

ارزیابی سامانه تشخیص درصد خلوص بیودیزل پالم توسط فناوری طیف‌سنجی دی‌الکتریکی و ماشین بینایی

علیرضا زاهدی*

دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مهرداد رشوند

پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اردشیر شایان‌نژاد

دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده: بیودیزل یک سوخت پاک و جایگزینی برای دیزل به‌شمار می‌رود که تنها از منابع تجدید پذیر مانند روغن‌های گیاهی و حیوانی تهیه می‌شود. از این رو عمده‌ترین روش سوءاستفاده در این سوخت، مخلوط کردن سوخت‌های ارزان‌قیمت دیگر مانند دیزل به بیودیزل خالص است. بنابراین هدف این پژوهش ارزیابی یک سامانه هوشمند به‌منظور تشخیص درصد خلوص سوخت بیودیزل به کمک تلفیق طیف‌سنجی دی‌الکتریکی و فناوری پردازش تصویر می‌باشد. به منظور استفاده از فناوری دی‌الکتریکی با گذاشتن ماده در بین حسگر خازنی با توجه به محتوای خود، اثرهای گوناگونی روی ظرفیت خازن می‌گذارد. همچنین در راستای بهره‌گیری از ماشین‌بینایی از فناوری پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور تصویر همزمان با داده‌برداری توسط سامانه دی‌الکتریکی گرفته شد و سپس در فضاهای رنگی RGB ، $L^*A^*B^*$ و CMY مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور طبقه‌بندی نمونه‌های بیودیزل تقلبی و اصلی با استفاده از ویژگی‌های فرکانسی و رنگی، از فناوری‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی، تحلیل جداسازی خطی، درخت تصمیم‌گیری، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. بهترین شبکه با ساختار ۳۶-۶-۱ برای پیش‌بینی نمونه‌های مخلوط شده بیودیزل پالم و دیزل مقدارهای ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا را به ترتیب ۰/۹۴۴ و ۰/۰۰۶ ارائه داد. در گام پایانی از ترکیب ویژگی‌های دی‌الکتریکی و رنگی به منظور مدل‌سازی مسئله استفاده شد. مقدارهای ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا برای نمونه‌های مخلوط شده بیودیزل و دیزل برابر ۰/۹۶۲ و ۰/۰۰۸ با ساختار ۳۸-۲-۱ به دست آمد. نتیجه‌های ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که دستگاه طراحی شده توانایی تشخیص درصد خلوص سوخت بیودیزل را با دقت بالایی دارا است.

کلمات کلیدی: بیودیزل؛ درصد خلوص؛ دی‌الکتریکی؛ شبکه عصبی؛ پردازش تصویر.

KEYWORDS: Biodiesel; Fraud; Dielectric; Image processing; Neural network.

مقدمه

استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی، افزایش فراورده‌های نفتی و کاهش ذخیره‌های موجود، پژوهشگران را در جهت یافتن منابع نفتی نوین انرژی ترغیب نموده است. بیشینه تولید اقتصادی منابع نفتی بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ میلادی خواهد بود؛ بنابراین پیرو آن تولید اقتصادی فراورده‌های نفتی نیز در سال‌های آینده کاهش خواهد یافت. افزون بر مشکل کاهش منابع نفتی، مشکل‌های زیست‌محیطی فراوانی نیز بر سر راه استفاده از سوخت دیزل قرار دارد که از آن جمله می‌توان به تولید هیدروکربن‌های نسوخته، کربن مونواکسید، آلاینده‌های گوگردی و همچنین تولید کربن دی‌اکسید اشاره کرد [۱].

از شدت گرفتن مشکلات ذکر شده، توجه پژوهشگران به سمت سوخت‌های جایگزین جلب شد. در حال حاضر جستجو برای یافتن و استفاده از سوخت‌های جایگزین به واسطه دو عامل محدودیت منابع فسیلی و مشکلات جدی آلودگی محیط‌زیست، یکی از هدف‌های مهم پژوهشگران نیز می‌باشد [۲]. بیودیزل یک سوخت پاک، تجدیدپذیر، غیرسمی و بدون آروماتیک است که از منابع طبیعی و قابل تجدید مانند روغن‌های گیاهی ساخته می‌شود. از این رو در سال‌های اخیر به دلیل مشکل‌های زیست‌محیطی و قابلیت تجدیدپذیری سوخت‌های زیستی، پژوهش‌های گسترده‌ای در راستای امکان‌یابی استفاده از بیودیزل به جای سوخت دیزل انجام گرفته است [۳]. بیودیزل درست مانند دیزل، در موتورهای احتراقی کار می‌کند و برای این کار اصولاً هیچ‌گونه تغییر موتوری لازم نیست. بیودیزل، ظرفیت و دامنه کار دیزل را حفظ می‌کند. بیودیزل از نظر ساختار شیمیایی جزء استرها محسوب می‌شود و در اثر واکنش بین روغن با الکل در حضور یک نوع کاتالیست مناسب به دست می‌آید [۴]. این سوخت می‌تواند از روغن‌های گیاهانی مانند ذرت، آفتابگردان، بادام‌زمینی، برخی دانه‌های روغنی مانند کرچک و همچنین روغن‌های پسماند خوراکی و چربی‌های حیوانی در کنار یک عامل متیل‌کننده تولید شود [۵]. روغن‌های گیاهی برای اولین بار در اوایل قرن بیستم توسط رادولف دیزل به عنوان سوخت مورد بررسی قرار گرفت و تا سال‌های اخیر استفاده از آن به عنوان سوخت موتور تنها در شرایط بحرانی مطرح شد [۶]. ولی امروزه با کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و مسائل زیست‌محیطی ناشی از احتراق این نوع سوخت‌ها، توجه ویژه‌ای به روغن‌های گیاهی غیرخوراکی می‌شود [۷].

قیمت زیاد برای تولید یک لیتر سوخت بیودیزل انگیزه لازم را برای ورود سودجویان به این بازار فراهم کرده است. عمده‌ترین روش

سوءاستفاده هم مخلوط کردن سوخت‌های ارزان‌قیمت مانند دیزل با بیودیزل می‌باشد. همچنین امکان تشخیص تقلب به‌آسانی وجود ندارد. بر این اساس توسعه روشی نوین که بتواند مشکل‌های موجود را بر طرف نموده و دارای برتری‌هایی چون دقت بالا و زمان پردازشی کم باشد، بسیار ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از فناوری غیرمخربی چون طیف‌سنجی دی‌الکترونیک به دلیل برتری‌های آن از جمله دقت و سرعت بالا، قابلیت تکرارپذیری زیاد بسیار دارای اهمیت است. این روش، فناوری کاربردی در حوزه کشاورزی، صنایع غذایی و سوخت محسوب می‌شود. پژوهشی بر روی روغن‌زیتون برای تشخیص درصد خلوص با استفاده از طیف دی‌الکترونیک انجام شده است. در این پژوهش از یک ولتاژ سینوسی ۴ ولتی در بازه‌ی بسامد ۱۰ هرتز تا یک مگاهرتز برای تعیین هر دی‌الکترونیک مخلوط دوتایی از روغن زیتون استفاده شد. همچنین از مدل حداقل مربعات جزئی^۱ به منظور تشخیص میزان درصد خلوص در روغن استفاده شد. افزون بر این، جهت طبقه‌بندی نمونه‌های روغن‌زیتون بکر به‌عنوان روغنی جدا از روغن‌های تقلبی از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۲ استفاده شده است. نتیجه‌های با استفاده از مدل برازش حداقل مربعات جزئی تخمین خوبی برای ترکیب روغن‌زیتون همراه با روغن سویا به‌عنوان یک روغن تقلبی نشان داد. همچنین نمودارهای طبقه‌بندی شده توسط روش یاد شده عملکرد روشی برای همه نمونه‌های روغن نشان داده است و به‌آسانی آن‌ها را در خوشه‌های متفاوت دسته‌بندی می‌کند. از نتیجه این پژوهش می‌توان دید که طیف دی‌الکترونیک می‌تواند جهت تشخیص روغن‌زیتون تقلبی با انواع روغن‌هایی که درصد مخلوطشان زیر ۵ درصد است به‌کاربرده شود [۸]. برای سنجش الگوی رنگ در سطوح رنگی غیر یکنواخت از ماشین بینایی استفاده می‌شود. مارشال و همکاران، پژوهشی بر روی تشخیص محتوای ناخالصی روغن‌زیتون انجام دادند. هدف‌های آن‌ها عبارت بود از توسعه دستگاهی که به‌وسیله ماشین بینایی و شبکه عصبی مصنوعی بتواند درصد خلوص در روغن‌زیتون را تشخیص دهد. در این پژوهش از تصویرهای رنگی استفاده شده که هیستوگرام رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) با استفاده از شمارش تعداد پیکسل‌ها در هر سطح شدت (۲۵۶ سطح شدت) به دست می‌آید. این سه هیستوگرام با یکدیگر تلفیق شده و در مجموع یک هیستوگرام ۷۶۸ سلولی به دست آمد که تعداد پیکسل‌ها در هر سلول به‌عنوان ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته شد. آن‌ها گزارش دادند که شبکه‌های عصبی آموزش‌دیده، می‌توانند بین روغن‌زیتون بکر و

(۱) Partial least squares

(۲) Principal component analysis

بیودیزل به دست آمده از پالم در دانشکده فناوری‌های نوین دانشگاه علم و صنعت انجام شد. مخلوط‌های گوناگون سوخت بیودیزل و دیزل با درصد حجمی صفر تا بیست با گام ۵ درصد (۱۰۰٪، ۵-۹۵٪، ۱۰-۹۰٪، ۱۵-۸۵٪، ۲۰-۸۰٪، ۲۵-۷۵٪) تهیه شد. همچنین دیزل مورد استفاده از مخزن‌های جایگاه‌داران سوخت در کشور خریداری شد.

سامانه الکتريکی

سامانه تشخیص درصد خلوص مورد نظر از یک میکروکنترلر ATMEGA16، مدار ولتاژ مستقیم، یک حسگر خازنی استوانه‌ای، مدار تولید سیگنال، گیرنده و فرستنده‌های سریال و صفحه نمایش ال سی دی تشکیل شده است. حسگر خازنی استوانه‌ای از ورقی مسی به ضخامت ۰/۵ و با ارتفاع ۵۰ میلی‌متر ساخته شد. از تراشه MAX038 که یک سیگنال سینوسی شکل با فرکانس بالا تولید می‌کند در قسمت سیگنال ژنراتور استفاده شد. در این دستگاه با استفاده از یک مقاومت خارجی و یک خازن متغیر، فرکانس خروجی را که در محدوده ۲۰ کیلوهرتز تا ۲۰ مگاهرتز است را کنترل می‌کند. برای اندازه‌گیری پارامترهای دی‌الکتریک از تراشه AD8302 استفاده شد. از این تراشه برای اندازه‌گیری اختلاف فاز و میزان ضریب میرایی استفاده می‌شود. همچنین بسامد سیگنال ورودی تا ۲/۷ گیگاهرتز انتخاب شد. با توجه به حجم عظیم اطلاعات استخراجی در زمان داده‌برداری، نیاز بود که دستگاه پارامترهای اندازه‌گیری شده را به رایانه ارسال و با کمک برنامه متلب تحلیل شود. همچنین برای قرار گرفتن نمونه‌های سوخت از یک خازن استوانه‌ای استفاده شد. برای قرار گرفتن کامل نمونه درون حسگر، خازن به ارتفاع ۷۰ میلی‌متر، شعاع استوانه داخلی برابر ۴ میلی‌متر، شعاع استوانه خارجی ۲۵ میلی‌متر و حجم کل آن ۱۰۰ میلی‌لیتر تعبیه شد. شکل ۱ شمای مربوط به راه‌اندازی دستگاه را نشان می‌دهد.

آزمایش مورد نظر در سامانه طیف‌سنجی دی‌الکتریک در دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس انجام شد. برای این که دستگاه بتواند ویژگی‌های یک نمونه بیودیزل را تخمین بزند، به یک حسگر خازنی نیاز بود. پارامترهایی که از یک حسگر خازنی می‌توان استخراج نمود عبارت‌اند از ضریب دی‌الکتریک و ضریب اتلاف. اگر یک نمونه سوخت بیودیزل درون خازن قرار گیرد، با توجه به کیفیت خود اثرهای گوناگونی روی ظرفیت خازن می‌گذارد. به‌طور نمونه اگر نمونه خالص‌تر باشد، ظرفیت خازن بیش‌تر شده و برعکس. حسگر مورد استفاده در این پژوهش از خازن استوانه‌ای و

روغن‌زیتون‌های ناخالص که جزء تقلب به حساب می‌آید را با دقت ۸۲/۳۸ درصد از هم تفکیک کنند [۹].

کارولاهو و همکاران پژوهشی بر روی بحث کیفیت بیودیزل با استفاده از حسگر خازنی انجام دادند. آن‌ها در این پژوهش برای تشخیص درصد خلوص از بیودیزل سویا و دیزل S500 با ترکیب ۱ تا ۹ درصد استفاده کردند. پس از ترکیب بیودیزل - دیزل از یک دستگاه اندازه‌گیری ظرفیت خازن^۱ جهت اندازه‌گیری شاخص دی‌الکتریک استفاده کردند. نتیجه‌های به دست آمده از این پژوهش نشان داد که دستگاه با ضریب همبستگی ۰/۹۹۲ و میانگین مربعات ۰/۰۲۳ دارای دقت بالایی می‌باشد [۱۰]. همچنین پکو و همکاران بر روی خواص دی‌الکتریک سوخت‌های بیودیزل تولید شده از مواد متفاوت روغن‌های گیاهی پژوهش‌هایی انجام دادند. در این پژوهش روغن‌های گیاهی کلزا، سویا، آفتابگردان و ذرت مورد مطالعه قرار گرفتند. یافته‌ها بیانگر از تغییرهای شدید خاصیت دی‌الکتریک مواد با تغییر گرانش بود [۱۱]. بر این اساس، طیف‌سنجی دی‌الکتریک یک رویکرد تحلیلی جایگزین و قابل اطمینان برای تشخیص ویژگی‌های مواد گوناگون و نظارت بر ویژگی‌های برخی از سوخت‌های زیستی، مانند ویسکوزیته و پارامترهای مرتبط مانند پروفیل‌های ساختاری اسید چرب در سوخت‌های بیودیزل می‌باشد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه ویژگی‌های الکتریکی بیودیزل تنها به شاخص دی‌الکتریک بیودیزل حاصل از مواد گوناگون و کیفیت مواد اشاره شده است. با توجه به بحث درصد خلوص در حوزه‌های کشاورزی، صنایع غذایی و سوخت، می‌توان بیان نمود که تشخیص درصد خلوص و تخمین میزان ناخالصی یکی از ضرورت‌ها در راستای بهبود سطح کیفی و افزایش قدرت رقابت این محصول در بازارهای داخلی و جهانی است. بنابراین به‌کارگیری یک روش نوین در جهت تشخیص تقلبی بودن سوخت بیودیزل می‌تواند بسیار مفید و تأثیرگذار باشد. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی یک سامانه قابل حمل به منظور تشخیص درصد خلوص بیودیزل به کمک تلفیق فناوری‌های حسگر خازنی و پردازش تصویر می‌باشد. استفاده هم‌زمان و برخط ضریب دی‌الکتریک و پردازش تصویر به منظور تشخیص ارزان و سریع درصد خلوص بیودیزل برای اولین بار در دنیا صورت پذیرفته است.

بخش تجربی

مواد

در این پژوهش تولید بیودیزل روغن گیاهی پالم با روش ترانس استریفیکاسیون و دستگاه اولتراسونیک به منظور شدت‌بخشی تولید

(۱) Inductance, Capacitance, and Resistance (LCR)

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = |\varepsilon|e^{(-j\delta)} \quad (1)$$

که در آن، بخش حقیقی ε' ثابت دی‌الکتریک و بخش موهومی ε'' ضریب اتلاف است. ثابت دی‌الکتریک قابلیت ذخیره انرژی و ضریب اتلاف دی‌الکتریک قابلیت جذب انرژی ماده درون خازن را نشان می‌دهد. همچنین مقدار دی‌الکتریک و ضریب اتلاف نمونه، با استفاده از رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه شد [۸].

$$\varepsilon' = \left(1 + \frac{\varphi \times \lambda_0}{360 \times t}\right)^2 \quad (2)$$

$$\varepsilon'' = \frac{A\lambda_0 \sqrt{\varepsilon'}}{8.68\pi t} \quad (3)$$

در رابطه ۲ و ۳ φ میزان شیفت فاز (درجه)، λ_0 طول موج سیگنال (m)، t ضخامت نمونه داخل حسگر (m)، و A ضریب میرایی (dB) است.

از رابطه ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که ثابت دی‌الکتریک (ε') تابعی از مقدار تغییر فاز و ضریب اتلاف تابعی از ضریب میرایی حسگر است.

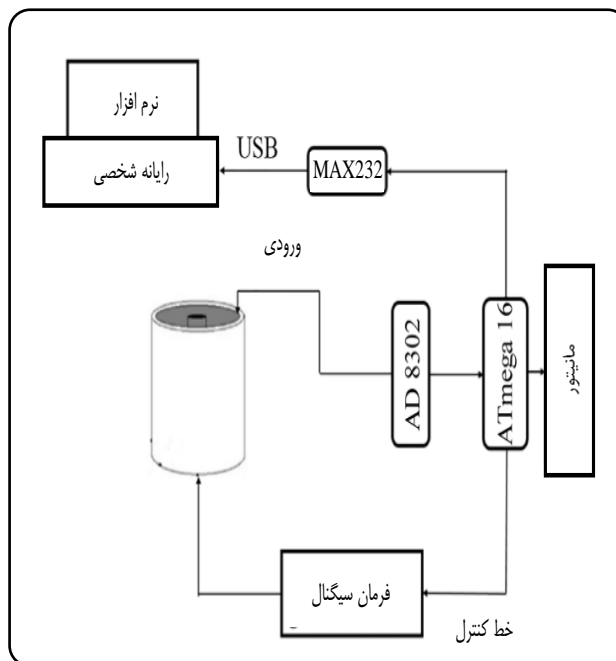
استخراج ویژگی‌های دی‌الکتریک

بدین منظور محدوده فرکانس که بین ۲۰ کیلوهرتز تا ۲۰ مگاهرتز است برای تغذیه به خازن انتخاب شد. در مجموع ۳۸۴ فرکانس در بازه‌ی ۲۰ کیلوهرتز تا ۲۰ مگاهرتز وجود دارد که نیمی از این تعداد مربوط به ضریب دی‌الکتریک و نیمی دیگر مربوط به ضریب اتلاف می‌باشد. مقدار ولتاژهای استخراج شده را که در کامپیوتر ذخیره شده‌اند، توسط برنامه متلب تجزیه و تحلیل می‌شود و سرانجام درصد خلوص سوخت موردنظر توسط دستگاه حسگر خازنی مشخص می‌شود.

با توجه به حجم عظیم اطلاعات استخراجی در زمان داده‌برداری، نیاز است که دستگاه، پارامترهای اندازه‌گیری شده را به رایانه ارسال و با کمک برنامه متلب و WEKA تحلیل آن‌ها را انجام دهد.

روش‌های تجزیه و تحلیل

با توجه به ابعاد زیاد متغیرهای ورودی (تعداد ۳۸۴ ویژگی) و در نتیجه زمان‌گیر بودن محاسبات، لازم است ابعاد این ویژگی‌ها کاهش یابد. بدین منظور از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی که یک روش استخراج ویژگی به صورت خطی است و موجب کاهش اندازه‌های داده‌ها با از دست دادن حداقل اطلاعات است، برای ترکیب ویژگی‌ها



شکل ۱- نمودار راه‌اندازی سامانه.

جنس رسانای درون صفحه‌هایی از مس انتخاب شد؛ زیرا این فلز دارای پایداری زیادی است و با گذشت زمان و در شرایط جوی نامساعد اکسیده نمی‌شود. به همین دلیل بر اندازه‌گیری‌ها اثر ناخواسته نمی‌گذارد. برای قرار گرفتن کامل نمونه درون حسگر، خازن به ارتفاع ۷۰ میلی‌متر، شعاع استوانه داخلی برابر ۴ میلی‌متر، شعاع استوانه بیرونی ۲۵ میلی‌متر و حجم کل آن ۱۰۰ میلی‌لیتر بوده است.

پارامتر دیگری که حسگر خازنی در اختیار می‌گذارد، ضریب اتلاف است. وقتی که یک جریان AC از یک حسگر خازنی عبور می‌کند، در حالت ایده‌آل یک اختلاف فاز ۹۰ درجه بین ولتاژ ورودی و جریان خروجی رخ می‌دهد. وقتی که یک ماده دی‌الکتریک درون حسگر قرار می‌گیرد، مولکول‌های ماده دی‌الکتریک به‌طور کامل نمی‌توانند خود را با میدان الکتریکی ایجاد شده وفق دهند؛ در نتیجه اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ کمی کمتر از مقدار ۹۰ درجه می‌شود. اگر زاویه جدید φ باشد، آنگاه مقدار $\varphi - 90$ برابر با زاویه اتلاف است که با δ نشان داده می‌شود.

وقتی که یک میدان الکتریکی بر یک ماده اثر می‌کند، پدیده ذخیره و اتلاف انرژی رخ می‌دهد. اتلاف انرژی زمانی رخ می‌دهد که ماده، انرژی میدان الکتریکی را جذب می‌کند و ذخیره کامل انرژی زمانی رخ می‌دهد که اتلاف صورت نپذیرد؛ بنابراین ضریب دی‌الکتریک شامل دو بخش خواهد بود که به‌صورت رابطه (۱) نمایش داده می‌شود:

جدول ۱- ماتریس اغتشاش به دست آمده از مدل تحلیل جداسازی خطی

واقعی						پیش بینی شده
B100	B95D5	B90D10	B85D15	B80D20	B75D25	
۳	۰	۰	۰	۰	۰	B100
۰	۲	۱	۰	۰	۰	B95D5
۰	۱	۲	۰	۰	۰	B90D10
۰	۰	۰	۳	۰	۰	B85D15
۰	۰	۰	۰	۳	۰	B80D20
۰	۰	۰	۰	۰	۳	B75D25

باشد و نمایش ترسیمی امکان پذیر نیست، روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی می‌تواند به عنوان یک ابزار نمایش و تحلیل داده‌ها به کار رود.

تجزیه و تحلیل جداسازی خطی

تجزیه و تحلیل جداسازی خطی یک روش طبقه‌بندی نظارت شده است که تغییر خطی از بردارهای ویژگی n بعدی (نمونه‌ها) را به فضای m بعدی ($m < n$) فراهم می‌کند. در این روش هدف این است که به داده‌های مربوط به یک کلاس تا حد امکان در زیر فضای نوین ایجاد شده به هم نزدیک و داده‌های کلاس‌های گوناگون از هم دور باشند. به عبارت دیگر پراکندگی بین کلاس داده‌ها، بیشینه پراکندگی درون کلاس داده‌ها کمینه شود. برای رسیدن به این هدف دو ماتریس پراکندگی درون کلاسی و بین کلاسی تشکیل می‌شود. ماتریس پراکندگی بین کلاسی، کوواریانس ماتریس تفاضل میانگین هر کلاس با میانگین کل است و نشان‌دهنده فاصله و پراکندگی بین کلاس‌ها می‌باشد. ماتریس پراکندگی درون کلاسی، کوواریانس ماتریس تفاضل داده‌ها با داده‌های میانگین همان کلاس است و بیان‌گر میزان پراکندگی داده‌های هر کلاس می‌باشد. برای رسیدن به بیشترین فاصله بین داده‌های کلاس‌های گوناگون و نزدیکی بیشترین داده‌های هر کلاس به همدیگر باید ماتریس (پراکندگی بین کلاسی و پراکندگی درون کلاسی) را بیشینه کرد که این کار را با محاسبه بردارها و مقادیر ویژه‌ی این ماتریس انجام می‌دهند. با وجود تفاوت‌های بسیار روش تحلیل تفکیک خطی با روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، شباهت اصلی این دو روش که کاربرد عمده آن‌ها به‌شمار می‌رود، کاهش تعداد بعدهای داده است [۱۲].

پس از کاهش ابعاد داده‌ها، برای پیش‌بینی ارزیابی و اعتبارسنجی به منظور نشان دادن دقت سامانه دی‌الکتیک از درخت تصمیم استفاده شد.

و فشرده‌سازی آن‌ها استفاده می‌شود. نتیجه‌های به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن سطح آستانه مشخص، تعداد ۲ مؤلفه استخراج می‌شود. همان‌گونه که در بخش پیش‌آورده شد، داده‌ها به ۲ مؤلفه اصلی تبدیل شد. سپس فناوری تحلیل فناوری خطی^(۱)، داده‌های مربوط به یک کلاس را که تا حد امکان در زیر فضای جدید ایجاد شده به هم نزدیک و داده‌های کلاس‌های گوناگون را از هم دور می‌کند. سرانجام، داده‌های مربوط به ۵ نمونه سوخت طبقه‌بندی می‌شود. نتیجه‌های به دست آمده از طبقه‌بندی به روش تحلیل تفکیک خطی برای نمونه‌های بیودیزل در جدول ۱ آمده است.

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک روش استخراج ویژگی به صورت خطی است که موجب کاهش ابعاد داده‌ها و زمان انجام محاسبه‌ها با کمترین از دست دادن اطلاعات می‌شود. همچنین برای پیدا کردن ویژگی‌های درست از داده‌ها از این روش استفاده می‌شود. به‌طور کلی آنالیز مؤلفه‌های اصلی سه وظیفه مهم را انجام می‌دهد: الف) اعضای بردار ورودی را به اعضای عمود برهم (مؤلفه‌های اصلی) که همبستگی باهم ندارند تبدیل می‌کند. ب) مؤلفه‌های اصلی را به روشی مرتب می‌کند که مؤلفه‌هایی که بیشترین تغییرها یا بالاترین واریانس را دارند برتری داشته باشند و مؤلفه‌های با اهمیت کم‌تر بعد از مؤلفه اصلی قرار گیرند. ج) مؤلفه‌هایی با اهمیت ناچیز را می‌توان از بقیه مؤلفه‌های مهم حذف کرد.

روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی به‌طور گسترده برای مشخص کردن الگوها و طبقه‌بندی داده‌ها به کار می‌رود و به روشی داده‌ها را بیان می‌کند که شباهت‌ها و تفاوت‌های آن‌ها مشخص‌تر شود. چون در داده‌ها با اندازه‌های بالا یافتن الگوهای داده‌ها می‌تواند سخت

(۱) Linear discriminant analysis (LDA)

ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان روشی است بر اساس نظریه یادگیری آماری، که به طور فزاینده‌ای برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در این روش، مرز دلخواه به عنوان یک شبه صفحه دو مجموعه در یک فضای برداری به طور مستقل بر روی توزیع احتمالی بردارهای آموزشی در مجموعه به دست می‌آید. این شبه صفحه مرزی را تعیین می‌کند که از بردارهای نزدیک به مرز در هر دو مجموعه دورتر است. این بردارهای که در نزدیکی شبه صفحه قرار دارند، بردارهای پوششی نامیده می‌شوند. اگر فضا به صورت خطی جدا نشود، ممکن است هیچ شبه صفحه جداسازی برای شروع وجود نداشته باشد، که برای حل این مشکل از یک تابع هسته استفاده می‌شود. تابع هسته روابط درون داده‌ها را بررسی می‌کند و تقسیم‌های پیچیده‌ای را در فضا ایجاد می‌کند [۱۳].

درخت تصمیم‌گیری

درخت‌های تصمیم‌گیری ابزار ابتکاری نوینی هستند که به انتخاب بین چند گزینه کمک می‌کنند. این ابزار الگوی بسیار مؤثری را فراهم می‌کنند که در آن می‌توان گزینه‌ها را توضیح داد و نتیجه‌های احتمالی از این انتخاب‌ها را بررسی کرد. همچنین درخت‌های تصمیم یک توضیح متعادل از ریسک‌ها و پاداش‌های همراه با هر گزینه ممکن را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش از سه الگوریتم درخت تصمیم شامل الگوریتم J48، M5P و درخت طبقه‌بندی و برازش^۱ به منظور پیش‌بینی، طبقه‌بندی و اعتبارسنجی استفاده شد. یکی از برتری‌های خاص درخت طبقه‌بندی و برازش به عنوان یک الگوریتم درخت تصمیم، ویژگی اعتبارسنجی متقابل آن است که تلاش می‌کند بیش‌بردازش را شناسایی کند، که در غیر این صورت به پیش‌بینی ضعیف آینده منجر می‌شود. به همین علت و دلیل‌های دیگر، درخت طبقه‌بندی و برازش به طور معمول در شرایط شایان پذیرش نسبت به روش‌های آماری دیگر پیش‌بینی می‌کند [۱۵، ۱۴]. با این حال چالشی که هنوز باقی می‌ماند، درک بهتر عملکرد این فناوری‌ها برای شناسایی بهترین استفاده از آنهاست.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های ماشینی یادگیری هستند که رفتار مغز انسان را شبیه‌سازی می‌کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل تعداد زیادی از عناصر پردازش متصل به هم هستند

که در عملکرد نورون‌های بیولوژیکی مشابه هستند و در کنار اتصال‌های مربوط به سیناپس مغز گره خورده‌اند [۱۳]. در این پژوهش از الگوریتم لونبرگ - مارکوات برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است. این الگوریتم تقریبی از روش نیوتن است که برای یافتن کمینه یک تابع غیرخطی چند متغیره به عنوان یک روش استاندارد برای حل مسأله کمینه مربعات برای توابع غیرخطی استفاده می‌شود [۱۶]. در این پژوهش، برای استخراج ویژگی‌های رنگی و همچنین ویژگی‌های همراه هم رنگی و بسامدی از فناوری شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. از تابع‌های انتقال سیگموئید و خطی نیز به ترتیب برای لایه‌های پنهان و لایه خروجی در نظر گرفته شد. داده‌ها به طور تصادفی به سه بخش آموزش شبکه (۷۰٪)، اعتبارسنجی (۱۵٪) و ارزیابی شبکه (۱۵٪) اختصاص داده شدند. بدین منظور شبکه‌های عصبی پیشرو با یک لایه مخفی و با ۴ تا ۲۰ نرون (به صورت اعداد زوج) برای هر یک از پارامترهای کیفی روغن زیتون طراحی و آموزش داده شد. داده‌ها شامل داده‌های دی‌الکتریکی که به وسیله حسگر خازنی برای هر نمونه سوخت استخراج شده (۳۸۴ پارامتر) و ویژگی‌های رنگی بود. جهت استخراج ویژگی‌های رنگی از میانگین مؤلفه‌های رنگی RGB در فضای رنگی CMY، RGB، CMY در فضاهای رنگی $L^*A^*B^*$ و $L^*A^*B^*$ در فضای رنگی $L^*A^*B^*$ استفاده گردید.

نتیجه‌ها و بحث

اندازه‌گیری دی‌الکتریک

پس از تهیه نمونه‌ها هر کدام به‌طور جداگانه درون خازن استوانه‌ای قرار گرفتند. سامانه مورد نظر به‌طور خودکار محدوده بسامدی ۲۰ کیلوهرتز تا ۲۰ مگاهرتز را جاروب کرده و تعداد ۳۸۴ ویژگی که شامل ضریب اتلاف و ضریب دی‌الکتریک است را استخراج می‌نمود. شایان ذکر است تعداد ۱۹۲ ویژگی مربوط به ضریب اتلاف و ۱۹۲ ویژگی دیگر مربوط به ضریب دی‌الکتریک است.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

پس از تهیه تعداد ۳۸۴ پارامتر توسط حسگر مورد استفاده در دستگاه به منظور کاهش تعداد پارامترها از فناوری آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. به منظور بهبود عملکرد سیستم، انتخاب ویژگی‌های مفید و حذف داده‌های بی‌ربط در طبقه‌بندی ضروری به نظر می‌رسد، چرا که سامانه باید به سادگی و با سرعت زیاد فرایند

(1) Classification and regression Tree (CART)

جدول ۲- شاخص‌های حساسیت، اختصاصی بودن و دقت برای کلیه نمونه‌ها

دسته‌ها						
B100	B95D5	B90D10	B85D15	B80D20	B75D25	شاخص‌های آماری %
۱۰۰	۶۷	۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	حساسیت
۱۰۰	۹۳	۹۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	اختصاصی بودن
۱۰۰	۶۷	۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	دقت

جدول ۳- ماتریس اغتشاش به دست آمده از ارزیابی ماشین بردار پشتیبان^۱ با عملکرد چند جمله‌ای کرنل^۲

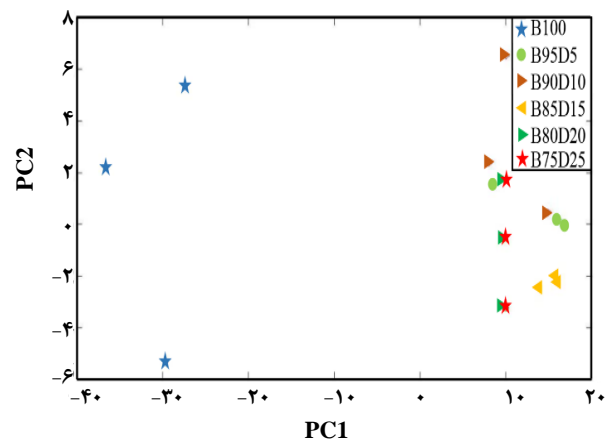
واقعی						
B100	B95D5	B90D10	B85D15	B80D20	D75B25	پیش‌بینی شده
۴۶	۰	۰	۰	۰	۰	B100
۰	۶۷	۰	۰	۰	۰	B95D5
۰	۰	۸۳	۰	۰	۰	B90D10
۰	۰	۲	۹۱	۰	۰	B85D15
۰	۰	۰	۰	۹۵	۰	B80D20
۰	۰	۰	۰	۰	۹۸	B75D25

تحلیل جداسازی خطی

با توجه به جدول ماتریس اغتشاش سوخت بیودیزل و دیزل (جدول ۱)، دستگاه به‌خوبی توانست اکثر نمونه‌ها را در بحث درصد خلوص تشخیص دهد. در این روش از هر نمونه ۳ تکرار گرفته شد. موردهایی نیز در نتیجه‌های که با اختلاف خیلی کمی دارای خطا است دیده شد. با توجه به جدول ۱ دستگاه توانست چهار نمونه را درست تشخیص دهد و باقی‌مانده نمونه‌ها را با اختلاف بسیار کم به‌اشتباه طبقه‌بندی کرد. ضعیف‌ترین طبقه‌بندی مربوط به نمونه‌ای است که دارای ۹۰ درصد بیودیزل - ۱۰ درصد دیزل و ۹۵ درصد بیودیزل - ۵ درصد دیزل می‌باشد. همچنین دستگاه توانست دو کلاس یاد شده را به‌خوبی از هم جدا کند و به‌اشتباه دو نمونه را به نام یک کلاس شناخت. با توجه به ماتریس اغتشاش به دست آمده از تحلیل جداسازی خطی، بیش‌ترین شاخص‌های آماری حساسیت، اختصاصی بودن و دقت برای اکثر نمونه‌ها قابل قبول بوده و با توجه به جدول ۲ مقدار میانگین دقت کل برای تمامی نمونه‌ها ۸۹ درصد می‌باشد. شایان ذکر است در جدول‌ها منظور از حروف B و D به ترتیب بیودیزل و دیزل است.

ماشین بردار پشتیبان

در این مطالعه، تابع چند جمله‌ای برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شد. ماتریس اغتشاش برای نمونه‌ها در جدول ۳ آمده است. همچنین میزان سه شاخص حساسیت، اختصاصی بودن و دقت در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۲- نتیجه‌های به دست آمده از PC1 و PC2.

ارزیابی را انجام دهد. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، داده‌ها با D بعد به فضایی با بعد کم‌تر منتقل می‌شوند. مزایای دیگر این روش شامل کاهش درجات آزادی، کاهش فضا و کاهش زمان عملیات می‌شود. هدف این است که برای ارائه اطلاعات در یک فضا، بهترین توصیف در مورد تغییر در مجموع مربعات خطا به دست آید [۱۷]. در این آزمایش با فناوری یاد شده تعداد داده‌ها به ۲ مؤلفه رسید. در شکل ۲ نتیجه‌های به دست آمده از PC1 و PC2 نشان داده شده است که مجموع دو PC ۹۴/۷۴ درصد از کل اطلاعات ویژگی‌های داده‌ها را دارا می‌باشد.

(1) Support vector machine (SVM)

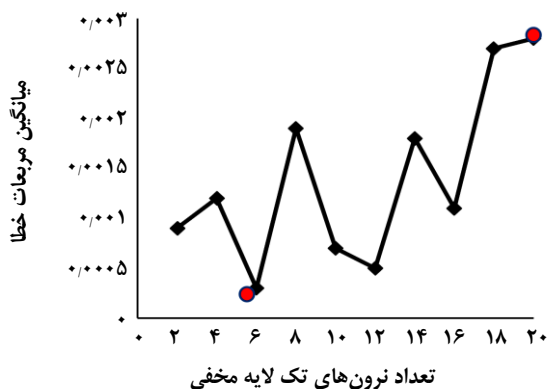
(2) Polynomial kernel

جدول ۴- شاخص های حساسیت، اختصاصی بودن و دقت طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان

دسته‌ها						
B100	B95D5	B90D10	B85D15	B80D20	B75D25	شاخص‌های آماری %
۱۰۰	۹۹/۶۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۶۷	۱۰۰	حساسیت
۱۰۰	۹۶/۴۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۶۵	اختصاصی بودن
۱۰۰	۹۷/۸۸	۹۹/۴۱	۹۹/۴۱	۹۹/۸۴	۹۸/۹۹	دقت

جدول ۵- نتایج به دست آمده از DT های متفاوت سوخت‌ها

دقت (%)	خطای جذر میانگین مربعات	روش
۹۸/۲۱	۰/۹۶۷	J48
۹۹/۴۲	۰/۹۶۴	CART
۸۱/۶۹	۱/۴	M5P



نتیجه‌ها نشان می‌دهند که با استفاده از این فناوری تنها دو نمونه دارای طبقه‌بندی نادرست و نمونه‌های دیگر با طبقه‌بندی موفقیت‌آمیز رایج شده است.

درخت تصمیم‌گیری

پس از کاهش ابعاد داده‌های سامانه دی‌الکترونیک توسط تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل تفکیک خطی، نتیجه‌های به دست آمده از طبقه‌بندی سوخت توسط الگوریتم‌های یادگیری J48، M5P و درخت طبقه‌بندی و برازش جهت پیش‌بینی و اعتبارسنجی داده‌های به دست آمده از طیف‌سنجی دی‌الکترونیک در نرم‌افزار WEKA قرار داده شد که مقدارهای آن‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتیجه‌ها، الگوریتم طبقه‌بندی و برازش دارای بالاترین دقت (۹۹/۴۲ درصد) در مقایسه با روش J48 و M5P بوده است.

استخراج ویژگی‌های رنگی

در این بخش ویژگی‌های رنگی نمونه‌های سوخت استخراج شده و از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تعیین درصد خلوص استفاده شد. نتیجه‌های به دست آمده از پیش‌بینی شبکه عصبی نیز در ادامه آورده شده است. شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این پژوهش برای تعیین درصد خلوص نمونه‌های گوناگون روغن از پرسپترون چند لایه با ساختار یک لایه مخفی^۱ و الگوریتم یادگیری لوبنرگ - مارکارت^۲ استفاده می‌کند. شکل ۳ نتیجه‌های ارزیابی شبکه عصبی تک‌لایه برای تعیین ضریب همبستگی را با تعداد نرون‌های بین ۴ تا ۲۰ در لایه مخفی برای نمونه‌های بیودیزل - دیزل و شکل ۴ مربوط به مقدارهای میانگین مربع خطای شبکه عصبی مصنوعی با تعداد نرون گوناگون می‌باشد.

شکل ۳ - مقدار میانگین مربعات خطا به دست آمده برای شبکه‌های عصبی گوناگون سوخت.

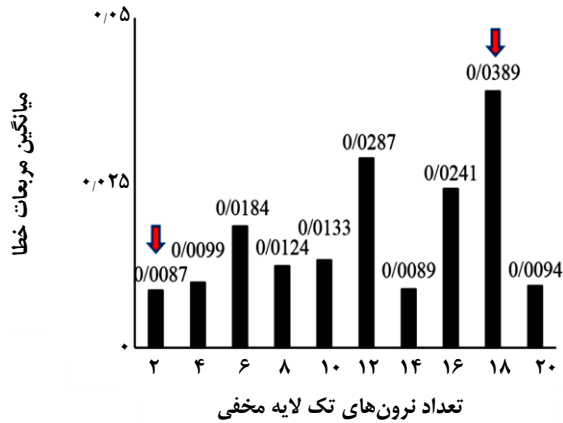
همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، شبکه عصبی با ساختار تک‌لایه و الگوریتم لوبنرگ - مارکارت عملکرد بسیار خوبی در تخمین درصد خلوص داشته است. با توجه به شکل ۳ کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی به ترتیب برابر ۰/۶۱ (با ۲۰ نرون) و ۰/۹۴ (با ۶ نرون) دیده شد. همچنین با توجه به شکل ۴، نتیجه‌های به دست آمده بیانگر عملکرد مطلوب شبکه عصبی توسعه داده شده است که کم‌ترین و بیش‌ترین خطا به ترتیب ۰/۰۰۰۳ (۶ نرون) و ۰/۰۰۲۸ (۲۰ نرون) می‌باشد.

استخراج ویژگی‌های رنگی و دی‌الکترونیک

در گام بعد ویژگی‌های رنگی و دی‌الکترونیک به طور همزمان استخراج و استفاده شدند. در این بخش ویژگی‌های رنگی و بسامدی از نمونه‌ها به دست آمده و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی شاخص درصد خلوص سوخت‌ها پیش‌بینی شد. شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این پژوهش دقیقاً همانند بخش ویژگی‌های رنگی بوده و با الگوریتم لوبنرگ - مارکارت آموزش یافته است.

(۱) Single-hidden-layer multilayer perceptron (MLP)

(۲) Levenberg-Marquardt algorithm (LM)

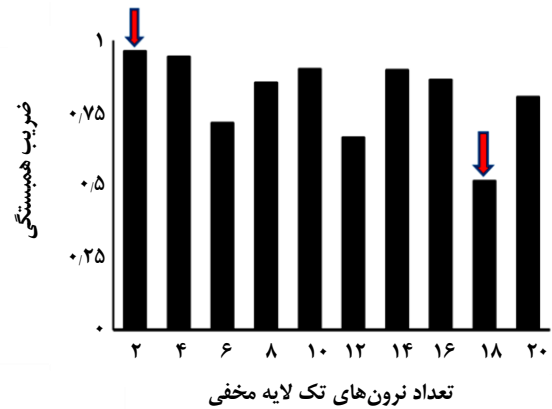


شکل ۶ - مقدار میانگین مربعات خطا به دست آمده برای شبکه‌های عصبی.

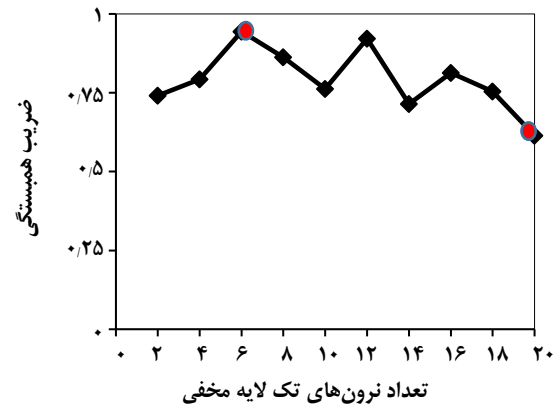
برای آزمون شبکه اختصاص یافت. به منظور انتخاب بهترین شبکه، تعداد نرون‌های لایه مخفی از ۲ تا ۵۰ تغییر داده شد [۱۸]. همچنین در کار کاروالهو و همکاران تشخیص درصد خلوص بیودیزل سویا و دیزل S500 با ترکیب ۱-۹ درصد نشان داد که دستگاه با ضریب همبستگی ۰/۹۹۲ و میانگین مربعات ۰/۰۰۲۳ دارای دقت بالایی است [۱۰]. این مساله در این پژوهش نیز قابل دیدن است.

نتیجه گیری

در این پژوهش یک نمونه از دستگاه تشخیص درصد خلوص سوخت بیودیزل بر اساس شاخص‌های دی‌الکتریک و رنگ آن مورد ارزیابی قرار گرفت. دستگاه با دریافت ویژگی‌های دی‌الکتریک توسط یک خازن استوانه‌ای در بسامدهای گوناگون، درصد خلوص سوخت را طبقه‌بندی کرد. سامانه بازه‌ی بسامدی ۲۰ کیلوهرتز تا ۲۰ مگاهرتز را تولید نموده و تعداد ۳۸۴ ویژگی که شامل ضریب اتلاف و ضریب دی‌الکتریک است را استخراج می‌نماید. در راستای از بین بردن ویژگی‌های بی‌ربط و کاهش داده‌ها از روش PCA استفاده شد که ۹۴/۷۴ درصد از ویژگی‌های واریانس کل را دارا بود و تعداد داده‌ها را به ۲ مؤلفه رساند. برای طبقه‌بندی نمونه‌ها نیز روش LDA به کار گرفته شد که ضعیف‌ترین طبقه‌بندی مربوط به نمونه‌های B95D5 و B90D10 می‌باشد. همچنین ضعیف‌ترین شاخص‌های آماری حساسیت، اختصاصی بودن و دقت برای دو نمونه یاد شده بوده است. نتیجه‌های به دست آمده از فناوری شبکه عصبی مقدار ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا را به ترتیب برای نمونه‌های مخلوط شده بیودیزل پالم و دیزل برابر ۰/۹۴۴ و ۰/۰۰۰۶ نشان داد.



شکل ۴ - مقدار ضریب همبستگی به دست آمده برای شبکه‌های عصبی گوناگون سوخت.



شکل ۵ - مقدار ضریب همبستگی به دست آمده برای شبکه‌های عصبی گوناگون سوخت.

شکل ۵ و شکل ۶ نتیجه‌های به دست آمده از شبکه‌ای را نشان می‌دهد که با تعداد گوناگون نرون آموزش داده شده است. کم‌ترین و بیش‌ترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۵۵ (با ۱۸ نرون) و ۰/۹۶ (با ۲ نرون) می‌باشد. همچنین در شکل ۶ بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار به ترتیب در شبکه‌های عصبی با تعداد نرون‌های ۱۸ و ۲ دیده شد.

شایان ذکر است در زمینه نتیجه‌های که سلطانی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در مورد درجه‌بندی تخم‌مرغ با استفاده از پردازش تصویر و حسگر گزارش دادند، شاخص‌های بهینه آماری ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۰۰۶ به دست آمد. آن‌ها از یک شبکه عصبی دو لایه با ۲ ورودی (طول قطر بزرگ و قطر کوچک)، یک لایه مخفی و یک خروجی (حجم تخم‌مرغ) برای پیش‌بینی حجم تخم‌مرغ استفاده کردند. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه، ۱۵٪ برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ بقیه نیز

نتیجه‌های ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که دستگاه طراحی شده توانایی تشخیص درصد خلوص را با دقت بالا داراست. با توجه به این که آزمایش انجام شده بر روی این دستگاه با سوخت دیزل انجام شده است، می‌توان دستگاه را با توجه به نیازهای اقتصادی دیگر

با سوخت‌های ارزان گوناگون دیگر به جزء سوخت یاد شده نیز برسنجی کرد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۹

مراجع

- [1] Ardebili M.S., Ghobadian B., Najafi G., Chegeni A., [Biodiesel Production Potential from Edible Oil Seeds in Iran](#), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**: 3041-3044 (2011).
- [2] Ferella F., Di Celso G.M., De Michelis I., Stanisci V., Vegliò F., [Optimization of the Transesterification Reaction in Biodiesel Production](#), *Fuel*, **89**: 36-42 (2010).
- [3] Banerjee A., Chakraborty R., [Parametric Sensitivity in Transesterification of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production - A Review](#), *Resources, Conservation and Recycling*, **53**: 490-497 (2009).
- [4] Caruana C.M., [Pollution Control Drives New Interest in Biodiesel](#), *Chemical Engineering Progress*, **84** (No.): 14-18 (2000).
- [5] Demirbas, A., Progress and Recent Trends in Biofuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, **33**: 1-18 (2007).
- [6] Bautista L.F., Vicente G., Rodriguez R., Pacheco M., [Optimisation of FAME Production from Waste Cooking Oil for Biodiesel Use](#), *Biomass and Bioenergy*, **33**: 862-872 (2009).
- [7] Zhang Y., Dube M., McLean D., Kates M., [Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: 1. Process Design and Technological Assessment](#), *Bioresource Technology*, **89**: 1-16 (2003).
- [8] Lizhi H., Toyoda K., Ihara I., [Discrimination of Olive Oil Adulterated with Vegetable Oils Using Dielectric Spectroscopy](#), *Journal of Food Engineering*, **96**: 167-171 (2010).
- [9] Marchal P.C., Gila D.M., García J.G., Ortega J.G., [Expert System Based on Computer Vision to Estimate the Content of Impurities in Olive Oil Samples](#), *Journal of Food Engineering*, **119**: 220-228 (2013)
- [10] Diniz Carvalho C., Barros A.K., Lopes M.V., Silva F.C., Santana E.E., Sinfrônio F.S.M., [Determination of the Composition of Biodiesel-Diesel Blends Using the Dielectric Constant](#), *Instrumentation Science & Technology*, **44**: 377-385 (2016).
- [11] M'Peko J.-C., Reis D.L., De Souza J.E., Caires A.R., [Evaluation of the Dielectric Properties of Biodiesel Fuels Produced from Different Vegetable Oil Feedstocks Through Electrochemical Impedance Spectroscopy](#), *International Journal of Hydrogen Energy*, **38**: 9355-9359 (2013).
- [12] Özçimen D., An Approach to the Characterization of Biochar and Bio-Oil, *Renewable Energy for Sustainable Future*, iConcept Press: 41-58 (2013).
- [13] Mollazade K., Omid M., Arefi A., [Comparing Data Mining Classifiers for Grading Raisins Based on Visual Features](#), *Computers and Electronics in Agriculture*, **84**: 124-131 (2012).

- [14] Breiman L., Friedman J., Stone C.J., Olshen R.A., *Classification and Regression Trees*, CRC Press (1984).
- [15] Kattan M.W., Beck J.R., [Artificial Neural Networks for Medical Classification Decisions](#), *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, **119**: 672-677 (1995).
- [16] Scott S.M., James D., Ali Z., [Data Analysis for Electronic Nose Systems](#), *Microchimica Acta*, **156**: 183-207 (2006)
- [17] Ghasemi-Varnamkhasti M., Mohtasebi S.S., Siadat M., Lozano J., Ahmadi H., Razavi S.H., Dicko A., [Aging Fingerprint Characterization of Beer Using Electronic Nose](#), *Sensors and Actuators B: Chemical*, **159**: 51-59 (2011).
- [18] Soltani M., Omid M., Alimardani R., [Egg Quality Prediction Using Dielectric and Visual Properties Based on Artificial Neural Network](#), *Food Analytical Methods*, **8**: 710-717 (2015).