Archive of SID

فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، سال چهارم، شماره ۱۳، صفحه۱۰۲-۹۳، پاییز ۱۳۹۵

بررسی تاثیر پارامترهای رقم، دما و سرعت جریان هوا در عملکرد کیفی یک خشک‌کن لایه نازک برنج

علی قدرتی[1]، داود کلانتری[2*]

1. دانشجوی کارشناسی ارشد، مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
2. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: 95/3/31، تاریخ پذیرش: 95/5/23)

چکیده

با توجه به اهمیت فرایند خشک‌کردن شلتوک در فراوری برنج، در کار تحقیقاتی حاضر تاثیر دماهای مختلف خشک‌کردن، 40، 50 و 60 درجه سلسیوس و سرعت جریان هوا، صفر، 2/65 و 4 متر بر ثانیه، بر زمان خشک‌شدن و درصد شکستگی دانه‌های شلتوک سه رقم برنج طارم، جلودار و فجر در یک خشک‌کن لایه نازک برنج مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش دمای خشک‌کردن از 40 تا 60 درجه سلسیوس، زمان خشک‌شدن شلتوک رقم طارم به میزان متوسط 55٪ کاهش و درصد شکست دانه به مقدار متوسط 50٪ افزایش می‌یابد. زمان خشک‌شدن ارقام دانه متوسط به‌خاطر سطح تبادل حرارتی کم‌تر دانه و پوسته شلتوک ضخیم‌تر، بیش‌تر از ارقام دانه بلند به‌دست آمد. اما به‌دلیل همین بافت و ساختار دانه، مقاومت بیش‌تری را در برابر شکست نشان دادند. از طرف دیگر ایجاد جریان باد گرم با سرعت مناسب، نه تنها باعث کاهش زمان خشک‌شدن شلتوک شد، بلکه به‌طور معنی‌داری درصد شکست دانه را نیزکاهش داد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، سرعت جریان هوای 2/65 متر بر ثانیه نسبت به سرعت جریان 4 متر بر ثانیه به‌خصوص در دمای خشک‌کردن 50 درجه سلسیوس تاثیر چشمگیری بر کاهش درصد شکست دانه دارد.

واژه‌های کلیدی: شلتوک، خشک‌کردن، سرعت جریان هوا، زمان خشک‌شدن، درصد شکست.

* نویسنده مسئول: dkalantari2000@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

مهم‌ترین عامل ضایعات برنج در مرحله پس از برداشت، ناشی از خشک‌کردن نادرست آن‌ها بوده لیکن عمده شکست‌های ایجاد شده در دانه پس از مرحله خشک‌شدن و طی فرایند تبدیل خود را نشان می‌دهند[1]. در همین راستا دلایل مختلفی برای ایجاد شکست دانه در فرایند تبدیل و فراوری برنج ذکر شده است. زمانی که دانه برنج طی فرایند خشک‌شدن تحت تاثیر دمای زیاد قرار می‌گیرد، ترک از قسمت داخلی و مغز دانه شروع شده و به‌صورت عمودی در طول محور دانه برنج گسترش پیدا می‌کند. در فرایند خشک‌شدن شلتوک با حرارت نامناسب، ترک‌های ایجاد شده در اثر جذب و دفع رطوبت سطحی در مرحله تبدیل توسط ماشین‌های شالیکوبی از جمله پوست کن و سفید کن، به شکست دانه تبدیل می‌شود. نکته قابل توجه این که عمده ترک‌های ایجاد شده در مرحله خشک‌کردن به‌صورت میکروسکوپی بوده و تا قبل از مرحله تبدیل خود را نشان نمی‌دهند. این ترک‌های ریز در اثر فشارهای مکانیکی وارده بر دانه برنج در مرحله تبدیل به ترک‌های بزرگ‌تر قابل رویت تبدیل می‌شوند[2]. برخی دیگر از شکست برنج می‌تواند بلافاصله بعد از خشک‌کردن نیز اتفاق افتد، به این صورت که باز جذب رطوبت توسط دانه خشک شده در محیطی با رطوبت نسبی بالا می‌تواند عامل ترک خوردن و شکست دانه باشد. هم‌چنین افزایش درصد شکست دانه‌ها در طی 12 تا 24 ساعت پس از مرحله تبدیل و طی فرایند انبارداری نیز گزارش شده است[3]. به این ترتیب هر سه عامل گرادیان حراراتی بین سطح و مرکز دانه در حین خشک‌کردن (به علت دمای بیش‌تر در سطح دانه)، جذب مجدد رطوبت سطحی توسط دانه پس از مرحله حرارت دهی و نیز شرایط استراحت دهی پس از خشک شدن یا دوره تمپرینگ[1] در افزایش میزان خردشدگی دانه در فرایند تبدیل و فراوری برنج اهمیت دارد [4].

کونز ترک‌های ایجاد شده در دانه برنج را به 3 دسته تقسیم می‌کند که در مراحل مختلف فرایند تبدیل شلتوک باعث ایجاد ترک می‌گردد: الف) جذب رطوبت در مرحله درو: برای کاهش این نوع ترک‌ها، دروی محصول با رطوبت بالا توصیه می‌شود. ب) ترک‌هایی که در مرحله خشک کردن به‌وجود می‌آید. ج) خشک شدن سریع در انتهایی‌ترین مرحله خشک شدن که موجب به‌وجود آمدن یک گرادیان رطوبتی در دانه و به‌وجود آمدن ترکیبی از تنش‌های کششی و فشاری در سطح و مرکز دانه گشته و موجب ایجاد ترک می‌شود [5]. در همین راستا، بکی و باتیستا در مطالعه‌ای به بررسی ترک‌های ایجاد شده ناشی از جذب رطوبت در برنج پرداخته و مشاهده کردند که در شرایط محیطی با دمای بالاتر و رطوبت پایین‌تر، ترک‌ها افزایش می‌یابند[6]. به نقل از آرورا و همکاران، زمانی که اختلاف دمای بین هوای خشک کن و مرکز دانه بیش از 43 درجه سلسیوس شود، ترک‌های شدیدی در درون دانه به وقوع می‌پیوندد. پیشنهاد شد که دمای هوای خشک کن زیر 53 درجه سلسیوس باشد[7].

آقاگل زاده در تحقیقی نشان داد که تشخیص و تعیین درصد هر یک از عوامل دخیل در افزایش شکست دانه همواره بین محققین و کشاورزان بحث برانگیز بوده است [8]. تجربیات محققین نشان داده که متاسفانه کشاورزان به دلیل عدم اطلاع از وضعیت داخلی دانه تا قبل از تبدیل و نمایان شدن این آسیب‌ها در زمان تبدیل، عامل این گونه ضایعات را تجهیزات کارخانجات شالیکوبی می‌دانند. بدیهی است در چنین شرایطی، کارخانجات شالیکوبی نمایانگر ضایعات برنج و نه عامل ایجاد هستند. در همین راستا تحقیقات مختلف و متنوعی برای بررسی نحوه ایجاد ترک در دانه برنج و مکانیزم ایجاد ترک ارائه شده است. به عنوان نمونه کیانمهر ضمن طراحی و ساخت یک دستگاه خشک کن آزمایشگاهی، تحقیقی روی عوامل مؤثر فیزیکی بر ترک خوردگی شلتوک در خشک کن با جریان معکوس شونده انجام داد. گزارشات وی نشان داد که زمان خشک شدن محصول فقط بستگی به دمای هوای ورودی به خشک کن دارد و متأثر از سایر عوامل هم‌چون نوع رقم و جهت جریان هوای گرم نمی‌باشد[9]. باناژک و سیبنمورگن وکونز نیز عنوان کردند که رطوبت جذب شده از طریق سطح دانه خشک شده باعث گسترش سلول‌های نشاسته و تولید تنش‌های فشاری در آن می‌شود[5، 10]. تا زمانی که دانه در شرایط آزاد قرار دارد، این تنش فشاری توسط تنش کششی برابر با آن ولی مخالف در مرکز دانه خنثی می‌شود. زمانی که اندازه تنش فشاری در سطح دانه بیش‌تر از استحکام کششی در مرکز دانه شود، ایجاد و گسترش شکاف در دانه (Fissure) شروع

1. Tempering

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. این شکاف‌ها در مراحل بعدی تبدیل در شالیکوبی موجب شکستگی دانه می‌گردد. پس باید منابعی که موجب جذب مجدد رطوبت می‌شود، مورد بررسی قرار گیرد[6، 13]. جیندال و سیبنمورگن نشان دادند که دانه‌های برنج با ضخامت بیش‌تر در مقایسه با دانه‌های نازک‌تر، در برابر جذب مجدد رطوبت سطحی حساس تر بوده و در نتیجه کاهش عملکرد محصول (Head Rice Yield: HRY) بیش‌تری را به همراه خواهند داشت [11].

بررسی میدانی صورت گرفته نشان داد که استفاده از دستگاه‌های خشک‌کن و تبدیل در کارخانه‌هایی با سیستم قدیمی و مستهلک، موجب تحمیل خسارات قابل توجهی به زارعین و تولیدکنندگان برنج می‌شود. خشک‌کن‌های قدیمی به‌طور معمول خوابیده بوده که با ارتفاع بین 70 تا 90 سانتی‌متری، عرض 2 متر و طول حدود 7 تا 9 متری خود عمده فضای داخلی یک کارخانه شالیکوبی را اشغال می‌کنند [12]. کاهش رطوبت شلتوک از حدود 18 به 11 درصد در این خشک‌کن‌ها به زمانی در حدود 36 تا 48 ساعت نیاز دارد. با این وصف رطوبت در عمق خشک‌کن یکنواخت نبوده و گرادیان حرارتی و رطوبتی قابل توجهی در عمق محصول دیده می‌شود که همین موضوع باعث عدم یکنواختی در خشک‌کردن محصول و افزایش تلفات خشک‌کنی می‌گردد [6، 14]. از جمله اشکالات دیگر وارد بر مکانیزم خشک‌کن‌های سنتی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ضخامت بیش از 50 سانتی‌متر لایه شلتوک، روباز بودن مخزن شلتوک و تولید گرد و غبار، نیاز به الکتروموتورهای سه فاز، ایجاد سر و صدای زیاد، هزینه تعمیر و نگه‌داری بالا، مشعل‌های با راندمان پایین، مصرف انرژی زیاد و عدم دقت در کنترل دما[14]. در مقابل، خشک‌کن‌های جدید به‌طور معمول به صورت عمودی ساخته می‌شوند که اشغال کردن فضای نصب دستگاه یکی از مزایای آن‌ها است. در خشک‌کن‌های عمودی مدرن، دانه‌های شلتوک در داخل محفظه دستگاه به‌طور دائم در حال جست و خیز بوده و در نتیجه حرارت دهی یکنواختی به کلیه سطوح دانه صورت می‌پذیرد. در ضمن اعمال دما به خشک‌کن توسط سیستم کامپیوتری متصل به دستگاه خشک‌کن صورت می‌گیرد که همه این موارد باعث کاهش تلفات خشک‌کن‌های جدید گشته است. ظرفیت هر یک از خشک‌کن‌های عمودی در حدود 6 تا 7 تن می‌باشد. کاهش رطوبت شلتوک از حدود 18 به 11 درصد در این خشک‌کن‌ها در زمان 18 تا 20 ساعت صورت می‌پذیرد که نسبت به خشک‌کن‌های قدیمی بسیار قابل توجه است[12].

لزوم تغییر و بهینه سازی در تجهیزات صنعت تبدیل شالی در جهت بهبود بخشیدن به فرایند خشک‌کردن شلتوک روز به روز بیش‌تر احساس می‌شود. در همین راستا است که تحقیق حاضر معطوف به خشک‌کن عمودی مجهز به مدار بازگردش هوا با کنترل دما و رطوبت در نقاط مختلف خشک‌کن شده است. بنابراین در کار تحقیقاتی حاضر بررسی تاثیر عوامل مهم در خشک‌کردن شامل دمای خشک‌کردن، رقم برنج مورد استفاده و سرعت جریان هوای خشک‌کردن بر روی مدت زمان خشک‌شدن و درصد شکستگی شلتوک در یک خشک‌کن لایه نازک عمودی با مدار بازگردش حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است.

2-مواد و روش‌ها

ارقام برنج مورد استفاده در این تحقیق شامل 3 رقم شلتوک به نام‌های طارم، جلودار و فجر می‌باشند که طارم رقم کیفی و دانه متوسط و ارقام جلودار و فجر رقم دانه بلند و پرمحصول با کیفیت پخت متوسط می‌باشند. رقم‌های طارم و فجر از مزارع شالیزاری شهرستان آمل و رقم جلودار از گروه زراعت دانشگاه تهیه گردید. خصوصیات فیزیکی و ظاهری این ارقام در جدول (1) آمده است.

به‌منظور تعیین رطوبت دانه‌ها از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتال (GMK-303/303RS, Korea) که یک نوع رطوبت‌سنج مقاومتی می‌باشد، استفاده گردید. برای تعیین درستی داده‌های خوانده شده از این دستگاه، مقدار 150 گرم شلتوک به آون 130 درجه و در مدت 24 ساعت انتقال داده شد. سپس وزن نمونه قبل و بعد از خروج از آون ثبت و طبق رابطه زیر، رطوبت نمونه بر اساس وزن تر محاسبه و دستگاه کالیبره گردید.

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \qquad (1)$$

در این رابطه m_1 وزن اولیه نمونه، m_2 وزن نهایی نمونه به گرم

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد. برای توزین از ترازوی دیجیتال Jadever-Sky600, Korea با دقت 0/01 گرم استفاده شد.

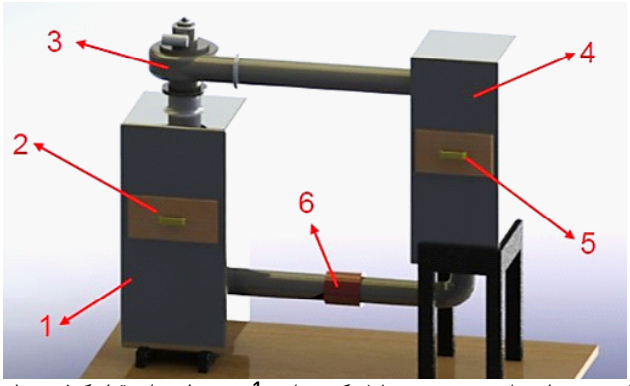
به‌دلیل انجام آزمایشات در چندین مرحله مختلف، امکان دسترسی به برنج تازه با رطوبت بالا نبود. به‌همین دلیل از برنج‌های زراعی سال قبل که در انبار با رطوبت متوسط 16±1درصد نگه‌داری می‌شد، استفاده گردید و به روش رطوبت‌دهی مجدد (Rewetting) رطوبت نمونه‌ها به حد مطلوب رسید. با این احتساب رطوبت اولیه نمونه به حد 21±1 % افزایش یافت [13].

برای خشک‌کردن نمونه‌ها به روش بستر نازک از دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی با قابلیت به‌کارگیری سامانه بازگردش حرارتی استفاده گردید (شکل 1). این خشک‌کن آزمایشگاهی قابلیت خشک‌کردن شلتوک در دماهای معین و قابل تنظیم به همراه تنظیم میزان سرعت جریان هوا و اندازه‌گیری رطوبت و حرارت محیط داخلی خشک‌کن را دارا بود و شامل قسمت‌های گرم خانه دارای المنت برای حرارت دهی به نمونه شلتوک (1)، محفظه ریلی قرار گیری شلتوک (2)، فن گریز از مرکز برای انتقال حرارت به‌طور مداوم در سیکل خشک‌کن (3)، صافی برای گرفتن گرد وغبار موجود در هوا (4)، محفظه ریلی قرارگیری جاذب رطوبتی سیلیکاژل برای گرفتن کامل رطوبت موجود در هوای گرم خروجی از خشک‌کن شالی و تبدیل آن به گرمای خشک بدون رطوبت و گردوغبار (5)، دریچه تنظیم مقدار هوای برگشتی به سیستم (6) و سنسورهای حرارتی و رطوبتی در چندین نقطه از دستگاه برای اندازه‌گیری لحظه به لحظه حرارت و رطوبت موجود در هوای سیکل بسته دستگاه خشک‌کن می‌باشد.

دماهای مختلف خشک‌کردن در سه سطح 40، 50 و 60 درجه سلسیوس و سرعت جریان هوا در سه سطح صفر، 65/2 و 4 متر بر ثانیه تنظیم گردید. انتخاب سرعت‌های جریان هوا بر اساس خواص آیرودینامیکی شلتوک و محدوده سرعت

جدول (1) بررسی و مقایسه خصوصیات فیزیکی و ظاهری سه رقم شلتوک طارم، جلودار و فجر

	رقم طارم	رقم جلودار	رقم فجر
طول دانه شلتوک (L)	9/8	11/2	10/9
قطر کوچک دانه شلتوک (W)	1/87	1/77	1/82
قطر بزرگ دانه شلتوک (H)	2/29	2/01	2/08
نسبت طول به قطر کوچک دانه	5/24	6/32	5/98
نسبت طول به قطر متوسط دانه	4/81	5/83	5/58
قطر میانگین هندسی (D)	3/47	3/41	3/45
ضریب کرویت (Φ)	35/40	30/44	31/65
درصد نسبت وزنی پوسته به وزن کل دانه	20/90	22/84	22/32



شکل(1) شماتیک دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق شامل گرم خانه (1)، محفظه ریلی قرار گرفتن شلتوک (2)، فن گریز از مرکز (3)، صافی برای گرفتن گرد وغبار موجود در هوا (4)، محفظه ریلی قرار گرفتن جاذب رطوبتی (5)، دریچه تنظیم مقدار هوای برگشتی به سیستم (6)

www.SID.ir

Archive of SID

حد آن‌ها تعیین شد. چنان‌چه سرعت جریان هوا از سرعت حد شلتوک تجاوز نماید، باعث بلند شدن و تخلیه شلتوک از محفظه گرم کن خواهد شد. لذا سرعت جریان هوا به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سرعت حد شلتوک‌های مورد آزمون انتخاب گردید. با توجه به این که براساس تحقیقات رضوی و فرهمندفر، سرعت حد شلتوک‌های مورد آزمون در حدود 6 متر بر ثانیه بود، لذا حداکثر سرعت جریان هوا به 4 متر بر ثانیه محدود شد[15]. کم‌ترین سرعت برابر با صفر متر بر ثانیه و سرعت دوم بین این دو سرعت انتخاب گردید. البته در انتخاب سرعت‌ها از تحقیقات و تجربیات قبلی سایر محققین نیز استفاده شد. به‌طور نمونه امیری چایجان و همکاران برای خشک‌کردن شلتوک، سرعت جریان هوا را در سه حالت بستر ثابت،0/1 متربرثانیه، بستر حداقل سیال ثابت،2/1 متربرثانیه و بستر سیال، 3/5 متربر ثانیه انتخاب نمودند[16].

پس از خشک‌کردن نمونه‌ها در دستگاه ساخته شده، رطوبت نمونه‌ها از 1±21 درصد به رطوبت نهایی به 1±9 درصد رسید. بدین صورت که نمونه‌هایی با وزن ثابت 50 گرم درون محفظه ریلی کوچک به خشک‌کن انتقال یافت، طوری که ضخامت لایه دانه در هر ظرف معادل 3 برابر عرض دانه برنج بود[11]. در مرحله خشک‌کردن، از گرمادهی برای تبخیر نمودن رطوبت داخل دانه و از انتقال هوا برای افزایش ضریب همرفت و انتقال رطوبت تبخیر شده از سطح دانه استفاده گردید. در هر یک از این بازه‌ها درصد رطوبت نمونه‌ها توسط رطوبت سنج دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها برحسب وزن خشک از ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 گرم استفاده شد. برای بررسی و اندازه‌گیری ترک‌های ناشی از تنش‌های حرارتی در مرحله خشک‌کردن و ترک‌های ایجاد شده در اثر جذب رطوبت محیطی در مرحله استراحت از یک دستگاه استریومیکروسکپ آزمایشگاهی استفاده گردید. در این آزمایش، 50 عدد دانه به‌طور تصادفی از هر نمونه انتخاب شده و به دقت با دست پوسته شلتوک از آن‌ها جدا گردید. سپس دانه‌های پوست کنده شده سالم و غیرسالم توسط دستگاه استریومیکروسکپ مورد بررسی، تفکیک و شمارش قرار گرفتند. هم‌چنین وزن دانه‌های با طول کم‌تر از 75٪ طول متوسط دانه‌های سالم (جدول 1) در مقایسه با وزن دانه‌های سالم به عنوان درصد دانه‌های شکسته شده در نظر گرفته شدند. البته یک پیش آزمون قبل از خشک‌کردن انجام شد تا معلوم گردد چند درصد از دانه‌ها قبل از فرایند خشک‌کنی شکسته بودند و این عدد از درصد شکستگی خشک‌کنی کسر گردید. برای تجزیه و تحلیل اثر پارامترهای دما و سرعت جریان هوا بر روی سرعت خشک شدن و درصد شکستگی از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در 3 تکرار استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت. برای این منظور از نرم‌افزار آماری SPSS.16 استفاده گردید. در نهایت منحنی‌های به‌دست آمده از نتایج این بخش توسط نرم‌افزار 2013Excel ترسیم گردید.

3-نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل در سه دمای 40، 50 و 60 درجه سلسیوس و سه رقم طارم، جلودار و فجر بر روی زمان خشک‌شدن شلتوک و درصد شکست دانه در جدول (2) ارائه شده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول (2)، تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال 1٪ برای تمامی عوامل اصلی یعنی ارقام برنج (A)، دمای خشک‌کردن (B) و سرعت جریان هوا (C) نشان می‌دهد. از بین اثرات متقابل، فقط تاثیر «رقم × دمای خشک‌کردن» در سطح احتمال 5٪ بر روی درصد شکستگی معنی‌دار بود. زمان خشک‌شدن شلتوک در اثرات متقابل بین «رقم × دما» ، «سرعت جریان باد × دما» و هم‌چنین «رقم × دما × سرعت جریان باد» در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این در حالی است که در اثرات متقابل بین «رقم × سرعت جریان هوا» اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

در شکل (2) زمان خشک‌شدن شلتوک سه رقم طارم، جلودار و فجر در سه دمای 40، 50 و 60 درجه سلسیوس ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده، بیش‌ترین مدت زمان خشک‌شدن در هر سه دما برای رقم طارم و کم‌ترین آن برای رقم جلودار به‌دست آمده است. رقم طارم مدت زمان بیش‌تری را برای خشک‌شدن نسبت به دو رقم دیگر دارا بود که دلیل آن ابعاد فیزیکی دانه (رقم دانه

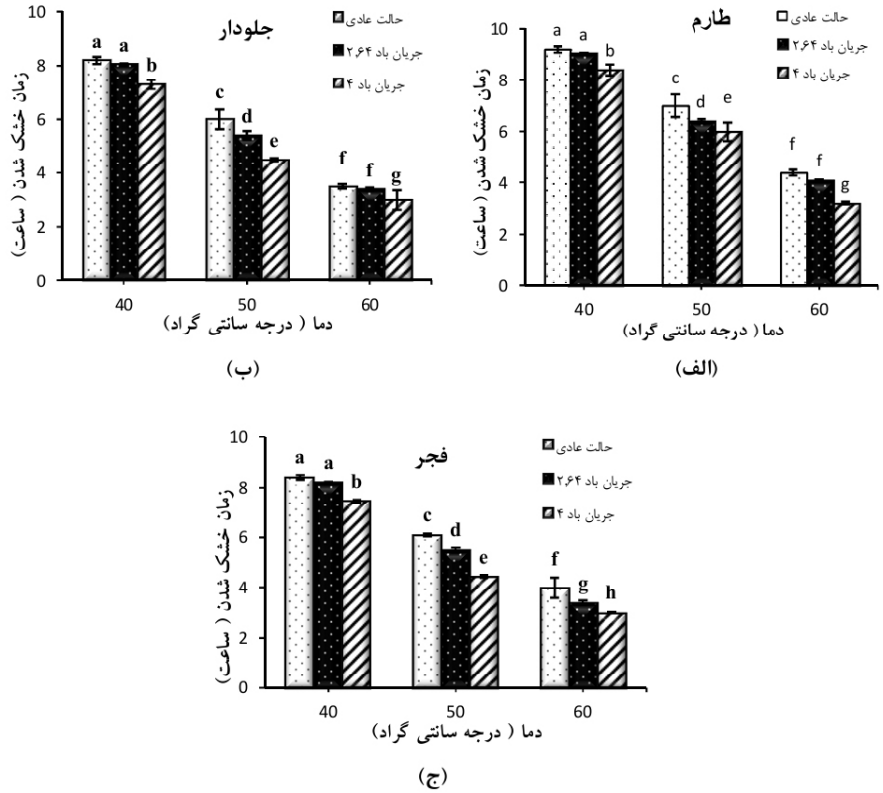
www.SID.ir

Archive of SID

جدول (2) میانگین مربعات (M.S) اثر متقابل رقم، دما و جریان باد بر زمان خشک‌شدن شلتوک و درصد شکست دانه

		مجموع مربعات	درجه آزادی (df)	F	میانگین مربعات (M.S)
رقم	زمان خشک‌شدن	13/827	2	192/958	6/914**
(A)	درصد شکست	498/469	2	72/358	249/235**
جریان باد (B)	زمان خشک‌شدن	15/509	2	216/425	7/754**
	درصد شکست	377/210	2	54/756	188/605**
دما (C)	زمان خشک‌شدن	298/211	2	4161/508	149/105**
	درصد شکست	6129/802	2	889/810	3064/901**
A × B	زمان خشک‌شدن	158	4	1/101	0/039 ns
	درصد شکست	26/272	4	907/1	6/568 ns
A × C	زمان خشک‌شدن	1/271	4	8/869	0/318**
	درصد شکست	37/901	4	2/751	9/475*
B × C	زمان خشک‌شدن	0/844	4	5/892	0/211**
	درصد شکست	28/049	4	2/036	7/012 ns
A × B× C	زمان خشک‌شدن	0/879	8	3/066	0/110**
	درصد شکست	21/136	8	0/767	2/642 ns

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ns نشان دهنده اختلاف غیر معنی‌دار است.



شکل(2) تاثیر سرعت جریان هوا بر زمان خشک‌شدن: الف) رقم طارم، ب) رقم جلودار، و ج) رقم فجر

www.SID.ir

Archive of SID

متوسط) و قطر بیش‌تر دانه می‌باشد که مقاومت بیش‌تری را در برابر خروج رطوبت از مرکز به سطح دانه داشت[12]. در یک ماده بیولوژیک استوانه‌ای شکلی مانند شلتوک، با افزایش شعاع دانه طبق رابطه (2) مقدار ضریب نفوذ موثر K_1 که نشان دهنده قابلیت جابه‌جایی رطوبت در داخل دانه است، کاهش می‌یابد[13]. مطالعه جامعی از ضریب نفوذ موثر دانه‌های شلتوک توسط اشتواد و همکاران انجام شده است [2].

$$K_1 = \frac{5.76D}{r^2} \qquad (2)$$

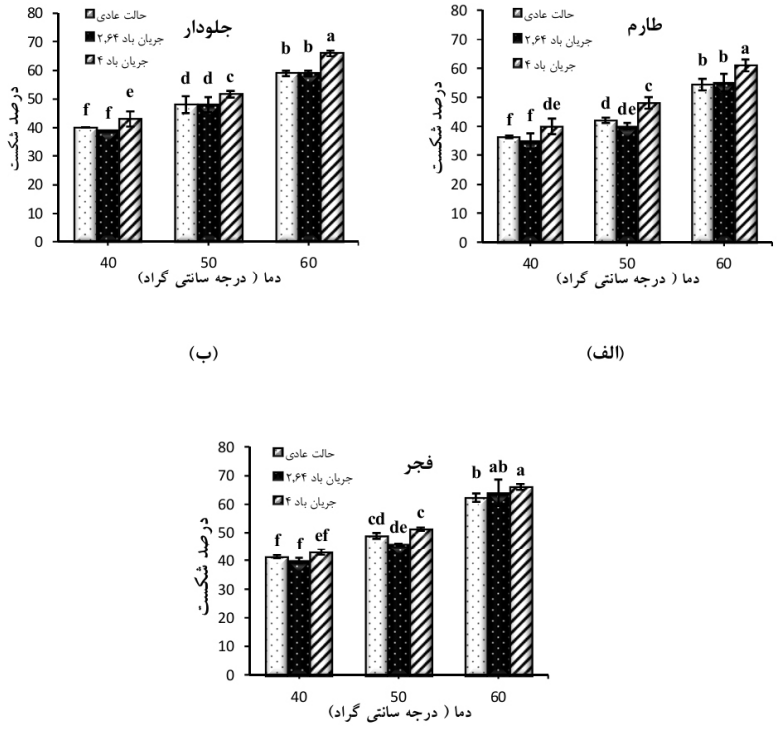
در این رابطه D ضریب نفوذ دانه (m^2s^{-1}) و r (m) شعاع دانه می‌باشد. در یک فرایند خشک‌کردن و انتقال رطوبت در داخل دانه، ضریب نفوذ موثر در سینتیک خشک‌شدن و تعیین شیب منحنی تغییر رطوبت دانه نسبت به زمان (MR) اهمیت دارد (رابطه 3).

$$MR = A\exp(-K_1 t) \qquad (3)$$

در این رابطه، MR نسبت رطوبت دانه (بی بعد) در هر لحظه و A ضریب ثابت (فاکتور شکل بی‌بعد) می‌باشد.

مینایی و همکاران نیز با بررسی زمان خشک‌شدن 4 رقم مختلف شلتوک دریافتند که تاثیر دما در سینتیک خشک‌شدن به نوع واریته برنج بستگی دارد[18]. طبق یافته‌های این محققین، ارقام دانه بلند زمان کم‌تری برای خشک‌شدن نسبت به ارقام دانه متوسط نیاز دارند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در همین راستا رائو و همکاران نیز به‌دست آوردند که زمان خشک‌شدن با ابعاد فیزیکی دانه رابطه معنی‌داری دارد و برنج‌های دانه بلند نسبت به ارقام دانه متوسط دارای تنش‌های کششی و فشاری بیش‌تری در هنگام خشک‌شدن و خروج رطوبت می‌باشند[19].

در شکل (3) درصد شکست سه رقم طارم، جلودار و فجر در سه دمای خشک‌کردن 40، 50 و 60 درجه سلسیوس ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش دمای خشک‌کردن، درصد شکست دانه نیز افزایش می‌یابد. این موضوع نشان دهنده اهمیت شدت انتقال حرارت به نمونه‌ها بر روی زمان خشک‌شدن شلتوک و درصد شکست دانه‌ها می‌باشد. بدین ترتیب که در خشک‌کردن سریع‌تر با دمای بالا،



شکل (3) تاثیر سرعت جریان هوا بر درصد شکستگی نمونه ها: الف) رقم طارم، ب) رقم جلودار و ج) رقم فجر

www.SID.ir

Archive of SID

دفع رطوبت سطحی از دانه با سرعت بیش‌تری اتفاق می‌افتد. در نتیجه رطوبت سطحی دانه به سرعت کاهش یافته و لایه بیرونی دانه چروکیده و منقبض می‌شود. در این حالت فشار درونی باعث بروز ترک و در نتیجه شکست دانه می‌گردد. مشکل حادتر برای دانه‌هایی است که قبل از مرحله خشک‌شدن دارای ترک ریز در سطح باشند. در این صورت با افزایش مدت زمان خشک‌شدن، احتمال شکست این دانه‌ها نیز افزایش می‌یابد. به این صورت که رطوبت مجاور ترک‌ها نسبت به سطوح سالم، سریع‌تر به سطح دانه انتقال یافته، بنابراین اطراف ترک سریع‌تر خشک شده و در نتیجه تنش داخلی در اطراف ترک به شدت افزایش یافته و در نهایت منجر به گسترش ترک می‌گردد.

از طرف دیگر نتایج ارائه شده در شکل (3) نشان می‌دهد که درصد شکست دانه رابطه معنی‌داری با واریته‌های مختلف شلتوک و دمای خشک‌کردن شلتوک دارد. معنی‌دار بودن اثر متقابل رقم و دمای خشک‌کردن در جدول تجزیه واریانس نیز قابل مشاهده است (جدول 2). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد شکست دانه به‌ترتیب برای رقم‌های فجر و طارم به‌دست آمد. با بررسی مشخصات فیزیکی این ارقام می‌توان نتیجه گرفت که ارقام دانه بلند مقاومت کم‌تری در برابر شکست دارا می‌باشند. نتایج مشابهی توسط رائو و همکاران، و کاشانی نژاد و همکاران به‌دست آمده است [19، 20]. رقم طارم به‌دلیل ساختار بافت مقاوم‌تر دارای مقاومت بیش‌تری در برابر شکست می‌باشد. نتیجه مشابهی توسط مینایی و همکاران گزارش شده است[18]. یافته این محققین و نتایج نشان داده شده در شکل (3) با هم مطابقت دارند.

از دیگر عوامل مهمی که به دفع سریع‌تر رطوبت سطحی دانه کمک می‌کند، سرعت جریان هوای روی نمونه‌ها در یک خشک‌کن بستر نازک می‌باشد. در همین راستا، فن سانتریفیوژی که در بالای مخزن شلتوک قرار داشت، در سه حالت بدون جریان، جریان با سرعت 2/65 متر بر ثانیه و جریان با سرعت 4 متر بر ثانیه قرار داده شد تا تاثیر پارامتر سرعت جریان هوا بر روی سینتیک خشک‌شدن دانه و درصد ترک بررسی گردد. همان‌طور که در شکل (2) نشان داده شده، در هر سه رقم شلتوک، زمان خشک‌شدن در حالتی که جریان هوا به‌وسیله فن ایجاد شده کم‌تر از حالت عادی و بدون ایجاد جریان هوا می‌باشد. از طرف دیگر، خشک‌کردن با جریان هوای 2/65 متر بر ثانیه نسبت به حالت «خشک‌کردن با جریان هوای 4 متر بر ثانیه» درصد شکست کم‌تری را نشان داد (شکل 3). نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد که تاثیر سرعت باد 4 متر بر ثانیه بر روی درصد شکست دانه ها، با افزایش دمای خشک‌شدن شدت بیش‌تری پیدا می‌کند (شکل 3). به‌طور مثال در دمای خشک‌کردن 60 درجه سلسیوس و سرعت جریان 4 متر بر ثانیه، در اثر بالا بودن تنش حرارتی و بالا بودن گرادیان رطوبتی ناشی از دفع سریع‌تر رطوبت سطحی از دانه‌ها درصد شکست دانه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. در کار تحقیقاتی حاضر به‌دلیل لایه نازک بودن شلتوک در حال خشک‌شدن، تفاوت معنی‌داری از نظر درصد شکست بین حالت «بدون جریان هوا» با حالت «جریان هوای 2/65متر بر ثانیه» مشاهده نشد (شکل 3)، لیکن استنباط می‌شود چنان‌چه ضخامت لایه شلتوک در حال خشک‌شدن زیاد باشد، در حالت بدون جریان باد (بستر ثابت) به دلیل این که جریان هوای عبوری وجود ندارد، فاصله زمانی به نسبت زیادی بین خشک‌شدن لایه‌های زیرین با لایه‌های میانی و بالایی ایجاد می‌شود. در این صورت لایه زیرین به رطوبتی پایین‌تر از مقدار مطلوب رسیده اما لایه‌های بالایی هم‌چنان دارای رطوبتی بالاتر از مقدار میانگین می‌باشند که این امر سبب افزایش ترک دانه‌ها در لایه زیرین خواهد شد. درصد این ترک‌ها با افزایش دمای خشک‌کن شدت بیش‌تری پیدا می‌کند [12]. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد که در سرعت جریان هوای 2/64 متر بر ثانیه، با افزایش دمای خشک‌کردن از 40 به 60 درجه سلسیوس، زمان خشک‌شدن برای رقم طارم از 9 ساعت به 4 ساعت کاهش یافته و در عین حال درصد شکست دانه از 37 درصد به 55/5 درصد افزایش یافت. با محاسبه‌ای ساده (4 و 5) مشخص می‌گردد که زمان خشک‌شدن 55 درصد کاهش ولی درصد شکستگی دانه 50 درصد افزایش یافته است. نتیجه مشابهی برای سایر ارقام به‌دست آمد.

(4) کاهش زمان خشک‌شدن: $\frac{4-9}{9}\times 100 = -\%55$

(5) افزایش درصد شکست دانه : $\frac{55.5-37}{37}\times 100 = \%50$

www.SID.ir

Archive of SID

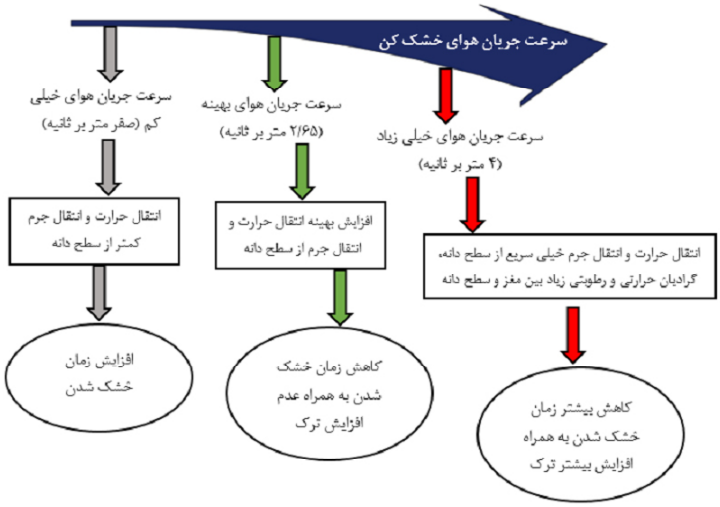
با توجه به پایین‌تر بودن درصد شکستگی شلتوک‌ها در سرعت جریان باد 2/65 متر بر ثانیه به‌خصوص در دمای خشک‌کردن 50 درجه سلسیوس، می‌توان نتیجه گرفت چنان‌چه سرعت باد به‌طور کنترل شده‌ای تنظیم شود، بر روی هر دو عامل زمان خشک‌شدن و درصد شکست دانه تاثیر مثبت می‌گذارد که این نتیجه با یافته‌های امیری چایجان و همکاران و سارکر و همکاران مطابقت دارد[16، 17]. امیری چایجان و همکاران آزمایشی را در سه دمای 40، 60 و 80 درجه و در سه حالت بستر ثابت،0/1 متربرثانیه، بستر حداقل سیال ثابت، 2/1 متربرثانیه و بستر سیال، 3/5 متربر ثانیه صورت دادند، که بهترین عملکرد زمان خشک‌شدن و درصد شکست در حالت حداقل سیال ثابت (2/1 متر بر ثانیه) به‌دست آمد[16]، که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد. خلاصه این یافته‌ها بصورت شماتیک در شکل (4) نشان داده شده است.

4-نتیجه گیری

در کار تحقیقاتی حاضر، تاثیر همزمان و متقابل رقم، دمای خشک‌کردن و سرعت جریان هوا در زمان خشک‌شدن و درصد شکست دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده در کار تحقیقاتی حاضر با افزایش دمای خشک‌کن از 40 تا 60 درجه سلسیوس، زمان خشک‌شدن شلتوک طارم به‌طور متوسط 55 درصد کاهش و درصد شکست آن به‌طور متوسط 50 درصد افزایش یافت. برای ارقام دیگر نیز نتیجه مشابهی به‌دست آمد. در دماهای بالاتر، میزان رشد درصد شکست دانه به‌طور معنی‌داری بسیار چشمگیرتر از دماهای پایین‌تر به‌دست آمد. در همین راستا ارقام دانه متوسط به‌خاطر طول دانه کم‌تر (سطح تماس کم‌تر با حرارت) و پوسته شلتوک ضخیم‌تر نسبت به ارقام دانه بلند، زمان خشک‌شدن بیش‌تری را نیاز داشته اما به‌دلیل همین بافت و ساختار دانه، مقاومت بیش‌تری در برابر شکست دارا می‌باشند. از طرف دیگر ایجاد جریان باد گرم به جای حرارت بستر ثابت، نه تنها باعث کاهش زمان خشک‌شدن شلتوک می‌شود، بلکه به‌طور معنی‌داری می‌تواند درصد شکست دانه را کاهش دهد. اما باید توجه داشت که افزایش بیش‌تر سرعت جریان باد گرم باعث افزایش تنش حرارتی در حین خشک‌شدن و در نتیجه شکست چشمگیر دانه برنج می‌شود. به عنوان نتیجه‌گیری نهایی، سرعت جریان هوای خشک‌کن 2/65 متر بر ثانیه و دمای خشک‌کردن50 درجه سلسیوس برای خشک‌کردن بهینه ارقام مورد آزمون (طارم، جلودار و فجر) توصیه می‌گردد. سرعت جریان هوای خشک‌کن 2/65 متر بر ثانیه نسبت به سرعت جریان 4 متر بر ثانیه تاثیر چشمگیری بر کاهش درصد شکست دانه دارد.

تشکر و قدردانی

محققین مقاله حاضر از زحمات جناب آقای مهندس ناصر پگاه در کمک به کالیبراسیون و تنظیم دستگاه صمیمانه قدرانی و تشکر می‌نمایند.



شکل (4) شماتیک تاثیر سرعت جریان هوا بر روی زمان خشک‌شدن و درصد شکستگی نمونه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] Kunze, O.R. (1979). Fissuring of the rice grain after heated air drying. *Trans. ASAE*, 22(5), 1197-1202.

[2] اشتواد، ر.؛ کلانتری، د.؛ هاشمی، س.ج.؛ پیردشتی، ه. (1395) بررسی تاثیر نرخ خشک‌شدن و طول دوره‌ی تمپرینگ در کاهش ضایعات برنج در خشک کردن به روش لایه نازک. *پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*، جلد 5، شماره 1، ص 104-87.

[3] Hashemi, J. Ashraful Haque, M. Shimizu. Kimura, N.T. (2008). Influence of drying and post-drying conditions on the head rice yield of aromatic rice. *Agr. Eng. Int.* (CIGR), 10(7), 1-11.

[4] Fan, J. Siebenmorgen, T.J. and Yang, W. (2000). A study of head rice yield reduction of long- and medium-grain rice varieties in relation to various harvest and drying conditions. *Trans. ASAE*, 43(6), 1709-1714.

[5] Kunze, O.R. (2008). Effect of drying on grain quality moisture read sorption causes fissured rice grains. *Agr. Eng. Int*. (CIGR), 10(1), 1-17.

[6] Bekki, E., Bautista, R.C. (1996). Behavior of fissure caused by moisture adsorption in brown rice. *Bull. Fac. Agric. Hirosaki Uni*., 60, 99-108.

[7] Arora, V. K., Henderson, S.M., Burkhardt, T.H. (1973). Rice drying cracking versus thermal and mechanical properties. *Trans. ASAE*, 16 (2), 320-327.

[8] آقاگل‌زاده، ح. (1389) فرایند تبدیل برنج در کشور (چالش‌ها و راهکارها). چهاردهمین همایش ملی برنج کشور. ساری.

[9] کیانمهر، م. (1380) بررسی عوامل موثر فیزیکی بر ترک خوردگی شلتوک در خشک‌کن با جریان معکوس شونده هوا، رساله دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

[10] Banaszek, M.M. Siebenmorgen, T.J. (1990). Head rice yield reduction rates caused by moisture adsorption. *Trans. ASAE*, 33(4), 1263-1269.

[11] Jindal, V.K. Siebenmorgen, T.J. (1994). Moisture transfer in blended long grain rough rice. *Trans. ASAE*, 37 (1), 195-201.

[12] چابرا، د.؛ کاشانی نژاد، م.؛ رفیعی، ش. (1385) بررسی و مقایسه میزان ضایعات در خشک‌کن‌های خوابیده و ایستاده. *دوازدهمین همایش ملی برنج. بابلسر، ایران*.

[13] اشتواد، ر.؛ کلانتری ، د. (1392) تعیین برخی از خواص فیزیکی ارقام برنج‌های اصلاح شده ایرانی. نشریه *پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد 9، شماره 1، ص 49-40.

[14] اشتواد، ر. (1390) بررسی تجربی و تحلیلی خصوصیات بیوفیزیکی و حرارتی برنج‌های ارقام اصلاح شده جدید. *پایان نامه کارشناسی ارشد*. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

[15] Razavi, S.M.A., Farahmandfar, R. (2008). Effect of hulling and milling on the physical properties of rice grains. *Int. Agrophys*., 22, 353-359.

[16] امیری چایجان، ر.؛ خوش تقاضا، م.ه.؛ منتظر، غ.؛ مینایی، س.؛ علیزاده، م.ر. (1382) تخمین ضریب تبدیل شلتوک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در خشک‌کردن بستر سیال. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره 48، ص 285-298.

[17] Sarker, M.S.H., Nordin Ibrahim, M., Ab. Aziz, N., Mohd Salleh, P. (2014). Energy and rice quality aspects during drying of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer. *Ener. Conv. Man*., 77, 389-395.

[18] مینایی، س.؛ روحی، غ.؛ علیزاده، م. ر. (1384) بررسی عوام موثر بر ایجاد ترک و خرده برنج در اثر خشک کردن شلتوک طی فرایند خشک کردن. مجله *تحقیقات مهندسی کشاورزی*. جلد 6، شماره 22. ص 112-97.

[19] Rao, D.M. Kodandaramaiah, J. Reddy, M.P. (2007). Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworn cocoon characters under semiaride conditions. *Casp. J. Env Sci*., 5(2): 111-117.

[20] کاشانی نژاد، م.؛ چابرا، د.؛ رفیعی، ش. (1387) بررسی جذب رطوبت و تغییرات خواص فیزیکی ارقام برنج در فرایند خیساندن. مجله *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، جلد 15، شماره 2، ص 175-163.

www.SID.ir