

بررسی گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه (*Vitis vinifera* L.)

جلال خدایی*^۱ - هادی صمیمی^۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۳

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۳

چکیده

انگور رشه کردستان یکی از میوه‌های خوشمزه و شیرین با رنگ سیاه می باشد. این میوه شامل ویتامین‌های C، E و برخی محافظت کننده‌ها مثل آنتی اکسیدان‌ها می باشد. برای طراحی تجهیزات و امکانات برای خشک کردن، فرآوری و بسته بندی انگور رشه به دست آوردن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی آن امری ضروری و مهم می باشد. در تحقیق حاضر خواص حرارتی انگور رشه کردستان شامل گرمای ویژه و انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفت. برای به دست آوردن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی، به ترتیب از روش مخلوط نمودن و روش سیم داغ استفاده شد. تمام آزمایش‌ها در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سطوح رطوبتی ۲۲/۳۶، ۳۷/۵۶، ۵۲/۱۳ و ۷۱/۵۳ درصد انجام شد. نتایج نشان داد که گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه به ترتیب به صورت خطی از $۱/۶۵۲۳ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $۳/۳۲۵۳ \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ و از $۰/۱۲۵۲ \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $۰/۴۲۰۲ \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ با افزایش درجه حرارت و افزایش سطوح رطوبتی به طور خطی افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان داد که اثر رطوبت بر تغییرات گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی نسبت به درجه حرارت بسیار معنی دارتر است.

واژه های کلیدی: انگور رشه، دما، ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه، محتوای رطوبتی

مقدمه

سرطان جگر گردد را کاهش دهد (Kweon *et al.*, 2003). همچنین مطالعه موردی بر روی سلول‌ها نشان می‌دهد، که عصاره هسته انگور؛ تأثیر بسزایی در جلوگیری از پیشرفت سرطان پروستات داشته است (Dhanalakshmi *et al.*, 2003). حبه انگور رشه رسیده به رنگ سیاه و تخم مرغی شکل است. معمولاً این میوه را در اواخر تابستان و اوایل پاییز به صورت خوشه‌ای چیده و به صورت خوشه‌ای آویزان می‌کنند. پس از آن خوشه‌های انگور به آرامی رطوبت خود را از دست داده و خشک می‌شوند. سپس آنها را پایین آورده و حبه‌های خشک شده را از خوشه‌ها جدا کرده و پس از تمیز نمودن، آن را بسته بندی نموده و به فروش می‌رسانند.

گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی در طراحی مهندسی تجهیزات کشاورزی که شامل پروسه‌های حرارتی هستند؛ استفاده می‌شوند. در محصولات کشاورزی دو عامل محتوای رطوبتی و درجه حرارت تأثیر عمده‌ای در افزایش یا کاهش ضریب هدایت حرارتی و گرمای ویژه آنها دارد. این امر به خاطر بالا بودن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی آب می‌باشد (Aghbashloo *et al.*, 2008). روش‌های مختلفی برای به دست آوردن گرمای ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی وجود دارد که یکی از رایج‌ترین آنها، روش مخلوط نمودن می‌باشد (Tabil, 1999; Muir and Viravanichai, 2003).

انگور رشه (*Vitis vinifera* L.) متعلق به خانواده vitaceae از خانواده‌های بزرگ گیاهان، می‌باشد. این میوه به طور عمده در مناطق معتدل و گرم مانند ایتالیا (۹۲۵۶۸۱۴ تن در سال)، فرانسه (۶۷۸۷۰۰۰ تن در سال) و ایالات متحده (۶۴۱۴۶۱۰ تن در سال) کشت می‌شود. ایران با تولید سالانه ۲۸۰۰۰۰۰ تن هفتمین تولید کننده انگور در دنیا می‌باشد. انگور در بین محصولات کشاورزی که صادر می‌گردند مقام سوم را در ایران به خود اختصاص داده است (Karami, 2003; Razavi and Fathi, 2009). انگور گونه‌های زیادی دارد که یکی از مهمترین این گونه‌ها انگور رشه می‌باشد. این گونه به طور عمده در مناطق غربی ایران کشت می‌شود و استان کردستان یکی از بزرگترین تولید کنندگان این گونه انگور می‌باشد. انگور رشه به رنگ سیاه خاصیت ضد سرطانی دارد و استفاده از آن در پیشگیری از بروز سرطان بسیار مؤثر می‌باشد (Sovak, 2001). کوین و همکاران (۲۰۰۳) طی تحقیقی اثبات کردند که شیره انگور فعالیت سنتزی اسیدهای چرب که می‌تواند به عنوان عاملی در به وجود آمدن

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و مربی گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه کردستان
(Email: hsamimia@gmail.com) *نویسنده مسئول:

1972). در این روش ماده جامد داغ با حرارت مشخص در داخل آب سرد با درجه حرارت مشخص قرار داده می‌شود و به آنها اجازه می‌دهند که به تعادل دمایی برسند. به عبارت دیگر، ماده جامد داغ در اثر از دست دادن گرما و آب سرد در اثر جذب گرمای آزاد شده به تعادل دمایی می‌رسند (Mohsenin, 1980; Tabil, 1999). بر اساس مطالعات انجام شده نتایجی به صورت زیر حاصل شد:

گرمای ویژه گندم کشت بهاره با افزایش درجه حرارت از $33/5 - 33/5$ تا $21/8$ درجه سلسیوس و سطوح رطوبتی از 1 تا 23 درصد پایه خشک، از $1/054 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ به $2/521 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش یافت (Muri and Viravanichani, 1972). گرمای ویژه بذر زیره سبز با افزایش درجه حرارت از $70 - 50$ تا 50 درجه سانتی‌گراد و رطوبت از $1/8$ تا $25/5$ درصد پایه تر افزایش یافت (Singh and Goswami, 2000). گرمای ویژه چهار رقم پسته ایرانی (اوحدی، ممتاز، سفید و کله قوچی) در اثر تغییرات رطوبت و درجه حرارت نشان داد که در اثر تغییرات رطوبت (5 ، 15 و 25 درصد پایه تر) و تغییرات درجه حرارت (25 ، 40 ، 55 و 70 درجه سانتی‌گراد) مقدار گرمای ویژه از $0/419 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $2/930 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می‌کند (Razavi and Taghizade, 2007). گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی دو رقم خرما (خوداری و سوفری) در سطوح رطوبتی $18/31$ تا $62/52$ درصد برای خوداری و $16/72$ تا $71/70$ درصد برای سوفری و سطوح حرارتی 50 و 70 درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی خرماي سوفری بیشتر از خرماي خوداری در سطوح حرارتی و رطوبتی اشاره شده می‌باشد. گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی زرشک در سطوح رطوبتی $19/3$ ، $38/5$ ، $55/4$ و $74/3$ درصد پایه تر و سطوح حرارتی 50 ، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی زرشک به ترتیب از $1/9653 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $3/2811 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ و $0/1324 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/4898 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می‌کند. روند تغییرات داده‌ها نشان داد که تأثیر محتوای رطوبتی نسبت به درجه حرارت در افزایش گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی بسیار معنی دارتر است (Aghbashloo et al., 2008).

برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی گونه‌های مختلف بذرهای، از راه‌های مختلف استفاده می‌شود (Kouchakzade and Tavakoli, 2009). بسیاری از محققان برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی بسیاری از محصولات کشاورزی از روش انتقال جریان همرفتی با استفاده از یک منبع حرارتی استفاده نموده‌اند. در این روش که از یک منبع حرارتی خطی استفاده می‌شود، برای به دست آوردن ضریب هدایت حرارتی جسم، درجه حرارت جسم در فواصل زمانی معین اندازه گیری می‌شود. ضریب هدایت حرارتی گندم کشت بهاره در سطوح رطوبتی $4/4 - 25/5$ درصد و سطوح حرارتی $20 - 6$ درجه

سانتی‌گراد اندازه گیری شد (Chandra and Muri, 1971). ضریب هدایت حرارتی نخود با افزایش رطوبت و درجه حرارت به ترتیب از $27/2 - 11/5$ درصد و $25 - 10$ درجه سانتی‌گراد از $0/144 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/247 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش یافت (Dutta et al., 1988). ضریب هدایت حرارتی قارچ‌ها از مقدار $0/2084 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/5309 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Shrivastava and Datta, 1999). ضریب هدایت حرارتی زیره سبز با افزایش رطوبت از $1/8$ تا $20/5$ درصد پایه خشک و افزایش درجه حرارت از 50 تا $50 -$ درجه کلونین، به صورت خطی افزایش پیدا کرد (Singh and Goswami, 2000). همچنین ضریب هدایت حرارتی هسته فندق روغنی با افزایش رطوبت از $3/32$ تا $20/7$ درصد و درجه حرارت از $347/5$ تا $349/5$ کلونین افزایش یافت. ضریب هدایت حرارتی بذر ارزن و پودر آن با افزایش رطوبت از 10 تا 30 درصد پایه تر از $0/223 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/226 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aviara and Haque, 2001). نتایج نشان داد که این افزایش در پودر ارزن نسبت به بذر آن معنی‌دار تر است (Subramarian and Viswanthan, 2003). نتایج آزمایش‌ها در مورد خواص حرارتی زرشک نشان داد که ضریب هدایت حرارتی زرشک با افزایش محتوای رطوبتی آن از $19/3$ تا $74/3$ درصد پایه تر، از $0/231 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/466 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aghbashloo et al., 2008).

برای طراحی و بهینه سازی تجهیزات خشک کنی، انبارداری و فرآوری انگور رشه و همچنین برای ساخت تجهیزاتی برای تولید آمیوه، ژله، شکلات و پاستیل‌ها، به دست آوردن پارامترهای حرارتی مانند گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی، امری ضروری است. تا کنون تحقیقی در مورد خواص حرارتی انگور رشه انجام نشده است و اطلاعات چندانی حتی در مورد خشک کردن این محصول در دسترس نمی‌باشد. بنابراین در تحقیق حاضر گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه با تغییرات محتوای رطوبتی و سطوح حرارتی مورد سنجش و آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

انگور رشه استفاده شده در این تحقیق از باغ‌های استان کردستان در اواخر شهریور ماه سال ۸۹ تهیه شد. میوه‌ها به صورت دستی تمیز و پاک شده و میوه‌های آسیب دیده و کال به طور کامل جدا شدند. محصول سالم و تمیز در پلاستیک‌هایی بسته بندی شده و در یخچال در درجه حرارت 5 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای به دست آوردن رطوبت اولیه انگور از روش آون استفاده شد. برای این منظور نمونه‌های 20 گرمی انگور رشه در چهار تکرار و در درجه حرارت $2 \pm$ تا 105 درجه سانتی‌گراد به مدت پنج ساعت قرار داده شدند (Doymaz,

حرارتی با خارج خود ندارد.

در این روش بایستی مفروضاتی در نظر گرفته شوند که عبارتند از: ۱- گرمای از دست داده شده از کپسول در هنگام انتقال دادن آن از آن به کالری متر ناچیز در نظر گرفته می‌شود. ۲- در طی فرآیند گرم نمودن کپسول که با استفاده از آن صورت می‌گیرد، فرض می‌شود که دمای کپسول و انگور با هم برابرند. ۳- چنانچه در طول آزمایش، تبخیری از کالری متر صورت گیرد، مقدار این تبخیر ناچیز در نظر گرفته می‌شود. ۴- تغییرات در ظرفیت گرمایی کالری متر و کپسول در سطوح حرارتی بررسی شده در آزمایش ناچیز در نظر گرفته می‌شود. تجهیزات استفاده شده در این آزمایش مشابه تجهیزاتی بود که محققان دیگر از آنها برای انجام آزمایش استفاده کرده بودند (Sreenarayanan and Chattopadhyay 1986; Razavi and Taghizade, 2007; Shrivastava and Datta, 1999; Subramanian and Viswanathan, 2003). برای به دست آوردن گرمای ویژه کالری متر از رابطه زیر استفاده شد (Shrivastava and Datta, 1999; Razavi and Taghizade, 2007):

$$H_f = \frac{M_{cw}C_w(T_e - T_{cw}) - M_{hw}C_w(T_{hw} - T_e)}{(T_{hw} - T_e)} \times 100 \quad (1)$$

که در آن H_f = گرمای ویژه فلاسک ($\text{cal } ^\circ\text{C}^{-1}$)، M_{cw} = وزن آب سرد (g)، M_{hw} = وزن آب داغ (g)، C_w = گرمای ویژه آب ($1 \text{ cal } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ g}^{-1}$)، T_{cw} = دمای آب سرد ($^\circ\text{C}$)، T_{hw} = دمای آب داغ ($^\circ\text{C}$) و T_e = دمای تعادل ($^\circ\text{C}$) می‌باشد.

ظرفیت گرمایی کپسول آلومینیومی به طور آزمایشگاهی اندازه گیری شد. برای این منظور، کپسول آلومینیومی در آن در درجه حرارت بالایی به مدت یک ساعت قرار داده می‌شود. سپس درجه حرارت کپسول را با استفاده از ترموکوپل ثبت نموده و آن را در کالری متری که محتوی آب مقطر سرد با درجه حرارت مشخص و حجم مشخص است می‌اندازیم. در این حالت نیز فرض می‌شود کالری متر آدیباتیک است. ظرفیت گرمایی کپسول با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید.

(2005). رطوبت انگور رشه (بعد از چیده شدن از باغ) ۷۳/۵۱ درصد بر پایه تر و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، به دست آمد. انگور رشه مورد نیاز برای آزمایش‌ها از بسته‌های آبندی شده که در یخچال نگهداری می‌شدند، به صورت تصادفی برداشته شده و با استفاده از روش آن به رطوبت مطلوب می‌رسیدند (Baryeh, 2001). همه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. برای به دست آوردن رطوبت موجود در انگور رشه از استاندارد AOAC (۱۹۸۰) استفاده شد:

$$MC = \frac{M_o - M_s}{M_o} \times 100$$

که در آن MC، محتوای رطوبتی بر پایه تر، M_o رطوبت اولیه و M_s رطوبت نهایی محصول بر حسب گرم می‌باشد. در جدول ۱ سطوح رطوبتی و سطوح حرارتی که برای به دست آوردن گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور در نظر گرفته شده درج گردیده است. سطوح رطوبتی مذکور با در نظر استفاده از منابع و تحقیقات پیشینیان در مورد میوه‌های با درصد رطوبت تر بالای ۸۰ درصد در نظر گرفته شد (Aghbashloo et al., 2008).

گرمای ویژه: روشی که برای اندازه گیری گرمای ویژه استفاده می‌شود روش مخلوط نمودن می‌باشد (Tabil, 1999). کپسول استفاده شده استوانه‌ای شکل، به قطر داخلی ۱۸ میلی‌متر، عمق ۴۵/۷۰ میلی‌متر و ضخامت ۱/۸۶ میلی‌متر و از جنس آلومینیوم بود. درب استوانه نیز از جنس آلومینیوم بود و طوری روی آن قرار می‌گرفت که کاملاً آبندی شده و آب به درون آن نفوذ نمی‌کرد و یا رطوبتی از محصول (داخل کپسول) به خارج درز نمی‌کرد. از ترموکوپل‌های نوع T که به یک دیتالاگر وصل می‌شد برای گزارش درجه حرارت استفاده شد. کالری متری که برای انجام آزمایش استفاده شد فلاسکی به ظرفیت ۲۵۰ سی سی بود (Aghbashloo et al., 2008). ظرفیت گرمایی کالری متر به صورت آزمایشی اندازه گیری شد. برای این کار مقدار مشخصی آب مقطر داغ با دمای معلوم (ماکزیمم ۷۰ درجه سانتی گراد) به کالری متری که از قبل مقدار مشخصی آب مقطر سرد با دمای معلوم دارد؛ اضافه می‌شود. در طول آزمایش فرض می‌شود که کالری متر آدیباتیک می‌باشد و هیچ انتقال

جدول ۱- سطوح رطوبتی و دمایی برای انجام آزمایش‌ها

Table 1- Moisture content and temperature level for experiments

پارامترها Parameters	سطوح تعریف شده در آزمایش Levels defined in the test			
	1	2	3	4
درجه حرارت ($^\circ\text{C}$) Temperature ($^\circ\text{C}$)	40	50	60	70
محتوای رطوبتی (%w.b) Moisture content (% w.b)	22.36	37.56	52.13	71.53

که در آن γ ثابت اویلر است. برای مقادیر کوچک از $(4\alpha t)^{-1} r^2$ از جمله دوم به بعد در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین رابطه (۵) را به صورت رابطه (۶) نوشت.

$$T - T_0 = -\left(\frac{Q}{4\pi k}\right) \left\{ \ln\left(\frac{4\alpha e^{-\gamma}}{r^2}\right) + \ln t \right\} \quad (6)$$

معادله (۶) نشان دهنده معادله ایست که تغییرات (ΔT) در مقابل لگاریتم طبیعی زمان $(\ln(t))$ را نشان می‌دهد. بنابراین انتقال حرارت را می‌توان به صورت رابطه (۷) نیز نشان داد.

$$k = \left(\frac{Q\Delta \ln(t)}{4\pi\Delta T}\right) \quad (7)$$

و یا به صورت ساده تر به صورت رابطه (۸) نوشت که در آن $S = Q \cdot (4\pi k)^{-1}$ شیب معادله می‌باشد.

$$k = \left(\frac{Q}{4\pi S}\right) \quad (8)$$

همان طور که اشاره شد، Q نشان دهنده انرژی تولید شده در سیم می‌باشد که رابطه آن به صورت $Q = I^2 R$ می‌باشد. از این رو رابطه (۸) را می‌توان به صورت رابطه (۹) نشان داد.

$$k = \left(\frac{I^2 R}{4\pi S}\right) \quad (9)$$

در رابطه (۹)، I جریان الکتریکی (A)، R مقاومت الکتریکی واحد طول سیم ($\Omega \text{ m}^{-1}$) می‌باشد.

در شکل ۱، دستگاهی که برای مطالعه ضریب هدایت حرارتی انگور رشه استفاده شد، به صورت شماتیک نشان داده شده است. دستگاه شامل یک سیلندر برنجی به ارتفاع ۲۶۵، قطر داخلی ۵۸/۲ میلی‌متر و دو درپوش از جنس پلی اتیلن می‌باشد که یکی از آن ثابت و دیگری برای ریختن محصول در داخل استوانه قابلیت باز و بسته شدن را دارد. محصول طوری در داخل استوانه قرار می‌گرفت که فضای خالی بین حبه‌های محصول به کمترین مقدار برسد. یک سیم مقاوتی بدون سرپوش به قطر ۰/۳۲ و طول ۲۵۵ میلی‌متر با مقاومت $12/47$ اهم از مرکز استوانه مذکور عبور داده شده و به صورت سری با مولتی متر و منبع تغذیه در مدار قرار گرفته است. برای اندازه گیری دمای هسته استوانه، از یک ترموکوپل T با قطر ۰/۸ میلی‌متر که به فاصله تقریباً یک میلی‌متر از سیم قرار می‌گرفت؛ استفاده شد. این سیم با استفاده از چسب اپوکسی روی سیم ثابت شد (Aghbashloo et al., 2008). ترموکوپل دیگری با همان مشخصات در قسمت بیرونی استوانه نمونه قرار داده شد. این دو ترموکوپل برای گزارش دمای درونی و بیرونی استوانه هر کدام به دیتالاگری (DL-9601A،

$$H_c = \frac{(H_f + M_{cw} C_w)(T_e - T_{cw})}{(T_c - T_e)} \quad (2)$$

که در آن H_c = ظرفیت گرمایی کپسول ($\text{cal } ^\circ\text{C}^{-1}$)، T_c = دمای کپسول ($^\circ\text{C}$) می‌باشد. برای اندازه گیری گرمای ویژه انگور رشه، کپسول مورد نظر با استفاده از حبه های انگور پر می‌شود و برای همسان سازی دمای کل جسم، به مدت حداقل یک ساعت در آن قرار داده می‌شود. سپس کپسول در کالری متری که دارای حجم مشخصی آب مقطر با دمای مشخص است، قرار داده می‌شود. برای گزارش تغییرات دمایی به وجود آمده در کالری متر، ترموکوپلی در کالری متر قرار داده می‌شود. پس از مدتی تعادل گرمایی در داخل کالری متر به وجود می‌آید. دمایی که در آن محتویات کالری متر که شامل آب مقطر و کپسول می‌باشد را دمای تعادل گویند. با استفاده از رابطه (۳) می‌توان گرمای ویژه انگور رشه را محاسبه نمود.

$$C_p = \frac{(H_f + M_{cw} C_w)(T_e - T_{cw}) - H_c(T_m - T_e)}{M_m(T_m - T_e)} \times 100 \quad (3)$$

که در آن C_p = گرمای ویژه انگور رشه ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)، M_m = جرم انگور رشه (g) و T_m = دمای انگور رشه ($^\circ\text{C}$) می‌باشد.

ضریب هدایت حرارتی: برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی انگور رشه از حالت گذرای انتقال حرارت ماده، در این تحقیق استفاده شد. انتقال گرمایی در این روش بر اساس رابطه بین دمای هسته ماده و پوسته آن و مدت زمان سپری شده برای انتقال حرارت از مرکز ماده به پوسته بیرونی آن اندازه گیری می‌شود (Aghbashloo et al., 2008). برای این کار از یک سیم بدون روپوش که به طور طولی از مرکز ماده عبور می‌کرد و مقاومت مشخصی داشت به عنوان منبع گرمایی استفاده شد. خط طولی انتقال حرارت طوری در نظر گرفته می‌شد که در محاسبات بینهایت باشد و انتقال حرارت به صورت شعاعی صورت گیرد. درجه حرارت انتقال یافته از رابطه (۴) محاسبه شد (Casada and Walton, 1989).

$$T - T_0 = -\left(\frac{Q}{4\pi k}\right) Ei\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right) \quad (4)$$

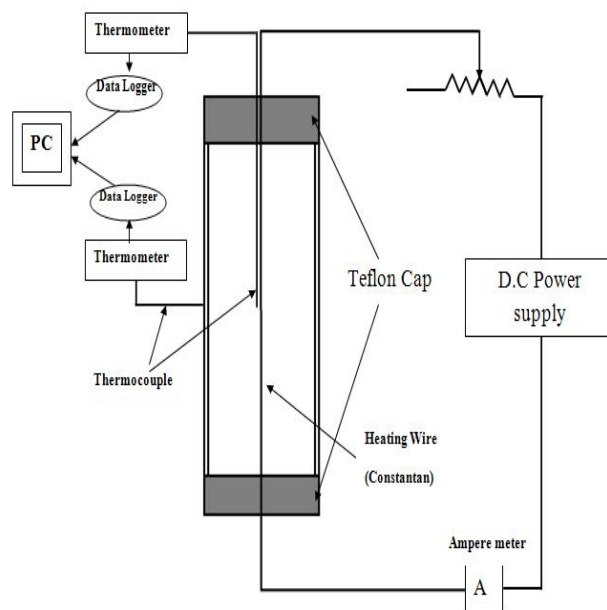
که در آن Q = گرمای تولید شده از منبع تغذیه (W)، k = ضریب هدایت حرارتی ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)، α = پخش حرارتی ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)، T = دمای درونی ماده ($^\circ\text{C}$)، T_0 = دمای بیرونی ماده ($^\circ\text{C}$)، t = زمان انتقال حرارت از درون به بیرون (s) و $Ei(-x)$ = تابع انتگرالی نمایی می‌باشد. رابطه (۴) را می‌توان به صورت زیر نیز بیان نمود.

$$T - T_0 = \left(\frac{Q}{4\pi k}\right) \left\{ \ln\left(\frac{4\alpha}{r^2}\right) - r + \frac{r^2}{4\alpha} - \frac{(-1)^2}{2!} \left(\frac{r^2}{4\alpha}\right)^2 + \dots - \frac{(-1)^n}{n!} \left(\frac{r^2}{4\alpha}\right)^n \right\} \quad (5)$$

(R^2) بالا بود را به عنوان شیب مطلوب در نمودار انتخاب شد (Murakami and Okos, 1988). شیب های با ضریب همبستگی پایین تر از ۰/۹۸۴ به عنوان شیب مطلوب در معادلات انتخاب نگردید. پس از آن با قرار دادن پارامترها در معادله (۹) ضریب هدایت حرارتی انگور رشه در دمای مشخص و رطوبت مشخص به دست آورده شد. لازم به ذکر است که اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی در دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد و محتوای رطوبتی بر پایه تر در ۲۲/۳۶، ۳۷/۵۶، ۵۲/۱۳ و ۷۱/۵۳ درصد انجام گرفت (جدول ۱).

Lutron متصل شدند. اطلاعات به صورت دیجیتالی در رایانه قرار داده می شد. برای اینکه دمای کلی نمونه و استوانه ای که نمونه در آن قرار می گیرد به صورت کامل همسان گردد، نمونه ها به مدت حداقل دو ساعت در آن و در دمای مشخص قرار داده می شد (بر اساس جدول ۱).

پس از آنکه جریان در مدار برقرار شد، داده گیری آغاز می گردید و دمای درون و بیرون استوانه توسط دیتالاگرها با فاصله زمانی یک ثانیه ثبت می شد. داده گیری به مدت پنج دقیقه انجام گرفت. درجه حرارت ثبت شده در مقابل لگاریتم طبیعی زمان سپری شده ترسیم می گردید. قسمتی از نمودار که دارای شیب (S) با ضریب رگرسیون



شکل ۱- شماتیکی از دستگاه اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی انگور رشه

Fig.1. Schematic of the apparatus used for measuring thermal conductivity of Rasa grape

حاصل از آن نیز یک صفحه خواهد بود که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای ارزیابی تأثیر هر کدام از پارامترهای محتوای رطوبتی و دما بر گرمای ویژه انگور رشه، از آنالیز واریانس ANOVA استفاده شد و نتایج در جدول ۲ درج گردید.

مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر به دست آمده از معادله (۱۰) نشان می دهد که این رابطه می تواند به عنوان یک مدل خوب برای پیش بینی گرمای ویژه انگور رشه در دما و محتوای رطوبتی که در محدوده مشخص مورد بررسی قرار گرفت، مناسب باشد (شکل ۳). بیشترین اختلاف بین مدل ارائه شده و مقدار اندازه گیری شده $\pm 0.07 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ می باشد. مقایسه بین مقادیر F نشان می دهد که اثر محتوای رطوبتی محصول بر گرمای ویژه انگور رشه

نتایج و بحث

گرمای ویژه: تغییرات گرمای ویژه انگور رشه در مقابل تغییرات رطوبتی و حرارتی در شکل ۲ نشان داده شده است. گرمای ویژه انگور رشه از مقدار $1/6523 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ تا $3/3253 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر می کند. گرمای ویژه انگور رشه با افزایش میزان محتوای رطوبتی و درجه حرارت افزایش می یابد (شکل ۲). رگرسیون چندگانه در مورد داده ها نشان داد که یک رابطه خطی بین گرمای ویژه (C_p) و دما (T) و محتوای رطوبتی (MC) وجود دارد. این رابطه به صورت معادله (۱۰) نشان داده می شود.

$$C_p = 0.1803 + 0.0220T + 0.0223MC \quad R^2=0.99 \quad (10)$$

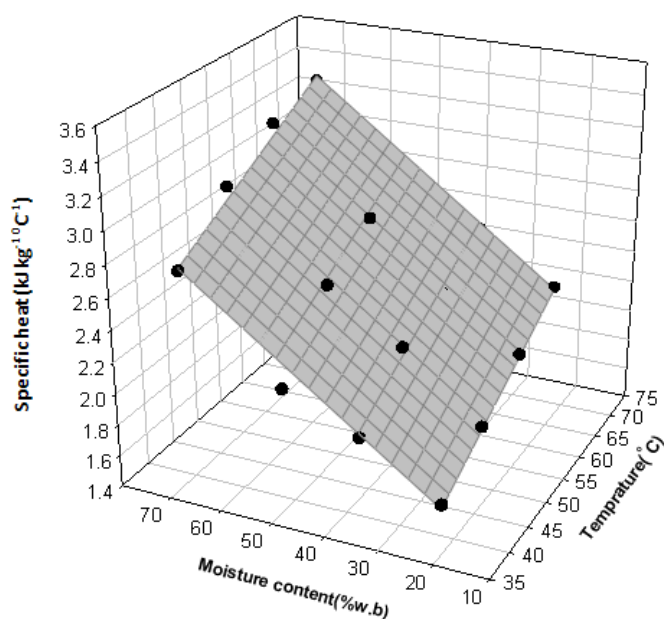
معادله (۱۰) معادله یک صفحه تخت است بنابراین شکل نمودار

معنی دارتر است (جدول ۲). این معنی داری در شکل ۲ نیز قابل مشاهده است.

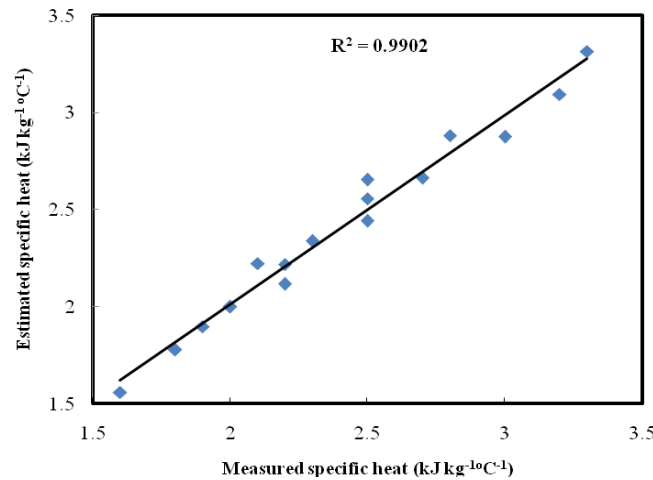
جدول ۲- آنالیز تجزیه واریانس (ANOVA) تأثیر تغییرات محتوای رطوبت و دما بر گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه
Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for effect of moisture content and temperature on specific heat and thermal conductivity of Rasa grape

	منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مجموع مربعات Mean square summation	F-value	P value
گرمای ویژه Specific heat	رگرسیون Regression	2	0.9753***	952.752	0.0000
	محتوای رطوبتی Moisture content	1	1.8260***	1012.590	0.0000
	دما Temperature	1	0.1313***	25.335	0.0006
	باقیمانده Residual	13	0.0016		
	کل Total	15			
ضریب هدایت حرارتی Thermal conductivity	رگرسیون Regression	2	0.0745***	499.563	0.0000
	محتوای رطوبتی Moisture content	1	0.1501***	1125.326	0.0000
	دما Temperature	1	0.0090***	41.237	0.0004
	باقیمانده Residual	13	0.00022		
	کل Total	15			

*** معنی داری در سطح ۱ درصد
 *** Significant level at 1%



شکل ۲- تأثیر محتوای رطوبتی و درجه حرارت بر گرمای ویژه انگور رشه
 Fig.2. Effect of temperature and moisture content on specific heat of Rasa grape



شکل ۳- مقایسه داده‌های گرمای ویژه حاصل از آزمایش و مدل ریاضی برازش شده به داده‌ها
 Fig.3. Estimated specific heat of Rasa grape versus measured values

ویژه زرشک از $1/9653 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $3/2811 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ به صورت خطی افزایش می‌یابد. این افزایش همراه با افزایش سطوح رطوبتی از $19/3$ تا $74/3$ درصد (بر پایه تر) و سطوح حرارتی از 50 تا 70 درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Aghbashloo *et al.*, 2008).

ضریب هدایت حرارتی: ضریب هدایت حرارتی انگور رشه از مقدار $0/1252 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $0/4202 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ با تغییرات محتوای رطوبتی و تغییرات دمایی افزایش می‌یابد (شکل ۴). این افزایش در اثر افزایش محتوای رطوبتی و دمای انگور رشه که سطوح آنها در جدول ۱ معرفی شد؛ می‌باشد. آنالیز رگرسیون چندگانه نشان داد که یک رابطه خطی بین ضریب هدایت حرارتی (k)، محتوای رطوبتی (MC) و درجه حرارت (T) انگور رشه وجود دارد.

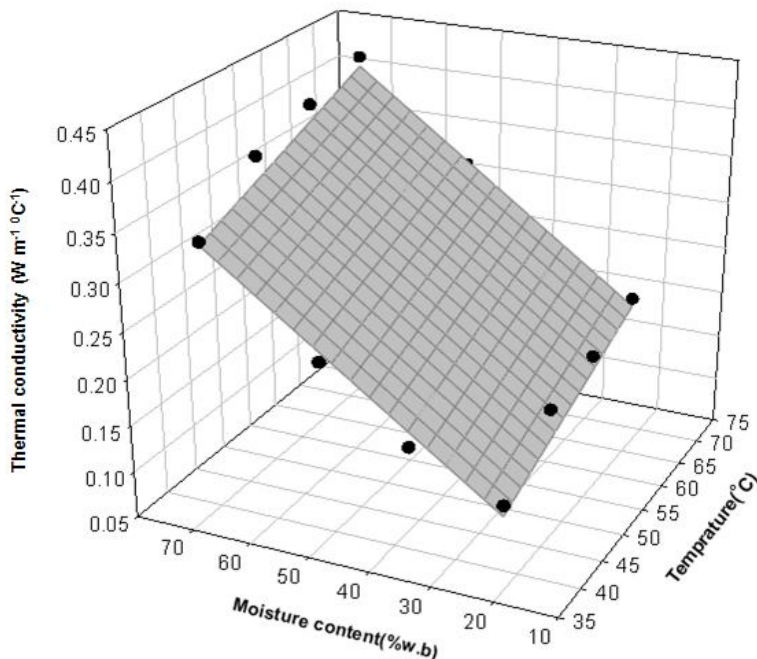
$$k = -0.1022 + 0.0028T + 0.0044MC \quad (11)$$

$$R^2 = 0.9$$

نتایج ترسیم تابع سه بعدی تغییرات ضریب هدایت حرارتی انگور رشه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، سطحی که به این داده‌ها برازش شده به صورت خطی می‌باشد. آنالیز تجزیه واریانس این داده‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که محتوای رطوبتی انگور رشه نسبت به دمای آن تأثیر معنی داترتری بر تغییرات ضریب هدایت حرارتی انگور رشه داشته است. برای به دست آوردن دقت و درستی مدل ریاضی برازش شده به داده‌های آزمایشگاهی، مقایسه‌ای بین داده‌های به دست آمده از مدل ریاضی و داده‌های آزمایشگاهی انجام گرفت که نتیجه آن در شکل ۵ قابل مشاهده است. ضریب همبستگی به دست

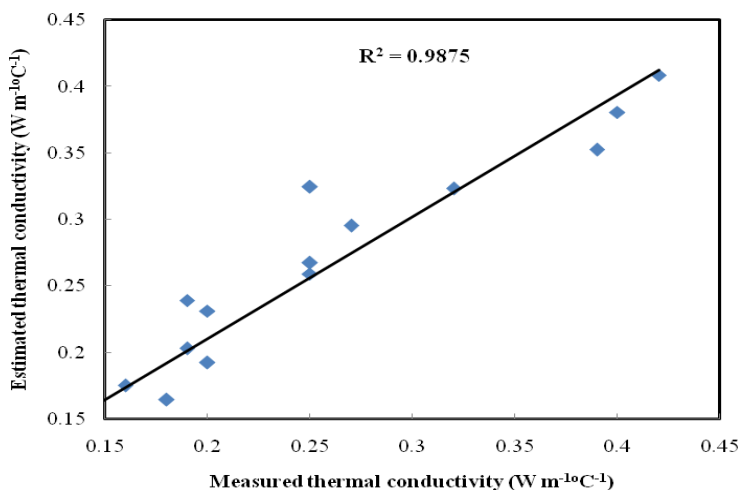
افزایش گرمای ویژه انگور رشه با افزایش محتوای رطوبتی و دمای انگور رشه با نتایجی که محققان از قبل در مورد محصولات دیگر انجام داده‌اند، مطابقت دارد. گرمای ویژه گندم قرمز بهاره با افزایش محتوای رطوبتی از 1 تا 23 درصد پایه خشک و افزایش درجه حرارت از $33/5$ تا $21/8$ درجه سلسیوس از $1/054 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $2/521 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تغییر کرده و یا به عبارتی افزایش پیدا کرد. گرمای ویژه سیوس گندم با افزایش محتوای رطوبتی از $4/3$ تا 18 درصد و درجه حرارت از 38 تا 63 درجه سلسیوس به طور خطی از $1/702 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $2/189 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش پیدا می‌کند (Narain *et al.*, 1978; Sreenarayanan and Chattopdhayay, 1986). مطالعه‌ای که بر روی قارچ‌ها صورت گرفته است نشان داد با افزایش محتوای رطوبتی و درجه حرارت به ترتیب از $10/24$ تا $89/68$ درصد و 40 تا 70 درجه سانتی‌گراد گرمای ویژه قارچ از $1/2158 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $3/9498 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Shrivastava and Datta, 1999). نتایج مطالعات در مورد خواص حرارتی زیره سبز نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی و درجه حرارت، گرمای ویژه زیره سبز به صورت یک منحنی درجه دو افزایش می‌یابد. این مقدار افزایش از $1/330 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ تا $3/090 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ برای سطوح رطوبتی از $1/8$ تا $20/5$ درصد (بر پایه خشک) و سطح حرارتی از 70 تا 50 درجه سلسیوس می‌باشد. استثنایی برای سطح رطوبتی $20/5$ درصد گزارش شده است که در آن این افزایش به صورت خطی است. همچنین آغباشلو و همکاران (۲۰۰۸)، در مورد گرمای ویژه زرشک مطالعه‌ای صورت دادند. نتایج آنها نشان می‌داد که گرمای

آمده ۹۸/۷۱ می‌باشد. بیشترین اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های به دست آمده از مدل بین $\pm 0.270 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ می‌باشد.



شکل ۴- تأثیر محتوای رطوبتی و درجه حرارت بر ضریب هدایت حرارتی انگور رشه

Fig.4. Effect of temperature and moisture content on the thermal conductivity of Rasa grape



شکل ۵- مقایسه داده‌های ضریب هدایت حرارتی حاصل از آزمایش و مدل ریاضی برازش شده به داده‌ها

Fig.5. Estimated thermal conductivity of Rasa grape versus measured values

محصول در اثر افزایش درجه حرارت از -6 تا 20 درجه سانتی‌گراد و محتوای رطوبتی از $4/4$ تا $25/5$ درصد، از مقدار 0.1382 تا $0.167 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aghbashloo *et al.*, 2008). شیرواستاوا و داتا (۱۹۹۹) ضریب هدایت حرارتی قارچ را

افزایش ضریب هدایت حرارتی انگور رشه در اثر افزایش محتوای رطوبتی و افزایش درجه حرارت انگور رشه با نتایجی که از تحقیقات محققان دیگر به دست آمده مطابقت و هم خوانی دارد. نتایج تحقیق بر روی گندم قرمز بهاره نشان داد که ضریب هدایت حرارتی این

افزایش محتوای رطوبتی از ۱۰/۲۴ تا ۸۶/۶۸ درصد (بر پایه تر) و درجه حرارت از ۴۰ تا ۷۰ درجه، ضریب هدایت حرارتی از $W m^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ تا $۰/۴۸۹۸ W m^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ افزایش می‌یابد (Aghbashloo et al., 2008).

نتیجه گیری

نتایج مطالعه و تحقیق روی گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی انگور رشه نشان می‌دهد که مطابقت معنی داری بین نتایج به دست آمده از این تحقیق و نتایج دیگران که بر روی محصولات دیگر انجام شده است؛ وجود دارد. گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی با افزایش رطوبت در سطوح ذکر شده در مقاله به ترتیب از $۱/۶۵۲۳ \text{ } ^\circ C^{-1} \text{ } kJ kg^{-1}$ تا $۳/۳۲۵۳ \text{ } ^\circ C^{-1} \text{ } kJ kg^{-1}$ و از $۰/۱۲۵۲ \text{ } ^\circ C^{-1} \text{ } W m^{-1}$ تا $۰/۴۲۰۲ \text{ } ^\circ C^{-1} \text{ } W m^{-1}$ تغییر می‌کند. خصوصیات حرارتی یک منبع بسیار مفید در طراحی، تجهیز و بهینه سازی دستگاه‌هایی که به نوعی با حرارت سر و کار دارند (مانند خشک کن‌ها) می‌باشد. همچنین این اطلاعات در طریقه استفاده نمودن از تجهیزات فرآوری و خشک نمودن محصول مؤثر واقع خواهد بود.

مورد ارزیابی و آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی از ۱۰/۲۴ تا ۸۶/۶۸ درصد (بر پایه تر) و درجه حرارت از ۴۰ تا ۷۰ درجه، ضریب هدایت حرارتی از $W m^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ تا $۰/۲۰۸۴ \text{ } ^\circ C^{-1}$ تغییر می‌کند. ضریب هدایت حرارتی زیره سبز با افزایش درجه حرارت و محتوای رطوبتی بر پایه خشک به ترتیب از ۵۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۱/۸ تا ۲۰/۵ درصد، به صورت یک تابع درجه دو از $۰/۲۲۳ \text{ } ^\circ C^{-1} \text{ } W m^{-1}$ تا $۰/۴۶ \text{ } ^\circ C^{-1} \text{ } W m^{-1}$ افزایش می‌یابد (Singh and Goswami, 2000). برای به دست آوردن ضریب هدایت حرارتی در هر سطح رطوبتی و هر سطح دمایی یک معادله درجه دو به صورت صعودی پیشنهاد شد. مطالعات در مورد ضریب هدایت حرارتی کاساو، سبب زمینی هندی و موز سبز نشان داد که ضریب هدایت حرارتی هر سه محصول با افزایش محتوای رطوبتی محصول و دمای آنها افزایش می‌یابد (Van der held and Van Drunen, 1949). آغباشلو و همکاران (۲۰۰۸)، با مطالعه بر روی خواص حرارتی زرشک دریافتند که با افزایش محتوای رطوبتی زرشک از ۱۹/۳ تا ۷۴/۳ درصد (بر پایه تر) و دمای زرشک از ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد، ضریب هدایت حرارتی زرشک از $W m^{-1}$

منابع

1. Aghbashloo, 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. 2001. Moisture dependence of thermal properties of shea-nut kernel. *Food Engineering* 47:109-113.
3. AOAC, 1980. "Official methods of analysis". AOAC, 13th edition, No. 22.013, p. 361.
4. Baryeh, E. A. 2001. Physical properties of bambara groundnuts. *Food Engineering* 47: 321-326.
5. Casada, M. E., and L. R. Walton. 1989. Thermal conductivity of baled burley tobacco. *Transactions of ASAE* 32 (2): 977-982.
6. Chandra, S., and W. E. Muir. 1971. Thermal conductivity of Spring Wheat at low temperatures. *Transactions of ASAE* 14(4): 644-648.
7. Dhanalakshmi, S., R. Agarwal, and C. Agarwal. 2003. Inhibition of NF-kappa pathway in grape seed extract-induced apoptotic death of human prostate carcinoma DU145 cells. *International Journal of Oncology*, 23: 721-727.
8. Doymaz, I. 2005. Influence of pretreatment solution on the drying of sour-cherry. *Food Engineering* 78: 591-596.
9. Dutta, S. K., V. K. Nema, and R. K. Bhardwaj. 1988. Thermal Properties of Gram. *Agricultural Engineering Research* 39: 269-275.
10. Karami, M. J. 2003. Introduction and description of major characteristics of non-irrigated grape cultivars grown in Kurdistan. *Central Institute of Research of Agriculture and Natural Resource of Kurdistan*, 21(4): 577-596.
11. Kouchakzade, A., and T. Tavakoli. 2009. The effect of moisture and temperature on thermo physical properties of iranian pistachios. *World Applied Sciences Journal* 7(12): 1552-1558.
12. Kweon, S., Y. Kim, and H. Choi. 2003. Grape extracts suppress the formation of preneoplastic foci and activity of fatty acid synthase in rat liver. *Experimental and Molecular Medicine* 35: 371-378.
13. Mohsenin, N. N. 1980. *Thermal properties of foods and agricultural materials*. 1st Edn. New York, Gordon and Breach.
14. Muir, W. E., and E. Viravanichai. 1972. Specific heat of wheat. *Agricultural Engineering Research* 17: 338-342.

15. Murakami, E. G., and M. R. Okos. 1988. Measurement and prediction of thermal properties of foods. In food properties and computer-aided engineering of food processing systems, eds. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.
16. Narain, M., S. S. C. Bose, M. Jha., and V. K. Dwivedi. 1978. Physicothermal Properties of Rice Bran. *Food Science and Technology* 15(1): 18-19.
17. Razavi, S. M. A., and M. Taghizadeh. 2007. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. *Food Engineering* 79: 158-167.
18. Razavi, M. A., and M. Fathi. 2009. Moisture-dependent physical properties of Grape (*Vitis vinifera* L.) seed. *Philipp Agriculture Scientist* 92(2): 201-212.
19. Shrivastava, M., and A. K. Datta. 1999. Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus Forida*). *Food Engineering* 39: 255-260.
20. Singh, K. K., and T. K. Goswami. 2000. Thermal properties of Cumin seed. *Food Engineering* 45: 181-187.
21. Sovak, M. 2001. Grape extract, resveratrol and Vts analogs: a review. *Medicinal Food* 4: 93-105.
22. Sreenarayanan, V. V., and P. K. Chattopadhyay. 1986. Specific heat of Rice Bran. *Agricultural Wastes* 16: 217-224.
23. Subramanian, S., and R. Viswanathan. 2003. Thermal properties of minor millet grains and flours. *Biosystems Engineering* 84(3): 289-296.
24. Tabil, L. G. 1999. Specific heat of agricultural and food materials. Research report, Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada.
25. Tamura, H., and M. Matsui. 2000. Inhibitory effects of green tea and grape juice on the phenol sulfotransferase activity of mouse intestines and human colon carcinoma cell line, Caco2. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 23: 695-699.
26. Van der Held, E. F. M., and F. G. Van Drunen. 1949. A method of measuring the thermal conductivity of liquids. *Physical*, 15: 865-881.