



امکان سنجی فرکانس رزونانس مشدد حفره برای تشخیص عسل تقلبی

سید مهدی نصیری^{۱*}، محمد حسین رئوفت^۲، یونس غلامی^۳، محمد تقی گلمکانی^۴، سید اسماعیل حسینی^۵

۱. دانشیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز (nasiri@shirazu.ac.ir)
۲. استاد بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز (raoufat@shirazu.ac.ir)
۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز (unes@yahoo.com)
۴. دانشیار بخش علوم و صنایع غذایی، دانشگاه شیراز (golmkani@shirazu.ac.ir)
۵. استادیار بخش مهندسی برق، دانشگاه شیراز (se.hosseini@shirazu.ac.ir)

چکیده

عسل دارای خواص فوق‌العاده‌ای است که به عنوان یک داروی طبیعی مصرف آن می‌تواند سلامت انسان را به دنبال داشته باشد. با توجه به قیمت بالای عسل طبیعی، برخی از تولیدکنندگان آن را با شیرین‌کننده‌های شربت قند مخلوط نموده و با قیمت عسل طبیعی به فروش می‌رسانند. بنابراین یکی از روش‌های تشخیص عسل طبیعی از تقلبی، اندازه‌گیری محتوای قند آن است. از آنجا که اطلاعات موجود در شکل موج و فاز خواص دی‌الکتریک محصولات غذایی در تشخیص ترکیبات آن‌ها استفاده می‌شود، شربت قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز در پنج سطح مختلف با عسل طبیعی مخلوط شد و سپس مقدار مشخصی از آن درون یک محفظه آلومینیومی (حفره) ریخته شد و در معرض موج در محدوده فرکانسی ۲ تا ۱۲ گیگاهرتز با افزایش ۳۲۰۰۰ مگاهرتز قرار گرفت. موج برگشتی از تحلیل گر شبکه به عنوان پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفت. پردازش طیف کامل داده‌های دامنه با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات جزئی قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز را با ضریب همبستگی ۰/۸۳، ۰/۵۱ و ۰/۸۸ و فاز به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۸۳، ۰/۴۹ و ۰/۸۶ تخمین زد. هر دو خصوصیات دامنه و فاز برای تخمین قندها کاربردی بودند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های استخراج شده امواج قادر است فقط قندهای ساکارز و فروکتوز عسل را تخمین بزند.

کلمات کلیدی: رگرسیون حداقل مربعات جزئی، عسل، عسل تقلبی، فرکانس رزونانسی، مشدد حفره

*نویسنده مسئول: nasiri@shirazu.ac.ir



امکان‌سنجی فرکانس رزونانس مشدد حفره برای تشخیص عسل تقلبی

مقدمه

عسل یک ماده شیرین طبیعی است که توسط زنبور عسل ساخته می‌شود. با توجه به استاندارد ملی ایران عسلی که با این عنوان به فروش می‌رسد نباید به آن هیچ عنصر غذایی از جمله مکمل‌های غذایی و هیچ اضافات دیگری از عسل اضافه شود [۱]. ترکیبات اصلی آن قندهای ساده شامل گلوکز، فروکتوز (۶۵٪) و آب (۱۸٪) است. پروتئین، ترکیبات خوشبو کننده، فلاونوئید، اسیدهای آمینه آزاد، ترکیبات فنولی، اسیدهای ارگانیک و ویتامین‌ها بخش کمی از ترکیبات عسل را تشکیل می‌دهند. عسل تقریباً تمام مواد معدنی لازم برای بدن انسان را دارا است. مقدار هر عنصر با توجه به گونه زنبور عسل، منابع گل، خاستگاه و شرایط آب و هوایی متفاوت است [۸]. با توجه به نوع تغذیه زنبور، عسل دارای انواع مختلف از جمله تک‌گل، چندگل و عسلک است. عسل تک‌گل به‌طور غالب از شهد یک نوع گل خاص ساخته می‌شود. عسل‌های تک‌گل مختلف دارای رنگ و طعم متفاوت هستند که این به دلیل اختلاف بین منابع شهد جمع‌آوری شده توسط زنبور است. عسل چند گل در اثر تغذیه از شهد چند نوع گیاه مختلف و عسل عسلک از ترشحات حشرات مکنده در روی قسمت‌های زنده گیاهان و یا تراوش بخش زنده گیاهان ساخته می‌شود [۱].

در حال حاضر تولید سالانه عسل جهان حدود ۱/۲ میلیون تن است که کمتر از یک درصد از تولید کل قند تولیدی در دنیا است. کشورهای اصلی تولید کننده عسل یعنی چین و آرژانتین مصرف سرانه بسیار کمی دارند (۰/۱ تا ۰/۲ کیلوگرم). مصرف عسل در کشورهای توسعه یافته به حدی زیاد است که تولید داخل پاسخ‌گوی مصرف نیست. در اتحادیه اروپا که هم تولید کننده و هم وارد کننده عمده عسل است، مصرف سرانه از متوسط (۰/۳ تا ۰/۴ کیلوگرم در ایتالیا، فرانسه، بریتانیا، دانمارک و پرتغال) تا مقدار زیاد (۱ تا ۱/۸ کیلوگرم در آلمان، اتریش، سوئیس، پرتغال، مجارستان و یونان) متغیر است، در حالی که در کشورهایمانند ایالات متحده آمریکا، کانادا و استرالیا به‌طور متوسط مصرف سرانه ۰/۶ تا ۰/۸ کیلوگرم در سال است [۵]. در سال ۱۳۹۵ در زنبوردارهای کشور تعداد ۷/۱۵ میلیون کندوی مدرن و ۳۰۵ هزار کندوی بومی وجود داشته که مجموعاً ۸۱/۴ هزار تن عسل تولید کرده‌اند [۲].

از آنجا که قیمت عسل طبیعی بالا است برخی تولیدکنندگان آن را با شیرین‌کننده‌هایی مانند شربت قند مخلوط نموده و با قیمتی معادل عسل طبیعی وارد بازار می‌نمایند که این امر ارزش خوراکی عسل را پایین آورده و برای سلامتی انسان نیز مضر است [۷]. در تقابل با گلوکز و فروکتوز، ساکارز حاصل از سبزی‌های بسیار ارزان‌تر است. بنابراین، شربت ساکارز با منشأ گیاهی مانند افرا، نیشکر، چغندر قند و غیره مواد افزودنی مشترک شیرین‌کننده در عسل برای افزایش درصد قند هستند.

سال‌ها است که تقلب با شیرین‌کننده‌ها نگرانی بزرگی در صنعت عسل ایجاد کرده است. در کشور ما به علت استقبال بالایی که از عسل می‌شود، عده‌ای را به فکر تولید و فروش عسل‌های تقلبی در بازار انداخته است. افراد سودجو از محلول آب و شکر یا شیره انگور و توت، عسل تهیه کرده و به جای عسل طبیعی می‌فروشند که خاصیتی ندارد و حتی موجب بالا رفتن قند خون می‌شود. این اقدام تقلبی به گونه‌ای ساخته می‌شوند که بعضاً کارشناسان خبره نیز قادر به تشخیص نوع مرغوب و طبیعی در مقایسه با محصول تقلبی نبوده و تنها در آزمایشگاه می‌توان عسل طبیعی را، از نوع تقلبی آن تفکیک کرد. در بسیاری از کشورها، از جمله ایران، اکثراً عسل توسط کارخانه بسته‌بندی عسل از زنبورداران جمع‌آوری، سپس بسته‌بندی شده و به بازار عرضه می‌گردد. مقدار کمی از عسل توسط خود زنبورداران فروخته می‌شود. علاوه بر این، عسل ساکارز تقلبی را نمی‌توان به راحتی با بررسی ذهنی یا مزه تشخیص داد. بنابراین نه تنها زنبورداران، بلکه برخی کارخانه‌های بسته‌بندی عسل، عسل ساکارز تقلبی تولید می‌کنند [۶].

تشخیص تقلب در عسل با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله روش‌های ایزوتوپیک، کروماتوگرافی، تحلیل‌های حرارتی و رزونانس مغناطیسی هسته انجام شده است. اگرچه کاربرد این روش‌ها برای تشخیص تقلب به اثبات رسیده است ولی این روش‌ها اغلب زمان‌بر،

مخرب و گران قیمت هستند [۴]. با این حال، ابزار گران قیمت، روش های پیچیده، زمان پردازش طولانی یا نیاز به توانایی بالای کاربران، کاربرد این روش ها و ابزار را مشکل می سازد. پس باید به دنبال روشی غیر مخرب و ساده در تشخیص تقلب در عسل بود. روش دی الکتریک از این جهت کاملاً ایده آل به نظر می رسد.

تاکنون محققان روش های گوناگونی برای اندازه گیری خواص دی الکتریک در طیف وسیعی از محصولات کشاورزی و صنایع غذایی گسترش داده اند. این روش ها شامل اندازه گیری های هدایت گر موج، سلول مقاومتی، خازن با صفحات موازی، مدار گلیوی، پروب کواکسیال، خط انتقال، فضای باز و طیف نگاری حوزه زمان هستند [۱۱]. روش حفره تشدید کننده بر اساس ساختار رزونانس با کیفیت بالا است. یک نمونه کوچک درون یک حفره قرار گرفته و فرکانس رزونانس مرکزی و فاکتور کیفیت حفره را تغییر داده و این فراسنجه ها توسط تحلیل گر شبکه اندازه گیری می شود. از آنجایی که تغییر فرکانس رزونانس مرکزی کم است، پس باید تحلیل گر شبکه حساسیت یک مرتبه را هم داشته باشد این روش در مورد موادی مانند روغن و غیره بکار می رود [۱۲]. گوو و همکاران با استفاده از روش پروب کواکسیال انتهای باز متوجه شده اند که خواص دی الکتریک عسل توسط محتوای ساکارز تحت تأثیر قرار می گیرد. با این حال، مطالعه ثبت شده ای در مورد اثر مقدار فروکتوز و گلوکز در گذردهی عسل در فرکانس های رادیویی و مایکروویو در بررسی منابع یافت نشد [۶]. بنابراین در این پژوهش پاسخ برگشتی امواج مایکروویو برای بررسی خصوصیات عسل دستکاری شده مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش برای ارائه یک روش غیر مخرب و سریع برای تشخیص تقلبی بودن عسل قابل استفاده است.

مواد و روش ها

تهیه عسل پایه

نمونه های عسل تک گل گون شهرستان کوهرنگ، منطقه بیرگان به طور مستقیم از زنبوردار معتمد تهیه و به عنوان عسل پایه در نظر گرفته شد. ظرف حاوی عسل پایه در حالی که در آن نیمه باز است در حمام آب گرم با حداکثر ۴۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت دهی و کاملاً هم زده شد تا کریستال ها حل شوند. سپس از صافی ۰/۵ میلی متری عبور داده شد و به مخلوط اجازه داده شد تا سرد شود [۱].

اندازه گیری میزان ترکیبات قندی، بریکس و محتوای رطوبت عسل

اندازه گیری ترکیبات قندی عسل با دستگاه HPLC (شرکت Knauer، آلمان) در آزمایشگاه بخش صنایع غذایی دانشگاه شیراز انجام شد. مقدار ساکارز، گلوکز و فروکتوز به ترتیب ۲/۱۴، ۲۱/۹۹ و ۵۴/۸۹ گرم در هر صد گرم و محتوای رطوبت پایه عسل ۱۹ درصد اندازه گیری شد. اندازه گیری رطوبت به روش قرائت مقدار ضریب شکست در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با استفاده از دستگاه ضریب شکست سنج دیجیتال مدل CETI 12KG Quartz انجام شد. سپس با استفاده از جدول مرجع استاندارد شماره ۹۲ از روی ضریب شکست بدست آمده میزان رطوبت و شاخص بریکس عسل محاسبه شد [۱].

تهیه شربت ساکارز، گلوکز و فروکتوز

برای تهیه شربت ساکارز، پودر آن با آب به نسبت ۷۵ به ۲۵ وزنی به تدریج اضافه شد و توسط همزن مغناطیسی در دمای ۸۰ درجه سلسیوس حل شد. بعد از حل شدن کامل پودر در آب برای یکسان سازی رطوبت شربت با عسل پایه اقدام استفاده شد. شربت فروکتوز و گلوکز از شرکت زرفروکتوز خریداری شد. آنالیز شربت گلوکز و فروکتوز در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- جدول تحلیل شربت گلوکز و فروکتوز

نوع شربت	بریکس	فروکتوز	دکستروز	ظاهر	بو	مزه
فروکتوز ZFCS 55	۷۸	۵۵	۴۰	شفاف	عاری از بو	شیرین
گلوکز ZGCS DE 60	۸۳	-	۶۳	شفاف	عاری از بو	شیرین

به دلیل اینکه رطوبت بر خواص دی‌الکتریک مواد غذایی تأثیر می‌گذارد، برای یکسان‌سازی رطوبت شربت‌ها با رطوبت عسل پایه مشابه روش بیان شده عدد بریکس شربت‌ها، رطوبت اندازه‌گیری شد. برای همه نمونه‌ها تصحیح عدد بریکس انجام شد. بعد از رسیدن به بریکس ۸۱ درب ارلن‌ها با درپوش پلاستیکی محکم بسته شد تا تبادل با محیط نداشته و به‌طور ملایم ضمن هم زدن با محیط هم‌دم‌گردید.

تهیه سطوح عسل تقلبی

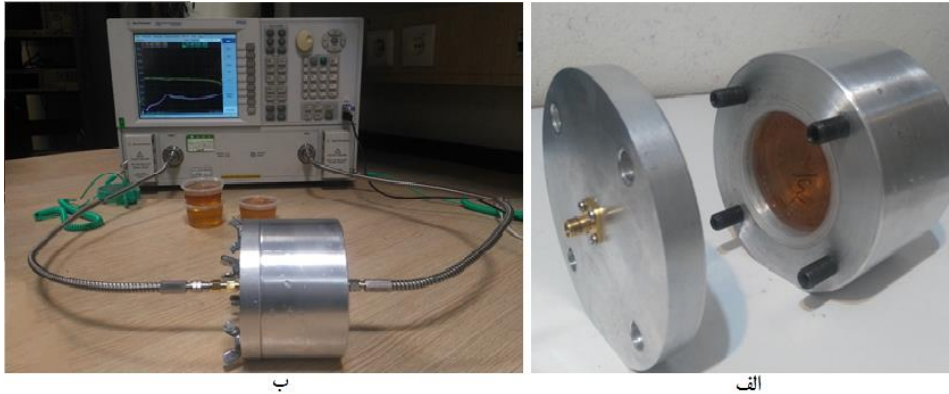
برای تعیین سطوح مختلفی از ساکارز، گلوکز و فروکتوز هر کدام از سه شربت در پنج سطح مختلف مطابق با جدول ۲ مخلوط شد. به این صورت ۱۲۵ تیمار از ترکیب‌های عسل و سه شربت ساکارز، گلوکز و فروکتوز حاصل شد. با توجه به اینکه عسل شامل هر سه قند ساکارز، گلوکز و فروکتوز و از طرفی شربت فروکتوز حاوی قندهای گلوکز و فروکتوز است، مقادیر خالص هر یک از قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز در هر تیمار محاسبه شد. ابتدا وزن ظرف یکبار مصرف با ترازو با دقت $\pm 0/001$ گرم اندازه‌گیری شد. سپس عسل به مقدار کافی (به صورتی که هنگام بسته بودن درب در آن حباب تشکیل نشود) ریخته شد و مجدداً وزن شد. قبلاً مشخص شد برای هر آزمایش ۶۱ گرم نمونه نیاز است.

جدول ۲- مقدار اختلاط ساکارز، گلوکز و فروکتوز (گرم در هر صد گرم)

عامل	سطوح اختلاط			
ساکارز	۰	۱۰	۲۰	۳۰
گلوکز	۰	۱۰	۱۵	۲۵
فروکتوز	۰	۱۰	۱۵	۲۵

شبه‌سازی و ساخت حفره مشدد و اجرای آزمون

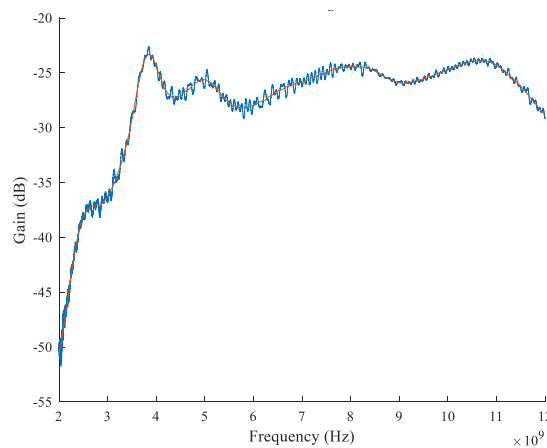
قبل از ساخت حفره برای تسهیل در انجام آزمایش‌ها، ظرف یکبار مصرف مناسب تهیه شد و مطابق با ابعاد ظرف یکبار مصرف حفره با هندسه استوانه‌ای طراحی شد. شبه‌سازی حفره در نرم‌افزار HFSS انجام شد. این نرم‌افزار با روش المان محدود تحلیل کامل معادلات ماکسول را در ساختار سه‌بعدی انجام داد. جنس بدنه حفره آلومینیوم انتخاب شد و نرم‌افزار متناسب با امپدانس سطحی فلز آلومینیوم، شرایط مرزی را اعمال نمود (شکل ۱ الف). برای ماده پرکننده حفره به ماهیت عسل نفوذپذیری الکتریکی ۱۰ فاراد بر متر و نفوذپذیری مغناطیسی ۱ هانری بر متر در نظر گرفته شد. ورودی و خروجی حفره نیز با Waveguide Port تحریک شد. دستگاه تحلیل گر شبکه (VNA) مدل E8364C ساخت شرکت Keysight) محدوده فرکانس ۱۲-۲ گیگاهرتز و با تعداد ۳۲۰۰۰ نقطه فرکانس واسنجی شد (شکل ۱ ب). از رابط تخت کواکسیال (مدل SMA-50-0-53/199_N_۲۳ شرکت HUBER+SUHNER) برای اتصال کابل به حفره و ارسال و دریافت سیگنال‌های تولید شده دستگاه تحلیل گر به حفره حاوی نمونه استفاده شد (شکل ۱ الف قطعه متصل بر روی در حفره).



شکل ۱- الف) نحوی قرارگیری نمونه در حفره ب) حفره متصل به دستگاه تحلیل گر شبکه

از حداقل مربعات جزئی (PLS) برای مدل سازی تخمین درصد قندهای تشکیل دهنده عسل استفاده شد. اثر پیش پردازش داده‌ها با استفاده از پالایه ساویتزکی - گولی^۱ بر خروجی مدل PLS بررسی شد. پالایه ساویتزکی - گولی بسطی از روش جابجایی میانگین و مشابه پالایه میانه است و تفاوت آن با روش پالایه میانه بر اساس میانگین گیری از نقاط همسایگی و سپس تطبیق بر روی منحنی چند جمله‌ای و هموارسازی قله‌ها بر روی طیف است [۳]. شکل ۲ نمودار دامنه حاصل از یک تیمار آزمایش را به صورت واقعی و پالایه شده آن نشان می‌دهد.

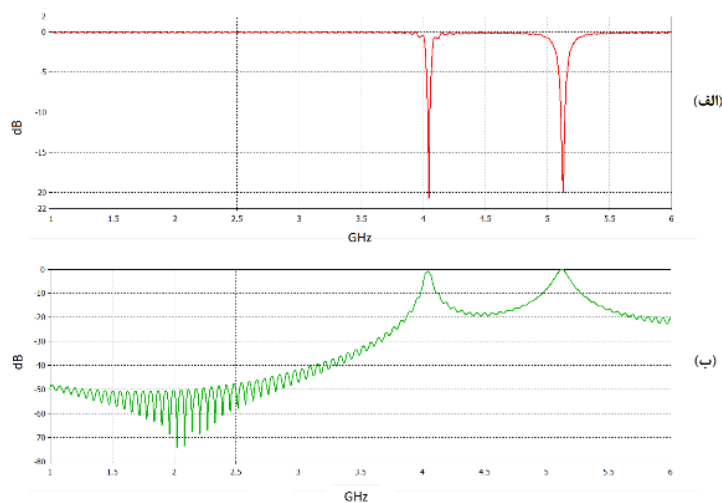
از آنجاکه در شبیه‌سازی، رزونانس اول و دوم به ترتیب در $4/1$ و $5/2$ گیگاهرتز رخ داده بود (شکل ۳)، و از طرفی با توجه به قابلیت دستگاه برای اندازه‌گیری فرکانس‌های بالاتر و دریافت اطلاعات بیشتر از نمونه‌ها، محدوده فرکانس ۲ تا ۱۲ گیگاهرتز برای آزمایش‌ها مناسب بود. برای هر آزمایش مقادیر فراسنجه‌های S_{11} (نسبت برگشت به ورودی) و S_{12} (نسبت گذر به ورودی) در تنظیمات دستگاه انتخاب شد. آزمایش‌ها در محدوده فرکانس ذکر شده با فاصله ۲۰ مگاهرتز انجام شد. در نهایت فراسنجه‌های پراکندگی S_{11} و S_{21} مطابق شکل ۲ به صورت تابعی از فرکانس از نرم‌افزار استخراج شد تا با نتایج اندازه‌گیری مقایسه شود.



شکل ۲- نمونه دامنه واقعی و پالایه شده در فرکانس‌های مختلف

واکاوی داده‌ها

امکان پیش‌بینی قندهای موجود در عسل با داده‌های بردار فراسنجه‌های پراکندگی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی با نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ بهره گرفته شد. بردار بهره (gain) و فاز (phase) فراسنجه‌های پراکندگی به عنوان پیش‌بینی کننده و مقادیر سه قند موجود در نمونه به عنوان متغیر وابسته به مدل معرفی شد. برای کنترل بیش برآزش مدل از روش اعتبارسنجی متقابل k-fold استفاده شد. ۸۰ درصد نمونه‌ها به صورت تصادفی برای آموزش و اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت و ۲۰ درصد نمونه‌های باقی مانده برای واسنجی مدل در نظر گرفته شد. تعداد بهینه مؤلفه‌ها (PLS components) با ترسیم نمودار میانگین مربعات خطا و محاسبه نقطه کمینه برای میانگین مربعات خطای اعتبارسنجی انجام شد [۱۳].

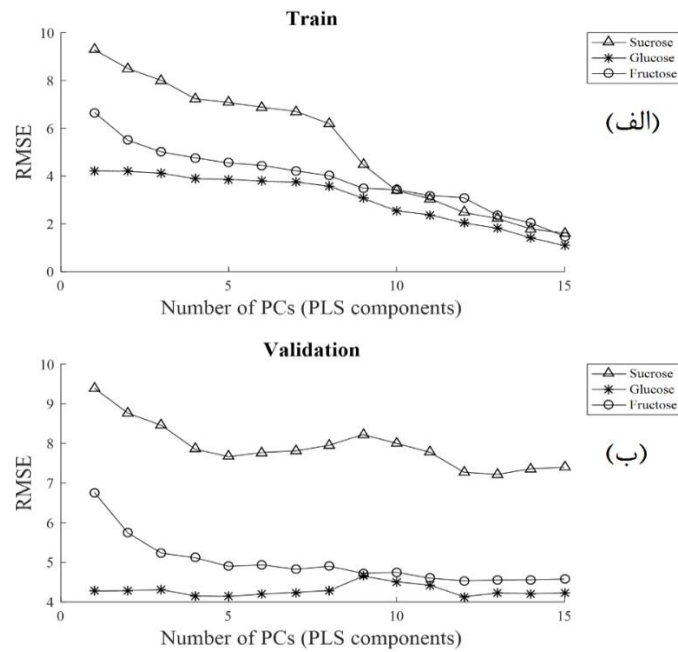


شکل ۳- نمونه فراسنجه‌های پراکندگی حفره تشدید شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار HFSS (الف) فراسنجه‌های S_{11} (ب) فراسنجه‌های S_{21}

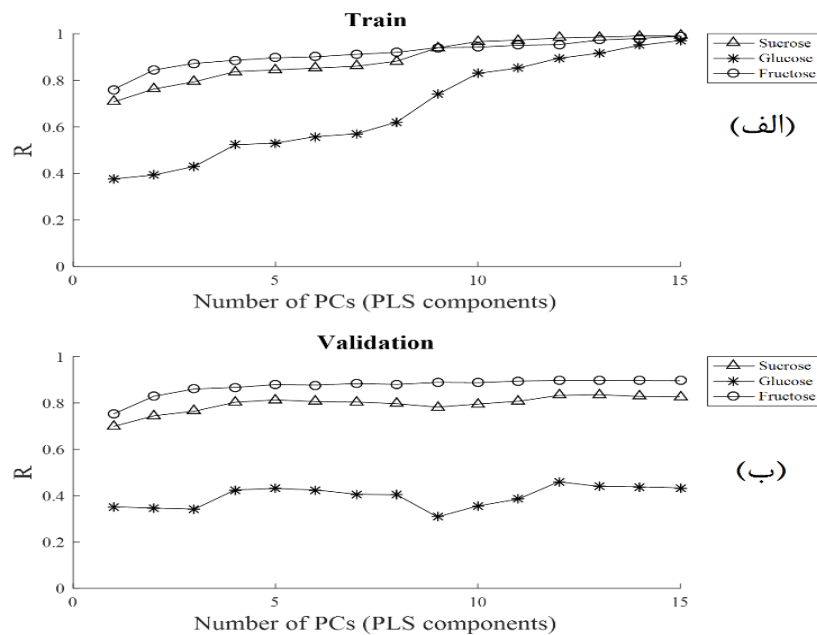
نتایج و بحث

شکل ۴ برای فراسنجه بهره S_{12} (Gain) مقادیر ریشه میانگین خطای استاندارد را به صورت تابعی از تعداد مؤلفه‌های رگرسیونی برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی، برای هر سه قند ساکارز، گلوکز و فروکتوز نشان می‌دهند. مطابق این شکل با افزایش تعداد مؤلفه‌های شرکت‌کننده در رگرسیون، ابتدا مقادیر خطا کاهش و سپس این خطا افزایش یافت. همچنین نمودارها نشان می‌دهد با افزایش تعداد مؤلفه‌ها به بیشتر از ۵ مؤلفه، مقدار خطای پیش‌بینی در داده‌های اعتبارسنجی روندی افزایشی یافت. هر چند افزایش تعداد مؤلفه‌ها بیشتر از ۵ باعث روند کاهشی خطا در پیش‌بینی داده‌های آموزشی شد، اما باید توجه داشت که این روند کاهش خطا به خاطر بیش برآزش مدل بر داده‌های آموزشی است.

نمودار تغییرات ضریب همبستگی به صورت تابعی از تعداد مؤلفه‌های شرکت‌کننده در رگرسیون در شکل ۵ برای فراسنجه بهره S_{12} نشان داده شده است. بر اساس این نمودار نیز با افزایش تعداد مؤلفه‌ها تا ۵ مؤلفه، افزایش در ضریب همبستگی بین مقادیر آزمایشی و پیش‌بینی قندها را به دنبال دارد، اما افزایش تعداد مؤلفه‌ها بیشتر از ۵ مؤلفه کاهش و یا عدم تغییر در ضریب همبستگی در داده‌های اعتبارسنجی را نتیجه می‌دهد که مؤید نتیجه به دست آمده از نمودار ریشه میانگین خطای استاندارد است. شایان ذکر است که با افزایش تعداد مؤلفه‌ها، ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش تا حدود ۱ افزایش می‌یابد و این موضوع به علت بیش برآزش مدل بر داده‌های آموزش است. با توجه به موارد ذکر شده و برای معتبر بودن مدل (شکل ۵ ب)، تعداد بهینه مؤلفه‌ها در استفاده از بردار دامنه برابر ۵ مؤلفه انتخاب شد.

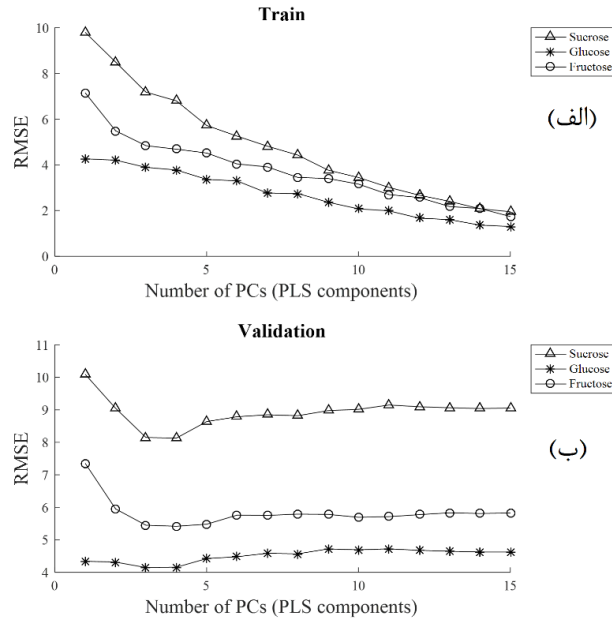


شکل ۴- مقدار ریشه میانگین خطای استاندارد برای پیش‌بینی قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز برای فرانسجه بهره S_{12} (الف) آموزش (ب) واسنجی



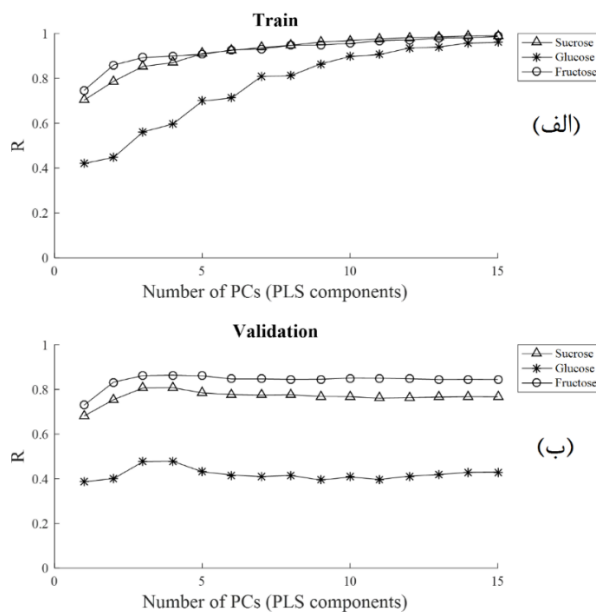
شکل ۵- نمودار ضریب همبستگی (R^2) برای پیش‌بینی قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز برای فرانسجه بهره S_{12} (الف) آموزش (ب) واسنجی

مقدار ریشه میانگین خطای استاندارد به صورت تابعی از تعداد مؤلفه‌های شرکت‌کننده در رگرسیون در شکل ۶ برای فاز S_{12} نشان داده شده است. بررسی نمودار ریشه میانگین خطای استاندارد برای داده‌های اعتبارسنجی برای فرانسجه S_{12} نشان داد که با افزایش تعداد مؤلفه‌ها تا ۳ عدد، خطای پیش‌بینی کاهش و با افزایش تعداد مؤلفه از ۴ به بعد خطای پیش‌بینی در هر سه افزایش یافت



شکل ۶- نمودار ریشه میانگین خطای استاندارد برای پیش‌بینی قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز برای فرانسجه فاز S₁₂ (الف) آموزش (ب) واسنجی

نمودار تغییرات ضریب همبستگی به صورت تابعی از تعداد مؤلفه‌ها (شکل ۷) نیز مؤید این موضوع است که افزایش تعداد مؤلفه‌ها تا ۳ عدد باعث افزایش ضریب همبستگی می‌شود. تعداد مؤلفه‌های بیشتر از آن کاهش مقدار ضریب همبستگی را به دنبال داشت. افزایش تعداد مؤلفه‌های بیشتر از ۳ عدد روند کاهشی در خطا و روند افزایشی در ضریب همبستگی در داده‌های آموزشی را به همراه داشت که این امر به خاطر بیش برآزش مدل بر داده‌های آموزش است. بر اساس موارد ذکر شده، تعداد بهینه مؤلفه‌ها برای استفاده از فرانسجه‌های فاز برابر ۳ مؤلفه انتخاب شد.



شکل ۷- نمودار ضریب همبستگی (R) برای پیش‌بینی قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز برای فرانسجه فاز S₁₂ (الف) آموزش (ب) واسنجی

تعداد بهینه مؤلفه‌ها برای تشخیص گلوکز و فروکتوز در ترکیبات آب مقطر-گلوکز و آب مقطر فروکتوز با استفاده از دامنه برابر ۱ مؤلفه و با استفاده از فاز به ترتیب برابر ۱ و ۳ مؤلفه گزارش شده است. همچنین تعداد مؤلفه‌ها برای تخمین درصد چربی در شیر و تخمین محتوای کربوهیدرات در آب میوه به ترتیب برابر ۱ و ۳ مؤلفه برای فراسنجه‌های دامنه و فاز گزارش شده است [۹]. همچنین برای تخمین محتوای مواد جامد محلول و سفتی (مگنر-تیلور) میوه کیوی تعداد بهینه مؤلفه‌ها بین ۴ تا ۱۱ مؤلفه گزارش شده است [۱۰].

نتایج مدل PLS حاصل از تعداد بهینه مؤلفه‌ها

قبلاً تعداد مؤلفه‌های بهینه برای استفاده از بردارهای دامنه برابر ۵ و برای استفاده از بردارهای فاز برابر ۳ انتخاب شد. ضریب همبستگی (جدول ۳) و مقدار ریشه میانگین خطای استاندارد (جدول ۴) نتایج حاصل از مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی به ازای تعداد مؤلفه‌های بهینه به دست آمده برای هر سه مجموعه داده آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون (واسنجی) را نشان می‌دهد. بر این اساس بیشترین مقدار ضریب همبستگی در واسنجی مدل در تخمین قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز به ترتیب برابر ۰/۸۳، ۰/۵۱ و ۰/۸۸ نتیجه شد. ضریب تبیین در تخمین مقدار ساکارز و گلوکز در ترکیبات ساکارز-آب مقطر و گلوکز-آب مقطر با استفاده از WVS^2 و فراسنجه دامنه، به ترتیب برابر ۹۹/۶ و ۹۹/۹ درصد، و با استفاده از فاز برابر ۹۹/۳ و ۹۹/۸ درصد گزارش شده است. همچنین ضریب تبیین در تخمین ترکیبات مواد غذایی با استفاده از WVS برای تخمین درصد چربی در شیر برابر ۹۹/۳ برای هر دو فراسنجه دامنه و فاز و برای تخمین کربوهیدرات در آب میوه برابر ۹۹/۴ و ۹۹/۲ به ترتیب در استفاده از فراسنجه دامنه و فاز گزارش شده است [۹]. جدول ۳ نشان می‌دهد که تخمین گلوکز نسبت به دو قند دیگر با ضریب همبستگی کمتری (۰/۴۴) انجام شده است. این در حالی است که مقدار ریشه میانگین خطای استاندارد در تخمین گلوکز نسبت به دو قند دیگر کمتر بوده است. ریشه میانگین خطای استاندارد نشان‌دهنده این است که مقادیر پیش‌بینی و مقادیر تجربی تا چه حد به هم نزدیک هستند و ضریب همبستگی بیان‌کننده ارتباط خطی بین این دو متغیر است، بنابراین می‌توان دریافت که مدل PLS استفاده‌شده توانسته محدوده تغییرات گلوکز را نسبتاً پیش‌بینی کند اما در ارتباط خطی با مقادیر تجربی دچار ضعف شده است.

جدول ۳- ضریب همبستگی تخمین قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز

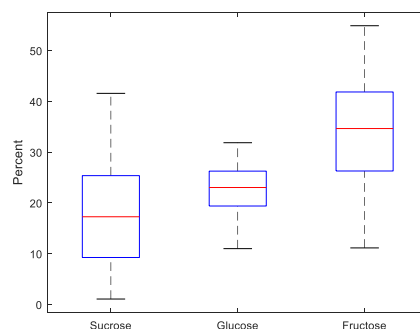
فراسنجه	تعداد مؤلفه	مجموعه داده‌ها	فروکتوز	گلوکز	ساکارز
دامنه S_{12}	۵	آموزش	۰/۸۷	۰/۴۳	۰/۸۲
		اعتبارسنجی	۰/۸۶	۰/۳۴	۰/۸۰
		آزمون	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/۸۳
فاز S_{12}	۳	آموزش	۰/۸۹	۰/۵۶	۰/۸۴
		اعتبارسنجی	۰/۸۶	۰/۴۸	۰/۸۱
		آزمون	۰/۸۶	۰/۴۹	۰/۸۳

جدول ۴- مقدار ریشه میانگین خطای استاندارد حاصل از تخمین قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز

فراسنجه	تعداد مؤلفه	مجموعه داده‌ها	فروکتوز	گلوکز	ساکارز
دامنه S_{12}	۵	آموزش	۵/۰۱	۴/۱۲	۸/۰۰
		اعتبارسنجی	۵/۲۳	۴/۳۱	۸/۴۶

² - Waveguide Vector Spectrometer

۷/۵۷	۳/۹۳	۴/۹۳	آزمون		
۷/۱۹	۳/۸۹	۴/۸۴	آموزش	۳	S ₁₂
۸/۱۵	۴/۱۵	۵/۴۵	اعتبار سنجی		
۷/۱۹	۳/۸۱	۵/۰۵	آزمون		



شکل ۸- نمودار جعبه‌ای درصد تغییرات ساکارز، گلوکز و فروکتوز در نمونه‌های عسل مورد آزمایش

با توجه به نمودار جعبه‌ای تغییرات قندها در نمونه‌ها (شکل ۸)، مشاهده می‌شود که درصد تغییرات گلوکز نسبت دو قند دیگر در نمونه‌ها کمتر بوده است. کمتر بودن بازه تغییرات گلوکز نسبت به دو قند دیگر می‌تواند موجب شود که تغییرات گلوکز بر فراسنجه‌ها تأثیر کمتری نسبت به دو قند دیگر ایجاد کند و از طرفی مدل PLS در ازای این تغییرات کم، به خوبی آموزش داده نشود. استفاده از مدل PLS توانست درصد قندهای ساکارز و فروکتوز را به خوبی تخمین بزند. همانطور که بیان شد برای کاهش پراکنش و تغییرات تصادفی داده‌های دامنه در فرکانس‌های مختلف پالایه صورت گرفت. پالایه صورت گرفته ضریب همبستگی برای تخمین قندهای فروکتوز، ساکارز و فروکتوز را به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۳ و ۰/۴۷ بدست داد که در مقایسه با مدل بدون پالایه (۰/۸۸، ۰/۸۲ و ۰/۴۳) تغییری نشان نداد.

نتیجه‌گیری

استفاده از طیف کامل دامنه موج میکروویو و به کارگیری رگرسیون حداقل مربعات جزئی بهترین تخمین برای قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز را به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۸۳، ۰/۵۱ و ۰/۸۸ نتیجه داد. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند در تخمین قندهای ساکارز و فروکتوز عسل مورد استفاده قرار گیرد. افزون بر آن، مشخص شد استفاده از شکل موج فاز و دامنه نتایج مشابهی در تخمین قندهای عسل دارند. کاربرد پالایه ساویتزکی - گولی بر خروجی مدل PLS در مقایسه با مدل بدون پالایه نتیجه یکسان برای تخمین قندهای عسل نشان داد.

مراجع:

۱. بی‌نام. ۱۳۹۲. استاندارد ملی ایران ۹۲. عسل - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. تجدیدنظر هفتم.
۲. بی‌نام. ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۵. چاپ اول. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. جلد دوم.

۳. جاجرمی، ا.، تقی‌زاده، م.، سازگارنیا، آ.، و بهزاد، خ. ۱۳۹۵. به کارگیری روش‌های پیش‌پردازش داده‌های حاصل از طیف سنجی مرئی مادون قرمز نزدیک در تبیین مدلی برای پیشگویی ماده جامد محلول و اسیدیته لیموترش. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱: ۱۱۲-۱۰۳.
۴. شفیع‌ی، س.، مینایی، س.، مقدم چرکری، ن.، برزگر، م.، و پولدر، گ. ۱۳۹۴. شناسایی عسل تقلبی با طیف سنجی NIR. نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج.
5. Bogdanov, S., Jurendic, T., Sieber, R., and Gallmann, P. 2008. Honey for nutrition and health: a review. *Journal of the American College of Nutrition*, 27(6): 677-689.
6. Guo, W., Liu, Y., Zhu, X., and Wang, S. 2011. Dielectric properties of honey adulterated with sucrose syrup. *Journal of Food Engineering*, 107(1): 1-7.
7. Mouazen, A. M., and Al-Walaan, N. 2014. Glucose adulteration in Saudi honey with visible and near infrared spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, 17(10): 2263-2274.
8. Perez-Arquillué, C., Conchello, P., Ariño, A., Juan, T., and Herrera, A. 1994. Quality evaluation of Spanish rosemary (*Rosmarinus officinalis*) honey. *Food Chemistry*, 51(2): 207-210.
9. Ragni, L., Berardinelli, A., Cevoli, C., Filippi, M., Iaccheri, E., and Romani, A. 2017. Assessment of food compositional parameters by means of a Waveguide Vector Spectrometer. *Journal of Food Engineering*, 205:25-33.
10. Ragni, L., Berardinelli, A., and Guarnieri, A. 2008. A dielectric technique based on a one-chip network analyser to predict the quality indices of shell eggs. *Biosystems Engineering*, 100(4): 470-478.
11. Sosa-Morales, M. E., Valerio-Junco, L., López-Malo, A., and García, H. S. 2010. Dielectric properties of foods: reported data in the 21st century and their potential applications. *LWT-Food Science and Technology*, 43(8): 1169-1179.
12. Sun, D. W. (2005). *Emerging Technologies for Food Processing* (2nd ed). Elsevier Science: Dublin, Ireland.
13. Teslić, N., Berardinelli, A., Ragni, L., Iaccheri, E., Parpinello, G. P., Pasini, L., and Versari, A. 2017. Rapid assessment of red wine compositional parameters by means of a new waveguide vector spectrometer. *LWT-Food Science and Technology*, 84: 433-440.



Feasibility of Resonated Cavity for Adulterated Honey Recognition

Seyed Mehdi Nassiri^{1*}, Mohammad Hossein Raoufat¹, Yones Gholami¹, Mohammad Taghi Golmakani²,
Seyed Reza Hosseini³

1. Department of Biosystems Engineering, Shiraz University
2. Department of Food Science and Technology, Shiraz University
3. Department of Electrical Engineering, Shiraz University

Abstract

Honey contains wonderful properties that can enhance the consumer health. Since the price of natural honey is high, adulterated honey is prepared and marketed which contains certain amount of sugar from various sources. Therefore, sugar content measurement is one of the methods of adulterated honey recognition. Since waveforms and phases information related to the product's dielectric properties can be utilized for estimation of various food product ingredients, sucrose, glucose and fructose syrups at five different levels dissolved in pure honey, a certain amount of samples were poured in an aluminum cavity and exposed to waves in range of 2 to 12 GHz with 32000 MHz increments. Return waves from network analyzer were evaluated as system responses. Data of full spectrum of gains were subjected to partial squares least regression and sucrose, glucose and fructose were estimated by 0.83, 0.51 and 0.88 correlation coefficients, respectively and correspondingly for phase were 0.83, 0.49 and 0.86. Both gain and phase modes were applicable for sugar estimation. The results revealed that waves extracted features able to predict honey sucrose and fructose contents.

Key words: Honey, Adulterated honey, Cavity resonance, Partial least squares regression

*Corresponding author

E-mail: nasiri@shirazu.ac.ir