

## مدل‌سازی ریاضی ویژگی‌های گرمایی دانه پنبه کرک دار و بدون کرک در سه رقم جدید پنبه کاشمر، لطیف و خورشید در دماهای مختلف

رمضان ساوری<sup>۱</sup>، محسن آزادبخت<sup>۱</sup>، شهرام نوروزیه<sup>۲</sup>، علی متولی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۲</sup>استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۳</sup>استادیار موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

<sup>۴</sup>استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۵

### چکیده

تعیین برخی خواص مختلف گرمایی دانه پنبه مانند ضریب هدایت گرمایی، گرمای ویژه و ضریب پخش گرمایی در فرآیندهای مختلف گرمایی، انبارداری و طراحی خشک‌کن‌ها کاربرد دارد. سه ویژگی مهم گرمایی شامل ضریب هدایت گرمایی، گرمای ویژه و ضریب انتشار گرمایی سه رقم دانه پنبه به نام‌های کاشمر، لطیف و خورشید در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک در سه دمای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید. در این پژوهش ضریب هدایت حرارتی دانه پنبه از روش منبع گرمای خطی، گرمای ویژه از روش مخلوط و ضریب انتشار گرمایی با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به ضریب هدایت گرمایی، گرمای ویژه و چگالی توده دانه پنبه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که تغییرات دما بر ضریب هدایت گرمایی سه رقم دانه پنبه معنی‌دار نبود. تغییرات رقم، دما و پوشش در سطح احتمال ۱ درصد بر گرمای ویژه موثر بود و همچنین اثر متقابل رقم در پوشش و دما در پوشش بر گرمای ویژه دانه پنبه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار گرمای ویژه دانه پنبه کرک‌دار در دمای ۴۰ و ۲۰°C به ترتیب، ۱/۸۳ و ۱/۱۸ (kJ/kg°C) و در دانه پنبه بدون کرک ۱/۴۵ و ۰/۸۶ (kJ/kg°C) بود. نتایج آزمایش‌های ضریب انتشار گرمایی نشان داد که تغییرات رقم، دما و پوشش در سطح احتمال ۱ درصد بر ضریب انتشار گرمایی موثر است و همچنین اثر متقابل رقم در پوشش و دما در پوشش بر ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه کرک‌دار در دمای ۲۰ و ۴۰°C

به ترتیب،  $3/48 \times 10^{-7}$  و  $2/26 \times 10^{-7}$  ( $m^2/s$ ) و در دانه پنبه بدون کرک  $2/57 \times 10^{-7}$  و  $1/53 \times 10^{-7}$  ( $m^2/s$ ) بود.

**واژه‌های کلیدی:** دانه پنبه، کرک، گرمای ویژه، هدایت گرمایی، ضریب انتشار گرمایی

#### مقدمه

پنبه به‌عنوان یک محصول کشاورزی، صنعتی و بازرگانی، مهم‌ترین لیف طبیعی جهان است و هم‌اکنون ۷۵ درصد از کل تولیدات الیاف طبیعی جهان به این گیاه اختصاص دارد. پنبه از تیره مالوآسه<sup>۱</sup> (پنیرک) و جنس گوسپیوم<sup>۲</sup> بوده و ارقام تجاری آن در ایران از گونه هیرستوم<sup>۳</sup> می‌باشد (وفایی تبار و طلعت، ۲۰۰۸). همچنین پنبه در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود، به طوری که یک منشأ غذایی (روغن‌نباتی)، فیبر و تغذیه دام (کنجاله تخم پنبه) است. دانه پنبه شامل حدود ۱۲ تا ۲۰ درصد روغن و ۴۰ تا ۴۳ درصد پروتئین است. درصد ضایعات دانه پنبه ۰ تا ۱۴ درصد بوده و در موارد خاص حتی بالاتر از ۲۰ نیز می‌رسد. دانه پنبه ممکن است به سه گروه به نام‌های دانه پنبه بدون کرک با حدود ۰ تا ۱ درصد کرک (به‌صورت جرمی)، نیمه کرک‌دار با حدود ۱/۲۵ درصد کرک و پنبه‌دانه کرک‌دار با میزان کرک بالاتر از ۲/۵ درصد بسته بندی گردد (اسدزاده، ۱۳۹۰).

کرک‌دار بودن دانه پنبه اغلب سبب جوانه‌زنی کندتر، حساسیت بیشتر بذر و گیاهچه به آفات و بیماری می‌گردد و کشت مکانیزه پنبه را مختل می‌کند. بنابراین اجرای عملیات کرک‌گیری بذر پنبه، به عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل تولید و فرآوری آن ضروری است (مک دونالد و کاپلند، ۱۹۹۷). کاهش میزان بذر مصرفی در واحد سطح و جوانه‌زنی سریعتر بذر و ظهور سریع‌تر گیاهچه در مزرعه از مهم‌ترین مزایای مصرف بذره‌های بدون کرک می‌باشد (کریستیانسن و رولند، ۱۹۸۶).

محصولات کشاورزی در طی فرآوری و حین اجرای عملیاتی چون نگهداری قبل از فرآوری، خشک کردن، نگهداری پس از فرآوری تحت فرآیندهایی که متضمن کاهش یا افزایش دما باشد، قرار می‌گیرند (سیتگی، ۲۰۰۵). تعیین خواص مختلف گرمایی دانه پنبه مانند ضریب هدایت گرمایی<sup>۴</sup>، گرمای ویژه<sup>۵</sup> و

1. Malvaceae
2. Gossypium
3. Hirsutum
4. Thermal conductivity
5. Specific heat

ضریب پخش گرمایی<sup>۱</sup> در فرآیندهای مختلف گرمایی، انبارداری و طراحی خشک‌کن‌ها کاربرد دارد (محسنین، ۱۹۸۶).

ضریب هدایت گرمایی (k) معیار سنجش توانایی مواد در هدایت گرما بوده و در مواد غذایی وابسته به ترکیبات موجود در نمونه می‌باشد. البته هر عاملی مانند تخلخل، شکل، اندازه، آرایش فضاهای خالی، یکنواختی، فیبرها و جه گیری آنها، که در مسیر جریان حرارتی قرار داشته باشد بر روی هدایت حرارتی تاثیرگذار می‌باشد (سوئیت، ۱۹۸۶). همچنین گرمای ویژه (C) عبارت است از مقدار گرمای لازم (برحسب ژول، BTU یا کالری) برای افزایش دمای واحد جرم آن به اندازه یک واحد (در سیستم دمایی مورد نظر). این پارامتر وابسته به مقدار رطوبت و دما می‌باشد. در کنار دو پارامتر ذکر شده عامل تاثیرگذار دیگر ضریب نفوذ حرارت می‌باشد که بیانگر توانایی یک ماده در انتقال گرما نسبت به ذخیره گرماسست. اگر چگالی و گرمای ویژه ثابت نگه داشته شوند، ضریب نفوذ گرمایی و در نتیجه، سرعت انتقال گرما با افزایش ضریب هدایت گرمایی افزایش خواهد یافت. برعکس، افزایش چگالی و مقدار گرمای ذخیره شده (c<sub>p</sub>) برای یک ضریب هدایت گرمایی ثابت موجب کاهش سرعت انتقال گرما خواهد شد (رضوی و اکبری، ۲۰۱۲). تاکنون تحقیقات و مطالعات زیادی برای تعیین خواص گرمایی محصولات کشاورزی انجام شده است که نتایجی به صورت زیر حاصل شد:

تورهان و گانسکاران، (۱۹۹۹) خواص گرمایی (هدایت گرمایی، ظرفیت گرمایی و ضریب انتشار گرمایی) توده دانه پنبه کرک‌دار و دانه پنبه با پوشش نشاسته‌ایی را در دمای ۲۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس و چگالی توده ۲۵۶ تا ۶۰۰ (کیلوگرم بر مترمکعب) با محتوی رطوبتی ۲ تا ۵۰ درصد را بررسی کردند. ظرفیت گرمایی دانه پنبه تقریباً با افزایش تراکم توده ثابت باقی ماند و به‌صورت خطی با افزایش رطوبت افزایش یافته است. همچنین ضریب انتشار گرمایی با افزایش دانسیته<sup>۱</sup> توده و رطوبت کاهش یافت.

وان و زارینس (۲۰۰۳) گرمای ویژه دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک، پوسته و مغز دانه پنبه و الیاف پنبه را اندازه‌گیری کردند. دامنه گرمای ویژه بدست آمده این مواد از ۰/۳۲ تا ۰/۶ Cal/g/ °C در ۳۰°C و ۰/۴۲ تا ۰/۷۲ Cal/g/ °C در ۹۰°C بوده است. همچنین زمانی که این مواد خشک شدند گرمای ویژه آنها در دمای ۳۰°C به ۰/۲۴ تا ۰/۳۳ Cal/g/ °C تغییر یافت.

یانگ و همکاران (۲۰۰۲) در تعیین ضریب هدایت گرمایی، گرمای ویژه و ضریب انتشار گرمایی دانه گاوزبان<sup>۲</sup> در گستره دمایی ۶ تا ۲۰°C و رطوبت ۱/۲ تا ۳۰/۳ درصد بر مبنای تر نتیجه گرفتند که دما و رطوبت هر دو موجب افزایش ضریب هدایت گرمایی می‌شوند. آنها ضریب هدایت گرمایی را با روش

1. Thermal diffusivity

منبع حرارت خطی، گرمای ویژه را با روش دیکرسون<sup>۳</sup> و ضریب انتشار گرمایی را از طریق فرمول به دست آوردند.

آزادبخت و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر دما و رطوبت بر ضریب هدایت حرارتی غلاف سویا، با روش منبع گرمای خطی، ضریب هدایت گرمایی غلاف سویا را در سطوح مختلف رطوبت و دما اندازه‌گیری کردند. نتایج آنها نشان داد با افزایش رطوبت و دما ضریب هدایت گرمایی غلاف سویا افزایش می‌یابد.

خفاجه و همکاران (۲۰۱۲) ضرایب گرمایی عدس در انتقال حرارت ناپایدار (ضریب هدایت گرمایی، ضریب نفوذ گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه) را تعیین کردند. نتایج آنها نشان داد که ضریب انتقال حرارت با دما و زمان تغییر می‌کند؛ در نتیجه انتقال حرارت به‌صورت حالت گذرا و ناپایدار خواهد بود. مقادیر انتقال حرارت، ضریب پخش گرما و گرمای ویژه جسم با زمان تغییر می‌کند. طبق آزمایش صورت گرفته ضریب انتقال حرارت نسبت به زمان و افزایش دما کاهش می‌یابد تا به یک مقدار ثابت تقریباً ۰/۰۱ برسد.

آویارا و هگ (۲۰۰۱) در بررسی وابستگی خواص گرمایی به رطوبت مغز بادام sheanut نتیجه گرفتند که گرمای ویژه به رطوبت و دما وابسته بود. گرمای ویژه، ضریب هدایت گرمایی و ضریب انتشار گرمایی به‌صورت خطی با افزایش رطوبت، افزایش یافت. با توجه به این که نیاز به داشتن اطلاعات جامع در مورد خواص گرمایی محصولات کشاورزی و علوفه ای ضروری می باشد، هدف از این پژوهش تعیین ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه و ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه سه رقم کاشمر، لطیف و خورشید و در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک، جهت آگاهی از خصوصیات گرمایی دانه پنبه برای بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن، انبارداری و روغن‌کشی دانه پنبه می‌باشد. در ایران به علت عدم استفاده از روش‌های مناسب کرک‌گیری بدلیل فقدان تکنولوژی دقیق برای عملیات کرک‌گیری کمتر از ۱۰ درصد بذرها به‌صورت کرک‌گیری شده تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرند (حمیدی، ۱۳۹۱). بنابراین یافتن خصوصیات گرمایی دانه پنبه کرک‌دار (در ایران) از اهمیت بیش‌تری نسبت به حالت بدون کرک آن برخوردار است. یافتن دمای مطلوب نگهداری دانه پنبه بخصوص حالت کرک‌دار آن در نحوه چیدمان و نگهداری کیسه‌های دانه پنبه در انبار و تنظیم تجهیزات تهویه هوای انبار بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

**آماده سازی نمونه‌ها:** به منظور انجام این تحقیق دانه پنبه ارقام جدید پنبه شامل کاشمر، لطیف و خورشید در زمستان ۱۳۹۴ از موسسه تحقیقات پنبه کشور تهیه گردید. سپس در محل آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانه

های پنبه چروکیده و شکسته جدا شده، نیمی از توده دانه پنبه تمیز شده داخل سطل پلاستیکی ریخته شد. با اضافه کردن اسید سولفوریک غلیظ با غلظت ۹۸ درصد (در دمای محیط °C ۲۵) و بهم زدن مخلوط اسید و دانه‌های پنبه بوسیله یک میله فلزی در مدت زمان کم‌تر از یک دقیقه، کرک از دانه پنبه جدا شده بلافاصله محتویات سطل به داخل آبکش پلاستیکی ریخته شد. با پاشیدن آب بر روی پنبه‌دانه کرک‌گیری شده، عمل شستشو انجام گرفت. و در زمان ۲۴ ساعت در هوای آزاد دانه‌ها خشک شدند. در مرحله بعدی به‌منظور تعیین رطوبت پنبه‌دانه‌ها، سه نمونه دانه پنبه کرک‌دار و سه نمونه بدون کرک پس از توزین با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم، به‌مدت ۱۷ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرار داده شد (فادری‌فر و سلطانی، ۲۰۱۰؛ ISTA<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). مقدار رطوبت اولیه برای سه رقم مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است (مشخصات آون: مدل Ip 88 شرکت آریا طب (SN: 5160؛ Total power: 1000 W).

جدول ۱: درصد رطوبت بر پایه تر سه رقم بذر پنبه

بدون کرک			کرک‌دار		
رقم			رقم		
خورشید	لطیف	کاشمر	خورشید	لطیف	کاشمر
۵/۷	۵	۶/۸	۷/۶	۷/۲	۷/۴

**تعیین خواص گرمایی:** در این تحقیق گرمای ویژه، ضریب هدایت گرمایی و ضریب انتشار گرمایی سه رقم دانه پنبه تعیین گردید. تیمارهای این پژوهش شامل سه سطح رقم، سه سطح دما (۲۰، ۳۰ و ۴۰°C) و دو سطح پوشش (کرک‌دار و بدون کرک) بود، که در سه تکرار انجام شد.

**تعیین ضریب هدایت گرمایی:** ضریب هدایت گرمایی دانه پنبه‌ها با روش منبع گرمایی خطی<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد (محسنین، ۱۹۸۰؛ سینگ و گاسوامی، ۲۰۰۰؛ آزادبخت و همکاران، ۲۰۱۳؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ بیترا و همکاران، ۲۰۱۰). روش منبع گرمایی خطی گذرا شایع‌ترین روش مورد استفاده در مواد غذایی و محصولات کشاورزی است که برای اندازه‌گیری حرارت هدایت گرمایی توده محصولات کشاورزی مناسب است (سالاری کیا، ۲۰۱۲).

معادله اصلی برای جریان منبع حرارت خطی به‌صورت رابطه ۱ است (سینگ و گاسوامی، ۲۰۰۰).

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

T: دما (°C)؛ r: شعاع (m)؛ t: زمان (s)؛ α: ضریب انتشار گرمایی (m<sup>2</sup>/s)

همچنین افزایش دما در منبع حرارت خطی از معادله ۲ بدست می‌آید

$$\Delta T = \frac{Q}{4\pi K} \left[ \ln(t) + \ln \left( \frac{4\alpha}{r^2} \frac{1}{e^{0.5752}} \right) \right] \quad (2)$$

که  $\Delta T$ : افزایش دما در فاصله  $r$  از پروب<sup>۲</sup> یا سیم گرمایی ( $^{\circ}\text{C}$ )؛  $t$  زمان برحسب ثانیه؛  $Q$ : نسبت توان گرمایی به طول پروب یا سیم ( $\text{W/m}$ )؛  $K$ : ضریب هدایت گرمایی ( $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ )؛  $\alpha$ : ضریب انتشار گرما ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) و  $r$  فاصله از خط مرکزی پروب یا سیم است. معادله ۲ تغییرات دما در مقابل لگاریتم طبیعی زمان را با ضریب زاویه  $S = \frac{Q}{4\pi k}$  نشان می‌دهد (ضریب زاویه  $S$  از رگرسیون<sup>۳</sup> خطی  $\Delta T$  در برابر  $\ln(t)$  به دست آمد). بنابراین:

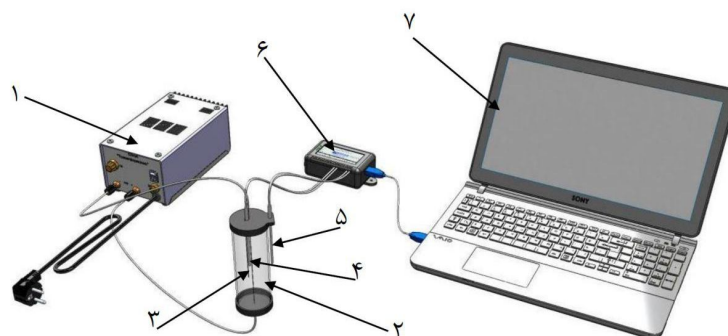
$$k = \frac{Q \ln(t)}{4\pi \Delta T}$$

و چون  $Q$  گرمای داده شده در واحد طول ( $Q = I^2 R$ ) می‌باشد، ضریب هدایت گرمایی ( $k$ ) از معادله ۳ بدست آمد (فونتانا و همکاران، ۲۰۰۱).

$$k = \frac{I^2 R}{4\pi s} \quad (3)$$

در این معادله  $R$  مقاومت الکتریکی عنصر گرمایی بر واحد طول ( $\Omega/\text{m}$ ) و  $I$  شدت جریان ورودی به منبع حرارت خطی می‌باشد.

**اجزای دستگاه آزمایش:** طبق شکل (۱) استوانه PVC به ارتفاع ۱۴۵ و قطر داخلی ۴۶ میلی‌متر؛ دو صفحه فایبرگلاس بالایی و پائینی استوانه با ضخامت ۵ میلی‌متر؛ پایه فلزی تعبیه شده در داخل استوانه؛ سیم بدون روپوش نیکروم با قطر ۰/۱۲۷ میلی‌متر به‌عنوان منبع گرمایی خطی؛ منبع قدرت قابل تنظیم جریان مستقیم (DC) (Arma-Model aps-351)؛ دو عدد ترموکوپل<sup>۱</sup> نوع K؛ دیتالاگر (ثبت کننده) (Az Instrument Model 88598) اجزای دستگاه هستند.



شکل ۱: دستگاه منبع حرارت خطی

۱- منبع تغذیه، ۲- محفظه استوانه‌ای، ۳- پایه فلزی، ۴ و ۵- ترموکوپل، ۶- دیتالاگر<sup>۲</sup>، ۷- لپ تاپ

**شرح آزمایش:** به منظور اندازه‌گیری و ثبت تغییرات دمایی توده بذر در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  ابتدا ترموکوپل متصل به کانال ۱ دیتالاگر بر روی پایه فلزی داخل استوانه در فاصله ۱۲ میلی‌متری منبع حرارت خطی قرار داده شد. ترموکوپل کانال ۲ دیتالاگر جهت ثبت اطلاعات دمایی محیط (با فرض لزوم ثابت بودن دمای سطح بیرونی استوانه) کنار استوانه نصب گردید. دانه پنبه داخل استوانه قرار داده شد و با تکان دادن استوانه، بذرها کاملاً جابجا شده و درپوش استوانه گذاشته در محل خود قرار داده شد. با روشن کردن منبع تغذیه جریان مستقیم DC و پس از آنکه جریان در مدار برقرار شد، داده‌گیری آغاز گردید و دمای درون و بیرون استوانه توسط دیتالاگر در هر ثانیه (به مدت ۶ دقیقه) ثبت گردید. در مرحله دوم و سوم آزمایش، با پیش گرم کردن توده بذر در داخل آون و رساندن دما به  $30^{\circ}\text{C}$  و  $40^{\circ}\text{C}$  پس از ریختن توده دانه پنبه گرم شده به داخل استوانه، آزمایش با همان روش قبلی انجام شد. آزمایشات برای هر دما ۳ بار تکرار شد. با توجه به داده‌های خروجی دیتالاگر بر اساس ثبت دما در هر ثانیه، نمودار تغییرات دما در مقابل لگاریتم طبیعی زمان رسم و شیب نمودار هر نمونه اندازه‌گیری شد. برای تعیین ضریب هدایت گرمایی از نمودارهایی استفاده شد که مقدار  $R^2$  از  $0/99$  بیش‌تر بود. پس از این که ضریب زاویه نمودار به دست آمد، با استفاده از رابطه ۳ ضریب هدایت گرمایی تعیین گردید.

**گرمای ویژه:** برای تعیین گرمای ویژه در منابع و مقالات مختلف چندین روش گزارش شده است، اما رایج‌ترین روش مورد استفاده برای محصولات کشاورزی و مواد غذایی روش مخلوط است (محسنین، ۱۹۸۶؛ رضوی و تقی‌زاده، ۲۰۰۷؛ آویازا و هگ، ۲۰۰۱؛ آزادبخت و همکاران، ۲۰۱۳؛ بارت پلانچ و همکاران، ۲۰۱۲). روش مخلوط به دلیل سادگی و دقت مطلوب به‌طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری گرمای ویژه مواد بیولوژیکی از جمله مواد غذایی استفاده می‌گردد. در این روش، نمونه با جرم و دمای معین به درون یک کالریمتر حاوی مقدار معلومی آب با دمای بالاتر یا پائین‌تر از نمونه غوطه‌ور شده و در نتیجه تبادل گرما بین نمونه، آب و کالریمتر<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد. برای اندازه‌گیری گرمای ویژه ماده غذایی، ابتدا باید ظرفیت گرمایی ظرف کالریمتر تعیین شود (رضوی و اکبری، ۲۰۱۲).

**تعیین گرمای ویژه کالریمتر:** برای تعیین ظرفیت گرمایی ظرف کالریمتر، مقداری آب مقطر گرم، با دما و جرم مشخص داخل کالریمتر ریخته شد. سپس مقداری آب مقطر سرد با دما و جرم معلوم به آن اضافه، ترموکوپل متصل به دیتالاگر در درون محلول قرار گرفته، سرپوش کالریمتر گذاشته شد. پس از چند دقیقه دمای متعادل شده از روی صفحه نمایشگر دیتالاگر قرائت و ثبت گردید. در نهایت ظرفیت گرمایی کالریمتر ( $H_{cal}$ ) از رابطه ۴ و ۵ محاسبه گردید (شریواستاوا و داتا، ۱۹۹۹؛ رضوی و تقی‌زاده، ۲۰۰۷).

$$H_{cal} = \frac{M_{cw}C_w(T_e - T_{cw}) - M_{hw}C_w(T_{hw} - T_e)}{(T_{hw} - T_e)} \quad (4)$$

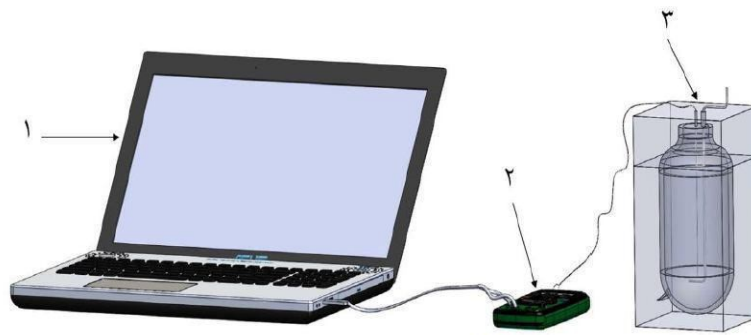
$$M_{cal} C_{cal} = H_{cal} \quad (5)$$

که  $T_{hw}$  (°C) دمای آب مقطر گرم شده با جرم  $M_{hw}$  (گرم)؛  $T_{cw}$  (°C) دمای آب مقطر سرد با جرم  $M_{cw}$  (گرم)؛  $T_e$  (°C) دمای تعادل؛  $H_{cal}$  ظرفیت گرمایی کالریمتر (kJ/kg.°C)؛  $M_{cal}$  جرم کالریمتر (گرم)؛  $C_{cal}$  گرمای ویژه کالریمتر (kJ/kg.°C) و  $C_w$  گرمای ویژه آب (kJ/kg.°C) در دامنه دمایی مورد نظر و معادل  $4/18$  (kJ/kg.°C) می‌باشد. فرض بر این است که سیستم آدیاباتیک<sup>۲</sup> (بی در رو) بوده و اتلاف گرمایی در مدت زمان رسیدن به تعادل ناچیز است (سالاری کیا، ۲۰۱۲). ظرفیت گرمایی کالریمتر با روش بالا در سه تکرار اندازه‌گیری و مقدار آن  $0/184$  (kJ/kg.°C) بدست آمد.

**تعیین گرمای ویژه دانه پنبه:** برای اندازه‌گیری گرمای ویژه پنبه‌دانه در فشار ثابت ابتدا کالریمتر ساخته شده درون یخچال قرار داده شد تا سرد شود. با این عمل، گرمای اندک از دست رفته قابل اغماض است. ۲۰۰ گرم آب مقطر پس از جوشاندن، داخل کالریمتر ریخته شد. دما اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس مقدار ۵۰ گرم دانه پنبه در دمای مورد نظر (دمای محیط) درون کالریمتر ریخته شد. پس از چند دقیقه دمای تعادل مخلوط آب مقطر و پنبه‌دانه یادداشت گردید (شکل ۲). در نهایت با استفاده از رابطه ۶ گرمای ویژه بذر پنبه به دست آمد. (محسنین، ۱۹۸۰؛ آزادبخت، ۲۰۱۱).

$$C_s = \frac{C_w W_w (t_a - t_w) - C_c W_c (t_i - t_a)}{W_s (t_i - t_a)} \quad (6)$$

$C_s$  گرمای ویژه نمونه (kJ/kg.°C)؛  $C_w$  گرمای ویژه آب (kJ/kg.°C)؛  $W_w$  جرم آب اضافه شده (g)؛  $t_a$  دمای تعادل (°C)؛  $t_w$  دمای اولیه آب (°C)؛  $C_c$  گرمای ویژه کالریمتر (kJ/kg.°C)؛  $W_c$  جرم کالریمتر (g)؛  $t_i$  دمای اولیه نمونه (°C)؛  $W_s$  جرم نمونه (g). (محسنین، ۱۹۸۰).  $C_w$  گرمای ویژه آب در دامنه دمایی مورد نظر،  $4/18$  (kJ/kg.°C) می‌باشد (سالاری کیا، ۲۰۱۲).



شکل ۲: سیستم اندازه‌گیری گرمای ویژه: ۱- لپ تاپ، ۲- دیتالاگر، ۳- کالریمتر



تعیین ضریب انتشار گرمایی: ضریب انتشار گرمایی ( $\alpha$ )، با استفاده از نتایج آزمایشات مربوط به ضریب هدایت گرمایی، گرمای ویژه و چگالی توده دانه پنبه اندازه گیری شد (بارت پلانچ و همکاران، ۲۰۱۲؛ آزادبخت و همکاران ۲۰۱۳؛ سینگ و گاسوامی، ۲۰۰۰).

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (7)$$

ضریب انتشار گرمایی ( $m^2 s^{-1}$ )،  $k$  ضریب هدایت گرمایی  $W.m^{-1}C^{-1}$ ،  $\rho$  چگالی توده ( $kg/m^3$ )،  $C_p$  گرمای ویژه ( $kJ/kg.C$ ).

چگالی توده<sup>۱</sup> (چگالی ظاهری) توسط جرم توده و حجم ظرف پر شده از دانه تعیین گردید. برای اندازه گیری چگالی توده دانه پنبه، دانه‌ها را از ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری با ریزش یکنواخت، داخل یک استوانه با حجم مشخص ریخته شد. سپس سطح دانه‌های داخل ظرف با کشیدن یک جسم صاف از لبه ظرف یکنواخت شده و دانه‌های اضافی از لبه ظرف خارج شدند. توده دانه پنبه داخل ظرف وزن شد. از تقسیم جرم توده بر حجم توده، میزان چگالی توده با رابطه ۸ تعیین شد (رضوی و اکبری، ۲۰۱۲):

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} \quad (8)$$

در این معادله  $m_b$  جرم دانه پنبه بر حسب گرم و  $V_b$  حجم توده دانه پنبه بر حسب سانتی‌متر مکعب می‌باشد. در نهایت، با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و نرم افزار SAS داده‌ها تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

### نتایج و بحث

**ضریب هدایت گرمایی:** نتایج تجزیه آماری در جدول ۲ نشان می‌دهد که تغییرات رقم، دما و پوشش و اثرات متقابل رقم در دما، رقم در پوشش و دما در پوشش بر ضریب هدایت گرمایی دانه پنبه معنی‌دار نشده‌اند.

براساس آنالیز میانگین داده‌ها، کم‌ترین و بیش‌ترین ضریب هدایت گرمایی دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک، به ترتیب در دمای ۲۰ و ۴۰°C به میزان ۰/۱۳۴۳ و ۰/۱۳۵۸  $W/m^2C$  بدست آمد.

**گرمای ویژه:** مطابق جدول ۳ که نتایج تجزیه واریانس گرمای ویژه را نشان می‌دهد تغییرات رقم، دما و پوشش در سطح احتمال ۱ درصد بر گرمای ویژه موثر بود. همچنین اثر متقابل رقم در پوشش و دما در پوشش بر گرمای ویژه دانه پنبه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر رقم، دما و پوشش بر ضریب هدایت گرمایی دانه پنبه

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۲	$8/16 \times 10^{-6}$	$4/08 \times 10^{-6}$	$2/16^{ns}$
دما	۲	$1/48 \times 10^{-6}$	$7/44 \times 10^{-6}$	$0/49^{ns}$
رقم × دما	۴	$6/15 \times 10^{-6}$	$1/54 \times 10^{-6}$	$1/02^{ns}$
پوشش	۱	$5/98 \times 10^{-6}$	$5/98 \times 10^{-6}$	$3/95^{ns}$
رقم × پوشش	۲	$4/96 \times 10^{-6}$	$2/48 \times 10^{-6}$	$1/64^{ns}$
دما × پوشش	۲	$5/11 \times 10^{-6}$	$2/55 \times 10^{-6}$	$1/69^{ns}$
خطا	۳۰	$4/5 \times 10^{-5}$	$1/5 \times 10^{-6}$	

\*\* و \* به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد (LSD) و ns عدم اختلاف معنی دار (cv=0/91)

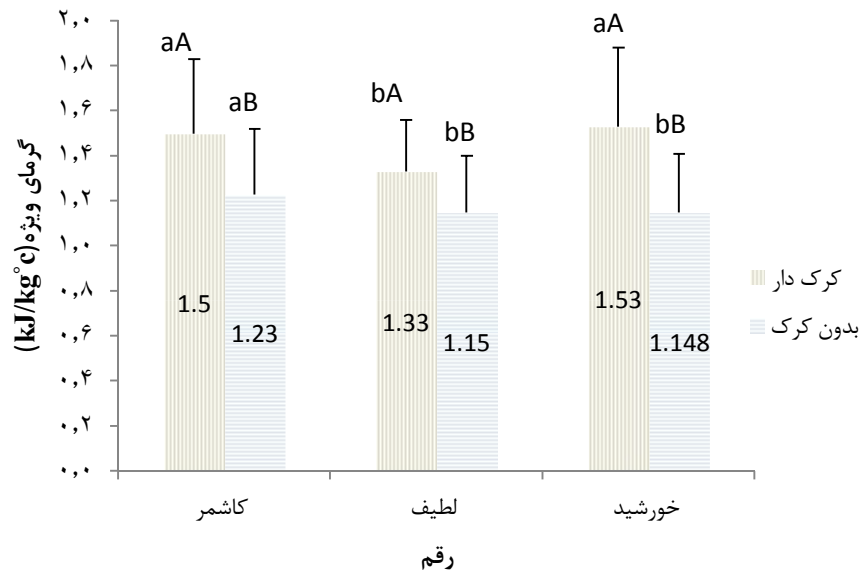
جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس گرمای ویژه تحت تاثیر رقم، دما و پوشش

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رقم	۲	۰/۱۴	۰/۰۷۴	۹/۱۹**
دما	۲	۳/۴۷	۱/۷۳	۲۱۶**
رقم × دما	۴	۰/۰۷۲	۰/۰۱۸	۲/۲۴ <sup>ns</sup>
پوشش	۱	۱/۰۴	۱/۰۴	۱۳۰**
رقم × پوشش	۲	۰/۰۹۳	۰/۰۴۶	۵/۷۹**
دما × پوشش	۲	۰/۱۶	۰/۰۸۳	۱۰/۳۶**
خطا	۳۰	۰/۲۴	۰/۰۰۸	

\*\* به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد (LSD) و ns عدم اختلاف معنی دار (cv=۶/۸)

**اثر رقم و پوشش بر گرمای ویژه:** همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود توده دانه پنبه کرک‌دار رقم خورشید و لطیف به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار گرمای ویژه می‌باشد و گرمای ویژه رقم لطیف کرک‌دار با دو رقم خورشید و کاشمر کرک‌دار تفاوت معنی‌داری دارد. همچنین توده دانه پنبه بدون کرک رقم کاشمر و خورشید به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار گرمای ویژه می‌باشد. تفاوت کمی که بین گرمای ویژه ارقام کرک‌دار خورشید و کاشمر مشاهده می‌شود بدلیل وجود مقدار متفاوت کرک روی دانه و اندازه بذر می‌باشد. رقم لطیف کرک‌دار با داشتن کرک کم‌تر در سطح دانه نسبت به دو رقم دیگر، گرمای ویژه کم‌تری دارد و اختلاف کم‌تر گرمای ویژه در حالت کرک‌دار و بدون کرک رقم لطیف نسبت به دو رقم دیگر این موضوع را نشان می‌دهد. ارقام کرک‌داری که مقدار کرک بیش‌تری دارند از گرمای ویژه بالاتری برخوردارند. شکل ۳ همچنین بیان می‌نماید که ارقام پنبه

کرک دار مقاومت بیشتری در مقابل تغییر دما داشته و نیاز به انرژی بیشتری برای تغییر دما دارند در صورتی که بذور بدون کرک این طور نمی‌باشند.

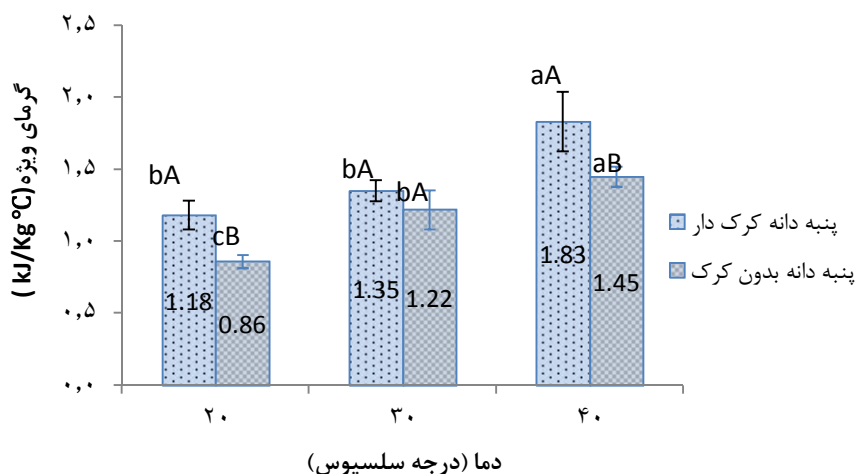


شکل ۳: اثر متقابل رقم و پوشش بر گرمای ویژه دانه های پنبه

حروف کوچک مشابه در بین رقم‌ها و حروف بزرگ مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در هر رقم است.

**اثر دما و پوشش بر روی گرمای ویژه:** اثر دما بر روی گرمای ویژه ۳ رقم دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک در دماهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰°C در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق شکل با افزایش دما در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک، گرمای ویژه دانه پنبه‌ها سیر صعودی داشته است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار گرمای ویژه دانه پنبه کرک‌دار در دمای ۴۰ و ۲۰°C به ترتیب، ۱/۸۳ و ۱/۱۸ (kJ/kg°C) و در دانه پنبه بدون کرک ۱/۴۵ و ۰/۸۶ (kJ/kg°C) بود. با استفاده از نرم افزار صفحه گسترده اکسل<sup>۱</sup> مدل‌های رگرسیونی خطی گرمای ویژه نسبت به سه رقم دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک در دماهای مختلف حاصل شد. مدل‌های ریاضی به دست آمده در جدول ۴ نشان می‌دهد که ارقام کاشمر و خورشید در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک دارای شیب خط برابری (۰/۳) هستند و این بدان معنی است که این دو رقم رفتار تقریباً مشابهی در برابر تغییرات گرمای ویژه متناسب با افزایش دما داشته‌اند. شیب خط رقم لطیف (کرک‌دار و بدون کرک)، کم‌تر از دو رقم قبلی بود که نشان می‌دهد تغییرات گرمای ویژه رقم لطیف در اثر افزایش دما، کم‌تر از ارقام کاشمر و خورشید می‌باشد. با این که ابعاد هندسی رقم لطیف از

دو رقم دیگر بزرگ‌تر است اما به دلیل وجود کرک کم‌تر که با ساختار ژنتیکی رقم لطیف مرتبط است، دانه پنبه رقم لطیف از گرمای ویژه پائین‌تری برخوردار است (درصد پوست به مغز دانه پنبه رقم لطیف در حالت کرک‌دار از ارقام کرک‌دار کاشمر و خورشید کم‌تر است). تفاوت گرمای ویژه دانه پنبه ارقام مختلف ممکن است به علت پیوند هیدروژنی بین آب و سلولز<sup>۱</sup> یا پروتئین و سایر مواد دانه باشد (وان و زارینس، ۲۰۰۳). تورهان و گانسکاران (۱۹۹۹) در بررسی گرمای ویژه دانه پنبه کرک‌دار و دانه پنبه با پوشش نشاسته‌ای در دامنه دمایی ۲۰ تا ۵۰°C و ۲ تا ۵۰ درصد رطوبت، گرمای ویژه دانه کرک‌دار و دانه پنبه با پوشش نشاسته‌ای را به ترتیب ۱/۲ تا ۲/۹۵ kJ/kg °k و ۱/۳۱ تا ۳/۱۶ kJ/kg °k بدست آوردند (افزایش گرمای ویژه رابطه خطی با دما داشته است). وان و زارینس (۲۰۰۳) در بررسی گرمای ویژه دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک، پوسته و مغز دانه پنبه و الیاف پنبه نتیجه گرفتند که خطوط دما در برابر گرمای ویژه منحنی‌های بدست آمده در همه آن‌ها موازی هم بود که با افزایش دما گرمای ویژه افزایش یافته است. اینس و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی گرمای ویژه سه دانه روغنی (ذرت، سویا و آفتابگردان) در گستره دمایی ۲۰ تا ۶۵°C نتیجه گرفتند که در هر سه دانه روغنی با افزایش دما، مقدار گرمای ویژه بصورت خطی افزایش یافته است. در تحقیق صادقی (۲۰۰۶) برای تعیین گرمای ویژه پسته پوست‌گیری شده، مشخص گردید که با افزایش دما گرمای ویژه افزایش می‌یابد. رضوی و تقی زاده (۲۰۰۷) گرمای ویژه چهار رقم پسته ایرانی را تحت تاثیر تغییرات دما (۲۰ تا ۷۰°C) بررسی کردند و نتیجه گرفتند که گرمای ویژه این ارقام با افزایش دما روند صعودی داشته و به ازای افزایش یک درجه دما، گرمای ویژه ۰/۰۴۴ تا ۰/۰۵۴ kJ/kg.°k افزایش می‌یابد.



شکل ۴: اثر متقابل دما و پوشش بر گرمای ویژه

حروف کوچک مشابه در دما و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است.

جدول ۴ - مدل ریاضی مربوط به محاسبه گرمای ویژه دانه پنبه نسبت به دما در ارقام مختلف کرک‌دار و بدون کرک

معادله	R <sup>2</sup>	رقم بدون کرک	معادله	R <sup>2</sup>	رقم کرک دار
$C_p = 0.3083T + 0.6178$	0.94	کاشمر	$C_p = 0.3483T + 0.8122$	0.84	کاشمر
$C_p = 0.28T + 0.5989$	0.99	لطیف	$C_p = 0.265T + 0.8056$	0.99	لطیف
$C_p = 0.2933T + 0.5622$	0.99	خورشید	$C_p = 0.3667T + 0.7978$	0.87	خورشید

Cp گرمای ویژه دانه پنبه بر حسب (kJ/kg°C) و T دما در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

ضریب انتشار گرمایی: مطابق جدول ۵ تغییرات رقم، دما و پوشش در سطح احتمال ۱ درصد بر ضریب انتشار گرمایی موثر بود. همچنین اثر متقابل رقم در پوشش، دما در پوشش بر ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه تحت تاثیر رقم، دما و پوشش (m<sup>2</sup>/s)

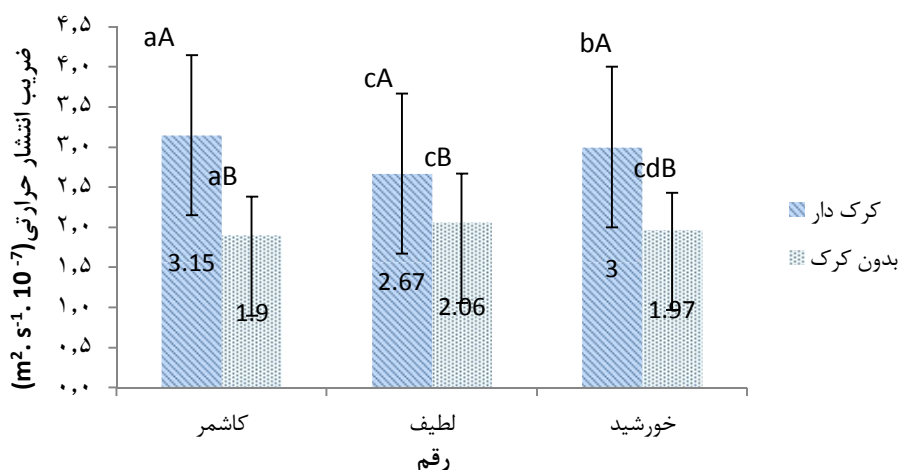
F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
۴/۷۵*	$1/22 \times 10^{-15}$	$2/45 \times 10^{-15}$	۲	رقم
۲۲۲/۷**	$5/75 \times 10^{-14}$	$1/15 \times 10^{-13}$	۲	دما
۱/۸۸ <sup>ns</sup>	$4/84 \times 10^{-16}$	$1/93 \times 10^{-15}$	۴	رقم × دما
۴۹۰/۳**	$1/26 \times 10^{-13}$	$1/26 \times 10^{-13}$	۱	پوشش
۱۸/۷۸**	$4/85 \times 10^{-15}$	$9/7 \times 10^{-15}$	۲	رقم × پوشش
۱۳/۵۶**	$3/5 \times 10^{-15}$	$7 \times 10^{-15}$	۲	دما × پوشش
	$2/58 \times 10^{-16}$	$7/74 \times 10^{-15}$	۳۰	خطا

\*\* و \* به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد (LSD) و ns عدم اختلاف معنی‌دار (cv=۶/۵)

اثر رقم و پوشش بر ضریب انتشار گرمایی: مطابق شکل ۵ توده دانه پنبه کرک‌دار رقم کاشمر و لطیف بترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ضریب انتشار گرمایی می‌باشد. همچنین ضریب انتشار گرمایی ارقام کرک‌دار با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ضریب انتشار گرمایی توده دانه پنبه بدون کرک بترتیب مربوط به رقم لطیف و کاشمر بود. بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف معنی‌دار مقدار ضریب انتشار گرمایی بین دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک بترتیب در رقم کاشمر و لطیف مشاهده شده است.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه کرک‌دار بیش‌تر از دانه پنبه‌های بدون کرک است. وجود کرک بر سطح دانه پنبه، موجب نشر سریع‌تر حرارت می‌گردد، یعنی این‌که ارقام پنبه در حالت کرک‌دار در اثر افزایش دما زودتر گرم شده و توزیع حرارت سریع‌تری در

حجم توده دانه پنبه رخ می‌دهد و این آگاهی از ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه، در نحوه چیدمان و نگهداری کیسه‌های دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک در انبار و تهویه هوای انبار می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.



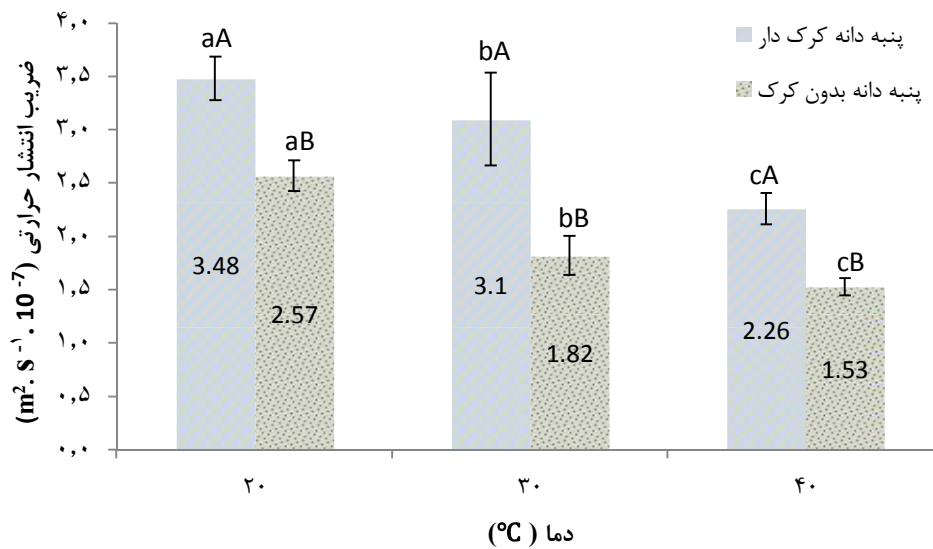
شکل ۵: اثر رقم و پوشش بر ضریب انتشار گرمایی دانه های پنبه

حروف کوچک مشابه در بین رقم‌ها و حروف بزرگ مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در هر رقم است.

**اثر دما و پوشش بر روی ضریب انتشار گرمایی:** اثر متقابل دما بر روی ضریب انتشار گرمایی سه رقم دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک در دماهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰°C در شکل ۶ نشان داده شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ضریب انتشار گرمایی در دمای ۲۰ و ۴۰°C بترتیب در دانه پنبه کرک‌دار  $3/48 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s) و  $2/26 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s) و در دانه پنبه بدون کرک  $2/57 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s) و  $1/53 \times 10^{-7}$  بدست آمده است. در بررسی اثر متقابل دما و پوشش بر مقدار ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه ارقام مورد مطالعه کرک‌دار و بدون کرک، مشخص شد که بین میزان ضریب انتشار گرمایی حالت کرک‌دار و حالت بدون کرک تحت تاثیر سه دمای مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

با استفاده از نرم‌افزار صفحه گسترده اکسل مدل‌های رگرسیونی ضریب انتشار گرمایی نسبت به سه رقم دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک در دماهای مختلف بدست آمد. معادلات به دست آمده در جدول ۶ نشان داد که شیب خط تغییرات ضریب انتشار گرمایی متناسب با افزایش دما در هر سه رقم کرک‌دار بیش از حالت بدون کرک دانه و مشابه هم می‌باشد (  $0/00006$  و  $0/00005$  ). این بدان معنی است که تغییرات ضریب انتشار گرمایی ارقام کرک‌دار دانه پنبه تحت تاثیر دما بیش‌تر از ارقام بدون کرک است. تورهان و گانسکاران (۱۹۹۹) در بررسی ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه کرک‌دار و دانه پنبه با

پوشش نشاسته‌ای در دامنه دمایی ۲۰ تا ۵۰°C درجه سلسیوس و ۲ تا ۵۰ درصد رطوبت، گزارش کردند ضریب انتشار گرمایی بصورت خطی با افزایش تراکم توده دانه پنبه و افزایش دما کاهش می‌یابد. میانگین ضریب انتشار گرمایی سه رقم دانه روغنی در تحقیق اینس و همکاران (۲۰۰۸) مقدار  $1/111 \times 10^{-7}$  تا  $1/37 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s) برای ذرت،  $8/268 \times 10^{-7}$  تا  $1/496 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s) برای سویا و  $2/325 \times 10^{-7}$  تا  $3/695 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s) برای آفتابگردان حاصل شد. نتایج بیترا و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد با این که با افزایش رطوبت، ضریب انتشار گرمایی پوسته نازک بادام زمینی از  $5/9 \times 10^{-7}$  به  $6/7 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s) تغییر کرد، ضریب انتشار گرمایی غلاف، مغز و دانه بادام زمینی کاهش داشته است.



شکل ۶: اثر متقابل دما و پوشش بر ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه (m<sup>2</sup>/s)

حروف کوچک مشابه در دما و حروف بزرگ مشابه در نوع پوشش نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است

جدول ۶: مدل ریاضی مربوط به محاسبه ضریب انتشار گرمایی ارقام مختلف کرک دار و بدون کرک پنبه

نسبت به دما		رقم بدون کرک		نسبت به دما	
معادله	R <sup>2</sup>	رقم بدون کرک	معادله	R <sup>2</sup>	رقم کرک دار
$\alpha = 5 \times 10^{-5} T + 0.0003$	0.8	کاشمر	$\alpha = 6 \times 10^{-5} T + 0.0004$	0.86	کاشمر
$\alpha = 5 \times 10^{-5} T + 0.0003$	0.9	لطیف	$\alpha = 6 \times 10^{-5} T + 0.0004$	0.97	لطیف
$\alpha = 5 \times 10^{-5} T + 0.0003$	0.9	خورشید	$\alpha = 6 \times 10^{-5} T + 0.0004$	0.9	خورشید

$\alpha$  ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه (m<sup>2</sup>/s) و T دما در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی برخی خواص گرمایی دانه پنبه شامل ضریب هدایت گرمایی، گرمای ویژه و ضریب انتشار گرمایی در دو حالت کرک‌گیری شده و کرک‌گیری نشده پرداخت و نتایج زیر حاصل گردید. بر اساس این پژوهش که روی سه رقم دانه پنبه جدید کاشمر، لطیف و خورشید انجام پذیرفت، ضریب هدایت گرمایی سه رقم در حالت کرک‌دار و بدون کرک در سه دمای مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری نداشت. شیب داده‌ها نشان داد که تغییرات گرمای ویژه دو رقم دانه پنبه کاشمر و خورشید در دو حالت کرک‌دار و بدون کرک در دامنه دمایی ۲۰ تا ۴۰°C مشابه هم بوده، رقم لطیف در هر دو حالت کرک‌دار و بدون کرک با مقدار گرمای ویژه کم‌تر مقاومت کم‌تری در مقابل تغییر دما نسبت به دو رقم دیگر دارد. همچنین گرمای ویژه دانه پنبه کرک‌دار دو رقم کاشمر و خورشید در سه دمای مورد مطالعه بیش از حالت بدون کرک بود.

معادلات تغییرات ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه‌ها در مقابل افزایش دما (۲۰ تا ۴۰°C) مبین آن است که با افزایش دما ضریب انتشار گرمایی کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات ضریب انتشار گرمایی ارقام کرک‌دار و بدون کرک در برابر تمامی سطوح دمایی مورد آزمون، مانند هم است. مقدار بیشتر شیب خط معادلات ضریب انتشار گرمایی ارقام کرک‌دار، بدین معنی است که تغییرات ضریب انتشار گرمایی ارقام کرک‌دار دانه پنبه تحت تاثیر دما بیش‌تر از ارقام بدون کرک است که بطور مشخص در این تحقیق رقم کاشمر و خورشید کرک دار ضریب انتشار بیشتری دارند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود کرک بر سطح دانه پنبه موجب نشر سریع‌تر حرارت می‌گردد، یعنی این که ارقام پنبه در حالت کرک‌دار در اثر افزایش دما زودتر گرم شده و توزیع حرارت سریع‌تری در حجم دانه پنبه رخ می‌دهد که آگاهی از ضریب انتشار گرمایی دانه پنبه، در نحوه چیدمان و نگهداری کیسه‌های دانه پنبه کرک‌دار و بدون کرک در انبار و تهویه هوای انبار حائز اهمیت است. بنابراین نتایج این تحقیق در نحوه انبارداری و نیز در مورد کرک‌گیری و لزوم انجام کرک‌گیری نیز می‌تواند موثر باشد. مقایسه خواص گرمایی سه رقم دانه پنبه تحت تاثیر تغییرات دما، نشان داد که با افزایش دما از ۲۰ به ۴۰°C در دانه پنبه‌های کرک‌دار و بدون کرک سه رقم دانه، تغییرات گرمای ویژه و تغییرات ضریب انتشار گرمایی بترتیب صعودی و نزولی بوده است.

### منابع

1. Asadzade, A.H. 2011. Determining Physical and mechanical properties of cottonseed. M.Sc. Thesis Mohaghegh Ardabili. (In Persian).
2. Avlara, N., and Haque, M. 2001. Moisture dependence of thermal properties of sheanut kernel. Journal of food Engineering, 47(2), 109-113.



3. Azadbakht, M. 2011. Determinatin of soybean mass thermophysics properties to model soybean pod pre-threshing dryer. PhD thesis, Tarbiyat Modarress Univ., Tehran.
4. Azadbakht, M., Khoshtaghaza, M.H., Ghobadian, B. and Minaei, S. 2013. Thermal Properties of Soybean Pod as a Function of Moisture Content and Temperature. American Journal of Food Science and Technology 1: 9-13. (In Persian).
5. Bart-Plange, A., Addo, A., Kumi, F., and Piegu, A.K. 2012. Some moisture dependent thermal properties of Cashew kernel (*Anarcardium occidentale* L.) Bitra, V.S., Banu, S., Ramakrishna, P., Narender, G. and Womac, A.R. 2010. Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. Biosystems Engineering, 106(4), 503-512.
6. Christiansen, M.N. and Rowland, R.A. 1986. Germination and stand establishment, p: 535-541, in: Cotton physiology, by: Brown, J.M. (ed.), The cotton foundation, Pub. USA.
7. 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 soil. ASAE Meeting paper No. 016101. St. Joseph, Mich.: ASAE.
8. Ghaderi-Far, F., and Soltani, A. 2010. Control and certification of seed. Mashhad University of Jahad publications. 200 p. (In Persian).
9. Hammidi, A. 2011 b. Cotton seed processing. . Seed and plant Certification and Registration Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.
10. ISTA. 2009. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association (ISTA).
11. Khafaje, H., Banakar, A. Salahion, A. and Samadi Reikande, S. H. 2012. Lentils thermal heat transfer coefficients unstable (Thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat capacity factor). 7<sup>th</sup> National Congress of Agricultural Engineering and Mechanisation rod. (In Persian).
12. McDonald, M.B., and Copeland, L. 1997. Seed production, principles and practices. Chapman and Hall, U.S.A.
13. Mohsenin, N.N. 1980. Thermal properties of foods and agricultural materials. 83–121. New York: Gordon and Breach.
14. Mohsenin N.N. 1986. Thermal properties of foods and agricultural materials, Gordon and Breach, New York. 407 p.
15. Razavi, S.M.A., and Akbari, R. 2012. Biophysical Properties of Agricultural and Food Materials. Ferdowsi university of mashhad press. Fifth Edition. 118-119. (In Persian).

16. Razavi, S.M., 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. Sadeghi, A. 2006. Thermo-physical properties of pistachios are not peeled before drying process. PhD thesis, Tarbiyat Modarress Univ., Tehran. (In Persian).
18. Salarikia, A. 2012. Studying the effect of various temperature and moisture levels on the grain and shelled pistachio (two varieties). M.S. thesis, Ferdowsi Univ., Mashhad.
19. Shrivastava, M., and Datta, A. (1999). Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus florida*). *Journal of food Engineering*, 39(3), 255-260.
20. Singh, K., and Goswami, T. 2000. Thermal properties of cumin seed. *Journal of food Engineering*, 45(4), 181-187.
21. Sweat, V.E. 1986. Thermal properties of foods. "Engineering properties of foods", Rhao, M. and S.S.H. Rizvi (ed.), Marcel Dekker, New York.
22. Sytky, G. 2005. Mechanical agricultural products. Islamic Azad University Publications. 134-135.
23. Turhan, M. and Gunasekaran, S. 1999. Thermal properties of fuzzy and starch-coated cottonseeds. *J. Agric. Eng. Res.* 74: 185-191.
24. Vafaeitabar, M., and Talat, F. 2008. Evaluation of quantitative and qualitative some promising cotton cultivars in Varamin. *Agricultural Knowledge Iran*. V5. N<sub>O2</sub>. 245-256. (In Persian).
25. Wan, P.J., and Zarins, M.Z. 2003. Specific Heats of Cottonseed and Its Co-products. Southern Regional Research Center, ARS, USDA, New Orleans, Louisiana 70: 124.
26. 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: 169-176.