



بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد



استفاده از بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری و مدل ماشین بردار پشتیبان به منظور تفکیک پلیمرها در فرایند بازیافت

محمد وحید دستجردی^۱، سید جبار موسوی^۲، سید محمدرضا دربانی^۲، علی موسوی آذر^۲، محمود سلطان‌الکتابی^۱

^۱ گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

^۲ پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

چکیده - در این پژوهش قابلیت بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری (LIBS) با به کارگیری مدل ماشین بردار پشتیبان برای امکان تفکیک پلیمرهای PVC از سایر پلیمرها در فرایند بازیافت ارزیابی شد. شدت‌های نسبی C_2/C و N/C به عنوان متغیرهای ورودی برای روش ماشین بردار پشتیبان انتخاب و از توابع کرنل پایه شعاعی، چند جمله‌ای و یک تابع خطی برای انجام طبقه‌بندی روی ۱۵۰ داده استفاده گردید. با استفاده از تابع کرنل چندجمله‌ای درجه ۲ و چندجمله‌ای درجه ۵ پلیمرها با دقت ۹۰٫۵٪ به درستی تفکیک شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که روش LIBS با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در جداسازی PVC از پلیمرهای دیگر موفق است.

کلید واژه- بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری، تفکیک پلیمرها، ماشین بردار پشتیبان.

Sorting of polymers in recycling process by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) combined with support vector machine (SVM) model

M. Vahid Dastjerdi¹, S. J. Mousavi², S. M. R. Darbani², A. Mousavi Azar², M. Soltanolkotabi¹

¹ Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan

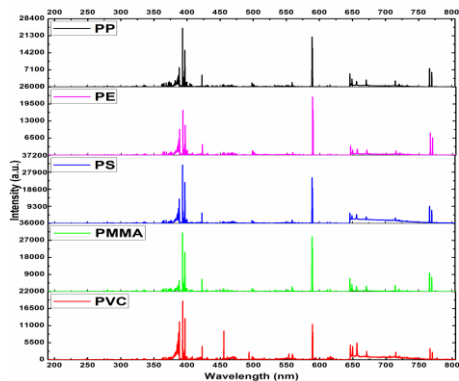
² Optics & Laser Science and Technology Research Center, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan

Abstract- In this research, ability of laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) with applying support vector machine (SVM) method was evaluated in order to separate Polyvinyl chloride (PVC) from other polymers in recycling process. Intensity ratio of C_2/C and N/C was selected as input variables for SVM and then Radial Basis and Polynomial kernel function and linear function in order to classify 150 data related to different kind of polymers were applied. With polynomial kernel function of degree 2 and 5, polymers were separated correctly with accuracy of 90.5%. The results of this research showed that LIBS method by application of SVM model in separating of PVC from other polymers is successful.

Keywords: Laser induced breakdown spectroscopy, Polymers discrimination, Support vector machine.

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

(system)، شدت‌های نسبی C_2/C و N/C به عنوان متغیرهای ورودی روش ماشین بردار پشتیبان به منظور تفکیک پلیمر PVC از سایر پلیمرها انتخاب شدند.



شکل ۲: بیناب‌های LIBS حاصل از نمونه‌های پلیمری

در این پژوهش برای آموزش مدل و ارزیابی آن بر روی داده‌های آزمایش از نرم افزار MATLAB استفاده شده است. برای ایجاد مدل ماشین بردار پشتیبان، داده‌ها به دو دسته آموزش و آزمون تقسیم‌بندی می‌شوند. در این پژوهش از مجموع ۱۵۰ داده ثبت شده از نقاط مختلف پلیمرهای مورد مطالعه ۱۰۵ داده (۷۰٪) برای آموزش و ۴۵ داده (۳۰٪) برای آزمون کارایی مدل، مورد استفاده قرار گرفتند. ابتدا از یک تابع خطی به منظور تفکیک پلیمر PVC از سایر پلیمرها استفاده گردید. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، داده‌های مربوط به آموزش مدل برای پلیمر PVC با ستاره‌ی سبز رنگ و برای سایر پلیمرها (PP, PE, PS, PMMA) با علامت‌های بعلاوه‌ی قرمز رنگ نشان داده شده‌اند. داده‌های آزمون که نتایج طبقه‌بندی مدل هستند با ستاره آبی رنگ برای پلیمر PVC و علامت‌های بعلاوه‌ی بنفش برای سایر پلیمرها نشان داده شده‌اند. همچنین پلیمرهایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند یک مربع قرمز رنگ به دور خود دارند. مرزهای تصمیم‌گیری برای طبقه‌بندی داده‌های آزمون با خطوط مشکی رنگ و بردارهای پشتیبان نیز با دایره‌های مشکی علامت گذاری شده‌اند. میزان طبقه‌بندی صحیح این مدل برای داده‌های آزمون ۷۵٫۶٪ محاسبه شد که با توجه به دقت به نسبت کم این مدل بهبود فرایند تفکیک و دستیابی به مدلی با دقت بیشتر در ادامه از توابع کرنل چند جمله‌ای و پایه شعاعی استفاده شد.

همچنین جهت بهبود ثبت گسیل‌های مورد نظر با بیشینه‌ی نسبت سیگنال به نوفه از یک مدار تاخیرانداز الکترونیکی با قابلیت اعمال تاخیر زمانی $1/27 \mu s$ استفاده شده است.

۲-۳- روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یک روش طبقه‌بندی نظارت شده و بر اساس یادگیری آماری است که در آن یک تابع که به صورت یک ابرصفحه توصیف می‌شود، برای تفکیک بهینه دو کلاس از داده‌ها از یکدیگر تعیین می‌شود. فرض کنیم مجموعه نقاط $\{(x_1, c_1), (x_2, c_2), \dots, (x_n, c_n)\}$ را در اختیار داریم و می‌خواهیم آنها را به دو کلاس $c_i = \{-1, 1\}$ تفکیک کنیم. هر x_i یک بردار p بعدی از اعداد حقیقی است که در واقع همان شدت‌های بیناب مرتبط با هر پلیمر هستند. در این تحقیق $p=2$ است که متناظر با شدت‌های نسبی N/C و C_2/C است. کلاس $\{1\}$ مرتبط با پلیمر PVC و کلاس $\{-1\}$ مرتبط به سایر پلیمرها (PE, PS, PMMA, PP) است. نخستین مرحله برای تعیین ابرصفحه بهینه پیدا کردن نزدیک‌ترین نمونه‌هایی است که برای آموزش^۹ مدل استفاده می‌شود. این نمونه‌های آموزشی بردارهای پشتیبان^{۱۰} نام دارند. هرگاه یک تابع خطی نتواند داده‌ها دو کلاس را از هم تفکیک کند (داده‌ها تفکیک‌پذیر خطی نباشند)، در این حالت با استفاده از توابع کرنل داده‌ها از فضای اصلی به فضای دیگری با بعد معمولاً بزرگتر انتقال یافته و ابرصفحه‌های جداکننده در آن فضا تعیین می‌شوند. در نتیجه این فرایند تفکیک‌پذیری بهتری صورت خواهد گرفت. عمومی‌ترین‌ها کرنل‌ها، کرنل‌های چندجمله‌ای، تانژانت هایپربولیک و تابع پایه شعاعی^{۱۱} (RBF) هستند [۶].

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ بیناب‌های LIBS پنج نمونه پلیمری مورد بررسی را در بازه‌ی طول موجی ۸۰۰-۱۹۰ nm نشان می‌دهد. با شناسایی خطوط اتمی و گسیل‌های مولکولی مختلف از جمله کربن (۲۴۷٫۸۵ nm)، نیتروژن (۷۴۶٫۹۳ nm) و پیک مربوط به گذار ارتعاشی (۰-۱) متعلق به باند $\Delta v=+1$ گسیل مولکولی C_2 (Swan band) $d^3\Pi_g - a^3\Pi_u$

⁹ Train

¹⁰ Support vectors

¹¹ Radial basis function

پلیمرها با بیشترین دقت (۹۰/۵٪) به درستی تفکیک شده‌اند.

جدول ۱: نتایج مربوط به میزان طبقه‌بندی صحیح داده‌های آزمون

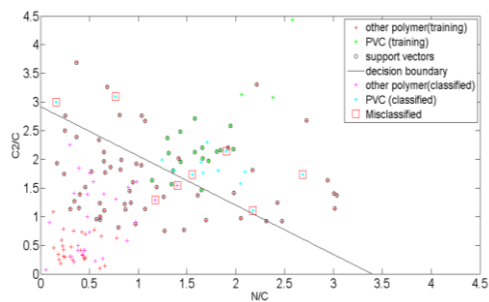
میزان طبقه‌بندی صحیح داده‌های	تابع کرنل
چندجمله‌ای درجه ۲	٪ ۹۰/۵
چندجمله‌ای درجه ۳	٪ ۸۵/۸
چندجمله‌ای درجه ۴	٪ ۸۸/۱
چندجمله‌ای درجه ۵	٪ ۹۰/۵
چندجمله‌ای درجه ۶	٪ ۸۸/۱
پایه شعاعی (RBF)	٪ ۸۸/۱

۴- نتیجه‌گیری

روش بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری با به کارگیری مدل ماشین بردار پشتیبان برای ارزیابی تفکیک مکانیزه پلیمرهای PVC از سایر پلیمرها در فرایند بازیافت استفاده شد. برای گسترش و بهبود مدل از توابع کرنل مختلف استفاده و مدل بهینه با بیشترین دقت (۹۰/۵٪) برای تفکیک پلیمر PVC از سایر پلیمرها با استفاده از توابع کرنل چندجمله‌ای درجه ۲ و درجه ۵ حاصل شد. کارایی روش LIBS با به کارگیری مدل ماشین بردار پشتیبان به منظور تفکیک پلیمرهای PVC از سایر پلیمرها در فرایند بازیافت با دقت قابل قبولی به اثبات رسید.

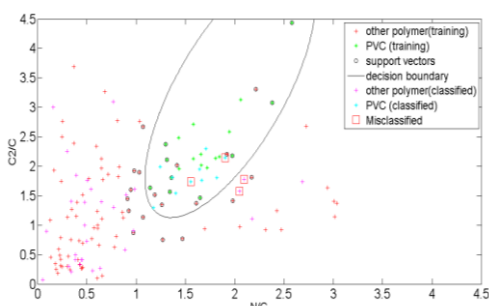
مراجع

- [1] Noll, R, *Laser-induced breakdown spectroscopy*, Springer, 2012.
- [2] Feldhoff, R., et al., "On-line post consumer package identification by NIR spectroscopy combined with a FuzzyARTMAP classifier in an industrial environment." *Applied spectroscopy* 51(3): 362-368, 1997.
- [3] S. Grégoire, M. Boudinet, F. Pelascini, F. Surma, V. Detalle, and Y. Holl, "Laser-induced breakdown spectroscopy for polymer identification," *Analytical and bioanalytical chemistry* 400, 3331-3340 (2011).
- [4] Cisewski, J., et al., "Support vector machine classification of suspect powders using laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) spectral data." *Journal of Chemometrics* 26(5): 143-149, 2012.
- [5] L. Liang, T. Zhang, K. Wang, H. Tang, X. Yang, X. Zhu, Y. Duan, and H. Li, "Classification of steel materials by laser-induced breakdown spectroscopy coupled with support vector machines," *Applied optics* 53, 544-552 (2014).
- [6] Cristianini, N. and J. Shawe-Taylor, *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*, Cambridge university press, 2000.

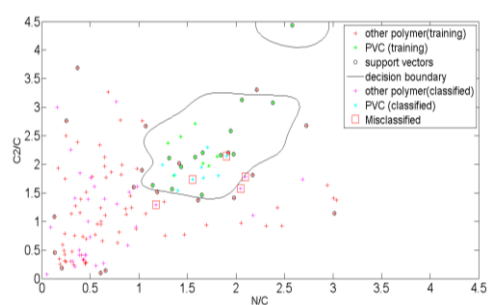


شکل ۳: نمودار مدل SVM برای تفکیک پلیمر PVC از سایر پلیمرها با استفاده از یک تابع تفکیک کننده خطی و شدت‌های نسبی N/C و C_2/C .

به‌عنوان نمونه نمودارهای مربوط به مدل ماشین بردار پشتیبان با تابع کرنل چند جمله‌ای درجه ۲ و پایه شعاعی در شکل های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۴: نمودار مدل SVM برای تفکیک پلیمر PVC از سایر پلیمرها با استفاده از تابع کرنل چندجمله‌ای درجه ۲ ($d=2$) که در آن بردار پشتیبان \vec{x}_i و بردار ورودی است.



شکل ۵: نمودار مدل SVM برای تفکیک پلیمر PVC از سایر پلیمرها با استفاده از یک تابع کرنل پایه شعاعی

نتایج مربوط به میزان طبقه‌بندی صحیح داده‌های آزمون که از مقایسه خروجی مدل SVM با ماهیت واقعی پلیمرها بدست آمده برای هر کدام از توابع کرنل مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با استفاده از توابع کرنل چندجمله‌ای درجه ۲ و درجه ۵، پلیمرهای PVC از سایر