ارزیابی و معرفی مناسب‌ترین خشک‌کن پسته از میان چهار نوع خشک‌کن رایج در استان کرمان

مسعود ابوالهادی[۱]، مجید دولتی[۲*]، مرتضی آغباشلو[۳]، احمد شاکر اردکانی[۴]

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور مقایسه چهار نوع خشک‌کن متداول پسته در استان کرمان شامل خشک‌کن‌های واگنی و خشک‌کن‌های کالسکه‌ای گازسوز و دیزلی از نظر تأثیر بر میزان خندانی، آسیب‌دیدگی، یکنواختی خشک‌کردن، مدت‌زمان انبارداری، کیفیت پسته نهایی، میزان سوخت مصرفی، راندمان انرژی و عوامل اقتصادی جهت انتخاب مناسب‌ترین خشک‌کن پسته انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها از دو نوع پسته کشیده و گرد استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد؛ الف- در خشک‌کن واگنی دیزلی به دلیل استفاده از دمای هوای بالاتر(۹۰ درجه سانتی گراد) و ضخامت نسبتا کمتر توده محصول داخل مخزن (۲۰ سانتی متر)، میزان خندانی بیشتر بود. خشک‌کن‌های واگنی گازسوز و دیزلی به دلیل عدم استفاده از همزن، حدود ۳۹ درصد آسیب کمتری به پسته‌ها وارد می‌کردند. درمجموع خشک‌کن‌های واگنی نسبت به خشک‌کن‌های کالسکه‌ای مصرف سوخت کمتری (تقریبا ۵۰ درصد) داشتند. د- خشک‌کن کالسکه‌ای گازی به دلیل استفاده مداوم از همزن، دارای یکنواختی خشک‌کردن بالاتری بود. ه- نوع خشک‌کن‌ها و مدت‌زمان انبارداری در محدوده صفر الی شش ماه بر روی درصد چربی، عدد پراکسید و کیفیت پسته تأثیر معنی‌داری نداشتند. و خشک‌کن واگنی گازسوز نسبت به سایر خشک‌کن‌ها هزینه‌های کمتری داشت. خشک‌کن واگنی گازسوز نسبت به سایر خشک‌کن‌ها راندمان انرژی بالاتری (حدود ۱۵ درصد) داشت. نوع پسته بر پارامترهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: انرژی، خشکبار، خشک‌کردن، راندمان، هزینه

[۱] گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

[۲] گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

[*]نویسنده مسئول: m.dowlati@basu.ac.ir

[۳] گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۴] پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

مقدمه

ارزش غذایی، خوشمزگی، هضم راحت و کالری بالا از ویژگی‌هایی است که پسته را در میان اکثر میوه‌ها برتر ساخته است. پسته حاوی انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی، چربی و اسیدهای چرب غیر اشباع و ضروری برای انسان است (محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲) و (Ghandehari Yazdi et al., 2021).

در ایران، بر اساس آخرین برآوردهای وزارت جهاد کشاورزی، حدود ۱۶ درصد از محصولات زراعی و حدود ۲۸ درصد از فرآورده های باغی در مراحل مختلف تولید تا مصرف از بین میروند که بخشی از آن به دلیل کمبود صنایع تبدیلی است (صفری و دهقان، ۱۳۹۷).

خشک‌کردن محصولات غذایی عبارت است از خارج کردن کامل یا قسمت عمده آب محصول در شرایط کنترل‌شده، به‌طوری‌که این عمل با حداقل تغییرات دیگر همراه باشد (شاکر اردکانی، الف ۱۳۸۶) و (Ghandehari Yazdi et al., 2021). خشک‌کردن یکی از مهم‌ترین مراحل فرآوری پسته است و بهینه‌سازی آن باعث بهبود کیفیت نهایی محصول می‌شود (کاشانی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۴). درواقع یک سامانه فرآوری پسته، مجموعه‌ای به‌هم‌پیوسته از دستگاه‌ها و ماشین‌هایی است که عملیات پوست‌گیری، شستشو و تمیزکردن، گوگیری، نم‌گیری، پوک‌گیری، بازرسی و خشک‌کردن محصول را انجام می‌دهند (تاج‌آبادی‌پور، ۱۳۹۰).

به‌طورکلی خشک‌کردن مواد حدود ده درصد از کل انرژی مصرفی در صنایع غذایی را به خود اختصاص می‌دهد (Smith, 2007). خشک کردن در عمل فرآیندی است که انرژی ورودی بسیاری را به دلیل گرمای نهان تبخیر بالای آب و بازده نسبتاً پایین خشک‌کن‌های هوای داغ صنعتی موجود نیاز دارد (Aghbashlo et al., 2009). مصرف انرژی در کشاورزی ایران بیش از مصرف بین‌المللی برای تولید محصول و حتی بیش از مقدار محاسبه‌شده برای بدترین شرایط ممکن است (بهروزی‌لار و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در صنایع تولید خشکبار، کاهش هزینه منابع انرژی برای تولید محصولات خشک باکیفیت مطلوب می‌باشد (مختاریان و همکاران، ۱۳۹۶).

فرآیند خشک‌کردن پسته در میزان خندانی و آسیب‌دیدگی، کیفیت، شاخص عمر ماندگاری (عدد پراکسید) و تخریب محتوای چربی در اثر اکسیداسیون در طول مدت‌زمان انبارداری مؤثر است و تمام صفات ذکرشده به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر قیمت‌گذاری و بازار پسندی محصول تأثیرگذار است (Shakerardekani et al., 2019). از طرفی مرحله خشک‌کردن پسته انرژی بیشتری نسبت به سایر مراحل فرآوری مصرف می‌کند و در همه پایانه‌های فرآوری

پسته پرمصرف‌ترین نهاده سوخت است که بیش از ۸۰ درصد کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد (زارع نظری بیاض و همکاران، ۱۳۹۲).

خشک‌کن‌ها در یکنواختی خشک‌کردن پسته عملکرد متفاوتی دارند. اگر رطوبت پسته‌های خروجی از خشک‌کن بیش از حد مجاز در استاندارد (۵ درصد) باشد احتمالاً دچار فساد و کپک‌زدگی و همچنین باعث آسیب به پسته‌های خشک مجاور می‌شوند(Shakerardakani et al., 2011). درصورتی‌که محصول، مدت‌زمان بیشتری درون خشک‌کن نگه‌داری گردد تا پسته‌هایی که رطوبت آن‌ها بالای پنج درصد است کاهش پیدا کند پسته‌هایی که از قبل رطوبت آن‌ها در حد استاندارد پنج درصد کاهش پیدا کرده، دچار سوختگی می‌شوند که سبب کاهش کیفیت، ارزش اقتصادی و بازارپسندی آن‌ها می‌شود و از طرفی خشک‌کن‌ها انرژی زیادی مصرف می‌کنند(Shakerardakani et al., 2011). خشک‌کن‌ها عملکرد متفاوتی در خندانی[1] پسته دارند. یکی از عوامل تأثیرگذار در قیمت پسته، درجه خندانی است (شرافتی، ۱۳۹۱). خندانی، باعث افزایش بازارپسندی پسته می‌شود. همچنین خشک‌کن‌ها عملکرد متفاوتی در کاهش آسیب‌دیدگی[2] به پسته دارند. بدیهی است آسیب‌دیدگی، باعث کاهش ارزش اقتصادی، کیفیت و بازارپسندی پسته می‌شود (Mokhtarian et al., 2021) و (Stanislawski, 2005).

در مقایسه با دیگر محصولات غذایی، می‌توان گفت مطالعات بر روی فرآیند خشک‌کردن دانه‌های پسته کافی نیست؛ بنابراین، بایستی تحقیقات بیشتری به‌موازات افزایش تقاضایِ جهانیِ این محصول انجام شود.(Mokhtarian et al., 2021) بنابراین نتایج این تحقیقات می‌تواند در طراحی و شبیه‌سازی صحیح و دقیق دستگاه‌های خشک‌کردن به‌کار گرفته شود (کاشانی نژاد و همکاران ۱۳۸۴).

لذا این پژوهش به‌منظور ارزیابی و معرفی مناسب‌ترین خشک‌کن پسته از میان چهار نوع خشک‌کن رایج در استان کرمان با دو نوع پسته گرد[3] و پسته کشیده[4] انجام شد. چهار نوع خشک‌کن پسته شامل خشک‌کن کالسکه‌ای با سوخت دیزل، خشک‌کن کالسکه‌ای با سوخت گاز، خشک‌کن واگنی با سوخت دیزل، خشک‌کن واگنی با سوخت گاز و تیمار شاهد

[1] پسته خندان: شاخصی به ضخامت دو میلی‌متر از دهانه آن عبور کند. سازمان ملی استاندارد ایران

[2] آسیب‌دیدگی: به جدا شدن مغز از پوست استخوانی پسته گفته می‌شود. سازمان ملی استاندارد ایران

[3] منظور از پسته گرد پسته‌ای است که نسبت طول پسته به بزرگ‌ترین قطر آن کمتر یا مساوی ۱/۵۲ است.

[4] منظور از پسته کشیده پسته‌ای است نسبت طول پسته به بزرگ‌ترین قطر آن بیشتر ۱/۵۲ است.

(خشک‌کردن مستقیم با تابش خورشید یا آفتاب خشک‌کن)، بود. معیارهای مقایسه شامل میزان خندانی، میزان آسیب‌دیدگی، تغییر در درصد روغن پسته، عمر ماندگاری، یکنواختی خشک‌کردن، میزان سوخت مصرفی، راندمان انرژی و عوامل اقتصادی بود. لازم به ذکر است معیارهای کیفیت پسته از جمله تردی و شکننده بودن، شکست‌پذیری، کرانچی، وضعیت ظاهری، تندی، شیرینی و تلخی نیز مطابق استاندارد اندازه‌گیری و بررسی شدند ولی با توجه به معنی‌دار نشدن تأثیر نوع خشک‌کن بر این صفات و همچنین محدودیت تعداد صفحات مقاله از ارائه جزئیات آن خودداری می‌شود.

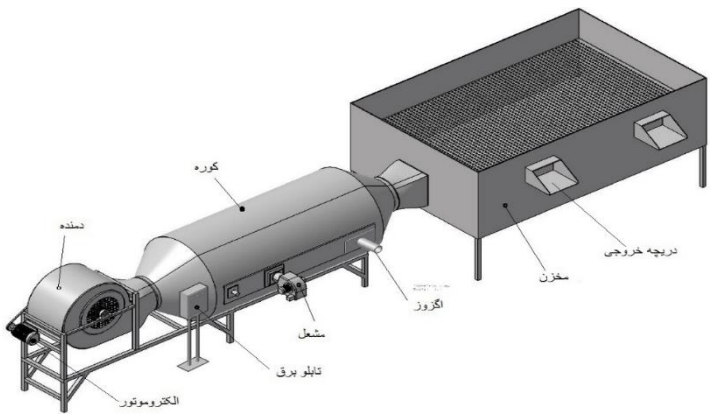
مواد و روش‌ها

۱- خشک‌کن‌های مورداستفاده

چهار نوع خشک‌کن پسته (بر اساس نوع سوخت و مدل ساختاری دستگاه با نام رایج) که در استان کرمان تولید شده و بیشترین موارد مصرف در این استان را داشته و رایج‌ترین خشک‌کن‌ها در این منطقه محسوب می‌شوند به شرح زیر انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.

۱-۱- خشک‌کن کالسکه‌ای با سوخت دیزل:

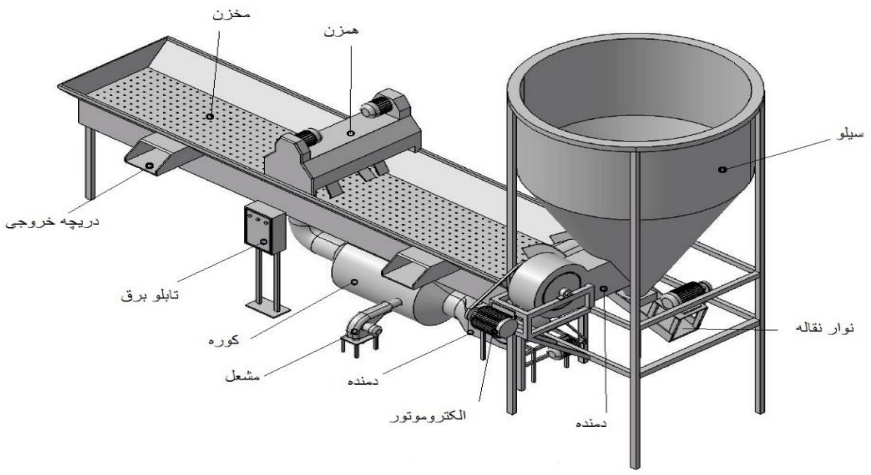
این نوع خشک‌کن دارای یک فن، مشعل دیزل، دیگ و مخزن بزرگی به گنجایش هفت‌تن است. کف مخزن از یک صفحه مشبک ساخته شده و توسط برزنت یا یک واسط فلزی بست دار به دیگ متصل می‌شود. هوای گرم با دمای ۶۰ درجه سلسیوس از داخل کانال و از طریق منافذ صفحه مشبک به تودهٔ پسته که با ضخامت ۴۰ سانتی‌متر داخل مخزن دمیده می‌شود. این نوع خشک‌کن دو مرحله‌ای است یعنی پسته با رطوبت ۳۱/۴ درصد وارد و با رطوبت ۱۲/۲ درصد از خشک‌کن خارج می‌شود و کاهش رطوبت از ۱۲/۲ درصد به شش درصد با پهن کردن در میدان موزائیکی و از طریق تابش آفتاب انجام می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. خشک‌کن کالسکه‌ای با سوخت دیزل

۲-۱- خشک‌کن کالسکه‌ای با سوخت گاز:

قسمت‌های مختلف این نوع خشک‌کن همانند خشک‌کن کالسکه‌ای با سوخت دیزل است با این تفاوت که گنجایش مخزن پنج‌تن[۱] است. هوای گرم با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به توده پسته به ضخامت هفت سانتی‌متر دمیده می‌شود. این نوع خشک‌کن تک‌مرحله‌ای است یعنی پسته با رطوبت ۳۷/۸ درصد وارد و با رطوبت پنج درصد از خشک‌کن خارج می‌شود (شکل ۲).



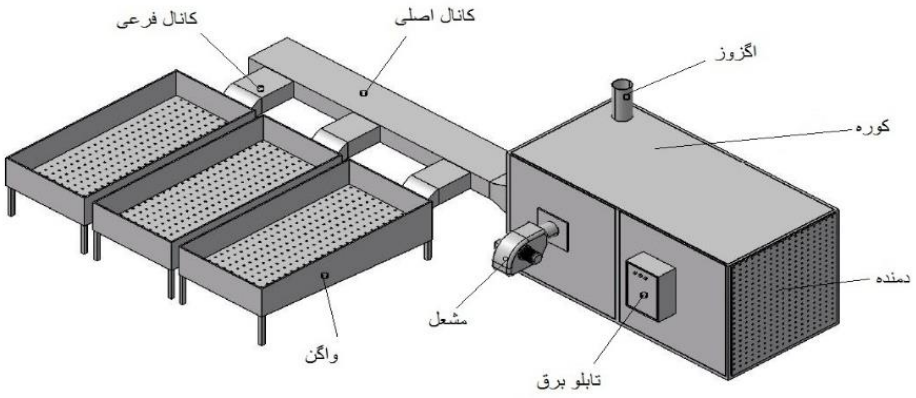
شکل ۲. خشک‌کن کالسکه‌ای با سوخت گاز.

۳-۱- خشک‌کن واگنی با سوخت گاز:

خشک‌کن واگنی دارای یک فن، مشعل گازسوز، دیگ، کانال و واگن‌هایی شبیه فرغون است. کف واگن‌ها از یک صفحه مشبک ساخته‌شده است و این صفحه بر روی محفظه‌ای با عمق متغیر قرار دارد. واگن‌ها توسط برزنت یا یک واسط فلزی بست‌دار به کانال متصل می‌شوند. هوای گرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس از داخل کانال و از طریق منافذ صفحه مشبک

[۳] هنگام داده برداری این تحقیق از تمام ظرفیت مخزن استفاده نشد، ظرفیت مخزن ۱۸۰۰ کیلوگرم بود.

به توده پسته که باضخامت ۲۵ سانتی‌متر داخل مخزن قرار می‌گیرد، دمیده می‌شود (شکل ۳).

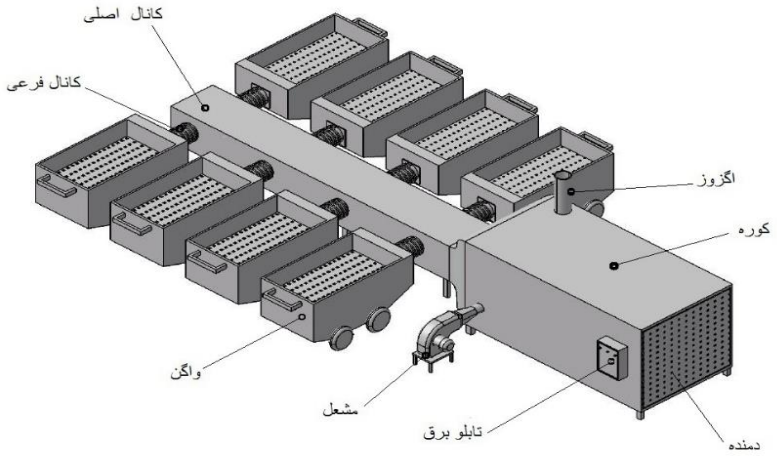


شکل ۳. خشک‌کن واگنی با سوخت گاز.

۴-۱- خشک‌کن واگنی با سوخت دیزل:

خشک‌کن واگنی دارای قسمت‌ها و طرز کاری همانند خشک‌کن واگنی با سوخت گاز است با این تفاوت که هوای گرم با دمای ۹۰ درجه سلسیوس به توده پسته به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر دمیده می‌شود و تعداد واگن‌ها[1] هشت عدد است. این نوع خشک‌کن دومرحله‌ای است یعنی پسته با رطوبت ۳۱/۵ درصد وارد و با رطوبت تقریبی ۲۰/۵ درصد از خشک‌کن خارج می‌شود (شکل ۴).

[1] هنگام داده‌برداری این تحقیق سه عدد واگن به خشک‌کن وصل بود.



شکل ۴- خشک‌کن واگنی با سوخت دیزل.

۲- خشک‌کردن با تابش مستقیم خورشید یا آفتاب خشک‌کن:

در این روش خشک‌کردن، پسته‌ها به‌صورت تک‌لایه در یک میدان موزائیکی در مقابل تابش آفتاب‌پهن و خشک می‌شوند (شکل ۵).

شکل ۵- خشک‌کردن با تابش مستقیم خورشید یا آفتاب خشک‌کن.

۳- ارزیابی کیفی پسته‌های خشک شده

۳-۱- روش تعیین میزان خندانی و کم‌خندانی پسته‌ها

حجمی از محصول (به تعداد تقریبی ۲۰۰ عدد دانه پسته) از هر دو رقم پسته کشیده و گرد در پنج تکرار برای خشک‌کن‌های واگنی، در ۱۰ تکرار برای خشک‌کن‌های کالسکه‌ای (به دلیل ظرفیت بالاتر) قبل از ورود به خشک‌کن و در پنج تکرار برای تیمار شاهد آفتاب خشک‌کن قبل از پهن کردن به طور تصادفی انتخاب و خندانی[۱] و کم خندانی[۲] پسته‌ها با استفاده از شاخص خندانی اندازه‌گیری شد. در نهایت از محصول خروجی خشک‌کن‌ها و شاهد نیز عینا مانند محصول ورودی نمونه برداری شد و میزان خندانی و کم‌خندانی پسته‌ها اندازه‌گیری شد. هم‌چنین مشابه نمونه‌های انتخاب بعد از خروج از خشک‌کن بخشی از محصول مشابه حجم و تکرارهای ورودی از هر خشک‌کن و شاهد به طور تصادفی انتخاب و خندان یا کم‌خندان بودن آن‌ها با استفاده شاخص خندانی اندازه‌گیری شد(Mokhtarian, et al., 2021).

۳-۲- روش تعیین میزان آسیب‌دیدگی پسته‌ها

برای مشخص‌کردن میزان آسیب‌دیدگی[۳]، حجمی از محصول به وزن تقریبی ۲۵۰ گرم از هر دو رقم پسته کشیده و گرد در پنج تکرار برای خشک‌کن‌های واگنی، در ۱۰ تکرار برای خشک‌کن‌های کالسکه‌ای قبل از ورود به خشک‌کن و در پنج تکرار برای تیمار شاهد قبل از پهن کردن بر روی میدان آفتابی به طور تصادفی انتخاب و تعداد پسته سالم و پوست شمارش و درصدگیری شد و بعد از خروج از خشک‌کن و جمع‌آوری از روی میدان آفتابی بخشی از محصول مشابه حجم و تکرارهای ورودی به طور تصادفی انتخاب و تعداد پسته سالم و پوست شمارش و درصدگیری شد. افزایش در درصد میزان آسیب‌دیدگی پسته‌های خروجی به همان نسبت نشان‌دهنده افزایش میزان آسیب‌دیدگی پسته‌ها بود (بی نام، ۱۳۹۲).

۳-۳- روش تعیین عدد پراکسید و تغییر در درصد روغن پسته

الف- روش تعیین عدد پراکسید (شاخص ماندگاری پسته): مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۴۱۷۹، روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی -

[۱] به پسته خشکی که شاخصی به ضخامت ۲ میلی‌متر از آن عبور کند گفته می‌شود. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۲

[۲] به پسته خشکی که شاخصی به ضخامت ۲ میلی‌متر از آن عبور نکند، اما پسته ناخندان نیز نباشد گفته می‌شود. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۲

[۳] به جدا شدن مغز از پوست استخوانی گفته می‌شود. سازمان ملی استاندارد ایران

اندازه‌گیری مقدار پراکسید به روش یدومتری - تعیین نقطه پایانی به روش چشمی، انجام شد (بی‌نام، ۱۳۸۷).

ب- مراحل روغن‌گیری: مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۶۲، روش اندازه‌گیری چربی غلات و فرآورده‌های آن، با استفاده از دستگاه سوکسله انجام شد (بی‌نام، ۱۳۸۳).

اندازه‌گیری عدد پراکسید و چربی، از تمامی تیمارها بلافاصله بعد از خشک‌شدن پسته (زمان صفر) و در زمان‌های دو، چهار و شش ماه بعد از خشک‌شدن در سه تکرار انجام گرفت(Mohajery, 2020).

۳-۴- روش تعیین یکنواختی خشک‌شدن

مقدار ۱۰۰ گرم پسته از دو رقم کشیده و گرد بعد از مدت‌زمان خشک‌کردن از سه قسمت مختلف در طول خشک‌کن و از سه عمق متفاوت خشک‌کن‌ها و از سه قسمت مختلف میدان آفتابی به‌صورت تصادفی برداشته شد. نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در آون نگهداری شد و سپس نمونه‌ها وزن شدند. میزان رطوبت پسته بر پایه خشک از رابطه ۱ محاسبه شد (رستمی و میردامادی‌ها، ۱۳۸۳).

$$X = \frac{A - B}{A} \times 100 \qquad (۱)$$

که دراین‌رابطه، X نشان‌دهنده رطوبت پسته و A وزن اولیه و B وزن ثانویه است.

در آمار، انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند. اگر انحراف معیار مجموعه‌ای از داده‌ها نزدیک به صفر باشد، نشانه آن است که داده‌ها نزدیک به میانگین هستند و پراکندگی اندکی دارند؛ درحالی‌که انحراف معیار بزرگ بیانگر پراکندگی قابل‌توجه داده‌ها می‌باشد. خشک‌کنی که انحراف معیار رطوبت پسته خارج‌شده از آن کمترین بود به‌عنوان مناسب‌ترین خشک‌کن ازلحاظ یکنواختی خشک شدن معرفی شد (رستمی و میردامادیها، ۱۳۸۳).

۵-۳- تعیین حجم سوخت مصرفی به‌ازای وزن آب تبخیر شده

الف- تعیین حجم گازوئیل مصرفی: با استفاده از مخزن مدرج کوچکی که برای مشعل در نظر گرفته شد بود، اندازه‌گیری و محاسبه شد.

ب- تعیین حجم گاز مصرفی: از آنجایی‌که کنتور گاز برای خشک‌کن و سایر مصرف‌کننده‌ها مشترک بود لذا امکان استفاده از اعداد و ارقام کنتور میسر نبود. برای مشخص‌کردن وزن گاز مصرفی از معادله ۲ استفاده شد (پورقاسمی رنجبر و همکاران، ۱۳۹۶).

$$Q_1 = Q_2 \qquad (۲)$$

که دراین‌رابطه Q1 توان گرمایی هوای داغ و Q2 توان شیمیایی سوخت است.

در معادله فوق Q1 از رابطه ۳ محاسبه شد؛

$$Q_1 = \dot{m} c \Delta\theta \qquad (۳)$$

که دراین‌رابطه، $\dot{m}$ نشان دهنده دبی جرمی هوای داغ برحسب کیلوگرم برثانیه، c گرمای ویژه هوا برحسب کیلوژول بر کیلوگرم درجه کلوین و $\Delta\theta$ اختلاف دمای محیط و دمای خشک‌کن برحسب کلوین می‌باشد.

$\dot{m}$ از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\dot{m} = \rho V A \qquad (۴)$$

که دراین‌رابطه V سرعت هوای داغ برحسب متر بر ثانیه، ρ چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر ثانیه و A سطح مقطع ورودی هوای داغ به محفظه خشک‌کن برحسب مترمربع است.

ρ با رابطه ۵ محاسبه شد.

$$\rho = \frac{M P}{R T} \qquad (۵)$$

که دراین‌رابطه:

M: جرم مولی هوا برحسب(kg/kmol)

P : فشار هوا برحسب (N/m2)

R: ثابت گازها۸/۳۱۴ برحسب(kJ/kmol,k)

T: دمای هوای گرم برحسب (k°)

و Q_2 با رابطه ۶ محاسبه شد.

$$Q_2 = \dot{m}_F q \qquad (۶)$$

که دراین‌رابطه:

$\dot{m}F$: مصرف سوخت برحسب (kg/s).

q: ارزش حرارتی سوخت برحسب (kJ/kg)

با استفاده از روابط بالا مصرف سوخت برحسب کیلوگرم بر ثانیه محاسبه شد و باتوجه‌به زمان کلی فرایند خشک‌کردن مصرف کلی سوخت به دست آمد.

ج- تعیین وزن آب تبخیر شده

با توجه به اینکه رطوبت بر پایه خشک پسته ورودی (Mdi) و خروجی (Mdo) به خشک‌کن، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه‌شده بود، وزن آب تبخیر شده از مجموع روابط ۷ محاسبه شد (Jahanbakhshi, et al., 2020).

رطوبت اولیه پسته (M_{W1}) بر پایه‌تر:

$$M_{W1} = \frac{100 M_{di}}{100 + M_{di}}$$

رطوبت ثانویه پسته (M_{W2}) بر پایه‌تر:

$$M_{W2} = \frac{100 M_{do}}{100 + M_{do}}$$

بنابراین کل آب موجود W_a در محصول:

$$W_a = M \times M_{W1}$$

وزن ماده خشک M_{di}:

$$M_{di} = M - Wa$$

وزن محصول M_{do} در رطوبت خروجی:

$$M_{do} = M_{di} \times \frac{100}{100 - M_{W2}}$$

مقدار آب تبخیر شده M_a طی فرایند خشک‌شدن برحسب کیلوگرم:

$$M_a = M - M_{do}$$

M وزن پسته ورودی به خشک‌کن است.

بنابراین با توجه به مقدار کلی سوخت مصرفی (برای گاز و گازوئیل به ترتیب برحسب کیلوگرم و لیتر) و وزن آب تبخیر شده برحسب کیلوگرم، وزن گاز یا حجم گازوئیل به‌ازای تبخیر یک کیلوگرم آب محاسبه شد.

$$E_h = Q_F \times E_F \times t \qquad (۱۰)$$

۶-۳-۲- تعیین راندمان انرژی

راندمان انرژی از رابطه ۸ محاسبه شد (Jahanbakhshi *et al*., 2020).

$$\text{راندمان انرژی} = \frac{\text{گرمایی نهان تبخیر} \times \text{مقدارآب تبخیر شده در طول فرآیند}}{\text{انرژی کارگری} + \text{انرژی الکتریسیته} + \text{انرژی سوخت}} \qquad (۸)$$

الف- انرژی مصرف‌شده برای خشک‌کردن پسته

انرژی مصرف‌شده برای خشک‌کردن پسته طبق رابطه ۹ محاسبه شد (Jahanbakhshi *et al*., 2020).

$$\mathbf{E_d = E_e \times M_e} \qquad (۹)$$

که دراین‌رابطه:

E_d : انرژی مصرف‌شده (kJ)، M_e : مقدار آب تبخیر شده در طول فرآیند(kg)، E_e : گرمایی نهان تبخیر که برای دمای هوای خشک‌کن ۶۰، ۷۵، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس به ترتیب از عددهای ثابت ۲۳۵۸/۵، ۲۳۲۱/۴، ۲۳۰۸/۸ و ۲۲۸۳/۲ استفاده شد (ملک‌زاده و کاشانی حصار، ۱۳۹۰). وزن آب تبخیر شده در طول فرآیند از مجموع روابط ۷ برحسب کیلوگرم محاسبه شد.

ب- انرژی حرارتی

- انرژی حرارتی دیزل

برای محاسبه انرژی، توان محاسبه‌شده در زمان انجام فرایند ضرب می‌شود (بهروزی‌لار و همکاران، ۱۳۹۱).

انرژی حرارتی دیزل از رابطه ۱۰ محاسبه شد.

که دراین‌رابطه:

ارزش حرارتی دیزل kJ/L۴۰۲۴۰ است (ایزد خواه شیشوان، ۱۳۸۹).

E_h : انرژی حرارتی(kJ)،

Q_F: سوخت دیزل مصرفی(L/s)،

E_F : انرژی حرارتی(kJ/s)،

t : زمان انجام فرآیند (s)

- انرژی حرارتی گاز

انرژی حرارتی گاز هم مطابق رابطه ۱۰ و بر اساس واحدهای مربوطه ذیل محاسبه شد.

E_h : انرژی حرارتی (kJ)، E_F : ارزش حرارتی(kJ/kg). t: زمان انجام فرآیند (s)

ارزش حرارتی گاز (kJ/kg) ۴۴۶۶۱ در نظر گرفته شد.

ج- انرژی الکتریسیته

توان الکتریسیته از رابطه ۱۱ محاسبه شد (Hepbasli *et al*., 2010).

$$\mathbf{W} = \frac{VI\sqrt{3}\cos\varphi}{1000}\eta_{mech}\eta_{elec} \qquad (۱۱)$$

و

$$\mathbf{E = W \times t}$$

که در این رابطه:

W:توان الکتریسیته (kw)　　I: شدت‌جریان(A)

cosφ: ضریب قدرت الکتروموتور　　V:اختلاف پتانسیل یا ولتاژ (V)

E: انرژی (kJ)　　t: زمان انجام فرایند (s)

η: راندمان الکتروموتور و زیروندهای *elec* و *mech*، به ترتیب به معنای الکتریکی و مکانیکی هستند.

د- انرژی کارگری

انرژی کارگری با رابطه ۱۲ محاسبه شد و بدین منظور مدت‌زمان کارگری هر خشک‌کن برحسب ثانیه از طریق مشاهده ثبت شد و ارزش کارگری برابر با (زارع نظری بیاض و در نظر گرفته شد ۰/۵۴۵(kJ/s) همکاران، ۱۳۹۲).

$$E_L = E_{LV} \times t \qquad (۱۲)$$

دراین‌رابطه:

E_L: انرژی کارگری(kJ)

E_{Lv}: ارزش کارگری(kJ/s)

t : مدت‌زمان کارگری (s)

۷-۳- بررسی عوامل اقتصادی

در این قسمت به بررسی عوامل اقتصادی، جهت مقایسه کلی بین خشک‌کن‌ها پرداخته شده است. هزینه ماشین‌های فرآوری محصولات کشاورزی به دو دسته هزینه ثابت و متغیر تقسیم می‌شوند. هزینه‌های ثابت هزینه‌هایی هستند که میزان استفاده از ماشین در طول سال تأثیر چندانی روی آن‌ها ندارد مانند استهلاک، بهره سرمایه، سایبان، بیمه و مالیات. هزینه متغیر هزینه‌هایی هستند که با میزان استفاده از ماشین در طول سال نسبت مستقیم دارند مانند هزینه تعمیرات (تعمیرات پیشگیری و اتفاقی)، روغن و سوخت، کارگر و سرویس.

الف- هزینه‌های ثابت

استهلاک: به کاهش ارزش اقتصادی ماشین در اثر گذشت زمان گفته می‌شود و به روش خطی با رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۱).

$$D = \frac{P - S}{L} \qquad (۱۳)$$

که دراین‌رابطه:

D: مبلغ استهلاک ماشین در سال، P: قیمت اولیه ماشین، S: ارزش اسقاطی ماشین (۱۰ درصد قیمت اولیه ماشین منظور شود)، L: عمر مفید ماشین.

بهره سرمایه: مقداری از بهره هرساله به سرمایه‌ای که صرف خرید ماشین‌آلات می‌شود تعلق می‌گیرد که باید در محاسبات هزینه به‌حساب آورده شود که برای محاسبه آن از رابطه ۱۴ استفاده شد (یوسفی، ۱۳۹۱).

$$I = (\frac{p + s}{2}) \times i \qquad (۱۴)$$

که دراین‌رابطه:

I: بهره سرمایه در سال، P: مبلغ استهلاک ماشین در سال، S: ارزش اسقاطی ماشین (۱۰ درصد

قیمت اولیه ماشین منظور شود)، i: نرخ بهره[1]، نرخ بهره با توجه به آمار بانک مرکزی در زمان پژوهش ۲۰ درصد منظور شد.

سوله یا ساختمان ترمینال ضبط پسته: باتوجه‌به کل متراژ سایبان هر خشک‌کن و عمر مفید سایبان، هزینه سالیانه سایبان منظور شد. همچنین عمر مفید یک سوله بر اساس تحقیق میدانی و منابع موجود،۲۰ سال در نظر گرفته شد (بهروزی لار، ۱۳۹۱).

بیمه: بیمه ماشین‌های ثابت کشاورزی در ایران رایج نیست (یوسفی، ۱۳۹۱).

مالیات: در ایران قانونی برای دریافت مالیات از ماشین‌های ثابت کشاورزی وجود ندارد (یوسفی، ۱۳۹۱).

ب- هزینه‌های متغیر

هزینه تعمیرات

تعمیرات پیشگیری: در این تعمیرات طبق برنامه زمان‌بندی‌شده از اجزا و تجهیزات ماشین بازدید می‌شود و چنانچه نقصی مشاهده گردد آن را رفع می‌کنند.

تعمیرات اتفاقی: این تعمیرات درزمانی که یکی از دستگاه‌ها یا قطعه‌های ماشین به طور ناگهان از کار بیفتد و معمولاً تعمیر آن جنبه ضروری پیدا می‌کند انجام می‌شود. معمولاً به طور متوسط ۷ درصد قیمت خرید ماشین جهت هزینه تعمیرات در نظر گرفته می‌شود (یوسفی، ۱۳۹۱). این هزینه بر سال‌های عمر مفید ماشین تقسیم می‌شود.

هزینه سوخت مصرفی: بر اساس حجم سوخت دیزل مصرفی در ساعت و وزن گاز مصرفی در ساعت که با رابطه ۱ محاسبه شد، قیمت سوخت مصرفی با رابطه ۱۵ به دست آمد.

(۱۵)

$$\text{هزینه سوخت مصرفی} \left(\frac{\text{تومان}}{\text{ساعت}}\right) = \text{هزینه سوخت مصرفی} \left(\frac{\text{تومان}}{\text{سال}}\right)$$
$$\text{تعداد ساعات کار دستگاه در روز} \left(\frac{\text{ساعت}}{\text{روز}}\right) \times$$
$$\text{تعداد روزهای روشن بودن خشک‌کن} \left(\frac{\text{روز}}{\text{سال}}\right) \times$$

هزینه الکتریسیته مصرفی و هزینه کارگر مشابه سوخت مصرفی محاسبه شد.

درنهایت مجموع هزینه‌های مصرفی در سال با رابطه ۱۵ محاسبه شد.

$$\mathbf{AC = D + I + P + R + F + L + E} \qquad ۱۵$$

که دراین‌رابطه؛

AC: جمع هزینه‌ها در سال، D: استهلاک، I: بهره سرمایه، P: هزینه سوله، R: هزینه تعمیرات، F : هزینه سوخت، L: هزینه کارگر و E: هزینه الکتریسیته.

برای آنالیز صفات اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 و آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح یک درصد استفاده شد.

[1] به بهای پول وام گرفته‌شده نرخ بهره اطلاق می‌شود

نتایج و بحث

۱- کلیات

نتایج تجزیه واریانس تیمارها بر صفات مورد بررسی در جدول ۱ آمده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر نوع خشک‌کن بر تمامی صفات به‌جز چربی معنی‌دار بوده است.

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثر نوع خشک‌کن بر صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
میزان خندانی	۹	۱۴۴/۲۳	۱۲/۰۲**
میزان آسیب‌دیدگی	۹	۰/۲۸	۲۴/۰۲**
عدد پراکسید	۳۹	۰/۰۳۹	۲/۱۴**
درصد چربی	۳۹	۲۳/۰۸	۱۰/۷۲ns

** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ و ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

۲- میزان خندانی و آسیب‌دیدگی

افزایش میزان خندانی و کاهش میزان آسیب‌دیدگی از عوامل تأثیرگذار بر قیمت پسته، کیفیت و بازارپسندی است. جدول ۲ نتایج مقایسه میانگین میزان خندانی و آسیب‌دیدگی، در سطح ۱٪ را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد: الف- اثر نوع خشک‌کن بر میزان خندانی در سطح ۱٪ معنی‌دار است. ب- میزان خندانی تیمار شاهد بالاتر است زیرا پسته‌ها به‌صورت تک‌لایه در معرض نور خورشید قرار گرفتند و هیچ‌گونه محدودیت فضا و نیروی فشاری ندارند که با نتایج رستمی و میردامادی‌ها (۱۳۸۳) هم‌خوانی دارد. ج- هرچه دمای هوای خشک‌کن بالاتر باشد میزان خندانی نیز بالاتر است زیرا پسته‌ها قبل از اینکه وارد خشک‌کن شوند وارد مرحله شستشو و حوض شناوری، مرطوب و سرد شده‌اند در نتیجه هر چه دمای خشک‌کن بالاتر باشد شوک حرارتی بالاتری به پسته‌ها وارد شده است که با نتایج کاشانی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۴) و نظری و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد. د- در میزان خندانی پسته‌های گرد و کشیده‌ای که با یک نوع خشک‌کن خشک شدند اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که با نتایج نظری و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد.

نتایج میزان آسیب‌دیدگی در این جدول نشان می‌دهد: الف- اثر نوع خشک‌کن بر میزان آسیب‌دیدگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. ب- خشک‌کن‌هایی کالسکه‌ای که در حین خشک‌کردن پسته از همزن استفاده کردند بالاترین میزان آسیب‌دیدگی را به پسته‌ها وارد کردند. زیرا حرکت پسته درون خشک‌کن توسط همزن کارگر یا همزن برقی باعث می‌شود لبه پوست استخوانی پسته‌ها در یکدیگر یا همزن قفل‌شده و منجر به جداشدن مغز از پوست استخوانی شود و خشک‌کن‌های واگنی که در حین خشک‌کردن پسته از همزن استفاده نمی‌کنند به پسته‌ها آسیب وارد نکردند که با نتایج رستمی و میردامادی‌ها (۱۳۸۳) هم‌خوانی دارد. میزان آسیب‌دیدگی واردشده به پسته‌ها در تیمار شاهد در رتبه دوم قرار گرفت که با نتایج رستمی و میردامادی‌ها (۱۳۸۳) مطابقت ندارد زیرا در تحقیق حاضر میزان آسیب‌دیدگی بعد از جمع‌آوری از روی میدان اندازه‌گیری شد درحالی‌که در تحقیق یاد شده میزان آسیب‌دیدگی قبل از جمع‌آوری از روی میدان اندازه‌گیری شده بود. بدیهی است در هنگام جمع‌آوری پسته‌ها به‌وسیله پارو، لبه پوست استخوانی پسته‌ها در یکدیگر یا پارو قفل‌شده و منجر به جداشدن مغز از پوست استخوانی می‌شود.

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر میزان خندانی و آسیب‌دیدگی.

تیمار	میزان خندانی	میزان آسیب‌دیدگی
شاهد با پسته گرد	۲۳/۹۰^{a}	۰/۰۳^{b}
شاهد با پسته کشیده	۲۳/۵۴^{a}	۰/۰۲^{b}
(۹۰، ۲۰، بدون همزن) خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد	۲۱/۸۵^{a}	۰^{b}
(۹۰، ۲۰، بدون همزن) خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده	۱۷/۹۹^{ab}	۰^{b}
(۷۵، ۷، با همزن برقی) خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد	۱۵/۱۸^{bc}	۰/۴۰^{a}
برقی) (۷۵، ۷، با همزن خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده	۱۴/۷۷^{bc}	۰/۴۱^{a}
(۸۰، ۲۵، بدون همزن) خشک‌کن واگنی گازی با پسته گرد	۱۴/۳۱^{bc}	۰^{b}
(۸۰، ۲۵، بدون همزن) خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده	۱۲/۰۱^{bc}	۰^{b}
(۶۰، ۴۰، با همزن دستی توسط کارگر) خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد	۱۰/۲۴^{c}	۰/۳۹^{a}
خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده (۶۰، ۴۰، با همزن دستی توسط کارگر)	۹/۴۲^{c}	۰/۳۸^{a}

تیمارهایی با حروف یکسان در ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ نمی‌باشند. *عدد اول نشان‌دهنده دمای هوای گرم برحسب سانتی‌گراد و عدد دوم نشان‌دهنده ضخامت لایه پسته بر حسب سانتی‌متر است.

۳- عدد پراکسید و درصد چربی

جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین عدد پراکسید و درصد چربی را نشان می‌دهد. در خصوص عدد پراکسید، نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد الف- عدد پراکسید تمامی تیمارها در محدوده مجاز قرار

دارد[1]. ب- تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. ج - عدد پراکسید نوع خشک‌کن‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند و اختلاف خشک‌کن‌ها ازلحاظ دمای هوای گرم دمیده شده به توده پسته بود که از این لحاظ علی‌رغم اینکه خشک‌کنی که دمای هوای بالاتری داشته نسبت به خشک‌کنی که دمای هوای کمتری داشته عدد پراکسید بالاتری داشته اما اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که با نتایج نیک زاده و صداقت (۱۳۸۸) و کاشانی نژاد و همکاران (۱۳۸۴) هم‌خوانی ندارد. به نظر می‌رسد عدم معنی‌داری به دلایل زیر مربوط است. اول- حداکثر اختلاف دما در تحقیق حاضر ۳۰ درجه سلسیوس و در تحقیق نیک‌زاده و صداقت (۱۳۸۸) ۶۰ درجه سلسیوس و در تحقیق کاشانی نژاد و همکاران (۱۳۸۴) ۴۵ درجه سلسیوس بود. نتیجه‌گیری می‌شود به دلیل اختلاف دمای هوای ناچیز خشک‌کن‌ها، معنی‌دار نشده است. دوم- تحقیق‌های نیک زاده و صداقت (۱۳۸۸) و کاشانی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۴) تحقیق آزمایشگاهی بوده درحالی‌که تحقیق حاضر کار میدانی است و این عدم معنی‌داری می‌تواند به دلیل تفاوت کار آزمایشگاهی و میدانی باشد.

د- عدد پراکسید مدت‌زمان‌های انبارداری ماه‌های صفرم، دوم، چهارم و ششم با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند که با نتایج رستمی و میردامادی‌ها (۱۳۸۳)، نیک زاده و صداقت (۱۳۸۸) و نظری و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد. دو رقم پسته‌ای که با یک خشک‌کن خشک شدند ازلحاظ عدد پراکسید اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند که با نتایج نظری و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد.

هم‌چنین در مورد چربی، نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد الف- چربی هیچ‌یک از تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارد. ب- تأثیر نوع خشک‌کن، که اختلاف اصلی آن‌ها دما، رطوبت اولیه و رطوبت نهایی است، بر مقدار چربی تأثیر نداشت که با نتایج گازر و مینایی (۱۳۸۱) و نظری و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی دارد. ج- مدت‌زمان انبارداری تأثیری بر درصد چربی نداشت که با نتایج خطیب و همکاران (۱۳۸۹) هم‌خوانی ندارد زیرا تحقیق یادشده آزمایشگاهی و در طول مدت‌زمان انبارداری پسته‌ها تحت پوشش قرار گرفتند تا از ورود اکسیژن به داخل پسته‌ها جلوگیری شود اما تحقیق حاضر میدانی و در طول مدت‌زمان انبارداری پسته‌ها تحت پوشش قرار نگرفتند.

[1] عدد مجاز پراکسید یک میلی اکی والان بر کیلوگرم است.
استاندارد شماره ۱۵. پسته و ویژگی‌ها

جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر عدد پراکسید و چربی

پراکسید (meq/kq)	چربی (درصد)	تیمار	پراکسید (meq/kq)	چربی (درصد)	تیمار
۰/۲۱۳^{abcd}	۳۶/۹^{a}	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد، ماه صفرم[1]	۰/۳۷۳^{abcd}	۴۰/۷^{a}	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد، ماه چهارم
۰/۱۸۳^{abcd}	۳۶/۸۱a	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده، ماه صفرم	۰/۳۶۶^{abcd}	۳۹/۵۹^{a}	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده، ماه چهارم
۰/۱۶^{bcd}	۳۵/۶۲a	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد، ماه صفرم	۰/۳۵ ^{abcd}	۴۰/۸۵^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد، ماه چهارم
۰/۱۵۶^{bcd}	۳۵/۱۳a	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده، ماه صفرم	۰/۳۴۶^{abcd}	۳۸/۸۸^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده، ماه چهارم
۰/۱۵^{bcd}	۳۸/۷۵a	خشک‌کن واگنی گازی با پسته، ماه صفرم	۰/۳۴۳ ^{abcd}	۳۷/۷۸^{a}	خشک‌کن واگنی گازی با پسته، ماه چهارم
۰/۱۵^{bcd}	۳۷/۱۸a	خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده، ماه صفرم	۰/۳۴^{abcd}	۳۹/۹۳^{a}	خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده، ماه چهارم
۰/۱۴۶ ^{bcd}	۳۶/۸۷a	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد، ماه صفرم	۰/۳۱۳ ^{abcd}	۳۳/۳۳^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد، ماه چهارم
۰/۱۲۶ ^{bcd}	۳۷/۰۶a	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده، ماه صفرم	۰/۲۹۶ ^{abcd}	۳۹/۱۷^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده، ماه چهارم
۰/۰۵^{cd}	۳۶/۹۸a	تیمار شاهد با پسته گرد، ماه صفرم	۰/۲۹ ^{abcd}	۴۰/۰۸^{a}	تیمار شاهد با پسته گرد، ماه چهارم
۰/۰۳^{d}	۳۶/۴۶a	تیمار شاهد با پسته کشیده، ماه صفرم	۰/۲۸۳ ^{abcd}	۴۰/۴^{a}	تیمار شاهد با پسته کشیده، ماه چهارم
۰/۲۸۳^{abcd}	۳۸/۰۴^{a}	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد، ماه دوم	۰/۵۲^{a}	۴۲/۶۷^{a}	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد، ماه ششم
۰/۲۸^{abcd}	۳۵/۵^{a}	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده، ماه دوم	۰/۴۸^{ab}	۴۲/۳۲^{a}	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده، ماه ششم
۰/۲۶۶^{abcd}	۴۲/۰۸^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد، ماه دوم	۰/۴۷۳^{ab}	۴۲/۲۶^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد، ماه ششم

[2]نشان‌دهنده زمان اندازه‌گیری بلافاصله پس از خروج پسته‌ها از خشک‌کن‌ها در خشک‌کن‌های یک مرحله‌ای و بلافاصله پس از جمع آوری پسته‌ها از روی میدان در خشک‌کن‌های دومرحله‌ای است.

۰/۲۶۳^{abcd}	۳۵/۵۴^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده، ماه دوم	۰/۴۳۶^{ab}	۴۵/۶۵^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده، ماه ششم
۰/۲۶۵^{abcd}	۳۸/۵۱^{a}	خشک‌کن واگنی گازی با پسته، ماه دوم	۰/۴۲۳^{ab}	۴۴/۲^{a}	خشک‌کن واگنی گازی با پسته گرد، ماه ششم
۰/۲۵۶^{abcd}	۳۸/۰۵^{a}	خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده، ماه دوم	۰/۴۱۳^{ab}	۴۴/۷^{a}	خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده، ماه ششم
۰/۲۵^{abcd}	۳۷/۲۱^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد، ماه دوم	۰/۳۹۶^{abc}	۴۲/۴^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد، ماه ششم
۰/۲۵^{abcd}	۳۶/۰۲^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده، ماه دوم	۰/۳۸۳^{abcd}	۴۳/۸۳^{a}	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده، ماه ششم
۰/۲۳۳^{abcd}	۳۸/۰۲^{a}	تیمار شاهد با پسته گرد، ماه دوم	۰/۳۸ ^{abcd}	۴۳/۲۸^{a}	تیمار شاهد با پسته گرد، ماه ششم
۰/۲۱۳^{abcd}	۳۸/۸۶^{a}	تیمار شاهد با پسته کشیده، ماه دوم	۰/۳۸ ^{abcd}	۴۴/۳^{a}	تیمار شاهد با پسته کشیده، ماه ششم

تیمارهایی با حروف یکسان در ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ نمی‌باشند.

۴- حجم سوخت مصرفی

حجم سوخت مصرفی در خشک‌کن‌هایی که سوخت مشابه دارند به ازای وزن آب تبخیر شده، بررسی شد. جدول ۴ نتایج پارامتر ذکرشده خشک‌کن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج حجم سوخت مصرفی به‌ازای وزن آب تبخیر شده

تیمار	وزن آب تبخیر شده (kg)	گاز یا دیزل مصرف‌شده (L یا m^3)	حجم یا وزن سوخت مصرفی به‌ازای وزن آب تبخیر شده ($\frac{L}{kg}$ یا $\frac{m^3}{kg}$)
خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد (دومرحله‌ای)	۸۶/۹۴	۱۵/۲۳ L	۰/۱۷۵($\frac{L}{kg}$)
خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده (دومرحله‌ای)	۸۴/۴۵	۱۵/۹۲ L	۰/۱۸۸($\frac{L}{kg}$)
خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد (یک مرحله‌ای)	۳۹۵/۸	۹۶/۱۲m^3	۰/۴۳۸($\frac{m^3}{kg}$)
خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده (یک مرحله‌ای)	۳۹۴/۳۲	۹۷/۴۱۶m^3	۰/۴۳۷) ($\frac{m^3}{kg}$)
خشک‌کن واگنی گازی با پسته با پسته گرد (دومرحله‌ای)	۱۳۸/۴۱	۳۲/۹۰m^3	۰/۲۱۱ ($\frac{m^3}{kg}$)
خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده (دومرحله‌ای)	۱۳۹/۳۸	۳۲/۵۴m^3	۰/۲۱۸) ($\frac{m^3}{kg}$)
خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد (یک مرحله‌ای)	۱۰۲۲/۸۲	۱۹۶/۵L	۰/۱۹۲($\frac{L}{kg}$)
خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده (یک مرحله‌ای)	۱۰۲۱/۳۶	۱۹۶/۲۳L	۰/۱۹۲($\frac{L}{kg}$)

نتایج حجم سوخت مصرفی بر مقدار آب تبخیر شده در خشک‌کن‌هایی که سوخت مشابه دارند، نشان می‌دهد میزان مصرف سوخت خشک‌کن‌های یک مرحله‌ای (خشک‌کن‌های کالسکه‌ای) نسبت به خشک‌کن‌های دومرحله‌ای (خشک‌کن‌های واگنی) حدود دو برابر است که با نتایج رستمی و میردامادی‌ها (۱۳۸۳) هم‌خوانی دارد.

به نظر می‌رسد دلایل زیر سبب این موضوع شده‌اند: الف- اولاً، خشک‌کن‌ها ازلحاظ میزان مصرف انرژی بهینه نیستند. ثانیاً کوره، کانال هوای گرم و مخزن عایق‌بندی نیستند. ثالثاً، مخزن خشک‌کن‌ها سرپوشیده نیست و کل هوای گرم پس از برخورد با توده محصول وارد محیط می‌شود؛ لذا با توجه به سه مورد فوق می‌توان نتیجه گرفت که چون خشک‌کن‌های یک مرحله‌ای مدت زمان بیشتری نسبت به خشک‌کن‌های دومرحله‌ای از سوخت استفاده می‌کنند به‌موازات افزایش مدت‌زمان مصرف سوخت، سوخت بیشتری نیز به هدر می‌رود. ب- خشک‌کن‌های دومرحله‌ای رطوبت بالا و خشک‌کن‌های یک مرحله‌ای رطوبت‌های پایین را جذب می‌کنند. جذب رطوبت بالا نسبت به جذب رطوبت پایین سوخت کمتری استفاده می‌شود. ج- در خشک‌کن‌های واگنی نسبت به خشک‌کن‌های کالسکه‌ای، مصرف سوخت به‌ازای تبخیر یک کیلوگرم آب کمتر است که با نتایج شاکر اردکانی (الف ۱۳۸۶) و هدایت و همکاران (۱۳۹۴) هم‌خوانی دارد.

۵- راندمان انرژی

راندمان انرژی عبارت است از نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی که هرچه عدد به‌دست‌آمده به یک نزدیک‌تر باشد راندمان انرژی بالاتر است. جدول ۵ نتایج راندمان انرژی خشک‌کن‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول: الف- خشک‌کن‌هایی که سوخت گاز خانگی مصرف می‌کنند راندمان انرژی بالاتری نسبت به خشک‌کن‌هایی که سوخت دیزل مصرف می‌کنند دارند که با نتایج جودزاده و همکاران (۱۳۹۲) هم‌خوانی دارد. ب- خشک‌کن‌های واگنی گازی راندمان انرژی بالاتری نسبت به خشک‌کن‌های کالسکه‌ای گازی دارند. ج- خشک‌کن‌های دومرحله‌ای (واگنی) راندمان انرژی بالاتری نسبت به خشک‌کن‌های یک مرحله‌ای (کالسکه‌ای) دارند. د-راندمان انرژی تمامی خشک‌کن‌ها پایین است درصورتی‌که قسمت بیشتر هوای گرم خروجی دوباره به ورودی هوا متصل شود راندمان انرژی خشک‌کن‌ها بیشتر می‌شود که صحت این موضوع را روستاپور و همکاران (۱۳۹۴) نیز اعلام کردند.

جدول ۵ - نتایج راندمان انرژی

تیمار	انرژی سوخت kJ	انرژی سوخت درصد	انرژی کارگری kJ	انرژی کارگری درصد	انرژی الکتریسیته kJ	انرژی الکتریسیته درصد	مقدار آب تبخیر شده kg	راندمان انرژی
خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد	۸۰۳۶۶۴	۹۹/۶۵	-	-	۲۷۵۷/۶	۰/۳۵	۸۶/۴	۰/۲۴۴
خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده	۷۹۷۴۰۰	۹۹/۶۵	-	-	۲۷۷۲	۰/۳۵	۸۶/۴	۰/۲۴۶
خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد	۳۱۴۵۸۲۴	۹۹/۳۶	-	-	۲۰۲۱۷/۶	۰/۶۴	۳۸۸/۸	۰/۲۸۵
خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده	۳۱۸۸۳۷۶	۹۹/۳۷	-	-	۲۰۰۸۸	۰/۶۳	۳۸۸/۸	۰/۲۸۱
خشک‌کن واگنی گازی با پسته	۱۰۷۷۹۸۴	۹۹/۸	-	-	۲۰۶۶/۴	۰/۲	۱۳۶/۸	۰/۲۹۲
خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده	۱۰۶۶۳۲۰	۹۹/۸	-	-	۲۰۸۰/۸	۰/۲	۱۳۶/۸	۰/۲۹۵
خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد	۷۸۸۹۱۸۴	۹۹/۸	۹۸۰	۰/۰۲	۱۴۵۳۶/۸	۰/۱۸	۸۶۴	۰/۲۵۷
خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده	۷۹۱۱۶۴۸	۹۹/۸	۹۵۰	۰/۰۲	۱۴۴۷۲	۰/۱۸	۸۶۴	۰/۲۵۷

۶- بررسی عوامل اقتصادی

جدول ۶ نتایج صرفه اقتصادی خشک‌کن‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول: الف- خشک‌کن‌های واگنی با سوخت گاز هزینه‌های کمتری دارند زیرا هزینه خریدشان نسبت به سایر خشک‌کن‌ها پایین‌تر است و استهلاک، بهره سرمایه و هزینه تعمیرات، همگی به هزینه خرید وابسته هستند. سوخت گاز نسبت به دیزل بهتر در دسترس است و از طرفی راندمان آن‌هم نسبت به دیزل بالاتر است.

جدول ۶- عوامل صرفه اقتصادی

تیمار	هزینه ثابت (تومان)	هزینه متغیر (تومان)	هزینه کل در سال (تومان)*
خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد	۱۳۴۸۰۰۰۰	۱۴۵۵۰۰۰۰	۲۸۰۳۰۰۰۰
خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده	۱۳۴۸۰۰۰۰	۱۴۵۴۰۰۰۰	۲۸۰۲۰۰۰۰
خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد	۱۷۰۱۰۰۰۰	۱۷۲۰۸۰۰۰	۳۴۲۱۸۰۰۰
خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده	۱۷۰۱۰۰۰۰	۱۷۲۲۰۰۰۰	۳۴۲۳۰۰۰۰
خشک‌کن واگنی گازی با پسته	۱۱۰۸۰۰۰۰	۹۷۵۰۰۰۰	۲۰۸۳۰۰۰۰
خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده	۱۱۰۸۰۰۰۰	۹۷۴۰۰۰۰	۲۰۸۲۰۰۰۰
خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد	۱۹۳۳۰۰۰۰	۲۹۰۳۸۰۰۰	۴۸۳۶۸۰۰۰
خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده	۱۹۳۳۰۰۰۰	۲۹۰۵۰۰۰۰	۴۸۳۸۰۰۰۰

*هزینه ها بر اساس قیمت های سال ۱۴۰۱ مجددا محاسبه و بازنویسی شده است.

۷- یکنواختی خشک‌کردن (انحراف معیار)

جدول ۷ نشان می‌دهد الف- خشک‌کردن پسته به‌وسیله آفتاب خشک‌کن، یکنواختی خشک‌کردن بالایی دارد زیرا پسته به‌صورت تک‌لایه پهن‌شده و به‌صورت یکنواخت حرارت دریافت می‌کند که با نتایج رستمی و همکاران (۱۳۸۳) و شاکر اردکانی (الف ۱۳۸۶) هم‌خوانی دارد. ب- در خشک‌کن‌هایی که به همزن مجهز بوده، یکنواختی خشک‌کردن در رتبه دوم قرار دارد که با نتایج رستمی و میردامادی‌ها (۱۳۸۳) هم‌خوانی دارد.

جدول ۷ - نتایج انحراف معیار

انحراف معیار	تیمار
۰/۸۹	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته گرد
۰/۷۴	خشک‌کن واگنی دیزلی با پسته کشیده
۰/۲۳	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته گرد
۰/۲۶	خشک‌کن کالسکه‌ای گازی با پسته کشیده
۰/۷۱	خشک‌کن واگنی گازی با پسته
۰/۷۴	خشک‌کن واگنی گازی با پسته کشیده
۱/۲۱	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته گرد
۱/۰۱	خشک‌کن کالسکه‌ای دیزلی با پسته کشیده
۰/۲۳	تیمار شاهد با پسته گرد
۰/۱۴	تیمار شاهد با پسته کشیده

نتیجه‌گیری

الف- در خشک‌کن واگنی دیزلی به دلیل استفاده از دمای هوای بالاتر (۹۰ درجه سانتی گراد) و ضخامت نسبتا کمتر توده محصول (۲۰ سانتی متر) داخل مخزن، میزان خندانی بیشتر بود.

ب- خشک‌کن‌های واگنی گازی و دیزلی به دلیل عدم استفاده از همزن، حدود ۳۹ درصد آسیب کمتری به پسته‌ها وارد می‌کردند.

ج- درمجموع حجم یا وزن سوخت مصرفی به‌ازای وزن آب تبخیر شده در خشک‌کن‌های واگنی حدود یک دوم خشک‌کن‌های کالسکه‌ای بود.

د- خشک‌کن کالسکه‌ای گازی به دلیل استفاده مداوم از همزن، دارای یکنواختی خشک‌کردن بالاتری بود.

ه- نوع خشک‌کن‌ها و مدت‌زمان انبارداری در محدوده صفر الی شش ماه بر روی درصد چربی و عدد پراکسید پسته تأثیر معنی‌داری نداشتند.

و- خشک کن های واگنی گازی نسبت به سایر خشک‌کن‌ها هزینه مصرف‌شده کمتری برای خشک‌کردن پسته داشت.

ز- خشک کن های کالسکه‌ای گازی نسبت به سایر خشک‌کن‌ها راندمان انرژی بالاتری داشت.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه جیرفت به جهت حمایت‌های مادی و معنوی از این پژوهش اعلام می‌دارند.

منابع

۱. ایزدخواه شیشوان م، م. تاج‌بخش سیشوان و ع. حسن‌زاده قورت تپه. ۱۳۸۹. ارزیابی و مقایسه کارایی انرژی دوم نظام کشت متداول و مکانیزه در مزارع سیب‌زمینی آذربایجان شرقی. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*. جلد ۸. شماره ۲. صفحه‌های ۲۸۴ تا ۲۹۷.

۲. بهروزی لارو، م.، سلطانی، غر، و قاسمی، ش. ۱۳۹۱. مکانیزاسیون، انرژی و کشاورزی ماهواره ای جلد چهارمم، مدیریت مصرف انرژی در مکانیزاسیون کشاورزی. انتشارات سروا، انتشارات همکار آوای مسیح. ۳۵۰ صفحه. تهران.

۳. بی‌نام. ۱۳۷۶. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. پسته ویژگی‌ها، استاندارد شماره ۱۵.

۴. بی‌نام. ۱۳۸۳. روغن‌ها و چربی‌های خوراکی - نمونه‌برداری (تجدیدنظر اول). استاندارد ملی ایران. شماره ۴۹۳. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. کرج.

۵. بی‌نام. ۱۳۸۷. روغن‌ها و چربی‌های گیاهی و حیوانی اندازه‌گیری مقدار پراکسید به روش یدومتری - تعیین نقطه پایانی به روش چشمی (تجدیدنظر اول). استاندارد ملی ایران. شماره ۴۱۷۹. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. کرج.

۶. بی‌نام. ۱۳۹۲. سازمان ملی استاندارد ایران. مغز پسته، ویژگی‌ها و روش های آزمون، استاندارد شماره ۲۱۸.

۷. پورقاسمی رنجبر، م.، مرتضی پور، ح.، مقصودی، ح. و س. ن.، علوی نائینی، (۱۳۹۶). بررسی خشک کردن پسته در یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه‌ی بازیافت حرارتی هوا به هوا. مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۸(۱)، ۱۹-۲۸.

۸. تاج آبادی‌پور، ع. ۱۳۹۰. عملیات فراوری پسته. خبرنامه انجمن پسته. سال سوم. شماره ۵۸. صفحه‌های ۱۸ و ۱۹.

۹. جود زاده ا.، م. ریاحی و م. قربانی.۱۳۹۲. بررسی میزان مصرف انرژِی و راهکارهای کاهش آن در واحدهای فرآوری پسته.

فصل‌نامه نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی. جلد۳۹. شماره۱۰. صفحه‌های ۴۲ تا ۴۵.

۱۰. خطیب، ه، میردهقان، س‌ح، حکم آبادی، ح، و درکی، ن. ۱۳۸۹. اثر پرتوتابی UV-C و پوشش‌های خوراکی بر کیفیت و عمر انبارداری پسته تازه ارقام اوحدی و اکبری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته علوم باغبانی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان.

۱۱. رستمی، مع، میردامادی‌ها، ف. ۱۳۸۳. ارزیابی و مقایسه خشک‌کن‌های رایج پسته در استان کرمان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۱۸. شماره ۵. صفحه‌های ۱ تا ۱۸.

۱۲. روستا پور، ار، افسری، ا و جهانگیر، ی. ۱۳۹۴. تأثیر بازگشت جریان هوا در خشک‌کن خورشیدی بر انرژی مصرفی خشک‌کن خورشیدی بر انرژی مصرفی خشک‌کردن و راندمان انرژی. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*. ۴۶(۱): ۳۸-۳۱.

۱۳. زارع نظری بیاض، ا، رئوفت، مح، آزادشهرمی،ف، و زرندی، م. ۱۳۹۲. بررسی مصرف انرژی در برخی ترمینال‌های فرآوری پسته در استان کرمان. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۱۱-۹ بهمن‌ماه، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۴. شاکر اردکانی ا الف. ۱۳۸۶. برداشت، فرآوری، انبارداری و بسته‌بندی پسته. مؤسسه تحقیقات پسته کشور. رفسنجان. ۱۵۰ صفحه.

۱۵. شرافتی ع. ح. ۱۳۹۱. مدیریت شناخت و ارقام پسته. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران.

۱۶. کاشانی‌نژاد، م، مرتضوی، س‌ع، سیف کردی، ا، و مقصودلو، ی. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر متغیرهای خشک‌کردن بر خصوصیات کیفی پسته رقم اوحدی. *مجله علوم کشاورزی ایران*. ۳۶(۵): ۱۰۷۵-۱۰۸۵.

۱۷. گازر، حر.، و مینایی، س. ۱۳۸۱. بررسی تأثیر پارامترهای دما و سرعت جابه‌جایی هوا بر زمان خشک‌شدن و شاخص‌های کیفی پسته. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. جلد ۱۱. شماره ۳. صفحه‌های ۷۳ تا ۹۰.

۱۸. محمدی مقدم ت، رضوی، س‌مع، سازگارنیا، آ و تقی‌زاده، م. ۱۳۹۲. بررسی اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته‌کن بر خصوصیات مکانیکی و بافتی مغزهای پسته برشته‌شده. صفحه‌های ۳۲۲۰ تا ۳۲۳۱. مجموعه مقالات هشتمین کنگره ملی

مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران. ۹ تا ۱۱ بهمن‌ماه دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۹. مختاریان, م، توکلی‌پور, ح.، کلباسی اشتری، ا. (۱۳۹۵). مدلسازی سینتیک خشک کردن پسته رقم کله قوچی با استفاده از روش‌های مختلف خشک کردن: خشک کردن خورشیدی، سنتی در آفتاب و سایه. *پژوهش های صنایع غذایی*. ۲۶(۴): ۶۳-۶۲۷.

۲۰. ملک‌زاده، غ‌ر، و کاشانی حصار، مح. ۱۳۹۰. ترجمه مبانی ترمودینامیک کلاسیک. نشر نیما. مشهد.

۲۱. نظری، م، قنبریان، د، شاکر اردکانی، ا، و ملکی، ع. ۱۳۹۵. بررسی اثر سرمایش قبل از خشک‌کردن بر افزایش درصد پسته‌های خندان و برخی خصوصیات حسی دوم رقم پسته تجاری. مجموعه مقالات دهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران. ۹ و ۱۰ شهریورماه دانشگاه فردوسی مشهد.

۲۲. صفری, م، و دهقان، ا. (۱۳۹۷). بررسی میزان تلفات کمباینی برداشت گندم در استان قم. مکانیزاسیون کشاورزی, ۴(۲): ۱۰۰-۹۱

۲۳. نیک‌زاده، و، و صداقت، ن. ۱۳۸۸. بررسی اثرات دمای برشته کردن فرمولاسیون و زمان نگهداری بر ویژگی‌های کیفی روغن و خصوصیات ارگانولپتیکی آن. *فصلنامه علوم و صنایع غذایی*. ۳(۶): ۵۴-۴۵.

۲۴. هدایت م.، ح. مرتضی پور، ح. مقصودی و م. شمسی. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه بازیافت حرارتی برای خشک‌کردن نعناع. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. جلد۴۶. شماره۴. صفحه‌های۳۷۹ تا ۳۸۸.

۲۵. یوسفی ر. ۱۳۹۱. مکانیزاسیون کشاورزی. انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی. تهران.

26. Aghbashlo, M, Kianmehr, M.H, and Arabhosseini, A. 2009. Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer. Journal of Food Engineering. 91(1): 99-108.
27. Ghandehari Yazdi, AP, Barzegar, M, Sahari, MA, & Ahmadi Gavlighi, H. (2021). Encapsulation of pistachio green hull phenolic compounds by spray drying. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(1), 51-64.
28. Hepbasli, A, Erbay, Z, Colak, N, Hancioglu, E, and Icier, F. 2010. An exergetic performance assessment of three different food driers. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. *Journal of Power and Energy*. 224(1): 1–12.
29. Jahanbakhshi, A, Kaveh, M, Taghinezhad, E, & Rasooli Sharabiani, V. (2020).

Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy consumption, shrinkage, and color in the pistachio kernel drying process in microwave drying with ultrasonic pretreatment. Journal of Food Processing and Preservation, 44(6): e14449.

30. Mokhtarian, M, Tavakolipour, H, Kalbasi-Ashtari, A, & Koushki, F. (2021). The effects of solar drying on drying kinetics and effective moisture diffusivity of pistachio nut. *Science*, 2: 0-9265.
31. Smith PG. 2007. Applications of Fluidization to Food Processing. Blackwell Science, Oxford, UK.
32. Mohajery, S. (2020). Investigation on the effect of preserving epicarp during drying on physico-chemical, organoleptic and quanitative properties of pistachio kernel (Owhadi cultivar). Journal of food science and technology (Iran). 16(96): 75-90.
33. Shakerardekani, A, Karim, R, Ghazali, HM, & Chin, NL. (2011). Types of Dryers and Their Effect on the Pistachio Nuts Quality-a Review. *Journal of Agricultural Science*: 3(4): 13-21.
34. Shakerardekani, A, & Sadeghi, M. (2019). Evaluation of Two Common Dryers on Physicochemical, Microbial and Sensory Characteristics of Pistachio during Storage. *Pistachio and Health Journal*, 2(2): 1-8.
35. Stanislawski, J. 2005. Drying of diced carrot in a combined microwave-fluidized bed dryer. Drying Technology. 23:1711-1721.

Evaluating and Recommending the Most Appropriate Pistachio Drying System Among Four Common Types of Dryers in Kerman Province, Iran

Masoud Abolhadi[1], Majid Dowlati[2*], Mortaza Aghbashlo[3], Ahmad Shaker Ardakani[4]

Abstract

The present study was carried out in order to compare the effect of four types of conventional pistachio drying systems including diesel- and gas-fueled wagon and carriage dryers on the pistachio shell opening rate, shell damage, drying uniformity, storage shelf-life, pistachio quality, fuel consumption, energy efficiency, and economic efficiency. Two well-known pistachios types including elongated and round types were chosen for this study. The obtained results showed that: A) The rate of pistachios shell opening using a diesel-fueled wagon dryer was profoundly higher than those of the other systems due to its high drying air temperature (90 ^{o}c) and the thin layer of the moist product (20 cm) within the dryer. B) The wagon dryers led to less damage (around 39 percent) to pistachio nuts because of the absence of agitation. C) Generally, the energy consumption of wagon drying systems was lower compared with the carriage systems (around 50 percent). D) Higher drying uniformity was obtained using the gas-fueled carriage dryer due to an appropriate agitation. E) Dryer type and storage time up to 6 months, had no significant effect on the oil percentage, peroxide number, and pistachios quality. F) The gas-fueled wagon dryer had the highest economic profitability among the systems studied. G) The gas-fueled wagon dryer had the highest energy efficiency compared (around 15 percent) with the other systems. H) The pistachio types did not have a significant effect on the investigated parameters.

Keywords: Cost, Dryer, Efficiency, Energy, Nuts.

[1] Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

[2] Department of Food Science and Technology, Tuyserkan Faculty of Engineering and Natural Resources, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

[*] Corresponding Author Email: m.dowlati@basu.ac.ir

[3] Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[4] Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran.