

بررسی تأثیر دما و رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا

محسن آزاد بخت^{۱*}، محمد هادی خوش تقاضا^۲، برات قبادیان^۳ و سعید مینایی^۴

چکیده

با توجه به برداشت سویا در فصل سرما، درصد بالای رطوبت هوا در این فصل و احتمال بارندگی میزان رطوبت غلاف سویا بالا بوده و کمباین غلات قادر به کوبیدن مطلوب محصول و جدا کردن دانه از غلاف نیست. با توجه به نیاز زیاد کشاورزان به برداشت سویا و فروش به موقع محصول خود و آماده‌سازی زمین برای کشت بعدی، وجود یک دستگاه خشک‌کن که بتواند قبل از کوبش رطوبت غلاف سویا را کاهش دهد، کمک زیادی در برداشت سویا محسوب می‌شود. تعیین خواص مختلف حرارتی مانند ضریب هدایت حرارتی در فرایندهای مختلف حرارتی، انبارداری و طراحی خشک‌کن‌ها کاربرد دارد. در این پژوهش ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا از روش منبع گرمای خطی در سطح‌های مختلف رطوبت و دما اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در ۴ سطح رطوبت ۱۴/۵، ۲۱/۵، ۲۵/۲ و ۳۰/۵ بر مبنای تر و ۴ سطح دما ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس در ۳ تکرار انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد با افزایش رطوبت و دما ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا به ترتیب از ۰/۳۸ به $0/338 \text{ W/m}^2\text{C}$ افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: برداشت سویا، خشک‌کن، ضریب هدایت حرارتی، غلاف سویا.

ارجاع: م. آزاد بخت، م. ه. خوش تقاضا و ب. قبادیان. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر دما و رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا. مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲(۲): ۸-۱.

۱- استادیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- دانشیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۳- دانشیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۴- دانشیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

* نویسنده مسئول: azadbakht@gu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۰۵

مقدمه

سویا یکی از محصولات زراعی مهم است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای محصولات پروتئینی گوشتی شود. علاوه بر ارزش پروتئینی، از این محصول برای روغن‌گیری نیز استفاده می‌شود و به عنوان یک کالای استراتژیک در صنایع غذایی و مصارف صنعتی مطرح است (میرزایی، ۱۳۸۳). با توجه به برداشت سویا در فصل سرما، درصد بالای رطوبت هوا در این فصل و نیز احتمال بارندگی، میزان رطوبت غلاف سویا بالا بوده و کمباین غلات قادر به کوبیدن مطلوب محصول و جدا کردن دانه از غلاف نیست. بنابراین مهم‌ترین مسأله که در برداشت سویا به کمک کمباین وجود دارد، برداشت به موقع از نظر مقدار رطوبت است. اشکال ایجاد شده در برداشت با رطوبت نامناسب این است که تلفات برداشت با کمباین در سکوی برداشت زیاد است (بی‌نام، ۱۹۹۷). کل تلفات ایجاد شده در سکوی برداشت کمباین معمولی هنگام برداشت سویا شامل موارد زیر است (بی‌نام، ۱۹۹۴):

۱- تلفات شکستن دانه^۱: دانه‌ها از غلاف جدا شده و می‌شکنند.

۲- تلفات دانه با غلاف^۲: دانه‌ها از غلاف جدا نمی‌شوند و با غلاف بر روی زمین می‌ریزند.

۳- تلفات ساقه با غلاف^۳: محصول بریده شده به سکوی برداشت وارد نمی‌شود.

۴- تلفات ساقه باقیمانده روی زمین^۴: محصول بریده نمی‌شود و بر روی ساقه می‌ماند.

این در حالی است که در برداشت زود هنگام تلفات نوع دوم (تلفات دانه با غلاف) بیشتر خواهد شد در حالی که تلفات نوع اول (تلفات شکستن دانه) کاهش می‌یابد. تلفات دو نوع سوم و چهارم به رطوبت محصول بستگی نداشته و به حالت فیزیکی خوشه سویا بستگی دارد. دلیل افزایش ضایعات نوع دوم (تلفات دانه با غلاف) در برداشت زود هنگام، رطوبت اولیه بالا است که کوبیدن محصول در واحد کوبنده را به طور تقریبی غیرعملی ساخته و یا تلفات این واحد را افزایش می‌دهد (بی‌نام، ۱۹۹۴). بنابراین اگر غلاف با رطوبت اولیه بالا برداشت شود ولی بتوان با کمک یک سیستم خشک‌کن پیش کوبش رطوبت غلاف را کاهش داد

نقش مهمی در کاهش تلفات برداشت زود هنگام خواهد داشت و از طرفی نیاز زیاد کشاورزان به برداشت سویا و فروش به موقع محصول خود و آماده‌سازی زمین برای کشت بعدی نیز تأمین می‌شود.

تعیین خواص مختلف حرارتی غلاف سویا مانند ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه و ضریب پخش حرارتی در فرایندهای مختلف حرارتی، انبارداری و طراحی خشک‌کن‌ها کاربرد دارد (محسنین، ۱۹۸۶). بنابراین تعیین ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا گامی در راستای طراحی و ساخت دستگاه خشک‌کن پیش کوبش غلاف سویا است. در فرایندهای حرارتی محصولات کشاورزی، دانستن مقدار دما و مدت زمان لازم باعث جلوگیری از صدمه رساندن به محصولات می‌شود (توکلی هاشجین، ۱۳۸۲). یانگ و همکاران (۲۰۰۲) ضریب هدایت حرارتی گل‌گاوزبان را تعیین کردند. ضریب هدایت حرارت را در حالت گذرا و به روش منبع گرمای خطی تعیین و گزارش کردند که افزایش رطوبت از ۱/۲ به ۳۰/۳ بر مبنای تر سبب افزایش ضریب هدایت حرارت از ۰/۱۱ به $0.28 W/m^{\circ}K$ می‌شود. سرینا رایانان (۱۹۸۶) ضریب هدایت حرارت (با استفاده از روش گذرا) سبوس برنج را به دست آوردند و گزارش کردند هنگام افزایش رطوبت از ۷ درصد به ۱۵ درصد (بر مبنای تر) ضریب هدایت حرارت از ۰/۰۸۶ به $0.158 W/m^{\circ}C$ می‌رسد. ورما وپراسادا (۲۰۰۰) با آزمایش‌های بر روی ذرت ثابت کردند وقتی رطوبت از ۱۰ به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد، ضریب هدایت حرارت از ۰/۱۲۵ به $0.193 W/m^{\circ}C$ می‌رسد. ونکاتا و همکاران (۲۰۱۰) ضریب هدایت حرارت غلاف، دانه و پوست بادام‌زمینی، را بر اساس روش گذرا به دست آوردند. نتایجی که به دست آوردند عبارتند از این که در حالی که رطوبت به ترتیب از ۵/۲ به ۲۳/۷، ۵ به ۳۰/۶، ۳/۵ به ۲۸/۷ بر مبنای خشک افزایش یافته است، ضریب هدایت حرارتی مربوط به غلاف، دانه و پوست با افزایش رطوبت‌های ذکر شده به ترتیب از ۰/۱۲ به ۰/۱۶، ۰/۱۵ به ۰/۱۹، ۰/۱۱ به $0.18 W/m^{\circ}C$ ، افزایش یافت. بیش‌ترین ضریب هدایت حرارت به ترتیب مربوط به دانه، غلاف و پوست است. آزمایش‌های انجام شده توسط سینگ وگوموامی (۲۰۰۰) نشان دادند ضریب هدایت حرارت از ۰/۴۶ به $0.223 W/m^{\circ}K$ می‌رسد در حالی که دما از ۷۰- به $50^{\circ}C$ و رطوبت از ۱/۸ به ۲۰/۵ درصد بر مبنای

1- Shatter losses

2- Stubble losses

3- Stalk losses

4- Lodged losses

کلیه آزمایش‌ها در ۴ سطح رطوبت فوق و چهار سطح دما ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس بوده و ۳ تکرار برای هر سطح در نظر گرفته شد. در حین انجام آزمایش‌ها دمای محیط ۲۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوا ۳۵٪ بود. داده‌ها با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح به طور کامل تصادفی با نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند.

تعیین ضریب هدایت حرارتی

روش منبع گرمایی خطی برای تعیین ضریب هدایت حرارتی استفاده شد. معادله اصلی برای جریان گرما در نمونه از منبع خط حرارت به صورت زیر است (سینگ و گوموایی، ۲۰۰۰):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

که در این معادله T دما ($^{\circ}C$)، t زمان (s)، r شعاع (m) و α ضریب پخش گرما (m^2/s) هستند. این معادله تبدیل به یک سری نامتناهی می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۰۲).

$$T - T_0 = \frac{q}{2\pi k} F(rn) \quad (2)$$

در این معادله، T_0 دمای اولیه نمونه ($^{\circ}C$)، q توان در واحد طول (W/m)، k ضریب هدایت حرارت ($W/m^{\circ}C$)، r شعاع (m) و n یک متغیر میانی بوده و $F(rn)$ برابر است با:

$$F(rn) = A - \ln(rn) + \frac{(rn)^2}{2} + \frac{(rn)^4}{8} + \dots \quad (3)$$

$$n = \frac{1}{2} (\alpha t)^{-1/2} \quad (4)$$

در این معادله، A یک عدد ثابت است. اگر حاصل ضرب rn خیلی کوچک باشد (r خیلی کوچک و قابل صرف‌نظر برای مقادیر بزرگ n یا t) آنگاه معادله ۳ را می‌توان با اولین دو جمله سری تقریب زد و معادله ۲ به صورت زیر در می‌آید (سپاپاتی و تابیل، ۲۰۰۳).

$$T - T_0 = \frac{q}{2\pi k} [A - \ln(rn)] \quad (5)$$

یا:

$$T - T_0 = \frac{qA}{2\pi k} - \frac{q}{2\pi k} \ln\left(\frac{1}{2} r \alpha^{-1/2} t\right) + \frac{q}{4\pi k} \ln(t) \quad (6)$$

معادله ۶ یک معادله خطی بین $\ln(t)$ ، $(T - T_0)$ را با

ضریب زاویه $S = \frac{q}{4\pi k}$ نشان می‌دهد. ضریب زاویه S

می‌تواند از رگرسیون خطی بین $(T - T_0)$ در برابر $\ln(t)$ به

خشک می‌رسد. آزمایش‌های انجام شده توسط ابدا (۲۰۰۰) بر روی هسته خرما نشان داد که ضریب هدایت حرارت (با روش منبع گرمای خطی) از ۰/۰۷۸ به $0.152 W/m^{\circ}C$ افزایش می‌یابد، در حالی که رطوبت از ۵/۲ درصد به ۲۵/۴ درصد (بر پایه خشک) افزایش یافته است. آزمایش‌های انجام شده توسط اپوکا و همکاران (۲۰۰۶) بر روی گیاه تیموتی نشان داد که ضریب هدایت حرارت با افزایش رطوبت به ترتیب از ۰/۲۸۴ به $0.0605 W/m^{\circ}C$ افزایش می‌یابد، محدوده رطوبت نیز از ۱۷/۷٪ به ۱۷/۱٪ (بر پایه تر) افزایش یافته است. آلوگوسوندارام و همکاران (۱۹۹۱) ضریب هدایت حرارتی را برای جو، عدس و نخود به ترتیب زیر گزارش کردند: برای جو از ۰/۱۶۹ به $0.232 W/m^{\circ}K$ برای عدس از ۰/۱۸۷ به $0.249 W/m^{\circ}K$ و برای نخود از ۰/۱۸۷ به $0.257 W/m^{\circ}K$ افزایش یافته است. در تمامی آزمایش‌ها دامنه رطوبت از ۹٪ تا ۲۳٪ افزایش یافته است. هدف از این پژوهش تعیین ضریب هدایت حرارتی در غلاف سویا است. نتایج این پژوهش در خشک کردن سویا همراه با غلاف قبل از کوبش در کمباین غلات و یا خشک‌کن‌ها و در نتیجه کم کردن تلفات هنگام برداشت مؤثر است.

مواد و روش‌ها

سویای مورد استفاده در این پژوهش از رقم گرگان ۳ بود. برای تهیه نمونه‌ها ابتدا بوته‌ها با رطوبت بالاتر از ۳۵ درصد از مزرعه برداشت شد. سپس با کمک قیچی غلاف‌ها از بوته جدا شده و دانه‌ها از غلاف‌ها بیرون آورده شدند. برای به دست آوردن سطح‌های مختلف رطوبت به کار رفته در آزمایش‌ها، غلاف‌ها در معرض نور آفتاب قرار داده شد و با اندازه‌گیری‌های متوالی رطوبت‌های لازم به دست آمد. برای اندازه‌گیری دقیق میزان رطوبت نمونه‌ها مطابق روش وزنی استاندارد، ابتدا نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی حساس^۱ با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شده سپس به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس در اجاق آزمایشگاهی نگه داشته شد (بی‌نام، ۲۰۰۹). با توزین دوباره نمونه بعد از مدت زمان مذکور و از تقسیم وزن رطوبت بر وزن اولیه، مقادیر ۱۴/۵، ۲۱/۵، ۲۵/۲ و ۳۰/۵ درصد بر مبنای تر برای غلاف‌ها محاسبه شد (عسگری اصلی‌ارده، ۱۳۸۴).

ابتدا برای رسیدن به دماهای مورد نظر بر اساس فاکتورهای دما، نمونه‌ها به مدت ۱ تا ۳ ساعت درون اجاق آزمایشگاهی قرار داده شد. این دماها برای اندازه‌گیری خواص حرارتی بوده و سطوح ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس را شامل شد. به دلیل کم بودن زمان خشک کردن قبل از کوبش در کمباین، دماهای بالا در نظر گرفته شد. نمونه‌ها پس از گذشت زمان‌های مذکور از اجاق آزمایشگاهی خارج شده و درون استوانه آزمایش قرارداداده شدند. پس از قرار دادن درپوش استوانه جریان الکتریکی در مدار برقرار شده و نرخ گرم شدن منبع حرارتی با اندازه‌گیری و ثبت دمای مرکز دستگاه با ترمومتر، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری دما در حدود ۳۰۰ ثانیه ادامه یافته و در هر ثانیه یک بار دمای منبع حرارتی اندازه‌گیری و به همراه زمان متناظر با نرم‌افزار در رایانه ثبت شد. سپس نمودار تغییرات دما بر حسب زمان رسم و شیب خط نمودار رسم شده محاسبه شد و بدین ترتیب طبق معادله ۷ ضریب هدایت حرارتی نمونه‌ها تعیین شد.

نتایج و بحث

اثر رطوبت بر ضریب هدایت حرارت

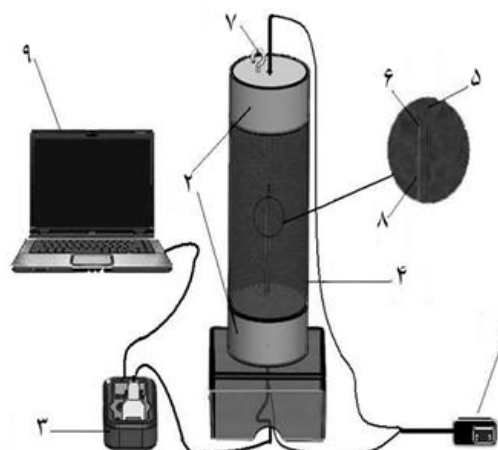
اثر رطوبت بر روی ضریب هدایت حرارت غلاف سویا در دماهای ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس در شکل ۲ نشان داده شده است. در تمامی سطوح دما با افزایش رطوبت مقدار ضریب هدایت حرارت غلاف سویا، افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که وجود تخلخل و فضای بین مولکول‌ها در پوست غلاف باعث وجود هوا در بین آن‌ها شده و چون هوا رسانای ضعیفی است، ضریب هدایت حرارتی پوست خشک کم است. در رطوبت بالا تخلخل بین مولکول‌ها با آب از بین رفته و ضریب هدایت افزایش می‌یابد (رضوی و اکبری، ۱۳۸۸). نتایج مشابه توسط (یانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ سرینا رایانان و چاتوپدیای، ۱۹۸۶؛ ورما و پراسادا، ۲۰۰ و ونکاتا و همکاران، ۲۰۱۰) به ترتیب برای گل‌گاوزبان، سبوس برنج، ذرت و غلاف، دانه و پوست بادام‌زمینی گزارش شده است. همچنین دیده می‌شود که در دماهای بالا (۲۵۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس) در رطوبت‌های ۲/۲۵٪ و ۳۰/۵٪، آهنگ افزایش ضریب هدایت حرارتی بیشتر بوده و در نتیجه افزایش K ، بیش‌تر است و شیب منحنی در دماهای ۵۰ و ۱۵۰ درجه در تمامی سطح‌های رطوبت، کم بوده و در این فاصله آهنگ

دست آمده، سپس ضریب هدایت گرمایی از معادله زیر به دست می‌آید (فونتانا و همکاران، ۲۰۰۱).

$$k = \frac{I^2 R}{4\pi S} \quad (7)$$

در این معادله، R مقاومت الکتریکی عنصر حرارتی بر واحد طول (Ω/m) و I شدت جریان ورودی به منبع خط حرارت (A) است.

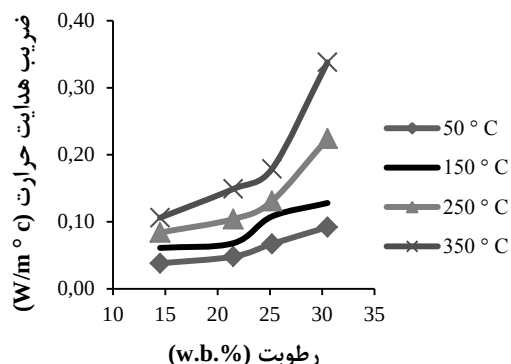
در این روش از غلاف سویا، سیم مقاومت‌دار کروم نیکل، ترمومتر، منبع تغذیه جریان مستقیم، کامپیوتر، استوانه گالوانیزه استفاده می‌شود. استوانه از پایین و بالا هر کدام به ضخامت ۵ سانتی‌متر با صفحه‌های از جنس فایبرگلاس عایق شد تا از عدم ایجاد شار گرمایی محوری اطمینان حاصل شود. از یک سیم مقاومت دار کروم نیکل به قطر ۰/۴ میلی‌متر با مقاومت ۰/۳۵۴ اهم بر سانتی‌متر به عنوان منبع حرارتی استفاده شد که درون یک استوانه با قطر ۰/۵ میلی‌متر قرار گرفت (ونکاتا و همکاران، ۲۰۱۰). برای اندازه‌گیری دمای خط مرکزی گرما از یک ترمومتر استفاده شد که بر روی یک پایه به فاصله ۰/۸ میلی‌متر از منبع حرارت قرار گرفت. خروجی ترمومتر برای ثبت دماهای اندازه‌گیری شده به کامپیوتر متصل شده و با نرم‌افزار مربوطه داده‌ها در آرایه‌های دوتایی (زمان- دما) ثبت شد. از یک منبع تغذیه جریان مستقیم (DC) با ولتاژ ۵/۷ ولت و ۰/۸ آمپر برای گرم کردن جزء حرارتی استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه تعیین ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا

- ۱- منبع تغذیه جریان مستقیم، ۲- عایق فایبرگلاس، ۳- ترمومتر، ۴- استوانه، ۵- منبع حرارت، ۶- پایه ترمومتر، ۷- گیره، ۸- سیم ترمومتر، ۹- کامپیوتر

۵۷/۶، ۶۸/۴ و ۷۳/۴ درصد در دماهای ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ درجه سلسیوس خواهد بود.



شکل ۲- اثر رطوبت در دماهای مختلف بر ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا

افزایش ضریب هدایت حرارتی کمتر است. دلیل این امر این است که اثر دما بر روی ضریب هدایت حرارت در حالت اثر متقابل از اثر رطوبت بیش‌تر و به عبارت دیگر حساسیت به دما بیش‌تر از رطوبت است.

مطابق جدول ۱ که نتایج تجزیه واریانس ضریب هدایت حرارتی را نشان می‌دهد، تأثیر رطوبت بر روی ضریب هدایت حرارتی معنی‌دار است. با نرم‌افزار SPSS مدل‌های رگرسیونی ضریب هدایت حرارتی نسبت به رطوبت در دماهای مختلف حاصل شد (جدول ۲). با استفاده از معادلات به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که اگر رطوبت از ۱۴/۵ درصد به ۳۰/۵ درصد، یعنی حدود ۲ برابر شود، مقدار افزایش ضریب هدایت حرارت به ترتیب ۶۴/۴،

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس ضریب هدایت حرارتی تحت تأثیر دما و رطوبت‌های مختلف

منابع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رطوبت	۳	۰/۱۰۴	۰/۰۳۴	۵۰۰۸/۵۴**
دما	۳	۰/۱۱۹	۰/۰۳۹	۵۶۹۸/۶۶**
رطوبت×دما	۹	۰/۰۳۵	۰/۰۰۳	۵۷۲/۴**
خطا	۳۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۶	

** معنی‌دار در سطح آماری ۱ درصد می‌باشد (CV=۰/۰۲٪).

جدول ۲- معادلات مربوط به محاسبه ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا نسبت به رطوبت در دماهای مختلف

دما (° C)	R ²	معادله
۵۰	۹۲/۴	K=۰/۰۰۳ M-۰/۰۱۷
۱۵۰	۸۷/۳	K=۰/۰۰۴ M-۰/۰۱۱
۲۵۰	۸۳/۲	K=۰/۰۰۸ M-۰/۰۵۷
۳۵۰	۸۳/۳	K=۰/۰۱۴ M-۰/۱۲۲

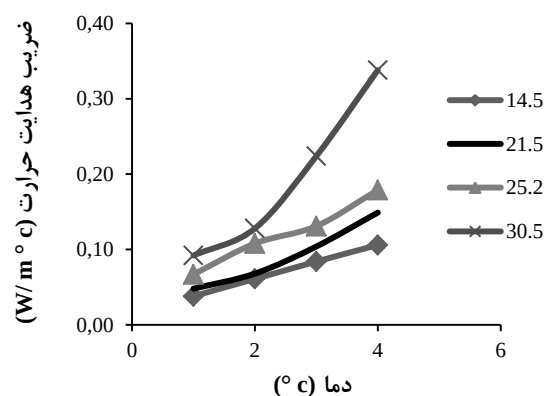
K ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا بر حسب W/m °C و M درصد رطوبت بر پایه تر است. محدوده رطوبت بر مبنای تر: ۱۴/۵-۳۰/۵.

حرارت، به طور معمول به عنوان انتشار انرژی جنبشی مولکول‌های نوسان کننده تعبیر می‌شود. این انرژی جنبشی با افزایش دما افزایش یافته و به مولکول‌های اطراف منتقل می‌شود (زمردیان، ۷۸۳۱)، بنابراین با افزایش دما ضریب هدایت حرارت افزایش می‌یابد. همچنین دیده می‌شود که در بالاترین رطوبت (۳۰/۵ درصد) آهنگ افزایش ضریب هدایت حرارتی بیش‌تر است.

اثرات دما بر ضریب هدایت حرارت

اثر دما بر روی ضریب هدایت حرارت غلاف سویا در رطوبت‌های ۱۴/۵، ۲۱/۵، ۲۵/۲ و ۳۰/۵ درصد (بر پایه تر) در شکل ۳ نشان داده شده است. در تمامی سطح‌های رطوبت غلاف سویا با افزایش دما مقدار ضریب هدایت حرارت، افزایش می‌یابد. نتایج مشابه توسط سینگ و گوسوامی (۲۰۰۰) بر روی زیره گزارش شده است. دلیل این امر را می‌توان چنین توجیه کرد که مکانیزم انتقال

مطابق جدول ۱ که نتایج تجزیه واریانس ضریب هدایت حرارتی را نشان می‌دهد، تأثیر دما بر روی ضریب هدایت حرارتی معنی‌دار می‌باشد. جدول ۳ معادلات رگرسیونی ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا نسبت به دما در رطوبت‌های مختلف نشان می‌دهد. با استفاده از معادلات به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که اگر دما از ۵۰ درجه به ۳۵۰ درجه برسد، یعنی حدود ۷ برابر شود، مقدار افزایش ضریب هدایت حرارت به ترتیب ۶۱/۹، ۶۳/۴، ۶۹/۷ و ۷۹/۱ درصد در رطوبت‌های ۱۴/۵، ۲۱/۵، ۲۵/۲ و ۳۰/۵ درصد خواهد بود.



شکل ۳- اثر مقادیر مختلف دما در رطوبت‌های مختلف بر روی ضریب هدایت حرارتی

جدول ۳- معادلات مربوط به محاسبه ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا نسبت به دما در رطوبت‌های مختلف

معادله	R^2	رطوبت (% w.b.)
$K = 0.0002T + 0.027$	۹۹	۱۴/۵
$K = 0.0003T + 0.024$	۹۷/۳	۲۱/۵
$K = 0.0004T + 0.049$	۹۸/۴	۲۵/۲
$K = 0.0008T + 0.029$	۹۵/۶	۳۰/۵

K ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا (W/m °C) و T دما (°C). محدوده دما: ۵۰-۳۵۰ درجه سلسیوس.

سطح رطوبت با افزایش دما مقدار ضریب هدایت حرارتی افزایش می‌یابد. همچنین در هر سطح دما با افزایش رطوبت، مقدار ضریب هدایت حرارتی افزایش می‌یابد. کمترین مقدار ضریب هدایت حرارتی در کمترین دما یعنی ۵۰ °C و رطوبت ۱۴/۵ درصد معادل ۰/۰۳۸ W/m°C بوده و بیشترین مقدار آن در بیشترین دما و بیشترین رطوبت یعنی ۳۵۰ °C و رطوبت ۳۰/۵ درصد معادل ۰/۳۳۸ W/m است.

اثرات متقابل رطوبت و دما بر ضریب هدایت حرارت جدول ۱ نشان می‌دهد که اثر متقابل دما و رطوبت در سطح احتمال ۱٪ بر مقدار ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا معنی‌دار است. برای بررسی اثر متقابل سطح‌های مختلف فاکتورها بر مقدار ضریب هدایت حرارتی، مقایسه میانگین به روش دانکن انجام شد. به این ترتیب که مقایسه سطح‌های مختلف رطوبت در هر سطح دما و نیز مقایسه میانگین سطوح مختلف دما در هر سطح رطوبت جداگانه انجام شده و نتایج در جدول ۴ به طور مشترک ارائه شده است. مطابق جدول ۴ دیده می‌شود که در هر

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطح‌های مختلف رطوبت و دما بر ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا

رطوبت (%w.b.)				دما (°C)
۳۰/۵	۲۵/۲	۲۱/۵	۱۴/۵	
۰/۰۹۲ ^{Da}	۰/۰۶۷ ^{Db}	۰/۰۴۸ ^{Dc}	۰/۰۳۸ ^{Dd}	۵۰
۰/۱۲۸ ^{Ca}	۰/۱۰۸ ^{Cb}	۰/۰۶۸ ^{Cc}	۰/۰۶۱ ^{Cd}	۱۵۰
۰/۲۲۸ ^{Ba}	۰/۱۳۱ ^{Bb}	۱۰۴ ^{Bc}	۰/۰۸۴ ^{Bd}	۲۵۰
۰/۳۳۸ ^{Aa}	۰/۱۷۹ ^{Ab}	۰/۱۴۹ ^{Ac}	۰/۱۰۶ ^{Ad}	۳۵۰

* حروف مشابه بزرگ در هر ستون و حروف مشابه کوچک در هر سطر بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد (۱ دانکن).

در این معادله، K ضریب هدایت حرارت (W/m°C)، M رطوبت (%w.b.) و T دما (°C) است.

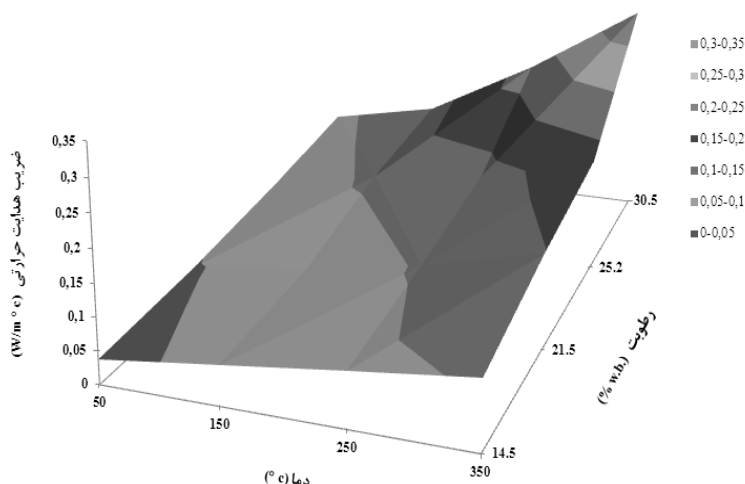
مدل رگرسیون مربوط به اثر متقابل رطوبت و دما، برازش و نتیجه به صورت معادله ۸ ارائه شد:

$$K = 0.00039M + 0.00044T - 0.089, R^2 = 81.6\% \quad (8)$$

مورد افزایش رطوبت نیز می‌توان گفت که وجود تخلخل و فضای بین مولکول‌ها در پوست غلاف باعث وجود هوا در بین آن‌ها شده و چون هوا رسانای ضعیفی است، ضریب هدایت حرارتی پوست خشک کم است. در رطوبت بالا تخلخل بین مولکول‌ها با آب از بین رفته و ضریب هدایت افزایش می‌یابد (رضوی و اکبری، ۱۳۸۸).

این مطابق با نتایج آزمایش‌های (یانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ سرینا رایانان و چاتوپدیای، ۱۹۸۶؛ ورما و پراسادا، ۲۰۰ و ونکاتا و همکاران، ۲۰۱۰) است که ضریب هدایت حرارت را به ترتیب بر روی گل‌گاوزبان، سبوس برنج، ذرت و بادام‌زمینی با روش مشابه به دست آوردند.

همان طوری که از معادله بالا مشخص است اثر دما بر روی ضریب هدایت حرارت در حالت اثر متقابل از اثر رطوبت بیش‌تر است. به عبارت دیگر حساسیت به دما بیش‌تر از رطوبت است. در شکل ۴ اثر متقابل رطوبت و دما بر روی ضریب هدایت حرارتی نشان داده شده است. با افزایش رطوبت و دما مقدار ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا بیش‌تر می‌شود. دلیل این امر را می‌توان چنین توجیه کرد که مکانیزم انتقال حرارت، به طور معمول مانند انتشار انرژی جنبشی مولکول‌های نوسان کننده تعبیر می‌شود. این انرژی جنبشی با افزایش دما افزایش یافته و به مولکول‌های اطراف منتقل می‌شود (زمردیان، ۱۳۸۷)، پس با افزایش دما ضریب هدایت حرارت افزایش می‌یابد. در



شکل ۴- اثر متقابل رطوبت و دما بر ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا

۶۱/۹، ۶۳/۴، ۶۹/۷ و ۷۹/۱ درصد در رطوبت‌های ۱۴/۵،

۲۱/۵، ۲۵/۲ و ۳۰/۵ درصد بود.

- کم‌ترین مقدار ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا، در کم‌ترین دما یعنی 50°C و رطوبت ۱۴/۵ درصد معادل $0.038 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ و بیش‌ترین مقدار آن در بیش‌ترین دما (350°C) و بیش‌ترین رطوبت (۳۰/۵ درصد) معادل $0.338 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ بود.

- اثر دما بر روی ضریب هدایت حرارت غلاف سویا در حالت اثر متقابل از اثر رطوبت بیش‌تر بود. به عبارت دیگر حساسیت به دما بیش‌تر از رطوبت است.

نتیجه‌گیری

در تمامی سطوح دما با افزایش رطوبت غلاف سویا، مقدار ضریب هدایت حرارت، افزایش یافت، به نحوی که با افزایش رطوبت از ۱۴/۵ درصد به ۳۰/۵ درصد، (یعنی افزایش حدود ۲ برابر)، مقدار افزایش ضریب هدایت حرارت به ترتیب ۶۴/۴، ۵۷/۶، ۶۸/۴ و ۷۳/۴ درصد در دماهای ۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و 350°C درجه سلسیوس بود.

- در تمامی سطوح رطوبت با افزایش دمای غلاف سویا، مقدار ضریب هدایت حرارت افزایش یافت، به نحوی که با افزایش دما از 50°C به 350°C ، (یعنی افزایش حدود ۷ برابر)، مقدار افزایش ضریب هدایت حرارت به ترتیب

منابع

۱. توکلی هاشجین ت. ۱۳۸۲. مکانیک محصولات کشاورزی (ترجمه). انتشارات دانشگاه زنجان. ۵۲۰ ص.

۲. رضوی، م. ع. و اکبری ر. ۱۳۸۸. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۰۳ ص.
۳. زمردیان ع. ۱۳۸۷. خشک کردن دانه‌ها، اصول نظری و عملی. نشر علوم کشاورزی. ۴۴۳ ص.
۴. عسگری اصلی‌ارده ع. ا. ۱۳۸۴. تکنولوژی بعد از برداشت. انتشارات یاوران. ۴۶۴ ص.
۵. ملک‌زاده غ. و کاشانی حصار ج. ۱۳۸۷. انتقال حرارت (ترجمه). انتشارات نما. ۶۷۱ ص.
۶. مرتضوی ع. سیف کردی ع. کدخدایی ر. و شفافی م. ۱۳۷۸. درآمدی بر مهندسی صنایع غذایی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۶۴۸ ص.
۷. میرزایی ح. ۱۳۸۳. پروتئین سویا. نشر علوم کشاورزی. ۱۳۶ ص.
8. Alagusundaram K. Jayas D. S. Muir W. E. and White N. D. G. 1991. Thermal conductivity of bulk barley, lentils, and peas. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 34(4):1784-1788
9. Anonymous. 2009. International rules for seed testing. ISTA. Bassersdor, Switzerland. 365 p.
10. Anonymous. 1974. Harvesting, drying and storage. Deere and Company, USA. 20 p.
11. Anonymous. 1997. Harvesting and handling high moisture, frost damage grain. Michigan state university extension. 68 p.
12. Fontana A. J. Wacker B. Campbell C. S. and Campbell. G. S. 2001. Simultaneous thermal conductivity, thermal resistivity, and thermal diffusivity measurement of selected foods and soils. ASAE Meeting Paper No. 016101. St. Joseph, Mich. ASAE. 8 p.
13. Mohsenin N. N. 1980. Thermal properties of foods and agricultural materials, Gordon and Breach, New York. 407 p.
14. Obeta S. E. 2000. Studies on Some Physico-thermal Properties of Palm Kernel. Journal of Food Science and Technology. 37(3): 245-249.
15. Opoku A. Tabil L. G. Crerar B. and Shaw M. D. 2006. Thermal conductivity and thermal diffusivity of timothy hay. Canadian Biosystems Engineering. 48(3):1-3.7
16. Razavi M. A. and Taghizadeh M. 2007. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. Journal of Food Engineering. 79 (1):158-167.
17. Sabapathy N. D. 2005. Heat and Mass Transfer during Cooking of Chickpea- Measurements and Computational Simulation. M. Sc. Thesis. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada. 170 p.
18. Shrivastava M. and Datta A. K. 1999. Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus florida*). Journal of Food Engineering. 39 (3):225-260.
19. Singh K. K. and Goswami T. K. 2000. Thermal properties of cumin seed. Journal of Food Engineering. 45(4):181-187.
20. Sreenarayanan V. V. and Chattopadhyay P. K. 1986. Thermal conductivity and diffusivity of rice bran. Journal of Agricultural Engineering Research. 34(2):115-121.
21. Subramanian S. and Viswanathan R. 2002. Thermal Properties of Minor Millet Grains and Flours. Biosystems_Engineering. 84(3):289-296.
22. Suter D. A. Agrawal K. K. and Clary V. I. 1975. Thermal properties of peanut pods, hulls and kernels. Transactions of the ASAE. 18(2):370-375.
23. Venkata S. P. B. Shamina B. Ramakrishna P. Narender G. and Alvin R. W. 2010. Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. Biosystems Engineering. 106:503-512.
24. Verma B. C. and Prasad S. 2000. Mechanical and Thermal Properties of Maize. Journal of Food Science and Technology. 37(5):500-505.
25. Yang W. Sokhansanj S. Tang J. and Winter P. 2002. Determination of thermal conductivity, specific heat and thermal diffusivity of borage seeds. Biosystems_Engineering. 82(2):169-176.