Research Article

Agricultural Engineering., 48(4) (2025) 531- 545 ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2025.50531.1788 ISSN (E): 2588-5944

Investigation and Evaluation of Qualitative and Quantitative Parameters in Paddy Conversion Systems in Khuzestan Province

J. Habibiasl [1*] and A. Asakereh[2]

1. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 4 September 2025 Accepted: 22 November 2025 *Corresponding Author: J.habibiasl@areeo.ac.ir

Abstract

Introduction: Rice is a staple food for over half of the global population and stands as the second most consumed food product in Iran. Its production is increasing, particularly in Khuzestan province, which nonetheless confronts significant challenges in the post-harvest process. Many rice mills employ traditional technologies that result in substantial losses during the conversion of paddy to white rice, consequently escalating overall costs. These losses inflict considerable economic damage on farmers, and mitigating them-especially given limited water resources- is crucial for boosting domestic output and reducing import dependency. The milling stage, encompassing husking and whitening, is the most sensitive, accounting for the highest rate of grain breakage, which directly affects the product's economic value. The quality of milled rice, quantified by its whiteness degree, is highly valued in Iran, where the recovered head rice yield is the most critical determinant of paddy price. Modern technologies, such as abrasive whiteners, demonstrate superior efficiency compared to traditional systems, capable of minimizing waste and grain breakage. This research investigates the performance of dominant conversion systems in Khuzestan and proposes practical solutions for waste reduction by focusing on key technical parameters.

Materials and Methods: This study aimed to investigate and compare rice conversion systems operating within Khuzestan province. Three distinct rice milling conversion systems were selected: Type A (Conventional), comprising a grain cleaner, a blade-type husker, two parallel blade whiteners, and a grader; Type B (Simple Imported), consisting of a destoner, grain cleaner, rubber roller husker, paddy separator, abrasive whitener, and polisher; and Type C (Advanced Imported), similar to type B but equipped with two serial abrasive whiteners. The specifications and processing stages of their equipment were examined. Paddy samples of the Anbarbo, the region's dominant cultivar, were dried to a moisture content of 8.9%, then divided into three batches and processed in the three type mills under study. Sampling was conducted at the output of various machines, and system evaluation parameters, including impurity levels, husking percentage, breakage, conversion efficiency, head rice percentage, whiteness degree, and cooking quality properties, were analyzed in the laboratory. The experimental design followed a randomized complete block design with three treatments and three replications. Data analysis was performed using MSTATC software, employing Duncan and LSD tests at a 5% significance level. This

rigorous approach ensured accurate evaluation and comparison of the different milling systems to provide actionable solutions for process improvement and waste reduction.

Results and Discussion: Rice mill type C exhibited the lowest impurity levels due to its two-stage grain cleaning process. Rice mill type A, utilizing the blade-type whitener, registered the highest breakage rate, whereas mill type C with its abrasive system yielded the lowest breakage. The use of abrasive systems is recommended for starchy texture cultivar. No significant difference was found in conversion efficiency among the mills, suggesting either improper use or inappropriate settings of the imported systems for local cultivars. Conversion efficiencies for mills A, B, and C were 67.1%, 68.2%, and 66.8%, respectively. Mills B and C, equipped with polishers, achieved a higher degree of whiteness compared to mill A. The type of mill had no significant effect on amylose content, gelatinization, or grain elongation ratio. The amylose percentage in rice from mills A, B, and C was 22.4%, 21.2%, and 22.1%, respectively. Amylose content significantly influences the physical and chemical properties of rice, ultimately affecting its quality and suitability. The gelatinization degree for rice from mills A and B was 4.6, while it was 4.7 for type C. The grain elongation ratio after cooking was 1.7 for type A and 1.8 for the other two types. Based on these results, utilizing mills B and C for processing the Anbarbo cultivar and similar cultivars in Khuzestan province is preferable to traditional mills. Therefore, for processing Anbarbo rice in this region, the use of rubber roller huskers and abrasive whiteners is recommended over blade huskers.

Conclusion: This research investigated the effect of rice mill type on the quality and quantity of rice in Khuzestan province. The results indicated that the type of mill significantly impacts paddy impurity levels, rice breakage, and the degree of whiteness, whereas conversion efficiency and other key quality characteristics of rice remained unaffected. Mills equipped with superior machinery, such as two-stage grain cleaners and abrasive whiteners, yield higher quality rice. Therefore, the correct selection of rice milling equipment, particularly huskers and whiteners, is crucial for improving rice quality and reducing waste. Specifically, the use of rubber roller huskers is recommended for processing the Anbarbo cultivar.

Keywords: Anbarbo rice cultivar, Qualitative indicators of paddy conversion, Quantitative indicators of paddy conversion, Rice milling losses

مقاله پژوهشی

بررسی و ارزیابی پارامترهای کیفی و کمی در سامانه‌های تبدیل شلتوک در استان خوزستان

جعفر حبیبی اصل[1*] و عباس عساکره[2]

۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۴

پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲

کلمات کلیدی:

رقم برنج عنبربو،

شاخص‌های کمی تبدیل شلتوک،

شاخص‌های کیفی تبدیل شلتوک،

ضایعات شالیکوبی

* عهده دار مکاتبات

Email: J.habibiasl@areeo.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی وضعیت موجود فرآیند تبدیل و جمع‌آوری داده‌های واقعی از مراحل خشک کردن، پوست‌کنی و سفید کردن در کارخانه‌های شالیکوبی استان خوزستان انجام شد. برای این منظور، سه نوع شالیکوبی- بر اساس ترکیب ماشین‌های تبدیل شلتوک به برنج- پس از شناسایی کارگاه‌های فعال استان انتخاب شدند. این انواع شامل: A (بوجار شلتوک، سفیدکن تیغه‌ای به‌عنوان پوست‌کن، دو سفیدکن تیغه‌ای موازی، و درجه‌بند)، B (سنگ‌گیر، بوجار، پوست‌کن غلطک لاستیکی، پادیه، سفیدکن سایشی، صیقل‌دهنده، و درجه‌بند)، و C (سنگ‌گیر، بوجار، پوست‌کن غلطک لاستیکی، پادیه، دو سفیدکن سایشی سری، صیقل‌دهنده، و درجه‌بند) بودند. عملکرد این شالیکوبی‌ها با استفاده از رقم غالب منطقه یعنی برنج عنبربو، بر اساس شاخص‌هایی نظیر ناخالصی شلتوک، درصد پوست‌کنی، درصد شکستگی برنج قهوه‌ای و سفید، راندمان تبدیل، درجه سفیدی، و پارامترهای کیفی (آمیلوز، درجه ژلاتینی شدن، و نسبت طول به عرض دانه) ارزیابی و مقایسه شد.نتایج نشان داد که شالیکوبی نوع C با کمترین میزان شکستگی برنج قهوه‌ای پس از پوست‌کنی (۱۷.۳ درصد) و برنج سفید پس از سفید کردن (۱۷.٤ درصد)، و همچنین بیشترین درجه سفیدی (۵۸/۷ درصد)، عملکرد برتری از خود نشان داد. با این وجود، تفاوت معناداری در راندمان تبدیل و پارامترهای کیفی برنج در سه نوع شالیکوبی مشاهده نشد. بر اساس این یافته‌ها، استفاده از شالیکوبی‌های B و C برای تبدیل شلتوک رقم عنبربو و ارقام مشابه در خوزستان نسبت به انواع سنتی ارجحیت دارد. لذا، برای فرآوری برنج عنبربو در این استان، استفاده از پوست‌کن غلطک لاستیکی و سفیدکن سایشی به‌جای پوست‌کن‌های تیغه‌ای قویاً توصیه می‌شود.

مقدمه

برنج، به‌عنوان قوت غالب و منبع اصلی تأمین انرژی برای حدود ۷۰ درصد از جمعیت جهان، نقشی حیاتی در امنیت غذایی و معیشت ایفا می‌کند (۸). تولید این محصول استراتژیک عمدتاً در قاره آسیا متمرکز شده، به‌طوری که بیش از ۹۵ درصد از تولید جهانی آن در این منطقه صورت می‌گیرد (۱۶). در ایران نیز، برنج پس از گندم، دومین محصول غذایی پرمصرف در سبد خانوارها محسوب شده و منبع درآمد اصلی برای هزاران کشاورز به شمار می‌رود. آمارها نشان می‌دهد تولید شلتوک در ایران طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ با رشد ۳۶/۵ درصدی، از ۲/۶۶ به ۳/۶۳ میلیون تن افزایش یافته است (۲).

علی‌رغم اهمیت کشت این محصول، کیفیت نهایی برنج مصرفی به شدت به فرآیندهای پس از برداشت وابسته است. در این میان، فرآیند شالیکوبی به عنوان گلوگاه اصلی، تعیین‌کننده کیفیت، راندمان و ارزش اقتصادی برنج سفید شناخته می‌شود. این فرآیند نه تنها شکل‌دهی فیزیکی دانه را انجام می‌دهد، بلکه می‌تواند آسیب‌های ساختاری و شیمیایی را نیز در دانه رقم بزند (۵ و ۶). تحقیقات گسترده‌ای در دهه‌های اخیر بر بهینه‌سازی این مرحله متمرکز شده‌اند، چرا که هرگونه ناکارآمدی در سیستم شالیکوبی، مستقیماً منجر به افزایش درصد شکستگی دانه، کاهش طول برنج سفید، و هدر رفت انرژی و منابع می‌شود (۱۹). سیستم‌های شالیکوبی از نظر طراحی مکانیکی و اصل عملکردی تنوع قابل توجهی دارند؛ از روش‌های سنتی مبتنی بر ضربه و سایش شدید گرفته تا فناوری‌های نوین که از غلتک‌های الاستیک یا سایش‌های کنترل‌شده با استفاده از جت‌های هوای پرفشار بهره می‌برند. این تفاوت‌های فناوری، ملاحظات مهمی را در راندمان تولید برنج سفید و شاخص‌های عملکردی شالیکوبی ایجاد می‌کنند (۲۷).

استان خوزستان، با توجه به ظرفیت‌های اقلیمی و آبی منحصربه‌فرد خود، پس از استان‌های گیلان و مازندران، به عنوان سومین قطب تولید برنج کشور شناخته می‌شود. سالانه حدود ۸۰ هزار هکتار از اراضی این استان به کشت برنج اختصاص می‌یابد (۲)، که این امر، برنج‌کاری را به یک فعالیت اقتصادی گسترده و مؤثر در اشتغال‌زایی منطقه تبدیل کرده است. با این حال، فرآیند پس از برداشت برنج در استان خوزستان با چالش‌های جدی مواجه است. بسیاری از کارگاه‌ها و کارخانه‌های شالیکوبی همچنان از فناوری‌های سنتی بهره می‌برند که تناسب کافی با نیازها و ویژگی‌های ارقام جدید و حتی ارقام بومی ندارند. این نقص فنی منجر به افزایش ضایعات شلتوک در مرحله تبدیل به برنج سفید شده و تلاش‌های کشاورزان و محققان را تا حد زیادی بی‌اثر می‌سازد. برآوردها نشان می‌دهد که مقادیر قابل توجهی از برنج تولیدی کشاورزان در مرحله فرآوری دچار ضایعات می‌شود که خسارات اقتصادی قابل توجهی را به دنبال دارد (۱۹). کاهش ضایعات در تمامی مراحل تولید، به‌ویژه در عملیات پس از برداشت، به عنوان یک راهکار مؤثر و عملی برای افزایش تولید داخلی و کاهش وابستگی به واردات برنج قلمداد می‌شود (۹).

دانه شلتوک از حدود ۲۰ درصد پوسته، ۸ تا ۱۲ درصد سبوس و ۷۰ تا ۷۲ درصد آندوسپرم تشکیل شده است (۲۰). آندوسپرم بخش خوراکی دانه محسوب می‌شود که پس از فرآوری به برنج سفید تبدیل می‌گردد. تبدیل شلتوک به برنج سفید، مرحله‌ای حساس و تعیین‌کننده در میزان ضایعات، به‌ویژه شکستگی دانه است. تحقیقات نشان می‌دهد بیشترین میزان شکستگی برنج در همین مرحله رخ می‌دهد (۱۹). همچنین، این مرحله به‌دلیل تأثیر مستقیم بر کیفیت نهایی برنج، در بازارپسندی و قیمت‌گذاری محصول نقش کلیدی ایفا می‌کند (۱۱). شکل ظاهری و درصد شکستگی دانه، از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت برنج به شمار می‌روند؛ زیرا وجود خرده برنج در محصول نهایی، ارزش اقتصادی آن را به شدت کاهش می‌دهد (۱۲).

درجه سفیدی، که معیاری برای سنجش میزان سفیدشدگی برنج است، در برخی کشورها شاخص کیفی اصلی محسوب نمی‌شود، در حالی که در ایران مصرف‌کنندگان تمایل به استفاده از برنج با درجه سفیدی بالا دارند. برای دستیابی به برنج سفید خوراکی، دانه شلتوک باید تحت فرآیند تبدیل قرار گیرد که شامل دو بخش اصلی پوست‌کنی) و سفیدکنی است. در عملیات پوست‌کنی، پوسته بیرونی دانه شلتوک جدا می‌شود و در مرحله سفیدکنی، لایه سبوس و آلورن با اعمال تنش‌های فشاری، کششی و یا اصطکاکی از آندوسپرم جدا می‌گردد (۵). علیرغم اعمال این تنش‌ها، هدف اصلی متخصصان، حفظ سلامت دانه و به حداقل رساندن شکستگی است. دانه‌هایی که پس از اتمام عملیات تبدیل، طول آن‌ها بیش از سه‌چهارم طول دانه کامل باشد، به عنوان "دانه سالم" طبقه‌بندی شده و از ارزش اقتصادی کامل برخوردارند. رایج‌ترین سیستم تبدیل برنج سفید شامل مراحل پوست‌کنی شلتوک با دستگاه پوست‌کن و سپس حذف لایه قهوه‌ای روی دانه برنج است که فرآیند "سفید کردن" نامیده می‌شود. کیفیت سفید کردن برنج، به عنوان یک اولویت غذایی در جامعه ایرانی، تأثیر بسزایی بر ارزش اقتصادی محصول دارد؛ به گونه‌ای که مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده بهای شلتوک، میزان بازیافت برنج سالم است. در نتیجه، با افزایش درصد شکستگی، ارزش اقتصادی دانه کاهش یافته و قیمت برنج شکسته معادل یک‌سوم تا یک‌پنجم قیمت برنج سالم خواهد بود (۱۲).

شکستگی برنج تابعی از عوامل متعددی از جمله رقم، مدیریت زراعی، رطوبت در زمان برداشت و فرآوری، روش خشک کردن و به‌ویژه تجهیزات به‌کارگرفته‌شده در سیستم تبدیل است (۷). نوع ماشین‌های مورد استفاده در خط تبدیل، یکی از عوامل مؤثر بر میزان ضایعات در عملیات تبدیل برنج محسوب می‌شود. میانگین ضایعات در سیستم‌های فرآوری سنتی بین ۲۵ تا ۳۰ درصد گزارش شده است، در حالی که راندمان سیستم‌های مدرن به ۸۵ تا ۹۰ درصد می‌رسد (۴). علاوه بر این، عدم تطابق تکنولوژی‌های تبدیل با ارقام محلی، از دیگر عوامل مهم در افزایش ضایعات در فرآیند تبدیل شلتوک به برنج سفید به شمار می‌رود.

ظاهر برنج سفید یکی از فاکتورهای کلیدی است که بیانگر ارزش تجاری آن می‌باشد. اندازه، شکل، شفافیت، گچی بودن و یکنواختی، توصیف‌کننده ظاهر برنج سفید هستند. به‌طور کلی، دانه‌های گچی به دلیل ضعیف بودن، مستعد شکسته‌شدن طی عملیات تبدیل بوده و باعث کاهش راندمان تبدیل می‌شوند. از نظر تجاری، راندمان برنج سالم، معیار تعیین‌کننده کیفیت برنج شناخته شده است. وجود بیش از اندازه دانه‌های گچی و عدم یکنواختی، اثر نامطلوبی در تولید فرآورده‌های برنج داشته و باعث فرآوری بیش از حد برخی از دانه‌ها و فرآوری ناقص سایر دانه‌ها می‌شود. دمای بالا در مرحله معینی از دوره رشد، بیماری‌هایی مانند بلاست، برداشت برنج با رطوبت بسیار بالا، نارس بودن دانه برنج و عوامل ژنتیکی، از جمله مواردی هستند که در ایجاد دانه‌های گچی مؤثر می‌باشند (۲۶).

مطالعات متعددی در جهت تعیین عوامل مؤثر بر پوست‌کنی و سفید کردن برنج و ارائه راهکارهای بهبود آن‌ها صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای که در ترکیه انجام شد، تأثیر شالیکوبی بر خواص فیزیکوشیمیایی، تغذیه‌ای، بافتی و قابلیت هضم برنج، از برنج قهوه‌ای تا برنج سفید در شالیکوبی‌های تجاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که آسیاب کردن، جذابیت بصری برنج (مانند افزایش حجم و سفیدی) را بهبود بخشیده و به‌ویژه قابلیت هضم نشاسته آن را افزایش داده است، اما موجب کاهش محتوای مواد معدنی، مواد ضدتغذیه‌ای، زمان پخت و ویژگی‌های بافتی گردید (۲۸). در بررسی برخی ارقام، بازده برنج سالم با استفاده از آسیاب سایشی (۶۱ تا ۷۵ درصد) در مقایسه با آسیاب اصطکاکی (۱۰ تا ۶۰ درصد) بیشتر گزارش شده است،

هرچند مدت زمان آسیاب در آسیاب سایشی طولانی‌تر بوده است. همچنین بیان شده است که انتخاب فرآیند آسیاب باید با توجه به هندسه و خواص شیمیایی دانه انجام شود (۱۷). نتایج ارزیابی شاخص‌های فنی انواع مختلف غلتک‌های لاستیکی پوست‌کنی شلتوک نشان داد که درصد دانه‌های شکسته و توان مصرفی ماشین‌های پوست‌کن تابعی از نرخ تغذیه شلتوک، فاصله غلتک‌های لاستیکی و نسبت سرعت غلتک‌ها است (۲۹). افضلی‌نیا و همکاران[1] (۱) در بررسی روش‌های متفاوت سفید کردن برنج در استان فارس بیان کردند که بهترین ترکیب شامل دستگاه پوست‌کن غلتک لاستیکی، سه واحد سفیدکن سایشی به‌صورت سری و سفیدکن تیغه‌ای به‌عنوان براق‌کننده نهایی است. مقایسه عملکرد سفیدکن‌های سایشی و تیغه‌ای نشان داد که میزان شکستگی و سفیدی در سفیدکن سایشی به‌طور معنی‌داری کمتر از نوع تیغه‌ای است (۱۵). شاکر و همکاران[2] (۲۲) با بررسی روش‌های مختلف تبدیل برنج دانه بلند (رقم شمیم) در استان فارس، نتیجه گرفتند که از نظر فنی، استفاده از ترکیب سفیدکن سایشی افقی و سفیدکن تیغه‌ای، مناسب‌ترین روش برای تبدیل برنج قهوه‌ای به برنج سفید در شلتوک رقم شمیم است.

مطالعات نشان داده است که واحدهای فرآوری شالی سنتی اغلب در مقایسه با آسیاب‌های مدرن ناکارآمد هستند. در این راستا، عرضه کلی برنج می‌تواند از طریق مدرن‌سازی تکنیک‌های سنتی موجود فرآوری، به طور قابل توجهی افزایش یابد (۲۳). در مطالعه‌ای که به بررسی عوامل مؤثر بر راندمان تبدیل شلتوک به برنج سفید در آسیاب‌های برنج سنتی و مدرن در هند پرداخته شد، گزارش گردید که صنعت شالیکوبی سنتی، راندمان عملیاتی کمتری نسبت به آسیاب‌های مدرن دارد. راندمان برنجکوبی سنتی و مدرن به ترتیب حدود ۴۴ و ۶۹ درصد گزارش شده است (۲۴). همچنین، درصد برنج سالم در برنج‌کوبی‌های سنتی و مدرن در کارناتاکا هند به ترتیب ۷/۵۸ و ۶۳ درصد و درصد برنج شکسته به ترتیب حدود ۲ و ۱۰ درصد گزارش گردیده است (۲۳).

بررسی مطالعات نشان داد که تحلیل و بررسی سیستم‌های تبدیل شلتوک به برنج سفید از اهمیت بالایی برخوردار است؛ چرا که این تحلیل مستقیماً بر افزایش بهره‌وری، کاهش ضایعات، بهبود مشخصات فیزیکی و شیمیایی محصول نهایی و ابعاد اقتصادی مرتبط با امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد. با توجه به سطح فناوری مورد استفاده در کارگاه‌های شالیکوبی ایران، به‌ویژه در استان خوزستان، فرآیند تبدیل شلتوک به برنج سفید به تحول و به‌روزرسانی اساسی نیازمند است. بر همین اساس و با در نظر گرفتن تغییر ارقام برنج زیر کشت و نیازهای رو به رشد جامعه در زمینه کیفیت محصول، این پژوهش به ارزیابی عملکرد سیستم‌های تبدیل غالب در استان خوزستان می‌پردازد. تمرکز اصلی این مطالعه بر سنجش پارامترهای فنی کلیدی نظیر درصد شکست دانه، شدت سفیدشدگی و شاخص‌های کیفیت پخت برنج خواهد بود. نتایج حاصل از این تحقیق، راهکارهای عملی و مبتنی بر داده را برای انتخاب مناسب‌ترین سیستم شالیکوبی در استان خوزستان جهت کاهش حداکثری ضایعات تبدیل ارائه داده و اطلاعات ارزشمندی را برای تحقیقات کاربردی آتی در این حوزه فراهم خواهد آورد.

مواد و روش‌ها

این بخش به تشریح دقیق روش‌شناسی پژوهش اختصاص دارد. جزئیات مربوط به نحوه انتخاب نمونه‌ها، فرآیندهای جمع‌آوری داده‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده به صورت کامل ارائه می‌شود تا پژوهشگران دیگر قادر به تکرارپذیری این مطالعه و ارزیابی صحت نتایج آن باشند.

1- Afzalinia *et al.*
2- Shaker *et al.*

انتخاب و بازدید از شالیکوبی‌ها

ابتدا، برای شناسایی نمونه‌های پژوهش، مشخصات، موقعیت جغرافیایی و اطلاعات اولیه کارخانه‌ها و کارگاه‌های شالیکوبی فعال در استان خوزستان از طریق سازمان صنعت، معدن و تجارت استان اخذ شد و بازدیدهای میدانی از آن‌ها به انجام شد. در بازدید از واحدهای فعال (۲۲ واحد) مشخصات تجهیزات و مراحل فرآوری شامل خشک کردن، پوست کندن و سفید کردن برنج مستندسازی شد.

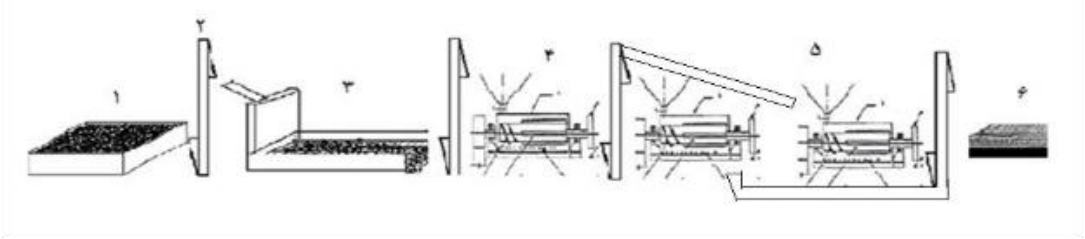
بررسی‌های اولیه نشان داد که غالب کارگاه‌های شالیکوبی استان خوزستان از سفیدکن تیغه‌ای به عنوان دستگاه پوست‌کن استفاده می‌کنند. در تعداد محدودی از واحدها، پوست‌کن با غلطک لاستیکی به کار گرفته می‌شود. در مرحله سفید کردن، در اکثر کارگاه‌ها از یک دستگاه سفیدکن تیغه‌ای استفاده می‌شود. در مواردی که دو دستگاه سفیدکن در یک کارگاه وجود داشته باشد، به منظور افزایش ظرفیت کاری، این دستگاه‌ها به صورت موازی نصب می‌شوند. با این حال، با توجه به مقاومت مکانیکی پایین‌تر ارقام برنج بومی استان، استفاده از دو دستگاه سفیدکن تیغه‌ای به صورت متوالی (سری) می‌تواند منجر به افزایش خردشدگی و تلفات دانه برنج سفید گردد. همچنین، بررسی‌های میدانی حاکی از آن بود که دستگاه پادیه در اغلب کارگاه‌های شالیکوبی استان خوزستان به کار گرفته نمی‌شوند. در سال‌های اخیر سامانه‌های تبدیل واردتی نیز در استان خوزستان نصب شده‌اند که مجهز به سفید کن سایشی و صیقل دهنده (پولیشر) می‌باشند.

انتخاب شالیکوبی‌ها بر اساس بیشترین فراوانی واحدهای فعال در استان و همچنین وجود تنوع در ترکیب ماشین‌های فرآیند تبدیل صورت گرفت. با این حال، بررسی‌های اولیه نشان داد که تنوع کمی در ماشین‌ها و سیستم‌های شالیکوبی استان خوزستان وجود دارد. بر این اساس، سه نوع سیستم تبدیل که بیشترین فراوانی را در استان داشته و به عنوان نماینده غالب سیستم‌های فرآوری در استان خوزستان محسوب می‌شوند، به عنوان تیمار و برای تعیین میزان ضایعات انتخاب گردیدند که شامل:

نوع A (سیستم تبدیل متداول): این سیستم شامل بوجار شلتوک، سفیدکن تیغه‌ای (به عنوان پوست‌کن)، دو دستگاه سفیدکن تیغه‌ای نصب شده به صورت موازی و درجه‌بند برنج سفید بود (شکل ۱).

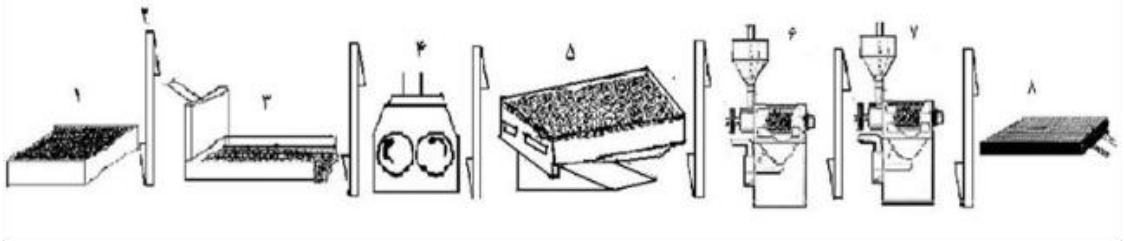
نوع B (سیستم تبدیل وارداتی ساده): این سیستم متشکل از دستگاه سنگ‌گیر مکنده، بوجار شلتوک، پوست‌کن غلطک لاستیکی، پادیه، سفیدکن سایشی، صیقل‌دهنده و درجه‌بند برنج سفید بود (شکل ۲).

نوع C (سیستم تبدیل وارداتی پیشرفته): این سیستم شامل دستگاه سنگ‌گیر مکنده، بوجار شلتوک، پوست‌کن غلطک لاستیکی، پادیه، دو دستگاه سفیدکن سایشی نصب شده به صورت سری، صیقل‌دهنده و درجه‌بند برنج سفید بود (شکل ۳).



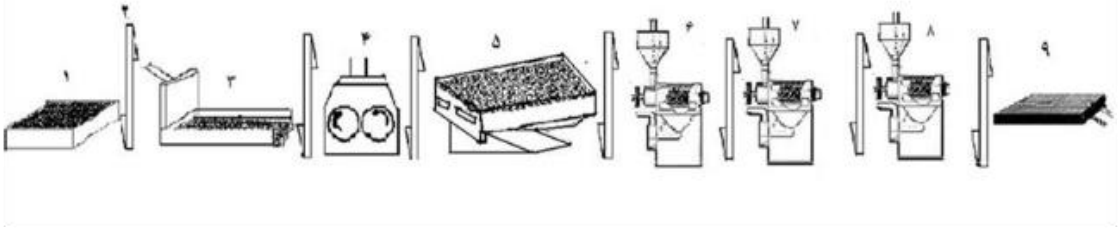
شکل (۱) طرحواره سیستم تبدیل شالیکوبی نوع A: ۱- خشک‌کن، ۲- بالابر، ۳- دستگاه بوجار، ٤- پوست‌کن تیغه‌ای، ٥- دو دستگاه ماشین سفیدکن تیغه‌ای به صورت موازی، ٦- درجه‌بند

Figure (1) Schematic diagram of the type A rice milling system, 1- Dryer, 2- Elevator, 3- Cleaner, 4- Blade-type husker, 5- Two blade-type whiteners in parallel, 6- grader.



شکل (۲) طرحواره سیستم تبدیل شالیکوبی نوع B: ۱- خشک‌کن، ۲- بالابر، ۳- دستگاه بوجار، ٤- پوست‌کن غلطک لاستیکی، ٥- پادیه، ٦- سفیدکن سایشی، ۷- صیقل دهنده، ۸- درجه‌بند

Figure (2) Schematic diagram of the type B rice milling system: 1- Dryer, 2- Elevator, 3- Cleaner, 4- Rubber roll husker, 5- Paddy separator, 6- Abrasive whitener, 7- Polisher, 8- Grader.



شکل (۳) طرحواره سیستم تبدیل شالیکوبی نوع C: ۱- خشک‌کن، ۲- بالابر، ۳- دستگاه بوجار، ٤- پوست‌کن غلطک لاستیکی، ٥- پادیه، ٦ و ۷- دو دستگاه سفیدکن سایشی به صورت سری، ۸- پولیشر، ۹- درجه‌بند

Figure (3) Schematic diagram of the type C rice milling system: 1- Dryer, 2- Elevator, 3- Cleaner, 4- Rubber roll husker, 5- Paddy separator, 6 & 7- Two abrasive whiteners in series, 8- Polisher, 9- Grader

آماده‌سازی نمونه شلتوک

رقم برنج مورد مطالعه، عنبربو بود که به عنوان رقم غالب و پرکشت در استان خوزستان محسوب می‌شود (۱۳ و ۱۴). با توجه به اینکه کیفیت شلتوک در مزارع مختلف استان ممکن است به دلیل نوع مدیریت زراعی و تنوع ژنوتیپ‌های این رقم متغیر باشد، و همچنین به منظور حذف اثر روش خشک کردن اولیه بر کیفیت تبدیل، کل شلتوک مورد نیاز (به میزان ۱۲۰۰ کیلوگرم) از یک مزرعه در شهرستان کرخه و بخش شاوور در سال ۱۴۰۱ تهیه گردید. کاهش رطوبت و خشک کردن شلتوک با استفاده از خشک‌کن بستر ثابت انجام شد. این نوع خشک‌کن به دلیل فراوانی و متداول بودن آن در کارگاه‌های شالیکوبی استان خوزستان به عنوان روش مرجع انتخاب گردید؛ به‌طوری که از ۲۲ واحد کارگاهی مورد بازدید، تنها یک واحد مجهز به خشک‌کن ایستاده با گردش مجدد بود و مابقی از خشک‌کن بستر ثابت استفاده می‌کردند. شلتوک‌های جمع‌آوری شده تا رسیدن به رطوبت میانگین ۸/۹ درصد (بر مبنای وزن تر) خشک شدند. محدوده رطوبتی متداول برای فرآوری شلتوک در کارخانه‌های استان خوزستان بین ۸ تا ۱۰ درصد (بر اساس وزن تر) است. در این راستا، مطالعه‌ای که رطوبت بهینه را به صورت تفکیک‌شده بر اساس نوع شالیکوبی و ارقام مختلف در استان خوزستان مشخص کند، در دسترس نبود. بنابراین، این محدوده رطوبتی بر اساس تجربه عملیاتی واحدهای شالیکوبی به عنوان رطوبت مناسب و عملیاتی برای فرآیند تبدیل تعیین گردید. (در برخی شرایط خاص، فرآوری در رطوبت‌های خارج از این محدوده نیز گزارش شده، اما این موارد عملیاتی نیستند). این محدوده رطوبتی توسط مطالعات پیشین نیز تأیید شده است؛ به عنوان مثال، شاکر (۲۱) رطوبت مناسب شلتوک ارقام چمپا فیروزآباد و لنجان را بین ۸ تا ۱۰ درصد گزارش کرده است. همچنین، تجددطلب و همکاران[1]

1- Tajaddoditalab *et al.*

(۲۵) نشان دادند که در فرآیند تبدیل ارقام هاشمی و طارم با سامانه‌های سفیدکن اصطکاکی، دامنه رطوبتی حدود ۱۰ درصد مناسب تلقی می‌شود.

پس از مرحله خشک کردن، کل شلتوک به سه قسمت مساوی ۴۰۰ کیلوگرمی تقسیم شد. هر یک از این سه قسمت به یکی از کارگاه‌های شالیکوبی منتخب (انواع A، B، و C) منتقل گردید. نوع سیستم شالیکوبی به عنوان تیمار در نظر گرفته شد. از هر نمونه ۴۰۰ کیلوگرمی، به صورت تصادفی ۱۰ کیلوگرم به عنوان نمونه برای اندازه‌گیری پارامترهای اولیه و پیش از فرآیند تبدیل، جداسازی گردید. نمونه‌های باقی‌مانده (۳۹۰ کیلوگرم) مجدداً به سه قسمت مساوی تقسیم شدند تا سه تکرار برای هر تیمار (کارگاه A، B و C) فراهم شود. این تکرارها تحت شرایط کارکرد واقعی و عملیاتی سیستم‌های تبدیل مربوطه فرآوری شدند.

پیش از آغاز هر فرآیند تبدیل، کیفیت اولیه شلتوک با اندازه‌گیری پارامترهای زیر تعیین گردید: قبل از انجام هر آزمایش، پارامترهای اولیه شلتوک از نظر محتوای رطوبت (بر مبنای وزن تر)، درصد ناخالصی، میزان شلتوک شکسته، شلتوک پوست‌کنده و شلتوک ترک‌دار تعیین گردید. همچنین، پیش از فرآیند شالیکوبی، درصد ترک‌دار بودن دانه‌ها با استفاده از دستگاه ترک‌بین اندازه‌گیری شد. برای این منظور، چهار نمونه ۵۰ دانه‌ای به طور تصادفی انتخاب شد. دانه‌های نمونه با دقت با دست پوست‌کنده شده و بر روی صفحه دستگاه ترک‌بین قرار گرفتند تا میزان ترک‌خوردگی اولیه ارزیابی شود (۳).

جمع‌آوری و ارزیابی داده‌ها

در طول اجرای آزمایش‌ها و در هر تکرار، نمونه‌های تصادفی از خروجی ماشین‌های مختلف شامل بوجار شلتوک، پوست‌کن، پادیه (در صورت وجود)، سفیدکن و الک برنج (درجه‌بند) جمع‌آوری گردید. سپس، نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری پارامترهای ارزیابی عملکرد سیستم، به آزمایشگاه کنترل کیفیت دانه مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت ارسال شدند. پارامترهای مورد ارزیابی در این مطالعه به شرح زیر بودند:

ناخالصی شلتوک پس از بوجاری: به صورت نسبت وزنی ناخالصی‌های موجود (اعم از کاه، کلش، سنگ و کلوخ) در نمونه شلتوک برداشت‌شده به کل وزن نمونه تعریف شد و بر حسب درصد بیان گردید.

درصد پوست‌کنی شلتوک: این پارامتر بر اساس نسبت وزن برنج قهوه‌ای تولیدشده توسط دستگاه پوست‌کن به وزن شلتوک ورودی به آن ماشین محاسبه گردید.

درصد شکست یا ترک در برنج قهوه‌ای و سفید: ترک‌های موجود در دانه‌های برنج (قهوه‌ای یا سفید) با استفاده از دستگاه ترک‌بین شمارش شدند. در این روش، ۱۰۰ عدد دانه برنج روی صفحه دستگاه قرار گرفته و با تابش نور از زیر آن‌ها، درصد دانه‌های ترک‌خورده محاسبه شد (۳).

راندمان تبدیل: با تقسیم وزن برنج سفید نهایی به دست آمده پس از دستگاه سفیدکن بر وزن کل شلتوک ورودی به دستگاه پوست‌کن محاسبه شد (۹).

درصد برنج سالم (کامل): این شاخص از طریق نسبت وزن برنج سفید سالم (کامل) پس از عبور از دستگاه درجه‌بند برنج، به وزن کل شلتوک ورودی به دستگاه پوست‌کن به دست آمد. برنجی که طول آن معادل یا بیش از سه چهارم طول برنج کامل بود، به عنوان برنج سالم (کامل) در نظر گرفته شد (۸).

درجه سفیدی برنج: برای سنجش این شاخص، از دستگاه سفیدی‌سنج مدل C-100 ساخت کشور ژاپن استفاده شد. مبنای کار این دستگاه بر اساس اندازه‌گیری میزان تابش و انعکاس نور استوار است.

خواص کیفی پخت برنج: برای سنجش این ویژگی، محتوای آمیلوز، درجه ژلاتینی شدن و نسبت طویل شدن دانه پس از پخت در نظر گرفته شدند که همگی در آزمایشگاه کنترل کیفیت دانه مؤسسه تحقیقات برنج کشور اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

طرح آزمایشی در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تیمار (شامل سه روش شالیکوبی: انواع A، B و C) و در ۳ تکرار (نمونه‌های ۱۳۰ کیلوگرمی) اجرا شد. پس از انجام تمامی مراحل آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس بر روی شاخص‌های مورد نظر در نرم‌افزار MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و LSD در سطح معنی‌داری پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس پارامترهای کمی و کیفی مرتبط با سه نوع کارخانه مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بین سیستم‌های مورد مطالعه از نظر برخی شاخص‌های فنی تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد که عمدتاً ناشی از نوع دستگاه‌های پوست‌کن و سفیدکن مورد استفاده در هر کارخانه است. بر اساس تحلیل آماری، نوع شالیکوبی در سطح احتمال ۵ درصد بر درصد ناخالصی شلتوک (کیفیت بوجاری) اثر معنی‌دار دارد. همچنین در سطح احتمال ۱ درصد، نوع شالیکوبی تأثیر معنی‌داری بر درصد شکست برنج قهوه‌ای پس از پوست‌کنی، درصد شکست برنج سفید پس از سفیدکنی، درصد شکست برنج سفید پس از صیقل‌دهی و درجه سفیدی برنج دارد. در مقابل، تفاوت معنی‌داری در پارامترهایی چون راندمان تبدیل، درصد آمیلوز، درجه ژلاتینی شدن و نسبت طویل شدن دانه پس از پخت مشاهده نشد.

درصد ناخالصی شلتوک بیانگر میزان مواد زائد موجود در شلتوک پس از عبور از دستگاه بوجاری (الک تمیزکننده) و پیش از ورود به دستگاه پوست‌کن است. با توجه به یکسان بودن شلتوک ورودی در تمامی شالیکوبی‌ها، این شاخص می‌تواند به‌عنوان معیار عملکرد دستگاه بوجاری در پاک‌سازی اولیه شلتوک مورد استفاده قرار گیرد. نتایج آزمون دانکن (شکل ۴ a) نشان داد که شالیکوبی C از نظر کاهش ناخالصی به‌طور معنی‌داری بهتر از شالیکوبی‌های A و B عمل کرده است، در حالی که تفاوت آماری بین A و B مشاهده نشد. این برتری در شالیکوبی C احتمالاً ناشی از استفاده از دستگاه بوجاری دومرحله‌ای و دقیق‌تر است، در حالی که دو کارخانه دیگر از الک‌های معمولی و یک‌مرحله‌ای بهره می‌بردند.

میزان ناخالصی پس از بوجاری در کارخانه C برابر با ۲/۶۴ درصد بود، در حالی که این مقدار در کارخانه‌هایA و B به‌ترتیب ۴/۴۸ و ۴/۲۵ درصد به دست آمد. وجود ناخالصی در شلتوک می‌تواند عملکرد دستگاه پوست‌کن را مختل کرده و منجر به افزایش شکست دانه‌ها شود؛ بنابراین، استفاده از دستگاه‌های بوجاری پیشرفته‌تر که در منطقه مورد مطالعه، سیستم نوع C از ان بهره‌مند بود (دستگاه بوجاری دومرحله‌ای) توصیه می‌شود. در همین راستا، شالیکوبی نوع B با وجود بهره‌مندی از دستگاه سنگ‌گیر مکنده، و بالاتر بودن دقت بوجاری ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین آن و نوع A مشاهده نشد. مطالعه تجددی‌طلب (۲۶) نیز نشان داد که عملیات پیش‌بوجاری تأثیر قابل‌توجهی بر راندمان خشکاندن و تبدیل شلتوک دارد و موجب کاهش دانه شکسته می‌شود. در سطح صنعتی، درصد خرده‌برنج در شلتوک‌های کاملاً بوجاری‌شده با میزان ۱۳/۷۲ درصد، کمترین و در شلتوک‌های غیربوجاری با میزان ۲۳/۶۸ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. همچنین، درصد برنج سالم در شلتوک‌های کاملاً بوجاری‌شده با ۸۶/۳۶ درصد، بیشترین و شلتوک‌های نیمه‌بوجاری و غیربوجاری به ترتیب با ۷۷/۳۶ درصد و ۷۶/۴۹ درصد، کمترین مقدار را داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که بوجاری کامل نقش مهمی در افزایش راندمان تبدیل و کاهش ضایعات دارد.

درصد شکست برنج قهوه‌ای شاخصی برای ارزیابی عملکرد دستگاه پوست‌کن محسوب می‌شود. مطابق شکل ۴ (b)، بیشترین شکست برنج قهوه‌ای با ۲۱/۱ درصد مربوط به شالیکوبی B بود. شالیکوبی‌های A و C ترتیب با ۱۸/۴ و ۱۷/۲ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. با توجه به اینکه رقم عنبربو در استان خوزستان از نظر ویژگی‌های فیزیکی مشابه ارقام ژاپونیکا است، استفاده از هر دو نوع پوست‌کن (غلتکی لاستیکی و تیغه‌ای) می‌تواند مناسب باشد، هرچند سیستم C

شکست کمتری را نشان داد. با توجه به سیاست‌های توسعه کشت ارقام پرمحصول و دانه‌بلند در استان خوزستان، استفاده از پوست‌کن‌های غلتکی لاستیکی که برای این ارقام مناسب‌تر هستند، توصیه می‌شود. یکی از موانع اصلی در فرآوری این ارقام، ضایعات بالا در شالیکوبی‌های مجهز به پوست‌کن‌های تیغه‌ای است. مقایسه با مطالعات دیگر نشان می‌دهد که درصد شکست برنج قهوه‌ای در شالیکوبی‌های خوزستان بیشتر از استان‌های دیگر است؛ به‌عنوان مثال، در استان مازندران این مقدار بین ۹/۰۳ تا ۱۵/۱۹ درصد گزارش شده است (۹).

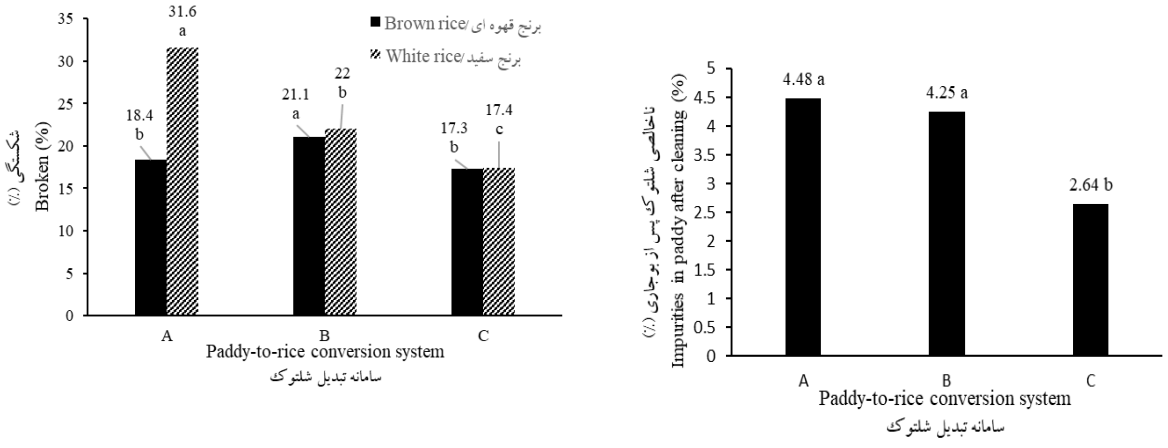
جدول (۱) تجزیه واریانس اثر نوع سامانه تبدیل بر شاخص‌های کمی و کیفی برنج

Table (1). Analysis of variance of the effect of conversion system type on quantitative and qualitative indices of rice

		میانگین مربعات (MS)								
منبع تغییرات s.o.v	درجه آزادی df	درصد ناخالصی شلتوک impurities in paddy	راندمان تبدیل Milling yield	درصد شکست برنج قهوه‌ای بعد از پوست‌کن Broken brown rice after hulling	درصد شکست برنج سفید بعد از سفیدکن Broken white rice after whitening	درصد شکست برنج سفید بعد از صیقل دهنده Broken white rice after polishing	درجه سفیدی Degree of whiteness	درصد آمیلوز Amylose content	درجه ژلاتینی شدن Gelatinization index	نسبت طویل شدن دانه بعد از پخت Grain elongation ratio after cooking
تکرار Repetition	2	0.137	0.249	1.466	0.488	6.392	0.164	0.130	0.022	0.002
تیمار Treatment	2	3.02*	1.722ns	18.26**	163.42**	749.8**	49.79**	1.239ns	0.003ns	0.004ns
خطا Error	4	0.360	0.141	0.901	2.522	1.705	0.208	0.122	0.039	0.000
ضریب تغییرات (CV)		15.8	0.56	4.9	6.8	7.5	0.82	1.6	4.3	0.61

*: تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: تفاوت معنی‌دار در سطح ۱درصد، ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار

* Significant difference at the 5% level, ** Significant difference at the 1% level, ns: Non-significant difference



B A

شکل (٤). مقایسه میانگین درصد ناخالصی شلتوک پس از بوجاری (a) و درصد شکستگی برنج قهوه ای و سفید (b) با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد

Figure (4) The mean percentage of paddy impurities after cleaning (a) was compared to the percentage of broken brown and white rice (b) using Duncan's multiple range test at the 5% significance level.

ظاهر برنج سفید یکی از عوامل کلیدی در تعیین ارزش اقتصادی محصول نهایی است؛ بنابراین، انتخاب نوع سفیدکن و صیقل‌دهنده اهمیت زیادی دارد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کمترین میزان شکست برنج سفید با ۱۷/۴ درصد مربوط به شالیکوبی C بود که از سیستم سایشی استفاده می‌کرد. شالیکوبی B نیز از سیستم سایشی بهره می‌برد، اما میزان شکست آن با ۲۲ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. این تفاوت احتمالاً ناشی از اختلاف در میزان شکست دانه در مرحله پوست‌کنی و همچنین تفاوت در مدل سنگ سایشی مورد استفاده است؛ به‌طوری‌که در سیستم B از مدل MNSW و در سیستم C از مدل MNMS استفاده شده بود. بیشترین شکست برنج سفید با ۳۱/۶ درصد مربوط به شالیکوبی A بود که از سفیدکن تیغه‌ای استفاده می‌کرد. با توجه به بافت نشاسته‌ای و حساسیت رقم عنبربو به شکست، استفاده از سیستم‌هایی که فشار و ضربه زیادی وارد می‌کنند، برای این رقم مناسب نیست. همچنین، استفاده از سفیدکن تیغه‌ای به‌عنوان پوست‌کن در شالیکوبی A احتمالاً موجب ایجاد ترک‌هایی در برنج قهوه‌ای شده که در مرحله سفیدکنی منجر به شکست بیشتر دانه‌ها گردیده است. این نتایج نشان می‌دهد که نوع سیستم سفیدکن تأثیر قابل‌توجهی بر میزان ضایعات و کیفیت تبدیل دارد. افزایش شکست دانه موجب کاهش ارزش اقتصادی محصول نهایی می‌شود؛ بنابراین، انتخاب سیستم سفیدکن مناسب نقش کلیدی در بهبود کیفیت و ارزش برنج دارد. از این رو، استفاده از سفیدکن سایشی، به‌ویژه سیستم نوع C، برای رقم عنبربو در استان خوزستان توصیه می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، میزان شکست رقم سرخه در سفیدکن تیغه‌ای بین ۲۰/۹ تا ۲۷/۳ درصد گزارش شده است (۱۱). همچنین، در استان فارس، درصد شکست برنج سفید در سیستم‌های مختلف تبدیل بین ۱۴/۶۵ تا ۲۹/۹۴ درصد بود؛ کمترین مقدار مربوط به سیستم سایشی عمودی (مخروطی) و بیشترین مقدار مربوط به سفیدکن تیغه‌ای بود (۲۱). درصد شکستگی برنج در سامانه‌های تبدیل شلتوک در استان مازندران، ۲۹/۴۷ تا ۳۲/۹۹ درصد گزارش شده است (۹).

در شالیکوبی‌های مورد بررسی در این پژوهش، دستگاه صیقل‌دهنده در شالیکوبی نوع A وجود نداشت؛ بنابراین، برای مقایسه شالیکوبی‌های B و C از نظر این پارامتر، از آزمون LSD استفاده شد. نتایج این مقایسه نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح احتمال یک درصد بود (شکل ۵ a). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد شکست برنج سفید در شالیکوبی‌های B و C به ترتیب به ترتیب ۳۰/۹ و ۲۱/۰ به دست آمد. بیشتر بودن درصد شکست برنج سفید در شالیکوبی B نسبت به C می‌تواند ناشی از بیشتر بودن میزان شکست برنج در نتیجه فرآیند سفیدکنی در شالیکوبی B باشد.

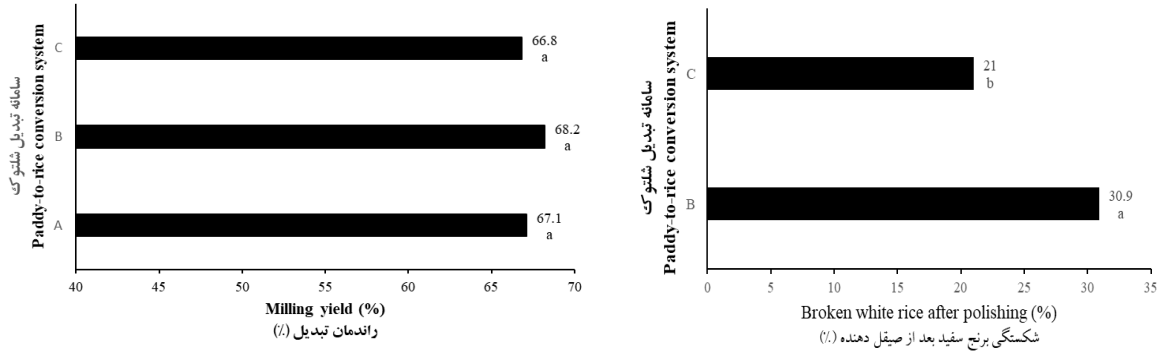
راندمان تبدیل، نسبت وزنی برنج سفید حاصل از تبدیل شلتوک به وزن اولیه شلتوک را نشان می‌دهد. همان‌گونه که بیان شد، بررسی‌ها نشان داد که اختلاف معناداری از نظر راندمان تبدیل میان شالیکوبی‌های مورد مطالعه وجود نداشت و از نظر آماری همگی در یک گروه قرار گرفتند. این یافته بیانگر آن است که راندمان سامانه‌های وارداتی نسبت به سامانه‌های سنتی در استان خوزستان تفاوت چشمگیری ندارد. یکی از علل احتمالی این موضوع می‌تواند استفاده ناصحیح از دستگاه‌های وارداتی یا عدم انطباق تنظیمات و پارامترهای عملکردی آن‌ها با ویژگی‌های ارقام محلی و بومی استان خوزستان باشد. گازر و همکاران[1] (۹) نیز گزارش کرده‌اند که نوع رقم، ویژگی‌های ذاتی، رطوبت و خصوصیات فیزیکی دانه شلتوک از عوامل اصلی کمتر بودن راندمان سامانه‌های تبدیل شلتوک در داخل نسبت به خارج از کشور هستند. بر این اساس، تنظیم بهینه پارامترهای

1- Gazor *et al.*

سامانه‌های وارداتی متناسب با شرایط ارقام محلی در استان خوزستان ضروری است؛ امری که نیازمند پژوهش‌های دقیق برای شناسایی و تعیین عوامل مؤثر بر راندمان تبدیل می‌باشد. در این پژوهش، راندمان تبدیل در شالیکوبی‌های A، B و C به ترتیب ۶۷/۱، ۶۸/۲ و ۶۶/۸ درصد برآورد شد (شکل ۵ b). گازر و همکاران (۹) راندمان تبدیل شلتوک در شالیکوبی‌های استان مازندران را بین ۶۲/۴۵ تا ۶۳/۸۸ درصد گزارش کرده‌اند. همچنین، در مطالعه‌ای دیگر که به بررسی اثر فرآیند خشک‌کردن شلتوک در خشک‌کن‌های ایستاده گردشی و خشک‌کن‌های متداول پرداخته شده بود، راندمان تبدیل برنج طارم به ترتیب در خشک‌کن ایستاده گردشی و نوع رایج ۶۷/۲۳ و ۶۶/۲۳ درصد گزارش گردید (۱۰). افزون بر این، راندمان تبدیل در سامانه‌های مختلف تبدیل شلتوک در استان فارس بین ۶۱/۷۵ تا ۶۶/۵۰ درصد اعلام شده است (۲۲).

درجه سفیدی برنج در شالیکوبی‌های نوع B و C که مجهز به دستگاه صیقل‌دهنده بودند، به‌طور معناداری بیشتر از نوع A (فاقد صیقل‌دهنده) بود. بیشترین درجه‌ی سفیدی با مقدار ۵۸/۷ درصد مربوط به تیمار C بود، هرچند این مقدار از نظر آماری تفاوت معناداری با تیمار B با درجه سفیدی ۵۷/۵ درصد نشان نداد. کمترین درجه‌ی سفیدی با مقدار ۵۱/۲ درصد در تیمار A مشاهده شد (شکل ۶ a). نتایج مطالعات مشابه نشان می‌دهد که درجه‌ی سفیدی برنج در سامانه‌های تبدیل استان مازندران بین ۵۵/۳۷ تا ۵۹/۷۰ درصد گزارش شده است (۹). همچنین در پژوهشی دیگر، درجه‌ی سفیدی برنج در سامانه‌های تبدیل مجهز به خشک‌کن‌های ایستاده‌ی گردش مجدد و خشک‌کن‌های متداول به ترتیب ۵۸/۶۰ و ۶۰/۰۳ درصد محاسبه گردیده است (۱۰). در بررسی اثر میزان سفیدشدگی بر کیفیت پخت برنج نیز گزارش شده است که افزایش درجه‌ی سفیدشدگی از ۲ تا ۱۸ درصد موجب بهبود کیفیت پخت می‌شود، به‌گونه‌ای که محدوده‌ی ۱۰ تا ۱۳ درصد سفیدشدگی به‌عنوان بازه‌ی بهینه برای دستیابی به بهترین شاخص‌های کیفیت پخت پیشنهاد شده است (۱۸).

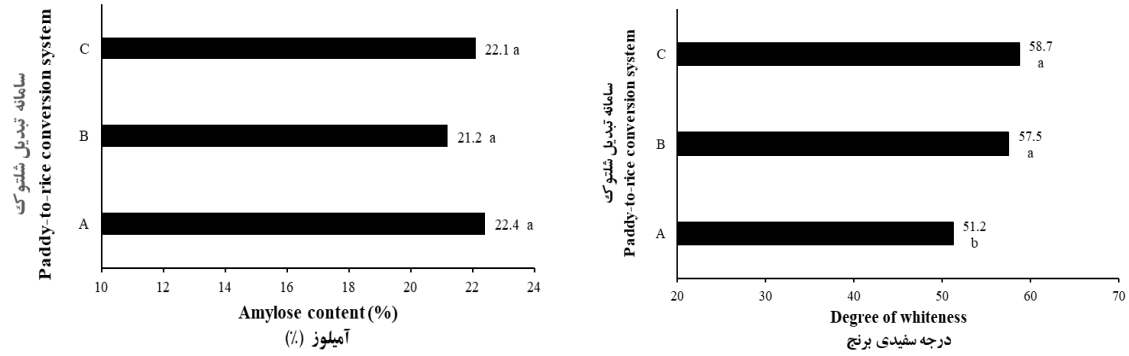
در پژوهش حاضر، فاکتورهای کیفی مرتبط با پخت برنج شامل درصد آمیلوز، درجه ژلاتینه شدن و نسبت طویل شدن دانه پس از پخت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که بین برنج سفید تولیدشده در سه شالیکوبی مورد مطالعه، از نظر این شاخص‌های کیفی تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۲). با توجه به یکسان بودن نوع شلتوک مورد استفاده در هر سه شالیکوبی، دستیابی به چنین نتیجه‌ای قابل پیش‌بینی بود. درصد آمیلوز برنج در شالیکوبی‌های نوع A، B و C به‌ترتیب ۲۲/۴، ۲۱/۲ و ۲۲/۱ درصد تعیین شد (شکل ۶ b). میزان آمیلوز در برنج نقش تعیین‌کننده‌ای در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و در نهایت در کیفیت پخت و مصرف آن دارد. برنج‌هایی با درصد آمیلوز بالاتر، پس از پخت بافتی نرم‌تر و چسبندگی کمتری دارند و همچنین دیرتر هضم می‌شوند. در مطالعات مشابه، میزان آمیلوز برنج در استان مازندران در محدوده‌ی ۲۱/۵ تا ۲۱/۹ درصد گزارش شده است (۹). مقادیر درجه ژلاتینی شدن و نسبت طویل شدن دانه پس از پخت در شکل ۷ ارائه شده‌اند. درجه ژلاتینی شدن بیانگر توانایی دانه برنج در جذب آب و تبدیل نشاسته به ژل در اثر حرارت است. مقادیر درجه ژلاتینی شدن برنج حاصل از شالیکوبی‌های نوع A و B برابر با ۴/۶ و در نوع C ۴/۷ به دست آمد که از مقادیر گزارش‌شده در پژوهش گازر و همکاران (۹) در استان مازندران (۳/۷۷ تا ۳/۹۹) بالاتر بود. نسبت طویل شدن دانه پس از پخت نیز در برنج تولیدی شالیکوبی نوع A برابر با ۱/۷ و در شالیکوبی‌های نوع B و C برابر با ۱/۸ اندازه‌گیری شد. این نسبت در مطالعات انجام‌شده در استان مازندران حدود ۱/۶ گزارش گردیده است (۹).



B A

شکل (۵) مقایسه میانگین درصد شکستگی برنج سفید بعد از صیقل دهنده با استفاده از آزمون LSD (a) و مقایسه راندمان تبدیل شلتوک به برنج سفید با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد

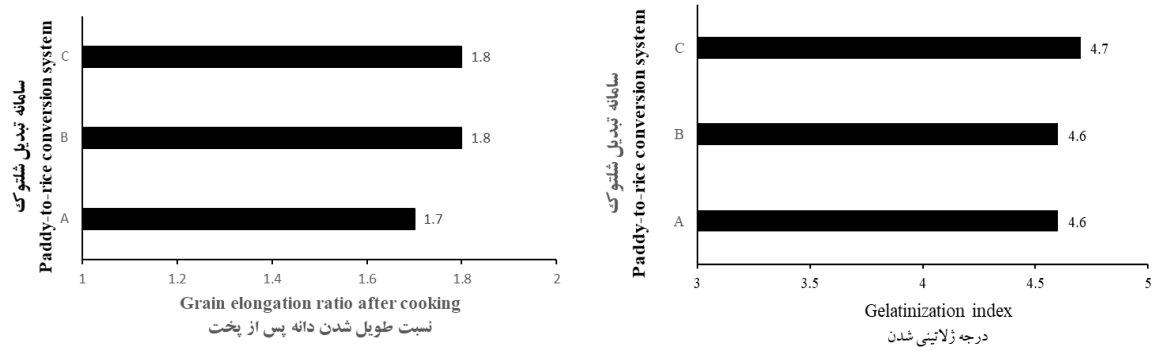
Figure (5) Comparison of the mean percentage of broken white rice after polishing using the LSD (a) and comparison of the paddy-to-white rice conversion efficiency using Duncan's test at the 5% level.



B A

شکل (٦) مقایسه میانگین درجه سفیدی برنج (a) و درصد آمیلوز (b) در شالیکوبی‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Figure (6) Comparison of the mean degree of whiteness of rice (a) and the percentage of amylose (b) in different rice mills using Duncan's test at a probability level of 5%.



B A

شکل (۷) مقادیر درجه ژلاتینی شدن (a) و نسبت طویل شدن دانه پس از پخت برنج (b) به دست آمده از شالیکوبی های مختلف

Figure (7) Gelatinization degree values (a) and the ratio of grain elongation after rice cooking (b) obtained from different rice mills.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی فرآیند تبدیل شلتوک و گردآوری داده‌های واقعی از مراحل مختلف خشک‌کردن، پوست‌کنی و سفیدکردن در کارخانه‌های شالیکوبی استان خوزستان انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که نوع کارخانه شالیکوبی تأثیر معناداری بر برخی شاخص‌های کمی و کیفی برنج، از جمله درصد ناخالصی شلتوک، میزان شکستگی برنج (در حالت قهوه‌ای و سفید) و درجه سفیدی دارد. در مقابل، راندمان تبدیل و پارامترهای کیفی اصلی برنج نظیر درصد آمیلوز، درجه ژلاتینی شدن و نسبت طویل شدن دانه پس از پخت تحت تأثیر نوع کارخانه قرار نگرفتند. بررسی‌ها نشان داد که استفاده از دستگاه بوجاری دومرحله‌ای موجب کاهش چشمگیر میزان ناخالصی در شلتوک ورودی به خط تولید می‌شود. همچنین، به‌کارگیری سیستم سفیدکن سایشی نسبت به سفیدکن تیغه‌ای میزان شکستگی برنج سفید را کاهش داده و در نتیجه کیفیت نهایی محصول را بهبود می‌بخشد. هرچند دو شالیکوبی B و C از سیستم‌های مشابه بهره می‌گیرند، تفاوت در مدل و تنظیمات دستگاه‌ها منجر به اختلاف در درجه سفیدی و درصد شکستگی برنج در این دو کارخانه شده است. از این رو، انتخاب صحیح نوع تجهیزات به‌ویژه دستگاه‌های پوست‌کن و سفیدکن نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود کیفیت، کاهش ضایعات و افزایش ارزش اقتصادی محصول در استان خوزستان دارد. بر پایه نتایج این مطالعه، استفاده از پوست‌کن غلطک لاستیکی برای فرآوری رقم عنبربو در استان خوزستان توصیه می‌شود. ضایعات بالای ناشی از استفاده از پوست‌کن‌های تیغه‌ای می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده در توسعه کشت ارقام دانه‌بلند و پرمحصول در استان خوزستان محسوب شود. نتایج همچنین نشان داد که راندمان تبدیل میان انواع شالیکوبی تفاوت معناداری ندارد؛ بنابراین، راندمان سامانه‌های وارداتی و سنتی در استان خوزستان تقریباً در یک سطح قرار دارد. درجه سفیدی برنج در کارخانه‌های دارای صیقل‌دهنده بالاتر است، هرچند فاکتورهای کیفی اصلی شامل درصد آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی شدن و نسبت طویل شدن دانه پس از پخت بین سه نوع شالیکوبی تفاوت آماری معنی‌داری نشان ندادند. این موضوع بیانگر آن است که می‌توان با انتخاب و تنظیم صحیح تجهیزات، کیفیت ظاهری برنج را بهبود بخشید بدون آن‌که ویژگی‌های ذاتی دانه تغییر یابد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، کارخانه‌های شالیکوبی مشابه با نمونه‌های B و C از نظر خواص بیوفیزیکی و کیفیت تبدیل، عملکرد بهتری در فرآوری شلتوک رقم عنبربو و ارقام مشابه آن نسبت به شالیکوبی‌های سنتی نشان می‌دهند. در نتیجه، به منظور ارتقای عملکرد شالیکوبی‌ها در استان خوزستان، به‌کارگیری پوست‌کن غلطک لاستیکی و سفیدکن سایشی به‌جای پوست‌کن تیغه‌ای توصیه می‌شود. با توجه به شرایط اقلیمی و تنوع ارقام محلی، انجام بازنگری دقیق و کارشناسی در ساختار و تجهیزات اغلب شالیکوبی‌های محلی برای کاهش ضایعات و افزایش بازده فرآیند ضروری است.

سپاس گزاری

از دانشگاه شهید چمران اهواز و حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر حمایت مالی در قالب پژوهانه (SCU.AA98.29747) تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل همکاری ارزشمند، حمایت مالی، و در اختیار قرار دادن داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Afzalinia, S., Shaker, M. and Zare, E. 2004. Comparison of different rice milling methods. *Canadian biosystems engineering*, *46*(3):63-66. DOI: https://library.csbe-scgab.ca/docs/journal/46/c0244.pdf.
2. Anonymous. 2023. Agricultural Statistics, Volume 1: Crops. Ministry of Agricultural Jihad. 323 (in Persian).
3. Aquerreta, J., Iguaz, A., Arroqui, C., and Virseda, P. 2007. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. *Journal of Food Engineering*, 80: 611-618. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.012.
4. Aung, Y. 2017. *Food Losses in Rice Milling, Crop Improvement*. Springer, Cham.
5. Bao, J. 2019. *Rice milling quality. In Rice*. AACC International Press.
6. Bodie, A. R., Micciche, A. C., Atungulu, G. G., Rothrock Jr, M. J., and Ricke, S. C. 2019. Current trends of rice milling byproducts for agricultural applications and alternative food production systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3(47):1-13. DOI: 10.3389/fsufs.2019.00047.
7. Donlao, N. 2023. *Postharvest Processing of Rice, Science of Rice Chemistry and Nutrition*. Springer, Singapore.
8. FAO. 2023. Rice Market Monitor. Rome: Food and Agriculture Organization.
9. Gazor, H., Alizadeh, M., and Younesi, M. 2016. Comparison of operational parameters and energy consumption in rice milling systems (Case Study in Mazandaran Province). *Agricultural Mechanization and Systems Research*, *17*(66): 15-28 (in Persian with English abstract). DOI: https://doi.org/10.22092/erams.2016.106415.
10. Gazor, H.R., and Moumeni, A. 2019. Comparison of the paddy drying process and milling quality between re-circulating and conventional batch type dryers. *Journal of Agricultural Machinery*, *9*(2): 365-374 (in Persian with English abstract). DOI: https://doi.org/10.22067/jam.v9i2.72761.
11. Ghasemi Varnamkhasti, M., Mobli, H., Jafari, A., Heidari Soltanabadi, M., and Rafiee, S.H. 2008. Investigation of Rice Quality of Sorkheh Variety Using a Rotor Equipped with Screw Conveyor in Blade Whitener. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *12*(44): 257-266 (in Persian with English abstract). DOI: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.20.5.
12. Gourabjiri, M., Firouzi, S., and, Aminoanah, H. 2017. Analysis of Factors Affecting Rice Breakage Losses in Guilan Province. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 47(4):747-760 (in Persian with English abstract). DOI: 20.1001.1.20084803.1395.47.4.17.4.
13. Habibi Asl, J., and Kavoosi-Balootaki, J. 2019. Technical Evaluation and Efficiency of two Solar Collector Types for Paddy Drying in Khuzestan Province. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(72):91-108, (in Persian with English abstract). DOI: https://doi.org/10.22092/erams.2018.110975.1201.
14. Habibi Asl, J., Loveimi, N., and Gilani, A. A. 2009. Mechanized Dry Seeding Methods for Rice in Khuzestan. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 10(1): 81-96, (in Persian with English abstract). DOI: 20.1001.1.26454531.1388.10.1.6.8
15. Heidariesoltanabadi, M., Malek, S., Ghazvini, H.R., Shaaker, M., and Hedayatizadeh, M. 2010. Losses in blade and abrasive systems by moisture content for three rice varieties. *Food Engineering Research*, 11(1):67-84 (in Persian with English abstract). DOI: 20.1001.1.26454531.1389.11.1.5.4.
16. IRRI. 2022. *World Rice Statistics*. Los Baños: International Rice Research Institute
17. Kalpanadevi, C., Singh, V., and Subramanian, R. 2019. Impact of physicoc-hemical properties on duration and head rice yield during abrasive and friction milling of rice. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8): 3900-3909. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-019-03861-z.
18. Mohapatra, D., and Bal, S. 2007. Effect of degree of milling on specific energy consumption, optical measurements and cooking quality of rice. *Journal of Food Engineering*, *80*(1): 119-125. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.055.

19. Qu, X., Kojima, D., Wu, L. and Ando, M. 2021. The losses in the rice harvest process: A review. *Sustainability*, 13(17): 9627. DOI: https://doi.org/10.3390/su13179627.

20. Saikia, D., and Deka S.C. 2011. Cereals: from staple food to nutraceuticals. *International Food Research Journal*, 18(1): 21-30.

21. Shaker, M. 2006. Determination of the most proper of paddy prevalent varieties moisture content range during milling in Fars province. Research report No. 85.1345. Agricultural engineering research institute. Karaj (in Persian with English abstract).

22. Shaker, M., Rahimi, H., Shahamirian, M., and Alavimanesh, S.M. 2017. Technical, Economical and Nutritional Evaluation of Different Long Kernel Rice Milling Methods in Fars Province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *48*(2): 315-323 (in Persian with English abstract). DOI: 10.22059/ijbse.2017.62473.

23. Shwetha, M.K., Mahajanashetti, S.B., and Kerur, N.M. 2011. Economics of paddy processing: a comparative analysis of conventional and modern rice mills. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24 (3): 331-335.

24. Singh, V., Lal, G.M. and Devi, S.V., 2019. Studies on genetic divergence in rice germplasm (Oryza sativa L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 10(4): 1593-1599. DOI: 10.5958/0975-928X.2019.00205.9.

25. Tajaddoditalab, K., Latifi, A., Alizadeh, M.R., Habibi, F., and Tavasoli, V. 2013. Effect of dryer temperature, final paddy moisture content and whitener on head rice and cooking quality of some Iranian rice varieties. Research report No. 44952. Rice research Institute of Iran. (in Persian).

26. Tajaditalab, K. 2002. The effect of pre-steaming on the drying and conversion efficiency of rice paddy. Rice Research Institute of Iran (in Persian).

27. Tie, X. Y., An, N. N., Li, D., Wang, L. J., and Wang, Y. 2024. Recent advances in rice milling technology: effect on nutrient, physical properties and digestibility. *Food Reviews International*, *40*(8): 2256-2282. DOI: https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2272932.

28. Tuncel, N. Y., Andac, A. E., Kaya, H. P., and Tuncel, N. B. 2025. The impact of milling degree on physicochemical, nutritional, rheological, textural properties, and in vitro digestibility of rice: From brown rice to white rice. *Food Chemistry*, 464, 141795. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141795.

29. Yehia, M. E., and Katab, A. R. 2018. Effect of Hulling Machines on Hulling Characteristics and Quality of Rice Grains. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 35(1): 259-274. DOI: 10.21608/mjae.2018.96055.