بررسی نرخ تغییر رطوبت و درصد شکستگی دانه‌های شلتوک با استفاده از خشک‌کن مایکروویو

حسن جعفری[۱]، داود کلانتری*[۲]، محسن آزادبخت[۳]

۱. دانشجوی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۱ ، تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۱۹)

چکیده

یکی از حساس‌ترین مراحلی که باید در فرایند تبدیل شلتوک انجام شود، عملیات خشک‌کردن می‌باشد. رعایت اصول دقیق، علمی و فنی در فرایند خشک‌کردن شلتوک باعث می‌شود بازده تبدیل شلتوک به برنج سفید افزایش یافته و کیفیت محصول در طی انبارداری مدت طولانی‌تری حفظ شود. لذا در تحقیق حاضر شرایط مختلف استفاده از امواج مایکروویو از لحاظ میزان کاهش رطوبت و کم‌ترین درصد شکستگی دانه‌های شلتوک در توان‌ها، زمان‌ها و هم‌چنین لایه‌های مختلف مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است. در این تحقیق از دو رقم شالی اصلاح شده نعمت و رقم طارم هاشمی که در مازندران بسیار رایج می‌باشد، استفاده گردید. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که درصد شکستگی دانه‌های شلتوک از توان ۹۰ تا ۴۵۰ وات به‌طور معنی‌داری افزایش و هم‌زمان کسر رطوبتی دانه‌ها کاهش یافت. با توجه به نتایج حاصل از کار تحقیقاتی حاضر، توان‌های بیش‌تر از ۴۵۰ وات به علت ایجاد سوختگی دانه‌های شلتوک توصیه نمی‌شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که زمان امواج دهی ۳۰ ثانیه، مدت استراحت دهی (خاموش بودن دستگاه) ۶۰ ثانیه و توان ۲۷۰ وات برای خشک‌کردن دانه‌های شلتوک با استفاده از امواج مایکروویو مناسب می‌باشد. در این شرایط میانگین درصد شکستگی دانه‌ها برابر با ٪۲۹/۳۷ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کردن، مایکروویو، کسر رطوبتی، درصد شکستگی دانه.

* نویسنده مسئول: dkalantari2000@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

برنج بعد از گندم به عنوان مهم‌ترین ماده غذایی در ایران محسوب می‌شود و هر ساله سطح وسیعی از اراضی کشور به کشت این محصول با ارزش اختصاص می‌یابد. برنج به صورت شلتوک برداشت می‌شود که دارای رطوبت به‌نسبت زیادی ،۳۵٪-۲۵٪ بر پایه تر، است [۱]. این محصول در زنجیره تبدیل می‌بایستی از مراحل مختلفی عبور کند تا قابل استفاده گردد. یکی از حساس‌ترین مراحلی که باید در طول فرایند تبدیل انجام شود، عملیات خشک‌کردن می‌باشد. رعایت اصول دقیق و علمی و فنی در فرایند خشک‌کردن شلتوک برنج باعث می‌شود تا بازده تبدیل شلتوک به برنج سفید افزایش یافته و کیفیت محصول در طی انبارداری بهتر حفظ شود. رطوبت مناسب برای انبار کردن یا پوست‌کنی برنج در حدود ۱۴٪ بر پایه‌تر می‌باشد [۱، ۲]. در طی فرایند خشک‌کردن آب از ماده غذایی خارج شده و در نتیجه امکان رشد ریز سازواره‌ها و ایجاد واکنش‌های شیمیایی نامطلوب به حداقل رسیده و ماندگاری مواد افزایش می‌یابد[۳]. به دلیل کاهش ضریب هدایت حرارتی مواد غذایی در دوره فرایند نزولی خشک‌کردن با روش جابه‌جایی، سرعت انتقال حرارت به قسمت‌های درونی ماده غذایی کاهش می‌یابد [۴]. به‌منظور بر طرف کردن این مشکلات و افزایش کیفیت محصولات و برای رسیدن به فرایند موثر و سریع انتقال حرارت، استفاده از مایکروویو برای خشک‌کردن مواد غذایی توسعه یافته است. در فرایند خشک‌کردن با استفاده از مایکروویو خروج رطوبت سریع‌تر می‌باشد و هم‌چنین به دلیل تمرکز انرژی، سیستم مایکروویو فقط ۲۰٪ تا ۳۵٪ نسبت به سایر روش‌های خشک‌کردن به فضا نیاز دارد [۵]. طیف الکترومغناطیسی بین ۳۰۰ مگاهرتز و ۳۰۰ گیگاهرتز در محصول نفوذ می‌کند، که مکانیسم کاری آن به حضور مولکول‌های قطبی مانند آب در ماده غذایی بستگی دارد. هنگامی که یک میدان الکتریکی بر یک ماده غذایی اعمال می‌شود، مولکول‌های قطبی در جهت میدان می‌چرخند و با آن هم جهت می‌شوند و این موجب برخوردهای تصادفی آن‌ها با مولکول‌های مجاور می‌شود. وقتی که جهت میدان معکوس شود، مولکول‌های قطبی باز هم برای هم جهت شدن با میدان تلاش می‌کنند و این امر موجب برخوردهای بیش‌تر در ماده غذایی می‌شود [۶]. بر خلاف سیستم‌های خشک‌کن مرسوم، به‌دلیل نفوذ بالای امواج مایکروویو به درون ماده غذایی، حرارت در سراسر ماده غذایی انتشار می‌یابد. به همین دلیل در روش خشک‌کردن با استفاده از مایکروویو سرعت انتقال گرما سریع‌تر از سایر روش‌های حرارتی است [۷]. یکی از مهم‌ترین مشکلات در فراوری برنج، ترک‌خوردگی دانه می‌باشد. فراوری دانه برنج دارای مراحل مختلفی شامل تمیزکردن، خشک‌کردن، پوست‌کنی، سفید کردن و درجه بندی است [۸].

هدف از تحقیق حاضر بررسی کسر رطوبتی و درصد شکستگی دانه‌های شلتوک بعد از عملیات خشک‌کردن و پوست‌کنی، بررسی تاثیر لایه‌های مختلف شلتوک، زمان‌ها و توان‌های مختلف مایکروویو، تعیین بهترین شرایط از لحاظ میزان کسر رطوبتی و کم‌ترین میزان شکستگی با توجه به توان‌ها، زمان‌ها و لایه‌های مختلف می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو رقم شالی اصلاح شده نعمت و رقم طارم هاشمی که در مازندران بسیار رایج می‌باشد، استفاده گردید. با توجه به این‌که رطوبت برنج در بازه زمانی کوتاه پس از برداشت از مزرعه در محدوده HMC می‌باشد، برای انجام آزمایشات مختلف باید رطوبت نمونه‌ها را که اغلب پایین‌تر از HMC است، افزایش داد. در اصطلاح به این عمل رطوبت‌دهی مجدد گفته می‌شود. در این روش، ابتدا مقدار تعیین شده‌ای از آب به شالی اضافه گردید و نمونه‌ها در پاکت‌های پلاستیکی دو لایه به مدت ۱۰ روز درون یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد [۹]. با استفاده از روش ذکر شده میزان رطوبت رقم نعمت افزایش داده شد. برای تعیین میزان محتوای رطوبتی شلتوک، نمونه‌هایی از دو رقم نعمت و طارم هاشمی به‌صورت تصادفی و در شرایط یکسان تهیه شد. نمونه‌های ۵۰ گرمی از هر رقم به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون آزمایشگاهی با دمای ۱۰ سانتی‌گراد قرار داده شد و رطوبت اولیه نمونه‌ها به‌روش وزنی بر اساس استاندارد ASAE تعیین گردید [۱۰]. میانگین محتوای رطوبتی رقم نعمت و طارم هاشمی به‌ترتیب برابر با ۲۰/۴۸٪ و ۲۴/۵٪ بر پایه تر تعیین گردید. در این آزمایش از یک مایکروویو آزمایشگاهی

Archive of SID

www.SID.ir

مدل Media, MW-F304ADY-W، ساخت کشور چین، برای خشک‌کردن شلتوک استفاده شد. آزمایش در سه سطح توان ۹۰، ۲۷۰ و ۴۵۰ وات انجام گردید. در این آزمایش ابتدا به صورت تناوبی به مدت ۳۰ ثانیه دستگاه روشن و سپس به مدت ۶۰ ثانیه خاموش بوده که این عمل به صورت یک سیکل تناوبی تا زمان ۴۵۰ ثانیه تکرار گردید. سپس مانند زمان قبلی، این عمل به صورت تناوبی به مدت ۳۰ ثانیه دستگاه روشن و سپس به مدت ۱۲۰ ثانیه خاموش بوده و تا ۴۵۰ ثانیه تکرار شد تا رفتار شلتوک در برابر تغییرات توان و میزان استراحت دهی در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد [۱۱]. طبق استاندارد ASAE، شماره S448، در خشک‌کردن غلات به روش لایه نازک مواد باید به‌طور کامل در معرض هوای خشک قرار گرفته و دارای ضخامت یکنواخت باشند، به‌طوری‌که ضخامت لایه مواد از ضخامت سه لایه دانه غله مربوطه تجاوز نکند [۱۲]. در این تحقیق میزان ضخامت شلتوک در هر دو رقم به اندازه ۲ میلی‌متر تعیین گرید، در نتیجه در حالت لایه نازک ارتفاع لایه ۶ میلی‌متر می‌باشد، اما این آزمایش برای دو لایه دیگر به اندازه ۱۲ و ۱۸ میلی‌متر نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمون از نمونه‌های ۳۰ گرمی شلتوک استفاده گردید.

کسر رطوبتی دانه‌های شلتوک در طول خشک‌کردن با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \qquad (۱)$$

به‌طوری که، MR کسر رطوبتی (بدون بعد)، M_t میزان رطوبت در هر لحظه (کیلوگرم آب/ماده جامد)، M_e رطوبت تعادلی (کیلوگرم آب/ گرم ماده جامد) و M_o محتوای رطوبت اولیه (کیلوگرم آب/ گرم ماده جامد) می‌باشد [۱۳، ۱۴]. در رابطه ۱ میزان رطوبت تعادلی با استفاده از نرم افزار EMC که در شرایط مختلف محیطی و برای محصولات مختلف می‌باشد، محاسبه گردید. این نرم افزار توسط چیا از دانشگاه آرکنزا و بر اساس معادله چانگ برای انجام محاسبات مربوطه تعبیه شد [۱۵].

برای تعیین درصد شکستگی دانه‌های شلتوک، تعداد ۱۰۰ دانه از هر نمونه به صورت تصادفی انتخاب گردید، سپس دانه‌ها با استفاده از یک پوست‌کن آزمایشگاهی پوست‌کنی شدند. در انتها نسبت تعداد دانه‌های شکسته به کل دانه‌ها با شمارش دستی مشخص و برای نشان دادن میزان شکستگی در هر تکرار به صورت درصد بیان گردید.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز واریانس اثر رقم، توان، دوره‌های زمانی و لایه‌های مختلف بر روی کسر رطوبتی و درصد شکستگی دانه‌ها در جدول ۱ نشان داده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تاثیر لایه‌ها بر روی شکستگی دانه‌ها در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار نبوده و بر روی کسر رطوبتی در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین تاثیر رقم، زمان و توان بر روی درصد شکستگی و کسر رطوبتی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل لایه و رقم، لایه و زمان، لایه و توان بر روی درصد شکستگی و کسر رطوبتی در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار نبوده است. هم‌چنین، اثر متقابل رقم و زمان بر روی درصد شکستگی در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار نبوده و بر روی کسر رطوبتی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل رقم و توان بر روی درصد شکستگی در سطح ۵٪ معنی‌دار و بر روی کسر رطوبتی در سطح ۱٪ نیز معنی‌دار است. هم‌چنین اثر زمان و توان بر روی درصد شکستگی و کسر رطوبتی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد.

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس اثر رقم، توان، دوره‌های زمانی و لایه‌های مختلف بر روی درصد شکستگی دانه‌ها و کسر رطوبتی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		دانه‌های شکسته (٪)	کسر رطوبتی (٪)
لایه	۲	^{ns}۱۶۷/۹۴۶	*۰/۰۵۱
رقم	۱	**۵۷۵۴۶/۷۵	**۰/۳۹۳
زمان	۱	**۴۰۶۱/۲۵	**۰/۵۶۰

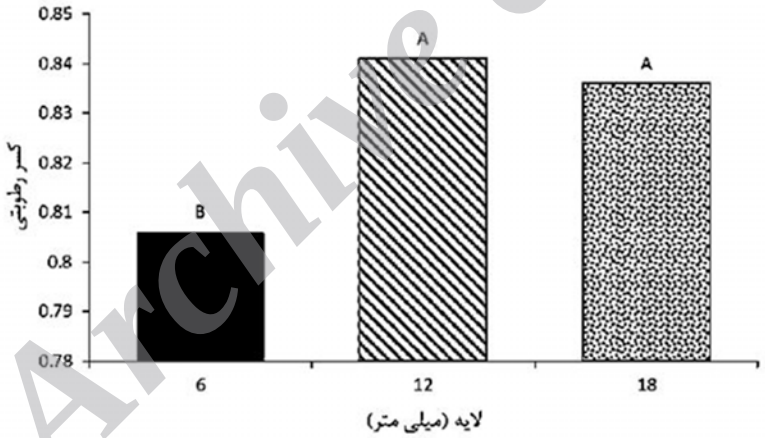
Archive of SID

www.SID.ir

توان	۲	۱۶۳۶۳/۶۰**	۳/۶۳۴**
لایه×رقم	۲	۱۲۴/۷۲ ns	۰/۰۲۴ ns
لایه×زمان	۲	۹۲/۰۷ ns	۰/۰۳۶ ns
لایه×توان	۴	۹۹/۹۰ ns	۰/۰۰۶ ns
رقم×زمان	۱	۲۷۱/۳۴ ns	۰/۱۲۴**
رقم×توان	۲	۴۷۸/۴۷*	۰/۰۸۱**
زمان×توان	۲	۲۷۲۸/۱۰**	۰/۰۲۴**
خطا	۴۱۲		

**، *، ns به ترتیب اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار بودن را نشان می دهد.اختلاف معنادار است.

شکل ۱ اثر لایه‌ها را بر روی کسر رطوبتی دانه‌های شلتوک رقم نعمت و طارم هاشمی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ کسر رطوبتی در لایه نازک (۶ میلی‌متر) نسبت به دو لایه ۱۲ و ۱۸ میلی‌متر کم‌تر است، به این علت که در لایه نازک میزان نفوذ امواج بیش‌تر بوده و تقریبا تمامی دانه‌ها به صورت یکپارچه با امواج در تماس می‌باشند، در نتیجه میزان درصد رطوبت از دست رفته در لایه‌ی نازک بیش‌تر از لایه‌های ضخیم‌تر است. هم‌چنین در لایه‌های ضخیم‌تر رطوبت آزاد شده از دانه‌های شالی فرصت کم‌تری برای خارج شدن از فضای بین دانه‌ها را دارند، در نتیجه رطوبت بین دانه‌ها باقی می‌ماند و در نهایت باعث می‌شود که رطوبت با سرعت کم‌تری را از دست برود.

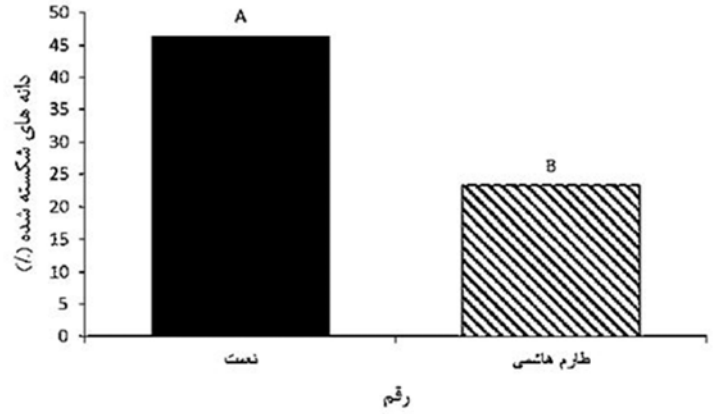


شکل (۱) اثر لایه‌های مختلف بر روی کسر رطوبتی بر روی دانه‌های شلتوک رقم نعمت و طارم هاشمی

شکل ۲ تاثیر رقم بر روی درصد دانه‌های شکسته شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ درصد شکستگی دانه‌ها در رقم نعمت نسبت به طارم هاشمی بسیار بیش‌تر می‌باشد. به این علت که میزان شکستگی دانه‌ها به طول دانه و میزان سرعت تغییرات رطوبت دانه بستگی دارد. هرچه طول دانه کوتاه‌تر باشد شکستگی دانه کاهش خواهد یافت، به این علت که با افزایش طول دانه، سطح بیش‌تری از دانه تحت تنش‌های فیزیکی ناشی از پوست‌کنی قرار می‌گیرد و شکست افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که دانه‌های طارم هاشمی دارای طول کم‌تری نسبت به دانه‌های نعمت می‌باشد، در نتیجه درصد شکستی دانه‌های طارم هاشمی نسبت به نعمت بسیار کم‌تر است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۲) اثر رقم بر روی درصد دانه‌های شکسته شده

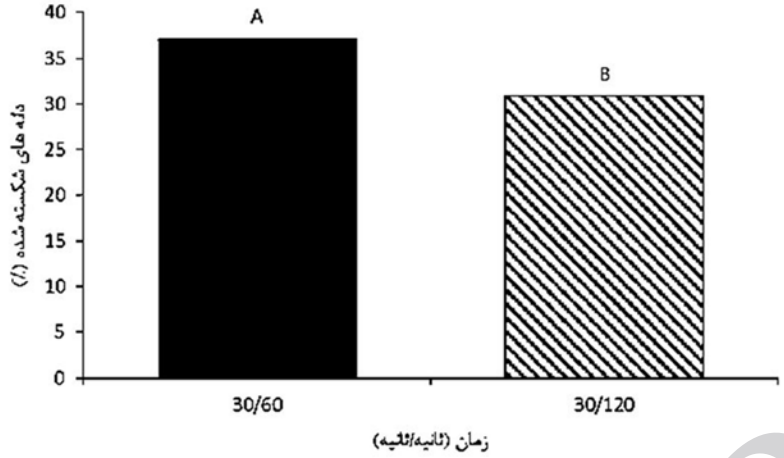
شکل ۳ تاثیر رقم بر روی کسر رطوبتی را نشان می‌دهد. کسر رطوبتی رقم نعمت نسبت به رقم طارم هاشمی کم‌تر است. با توجه به رابطه ۱، عواملی که در میزان کسر رطوبتی به صورت مستقیم تاثیر گذارند عبارتند از رطوبت اولیه، تغییرات رطوبت و رطوبت تعادلی. در این آزمایش میزان رطوبت اولیه رقم نعمت به‌طور میانگین ۲۰/۴۸٪ و برای رقم طارم هاشمی ۲۰/۵۰٪ بر پایه تر بوده است. هرچه میزان رطوبت اولیه بیش‌تر باشد، میزان کسر رطوبتی هم بیش‌تر می‌شود. با توجه به بلندتر بودن دانه رقم نعمت، سطح تماس رقم نعمت در مقایسه با رقم طارم هاشمی بیش‌تر است. در نتیجه میزان امواج بیش‌تری را جذب کرده که باعث می‌شود رطوبت بیش‌تری را از دست دهد

شکل (۳) اثر رقم بر روی کسر رطوبتی

شکل ۴ تاثیر زمان را بر روی درصد دانه‌های شکسته شده نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ درصد شکستگی دانه‌ها در دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه نسبت به دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه بیش‌تر است. با توجه به این‌که هرچقدر دانه‌ها بیش‌تر تحت امواج مایکروویو قرار بگیرند و میزان استراحت آن‌ها کم‌تر باشد، درصد شکستگی دانه‌ها افزایش خواهد یافت، به این علت که با افزایش زمان قرار گیری دانه‌ها در معرض امواج میزان رطوبت دانه‌ها به سرعت پایین آمده و دانه‌ها تحت تنش شدیدی قرار می‌گیرند و در نهایت موجب افزایش شکست در دانه‌ها می‌شود. این نتیجه با مشاهدات اسپونروناریت، تاورتاناپانیش و همکاران و چینکاچورن [۱۱، ۱۶و۱۷] مطابقت دارد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۴) اثر زمان بر روی درصد دانه‌های شکسته شده

شکل (۴) شکل ۵ تاثیر زمان بر روی کسر رطوبتی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵ میزان کسر رطوبتی در دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه نسبت به دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه کم‌تر می‌باشد، به این علت که هرچه دانه‌ها بیش‌تر تحت امواج مایکروویو قرار گیرند و میزان استراحت آن‌ها کم‌تر باشد، رطوبت با سرعت بیش‌تری از دست خواهد رفت و در زمان یکسان با میزان استراحت کم‌تر و انرژی‌دهی بیش‌تر، میزان از دست دادن رطوبت افزایش پیدا خواهد کرد. این نتیجه مشابه با نتایج یونگساواتدیکول و گوناسکاران و نیز چینکاچورن [۱۱، ۱۸] می‌باشد.

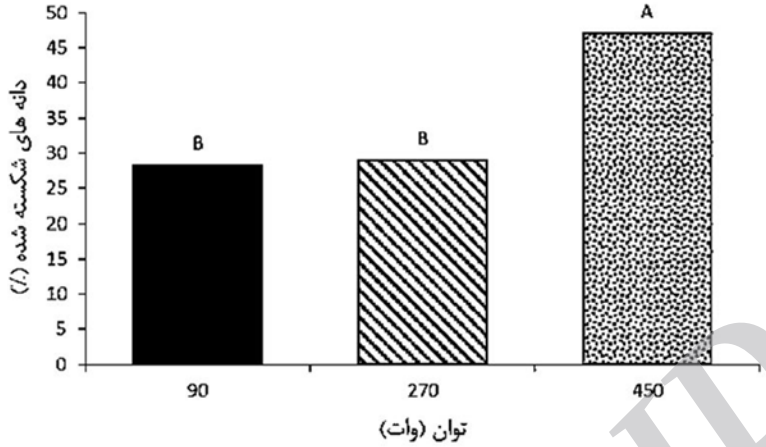
شکل (۵) اثر زمان بر روی کسر رطوبتی

شکل ۶ تاثیر توان را بر روی درصد دانه‌های شکسته شده نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶ با افزایش توان از ۹۰ وات تا ۲۷۰ وات تغییرات شکستی زیاد محسوس نمی‌باشد. اما با افزایش توان به ۴۵۰ وات این مقدار بیش‌تر می‌شود. به این علت که با افزایش توان قدرت نفوذ امواج به داخل دانه‌ها افزایش یافته در نتیجه تنش وارده به دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند. علت این است که با افزایش توان، برخورد بین مولکول‌های آب داخل دانه‌ها بیش‌تر شده و در نتیجه

Archive of SID

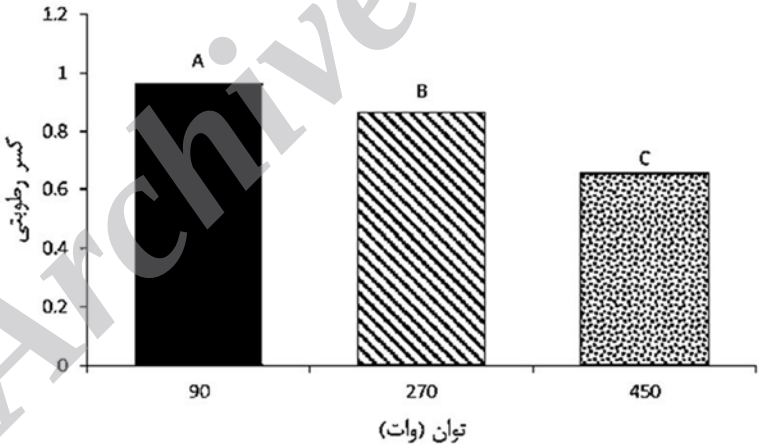
www.SID.ir

سرعت از دست دادن رطوبت بالا رفته و در نهایت، ترک و شکستگی نیز در دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه مشابه نتایج اسپونروناریت، تاورتاناپانیش و همکاران و چینکاچورن [۱۱، ۱۶و۱۷] می‌باشد.



شکل (۶) اثر توان بر روی درصد دانه‌های شکسته شده

شکل ۷ تاثیر توان را بر روی کسر رطوبتی نشان می‌دهد. با توجه به این شکل کسر رطوبتی با افزایش مقدار توان رو به کاهش می‌باشد. زیرا با افزایش توان، قدرت نفوذ امواج به داخل دانه‌ها افزایش می‌یابد. در این شرایط برخورد بین مولکول‌های آب داخل دانه‌ها افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش سرعت از دست دادن رطوبت و میزان رطوبت از دست رفته در زمان یکسان می‌شود. این نتیجه با نتایج یونگساواتدیکول و گوناسکاران و هم‌چنین چینکاچورن [۱۱، ۱۸] مطابقت دارد.



شکل (۷) اثر توان بر روی کسر رطوبتی

نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و توان بر درصد دانه‌های شکسته و کسر رطوبتی در جدول ۲ آمده است. با توجه به نتایج، بیش‌ترین درصد شکستگی دانه‌ها در رقم نعمت و در توان ۴۵۰ وات به اندازه ۶۰/۷۲ ٪ و کم‌ترین مقدار در رقم طارم هاشمی و توان ۹۰ وات به اندازه ۱۷/۸۴۷٪ بوده و بیش‌ترین مقدار کسر رطوبتی در رقم طارم هاشمی و در توان ۹۰ وات به اندازه ۰/۹۷۵ و کم‌ترین مقدار کسر رطوبتی در رقم نعمت و توان ۴۵۰ وات به اندازه ۰/۵۹۷ اتفاق افتاده است. که این نتیجه مشابه با نتایج یونگساواتدیکول و گوناسکاران و نیز چینکاچورن [۱۱، ۱۸] می‌باشد.

Archive of SID

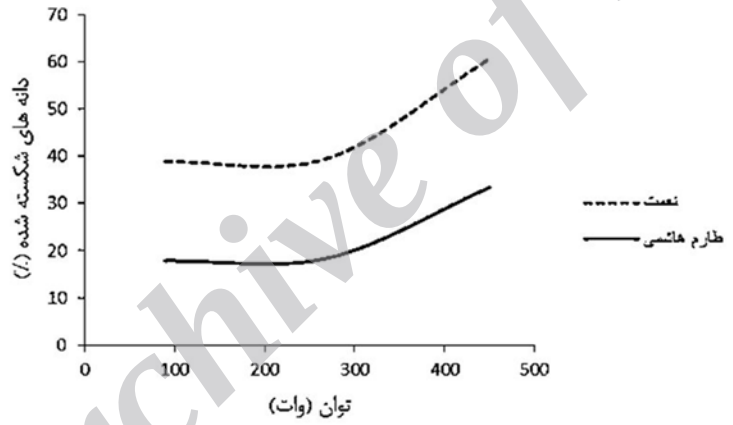
www.SID.ir

جدول (۲) نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و توان بر درصد دانه‌های شکسته و کسر رطوبتی

رقم	توان (وات)					
	درصد دانه‌های شکسته			کسر رطوبتی		
	۹۰	۲۷۰	۴۵۰	۹۰	۲۷۰	۴۵۰
نعمت	۳۸/۷۳۶^{bA}	۳۹/۴۸۶^{bA}	۶۰/۷۲۲^{aA}	۰/۹۵۴^{aB}	۰/۸۴۱^{bB}	۰/۵۹۷^{cB}
طارم هاشمی	۱۷/۸۴۷^{bB}	۱۸/۴۱۷^{bB}	۳۳/۴۳۱^{aB}	۰/۹۷۵^{aA}	۰/۸۸۸^{bA}	۰/۷۱۰^{cA}

حروف مشابه کوچک در هر سطر و حروف مشابه بزرگ در هر ستون عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

شکل ۸ اثر متقابل رقم و توان را بر روی درصد دانه‌های شکسته شده نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده، با افزایش میزان توان، درصد شکستگی دانه افزایش پیدا می‌کند، که دلیل آن نفوذ بیش‌تر امواج در بافت دانه‌ها و در نتیجه افزایش میزان تنش و در نهایت، باعث بیش‌تر شدن درصد شکستگی می‌شود. با توجه به نمودار تغییرات، درصد شکستگی در دو رقم دارای شیب یکسان می‌باشد؛ ولی رقم نعمت به علت داشتن طول بیش‌تر و سطح تماس بیش‌تر با امواج و در تنیجه جذب بیش‌تر امواج درصد شکستگی بیش‌تری نسبت به رقم طارم هاشمی دارد.



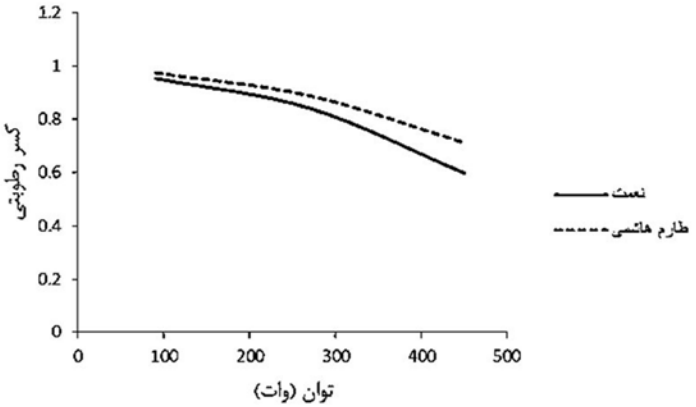
شکل (۸) اثر متقابل رقم و توان بر روی درصد دانه‌های شکسته شده

شکل ۹ اثر متقابل رقم و توان را بر روی کسر رطوبتی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹ کسر رطوبتی با افزایش توان با سرعت بیش‌تری در حال کاهش است. هم‌چنین کسر رطوبتی در رقم نعمت نیز سریع‌تر در حال کاهش می‌باشد. به این علت که افزایش توان باعث برخورد سریع‌تر بین مولکولی شده و در نتیجه رطوبت سریع‌تر از دست می‌رود. در رقم نعمت، به علت دارا بودن طول بزرگ‌تر دانه و سطح خارجی بیش‌تر و در نتیجه جذب بیش‌تر امواج نسبت به رقم طارم هاشمی، دفع رطوبت با سرعت بیش‌تری صورت می پذیرد.

نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و توان بر درصد دانه‌های شکسته و کسر رطوبتی در جدول ۳ آمده است. با توجه به نتایج، بیش‌ترین درصد شکستگی دانه‌ها در دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه و در توان ۴۵۰ وات به اندازه ۵۳/۳۴۴ ٪ و کم‌ترین مقدار در دوره زمانی۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه و توان ۹۰ وات به اندازه ۲۷/۵۵۶ ٪ اتفاق افتاده است. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار کسر رطوبتی در دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه و در توان ۹۰ وات به اندازه ۰/۹۶۷ و کم‌ترین مقدار کسر رطوبتی دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه و توان ۴۵۰ وات به اندازه ۰/۵۹۱

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۹) اثر متقابل رقم و توان بر روی کسر رطوبتی

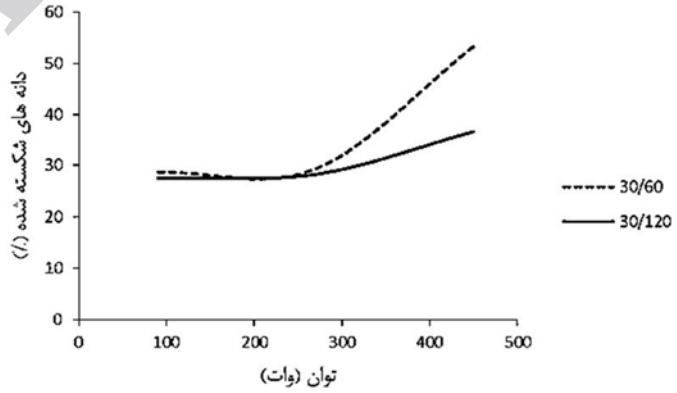
جدول (۳) نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و توان بر درصد دانه‌های شکسته و کسر رطوبتی

توان (وات)						
زمان (ثانیه/ثانیه)	درصد دانه‌های شکسته			کسر رطوبتی		
	۹۰	۲۷۰	۴۵۰	۹۰	۲۷۰	۴۵۰
(۳۰/۶۰)	۲۸/۷۳۳^{bA}	۲۹/۳۶۷^{bA}	۵۳/۳۴۴^{aA}	۰/۹۳۶^{aA}	۰/۸۴۵^{bB}	۰/۵۹۱^{cB}
(۳۰/۱۲۰)	۲۷/۵۵۶^{bA}	۲۸/۲۵۹^{bA}	۳۶/۶۳۰^{aB}	۰/۹۶۷^{aA}	۰/۸۹۷^{bA}	۰/۷۵۸^{cA}

حروف مشابه کوچک در هر سطر و حروف مشابه بزرگ در هر ستون غیر معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ و ۵٪ را نشان می‌دهد.

اتفاق افتاده است. این نتیجه مشابه با نتایج (چینکاچورن، ۲۰۰۷؛ متولی و همکاران، ۱۳۸۸) [۱۰، ۱۹] می‌باشد.

شکل ۱۰ اثر متقابل زمان و توان را بر روی درصد دانه‌های شکسته شده نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، با افزایش توان از ۹۰ تا ۲۷۰ وات در دو دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه و دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه درصد شکستگی دانه‌ها تقریبا در یک دامنه ثابتی قرار دارد، اما با افزایش توان از ۲۷۰ تا ۴۵۰ وات، درصد شکستگی دانه‌ها در هر دو دوره زمانی افزایش یافته است؛ ولی درصد شکستگی در دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه نسبت به دوره زمانی۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه بیش‌تر می‌باشد. این نتیجه مشابه نتایج اسپونروناریت، تاورتاناپانیش و همکاران و چینکاچورن [۱۱، ۱۶و۱۷] می‌باشد.

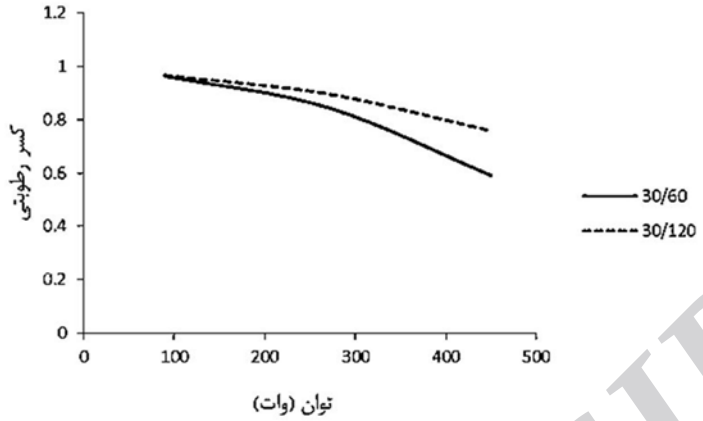


شکل (۱۰) اثر متقابل زمان و توان بر روی درصد دانه‌های شکسته شده

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱۱ اثر متقابل زمان و توان را بر روی کسر رطوبتی نشان می‌دهد. با توجه به شکل کسر رطوبتی با افزایش میزان توان و زمان با سرعت بیش‌تری رو به کاهش است به این علت که در این شرایط بیش‌ترین میزان امواج مایکروویو بر روی دانه‌های شلتوک تاثیر می‌گذارد، که این نتیجه مشابه با نتایج علی متولی و همکاران [۱۹] می‌باشد.



شکل (۱۱) اثر متقابل زمان و توان بر روی کسر رطوبتی

نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و رقم بر کسر رطوبتی در جدول ۴ آمده است. با توجه به نتایج، کم‌ترین مقدار کسر رطوبتی در دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه و رقم نعمت به اندازه ۰/۷۵۶ و بیش‌ترین مقدار کسر رطوبتی در زمان دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه و رقم هاشمی به اندازه ۰/۸۸۲ اتفاق افتاده است.

شکل ۱۲ اثر متقابل زمان و رقم را بر روی کسر رطوبتی نشان می‌دهد.

۴- نتیجه گیری

نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که درصد شکستگی و کسر رطوبتی از توان ۹۰ تا ۴۵۰ وات به‌ترتیب رو به افزایش و کاهش می‌باشد و این‌که مقدار توان را نمی‌توان از حد ۴۵۰ وات بالاتر برد، زیرا این عمل باعث سوختگی شلتوک می‌شود. هم‌چنین افزایش زمان قرارگیری شلتوک در مایکروویو در دو دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۶۰ ثانیه نسبت به دوره زمانی ۳۰ ثانیه به ۱۲۰ ثانیه نیز باعث افزایش درصد شکستگی و کاهش میزان کسر رطوبتی می‌شود. با توجه به هدف تحقیق، ۳۰ ثانیه روشن بودن دستگاه و ۶۰ ثانیه استراحت دهی یعنی خاموش بودن دستگاه و توان ۲۷۰ وات برای خشک‌کردن دانه‌های رقم نعمت و طارم هاشمی توصیه می‌گردد، در این شرایط میانگین درصد شکستگی و کسر رطوبتی به‌ترتیب

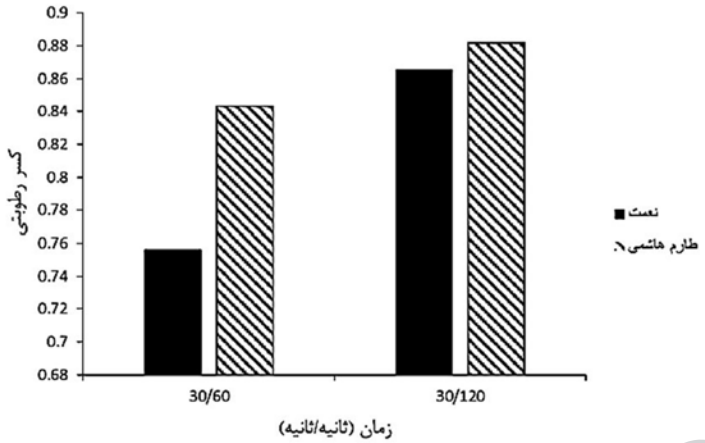
جدول (۴) نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و رقم بر درصد دانه‌های شکسته و کسر رطوبتی

زمان (ثانیه/ثانیه)	کسر رطوبتی	
	رقم	
	نعمت	طارم هاشمی
(۳۰/۶۰)	۲۸/۷۳۳^{bA}	۲۹/۳۶۷^{bA}
(۳۰/۱۲۰)	۲۷/۵۵۶^{bA}	۲۸/۲۵۹^{bA}

حروف مشابه کوچک در هر سطر و حروف مشابه بزرگ در هر ستون غیر معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ و ۵٪ را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱۲) اثر متقابل زمان و رقم بر روی کسر رطوبتی در رقم نعمت

۲۹/۳۷٪ و ۰/۸۴۵ به‌دست آمد.

با توجه به نتایج حاصل، تاثیر لایه‌ها بر روی درصد دانه‌های شکسته شده معنی‌دار نبوده ولی با افزایش ضخامت لایه از ۶ به ۱۲و ۱۸ میلی‌متر باعث افزایش میزان کسر رطوبتی شده است. هم‌چنین درصد شکستگی و کسر رطوبتی در رقم نعمت نسبت به رقم طارم هاشمی به‌ترتیب بیش‌تر و کم‌تر می‌باشد. با توجه به نتایج می‌توان نتیجه گرفت که خشک‌کردن رقم نعمت با استفاده از مایکروویو باعث آسیب و شکستگی زیاد شلتوک می‌شود، که این میزان زیاد به علت طول بلند این رقم می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

[۱] رفیعی، س. (۱۳۷۷) بررسی روش‌های مختلف خشک‌کردن شلتوک. *پایان‌نامه ارشد، گروه ماشین‌های کشاورزی*، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[۲] یدالهیان، ا.ر. (۱۳۸۵) مدل لایه نازک برای شلتوک. *پایان‌نامه ارشد، گروه ماشین‌های کشاورزی*، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

[3] Barbosa-Canovas, G.V., Vega-Mercado, H. (1996). Dehydration of foods,1th ed., Chapman and Hall, NY, USA.

[4] Feng, H., Tang, J. (1998). Microwave finish drying of diced apples in a spited bed, *J. Food Sci.*, 63, 679-683.

[5] Maskan, M. (2000). Microwave air and microwave finish drying of banana. *J. Food Eng.*, 44, 71-78.

[6] Therdthai, N., Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (MenthacordifoliaOpiz ex Fresen).*J. Food Eng.*, 3, 482-489.

[7] Abbasi, S., Rahimi, S. (2007). Microwave and it application in industries sonboleh, 20 (163), 28-29.

[8] Shitanda, D., Nishiyama, Y., Koide., S. (2002). Compressive strength properties of rough rice considering variation of contact area.*J. Food Eng.*, 53, 53-58.

[9] Hashemi, J., Tabatabaekoloor, R., Kimura, T. (2010). Effects of discharge fan on the drying efficiency in flat-bed type dryer. Int. *J. Eng. Sci.*, 6(2), 89-93

[10] ASAE. (1999). Standards D245.5. Moisture relationship of plant based agricultural products, 46th ed. Joseph, St., Mich. ASAE., 512- 528.

[11] Cheenkachorn, K. (2007). Drying of rice paddy using a microwave-vacuum dryer, Proceedings of *European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6) Copenhagen*, 16-20.

[12] ASAE. (1998). Standards S448 Dec93. Thin-layer drying of grain and crops. Joseph. St., MI.

[13] Diamante, L.M., Munro, P.A. (1991). Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. Sol. Energ, 51, 271–276.

[14] Kaya, A., Aydın, O. (2009). An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. Energ. *Con. Manage*. 50, 24-118.

[15] University of ARKANSAS Division of agriculture, Rice processing program, agricultural experiment station, URL: Http://uarpp.uark.edu/resources.htm

[16] Soponronarit, S., Prachayawarakorn, S., Wangji, M. (1996). Commercial Fluidised Bed Paddy Dry. In: Strumillo, C. & Pakowski, Z. (Eds.), Proc. The *10th International Drying Symposium, Krakow, Poland*, 38-644.

[17] Taweerattanapanish, A., Soponronarit, S., Wetchakama, S., Kongseri, N., Wongpiyachon, S. (1999). Effects of Drying on Head Rice Yield using Fluidizations Technique, *Drying Tech.*, 17, 345-353.

[18] Yongsawatdikul, J., Gunasekaran, S. (1996). Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I. Energy use and efficiency, *J. Food. Process Pres.*, 20, 121-143.

[۱۹] متولی، ع.؛ میانایی، س.؛ احمدی، ا.؛ عزیزی، م.ح.؛ خوش تقاضا، م.ه. (۱۳۸۸) سینتیک خشک‌کردن دانه‌های انار و میزان انرژی مصرفی در خشک‌کردن به روش مایکروویو. *فصلنامه علوم صنایع غذایی*، دوره ۷، شماره ۴، ص ۵۳-۴۳.

Archive of SID

www.SID.ir