

## آنالیز مو با استفاده از روش بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری و مدل ماشین بردار پشتیبان به منظور تشخیص اعتیاد

محمد وحید دستجردی<sup>۱</sup>، زهرا درخشان زاده<sup>۲</sup>، سید جبار موسوی<sup>۱</sup>، حسن رنجبرعسکری<sup>۲</sup>

و محمود سلطان‌الکتابی<sup>۱</sup>

۱. گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

۲. گروه فیزیک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان

(دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۶؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۶/۰۱/۲۳)

### چکیده

هم‌زمان با پیشرفت روش‌های آزمایشگاهی کشف اعتیاد، روش‌های نهان کردن یا به عبارتی ایجاد نتایج منفی کاذب به طرق مختلف فیزیکی و شیمیایی نیز گسترش یافته است. در این پژوهش به دنبال ارایه روشی جدید بر اساس بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری بر اساس آنالیز موی سر افراد سالم و معتاد هستیم تا بر مشکلات روش‌های مرسوم غلبه و امکان تقلب در تشخیص اعتیاد را به صورت قابل ملاحظه‌ای کم کنیم. به این منظور، ابتدا از موی سر ۱۷ فرد سالم و ۱۷ فرد معتاد نمونه برداری شد و سپس از هر نمونه ۵ بیناب و در مجموع ۱۷۰ بیناب ثبت شد. پس از تجزیه و تحلیل بیناب‌های LIBS ثبت شده و آشکارسازی خطوط اتمی، یونی و همچنین باندهای مولکولی، شدت‌های نسبی مربوط به خطوط گسیلی آلومینیوم به کلسیم (Al / Ca) و آلومینیوم به سدیم (Al / Na) به عنوان متغیرهای ورودی برای روش ماشین بردار پشتیبان انتخاب شد. در مدل SVM از توابع کرنل پایه شعاعی، چند جمله‌ای و یک تابع خطی برای انجام گروه بندی روی داده‌ها استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان با ترکیب روش LIBS و مدل ماشین بردار پشتیبان فرد معتاد را با دقت ۱۰۰٪ به درستی تشخیص داد. به دلیل مزایای متعدد روش LIBS همچون آنالیز سریع و قابلیت سیار بودن، این روش می‌تواند به تنهایی و یا در کنار روش‌های موجود به عنوان یک روش تشخیص خودکار اعتیاد از طریق آنالیز موی سر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری، موی سر، اعتیاد، ماشین بردار پشتیبان

### ۱. مقدمه

نیاز به دستگاه‌های تخصصی و هزینه فراوان دارد. یکی از مشکلاتی که در آزمایش تشخیص اعتیاد در آزمایشگاه‌ها به خصوص مراکز پزشکی قانونی و آزمایشگاه‌های مرجع پاسخگو به استعلامات ادارات دولتی وجود دارد، احتمال موارد مثبت و

یکی از راه‌های شناسایی افراد معتاد، تست‌های آزمایشگاهی دقیق می‌باشد. آزمایش‌های تشخیص اعتیاد به طور معمول کیفی بوده و انجام آزمایش‌های کمی برای تشخیص مواد اعتیاد آور

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱. نمونه‌های مورد آنالیز

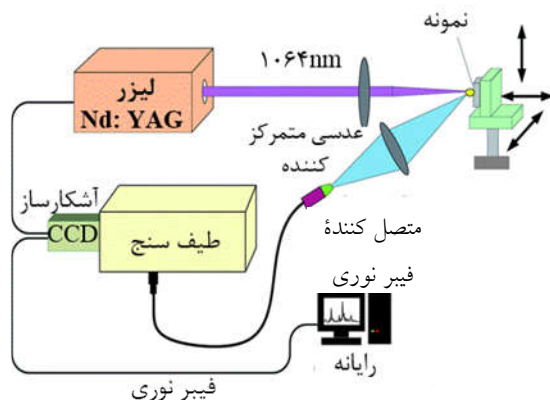
در این پژوهش ۱۷ فرد سالم و ۱۷ فرد معتاد انتخاب و مقداری از موی سر این افراد نمونه برداری شد. نمونه افراد معتاد از کمپ محل نگهداری آنها در اصفهان تهیه شد. به منظور کاهش اثرات محیطی در پاسخ‌های آزمایش و بر طرف کردن هر گونه آلودگی سطحی، ابتدا نمونه‌های مورد نظر با استون و الکل شستشو و سپس در دمای اتاق خشک شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از سیستم فشار هیدرولیکی به ۳۴ قرص هم شکل و هم اندازه با سطحی کاملاً صاف با قطر ۱۳ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر تبدیل شدند تا همه نمونه‌ها در شرایط کاملاً مشابه آنالیز شوند و تنها عامل تفاوت در بیناب ثبت شده از نمونه‌های مختلف، تفاوت ساختاری آنها باشد.

### ۲. روش بررسی

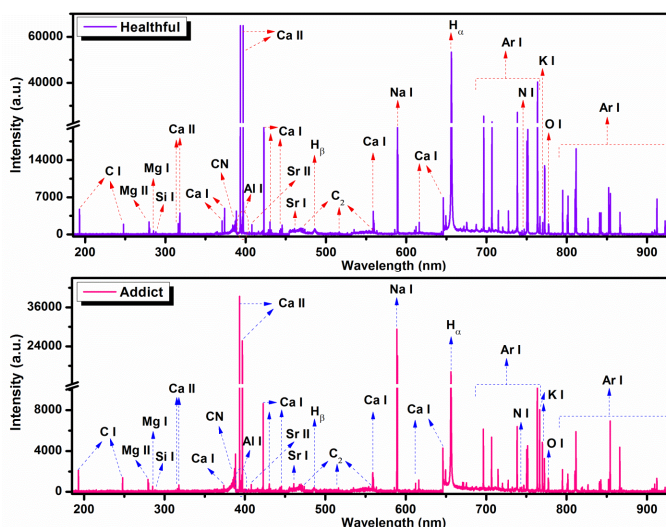
بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری (LIBS) یکی از روش‌های بیناب‌نمایی گسیل اتمی است که بر اساس آشکارسازی و آنالیز گسیل‌های پلاسمای نمونه استوار است. در این روش، ابتدا نمونه مورد تحلیل توسط یک لیزر تپی با توان بالا مورد تابش قرار گرفته و بلافاصله بعد از جذب انرژی لیزر توسط نمونه، ترکیبات آن تبخیر شده و سپس یک پلاسمای با دما و چگالی بالا و حاوی تمام عناصر موجود در نمونه شکل می‌گیرد. با گسترش پلاسمای سرد شدن آن گونه‌های یونی، اتمی و مولکولی مرتبط با عناصر موجود در نمونه شروع به گسیل کرده که با ثبت این گسیل‌ها توسط بیناب‌سنج و تحلیل طول موج‌ها و شدت‌های گسیلی می‌توان به اطلاعات کیفی و کمی از گونه‌های موجود در نمونه دست یافت. از جمله مزایای روش LIBS می‌توان به آنالیز هم‌زمان چند عنصری، قابلیت سیار بودن، غیر مخرب بودن، قابلیت آشکارسازی درجا و آنی، توانایی آنالیز ماده در هر سه حالت جامد، مایع و گاز، عدم نیاز و یا نیاز کم به آماده‌سازی نمونه اشاره کرد [۵]. در این پژوهش برای آنالیز نمونه‌ها از سامانه LIBSCAN ۱۰۰ ساخت شرکت

منفی کاذب است. متأسفانه هم‌زمان با پیشرفت روش‌های آزمایشگاهی کشف اعتیاد، روش‌های نهان کردن یا به عبارتی ایجاد نتایج منفی کاذب به طرق مختلف فیزیکی و شیمیایی نیز گسترش یافته است. مصرف کننده مواد مخدر برای گریز از نتایج مثبت آزمایش ادرار، به طور کلی از سه روش رقیق‌سازی نمونه ادرار، افزایش مواد مداخله‌گر و جابه‌جایی نمونه استفاده می‌کند. رقیق‌سازی نمونه مورد آزمایش غلظت ماده مخدر را تا زیر آستانه تشخیص کاهش می‌دهد و سبب نتایج منفی کاذب می‌شود [۱]. استفاده از مواد مداخله‌گر نیز به افزودن مستقیم مواد شیمیایی نظیر نمک و سفید کننده‌ها برای تقلب در نتیجه آزمایش اطلاق می‌شود [۲].

در چند سال اخیر بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری (LIBS) به منظور آنالیز نمونه‌های زیستی به کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به تشخیص پرکاری و کم کاری تیروئید به وسیله آنالیز ناخن افراد [۳] و همچنین استفاده از روش LIBS برای بررسی امکان تشخیص بافت سالم و پوسیده دندان [۴] اشاره کرد که همگی این پژوهش‌ها با نتایج خوبی همراه بوده است. در این پژوهش به دنبال ارائه روشی جدید بر اساس بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری به منظور تشخیص اعتیاد بر اساس آنالیز موی سر افراد سالم و معتاد هستیم تا بر مشکلات روش‌های مرسوم غلبه و امکان تقلب در تشخیص فرد معتاد را به صورت قابل ملاحظه کم کنیم. بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری یکی از روش‌های بیناب‌نمایی گسیل اتمی است که بر اساس آشکارسازی و آنالیز گسیل‌های پلاسمای نمونه استوار است. برای آنالیز بیناب ثبت شده از نمونه‌ها و تشخیص اعتیاد فرد با توجه به آنالیز نمونه موی سر مربوط به او و در نهایت طراحی یک مدل طبقه‌بندی کننده خودکار، از مدل طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان استفاده خواهیم کرد. منظور از طبقه‌بندی، مدلی است که ابتدا آن را با نمونه‌هایی که ماهیت آنها مشخص است آموزش می‌دهیم سپس با استفاده از مدل طراحی شده تشخیص می‌دهیم نمونه‌های مجهول متعلق به کدام گروه هستند.



شکل ۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) طرح‌واره‌ای از سامانه LIBS.



شکل ۲. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نمونه‌ای از بیناب نوعی موی شخص سالم و معتاد به همراه شناسایی خطوط گسیلی عناصر و باندهای مولکولی موجود در آن.

نمونه‌ای از بیناب ثبت شده از نمونه‌های مو در شکل ۲ و طول موج‌های مورد استفاده برای آشکارسازی عناصر و باندهای مولکولی مورد نظر [۶، ۷] در جدول ۱ خلاصه شده است. برای پیدا کردن متغیرهایی که بتوان با استفاده از آنها بین موی یک فرد سالم و یک فرد معتاد تمایز قائل شد، شدت‌های گسیلی آشکار شده و نسبت‌های آنها برای هر گروه از افراد سالم و معتاد با هم مقایسه شد و در نهایت مشخص شد که شدت‌های نسبی  $(Ca\ I(422,6\ nm) / Al\ I(396,15\ nm))$  و  $(Na(589,99\ nm) / Al\ I(396,15\ nm))$  می‌توانند بین این دو گروه تفکیک ایجاد کنند. همچنین شایان ذکر است بیناب

Applied Photonics استفاده شده است. این سامانه مجهز به یک لیزر Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر، انرژی خروجی متغیر تا ۱۰۰ mJ، پهنای تپ  $7 \pm 2\ ns$  و بسامد تکرار ۱ تا ۲۰ Hz بوده که بیناب پلاسمای تولیدی توسط آشکارساز مدل A-13-01-20 شرکت Avantes ثبت می‌شود. توانایی تفکیک پذیری دستگاه در نواحی مختلف طول موجی بین ۰/۰۳ nm تا ۰/۱۵ nm بوده و قابلیت بیناب‌نگاری در ناحیه طول موجی ۱۸۰ تا ۱۰۵۷ نانومتر را دارد. طرح‌واره‌ای از سامانه LIBS مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. طول موج‌های مورد استفاده برای آشکارسازی عناصر و باندهای مولکولی مختلف.

عناصر (یا مولکول) مورد تحلیل	طول موج مورد استفاده برای آشکارسازی عنصر و مولکول مورد تحلیل (nm)
Ca II	۳۹۶/۸۴; ۳۹۳/۳۶; ۳۱۷/۹۳; ۳۱۵/۸۸
Ca I	۶۴۹/۳۷; ۶۴۶/۲۵; ۶۱۶/۲۱; ۶۱۲/۲۲; ۶۱۰/۲۷; ۵۵۸/۸۷; ۴۴۵/۴۷; ۴۴۳/۴۹; ۴۴۲/۵۴; ۴۳۰/۲۵; ۴۲۲/۶۷
Al I	۳۹۶/۱۵; ۳۹۴/۴۰
Mg II	۲۸۰/۲۷; ۲۷۹/۵۵
Mg I	۲۸۵/۲۱
Na I	۵۸۹/۵۹; ۵۸۸/۹۹
K I	۷۶۹/۸۹; ۷۶۶/۴۹
C I	۲۴۷/۸۵; ۱۹۳/۰۹
H	۶۵۶/۲۸; ۴۸۶/۱۵
Si I	۲۸۸/۱۵
Sr II	۴۰۷/۷۷
Sr I	۴۶۰/۷۳
N I	۷۴۶/۸۳; ۷۴۴/۲۲; ۷۴۲/۳۶
OI	۷۷۷/۱۹
C <sub>v</sub>	۵۵۰-۵۶۴; ۵۱۶/۴۲; ۴۶۷-۴۷۴
CN	۳۸۹-۳۸۵

هر  $x_i$  یک بردار  $p$  بعدی از اعداد حقیقی است که در واقع همان شدت‌های موجود در بیناب مرتبط با هر نمونه مو هستند [۸، ۹]. در این تحقیق  $P=2$  است که متناظر با شدت‌های نسبی  $Al\ I(396/15\text{ nm})/Ca\ I(422/6\text{ nm})$  و  $Al\ I(396/15\text{ nm})/Na\ I(588/99\text{ nm})$  است. کلاس  $\{1\}$  مرتبط با موی افراد معتاد و کلاس  $\{-1\}$  مرتبط با موی افراد سالم است. نخستین مرحله برای تعیین ابرصفحه بهینه، پیدا کردن نزدیک‌ترین نمونه‌هایی است که برای آموزش مدل استفاده می‌شود. این نمونه‌های آموزشی بردارهای پشتیبان<sup>۱</sup> نام دارند. هرگاه یک تابع خطی نتواند داده‌های دو کلاس را از هم تفکیک کند (داده‌ها تفکیک پذیر 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 تفکیک پذیری

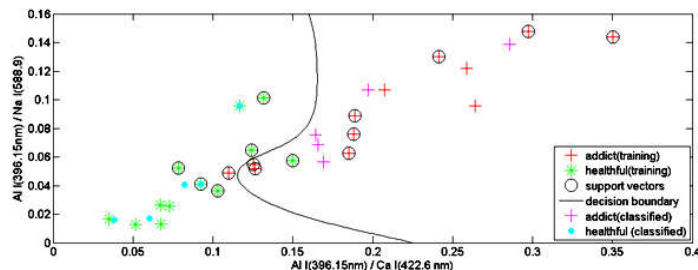
نمونه‌ها در اتمسفر گاز آرگون ثبت و از یک مدار تأخیر انداز الکترونیکی با قابلیت اعمال تاخیر  $1,3\ \mu\text{s}$  جهت بهبود ثبت گسیل‌ها با بیشینه نسبت سیگنال به نوفه استفاده شد. به منظور کاهش اثرات محیطی و همچنین خطاهای اندازه‌گیری ناشی از ناپایداری انرژی لیزری و ناهمگنی‌های احتمالی در سطح، از هر نمونه ۵ بیناب ثبت و با میانگین‌گیری از هر ۵ بیناب در نهایت یک بیناب مرتبط با نمونه موی سر هر شخص تهیه شد.

### ۳.۲. روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

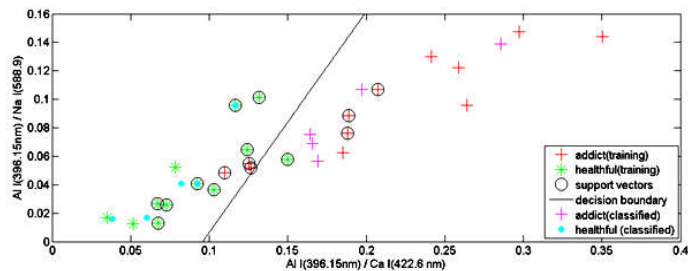
ماشین بردار پشتیبان یک روش طبقه‌بندی نظارت شده و بر اساس یادگیری آماری است که در آن یک تابع، که به صورت یک ابر صفحه توصیف می‌شود، برای تفکیک بهینه دو کلاس از داده‌ها از یکدیگر تعیین می‌شود. فرض کنیم مجموعه نقاط  $\{(x_1, c_1), (x_2, c_2), \dots, (x_n, c_n)\}$  را در اختیار داریم و می‌خواهیم آنها را به دو کلاس  $c_i = \{-1, 1\}$  تفکیک کنیم.

۱. Train

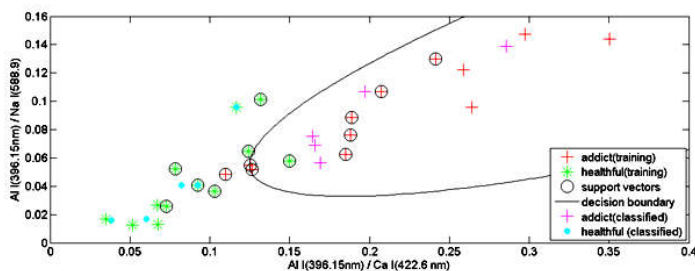
۲. Support vectors



شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) کردار مدل SVM برای تفکیک نمونه موی فرد سالم از معتاد با استفاده از یک تابع کرنل تفکیک کننده پایه شعاعی.



شکل ۴. (رنگی در نسخه الکترونیکی) کردار مدل SVM برای تفکیک نمونه موی فرد سالم از معتاد با استفاده از یک تابع تفکیک کننده خطی.

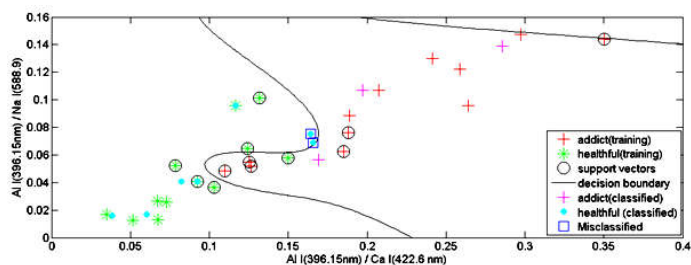


شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) کردار مدل SVM برای تفکیک نمونه موی فرد سالم از معتاد با استفاده از یک تابع کرنل تفکیک کننده چند جمله‌ای درجه ۲.

افراد سالم از معتاد استفاده شد. نتایج مربوط به مدل‌های طراحی شده در شکل‌های ۳ تا ۶ نمایش داده شده است. در این شکل‌ها داده‌های مربوط به آموزش مدل برای نمونه‌های سالم با ستاره سبز رنگ و برای نمونه‌های مربوط به افراد معتاد با علامت‌های به اضافه قرمز رنگ نشان داده شده‌اند. داده‌های آزمون که نتایج طبقه‌بندی مدل هستند با ستاره آبی رنگ برای نمونه‌های مربوط به افراد سالم و علامت‌های به اضافه بنفش برای نمونه‌های موی مربوط به افراد معتاد نشان داده شده‌اند. همچنین نمونه‌هایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند یک مربع آبی رنگ به دور خود دارند. مرزهای تصمیم‌گیری برای طبقه‌بندی

بهتری صورت خواهد گرفت. عمومی‌ترین‌ها کرنل‌ها، کرنل‌های چند جمله‌ای و تابع پایه شعاعی<sup>۱</sup> (RBF) هستند [۱۰، ۱۱، ۱۲]. در این پژوهش برای آموزش مدل و ارزیابی کارایی آن بر روی داده‌های آزمون از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. برای ایجاد مدل ماشین بردار پشتیبان، داده‌ها به دو دسته آموزش و آزمون تقسیم‌بندی می‌شوند. در این پژوهش از مجموع داده‌های ثبت شده از نمونه‌های مورد مطالعه ۷۰٪ داده‌ها برای آموزش مدل و ۳۰٪ داده‌ها برای آزمون کارایی مدل، مورد استفاده قرار گرفتند. سپس از توابع خطی، کرنل‌های چندجمله‌ای درجه دو و چهار و تابع پایه شعاعی به منظور تفکیک نمونه‌های موی

۳. Radial basis function



شکل ۶. (رنگی در نسخه الکترونیکی) کردار مدل SVM برای تفکیک نمونه موی فرد سالم از معتاد با استفاده از یک تابع کرنل تفکیک کننده چند جمله‌ای درجه ۴.

جدول ۲. نتایج مربوط به میزان طبقه‌بندی صحیح داده‌های آزمون.

تابع کرنل	میزان طبقه‌بندی صحیح داده‌های آزمون
چند جمله‌ای درجه ۲	٪۱۰۰
چند جمله‌ای درجه ۴	٪۸۰
خطی	٪۱۰۰
پایه شعاعی (RBF)	٪۱۰۰

فروشکست القایی لیزری و مدل ماشین بردار پشتیبان به منظور تشخیص اعتیاد به وسیله آنالیز موی سر مورد بررسی قرار گرفت. پس از تجزیه و تحلیل بیناب‌های LIBS ثبت شده و آشکارسازی خطوط اتمی و یونی و همچنین باندهای مولکولی مختلف مربوط به هر نمونه، مشخص شد که شدت‌های نسبی مربوط به خطوط گسیلی آلومینیوم به کلسیم (Al / Ca) و آلومینیوم به سدیم (Al / Na) بین افراد سالم و معتاد متفاوت است. به منظور طبقه‌بندی نمونه‌های مورد بررسی و تفکیک آنها از مدل ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. نتایج مربوط به میزان طبقه‌بندی صحیح داده‌های آزمون که از مقایسه خروجی مدل SVM با ماهیت واقعی نمونه‌ها به دست آمد نشان داد روش LIBS-SVM می‌تواند با دقت ٪۱۰۰ درصد نمونه‌های مورد آزمون در این پژوهش را از هم تفکیک و فرد معتاد را از فرد سالم تشخیص دهد. در نتیجه روش جدید به کار برده شده در این پژوهش می‌تواند با مزایایی همچون آنالیز سریع و قابلیت سیار بودن به عنوان یک روش جدید در تشخیص خودکار اعتیاد مورد استفاده قرار گیرد و امکان تقلب در تشخیص فرد معتاد را به صورت قابل ملاحظه‌ای کم کند.

داده‌های آزمون با خطوط مشکی رنگ و بردارهای پشتیبان نیز با دایره‌های مشکی علامت گذاری شده‌اند.

میزان طبقه‌بندی صحیح مدل‌های طراحی شده مختلف برای داده‌های آزمون محاسبه شد؛ که در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود با استفاده از روش بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری و مدل طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان می‌توان یک سامانه خودکار تشخیص اعتیاد طراحی کرد که افراد معتاد را از افراد سالم با آنالیز موی آنها تشخیص دهد. لازم به ذکر است که نتایج مربوط به میزان طبقه‌بندی صحیح داده‌های آزمون از مقایسه خروجی مدل SVM با ماهیت واقعی نمونه‌ها به دست آمده است. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با استفاده از توابع کرنل چند جمله‌ای درجه ۲، تابع پایه شعاعی و تابع خطی نمونه‌های موی فرد معتاد و سالم با دقت ٪۱۰۰ به درستی تفکیک شده‌اند.

### ۳. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، امکان سنجی استفاده از روش بیناب‌نمایی

## مراجع

- Applications*, Mar 15 International Society for Optics and Photonics (2013) 87700B.
8. J Cisewski, *et al.*, *Journal of Chemometrics* **26** (2012) 143.
  9. N C Dingari, *et al.*, *Analytical chemistry* **84** (2012) 2686.
  10. N Cristianini and J Shawe-Taylor, “*An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*”, Cambridge university press, (2000).
  11. V Vapnik, “*The nature of statistical learning theory*”, Springer Science & Business Media, (2013).
  12. V N Vapnik and V Vapnik, “*Statistical learning theory*” Wiley New York, (1998).
  1. S Mikkelsen and K Ash, *Clinical Chemistry* **34** (1988) 2333.
  2. S George and R Braithwaite, *Journal of analytical toxicology* **20** (1996) 195.
  3. M Bahreini and S H Tavassoli, *Journal of Lasers in Medical Sciences* **3** (2012) 127.
  4. M Gazmeh, *et al.*, *Applied optics* **54** (2015) 123.
  5. S Musazzi and U Perini, “*Laser-induced breakdown spectroscopy*”, Springer Series in Optical Sciences, **182**. ISBN 978-3-642-45084-6. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2014) 1.
  6. NIST, “*Atomic spectra database*,” <http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>.
  7. Ż Trzebiatowska, *et al.*, *Laser Physics and*