

معادلات زمانی فرایند خشک شدن پسته در خشک کنهای مخزنی

حمیدرضا گازر¹ سعید مینایی²

1 - عضو هیات علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

2 - عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس

آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده hgazor@yahoo.com

چکیده

خشک کردن یکی از مهمترین مراحل فرآوری پسته پس از برداشت بوده و در آن، انرژی زیادی صرف خشک کردن این محصول می گردد. لذا با توجه به محدودیت زمان در فصل برداشت و فرآوری پسته، کاربرد معادلات تخمین زمان خشک شدن و روند تغییرات رطوبت باعث جلوگیری از اتلاف وقت در فرآوری این محصول می شود. در همین راستا تحقیقی برای بدست آوردن معادلات زمانی حاکم بر فرایند خشک شدن دو رقم پسته ایرانی با استفاده از روش رگرسیون چندگانه انجام شد و نتایج بدست آمده بصورت واقعی درخشک کنهای صنعتی پسته مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین به وسیله کاربرد یک معادله نمایی، روند تغییرات رطوبت در حین فرایند خشک شدن پسته نیز تحقیق شده و ضرایب ثابت a و b برای هر دو رقم بدست آمد. نتایج بدست آمده از تحقیق نشان داد که هر دو معادله خطی و غیر خطی بدست آمده برای تخمین زمان خشک شدن پسته، دارای توافق خوبی با داده های آزمایش می باشند ($R > 0.95$). همچنین مدل نمایش روند خشک شدن پسته دارای برازش خوبی با داده های واقعی در خشک کن صنعتی و به ویژه در مراحل انتهایی فرایند بود. بررسی نزدیک داده ها نشان داد که در این معادله ضریب a می تواند همان رطوبت اولیه پسته بر پایه خشک باشد.

کلمات کلیدی: پسته، معادلات تخمین زمان خشک شدن، خشک کن مخزنی

مقدمه (با 2 خط فاصله از کلمات کلیدی)

یکی از مهمترین مراحل فرآوری پسته، مرحله خشک کردن می باشد. در این مرحله رطوبت اولیه محصول به حدود 5 درصد بر پایه خشک کاهش می یابد تا پسته قابلیت مناسب انبار مانی را بدست آورد (Kader et al., 1982). دستیابی به معادلاتی جهت تخمین بهینه زمان فرایند خشک کردن پسته می تواند اثر مهمی بر جلوگیری از اتلاف زمان در صنعت فرآوری این محصول داشته باشد. مطابق استاندارد، پسته خشک، پسته ای است که رطوبت آن به 6 درصد و کمتر رسیده باشد (بی نام، 1376). کاراتاس و باتالبی تحقیقی بر روی فرایند خشک شدن پسته رقم *غازی آنتپ* در محدوده دمای 35 تا 60°C انجام دادند. باتوجه به نتایج بدست آمده، مشاهده گردید که آهنگ خشک شدن در مراحل اولیه فرایند، بطور قابل توجهی از دو مرحله دیگر بیشتر می باشد و در مراحل سوم کند و تقریباً ثابت می شود (Karatas and Battalbay, 1991). چن وسینگ بر روی مدل سازی فرایند خشک کردن دو مرحله ای پسته منطقه کالیفرنیا تحقیق کردند. مدل سازی یکبار برای خشک کن های بستر سیال و یکبار دیگر برای خشک کنهای بستر ثابت انجام و در نهایت از تلفیق آن دو، مدلی برای خشک کردن دو مرحله ای پسته حاصل گردید. آنها برای مدل سازی در خشک کنهای بستر سیال، از قانون دوم فیک استفاده کرده و معادله انتشار را برای تغییرات رطوبت در مواد کروی شکل ارائه کردند. همچنین برای مدل

سازی و نشان دادن آهنگ خشک شدن در خشک کنهای بستر ثابت نیز از معادله پیچ استفاده کردند (Chen and Singh, 1990). خوش تقاضا و سلیمانی در تحقیق خود با استفاده از روش رگرسیون رابطه ای بین درصد شکنندگی برنج با تغییرات دما، سرعت هوا و رطوبت محصول در انتهای فرایند خشک کردن، پیدا نمودند (خوش تقاضا و سلیمانی، 1378). غضنفری و همکاران فرایند خشک شدن پسته در خشک کن خورشیدی را مورد بررسی قرار داده و فرایند خشک کردن پسته را با استفاده از مدل های نمایی کاهنده و معادله فیک مدل سازی نمودند. در این تحقیق نتیجه گیری شد که علیرغم کند بودن خشک شدن پسته به وسیله خشک کن خورشیدی، کیفیت طعم محصول خشک شده در مقایسه با پسته خشک شده با هوای گرم (دستگاه) بهتر می باشد (Ghazanfari et al., 2003). گازر و مینایی در تحقیق خود نتیجه گیری کردند که تاثیر افزایش دما بر کاهش زمان خشک شدن پسته، بیش از تاثیر افزایش سرعت هوا بوده و تغییر دما از 60 تا 90°C موجب کاهش 37 درصدی زمان خشک شدن خواهد شد (Gazor and Minaei, 2005). با توجه به مشاهدات میدانی مبنی بر کاربرد دماهای 50 تا 70°C، کمبود تحقیقات لازم برای بررسی روند خشک کردن پسته در دماهای بالا و اهمیت زمان در فرایند خشک شدن پسته، در این تحقیق در مرحله اول با استفاده از روش رگرسیون، معادلات تخمین زمان خشک شدن پسته تدوین و ارائه گردید. همچنین روند تغییرات رطوبت در فرایند خشک کردن پسته نیز بدست می آید. در مرحله بعد، نتایج حاصله بر روی خشک کن های مخزنی پسته که از دستگاههای مرسوم در منطقه رفسنجان می باشد، ارزیابی شد.

مواد و روشها

در این تحقیق ابتدا تاثیر تغییرات دما در سه سطح 60 (T1)، 75 (T2) و 90°C (T3)، سرعت جابجایی هوا در سه سطح 1/5 (V1)، 2 (V2) و 2/5 متر بر ثانیه (V3) و ضخامت محصول در سه سطح تک لایه (D1)، 5 (D2) و 10 سانتیمتر (D3) بر روی زمان خشک شدن دو رقم از پسته های ایران بنام های کله فوچی و فندقی در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شد و در مرحله بعدی با استفاده از نتایج بدست آمده، روابطی برای تخمین زمان خشک شدن پسته ارائه گردید و زمان خشک شدن در خشک کن صنعتی با مقادیر بدست آمده از مدلها مقایسه شد. پس از آن با استفاده از یک معادله نمایی، روند تغییرات رطوبت در حین فرایند خشک شدن پسته بدست آمده و ضرایب مدل برای هر تیمار تعیین گردید. مراحل انجام تحقیق بشرح زیر می باشد.

مرحله خشک کردن آزمایشگاهی

برای انجام عملیات خشک کردن از سه عدد خشک کن آزمایشگاهی از نوع کیلن¹ استفاده شد. خشک کنها از طریق یک دستگاه داده برداری به کامپیوتر متصل بودند. طی آزمایش، در فواصل 15 دقیقه ای اقدام به داده برداری از طریق وزن کشی نمونه ها شد. سپس با استفاده از رابطه وزنی، تغییرات رطوبت نمونه ها در طول آزمایش بدست آمد. با توجه به تحقیقات انجام شده قبلی، مبنای محاسبات زمان خشک شدن، مدت زمان رسیدن رطوبت پسته به میزان حدود 5 ± 1 درصد بر پایه خشک انتخاب گردید (Kader et al. 1982). برای اندازه گیری رطوبت در پسته های مورد آزمون، روش وزنی بکار برده شد. نمونه ها به مدت 6 تا 8 ساعت در یک آون خلأ با

¹. Kiln dryer

فشار 900- میلی بار و دمای 70 درجه سانتیگراد نگهداری شدند تا وزن آنها ثابت گردید (توکلی پور، 1373 ، Maskan and Gogus, 1997). مقدار رطوبت اولیه برای پسته کله قوچی 57 تا 62 درصد و برای پسته فندقی 51 تا 55 درصد بر پایه خشک بدست آمد. ظرف آزمایش عبارت بود از یک استوانه دارای صفحه مشبک در پائین دست ، با مقطع دارای قطر 10 و ارتفاع 12 سانتی متر که حداکثر تا ارتفاع 10 سانتی متر در آن پسته قرارداده شد. برای اندازه گیری سرعت جابجایی هوای گرم در خشک کنها، از دستگاه سرعت سنج هوا پره ای مدل AM-4201 شرکت لوترون (تایوان) استفاده شد. با استفاده از دما سنج- رطوبت سنج مدل HT-3003 شرکت لوترون، در طول مدت آزمایشات تغییرات دمای آزمایشگاه 23 تا 28 °C و رطوبت نسبی هوای محیط 20 تا 35٪ بود.

مطالعه فرایند خشک کردن در خشک کن صنعتی:

برای ارزیابی نتایج بدست آمده در آزمایشگاه، از یک خشک کن صنعتی از نوع مخزنی افقی در رفسنجان استفاده گردید. تغییرات دما و سرعت هوای گرم و ضخامت محصول در آزمایشهای مربوط به خشک کن مخزنی مورد استفاده در تحقیق به شرح زیر بود.

- سطوح تغییرات دمای خشک کن = 60 و 75 °C (لازم به ذکر است که در رفسنجان از دماهای بالاتر از 75 °C برای خشک کردن پسته استفاده نمی شود).
- سطوح تغییرات سرعت جابجایی هوای گرم = 1/5 و 2/5 m/s.
- سطوح تغییرات ضخامت محصول = تک لایه ، 5 و 10cm .

در طول مدت زمان آزمایشها ، دمای محیط 20-38 °C و رطوبت نسبی هوا 18-34 درصد اندازه گیری شد. همچنین رطوبت پسته های خارج شده از نم گیر اولیه برای رقم کله قوچی $4 \pm 52/5$ درصد و برای رقم فندقی 4 ± 47 درصد رطوبت بر پایه خشک بدست آمد. خشک کن دارای 10 m طول ، 1 m عرض و ارتفاع 0/3 m بود که معمولاً جهت حفظ کیفیت ، رنگ و جلوگیری از بسته شدن دهان پسته در اثر فشار لایه های محصول بر روی یکدیگر ، معمولاً تا ارتفاع 10 تا 15 cm پسته برای خشک کردن در آن ریخته می شد. دمای خشک کن در محدوده 30 تا 100°C توسط یک ترموستات با دقت ± 1 °C قابل کنترل بود. در این پژوهش برای اطمینان از وجود یکنواختی دمای هوای گرم در سرتاسر خشک کن، با استفاده از یک دماسنج دیجیتال با دقت ± 1 °C در پنج نقطه ابتدایی ، میانی و انتهایی خشک کن دمای هوای ورودی اندازه گیری گردید . حداکثر اختلاف دمای مشاهده شده بین ابتدا و انتهای خشک کن در حدود ± 5 °C ثبت شد. تغییرات سرعت جابجایی هوای گرم در خشک کن با کاهش دور دمنده به وسیله فلکه های تغییر دهنده دور در خشک کن انجام گرفت. برای اندازه گیری سرعت هوای گرم در قسمت های مختلف خشک کن در هنگام برخورد به پسته ها، یک دستگاه سرعت سنج هوا بکار برده شد . سرعت های هوای ورودی به محفظه خشک کن در پنج قسمت از آن اندازه گیری و از داده های بدست آمده میانگین گیری شد. برای اندازه گیری تغییرات رطوبت پسته در خشک کن ، از استوانه های توری دار با ابعاد قطر داخلی 10 و ارتفاع 20 cm و دارای مش 2 mm استفاده گردید. در هنگام هر آزمایش ، این استوانه ها در سه نقطه از خشک کن قرار گرفتند . در هر آزمایش، ابتدا استوانه های دارای پسته به وسیله ترازوی دیجیتال دارای دقت $\pm 0/1$ g توزین و وزن آن ها در فرم مربوط یادداشت شد. سپس در فواصل یک ساعته اقدام به توزین نمونه ها گردید. وزن کشتی تا زمانیکه اختلاف دو توزین متوالی کمتر از یک گرم بود ادامه پیدا می کرد . در صورت عدم بروز اختلاف در دو توزین که نشانگر به تعادل رسیدن رطوبت نمونه با محیط اطراف خود بود، عملیات خشک کردن خاتمه یافته و استوانه ها از دستگاه خارج می شدند . در مرحله بعد نمونه ها در شرایط کنترل شده برای

تعیین رطوبت به آزمایشگاه برده شد و با استفاده از آون اتمسفریک در دمای 100°C برای مدت 10 تا 12 ساعت ، درصد رطوبت در هر نمونه آزمایش تعیین گردید (Hsu et al. , 1991 ; Pearson et al. , 1994).

مدل های تخمین زمان خشک شدن پسته

پس از انجام مرحله خشک کردن در آزمایشگاه، داده برداری و بدست آوردن زمان رسیدن رطوبت پسته به حدود 5 درصد ، به منظور سهولت کاربرد، با استفاده از روش رگرسیون چند گانه و کاربرد دو معادله درجه یک و دو، روابط میان زمان خشک کردن پسته بعنوان متغیر وابسته از یک سو و دما ، سرعت هوا ، ی گرم و ضخامت لایه محصول بعنوان متغیرهای مستقل از سوی دیگر، به شرح زیر تدوین گردید و ثابتهای معادلات برای هر رقم بطور جداگانه بدست آمد و ضریب همبستگی برای هر دو معادله، تعیین شد (روابط 1 و 2). برای هر دو رقم پسته، ضخامت تک لایه در معادلات برابر با 1cm در نظر گرفته شد(فرشادفر، 1373).

$$t_d = a_1 T + a_2 V + a_3 D + a_4 (T.V) + a_5 (T.D) + a_6 (V.D) + a_7 (T.V.D) \quad (1)$$

$$t_d = a_1 T^2 + a_2 V^2 + a_3 D^2 + a_4 T + a_5 V + a_6 D + a_7 (T.V) + a_8 (T.D) + a_9 (V.D) + a_{10} (T.V.D) \quad (2)$$

در معادلات بالا :

$$t_d = \text{زمان خشک کردن پسته (min)} = T = \text{دمای خشک کن } (^{\circ}\text{C}) = V = \text{سرعت هوای گرم (m/s)}$$

$$D = \text{ضخامت لایه محصول (cm)} = a_1 \text{ تا } a_{10} = \text{ثابتهای معادله}$$

برای تعیین روند تغییرات رطوبت پسته های کله قوچی و فندقی در خشک کن صنعتی، از نتایج تحقیقات انجام شده در مدل سازی فرایند خشک شدن پسته استفاده شد . پس از برازش داده های آزمایشگاهی با معادلات درجه دو، سه و نمایی، نتیجه گیری شد که روند تغییرات رطوبت در فرایند خشک کردن از فرم معادلات نمایی پیروی می کند، از این رو، یک معادله نمایی برای نمایش تغییرات رطوبت در واحد زمان بصورت رابطه 3 بکار برده شد و ضرایب ثابت معادله مذکور با استفاده از روش حداقل مربعات و کاربرد نرم افزار های Microsoft Excel 2003 و Statistica 5.1 برای هر کدام از تیمارهای آزمایش در هر دو رقم پسته تعیین گردید (شیدفر و فرمان، 1372 و توتونیان، 1374).

$$M_t = a \cdot \exp(bt) \quad (3)$$

در معادله بالا :

$$t = \text{زمان (min)} , M_t = \text{رطوبت پسته در زمان } t \text{ (\% d.b.)} , a , b = \text{ثابتهای معادله}$$

نتایج و بحث

مدلهای برآورد زمان خشک شدن پسته کله قوچی

پس از انجام مرحله خشک کردن و بدست آوردن زمان رسیدن پسته به رطوبت حدود 5٪ ، با استفاده از روش رگرسیون چند گانه، ثابتهای مربوط به معادلات برآورد زمان خشک شدن پسته کله قوچی طی دو رابطه درجه یک و دو (روابط 4 و 5) به شرح زیر تدوین گردید:

$$t_d = 3.394T + 238.604V + 145.001D - 3.301(T.V) - 1.608(T.D) - 34.234(V.D) + 0.405(T.V.D) \quad R=0.951 \quad (4)$$

$$t_d = 0.046T^2 - 36.895V^2 - 1.229D^2 - 2.331T + 428.132V + 169.822D - 3.846(T.V) - 1.752(T.D) - 39.561(V.D) + 0.474(T.V.D) \quad R=0.982 \quad (5)$$

در معادلات بالا: $60 \leq T \leq 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ، $1/5 \leq V \leq 2/5 \text{ m/s}$ و $1 \leq D \leq 10 \text{ cm}$ (تک لایه) می باشند. با توجه به ضرایب همبستگی بدست آمده برای هر دو معادله و مقایسه داده های مدلها با نتایج آزمایشگاه و خشک کن مورد استفاده در استان کرمان، چنین نتیجه گیری شد که مدل های مذکور در غالب موارد دارای برازش مناسبی بوده و برای تخمین زمان خشک شدن پسته کله قوچی می توان از مدل های مذکور استفاده نمود. با توجه به اینکه ضرایب همبستگی هر دو معادله نزدیک به یکدیگر می باشند، برای جلوگیری از احتمال خطای ناشی از کاربرد معادله درجه دو و سهولت کاربرد، بهتر است از مدل خطی در برآورد زمان خشک شدن پسته استفاده نمود.

مدل های برآورد زمان خشک شدن پسته فندقی

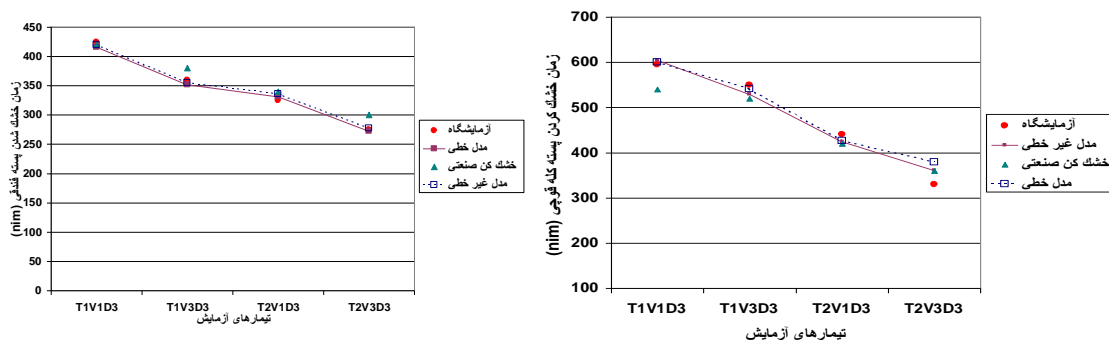
مشابه با پسته کله قوچی، پس از انجام مرحله خشک کردن و بدست آوردن زمان رسیدن پسته به رطوبت حدود 5٪، با استفاده از روش رگرسیون چند گانه، ثابت های مربوط به معادلات تخمین زمان خشک شدن پسته فندقی در دو رابطه درجه یک و دو (روابط 6 و 7) به شرح زیر بدست آمد:

$$t_d = 2.912T + 206.142V + 88.834D - 2.837(T.V) - 0.910(T.D) - 29.556(V.D) + 0.325(T.V.D) \quad R=0.963 \quad (6)$$

$$t_d = 0.004T^2 - 11.970V^2 - 0.488D^2 + 1.856T + 239.492V + 90.441D - 2.648(T.V) - 0.860(T.D) - 27.711(V.D) + 0.301(T.V.D) \quad R=0.982 \quad (7)$$

در معادلات بالا: $60 \leq T \leq 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ، $1/5 \leq V \leq 2/5 \text{ m/s}$ و $1 \leq D \leq 10 \text{ cm}$ (تک لایه) می باشند.

با توجه به ضرایب همبستگی بدست آمده و مقایسه داده های معادلات با نتایج آزمایشگاه و خشک کن مورد استفاده، نتیجه گیری شد که مدل های مذکور دارای برازش مناسبی برای تخمین زمان خشک شدن پسته فندقی می باشند. مشابه با پسته کله قوچی و با توجه به اینکه ضرایب همبستگی هر دو معادله نزدیک به یکدیگر می باشند، برای سهولت کاربرد و جلوگیری از احتمال خطای ناشی از کاربرد معادله درجه دو، بهتر است از مدل خطی در برآورد زمان خشک شدن پسته استفاده نمود. بعنوان نمونه مقایسه مدل با نتایج آزمایشگاه و خشک کن صنعتی برای پسته های کله قوچی و فندقی در ضخامت 10 سانتیمتر در شکل 1 آورده شده است.



شکل 1: مقایسه برازش مدل های زمان خشک شدن پسته های کله قوچی و فندقی در ضخامت 10cm

معادلات برآورد مقدار رطوبت پسته در حین فرایند خشک شدن

با توجه به برازش اولیه داده ها با معادله (3) نتیجه گیری شد که در معادله مذکور ضریب بدست آمده (a) در محدوده رطوبت اولیه پسته تغییر می کند و در واقع می توان این ضریب را همان رطوبت اولیه پسته (M_0) در نظر گرفت. پس می توان معادله بالا را بصورت رابطه 8 مجدداً بازنویسی کرد.

$$M_t = M_0 \cdot \exp(bt) \quad (8)$$

با توجه به دامنه تغییرات رطوبت اولیه پسته در آزمایشهای انجام شده و عملیات میانگین گیری از رطوبتهای مذکور، مقدار M_0 برای هر دو رقم پسته بدست آمد. این مقدار برای پسته کله قوچی 60/5 و برای پسته فندقی 52/2 درصد بر پایه خشک در نظر گرفته شد. در نتیجه معادله بالا برای دو رقم پسته بصورت روابط 9 و 10 بدست می آید. نتیجه حاصل شده با داده های بدست آمده برای رطوبت اولیه پسته (M_0) در تحقیق غضنفری و همکاران نیز برای خشک کردن پسته در خشک کن خورشیدی نیز همخوانی دارد (Ghazanfari et al., 2003).

برای پسته کله قوچی:

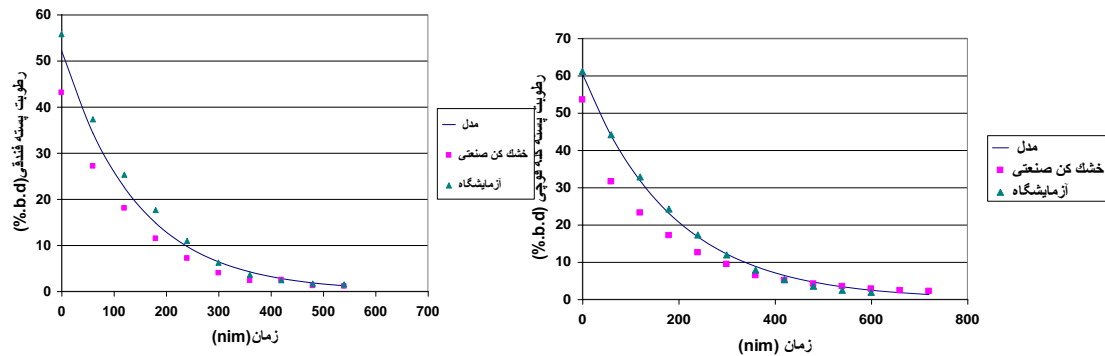
$$M_t = 60.5 \exp(bt) \quad (9)$$

برای پسته فندقی:

$$M_t = 52.2 \exp(bt) \quad (10)$$

با استفاده از داده های آزمایشگاهی، ضریب b در معادلات نمایی فوق برای تعیین تغییرات رطوبت پسته در حین فرایند خشک شدن برای هر دو رقم پسته (جدول 1). داده های این جدول کاربرد معادلات درگسترده وسیعی از مقادیر دما و سرعت هوای گرم را می سازد. با توجه به داده های بدست آمده، نتیجه گیری می شود که مدل مذکور برای هر دو رقم پسته دارای برازش مناسبی با داده های آزمایش می باشد. ارزیابی مدل مذکور با نتایج بدست آمده در خشک کن صنعتی بصورت ترسیمی نشان داد که در اغلب موارد روند خشک شدن پسته در خشک کن از مدل مذکور تبعیت می کند. البته لازم بذکر است که بدلیل وجود اختلاف بین رطوبت پسته خارج شده از نم گیر و رطوبت اولیه پسته (حدود 10 تا 15 درصد)، روند تغییرات رطوبت در داده های خشک کن در مراحل اولیه از نقطه پائین تری شروع می شود که با گذشت زمان و ثابت شدن شرایط، داده ها بیشتر با مدل منطبق می گردند. این انطباق در مراحل پایانی که دارای اهمیت زیادی می باشد بارزتر است.

نمونه ای از مقایسه روند تغییرات رطوبت در مدل، داده های آزمایشگاهی و خشک کن صندوقی در شکل 2 ملاحظه می گردد.



شکل 2: مقایسه روند تغییرات رطوبت پسته های کله قوچی و فندقی در مدل، آزمایشگاه و خشک کن صنعتی در دمای 75°C ، سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و ضخامت 10cm

در این تحقیق نتیجه گیری شد که مدل های برآورد زمان خشک شدن پسته های کله قوچی و فندقی دارای توافق مناسبی با داده های خشک کن صنعتی برای هر دو رقم پسته بودند. بدلیل کم بودن تعداد پارامترها و سهولت کاربرد، توصیه می شود که از مدل خطی در تخمین زمان خشک شدن پسته استفاده شود. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق و مقایسه آنها با داده های واقعی در خشک کنها پیشنهاد می شود که برای اطمینان بیشتر به هنگام استفاده از مدلها، زمان تخمین خشک شدگی محصول 30 دقیقه بیشتر در نظر گرفته شود. مدل تغییرات رطوبت پسته در طول مدت آزمایش، دارای برازش مناسبی با داده های آزمایشگاه و خشک کن بود. برای تکمیل نتایج بکارگیری و ارزیابی مدل های بکار رفته برای ارقام دیگر پسته در خشک کنهای صنعتی پیشنهاد می گردد.

جدول 1: ضریب معادله تغییرات رطوبت تیمارهای آزمایش در فرایند خشک کردن پسته های کله قوچی فندقی

پسته فندقی		پسته کله قوچی		تیمار آزمایش
R^2	b	R^2	b	
0/9979	-0/008519	0/9885	-0/007428	T1V1D1
0/9931	-0/009516	0/9878	-0/008240	T1V2D1
0/9864	-0/010297	0/9969	-0/008611	T1V3D1
0/9947	-0/012553	0/9942	-0/010177	T2V1D1
0/9981	-0/012372	0/9860	-0/011733	T2V2D1
0/9826	-0/013347	0/9939	-0/012451	T2V3D1
0/9960	-0/015903	0/9980	-0/014377	T3V1D1
0/9946	-0/015617	0/9979	-0/014883	T3V2D1
0/9902	-0/021328	0/9905	-0/06463	T3V3D1
0/9975	-0/007812	0/9997	-0/005154	T1V1D2
0/9895	-0/007709	0/9964	-0/005928	T1V2D2
0/9950	-0/007970	0/9950	-0/005646	T1V3D2
0/9994	-0/010250	0/9993	-0/007689	T2V1D2
0/9993	-0/010182	0/9976	-0/008765	T2V2D2
0/9993	-0/010182	0/9993	-0/008100	T2V3D2
0/9968	-0/011963	0/9996	-0/010204	T3V1D2
0/9988	-0/013587	0/9993	-0/011397	T3V2D2
0/9997	-0/013792	0/9977	-0/011205	T3V3D2

0/9996	-0/005519	0/9996	-0/004178	T1V1D3
0/9997	-0/005958	0/9994	-0/004709	T1V2D3
0/9953	-0/007231	0/9991	-0/004868	T1V3D3
0/9984	-0/006998	0/9986	-0/005356	T2V1D3
0/9986	-0/008099	0/9963	-0/007036	T2V2D3
0/9993	-0/008548	0/9995	-0/008033	T2V3D3
0/9930	-0/007642	0/9981	-0/008192	T3V1D3
0/9953	-0/010217	0/9992	-0/009503	T3V2D3
0/9986	-0/010703	0/9978	-0/009701	T3V3D3

منابع

1. بی نام، (1376). پسته- ویژگیها، استاندارد شماره 15، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. کرج.
2. توتونیان ف. (1374) روشهای محاسبات عددی (تالیف جان اچ متیوز). انتشارات خراسان. مشهد.
3. توکلی پور ح. (1379). بهینه سازی روشهای خش کردن و انبارداری پسته. رساله دکتری. واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی. تهران
4. شیدفرع. و ح. فرمان (1372). ریاضیات مهندسی پیشرفته، جلد دوم، (تالیف اروین کرویت سیگ). مرکز نشر دانشگاهی. تهران.
5. خوش تقاضا ه. و م. سلیمانی (1378). تاثیر پارامترهای خشک کن بر شکنندگی برنج. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال پنجم، شماره 20: 49-62
6. فرشادفر، ع. (1373). طرحهای آماری برای تحقیقات کشاورزی، (تالیف کوآنچای آگومز و آرتور آگومز). مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی. تهران.
7. Chen, H. and R. P. Singh, (1990). Modeling of two - stage drying of pistachios. ASAE Paper, No. 906526.
8. Ghazanfari A. , L. Tabil and S. Sokhansanj (2003) Evaluating a Solar Dryer for In-Shell Drying of Split Pistachio Nuts. Drying Technology, 21: 1357-1368
9. Gazor H. R. and S. Minaei (2005) Influence of Temperature and Air Velocity on Drying Time and Quality Parameters of Pistachio(*Pistacia vera L.*). Drying Technology, 23: 2463-2475
10. Hsu , M. , J. D. Mannapperuma and R. P. Singh, (1991). Physical and thermal properties of pistachios. J. agric. Engng. Res. 49: 311-321.
11. Karatas, S. and M.F. Battalbey, (1991). Determination of moisture diffusivity of pistachio nut meat during drying. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 24 : 484-487.
12. Maskan, M. and F. Gogus. (1997). The fitting of various models to water sorption isotherms of pistachio nut paste. Journal of Food Eng. : 227-237
13. Pearson , T. C. , D. C. Slaughter and H. E. Studer, (1994). Physical properties of pistachio nuts . Trans. of the ASAE , 37(3): 913-918.
14. Kader, A. A. , C. M. Heintz , J. M. Labavitch , H. L. Rae , (1982). Studies related to the description and evaluation of pistachio nut quality. J. of the American Society for Horticultural Science, 107(5): 812-816.

