

مقاله کوتاه پژوهشی

تأثیر دما و میزان ماده جامد محلول بر خصوصیات فیزیکی - حرارتی عصاره مالت

فاطمه حیدری دلفاردا^۱، مسعود تقی زاده^{۲*}، سید محمد علی رضوی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۲

چکیده

تعیین خواص حرارتی - فیزیکی عصاره مالت جهت تخمین سرعت انتقال حرارت، تولید، حمل و نقل و نگهداری همچنین ارزیابی و مدل‌سازی فرایندهایی از قبیل خشک کردن و تغلیظ ضروری است. در این پژوهش خواص حرارتی - فیزیکی عصاره مالت شامل گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی، ضریب انتشار حرارتی و جرم حجمی در سه سطح ماده جامد محلول ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد و در محدوده دمایی ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد بررسی و تعیین گردید. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که هم درصد ماده جامد و هم دما بر خواص حرارتی - فیزیکی عصاره مالت تأثیر معنی‌داری دارند. با افزایش درصد ماده جامد گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتشار حرارتی کاهش یافته ولی جرم حجمی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دما گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتشار حرارتی افزایش یافته ولی دانسیته کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه، مدل‌های پیش‌بینی کننده خواص حرارتی - فیزیکی عصاره مالت بر مبنای متغیرهای کاری تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: جرم حجمی، ضریب انتشار حرارتی، ضریب هدایت حرارتی، عصاره مالت، گرمای ویژه

مقدمه

عصاره مالت از تبخیر و تغلیظ عصاره آبی دانه‌های غلات خصوصاً جو که فرایند تشکیل مالت را گذرانده‌اند، بدست می‌آید و جایگزین مناسبی برای انواع شکر تصفیه شده از قبیل ساکارز و شربت گلوکز می‌باشد. عصاره مالت به علت دارا بودن قدرت دیاستاتیک و ویژگی‌های آنزیمی بالا، سرشار بودن از قندهای قابل تخمیر با قابلیت تجزیه و جذب سریع، عطر و طعم و قدرت طعم دهنده‌گی و همچنین ارزش تغذیه‌ای بالا، موارد استفاده زیادی دارد (Beitane and Straumite, 2014; Yungelson and Han 2007; Dix and Vastanden, 2004).

آگاهی از خواص حرارتی - فیزیکی مواد غذایی از قبیل ضریب هدایت حرارتی (k)، گرمای ویژه (C_p)، ضریب انتشار حرارتی (α) و جرم حجمی (ρ) برای تخمین سرعت انتقال حرارت، بررسی، کنترل، ارزیابی و مدل‌سازی عملیات فراوری مواد غذایی (انجماد، پاستوریزاسیون، خشک کردن، تغلیظ، سرد کردن و دیگر موارد)، همچنین تولید، حمل و نقل و نگهداری مواد غذایی خصوصاً زمانی که هزینه‌های انرژی،

کیفیت و ایمنی مواد غذایی اهمیت داشته باشند، ضروری می‌باشد. طراحی و مهندسی تجهیزاتی که شامل فرایندهای حرارتی هستند نیازمند در اختیار داشتن داده‌های خصوصیات حرارتی - فیزیکی مواد غذایی می‌باشد. خصوصاً که در بسیاری از مواد غذایی خصوصیات حرارتی - فیزیکی با تغییر میزان محتوای آب و دما دچار تغییرات اساسی می‌گردد (Muramatsu et al., 2009; Minim et al., 2005; Gratao et al., 2004).

تاکنون پژوهش‌های زیادی برای بررسی تأثیر درصد ماده جامد محلول و دما روی خواص حرارتی - فیزیکی مواد غذایی مختلف انجام شده است. در یکی از این پژوهش‌ها، Minim و همکاران (۲۰۰۹) خواص حرارتی - فیزیکی آب لیمو را در محدوده دمایی ۲۷۵/۴۵ تا ۳۷۳/۷۵ کلوین و میزان آب ۰/۳۸ تا ۰/۹۰ (وزنی - وزنی) تعیین و مدل‌های رگرسیونی خطی برای پیش‌بینی خواص ذکر شده ارائه کردند. بر اساس نتایج این پژوهش ρ از ۹۶۲/۳ تا ۱۲۸۲/۸ کیلوگرم بر متر مکعب، k از ۰/۳۴ تا ۰/۶۲۴ وات بر متر درجه سانتی‌گراد، C_p از ۲۴۴۶/۵ تا ۴۰۶۰/۱ ژول بر کیلوگرم درجه سانتی‌گراد و α از $۰/۱۱۶ \times ۱۰^{-۶}$ تا $۰/۱۷۸۵ \times ۱۰^{-۶}$ متر مربع بر ثانیه متغیر بودند همچنین درصد آب در مقایسه با دما تأثیر بیشتری روی خواص ذکر شده داشت.

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

* - نویسنده مسئول: (Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)

در سطوح مختلف دما و درصد ماده جامد محلول، همچنین تعیین و بررسی تغییرات خواص حرارتی مذکور تحت تاثیر دو متغیر دما و درصد ماده جامد به کمک مدل‌های تجربی برازش شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مالت مورد نیاز برای تهیه نمونه‌های عصاره مالت، از یکی از فروشگاه‌های شهر مشهد تهیه شد. ابتدا ۱۵۰ گرم مالت آسیاب شده توزین و سپس ۶۰۰ میلی‌لیتر آب ۴۶ درجه سانتی‌گراد به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. سپس به ازای هر دقیقه، دما به اندازه‌ی ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد تا به دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد برسد. در این دما ۳۰۰ میلی‌لیتر آب با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به آن افزوده شد و به مدت ۶۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. در مرحله بعد محلول مورد نظر به مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه سرد و با کاغذ صافی توسط پمپ خلاء صاف و شربت شیرین مالت بدست آمد. شربت حاصله تا رسیدن به غلظت‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد مواد قندی جوشانده شده، درصد ماده جامد محلول نمونه‌های بدست آمده توسط رفرکتومتر اندازه‌گیری شد.

تعیین گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی عصاره مالت

مقادیر C_p و k عصاره مالت با استفاده از گرماسنج پیمایشی تفاضلی (DSC) اندازه‌گیری و تعیین گردید. این روش کاربردهای وسیعی از جمله اندازه‌گیری گرمای ویژه، سرعت انتقال حرارت، دمای انتقال شیشه‌ای، نقطه ذوب، کریستالیزاسیون و غیره در صنعت دارد و تغییرات انرژی حرارتی ماده را به صورت تابعی از دما، در محدوده دمایی وسیعی اندازه‌گیری می‌نماید. دارای دو ظرف از جنس مس به حجم ۲ میلی‌لیتر، طول و قطر به ترتیب ۱/۶ و ۵/۵ میلی‌متر می‌باشد که داخل یکی از آنها نمونه و در ظرف دیگر ماده مینا قرار می‌گیرد. بعد از اینکه ظرف‌ها تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند واحد ثبت کننده سیستم، تغییرات انرژی حرارتی ماده اصلی و ماده مینا را اندازه‌گیری و میزان انرژی حرارتی دفع یا جذب شده توسط ماده مینا را محاسبه کرد. در این روش مقادیر C_p و k نمونه‌های عصاره مالت بعد از کالیبره کردن قسمت کالریمتر دستگاه به کمک تولوئن، در سطوح مختلف دما (۲۵ تا ۹۰ سانتی‌گراد) و ماده جامد (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد) تعیین گردید.

تعیین جرم حجمی عصاره مالت

ρ عصاره مالت توسط پیکنومتر حجمی 50^2 میلی‌لیتری اندازه‌گیری شد. ابتدا ۲۵ گرم از نمونه عصاره مالت مورد آزمون توزین

Perreira و همکاران (۲۰۱۳) k شیر را در محدوده دمایی ۲۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۸۸/۳ تا ۹۱/۲ درصد و میزان چربی ۰ تا ۳/۵ درصد اندازه‌گیری و نشان دادند، k با افزایش محتوای رطوبت به صورت خطی افزایش یافته اما با افزایش میزان چربی کاهش می‌یابد. Telis و همکاران (۲۰۰۰) α ، C_p ، K و دانسیته عصاره قهوه را در محدوده دمایی ۳۰ تا ۸۲ درجه سانتی‌گراد و میزان آب ۰/۴۹ تا ۰/۹ درصد اندازه‌گیری کردند. مدل‌های رگرسیونی چند جمله‌ای خطی را برای نشان دادن تاثیر دما و درصد آب بر خواص ذکر شده با ضرایب R^2 ، به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۰/۹۴ و ۰/۹۸ ارائه دادند.

در پژوهشی دیگر Cabral و همکاران (۲۰۰۷) خواص حرارتی- فیزیکی آب شاه توت را اندازه‌گیری و تاثیر درصد ماده جامد محلول و دما را روی α ، C_p ، k ، ماده ذکر شده بررسی کردند. α ، C_p ، k با افزایش دما و کاهش درصد ماده جامد محلول افزایش یافتند در حالی که ρ با افزایش دما و همچنین کاهش درصد ماده جامد محلول کاهش یافت. Tavman (۱۹۹۹) ضریب k در هشت نوع پنیر و چهار نوع ماست و کره را به کمک روش سیم داغ اندازه‌گیری کردند و تاثیر میزان آب، پروتئین و چربی را روی هدایت حرارتی بررسی کردند. نتایج نشان داد هدایت حرارتی با افزایش محتوای رطوبت و دما افزایش و با افزایش چربی و پروتئین کاهش می‌یابد. Tan و همکاران (۲۰۰۴) تاثیر دما، میزان آب و گلیسرول را روی C_p مخلوط‌های نشاسته، آب و گلیسرول به نسبت‌های مختلف توسط گرماسنج پیمایشی تفاضلی بررسی نمودند. با افزایش دما و محتوای آب، C_p افزایش یافت و میزان گلیسرول تاثیر متفاوتی روی مخلوط‌های مختلف داشت. Fontan و همکاران (۲۰۰۹) تاثیر دما را روی خصوصیات حرارتی- فیزیکی آب نارگیل بررسی کردند. نتایج نشان داد ρ و ویسکوزیته با افزایش دما کاهش پیدا می‌کنند در حالی که k و α بطور چشمگیری افزایش می‌یابند. در پژوهشی دیگر روستاپور و همکاران (۱۳۹۱) اثر دما و درصد ماده جامد بر خواص حرارتی- فیزیکی آب انار بررسی کردند و نتایج نشان داد تاثیر ماده جامد بر خصوصیات مذکور بیش از دما می‌باشد. Muramatsu و همکاران (۲۰۰۵) k مخلوط آرد برنج و پودر شیر پس‌چرخ را توسط پروب هدایت حرارتی در محدوده دمایی ۱۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد و محتوای رطوبت ۸ تا ۱۸ درصد اندازه‌گیری کردند و مدل‌های تجربی را به عنوان تابعی از محتوای رطوبت و دما ارائه دادند.

همچنین k ، C_p و ρ فراورده‌های مایع از تخم مرغ شامل سفیده، زرده و مخلوطی از آنها تعیین گردید و مدل‌های تجربی خطی برای نشان دادن تاثیر دما و درصد رطوبت بر این خواص ارائه شد (Coimbra et al., 2006). با توجه به این که خواص حرارتی- فیزیکی عصاره مالت تاکنون اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار نگرفته است، هدف از انجام این پژوهش تعیین α ، C_p ، k و ρ عصاره مالت

1Differential scanning calorimeter (DSC)

2Volumetric Pycnometer

آنالیز واریانس استفاده شد (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهد که درصد ماده جامد عصاره مالت نسبت به دمای آن تاثیر بیشتری بر تغییرات C_p عصاره مالت داشته است. در ذیل تغییرات C_p عصاره مالت با دما در مقادیر مختلف درصد ماده جامد توسط مدل‌های رگرسیونی یک متغیره نشان داده شده است (روابط ۲، ۳ و ۴). بهترین روابط جهت برازش تغییرات C_p عصاره مالت با دما برای ماده جامد محلول ۶۰ درصد رابطه لگاریتمی با ضریب تبیین R^2 ، ۰/۹۲۹ و ماده جامد ۷۰ درصد رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۸۶۸ و برای ماده جامد ۸۰ درصد رابطه لگاریتمی با ضریب تبیین ۰/۸۲۷ می‌باشند.

$$C_p = 0.21 \ln T - 0.2184 \quad R^2 = 0.929, X_s = 60 \quad (2)$$

$$C_p = 2.245 + 0.005T \quad R^2 = 0.868, X_s = 70 \quad (3)$$

$$C_p = 0.041 \ln T + 1.945 \quad R^2 = 0.827, X_s = 80 \quad (4)$$

به‌منظور ارائه مدلی مناسب که رابطه بین تغییرات C_p عصاره مالت با تغییرات درصد ماده جامد و دما را نشان دهد، از رگرسیون چندگانه استفاده گردید. مدل رگرسیونی بدست آمده یک مدل خطی دو متغیره بوده که ضریب تبیین آن، R^2 ، ۰/۹۸۵ و با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. ضرایب استاندارد β بیانگر آن است که افزایش یک درصدی ماده جامد محلول کاهش حدود ۰/۹۸ درصدی C_p را در بردارد در حالی که افزایش یک درصدی دما باعث افزایش حدود ۰/۱۷ درصدی C_p خواهد شد (جدول ۲). رابطه خطی بدست آمده بین متغیر وابسته C_p و متغیرهای مستقل درصد ماده جامد (X_s) و دما (T) به صورت معادله (۵) می‌باشد.

$$C_p = 5.422 - 0.044X_s + 0.003T \quad R^2 = 0.985 \quad (5)$$

شکل ۱ رابطه بین تغییرات C_p عصاره مالت را با دما همچنین، مدل‌های گذرانده شده بر داده‌های آزمون را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از بررسی k نشان داد این خصوصیت حرارتی در عصاره مالت با کاهش درصد ماده جامد محلول از ۸۰ تا ۶۰ درصد و با افزایش دما از ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد از ۰/۱۱۹۶ به ۰/۳۴۷ وات بر متر درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. افزایش دما باعث افزایش جنبش بین مولکولی می‌شود در نتیجه سرعت انتقال حرارت و k افزایش می‌یابد. از آن جایی که k آب نسبت به سایر ترکیبات تشکیل‌دهنده بیشتر است در نتیجه با افزایش درصد ماده جامد k کاهش می‌یابد. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که درصد ماده جامد عصاره مالت نسبت به دمای آن تاثیر معنی‌دارتری بر تغییرات k عصاره مالت داشته است. تغییرات k عصاره مالت با دما در مقادیر مختلف ماده جامد محلول توسط مدل‌های رگرسیونیک متغیره نشان داده شده است (روابط ۶ و ۷ و ۸).

و در مقداری آب گرم حل شد. محلول حاصل به یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و با آب مقطر به حجم رسانده شد. برای بررسی ρ عصاره مالت در دماهای مختلف پیکنومتر از محلول مورد نظر پر و در یک حمام هم‌دما^۱ مستقر شد و با تنظیم دمای گرم‌کن آن در نقطه مورد نظر تعیین ρ در آن دما امکان پذیر گردید. ρ عصاره مالت در سه سطح ماده جامد محلول ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد و در سه سطح دما در محدوده ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد در سه تکرار اندازه‌گیری شد (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران).

تعیین ضریب انتشار حرارتی

با مشخص بودن k ، C_p و ρ و با استفاده از رابطه (۱)، ضریب انتشار حرارتی (α) عصاره مالت در سه سطح ماده جامد و در محدوده دمایی ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (1)$$

در این رابطه α = ضریب انتشار حرارتی (m^2/s)، k = ضریب هدایت حرارتی (w/mC°)، C_p = گرمای ویژه ($kJ/kg^\circ C$) و ρ = جرم حجمی (kg/m^3) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش آزمایش‌ها به شیوه فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. معادلات تجربی به‌منظور نشان دادن رابطه هر یک از خواص حرارتی- فیزیکی عصاره مالت با متغیرهای مستقل دما و درصد ماده جامد محلول و نمودارها توسط این نرم افزار ترسیم شدند.

نتایج و بحث

C_p عصاره مالت با کاهش درصد ماده جامد محلول از ۸۰ درصد اولیه تا ۶۰ درصد و افزایش دما از ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد، از مقدار ۲/۰۷۴ کیلوژول بر کیلوگرم درجه سانتی‌گراد تا ۳/۰۶۳ کیلوژول بر کیلوگرم درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد توجه به این که C_p آب نسبت به بقیه مواد تشکیل‌دهنده عصاره مالت بیشتر است لذا با افزایش درصد ماده جامد موجود در ماده C_p کاهش می‌یابد. روند تغییرات C_p عصاره مالت با دما و درصد ماده جامد محلول مشابه نتایج بدست آمده توسط روستاپور و همکاران (۱۳۹۱) که C_p آب انار شفاف را در محدوده دمایی ۲۵ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و در ماده جامد محلول ۱۲ تا ۶۵ درصد تعیین نموده‌اند، می‌باشد. برای ارزیابی تاثیر هر کدام از پارامترهای دما و درصد ماده جامد بر C_p عصاره مالت، از

جدول ۱- آنالیز تجزیه واریانس (ANOVA) تاثر تغییرات دما و غلظت بر خواص حرارتی - فیزیکی عصاره مالت

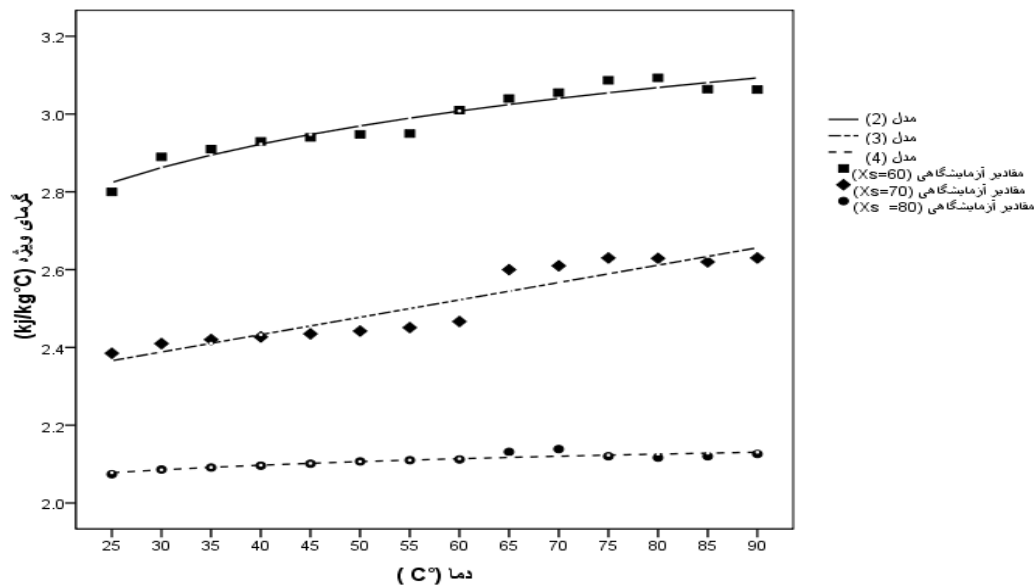
Sig	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات	
۰/۰۰۰	۵/۹۲۷**	۰/۰۱۳	۱۳	۰/۱۷۴	دما (A)	گرمای ویژه
۰/۰۰۰	۱۰۹۵/۹۳۳**	۲/۶۸۵	۲	۵/۳۷۱	غلظت (B)	
۰/۶۹۶	۰/۰۳۱	۰/۰۰۴	۲۶	۰/۰۵	AB	
		۰/۰۰۰۲	۸۴	۰/۰۰۰۵۹	خطا	
۰/۰۰۰	۸/۸۱**	۰/۰۰۷	۱۳	۰/۰۸۷	دما (A)	ضریب هدایت حرارتی
۰/۰۰۰	۱۲۷/۷۳۱**	۰/۰۹۷	۲	۰/۱۹۳	غلظت (B)	
۰/۷۲۹	۳/۱۷	۰/۰۰۱	۲۶	۰/۰۲	AB	
		۰/۰۰۰۰۲۳	۸۴	۰/۰۰۰۰۳۴	خطا	
۰/۰۰۱	۲۰/۱۳۴**	۳۳۷/۶۱۲	۲	۶۷۵/۲۲۳	دما (A)	جرم حجمی
۰/۰۰۰	۱۶۹۵/۹۱**	۸۱۶۳/۸۳۴	۲	۱۳۲۷/۶۶۸	غلظت (B)	
۰/۵	۲/۵۸	۴/۸۱۴	۴	۱۹/۲۵۵	AB	
		۱/۷۶۹	۱۹	۰/۰۰۰۰۳۴	خطا	
۰/۰۰۰	۸/۲۲۱**	۶/۳۹۴	۲	۱۲/۷۸۸	دما (A)	ضریب انتشار حرارتی
۰/۰۰۰	۷/۷۵۹**	۶/۰۳۵	۲	۱۲/۰۷	غلظت (B)	
۰/۹۴	۰/۰۷۵۹	۰/۰۹۲۷	۴	۳/۱۱۱	AB	
		۰/۰۶۰۴	۱۹	۱/۴۹۲	خطا	

** معنی داری در سطح ۱٪

جدول ۲- ضرایب همبستگی خواص حرارتی - فیزیکی عصاره مالت

Sig	آزمون T	ضرایب استاندارد β	ضرایب معادله		
۰/۰۰۰	۸۲/۴۹۲**		۵/۴۲۲	ضریب ثابت	گرمای ویژه
۰/۰۰۰	-۴۹/۴۰۹**	-۰/۹۷۸	۰/۰۴۸	غلظت	
۰/۰۰۰	۸/۵۲۳**	۰/۱۶۹	۰/۰۰۳	دما	
۰/۰۰۰	۱۴/۰۵۱**		۰/۶۷۶	ضریب ثابت	هدایت حرارتی
۰/۰۰۰	-۱۲/۴۶۸**	-۰/۷۶۲	۰/۰۰۸	غلظت	
۰/۰۰۰	۸/۰۰۰**	۰/۴۸۹	۰/۰۰۲	دما	
۰/۰۰۰	۷/۸۰۷**		۱۰۹۵/۳۵۸	ضریب ثابت	جرم حجمی
۰/۰۰۰	۲۰/۲۳۱**	۰/۹۲۸	۴/۱۵۸	غلظت	
۰/۰۰۵	-۴/۷۰۵**	-۰/۲۱۶	۰/۳۶۶	دما	
۰/۰۰۳	۶/۲۳۷**		$۱۳/۷۳۹ \times ۱۰^{-۸}$	ضریب ثابت	ضریب انتشار حرارتی
۰/۰۰۳	-۴/۶۹۹**	-۰/۶۵۷	$۰/۱۴۲ \times ۱۰^{-۸}$	غلظت	
۰/۰۰۳	۴/۸۰۳**	۰/۶۷۲	$۰/۰۴۵ \times ۱۰^{-۸}$	دما	

** معنی داری در سطح ۱٪



شکل ۱- تغییرات گرمای ویژه عصاره مالت با دما

مولکولی زیاد شده و تعداد مولکول‌ها در واحد حجم کم می‌شود. همچنین با افزایش درصد ماده جامد محلول از ۶۰ تا ۸۰ درصد ρ افزایش می‌یابد زیرا افزایش درصد ماده جامد باعث افزایش تمرکز ماده جامد در واحد حجم می‌شود. بر اساس نتایج آنالیز واریانس درصد ماده جامد عصاره مالت نسبت به دمای آن تاثیر معنی داری بر تغییرات ρ عصاره مالت دارد. روستاپور و همکاران (۱۳۹۱) نیز نتایج مشابهی را برای ρ آب انار شفاف گزارش نمودند. تغییرات ρ عصاره مالت با دما در مقادیر مختلف ماده جامد محلول توسط مدل‌های رگرسیونییک متغیره نشان داده شده است (روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲).

روابط خطی بدست آمده جهت برازش تغییرات ρ عصاره مالت نسبت به دما برای مقادیر ماده جامد محلول ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد ضرایب تبیین، R^2 ، به ترتیب ۰/۹۹۹/۹۹۹، ۰/۹۹۸ و ۰/۹۹۸ را در بر داشتند.

$$P = 1328.699 - 0.402T \quad R^2 = 0.999, X_s = 60 \quad (10)$$

$$P = 1375.451 - 0.290T \quad R^2 = 0.999, X_s = 70 \quad (11)$$

$$P = 1426.201 - 0.286T \quad R^2 = 0.998, X_s = 80 \quad (12)$$

برای بدست آوردن مدلی مناسب که تغییرات ρ عصاره مالت با متغیرهای مستقل درصد ماده جامد و دما را نشان دهد، از رگرسیون چندگانه استفاده گردید. مدل بدست آمده یک مدل خطی دو متغیره بوده که ضریب تبیین، R^2 ، ۰/۹۹۹ دارد و اشاره بر این نکته دارد که مدل برازش شده با اطمینان ۹۹ درصد تغییرات ρ را بیان می‌کند. ضرایب استاندارد β بیانگر این است که افزایش یک درصد ماده جامد محلول افزایش حدود ۰/۹۳ درصدی ρ را در بردارد. در حالی که افزایش یک درصدی دما باعث کاهش حدود ۰/۲۲ درصدی ρ عصاره

روابط لگاریتمی جهت برازش تغییرات k عصاره مالت با دما برای ماده جامد محلول ۶۰، ۷۰ و ۸۰ با ضرایب تبیین، R^2 ، به ترتیب ۰/۹۴۲/۹۴۶، ۰/۸۴۶۶ و ۰/۸۴۶۶ می‌باشند.

$$K = 0.13 \ln T - 0.211 \quad R^2 = 0.946, X_s = 60 \quad (6)$$

$$K = 0.109 \ln T - 0.218 \quad R^2 = 0.942, X_s = 70 \quad (7)$$

$$K = 0.048 \ln T - 0.027 \quad R^2 = 0.846, X_s = 80 \quad (8)$$

به‌منظور ارائه یک مدل مناسب که رابطه بین تغییرات k عصاره مالت با تغییرات درصد ماده جامد و دما را نشان دهد، از رگرسیون چندگانه استفاده گردید. مدل بدست آمده یک مدل خطی دو متغیره بوده که دارای ضریب تبیین، R^2 ، ۰/۸۵۸ و با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. ضرایب استاندارد β بیانگر این است که افزایش یک درصدی درصد ماده جامد محلول کاهش ۷۶ درصدی k را در بر دارد در حالی که افزایش یک درصدی دما باعث افزایش ۴۹ درصدی k خواهد شد (جدول ۲). رابطه خطی بدست آمده بین متغیر وابسته K عصاره مالت و متغیرهای مستقل X_s و T بصورت رابطه زیر می‌باشد.

$$K = 0.676 - 0.008 X_s + 0.002T \quad R^2 = 0.858 \quad (9)$$

Telis و همکاران (۲۰۰۰) نیز نتایج مشابهی را برای k عصاره قهوه گزارش نمودند، و مدل رگرسیونی چندجمله‌ای خطی برای نشان دادن تاثیر دما و درصد ماده جامد بر k عصاره قهوه ارائه دادند. شکل ۲ تغییرات k عصاره مالت با دما و همچنین مدل‌های لگاریتمی گذرانده شده بر داده‌های آزمون را نشان می‌دهد.

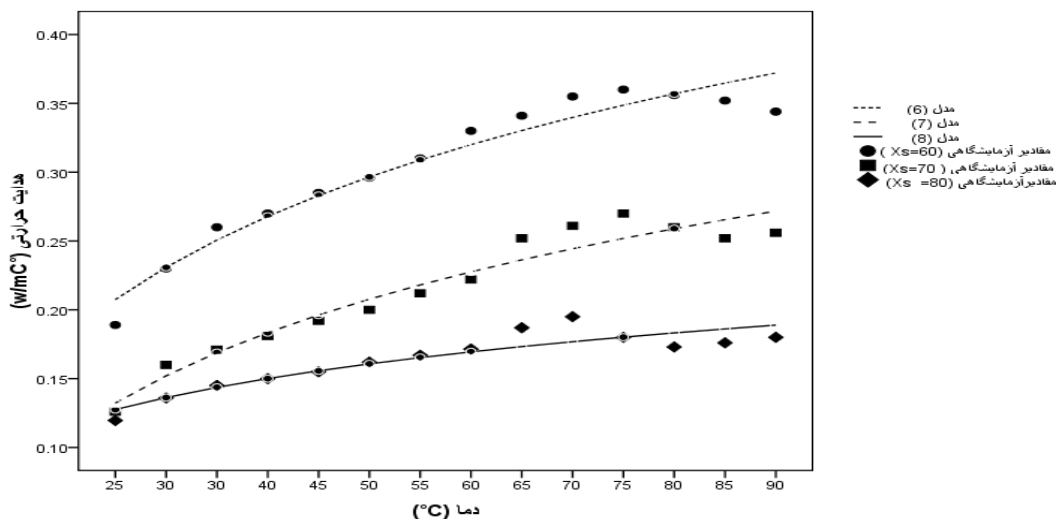
بر اساس نتایج بدست آمده ρ با افزایش دما از ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد بصورت خطی کاهش می‌یابد زیرا با افزایش دما، فعالیت

جامد ۶۰ تا ۸۰ درصد و محدوده دمایی ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد بصورت غیرمستقیم تعیین شده، مقادیر محاسبه شده مورد تحلیل و بررسی آماری قرار گرفت. نتایج بیانگر این است که این ضریب با کاهش درصد ماده جامد از ۸۰ تا ۶۰ درصد و افزایش دما از ۲۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج آنالیز واریانس دمای عصاره مالت نسبت به درصد ماده جامد آن تاثیر معنی‌دارتری بر تغییرات α عصاره مالت دارد.

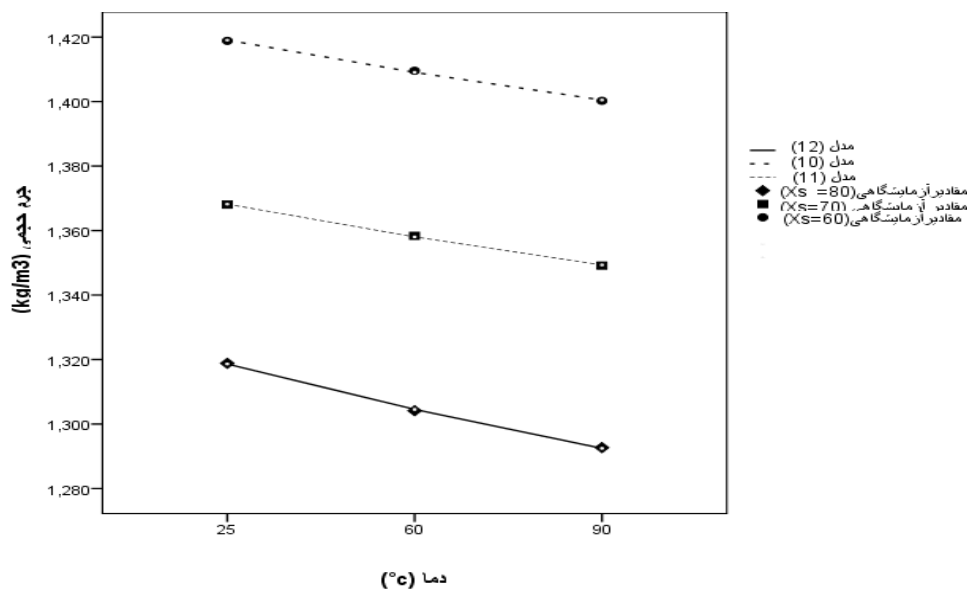
مالت خواهد شد (جدول ۲). رابطه خطی بدست آمده بین متغیر وابسته ρ عصاره مالت و متغیرهای مستقل X_s و T به صورت رابطه ریز می‌باشد.

$$P = 1095.358 + 4.158X_s - 0.366T \quad R^2 = 0.99 \quad (13)$$

شکل ۳ تغییرات ρ عصاره مالت را با دما همچنین مدل‌های خطی گذرانده شده بر داده‌های آزمون را نشان می‌دهد. در مورد α مقادیر آن با استفاده از رابطه (۱) در درصدهای ماده



شکل ۲- تغییرات ضریب هدایت حرارتی با دما



شکل ۳- تغییرات جرم حجمی با دما

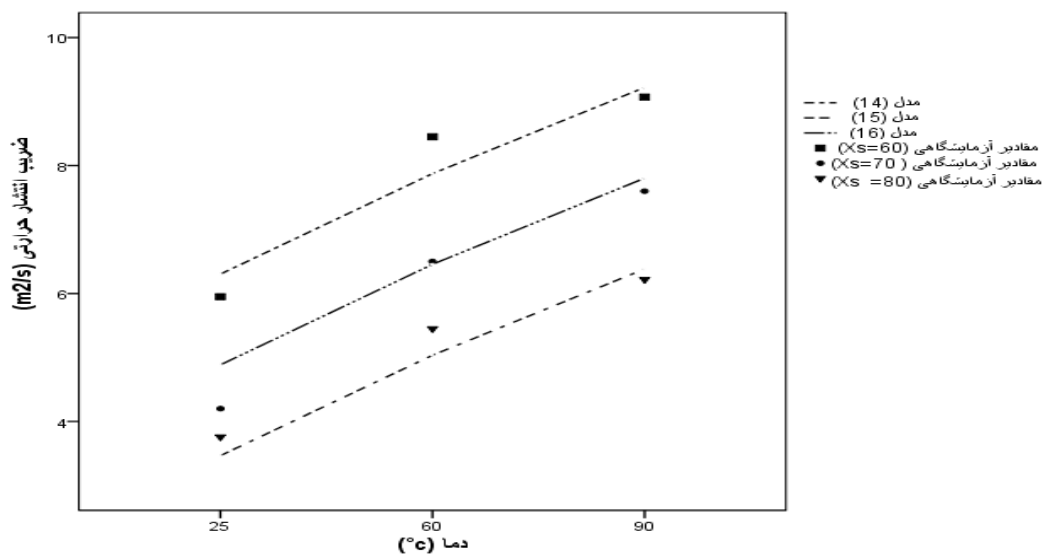
۳۷۳/۷۵ کلوین و میزان آب ۰/۳۸ تا ۰/۹۰ بدست آورده‌اند، می‌باشد. تغییرات α عصاره مالت با دما در مقادیر مختلف ماده جامد محلول

نتایج بدست آمده مشابه تحقیقات انجام شده توسط Minim و همکاران (۲۰۰۹) که α عصاره آب لیمو را در محدوده دمایی ۲۷۵/۴۵ تا

بوده که ضریب تبیین، R^2 ، ۰/۸۸۳ و با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. ضرایب استاندارد β بیانگر این است که افزایش یک درصد ماده جامد محلول کاهش حدود ۶۶ درصدی α را در بر دارد در حالی که افزایش یک درصدی دما باعث افزایش حدود ۶۷ درصدی α خواهد شد (جدول ۲). رابطه خطی بدست آمده بین متغیر وابسته α عصاره مالت و متغیرهای مستقل X_s و T به صورت رابطه (۱۷) می‌باشد.

$$\alpha = 13.739 \times 10^{-8} - 0.14210^{-8} X_s + 0.04510^{-8} T \quad (17)$$

شکل ۴، تغییرات α عصاره مالت را با دما همچنین مدل‌های خطی گذرانده شده بر داده‌های آزمون را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات ضریب انتشار حرارتی با دما

افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دما C_p ، k و α افزایش یافته اما ρ کاهش می‌یابد. مدل‌های رگرسیونی دو متغیره خطی جهت بررسی تغییرات خواص حرارتی- فیزیکی عصاره مالت با متغیرهای مستقل درصد ماده جامد و دما تعیین گردید. که ضریب تبیین (R^2) مدل‌های ارائه شده برای گرمای ویژه ۰/۹۸۵، هدایت حرارتی ۰/۸۵۸، جرم حجمی ۰/۹۹ و ضریب انتشار حرارتی ۰/۸۸۳ است.

توسط مدل‌های رگرسیونییک متغیره نشان داده شده است (روابط ۱۴، ۱۵ و ۱۶). بهترین روابط جهت برازش تغییرات α عصاره مالت با دما برامقادیر ماده جامد محلول ۶۰، ۷۰ و ۸۰ روابط خطی با ضرایب تبیین، R^2 ، به ترتیب ۰/۷۸۳، ۰/۹۲۹ و ۰/۹۴۰ می‌باشند.

$$\alpha = 5.176 \times 10^{-8} + 0.049 \times 10^{-8} T \quad R^2 = 0.783, X_s = 60 \quad (14)$$

$$\alpha = 2.993 \times 10^{-8} + 0.050 \times 10^{-8} T \quad R^2 = 0.929, X_s = 70 \quad (15)$$

$$\alpha = 3.125 \times 10^{-8} + 0.036 \times 10^{-8} T \quad R^2 = 0.94, X_s = 80 \quad (16)$$

برای بدست آوردن مدل مناسب که تغییرات α عصاره مالت $R^2 = 0.883$

متغیرهای مستقل درصد ماده جامد و دما را نشان بدهد، از رگرسیون چندگانه استفاده گردید مدل بدست آمده یک مدل خطی دو متغیره

نتیجه گیری

نتایج مطالعه و تحقیق روی خواص حرارتی- فیزیکی عصاره مالت تحت تاثیر درصد ماده جامد و دما نشان می‌دهد که پارامترهای ذکر شده تاثیر معنی‌داری روی این خواص دارند. همچنین بین نتایج بدست آمده از این تحقیق و نتایج دیگران که بر روی محصولات دیگر انجام شده است مطابقت معنی‌داری وجود دارد. C_p ، k و α با افزایش درصد ماده جامد محلول کاهش یافته ولی ρ عصاره مالت

منابع

- Beitane I, Straumite E. 2014. Effect of hull-Less barley flakes and malt extract on yoghurt quality *Biosystems Science and Engineering* Vol:8 No:3.
- Cabral RAF, Orrego-Alzate CE, Gabas AL, Telis-Romero J. 2007. Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. *Food Science and Technology* (Campinas); 27(3):589-95.
- Coimbra JS, Gabas AL, Minim LA, Garcia Rojas EE, Telis V, Telis-Romero J. 2006. Density, heat capacity and thermal conductivity of liquid egg products. *Journal of Food Engineering*; 74(2):186-90.
- Dix L, Van Staden J. 1981. Auxin and gibberellin-like substances in coconut milk and malt extract. *Cell, Tissue and*

- Organ Culture*;1(1):239-46.
- Fontan Rdcí, Plant Santos LS, Bonomo RCF, Lemos AR, Ribeiro RP, Veloso C. 2009. Thermophysical properties of coconut water affected by temperature. *Journal of Food Process Engineering*;32(3):382-97.
- Gratao ACA, Junior VS, Polizelli MA, TELIS - ROMERO J.2004. Thermal properties of passion fruit juice as affected by temperature and water content. *Journal of Food Process Engineering*;27(6):413-31.
- Minim LA, Telis VR, Minim VP, Alcantara LA, Telis-Romero J.2009. Thermophysical properties of lemon juice as affected by temperature and water content. *Journal of Chemical & Engineering Data*;54(8):2269-72.
- Muramatsu Y, Tagawa A, Kasai T. 2005. Effective thermal conductivity of rice flour and whole and skim milk powder. *Journal of Food Science*;70(4):E279-E87.
- Muramatsu Y, Tagawa A, Kasai T.2005. Thermal conductivity of several liquid foods. *Food Science and Technology Research*;11(3):288-94.
- Pereira CG, Resende JV, Giarola TMO, Pinto SM, Abreu LR. 2013. Thermal conductivity of milk with different levels of moisture and fat: experimental measures and prediction models. *Semina: Ciências Agrárias*;34(3):1153-66.
- Rostapour OR, Joukar A, Gazor HR, Joukar L. 2011. Effect of concentration and temperature on the thermophysical properties of clarified pomegranate juice. *Journal of Nutrition Science & Food Technology*, Jfst No. 37, Vol 9.
- Standard No. 3897, Malt extract: Characteristics and analysis, 2001, Institute of Standard and Industrial Research of Iran (ISIRI)
- Tan I, Wee CC, Sopade PA, Halley PJ.2004. Estimating the specific heat capacity of starch - water - glycerol systems as a function of temperature and compositions. *starch - Stärke*;56(1):6-12.
- Tavman I, Tavman S. 1999. Measurement of thermal conductivity of dairy products. *Journal of Food Engineering*;41(2):109-14.
- Telis - Romero J, Gabas A, Polizelli M, Telis V.2000. Temperature and water content influence on thermophysical properties of coffee extract. *International Journal of Food Properties*;3(3):375-84.
- Yungelson L, Han Z.2007. flow behavior and functional properties of malt extract concentrates. *Journal of Texture Studies*. 20,479 - 497.



Brief report

Effects of temperature and soluble solid content on the thermo-physical properties of malt extract

F. Heidari Dalfard¹- M. Taghizadeh^{*2}-S. M. A. Razavi³

Received: 2014.08.26

Accepted: 2015.02.21

Introduction: Malt extract is one of the malt products obtained from concentrations of water soluble extract of grains such as barley and is a proper alternative to white sugar. It has a high diastasis properties and contains high amount of different vitamins specially the group of vitamin B as well as high amount of fermentable sugars. Therefore, malt extract has high nutritional value and is recommended by nutritionist for children and people who are having growth problems. In addition, it has a high potential to be used as sweetening agent in different food products such as cookies, biscuits, ice cream, chocolates etc. Knowledge on the thermo-physical properties of malt extract such as density, specific heat, thermal conductivity as well as thermal diffusivity is highly necessary for the designing of processing equipments, formulation of derived products, heating and chilling processes, and other unit operations such as pasteurization, concentration, dehydration as well as final safety and quality of formulated products. Since, no research work has been reported on thermo-physical properties of malt extract, the aim of this study was to determine different thermal properties of malt extract as well as investigation of the effect of temperature and soluble solid contents (SSC) of the studied properties.

Materials and methods: Barley malt was purchased from local market. 150 gr of malt was first grounded and added to 600ml water at 46°C and stored for 30 minutes. Then, its temperature was increased using a heater to reach 70°C. 300 ml water was then added to the mixture and stored at 70°C for 60 minutes. Then, the mixture was cooled at room temperature and filtered to gain a sweet solution. The obtained solution was concentrated to 60, 70 and 80 degree of Brix for further experiments.

Specific heat and thermal conductivity of samples were determined using a differential scanning calorimeter (DSC). DSC is a powerful tool which is able to spontaneously measure different thermal properties of samples such as specific heat, thermal conductivity, glass transition temperature, melting point, crystallization point etc. as a function of time and temperature at the desired temperature levels. Density of samples was also measured using a 50°C volumetric pycnometer. 25 grams of samples were first solved in hot water and then were placed in an isothermal bath to measure the density. Thermal diffusivity of samples was determined using the following equation:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

Results and discussion: The obtained results on specific heat measurement showed that decreasing SSC from 80 to 60% and increasing the temperature from 25 to 90°C would increase c_p from 2.074 to 3.063 kJ/kg°C in a linear manner. Following equations were obtained to predict specific heat as a function of temperature:

$$C_p = 2.756 + 0.004T \quad R^2 = 0.893, X_s = 60$$

$$C_p = 2.245 + 0.005T \quad R^2 = 0.868, X_s = 70$$

$$C_p = 2.066 + 0.001T \quad R^2 = 0.75, X_s = 80$$

Thermal conductivity measurements were also showed that decreasing SSC from 80 to 60% and increasing

1, 2 and 3. Former M.Sc student, Assistant Professor and Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad.

(*-Corresponding Author Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)

temperature from 25 to 90°C would increase the K values from 0.1196 to 0.347 W/m°C in a linear manner. Increasing temperature would increase molecular movements and therefore it elevates the heat transfer velocity and K increases. Following equations were obtained to predict thermal conductivity as a function of temperature:

$$K = 0.152 + 0.003T \quad R^2 = 0.761, X_s = 60$$

$$K = 0.097 + 0.002T \quad R^2 = 0.851, X_s = 70$$

$$K = 0.114 + 0.001T \quad R^2 = 0.706, X_s = 80$$

In order to develop a model to predict thermal conductivity of malt extract based on its soluble solid content and temperature, multiple regressions was used. The obtained model was a two-parameter linear model with R² of 0.858. The results showed that 1% increase in soluble solid content percentage would cause an increase of 6% in K, while 1% increase in temperature would cause only 49% increase in thermal conductivity value.

Density measurements were also showed that increasing density from 60 to 80% and temperature from 25 to 90°C would increase density of malt extract. Following equations were obtained to predict density as a function of temperature:

$$P = 1328.699 - 0.402T \quad R^2 = 0.999, X_s = 60$$

$$P = 1375.451 - 0.290T \quad R^2 = 0.999, X_s = 70$$

$$P = 1426.201 - 0.286T \quad R^2 = 0.998, X_s = 80$$

Thermal diffusivity of samples was also determined using indirect method for soluble solid content of 60 to 80 and in the temperature range of 25 to 90°C. It was found that thermal diffusivity would increase linearly by decreasing soluble solid content and increasing temperature. Following equations were obtained to predict thermal diffusivity as a function of temperature:

$$\alpha = 5.176 \times 10^{-8} + 0.049 \times 10^{-8}T \quad R^2 = 0.783, X_s = 60$$

$$\alpha = 2.993 \times 10^{-8} + 0.050 \times 10^{-8}T \quad R^2 = 0.929, X_s = 70$$

$$\alpha = 3.125 \times 10^{-8} + 0.036 \times 10^{-8}T \quad R^2 = 0.94, X_s = 80$$

The results of the present work were in agreement with the results reported by other researchers confirming that both SSC and temperature have significant effect on thermo-physical properties of malt extract.

Keywords: malt extract, temperature, soluble solid content, thermal properties, physical properties