



خشک کن دوار خورشیدی شلتوک

مأده لیلایی^۱، اکبر عرب حسینی^۲، هیمن امیری^۳، محمدحسین کیانمهر^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ maedeh.leilayi@ut.ac.ir

^۲دانشیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ ahosseini@ut.ac.ir

^۳دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ hemanamiri@ut.ac.ir

^۴استاد گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ kianmehr@ut.ac.ir

چکیده

به منظور حفظ کیفیت محصول در انبار، خشک کردن برنج پس از برداشت، لازم و ضروری است. خشک کردن برنج، به روش سنتی پهن کردن محصول در زیر نور آفتاب که در بیشتر مناطق ایران رایج است، باعث افت کیفی و کمی محصول می شود. استفاده از خشک کن های خورشیدی برای خشک کردن برنج، علاوه بر صرفه جویی در انرژی مصرفی، از ترک خوردن، تغییر رنگ و افت کیفی محصول نیز جلوگیری می کند. در این تحقیق به منظور خشک کردن شلتوک برنج اقدام به طراحی و ساخت یک دستگاه خشک کن دوار خورشیدی گردید. برای تامین انرژی گرمایی مورد نیاز دستگاه، از یک صفحه جاذب خورشیدی با توانی حدود ۶۵۰ وات بر ساعت استفاده شد. صفحه جاذب از جنس آهن، با ابعاد 100×200 میلیمتر و ضخامت ۲ میلیمتر بود. به منظور جلوگیری از ماند انرژی در انتهای صفحه جاذب و کاهش هدررفت انرژی، در محدوده انتهایی صفحه جاذب تعداد ۴۵۶ عدد سوراخ به قطر ۶ میلیمتر ایجاد شد. برای جذب بیشتر نور تابیده شده ی خورشید توسط سطح صفحه جاذب، از پوشش شیشه ی معمولی ساختمان با ضخامت ۴ میلیمتر و ابعاد 1020×1020 میلیمتر استفاده شد. همچنین مخزن خشک کن به صورت استوانه ای مشبک، با قطر ۴۰۰ و طول ۱۰۰۰ میلیمتر و ضخامت ۱ میلی متر و سوراخ هایی با قطر $2/5$ میلی متر ساخته شد. همچنین محفظه اصلی دستگاه که ورودی و خروجی لوله ی هوای داغ به آن متصل می شود، به صورت استوانه ای به قطر ۵۰۰ و طول ۱۲۰۰ میلیمتر، از جنس ورق گالوانیزه نورد شد. برای تامین حرکت دورانی محور استوانه خشک کن از یک الکتروموتور $0/7$ کیلو وات ۳ فاز با دور خروجی ۱۴۰۰ دور در دقیقه استفاده شد که در دو مرحله توسط سیستم تسمه و پولی و یک گیربکس ۱ به ۱۰۰ دور خروجی آن کاهش پیدا کرد. دوره های مورد نیاز آزمایشات نیز توسط یک دستگاه اینورتر تامین شد.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، برنج، خشک کن، شلتوک، رطوبت



Paddy solar rotary dryer

Maedeh Leilayi¹, Akbar Arabhosseini², Heman Amiri³, Mohammad Hossein Kianmehr⁴

¹M.Sc. student, Mechanical of Biosystem, College of Abouraihan, University of Tehran,

maedeh.leilayi@ut.ac.ir

²Associate of Department of Agriculture Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran,

ahosseini@ut.ac.ir

³PHD. Student, Mechanical of Biosystem, College of Abouraihan, University of Tehran,

hemanamiri@ut.ac.ir

⁴Professor of Department of Agriculture Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran,

kianmehr@ut.ac.ir

ABSTRACT

Drying of paddy is important to keep the quality of rice during storage. The traditional method of sun drying by spreading of the products in front of sun radiation is common for drying of paddy in most regions in Iran, which causes degradation of the dried products. Using of solar dryers for paddy drying causes to save energy and avoid cracking and quality and color degradation. In this study, In order to dry the paddy a rotary solar dryer was designed and constructed. An absorber plate with a power of about 650 watts per hour was used to provide the required thermal energy for the device. The absorber plate was made of iron, with dimensions of 100 × 200 mm and a thickness of 2 mm. In order to prevent the energy accumulation at the end of the absorber plate and reduce energy waste, 456 holes of 6 mm diameter were provided at the end of the absorber plate. A typical glass cover of 4 mm thick and dimensions of 1020 × 1020 mm was used to absorb more light shined by the absorber plate. The drying drum with a diameter of 400 mm, a length of 1000 mm and a thickness of 1 mm was perforated with 2.5 mm diameter holes. The main chamber of the device was rolled up from a galvanized sheet in a cylinder diameter of 500 mm and a length of 1200 mm, which is connected to the inlet and outlet air pipes. A 0.7-kV, 3-phase electromotor with 1400 rpm output shaft, was used to provide the rotation of the drum dryer. The rotation of the output shaft was reduced in two stages by a belt and pulley system and a gearbox of 1 to 100 ratio in output. The required rotations for the tests was provided by an inverter.

Keyword: solar dryer, rice, dryer, paddy, moisture

۱- مقدمه

برنج از مهمترین محصولات کشاورزی در سبد غذایی مردم جهان محسوب می شود و از لحاظ سطح زیر کشت، بعد از گندم در مقام دوم قرار دارد. برنج بخش زیادی از کالری مورد نیاز مصرف کنندگان را تامین می کند (Luh, 1991). طبق آمار سازمان خوار و بار ملل متحد (فائو) میزان تولید جهانی برنج در فصل زراعی ۱۸-۲۰۱۷، در حدود ۵۰۳ میلیون تن می باشد که در مقایسه با سال قبل از آن ۰/۹ درصد رشد را نشان می دهد. طبق همین آمار میزان تولید برنج در ایران در همین سال حدود ۲/۶ میلیون تن می باشد و پس از گندم و جو رتبه سوم بیشترین میزان تولید غله در کشور را به خود اختصاص می دهد (FAO, 2017). به دلیل مصرف مستقیم این محصول و همچنین بحث بازار پسندی، درصد برنج خرد شده بسیار حائز اهمیت می باشد. عوامل مختلفی همچون رقم محصول، شرایط محیطی رشد و برداشت و نوع خشک کردن بر میزان خرده برنج موثر هستند. میزان خرد شدن برنج در طول فرآیند خشک کردن نیز به عواملی همچون، نوع رقم، رطوبت اولیه، درجه حرارت، رطوبت نسبی هوا و روش خشک کردن بستگی دارد (Fan et al., 2000). شلتوک در هنگام برداشت دارای رطوبتی حدود ۲۵٪ و یا حتی بیشتر است. چنانچه، شلتوک با این درصد رطوبت انبار یا در فرآیند تبدیل وارد شود، دچار کپک زدگی، فساد و ضایعات بیش از اندازه خواهد شد. بنابراین برای جلوگیری از ضررهای احتمالی در حین انبارداری و یا فراوری های پس از برداشت رطوبت شلتوک را باید به حدود ۱۴٪ کاهش داد، به همین دلیل شلتوک را قبل از فراوری خشک می کنند (قبله و عسکری، ۱۳۹۵). در واقع خشک کردن شلتوک یکی از نگرانی های عمده اکثر کشورهای تولیدکننده برنج است (Sarker et al., 2014). عدم خشک کردن به موقع شلتوک باعث بروز فساد میکروبی (قارچی، باکتریایی) و جوانه زنی دانه پس از



۴۸ ساعت خواهد شد (Beeny and Basil, 1970; Javare and Reddy, 1987; Juliano, 1958). در بیشتر سیستم‌های خشک کردن، انرژی مورد نیاز برای حذف رطوبت نامطلوب مواد غذایی و خشک کردن آنها به طور عمده از انرژی حرارتی حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی تامین می‌گردد. بنابراین با توجه به رطوبت اولیه زیاد شلتوک برنج، خشک کردن آن به انرژی زیادی نیاز دارد (Billiris et al., 2011). در سال‌های اخیر محققان و دانشمندان زیادی با انجام تحقیقات و بررسی‌های خود، روش‌ها و تجهیزات مختلفی را برای جایگزینی انرژی پایا و تجدیدپذیر خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی مطرح کرده‌اند. امکان استفاده از انرژی خورشیدی به منظور خشک نمودن محصولات کشاورزی نخستین بار توسط یولو بررسی شد (Buelow, 1985). متعارف‌ترین خشک‌کن برای خشک کردن شلتوک در کشورهای آسیایی و ایران، خشک‌کن‌های بستر ثابت می‌باشد که اغلب این خشک‌کن‌ها به صورت مستطیلی و دارای یک مخزن ثابت هستند. در این نوع خشک‌کن‌ها به علت ضخامت بالای توده شلتوک موجود در مخزن مستطیلی، لایه‌های پایینی نسبت به لایه‌های بالایی زودتر رطوبت خود را از دست می‌دهند که این امر موجب شکست دانه می‌شود (Firouzi et al., 2017). در خشک‌کن‌های بستر ثابت برای خشک کردن برنج و دستیابی به سطح رطوبت مطلوب در لایه‌های بالا، علاوه بر مصرف انرژی فراوان، نیاز به نیروی انسانی زیادی نیز می‌باشد (Anonymous, 2013). طی سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در خصوص ایجاد تکنیک‌هایی برای خشک کردن شلتوک با مصرف انرژی کمتر و بهبود محصول نهایی انجام شده است (Sarker et al., 2014; Jittanit et al., 2010; Nimmol and Devahastin, 2010). با این حال هنوز خشک‌کن ایده‌آلی برای شلتوک برنج وجود ندارد. اکثر تحقیقات در سطح آزمایشگاهی بوده و در سطح صنعتی گزارش‌های کمتری در مجلات علمی ثبت شده است (Nordin Ibrahim et al., 2014). هدف از این تحقیق طراحی و ساخت یک دستگاه خشک دوار خورشیدی می‌باشد که بتواند علاوه بر کاهش مصرف انرژی، نیاز به نیروی انسانی را نیز کاهش داده و شلتوک برنج را به صورت همگن در سطح مطلوبی خشک نماید، همچنین میزان تلفات فرآیند خشک کردن شلتوک را کاهش داده و توده‌ی شلتوک را به طور یکنواخت خشک کند.

۲- مواد و روش‌ها:

به منظور طراحی خشک‌کن خورشیدی دوار ابتدا بخش‌های مختلف دستگاه در محیط نرم افزار SolidWorks 2017 طراحی و پس از استخراج نقشه‌های ساخت، اقدام به ساخت بخش‌های مختلف آن گردید. برای انتخاب قطر و طول مناسب مخزن و محفظه خشک‌کن حجم (رابطه ۱) و وزن و چگالی (رابطه ۲) شلتوک محاسبه شد. و براساس میزان پرتشدگی (رابطه ۳)، قطر و طول مناسب مخزن تعیین شد. یاتاقان بکار برده شده در ساخت دستگاه با محاسبه بار دینامیکی وارده و قطر شافت متصل به مخزن مشبک از کاتالوگ SKF انتخاب شد.

$$V = \frac{\pi B^2 L^2}{6(2L-B)} \quad (1)$$

در این رابطه L طول نمونه بر حسب میلی‌متر و B در این رابطه برابر با $B = (W.T)^{0.5}$ می‌باشد همچنین W و T به ترتیب عرض و ضخامت نمونه می‌باشند.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

در این رابطه m جرم و V حجم محصول می‌باشد.

$$f = \left(\frac{1}{\pi}\right) \times (\varepsilon - \sin \varepsilon \cos \varepsilon) \quad (3)$$



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های الکتریکی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

در این رابطه ε زاویه پرشدگی استوانه می‌باشد.

۱-۲- شاسی: به منظور قرارگیری قطعات مختلف دستگاه، و با در نظر گرفتن حفظ تعادل، استحکام، سهولت در جابه‌جایی دستگاه، شاسی دستگاه ساخته شد. همچنین برای ساخت نشیمن‌گاه موتور و گیربکس از صفحات فلزی از جنس St37 استفاده شد. در یک طرف از شاسی برای سهولت در حمل و نقل دو عدد چرخ در زیر پایه‌ها قرار داده شد و در طرف دیگر به جای چرخ از پایه‌های قابل تنظیم استفاده شد که این پایه‌ها امکان تغییر ارتفاع دستگاه را تا ۱۵۰ میلی‌متر میسر می‌سازد. دلیل استفاده از این پایه‌ها امکان ایجاد قابلیت تنظیم شیب مجموعه‌ی خشک‌کن می‌باشد.

۲-۲- مخزن استوانه‌ای دوار مشبک: مخزن اصلی دستگاه از یک ورق مشبک ساخته شد. ورق مشبک با استفاده از دستگاه نورد رل شد. شلتوک‌ها از طریق یک سطح مقطع (دهانه‌ی ورودی) وارد این بخش از دستگاه شده و هوای داغ از طریق سوراخ‌های مخزن با شلتوک‌ها برخورد کرده و باعث کاهش رطوبت آنها می‌گردد. همچنین دوران مخزن باعث اختلاط و یکنواختی در خشک شدن شلتوک‌ها می‌شود. ابعاد سوراخ صفحه مشبک با توجه به خواص فیزیکی شلتوک (طول، عرض و ضخامت) انتخاب شد به طوری که شلتوک‌ها از روزنه‌ها عبور نکنند و فضای کافی جهت انتقال هوای داغ در اختیار قرار گیرد. برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی، ۱۰۰ عدد شلتوک به طور تصادفی از نمونه انتخاب شد. قطر و طول مخزن با توجه به میزان شلتوک مورد استفاده در هر بار آزمایش تعیین شد. با توجه به این نکته که در استوانه‌های دوار ارتفاع پرشدگی محصول باید کمتر از نصف شعاع باشد تا دوران صورت بگیرد قطر مخزن ۴ برابر بیشینه میزان پرشدگی توده شلتوک انتخاب شد. با تعیین سرعت خطی جابجایی محصول در راستای طول استوانه و مدت زمانی که نیاز است تا شلتوک طول استوانه را طی کند، طول استوانه محاسبه شد.

۳-۲- محفظه خشک‌کن: به منظور هدایت هوای ورودی به قسمت‌های مختلف مخزن (از داخل و خارج آن) و همینطور آب‌بندی و جلوگیری از هدر رفت هوای داغ، مخزن مشبک استوانه‌ای، توسط ورق گالوانیزه پوشش داده شد. محل قرارگیری دریچه‌های ورودی و خروجی هوای داغ، ورودی محصول و دریچه کنترل بر روی دو سطح قاعده استوانه در نظر گرفته شد. همچنین دریچه خروجی محصول خشک شده در زیر محفظه گالوانیزه به صورت مربعی تعبیه شد و به منظور هوا بند شدن این بخش و جلوگیری از هدر رفت هوای داغ یک دریچه کشویی جهت تخلیه محصول خشک شده بر روی آن نصب شد. برای ورود محصول به داخل مخزن از یک زانویی ۹۰ درجه که از طریق یک لوله به بدنه متصل است استفاده شد. جنس این بخش نیز ورق گالوانیزه انتخاب شد. برای هدایت هوای داغ به داخل محفظه از یک لوله گالوانیزه استفاده شد. در واقع این لوله هوایی که توسط صفحه جاذب خورشیدی گرم شده را به درون مخزن اصلی دستگاه هدایت می‌کند.

۴-۲- نیروی محرکه: از آنجاییکه از کل مجموعه تنها مخزن مشبک حرکت دورانی دارد و محفظه، ثابت و بدون حرکت است، برای انتقال حرکت به مخزن از یک شافت استفاده شد. برای مهار شافت و جذب نیروهای جانبی از دو عدد یاتاقان در دو طرف شافت استفاده شد. برای تامین حرکت این مجموعه از یک الکتروموتور استفاده شد. همچنین برای انتقال و کاهش حرکت از الکتروموتور به شافت اصلی دستگاه، خروجی الکتروموتور به یک جعبه‌دنده کاهنده متصل شد. همچنین شافت خروجی جعبه‌دنده توسط تسمه و پولی به شافت اصلی دستگاه منتقل شد که در این قسمت نیز انتخاب پولی‌ها به نحوی بود که کاهش دور داشته باشند. در نهایت با استفاده از یک اینورتر (LS ساخت کره جنوبی) به دورهای خروجی مدنظر در آزمایشات کاهش پیدا کرد.

۵-۲- صفحه جاذب خورشیدی: برای تامین هوای داغ ورودی دستگاه از یک صفحه جاذب تخت خورشیدی موجود در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران استفاده شد. برای تامین سرعت یکنواخت جریان هوا در سطح صفحه جاذب، در طول جهت جریان از ورودی به سمت خروجی سطح مقطع بین شیشه و صفحه‌ی متخلخل کاهش می‌یابد (متحیر رزداری، ۱۳۹۶).

۳- نتایج و بحث:



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

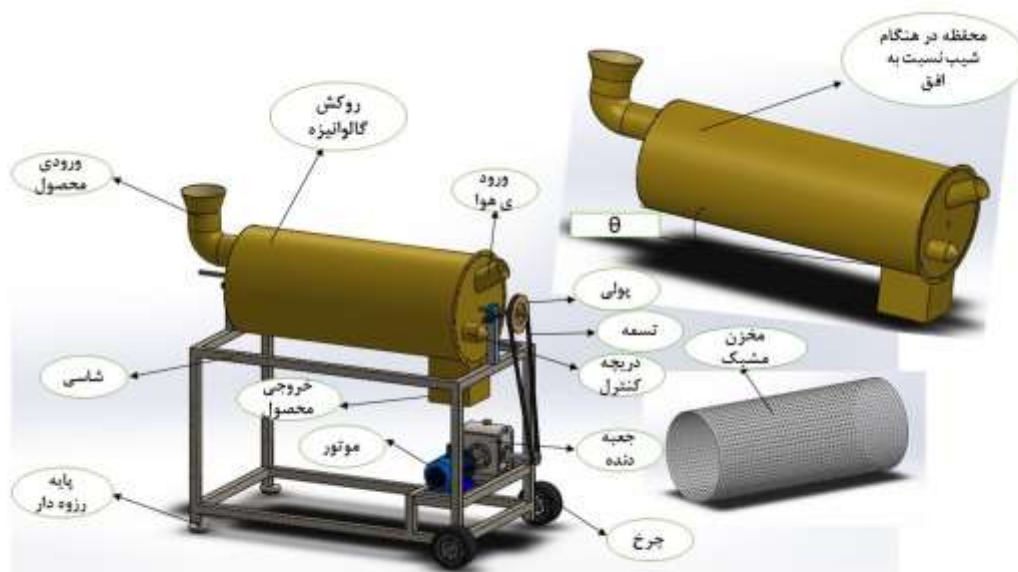


انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

با توجه به تحقیقات پیشین و مطالعات انجام شده استفاده از انرژی خورشیدی برای تامین انرژی حرارتی مورد نیاز، دستگاه را از لحاظ مصرف انرژی مقرون به صرفه‌تر می‌کند. همچنین در دستگاه ساخته شده عمق بستر شلتوک در حدی است که با دوران دستگاه از عدم یکنواختی در خشک شدن محصول جلوگیری می‌شود علاوه بر آن شیب دستگاه عاملی است که برای حرکت شلتوک‌ها و عدم ثابت ماندن آنها کاربرد دارد. با توجه به مرور تحقیقات پیشین درمیابیم که تحقیقات بسیاری بر روی عملکرد خشک‌کن‌های شلتوک، میزان تلفات خشک‌کن‌ها در زمینه خرده برنج و مصرف انرژی خشک‌کن‌های خورشیدی در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های خورشیدی صورت گرفته است که در هیچ یک از این تحقیقات خشک‌کن دوار شلتوک به همراه بهره‌گیری از انرژی خورشیدی برای تامین انرژی بررسی نشده است. لذا با توجه به اهمیت کیفیت شلتوک خشک شده، کاهش تلفات خشک کردن از جمله ترک و خرده برنج و مصرف انرژی، دوار بودن بستر خشک‌کن برای جلوگیری از خشک شدن یکنواخت شلتوک‌ها و کاهش خرده برنج و ترک موثر می‌باشد و بهره بردن از انرژی خورشیدی باعث می‌شود که از مصرف انرژی‌های فسیلی کاسته شده و از نظر زیست محیطی مفید باشد. در ساخت دستگاه از پایه‌های رزوه‌دار استفاده شد که امکان تغییر ارتفاع دستگاه را میسر می‌سازد، استفاده شد. علت شیب دستگاه نسبت به افق، ایجاد امکان حرکت توده محصول در حین دوران از دهانه‌ی ورودی به سمت خروجی و خروج راحت‌تر محصول از خشک‌کن بود که میزان این شیب با اندازه‌گیری زاویه استقرار دینامیکی شلتوک تعیین شد. در بخش ورودی محصول برای هدایت مستقیم و کامل شلتوک به داخل مخزن با توجه به اصطکاک میان شلتوک و بدنه‌ی ورودی از یک زانویی ۹۰ درجه استفاده شد. همچنین برای دسترسی به داخل مخزن و مشاهده حرکت مواد یک دریچه کنترل بر روی سطح قاعده محفظه تعبیه شد. برای برخورد مستقیم هوای داغ بر روی توده شلتوک دهانه ورودی هوا را به صورت مایل بر روی سطح قاعده قرار داده شد. الکتروموتور استفاده شده برای تامین نیروی مورد نیاز ۰/۷ کیلو وات سه فاز با دور خروجی ۱۴۰۰ دور در دقیقه بود. برای کاهش دور خروجی الکتروموتور از یک جعبه‌دنده ۱ به ۱۰۰، سیستم تسمه و پولی و اینورتر استفاده شد. پولی‌های انتخاب شده از نوع نافی دار با نسبت ۱ به ۳ بودند (شکل ۱). صفحه جاذب مورد استفاده برای تامین هوای داغ در شکل (۲) نمایش داده شده است. ابعاد این صفحه ۱۶۰۰ × ۲۰۰۰ میلی‌متر و جنس آن از ورق آهنی بود. پوشش شیشه‌ای صفحه دارای خواص نوری از جمله: ضریب عبور ۰/۸۵، ضریب جذب ۰/۰۵ و ضریب بازتاب ۰/۱ بود. همچنین برای توزیع هوا در قسمت ورودی، کانال ورودی هوا با ابعاد دهانه‌ی ۴۰۰ × ۴۰۰ میلی‌متر و طول ۵۰۰ میلی‌متر و کانال خروجی مخروطی شکل با ابعاد ۱۰۲۰ × ۳۲۰ میلی‌متر تعبیه شد.



شکل ۱- طرحواره کلی خشک کن



شکل ۲- صفحه جاذب تخت خورشیدی

۴- نتیجه گیری:

براساس تحقیقات انجام شده و دستگاه‌های موجود، ضایعات فرایند خشک کردن برنج بسیار بالاست که با استفاده از این دستگاه و با اصلاح فرایند خشک کردن می‌توان بطور قابل ملاحظه‌ای ضایعات تبدیل را کاهش داد. علاوه بر این با توجه به اینکه سیستم‌های خشک کردن برنج موجود در کشور با راندمان پایین کار می‌کنند و باعث به وجود آمدن تلفات و هزینه‌های اضافی مصرف انرژی در خشک کردن می‌شوند این دستگاه قادر است اینگونه مشکلات را هم تا حدودی برطرف نماید. از قابلیت‌های این دستگاه می‌توان به عدم یکنواختی در خشک شدن، کاهش ترک و خرده برنج و کاهش مصرف انرژی اشاره کرد.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



منابع:

قبله، نادر؛ عسکری اصلی ارده، عزت اله، ۱۳۹۵، مقایسه و بررسی تاثیر فرم چند نوع کلکتور خورشیدی بر بازده خشک شدن شلتوک در یک خشک کن خورشیدی، چهارمین کنفرانس بین المللی ایده های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری.

متحیر رزداری، م. ۱۳۹۶. بهینه سازی و ارزیابی صفحه جاذب خشک کن خورشیدی با جریان هوای برگشتی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

Beeny, J. and C.S.N. Basil, Multipass drying of paddy (rice) in the humid tropics. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1970. **15**(4): p. 364-374.

Billiris, M.A., T.J. Siebenmorgen, and A. Mauromoustakos, Estimating the theoretical energy required to dry rice. *Journal of food engineering*, 2011. **10** (۲) p. 253-261.

Buelow, F., Drying Grain with Solar Energy, Michigan State University, Agri. Exp. Stn, Q. Bull, 1958. **41**.

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

Firouzi, S., M.R. Alizadeh, and D. Haghtalab, 2017. Energy consumption and rice milling quality upon drying paddy with a newly-designed horizontal rotary dryer. *Energy*. 119: p. 629-636.

FAO 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO statistical yearbook 2017. Available on the FAO website, www.fao.org/publications.

Anonymous, 2013. Paddy Drying. International Rice Research Institute (IRRI), Postharvest Unit, CESD, Version 2, October 2013, p, 51.

Javare, G. S. and Reddy, S. R. 1987. Optimization of drying parameters in paddy seeds. *Seed Res.* 15 (2): 176-182.

Jittanit, W., N. Saeteaw, and A. Charoenchaisri, 2010. Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of Stored Products Research*. **46**(4): p. 209-213.

Juliano, B. 1985. Rice chemistry and technology. Published by the American association of cereal chemists, Ins. St. Paul, Mine USA. 774pp.

Luh, B.S., 1991. Rice, Volume 2: Utilization. Vol. 2: Springer Science & Business Media.

Mossman, A. P. 1986. A review of basic concept in rice drying research. *Food Sci. and Nutr.* 25(1): 49-70.

Nimmol, C. and S. Devahastin, 2010. Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy. *Applied Thermal Engineering*. 30(14-15): p. 2204-2212.

Nordin Ibrahim M, Sarker MSH, Aziz AbN, Mohd Salleh P. 2014. Drying performance and overall energy requisite of industrial inclined bed paddy drying in Malaysia. *J Eng Sci Technol*. 9 (3): 398e409.

Sarker, N.N., O.R. Kunze, and T. Strouboulis. 2014. Energy and rice quality aspects during drying of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer. *Energy Conversion and Management*, 77: p. 389-395.