

مدل‌سازی و ارزیابی تقلب عسل بر مبنای پردازش تصویر نمونه‌های حل شده در آب

میثم پیرمرادی^۱، مصطفی مصطفایی^{۱*}، لیلا ندرلو^۱ و حسین جوادیکیا^۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۵

۱- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* نویسنده مکاتبه: E-mail: b.mostafaei@razi.ac.ir

چکیده

تقلب، به‌ویژه از نوع صنعتی از طریق اضافه کردن مستقیم شربت‌های طبیعی و یا تخمیری به عسل ایجاد می‌شود. در این تحقیق عسل رازیانه از زنبورداران واقع در شهرستان کنگاور تهیه گردید. پس از کسب اطمینان از اصالت عسل، تعداد ۳۹ نمونه عسل تقلبی با افزودن شربت ساکارز، فروکتوز و ترکیب ۰/۹ شربت فروکتوز - گلوکز در سطوح مختلف بین ۰ تا ۱۰۰ درصد وزنی به‌وسیله همزنی در عسل طبیعی آماده شد. نمونه‌های مختلف در داخل آب حل شده و با کمک دوربین از آنها تصویربرداری شد. جهت پردازش تصاویر در هر تصویر از ۳۳ کانال تک رنگ مورد بررسی، ۱۵ پارامتر (مجموعاً ۴۹۵ پارامتر) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. طبقه‌بندی محدود پارامترهای انتخابی توسط تحلیل حساسیت به‌روش شبکه استنتاج فازی عصبی ANFIS، شبکه عصبی مصنوعی ANN و سطح پاسخ RSM صورت گرفت. ضریب تبیین مدل ارائه شده در روش عسل انحلالی در آب توسط سامانه‌های طبقه‌بندی به‌ترتیب ۰/۹۵۱۲، ۰/۹۸۸۲ و ۰/۹۹۰۴ بود. با در نظر گرفتن تمامی مقادیر خطاهای آماری مدل RSM توسط تابع مطلوبیت کل به‌عنوان بهترین مدل برای تعیین میزان تقلب در این روش معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: تقلب عسل، پردازش تصویر، روش سطح پاسخ، مدل‌سازی

Modeling and Evaluation of Honey Adulteration Based on Image Processing of Water-Soluble Samples

Meisam Pirmoradi¹, Mostafa Mostafaei^{1*}, Leila Naderloo¹ and Hossein Javadikia¹

Received: 24 Jan 2021

Accepted: 7 Mar 2021

1- Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

*Corresponding author: b.mostafaei@razi.ac.ir

Abstract

Adulteration, especially industrial type, is caused by the direct addition of natural or fermented syrups to honey. In this study, fennel honey was supplied from beekeepers located in Kangavar city. After ensuring the authenticity of honey, 39 samples of counterfeit honey were prepared by adding and stirring sucrose, fructose and a combination of 0.9 fructose-glucose syrups in natural honey at different levels of 0 to 100 wt%. Different samples were dissolved in water and their images were recorded using a camera. In order to process the images in each 33 monochrome channels, 15 parameters (495 parameters in total) were measured. Few parameters were selected by sensitivity analysis using ANFIS fuzzy neural inference network, ANN artificial neural network and RSM response level. The explanation coefficient of the presented models for water-soluble samples was 0.9512, 0.9882 and 0.9904, respectively. Considering all the statistical error values of the RSM model, it was introduced as the best model to determine the amount of honey fraud in this method by the desirability function.

Keywords: Honey Fraud, Image Processing, Modeling, RSM

How to cite:

Pirmoradi, M., Mostafaei, M., Naderloo, L., and Javadikia, H. 2020. Modeling and Evaluation of Honey Adulteration Based on Image Processing of Water-Soluble Samples. Journal of Agricultural Mechanization 5 (1): 33-41.

۱- مقدمه

عسل از جمله محصولات غذایی مفید و یک اکسیر پرارزش بوده که از گذشته در زمره بهترین و مقوی ترین غذاها قرار دارد. هم چنین هزاران سال است که با هدف درمان جراحی و بیماری ها مورد استفاده بشر قرار گرفته است. شواهد تاریخی مؤید آن است که مصریان، آشوریان و یونانیان از جمله اقوام کهنی هستند که از عسل همراه با گیاهان دارویی و یا به تنهایی برای بهبود امراض بهره برده اند (Zumla & Lulat, 1989). در فرهنگ ما ایرانیان نیز مصرف عسل در رژیم غذایی و یا کاربرد آن در رژیم درمانی از جایگاه خاصی برخوردار بوده است (Tajik et al., 2007).

عسل تک گل^۱ دارای طعم و رنگ مختلف به دلیل تفاوت در منابع شهد اصلی خود هستند (Shafiee et al., 2013). عسل های مختلف با یکدیگر اختلافاتی از نظر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی دارند. زیرا زنبور عسل می تواند برای به دست آوردن شهد از یک یا چند نوع گل استفاده کند (Hashemi, 2002). شرایط آب و هوایی حاکم بر کشور ایران باعث ایجاد عسل های مختلف از جنبه های حسی، ارگانولپتیکی^۲ و فیزیکی - شیمیایی می گردد (Ramzi et al., 2015).

عسل با توجه به اینکه دارای منشأ طبیعی است به عنوان یک محصول با خواص تغذیه ای و دارویی از آن یاد شده است. هم چنین تقاضای فراوان و جایگاه ویژه غذایی سبب قیمت بالای آن بوده است و همواره مورد تقلب واقع شده است (Fairchild et al., 2000). امروزه عسل های تقلبی و ناخالص در بازار به امری عادی تبدیل شده اند، متأسفانه اعتماد به برچسب «عسل خالص» بسیار سخت و مشکل است. تقلب یک پدیده در حال گسترش است که ناشی از باز شدن بازار بین المللی و رقابت جهانی می باشد. استدلال اصلی برای این عمل سود اضافی است (Cotte et al., 2003).

به طور معمول تقلب در عسل به چند صورت انجام می گیرد: اول، استفاده از شیرین کننده های رایج در عسل خالص از جمله ملاس نیشکر، شربت ذرت، شربت قند اینورت، چغندر قند، شربت های دیگر با منشأ طبیعی مانند افرا و ... به عنوان منبع تغذیه زنبور عسل. دوم، افزودن آب در صورتی که مقدار رطوبت عسل اندک باشد؛ البته به دلیل افزایش احتمال تخمیر به طور معمول انجام نمی گیرد (Bogdanov, 2009). سوم، معرفی عسل معمولی نیز به عنوان عسل تک گل و یا عسل منطقه ای خاص (Razzaghy Kamrody et al., 2010). چهارم، اضافه کردن مستقیم شربت های طبیعی یا تخمیری و ... به عسل که می توان به نام تقلب صنعتی از آن یاد کرد. به طور مثال می توان از تقلب به وسیله مخلوط نمودن شربت فروکتوز با عسل نام برد (Agila & Barringer, 2013). عسل مصنوعی نیز از ترکیب محلول های قندی نظیر گلوکز و فروکتوز به همراه اسید بدون دخالت زنبور ایجاد می گردد.

درصد ساکارز یکی از رایج ترین پارامترهایی است که در آزمایش عسل به آن توجه می شود. در ایران حداکثر درصد ساکارز مورد قبول ۵ درصد می باشد. چنانچه نسبت فروکتوز به گلوکز عسل بیش از یک باشد، یعنی اینکه زنبورها از گل تغذیه کرده اند. میزان فروکتوز عسل حدود ۳۸ درصد و گلوکز حدود ۳۰ درصد می باشد. جهت تشخیص تقلب عسل تعیین نسبت بین قندهای فروکتوز و گلوکز دارای اهمیت است چون این نسبت در عسل های طبیعی و عسل های مصنوعی متفاوت است. در عسل های طبیعی و خالص نسبت فروکتوز به گلوکز حدود ۱ تا ۱/۲ و این نسبت در عسل های مصنوعی کمتر از ۰/۹۵ می باشد. البته استاندارد ایران مقدار ۰/۹ را هم برای این نسبت می پذیرد (Anonymous, 2012).

در تحقیقی، عسل تقلبی با استفاده ترکیب شربت های دی- فروکتوز^۳ و دی- گلوکز^۴ با نسبت جرمی شبیه عسل اصل (۱/۲-۱/۰) آماده شد و در سطوح ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ به عسل اضافه شد. طیف جذبی عسل اصل و تقلبی در محدوده طول موج ۲۲۰-۷۵۰ نانومتر به دست آورده شد. مقدار جذب بهترین گروه حساس (۲۵۰-۴۰۰ نانومتر) برای ساخت مدل انتخاب شد. مدل شناسایی مطلوب با تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی در ترکیب با شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار (PCA, BP-ANN) توسعه داده شد. مقادیر مؤلفه های اصلی بهینه به عنوان بردارهای ورودی از مدل استفاده شد. این مطالعه نشان داد که طیفسنجی جذب مرئی^۵ بر اساس PCA و BP-ANN می تواند به عنوان یک تکنیک مناسب، سریع و دقیق برای شناسایی عسل تقلبی معتبر مورد استفاده قرار گیرد (Ou et al., 2011).

در تحقیقی برای بیان اصالت عسل آفریقای جنوبی و تشخیص تقلب از طیفسنجی مادون قرمز نزدیک استفاده شد. روش کمومتریکس (شیمی سنجی) تحت نظارت طیفسنجی NIR سبب شد فرایند تشخیصی برای عسل اصیل آفریقای جنوبی و هم چنین عسل تقلبی با افزودن مخلوط قند (گلوکز و فروکتوز) و نیز افزودن عسل ارزان قیمت به عسل اصیل به دست آید. تعداد ۸۴ نمونه در دو دسته اصل (تجاری و غیر تجاری) و انواع مختلف تقلبی با استفاده از تجزیه و تحلیل تفکیک خطی حداقل مربعات جزئی (PLS-DA) با دقت طبقه بندی کلی بین ۹۳/۳٪ و ۹۹/۹٪ در هنگام استفاده از دستگاه های مختلف طیفسنجی مادون قرمز نزدیک NIR به دست آمد (Guelpa et al., 2017).

پژوهشگران با استفاده از طیفسنجی رامان به دنبال تعیین کمیت گلوکز، فروکتوز، ساکارز و محتویات مالتوز از نمونه عسل به عنوان یک روش سریع بوده اند. طیفسنجی رامان با روش های کموتری، تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و حداقل مربعات جزئی (PLS) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) انجام شد. مدل/ شبکه آموزش دیده با استفاده از مجموعه داده های کالیبراسیون ایجاد شد و با استفاده از مجموعه داده های اعتبارسنجی ارزیابی شده است. مقادیر ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش بینی از گلوکز، فروکتوز، ساکارز

⁴ d-glucose⁵ UV-vis¹ Unifloral² Organoleptic³ d-fructose

تحقیق به دنبال مدل سازی تقلب های مختلف عسل رازیانه، با استفاده از تکنیک پردازش تصویر، به کارگیری الگوریتم های مختلف ANN، ANFIS، RSM و ارزیابی عملکرد آنها است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد لازم

عسل رازیانه از زنبورداران شهرستان کنگاور خریداری شد. لازم به ذکر است عرضه محصول این منطقه در کرمانشاه صورت می گیرد. نحوه اطمینان از صحت و اصالت عسل بدین گونه است که ابتدا از میان کندوهای موجود در این منطقه به طور اتفاقی ۳ کندو انتخاب گردید و از زنبورداران خواسته شد تا به این کندوها هیچ گونه شربت تغذیه ای داده نشود. پس از آن از هر کندو حدوداً ۳ کیلوگرم عسل استحصال گردید.

در این تحقیق از سه نوع شربت: شربت فروکتوز، ترکیب ۰/۹ از شربت فروکتوز و از گلوکز که نزدیک به ترکیب طبیعی عسل است به همراه سومین شربت به عبارتی شربت ساکارز برای ایجاد تقلب استفاده گردید. جهت تهیه شربت ساکارز از شکر خالص تجاری، تولیدی در شرکت دالین مهر کرج با استفاده آب مقطر دو بار تقطیر شرکت اطلس شیمی استفاده شد. تهیه شربت ساکارز هم به روش انحلال ۶۶/۷۲ گرم شکر در ۳۳/۲۸ گرم آب در دمای ۲۰ درجه سلسیوس با نسبت ۱:۲ (شکر به آب وزنی/ وزنی) برای تولید ۱۰۰ گرم شربت ساکارز استفاده شد (Asadi, 2006). به وسیله همزن مغناطیسی تا انحلال کامل همزنی انجام شد.

از شربت های فروکتوز، ۰/۹ فروکتوز-گلوکز و ساکارز به اندازه ۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد وزنی در عسل به وسیله همزن به مدت ۳ دقیقه مخلوط گردید و برای همگن شدن در حمام آب گرم ۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه نگهداری شد (Bidin et al., 2016).

۲-۲- محفظه تصویربرداری

محفظه تصویربرداری به صورت یک مکعب مستطیل به ابعاد مقطع ۳۴×۵۰ سانتی متر و ارتفاع ۶۱ سانتی متر از ورق چوبی MDF ساخته شده و از یکی از دیواره های جانبی آن به عنوان درب استفاده شده است. مطابق با دیگر پژوهش ها در وسط سقف محفظه سوراخی تعبیه شده تا پایه نگهدارنده دوربین به صورت کشویی در آن قرار داده شود (Adelkhani et al., 2012). محل قرارگیری نمونه ها روی یک شیشه ۳ میلی متری در ارتفاع ۲۰ سانتی متر از پایین محفظه بود. در شکل ۱ مجموعه تصویربرداری نشان داده شده است. برای تصویر برداری از دوربین کانن IXUS 180 استفاده شد که دارای حسگر CCD 20 مگاپیکسلی است.

و مالتوز به ترتیب برای PLS در حدود ۰/۹۴۶، ۰/۹۶۵، ۰/۹۶۸ و برای ANN در حدود ۰/۹۴۹ و ۰/۹۶۵، ۰/۹۶۵، ۰/۹۷۸ و ۰/۹۵۶ مشخص شد (Özbalci et al., 2013).

امروزه موضوع پردازش تصویر^۱ شاخه ای از دانش رایانه است که با پردازش سیگنال دیجیتال که نماینده تصاویر برداشته شده با دوربین دیجیتال یا پویش شده توسط پوششگرها سروکار دارد. پژوهش ها نشان داده اند که کاربرد پردازش تصویر در اندازه گیری خصوصیات کیفی یکی از امیدبخش ترین موضوعات تحقیقاتی است (Kvaal et al., 1998). قابلیت بالقوه استفاده از روش های پردازش تصویر در صنایع غذایی از دیرباز شناخته شده است. صنعت مواد غذایی جزء ده صنعت اولی است که از روش های پردازش تصویر سود برده و استفاده از این روش ها در آن برای ارزیابی عینی و غیر تخریبی محصولات غذایی موفقیت آمیز بوده است (Du & Sun, 2004).

مطالعه ای جهت بررسی استفاده از سامانه تصویربرداری فرا طیفی و داده کاوی بر اساس طبقه بندی برای تشخیص تقلب عسل انجام گرفت. تصاویر ابر طیفی (۴۰۰-۱۰۰۰ نانومتر) از نمونه خالص و تقلبی با استفاده از یک دوربین فرا طیفی VIS-NIR ضبط شدند. پس از پیش پردازش تصاویر، پنج روش مختلف داده کاوی از جمله شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، تجزیه و تحلیل تفکیک خطی (LDA)، فیشر و پارزن برای طبقه بندی بانظارت استفاده شد. نتایج آزمون های طبقه بندی بالاترین دقت طبقه بندی ۹۵٪ برای طبقه بندی ANN را نشان می دهد (Shafiee et al., 2016).

رابطه بین رنگ، منشاء گل و برخی از پارامترهای شیمیایی عسل می تواند برای توصیف عسل استفاده شود. این امکان با استفاده از تجزیه و تحلیل کمی رنگ تصویر عسل وجود دارد؛ هم چنین الگوریتم هایی که برای طبقه بندی و پیش بینی پارامترهای شیمیایی مواد غذایی در دسترس هستند استفاده شود؛ بنابراین، یک روش غیر مخرب برای توصیف قابل اعتماد عسل با استفاده از بینایی ماشین پیش بینی شده است (Shafiee et al., 2016). تعیین رنگ عسل یک معیار طبقه بندی مفید برای عسل تک گل است (Bogdanov et al., 2004).

تقلبات انجام گرفته در عسل با توجه به تحقیقات صورت گرفته با استفاده از شیرین کننده هایی مانند شربت های شکر و... به دلیل دسترسی راحت و ارزان با وجود شرکت های تولیدی بوده است؛ اما علاوه بر موارد یاد شده، شربت فروکتوز نیز هم اکنون برای زنبورداران و تولیدکنندگان عسل عرضه شده و مقرون به صرفه می باشد. برای تشخیص میزان گلوکز و فروکتوز به عنوان رایج ترین معیار تشخیص تقلب و بررسی برخی خواص عسل معمولاً از روش کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا^۲ در آزمایشگاه های مجهز استفاده می شود؛ اما استفاده از این ابزار بسیار تخصصی و هزینه بر است. بر اساس پژوهش های انجام شده پردازش تصویر و استفاده از الگوریتم های مبتنی بر هوش مصنوعی نه تنها سریع بوده بلکه نیاز به تخصص خاصی ندارد؛ لذا این

² HPLC

¹ Image Processing

۲-۳- معیارهای ارزیابی مدل‌ها

معیارهای ارزیابی روش‌های ANFIS، شبکه عصبی ANN و سطح پاسخ RSM عبارتند از ضریب تبیین^۱ و میانگین مربعات خطا^۲، مجموع توان‌های دوم باقیمانده‌ها^۳ و میانگین مطلق خطا^۴ می‌باشد. فرمول‌های (۱) تا (۷) این معیارها را نشان خواهد داد (Ebrahimi, 2012).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{s=1}^n (X_s - X_0)^2}{\sum_{s=1}^n (X_s - X_m)^2} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n (X_s - X_0)^2 \quad (2)$$

$$SSE = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n (X_s - S_m)^2 \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{s=1}^n |X_s - X_0|}{n} \quad (4)$$

که در این معادلات X_s مقادیر واقعی، X مقادیر پیش‌بینی شده، X_m میانگین مقادیر واقعی، S_m میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

از آنجایی که ممکن است چهار شاخص آماری مورد بررسی برای مدل‌های مختلف متفاوت باشد و مدلی به‌تنهایی و همزمان از نظر همه شاخص‌ها بهینه نباشد؛ لذا با تعریف تابع مطلوبیت کل به‌صورت، هر مدلی که دارای تابع مطلوبیت کل بالایی باشد به عنوان مدل بهینه برای پیش‌بینی درصد تقلب معرفی می‌شود (Myers et al., 2016). البته لازم به یادآوری است که وزن و اهمیت هر کدام از شاخص‌ها یکسان فرض شده است. اگر بخواهیم پاسخ (شاخص آماری مورد نظر y) بیشینه شود مطلوبیت جزیی آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d_i = \frac{y - L}{U - L} \quad (5)$$

مطلوبیت جزیی پاسخ (شاخص آماری مورد نظر y) کمینه عبارت است از:

$$d_i = \frac{U - y}{U - L} \quad (6)$$

تابع مطلوبیت کل^۵ برای هر مدل عبارت است از:

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{1/n} \quad (7)$$

که در این روابط d_i ، y ، L ، U و D به ترتیب مطلوبیت جزیی هر پاسخ، مقدار پاسخ (شاخص مربوطه)، کمترین مقدار پاسخ بدست آمده، بیشترین مقدار پاسخ به‌دست آمده، تابع مطلوبیت کل و تعداد پاسخ‌ها (شاخص‌های آماری) است.

۲-۴- فرآیند پردازش تصاویر عسل حل‌شده در آب

(DiW)

برای تعیین این ویژگی‌ها، جلوگیری از ایجاد حباب پایدار و سهولت در امر پردازش تصویر همچنین ایجاد بازه بزرگ‌تر و قابل درک‌تری از اختلاف رنگ در تیمار و نمونه‌ها، مقدار ۱۵ گرم از نمونه‌های عسل را به‌همراه ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر در ظرف بشر به‌وسیله همزن مغناطیسی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۵ دقیقه تا اختلاط کامل هم‌زنی شد. بعد از تصویربرداری از نمونه‌ها، عکس‌های گرفته‌شده جهت استخراج داده‌های مفید باید پردازش شوند. الگوریتم پردازش تصویر استفاده شده مطابق شکل ۲ می‌باشد.

برای تمرکز تصویر بر روی نمونه با توجه به‌این‌که اندازه تصاویر گرفته‌شده 3864×5152 پیکسل می‌باشد و این اندازه موجب ایجاد ماتریس بسیار بزرگی شده و سرعت پردازش را به‌شدت کاهش می‌دهد. در نتیجه ضرورت دارد اندازه تصویر بدون به‌هم‌خوردن نسبت‌های طول و عرض کاهش یابد. ابتدا با دستور Crop بر روی محصول تمرکز تصویر صورت گرفت سپس اندازه تصویر به 792×936 پیکسل کاهش یافت (شکل ۳). در ضمن تصویر نهایی به محیط‌های رنگی مختلف نیز تبدیل شده و همه بررسی‌ها در این محیط‌ها هم انجام شد.

۲-۵- داده‌های استخراج‌شده

به‌طور کلی با توجه به توضیحات داده‌شده، تعداد ۱۰ فضای رنگی مورد بررسی قرار گرفت که با در نظر گرفتن کانال تک‌رنگ خاکستری^۶، دو کانال رنگ سیاه و سفید^۷ و تعداد سه کانال تک رنگ برای هر یک از ۱۰ فضای رنگی به‌طور کلی ۳۳ کانال تک رنگ مورد بررسی قرار گرفت. در هر کدام از کانال‌های تک رنگ ۱۵ پارامتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که عبارت‌اند از: کمینه، میانگین، بیشینه، انحراف معیار، مد، ضریب همبستگی، دامنه تغییرات، چولگی، کشیدگی، آنتروپی، واریانس، میانه، میانگین هارمونیک، کواریانس و کنتراست. به‌عبارت دیگر 15×33 پارامتر یا ۴۹۵ ورودی برای مدل‌ها از تصاویر استخراج گردید. به‌عبارت‌دیگر برای ۴۱ نمونه عسل با درصد تقلب مختلف، داده‌های استخراج‌شده شامل یک ماتریس 41×495 برای روش تصویربرداری شد. از بین ۴۹۵ پارامتر ورودی باید پارامترهایی را که در مدل‌های مختلف مؤثرند انتخاب نمود. به‌عبارت‌دیگر تمام ویژگی‌های استخراج‌شده قابلیت پیش‌بینی اطلاعات را ندارند. به‌همین علت انتخاب ویژگی‌های مناسب و کارآمد یک گام مهم برای تشخیص الگو و یادگیری ماشین به‌شمار می‌آید. تحلیل حساسیت در نرم‌افزار متلب یک ابزار قوی برای انتخاب ورودی‌های مؤثر می‌باشد.

⁶ Dissolved in water

⁷ Gray

⁸ BW

¹ Coefficient of determination (R)

² Mean Squared Error (MSE)

³ Sum of Squares for Error (SSE)

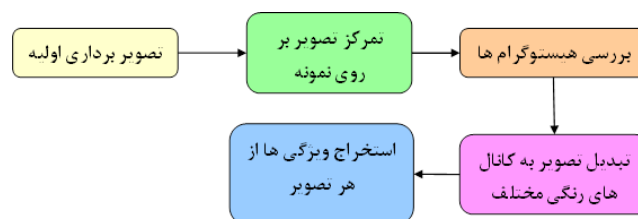
⁴ Mean Absolute Error (MAE)

⁵ Desirability Function



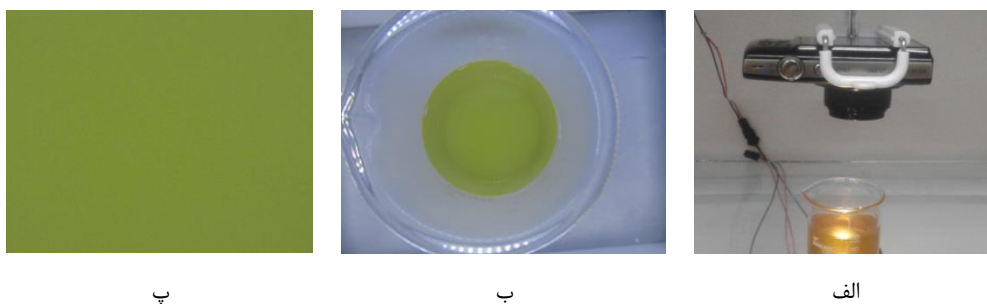
شکل ۱- محفظه تصویربرداری (الف) منبع تغذیه، (ب) محل تعبیه کلیدهای کنترل، (پ) فضای داخلی و محل تعبیه LED، (ج) پورت های ولتاژ و آمپر متفاوت

Fig 1. Imaging chamber (a) Power supply, (b) Location of control switches, (c) Indoor space and location of LED, (d) Different ports of voltage and amp



شکل ۲- الگوریتم استفاده شده برای پردازش تصویر

Fig 2. Used algorithm for image processing



شکل ۳- (الف) روش تصویربرداری، (ب) تصویر خام گرفته شده توسط دوربین از عسل خالص محلول در آب و (پ) تمرکز تصویر بر روی نمونه

Fig 3. (a) Imaging method, (b) Raw imaging by the camera from water-soluble pure honey and (c) Image Focused on the sample

جدول ۱- خصوصیات بهترین مدل ANFIS برای تخمین تقلب

عسل

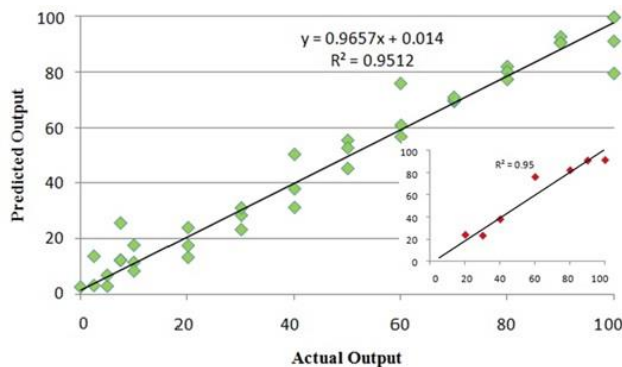
Table 1. Characteristics of the best ANFIS model for estimating honey adulteration by DiW method

تعداد ورودی	تعداد مجموعه‌های فازی	نوع مجموعه فازی	نوع خروجی	روش بهینه‌سازی	تعداد اپوک
Input number	Number of fuzzy sets	Fuzzy set type	Output type	Optimization method	Epoch number
3	4	Gaussian	خطی	کلاسترینگ	100
			Linear	Clustering	

جدول ۲- خروجی بهترین مدل ANFIS برای تخمین تقلب عسل

Table 2. Output of the best ANFIS model for estimating honey adulteration

R2	SSE	MAE	MSE	تعداد نمونه	
				Data number	
0.9516	0.1833	0.0472	0.0056	33	آموزش
					Training
0.9500	0.0481	0.0614	0.0060	8	آزمون
					Testing
0.9512	0.2314	0.0500	0.0056	41	کل
					All



شکل ۵- نمودارهای عملکرد مدل مربوط به تخمین درصد تقلب

عسل در روش پردازش تصویر به کمک ANFIS

Fig 5. Model performance diagrams related to estimating the honey adulteration in image processing method using ANFIS

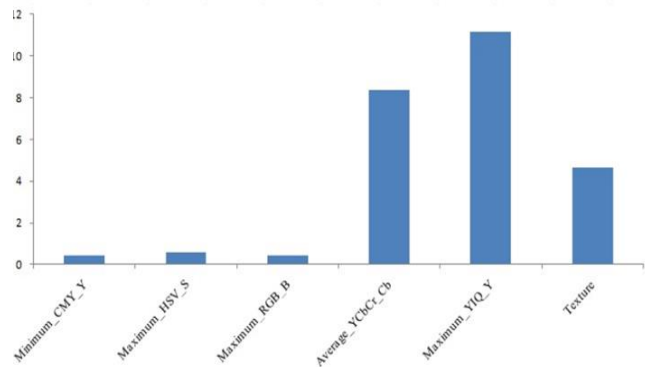
۲-۳- نتایج مدل‌سازی درصد تقلب عسل به کمک

ANN

در اینجا نیز سه پارامتر انتخابی به‌عنوان ورودی مدل ANN در نرم افزار متلب استفاده شد و خروجی مدل هم میزان تقلب عسل بود. ۳۰ درصد داده‌ها برای آزمون و بقیه برای آموزش استفاده شد. شکل ۶ تصویری از ساختار کلی مدل ANN برای تخمین درصد تقلب عسل را نشان می‌دهد. خصوصیات بهترین مدل مطابق جدول ۳ و خروجی آن مطابق جدول ۴ می‌باشد. عملکرد مدل در تخمین درصد تقلب عسل با استفاده از شبکه عصبی مطابق نمودارهای شکل ۷ می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

به‌طور کلی ورودی‌های انتخاب‌شده جهت تحلیل حساسیت ۶ ورودی بودند؛ که عبارت‌اند از: ۱- کمینه مقدار Y مربوط به تصاویر CMY ۲- بیشینه مقدار S مربوط به تصاویر HSV ۳- بیشینه مقدار B مربوط به تصاویر RGB ۴- میانگین مقدار Cb مربوط به تصاویر YCbCr ۵- بیشینه مقدار Y مربوط به تصاویر YIQ ۶- بافت تصویر. شش ورودی انتخاب شده به‌همراه در صد تقلب عسل توسط تحلیل حساسیت مورد بررسی قرار گرفت که نمودار حاصله در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- تحلیل حساسیت شش پارامتر انتخاب‌شده با روش

پردازش تصویر نسبت به درصد تقلب عسل

Fig 4. Sensitivity analysis of six selected parameters by image processing method to honey adulteration

بر اساس شکل ۴ سه پارامتر انتخاب شده برای مدل‌سازی عبارت‌اند از: ۱- میانگین مقدار Cb مربوط به تصاویر YCbCr ۲- بیشینه مقدار Y مربوط به تصاویر YIQ ۳- بافت تصویر سه پارامتر میانگین مقدار Cb مربوط به تصاویر YCbCr، بیشینه مقدار Y مربوط به تصاویر YIQ، بافت تصویر به‌عنوان ورودی مدل ANFIS استفاده شد و خروجی مدل درصد تقلب عسل بود. مقدار ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمون و بقیه برای آموزش استفاده شد. خصوصیات بهترین مدل مطابق جدول ۱ و خروجی آن مطابق جدول ۲ می‌باشد.

۱-۳- نتایج مدل‌سازی درصد تقلب عسل به کمک

ANFIS

عملکرد مدل در تخمین درصد تقلب عسل با استفاده از سامانه استنتاج عصبی-فازی مطابق نمودارهای مقدار پیش‌بینی در مقابل مقدار واقعی شکل ۵ می‌باشد. نمودار بزرگ مربوط به کل داده‌ها و نمودار کوچک مربوط به داده‌های آزمون می‌باشد.

۳-۳- مدل سازی درصد تقلب عسل به کمک RSM

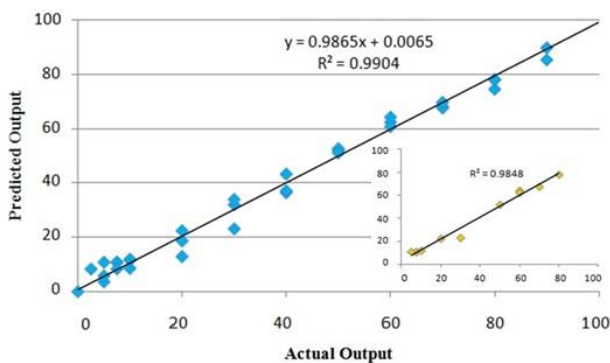
برای مدل سازی به روش سطح پاسخ از نرم افزار دیزاین اکسپرت^۱ استفاده شد. بهترین مدل حاصل از نوع درجه دوم^۲ بوده و خروجی آن مطابق جدول ۵ می باشد.

عملکرد مدل در تخمین درصد تقلب عسل با به کارگیری روش سطح پاسخ مطابق نمودارهای شکل ۸ می باشد.

جدول ۵- خروجی بهترین مدل RSM برای تخمین تقلب عسل

Table 5. Output of the best RSM model for estimating honey adulteration

R ²	SSE	MAE	MSE	تعداد نمونه Data number	
0.9927	0.0249	0.0241	0.0009	29	آموزش Training
0.9848	0.0150	0.0332	0.0014	12	آزمون Testing
0.9904	0.0399	0.0267	0.0010	41	کل All



شکل ۸- نمودارهای عملکرد مدل مربوط به تخمین درصد تقلب

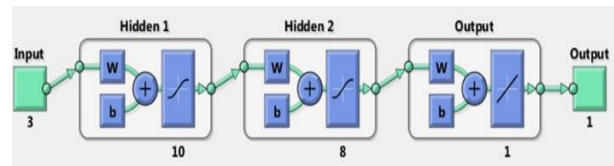
عسل با روش پردازش تصویر به کمک RSM

Fig 8. Model performance diagrams related to estimating the honey adulteration in image processing method using RSM

۳-۴- مقایسه عملکرد مدل ها

مقایسه نتایج مربوط به پارامترهای عملکردی هر کدام از مدل ها در جدول ۲، ۴ و ۵ نشان می دهد مدل RSM برای کل داده ها دارای R^2 برابر ۰/۹۹۰۴ بوده و بهتر از سایر مدل ها می تواند برازش بین داده های واقعی و آزمایشی را انجام دهد. ضریب تبیین R^2 بیانگر میزان احتمال هم بستگی میان دو دسته داده در آینده می باشد. این ضریب (بین صفر و یک) در واقع نتایج تقریبی پارامتر مورد نظر در آینده را که بر اساس مدل ریاضی تعریف شده منطبق بر داده های موجود، بیان می دارد (شکل ۹). مشخصه MSE یک معیار بسیار معمول برای به دست آوردن بهترین مدل است. با استفاده از این معیار، مدلی که دارای کمترین MSE باشد انتخاب می شود. مجموع مربعات مانده ها (ناشی از خطا) در حالت ایده آل که در آن تمام نقاط

نمودار بزرگ مربوط به کل داده ها و نمودار کوچک مربوط به داده های آزمون می باشد.



شکل ۶- تصویری از ساختار کلی مدل ANN برای تخمین درصد

تقلب عسل با روش (DiW)

Fig 6. An overview of overall structure of the ANN model for estimating the honey adulteration by DiW method

جدول ۳- خصوصیات بهترین مدل ANN برای تخمین درصد تقلب

عسل با روش (DiW)

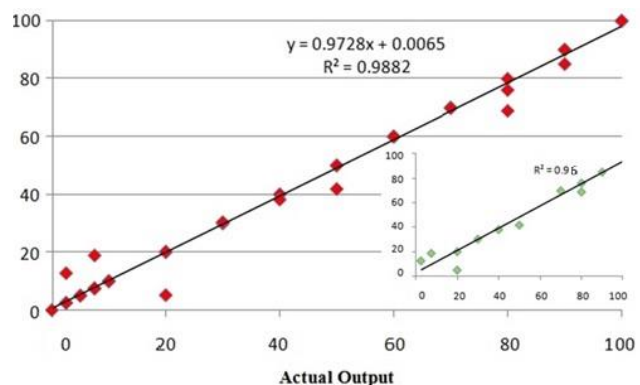
Table 3. Characteristics of the best ANN model for estimating honey adulteration by DiW method

تعداد ورودی Input number	ساختار کلی شبکه Network structure	نوع تابع آموزش Training function type	توابع انتقال Transfer functions
3	10-3-8-1	Levenberg-Marquardt	Tansig - Tansig - Purelin

جدول ۴- خروجی بهترین مدل ANN برای تخمین تقلب عسل

Table 4. Output of the best ANN model for estimating honey adulteration

R ²	SSE	MAE	MSE	تعداد نمونه Data number	
1	0	0	0	29	آموزش Training
0.9615	0.0590	0.0500	0.0049	12	آزمون Testing
0.9882	0.0589	0.0146	0.0014	41	کل All



شکل ۷- نمودارهای عملکرد مدل مربوط به تخمین درصد تقلب

عسل با روش پردازش تصویر به کمک NN

Fig 7. Model performance diagrams related to estimating the honey adulteration in image processing method using ANN

² Quadratic

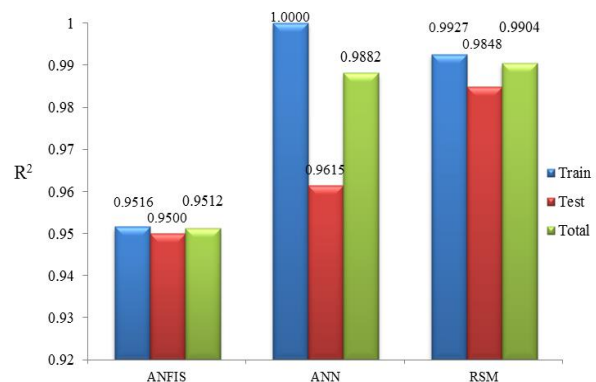
¹ Design Experts

کدورت (در بافت تصویر) ایجاد شده نه تنها مانع انعکاس شده بلکه شاخص خوبی جهت تشخیص تقلب باشد. در روش عسل انحلالی در آب (DiW) توسط سامانه‌های طبقه‌بندی ANFIS، RSM و ANN با در نظر گرفتن تمامی مقادیر خطاهای آماری مدل RSM با ضریب تبیین ۰/۹۹۰۴ به وسیله تابع مطلوبیت کل به عنوان بهترین مدل معرفی شد. در ادامه این تحقیق بررسی دقیق شاخص‌هایی برای بررسی میزان کدورت در حالت انحلال عسل در آب (DiW) پیشنهاد می‌شود، زیرا مجزا از نوع عسل بوده و به عبارتی محلول کدورت (بدون توجه به رنگ) درجه خلوص بیشتری خواهد داشت.

۵- منابع

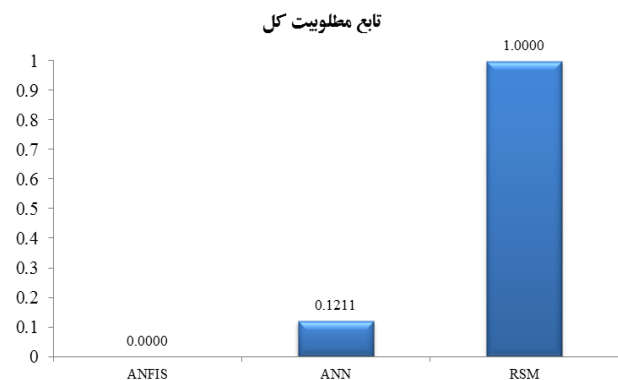
- Adelkhani, A., Beheshti, B., Minaei, S., and Javadikia, P. (2012). *Optimization of lighting conditions and camera height for citrus image processing*. World Applied Sciences Journal, 18(10), 1435-1442.
- Agila, A., and Barringer, S. (2013). *Effect of adulteration versus storage on volatiles in unifloral honeys from different floral sources and locations*. Journal of Food Science, 78(2), C184-C191.
- Anonymous. (2012). *Honey- Specification and Test methods*. Iranian National Standardization Organization, 92, 34. (In Persian).
- Asadi, M. (2006). *Beet-sugar handbook*: John Wiley and Sons,
- Bidin, N., Zainuddin, N. H., Islam, S., Abdullah, M., Marsin, F. M., and Yasin, M. (2016). *Sugar Detection in Adulterated Honey via Fiber Optic Displacement Sensor for Food Industrial Applications*. IEEE Sensors Journal, 16(2), 299-305.
- Bogdanov, S. (2009). *Authenticity of Honey and Other Bee Products: State of the Art*. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies, 64(1-2).
- Bogdanov, S., Ruoff, K., and Oddo, L. P. (2004). *Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review*. Apidologie, 35 (Suppl. 1), S4-S17.
- Cotte, J.F., Casabianca, H., Chardon, S., Lheritier, J., and Grenier-Loustalot, M.F. (2003). *Application of carbohydrate analysis to verify honey authenticity*. Journal of Chromatography A, 1021(1), 145-155.
- Du, C.J., and Sun, D.W. (2004). *Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation*. Trends in Food Science & Technology, 15(5), 230-249.

داده‌ها بر روی خط قرار می‌گیرند، SSE صفر می‌شود. میانگین خطای مطلق (MAE) که برابر است با میانگین قدر مطلق خطاها و در آن واحد و مقیاس خطا با خود داده یکی است. طبیعتاً MAE برای محاسبه، ساده‌تر و همه فهم‌تر است. مقایسه همه این پارامترهای عملکردی نشان می‌دهد که مدل RSM در مقایسه با سایر مدل‌های مطرح شده در این تحقیق از توانایی و قدرت بالاتری برای تخمین تقلب عسل برخوردار است. همچنین بر اساس تابع مطلوبیت کل، مقایسه مدل‌ها نشان داد که مدل RSM با دارا بودن تابع مطلوبیت واحد عملکرد بهتری از خود نشان داده است (شکل ۱۰).



شکل ۹- مقادیر R^2 آموزش، آزمون و کل داده‌ها برای همه مدل‌های تخمین درصد تقلب عسل با روش پردازش تصویر

Fig 9. R^2 values of training, test and all data for estimating models of the honey adulteration by image processing method



شکل ۱۰- تابع مطلوبیت کل مدل‌ها به روش پردازش تصویر
Fig 10. Total desirability function of models by image processing method

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیقات صورت گرفته، عمده تقلب‌هایی که به صورت صنعتی نیز مرسوم بوده، بحث افزودن شربت (فروکتوز، گلوکز و ساکارز) به عسل و یا ساخت عسل مصنوعی (مخلوط چند شربت و اسید) بدون دخالت زنبور است. همچنین جهت رفع برخی محدودیت‌ها از روش انحلال عسل در آب استفاده شد تا در این حالت

- Ebrahimi, M. (2012). *Comparison of Artificial Neural Network and Time Series Approach for Forecasting Electricity Consumption in Agricultural Sector*. Journal of Agricultural Economics Research, 4(1 (13)), (In Persian).
- Fairchild, G. F., Capps, O., and Nichols, J. P. (2000). *Impacts of economic adulteration on the US honey Industry: Food and Resource Economics* Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida,
- Guelpa, A., Marini, F., du Plessis, A., Slabbert, R., and Manley, M. (2017). *Verification of authenticity and fraud detection in South African honey using NIR spectroscopy*. Food Control, 73, 1388-1396.
- Hashemi, M. (2002). *Comprehensive book of honey therapy: nutritional, medicinal and therapeutic properties of bee products (honey, pollen ...)* (First ed.). Tehran: Jamea Culture, (In Persian).
- Kvaal, K., Wold, J. P., Indahl, U. G., Baardseth, P., and Næs, T. (1998). *Multivariate feature extraction from textural images of bread*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 42(1), 141-158.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., and Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*: John Wiley & Sons,
- Ou, W.-J., Meng, Y.-Y., ZHANG, X.-Y., and KONG, M. (2011). *Application of UV visible absorption spectroscopy and principal components back propagation artificial neural network to identification of authentic and adulterated honeys*. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 7.
- Özbalci, B., Boyaci, İ. H., Topcu, A., Kadılar, C., and Tamer, U. (2013). *Rapid analysis of sugars in honey by processing Raman spectrum using chemometric methods and artificial neural networks*. Food Chemistry, 136(3), 1444-1452.
- Ramzi, M., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A. R., and Razavi, S. M. A. (2015). *Comparison of physico-chemical and rheological characteristics of natural honeys with adulterated and sugar honeys*. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 11(4), 407-392. (In Persian).
- Razzaghy Kamrody, M., Shariat Panahi, M., Nazarian, H., and Ghlichnia, H. (2010). *Identification the honey exist pollen in Mazandaran province (Noor-rood watershed)*. Pajouhsh & Sazandegi, 72, 74-83. (In Persian).
- Shafiee, S., Minaei, S., Moghaddam-Charkari, N., Ghasemi-Varnamkhasti, M., and Barzegar, M. (2013). *Potential application of machine vision to honey characterization*. Trends in Food Science & Technology, 30(2), 174-177.
- Shafiee, S., Polder, G., Minaei, S., Moghadam-Charkari, N., Van Ruth, S., and Kuś, P. M. (2016). *Detection of Honey Adulteration using Hyperspectral Imaging*. IFAC-Papers OnLine, 49(16), 311-314.
- Tajik, H., Shokouhi Sabet Jalali, F., and Valehi, S. (2007). *Assesment of Antimicrobial Efficacy of Commercial Urmia's Honeys*. IRANIAN JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 4(2), 39-45 (In Persian).
- Zumla, A., and Lulat, A. (1989). *Honey--a remedy rediscovered*. Journal of the Royal Society of Medicine, 82(7), 384.