DOI: http://dx.doi.org/10.22104/jift.2017.419

فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، سال چهارم، شماره ۱۵، صفحه ۱۰-۱، بهار ۱۳۹۶

ارزیابی خصوصیات کیفی ذرت خشک شده با سامانه خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته جریان متقاطع

حسینعلی شمس‌آبادی[1*]، هادی باقری[2]، عماد امیری[3]

1. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
2. دانشجوی دکتری، مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
3. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: **95/9/5**، تاریخ پذیرش: **95/10/12**)

چکیده

خشک کردن یکی از متداول‌ترین اشکال فراوری محصولات کشاورزی بوده و هدف از آن افزایش ماندگاری فراورده نهایی است. ذرت با نام علمی *Zea mayz* یکی از غلات گرمسیری و از خانواده گندمیان متعلق به گیاهان تک‌لپه‌ای و دارای ارزش تغذیه‌ای بالای می‌باشد. در این مطالعه اثر دمای هوای ورودی در چهار سطح 35، 50، 65 و 80 درجه سانتی‌گراد، سرعت چرخش استوانه در سه سطح 2، 6 و 10 دور بر دقیقه و میزان رطوبت نهایی دانه‌ها در دو سطح 13 و 17 درصد بر پارامترهای نهایی هم‌چون زمان خشک شدن (دقیقه)، میزان دانه‌های شکسته (درصد) و میزان دانه‌های ترک خورده (درصد) بررسی شد. برای این منظور یک خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته جریان متقاطع مجهز به سامانه کنترل دما و سرعت چرخش استوانه طراحی و ساخته شد. نتایج نشان داد که درصد دانه‌های شکسته و ترک خورده با افزایش دمای فرایند از 35 به 80 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و مدت زمان لازم برای خشک شدن نمونه‌ها کاهش یافت. با افزایش سرعت چرخش استوانه، درصد دانه‌های شکسته و زمان خشک شدن افزایش پیدا کرد، اما تأثیر زیادی بر روی میزان دانه‌های ترک خورده نداشت. زمان خشک شدن دانه‌های ذرت، درصد دانه‌های شکسته و درصد دانه‌های ترک خورده برای رطوبت 17 درصد کم‌تر از رطوبت 13درصد بود. با توجه به نتایج حاصله، دمای65 درجه سانتی‌گراد، سرعت چرخش استوانه 2 دور بر دقیقه و رطوبت 17 درصد بهترین شرایط برای خشک کردن دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار جریان متقاطع تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن، ذرت، خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته، درصد ترک خوردگی.

* نویسنده مسئول: shamsabadi95@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

1- مقدمه

خشک کـردن یکی از روش‌هـای نگه‌داری محصولات کشاورزی بوده و یک عملیات حساس و با اهمیت در چرخه نگه‌داری و حمل و نقل آن‌ها است. در این فرایند با استفاده از انرژی گرمایی، بخشی از آب موجود در ماده تبخیر گشته و به یک ماده با میزان رطوبت کم‌تر تبدیل می‌شود که همراه با فرایندهای پیچیده هم‌چون انتقال جرم و حرارت می‌باشد [1].

ذرت با نام علمی *Zea mayz* یکی از غلات گرمسیری و از خانواده گندمیان (*poaceae*) متعلق به گیاهان تک‌لپه‌ای می‌باشد. ذرت یکی از پر محصول‌ترین غلات دنیا به حساب می‌آید و از لحاظ مقدار تولید پس از گندم و برنج قرار دارد. امروزه ذرت در تغذیه بسیاری از مردم دنیا نقش اساسی دارد [2]. ذرت یکی از با ارزش‌ترین گیاهان در ایران بوده و دارای متوسط عملکرد دانه حدود 8 تن دانه در هکتار می‌باشد و طی سال‌های اخیر اجرای طرح‌های افزایش تولید ذرت با موفقیت‌های چشمگیری همراه بوده است [3]، با این وجود امکانات خشک‌کردن آن بسیار محدود بوده و از جمله آن‌ها، خشک نشدن مطلوب محصول در هنگام ذخیره سازی (در سیلو) و رشد میکروارگانیسم‌ها و در نهایت فاسد شدن محصول می‌باشد. خشک کردن ذرت به‌دلیل چربی و رطوبت بالای آن سخت و مشکل است و برای جلوگیری از فساد ذرت باید رطوبت آن از 25 تا 35 درصد به حداقل17 تا 13 درصد برسد [4].

دمای مورد استفاده در فرایند خشک کردن یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تاثیرگذار به‌شمار می‌آید و بر روی بسیاری از ویژگی‌های دانه ذرت تأثیرگذار است. با افزایش بیش از حد دمای فرایند، شکستگی و ترک خوردگی دانه‌های ذرت افزایش و از طرفی به‌کارگیری دمای پایین، نیز نیازمند صرف زمان طولانی برای خشک کردن محصول می‌باشد [5، 6].

تحقیقات متعددی برای بررسی اثر فرایند خشک کردن بر روی خصوصیات کیفی محصولات غذایی و کشاورزی انجام شده است از جمله لی و موری با بررسی خشک کردن ذرت به‌صورت لایه نازک به این نتیجه رسیدند که دما، سرعت جابه‌جایی هوا، رطوبت نسبی هوا و رطوبت اولیه محصول تأثیر مستقیمی بر سرعت خشک شدن و ویژگی‌های کیفی محصول دارد [7].

در پژوهشی عابید و همکاران با بررسی سنتیک خشک شدن ذرات دانه ذرت در یک خشک‌کن بستر سیال عنوان کردند که دما و سرعت جریان هوای داغ اثر معنی‌داری بر زمان و سرعت خشک شدن دانه‌های ذرت دارد [8]. میزان ترک خوردگی دانه‌های ذرت در یک خشک‌کن هوای داغ توسط دیویدسون و همکاران مورد بررسی قرار گرفت، این پژهشگران عنوان کردند که حساسیت به ترک خوردگی در دانه‌های ذرت با افزایش درجه حرارت خشک‌کردن افزایش می‌یابد [9].

پپلینسکی و همکاران با بررسی اثر دمای فرایند خشک‌کن در محدوده 25 تا 100 درجه سانتی‌گراد، بر خصوصیات کیفی دانه‌های ذرت نشان دادند که با افزایش درجه حرارت، وزن حجمی و شاخص حلالیت نیتروژن کاهش و حساسیت به شکستگی دانه افزایش می‌یابد [10].

با توجه به مطالب یاد شده و اهمیت موضوع، بررسی میزان تأثیرگذاری عوامل مختلف بر کیفیت ذرت دانه‌ای خشک شده بسیار ضروری می‌باشد. بالاترین کیفیت ممکن همراه با کم‌ترین ضایعات (شکستگی و ترک خوردگی دانه) برای ذرت دانه‌ای خشک شده در خشک‌کن بسیار حائز اهمیت است. برای دست‌یابی به اهداف یاد شده یک خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته جریان متقاطع طراحی و ساخته شد تا بتوان رفتار خشک شدن دانه‌های ذرت در شرایط مختلف خشک‌کن از نظر دماهای مختلف خشک‌کردن و سرعت چرخش استوانه را مورد بررسی قرار داد. هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر دمای فرایند و سرعت چرخش استوانه بر پارامترها و ویژگی‌های خشک کردن دانه‌های ذرت می‌باشد. دامنه تغییرات و محدوده آن‌ها به گونه‌ای انتخاب گردید تا شرایط خشک کردن ذرت را در خشک‌کن‌های صنعتی به‌طور کامل در برگیرد. از این رو آزمایشات در چهار سطح حرارتی 35، 50، 65 و 80 درجه سانتی گراد و سه سطح سرعت چرخش استوانه 2، 6 و 10 دور بر دقیقه انجام شد. سرعت جریان هوا برای تمامی این شرایط ثابت و برابر 0/8متر بر ثانیه تا رسیدن رطوبت دانه‌های ذرت از 27/60 به دو سطح 17 و 13 درصد بر پایه خشک انجام گرفت.

2- مواد و روش‌ها

2-1- ساخت دستگاه خشک‌کن

عملیات ساخت دستگاه و انجام آزمایشات در محل کارگاه

Archive of SID

www.SID.ir

گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت. دستگاه خشک‌کن از 7 قسمت، قاب یا شاسی، دمنده هوا، گرم کننده الکتریکی و ضمائم آن، استوانه خشک‌کن، سیستم رانش یا چرخش استوانه، مکانیزم تخلیه و تابلو کنترل تشکیل شده است. شکل (1) نشان دهنده شماتیک سه بعدی خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته جریان متقاطع می‌باشد. این دستگاه این قابلیت را دارد که بتوان میزان دمای ورودی، سرعت چرخش استوانه را کنترل و تغییر دهد.

2-2- آماده‌سازی نمونه‌ها

دانه‌های ذرت رقم سینگل کراس 704 از کارخانه «ذرت خشک‌کنی نمونه دانه» واقع در استان کرمانشاه تهیه گردید. پس از جداکردن مواد خارجی و دانه‌های شکسته حاصل از عملیات برداشت، با استفاده از دو الک با سوراخ‌های گرد به قطر $\frac{6}{64}$ و $\frac{12}{64}$ اینچی، اقدام به خشک‌کردن نمونه‌ها گردید.

3-2- اندازه گیری میزان رطوبت اولیه و تنظیم رطوبت مورد نظر

برای اندازه‌گیری میزان رطوبت اولیه دانه‌های مورد آزمایش، حدود 3 تا 5 گرم نمونه در یک ظرف اندازه گیری رطوبت از جنس آلومینیوم توزین گردید و در آون با دمای 3±110 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا به وزن ثابت برسد. پس از توزین ظرف حاوی نمونه از طریق رابطه (1) درصد رطوبت به‌دست آمد [11].

$$MC_{wb} = \frac{M_0 - M_f}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

$$MC_{db} = \frac{MC_{wb}}{1 - MC_{wb}} \quad (2)$$

که در این‌جا MC_{wb}، M_0، M_f به‌ترتیب رطوبت بر پایه تر، وزن نهایی و وزن اولیه نمونه می‌باشد. سپس با استفاده از رابطه (2) رطوبت دانه‌های ذرت بر پایه خشک محاسبه شد که مقدار آن برابر با 27/6 درصد بود.

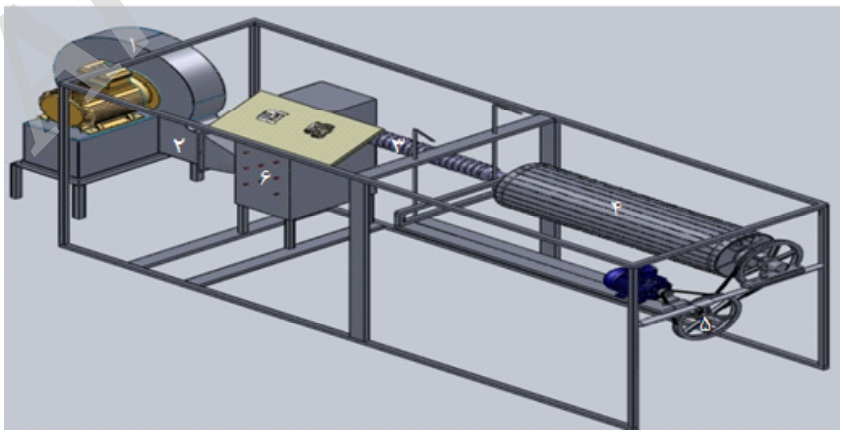
4-2- بررسی خصوصیات کیفی ذرت خشک شده

1-4-2- میزان شکستگی دانه‌های ذرت (درصد)

برای اندازه‌گیری درصد شکستگی دانه‌های ذرت از دو الک با مش 4 (الک با سوراخ گرد 4/76 میلی‌متری) و مش 8 (الک با سوراخ گرد 2/38 میلی‌متری) استفاده گردید. طبق تعریف و استاندارد، کلیه موادی که به سادگی از میان یک الک با سوراخ گرد 4/76 میلی‌متری (مش 4) عبور می‌کنند و از روی الک با سوراخ گرد 2/38 میلی‌متری (مش 8) عبور نمی‌کنند، اطلاق می‌شود. برای این منظور از 100 گرم ذرت خشک شده استفاده گردید [12].

2-4-2- درصد دانه‌های ترک خورده

برای اندازه‌گیری درصد ترک خوردگی دانه‌های ذرت، از یک دستگاه ترک‌بین استفاده شد. این دستگاه شامل یک لامپ



شکل (1) شماتیک سه بعدی خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته جریان متقاطع

1- دمنده هوا (فن)، 2- المنت‌های حرارتی، 3- کانال انتقال دهنده هوای داغ، 4- مخزن استوانه‌ای شکل، 5- سیستم چرخش استوانه، 6- تابلو کنترل

Archive of SID
www.SID.ir

فلوئورسنت است که زیر یک صفحه مشبک نصب می‌شود. صفحه مشبک دارای شیارهایی است که می‌توان دانه‌های ذرت را به‌طور مورب روی آن قرار داده و به راحتی وضعیت ترک دانه‌ها را مورد بررسی قرار داد. به‌علت شکست نور در مقطع ترک خورده، ترک عرضی دانه به راحتی قابل تشخیص است که برای محاسبه درصد ترک قبل از انجام عملیات خشک کردن ابتدا به‌طور تصادفی سه نمونه 100 تایی دانه سالم و بدون شکستگی از میان نمونه‌ها انتخاب شده سپس دانه‌ها بر روی شیارهای دستگاه ترک بین قرار داده شد و دانه‌های ترک دار (دانه‌های با ترک عرضی کامل) شمارش شد و به‌صورت درصد، نسبت به کل دانه‌ها در نظر گرفته شد. این عدد ترک ناشی از عملیات برداشت، حمل و نقل و یا تنش‌های رطوبتی است. پس از انجام هر آزمایش خشک کردن در دماها، سرعت‌ها و رطوبت‌های مختلف دوباره میزان ترک برای هر نمونه تعیین شد و میزان ترک قبل از عملیات خشک کردن از آن کسر گردید [13].

5-2- فرایند خشک کردن

به منظور ایجاد شرایط ثابت در استوانه خشک‌کن کن، دستگاه به مدت 30 دقیقه قبل از شروع فرایند روشن گردید. نمونه‌های 400 گرمی تا رطوبت 13 و 17 درصد بر پایه خشک برای سه سرعت چرخش استوانه 2، 6 و 10 دور در دقیقه و در چهار سطح دمای 35، 50، 65 و 80 درجه سانتی‌گراد با سه تکرار خشک شدند. در طی عملیات خشک کردن، توزین نمونه‌ها با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت 0/1± g انجام شد که با توجه به رطوبت اولیه دانه‌های ذرت، رطوبت دانه در زمان‌های مختلف با استفاده از رابطه (3) قابل محاسبه بود. برای ساده کردن کار، با توجه به رطوبت نهایی نمونه‌ها (13 یا 17 درصد)، میزان 50 گرم از هر نمونه را درون یک توری ریخته و همراه با نمونه اصلی خشک می‌گردد و در مدت زمان‌های به فاصله 15 دقیقه توری از داخل استوانه خارج و وزن می‌گردد، تا رطوبت مورد نظر ایجاد شود. حال با داشتن رطوبت اولیه نمونه ذرت مورد آزمایش می‌توان از طریق محاسبات با رابطه (3) که ارتباط رطوبت اولیه و رطوبت مورد انتظار پس از خشک شدن است، میزان رطوبت و وزن نمونه درون توری را به‌دست آورد، بدین ترتیب می‌توان پایان فرایند خشک شدن را تعیین کرد.

$$W_i\left(1-\frac{MC_i}{100}\right)=W_f\left(1-\frac{MC_f}{100}\right)\Rightarrow \quad (3)$$

$$50\left(1-\frac{27.6}{100}\right)=W_f\left(1-\frac{13}{100}\right)$$

$$\Rightarrow W_f=41.61gr$$

که W_i، وزن اولیه نمونه، MC_i، رطوبت اولیه، W_f، وزن نهایی نمونه و MC_f، رطوبت نهایی می‌باشد.

6-2-آنالیز آماری

تاثیر مستقل و متقابل هر یک از متغیرهای فرایند یعنی دمای هوای ورودی، سرعت چرخش استوانه و سطح رطوبت دانه‌ها بر پارامترهای کیفی با استفاده از طرح فاکتوریل و تجزیه واریانس (GLM) توسط نرم‌افزار آماری Minitab 16 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح 5 درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و به کمک نرم افزار MSTATC (Version 1.42, Michigan State university) صورت گرفت.

3- نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس در جدول (1) نشان می‌دهد که دمای هوای خشک‌کن، سرعت چرخش استوانه و رطوبت نهایی دانه‌ها اثر معنی‌داری بر زمان خشک شدن دانه‌ها، میزان دانه‌های شکسته و مقدار دانه‌های ترک خورده دارند. در صورتی که اثر متقابل دمای خشک‌کن-سرعت چرخش استوانه و اثر متقابل سرعت چرخش استوانه-رطوبت بر میزان دانه‌های ترک خورده در سطح 5 درصد معنی‌دار نبود. هم‌چنین اثر متقابل سرعت چرخش استوانه-رطوبت نهایی دانه‌ها در سطح 1 درصد بر روی زمان خشک شدن دانه‌ها تأثیرگذار نبوده است و اثر متقابل دمای خشک‌کن-سرعت چرخش استوانه-رطوبت نهایی دانه‌ها در سطح 1 درصد بر زمان خشک شدن و میزان دانه‌های ترک خورده معنی‌دار نبود.

1-3- اثر دمای هوای ورودی به خشک‌کن بر پارامترهای کیفی

در طی خشک کردن دانه‌های ذرت، مدت زمان رسیدن وزن

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (1) نتایج آنالیز واریانس پارامترهای کیفی دانه ذرت خشک شده با سامانه خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته جریان متقاطع

منابع متغیرهای مستقل	متغیرهای وابسته	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
	T	3	95767/685	7/748 E 3	0/000
H	B	3	24/307	342/465	0/000
	C	3	1/856	57/573	0/000
	T	2	4704/167	38/056	0/000
V	B	2	20/248	285/277	0/000
	C	2	2/632	81/637	0/000
	T	1	22112/5	1/788 E 3	0/000
M	B	1	6/254	88/111	0/000
	C	1	1/641	50/901	0/000
	T	6	650/463	5/262	0/000
H×V	B	6	1/055	14/858	0/000
	C	6	0/017	0/523	0/788
	T	3	2416/204	19/547	0/000
H×M	B	3	0/147	5/875	0/002
	C	3	0/139	4/297	0/009
	T	2	429/167	3/472	0/039
V×M	B	2	0/778	10/961	0/000
	C	2	0/066	2/054	0/139
	T	6	371/759	3/007	0/014
H×V×M	B	6	0/260	3/657	0/005
	C	6	0/078	2/412	0/041

H= دمای هوای ورودی به مخزن؛ V= سرعت چرخش استوانه (مخزن)، M= رطوبت نهایی دانه‌ها، T= زمان خشک شدن دانه‌ها، B= مقدار دانه‌های شکسته و C= میزان دانه‌های ترک‌خورده

نمونه‌ها به محدوده رطوبت 13 و 17 درصد (بر پایه خشک) یادداشت و به‌عنوان زمان خشک شدن نمونه‌ها استفاده گردید.

مقایسه میانگین تیمارها در جدول (2) تأثیر دماهای مختلف خشک کردن بر زمان خشک شدن دانه‌ها، درصد دانه‌های شکسته و درصد دانه‌های ترک خورده را نشان می‌دهد. در فرایند خشک کردن، زمان خشک شدن در دماهای تحت بررسی با هم متفاوت بوده و کم‌ترین زمان خشک‌شدن دانه‌ها مربوط به دمای 80 درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش دمای هوای ورودی به مخزن، سرعت خشک شدن افزایش یافته و زمان خشک کردن کاهش می‌یابد. با افزایش دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن، رطوبت محصول بیش‌تر کاهش می‌یابد. افزایش دمای هوای ورودی به خشک‌کن باعث انتقال جرم و گرمای بالاتری شده و موجب کاهش شدیدتر و سریع‌تر رطوبت می‌گردد. به‌طور کلی افزایش دما از یک طرف باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا به‌دلیل افز ایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و از طرف دیگر باعث گرم شدن سریع‌تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می‌شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می‌گردد [14]. نتایج مشابه برای مواد غذایی و محصولات کشاورزی دیگر گزارش شده است که استفاده از دماهای بالاتر منجر به افزایش قابل توجهی در شدت

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (2) اثر درجه حرارت هوای خشک‌کن بر زمان خشک‌شدن دانه‌ها، درصد دانه‌های شکسته و درصد دانه‌های ترک خورده و سوخته

پارامترهای کیفی مورد مطالعه	درجه حرارت خشک‌کردن (درجه سانتی‌گراد)			
	35	50	65	80
زمان خشک شدن نمونه‌ها (دقیقه)	698/2[a]	324[b]	189/6[c]	87/6[d]
درصد دانه‌های شکسته شده (درصد)	0/58[d]	1/89[c]	2/85[b]	3/94[a]
درصد دانه‌های ترک خورده (درصد)	0/67[b]	0/69[b]	0/83[b]	1/36[a]

حروف لاتین غیر مشترک نشانه تفاوت معنی‌داری می‌باشد

خشک‌شدن می‌شود [17-14].

میزان دانه‌های شکسته شده داری اهمیت بالایی در کیفیت محصول نهایی است و باید شرایط فرایند طوری انتخاب گردد که محصول نهایی کم‌ترین میزان دانه‌های شکسته شده را دارا باشد. اثر دمای هوای ورودی به مخزن بر میزان دانه‌های شکسته معنی‌دار بود به‌طوری که بیش‌ترین دانه شکسته مربوط به دمای 80 درجه سانتی‌گراد بود، اما میزان دانه‌های ترک خورده در دماهای (35، 50 و 65 درجه سانتی‌گراد) تفاوت معنی‌داری باهم نداشته‌اند. دمای 80 درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین تأثیر را بر روی میزان دانه‌های ترک خورده نشان داد. به‌طور کلی با افزایش دمای فرایند، رطوبت سطحی دانه های ذرت به سرعت خشک شده و فشار بخار شدید داخلی ایجاد شده باعث ایجاد تنش بزرگ در داخل دانه‌های ذرت می‌گردد که موجب افزایش ترک خوردگی می‌شود [18].

2-3- اثر سرعت چرخش استوانه بر پارامترهای کیفی

جدول(3) نشان دهنده اثر سرعت‌های مختلف چرخش استوانه بر زمان خشک شدن دانه‌ها، درصد دانه‌های شکسته و میزان دانه‌های ترک خورده می‌باشد. با توجه به جدول (3) در فرایند خشک کردن دانه‌های ذرت، زمان خشک شدن دانه‌ها و میزان دانه‌های شکسته در سرعت‌های مختلف استوانه خشک‌کن باهم متفاوت بوده است که کم‌ترین زمان خشک شدن و کم‌ترین دانه شکسته مربوط به سرعت استوانه 2 rpm بوده است. با افزایش سرعت چرخش استوانه، مدت زمان خشک شدن نمونه‌ها افزایش یافت که علت آن ایجاد نیروی گریز از مرکز در سرعت‌های بالاتر استوانه می‌باشد که در این صورت، ضخامت لایه نمونه ذرت روی دیواره استوانه خشک‌کن افزایش می‌یابد و باعث برخورد کم‌تر جریان هوا با سطح دانه‌ها می‌گردد، این در حالی است که در سرعت 2 دور در دقیقه سیال‌سازی دانه‌ها در داخل استوانه خشک‌کن به خوبی صورت گرفته و نرخ خشک شدن به‌دلیل افزایش سطح تماس به ازای واحد حجم دانه‌ها با جریان هوای خشک‌کن افزایش می‌یابد.

افزایش درصد شکستگی دانه‌های ذرت با افزایش سرعت استوانه به علت افزایش بیش از حد سرعت استوانه و برخورد سریع‌تر دانه‌ها با همدیگر و با دیواره داخلی استوانه می‌باشد که این امر منجر به شکستگی بیش‌تر دانه‌های ذرت می‌شود. دانه‌های خشک شده در سرعت چرخش استوانه 2 دور بر دقیقه از لحاظ درصد شکستگی دانه منطبق با استاندارد ملی ایران به‌شماره 1445 به‌عنوان ذرت درجه یک به حساب می‌آیند.

برای دانه‌های ترک خورده تفاوت معنی‌داری بین سرعت‌های مختلف وجود داشت به‌طوری که کم‌ترین و بیش‌ترین دانه ترک خورده به‌ترتیب مربوط به سرعت‌های چرخش استوانه 2 و 10 rpm اختصاص پیدا کرد. افزایش سرعت چرخش استوانه و برخورد دانه‌های ذرت با دیواره، منجر به ایجاد تنش‌های خارجی به سطح دانه گردیده و بنابراین میزان ترک خوردگی دانه‌های ذرت افزایش می‌یابد.

3-3- اثر رطوبت نهایی دانه‌ها بر پارامترهای کیفی

رطوبت انبارداری دانه‌های ذرت در دو سطح 13 و 17٪ بر پایه خشک انتخاب شد و دانه‌های ذرت با رطوبت اولیه 27/60 % تا رسیدن به این دو سطح رطوبتی در داخل خشک‌کن خشک شدند. با توجه به جدول (4) زمان خشک شدن دانه‌ها، درصد دانه‌های شکسته شده و میزان دانه‌های ترک خورده در رطوبت‌های مختلف باهم متفاوت بوده است. کم‌ترین و بیش‌ترین زمان خشک‌شدن و دانه‌های شکسته شده و ترک خورده به‌ترتیب مربوط به رطوبت‌های 17 و 13 درصد بوده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (3) تأثیر سرعت‌های مختلف استوانه خشک‌کن بر زمان خشک شدن دانه‌ها، درصد دانه‌های شکسته و درصد دانه‌های ترک خورده

پارامتر کیفی مورد مطالعه	سرعت چرخش استوانه (rpm)		
	2	6	10
زمان خشک شدن نمونه‌ها (ساعت)	4/02[c]	4/18[b]	4/90[a]
درصد دانه‌های شکسته شده (درصد)	1/34[c]	2/44[b]	3/16[a]
درصد دانه‌های ترک خورده (درصد)	0/6[c]	0/81[b]	1/25[a]

حروف لاتین غیرمشترک نشانه تفاوت معنی‌داری می‌باشد.

جدول (4) مقایسه میانگین تأثیر رطوبت نهایی دانه‌های ذرت بر زمان خشک‌شدن دانه‌ها، دانه‌های شکسته و دانه‌های ترک خورده و سوخته

پارامتر کیفی	رطوبت نهایی دانه‌ها (٪)	
	13	17
زمان خشک شدن نمونه‌ها (ساعت)	4/72[a]	3/61[b]
درصد دانه‌های شکسته شده (درصد)	2/61[a]	2/02[b]
درصد دانه‌های ترک خورده (درصد)	1/04[a]	0/74[b]

حروف لاتین غیرمشترک نشانه تفاوت معنی‌داری می‌باشد.

4-3- اثر متقابل دمای خشک‌کن، سرعت چرخش استوانه و رطوبت نهایی دانه ذرت بر پارامترهای کیفی

با افزایش دمای خشک‌کن، زمان خشک شدن دانه‌ها کاهش می‌یابد و با افزایش سرعت چرخش استوانه خشک‌کن، زمان خشک-شدن دانه‌ها به‌دلیل سرعت چرخش بیش‌تر دانه‌ها در داخل استوانه و تبادل کم‌تر دانه‌ها با هوای خشک‌کن افزایش می‌یابد. زمان لازم برای خشک‌کردن دانه‌های با رطوبت 17درصد کم‌تر از رطوبت 13درصد می‌باشد؛ زیرا در رطوبت 13درصد رطوبت بیش‌تری از دانه‌های ذرت گرفته می‌شود و زمان بیش‌تری طول می‌کشد تا به این سطح رطوبتی برسد. کم‌ترین زمان خشک شدن مربوط به نمونه‌ای می‌باشد که در دمای 80 درجه سانتی‌گراد، سرعت چرخش استوانه rpm 2 و رطوبت نهایی 17٪ خشک شده بود.

اثر متقابل دمای خشک‌کن، سرعت چرخش استوانه و رطوبت نهایی بر میزان شکستگی دانه‌های ذرت در جدول (5) نشان داده شده است. کم‌ترین درصد دانه‌های شکسته مربوط به درجه حرارت 35 درجه سانتی‌گراد، سرعت چرخش استوانه rpm 2 و رطوبت نهایی 17٪ بوده است؛ به‌طوری که با افزایش دمای فرایند و سرعت چرخش استوانه، درصد دانه‌های شکسته به‌دلیل شوک حرارتی و چرخش بیش‌تر دانه‌ها در داخل استوانه روند افزایشی نشان داد.

با افزایش دمای خشک‌کن، درصد دانه‌های ترک خورده به‌دلیل خروج سریع رطوبت از دانه و بالا بودن دمای خشک‌کن افزایش یافت. افزایش سرعت چرخش استوانه نیز تا حدودی روی دانه‌های ترک خورده تأثیرگذار بود. هم‌چنین در رطوبت 13٪ نیز به‌دلیل خروج بیش‌تر رطوبت از دانه درصد دانه‌های ترک خورده افزایش نشان داد. کم‌ترین درصد دانه‌های ترک خورده مربوط در دمای40 درجه سانتی‌گراد، سرعت چرخش استوانه rpm 2 و رطوبت 17٪ اتفاق افتاد.

با توجه به اثر متقابل دمای خشک‌کن، سرعت چرخش استوانه و رطوبت نهایی دانه‌های ذرت؛ دمای 65 درجه سانتی گراد، چرخش استوانه rpm 2 و رطوبت 17 درصد شرایط بهینه برای خشک‌کردن دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار ناپیوسته شناخته شد.

4- نتیجه گیری

خشک کردن یکی از روش‌های افزایش ماندگاری محصولات کشاورزی به‌خصوص غلات به‌شمار می‌آید. با توجه به اهمیت خشک کردن و میزان رطوبت نهایی در محصولات کشاورزی، کنترل دمای فرایند و سرعت چرخش استوانه دارای اهمیت

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (5) برهم کنش سه گانه دما، سرعت و رطوبت نهایی بر پارامتر های کیفی درت خشک شده

دمای هوای ورودی به استوانه (°C)	سرعت چرخش استوانه (rpm)	رطوبت نهایی دانه‌ها (درصد)	زمان خشک شدن (دقیقه)	درصد شکستگی دانه‌های ذرت	درصد ترک‌خوردگی دانه‌های ذرت
35	2	13	720^{b}	0/53^{k}	0/397^{gh}
35	2	17	598/33^{d}	0/52^{k}	0/317^{h}
35	6	13	721/67^{b}	0/92^{ij}	0/707^{f}
35	6	17	600^{d}	0/75^{j}	0/613^{fg}
35	10	13	735^{a}	1/62^{gh}	1/073^{e}
35	10	17	613/33^{c}	1/31^{h}	0/95^{e}
50	2	13	591/67^{e}	0/99i	0/52^{g}
50	2	17	458/33^{g}	1/11^{h}i	0/443^{gh}
50	6	13	598/33^{d}	2/11^{g}	0/817^{ef}
50	6	17	510^{f}	1/41^{h}	0/32^{h}
50	10	13	616/67^{c}	3/34^{f}	1/22^{d}
50	10	17	466/67^{g}	2/17^{fg}	0/837^{ef}
65	2	13	360^{i}	2^{g}	0/743^{f}
65	2	17	238/33^{n}	1/33^{h}	0/32^{h}
65	6	13	376/67^{hi}	3/83de	0/917^{e}
65	6	17	255^{k}	2/33^{f}	0/57^{g}
65	10	13	395^{h}	4/13^{c}	1/25^{d}
65	10	17	273/33^{j}	3/75^{e}	1/223^{d}
80	2	13	163^{pr}	2/24^{fg}	1/14de
80	2	17	90^{s}	2/04^{g}	0/98^{e}
80	6	13	180^{p}	4/7^{b}	1/587^{b}
80	6	17	105^{o}	3/52^{e}	0/97^{e}
80	10	13	211/67^{m}	4/97^{a}	2/143^{a}
80	10	17	131/67^{r}	4/06^{d}	1/347^{c}

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد است

فراوانی در این خشک‌کن طراحی شده، است، بنابراین نیاز است که اثر هریک از عوامل بر روی کیفیت نهایی محصول کنترل شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اذعان کرد که با افزایش دمای هوای خشک‌کن از 35 به 80 درجه سانتی‌گراد زمان خشک شدن دانه-های ذرت به کم‌تر از یک جهارم کاهش می‌یابد و با افزایش سرعت چرخش استوانه زمان خشک شدن افزایش یافت که کم‌ترین زمان خشک شدن در سرعت 2 دور در دقیقه و بیش‌ترین زمان خشک شدن در سرعت 10 دور در دقیقه می‌باشد که علت آن به خاطر نیروی گریز از مرکز ایجاد شده در سرعت‌های بالا می‌باشد.کم‌ترین زمان خشک شدن برای دانه‌های ذرت در خشک‌کن استوانه‌ای دوار غیر مداوم در دمای 80 درجه سانتی گراد، سرعت 2 دور در دقیقه و رطوبت 17 درصد می‌باشد. با افزایش سرعت استوانه درصد شکستگی دانه‌های ذرت افزایش یافت که کم‌ترین درصد شکستگی برای

Archive of SID

www.SID.ir

سرعت 2 دور در دقیقه بوده است. با افزایش دمای هوای خشک‌کن درصد دانه‌های شکسته شده و ترک خورده افزایش یافت. درصد دانه‌های ترک خورده در سرعت‌های 2 و 6 دور در دقیقه با هم اختلاف معنی‌داری ندارند و بیش‌ترین درصد ترک خوردگی برای سرعت چرخش 10 دور در دقیقه می‌باشد. با توجه به موارد بالا بهترین دما، سرعت چرخش استوانه و رطوبت نهایی با توجه به در نظر گرفتن شاخص استاندارد در مورد میزان دانه‌های شکسته شده و ترک خورده دمای 65 درجه سانتی‌گراد، سرعت چرخش 2 دور در دقیقه و رطوبت 17 درصد جهت خشک شدن دانه‌های ذرت مناسب می‌باشد.

منابع

[1] Mujumdar, A.S. (2000). Drying technology in agriculture and food sciences. *Science Publishers, Inc., Enfield (NH),* pp 253– 256

[2] حسینی، ح.؛ شیخ‌داودی، م.ج؛ قربانی بیگرانی، م. (1390) ارزیابی فنی روش‌های صنعتی خشک‌کردن ذرت در استان خوزستان. *همایش ملی مدیریت کشاورزی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم 12-1.

[3] Shakarami, G.M., Rafiee, R. (2009). Response of Corn (Zea mays L.) to planting pattern and density in Iran, *AEJAES*, 5(1), 69 – 73.

[4] چیذری، ا.ح.؛ امیرنژاد، ح. (1379) مدیریت پروژه ساخت یک واحد ذرت خشک‌کنی با بکارگیری روشهای پرت و سی‌پی‌ام. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، سال هشتم، شماره29، 15-26.

[5] Hutchinson, D., Otten, L. (1983). Thin layer drying of soybeans and white beans. *J. Food Technol.*, 18(4), 507-524.

[6] Abdelmotaleb, A., El-Kholy, M.M., Abou-El-Hana, H., Younis, M.A. (2009). Thin layer drying garlic slices using convection and (convection- infrared) heating modes, *J. Agric. Eng.*, 29(1), 251-181.

[7] Li, H., Morey. R.V. (1984). Thin-layer drying of yellow dent corn. Trans. *ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.).*, 27(2), 581-585.

[8] Abid, A., Gilbert, R., Laguerie, C. (1990). An experimental and theoretical analysis of mechanisms of heat and mass transfer during the drying of corn grains in a fluidized bed, *Int. Chem. Eng.*, 30, 632-642.

[9] Davidson, V.J., Nnble, S.D., Brown, R.B. (2000). Effects of dryingair temperature and humidity on stress cracks and brakage of maizekernels. *J Agric. Eng. Res.*, 77 (3), 303-308.

[10] Peplinski, A.J., Paulis, J.W., Bietz, J.A., Pratt, R.C. (1994). Drying of High-Moisture Corn: Changes in properties and physical quality. *Cereal Chem.*, 71(2): 129-133.

[11] AOAC. (2002). Official Methods of analysis (17th ed.). Washington D.C. USA: *Association of Official Analytical Chemists.*

[12] Chizari, A.H., Amyrnzhad, H. (2000). Project management using a single method of drying corn toss. *AJAERD.*, 29, 64-75

[13] پیمان، م. ح.؛ توکلی هشجین، ت.؛ مینایی، س. (1379) تعیین فاصله مناسب بین غلتک‌ها در پوست‌کن غلطک لاستیکی برای تبدیل سه رقم برنج متداول در استان گیلان. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال پنجم شماره 20، 48-37.

[14] Doymaz, I., Pala. M. (2003). The thin layer drying characteristics of corn. *J. Food Eng.*, 60, 125-130.

[15] Doymaz, I. (2007), Air drying characteristics of tomatoes. *J. Food Eng.*, 78, 1291-1297.

[16] Babalis, S.J., Belessiotis. V.G. (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and

Archive of SID

www.SID.ir

moisture diffusivity during the thin-layer drying. *J. Food Eng.*, 65, 449-458.

[17] Rao, P.S., Bal, S., Goswami. T.K. (2007). Modelling and optimization of drying variables in thin layer drying of parboiled paddy. *J. Food Eng.*, 78 (2), 480-487.

[18] مهاجران، س.ح. (1383) ساخت خشک کن تابش مادون قرمز آزمایشگاهی برای خشک کردن شلتوک. *پایان نامه کارشناسی ارشد*، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ص 110.

Archive of SID

www.SID.ir