مجله علوم کشاورزی ایران
جلد ۳۳، شماره ۴، سال ۱۳۸۱ (۷۶۱-۷۵۵)

چگونگی توزیع رطوبت در مخزن خشک کن نوع خوابیده طی فرآیند خشک کردن شلتوک

احمد طباطبائی‌فر[1] و شاهین رفیعی[2]
۱،دانشیار گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۲، و دانشجوی دوره دکتری دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ پذیرش مقاله ۸۰/۷/۲۵

خلاصه

در استان مازندران بیشتر از خشک کن نوع خوابیده استفاده می‌شود. برای بررسی توزیع رطوبت در نقاط مختلف مخزن، از مخزنی دارای ابعاد ۷ متر طول، ۲ متر عرض، ۰/۸ متر عمق استفاده می‌شد. مخزن به وسیله سه صفحه فرضی که به ترتیب ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ متر، از دیواره سمت دمنده فاصله داشتند به چهار ناحیه و در عمق به وسیله سه صفحه فرضی که به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۳۵، ۰/۵۵ متر از سطح شلتوک فاصله داشتند، به چهار عمق تقسیم شد. در نتیجه مخزن به ۱۶ خانه کوچکتر تقسیم گردید. برای اجراء آزمایش از سه خشک کن مشابه که هر کدام به عنوان یک تکرار در آزمایش به شمار می‌رفتند، استفاده گردید. ابتدا مخزن هر خشک کن یک نمونه برداشته و رطوبتش تعیین شد. هر نوبت نمونه‌برداری بوسیله طرح آماری بلوک تصادفی با دو فاکتور (عمق و ناحیه هر یک در چهار سطح) و کل داده‌ها به وسیله طرح آماری بلوک کامل تصادفی با سه فاکتور (زمان، عمق و ناحیه به ترتیب در نه، چهار و چهار سطح) تجزیه شد. مدت خشک کردن ۵۷ ساعت طول کشید. نتایج نشان داد که توزیع رطوبت در نقاط مختلف مخزن یکنواخت نیست و بیان کننده توزیع غیر یکنواخت حرارت است. در آخرین نوبت نمونه‌برداری میانگین رطوبت درعمق و در ناحیه‌های مختلف برابر ۶/۶۷ درصد و با انحراف معیار ۰/۲۱ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: رطوبت، توزیع رطوبت، خشک کن، شلتوک

مقدمه

برنج پس از گندم پرمصرف‌ترین محصول کشاورزی در ایران است. سطح زیر کشت این محصول ۶۳۰۰۰۰ هکتار با میانگین عملکرد پنج تن شلتوک در هر هکتار بوده که تولید سالانه آن دو میلیون و پانصد و بیست هزار تن می‌باشد. پس از برداشتن عملیات شالیکوبی انجام می‌شود. عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید را شالیکوبی گویند که شامل، خشک کردن شالی[1]، پوست کندن شالی[2] و سفید کردن برنج[3] می‌باشد. پس از برداشت شالی برای انجام فرآیند خشک کردن، شلتوکها را به کارخانه شالیکوبی می‌برند. نحوه توزیع رطوبت در لایه‌های مختلف خشک کن بسیار مهم بوده و نقش اساسی روی میزان ضایعات فرآیندهای بعد از خشک کردن برنج دارد (۱). هدف از خشک کردن شلتوک رساندن رطوبت آن به حد مطلوب جهت سفید کردن می‌باشد. مقدار ضایعات در مراحل شالیکوبی به بیش از ۳۰٪ می‌رسد. یکی از مراحل شالیکوبی، خشک کردن شلتوک می‌باشد که نحوه خشک و پارامترهای مؤثر بر آن توجه بعضی از محققین را به خود جلب کرده است که به عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

هندرسون و پری (۱۹۷۶) نحوه خشک کردن شلتوک در خشک‌کنهای لایه نازک را مورد بررسی قرار دادند و با اندازه‌گیری رطوبت نسبی و حرارت و سرعت ورودی هوای

مکاتبه کننده: احمد طباطبائی‌فر

1 . Drying
2 . Hulling
3 . Polishing

خشک کن و رطوبت اولیه و تعادلی برنج: در طی خشک کردن، رطوبت برنج را پیش‌بینی کردند. معادله پیشنهادی آنها به وسیله جایاس و سخن سنج (۱۹۸۶)، پابیس (۱۹۸۲)، بروس (۱۹۸۵)، سنکوسکی و همکاران (۱۹۸۶)، اوتن و همکاران (۱۹۸۹)، کولاسیری وهمکاران (۱۹۸۹) اصلاح شد. باناس ژک و سیبنمورگان (۱۹۹۳) به این نتیجه رسیدند که هنگامی که برنج با هوای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد خشک شود، ۹۳ درصد خشک شدن در ۲۴ ساعت اول اتفاق خواهد افتاد.

آرتور و رامزی (۱۹۸۷) کارآیی خشک کردن گردو را بررسی نمودند. در این تحقیق اثر توزیع جریان غیر یکنواخت هوا را در خشک کن خوابیده بر روی زمان خشک کردن و مقدار انرژی مصرفی بررسی نمودند و در نتیجه به خاطر رسیدن رطوبت نهایی گردو به ۶ درصد و مدل ریاضی برای خشک کردن جهت محاسبه اثر میزان جریان هوا و شکل هندسی خشک کن‌ها بر روی زمان خشک کردن و انرژی مصرفی را توسعه دادند.

تاهارازا و همکاران (۱۹۸۸) بازده خشک شدن برای روش حرارتی با پمپ حرارت بدون رطوبت (HPD)[1] بر روی مصرف انرژی خشک شدن و هزینه خشک شدن و درصد برنج شکسته شده انجام دادند و نتیجه گرفتند که نرخ خشک شدن به طور تقریبی برای برنج برابر با ۰/۱۹ درصد در ساعت در رطوبت نسبی ۶۲ درصد به دست آمده است. در درجه حرارت ۲۴/۵ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد با جریان هوا ۰/۳۲ تا ۰/۳۹ مترمکعب بر ثانیه برای دو تن محصول ضریب نرخ خشک شدن برابر با۰/۶۰۵ به دست آوردند. انرژی مصرفی برای کاهش ۱ کیلوگرم رطوبت از محصول برابر با ۳۹۷ تا ۷۱۳ کیلوکالری به دست آورند درصد برنج شکسته روش پمپ حرارتی بدون رطوبت نسبت به روش معمولی کمتر شده است.

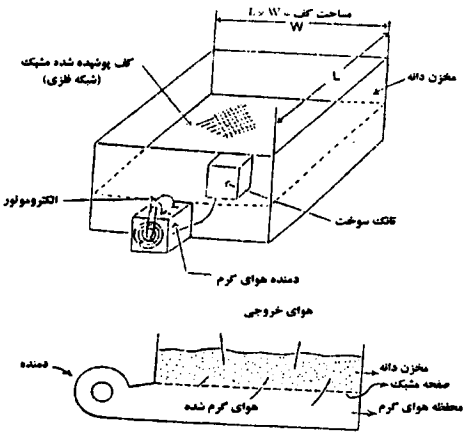
جیندل و سیبنمورگان (۱۹۹۶) خشک کردن شالی را با حرارت پایین شبیه‌سازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که در این حالت شلتوک زمانی رطوبت از دست داده و زمانی رطوبت می‌گیرد و این در لایه زیرین شلتوک بیشتر مشاهده می‌شود. مانتروز و همکاران (۱۹۸۹) ادعا کردند که تناژ خشک کردن (تن در ساعت)در خشک‌کن‌های جریان دائم را با یک روش پیش خشک‌کنی می‌توان ۳۳ درصد افزایش داد بدون آنکه به کیفیت دانه برنج صدمه‌ای وارد شود. البته قابل ذکر است که بیشتر تحقیقات انجام گرفته به صورت آزمایشگاهی و کمتر در کارخانه و در شرایط متداول منطقه بوده است. دو پارامتر نحوه خشک کردن و رطوبت نهایی شلتوک و عامل بسیار مهم در تعیین مقدار ضایعات در طول فرآیند شالیکوبی است (۱).

برای کاهش ضایعات یکی از راه‌ها، بهینه کردن روش متداول خشک کردن می باشد و اولین گام در این راستا بررسی روش خشک کردن رایج است. در این مقاله برای بررسی روش متداول دو هدف مهم زیر در نظر گرفته شده است. ۱) بررسی توزیع رطوبت شلتوک درمدت خشک کردن در نقاط مختلف خشک کن و الف – در عمق‌های مختلف و ب- در ناحیه‌های مختلف مخزن خشک کن ۲) بررسی اثر زمان بر تغییرات رطوبت در طی فرآیند خشک کردن.

مواد و روشها

خشک‌کن

خشک کن خوابیده رایج در شمال ایران از چهار قسمت مشعل، کوره، دمنده و مخزن تشکیل شده است، که به شرح مختصر آن پرداخته خواهد شد. مخزن خشک کن، به شکل معکب مستطیل به ابعاد ۷=طول، ۲= عرض و ۰/۸= عمق متر می‌باشد. همانگونه که در شکل ۱ آمده است مخزن دارای پنج وجه که یک وجه آن کف مخزن و چهار وجه دیگر دیواره‌ها می‌باشد و کف مخزن از صفحه مشبک فلزی تشکیل شده که در زیر این صفحه کانال هوای گرم قرار دارد. دیواره مخزن از دیوار سیمانی به ضخامت ۰/۲ متر تشکیل شده است.



شکل ۱- ترکیب چهار قسمت خشک کن

1 . Heat Pump Dehumidification

هوا توسط دمنده به داخل کانال زیر صفحه مشبک و توده شلتوک فرستاده شده و از بین توده شلتوک بالا رفته و رطوبت شلتوک را گرفته و خارج می‌شود، صفحه مشبک کف مخزن دارای ۲۲/۶ درصد منفذ برای عبور جریان هوا می‌باشد.

دمنده که هوای گرم شده توسط کوره را به محفظه واقع در زیر صفحه مشبک فرستاده و با ایجاد اختلاف فشار مناسب باعث حرکت هوا از بین توده شلتوک می‌شود. این دمنده از دو قسمت پره و الکتروموتور تشکیل شده است، پره‌ها به وسیله الکتروموتور می‌چرخد و باعث تولید جریان هوا می‌شود دبی این دمنده بازاء هر تن شلتوک حدوداً (۳۰/۵ – ۲۰/۵) مترمکعب بر دقیقه می‌باشد.

روش خشک کردن شالی

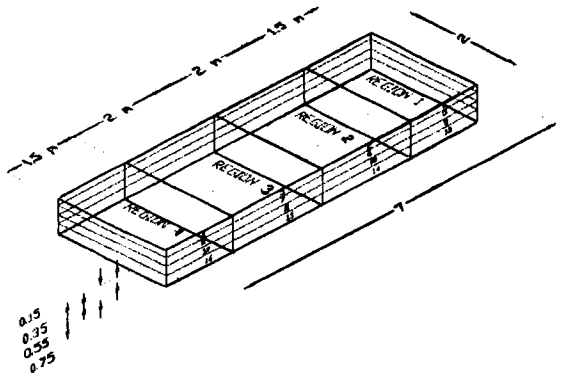
مخزن خشک کن از شلتوک پر شد و سپس مشعل روشن شد و ترموستات مشعل طبق جدول (۱) تنظیم گردید. طول زمان خشک کردن معمولاً بین ۶۴-۴۸ ساعت طول می‌کشد که در این تحقیق برابر با ۵۷ ساعت شد. درجه حرارت اولیه برابر با ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. سپس با لمس کردن شلتوک‌ها (توسط شخص مجرب) و با در نظر گرفتن رطوبت نهایی مناسب شلتوک، مشعل را خاموش می‌کنند.

جدول ۱- درجه حرارت هوای خشک کن در طی مراحل مختلف خشک کن شلتوک

زمان پس از شروع خشک کردن (ساعت)	درجه حرارت تقریبی هوای خشک کن (سانتی‌گراد)
۰-۱۸	۳۵
۱۸-۲۴	۴۰
۲۴-۳۲	۴۵
۳۲-۴۴	۵۰
۴۴-۵۷	۵۵

نحوه تقسیم‌بندی مخزن

برای نمونه‌برداری از سه خشک کن که در کنار هم در یک کارخانه قرار داشتند و دارای مشخصات کاملاً مشابهی بودند استفاده شد.[1] مخزن هر خشک کن در طول به وسیله سه صفحه مجازی که به ترتیب ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۵ متر از دیوار سمت دمنده فاصله داشتند به چهار ناحیه تقسیم شد. عمق مخزن نیز به وسیله سه صفحه مجازی که به ترتیب از سطح شلتوک ۰/۱۵، ۰/۳۵ و ۰/۵۵ متر فاصله داشتند به چهار ناحیه تقسیم شد. در نتیجه مخزن به ۱۶ خانه فرضی تقسیم شد. شکل ۲ نحوه تقسیم را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نحوه تقسیم مخزن خشک کن

روش نمونه‌برداری

در این تحقیق از برنج طارم محلی (فریدون‌کنار) با رطوبت اولیه ۱۸/۲٪ (بر پایه تر) استفاده شد. در طی مرحله خشک کردن که ۵۷ ساعت طول کشید به وسیله دستگاه نمونه‌بردار در نه نوبت از خانه‌های مخزن نمونه‌برداری صورت گرفت. جدول ۲ ساعت‌های مختلف نمونه‌برداری و زمان‌های پس از شروع خشک کردن را نشان می‌دهد. رطوبت نسبی هوا به وسیله دو دماسنج (در کنار یکدیگر) یکی در حالت اشباع (درون آب) و دیگری در محیط آزاد نصب بر روی دیوار. مقدار درجه حرارت تر و درجه حرارت خشک به ترتیب به دست می‌آید و سپس از روی نمودار سایکرومتریک مقدار رطوبت نسبی به دست می‌آید. درجه حرارت مشعل به وسیله ترموستات تنظیم گردید.

در هر نوبت نمونه‌برداری از هر خانه خشک کن، یک نمونه گرفته شد.چون در آزمایش از سه خشک کن استفاده شده بود، در مجموع در هر نوبت ۴۸ (۶×۳) نمونه برداشته شده با احتساب نه نوبت نمونه‌برداری. در کل ۴۳۲ نمونه گرفته شد. هر نمونه با کد (x,y,z,t) طوری مشخص گردید که t, z, y, x به ترتیب بیان کننده عمق، ناحیه، تکرار و نوبت نمونه‌برداری بودند.

۱. هر خشک کن بیان کننده یک تکرار در آزمایش می‌باشد

جدول ۲- ساعت‌های نمونه‌برداری و زمان پس از خشک کردن

نوبت نمونه‌برداری	ساعت به وقت محلی	مدت زمان پس از شروع خشک کردن (ساعت)
۰	۲۲	۰
۱	۱۰	۱۲
۲	۱۰	۱۲
۳	۲۲	۲۴
۴	۲	۲۸
۵	۶	۳۲
۷	۱۶	۴۲
۸	۲۰	۴۶
۹	۷	۵۷

نمونه‌ها بلافاصله پس از نمونه‌برداری به وسیله ترازوی دیجیتالی دقیقی با دو رقم اعشار توزین شد و در کیسه‌های کد دار قرار گرفت: (برای حفظ رطوبت این کیسه‌ها در یک کیسه پلاستیکی نگهداری شدند) پس از اتمام کامل آزمایش هر نوبت، نمونه‌ها در آون گذاشته شد و با درجه حرارت ۱۰۶ درجه سانتی‌گراد طی ۳۶ ساعت خشک شد. نمونه‌های خشک شده مجدداً به وسیله ترازوی دیجیتالی توزین و با استفاده از معادله ۱، درصد رطوبت شلتوک تعیین گردید.

$$M_c = \frac{M_w - M_d}{M_w} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

M_c : درصد رطوبت شلتوک بر پایه تر

M_d : وزن شلتوک خشک

M_w : وزن شلتوک تر

طرح آزمایش

در آزمایش از طرح آماری فاکتوریل با سه فاکتور (زمان، فاصله و عمق) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (۲) در سه تکرار استفاده شد و با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای MSTATC اطلاعات جمع‌آوری شده تجزیه و تحلیل شد.

به وسیله همین نرم‌افزار رطوبت نمونه‌های شلتوک هر نوبت به طور جداگانه با استفاده از طرح آماری فاکتوریل با دو فاکتور (عمق و ناحیه هر یک در چهار سطح) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تجزیه شد. برای هر نوبت، میانگین رطوبت خانه‌ها، عمق‌ها و ناحیه‌ها به وسیله آزمون مقایسه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ با هم مقایسه شدند.

ضریب نرخ خشک شدن

در ساعت‌های اولیه خشک کردن شالی، رطوبت با شدت بیشتری کاهش می‌یابد و سپس تحت شرایطی رطوبت کاهش تدریجی پیدا می‌کند، ضریب نرخ خشک کردن برابر با ضریب زاویه خط کاهش رطوبت در ساعت‌های اولیه خشک کردن (۰ تا ۱۲ ساعت) می‌باشد. در ساعت‌های اولیه رطوبت نسبی هوا از ۹۱٪ به ۶۵٪ تقلیل یافته و دمای مشعل ۳۵ درجه سانتی‌گراد بوده است.

نتایج و بحث

تغییرات رطوبت نسبی هوا و درجه حرارت محیط در طول مدت زمان خشک کردن یادداشت برداری شده است و در جدول ۳ ارائه گردیده است. طبق جدول ۳ رطوبت نسبی هوا دارای نوساناتی می‌باشد مثلاً در ۱۲ ساعت پس از خشک کردن این رطوبت برابر با ۶۵٪ شده است در حالیکه ۱۸ ساعت پس از خشک کردن به ۸۶٪ رسیده است. اگر درجه حرارت مشعل ثابت باشد با افزایش رطوبت هوا روند کاهش رطوبت شلتوک کند می‌شود (ساعت ۱۸ تا ۱۲) و یا حتی جاهایی که با وجود افزایش رطوبت نسبی هوای محیط باز هم روند کاهش رطوبت شلتوک به علت افزایش درجه حرارت مشعل (ساعت ۱۸ و ۲۳ در جدول ۳) تند می‌شود. این تغییرات از آن جهت است که با افزایش رطوبت هوا، رطوبت تعادلی بین هوا و شلتوک نیز افزایش یافته است. در این حالت رطوبت شلتوک از رطوبت تعادلی کمتر بوده در نتیجه شلتوک برای رسیدن به رطوبت تعادلی باید از هوا رطوبت جذب کند. تغییرات رطوبت همانگونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، یکنواخت نبوده و هر بار که درجه حرارت مشعل افزایش یافته رطوبت تعادلی کاهش می‌یافت در نتیجه هوا از شلتوک رطوبت جذب می‌کند و هنگامی که رطوبت شلتوک به رطوبت تعادلی جدید می‌رسید، جذب رطوبت متوقف می‌شد، در این زمان با افزایش رطوبت هوای محیط، رطوبت تعادلی افزایش می‌یافت و عمل عکس صورت می‌گرفت (طی زمان ۴۲ تا ۴۸ ساعت پس از شروع خشک کردن).

جدول ۳- تغییرات رطوبت نسبی و درجه حرارت هوا و درجه حرارت مشعل در طی مرحله خشک کردن شلتوک

نوبتهای نمونه‌برداری	شروع	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
ساعت پس از خشک شدن	۰	۱۲	۱۸	۲۴	۲۸	۳۲	۳۶	۴۲	۴۶	۵۷
ساعت به وقت محلی	۲۲	۱۰	۱۶	۲۲	۲	۶	۱۰	۱۶	۲۰	۷
رطوبت نسبی هوا (درصد)	۹۱/۵	۶۵	۸۶	۹۱	۷۶/۵	۶۴/۵	۶۷/۵	۸۱	۹۳	۶۶
دمای هوای محیط (سانتی‌گراد)	۲۴/۲	۳۰	۲۷/۸	۲۴/۴	۲۱/۹	۳۰/۴	۳۰/۰	۲۶/۰	۲۵/۰	۳۱/۰
دمای مشعل (سانتی‌گراد)	۳۵	۳۵	۴۰	۴۵	۴۵	۵۰	۵۰	۵۰	۵۵	خاموش

جدول ۴- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) رطوبت شلتوک در نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری

منابع تغییر	درجه آزادی	نوبت‌های نمونه‌برداری								
		نهم	هشتم	هفتم	ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول
تکرار	۲	۰/۰۹ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۱ ns
عمق A	۳	۰/۵۳**	۰/۸۶**	۱/۴۷**	۰/۹۵**	۰/۵**	۰/۲۴**	۰/۲۷**	۱/۲۶**	۰/۴۷**
ناحیه B	۳	۰/۸۹**	۰/۶۸**	۱/۱۸**	۰/۴۱**	۱/۷۴**	۰/۲۸**	۰/۲۷**	۱/۳۴**	۰/۰۲**
اثر متقابل (A*B)	۹	۰/۰۲**	۱/۳۴**	۰/۳۷**	۰/۴۱**	۰/۷۴**	۰/۴۱**	۰/۳۷**	۱/۳۴**	۰/۰۲**
خطا	۳۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۴

ns معنی‌دار نیست ** معنی‌دار می‌باشد

جدول ۵- مقایسه میانگین رطوبت شلتوک در نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری

نوبت	میانگین رطوبت
۱	۱۰/۵۱a*
۲	۱۰/۵۵a
۳	۹/۷۱b
۴	۹/۳۴c
۵	۹/۰۵d
۶	۸/۲۶f
۷	۷/۸۹g
۸	۸/۳۶e
۹	۶/۶۱h

میانگین‌های رطوبت در دسته‌های آماری a-h قرار گرفته‌اند

میانگین رطوبت چهار عمق مختلف شلتوک و میانگین تغییرات رطوبت چهار ناحیه شلتوک را در طی مرحله خشک کردن و خلاصه نتایج تجزیه واریانس میانگین رطوبت نسبی نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری شلتوک در جدول ۴ آمده است. در نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری توزیع رطوبت در عمق‌های مختلف مخزن یکنواخت نبود. همچنین در نوبت اول نمونه‌برداری عمق سوم بیشترین و عمق دوم کمترین مقدار میانگین رطوبت را داشتند. در نوبت اول، عمق اول و دوم و سوم در یک گروه و عمق چهارم در گروه b قرار داشتند و با وجود کاهش رطوبت تغییرات در عمق ۳ و ۴ به چشم نخورد. در نوبت نهم تمامی عمق‌ها در گروه‌های مختلف قرار گرفتند و بیانگر غیر یکنواخت بودن رطوبت است.

همانطور که در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود در نوبت‌های مختلف نمونه‌برداری توزیع رطوبت در ناحیه‌های مختلف مخزن یکنواخت نبوده است و بیانگر غیر یکنواختی حرارت می‌باشد. در آخرین نوبت نمونه‌برداری میانگین رطوبت در ناحیه‌های مختلف از بالا به پائین به ترتیب ۶/۳۸، ۶/۷۱، ۶/۸۵ و ۶/۵۱ می‌باشد. میزان درصد خشک شدن به طور میانگین برابر با ۰/۲۰ درصد برای هر ساعت بوده است و ضریب نرخ خشک شدن در ساعت‌های اولیه خشک شدن برابر با ۰/۶۷ درصد بوده است نتایج تاکاهار از اکو این امر را تایید می‌کند.

میانگین رطوبت شلتوک در هر نوبت با هم مقایسه گردیده و در جدول ۵ ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۵ در فاصله

نوبت نمونه‌برداری اول و دوم تغییری در رطوبت حاصل نشده است و از نظر آماری معنی‌دار نیست که می‌تواند به علت یکنواختی درجه حرارت باشد هم چنین در ساعت‌های اولیه رطوبت روی محصول خشک می‌شود. در نوبت‌های دیگر تغییرات رطوبتی مشاهده می‌شود به غیر از نوبت هشتم برخلاف انتظار شلتوک از هوا رطوبت گرفته است. به همین دلیل میانگین رطوبت شلتوک داخل مخزن در نوبت هشتم (۰/۴۷) بیشتر از نوبت قبلی نمونه‌برداری شده است. جیندل و سیبنمورگان (۱۹۹۶) در افزایش رطوبت نتیجه مشابهی گرفتند. در افزایش رطوبت به علت صحیح نبودن روند افزایش درجه حرارت مشعل و مدت زمان خشک کردن شلتوک، شلتوک تحت تأثیر دوپدیده‌جذب و دفع رطوبت دچار تنش‌های بیشتری شده است.

نتیجه‌گیری

۱) مدت خشک کردن و توزیع حرارت بهینه نبوده و شلتوک گاهی از هوا رطوبت گرفته است که این نوسانات می‌تواند به تنش‌های رطوبتی دامن بزند

۲) خشک شدن شلتوک در عمق مخزن یکنواخت نیست

۳) خشک شدن شلتوک در طول مخزن یکنواخت نیست

مراجع مورد استفاده

۱. رفیعی، ش. ۱۳۷۶. بررسی روش متداول خشک کردن شلتوک. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۲. فرشاد فر، ع. ۱۳۶۹. طرح‌های آماری برای تحقیقات کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی.

3. Arthur. J. and Rurmsey, T. R. 1987. Improving walant dryer performance. Rural energy conference January 1987. 9-12.

4. Banaszek, M. M. and T. J. Siebenmorgen. 1993. Individual rice kernel drying curves. Transaction of the ASAE. 36(7): 521-528.

5. Bruce, D. M. 1985. Exposed – layer barley drying: three models fitted to new – data up to 150°c. J. Agric. Eng. Res. 32: 212-226.

6. Cenkowski, S., E. Kaminski and B. Lapczynska. 1986. Comparison of convection clover drying in a thin layer of single plants and their elements. Zensz. Naukowe AR Krakowie. Mechanizaacja Z. 3. No. 198, 69-86.

7. Henderson, S. M. and P. R. Perry. 1976. Agricultural Process Engineering. Westport, CT. AVI, p. 130-147.

8. Jayas, D. S. and S. Sokhansanj, 1986. Thin-layer drying of wheat at low temperature in drying, 86, ed. A. S. Mujumdar, 844-847. New York: Hemisphere Pub. Crop.

9. Jayas D. s. and S. Sokansanj. 1986. Thin – layer drying of barley at low temperatures. Can. Agric. Eng. 31(1): 21-23.

10. Jindal, V. K. and T. J. Siebenmorgen. 1996. Simulation of low temperature rough rice drying and rewetting in shallow beds. Transactions of the ASAE 37(3): 863-871.

11. Kulasiri, G. d., D. H. Vaughan and J. S. Cundiff. 1989. Thin layer drying rates of Virginia – type peanuts. ASAE paper No. 89-6600. St. Joseph, MI: ASAE.

12. Montross, M. D., J. E. Montross, F. W. Bakker – Arkma and R. E. Hines. 1997. Dryer performance enhancement through grain preheating. Transactions of the ASAE 40(5): 1391-1394.

13. Otten. L., R. B. Brown and K. F. Vogel. 1989. Thin layer drying of canola. ASAE paper No. 89-6100 St. Joseph, MI: ASAE.

14. Pabis, S. 1982. Theory of convective drying in agricultural products. PWRIL Warsaw. P. 70-96.

15. Taharazako. S, Miao. Y. L., Hayashi, S. I. Yoshihara, K., and Asakuma, K. 1988. Ventilation drying of grain by near – ambient temperature and dehumidification air. Journal of the society of agricultural structures. 18(3): 23-33.

Moisture Content Distribution Across a Batch – Type Rough Rice Dryer

A. TABATABAEEFAR[1] AND SH. RAFIEI[2]
1, Associate Professor, Faculty of Agriculture, University of Tehran,
2, Ph.D. Student, University of Tarbiat Modarres
Accepted Oct. 17, 2001

SUMMARY

Moisture content distribution through a batch – type bin was investigated. A batch – type dryer is one mostly used in northern Iran (Mazandaran). The dryer bins (inside dimensions) were 7 m long, 2 m wide and 0.8 m in depth. The inside of the bin was divided into 16 cells with four regions apart from the burner and four depths. Nine drying periods were employed. The bin was filed with rough rice and while being dried, samples were taken (in nine different drying periods) from all the 16 cells with a hand operated sampler. A randomized complete block design (with two factors of region and depth) was used for each period of drying time. Therefore, the three factors in the design were period, region, and depth. Three similar bins were used to account for repetitions. A new Duncan multiple – range test of analysis of means was applied for the regions, depths, and cell. The results showed that variation in moisture distribution was significant indicating that warm air was not distributed uniformly. At the end of the drying period, average moisture content in four depths, from top to bottom, and at the four regions was 6.67% with a 0.21% of standard deviation.

Key words: Moisture, Moisture distribution, Dryer, Rough rice