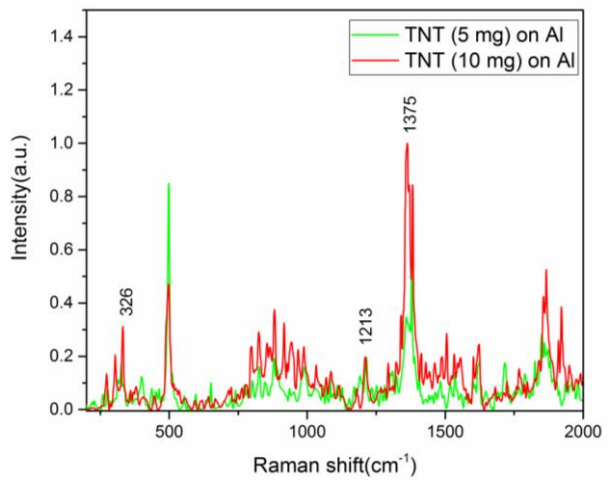
جدول۱: فرکانس‌های رامان TNT و PETN [۳] و [۴]

TNT

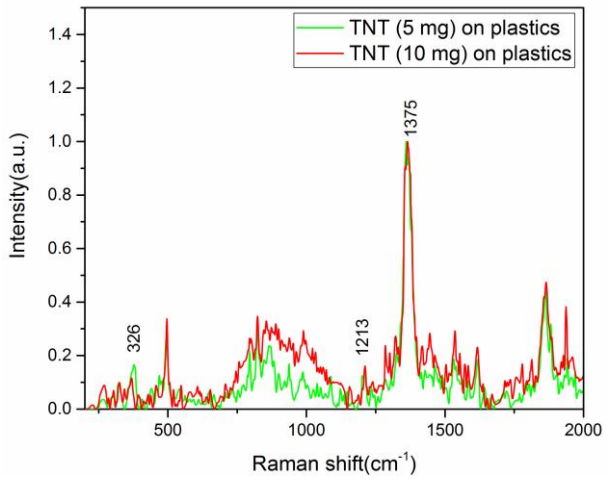
Raman frequencies	Description
۳۲۸	Framework distortion
۷۹۵	C-H out-of-plane bend
۸۲۳	2,4,6-nitro Scissoring
۱۲۱۱	CH_3 stretching
۱۳۶۲	Nitro symmetric stretching
۱۵۳۸	Nitro asymmetric stretching
۱۶۱۹	C=C aromatic stretching

PETN

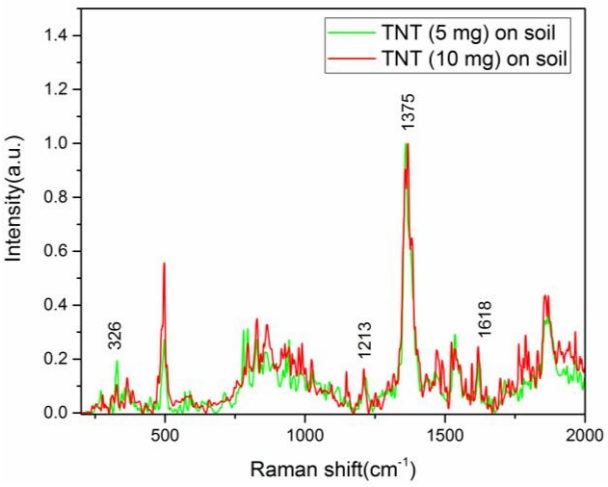
Raman frequencies	Description
۶۲۴	N – O rocking
۸۷۳	ON stretch + CC stretch
۱۰۴۴	CH_2 torsion + CCC deformation
۱۲۹۴	NO_2 symmetric stretch + CH_2 wag
۲۹۸۷	CH_2 symmetric stretch



(A)



(B)



(C)

شکل ۲: بیناب رامان ماده TNT از فاصله ۳۰ متر بر روی پس-زمینه A) آلومینیوم، B) پلاستیک، C) خاک

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

قله‌های رامان دو ماده TNT و PETN در جدول(۱) آورده شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بیناب رامان دو ماده منفجره TNT و PETN روی پس‌زمینه‌های فلزی و غیرفلزی از فاصله ۳۰ متر ثبت شد. با توجه به آزمون‌های انجام شده نشان داده شد که تنظیم زمان تأخیر آشکارساز وابسته به فاصله بین آشکارساز و ماده هدف است. درصورتی‌که مقدار پنجره زمانی وابسته به نوع ماده و پس‌زمینه آن است. در پس‌زمینه‌های فلزی و غیر فلوئورسان می‌توان تا چند برابر پهنای پالس لیزر را به‌عنوان پنجره زمانی انتخاب کرد ولی در مورد پس‌زمینه‌های دارای اثر فلوئورسانس مقدار پنجره زمانی باید از مرتبه پهنای پالس لیزر باشد.

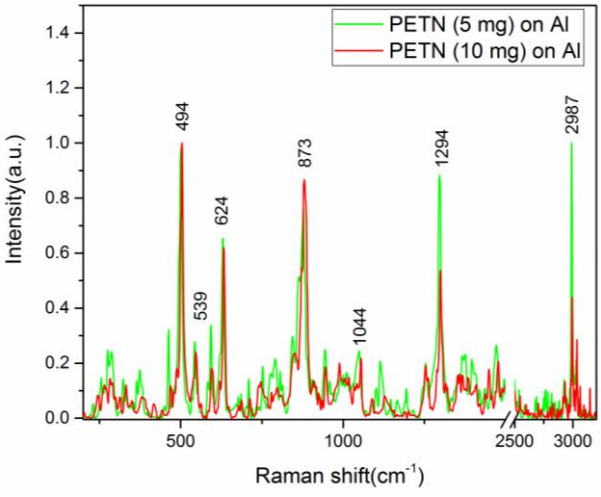
مرجع‌ها

[1] L. C. Pacheco-Londoño, W. Ortiz-Rivera, O. M. Primera-Pedrozo, and S. P. Hernández-Rivera, "Vibrational spectroscopy standoff detection of explosives," *Anal Bioanal Chem*, vol. 395, no. 2, pp. 323–335, 2009.

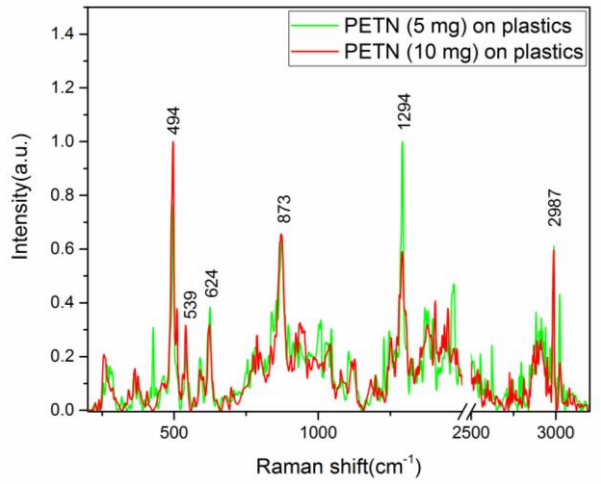
[2] B. Zachhuber, G. Ramer, A. Hobro, E. T. H. Chrysostom, and B. Lendl, "Stand-off Raman spectroscopy: a powerful technique for qualitative and quantitative analysis of inorganic and organic compounds including explosives," *Anal Bioanal Chem*, vol. 400, no. 8, pp. 2439–2447, 2011.

[3] N. Hemmi, Z. A. Dreger, Y. A. Gruzdkov, J. M. Winey, and Y. M. Gupta, "Raman Spectra of Shock Compressed Pentaerythritol Tetranitrate Single Crystals: Anisotropic Response," *J. Phys. Chem. B*, vol. 110, no. 42, pp. 20948–20953, 2006.

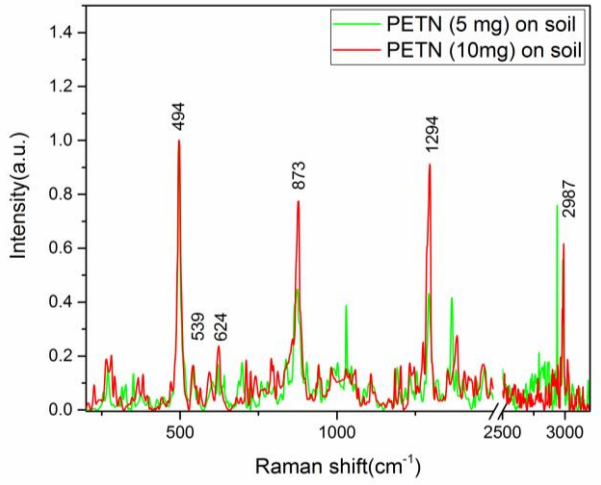
[4] Y. Liu, R. Perkins, Y. Liu, and N. Tzeng, "Normal mode and experimental analysis of TNT Raman spectrum," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1133, pp. 217–225, 2017.



(A)



(B)



(C)

شکل ۳: بیناب رامان ماده PETN از فاصله ۳۰ متر بر روی پس‌زمینه A) آلومینیوم، B) پلاستیک، C) خاک

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]