Agricultural and Rural Economics

Vol. 3, No. 6, Spring 2025

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. 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

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.

DOI: 10.30490/etr.2025.367462.1060

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 خشک‌کن تونلی خورشیدی با خشک‌کن سنتی شلتوک در مزرعه

هرمز اسدی[۱]، حمیدرضا گازر[۲]، کبری تجددی طلب[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹

چکیده

فرآیند خشک‌کردن یکی از مراحل مهم و تأثیرگذار در فرآوری پس از برداشت شلتوک در مزرعه است که نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت تبدیل شلتوک به برنج سفید دارد. هدف این پژوهش، ارزیابی اقتصادی خشک‌کن‌های تونلی خورشیدی در مقایسه با روش سنتی خشک‌کردن در مزرعه (فضای باز) برای رقم برنج هاشمی بود که طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ اجرا شد. در سال نخست، دو دستگاه خشک‌کن 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 خشک‌کن‌ها 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 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 مقرون‌به‌صرفه است. نسبت فایده به هزینه جایگزینی

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.

DOI: 10.30490/etr.2025.367462.1060

خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به‌ترتیب ۱/۷۴ و ۲ واحد و نرخ بازده حسابداری آنها به‌ترتیب ۴۵/۴ و ۶۲/۵ 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 تکافوی خشک‌کردن سریع حجم زیاد شلتوک‌های برداشت شده را نداشته و بسیاری از شلتوک‌های برداشت شده با کمباین در هر استان در معرض خطر کپک‌زدگی می‌باشند. لذا برای خشک‌کردن مزرعه شلتوک تا سطح رطوبت انبار مانی نیاز به یک خشک‌کن خورشیدی ساده، کم هزینه و کاربردی می باشد. از مزایای دستگاه‌های خشک‌کن تونلی خورشیدی، افزایش قابل ملاحظه ظرفیت خشک‌کردن شلتوک در فضاهای محدود، افزایش ظرفیت ویژه سطح خشک‌شدن شلتوک می‌باشد. همچنین با بکارگیری خشک‌کن خورشیدی، شلتوک‌های برداشت شده در حین انبار مانی دچار کپک‌زدگی نمی‌شوند. از نظر کیفیت تبدیل نیز شلتوک‌های خشک شده با این فن آوری جدید در برخی موارد دارای راندمان تبدیل بالاتری می‌باشند (Gazor, 2021). برنج بعد از گندم مهمترین محصول کشاورزی در سبد غذایی مردم جهان محسوب شده و در سال ۲۰۲۳، از لحاظ تولید در بین محصولات غلات جهان، دارای سهم ۲۲ درصدی دارای مقام دوم بعد از گندم (سهم ۳۴ درصدی) می‌باشد (FAO, 2024). برنج بخش زیادی از کالری مورد نیاز مصرف‌کنندگان را تامین می‌کند (Luh, 1991). میزان تولید شلتوک برنج در ایران در سال زراعی ۱۴۰۱–۱۴۰۲ حدود ۳/۴۹ میلیون تن بوده که از سطح ۷۹۲۵۴۳ هکتار با میانگین عملکرد شلتوک ۴۳۹۸ کیلوگرم در هکتار برداشت شده است. بیشترین تولید شلتوک کشور در استان مازندران بوده، به طوریکه سهم ۴۲/۳ درصدی را بخود اختصاص داده‌اند (Ministry of Jahad Agriculture, 2023). معمولاً شلتوک در هنگام برداشت دارای رطوبت ۲۰ تا ۲۵ درصد بر پایه تر است (Imprasit et al., 2001). در این سطح رطوبتی احتمال رشد میکروارگانیزم‌ها و تنفس آنها در محصول بسیار زیاد می‌باشد (Weerachat et al., 2010). خشک‌نکردن به موقع شلتوک باعث بروز فساد میکروبی (قارچی، باکتریایی) و جوانه‌زنی دانه پس از ۸ ساعت می‌شود (Beeny & Basil, 1970; Javare & Reddy, 1987; Juliano, 1985). برداشت سریع شلتوک با کمباین و محدودیت تعداد کارخانه‌های شالیکوبی

در استان‌های شمالی کشور، همه ساله موجب ایجاد حجم بسیار زیاد شلتوک برداشت شده در فصل برداشت (حدود ۲/۵ میلیون تن) می‌شود. برای جلوگیری از کپک‌زدگی و فساد محصول، شلتوک تازه برداشت شده نیاز به فرایند خشک‌شدن سریع برای انبارمانی دارند. در حال حاضر خشک‌کن‌های موجود در استان‌های شمالی کشور تکافوی خشک‌کردن سریع این حجم محصول را نداشته و بسیاری از شلتوک‌های برداشت شده با کمباین هر استان در معرض خطر کپک‌زدگی می‌باشند. لذا برای خشک‌کردن شلتوک در مزارع تا سطح رطوبت انبار مانی (۱۴ درصد بر پایه‌تر) نیاز به ایجاد یک روش ساده، کم هزینه و کاربردی می‌باشد. دستگاه خشک‌کن خورشیدی پیشنهادی امکان خشک‌کردن شلتوک در سطح مزرعه و خانه روستاییان را فراهم آورده و ضمن قابلیت حمل ونقل، نصب و بکارگیری آن آسان می‌باشد (Gebleh & Askari, 2016). در بررسی عملکرد خشک‌کن خورشیدی شلتوک برنج برخی پژوهشگران معتقدند که با توجه به این که در فرآیند خشک‌کردن، انرژی بسیار زیادی مصرف می‌شود، بنابراین برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بکارگیری مستقل یا ترکیبی از انرژی خورشیدی در خشک‌کردن محصولات کشاورزی ضروری و مهم تلقی می‌گردد. این امر علاوه بر کاهش زمان خشک‌کردن و عدم آسیب به بافت مواد، از انرژی خورشیدی به عنوان منبع حرارتی، نشان از موفقیت استفاده از این خشک‌کن دارد (Gebleh & Askari, 2016). خشک‌کردن خورشیدی یکی از کارآمدترین و مقرون به صرفه‌ترین فناوری و به عنوان یک تکنولوژی پایدار است. مزایای اقتصادی خشک‌کن‌های خورشیدی در مقایسه با روش سنتی شامل برخورداری از هزینه کمتر، دستیابی به کیفیت بالاتر محصول خشک شده، ایجاد درآمد اضافی و ایجاد فرصت‌های شغلی می‌باشند (Udomkum et al., 2020). به منظور بررسی اقتصادی خشک‌کن حباب خورشیدی در مقایسه با تونل خورشیدی مطالعه‌ای در هندوستان انجام شد. نتایج اقتصادی نشان داد که هزینه خشک‌کردن شلتوک با خشک‌کن حباب خورشیدی ۱۴/۲ درصد کمتر از تونل خورشیدی بود. برای خشک‌کردن ۵۰ تن سالانه با روزهای کاری ۱۰۰ روز در خشک‌کن حباب و تونل خورشیدی، سرمایه‌گذاری اولیه به‌ترتیب ۱۹۵۷/۳ و ۱۲۲۳/۳ دلار و کل هزینه متغیر به‌ترتیب ۵۴۸/۱ و ۷۷۰/۷ دلار هر سال مشخص شد. سود سالانه در خشک‌کن حباب خورشیدی ۶۰۵/۴ دلار و در خشک‌کن تونل خورشیدی ۴۸۱/۱ دلار بود، به طوری که این سود در خشک‌کن حباب خورشیدی ۲۵/۸ درصد بیشتر برآورد شد. نسبت فایده به هزینه در خشک‌کن حباب و تونل خورشیدی به‌ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۵۱ واحد محاسبه گردید (Kumar Jyoti et al., 2023). نحوه خشک‌کردن شلتوک جز نگرانی‌های عمده کشورهای تولیدکننده برنج است (Sarker et al., 2014). بررسی محققین در جنوب شرق آسیا نشان داد که رطوبت شلتوک در آن منطقه در محدوده ۱۲ تا ۱۴

درصد موجب حفظ کیفیت برنج در فرایند تبدیل خواهد شد (Tirawarichakul et al., 2004). در بیشتر سیستم‌های خشک‌کردن، انرژی مورد نیاز برای حذف رطوبت نامطلوب مواد غذایی و خشک‌کردن آنها به طور عمده از انرژی حرارتی حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی تامین می‌گردد. بنابراین با توجه به رطوبت اولیه زیاد شلتوک برنج، خشک‌کردن آن به انرژی زیادی نیاز دارد (Billiris et al., 2011). در تحقیقی شلتوک‌های ارقام فجر، شفق و شیرودی در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C خشک شد. نتایج کیفی بدست آمده نشان داد که میزان خرد در رطوبت ۱۰ درصد نسبت به رطوبت ۱۲درصد در همه رقم ها کمتر بوده است. دمای بالا نیز در رقم شفق باعث خردشدگی بیشتر شد همچنین رطوبت اولیه بالاتر شلتوک حساسیت به دمای خشک‌کردن را افزایش می‌دهد (Latifi, 2014). محققین تایلندی تاثیر دماهای مختلف خشک‌کردن شلتوک (از ۳۰ تا ۷۰°C) بر کیفیت تبدیل و عطر برنج رقم تایلندی را بررسی و نتیجه‌گیری کردند که خشک‌کردن شلتوک در دماهای بالاتر و بخصوص دمای ۷۰°C در مقایسه با دماهای ۳۰ تا ۵۰°C و خشک‌کردن در آفتاب (بعنوان تیمار شاهد) باعث افت پنجاه درصدی تولید برنج کامل در فرایند تبدیل می‌شود. هرچند که تغییرات دمای خشک‌کردن از نظر سفیدی و عطر اختلاف معنی‌داری بین تیمارها ایجاد نکرد (Wongpornchai et al., 2004). در تحقیق سوکارمون فرایند خشک شدن شلتوک در یک خشک‌کن تونلی خورشیدی بررسی و رطوبت شلتوک در مدت زمان ۶ ساعت از ۴۹/۹۶ به ۱۵/۶۱ درصد بر پایه خشک کاهش یافت (Sookramoon, 2016). جمع‌بندی نتایج پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از تکنولوژی جدید در خشک‌کردن شلتوک و رقم مناسب نقش مهمی در کاهش انرژی و هزینه دارد. در حال حاضر خشک‌کن‌های موجود در استان‌های شمالی کشور تکافوی خشک‌کردن سریع حجم زیاد شلتوک‌های برداشت‌شده را نداشته و بسیاری از شلتوک‌های برداشت‌شده با کمباین هر استان در معرض خطر کپک‌زدگی می‌باشند. لذا برای خشک‌کردن مزرعه شلتوک تا سطح رطوبت انبار مانی نیاز به یک خشک‌کن آفتابی ساده، کم هزینه و کاربردی بود که در این پژوهش ساخته و ارزیابی شد. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی اقتصادی خشک کن‌های تونلی خورشیدی ساخته شده در مقایسه با خشک‌کردن سنتی شلتوک در فضای باز مزرعه بوده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، در سال اول اجرای تحقیق، دو دستگاه خشک‌کن تونلی خورشیدی در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در استان البرز ساخته شد. سپس در سال دوم عملیات ارزیابی

عملکرد خشک‌کن‌ها در موسسه تحقیقات برنج کشور در استان گیلان و در شهریور ماه انجام شد. شرایط اقلیمی شهر رشت در ماه آخر تابستان (دوره برداشت شالی) معمولاً گرم و مرطوب بوده و با استفاده از داده‌های هواشناسی استان متوسط دمای روزانه هوا ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و تغییرات رطوبت نسبی هوا تا ۸۵ درصد نیز گزارش شد. در این پژوهش، خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ به ابعاد طول ۱۰ متر، عرض ۲ متر و ارتفاع ۱/۵ متر با ظرفیت بارگیری ۸۰۰ کیلوگرم شلتوک تر ساخته شد. همچنین نمونه کوچکتر از دستگاه (خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک) نیز به ابعاد طول ۵ متر، عرض ۲ متر و ارتفاع ۱/۵ متر با ظرفیت بارگیری ۴۰۰ کیلوگرم شلتوک تر ساخته شد. پس از ساخت دستگاه‌ها، هر دو خشک کن به محلی در نزدیکی مزرعه برنج موسسه تحقیقات برنج کشور در شهر رشت منتقل شدند. عملیات خشک‌کردن شلتوک برای دو سال انجام شد. به دلیل تفاوت در راندمان تبدیل و تولید برنج سالم در ارقام و رطوبت نسبی هوای داخل خشک‌کن‌ها در فرایند خشک‌کردن شلتوک، در سال اول برای خشک‌کردن شلتوک از رقم متداول در استان (برنج هاشمی) و در سال دوم برای خشک‌کردن از برنج رقم اصلاح شده رش استفاده شد در هر دو سال برای ارزیابی عملکرد این دستگاه‌ها از روش خشک‌کردن شلتوک در فضای باز در مجاورت خشک کن (بعنوان تیمار شاهد) استفاده شد. تعداد آزمایشات برای هر کدام از ارقام در هر سال با سه تکرار بود. علت انتخاب ارقام مختلف در سال اول و دوم به دلیل راندمان تبدیل بوده است.

در این پژوهش، به‌منظور 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 جزیی و شاخص های 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 بدست 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 عملی‌شدن تصمیم جدید از دست می‌رود.

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

$$TR2 + TVC1 \geq TVC_2 + TR_1 \quad (۱)$$

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

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

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

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).

$$F = P[(1 + i)\text{^}t] \quad (۴)$$

به‌طوری که:

P: ارزش کنونی دستگاه

F: ارزش آتی دستگاه

i , t: به ترتیب سال و نرخ بلندمدت سپرده بانکی بانک‌ها

به منظور تعیین سودآوری جایگزینی دستگاه خشک‌کن خورشیدی بزرگ و کوچک بجای خشک‌کردن شلتوک در محیط آزاد از شاخص‌های منافع خالص، نسبت فایده به هزینه و نرخ بازده حسابداری استفاده شد.

$$NB = (\mathrm{TR2} + \mathrm{TVC1}) - (\mathrm{TVC2} + \mathrm{TR1}) \quad (۵)$$

$$\mathrm{BC} = \left[\frac{(\mathrm{TR2}+\mathrm{TVC1})}{TVC2+TR1_}\right] \quad (۶)$$

$$\mathrm{ARR} = \left[\frac{\text{منافع خالص}}{\text{سرمایه اولیه}_} \times 100\right] \quad (۷)$$

به‌طوری که:

NB[1]: منافع خالص جایگزینی

BC[2]: نسبت فایده به هزینه جایگزینی

ARR[3]: نرخ بازده حسابداری

تصاویرخشک‌کن‌های نصب شده در کنار مزرعه و خشک‌کردن شلتوک در شرایط سنتی (فضای باز) در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

شکل ۱– خشک‌کن‌های تونلی خورشیدی نصب شده برای خشک‌کردن شالی در کنار مزرعه

1. Net Benefit
2. Benefit Cost
3. Accounting Rate of Return

شکل ۲- خشک‌کردن شلتوک در شرایط سنتی در کنار مزرعه

نتایج و بحث

در این پژوهش، ظرفیت بارگیری خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ، خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک و فضای آزاد به ترتیب ۸۰۰ ، ۴۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم بوده است. فضای لازم برای پهن‌کردن شلتوک جهت خشک‌شدن در شرایط فضای آزاد، خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ، خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک به ترتیب ۲۰۰ ، ۲۰ و ۱۰ مترمربع می‌باشد. میانگین اجاره زمین و دستمزد کارگر در منطقه در سال‌های آزمایش به ترتیب ۶۰۰ و ۳/۵ میلیون ریال بوده است. میانگین عملکرد شلتوک در سال اول (رقم هاشمی) و در سال دوم (رقم رش) به ترتیب میانگین ۳/۸ و ۸/۲ تن بوده است. میانگین قیمت فروش هر کیلو شلتوک ۳۵۰ هزار ریال گرفته شد. توان مصرفی دستگاه خشک‌کن خورشیدی بزرک و کوچک به ترتیب ۴۰ و ۴۱ وات و قیمت هر کیلو وات ساعت برق مصرفی در ساعات بیش باری میانگین ۱۲۶۲/۵ ریال مشخص شد. حداکثر مدت زمان کارکرد دستگاه ۵ ساعت در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که استفاده از خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ نسبت به فضای آزاد باعث صرفه‌جویی ۳۳/۳ درصد استفاده از کارگر در خشک‌کردن شلتوک در ظرفیت مورد بررسی یکسان شده است. متوسط صرفه‌جویی در ضایعات در مرحله خشک‌کردن با استفاده از خشک کن تونلی خورشیدی در مقایسه با فضای آزاد ۴۰ درصد بوده است (جدول ۱).

جدول ۱- ظرفیت بارگیری، فضا و کارگر مورد نیاز برای پهن و جمع‌کردن شلتوک جهت خشک‌شدن و متوسط صرفه‌جویی در ضایعات

دستگاه خشک‌کن	ظرفیت بارگیری (کیلوگرم)	فضای لازم برای پهن‌کردن شلتوک جهت خشک شدن (مترمربع)	تعداد کارگر مورد نیاز (نفر-روز)	متوسط صرفه‌جویی در ضایعات (درصد)	
				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

دستگاه خشک‌کن	ظرفیت بارگیری (کیلوگرم)	هزینه ساخت بدنه و پوشش (میلیون‌ریال)	هزینه خرید فن و چهارچوب (میلیون‌ریال)	هزینه ساخت پایه فلزی فن و چهارچوب (میلیون‌ریال)	مجموع هزینه هر دستگاه خشک‌کن (میلیون‌ریال)
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 تعمییر 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 تعمییر و نگهداری خشک‌کن‌ها در دوره مطالعه واحد: میلیون ریال

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

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 تعمییر 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 خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک که شامل میزان

کاهش ضایعات محصول بوده است، در مجموع به ترتیب ۱۱۲ و ۵۶ میلیون ریال محاسبه شد. ضمنا درآمد کاهش یافته سالانه جایگزینی خشک کن 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

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 (ریال)	۲۵۲۵۰۰	میانگین کاهش ضایعات (ریال)	۱۱۲۰۰۰۰۰۰
میانگین هزینه استهلاک (ریال)	۴۷۳۸۲۸۱۷/۵		
میانگین هزینه تعمییر و نگهداری (ریال)	۲۹۶۱۴۲۶/۱		
جمع	۵۰۵۹۶۷۴۳/۶	جمع	۱۱۲۰۰۰۰۰۰
خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:		خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:	
میانگین هزینه برق مصرفی (ریال)	۲۵۸۸۱۲/۵	میانگین کاهش ضایعات (ریال)	۵۶۰۰۰۰۰۰
میانگین هزینه استهلاک (ریال)	۲۴۰۷۹۷۹۲/۵		
میانگین هزینه تعمیر و نگهداری (ریال)	۱۵۰۴۹۸۷		
جمع	۲۵۸۴۳۵۹۲	جمع	۵۶۰۰۰۰۰۰
درآمدهای کاهش یافته (TR_1):		هزینه‌های کاهش یافته (TVC_1):	
خشک کن تونلی خورشیدی بزرگ:		خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ:	
میانگین هزینه فرصت سرمایه (ریال)	۲۱۹۱۴۵۵۳	میانگین اجاره زمین (ریال)	۱۰۸۰۰۰۰۰
		میانگین هزینه کارگری (ریال)	۳۵۰۰۰۰۰
جمع	۲۱۹۱۴۵۵۳	جمع	۱۴۳۰۰۰۰۰
خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:		خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:	
میانگین هزینه فرصت سرمایه (ریال)		میانگین هزینه اجاره زمین (ریال)	۱۱۶۰۰۰۰۰
۱۱۱۳۶۹۰۴			
جمع ۱۱۱۳۶۹۰۴		میانگین هزینه کارگری (ریال)	۷۰۰۰۰۰۰
		جمع	۱۸۶۰۰۰۰۰
خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ:		خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ:	
کل هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش یافته:	۷۲۵۱۱۲۹۶/۶	کل منافع اضافی و هزینه های کاهش یافته:	۱۲۶۳۰۰۰۰۰
خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:		خشک‌کن تونلی خورشیدی کوچک:	
کل هزینه‌های اضافی و درآمد کاهش یافته:	۳۶۹۸۰۴۹۶	کل منافع اضافی و هزینه‌های کاهش یافته:	۷۴۶۰۰۰۰۰
منافع خالص (NB):			
کاربرد خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ:			۵۳۷۸۸۷۰۳/۴
کاربرد برای خشک‌کن 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 می دهد که نسبت فایده به هزینه جایگزینی خشک‌کن 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 خشک‌کن خورشیدی بزرگ و کوچک با خشک‌کن سنتی شلتوک

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

ماخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اینکه ساخت دستگاه پیش خشک‌کن بادی شلتوک‌های برداشت شده برنج در استان گیلان در مقایسه با خشک‌کردن شلتوک در محیط آزاد می‌تواند کمک قابل ملاحظه‌ای به کشاورزان برنجکار به منظورجلوگیری ازکپک زدگی و فساد شلتوک‌ها نماید، به‌صرفه بودن استفاده از این فن‌آوری برای کشاورزان برنج‌کار منطقه مهم و ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا به منظور مشخص‌شدن صرفه اقتصادی این جایگزینی از شاخص‌های سودآوری استفاده شد. طبق نتایج بدست آمده، 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 باز است، بنابراین عملی نمودن تصمیم یا جایگزینی اقتصادی است. نسبت فایده به هزینه جایگزینی خشک‌کن تونلی خورشیدی بزرگ و کوچک به ترتیب ۱/۷۴ و ۲ واحد و نرخ بازده حسابداری آن به ترتیب ۴۵/۴ و ۶۲/۵ درصد تعیین شد. بنابراین بر اساس نتایج، توصیه می‌شود روستائیان از فناوری‌هایی در خشک‌کردن محصولات استفاده نمایند که دارای مزیت اقتصادی- اجتماعی و به‌صرفه باشد. مزیت اجتماعی همان پذیرش فناوری توسط برنج‌کاران با توجه به مزایای فنی و اقتصادی بکارگیری خشک

کن جدید در مقایسه با خشک‌کن سنتی می باشد. در مقایسه نتایج مطالعات، نتایج برخی محققین در این مقاله نشان داد که بکارگیری خشک‌کن خورشیدی به عنوان یک فناوری جدید نسبت به روش متداول دارای هزینه کمتر می‌باشد، که البته در نتایج مطالعه حاضر استفاده از خشک‌کن خورشیدی باعث کاهش استفاده از نیروی کار و کاهش هزینه شده است (Gebleh and Askari, 2016; Udomkum et al., 2020). پیشنهاد می‌گردد کارشناسان بخش ترویج مدیریت‌های کشاورزی مناطق با برگزاری روز مزرعه و انتقال یافته در استان‌های کشت محصول به ویژه استان‌های شمالی کشور، مزایای فنی و اقتصادی بکارگیری فناوری استفاده از خشک‌کن ها را در بین کشاورزان مناطق بویژه بین کشاورزان برتر را ارائه نمایند تا کشاورزان در استفاده از این فناوری به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌ها ترغیب شوند.

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., T.J. (2011). Siebenmorgen, A. Mauromoustakos, Estimating the theoretical energy required to dry rice. *Journal of food engineering*, *10(2)*. 253-261.
3. FAO.(2024). Statistical yearbook. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, Italy. https://doi.0rg/10.4060/cd2971/en.
4. Gazor, H.R. (2021). Fabrication and evaluation of in flatable solar dryer for paddy pre-drying on the filed. Final Research Report. Agricultural Engineering Reseach Institute. Agricultural Resrach and Education and Extension Organization, Ministry of Jahad-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. Javare, G. S. , S. R. Reddy .(1987). Optimization of drying parameters in paddy seeds. *Seed Research*. *15(2)*: 176-182.

7. Juliano, B. O. (1985). Rice chemistry and technology. Published by the American association of cereal chemists, Ins. St. Paul, Minnesota USA.774pp. ISBN 0-913250-41-4.
8. Kumar Jyoti, Y., Dash, S.K., Rayagura, K., Pal, U., Mishra,, N., Ananth, P.N and Khandai, S. (2023). Enhancement of thermal and techni-economic performance and prediction of drying kinetics of paddy dried in solar bubble dryer. *Energy Nexus. 11: 100230.*
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. (1991) Rice, Volume 2: Utilization. 2: Springer Science & Business Media.New York.
11. Ministry of Jahad Agriculture. (2024). Agricultural Statistics of Crops 2022-2023. First volume. Statistics, Information and Communication Technology Center. Deputy of Economic Planning. Ministry of Jahad 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, and 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*, Vol. 851, pp 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: 405-415.
19. Udomkum, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas,, M., Wossen, T, Njukwe, E., Vanlauwe, B and Muller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa. An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management. 268-300.*
20. Weerachat, J., Natthiga, S. and Apinya, C. (2010). Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of Stored Products Research* 46: 209-213.
21. Wongpornchai, S., K. Dumri, S. Jongkaewwattana, B. Siri (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.