

Scientific Paper

Economic Evaluation of Replacing Solar Tunnel Dryers with Traditional Paddy Drying in Farms

H. Asadi ^{1}, H.R. Gazor ², K.Tajadoditalan ³*

Received: 2025/07/08

Accepted: 2025/08/10

Introduction: Drying is a crucial post-harvest stage in paddy processing that directly impacts the quality of milled rice. Due to the high energy requirements of conventional drying methods, the use of solar energy, either independently or in combination with other sources, has become increasingly important. Solar tunnel dryers not only reduce drying time and preserve grain quality but also contribute to energy savings and environmental sustainability. This study aims to evaluate the economic feasibility of using solar tunnel dryers compared to traditional open-air drying for the Hashemi rice variety in Iran.

Materials and Methods: The research was conducted from 2020 to 2022. In the first year, two solar tunnel dryers were constructed at the Agricultural Engineering Research Institute in Alborz Province. Performance evaluations were then carried out over two years at the Rice Research Institute of Iran in Gilan Province.

-
1. Corresponding Author and Associate Professor, Socio-economic Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (Hormoz.asadi3@gmail.com).
 2. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
 3. Associate Professor, Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran.

Economic analysis included identifying fixed and variable costs for both drying systems, followed by applying the partial budgeting technique and profitability indicators.

Results and Discussion: The discounted construction costs (at an 18.5% rate) were estimated at 118,457,044 Rials for large dryers and 60,199,481 Rials for small ones. Depreciation costs were 47,382,818 and 24,079,793 Rials, and maintenance costs were 2,961,426 and 1,504,987 Rials for large and small dryers, respectively. The total additional costs and reduced income for the large and small solar tunnel dryers were 72,511,297 and 36,980,496 Rials, while the total additional benefits and reduced costs amounted to 126,300,000 and 74,600,000 Rials, respectively. Consequently, the net benefits were estimated at 53,788,703 and 37,619,504 Rials. The benefit-cost ratio was 1.74 and 2.00, and the accounting rate of return (ARR) was 45.4% and 62.5% for large and small dryers, respectively.

Conclusion and Suggestions: The results confirm that the total benefits of using solar tunnel dryers outweigh their additional costs, making them an economically viable alternative to traditional open-air drying. Therefore, adopting solar tunnel drying technology can enhance both the economic and socio-environmental sustainability of rice farming.

Keywords: *Paddy Rice, Post-Harvest, Drying, Partial Budgeting, Benefit-Cost Ratio.*

JEL Classification: Q, Q1, Q12, Q16

اقتصاد کشاورزی و روستایی

سال ۳، شماره ۶، بهار ۱۴۰۴

مقاله علمی

ارزیابی اقتصادی جایگزینی خشک کن تونلی خورشیدی با خشک کن سنتی شلتوک در مزرعه

هرمز اسدی^۱، حمیدرضا گازر^۲، کبری تجدیدی طلب^۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹

چکیده

فرآیند خشک کردن یکی از مراحل مهم و تأثیرگذار در فرآوری پس از برداشت شلتوک در مزرعه است که نقش تعیین کننده‌ای در کیفیت تبدیل شلتوک به برنج سفید دارد. هدف این پژوهش، ارزیابی اقتصادی خشک کن‌های تونلی خورشیدی در مقایسه با روش سنتی خشک کردن در مزرعه (فضای باز) برای رقم برنج هاشمی بود که طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ اجرا شد. در سال نخست، دو دستگاه خشک کن تونلی خورشیدی در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی استان البرز ساخته شد و سپس طی دو سال، ارزیابی عملکرد آنها در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (استان گیلان) انجام گرفت. به منظور بررسی اقتصادی، ابتدا هزینه ساخت و هزینه‌های متغیر خشک کن‌ها و محیط آزاد شناسایی شد و سپس ارزیابی اقتصادی با استفاده از تکنیک بودجه‌بندی جزئی و شاخص‌های سودآوری صورت گرفت. نتایج نشان داد که مجموع منافع اضافی و کاهش

-
- ۱- نویسنده مسئول، دانشیار تحقیقات اقتصاد کشاورزی، دفتر پژوهش‌های اقتصادی و اجتماعی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (Hormoz.asadi3@gmail.com).
 - ۲- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
 - ۳- دانشیار موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

هزینه‌های استفاده از خشک‌کن تونلی خورشیدی (در اندازه بزرگ و کوچک) در مقایسه با خشک‌کن سنتی بیشتر است؛ بنابراین، استفاده از این فناوری از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. نسبت فایده به هزینه جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب $1/74$ و 2 واحد و نرخ بازده حسابداری آنها به ترتیب $45/4$ و $62/5$ درصد برآورد شد. بر این اساس، توصیه می‌شود کشاورزان و روستاییان در فرآیند خشک‌کردن محصولات از فناوری‌هایی استفاده کنند که علاوه بر کارایی فنی، دارای مزیت‌های اقتصادی و اجتماعی نیز باشند.

کلید واژه‌ها: شلتوک برنج، پس از برداشت، خشک‌کردن، بودجه‌بندی جزئی، تحلیل هزینه-فایده.

طبقه‌بندی JEL: Q16, Q12, Q1, Q

مقدمه

در حال حاضر، خشک‌کن‌های موجود در استان‌های شمالی کشور توانایی پاسخ‌گویی به نیاز خشک‌کردن سریع و حجیم شلتوک‌های برداشت‌شده را ندارند و بخش قابل‌توجهی از شلتوک‌های برداشت‌شده با کمباین در معرض خطر کپک‌زدگی قرار می‌گیرند. بنابراین، برای رساندن رطوبت شلتوک در مزرعه به سطح مناسب انبارمانی، استفاده از یک خشک‌کن خورشیدی ساده، کم‌هزینه و کاربردی ضروری به نظر می‌رسد. از مزایای خشک‌کن‌های تونلی خورشیدی می‌توان به افزایش قابل‌ملاحظه ظرفیت خشک‌کردن شلتوک در فضاهای محدود و افزایش ظرفیت ویژه سطح خشک‌شدن اشاره کرد. همچنین، به‌کارگیری این نوع خشک‌کن‌ها مانع کپک‌زدگی شلتوک‌های برداشت‌شده در دوره انبارمانی می‌شود. از نظر کیفیت تبدیل نیز، شلتوک‌های خشک‌شده با این فناوری در برخی موارد دارای راندمان تبدیل بالاتری هستند (Gazor, 2021). برنج پس از گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی در سبد غذایی مردم جهان محسوب می‌شود. بر اساس آمار FAO در سال ۲۰۲۳، این محصول با سهم ۲۲ درصدی از تولید غلات جهان، پس از گندم با سهم ۳۴ درصدی، در رتبه دوم قرار دارد (FAO, 2024). برنج بخش قابل‌توجهی از کالری موردنیاز مصرف‌کنندگان را تأمین می‌کند (Luh, 1991). در ایران، میزان تولید شلتوک در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ حدود $3/59$ میلیون تن بوده که از سطح $792/5$ هزار هکتار با میانگین عملکرد 4398 کیلوگرم در هکتار برداشت شده است. استان مازندران با سهم $42/3$ درصدی، بیشترین تولید شلتوک کشور را به خود اختصاص داده است (Ministry of Jihad Agriculture, 2023). شلتوک در هنگام برداشت معمولاً دارای رطوبت ۲۰ تا ۲۵ درصد (بر پایه تر) است (Imprasit

(et al., 2001). در این سطح رطوبتی، احتمال رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش فعالیت تنفسی آن‌ها بسیار زیاد است (Weerachat et al., 2010). خشک‌نکردن به‌موقع شلتوک باعث بروز فساد میکروبی (قارچی و باکتریایی) و حتی جوانه‌زنی دانه طی حدود هشت ساعت می‌شود (Beeny & Basil, 1970; Juliano, 1985; Javare & Reddy, 1987). برداشت سریع با کمباین و محدودیت تعداد کارخانه‌های شالیکوبی در استان‌های شمالی کشور باعث تجمع سالانه حدود ۲/۵ میلیون تن شلتوک تازه برداشت‌شده در فصل برداشت می‌شود. بنابراین، برای جلوگیری از فساد و کپک‌زدگی، خشک‌کردن سریع شلتوک ضروری است. خشک‌کن‌های موجود پاسخ‌گوی این حجم محصول نیستند و بسیاری از شلتوک‌های برداشت‌شده در معرض آسیب قرار می‌گیرند. از این‌رو، به یک روش ساده، کم‌هزینه و کارآمد برای خشک‌کردن شلتوک در مزرعه تا سطح رطوبت انبارمانی (۱۴ درصد بر پایه تر) نیاز است. خشک‌کن خورشیدی پیشنهادی در این پژوهش، امکان خشک‌کردن شلتوک را در سطح مزرعه و حتی خانه روستاییان فراهم کرده و قابلیت حمل‌ونقل، نصب و کاربرد آسان دارد. در بررسی عملکرد خشک‌کن‌های خورشیدی، پژوهشگران بر این باورند که فرایند خشک‌کردن به انرژی زیادی نیاز دارد و استفاده مستقل یا ترکیبی از انرژی خورشیدی در خشک‌کردن محصولات کشاورزی، روشی کارآمد برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. این روش علاوه بر کاهش زمان خشک‌کردن و جلوگیری از آسیب به بافت محصول، با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی به‌عنوان منبع حرارتی، موفقیت خود را اثبات کرده است (Gebleh & Askari, 2016). خشک‌کردن خورشیدی یکی از کارآمدترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین فناوری‌ها و از تکنولوژی‌های پایدار محسوب می‌شود. مزایای اقتصادی این خشک‌کن‌ها نسبت به روش سنتی شامل هزینه کمتر، کیفیت بالاتر محصول خشک‌شده، ایجاد درآمد اضافی و ایجاد فرصت‌های شغلی است (Udomkum et al., 2020).

در مطالعه‌ای در هند، عملکرد اقتصادی خشک‌کن حباب خورشیدی با خشک‌کن تونلی خورشیدی مقایسه شد. نتایج نشان داد هزینه خشک‌کردن شلتوک با خشک‌کن حباب خورشیدی ۱۴/۲ درصد کمتر از تونل خورشیدی است. برای خشک‌کردن ۵۰ تن محصول در سال با ۱۰۰ روز کاری، سرمایه‌گذاری اولیه در خشک‌کن حباب و تونل خورشیدی به‌ترتیب ۱۹۵۷/۳ و ۱۲۲۳/۳ دلار و هزینه‌های متغیر به‌ترتیب ۵۴۸/۱ و ۷۷۰/۷ دلار بودند. سود سالانه به‌ترتیب ۶۰۵/۴ و ۴۸۱/۱ دلار بود که سود خشک‌کن حباب ۲۵/۸ درصد بیشتر برآورد شد. نسبت فایده به هزینه نیز در خشک‌کن حباب و تونل خورشیدی

به ترتیب برابر با ۰/۷۵ و ۰/۵۱ واحد محاسبه شد (Jyoti et al., 2023). خشک کردن شلتوک یکی از دغدغه‌های اصلی کشورهای تولیدکننده برنج است (Sarker et al., 2014). بررسی‌ها در جنوب شرق آسیا نشان داده است که رطوبت شلتوک در محدوده ۱۲ تا ۱۴ درصد موجب حفظ کیفیت برنج در فرآیند تبدیل می‌شود (Tirawarichakul et al., 2004). در بیشتر سیستم‌های خشک کردن، انرژی مورد نیاز برای حذف رطوبت اضافی محصولات غذایی عمدتاً از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. از این رو، با توجه به رطوبت اولیه بالای شلتوک، خشک کردن آن نیازمند انرژی زیادی است (Billiris et al., 2011). در مطالعه‌ای، شلتوک ارقام فجر، شفق و شیرودی در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس خشک شد. نتایج نشان داد میزان خردشدگی دانه در رطوبت ۱۰ درصد نسبت به ۱۲ درصد در تمام ارقام کمتر است. همچنین، دمای بالاتر در رقم شفق موجب افزایش خردشدگی شد و رطوبت اولیه بالاتر باعث افزایش حساسیت شلتوک به دما گردید (Latifi, 2014). پژوهشی دیگر در تایلند نشان داد که خشک کردن شلتوک در دماهای بالا-به‌ویژه ۷۰ درجه سلسیوس-در مقایسه با دماهای ۳۰ تا ۵۰ درجه و خشک کردن در آفتاب (تیمار شاهد)، موجب کاهش ۵۰ درصدی تولید برنج کامل در فرآیند تبدیل می‌شود، هرچند از نظر سفیدی و عطر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Wongpornchai et al., 2004). در تحقیق سوکارمون (Sookramoon, 2016)، رطوبت شلتوک طی ۶ ساعت خشک کردن در یک خشک‌کن تونلی خورشیدی از ۴۹/۹۶ به ۱۵/۶۱ درصد (بر پایه خشک) کاهش یافت. جمع‌بندی پیشنهادی تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های جدید و انتخاب رقم مناسب نقش مهمی در کاهش انرژی و هزینه خشک کردن شلتوک دارند. با توجه به اینکه خشک‌کن‌های موجود در استان‌های شمالی پاسخ‌گوی حجم بالای شلتوک برداشت‌شده نیستند، نیاز به یک خشک‌کن آفتابی ساده، کم‌هزینه و کاربردی احساس می‌شود؛ خشک‌کنی که در این پژوهش طراحی، ساخته و ارزیابی شد. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی اقتصادی خشک‌کن‌های تونلی خورشیدی ساخته‌شده در مقایسه با روش سنتی خشک کردن شلتوک در فضای باز مزرعه است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، در سال نخست اجرای طرح، دو دستگاه خشک‌کن تونلی خورشیدی در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی استان البرز ساخته شد. سپس در سال دوم، عملیات ارزیابی عملکرد این خشک‌کن‌ها در مؤسسه تحقیقات برنج کشور در استان گیلان و در ماه شهریور انجام گرفت. شرایط

اقلیمی شهر رشت در ماه پایانی تابستان، یعنی فصل برداشت شالی، عموماً گرم و مرطوب است. براساس داده‌های هواشناسی استان، متوسط دمای روزانه هوا در این دوره بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و تغییرات رطوبت نسبی تا حدود ۸۵ درصد گزارش شده است. در این پژوهش، خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ با ابعاد ۱۰ متر طول، ۲ متر عرض و ۱/۵ متر ارتفاع و با ظرفیت بارگیری ۸۰۰ کیلوگرم شلتوک تر ساخته شد. نمونه کوچک‌تر این دستگاه نیز با ابعاد ۵ متر طول، ۲ متر عرض و ۱/۵ متر ارتفاع و ظرفیت بارگیری ۴۰۰ کیلوگرم شلتوک تر طراحی و ساخته شد. پس از ساخت، هر دو دستگاه به محل استقرار در نزدیکی مزرعه برنج مؤسسه تحقیقات برنج کشور در شهر رشت منتقل گردید. عملیات خشک‌کردن شلتوک طی دو سال انجام شد. به دلیل تفاوت راندمان تبدیل و درصد تولید برنج سالم در ارقام مختلف و همچنین تغییرات رطوبت نسبی هوای داخل خشک‌کن‌ها در فرایند خشک‌کردن، در سال نخست برای خشک‌کردن از رقم مرسوم استان، یعنی برنج «هاشمی»، و در سال دوم از رقم اصلاح‌شده «رش» استفاده شد. در هر دو سال، به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه‌ها، روش خشک‌کردن شلتوک در فضای باز و در مجاورت خشک‌کن‌ها به عنوان تیمار شاهد مورد استفاده قرار گرفت. تعداد آزمایش‌ها برای هر رقم در هر سال سه تکرار بود. انتخاب دو رقم متفاوت در سال‌های اول و دوم به دلیل تفاوت در راندمان تبدیل آن‌ها صورت گرفت.

در این پژوهش، به منظور ارزیابی اقتصادی خشک‌کردن شلتوک با دستگاه جدید در مقایسه با محیط آزاد، ابتدا هزینه ساخت دستگاه خشک‌کن و هزینه‌های متغیر خشک‌کن‌ها و محیط آزاد شناسایی و سپس با استفاده از تکنیک بودجه‌بندی جزئی و شاخص‌های سودآوری ارزیابی مربوطه انجام شد. برای اتخاذ تصمیم در مورد اعمال تغییر در محیط مزرعه یا جایگزینی یک فناوری اطلاعات زیر لازم است (Soltani et al., 2006):

- ۱) درآمد اضافی (TR_2): منظور برآورد افزایش درآمدی که در اثر کاربرد فناوری جدید به دست می‌آید.
- ۲) هزینه‌ها یا مخارج کاهش یافته (TVC_1): منظور برآورد مخارج سالانه که در صورت عملی شدن تصمیم مورد مطالعه دیگر لازم نخواهد بود.
- ۳) هزینه‌های اضافی یا افزایش مخارج (TVC_2): منظور برآورد مخارج سالانه که در صورت کاربرد فناوری یا تصمیم جدید حاصل می‌شود.

۴) درآمد کاهش یافته یا کاهش درآمد (TR_1): منظور برآورد درآمدی که با عملی شدن تصمیم جدید از دست می‌رود.

قاعده کلی برای عملی شدن تصمیم در روش بودجه‌بندی جزئی وقتی است که مجموع منافع اضافی و کاهش هزینه‌های کاربرد خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک بجای خشک کردن شلتوک در فضای آزاد بیشتر از مجموع هزینه‌های اضافی و کاهش درآمد باشد، به عبارت دیگر عملی نمودن تصمیم یا جایگزینی وقتی اقتصادی است که:

$$TR_2 + TVC_1 \geq TVC_2 + TR_1 \quad (۱)$$

در این بررسی، برای محاسبه هزینه استهلاک دستگاه‌های مورد استفاده در فرآیند خشک کردن، از روش نزولی استفاده شد (Soltani, 2007; Oskonejad, 1996):

$$Di = \frac{2}{n} [\text{Book Value}] \quad (۲)$$

$$\text{Book Value} = [Pi - \text{accumulated depreciation}] \quad (۳)$$

به طوری که:

Di: استهلاک دستگاه به روش نزولی

n: عمر مفید دستگاه

Book Value: ارزش دفتری

Pi: هزینه اولیه ساخت یا خرید دستگاه

accumulated depreciation: استهلاک تجمعی

با توجه به اینکه سال ساخت دستگاه سال ۱۳۹۹ بود، اجرا در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. به منظور معادل‌سازی هزینه سال ۹۹ به سال‌های اجرا، ابتدا ارزش داده‌های سال ساخت به سال‌های برآورد با میانگین نرخ بلندمدت سپرده بانکی بانک‌ها در همین سال (۱۸٫۵ درصد) معادل‌سازی شد (Soltani, 2007).

$$F = P[(1 + i)^t] \quad (۴)$$

به طوری که:

P: ارزش کنونی دستگاه

F: ارزش آتی دستگاه

i, t : به ترتیب سال و نرخ سپرده بلندمدت بانکی بانکها
 به منظور تعیین سودآوری جایگزینی دستگاه خشک کن خورشیدی بزرگ و کوچک به جای
 خشک کردن شلتوک در محیط آزاد از شاخص های منافع خالص، نسبت فایده به هزینه و نرخ بازده
 حسابداری استفاده شد.

$$NB = (TR2 + TVC1) - (TVC2 + TR1) \quad (5)$$

$$BC = \left[\frac{(TR2 + TVC1)}{TVC2 + TR1} \right] \quad (6)$$

$$ARR = \left[\frac{\text{منافع خالص}}{\text{سرمایه اولیه}} \times 100 \right] \quad (7)$$

به طوری که:

NB: منافع خالص جایگزینی

BC: نسبت فایده به هزینه جایگزینی

ARR: نرخ بازده حسابداری

تصاویر خشک کن های نصب شده در کنار مزرعه و خشک کردن شلتوک در شرایط سنتی (فضای باز)
 در شکل های ۱ و ۲ ارائه شده است.

پروژه گاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱- خشک کن های تونلی خورشیدی نصب شده برای خشک کردن شالی در کنار مزرعه



شکل ۲- خشک کردن شلتوک در شرایط سنتی در کنار مزرعه

نتایج و بحث

در این پژوهش، ظرفیت بارگیری خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ، خشک کن تونلی خورشیدی کوچک و فضای آزاد به ترتیب برابر با ۸۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم بود. فضای مورد نیاز برای پهن کردن شلتوک جهت خشک شدن در شرایط فضای آزاد، خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ و خشک کن تونلی خورشیدی کوچک نیز به ترتیب ۲۰، ۱۰ و ۲۰ مترمربع برآورد شد. میانگین اجاره زمین و دستمزد کارگر

در منطقه طی سال‌های اجرای آزمایش به ترتیب ۶۰۰ و ۳/۵ میلیون ریال بوده است. میانگین عملکرد شلتوک در سال نخست (رقم هاشمی) و سال دوم (رقم رش) به ترتیب ۳/۸ و ۲/۸ تن ثبت شد. میانگین قیمت فروش هر کیلوگرم شلتوک ۳۵۰ هزار ریال در نظر گرفته شد. توان مصرفی خشک‌کن خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۴۰ و ۴۱ وات بود و قیمت هر کیلووات ساعت برق مصرفی در ساعات اوج بار، به‌طور میانگین ۱۲۶۲/۵ ریال محاسبه شد. حداکثر مدت زمان کارکرد دستگاه‌ها نیز ۵ ساعت در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که استفاده از خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ، نسبت به روش خشک کردن در فضای آزاد، موجب صرفه‌جویی ۳۳/۳ درصدی در میزان استفاده از نیروی کار برای خشک کردن شلتوک در ظرفیت یکسان شده است. همچنین، متوسط کاهش ضایعات در مرحله خشک کردن با استفاده از خشک‌کن تونلی خورشیدی در مقایسه با فضای آزاد حدود ۴۰ درصد برآورد شد (جدول ۱).

جدول ۱- ظرفیت بارگیری، فضا و کارگر مورد نیاز برای پهن و جمع کردن شلتوک

جهت خشک شدن و متوسط صرفه‌جویی در ضایعات

دستگاه خشک‌کن	ظرفیت بارگیری (کیلوگرم)	فضای لازم برای پهن کردن شلتوک جهت خشک شدن (مترمربع)	تعداد کارگر مورد نیاز (نفر-روز)	متوسط صرفه‌جویی در ضایعات (درصد)	میزان (کیلوگرم)
فضای آزاد	۸۰۰	۲۰۰	۳	-	-
خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ	۸۰۰	۲۰	۲	۴۰	۳۲۰
خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک	۴۰۰	۱۰	۱	۴۰	۱۶۰

Sources: (Gazor, 2021).

هزینه‌های ساخت خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک شامل هزینه ساخت بدنه و پوشش، هزینه خرید فن و چهارچوب، هزینه ساخت پایه فلزی فن، جمعاً به ترتیب ۹۱/۵ و ۴۶/۵ میلیون ریال

در سال ۱۳۹۹ مشخص شد (جدول ۲). میانگین ارزش کنونی هزینه ساخت خشک‌کن‌های بزرگ و کوچک با نرخ تنزیل ۱۸/۵ به ترتیب ۱۱۸/۵ و ۶۰/۲ میلیون ریال برآورد شد (جدول ۳).

جدول ۲- هزینه ساخت خشک‌کن‌ها در سال ۱۳۹۹ (واحد: کیلوگرم- میلیون ریال)

دستگاه خشک‌کن	ظرفیت بارگیری	هزینه ساخت بدنه و پوشش	هزینه خرید فن و چهارچوب	هزینه ساخت پایه فلزی فن و چهارچوب	مجموع هزینه هر دستگاه خشک‌کن
خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ	۸۰۰	۷۵	۱۵	۱/۵	۹۱/۵
خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک	۴۰۰	۳۵	۱۰	۱/۵	۴۶/۵

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳- ارزش کنونی هزینه ساخت خشک‌کن‌ها در دوره مطالعه (واحد: میلیون ریال)

دستگاه خشک‌کن	۱۴۰۰	۱۴۰۱	میانگین
خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ	۱۰۸/۴	۱۲۸/۵	۱۱۸/۵
خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک	۵۵/۱	۶۵/۳	۶۰/۲

ماخذ: یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، برخی هزینه‌های متغیر شامل هزینه استهلاک و هزینه تعمیر و نگهداری خشک‌کن‌ها می‌باشند. میانگین ارزش کنونی هزینه استهلاک خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۴۷/۴ و ۲۴/۱ میلیون ریال و هزینه تعمیر و نگهداری خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و

کوچک به ترتیب ۲/۹۶ و ۱/۵ میلیون ریال مشخص شد (جدول ۴). سایر هزینه‌های متغیر اضافی و درآمد از دست رفته سالانه شامل هزینه برق مصرفی و هزینه فرصت سرمایه (۱۸/۵ درصد میانگین ارزش کنونی هزینه ساخت) می‌باشند (جدول ۵).

جدول ۴- میانگین ارزش کنونی هزینه استهلاک و تعمیر و نگهداری خشک‌کن‌ها در دوره مطالعه (واحد: میلیون ریال)

میانگین ارزش کنونی استهلاک به روش نزولی در سال اول	میانگین ارزش کنونی تعمیر و نگهداری (۲/۵ درصد ارزش دارایی)	دستگاه خشک‌کن
۴۷/۴	۲/۹۶	خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ
۲۴/۱	۱/۵	خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک

ماخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس مطالب بیان شده در روش تحقیق، میانگین هزینه ساخت خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۱۱۸/۵ و ۶۰/۲ میلیون ریال محاسبه شد. هزینه اضافی سالانه جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک شامل هزینه برق مصرفی، میانگین هزینه استهلاک، هزینه تعمیر و نگهداری بوده است، در مجموع به ترتیب ۵۰/۶ و ۲۵/۸ میلیون ریال برآورد شد. منافع اضافی و هزینه‌های کاهش یافته سالانه شامل کاهش ضایعات، میانگین هزینه اجاره زمین و هزینه کارگری می‌باشند. منافع اضافی سالانه جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک که شامل میزان کاهش ضایعات محصول بوده است، در مجموع به ترتیب ۱۱۲ و ۵۶ میلیون ریال محاسبه شد. ضمناً درآمد کاهش یافته سالانه جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک که شامل هزینه فرصت سرمایه بوده است، به ترتیب ۲۱/۹ و ۱۱/۱ میلیون ریال برآورد گردید. هزینه‌های کاهش یافته اضافی سالانه جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک که شامل (هزینه اجاره زمین و هزینه‌های کارگری) می‌باشد، در مجموع به ترتیب ۱۴/۳ و ۱۸/۶ میلیون ریال محاسبه گردید. مجموع هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش یافته جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب

۷۲/۵ و ۳۷ میلیون ریال و مجموع منافع اضافی و هزینه‌های کاهش یافته جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۱۲۶/۳ و ۷۴/۶ میلیون ریال مشخص شد. منافع خالص جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۵۳/۸ و ۳۷/۶ میلیون ریال برآورد گردید. چون مجموع منافع اضافی و هزینه‌های کاهش یافته بیشتر از مجموع هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش یافته کاربرد خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک بجای خشک‌کردن شلتوک در فضای آزاد است، بنابراین بکارگیری خشک‌کن‌های تونلی آفتابی برای خشک‌کردن مقدماتی برنج یک تصمیم اقتصادی است (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج مدل بودجه‌بندی جزیی در مورد عملی شدن تصمیم (واحد: ریال)

جایگزینی دستگاه خشک‌کن خورشیدی بزرگ و کوچک با خشک‌کردن سنتی شلتوک			
هزینه‌های اضافی سالانه (TVC ₂):		منافع اضافی سالانه (TR ₂):	
خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ:		خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ:	
-	میانگین هزینه برق مصرفی	۲۵۲۵۰۰	میانگین کاهش ضایعات
-	میانگین هزینه استهلاک	۴۷۳۸۲۸۱۷/۵	
-	میانگین هزینه تعمیر و نگهداری	۲۹۶۱۴۲۶/۱	
جمع		۵۰۵۹۶۷۴۳/۶	جمع
خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:		خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:	
-	میانگین هزینه برق مصرفی	۲۵۸۸۱۲/۵	میانگین کاهش ضایعات
-	میانگین هزینه استهلاک	۲۴۰۷۹۷۹۲/۵	
-	میانگین هزینه تعمیر و نگهداری	۱۵۰۴۹۸۷	

جمع	۲۵۸۴۳۵۹۲	جمع	۵۶۰۰۰۰۰۰
درآمدهای کاهش یافته (TR ₁):		هزینه‌های کاهش یافته (TVC ₁):	
خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ:		خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ:	
میانگین هزینه فرصت سرمایه	۲۱۹۱۴۵۵۳	میانگین	-
		اجاره زمین	۱۰۸۰۰۰۰۰
		میانگین	-
		هزینه کارگری	۳۵۰۰۰۰۰
جمع	۲۱۹۱۴۵۵۳	جمع	۱۴۳۰۰۰۰۰
خشک کن تونلی خورشیدی کوچک:		خشک کن تونلی خورشیدی کوچک:	
میانگین هزینه فرصت سرمایه	۱۱۱۳۶۹۰۴	میانگین هزینه اجاره زمین	۱۱۶۰۰۰۰۰
جمع	۱۱۱۳۶۹۰۴	میانگین هزینه کارگری	۷۰۰۰۰۰۰
		جمع	۱۸۶۰۰۰۰۰
خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ:		خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ:	
کل هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش یافته:	۷۲۵۱۱۲۹۶/۶	کل منافع اضافی	۱۲۶۳۰۰۰۰۰
		و هزینه‌های	
		کاهش یافته:	
خشک کن تونلی خورشیدی کوچک:		خشک کن تونلی خورشیدی کوچک:	
کل هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش یافته:	۳۶۹۸۰۴۹۶	کل منافع اضافی	۷۴۶۰۰۰۰۰
		و هزینه‌های	
		کاهش یافته:	
منافع خالص (NB):			
کاربرد خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ:		۵۳۷۸۸۷۰۳/۴	
کاربرد برای خشک کن تونلی خورشیدی کوچک:		۳۷۶۱۹۵۰۴	

$$TR_2 + TVC_1 > TVC_2 + TR_1$$

ماخذ: یافته‌های پژوهش

شاخص‌های سودآوری جایگزینی نسبت فایده به هزینه و نرخ بازده حسابداری، در جدول (۶) آمده است. نتایج نشان می‌دهد که نسبت فایده به هزینه جایگزینی خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۱/۷۴ و ۲ واحد و نرخ بازده حسابداری آن نیز به ترتیب ۴۵/۴ و ۶۲/۵ درصد می‌باشد.

جدول ۶- شاخص‌های سودآوری در جایگزینی دستگاه خشک کن خورشیدی بزرگ و کوچک با خشک کن سنتی شلتوک

دستگاه خشک کن	نسبت فایده به هزینه	نرخ بازده حسابداری (درصد)
خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ	۱/۷۴	۴۵/۴
خشک کن تونلی خورشیدی کوچک	۲/۰۲	۶۲/۵

ماخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اینکه ساخت دستگاه پیش خشک کن بادی برای شلتوک‌های برداشت‌شده‌ی برنج در استان گیلان، در مقایسه با خشک کردن شلتوک در محیط آزاد، می‌تواند کمک قابل‌توجهی به کشاورزان برنج‌کار در جلوگیری از کپک‌زدگی و فساد محصول کند، بررسی به‌صرفه‌بودن استفاده از این فناوری برای کشاورزان منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا، به‌منظور تعیین صرفه‌ی اقتصادی این جایگزینی از شاخص‌های مختلف سودآوری استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مجموع هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش‌یافته‌ی ناشی از جایگزینی خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۵ و ۳۷ میلیون ریال و مجموع منافع اضافی و هزینه‌های کاهش‌یافته برای همین جایگزینی به ترتیب ۳ و ۱۲۶ میلیون ریال برآورد شد. همچنین، منافع خالص جایگزینی خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۵۳/۸ و ۳۷/۶ میلیون ریال محاسبه گردید. از آنجا که مجموع منافع اضافی و هزینه‌های کاهش‌یافته، بیشتر از مجموع هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش‌یافته‌ی ناشی از کاربرد

خشک‌کن تونلی خورشیدی (بزرگ و کوچک) در مقایسه با خشک‌کردن شلتوک در فضای باز است، نتیجه گرفته می‌شود که اجرای این جایگزینی از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. نسبت فایده به هزینه برای خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به‌ترتیب ۱/۷۴ و ۲ و نرخ بازده حسابداری آن نیز به‌ترتیب ۴۵/۴ و ۶۲/۵ درصد تعیین شد. بر اساس این نتایج، توصیه می‌شود روستاییان از فناوری‌هایی برای خشک‌کردن محصولات بهره ببرند که دارای مزیت اقتصادی-اجتماعی و از نظر هزینه به‌صرفه باشند. مزیت اجتماعی به‌معنای پذیرش فناوری از سوی برنج‌کاران با توجه به مزایای فنی و اقتصادی استفاده از خشک‌کن جدید در مقایسه با روش‌های سنتی است. در مقایسه با نتایج دیگر مطالعات، یافته‌های برخی پژوهشگران (Gebleh & Askari, 2016; Udomkum et al., 2020) نشان داده است که استفاده از خشک‌کن خورشیدی به‌عنوان فناوری نو، نسبت به روش‌های متداول هزینه‌ی کمتری دارد؛ نکته‌ای که در مطالعه‌ی حاضر نیز تأیید شده و استفاده از خشک‌کن خورشیدی موجب کاهش نیاز به نیروی کار و کاهش هزینه‌های تولید گردیده است. پیشنهاد می‌شود کارشناسان بخش ترویج مدیریت‌های کشاورزی با برگزاری روز مزرعه و انتقال یافته‌های تحقیقاتی در استان‌های کشت برنج، به‌ویژه استان‌های شمالی کشور، مزایای فنی و اقتصادی به‌کارگیری فناوری‌های نوین خشک‌کردن شلتوک را برای کشاورزان-به‌ویژه کشاورزان پیشرو- تشریح نمایند تا زمینه‌ی ترغیب و استفاده‌ی گسترده‌تر از این فناوری‌ها به‌منظور صرفه‌جویی در هزینه‌ها فراهم شود.

منابع

1. Beeny, J., & Basil, C.S.N. (1970). Multi-pass drying of paddy (rice) in the humid tropics. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 15(4), 364-374.
2. Billiris, M. A., Siebenmorgen, T. J., & Mauromoustakos, A. (2011). Estimating the theoretical energy required to dry rice. *Journal of food engineering*, 107(2), 253-261.

3. FAO.(2024). Statistical yearbook. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cd2971/en>.
4. Gazor, H.R. (2021). Fabrication and evaluation of in flatable solar dryer for paddy pre-drying on the field. Final Research Report. Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Research and Education and Extension Organization, Ministry of Jihad-e-Agriculture. [In Persian].
5. Imprasit, C., & Noomhorn, A. (2001). Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation of quality. *Drying Technology*, 19(2), 289-404.
6. Gowda, S. J., & Reddy, S. R. (1987). Optimization of drying parameters in paddy seeds.
7. Juliano, B. O. (1985). Rice chemistry and technology. Published by the American association of cereal chemists, Inc. St. Paul, Minnesota USA. 774pp. ISBN 0-913250-41-4.
8. Jyoti, Y. K., Dash, S. K., Rayaguru, K., Pal, U. S., Mishra, N., Ananth, P. N., & Khandai, S. (2023). Enhancement of thermal and techno-economic performance and prediction of drying kinetics of paddy dried in solar bubble dryer. *Energy Nexus*, 11, 100224.
9. Latifi, A. (2014) The effect of dryer temperature and final moisture content of paddy on grain breakage of three rice cultivars. *Journal of Agriculture*, 27(102), 71-75. [In Persian]
10. Luh, B. S. (Ed.). (1991). Rice, Volume 2: Utilization (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
11. Ministry of Jihad Agriculture. (2024). Agricultural Statistics of Crops 2022-2023. First volume. Statistics, Information and Communication Technology Center. Deputy of Economic Planning. Ministry of Jihad Agriculture. 126 pages. [In Persian]
12. Oskonejad, M.M. (1996). Engineering Economics with economical evaluation of industrial projects. The seventh edition. Publication center of Amirkabir University of Technology, Tehran. [In Persian]

13. Qebleh, N., & Askari Asl Arde , A. (2016) Studying the performance of solar rice paddy dryer. The third international conference of new ideas in agriculture, environment and tourism. 1, September, Ardabil, 184-191. [In Persian]
14. Sarker, N.N., Kunze, O.R., & Strouboulis, T.(2014). Energy and rice quality aspects during drying of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer. *Energy Conversion and Management*, 77, 389-395.
15. Soltani, G.R. (2007). Engineering Economics. Shiraz University Publication. 295 pages. [In Persian]
16. Soltani, G.R., Najafi, B., & Torkamani, J. (2006). Farm management. Shiraz University Publication, 331 pages. [In Persian]
17. Sookramoon, K. (2016). Design of a Solar Tunnel Dryer Combined Heat with a Parabolic Trough for Paddy Drying. *Applied Mechanics and Materials*, 851, 239-243.
18. Tirawanichakul, Y., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W., & Soponronnarit, S. (2004). Simulation and grain quality for in-store drying of paddy. *Journal of Food Engineering*, 64(4), 405-415.
19. Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., ... & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental management*, 268, 110730.
20. Weerachat, J., Natthiga, S., & Apinya, C. (2010). Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of Stored Products Research*, 46, 209-213.
21. Wongpornchai, S., Dumri, K., Jongkaewwattana, S., & Siri, B. (2004). Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105. *Food chemistry*, 87(3), 407-414.