بررسی اثر عوامل مختلف بر هدایت حرارتی و گرمای ویژه پوره کدوتنبل

زهره دیدار

استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۲

چکیده

مقدمه: تعیین خصوصیات حرارتی مواد غذایی به منظور طراحی فرآیندهای حرارتی صورت می‌گیرد. از جمله مهم‌ترین خواص حرارتی مواد غذایی، گرمای ویژه و هدایت حرارتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، گرمای ویژه و هدایت حرارتی پوره کدوتنبل در پنج سطح رطوبتی (۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درصد)، پنج سطح دمایی (۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد)، درصدهای وزنی مختلف نمک (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد) و درصدهای وزنی مختلف شکر (۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) بررسی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که درجه حرارت و درصد رطوبت سبب افزایش مقدار گرمای ویژه و هدایت حرارتی محصول می‌شود در حالیکه افزودن نمک و شکر سبب کاهش مقدار گرمای ویژه و هدایت حرارتی در پوره کدو تنبل می‌شود. برای پیش‌بینی تغییرات گرمای ویژه و هدایت حرارتی برحسب متغیرهای دما، درصد وزنی رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر از مدل‌های رگرسیونی استفاده شد. ضریب تعیین مدل‌های خطی در مورد گرمای ویژه پوره کدوتنبل و متغیرهای دما، درصد وزنی رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر به ترتیب برابر با ۰/۹۲۰، ۰/۹۴۱، ۰/۹۴۹ و ۰/۹۶۱ تعیین شد. ضریب تعیین مدل خطی در مورد هدایت حرارتی پوره کدوتنبل و متغیرهای دما، درصد رطوبت، درصد نمک، درصد شکر به ترتیب برابر با ۰/۸۵۱، ۰/۹۶۲، ۰/۹۵۶ و ۰/۹۷۹ می‌باشد.

نتیجه‌گیری: درجه حرارت و درصد رطوبت اثر مستقیم بر خواص حرارتی پوره کدو تنبل و میزان نمک و شکر اثر معکوس بر خصوصیات حرارتی پوره کدو تنبل دارند.

واژه‌های کلیدی: *پوره کدوتنبل، گرمای ویژه، هدایت حرارتی*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: z_didar57@yaho.com

مقدمه

تعیین خواص حرارتی مواد غذایی در بررسی و کنترل همچنین طراحی فرآیندهای حرارتی نظیر استرلیزاسیون، خشک کردن و ... بسیار حائز اهمیت است. خواص حرارتی مواد غذایی تحت تأثیر ویژگیهای مختلف مواد نظیر میزان رطوبت، درصد ترکیبات و ... قرار می‌گیرد (Oniţa and Ivan, 2005). شرایط فرآوری‌های حرارتی مانند درجه حرارت نیز بر این خواص مؤثر است (Kian Mehr *et al*., 2012; Roosta Poor *et al*., 2005). استفاده از مدل‌های ریاضی به منظور تعیین میزان وابستگی خواص حرارتی مواد غذایی با متغیرهایی نظیر درصد رطوبت توسط برخی از محققین به کار برده شده است (Razavi and Taghizadeh, 2007; Shrivastava and Datta, 1999). نتایج حاصل از این گونه بررسی‌ها جایگزین مناسبی برای مقادیر آزمایشی است و ابزار مفید و روش آسانی برای پیش بینی خواص مواد غذایی در شرایط مختلف را فراهم می‌کند. خواص حرارتی مواد غذایی مختلف توسط محققین بررسی شده است از جمله آب لیمو ترش (Roosta Poor *et al*., 2005)، پوره سیب زمینی شیرین (Fasina, *et al*., 2003)، سویا (Azadbakht *et al*., 2013)، پوره پاپایا (Kurozawa *et al*., 2005)، انار (Kian Mehr *et al*., 2012). کدو تنبل محصولی است که سطح تولید بالای جهانی دارد و دارای انواع ترکیبات مغذی نظیر کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی اکسیدانی و اثرات ضد سرطانی است. این محصول دارای ماندگاری طولانی، کالری کم و میزان فیبر بالایی است (Santos *et al*., 2017). بررسی-هایی در خصوص بررسی خواص حرارتی همچون گرمای ویژه، هدایت حرارتی و ضریب دیفوزیون حرارتی دانه کدوتنبل انجام شده است (Kocabiyik *et al*., 2009) ولی بررسی در خصوص خواص حرارتی پالپ کدو تنبل انجام نشده است. هدف این مقاله تعیین گرمای ویژه و هدایت حرارتی پوره کدوتنبل در فرمولاسیون‌های مختلف (درصد رطوبت، درصد نمک و درصد شکر) و نیز شرایط مختلف فرآوری از نظر درجه حرارت و ارائه مدلهای تجربی، جهت بررسی همبستگی بین ضرایب نامبرده با پارامترهای دما و درصد رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر درصد رطوبت، دما، درصد وزنی شکر و درصد وزنی نمک بر خواص حرارتی پوره کدو تنبل، این خواص در پنج سطح درصد رطوبت (۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درصد)، و در پنج دمای (۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد)، درصدهای وزنی نمک (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد) و درصدهای وزنی مختلف شکر (۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) انجام شد. بدین منظور ابتدا کدو تنبل از بازار محلی تهیه گردید و توسط مخلوط کن (BOSCH مدل MMB42G0B) به مدت ۱۰ دقیقه کاملاً همزده شد. بمنظور دستیابی به درصدهای رطوبت مورد نظر در آزمون، نمونه‌های پوره کدو تنبل در داخل خشک کن در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا نمونه تا اندازه دلخواه خشک گردد. جهت تهیه پوره کدو تنبل با درصدهای مختلف نمک، سطح‌های مختلف از نمک خوراکی (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد) به پوره کدو تنبل اضافه گردید. درصدهای شکر اضافه شده به فرمولاسیون پوره کدو تنبل شامل (۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) بود. متغیرهای مختلف مورد بررسی در تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای تعیین رابطه بین گرمای ویژه و هدایت حرارتی با متغیرهای مورد آزمون، از روش مدل رگرسیونی استفاده شد. جهت برازش کردن منحنی بر داده‌های آزمایش، خطای استاندارد رگرسیون (RSE) و ضریب تعیین (R^2) بررسی شده و مدلی انتخاب شد که بیشترین میزان ضریب تعیین R^2 و کمترین خطای استاندارد رگرسیون RSE را داشته باشد (Kian Mehr *et al*., 2012).

جدول ۱- متغیرهای مختلف مورد بررسی پوره کدو تنبل

تیمار	رطوبت (٪)	دما (°C)	نمک خوراکی (٪)	شکر (٪)
پوره کدو تنبل	۲۵	۲۵	۰	۰
	۳۰	۳۵	۰/۵	۱۰
	۳۵	۴۵	۱	۱۵
	۴۰	۵۰	۱/۵	۲۰
	۴۵	۵۵	۲	۲۵

- تعیین درصد رطوبت

محتوای رطوبت پوره کدوتنبل توسط آون تعیین شد.

حدود ۵ تا ۸ گرم از نمونه درون آون با دمای۲± ۱۰۲درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس میزان رطوبت تبخیر شده محاسبه شده و محتوای رطوبتی بر حسب پایه تر به دست آمد (Kian Mehr *et al*., 2012). برای هر نمونه سه تکرار انجام شد.

- تعیین گرمای ویژه

یکی از مناسب‌ترین روش‌های اندازه‌گیری گرمای ویژه، روش مخلوط است که در این پژوهش نیز استفاده شده است (Kian Mehr *et al*., 2012).

- تعیین ظرفیت حرارتی فلاسک

جهت تعیین ظرفیت حرارتی فلاسک، میزان تغییر دمای آب مقطر گرم موجود در فلاسک پس از افزودن مقدار مشخصی آب مقطر سرد به آن، با فرض آدیاباتیک بودن سامانه تعیین می‌شود. ظرفیت حرارتی فلاسک طبق رابطه ذیل تعیین می‌شود (Razavi and Taghizadeh, 2007).

$$H_f = \frac{M_{cw}.C_w(T_e - T_{cw}) - M_{hw}.C_w(T_{hw} - T_e)}{(T_{hw} - T_e)}$$

H_f: ظرفیت حرارتی فلاسک (Cal/ ^oC)؛ M_{cw}: جرم آب سرد (g)؛ C_w: گرمای ویژه آب (Cal/g. ^oC)؛ T_e: دمای تعادل (^oC)؛ T_{cw}: دمای آب سرد داخل فلاسک(^oC)؛ M_{hw}: جرم آب گرم (g)؛ T_{hw}: دمای آب گرم داخل فلاسک (^oC).

- تعیین ظرفیت حرارتی کپسول

ظرفیت حرارتی کپسول آلومینیومی (۵۵ میلی‌متر ارتفاع،۲۰ میلی‌متر قطر داخلی و ۲ میلی‌متر ضخامت دیواره) به این صورت بدست آمد که تغییر دمای آب داخل فلاسک هنگامی که کپسول خالی با دمای بالاتر داخل فلاسک قرار می‌گیرد را اندازه گیری کرده و از طریق رابطه ذیل تعیین می‌شود:

$$H_c = \frac{(H_f + M_{cw}.C_w)(T_e - T_{cw})}{T_c - T_e}$$

H_c: ظرفیت حرارتی کپسول (Cal/ ^oC)؛ H_f: ظرفیت حرارتی فلاسک (Cal/ ^oC)؛ M_{cw}: جرم آب سرد (g)؛ C_w: گرمای ویژه آب (Cal/g. ^oC)؛ T_e: دمای تعادل (^oC)؛ T_{cw}:دمای آب سرد داخل فلاسک (^oC)؛ T_c: دمای کپسول (^oC).

- تعیین گرمای ویژه فرمولاسیون پوره کدوتنبل

کپسول حاوی نمونه‌ها (فرمولاسیون‌های مختلف پوره کدوتنبل) هر کدام را به طور مجزا داخل فلاسک حاوی آب مقطر گذاشته و صبر کرده (بر حسب دمای آزمایش، زمان انتظار در محدوده ۵ تا ۴۵ دقیقه متغیر بود) تا با ثابت شدن دما فرآیند تبادل دما به تعادل برسد. گرمای ویژه نمونه با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد.

$$C_P = \frac{(H_f + M_{cw}.C_w)(T_e - T_{cw}) - H_c(T_m - T_e)}{M_m(T_m - T_e)} \times 4.1868$$

C_p: گرمای ویژه جسم (KJ/Kg^oC)؛ H_f: ظرفیت حرارتی فلاسک (Cal/ ^oC)؛ M_{cw}: جرم آب سرد(g)؛ C_w: گرمای ویژه آب (Cal/g. ^oC)؛ T_e: دمای تعادل (^oC)؛ T_{cw}:دمای آب سرد داخل فلاسک(^oC)؛ H_c: ظرفیت حرارتی کپسول (Cal/ ^oC)؛ T_m : دمای نمونه (^oC)؛ M_m: جرم نمونه (g).

- تعیین هدایت حرارتی

در این پژوهش برای تعیین هدایت حرارتی نمونه‌های پوره کدوتنبل از روش انتقال حرارت گذرا[1] استفاده شد (Kian Mehr *et al*., 2012).

- تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور بررسی ارتباط بین میزان گرمای ویژه و هدایت حرارتی پوره کدو تنبل با متغیرهای مختلف (دما، رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر) از مدل رگرسیون خطی استفاده گردید. در تحلیل رگرسیون، گرمای ویژه و هدایت حرارتی به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مختلف (دما، درصد رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. معادله رگرسیونی به صورت ذیل در می‌آید:

$$Y= B_0+B_1X$$

که X ، پارامترهای متغیر(دما، رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر) و Y مقادیر گرمای ویژه یا

[1] Transient- State Heat Transfer

هدایت حرارتی است. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار صورت گرفت.

یافته‌ها

- گرمای ویژه

به منظور سنجش اثر فاکتورهای مختلف (دما، درصد رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر) بر میزان گرمای ویژه پوره کدوتنبل از مدل رگرسیونی ساده استفاده گردیده و از روش کمترین مربعات خطا که یکی از روش‌های متداول در برآورد پارامترهای مدل می‌باشد، جهت برآورد ضرایب رگرسیون استفاده می‌شود. برازش مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل دما، رطوبت،درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر و متغیر وابسته (گرمای ویژه) توسط نرم افزار آماری انجام و خلاصه‌ای از نتایج در جدول ۲ گزارش شده است.

اثر فاکتورهای مختلف شامل درجه حرارت، درصد رطوبت، درصد نمک و درصد شکر مطابق معادلات رگرسیونی جدول ۳ می‌باشد. نتایج حاصل از معادلات رگرسیونی بیانگر اثرات مثبت دما و رطوبت بر میزان گرمای ویژه کدو تنبل دارد در حالی که افزایش درصد نمک و درصد شکر اثر معکوسی بر میزان گرمای ویژه کدو تنبل دارد.

جدول ۲ - خلاصه نتایج مدل‌های رگرسیونی بین متغیر وابسته C_p پوره کدو تنبل وهر یک از متغیرهای مستقل دما، درصدرطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر

متغیر وابسته		ضرایب مدل	ضریب استاندارد (میزان تأثیر)	مقدار آماره *t*	*P-value*	مقدار آماره *F*	*P-value*	ضریب تعیین (R^2)
C_p پوره کدوتنبل	ثابت رگرسیون	۲/۳۴۷	---	۳۴/۵۰۰	۰/۰۰۰	۱۴۸/۸۳۶	۰/۰۰۰	۰/۹۲۰
	دما	۰/۰۱۹	۰/۹۵۹	۱۲/۲۰۰	۰/۰۰۰			
	ثابت رگرسیون	۲/۳۱۶	---	۴۵/۸۸۷	۰/۰۰۰	۲۰۸/۲۹۴	۰/۰۰۰	۰/۹۴۱
	رطوبت	۰/۰۲۰	۰/۹۷۰	۱۴/۴۳۲	۰/۰۰۰			
	ثابت رگرسیون	۲/۸۳۷	---	۲۱۴/۱۲۲	۰/۰۰۰	۲۴۱/۱۰۷	۰/۰۰۰	۰/۹۴۹
	درصد نمک	-۰/۱۶۸	-۰/۹۷۴	-۱۵/۵۲۸	۰/۰۰۰			
	ثابت رگرسیون	۲/۸۳۵	---	۱۶۱/۸۳۹	۰/۰۰۰	۳۲۳/۹۲۲	۰/۰۰۰	۰/۹۶۱
	درصد شکر	-۱/۹۱۹	-۰/۹۸۱	-۱۷/۹۸۸	۰/۰۰۰			

جدول ۳- معادلات رگرسیون ارتباط خصوصیات مختلف پوره کدوتنبل و میزان گرمای ویژه

ردیف	متغیر	معادله رگرسیون	خطای استاندارد رگرسیون (RSE)
۱	دما (ºC)	C_p= ۲/۳۴۷ +۰/۰۱۹ T	۰/۰۵۰۶۰
۲	درصد رطوبت	C_p=۲/۳۱۶ + ۰/۰۲ M	۰/۰۶۸۹۷
۳	درصد وزنی نمک	C_p=۲/۸۳۷ – ۰/۱۶۸ W_1	۰/۰۲۴۷۲
۴	درصد وزنی شکر	C_p=۲/۸۳۵ –۱/۹۱۹ W_2	۰/۰۶۵۸۹

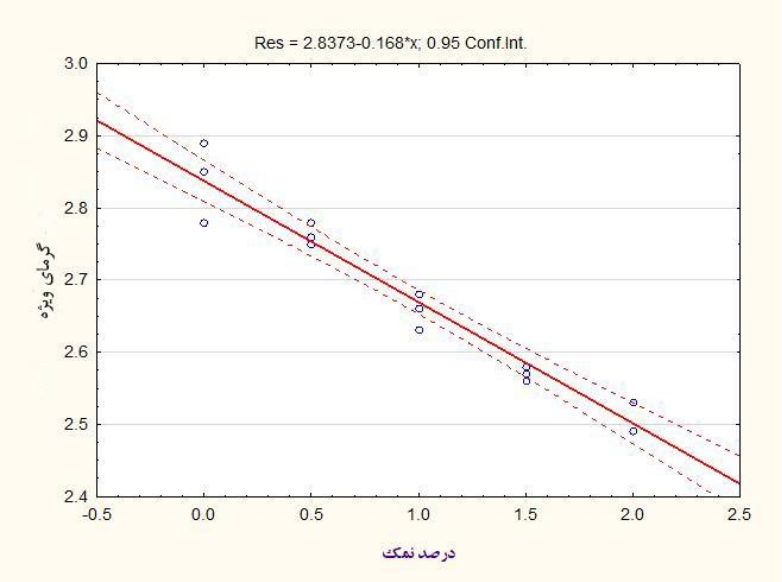
C_p: گرمای ویژه ($kj.kg^{-1}.ºC^{-1}$)، T: درجه حرارت(ºC)، M: درصد رطوبت، W_1: درصد وزنی نمک، W_2: درصد وزنی شکر

شکل ۱ نشان دهنده اثر عامل درصد نمک بر میزان گرمای ویژه کدو تنبل است. افزایش درصد نمک سبب کاهش میزان گرمای ویژه کدو تنبل می‌گردد ($p<0.01$).

تغییرات میزان گرمای ویژه در درصدهای وزنی مختلف شکر در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش درصد وزنی شکر، گرمای ویژه در پوره کدو تنبل کاهش پیدا می‌کند ($p<0.01$).

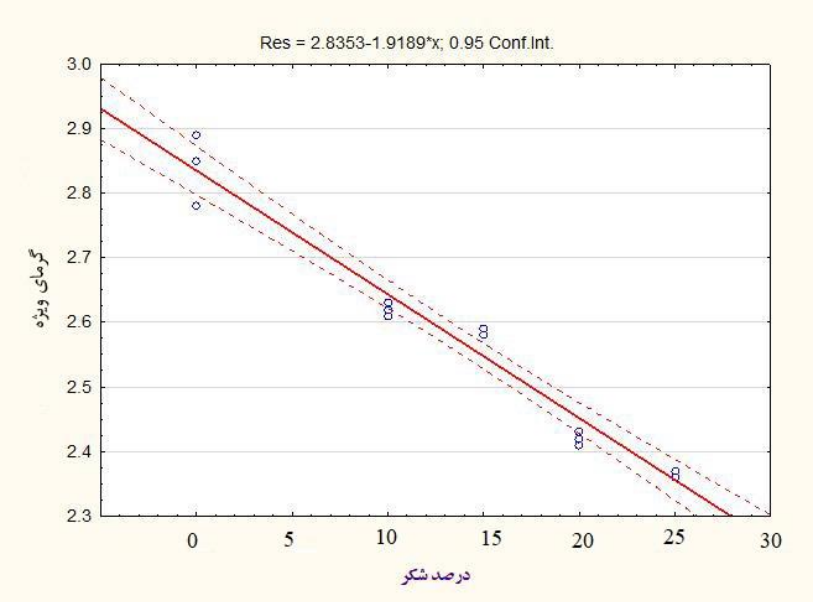
بررسی اثر فاکتورهای مختلف (دما، رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر) بر میزان هدایت حرارتی پوره کدوتنبل با استفاده از مدل رگرسیونی ساده انجام شد. روش کمترین مربعات خطا، جهت برآورد ضرایب رگرسیون استفاده می‌شود. برازش مدل رگرسیونی بین متغیرهای مستقل دما، رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر و متغیر وابسته (هدایت حرارتی) در جدول ۴ نشان داده شده است.

- **هدایت حرارتی**



شکل ۱- گرمای ویژه پوره کدوتنبل بر حسب درصد وزنی نمک

(خط مرکزی نشانگر خط معادله اصلی رگرسیون و خط چین نشانگر ± انحراف معیار است)



شکل ۲- گرمای ویژه پوره کدوتنبل بر حسب درصد وزنی شکر

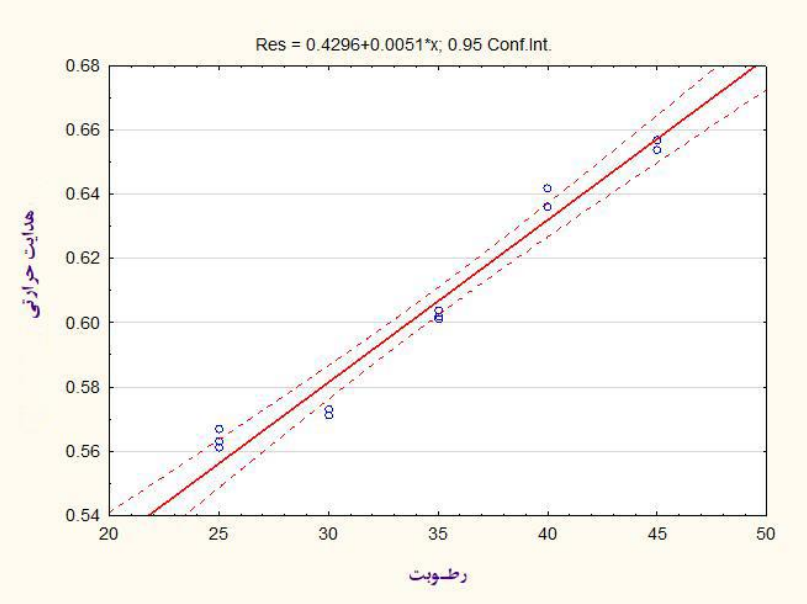
(خط مرکزی نشانگر خط معادله اصلی رگرسیون و خط چین نشانگر ± انحراف معیار است)

درصد رطوبت پوره کدو تنبل بر میزان هدایت حرارتی پوره تأثیر گذار است به طوری که با افزایش درصد رطوبت، میزان هدایت حرارتی افزایش پیدا نمود ($p<0.01$) (شکل۳).

درصد شکر در میزان هدایت حرارتی پوره کدو تنبل مؤثر است و افزایش درصد شکر سبب کاهش میزان هدایت حرارتی پوره کدو تنبل می‌گردد (شکل ۴).

جدول ٤- خلاصه نتایج مدل‌های رگرسیونی بین متغیر وابسته K پوره کدو تنبل و هر یک از متغیرهای مستقل دما، رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر

متغیر وابسته		ضرایب مدل	ضریب استاندارد (میزان تأثیر)	مقدار آماره t	P-value	مقدار آماره F	P-value	ضریب تعیین (R^2)
K کدو تنبل	ثابت رگرسیون	۰/۴۳۸	---	۱۹/۸۹۵	۰/۰۰۰	۷۴/۱۸۹	۰/۰۰۰	**۰/۸۵۱**
	دما	۰/۰۰۴	۰/۹۲۲	۸/۶۱۳	۰/۰۰۰			
	ثابت رگرسیون	۰/۴۳۰	---	۴۲/۹۲۰	۰/۰۰۰	۳۲۵/۷۹۵	۰/۰۰۰	**۰/۹۶۲**
	درصد رطوبت	۰/۰۰۵	۰/۹۸۱	۱۸/۰۵۰	۰/۰۰۰			
	ثابت رگرسیون	۰/۵۶۳	---	۴۲۷/۵۲۸	۰/۰۰۰	۲۸۴/۲۱۷	۰/۰۰۰	**۰/۹۵۶**
	درصد وزنی نمک	-۰/۱۸	-۰/۹۷۸	-۱۶/۸۵۹	۰/۰۰۰			
	ثابت رگرسیون	۰/۵۶۴	---	۴۳۰/۸۸۹	۰/۰۰۰	۶۰۸/۲۷۳	۰/۰۰۰	**۰/۹۷۹**
	درصد وزنی شکر	-۰/۱۹۶	-۰/۹۸۹	-۲۴/۶۶۳	۰/۰۰۰			



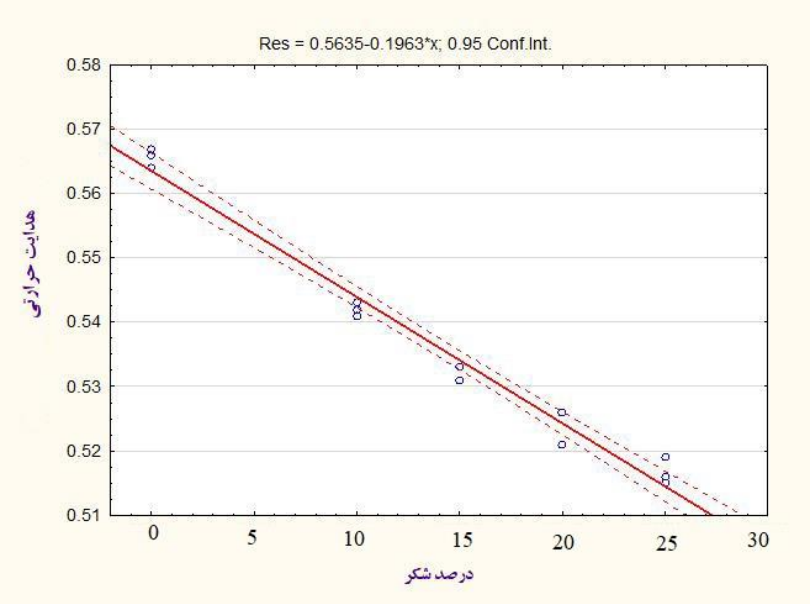
شکل ۳- هدایت حرارتی پوره کدو تنبل بر حسب درصد رطوبت

(خط مرکزی نشانگر خط معادله اصلی رگرسیون و خط چین نشانگر ± انحراف معیار است)

جدول ۵ معادلات رگرسیون و ارتباط بین متغیرهای مورد بررسی (درجه حرارت، درصد رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر) با مقدار هدایت حرارتی پوره کدوتنبل را نشان می‌دهد. همانطور که از معادلات رگرسیونی مشخص است دو فاکتور درجه حرارت و درصد رطوبت اثر مثبتی بر میزان هدایت حرارتی پوره کدو تنبل دارد و افزایش دما و درصد رطوبت، سبب افزایش میزان هدایت حرارتی می‌گردد و بالعکس در مورد افزایش درصد وزنی نمک یا درصد وزنی شکر، میزان هدایت حرارتی کاهش پیدا می‌کند (جدول ۴).

بحث

همان‌طور که نتایج گزارش شده در جدول ۲ نشان می‌دهد، مقدار آماره‌ی F و P-Value در مورد اثر متغیر دما بر گرمای ویژه پوره کدو تنبل، بترتیب ۸۳۶/ ۱۴۸ و ۰/۰۰۰ تعیین شد. مقادیر مذکور در مورد درصد رطوبت پوره کدوتنبل به ترتیب برابر با ۲۰۸/۲۹۴ و ۰/۰۰۰ است. این مقادیر بیانگر وجود یک رابطه خطی بین متغیرهای مستقل(دما و درصد رطوبت) با متغیر وابسته (گرمای ویژه) می‌باشد. همچنین مقادیر آزمون t استودنت و مقدار احتمال معنی‌داری به دست آمده (P-Value) برای هریک از ضرایب رگرسیون، مشخص می‌کند که ثابت رگرسیون (عرض از مبداء) و متغیرهای دما و درصد رطوبت در مدل معنی‌دار می‌باشند. مقدار ضریب تعیین رگرسیون (R^2) در مورد متغیرهای دما و رطوبت به ترتیب ۰/۹۲۰ و ۰/۹۴۱ است.



شکل ٤- هدایت حرارتی پوره کدوتنبل بر حسب درصد شکر

(خط مرکزی نشانگر خط معادله اصلی رگرسیون و خط چین نشانگر ± انحراف معیار است)

جدول ۵- معادلات رگرسیون ارتباط خصوصیات مختلف پوره کدوتنبل و میزان هدایت حرارتی

ردیف	متغیر	معادله رگرسیون	خطای استاندارد رگرسیون(RSE)
۱	درجه حرارت (ºC)	K =۰/۴۳۸ + ۰/۰۰۴ T	۰/۰۱۴۴۵
۲	درصد رطوبت	K = ۰/۴۳۰ +۰/۰۰۵ M	۰/۰۰۷۶۱
۳	درصد وزنی نمک	K =۰/۵۶۳ – ۰/۱۸ W_1	۰/۰۰۲۹۴۶
۴	درصد وزنی شکر	K =۰/۵۶۴ –۰/۱۹۶ W_2	۰/۰۰۴۷۷۶

K: هدایت حرارتی پوره کدوتنبل ($W.m^{-1}.C^{-1}$)، T: درجه حرارت (ºC)، M: درصد رطوبت، W_1: درصد وزنی نمک، W_2: درصد وزنی شکر

بررسی‌ها نشان می‌دهد افزایش درجه حرارت و نیز افزایش درصد رطوبت سبب افزایش میزان گرمای ویژه در پوره کدوتنبل می‌گردد. با افزایش دما از ۲۵ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد میزان گرمای ویژه در پوره کدوتنبل از ۲/۸۹ به ۳/۴۲ $kj.kg^{-1}.^oC^{-1}$ افزایش پیدا می‌کند. Saenmuang و همکاران (۲۰۱۷) نیز با بررسی اثر عوامل مختلف بر خصوصیات حرارتی قارچ بیان داشته‌اند، افزایش درجه حرارت منجر به افزایش میزان گرمای ویژه در این محصول شده است به‌طوری که در دمای ۱۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد، میزان گرمای ویژه در این محصول به ترتیب ۱/۴۸ $kj.kg^{-1}.^oC^{-1}$ و ۲/۸۵ بوده است. افزایش رطوبت نیز از مقدار ۲۵٪ به ۴۵٪ سبب افزایش میزان گرمای ویژه از ۲/۸۹ به ۳/۲۱ $kj.kg^{-1}.^oC^{-1}$ می‌گردد. دلیل این پدیده، این است که آب دارای گرمای ویژه بالایی است (Saenmuang *et al*., 2017) در نتیجه افزایش میزان آب ماده غذایی، سبب افزایش گرمای ویژه در ماده غذایی می‌گردد. اثرات افزایش دما و رطوبت حاصله در این تحقیقات با نتایج به دست آمده در پژوهش‌های مشابه مطابقت دارد. Azadbakht و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی میزان مقاومت حرارتی غلاف سویا گزارش نمود که میزان گرمای ویژه در این محصول تحت تأثیر درصد رطوبت و میزان درجه حرارت است. افزایش درجه حرارت سبب افزایش میزان گرمای ویژه و نیز هدایت حرارتی می‌گردد. تحقیق Shrivastava و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد که خصوصیات گرمایی قارچ تحت تأثیر حرارت و رطوبت هستند و مطابق این گزارش اثر رطوبت بیشتر از حرارت است. Kurozawa وهمکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که میزان گرمای ویژه و هدایت حرارتی پوره پاپایا تحت تأثیر دما است و افزایش دما سبب افزایش میزان هدایت حرارتی در این فرآورده می‌شود. مطابق گزارش Fasina و همکاران (۲۰۰۳) گرمای ویژه پوره زرشک با افزایش دما با روند خطی، افزایش پیدا می‌کند. Aghbashlo و همکاران (۲۰۰۸) با برررسی میزان گرمای ویژه زرشک تازه با درصدهای رطوبت بین ۱۹/۳ تا ۷۴/۳٪ و در دماهای ۵۰–۷۰° C بیان داشت که کمترین مقدار گرمای ویژه این محصول در دمای ۵۰°C و رطوبت ۱۹/۳٪، برابر با ۱/۹۶۵۳ $kj.kg^{-1}.^oC^{-1}$ و بیشترین مقدار گرمای ویژه این محصول در دمای C° ۷۰ و رطوبت ۷۴/۳٪ می‌باشد (۳/۲۸۱۱ $kj.kg^{-1}.^oC^{-1}$).

مطابق تحقیق حاضر، افزودن نمک سبب کاهش میزان گرمای ویژه در پوره کدوتنبل شده است. گرمای ویژه در مورد افزودن نمک از ۲/۸۹ به $kj.kg^{-1}.^oC^{-1}$ ۲/۵۳ کاهش پیدا کرده است (شکل۱). کاهش در میزان گرمای ویژه پوره با افزایش درصد نمک را می‌توان به کم شدن میزان آب موجود در ماده غذایی در اثر بالا رفتن درصد نمک اضافه شده توجیه نمود و چون آب دارای گرمای ویژه بالاتری نسبت به ترکیبات جامد ماده غذایی است در نتیجه کاهش میزان آب منجر به کم شدن گرمای ویژه گردیده است. Carvalho و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی ویژگی‌های حرارتی محلول‌های نمکی با غلظت‌های مختلف گزارش دادند که افزایش غلظت نمک سبب کاهش میزان گرمای ویژه محلول‌های نمکی می‌شود به طوری که در غلظت ۰/۰۴ وزنی/ وزنی از کلرید سدیم مقدار گرمای ویژه برابر با ۳/۹۹ و با افزایش غلظت محلول نمکی تا ۰/۲۴درصد، گرمای ویژه کاهش پیدا کرده و به ۳/۳۲۲ cal/g^oC رسیده است.

افزودن شکر نیز سبب کاهش میزان گرمای ویژه در پوره کدوتنبل شده است به طوری که از میزان ۲/۸۹ به ۲/۳۷ $kj.kg^{-1}.^oC^{-1}$ کاهش پیدا کرده است (شکل ۲).

جدول ۲ نشان دهنده وجود رابطه خطی بین درصد وزنی نمک و یا شکر اضافه شده به پوره کدوتنبل و مقدار گرمای ویژه این فرآورده دارد. در خصوص فرمولاسیون حاوی درصدهای مختلف نمک، مقدار آماره F و P-Value حاصله به ترتیب برابر با ۲۴۱/۱۰۷ و ۰/۰۰۰ در مورد فرمولاسیون‌های پوره کدوتنبل حاوی درصدهای وزنی مختلف شکر، مقدار آماره F و P-Value به ترتیب برابر با ۳۲۳/۹۲۲ و ۰/۰۰۰ بود. همچنین مقادیر آزمون t استودنت و مقدار احتمال معنی‌داری به دست آمده (P-Value) برای هریک از ضرایب رگرسیون، مشخص می‌کند که ثابت رگرسیون (عرض از مبداء) و متغیرهای درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر در مدل معنی‌دار می‌باشند. مقدار ضریب تعیین رگرسیون (R^2) در مورد متغیرهای درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر به ترتیب ۰/۹۴۹ و ۰/۹۶۱ است. جدول ۳ معادلات رگرسیون و ارتباط بین متغیرهای مورد بررسی با مقدار گرمای ویژه پوره کدوتنبل را نشان می‌دهد.

بررسی‌های مربوط به اثر متغیرهای مختلف بر میزان هدایت حرارتی پوره کدو تنبل نشان داد که افزایش دما سبب افزایش مقدار هدایت حرارتی در این محصول شده است به طوری که با افزایش دما از ۲۵ به $^{\circ}C$ ۵۵، هدایت حرارتی نیز از مقدار ۰/۵۶۷ به ۰/۶۹۷ W/m ºC رسیده است. میزان هدایت حرارتی بستگی به فعالیت اتم‌ها در ماده دارد که فعالیت اتم‌ها، تابع میزان دما است. با افزایش دما، میزان فعالیت اتم‌های ماده افزایش پیدا نموده در نتیجه توانایی بیشتری در انتقال حرارت پیدا می‌کنند که منجر به افزایش هدایت حرارتی در ماده می‌گردد (Mahapatra *et al.*, 2011). Villa-Vélez و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند افزایش دما سبب افزایش هدایت حرارتی در پوره اوائیا[1] می‌شود (از مقدار ۰/۴۹۹ به ۰/۵۱۵ W/m ºC) افزایش پیدا می‌کند. مدل رگرسیونی به دست آمده ضریب تعیین مدل (R^2) برازش شده درجه حرارت برابر با ۰/۸۵۱ است.

افزایش درصد رطوبت نیز اثر مشابهی بر مقدار هدایت حرارتی پوره کدو تنبل دارد و افزایش درصد رطوبت از مقدار ۲۵ به ۴۵٪ منجر به افزایش هدایت حرارتی از مقدار ۰/۵۶۷ به ۰/۶۵۷ W/m ºC شده است (شکل ۳). مدل رگرسیونی به دست آمده ضریب تعیین مدل (R^2) برازش شده درصد رطوبت برابر با ۰/۹۶۲ است. در سایر گزارشات نیز افزایش میزان هدایت حرارتی با افزایش درصد رطوبت ارائه شده‌اند از جمله Mahapatra و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر درصد رطوبت و درجه حرارت بر میزان هدایت حرارتی و ضریب دیفوزیون حرارتی آرد برنج گزارش نمودند هر قدر درصد رطوبت بیشتر باشد، هدایت حرارتی بیشتر خواهد بود. دلیل افزایش میزان هدایت حرارتی با افزایش درصد رطوبت به دلیل افزایش غلظت یون‌ها و ترکیبات دوقطبی با افزایش درصد رطوبت ماده غذایی است که سبب تسهیل انتقال حرارت در ماده غذایی در نتیجه افزایش هدایت حرارتی ماده غذایی می‌شود (Yu *et al.*, 2015).

میزان هدایت حرارتی پوره کدوتنبل تحت تأثیر درصد نمک اضافه شده به فرمولاسیون قرار می‌گیرد. هر قدر درصد نمک اضافه شده بیشتر باشد، میزان هدایت حرارتی در پوره کدوتنبل کاهش بیشتری نشان می‌دهد به طوری که هدایت حرارتی پوره کدو تنبل بدون افزودن نمک و با افزودن دو درصد نمک به ترتیب ۰/۵۶۷ و ۰/۵۲۹ W/m ºC است. مشابه درصد نمک، درصد شکر نیز در فرمولاسیون پوره کدوتنبل بر میزان هدایت حرارتی این فرآورده مؤثر است. ارتباط معکوسی بین درصد شکر اضافه شده با مقدار هدایت حرارتی در این محصول وجود دارد به طوری که در ۰٪ شکر، میزان هدایت حرارتی ۰/۵۶۷ W/m ºC و با افزایش درصد شکر اضافه شده تا ۲۵٪، میزان هدایت حرارتی به ۰/۵۱۹ W/m ºC می‌رسد (شکل۴). با حل نمودن شکر و نمک، درصد مواد محلول در پوره کدوتنبل افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه سبب کاهش مقدار هدایت حرارتی فرآورده می‌شود. خصوصیات حرارتی محصولات غذایی عمدتاً نتیجه مقدار آب موجود در آنها و ساختار این ترکیبات است (Tansakul and Lumyong, 2007). Carvalho و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی خواص حرارتی محلول‌های آبی حاوی کلرید سدیم با غلظت‌های مختلف گزارش نمودند افزایش درصد نمک سبب کاهش میزان هدایت حرارتی می‌گردد به طوری که میزان هدایت حرارتی در غلظت ۰/۰۴ و ۰/۲ درصد نمک به ترتیب ۰/۵۸۳ و ۰/۵۱۳ W/m ºC تعیین گردیده است. Villa-Vélez و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند افزودن مالتودکسترین (۰٪–۲۸) به پوره اوائیا سبب کاهش میزان هدایت حرارتی می‌گردد به طوری که میزان هدایت حرارتی از ۰/۴۹۹ به ۰/۴۰۸ W/m ºC در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. جدول ۵ ارتباط رگرسیون بین متغیرهای آزمون (درجه حرارت، رطوبت، درصد نمک و درصد شکر) و میزان هدایت حرارتی پوره کدوتنبل را نشان می‌دهد. همانطور در جدول ۵ می‌توان مشاهده نمود فاکتورهای درجه حرارت و رطوبت اثر مستقیمی با میزان هدایت حرارتی پوره کدوتنبل دارند درحالی‌که درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر سبب کاهش میزان هدایت حرارتی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

متغیرهای دمای فرآیند، درصد رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر بر خواص حرارتی پوره کدوتنبل شامل گرمای ویژه و هدایت حرارتی تأثیر معنی‌داری دارند بطوری که افزایش دما و درصد رطوبت، سبب افزایش

[1] Uvaia

میزان گرمای ویژه و هدایت حرارتی این محصول می‌شوند در حالی‌که با افزایش درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر، مقدار گرمای ویژه و هدایت حرارتی فرآورده کاهش می‌یابد. رابطه رگرسیون بین خصوصیات حرارتی پوره کدوتنبل و متغیرهای مورد بررسی شامل دما، درصد رطوبت، درصد وزنی نمک و درصد وزنی شکر ارائه گردیده است. ضریب تعیین مدل‌های خطی در مورد گرمای ویژه پوره کدوتنبل و متغیرهای دما، درصد رطوبت، درصد نمک، درصد شکر به ترتیب برابر با ۰/۹۲۰، ۰/۹۴۱، ۰/۹۴۹ و ۰/۹۶۱ تعیین شد. ضریب تعیین مدل خطی در مورد هدایت حرارتی پوره کدوتنبل و متغیرهای دما، درصد رطوبت، درصد نمک، درصد شکر به ترتیب برابر با ۰/۸۵۱، ۰/۹۶۲، ۰/۹۵۶ و ۰/۹۷۹ می‌باشد.

منابع

Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H. & Hassan-Beygi, S. R. (2008). Specific Heat and Thermal Conductivity of Berberis Fruit (Berberis vulgaris). American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 3 (1), 330-336.

Azadbakht, M., Khoshtaghaza, M.H., Ghobadian, B. & Minaei, S. (2013). Thermal Properties of Soybean Pod as a Function of Moisture Content and Temperature. American Journal of Food Science and Technology, 1(2), 9-13.

Carvalho, G. R., Chenlo, F., Moreira, R. & Telis-Romero, J. (2015). Physicothermal properties of aqueous sodium chloride solutions. Journal of Food Process Engineering, 38, 234–242.

Fasina, O. O., Farkas, B. E. & Fleming, H. P. (2003). Thermal and Dielectric Properties of Sweet potato Puree. International Journal of Food Properties, 6(3), 461–472.

Kian Mehr, M. H., Hasan Beygi, R. & Hashemi Fard Dehkordi, H. (2012). Determination of specific heat and thermal conductivity of pomegranate. Iranian Journal of Biosystem Engineering, 42(2), 175-181 [In Persian].

Kocabiyik, H., Kayisoglu, B. & Tezer, D. (2009). Effect of Moisture Content on Thermal Properties of Pumpkin Seed. International Journal of Food Properties, 12(2), 277-285.

Kurozawa, L. E., El-Aouar, A. A., Simões, M. R., Azoubel, P. M. & Murr, F. E. X. (2005). Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of papaya (carica papaya l.) as a function of temperature. 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering.

Mahapatra, A. K., Lan, Y. & Harris, D. L. (2011). Influence of Moisture Content and Temperature on Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Rice Flours. International Journal of Food Properties, 14, 675–683.

Onița, N. & Ivan, E. (2005). Estimation of the specific heat and thermal conductivity of foods only by their classes of substances contents (water, proteins, fats, carbohydrates, fibers and ash). Scientifical Researches. Agroalimentary Processes and Technologies, 1, 217-222.

Razavi, S. M. & Taghizadeh, M. (2007). The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, & variety. Journal of Food Engineering, 79,158-167.

Roosta Poor, O. R., Ghobadian, B., Khosh Taghaza, M. H. & Fakhr Poor, Q. (2005). Determination of thermal-physical properties of lemon juice. Iranian Journal of Agriculture Science, 36(4), 833-848 [In Persian].

Saenmuang, S., Sirijariyawat, A. & Aunsri, N. (2017). The effect of moisture content, temperature and variety on specific heat of edible- wild mushrooms: model construction and analysis. Engineering Letters, 25, 4-12.

Santos Jr, L. C. O., Simão, V., Opuski de Almeida, J. S., Moura de Sena Aquino, A. C., Carasek, E. & Regina Amante, E. (2017). Study of Heat Treatment in Processing of Pumpkin Puree (*Cucurbita moschata*). Journal of Agricultural Science, 9(10), 234-243.

Shrivastava, M. & Datta, A. K. (1999). Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus -florida*). Journal of Food Engineering, 39, 255-260.

Tansakul, A. & Lumyong, R. (2007). Thermal properties of straw mushroom. Journal of Food Engineering, 87, 91-98.

Villa-Vélez, H. A., Telis-Romero, J., Cano Higuita, D. M. & Nicolletti Telis, V. R. (2012). Effect of maltodextrin on the freezing point and thermal conductivity of uvaia pulp (*Eugenia piriformis Cambess*). Ciência e agrotechnologia., Lavras, 6(1), 78-85.

Yu, D. U., Shrestha, B. L. & Baik, O. D. (2015). Thermal conductivity, specific heat, thermal diffusivity, and emissivity of stored canola seeds with their temperature and moisture content. Journal of Food Engineering, 165, 156–165.

Food Technology & Nutrition / Summer 2020 / Vol. 17 / No.3

Investigating the Effect of Different Factors on Thermal Conductivity and Specific Heat of Pumpkin Puree

Z. Didar

Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran.

Received: 28 August 2017 Accepted: 1 February 2019

Abstract

Introduction: For the precise designing of thermal processes, determination of thermal properties of foods is necessary. The specific heat and thermal conductivity are the two main thermal properties of food products.

Materials and Methods: In this research, the thermal properties of pumpkin purée in five levels of moisture (25, 30, 35, 40 and 45 percent), five temperature levels (25, 35, 45, 50 and 55ºC), different percentages of salt (0, 0.5, 1, 1.5 and 2%) and different percentages of sugar (0, 10, 15, 20 and 25%) were investigated.

Results: The experiments showed that temperature and moisture caused increases in specific heat and thermal conductivity in pumpkin puree whereas the addition of salt and sugar caused reductions in both specific heat and thermal conductivity of pumpkin puree. In order to predict the effect of moisture, temperature, salt and sugar content on thermal properties of pumpkin puree, regression modes are used. Coefficient of Determination (R^2) of specific heat capacity for temperature, moisture content, salt content and sugar content were 0.920, 0.941, 0.949 and 0.961, respectively. Coefficient of Determination (R^2) of thermal conductivity for temperature, moisture content, salt content and sugar content were 0.851, 0.962, 0.956 and 0.979, respectively.

Conclusion: Temperature and moisture content have direct effect on thermal properties while salt and sugar contents have reverse effect on thermal properties of pumpkin puree.

Keywords: *Pumpkin Puree, Specific Heat Capacity, Thermal Conductivity.*

* Corresponding Author: z_didar57@yahoo.com

علوم غذایی و تغذیه/ تابستان ۱۳۹۹/ سال هفدهم/ شماره ۳