

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر فرآیند حرارتی اهمیک بر خواص حرارتی غلاف لوبیا سبز

آرش رخبین^۱، محسن آزاد بخت^{۲*}، علی اصغری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۲)

چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر گرمایش اهمیک بر برخی خواص حرارتی غلاف لوبیا سبز به منظور بهبود بخشیدن فرآیند فرآوری این محصول و جایگزین کردن این روش در بخش صنعتی و افزایش بهره‌وری آن پرداخته شد. در ابتدا، رطوبت غلاف لوبیا سبزه‌ها تعیین شد. در این پژوهش از یک جعبه شیشه‌ای و با استفاده از رگولاتور ولتاژ در سه ولتاژ ۷، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و در سه زمان ۳، ۶، ۹ جوشاندن در جعبه شیشه‌ای تغییرات وزن اندازه‌گیری و با استفاده از ثبت کننده داده، تغییرات دما ثبت شد. سپس خواص حرارتی غلاف شامل: ظرفیت گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ضریب پخش حرارتی جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر دو عامل مورد مطالعه یعنی مدت زمان گرمایش اهمیک و مقدار ولتاژ تأثیر معنی‌داری بر روی گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتشار حرارتی داشتند، بدین صورت که گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی روند افزایشی و ضریب انتشار حرارتی روند کاهشی داشتند به طوری که بیشترین مقدار گرمای ویژه در ولتاژ ۷ و زمان ۹ min است که مقدار آن $0.923 \text{ kJkg}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ و کمترین مقدار گرمای ویژه در ولتاژ ۷ و زمان ۳ min که مقدار آن $0.190 \text{ kJkg}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ به دست آمد، در بحث ضریب هدایت حرارتی بالاترین ضریب هدایت حرارتی در ولتاژ ۷ و زمان ۹ min که مقدار آن $0.513 \text{ Wm}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ و کمترین ضریب هدایت حرارتی در ولتاژ ۷ و زمان ۳ min دقیقه که مقدار آن برابر با $0.150 \text{ Wm}^{-1}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ است و همچنین در بحث ضریب انتشار حرارتی بیشترین مقدار مربوط به ولتاژ ۷ و زمان ۳ min که برابر با $7/2 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ و کمترین ضریب انتشار حرارتی برابر با $1/2 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ که مربوط به ولتاژ ۷ و زمان ۹ min بود.

کلید واژه‌ها: لوبیا سبز، حرارت دهی اهمیک، گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی، ضریب انتشار حرارتی

۱. مقدمه

در این زمان از گرمایش اهمیک برای پاستوریزه کردن شیر استفاده می‌کردند که به فرایند الکتروپور نام گرفت [۵]. در حال حاضر از روش اهمیک به عنوان یک روش حرارت دهی برای گرم کردن، استریل کردن و پاستوریزه کردن مواد غذایی، سبزی‌ها و محصولات گوشتی استفاده می‌شود [۶-۷]. این فرآیند براساس استفاده از مقاومت الکتریکی غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع گرمایش اهمیک به عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که در آن جریان الکتریکی از میان بافت ماده‌ی غذایی به منظور حرارت دهی به آن، عبور داده می‌شود. از آنجایی که در این روش، هنگام اعمال شدن فرایند، حرارت به طور همزمان و مستقیماً در تمامی مولکول‌های ماده‌ی غذایی پخش می‌شود در نتیجه نیازی به انتقال حرارت از سطح مشترک جامد - مایع یا به درون ذرات جامد غذا وجود ندارد. در واقع حرارت‌دهی اهمی یک روش فرآوری حرارتی پیشرفته است که در آن مواد غذایی به عنوان مقاومت الکتریکی عمل می‌کند که به وسیله عبور جریان الکتریسیته از درون آن گرم می‌شود. مقدار گرمای پراکنده به طور مستقیم با ولتاژ اعمال شده و رسانایی الکتریکی محصول مرتبط است [۸-۹]. این فرآیند را می‌توان برای تولید گرما درون محصول استفاده کرد، انرژی الکتریکی را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند و در نتیجه حرارت مواد را در سرعت‌های بالا بدون نیاز به یک محیط گرم یا سطح گرم می‌کند. این فرآیند از آسیب‌های حرارتی بیش از حد به مواد مغذی مانند ویتامین‌ها و رنگدانه‌ها جلوگیری می‌کند [۱۰]. پژوهشگران متعددی به بررسی این روش بر روی میوه‌ها و گوشت‌ها در بخش رسانای الکتریکی پرداختند. این محققین وابستگی طراحی اثر بخش سیستم گرمایش اهمی به ضریب هدایت الکتریکی ماده غذایی را بیان کردند. پژوهشگران در تحقیقی به بررسی تأثیر گرمایش اهمی بر هدایت الکتریکی میوه پرداختند که در این تحقیق اثر تغییرات دما بر هدایت الکتریکی میوه‌های تازه هلو، سیب گلدن، سیب قرمز، توت فرنگی و آناناس مورد ارزیابی قرار گرفت. از میوه‌های انتخابی نمونه‌های استوانه‌ای شکل جدا و بین دو الکترود قرار داده شدند که نتیجه این پژوهش چنین بود که با توجه به گرمای ایجاد شده توسط سیستم گرمایش اهمیک این گرما با افزایش زمان افزایش پیدا می‌کند که باعث افزایش دما و

در بین حبوبات از نظر سطح زیرکشت و ارزش اقتصادی مقام اول متعلق به لوبیا سبز^۱ که در بین گیاهان تجارتي دارای بیشترین مقدار پروتئین است. مطالعات انجام شده نشان داده که پروتئین گیاه به سرعت در میوه‌ها به خصوص در بذرها جمع می‌شود. در فاصله ۵۲ تا ۶۰ روزگی گیاه هر روز ۱۷ mg پروتئین به گیاه افزوده می‌شود. تجمع پروتئین در بذرها در نتیجه انتقال از برگ‌هاست زیرا ظرفیت فتوسنتزی غلاف پایین است [۱]. لوبیا سبز یک گیاه سالم، گیاهی متعلق به خانواده بقولات است که پرورش گونه آن از منطقه آمریکای مرکزی و جنوبی سرچشمه گرفته است. امروزه در بسیاری از نقاط جهان لوبیا سبز کشت می‌شود که به صورت رسیده یا نرسیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. لوبیا سبز حاوی ویتامین C و فیبرهای غذایی، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و مواد معدنی است [۲]. به دمای مطلوب ۲۰ °C تا ۲۵ در طول دوران زایشی سازگار است [۳]. امروزه با توجه به بالا رفتن جمعیت جهان و افزایش تقاضا و مصرف، نیاز به محصولات کشاورزی بیشتر شده است بنابراین برای تولید مواد غذایی از جمله سبزی‌ها نیاز به تحقیق بیشتری است. سبزی‌ها دارای منابع غذایی با ارزشی مانند مواد معدنی ویتامین و عناصر ضروری هستند لوبیا سبز هم یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است و با توجه به مصرف وسیع آن در انواع غذا و صنعت کنسرو سازی و اهمیت اقتصادی و غذایی آن باعث شده است محققین تحقیقات زیادی را از گذشته بر روی آن انجام دهند [۴]. اطلاع از ویژگی خواص حرارتی مواد غذایی از جمله گرمای ویژه، ضریب انتشار حرارتی و ضریب هدایت حرارتی در بخش مهندسی صنایع غذایی ضروری است. به منظور بررسی و کنترل مراحل جابجایی از قبیل فرآیند حرارتی و خشک کردن، به ویژه در فرآیندهای انتقال حرارت در مایعات، اطلاع از ضریب هدایت حرارتی و انتشار حرارتی از اهمیت بالایی برخوردار است. تکنولوژی گرمایش اهمیک اولین بار در قرن نوزدهم استفاده شد ولی کاربرد تجاری بسیار موفق آن در فرایند حرارتی مواد غذایی از دهه ۱۹۰۰ به بعد شکل گرفت

1. Phaseolous vulgaris

روش حرارتی خطی حاصل شد، گرمای ویژه از روش مخلوط به دست آمد و ضریب انتشار توسط فرمول محاسبه شد. نتایج نشان داد که تغییرات رقم و زمان نمونه برداری بر ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتشار در سطح احتمال ۱٪/ معنی دار بود. تغییرات ارقام کلزا در سطح احتمال ۱٪ و تغییر زمان نمونه برداری در سطح احتمال ۵٪ در گرمای ویژه معنی دار بود. همچنین اثرات متقابل بین تغییرات ارقام کلزا و زمان بر ضریب رسانایی و ضریب انتشار حرارتی در سطح احتمال ۱٪ مؤثر بود و بین خواص حرارتی و تخلخل رابطه معنی داری در سطح احتمال ۵٪ مشاهده شد [۱۳].

بنابراین با توجه به اهمیت و ارزش غذایی بالای لوبیا سبز این پژوهش با این هدف بررسی شد که گرمایش اهمیت می‌تواند بر برخی خواص حرارتی غلاف لوبیا سبز اثر بگذارد و از این روش به عنوان یک روش جایگزین در بخش فرآوری این محصول در بخش صنعتی و افزایش بهره‌وری آن استفاده کرد.

۲. مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه:

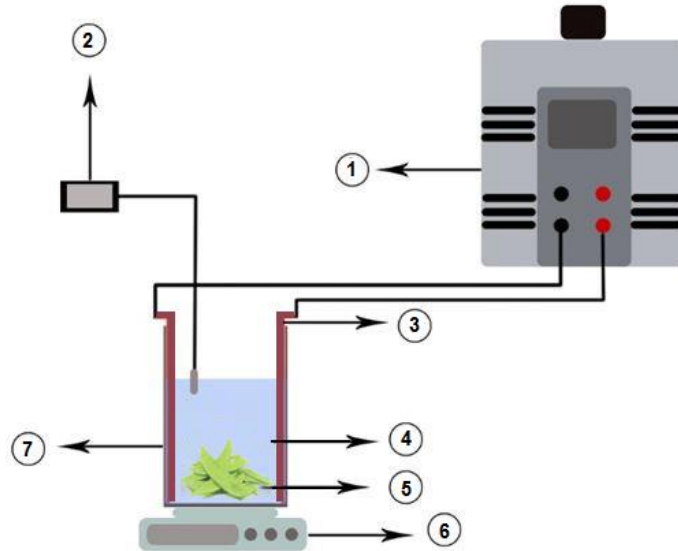
لوبیا سبزه‌ها از بازار محلی تهیه شدند و به منظور تعیین سطح رطوبت آنها به آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برده شده و غلاف‌ها را از دانه جدا کرده و درون آون قرار داده شدند. نمونه‌ها در دمای °C ۱۰۳ به مدت ۵ h درون آون قرار گرفت و سپس رطوبت آنها در این آزمایش بر اساس استانداردها اندازه‌گیری شد [۱۴]. برای انجام آزمون سیستم حرارت دهی اهمیت هریک از این نمونه‌ها به مدت ۳، ۶ و ۹ در ولتاژهای ۷، ۵۰، ۳۰ v در این سیستم قرار داده شد و ۳ تکرار برای اندازه‌گیری خواص حرارتی در نظر گرفته شد.

۱.۲ گرمایش اهمیت

نمونه‌های غلاف لوبیا سبز بعد از مرتب سازی برای قرار گرفتن در سیستم گرمایش اهمیت آماده شدند. در سیستم گرمایش اهمیت از جعبه‌ی شیشه‌ای مستطیل شکل با ضخامت ۱۰ mm با ابعاد (طول ۱۱ cm، عرض ۸ cm، ارتفاع ۱۵ cm) و دو الکتروود از جنس استیل ضد زنگ با

هدایت الکتریکی می‌شود [۱۱]. آزادبخت و همکاران به بررسی تأثیر گرمایش تیمار اهمیت بر برخی ویژگی‌های مکانیکی پسته دهان بسته پرداختند که در این تحقیق تأثیر رقم پسته (اکبری، احمدآقایی و فندق)، جهت بارگذاری (عمودی- افقی) و مدت زمان اهمیت (۳، ۶ و ۹) بر روی ویژگی‌های مکانیکی پسته، شامل انرژی شکست، بیشینه نیرو، مقاومت شکست، چقرمگی و توان مصرفی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS تحلیل شد. نتایج این پژوهش نشان داد مدت زمان اهمیت و جهت بارگذاری برای نیروی شکست، انرژی شکست، چقرمگی و مقاومت شکست از لحاظ آماری معنی دار شده است و رقم پسته فقط برای انرژی و نیروی شکست معنی دار شده بود. برای ویژگی توان مصرفی هیچ‌کدام از فاکتورها معنی دار نشده بود. همچنین با افزایش مدت زمان گرمایش اهمیت مقدار نیروی شکست نمونه‌های رقم اکبری، احمد آقایی و فندق از ۳۱۲/۶ N، ۳۰۳/۷۵، ۲۶۱/۷۶ که برای شاهد بود به ۱۲۵/۷۶ N، ۱۳۸/۶۸، ۱۸۹/۶۵ کاهش یافت. به همین ترتیب رقم‌ها برای انرژی شکست از ۲۲۸/۰۶ J به ۲۲۸/۰۶ J، ۱۳۹ J، ۱۲۰/۹ J و ۱۸/۱۴ و در مقاومت شکست از ۶/۸۴ N.m^۲، ۶/۹۹ و ۷/۳۳ به ۲/۸۰ N.m^۲، ۵/۴۰ و ۴/۹۲ و در نهایت برای چقرمگی از ۰/۳۵۳ J.m^{-۳}، ۰/۳۴۳ و ۰/۲۴۷ به ۰/۲۴۷ J.m^{-۳}، ۰/۱۶۷ و ۰/۲۴۷ و ۰/۲۲۰ بوده است که در زمان اهمیت ۹ min به دست آمده است. همچنین با بارگذاری به صورت عمودی نیروی شکست نسبت به حالت افقی کمتر شد. برای گرمایش اهمیت با زمان ۹ min کمترین نیروی شکست و ویژگی‌های مکانیکی دیگر برای خندان شدن و زمان‌های ۶ min و ۳ دارای مقدار نیروی شکست بیشتری و ویژگی‌های مکانیکی دیگر برای خندان شدن نسبت به نمونه‌های بدون گرمایش اهمیت همراه بود [۱۲]. قجرجزی و همکاران در بحث خواص حرارتی به بررسی خصوصیات حرارتی غلاف‌های کلزا پرداختند که شامل ضرایب هدایت حرارتی، انتشار حرارتی و گرمای ویژه و ترکیب شیمیایی بود. آزمایش‌ها در سه سطح از ارقام کلزا معمولی کشت شده در شمال ایران (Hyola 50، Hyola 401 و Hyola 420) انجام شد. ضریب رسانایی از

ابعاد ۱۵×۸ cm و برای تنظیم ولتاژ از رگولاتور ولتاژ مدل 1000W regulator, voltage range 0-250V استفاده شد. نمونه‌ها در ۳ سطح ولتاژ ۷، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و در سه سطح زمان ۳، ۶، ۹ مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل ۱).



شکل (۱) سیستم گرمایش اهمیک غلاف‌های لوبیا سبز: ۱- رگولاتور ولتاژ ۲- ترموکوپل ۳- الکترود استیل ضد زنگ ۴- آب مقطر ۵- نمونه غلاف لوبیا

سبز ۶- ترازو دیجیتال ۷- محفظه‌ی شیشه‌ای سیستم گرمایش اهمیک

Fig 1. Green bean pod ohmic heating system: 1- Voltage regulator 2- Thermocouple 3- Stainless steel electrode 4- Distilled water 5- Green bean pod sample 6- Digital scale 7- Glass ohmic heating system

۳- ظرفیت گرمایی کالریمتر در محدوده دمای مورد مطالعه

ثابت می‌ماند.

به منظور تعیین ظرفیت گرمایی ویژه محصول ابتدا باید ظرفیت گرمایی ویژه کالریمتر را تعیین کرد.

۲.۲.۲. تعیین ظرفیت گرمایی کالریمتر

از آنجا که جنس ظرف کالریمتر ترکیبی از شیشه، فلز و مواد عایق است، تعیین ظرفیت گرمایی ویژه آن، از طریق آزمایش بسیار راحت‌تر و دقیق‌تر از تعیین آن با استفاده از اندازه‌گیری جرم و ظرفیت گرمایی ویژه تک تک اجزای سازنده آن است. به منظور تعیین ظرفیت گرمایی کالریمتر (H_{cal}) مقداری آب مقطر به جرم m_c در داخل کالریمتر ریخته و پس از رسیدن کالریمتر و آب به تعادل، دمای تعادل (T_c) اندازه‌گیری شد. سپس مقداری آب مقطر گرم‌تر با دمای T_h و جرم m_h به آن اضافه شد. پس از رسیدن سیستم

۲.۲ خواص حرارتی

ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه و ضریب انتشار حرارتی غلاف لوبیا سبز پس از تیمار اهمیک تعیین گردید.

۱.۲.۲. اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی ویژه به روش

مخلوط‌ها

با توجه به روش مختلف برای تعیین ظرفیت گرمایی ویژه محصولات کشاورزی و مواد غذایی متداول‌ترین روش مورد استفاده به سبب سادگی و دقت مطلوب روش مخلوط‌ها است. لذا در این تحقیق از روش مخلوط‌ها برای تعیین ظرفیت گرمایی ویژه غلاف لوبیا استفاده شد. برای استفاده از این روش فرضیات زیر را باید در نظر گرفت:

۱- در انتقال نمونه به کالریمتر هیچ اتلاف حرارتی نداریم.

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

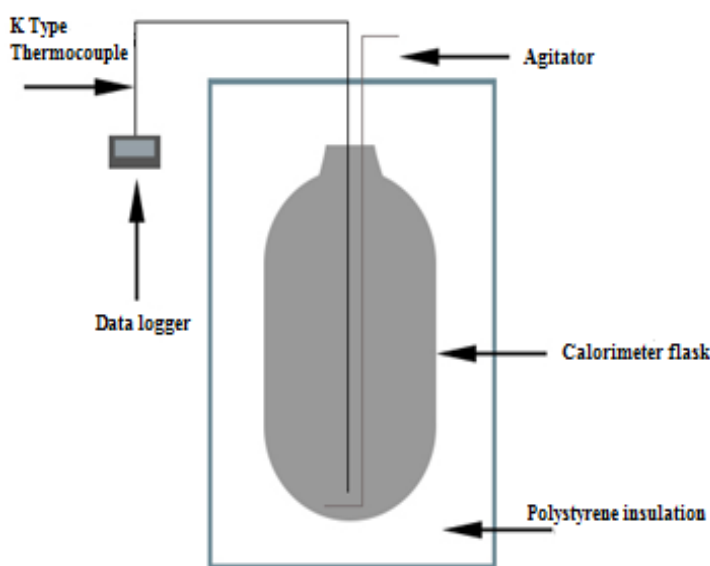
(۲) به دمای تعادل (T_e) ظرفیت گرمایی کالریمتر (H_{cal}) با استفاده از رابطه ۱-۲ به دست آمد. فرض بر این است که سیستم آدیاباتیک بوده و اتلاف حرارتی در مدت زمان رسیدن به تعادل ناچیز است.

(۱)

$$H_{cal} = \frac{m_h C_w (T_h - T_e) - m_c C_w (T_e - T_c)}{(T_e - T_c)}$$

$$m_{cal} C_{cal} = H_{cal}$$

در این رابطه C_w گرمای ویژه متوسط آب در دامنه دمایی مورد نظر و معادل $4.18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ می باشد [۱۵]. ظرفیت گرمایی کالریمتر مورد استفاده با استفاده از روش فوق و در ۳ تکرار اندازه گیری شد.



شکل (۲) طرحواره کالریمتر
Fig 2. Schematic calorimeter

۳.۲.۲. اندازه گیری گرمای ویژه غلاف لوبیا سبز

برای اندازه گیری گرمای ویژه غلاف لوبیا سبز در فشار ثابت ابتدا کالریمتر (شکل ۳) را درون یخچال گذاشته شد و سرد شد. به این ترتیب گرمای اندک از دست رفته قابل چشم پوشی است. ۲۰۰ g آب مقطر را در دمای 100°C جوشانده و درون کالریمتر ریخته شد. سپس دمای آن اندازه گیری و ثبت گردید. سپس حدود ۱۰ g از نمونه در دمای مورد نظر (دمای محیط) درون کالریمتر ریخته شد. به مخلوط اجازه داده شد تا به تعادل دمایی برسد. گرمای ویژه لوبیا سبز از رابطه تعادلی بین گرمای گرفته شده یا تلف شده توسط آب و کالریمتر و گرمای کسب شده یا از دست رفته توسط نمونه محاسبه شد.

۴.۲.۲. ضریب هدایت حرارتی

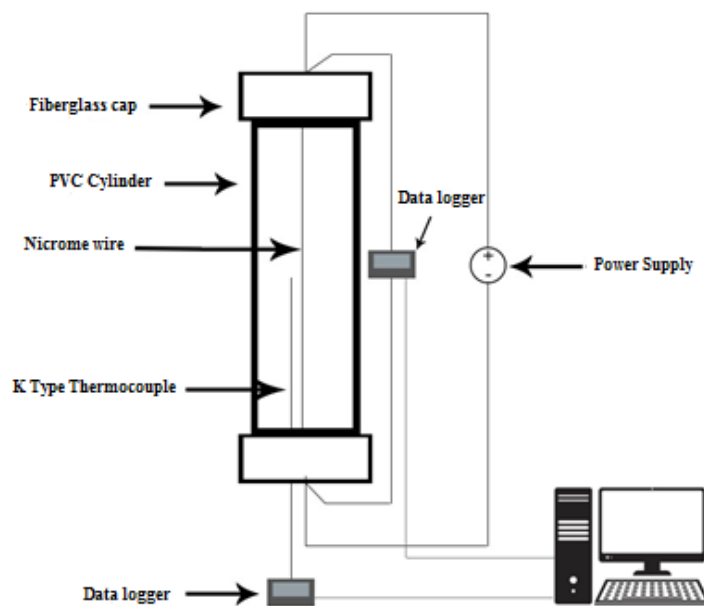
دستگاه آزمایشی انتقال حرارت گذرا (شکل ۴)، از یک منبع حرارت خطی در استوانه PVC (ارتفاع و 300 mm قطر داخلی) ساخته شد. بالا و پایین سیلندر با صفحه فایبر گلاس به ضخامت 10 mm بسته شد. سیم نیکروم با قطر 0.127 mm در طول محور اصلی سیلندر قرار داده شد و سیم نیکروم به یک منبع قدرت DC قابل تنظیم وصل شد ($127-1.5 \text{ mA}$) [۱۶]. به منظور اندازه گیری خط مرکزی، از یک ترموکوپل نوع K متصل دیتا لاگر ۴ کاناله استفاده گردید که بر روی یک پایه به فاصله 12 mm از منبع خط حرارت قرار گرفت. در طول انجام آزمایش این فرض باید باشد که دمای نگهدارنده نمونه باید ثابت باشد،

استفاده از رابطه (۳) تعیین گردید [۱۸].
(۳)

$$k = \frac{I^2 R}{4\pi s}$$

که در این رابطه k ضریب هدایت حرارتی ($Wm^{-1}C^{-1}$)، I شدت جریان ورودی به منبع حرارتی و s را می‌توان از رگرسیون خطی بین $T-T_0$ در برابر $\ln(t)$ به دست آورد.

بنابراین یک ترموکوپل نوع K در سطح بیرونی محفظه بود که اطلاعات دما را نشان می‌داد [۱۷]. با توجه به داده‌های خروجی دیتالاگر که دما در هر ثانیه در کامپیوتر ثبت شد، در طول مدت آزمایش که ۴۵۰ s بود، نمودار مقدار دما در لگاریتم طبیعی زمان رسم گردید. شیب نمودار و ضریب تبیین (R) برای هر نمونه اندازه‌گیری شد. پس از اینکه ضریب زاویه نمودار به دست آمد، ضریب هدایت حرارتی با



شکل (۳) طرحواره منبع حرارتی خطی
Fig 4. Schematic of linear heat source

۳.۲. تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و نرم‌افزار SAS استفاده شد و همچنین مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. خواص حرارتی غلاف لوبیا سبز

۱.۱.۳. گرمای ویژه

طبق جدول (۱) نتایج آنالیز واریانس اثر ولتاژ، زمان و اثر متقابل ولتاژ \times زمان اهمیت بر روی گرمای ویژه غلاف لوبیا

۵.۲.۲. ضریب انتشار حرارتی

ضریب انتشار حرارتی غلاف لوبیا سبز با رابطه زیر به دست آمد [۱۹، ۱۷، ۲۲].

(۴)

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

α ضریب انتشار حرارتی m^2s^{-1} ، K ضریب هدایت حرارتی گرمایی ($W.m^{-1}C^{-1}$)، ρ چگالی توده (kgm^{-3})، C گرمای ویژه ($Jkg^{-1}C^{-1}$).

سبز نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود، بنابراین اقدام به مقایسه میانگین با آزمون LSD گردید و نتایج در نمودارهای زیر آمده است.

جدول (۱) نتایج آنالیز واریانس اثر ولتاژ، زمان اهمیک بر گرمای ویژه دانه لوبیا سبز

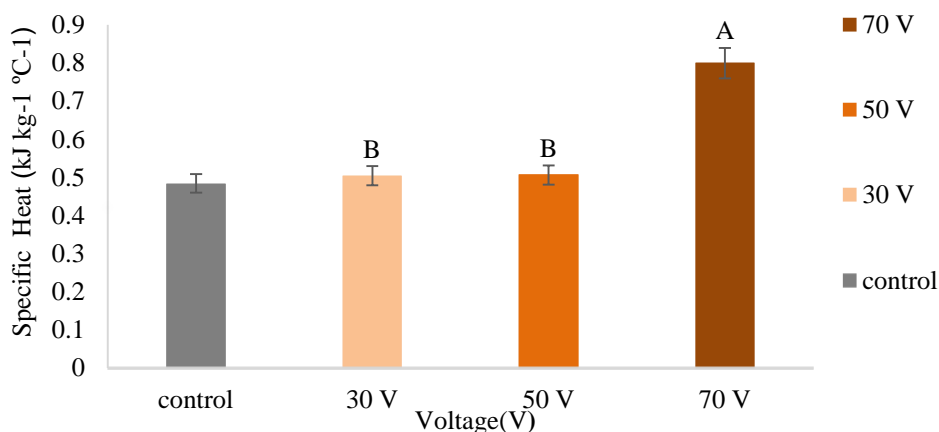
Table 1. Results of analysis of variance of the effect of voltage, ohmic time on the specific heat of the green bean pod

| مقدار F F value | میانگین مربعات Mean square | درجه آزادی Df | متغیرها Variables |
|--------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| 271.25** | 0.26022919 | 2 | ولتاژ Voltage |
| 231.80** | 0.22237360 | 2 | زمان Time |
| 96.76** | 0.09282631 | 4 | ولتاژ×زمان Time × Voltage |

** : اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ * : اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ ns : عدم اختلاف معنی داری (CV:۵/۱۳)
** : Significant difference at 1% level * : Significant difference at 5% level ns: No significant difference (CV:5.13)

اهمیک اثرات معنی‌داری بر روی گرمای ویژه غلاف لوبیا سبز داشته به طوری که با افزایش ولتاژ در هر زمان ثابت و افزایش زمان در هر ولتاژ گرمای ویژه نمونه نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرده است و همان‌طور که در شکل‌های (۴ و ۵) مشاهده می‌کنید افزایش زمان و ولتاژ اهمیک باعث افزایش رطوبت در نمونه شده است که در نتیجه گرمای ویژه افزایش پیدا کرده است.

به منظور بیان تفاوت گرمای ویژه نمونه شاهد غلاف لوبیا سبز نسبت به گرمای ویژه نمونه‌هایی که تحت پیش تیمار اهمیک قرار گرفته نمودارهای مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیک بر روی گرمای ویژه در هر زمان (شکل ۴) و مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی گرمای ویژه در هر ولتاژ (شکل ۵) رسم شده است. همان‌طور که در شکل‌های (۴ و ۵) نشان داده شده به ترتیب مقایسه میانگین اثر ولتاژ در هر زمان و اثر زمان در هر ولتاژ

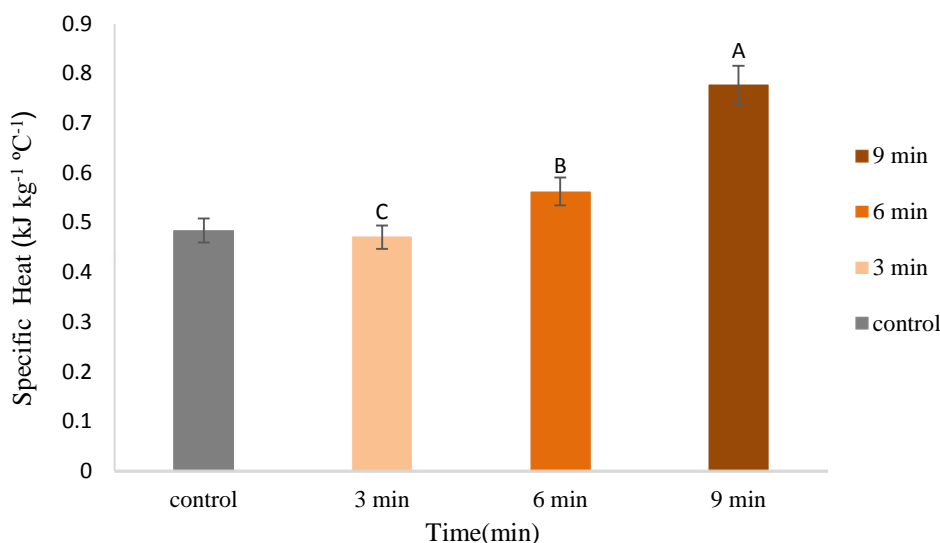


شکل (۴) مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیک بر روی گرمای ویژه در زمان ثابت

Fig 4. compares the average effects of different ohmic voltages on specific heat at constant time

حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای ولتاژهای مختلف اهمیک در هر زمان

Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic voltages at any one time



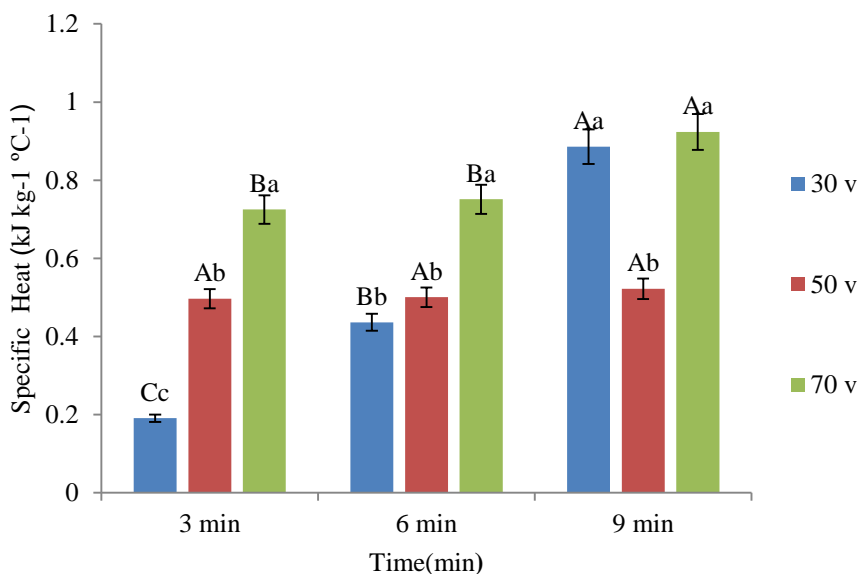
شکل (۵) مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی گرمای ویژه در ولتاژ ثابت
Fig 5. Comparison of the mean effects of different ohmic times on specific heat at constant voltage
 حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای زمان‌های مختلف اهمیک در هر ولتاژ
 Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic times at any voltage

نتیجه مشابه با نتایج به دست آمده در مطالعات دیگر بود. کیان‌مهر و همکاران (۱۳۹۰) به تعیین گرمای ویژه و هدایت حرارتی اجزای انار (رقم آلك) پرداختند که در بررسی گرمای ویژه با افزایش رطوبت گرمای ویژه به طور خطی به ترتیب برای دانه، پوست و پی انار در محدوده ۱/۱۲۷ تا ۲/۷۸۹، ۱/۵۱۶ تا ۳/۴۱۱، ۰/۹۳۱ تا ۳/۰۶۶ (kJkg⁻¹°C⁻¹) یافت. نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر روی گرمای ویژه تمامی قسمت‌های انار داشتند [۲۳]. گرمای ویژه گندم قرمز بهاره با افزایش محتوای رطوبتی از ۱ تا ۲۳٪ پایه خشک و افزایش درجه حرارت °C ۳۳/۵- تا ۲۳/۸ از kJkg⁻¹ °C⁻¹ ۱/۰۵۴ تا ۲/۵۲۱ kJkg⁻¹ °C⁻¹ افزایش پیدا کرد [۲۴]. مطالعه‌ای که بر روی قارچ‌ها صورت گرفته است نشان داد با افزایش محتوای رطوبتی از ۱۰/۲۴ تا ۸۹/۶۸٪ و درجه حرارت از °C ۴۰ تا ۷۰ گرمای ویژه قارچ از kJkg⁻¹ °C⁻¹ ۱/۷۱۵۸ تا ۳/۹۴۹۸ kJkg⁻¹ °C⁻¹ افزایش می‌یابد [۲۵]. در تحقیق گرمای ویژه زرشک نتایج نشان داد که گرمای ویژه زرشک از kJkg⁻¹ °C⁻¹ ۱/۹۶۵۳ تا ۳/۲۸۱۱ kJkg⁻¹ °C⁻¹ صورت خطی افزایش می‌یابد. این افزایش همراه با افزایش سطوح رطوبتی از ۱۹/۳ تا ۷۴/۳٪ (بر پایه‌تر) و

در این تحقیق سیستم گرمایش اهمیک باعث ایجاد و افزایش محتوای رطوبتی در غلاف لوبیا سبز شده و با توجه به معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ زمان، ولتاژ و ولتاژ × زمان این سیستم، بالا رفتن زمان و ولتاژ آن باعث بیشتر شدن میزان رطوبت در نمونه شده است و همان‌طور که در نمودار مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیک بر روی گرمای ویژه در زمان ثابت (شکل ۴) و نمودار مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی گرمای ویژه در هر ولتاژ (شکل ۵) ملاحظه شد افزایش زمان و ولتاژ سیستم حرارت دهی اهمیک باعث افزایش رطوبت در غلاف لوبیا سبز شده که در نتیجه سبب افزایش گرمای ویژه در نمونه شده است. با توجه به نمودار اثرات متقابل زمان و ولتاژ اهمیک بر گرمای ویژه غلاف لوبیا سبز (شکل ۶) بیشترین مقدار گرمای ویژه مربوط به زمان ۹ min - ولتاژ ۷۰ v است به طوری که بیشترین زمان و ولتاژ فرآیند اهمیک به ترتیب ۹ min و ۷۰ v و با توجه به اینکه افزایش این دو عامل سبب افزایش محتوای رطوبتی در نمونه شده است نشان دهنده این است هرچه به بیشترین میزان این دو عامل نزدیک می‌شویم درصد رطوبت افزایش پیدا کرده است. این

پوسته از ۲/۷ به ۴/۱ $\text{kJkg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ افزایش یافت [۱۶]. آزاد بخت و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خواص حرارتی غلاف سویا مشاهده کردند که با افزایش رطوبت گرمای ویژه از ۱/۸۵۶ به ۴/۳۹ $(\text{kJkg}^{-1}\text{°C}^{-1})$ افزایش یافت [۲۸]. رضوی و تقی زاده (۲۰۰۷) در بررسی گرمای ویژه به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت، گرمای ویژه همه ارقام در محدوده ۰/۴۱۹ تا ۲/۹۳۰ $(\text{kJkg}^{-1}\text{°C}^{-1})$ افزایش یافتند [۲۹]. سالاری کیا (۱۳۹۳) در بررسی خواص حرارتی پسته، شریواستاوا و دانا (۱۹۹۱) در بررسی خواص گرمایی قارچ و درویشی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی دانه آفتابگردان به نتایج مشابه رسیدند [۲۵،۲۸،۱۵].

سطوح حرارتی از 50°C تا می‌باشد [۲۶]. خدایی و همکاران (۱۳۹۲) خواص حرارتی انگور رشه شامل گرمای ویژه و انتقال حرارت مورد بررسی قرار دادند. در بخش گرمای ویژه انگور رشه نتایج نشان داد به ترتیب به صورت خطی از ۱/۶۵۲۳ تا ۳/۳۲۵۳ $(\text{kJkg}^{-1}\text{°C}^{-1})$ با افزایش درجه حرارت و افزایش سطوح رطوبتی به طور خطی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که اثر رطوبت بر تغییرات گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی نسبت به درجه حرارت بسیار معنی‌دارتر است [۲۷]. بیترا و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی گرمای ویژه غلاف، دانه و پوسته نازک بادام زمینی به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت، گرمای ویژه غلاف از ۱/۲ به ۳/۳، گرمای ویژه دانه از ۱/۹ به ۲/۸ و گرمای ویژه



شکل (۶) اثرات متقابل زمان و ولتاژ اهمیک بر گرمای ویژه غلاف لوبیا سبز

Fig 6. Interaction effects of time and voltage of ohmic on specific heat of green bean pod

حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای زمان‌های مختلف اهمیک در هر ولتاژ

حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای ولتاژهای مختلف اهمیک در هر زمان

Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic times at any voltage

Similar lowercase letters indicate no significant difference for different ohmic voltages at any one time

غلاف لوبیا سبز نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود، بنابراین اقدام به مقایسه میانگین با آزمون LSD گردید و نتایج در نمودارهای زیر آمده است.

۲.۱.۳. ضریب هدایت حرارتی

طبق جدول (۲) نتایج آنالیز واریانس اثر ولتاژ، زمان و اثر متقابل ولتاژ × زمان اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی

جدول (۲) نتایج آنالیز واریانس اثر ولتاژ، زمان اهمیک بر ضریب هدایت حرارتی غلاف لوبیا سبز

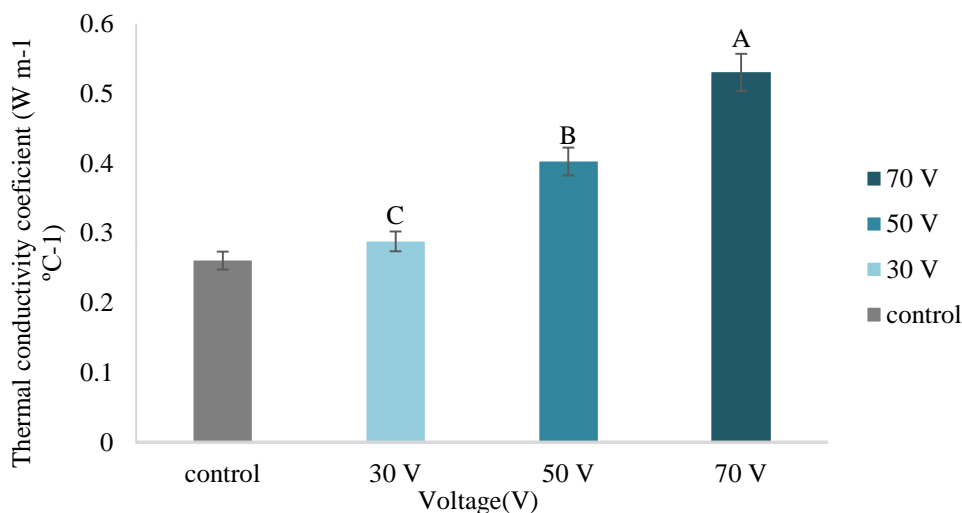
Table 2. Results of analysis of variance effect of voltage, ohmic time on thermal conductivity coefficient of green bean pod

| مقدار F F value | میانگین مربعات Mean square | درجه آزادی Df | متغیرها Variables |
|--------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|
| 159.28** | 0.13214444 | 2 | ولتاژ Voltage |
| 29.62** | 0.02457778 | 2 | زمان Time |
| 39.48** | 0.03275556 | 4 | ولتاژ×زمان Time ×Voltage |

** : اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ * : اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ ns : عدم اختلاف معنی داری (CV:۷/۰۸)
** : Significant difference at 1% level * : Significant difference at 5% level ns: No significant difference (CV:7.08)

اثر زمان در هر ولتاژ اهمیک اثرات معنی‌داری بر روی ضریب هدایت حرارتی غلاف لوبیا سبز داشته به طوری که با افزایش ولتاژ در زمان ثابت و افزایش زمان در ولتاژ ثابت هدایت حرارتی نمونه نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرده است، همان‌طور که در شکل‌های (۷ و ۸) مشاهده می‌کنید افزایش زمان و ولتاژ اهمیک باعث افزایش رطوبت در نمونه شده است که در نتیجه ضریب هدایت حرارتی افزایش پیدا کرده است.

به منظور بیان تفاوت ضریب هدایت حرارتی نمونه شاهد نسبت به ضریب هدایت حرارتی نمونه‌هایی که تحت پیش تیمار اهمیک قرار گرفته نمودارهای مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در هر زمان (شکل ۷) و مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در هر ولتاژ (شکل ۸) رسم شده است. همان‌طور که در شکل‌های (۷ و ۸) نشان داده شده به ترتیب مقایسه میانگین اثر ولتاژ در هر زمان و

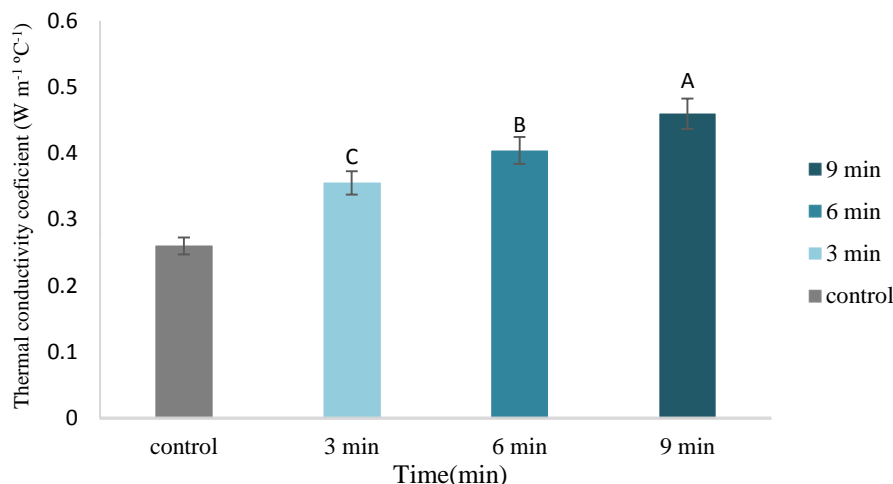


شکل (۷) مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در زمان ثابت

Fig 7. Comparison of the average effects of different ohmic voltages on the thermal conductivity coefficient at constant time

حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای ولتاژهای مختلف اهمیک در هر زمان

Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic voltages at any one time



شکل (۸) مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در ولتاژ ثابت

Fig 8. compares the mean effects of different ohmic times on thermal conductivity at constant voltage

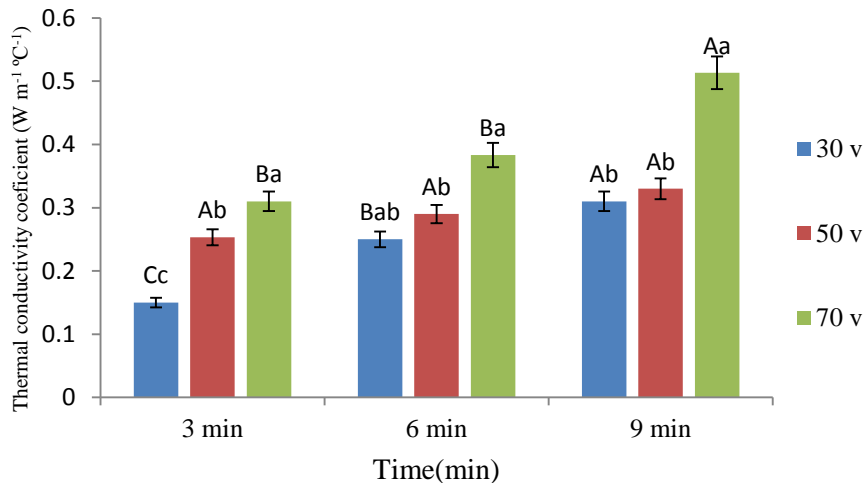
حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای زمان‌های مختلف اهمیک در هر ولتاژ

Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic times at any voltage

در بحث ضریب هدایت حرارتی غلاف لوبیا سبز عواملی چون زمان، ولتاژ و ولتاژ × زمان سیستم گرمایش اهمیک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند به طوری که در این سیستم حرارت دهی بالا رفتن زمان و ولتاژ باعث بیشتر شدن میزان رطوبت در نمونه شده است و همان‌طور که در نمودار مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در هر زمان (شکل ۷) و نمودار مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در هر ولتاژ (شکل ۸) ملاحظه می‌شود افزایش زمان و ولتاژ سیستم حرارت دهی اهمیک باعث افزایش رطوبت در غلاف لوبیا سبز شده که در نتیجه سبب افزایش ضریب هدایت حرارتی در نمونه می‌شود. همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار ضریب هدایت حرارتی نشان داده شده است، نتایج به دست آمده با اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه مشابه است. کیان‌مهر و همکاران (۱۳۹۰) به تعیین گرمای ویژه و هدایت حرارتی اجزای انار (رقم آلك) پرداختند که در بررسی ضریب هدایت حرارتی با افزایش رطوبت ضریب هدایت حرارتی به طور خطی به ترتیب برای دانه، پوست و پی انار در محدوده ۰/۱۵۲ تا ۰/۴۲۲، ۰/۱۴۸ تا ۰/۴۱۲، ۰/۱۳۱ تا ۰/۳۷۲ (W m⁻¹ °C⁻¹) یافت [۲۳]. ضریب هدایت حرارتی زیره سبز با افزایش درجه حرارت و محتوای رطوبتی بر پایه خشک به ترتیب از ۵۰ تا ۵۰ و ۱/۸ تا ۲۰/۵٪ به صورت یک تابع درجه دو از ۰/۲۲۳ W m⁻¹ °C⁻¹ تا ۰/۰۴۶ W m⁻¹ °C⁻¹ افزایش می‌یابد [۲۰]. 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 کاسا، سیب زمینی هندی و موز سبز نشان داد که ضریب هدایت حرارتی هر سه محصول با افزایش محتوای رطوبتی محصول و دمای آنها افزایش می‌یابد [۳۰]. نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر روی ضریب هدایت حرارتی تمامی قسمت‌های انار داشتند. خدایی و همکاران (۱۳۹۲) خواص حرارتی انگور رشه شامل گرمای ویژه و انتقال حرارت مورد بررسی قرار دادند. در بخش ضریب هدایت حرارتی انگور رشه نتایج نشان داد به ترتیب به صورت خطی از ۰/۱۲۵۲ W m⁻¹ °C⁻¹ تا ۰/۴۲۰۲ با افزایش درجه حرارت و افزایش سطوح رطوبتی به طور خطی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که اثر رطوبت بر تغییرات ضریب هدایت حرارتی نسبت به درجه حرارت بسیار معنی‌دارتر است [۲۷]. بیترا و همکاران (۲۰۱۰) که به

در بحث ضریب هدایت حرارتی غلاف لوبیا سبز عواملی چون زمان، ولتاژ و ولتاژ × زمان سیستم گرمایش اهمیک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند به طوری که در این سیستم حرارت دهی بالا رفتن زمان و ولتاژ باعث بیشتر شدن میزان رطوبت در نمونه شده است و همان‌طور که در نمودار مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در هر زمان (شکل ۷) و نمودار مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی ضریب هدایت حرارتی در هر ولتاژ (شکل ۸) ملاحظه می‌شود افزایش زمان و ولتاژ سیستم حرارت دهی اهمیک باعث افزایش رطوبت در غلاف لوبیا سبز شده که در نتیجه سبب افزایش ضریب هدایت حرارتی در نمونه می‌شود. همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار ضریب هدایت حرارتی نشان داده شده است، نتایج به دست آمده با اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه مشابه است. کیان‌مهر و همکاران (۱۳۹۰) به تعیین گرمای ویژه و هدایت حرارتی اجزای انار (رقم آلك) پرداختند که در بررسی ضریب هدایت حرارتی با افزایش رطوبت ضریب هدایت حرارتی به طور خطی به ترتیب برای دانه، پوست و پی انار در محدوده ۰/۱۵۲ تا ۰/۴۲۲، ۰/۱۴۸ تا ۰/۴۱۲، ۰/۱۳۱ تا ۰/۳۷۲ (W m⁻¹ °C⁻¹) یافت [۲۳]. ضریب هدایت حرارتی زیره سبز با افزایش درجه حرارت و محتوای رطوبتی بر پایه خشک به ترتیب از ۵۰ تا ۵۰ و ۱/۸ تا ۲۰/۵٪ به صورت یک تابع درجه دو از ۰/۲۲۳ W m⁻¹ °C⁻¹ تا ۰/۰۴۶ W m⁻¹ °C⁻¹ افزایش می‌یابد [۲۰]. 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 کاسا، سیب زمینی هندی و موز سبز نشان داد که ضریب هدایت حرارتی هر سه محصول با افزایش محتوای رطوبتی محصول و دمای آنها افزایش می‌یابد [۳۰]. نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر روی ضریب هدایت حرارتی تمامی قسمت‌های انار داشتند. خدایی و همکاران (۱۳۹۲) خواص حرارتی انگور رشه شامل گرمای ویژه و انتقال حرارت مورد بررسی قرار دادند. در بخش ضریب هدایت حرارتی انگور رشه نتایج نشان داد به ترتیب به صورت خطی از ۰/۱۲۵۲ W m⁻¹ °C⁻¹ تا ۰/۴۲۰۲ با افزایش درجه حرارت و افزایش سطوح رطوبتی به طور خطی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که اثر رطوبت بر تغییرات ضریب هدایت حرارتی نسبت به درجه حرارت بسیار معنی‌دارتر است [۲۷]. بیترا و همکاران (۲۰۱۰) که به

بررسی ضریب هدایت حرارتی گرمایی غلاف، دانه و پوسته نازک بادام زمینی پرداخته بودند نتایج چنین شد که با افزایش نسبت رطوبت، ضریب هدایت حرارتی غلاف از ۰/۱۲ به ۰/۱۶، ضریب هدایت حرارتی دانه از ۰/۱۵ به ۰/۱۹ و ضریب هدایت حرارتی پوسته از ۰/۱۱ به ۰/۱۸ ($W m^{-1}C^{-1}$) افزایش یافت [۱۶] آزادبخت و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خواص حرارتی سویا و سالاری‌کیا (۲۰۱۲) در بررسی خواص حرارتی پسته به نتایج مشابه رسیدند [۱۷،۱۵].



شکل (۹) اثرات متقابل زمان و ولتاژ اهمیک بر ضریب هدایت حرارتی غلاف لوبیا سبز

Fig 9. Interaction effects of time and voltage of ohmic on thermal conductivity of green bean pod

حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای زمان‌های مختلف اهمیک در هر ولتاژ

حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای ولتاژهای مختلف اهمیک در هر زمان

Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic times at any voltage

Similar lowercase letters indicate no significant difference for different ohmic voltages at any one time

غلاف لوبیا سبز نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۱٪

معنی‌دار بود، بنابراین اقدام به مقایسه میانگین با آزمون LSD گردید و نتایج در نمودارهای زیر آمده است.

۳.۱.۳. ضریب انتشار حرارتی

طبق جدول (۳) نتایج آنالیز واریانس اثر ولتاژ، زمان و اثر متقابل ولتاژ × زمان اهمیک بر روی ضریب انتشار حرارتی

جدول (۳) نتایج آنالیز واریانس اثر ولتاژ، زمان اهمیک بر ضریب انتشار حرارتی غلاف لوبیا سبز

Table 3. Results of analysis of variance of the effect of voltage, Ohmic time on thermal diffusion coefficient of green bean pod

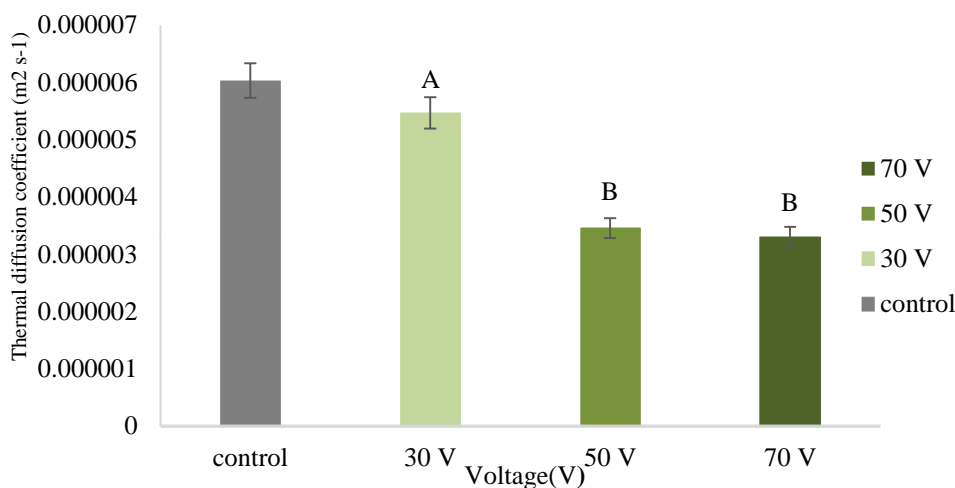
| متغیرها Variables | درجه آزادی Df | میانگین مربعات Mean square | F مقدار F value |
|--------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|
| ولتاژ Voltage | 2 | 1.65×10^{-11} | 177.66** |
| زمان Time | 2 | 1.46×10^{-11} | 157.96** |
| ولتاژ × زمان Time × Voltage | 4 | 2.27×10^{-12} | 24.52** |

** : اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ * : اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ ns : عدم اختلاف معنی داری (CV:۶/۱۱)

** : Significant difference at 1% level * : Significant difference at 5% level ns: No significant difference (CV:6.11)

زمان در ولتاژ ثابت اهمیت اثرات معنی‌داری بر روی ضریب انتشار حرارتی غلاف لوبیا سبز داشته به طوری که با افزایش ولتاژ در زمان ثابت و افزایش زمان در ولتاژ ثابت ضریب انتشار حرارتی نمونه نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرده است با توجه به اینکه سیستم حرارت دهی اهمیت محتوای رطوبتی در نمونه را افزایش می‌دهد و همان‌طور که در شکل‌های (۱۰ و ۱۱) مشاهده می‌کنید افزایش زمان و ولتاژ اهمیت باعث افزایش رطوبت در نمونه شده است که در نتیجه ضریب انتشار حرارتی کاهش پیدا کرده است.

در بحث ضریب انتشار حرارتی غلاف لوبیا سبز به منظور بیان تفاوت ضریب انتشار حرارتی نمونه شاهد نسبت به ضریب انتشار حرارتی نمونه‌هایی که تحت پیش تیمار اهمیت قرار گرفته نمودارهای مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیت بر روی ضریب انتشار حرارتی در زمان ثابت (شکل ۱۰) و مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیت بر روی ضریب انتشار حرارتی در ولتاژ ثابت (شکل ۱۱) رسم شده است. همان‌طور که در شکل‌های (۱۰ و ۱۱) نشان داده شده به ترتیب مقایسه میانگین اثر ولتاژ در زمان ثابت و اثر



شکل (۱۰) مقایسه میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیت بر روی ضریب انتشار حرارتی در زمان ثابت

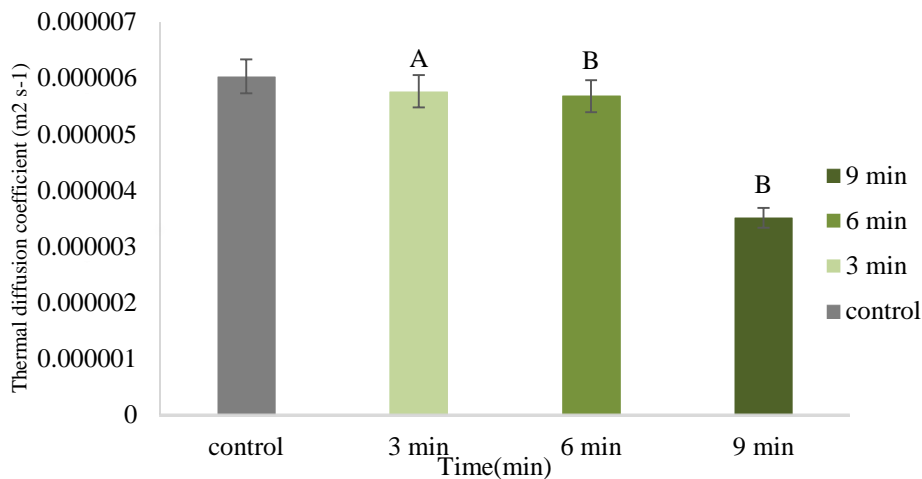
Fig 10. Comparison of the average effects of different ohmic voltages on the thermal diffusion coefficient at constant time

حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای ولتاژهای مختلف اهمیت در هر زمان

Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic voltages at any one time

میانگین اثرات ولتاژهای مختلف اهمیت بر روی ضریب انتشار حرارتی در هر زمان (شکل ۱۰) و نمودار مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیت بر روی ضریب انتشار حرارتی در هر ولتاژ (شکل ۱۱) ملاحظه شد افزایش زمان و ولتاژ سیستم حرارت دهی اهمیت باعث افزایش رطوبت در غلاف لوبیا سبز شده که در نتیجه سبب کاهش ضریب انتشار حرارتی در نمونه شده است. نتایج به دست آمده با اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه مشابه است.

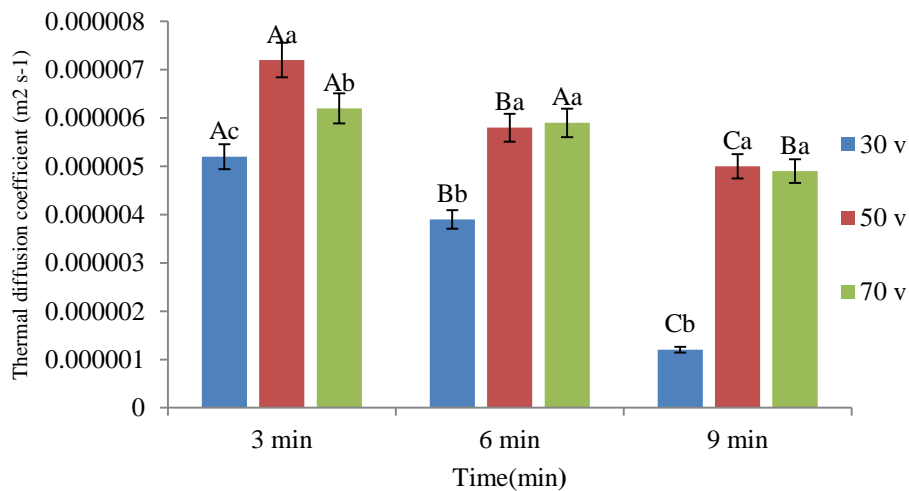
در نتایج ضریب انتشار حرارتی غلاف لوبیا سبز، سیستم حرارت دهی اهمیت محتوای رطوبتی را افزایش داده و با توجه به اینکه ضریب انتشار حرارتی تابعی از رطوبت بوده، در این تحقیق افزایش رطوبت در نمونه باعث کاهش ضریب انتشار حرارتی شده است و با توجه به معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ زمان، ولتاژ و ولتاژ × زمان این سیستم، بالا رفتن زمان و ولتاژ فرآیند حرارتی اهمیت باعث بیشتر شدن میزان رطوبت در نمونه شده است و همان‌طور که در نمودار مقایسه



شکل (۱۱) مقایسه میانگین اثرات زمان‌های مختلف اهمیک بر روی ضریب انتشار حرارتی در ولتاژ ثابت
Fig 11. Comparison of the mean effects of different ohmic times on the thermal diffusion coefficient at constant voltage
 حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای زمان‌های مختلف اهمیک در هر ولتاژ
 Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic times at any voltage

آویرا و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی خواص گرمایی *guana* seed، آویارا و هگ (۲۰۰۱) در بررسی خواص گرمایی *sheanut*، درویشی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی دانه آفتابگردان، آزادبخت و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خواص حرارتی گرمایی غلاف سویا به نتایج مشابه رسیدند [۳۲،۲۸،۱۹،۱۷].

سالاری کیا (۱۳۹۱) در مطالعه بررسی خواص حرارتی پسته به این نتیجه رسیدند که ضریب انتشار حرارتی با افزایش رطوبت در محدوده 0.217×10^{-6} تا 1.0×10^{-6} (m²s⁻¹) کاهش یافته است [۱۵]. کازانو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه بررسی خواص حرارتی گرمایی قهوه مشاهده کردند که با افزایش رطوبت ضریب انتشار حرارتی از (m²s⁻¹) $1/671 \times 10^{-7}$ به $1/044 \times 10^{-7}$ کاهش یافت [۳۱]. همچنین



شکل (۱۲) اثرات متقابل زمان و ولتاژ اهمیک بر ضریب انتشار حرارتی غلاف لوبیا سبز
Fig 12. Interaction of time and voltage of ohmic on thermal diffusion coefficient of green bean pod
 حروف مشابه بزرگ نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای زمان‌های مختلف اهمیک در هر ولتاژ
 حروف مشابه کوچک نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار برای ولتاژهای مختلف اهمیک در هر زمان
 Similar uppercase letters indicate no significant difference for different ohmic times at any voltage
 Similar lowercase letters indicate no significant difference for different ohmic voltages at any one time

ضریب انتشار حرارتی بیشترین مقدار مربوط به ولتاژ ۷ و ۵۰ min که برابر با $0.000072 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ و کمترین ضریب انتشار حرارتی برابر با $0.000012 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ که مربوط به ولتاژ ۷ و ۳۰ min و ۹ min بود.

- در سیستم حرارت دهی اهمیت افزایش زمان و ولتاژ سبب بالا رفتن میزان محتوای رطوبت در غلاف لوبیا سبز شده است که باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی می‌شود. بالاتر بودن ضریب هدایت حرارتی گرمایی آب نسبت به مواد خشک باعث شده است افزایش رطوبت در نمونه باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی شود.
- افزایش زمان در فرآیند حرارت دهی اهمیت سبب افزایش درصد رطوبت غلاف لوبیا سبز شده است و با توجه به وابستگی ضریب انتشار حرارتی به رطوبت، افزایش محتوای رطوبتی باعث کاهش ضریب انتشار حرارتی در نمونه‌ها شده است.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که سیستم گرمایش اهمیک به عنوان پیش تیمار دارای اثرات معنی‌داری بر روی خواص حرارتی غلاف لوبیا سبز داشته است بدین صورت است:

- سیستم گرمایش اهمیک که باعث افزایش محتوای رطوبتی در غلاف لوبیا سبز شده است، افزایش زمان و ولتاژ اهمیک باعث افزایش میزان رطوبت می‌شود که در نتیجه افزایش گرمای ویژه نمونه را در پی دارد. در بخش غلاف لوبیا سبز بیشترین مقدار گرمای ویژه در ولتاژ ۷ و ۹ min است که مقدار آن $0.923 \text{ kJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$ و کمترین مقدار گرمای ویژه در ولتاژ ۷ و ۳۰ min است که مقدار آن $0.190 \text{ kJkg}^{-1}\text{C}^{-1}$ ، بالاترین ضریب هدایت حرارتی در ولتاژ ۷ و ۹ min است که مقدار آن $0.513 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$ و کمترین ضریب هدایت حرارتی در ولتاژ ۷ و ۵۰ min است که مقدار آن $0.150 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$ و در بحث

منابع

- [1] Banayan-Aval, M., Koocheki, A. (2009). Agriculture Beans (9nd ed.). *Jahad Daneshgahi of Mashhad, Iran*. [In Persian]
- [2] Brigide, P., Canniatt-Brazaca, S. G., Silva, M. O. (2014). Nutritional characteristics of biofortified common beans. *Trends Food Sci. Technol.*, 34(3), 493–500.
- [3] Rainey, K. M., Griffiths, P. D. (2019). Inheritance of Heat Tolerance during Reproductive Development in Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Am Soc Hortic Sci.*, 130(5), 700–706.
- [4] Kelly, J. F., Scott, M. K., Henry, G., Janssen, W. (1992). The nutritional value of snap beans versus other vegetables, in *G. Henry and W. Janssen (Tech. Eds.), CIAT Proceedings of an International Conference on Snap Beans in the Developing World held from.*, 16, 23–46.
- [5] Anderson, A. K., Finkelstein, R. (1919). A study of the electropure process of treating milk. *J. Dairy Sci.*, 2(5), 374–406.
- [6] Knirsch, M. C., Alves dos Santos, C., Martins de Oliveira Soares Vicente, A. A., Vessoni Penna, T. C. (2010). Ohmic heating - a review. *Trends Food Sci. Technol.*, 21(9), 436–441.
- [7] Sastry, S., Abdelrahim, K., Ramaswamy, H. S., Marcotte, M. (2014). Factors influencing electrical conductivity. *Ohmic heating in food processing.*, (53).
- [8] Kessler, H. G. (1996). *Lebensmittel-und Bioverfahrenstechnik, Molkereitechnologie mit 109 Tabellen. 4. Aufl. München, Kessler.*
- [9] Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *J. Food Sci. Technol.*, 51(10), 2304–2317.
- [10] Sastry, S. K., Barach, J. T. (2000). Ohmic and inductive heating. *J. Food Sci.*, 65, 42–46.
- [11] Sarang, S., Sastry, S. K., Knipe, L. (2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *J. Food Eng.*, 87(3), 351–356.
- [12] Azadbakht, M., Vahedi-Torshizi, M., Rayeni-Moghbeli, H. (2019). Investigation of the effect of ohmic heat treatment on some mechanical properties of closed pistachio. *Innovative Food Technol.* [In Persian]
- [13] Ghajarjazi, E., Azadbakht, M., Ghaderi-Far, F. (2016). Relationship between thermal properties of canola pods (without seed) with moisture content, porosity and chemical composition of pods. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal.*, 18(1), 384–398.

- [14]Standard, A. (2006). S358. 2 FEB03. Moisture Measurement-Forages. *ASABE standards*, 608.
- [15]Salarikia, A. (2014). The effect of moisture content and temperature on specific heat capacity of nut and kernel of two Iranian pistachio varieties. *Journal of Agricultural Machinery*, 4(1), 30-36. [In Persian]
- [16]Bitra, V. S. P., Banu, S., Ramakrishna, P., Narender, G., Womac, A. R. (2010). Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. *Biosyst. Eng.*, 106(4), 503-512.
- [17]Azadbakht, M., Khoshtaghaza, M. H., Ghobadian, B., Minaei, S. (2013). Thermal properties of soybean pod as a function of moisture content and temperature. *Am. J. Food Sci. Technol.*, 1(2), 9-13.
- [18]Fontana, A. J., Wacker, B., Campbell, C. S., Campbell, G. S. (1998). Simultaneous thermal conductivity, thermal resistivity, and thermal diffusivity measurement of selected foods and soil. *2001 ASAE Annual Meeting*. ASABE.
- [19]Aviara, N. A., Haque, M. A. (2001). Moisture dependence of thermal properties of sheanut kernel. *J. Food Eng.*, 47 (2), 109-113.
- [20]Singh, K. K., Goswami, T. K. (2000). Thermal properties of cumin seed. *J. Food Eng.*, 45(4), 181-187.
- [21]Yang, W., Sokhansanj, S., Tang, J., Winter, P. (2002). Determination of thermal conductivity, specific heat and thermal diffusivity of borage seeds. *Biosyst. Eng.*, 82, 169-176.
- [22]Bart-Plange, A., Addo, A., Kumi, F., Piegu, A. K. (2012). Some moisture dependent thermal properties of Cashew kernel ('Anacardium occidentale' L.). *Aust. Agric. Eng. Res.*, 3(2), 65.
- [23]Kianmehr, M. H., Hasan-Beigi, S. R., Hashemifard-Dehkordi, S. H. (2013) A Determination of Specific Heat and Thermal Conductivity of Pomegranate Components (Alak Variety). *I. J. Biosyst. Eng.*, 42(2), 175-181. [In Persian]
- [24]Sreenarayanan, V. V., Chattopadhyay, P. K. (1986). Specific heat of rice bran. *Agric. Wastes*, 16(3), 217-224.
- [25]Shrivastava, M., Datta, A. K., (1999). Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus florida*). *J. Food Eng.*, 39(30), 255-260.
- [26]Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., Hassan-Beygi, S. R., (2008). Specific heat and thermal conductivity of berberis fruit (*Berberis vulgaris*). *Agric. Biol. Sci.*, 3(1), 330-336.
- [27]Khodaei, J., Samimi, H. (2013) Investigation of Specific Heat and Thermal Conductivity of Rasa Grape (*Vitis Vinifera* L.) as a Function of Moisture Content. *Journal of Agricultural Machinery*, 3(2), 123-132. [In Persian]
- [28]Darvishi, H., Rezaei Asl, A., Azadbakht, M. (2012). Determine of moisture diffusivity as function of moisture content and microwave power of some biomaterials. *Int. J. Agric. Sci.*, 2(2), 90-95.
- [29]Razavi, S. M. A., Taghizadeh, M. (2007). The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. *J. Food Eng.*, 79(1), 158-167.
- [30]Van der Held, E. F. M., Van Drunen, F. G. (1949). A method of measuring the thermal conductivity of liquids. *Physica*, 15(10), 865-881.
- [31]Cassano, A., Drioli, E. (2007). Concentration of clarified kiwifruit juice by osmotic distillation. *J. Food Eng.*, 79(4), 1397-1404.
- [32]Aviara, N. A., Haque, M. A., Ogunjimi, L. A. O. (2008). Thermal properties of guna seed. *Int. Agrophys.*, 22(4), 291-297.

*Research Article***The Effect of Ohmic Heat Process on Thermal Properties of Green Bean Pod****Arash Rokhbin¹, Mohsen Azadbakht^{2*}, Ali Asghari³****1.M.Sc. Student, Department of Biosystems Mechanics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources****2.Associate Professor, Department of Biosystems Mechanics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources****3. Assistant Professor, Department of Biosystems Mechanics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources****Abstract**

In this study, the effect of ohmic heating on some thermal properties of green bean pods was investigated in order to improve the processing process of this product and to replace this method in the industrial sector and increase its productivity. Initially, the moisture content of the green bean pod was determined. In this study, a glass box was measured using a voltage regulator at three voltages of 30, 50, 70 volts, and at three times of 3, 6, 9 minutes boiling in a glass box, the weight changes were recorded and the temperature variations were recorded using a data logger. then, the thermal properties of the casing including : Specific heat capacity, thermal conductivity coefficient and thermal distribution coefficient were investigated. The data were analyzed using a factorial experiment into completely random design. The results showed that both the studied factors, the duration of significant heating and the amount of voltage, had a significant effect on specific heat, thermal conductivity and thermal diffusion coefficient, so that specific heat and thermal conductivity increased and thermal emission coefficient were decreased So that the maximum amount of special heat at 70 volts and the time of 9 minutes is $0.923 \text{ kJkg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ and the lowest amount of special heat at 30 volts and the time of 3 minutes is $0.190 \text{ kJkg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ was obtained, in the discussion of the thermal conductivity coefficient, the highest thermal conductivity coefficient at 70 volts and the time of 9 minutes, the value of which is $0.513 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$ and the lowest thermal conductivity coefficient at 50 volts and time. 3 minutes, the value of which is equal to $0.150 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$, and also in the discussion of thermal emission coefficient, the highest value is related to voltage 50 and the time of 3 minutes is equal to $7.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ and the lowest Thermal emission coefficient is equal to $1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, Which was about 30 volts and lasted 9 minutes.

Keywords: Green beans, Ohmic heating, Specific Heat, Thermal conductivity, Thermal diffusion coefficient

* Corresponding Author: azadbakht@gau.ac.ir