

بررسی امکان تشخیص تقلب در نوشیدنی مالت با روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا و دی-الکترونیک

فریده کیوانی هفشجانی^۱، مجتبی نادری بلداجی^{۲*}، مهدی قاسمی ورنامخواستی^۳، زهرا ایزدی^۴.

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (farideh.keivani@gmail.com)

۲. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (naderi.mojtaba@sku.ac.ir; m.naderi@ut.ac)

۳. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (ghasemymahdi@gmail.com)

۴. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (izadi.1365@yahoo.com)

چکیده

نوشیدنی مالت فرآورده‌ای است که از اختلاط مالت جو یا عصاره آن، آب، رازک، گاز کربنیک و مواد افزودنی مجاز با شیرین کننده و یا بدون آن تهیه می‌شود. طبق آمار استفاده از شیرین کننده‌های غیر طبیعی و غیر مجاز در صنایع نوشیدنی‌های مالت گسترده است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مقایسه‌ای کربوهیدرات‌های شاخص موجود در نوشیدنی مالت کلاسیک به روش کروماتوگرافی مایع با عمکرد بالا و روش دی‌الکترونیک به منظور تشخیص تقلب از طریق شناسایی ترکیبات قندی موجود در نوشیدنی مالت ساده انجام شد. یک حسگر دی‌الکترونیک استوانه‌ای با استفاده از یک دستگاه مولد تابع و تحلیل گر طیف برای استخراج طیف‌های دی‌الکترونیک در محدوده ۰-۱۵۰ مگاهرتز استفاده شدند. در گام اول با تهیه انواعی از محلول آب-قند شامل گلوکز، ساکاروز، فروکتوز، اینورت، شربت غنی از فروکتوز و عصاره مالت، بررسی شد که تا چه حد روش دی‌الکترونیک امکان تشخیص و تفکیک انواع قند به شکل محلول در آب را می‌تواند داشته باشد. نمونه‌هایی نیز به شکل محلول قندهای ترکیبی مورد آزمون قرار گرفت. در گام بعد هفت نمونه از برندهای تجاری نوشیدنی مالت ساده موجود در بازار همراه با یک نمونه محلول مشابه با مالت جو با استفاده از حسگر استوانه‌ای مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین ترکیبات قندی این نمونه‌ها با روش استاندارد HPLC اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه نشان داد تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه‌ی اصلی PC1 و PC2، قابلیت تشخیص انواع قندهای مستقل و ترکیبی از یکدیگر را دارد. همچنین در روش دی‌الکترونیک این امکان وجود دارد که در صورت بروز تقلب به شکل استفاده بیش از حد از یک قند غیر مجاز آن را با استفاده از این روش شناسایی نمود.

کلمات کلیدی:

تقلب، نوشیدنی مالت، حسگر استوانه‌ای، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا، طیف‌نگاری توان دی‌الکترونیک.

*نویسنده مسئول

بررسی امکان تشخیص تقلب در نوشیدنی مالت با روش روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا و دی‌الکترونیک

مقدمه

با افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی و افزایش تقاضا برای مواد غذایی، تولید کنندگان سودجو با انگیزه به دست آوردن سود بیشتر دست به تقلب‌های گسترده در تولید انواع مواد غذایی زده‌اند. مخصوصاً در جوامعی که استانداردهای مناسب برای کنترل کیفی مواد غذایی و قوانین و مقررات سخت گیرانه برای مبارزه با متخلفین وجود ندارد، تقلب در مواد غذایی به وفور اتفاق می‌افتد. جدا از غیر قانونی بودن تقلب، مصرف مواد غذایی تقلبی تهدیدی برای سلامتی جامعه به شمار می‌آید و در بعضی مواقع می‌تواند حتی منجر به مرگ نیز شود [۱]. تقلبات مواد غذایی به واسطه شناسایی مواد و ترکیبات در حالت طبیعی و بدون تقلب در مقایسه با مواد و ترکیبات در حالتی که مواد غذایی دارای تقلب هستند مشخص می‌شود. بنابراین مشخصات مواد طبیعی موجود در انواع مواد غذایی از قبل باید به وسیله ضوابط قانونی مشخص شود و برای آنها حدود حداقل و حداکثری تعیین گردد [۲]. در ایران نوشیدنی مالت به طور عمده از اختلاط مالت یا عصاره آن، آب، رازک، گاز کربنیک و مواد افزودنی مجاز با شیرین کننده و با بدون آن تهیه می‌شود و دارای ارزش تغذیه‌ای بالایی می‌باشد [۳، ۴]. تولید نوشیدنی مالت با عصاره‌گیری گرم از مالت صورت می‌گیرد که ۹۰ تا ۹۲ درصد از ترکیبات عصاره، کربوهیدرات‌های محلول استحصال شده می‌باشد [۵]. تنوع گسترده کربوهیدرات‌ها در این محصولات منجر به توسعه تکنیک‌های متعددی برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌ها شده است. در این راستا، روش‌های کروماتوگرافی به طور موفقیت آمیزی برای ارزیابی صحیح نوشیدنی‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۶ و ۷]. در این بین می‌توان به مزیت‌های روش دی‌الکترونیک نسبت به سایر روش‌ها، از جمله هزینه کم، سرعت بالا و کاربری آسان آن اشاره کرد.

در زمینه سنجش کربوهیدرات در نوشیدنی‌های مالت، Floridi و همکاران به مطالعه و اندازه‌گیری کربوهیدرات‌ها در ورت و آبجو به روش کروماتوگرافی مایع پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که حدود ۲۹ درصد از کربوهیدرات‌های موجود در نوشیدنی الکلی از نوع قندهای تخمیری می‌باشد [۸]. در پژوهشی دیگر Bamforth و همکاران محتوای کربوهیدراتی نوشیدنی الکلی را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از آن بود که میزان کل کربوهیدرات‌های موجود در نوشیدنی در هر سروینگ (Serving) دارای حدود ۱۰ الی ۲۰ گرم کربوهیدرات می‌باشد [۹]. علاوه بر این، Martins و Ferreira به بررسی مقدار کربوهیدرات‌ها در نوشیدنی آبجو پرداختند که بر مبنای نتایج، میانگین غلظت کربوهیدرات‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه به ترتیب فروکتوز ۲/۴۶ گرم بر لیتر، گلوکز ۵/۶۰ گرم بر لیتر و مالتوز ۴۴/۱۳ گرم بر لیتر بود [۱۰]. Jurkova و همکاران نیز به تعیین درصد مجموع کربوهیدرات‌ها در آبجو با استفاده از کروماتوگرافی مایع پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت گلوکز در نمونه الکلی دار تنها ۳/۴۳ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر بود؛ در حالی که در نمونه غیر الکلی، این میزان معادل ۳/۸۲ گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر به دست آمده بود [۱۱].

از آنجا که مالت و فرآورده‌های آن بعنوان مواد اولیه بصورت مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی دارند، لذا توجه به سلامت و ایمنی آن ضروری است. امروزه همگام با افزایش سطح آگاهی تغذیه‌ای مصرف کنندگان غذایی، ارزش و اهمیت نوشیدنی‌های ساخته شده بر اساس مواد طبیعی در

مقابل نوشیدنی‌های ساخته شده از مواد سنتزی روز به روز مهم‌تر شده است. این موضوع سبب شده است تا گرایش به مصرف نوشیدنی‌های طبیعی از جمله نوشیدنی‌های مالت به صورت کلاسیک و طعم‌دار و استفاده از آن در رژیم غذایی روزانه افراد افزایش یابد [۱۲]. برای تولید نوشیدنی‌های مالت از مواد دیگری مثل مللت دانه‌های ذرت شیرین شده، برنج و دکستروز برای ایجاد طعم شیرین و برخی افزودنی‌های مجاز خوراکی نیز استفاده می‌شود.

استاندارد نوشیدنی مالت در ایران نخستین بار در سال ۱۳۶۱ تدوین شد. این استاندارد بر اساس پیشنهادی‌های واصله و بررسی توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و تایید کمیسیون‌های مربوط برای پنجمین بار مورد تجدید نظر قرار گرفت و در اجلاس کمیته ملی استاندارد خوراک و فرآورده‌های کشاورزی مورخ ۹۰/۱۲/۲۲ با عنوان نوشیدنی مالت - ویژگی‌ها به شماره ۲۲۷۹ تصویب شد (سازمان ملی استاندارد ایران، استاندارد ۲۲۷۹). مطابق با این استاندارد، انواع شیرین‌کننده‌های مجاز در تولید نوشیدنی مالت طعم‌دار عبارتند از شکر، گلوکز، قند انورت، فروکتوز و شربت ذرت با فروکتوز بالا. مطابق همین استاندارد افزودن هر نوع شیرین‌کننده به نوشیدنی مالت ساده و همچنین استفاده از شیرین‌کننده‌های مالتوز، پورمالتوز، شربت ذرت با مالتوز بالا در نوشیدنی‌های مالت ساده غیر مجاز می‌باشد. در نهایت، نوشیدنی مالت ساده تولیدی باید حداقل دارای مواد جامد محلول (درجه بریکس) به اندازه ۴/۵ گرم بر صد میلی‌لیتر باشد که این مقدار کمینه باید تماماً از مالت جو مورد مصرف حاصل شود. در نوشیدنی‌های طعم‌دار این مقدار بین ۹-۴/۵ گرم بر صد میلی‌لیتر است که به طور مشابه ۴/۵ گرم بر صد میلی‌لیتر آن باید الزاماً از مالت مورد مصرف حاصل شود. طبق آمار غیر رسمی موجود (مذاکرات شفاهی با صنایع تولید مالت جو)، در ایران سالانه حدود ۶۰۰ میلیون لیتر انواع نوشیدنی‌های مالت تولید می‌شود. مطابق با استاندارد ۲۲۷۹ (سازمان ملی استاندارد ایران) و در صورتی که حداقل ۴/۵ درجه بریکس نوشیدنی‌ها از مالت جو حاصل شده باشد، برآورد می‌شود که میزان نیاز صنایع تولیدی نوشیدنی به مالت جو حدود ۶۰-۵۰ هزار تن در سال باشد. این در حالی است که تولید مالت جو در کشور تنها توسط معدود کارخانه‌هایی انجام می‌شود که مجموع تولید آنها حدود ۱۰ هزار تن در سال می‌باشد. این آمار به خوبی نشان می‌دهد که استفاده از شیرین‌کننده‌های غیرطبیعی و غیرمجاز در صنایع نوشیدنی‌های مالت گسترده است. علی‌رغم تدوین استاندارد دیگری با عنوان نوشیدنی مالت - روش‌های آزمون (سازمان ملی استاندارد ایران، استاندارد ۲۲۸۰) جهت کنترل کیفیت نوشیدنی‌های تولیدی به نظر می‌رسد که اجرای این استاندارد به دلیل روش‌های پیچیده و زمان‌بر تاکنون محقق نشده است. در استاندارد ۲۲۸۰ مجموعه‌ای از آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی شامل رنگ، طعم و بو، اندازه‌گیری گاز کربنیک، وزن مخصوص، pH، مواد جامد محلول (درجه بریکس)، مواد جامد خشک کل، خاکستر کل، اسیدیتته کل، میزان قند احیاکننده و قند کل، باقی‌مانده الکل اتیلیک، کدورت و فلزات سنگین با ابزارها و روش‌های شیمیایی خاص خود ارائه شده‌اند.

روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک به عنوان یک روش ساده و کم‌هزینه در تشخیص کیفیت مواد غذایی در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این روش خواص دی‌الکتریک (اساساً شامل ضریب دی‌الکتریک و فاکتور افت) ماده تابعی از فرکانس میدان الکتریکی اندازه‌گیری و با خواص فیزیکی و شیمیایی ماده ارتباط داده می‌شود. رفتار دی‌الکتریک ماده تحت تاثیر عواملی شامل دمای نمونه و فرکانس میدان و خصوصیات فیزیکی ماده مانند میزان رطوبت، چگالی، ترکیب و ساختار شیمیایی ماده می‌باشد. به طور ساده حضور هر گونه ترکیب شیمیایی که قابلیت انحلال در آب داشته باشد می‌تواند باعث کاهش قطبیت مولکول‌های آب در ماده شده و خواص دی‌الکتریک آن را تغییر دهد. مولکول‌های قند از ساختارهای ساده تا پیچیده بسته به تعداد گروه‌های OH پس از انحلال با آب تاثیر متفاوتی بر خاصیت قطبی آب ایجاد می‌کنند و از این منظر انتظار می‌رود روش دی‌الکتریک پتانسیل تشخیص و تفکیک

انواع قند را داشته باشد [۱۳]. طیف‌نگاری دی‌الکتریک با بررسی فعل و انفعالات حاصل از قرارگیری مواد مختلف در یک میدان الکتریکی، ابزاری را جهت شناخت خواص مختلف مواد فراهم می‌کند. ماده دی‌الکتریک عایق الکتروسیسته است که از دو قطب‌های کوچک خشی تشکیل شده است. زمانی که این مواد در معرض میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرند، بارهای الکتریکی درون ماده جریان نمی‌یابند (برخلاف مواد رسانا)، بلکه این دو قطب‌های الکتریکی تنها به مقدار اندکی از موقعیت تعادلی خود جابه‌جا شده و به آرایش یافتن همسو با میدان الکتریکی تمایل می‌یابند. بدین ترتیب که انتهای مثبت آن‌ها به طرف پتانسیل کمتر و انتهای منفی آن‌ها به طرف پتانسیل بیشتر متمایل می‌شود. این جابه‌جایی، باز آرایبی و توزیع مجدد دو قطب‌ها، قطبش نام دارد و مهمترین مفهوم در زمینه خواص دی‌الکتریک به شمار می‌رود. خواص دی‌الکتریک یا گذردهی، خواص ذاتی ماده هستند که اثر متقابل ماده با یک میدان الکتریکی خارجی را تعیین می‌کنند. ضریب دی‌الکتریک هر ماده با یک عبارت مختلط (رابطه ۱) بیان می‌شود. مشخصه‌های دی‌الکتریک ماده شامل ضریب دی‌الکتریک ϵ' (بخش حقیقی عبارت مختلط) و فاکتور افت ϵ'' (بخش موهومی عبارت مختلط) می‌باشد که به ترتیب بیانگر میزان انرژی ذخیره شده در مولکول‌های ماده و انرژی تلف شده به صورت حرارت در معرض میدان الکتریکی می‌باشند. مکانیزم‌های جذب انرژی شامل هم‌راستایی دو قطب‌های آزاد درون ماده با میدان الکتریکی (پلاریزاسیون)، قطبیت الکترونیکی و قطبیت اتمی و از اثرگذارترین مکانیزم‌های اتلاف انرژی هدایت یونی ماده می‌باشد.

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j \epsilon''_r \quad (1)$$

مطالعات متعددی تا کنون در خصوص استفاده از روش دی‌الکتریک برای تشخیص انواع قند و یا تقلب در مایعات و مواد غذایی گزارش شده است. گیو و همکاران [۱۴] از روش دی‌الکتریک برای تشخیص عسل طبیعی از عسل تقلبی استفاده کردند. در این تحقیق نمونه‌های عسل با محتوای آب از ۱۸ تا ۴۲/۶ درصد برای آزمون با استفاده از روش کلبل کواکسیال انتها باز استفاده شد. آزمایش‌ها در فرکانس ۱۰ تا ۴۵۰۰ مگاهرتز و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت و مشخصه‌های دی‌الکتریک با استفاده از دستگاه تحلیل گر شبکه اندازه‌گیری و ثبت شد. ثابت دی‌الکتریک نمونه‌های عسل طبیعی و عسل مخلوط شده با آب، با افزایش فرکانس به طور یکنواخت کاهش یافته و با افزودن مقدار آب به عسل افزایش پیدا کرد. همچنین فرکانس بحرانی و ضریب اتلاف دی‌الکتریک با افزایش مقدار آب افزایش یافت. نتایج نشان داد یک ارتباط خطی قوی بین ضریب دی‌الکتریک عسل، محتوای مواد جامد محلول و درصد آب اضافه شده به عسل طبیعی وجود دارد. ضرایب تبیین رگرسیون خطی در فرکانس‌های ۶۵۰ تا ۹۶۰ مگاهرتز بیش از ۹۹۵٪ گزارش شد. محققان یک ارتباط معنادار خطی برای وجود شربت ساکاروز در عسل طبیعی یافتند. خلیلیان و همکاران [۱۵] برای اندازه‌گیری غلظت قند شربت چغندر قند از یک حسگر دی‌الکتریک استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش دما در شربت چغندر قند، فرکانس تشدید دوم دی‌الکتریک افزایش و ضریب گذردهی دی‌الکتریک محاسبه شده از آن کاهش یافت در حالی که فرکانس تشدید تناوب اول تغییر فراوانی با دما را نشان نداد.

رشوند و همکاران [۱۶] در مطالعه‌ای با استفاده از تلفیق دو روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک و آنالیز تصویر، تشخیص تقلب در روغن زیتون را مورد ارزیابی قرار دادند. عمده‌ترین روش تقلب در روغن زیتون، مخلوط کردن روغن‌های گیاهی مانند ذرت، کلزا، آفتابگردان و سویا با روغن خالص زیتون است. هدف از این پژوهش، ارزیابی یک سامانه قابل حمل به منظور تشخیص تقلب روغن زیتون به کمک تلفیق فناوری‌های ماشین‌بینایی و طیف‌سنجی

دی الکتریک با حسگر خازنی بود. به منظور طبقه‌بندی نمونه‌های روغن زیتون تقلبی و اصل با استفاده از ویژگی‌های فرکانسی و رنگ، از تکنیک‌های تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج حاصل از تکنیک شبکه عصبی، مقدار ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا را به ترتیب برای نمونه‌های مخلوط شده زیتون و آفتابگردان برابر ۰/۹۴ و ۰/۰۰۶ و برای نمونه‌های مخلوط شده زیتون و کلزابه ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۰/۰۰۳ نشان داد. این نتایج ثابت کرد که سامانه طراحی شده، توانایی تشخیص دقیق تقلب مورد نظر را دارد.

نادری بلداجی و همکاران [۱۷] در مطالعه‌ای دیگر به بررسی امکان تشخیص تقلب در شیره انگور در اختلاط با شیره خرما، رب انگور و محلول آب-شکر با استفاده از دو حسگر دی الکتریک صفحه موازی و رزوناتور استوانه‌ای پرداختند. تحلیل‌های مولفه‌های اصلی و ماشین بردار پشتیبان دقت‌های ۱۰۰٪ در تشخیص تقلب شیره انگور با استفاده از هر کدام از حسگرها نشان داد. همچنین حسگر رزوناتور استوانه‌ای تفاوت در ضرایب دی الکتریک تیمارهای مختلف تقلب در شیره انگور را که اساساً به دلیل تفاوت در نوع قند موجود در آنها هست بخوبی نشان داد. نادری بلداجی و همکاران [۱۸] به بررسی امکان سنجی کاربرد حسگر رزوناتور استوانه‌ای برای تشخیص تقلب در روغن کنجد پرداختند. در این مطالعه از یک حسگر دی الکتریک استوانه‌ای برای تشخیص تقلب در روغن کنجد در ترکیب با روغن‌های ذرت، کلزا و آفتابگردان استفاده شد. نمونه‌های آزمایشی با ترکیب روغن خالص کنجد با روغن‌های مورد اشاره در سطوح ۱۵، ۳۰ و ۴۵٪ وزنی تهیه و هر نمونه با سه تکرار با حسگر دی الکتریک، در بازه‌ی ۱۵۰-۰ مگاهرتز اندازه‌گیری شد. روش‌های آماری تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای امکان تشخیص و تفکیک انواع تقلب در نمونه‌ها از داده‌های طیفی دی الکتریک مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل مولفه‌های اصلی با دو مولفه‌ی اصلی pc_1 و pc_2 ، قابلیت تشخیص انواع تقلب و سطوح آن را با توجیه ۹۶٪ تغییرات نشان داد. به عنوان بهترین نتیجه، روش کلاس بندی LDA با دقت ۹۶/۷٪ قابلیت تشخیص و تفکیک تقلب‌های آزمون شده در روغن کنجد را نشان داد.

تجزیه مولفه‌های اصلی به‌عنوان یک روش آماری چند متغیره بدون ناظر روشی شناخته شده در فشرده‌سازی داده‌های خطی، کاهش ابعاد داده‌ها، استخراج ویژگی‌ها و همچنین تشخیص الگو می‌باشد. این روش یک تبدیل خطی متعامد است که داده‌ها را به دستگاه مختصات جدید برده طوری که در این تبدیل بزرگترین واریانس داده‌ها به ترتیب توسط اولین و دومین مولفه‌های اصلی ($PC1$) و ($PC2$) توجیه می‌شود و این روند برای همه متغیرها ادامه می‌یابد [۱۹]. اگرچه به تعداد کل متغیرهای مسئله، مولفه اصلی وجود دارد ولی به‌طور معمول چند مولفه اصلی اول که بیشترین واریانس بین داده‌ها را پوشش داده، استفاده می‌شوند و صرف نظر از سایر مولفه‌ها منجر به از دست دادن حداقل اطلاعات می‌شود [۱۹].

از مجموعه مطالعات صورت گرفته برای تشخیص انواع قند و تشخیص تقلب در مواد غذایی و کشاورزی با استفاده از حسگرهای دی الکتریک می‌توان پتانسیل بسیار خوب این روش برای ارزیابی کیفی و تشخیص قند و تقلب در مایعات غذایی را انتظار داشت. تا کنون مطالعه‌ای با هدف تشخیص انواع قند با استفاده از روش دی الکتریک بمنظور امکان تشخیص تقلب در نوشیدنی‌های مالت جو گزارش نشده است. لذا مطالعه حاضر با هدف توسعه کاربرد روش دی-الکتریک برای تشخیص انواع قند و تشخیص تقلب در نوشیدنی مالت انجام شد. در صورت اثبات توانایی این روش در تشخیص تقلب و تفکیک انواع قند می‌توان ابزارهای سریع برای تشخیص تقلب در نوشیدنی مالت ارائه نمود.

مواد و روش ها

۱. حسگر دی الکتریک (رزوناتور) استوانه‌ای

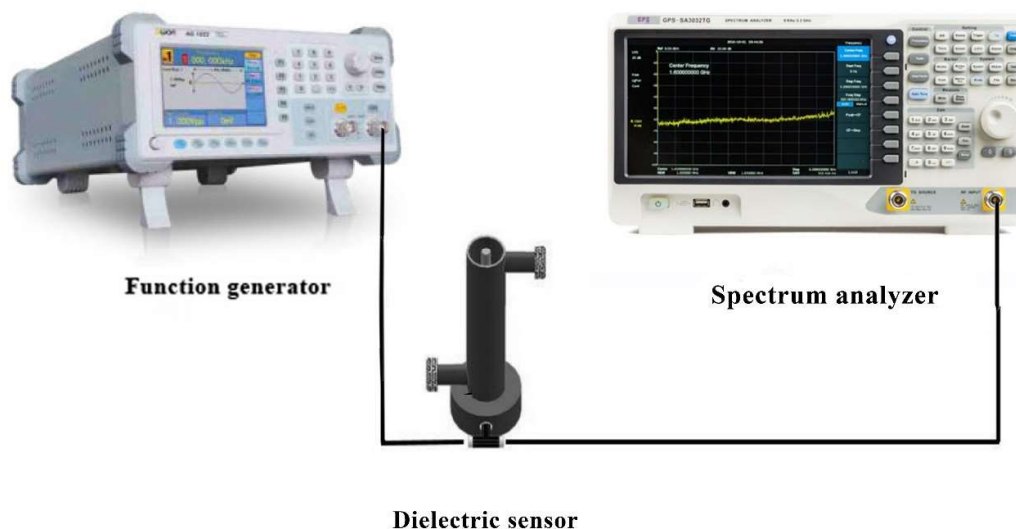
حسگر مورد استفاده در این مطالعه متشکل از یک استوانه خارجی از جنس استیل به‌عنوان بدنه حسگر و قطب منفی خازن، مغزی استیل به قطر 4 mm به‌عنوان قطب مثبت خازن و عایق‌های تفلونی برای ایزوله نمودن قطب‌های خازن می‌باشد [۱۵]. مایع مورد ارزیابی با این حسگر به‌عنوان ماده دی الکتریک بین دو قطب مثبت و منفی قرار گرفته که تغییرات در خصوصیات دی الکتریک آن تأثیر در پاسخ دامنه- فرکانس (AF) حاصل از اندازه‌گیری خواهد داشت. طیف A-F بیانگر اطلاعاتی در مورد ماده دی الکتریک درون حسگر و همچنین فرکانس تشدید آن ماده می‌باشد. از فرکانس تشدید با رابطه (۲) می‌توان ضریب دی الکتریک نسبی ماده را به دست آورد [۱۹].

$$f_{res} = \frac{c(2n-1)}{4l\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \quad (2)$$

که f_{res} فرکانس تشدید (Hz)، c سرعت نور در خلاء ($m\ s^{-1}$)، n شماره توالی تشدیدها، l طول حسگر (m)، ϵ_r ضریب دی الکتریک نسبی ماده، μ_r ضریب مغناطیسی نسبی الکتروند می‌باشد. مطابق با این رابطه فرکانس تشدید حسگر با ضریب دی الکتریک ماده و طول حسگر به شکل معکوس ارتباط دارد.

۲. سامانه اندازه‌گیری دی الکتریک

شکل (۱) طرحواره‌ای از سامانه اندازه‌گیری با حسگر دی الکتریک استوانه‌ای را نشان می‌دهد. این سامانه شامل دستگاه فانکشن ژنراتور (OWON, AG-4151, Hong Kong) می‌باشد که در بازه فرکانسی ۰-۱۵۰ MHz قادر به تولید ولتاژ سینوسی برای تغذیه حسگر می‌باشد. حسگر با استفاده از کابل هم محور و اتصال T از یک طرف به فانکشن ژنراتور و از طرف دیگر به دستگاه تحلیل گر طیف (GW-Instek, GSP-827, Taiwan) متصل می‌شود. با جاروب فرکانس در بازه ۰-۱۵۰ MHz، تحلیل گر طیف دامنه توان حسگر را اندازه‌گیری می‌نماید. در نهایت طیف AF به‌عنوان یک اثر انگشت دی الکتریک در بازه فرکانسی مورد آزمون برای ماده حاصل می‌شود.

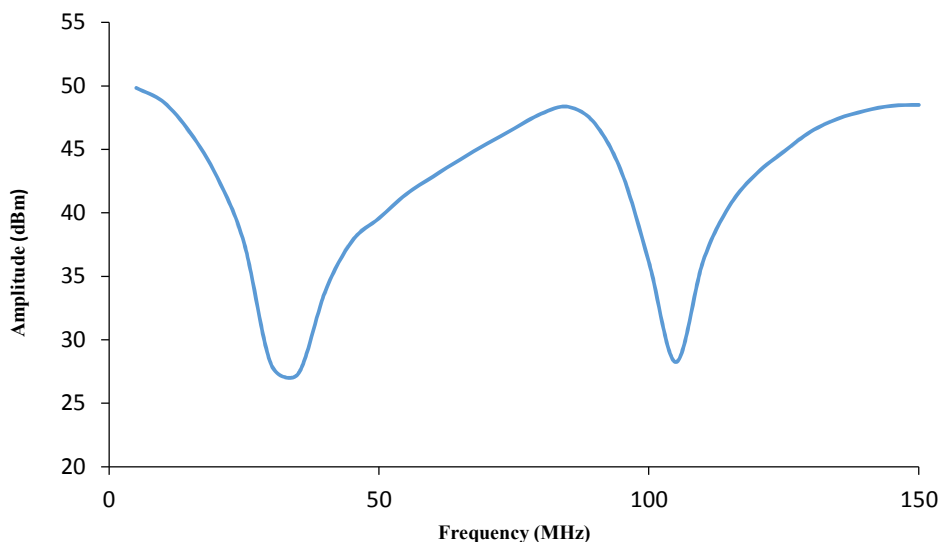


شکل (۱) سامانه اندازه‌گیری با حسگر رزوناتور استوانه‌ای

Fig. 1. Measurement system using the cylindrical resonator sensor

۳. واسنجی حسگر

برای واسنجی و اطمینان از عملکرد حسگر و سامانه اندازه‌گیری ابتدا یک نمونه آب خالص مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. شکل (۲) طیف حاصل از آب خالص را نشان می‌دهد که دره‌های آن به ترتیب در فرکانس‌های ۳۵ و ۱۰۵ مگاهرتز واقع شده است. با استفاده از رابطه (۲) و با فرض مقادیر c (سرعت نور در خلأ) برابر $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ، n برابر یک (جهت استفاد از فرکانس اولین دره طیف)، l (طول حسگر) 0.25 m ، μ_{re} (نفوذپذیری مغناطیسی نسبی استیل) برابر یک، ضریب دی‌الکتریک آب با استفاده از فرکانس تشدید اول $85/71$ به دست آمد که برای آب خالص در دمای اتاق مقدار منطقی و مطابق با سایر منابع علمی است. این نتیجه عملکرد صحیح حسگر و سامانه اندازه‌گیری را تایید نمود.



شکل (۲) پاسخ دامنه - فرکانس (AF) حسگر رزوناتور برای آب

Fig. 2. Amplitude-frequency (AF) of the resonator sensor for pure water

۴. تهیه نمونه

برای انجام آزمایش‌ها در گام اول و با این سوال که حسگر دی‌الکتریک تا چه حد امکان تشخیص انواع قندها به شکل مستقل و یا در ترکیب با مالت جو را خواهد داشت، نمونه قندهای فروکتوز، شربت ذرت غنی از فروکتوز و گلوکز از شرکت زر فروکتوز تهران و همچنین نمونه مالت جو از شرکت به مالت هفشجان تهیه شدند. همچنین قند اینورت به روش آزمایشگاهی و بدون نیاز به آنزیم تهیه شد بدین صورت که ۲۰۰CC شکر معمولی را در ۱۰۰CC آب مخلوط کرده و به آن ۱ CC آبلیمو اضافه شد، سپس مخلوط روی حرارت گذاشته شد تا به جوش برسد و به مدت ۳۰ دقیقه در حالت جوشیدن باقی ماند. سپس در یک ظرف درب‌دار ریخته و به یخچال منتقل شد. نمونه‌های محلول آب-قند و نمونه محلول مالت هر کدام در ۴ سطح غلظت متفاوت با بریکس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ تهیه شدند و اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک بر روی آن‌ها انجام شد. سپس نمونه‌هایی به شکل ترکیب هر قند با مالت در بریکس‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ برای داشتن امکان مقایسه طیف‌های قندهای مستقل و ترکیبی تهیه و اندازه‌گیری شد. هدف از این آزمایش‌ها به شکل قندهای ترکیبی با مالت، تشخیص تقلب‌های احتمالی در نوشیدنی مالت با استفاده از قندهای غیر مالتی بود.

در گام دوم اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک بر روی ۷ برند تجاری نوشیدنی مالت ساده شامل جوجو، عالیس، هوفنبرگ، بالتیکا، باواریا، هی‌دی، شمس انجام شد. از آنجایی که ۷ برند تجاری نوشیدنی مالت تهیه شده در بازار هر کدام بریکس متفاوتی در محدوده ۴/۵ تا ۱۱ درصد بریکس داشتند برای آن که طیف‌های دی‌الکتریک‌شان قابل مقایسه با یکدیگر و عصاره مالت جو باشد پایین‌ترین درصد بریکس، یعنی ۴/۵ به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و مابقی نوشیدنی‌ها با اضافه نمودن آب مقطر به بریکس ۴/۵ رسانده شد. پس از اندازه‌گیری طیف‌های دی‌الکتریک، نمونه‌های نوشیدنی برای تشخیص ترکیبات قندی جهت آزمون‌های HPLC به شرکت پرتو بشاش تهران ارسال شدند.

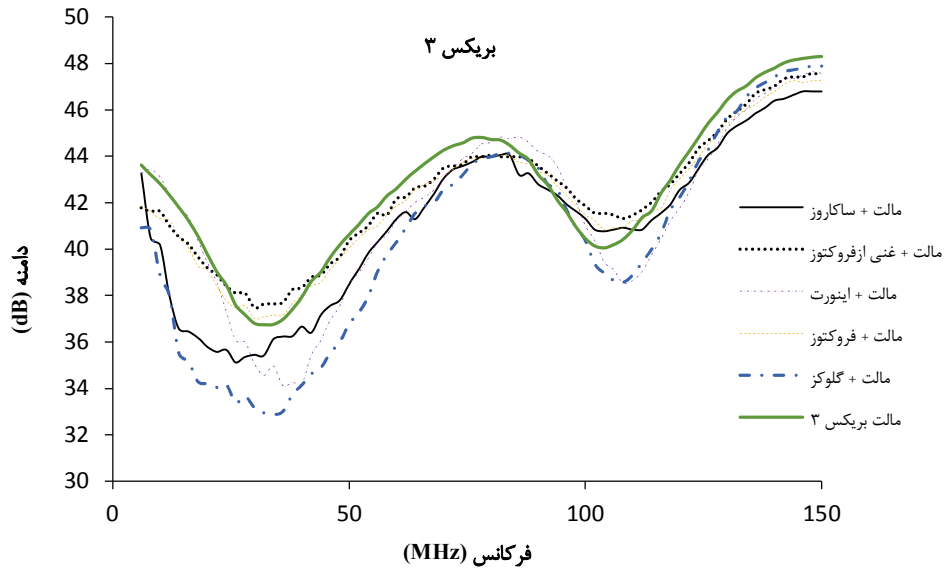
اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک برای هر نمونه با شش بار تکرار انجام گرفت. ابتدا مقدار گنجایش حسگر استوانه‌ای به دقت اندازه‌گیری و به همان میزان، نمونه‌های آزمایش توزین و درون حسگر ریخته شد. از آنجا که دستگاه مولد تابع امکان جاروب فرکانس فقط تا محدوده ۲۵ مگاهرتز را داشت، فرکانس‌های اندازه‌گیری به شکل دستی تا حداکثر ۱۵۰ مگاهرتز با فاصله ۲ مگاهرتز تنظیم شد. بدین ترتیب نهایتاً تعداد ۷۵ فرکانس تولید و توان متناظر آن با استفاده از دستگاه تحلیل گر طیف اندازه‌گیری و در رایانه ثبت گردید. تکرار اندازه‌گیری برای هر نمونه تفاوت‌های بسیار جزئی در طیف‌های دی‌الکتریک نشان داد که از این نظر می‌توان طیف‌های حاصله را به‌عنوان اثر انگشت دی‌الکتریک ماده مورد تحلیل قرار داد.

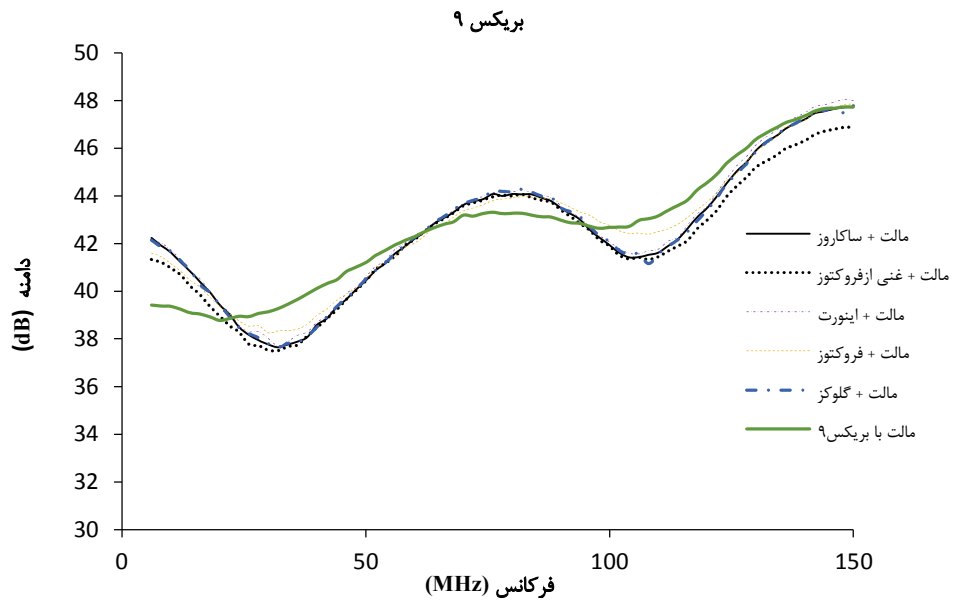
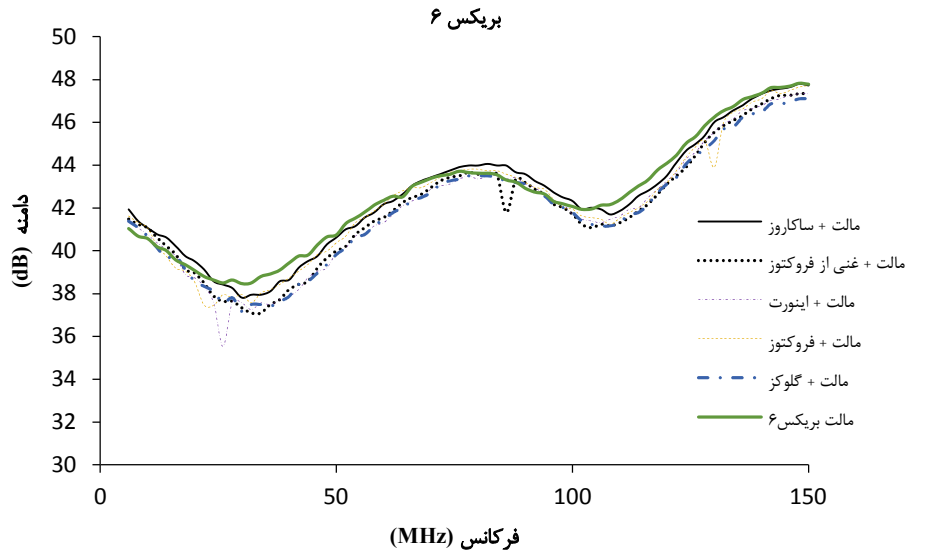
۵. تحلیل‌های آماری

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با حسگر دی‌الکتریک در حوزه فرکانس به صورت چند متغیره می‌باشند (دانه اندازه‌گیری شده در ۷۵ فرکانس). در مجموع ۲۴ نمونه قندمستقل شامل ۶ قند مستقل (عصاره مالت، قند گلوکز، قند فروکتوز، قند انورت، شربت ذرت غنی از فروکتوز، قند ساکاروز) در ۴ سطح بریکس (۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴) شامل ۵ نمونه قند ترکیبی با مالت (عصاره مالت + قند گلوکز، عصاره مالت + قند فروکتوز، عصاره مالت + قند انورت، عصاره مالت + شربت ذرت غنی از فروکتوز، عصاره مالت + قند ساکاروز) با ۴ سطح بریکس مختلف، ۷ نمونه نوشیدنی شامل ۷ برند تجاری نوشیدنی مالت و یک نمونه مالت جو با بریکس ۴/۵ مورد آزمایش قرار گرفت که با در نظر گرفتن شش تکرار، ۱۴۴ طیف دی‌الکتریک برای قندهای مستقل، ۱۲۰ طیف دی‌الکتریک برای قندهای ترکیبی، ۴۲ طیف دی‌الکتریک برای نوشیدنی‌های مالت و ۷ طیف دی‌الکتریک عصاره مالت جمع‌آوری و ذخیره شد. میانگین شش تکرار به عنوان طیف مرجع برای هر نمونه مورد تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شد.

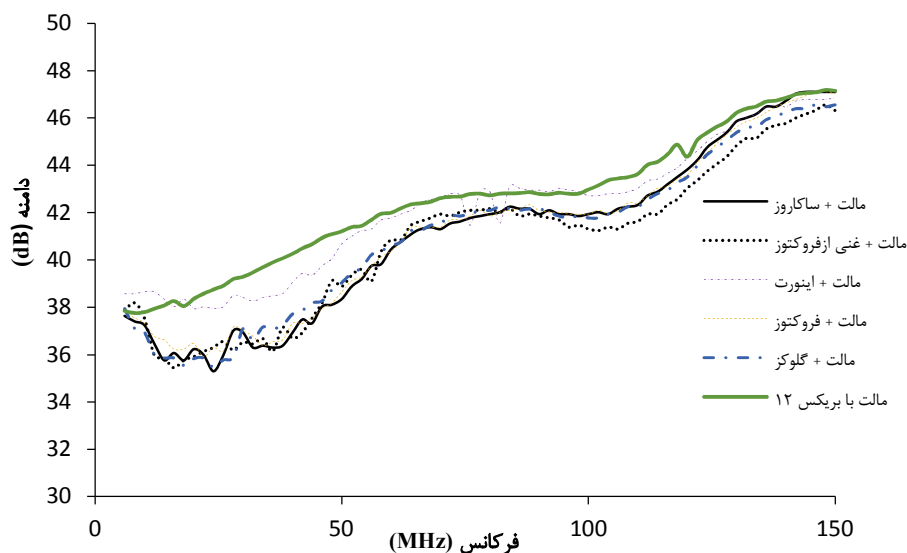
نتایج و بحث

از آنجایی که در نوشیدنی‌های مالت، قندها به صورت ترکیبی دارند و طیف‌های دی‌الکتریک نوشیدنی مالت با طیف‌های قندهای ترکیبی شباهت بیشتری را خواهد داشت به بررسی طیف‌های قندهای ترکیبی پرداخته خواهد شد. شکل ۳ طیف‌های توان دی‌الکتریک قندهای ساکاروز، غنی از فروکتوز، اینورت، فروکتوز و گلوکز را در ترکیب با مالت جو در بریکس‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ در بازه ۰ تا ۱۵۰ مگاهرتز نشان می‌دهد. در بریکس ۳ تفاوت‌های نسبتاً زیادی بین طیف‌های انواع قندها مشاهده می‌شود ولی در بریکس‌های بالاتر به علت افزایش اثر تجمعی ضرایب دی‌الکتریک قندها و مالت جو تفکیک طیف‌ها از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند. آنچه مشخص است اینکه در شکل طیف‌های محلول‌های ترکیبی با مالت جو بخصوص در بریکس‌های بالاتر وقوع تشدید به وضوح مشاهده نمی‌شود.



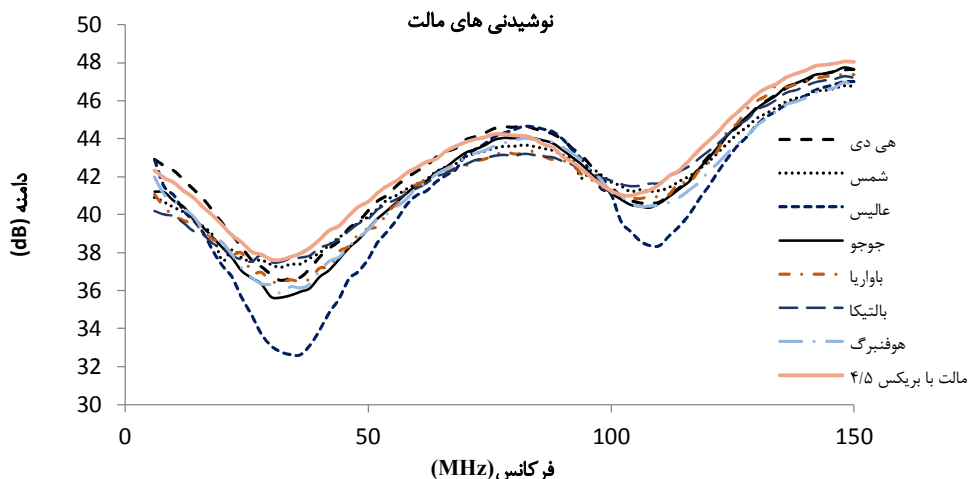


بریکس ۱۲



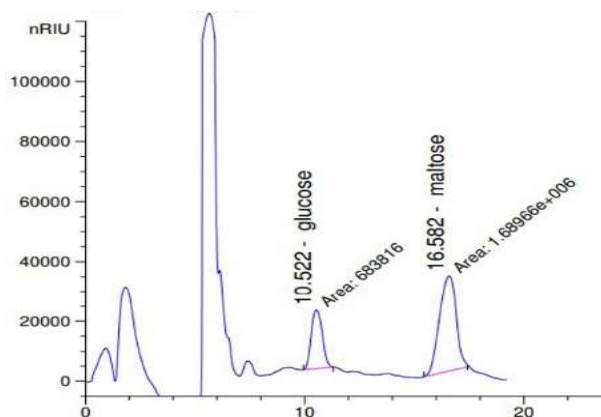
شکل ۳. طیف‌های دی‌الکتریک نمونه‌های محلول آب-قند-مالت در بریکس ۹، ۳، ۶ و بریکس ۱۲

شکل ۴ طیف‌های دی‌الکتریک نوشیدنی‌های مالت ساده در بریکس ۴/۵، در بازه ۰ تا ۱۵۰ مگاهرتز را نشان می‌دهد. علت انتخاب بریکس مبنای ۴/۵ برای همه نوشیدنی‌ها، مقایسه در سطح توصیه شده حداقل بریکس در استاندارد مربوطه می‌باشد. این در حالی است که بریکس واقعی نمونه‌ها بین ۷/۲-۹/۴ متغیر بود (جدول ۱). تفاوت‌های زیادی را می‌توان در طیف‌های حاصل از نمونه‌های نوشیدنی مالت مشاهده نمود ولی به طور واضح طیف‌های مربوط به نوشیدنی عالیس با عمیق‌ترین دره‌ها و نوشیدنی بالتیکا با کم عمق‌ترین دره‌ها را می‌توان متمایز نمود. در مقایسه با طیف حاصل از محلول مالت جو در بریکس ۴/۵ می‌توان برخی نمونه‌ها را شبیه‌تر به محلول ملت جو و برخی را بسیار متفاوت از آن دید ولی این تفاوت‌ها را نمی‌توان به طور قطع مبنی بر وقوع تقلب در نمونه‌های متفاوت با محلول ملت جو تلقی کرد. منطقی انتظار آن وجود دارد که تفاوت در طیف‌های حاصل از نوشیدنی‌های ملت تحت تاثیر تفاوت در غلظت قندهای موجود در آن باشد. از این نظر طیف‌های دی‌الکتریک با نتایج آزمون‌های HPLC مورد مقایسه قرار گرفت.

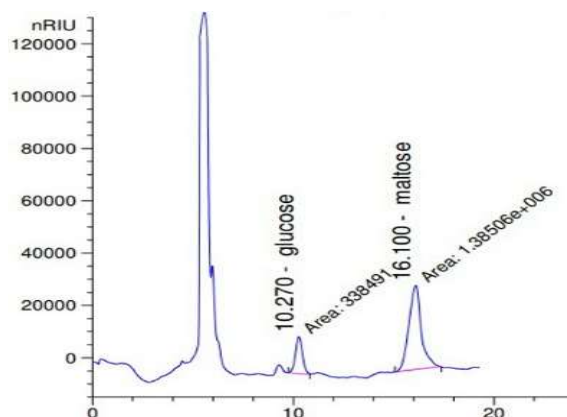


شکل ۴. طیف‌های دی‌الکتربیک نوشیدنی‌های مالت در بریکس ۴/۵

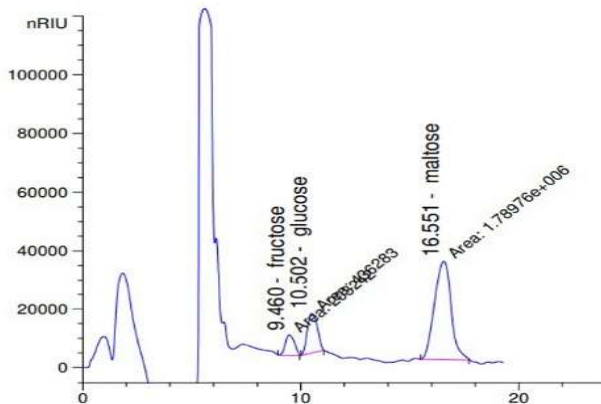
نتایج HPLC نوشیدنی‌های مالت
شکل ۵ طیف‌های حاصل از آزمون HPLC بر روی هفت نمونه تجاری نوشیدنی‌های مالت ساده در بریکس ۴/۵ را که در آن چهار نوع قند گلوکز، مالتوز، ساکاروز و فروکتوز مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. محور افقی در این نمودارها زمان بر حسب دقیقه و محور عمودی میزان جذب بر حسب واحد mAU را نشان می‌دهد. سطح زیر نمودار قله‌های ایجاد شده در زمان‌های متفاوت مربوط به هر قند با غلظت قند در آن محلول ارتباط دارد. در این نمونه‌ها، غلظت قند ساکاروز نیز مورد بررسی قرار گرفته است ولی از آن جا که در هیچ یک از نوشیدنی‌ها قند ساکاروز وجود نداشت در نتایج HPLC (شکل ۵) هیچ قله‌ای مربوط به قند ساکاروز وجود ندارد.



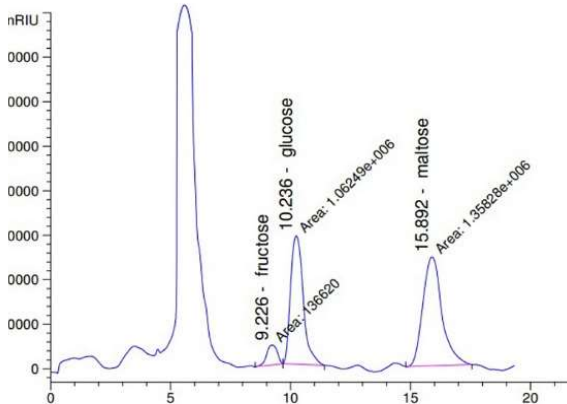
(الف)



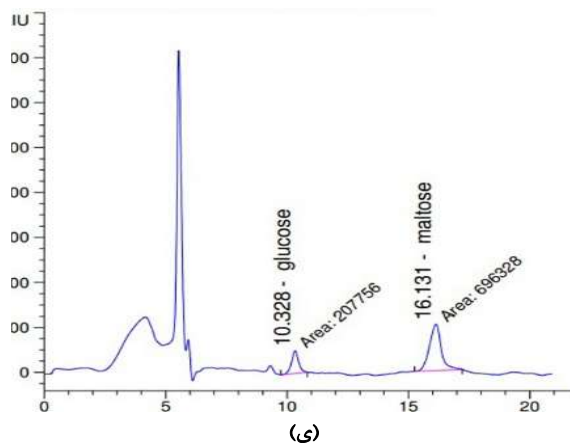
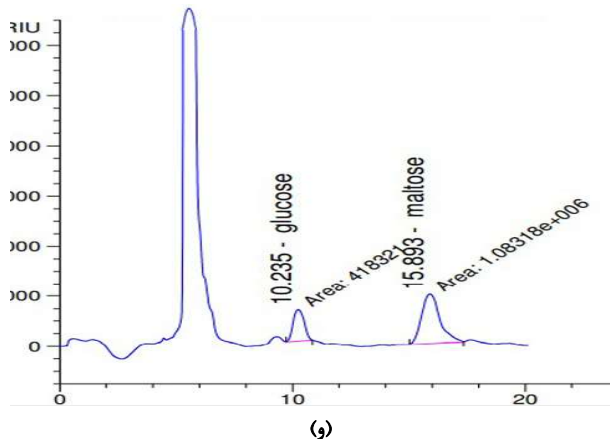
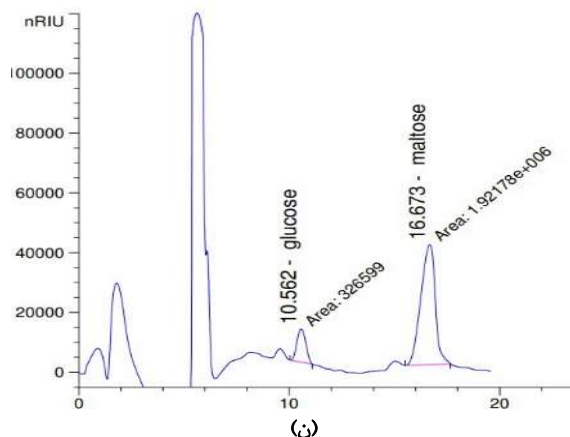
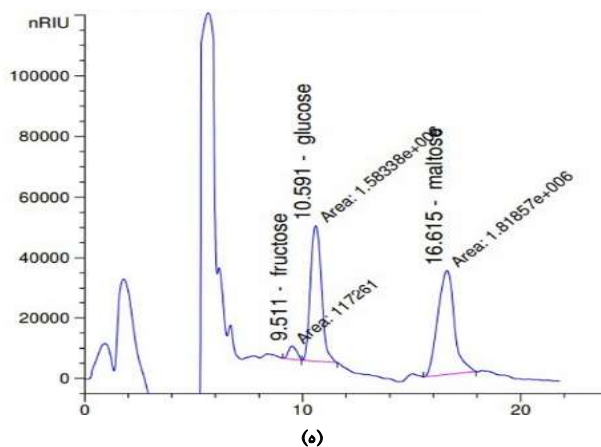
(ب)



(ج)



(د)



شکل ۵. نمودارهای HPLC نوشیدنی‌های مالت الف) بالتیکا، ب) باواریا، ج) هی دی، د) هوفنبرگ، ه) جوجو، ن) شمس، و) عالیس، ی) عصاره مالت برای تشخیص قندهای گلوکز، مالتوز و فروکتوز

جدول ۱ مقادیر کمی غلظت قندهای موجود در عصاره مالت جو و نوشیدنی‌های مالت در بریکس ۴/۵ را نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج تست HPLC مشخص است، هر هفت برند نوشیدنی مالت شامل جوجو، هوفنبرگ، عالیس، باواریا، بالتیکا، هی دی و شمس دارای قندهای مالتوز و گلوکز می‌باشند و سه برند هوفنبرگ، هی دی و جوجو علاوه بر قندهای مالتوز و گلوکز، حاوی مقادیر اندکی قند فروکتوز نیز می‌باشند. همچنین عصاره مالت نیز فقط حاوی دو قند مالتوز و گلوکز می‌باشد و قند فروکتوز در آن وجود ندارد. هیچکدام از هفت نوشیدنی مالت و عصاره مالت جو حاوی قند ساکاروز نمی‌باشند (طبق استاندارد، وجود ساکاروز در نوشیدنی مالت ساده غیر مجاز می‌باشد). مشاهده می‌شود که نوشیدنی‌های هوفنبرگ و باواریا نسبت به انواع دیگر و حتی مالت جو دارای غلظت مالتوز بالاتری است. همچنین در نوشیدنی هوفنبرگ و جوجو غلظت گلوکز به طور معنی‌داری بالاتر از دیگر نوشیدنی‌ها و عصاره مالت جو می‌باشد. لذا شاخص نسبت قند مالتوز به گلوکز نیز برای نمونه‌ها محاسبه شد تا در مقایسه با طیف‌های دی‌الکتریک نمونه‌ها مبنای سنجش قرار گیرد. بر این اساس مشاهده می‌شود که نمونه‌های شمس، هی دی و باواریا به ترتیب از نسبت مالتوز به گلوکز بالاتری برخوردارند در حالیکه نمی‌توان در طیف‌های دی‌الکتریک مربوط به این نمونه‌ها تفاوت ظاهری آشکاری نسبت به دیگر نمونه‌ها مشاهده نمود. مقادیر بسیار کم فروکتوز در برخی نمونه‌های نوشیدنی مالت با

هدف کاهش مزه گس نوشیدنی‌ها اضافه می‌گردد و نمی‌توان این مقادیر بسیار اندک را بعنوان تقلب در نظر گرفت. اگرچه استفاده از فروکتوز در نوشیدنی‌های مالت ساده طبق استاندارد ۲۲۷۹ غیر مجاز است

جدول ۱. غلظت قندهای موجود در نوشیدنی‌های مالت و عصاره مالت در بریکس ۴/۵ بر حسب g/ 100 ml

غلظت انواع قند در بریکس مبنای ۴/۵						
نمونه	بریکس واقعی	قند مالتوز	قند گلوکز	قند فروکتوز	قند ساکاروز	نسبت مالتوز به گلوکز
عصاره مالت جو	۷۸	۱/۷۹	۰/۴۷	-	-	۳/۸۱
نوشیدنی عالیس	۵/۷	۲/۰۴	۰/۶۷	-	-	۳/۰۴
نوشیدنی بالتیکا	۷/۲	۱/۲۵	۰/۴۳	-	-	۲/۹۱
نوشیدنی باواریا	۶/۶	۲/۲۵	۰/۴۷	-	-	۴/۷۹
نوشیدنی شمس	۵/۴	۱/۸۹	۰/۲۸	-	-	۶/۷۵
نوشیدنی هوفبرگ	۴/۹	۲/۹۸	۱/۹۴	۰/۲۳	-	۱/۵۴
نوشیدنی هی دی	۵/۳	۱/۷۸	۰/۳۷	۰/۱۶	-	۴/۸۱
نوشیدنی جوجو	۵/۹	۱/۶۳	۱/۲۱	۰/۰۹	-	۱/۳۵

مطابق جدول ۲ آنالیزهای رگرسیونی برای بررسی ارتباط طیف‌های دی‌الکتریک نمونه‌های نوشیدنی مالت و غلظت قندهای موجود در آن نتایج معنی‌داری در این خصوص نشان نداد. این امر می‌تواند بیانگر این باشد که وجود ترکیبات دیگری در نوشیدنی‌ها علاوه بر انواع قند تفاوت‌هایی در خصوصیات دی‌الکتریک به وجود آورده باشد که نتوان ارتباط مستقیمی بین طیف‌های دی‌الکتریک و غلظت قندها یافت.

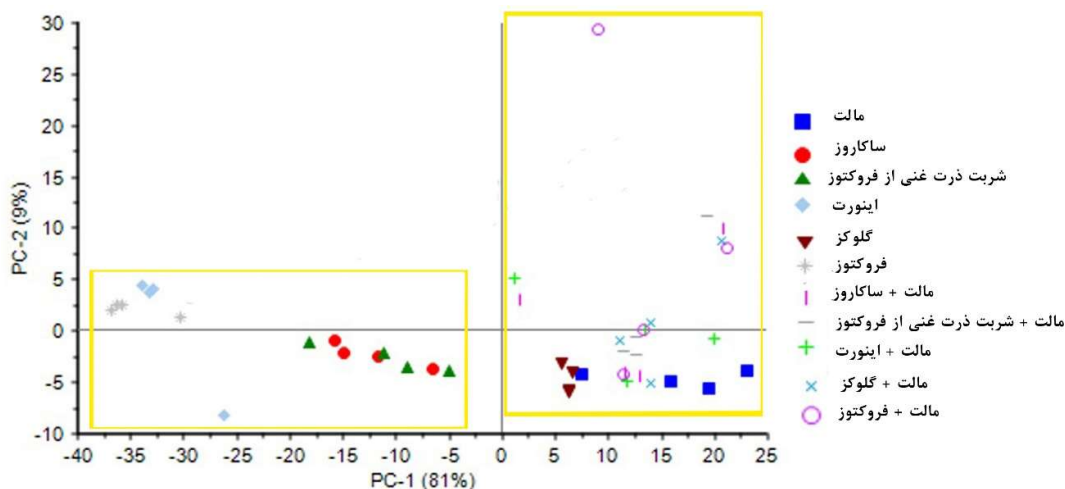
جدول ۲. تحلیل واریانس میانگین برای ارتباط بین طیف‌های دی‌الکتریک نمونه‌های نوشیدنی مالت و غلظت قندهای آن

	تحلیل واریانس میانگین			F محاسبه شده	$P_r > F$
	درجه آزادی	مجموع مربعات (DF)	میانگین مربعات		
تیمار	۱	۲/۱۲۷۳۹	۲/۱۲۷۳۹	۶/۳۰	۰/۰۵۳۹
خطا	۵	۱/۶۸۹۷۵	۰/۳۳۷۹۵		
درجه آزادی کل	۶	۳/۸۱۷۱۴			

همچنین نمی‌توان از نتایج غلظت‌های قند از آزمون HPLC وقوع تقلب در نوشیدنی‌های تجاری را احراز نمود. بر اساس مشورت‌های صورت گرفته با صنایع مالت جو، احتمال این فرضیه تقویت یافت که وقوع تقلب در نوشیدنی‌ها بیشتر به شکل استفاده از مالت‌های با منشاء غیر جو مانند مالت حاصل از دانه‌های شکسته گندم، برنج و یا ذرت باشد تا استفاده از قندهای غیر مجاز مانند ساکاروز که با روش‌هایی مانند آزمون HPLC قابل شناسایی است. شناسایی منشاء

مالت جو نیاز به ابزارهای تشخیصی خاص دارد که می‌تواند در ادامه تحقیقات در این موضوع مد نظر قرار گیرد. با این حال آنچه از نتایج نشان داده شده در جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت اینکه نوشیدنی‌های شمس، هی‌دی و باواریا با نسبت مالتوز به گلوکز بمراتب بالاتر از بقیه مشکوک به تقلب باشند. احتمالاً بخشی از مالتوز موجود در این نوشیدنی‌ها از مالت جو تهیه شده باشد که متناظر با آن غلظت گلوکز نیز در نوشیدنی افزایش یافته است ولی مابقی مالتوز به شکل مالتوز با منشاء غیر جو به نوشیدنی اضافه شده باشد.

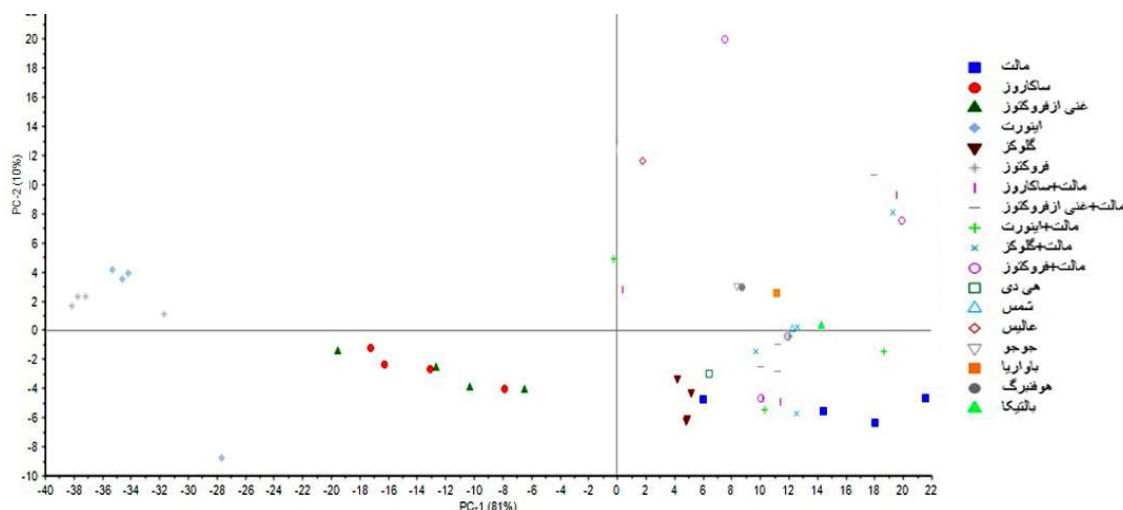
در یک تحلیل دیگر محلول قندهای مستقل و ترکیبی با مالت جو با همدیگر در نظر گرفته شدند. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، فضای مولفه‌های اصلی PC_1 و PC_2 تفاوت‌های بارزی بین نمونه محلول‌های تک قند با محلول‌هایی با قند ترکیبی را نشان می‌دهد طوری که اگر خط عمودی که نمودار را به دو نیم تقسیم کرده است را در نظر بگیریم مشخص می‌شود که نمونه‌های حاوی قندهای ترکیبی و مالت سمت راست نمودار و قندهای مستقل بجز گلوکز در سمت چپ نمودار هستند. با توجه به شکل ۷ می‌توان به یک نتیجه رسید که اگر نمونه‌ای حاوی مالت و گلوکز چه به صورت مستقل و یا در ترکیب با قندهای دیگر باشد سمت راست نمودار طبقه‌بندی می‌شود. پس انتظار می‌رود نوشیدنی‌های مالت اگر به لحاظ ترکیب قندی تقلبی نباشند و حاوی مالت جو باشند، سمت راست نمودار واقع شوند و اگر فقط حاوی قندهای مستقل (به جز گلوکز) و طعم‌دهنده‌ها باشد به سمت چپ نمودار متمایل شوند. همچنین نوشیدنی‌های حاوی سطوح بالای مالت، به سمت راست نمودار متمایل می‌شود و از نوشیدنی‌های دیگر قابل تمایز می‌باشد. شاید مهمترین نتیجه عملیاتی این مطالعه را بتوان در همین قابلیت خلاصه نمود که اگر تولیدکننده‌ای با حذف استفاده از مالت جو یا استفاده مقادیر ناچیزی از آن اقدام به تولید نوشیدنی نماید، روش حاضر می‌تواند به عنوان یک ابزار شناسایی اولیه و بر اساس شباهت‌یابی بین نمونه‌های حاوی مالت جو و نمونه‌های بدون مالت جو وقوع تقلب را تشخیص دهد.



شکل ۷. آنالیز PCA برای طیف‌های دی‌الکترونیک قندهای مستقل و ترکیبی با مالت جو

در شکل ۸ نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی برای طیف‌های نوشیدنی‌های مالت، محلول قندهای مستقل و قندهای ترکیبی با هم نشان داده شده اند. مطابق جدول ۱ بریکس نوشیدنی‌های مالت، شامل برندهای جوجو، هی‌دی، شمس، بالتیکا، باواریا، عالیس و هوفنبرگ به ترتیب برابر با ۵/۹، ۵/۳، ۵/۴، ۷/۲، ۶/۶، ۵/۷ و ۴/۹ بودند. طبق استاندارد، باید ۴/۵ درصد مواد جامد محلول در نوشیدنی‌ها از مالت باشد که در این ۷ نمونه انتظار می‌رود از بریکس‌های ذکر

شده حداقل ۴/۵ آن‌ها از مالت و مابقی از قندهای مجاز تشکیل شده باشد. همان گونه که در شکل ۸ مشخص است هر هفت نمونه نوشیدنی مالت ساده در سمت راست نمودار واقع شده اند. در صورت مقایسه با نمونه‌های محلول مالت جو، اکثر نوشیدنی‌ها در محدوده نزدیک تری نسبت به مالت جو واقع شده‌اند به جز نوشیدنی عالیس که همانطور که در طیف دی‌الکتریک آن نیز مشاهده شد تفاوت بزرگی با بقیه دارد. بر این اساس توصیه می‌گردد نمونه عالیس مورد بررسی‌های با روش‌های پیشرفته تری جهت توجیه این تفاوت قرار گیرد.



شکل ۸. آنالیز PCA برای طیف‌های دی‌الکتریک نوشیدنی‌های مالت و قندهای اصلی و ترکیبی

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا برای تشخیص انواع قند و تعیین غلظت انواع قند در نوشیدنی‌های مالت پرداخته شد با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های HPLC در خصوص غلظت قندهای مالتوز، ساکاروز، گلوکز و فروکتوز که نشان دهنده عدم استفاده از ساکاروز توسط تولیدکننده‌ها می‌باشد، همچنین که تقلب در نوشیدنی‌های مالت بیشتر به شکل استفاده از مالت غیر جو (برای مثال از دانه‌های گندم، ذرت و یا برنج) جهت خامین مالتوز نوشیدنی‌ها می‌باشد. همچنین از روش طیف‌نگاری دی‌الکتریک در محدوده فرکانسی ۱۵۰ مگاهرتز با استفاده از یک حسگر دی‌الکتریک استوانه‌ای به عنوان یک روش غیرمخرب، سریع و ارزان بمنظور امکان تشخیص تقلب در نوشیدنی‌های مالت ساده از طریق تشخیص انواع قند موجود در نوشیدنی مورد ارزیابی قرار گرفت. اگرچه تفاوت‌های نسبتاً بارزی بین طیف‌های دی‌الکتریک حاصل از نمونه‌های تجاری نوشیدنی مالت مشاهده شد، ولی هیچ گونه ارتباط معنی‌داری (با استفاده از روش‌های رگرسیونی) بین طیف‌های دی‌الکتریک و غلظت انواع قند در نمونه‌های نوشیدنی حاصل از آزمون HPLC یافت نشد. این نتیجه می‌تواند بیانگر این باشد که حتی سایر افزودنی‌های مجاز غیر قندی به نوشیدنی می‌توانند باعث ایجاد تفاوت‌هایی در خواص دی‌الکتریک نمونه‌ها شود که تشخیص نوع و غلظت قند در نمونه‌ها را غیر ممکن سازد به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از این مطالعه می‌توان اظهار نمود که روش دی‌الکتریک در صورت بروز تقلب در نوشیدنی‌های مالت به شکل استفاده از یک نوع قند غیر مجاز (نه به شکل ترکیبی) جهت شیرین نمودن نمونه احتمالاً قادر به تشخیص تقلب باشد.

منابع

- [۱۵]. خلیلیان، ح.، نادری بلداجی، م.، قاسمی ورنامخواستی، م. و رستمی، س. (۱۳۹۵). آزمون در حال جریان یک حسگر دی الکتریک استوانه‌ای برای اندازه‌گیری غلظت قند شربت چغندر قند. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی. جلد ۴: ۱۳۱-۱۴۰.
- [۱۶]. رشوند، م.، امید، م.، مبلی، ح. و سلطانی فیروز، م. (۱۳۹۶). ارزیابی سامانه تشخیص تقلب روغن زیتون مبتنی بر پردازش تصویر و طیف‌سنجی دی الکتریک. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. جلد ۶. شماره ۲: ۱۹-۲۹.
- [۱۸]. نادری بلداجی، م.، مختاری، م.، قاسمی ورنامخواستی، م. و توحیدی، م. (۱۳۹۸). امکان‌سنجی کاربرد حسگر رزوناتور استوانه‌ای برای تشخیص تقلب در روغن کنجد. فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی. جلد ۶: ۴۰۹-۴۲۰.
- [6]. Albalasmeh, AA., Asmeret, AA., and Ghezzehei, TA. A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Carbohydr Polym* 2013; 97(2):253-61.
- [13]. Alshami, A.S. 2007. Dielectric properties of Biological Materials: A Physical Chemical Approach. Ph.D. Thesis. College of Engineering and Architecture. Washington State University. USA.
- [9]. Bamforth, CW. Beer, carbohydrates and diet. *J Instit Brew* 2005; 111(3):259-64.
- [10]. Ferreira, IM., Martins, F. Carbohydrate content of lager and ale beer. *Aliment Hum* 2007; 13(1):26-30.
- [12]. Feyzipour Namaghi, A.R., and Hosseini Ghaboos, S. 2011. Malt and non-alcoholic malt. 1sted. Tehran: National Iranian Agricultural Science Publisher. P. 101(In persian).
- [8]. Floridi, S., Miniati, E., Montanari, L., and Fantozzi, P. Carbohydrate determination in wort and beer by HPLC-ELSD. *De Monatsschrift Brauwissen* 2001; 54(9-10):209-15.
- [18]. Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S.S., Siadat, M., Ahmadi, H., and Razavi, S.H. 2015. From simple classification methods to machine learning for the binary discrimination of beers using electronic nose data. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 8: 44-51.
- [14]. Guo, W., Zhu, X., Liu, Y., and Zhuang, H. 2010. Sugar and water contents of honey with dielectric property sensing. *Journal of Food Engineering*. 97(2): 275-281.
- [19] Hoog-Antonyuk, N.A., Olthuis, W., Mayer, M.J.J., Yntema, D., Miedema, H., and Van den Berg, A. 2012. On-line fingerprinting of fluids using coaxial stub resonator technology. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 163(1): 90-96.
- [3]. Institute of Standard and Industrial Research of Iran (ISIRI). Maltose drinks-property. 5th ed. Tehran: National Iranian Standard. Standard Number 2279; 2012 (Persian).
- [11]. Jurkova, M., Cejka, P., Steba, k., and Olsovska, J. Determination of total carbohydrate content in beer using its pre column enzymatic cleavage and HPLCIR method. *Food Anal Meth* 2014; 7(8):1677-89.
- [7]. Leopold, L., Leopold, N., Diehl, HA., and Socaciu, C. Quantification of carbohydrates in fruit juices using FTIR spectroscopy and multivariate analysis. *J Spectroscopy* 2011; 26(2):93-104.
- [17]. Naderi-Boldaji, M., Mishra, P., Ahmadpour-Samani, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghanbarian, D., and Izadi, Z. 2018. Potential of two dielectric spectroscopy techniques and chemometric analyses for detection of adulteration in grape syrup. *Measurement*. 127: 518-524.
- [2]. Shir Khan, F., Akbari-Adergani, B., and Salami M. 2018. Detection of adulteration in malt by maltotriose index in malt powder, malt extract and malt extract powder by high Performance liquid chromatography coupled with refractive index detection. *Journal of Food Sciences Technology*. 83(15):157-67 (In persian).
- [4]. Shir Khan, F., Akbari-adergani, B. Malt and malt product principles of production & processing standards and test methods. 1st ed. Tehran: Food and Drug Research Center; 2016. P. 77 (Persian).
- [1]. Spink, J., and Moyer, D.C. 2011. Defining the public health threat of food fraud. *Journal of Food Science*. 76: 157-163.



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران
(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)
۲۶-۲۴ شهریور ۱۴۰۰



Detection in malt beverage using high liqueid performance and dielectric spectroscopy technique

Mojtaba Naderi Boldaji*, Farideh Keivani Hafshejani, Mehdi Ghasemi Varnamkhasti, Zahra Izadi

1. Biosystems Engineering Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. Student, Biosystems Engineering Department, Shahrekord University, Iran
3. Biosystems Engineering Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4. Biosystems Engineering Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Abstract

Malt beverage is a product made from barley malt. Malt drink is a product made from a mixture of barley malt or its extract, water, hops, carbon dioxide and permitted additives with or without sweetener. According to statistics, the use of unnatural and unauthorized sweeteners is widespread in the malt beverage industry. In this regard, the present study was conducted to evaluate the comparison of indicator carbohydrates in classical malt beverages by high performance liquid chromatography and dielectric methods to detect fraud by identifying the sugar compounds in plain malt beverages. A cylindrical dielectric sensor, a function generator and a spectrum analyzer were used to obtain the dielectric spectra in the frequency range of 0-150 MHz. In the first step, by preparing water-sugar solutions including glucose, sucrose, fructose, invert sugar, High Fructose Corn Syrup and malt extract, it was investigated how the dielectric method can detect and discriminate different types of sugars in water-soluble form. Samples were also tested in the form of mixed sugar solutions. In the next step, seven samples of simple malt drinks available on the market along with a solution with pure barley malt were measured using the dielectric technique. The sugar compounds of these samples were measured using standard HPLC method. The results of this study showed that principal component analysis with two main components PC1 and PC2, can detect different types of sugars independently and in combination with each other. Limit of an unauthorized sugar it develops using this method.

Key words: Malt beverage, Cylindrical sensor, High liqueid performance, Dielectric power spectroscopy

*Corresponding author

E-mail: naderi.mojtaba@sku.ac.ir; m.naderi@ut.ac