نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد۴، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۳، ص ۳۶-۳۰

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 1, Spring - Summer 2014, p. 30-36

مطالعه اثر سطوح مختلف رطوبت و دما بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز دو رقم پسته ایرانی

علیرضا سالاری کیا[۱]- محمدحسین آق خانی[۲*]- محمدحسین عباسپورفرد[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۱۵

چکیده

پسته جایگاه خاصی در بین تولیدات کشاورزی ایران دارد و این کشور به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده پسته در دنیا شناخته می‌شود. محصولات کشاورزی در طی مراحل نگهداری و فرآوری تحت تیمارهای حرارتی مختلفی قرار می‌گیرند. طراحی تمام این فرآیندها نیاز به داشتن پارامترهای حرارتی از جمله ظرفیت گرمایی ویژه محصولات است. با توجه به اهمیت فرآوری پسته به‌عنوان یک محصول صادراتی، ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز دو رقم پسته ایرانی (کله قوچی و بادامی) در چهار سطح رطوبتی (رطوبت اولیه (حدود ۵٪)، ۱۵، ۲۵ و ۴۰٪ بر پایه تر) و سه سطح دمایی (۴۰، ۵۰ و ۶۰°C) در این تحقیق اندازه گیری شد. در هر دو رقم مورد مطالعه اثر رطوبت و دما در سطح ۱٪ معنی دار شد؛ هر چند اثر رطوبت به‌مراتب بیشتر از اثر دما است. ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز در هر دو رقم با افزایش درصد رطوبت به‌صورت لگاریتمی و با افزایش دما به‌صورت خطی افزایش یافت. تغییرات این پارامتر برای دانه رقم کله قوچی در محدوده ۱/۰۳۹-۲/۹۳۶ kJ kg^{-1} K^{-1}، برای مغز رقم کله قوچی در محدوده ۱/۲۳۶-۳/۲۳۰ kJ kg^{-1} K^{-1}، برای دانه رقم بادامی در محدوده ۰/۸۸۷-۲/۷۷۳kJ kg^{-1} K^{-1} و برای مغز رقم بادامی در محدوده ۰/۸۱۱-۲/۹۱۴ kJ kg^{-1} K^{-1} به‌دست آمد. نتایج نشان داد، در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه مغزها بیشتر از دانه است. در نهایت نیز مدل‌هایی با ضریب تبیین بالا برای پیش بینی این پارامتر بر حسب رطوبت و دما ارائه شد.

واژه های کلیدی: پسته، دمای تعادل، ظرفیت گرمایی، کالری‌متر

مقدمه

پسته[۴] به‌عنوان یک محصول استراتژیک جایگاه خاصی در بین تولیدات کشاورزی ایران دارد و اهمیت اقتصادی آن بر هیچ کس پوشیده نیست. در سالیان اخیر کشت پسته در ایران افزایش چشم‌گیری یافته به‌طوری که این محصول در بخش کشاورزی، مقام اول صادرات را به‌خود اختصاص داده است. امروزه ایران بالاتر از کشورهایی نظیر آمریکا، ترکیه و چین به عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده پسته در دنیا شناخته می‌شود (FAO, 2010). بر اساس اعلام سازمان خوار و بار جهانی (فائو)، تولید پسته در ایران در سال ۲۰۱۰ بیش از ۴۴۶۶۴۷ تن بوده است که از این مقدار ۱۵۳۲۵۹ تن آن صادر شده و درآمدی بالغ بر ۱/۱۵ میلیارد دلار از صادرات این محصول نصیب ایران شده است (FAO, 2010).

محصولات کشاورزی در طی مراحل نگهداری و فرآوری تحت تیمارهای حرارتی مختلفی از جمله گرم و سرد کردن، خشک کردن، پختن، سرخ کردن، آب زدایی و غیره قرار می‌گیرند. در برخی فرآیندها مانند خشک کردن یا سرخ کردن به محصول گرما داده می‌شود و در برخی دیگر نظیر خنک کردن و انجماد، گرما از محصول گرفته می‌شود. رفتار محصول در تمامی فرآیندهای گرمایش و سرمایش به خواص حرارتی آن وابسته است. از جمله مهم‌ترین خواص حرارتی محصولات کشاورزی ظرفیت گرمایی ویژه[۵] است که بیانگر قابلیت محصول در ذخیره سازی گرما است. ظرفیت گرمایی ویژه نقش اصلی را در فرآیندهای انتقال حرارت در محصولات کشاورزی ایفا می‌کند. حرارت دادن و حرارت گرفتن بیش از حد در طی فرآیندهای صنایع غذایی یا در طی خشک کردن باعث تغییر بافت، قهوه‌ای و چروک شدن، از بین رفتن ویتامین‌ها و در نهایت کاهش ارزش غذایی محصول می‌شود (Figura and Teixeira, 2007).

ظرفیت گرمایی ویژه نقش مهمی در فرآیندهای گرم و سرد کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی ایفا می‌کند. از آنجا که آب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲و۳- دانشیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: aghkhani@yahoo.com)

4- Pistachio

5- Specific heat capacity

نسبت به سایر ترکیبات محصولات کشاورزی و مواد غذایی ظرفیت گرمایی ویژه بالاتری دارد، گرمای ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی به شدت تحت تأثیر مقدار آب (درصد رطوبت) قرار می‌گیرد و با افزایش درصد رطوبت گرمای ویژه محصول نیز افزایش می‌یابد (Mohsenin, 1980). Wratten *et al.* (1969) گزارش کردند که با افزایش رطوبت در بازه ۲۰-۱۲ درصد، ظرفیت گرمایی ویژه شلتوک در محدوده ۱/۶۰۵-۲ kJ kg^{-1} K^{-1} افزایش یافت. Aviara and Haque (2000) ظرفیت گرمایی ویژه دانه درخت روغن قلم[1] را به روش مخلوط‌ها[2] تعیین نموده و گزارش دادند که با افزایش درصد رطوبت و دما این پارامتر به صورت خطی افزایش می‌یابد. Subramanian and Viswanathan (2003) ظرفیت گرمایی ویژه دانه و آرد شش رقم ارزن را در محدوده رطوبتی ۳۰-۱۰ درصد به روش مخلوط‌ها تعیین و گزارش کردند که با افزایش رطوبت هم برای دانه و هم برای آرد ارزن، ظرفیت گرمایی ویژه افزایش یافت. Aghbashlo *et al.* (2008) ظرفیت گرمایی ویژه زرشک را به روش مخلوط ها اندازه گیری و گزارش دادند که با افزایش رطوبت این پارامتر به صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین تأثیر رطوبت به مراتب بیشتر از تأثیر دما بود. Bitra *et al.* (2010) ظرفیت گرمایی ویژه دانه، مغز و پوسته بادام زمینی را به‌صورت تابعی از درصد رطوبت اندازه گیری و گزارش کردند که این پارامتر با افزایش رطوبت به‌صورت خطی افزایش یافت. آن‌ها همچنین گزارش کردند که ظرفیت گرمایی ویژه پوسته ها بیش‌ترین و مغز کم‌ترین مقدار بود. بررسی منابع نشان داد که تاکنون تحقیقات اندکی در زمینه تعیین ظرفیت گرمایی ویژه ارقام پسته و به‌خصوص مغز آن صورت گرفته است. Hsu *et al.* (1991) ظرفیت گرمایی ویژه دانه یک رقم پسته را به روش مخلوط‌ها به‌صورت تابعی از رطوبت در محدوده رطوبتی ۴۰-۵ درصد بر پایه تر اندازه‌گیری و افزایش آن را با افزایش درصد رطوبت در محدوده ۱/۱۳-۲/۰۸ kJ kg^{-1} K^{-1} ثبت کردند. Razavi and Taghizadeh (2006) ظرفیت گرمایی ویژه دانه چهار رقم پسته ایرانی (اوحدی، ممتاز، سفید و کله قوچی) را در محدوده رطوبتی ۴۰-۵ درصد بر پایه تر و محدوده دمایی ۷۰ °C-۲۵ به روش مخلوط‌ها اندازه‌گیری کردند. آن‌ها افزایش لگاریتمی ظرفیت گرمایی ویژه را با افزایش درصد رطوبت و افزایش خطی آن را با افزایش دما در محدوده ۰/۴۱۹-۲/۹۳۰ kJ kg^{-1} K^{-1} گزارش کردند. Kouckakzadeh and Tavakoli (2009) نیز ظرفیت گرمایی ویژه دانه چند رقم پسته ایرانی را اندازه گیری و کاهش آن را با افزایش رطوبت در محدوده ۱۱/۵-۳/۳ درصد و افزایش آن را با افزایش رطوبت در محدوده ۵۲-۱۱/۵ درصد گزارش کردند. مقدار متوسط ظرفیت گرمایی ویژه در محدوده ۳/۸۲-۱/۸۹۴ kJ kg^{-1} K^{-1} گزارش شد.

با توجه به جایگاه پسته در صادرات ایران و فعالیت رقبای جدی از قبیل آمریکا، ترکیه و چین، استفاده از شیوه‌های مدرن در زمینه تولید، فرآوری و عرضه این محصول به‌منظور حفظ ایران در صدر صادرات جهانی امری بدیهی است. لذا در این تحقیق ظرفیت گرمایی ویژه پسته به‌عنوان یک پارامتر مؤثر در زمینه فرآوری این محصول مورد بررسی قرار گرفت. بررسی منابع نشان داد تاکنون هیچ تحقیقی در زمینه تعیین ظرفیت گرمایی ویژه مغز پسته (پسته فاقد پوسته استخوانی) صورت نگرفته است؛ از این رو در این تحقیق علاوه بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه دو رقم پسته معروف ایرانی، ظرفیت گرمایی ویژه مغز آن‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت و با یکدیگر مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

در این تحقیق از دو رقم پسته که از نظر شکل و اندازه تفاوت دارند استفاده شد. به این ترتیب که از بین ارقام فندقی شکل پسته که نسبتاً گرد بوده و نسبت طول به عرض آن کمتر از ۱/۵ است رقم کله قوچی (به‌عنوان نماینده ارقام درشت پسته) و از بین ارقام بادامی شکل پسته که نسبتاً کشیده و دراز بوده و نسبت طول به عرض آن بیشتر از ۱/۵ است رقم بادامی (به‌عنوان نماینده ارقام ریز پسته) انتخاب شد. رقم کله قوچی از باغات شهرستان سرایان در استان خراسان جنوبی و رقم بادامی از باغات شهرستان فیض آباد در استان خراسان رضوی تهیه و برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. برای تهیه مغز، پسته‌ها به‌صورت دستی و بدون این‌که آسیبی به مغز برسد پوست کنی شدند.

به‌منظور تعیین درصد رطوبت محصول از استاندارد آون هوای داغ با دمای ۱۰۳ ± ۲ °C و تا زمانی که اختلاف وزن نمونه‌ها کمتر از ۰/۰۵ گرم شود؛ استفاده شد (Razavi and Taghizadeh, 2006; Kashaninejad *et al.*, 2005). با روش مشابه رطوبت اولیه مغزها نیز تعیین گردید. کلیه آزمایش‌ها در محدوده رطوبتی بین رطوبت ۴۰٪ (رطوبت معمول در زمان برداشت پسته در باغ) تا رطوبت ۵٪ (رطوبت در هنگام انبار داری و عرضه به بازار) و در محدوده دمایی ۶۰-۴۰°C و در سه تکرار انجام گرفت (Hsu et *al.*, 1991; Razavi and Taghizadeh, 2006). برای تعیین مقدار آب مورد نیاز برای رساندن نمونه‌ها به رطوبت مورد نظر از رابطه (۱) استفاده شد (Mohsenin, 1980).

1- Sheanut
2- Method of mixture

$$Q = \frac{m_i}{100 - M_f}(M_f - M_i) \quad (۱)$$

در این رابطه M_i درصد رطوبت اولیه، M_f درصد رطوبت نهایی (رطوبت مورد نظر)، m_i جرم اولیه نمونه ها (گرم) و Q جرم آب اضافه شده (گرم) است. پس از اضافه کردن مقدار آب لازم برای رسیدن به سطح رطوبتی مورد نظر، نمونه ها به مدت یک هفته در دمای ۵-۳ °C در یخچال نگهداری و هر روز تکان داده می‌شد تا رطوبت کاملاً به صورت یکنواخت توزیع گردد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمایش‌ها در قالب آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار متغیر مستقل رقم (کله قوچی و بادامی)، نوع محصول (دانه و مغز)، درصد رطوبت (۵، ۱۵، ۲۵ و ۴۰٪) و دما (۴۰، ۵۰ و ۶۰°C) انجام شد. تجزیه و تحلیل های آماری و رسم نمودارها به کمک نرم افزارهای Excel 2007، SPSS 16.0 و Sigma Plot 12.0.0 انجام شد.

اندازه گیری ظرفیت گرمایی ویژه به روش مخلوط‌ها

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی وجود دارد. روش مخلوط‌ها رایج‌ترین روش به‌کار برده شده در تحقیقات برای اندازه‌گیری گرمای ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی است (Mohsenin, 1980). در این تحقیق نیز از روش مخلوط‌ها برای اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز پسته استفاده شد. در این روش نمونه آزمایشی با وزن و دمای مشخص داخل یک کپسول رسانای حرارتی با گرمای ویژه معلوم قرار گرفته و در آون قرار داده می‌شود تا به سطح دمایی مورد نظر برسد. سپس کپسول محتوی نمونه درون یک فلاسک (کالری‌متر) با گرمای ویژه معلوم که در برگیرنده مقداری آب با دما و وزن مشخص است قرار داده می‌شود. در نهایت گرمای ویژه نمونه با استفاده از معادله تعادل حرارتی گرمای مبادله شده بین آب، فلاسک، کپسول و نمونه (مطابق رابطه ۲) محاسبه می‌شود (Razavi and Taghizadeh, 2006).

$$C_p = \frac{(H_f + m_w C_w)(T_s - T_w) - H_c(T_s - T_c)}{m_s(T_s - T_c)} \quad (۲)$$

در استفاده از این روش در نظر گرفتن فرضیات زیر ضروری است:

در انتقال کپسول محتوی نمونه از آون به کالری‌متر هیچ اتلاف حرارتی نداریم.

در طول دوره تعادل هیچ تبخیری در ظرف کالری‌متر صورت نمی‌گیرد.

ظرفیت گرمایی کالری‌متر و کپسول در محدوده دمای مورد مطالعه ثابت می‌ماند.

برای انجام هر آزمایش در هر سطح دمایی، کپسول محتوی نمونه‌ها مدت زمان کوتاهی درون آون با دمای مورد نظر قرار داده شده و سپس بلافاصله به درون کالری‌متر (کالری‌متر معمولی با حجم ۲۵۰ میلی لیتر) با ظرفیت گرمایی از قبل تعیین شده و حاوی مقداری آب مقطر انتقال داده شدند. برای جلوگیری از اتلاف حرارت نمونه‌ها بلافاصله در کالری‌متر بسته شد. در نهایت دمای تعادل توسط یک ترموکوپل نوع T با دقت ۰/۱ °C به‌منظور محاسبه گرمای ویژه یادداشت شد. در طی زمان تبادل حرارت نمونه‌ها با استفاده از هم‌زن کالری‌متر هم زده می‌شدند تا تبادل حرارتی به‌خوبی صورت گیرد.

نتایج و بحث

به‌منظور ارزیابی اثر متغیرهای وابسته بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز ارقام پسته مورد مطالعه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که اثرات اصلی هر چهار فاکتور رقم، نوع محصول، درصد رطوبت و دما در سطح ۱٪ معنی دار شده است. به این معنی که تفاوت ظرفیت گرمایی ویژه بین دو رقم و همچنین بین دانه و مغز در هر رقم دارای اختلاف معنی داری است. همچنین تمامی اثرات متقابل فاکتورها به جز اثر متقابل رقم×دما که در سطح ۵٪ معنی دار شده است، غیر معنی دار شده اند.

تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب درصد رطوبت و دما در شکل‌های ۱ تا ۴ آورده شده است. با توجه به این که اثر متقابل درصد رطوبت و دما در سطح ۱٪ غیر معنی دار شده است نمودارهای ذکر شده روند تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب این دو فاکتور را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر درصد رطوبت و دما هر کدام به‌طور جداگانه ظرفیت گرمایی ویژه را تحت تأثیر قرار می‌دهند و اثری روی یکدیگر ندارند.

با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم‌های کله قوچی و بادامی با افزایش درصد رطوبت به‌صورت لگاریتمی افزایش یافته است، به این معنی که هر چه درصد رطوبت افزایش یابد آهنگ افزایش ظرفیت گرمایی ویژه (شیب خط مماس بر نمودار رطوبت- ظرفیت گرمایی ویژه) کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ ظرفیت گرمایی ویژه با افزایش دما به‌صورت خطی افزایش یافته است. به‌طور کلی با افزایش درصد رطوبت در محدوده رطوبت اولیه تا رطوبت ۴۰ درصد و افزایش دما در محدوده ۶۰-۴۰ °C ظرفیت گرمایی ویژه دانه رقم کله قوچی در بازه ۱/۰۳۹-۲/۹۳۶ kJ kg^{-1} K^{-1}، ظرفیت گرمایی ویژه مغز رقم کله قوچی در بازه ۱/۲۳۶-۳/۲۳۰ kJ kg^{-1} K^{-1}، ظرفیت گرمایی ویژه دانه رقم بادامی در بازه ۰/۸۸۷-۲/۷۷۳ kJ kg^{-1} K^{-1} و ظرفیت گرمایی ویژه مغز رقم بادامی در بازه ۰/۸۱۱-۲/۹۱۴ kJ kg^{-1} K^{-1} افزایش یافته است. بیش‌ترین مقادیر ظرفیت گرمایی ویژه مربوط به مغز رقم کله قوچی در دمای ۶۰°C و کم‌ترین مقادیر مربوط به دانه

رقم بادامی در دمای ۴۰°C است. نتایج نشان می‌دهد که در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه مغزها بیشتر از ظرفیت گرمایی ویژه دانه آن‌ها است. دلیل این امر احتمالاً پوسته استخوانی شکل دانه‌ها است؛ با این حال برای بحث بیشتر در این مورد نیاز به مطالعه ظرفیت گرمایی ویژه پوسته استخوانی ارقام مورد مطالعه است. همچنین در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز پسته رقم کله قوچی به‌ترتیب بیشتر از دانه و مغز رقم بادامی است که این تفاوت می‌تواند مربوط به مشخصات فیزیکی یا درصد ترکیبات (پروتئین، کربوهیدرات و چربی) متفاوت رقم کله قوچی نسبت به رقم بادامی باشد. مقایسه نمودارها نشان می‌دهد که اثر رطوبت بر تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه به مراتب بیشتر از اثر دما است، به‌طوری که در تغییرات دمایی کم می‌توان از تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه چشم پوشی کرد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم، نوع محصول، محتوی رطوبتی و دما بر ظرفیت گرمایی ویژه

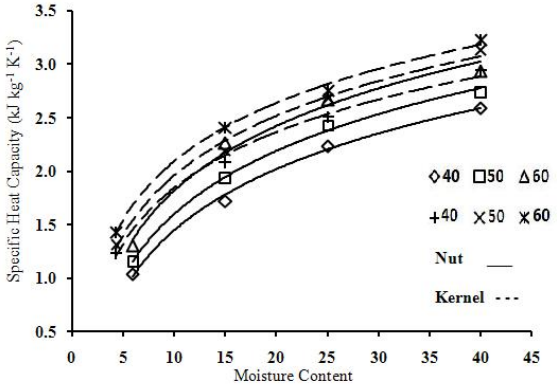
Table1- Analysis of variance (ANOVA) for the effect of variety, type, moisture content, and temperature on specific heat capacity

F-Value	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
409.759 **	1.424	47	تیمار (Treatment)
578.325 **	2.010	1	رقم (Variety)
256.807 **	0.893	1	دانه/مغز (Nut or Kernel)
5844 **	20.312	3	رطوبت (Moisture)
332.076 **	1.154	2	دما (Temperature)
5.379 n.s.	0.276	1	V*NK
2.132 n.s.	0.006	3	V*M
11.363 *	0.034	2	V*T
3.809 n.s.	0.041	3	NK*M
3.683 n.s.	0.016	2	NK*T
5.293 n.s.	0.018	6	M*T
1.357 n.s.	0.005	3	V*NK*M
3.905 n.s.	0.014	2	V*NK*T
2.398 n.s.	0.008	6	NK*M*T
0.874 n.s.	0.003	6	V*M*T
0.149 n.s.	0.001	6	V*NK*M*T
	0.003	96	خطا (Error)
		143	کل (Total)

** معنی دار در سطح ۱٪ (significant at 1%)

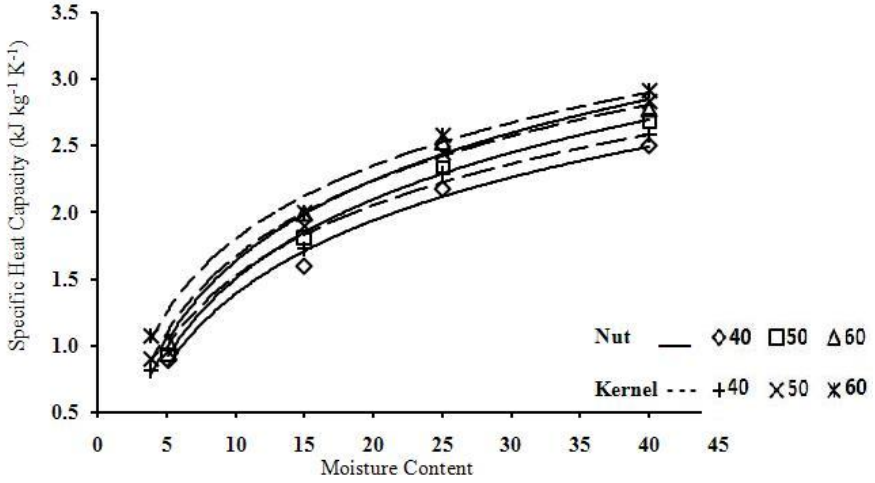
* معنی دار در سطح ۵٪ (significant at 5%)

n.s. غیر معنی دار (Not significant)



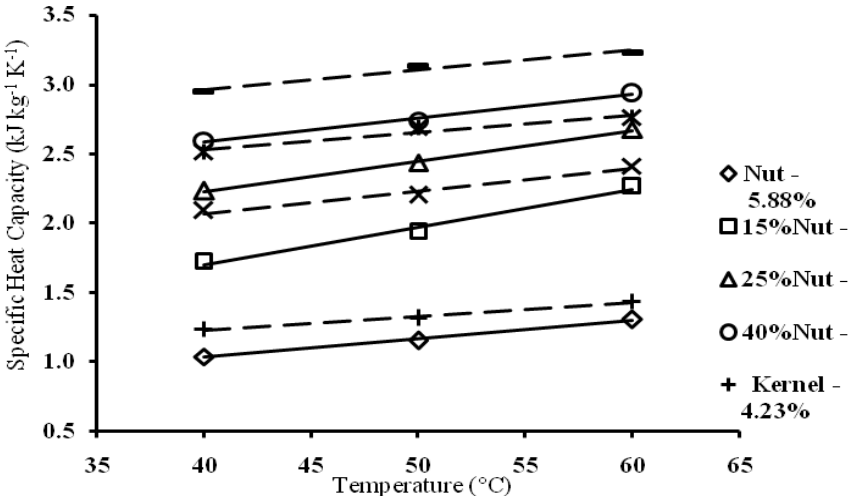
شکل ۱- اثر رطوبت بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم کله قوچی در سه سطح دمایی

Fig.1. The effect of moisture content on specific heat capacity of nut and kernel of Kalle-Ghochi pistachio variety in three levels of temperature



شکل ۲– اثر رطوبت بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم بادامی در سه سطح دمایی

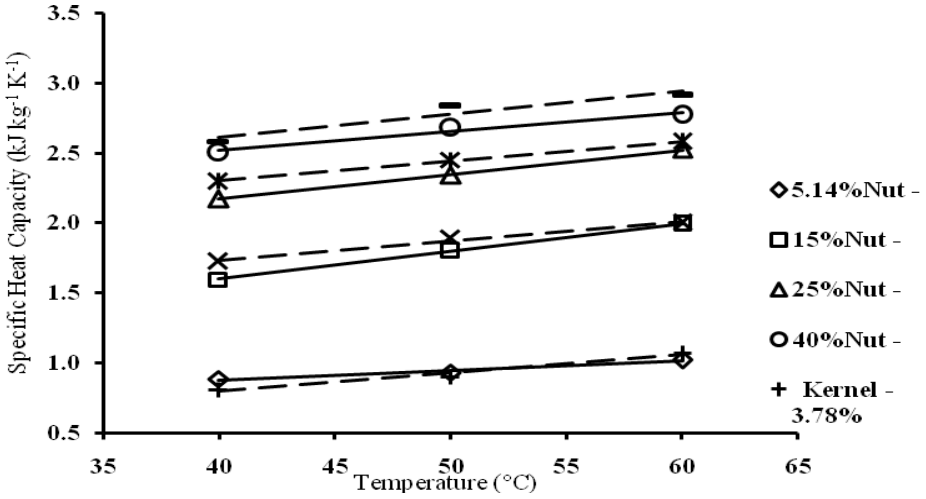
Fig.2. The effect of moisture content on specific heat capacity of nut and kernel of Badami pistachio variety in three levels of temperature



شکل ۳– اثر دما بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم کله قوچی در چهار سطح رطوبتی

Fig.3. The effect of temperature on specific heat capacity of nut and kernel of Kalle-Ghochi pistachio variety in four levels of moisture content

در تحقیقات قبلی صورت گرفته در زمینه خواص حرارتی پسته نیز رابطه مستقیم بین تغییرات درصد رطوبت و دما با ظرفیت گرمایی ویژه گزارش شده است (Kouckakzadeh and Tavakoli, 2009; Razavi and Taghizadeh, 2006; Hsu *et al.*, 1991). همچنین در تحقیقات صورت گرفته روی سایر محصولات کشاورزی و مواد غذایی، افزایش ظرفیت گرمایی ویژه با افزایش رطوبت و دما گزارش شده است (Bitra *et al.*, 2010, nut, kernel and shell of peanut; Aghbashlo *et al.*, 2008, berberis; Legrand *et al.*, 2007, red bean; Yang *et al.*, 2002, borage seeds; Singh and Goswami, 2000, cumin seed). در اکثر این تحقیقات افزایش خطی ظرفیت گرمایی ویژه با افزایش دما و رطوبت به ثبت رسیده است.



شکل ٤– اثر دما بر ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز رقم بادامی در چهار سطح رطوبتی

Fig.4. The effect of temperature on specific heat capacity of nut and kernel of Badami pistachio variety in four levels of moisture content

با توجه به معنی دار شدن اثر رطوبت و دما، مدل‌های جدول ۲ با استفاده از تحلیل رگرسیون چند متغیره برای پیش بینی ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز دو رقم پسته مورد مطالعه ارائه می‌شود. بالا بودن مقادیر ضریب تبیین (R^2) نشان از نزدیک بودن مقادیر مدل‌های پیشنهادی به مقادیر واقعی دارد. در این مدل‌ها اثر رطوبت به‌صورت لگاریتمی و اثر دما به‌صورت خطی لحاظ شده است. مدل‌های ساده تری به‌صورت اثر خطی رطوبت نیز می‌توان ارائه کرد ولی با توجه به پایین بودن ضریب تبیین این مدل‌ها و نیز طبق گزارشات محققان پیشین (Razavi and Taghizadeh, 2006) اثر لگاریتمی رطوبت در نظر گرفته شد. علاوه بر این اثر خطی افزایش رطوبت، در درصد رطوبت بالا خطای قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌کند. نتایج تجزیه رگرسیون مدل‌های ارائه شده نشان داد که این مدل‌ها در سطح ۱٪ معنی دار هستند.

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که ظرفیت گرمایی ویژه دانه و مغز هر دو رقم مورد مطالعه با افزایش درصد رطوبت به‌صورت لگاریتمی و با افزایش دما به‌صورت خطی افزایش یافت. همچنین اثر رطوبت بر تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه به‌مراتب بیشتر از اثر دما است. با افزایش درصد رطوبت و دما، تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه دانه رقم کله قوچی، مغز رقم کله قوچی، دانه رقم بادامی و مغز رقم بادامی به‌ترتیب در محدوده ۲/۹۳۶–۱/۰۳۹، ۳/۲۳۰–۱/۲۳۶، ۲/۷۷۳–۰/۸۸۷ و ۲/۹۱۴–۰/۸۱۱ $kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$ به‌دست آمد. نتایج نشان داد در یک دمای مشخص ظرفیت گرمایی ویژه مغزها بیشتر از ظرفیت گرمایی ویژه دانه‌ها است.

جدول ۲– مدل‌های ارائه شده برای تعیین ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب درصد رطوبت و دما

Table2–The proposed models for determining specific heat capacity

محصول (Product)	R^2	مدل (Model) ($kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
دانه رقم کله قوچی (Nut of Kalle-Ghochi pistachio variety)	0.985	$C_p = 0.7782\ln(M) + 0.0195T - 1.0856$
مغز رقم کله قوچی (Kernel of Kalle-Ghochi pistachio variety)	0.993	$C_p = 0.6469\ln(M) + 0.0132T - 0.7081$
دانه رقم بادامی (Nut of Badami pistachio variety)	0.984	$C_p = 0.8354\ln(M) + 0.0144T - 1.1304$
مغز رقم بادامی (Kernel of Badami pistachio variety)	0.992	$C_p = 0.9050\ln(M) + 0.0142T - 1.2544$

فهرست علائم

علائم و اختصارات Nomenclature		زیرنویس ها Subscripts	
C	Specific heat (kJ kg^{-1} K^{-1})	c	Capsule
H	Heat capacity (kJ K^{-1})	e	Equilibrium condition of mixture
m	Mass	f	Final
M	Moisture Content	f	Flask calorimeter
Q	Added water mass (g)	i	Initial
T	Temperature	p	Pistachio Sample
		s	Sample
		w	Water

منابع

1. Aghbashlo, M., M. H. Kianmehr, and S. R. Hassan Beygi. 2008. Specific heat and thermal conductivity of berberis fruit (Berberis vulgaris). Agricultural and biological sciences 3(1): 330-336.
2. Aviara, N. A., and M. A. Haque. 2000. Moisture dependence of thermal properties of sheanut kernel. Food Engineering 47: 109-113.
3. Bitra, V. S. P., S. Banu, P. Ramakrishana, G. Narender, and A. R. Womac. 2010. Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. Biosystems Engineering 10: 503-512.
4. Figura, L. O., and A. A. Teixeira. 2007. Food physics (Physical properties measurement and applications). Springer Berlin Heidelberg. New York.
5. Food and agricultural organization, FAO. 2010. www.fao.org. Accessed 4 August 2012.
6. Hsu, M. H., J. D. Mannaperuma, and R. P. Singh. 1991. Physical and thermal properties of pistachios. Agricultural Engineering Research 49 (4): 311-321.
7. Kashaninejad, M., A. Mortazavi, A. Safekordi, and L. G. Tabil. 2005. Some physical properties of pistachio (Pistachio vera L.) nut and its kernel. Food Engineering 72 (1): 30-38.
8. Kouchakzadeh, A., and T. Tavakoli. 2009. The effect of moisture and temperature on thermophysical properties of Iranian pistachios. World applied sciences journal 7 (12): 1552-1558.
9. Legrand, A., J. C. Leuliet, S. Duquesne, R. Kesteloot, P. Winterton, and L. Fillaudeau. 2007. Physical, mechanical, thermal and electrical properties of cooked red bean (Phaseolus vulgaris L.) for continuous ohmic heating process. Food Engineering 81: 447-458.
10. Mohsenin, N. N. 1980. Thermal properties of foods and agricultural materials. Gordon and Breach. New York.
11. Razavi, S. M. A., and M. Taghizadeh. 2006. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. Food engineering 79: 158-167.
12. Singh, K. K., and T. K. Goswami. 2000. Thermal properties of cumin seed. Food engineering 45: 181-187.
13. Subramanian, S., and R. Viswanathan. 2003. Thermal properties of minor millet grains and flours. Biosystems Engineering 84 (3): 289-296.
14. Wratten, F. T., W. D. Poole, J. L. Chesness, S. Bal, and V. Ramarao. 1969. Physical and thermal properties of rough rice. Transactions of the ASAE 12(6): 801-803.
15. Yang, W., S. Sokhansanj, J. Tang, and P. Winter. 2002. Determination of thermal conductivity, specific heat and thermal diffusivity of borage seeds. Biosystems Engineering 82 (2): 169-176.