

Kinetics of Physicochemical Properties of Industrial Kashk Produced by Hot Air, solar, Oven, and Freeze Dryers

Ehsan Heydarian¹, Fatemeh Siahmoshteh², Nafiseh Jahanbakhshian^{3*}

¹Master Graduate, Department of Food Science and Technology, ShK.C., Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.

²Ph.D Graduate, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

³Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, ShK.C., Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.

(*Corresponding author; Email: njahanbakhshian@iau.ac.ir)

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-03-12
Revised: 2025-07-02
Accepted: 2025-07-22

Keywords:
Kashk
Solar Drying
Experimental Model
Freeze-drying

ABSTRACT

Background and objectives: Kashk is a milk product that has been commonly prepared in most parts of the Middle East and especially in various parts of Iran since ancient times. Kashk is usually prepared in two forms: liquid or paste and dried. The basis of dried Kashk is milk, which is produced by boiling, concentrating and drying yogurt, buttermilk and fermented buttermilk. The drying method has a great impact on sensory and appearance as well as microbial properties of the product. For this purpose, Kashk was studied using different methods of oven, hot air, freezing and solar drying and its physicochemical, sensory and kinetic drying properties.

Materials and Methods: In this study, after producing Kashk from pasteurized milk, four methods were used to dry it: solar drying, hot air tunnel, oven, and finally freeze-drying method. In order to investigate the effect of drying method on physicochemical properties of Kashk, factors such as solubility, acidity, moisture, fat, color and drying kinetics were investigated. To investigate the drying kinetics, moisture fraction (MR) was selected as a dimensionless factor for process analysis and appropriate fit was selected using empirical equations (Table 2-2) and MATLAB software. The experiments were performed in 3 replicates. Statistical analysis was performed using SAS 9.1 software and LSD test at a significance level of 5%.

Results: During drying, acidity increased compared to the original sample, and the highest acidity with a value of 0.199 g/g of dry matter was related to the solar method and the lowest with a value of 0.123 g/g of dry matter was related to the freezing method. Also, in the oven and hot air methods, the type of method and temperature did not have a significant effect on the increase in acidity. The results show that the type of drying method is effective on the solubility of the whey, and among the different drying methods, the freezing method had the highest solubility with a value of 13.33. On the other hand, in the oven and hot-air drying methods, solubility also increases with increasing temperature. The L* index of the freeze-dried Kashk samples increased compared to the original sample, and in the oven and hot air methods, the L* index increased slightly with increasing drying temperature. The freeze-dried Kashk had the lowest a* and b* values,

and in the drying methods using heat (oven and hot air), these indices increased with increasing temperature. The results of the changes in the whiteness index showed that the whiteness of the oven, hot air and solar dried samples decreased compared to the original sample, while it increased in the freeze-dried sample. In the sensory evaluation, the solar dried sample obtained the highest sensory score for odor, texture, mouthfeel, and overall acceptance. With increasing drying temperature in the oven and hot air methods, the sensory score of the samples decreased, so that the samples dried in the oven at 70 ° C obtained the lowest sensory score. In the study of experimental models for drying, the Medley model with the highest correlation coefficient and the lowest root mean square error for the oven, hot air and solar methods and the logarithmic model for the freeze dryer showed the best fit.

Conclusion: According to the results, the freeze-drying method produces better samples in terms of most physicochemical properties, but the investment cost for this method is very high. On the other hand, the samples dried by the solar method obtained the best sensory score. Therefore, using solar-drying method is a suitable method for drying Kashk.

Cite this article: Heydarian, E., Siahmoshteh, F., Jahanbakhshian, N. 2025. Kinetics of Physicochemical Properties of Industrial Kashk Produced by Hot Air, solar, Oven, and Freeze Dryers. *Food Processing and Preservation Journal*, 17(2), 103-122.



© The Author(s).

DOI: [10.22069/fppj.2025.23382.1866](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.23382.1866)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

سینتیک خصوصیات فیزیکوشیمیایی خشک صنعتی تولیدشده با خشک کن های هوای داغ، خورشیدی، آون و انجمادی

احسان حیدریان^۱، فاطمه سیاه مشته^۲، نفیسه جهانبخشیان^{۳*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

^۲ دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۳ استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران،

(*) رایانامه نویسنده مسئول : njahanbakhshian@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: خشک یکی از فرآورده های شیر است که تولید آن از زمان های دور در اغلب مناطق خاورمیانه و به خصوص نقاط مختلف ایران متداول بوده است. خشک معمولاً به دو فرم مایع یا خمیری و خشک تهیه می گردد. پایه و اساس خشک خشک از شیر است که از جوشاندن، تغلیظ و خشک کردن ماست، دوغ و پس آب کره تخمیری به دست می آید. روش خشک کردن تأثیر زیادی بر خصوصیات حسی و ظاهری و همچنین میکروبی محصول دارد. به همین منظور در این تحقیق خشک به روش های مختلف آون، هوای داغ، انجمادی و خورشیدی خشک گردیده و خصوصیات فیزیکوشیمیایی، حسی و همچنین سینتیک خشک کردن آن مورد بررسی قرار گرفت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱	مواد و روش ها: در این تحقیق پس از تولید خشک از شیر پاستوریزه، از چهار روش جهت خشک کردن خشک استفاده شد. خشک کردن به روش خورشیدی، تونل هوای داغ، آون و در نهایت روش انجمادی. به منظور بررسی اثر روش خشک کردن خشک بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، فاکتورهایی مانند حلالیت، اسیدیته، رطوبت، چربی، شاخص های مختلف رنگ و همچنین سینتیک خشک کردن مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی سینتیک خشک کردن کسر رطوبت (MR) به عنوان یک فاکتور بی بعد برای تحلیل فرآیند انتخاب و با استفاده از معادلات تجربی (جدول ۲-۲) و نرم افزار MATLAB برازش مناسب انتخاب گردید. آزمایش ها در ۳ تکرار انجام شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و آزمون LSD در سطح معنی دار ۵ درصد انجام شد.
واژه های کلیدی: خشک خشک کردن خورشیدی مدل تجربی خشک کردن انجمادی	یافته ها: طی خشک کردن اسیدیته نسبت به نمونه اولیه افزایش یافت و بیشترین اسیدیته با مقدار ۰/۱۹۹ گرم بر گرم ماده خشک مربوط به روش خورشیدی و کمترین آن با ۰/۱۲۳ گرم بر گرم ماده خشک مربوط به روش انجمادی بود. همچنین در روش های آون و هوای داغ نوع روش و دما اثر معنی داری بر افزایش اسیدیته نداشت. نتایج نشان می دهد نوع روش خشک کردن بر روی میزان حلالیت خشک مؤثر می باشد و در بین روش های مختلف خشک کردن روش انجمادی با

مقدار ۱۳/۳۳ بیشترین حلالیت را به خود اختصاص داد از طرفی در روش‌های خشک کردن آون و هوای داغ با افزایش دما حلالیت نیز افزایش می‌یابد. شاخص L^* نمونه‌های خشک خشک شده به روش انجمادی نسبت به نمونه اولیه افزایش یافت و در روش‌های آون و هوای داغ با افزایش دمای خشک کردن شاخص L^* اندکی افزایش نشان داد. خشک خشک شده به روش انجمادی دارای کمترین میزان a^* و b^* بود و در روش‌های خشک کردن با استفاده از حرارت (آون و هوای داغ) با افزایش دما این شاخص‌ها افزایش یافت. نتایج تغییرات شاخص سفیدی نشان داد سفیدی نمونه‌های خشک شده به روش آون، هوای داغ و خورشیدی نسبت به نمونه اولیه کاهش درحالی که در نمونه خشک شده به روش انجمادی افزایش یافت. در بررسی حسی نمونه خشک شده به روش خورشیدی بیشترین امتیاز حسی برای خصوصیات بو، بافت و بافت دهانی و پذیرش کلی را کسب نمود. با افزایش درجه حرارت خشک کردن در روش آون و هوای داغ امتیاز حسی نمونه‌ها کاهش یافت به طوری که نمونه‌های خشک شده به روش آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد کمترین امتیاز حسی را کسب نمودند. در بررسی مدل‌های تجربی برای خشک کردن مدل میدیلی با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا برای روش آون، هوای داغ و خورشیدی و مدل لگاریتمی برای خشک کن انجمادی بهترین برازش را نشان داد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بیان شده، روش خشک کردن انجمادی نمونه‌های بهتری از نظر اکثر خصوصیات فیزیکوشیمیایی تولید می‌نماید ولی هزینه سرمایه‌گذاری برای این روش بسیار بالاست از طرفی نمونه‌های خشک شده به روش خورشیدی از نظر حسی بهترین امتیاز را کسب نمودند. بنابراین استفاده از روش خشک کردن خورشیدی برای خشک کردن خشک روش مناسبی است.

استناد: حیدریان، احسان؛ سیاه مشته، فاطمه؛ جهان‌بخشیان، نفیسه (۱۴۰۴). سیتیک خصوصیات فیزیکوشیمیایی خشک صنعتی تولیدشده با خشک کن‌های هوای داغ، خورشیدی، آون و انجمادی. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۷(۲)، ۱۲۲-۱۰۳.



© نویسندگان

DOI: [10.22069/fppj.2025.23382.1866](https://doi.org/10.22069/fppj.2025.23382.1866)

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

از دیرباز، بخشی از تغذیه انسان را شیر و فراورده‌های آن تشکیل داده است. یکی از فراورده‌های خوش طعم و محبوب لبنی که از غنی‌ترین منابع پروتئین حیوانی نیز به شمار می‌رود، کشک است. این ماده را با فرایند خشک کردن می‌توان برای مدت زمان طولانی نگهداری نمود. کشک به دو شکل سنتی و صنعتی و با عناوین "کشک خشک" و "کشک مایع" تولید می‌گردد (۱). کشک خشک سنتی معمولاً در ایران از جوشاندن ماست یا آب ماست و با اضافه نمودن مقداری آرد گندم، نمک طعام و خشک کردن آن در آفتاب فصلی تابستان به اشکال مختلف تهیه می‌شود (۲). در روش صنعتی تهیه این محصول، با جوشاندن یا روش‌های تغلیظ صنعتی تولید می‌شود. افزایش اسیدیته و ترکیب‌های موجود در ماست غلیظ شده طعم خاصی به ماست می‌دهد و آن را به کشک تبدیل می‌کند. یکی از روش‌های به کار گرفته شده برای نگهداری طولانی مدت کشک، خشک کردن به صورت کاملاً بهداشتی می‌باشد. با توجه به مغذی بودن کشک محیط مناسبی برای رشد و تکثیر میکروب‌های مختلف، به خصوص باکتری مولد بوتولیسم (کلستریدیوم بوتولینم) محسوب می‌شود و می‌تواند باعث مسمومیت‌های شدید و حتی مرگ شود. خطر مسمومیت با کلستریدیوم بوتولینم با مصرف کشک‌های خشک سنتی زیاد است. بدیهی است که شرایط انجام خشک کردن بر خصوصیات تغذیه‌ای محصول نهایی بسیار مؤثر است. فرایند خشک کردن سبب تغییرات برگشت‌ناپذیر تخریبی و غیر تخریبی در خواص فیزیکی، شیمیایی و ظاهری مواد همچون رنگ، ویسکوزیته و شکست هیدروکربن‌ها می‌شود. این تغییرات ممکن است کیفیت محصول را کاهش دهند. به همین دلیل نیاز است که برای خشک کردن هر محصول بهترین روش در حالت بهینه استفاده

می‌شود تا کمترین افت کیفیت در محصول مورد نظر ایجاد شده و عملیات در کمترین زمان ممکن انجام می‌شود (۳). از رایج‌ترین روش‌های خشک کردن، خشک کردن در هوای داغ و نیز روش خورشیدی یا طبیعی می‌باشد که منظور از روش اخیر خشک کردن زیر نور آفتاب است. هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشد. روش‌های دیگر شامل استفاده از مایکروویو، خشک کردن انجمادی، استفاده از آن و غیره است (۴).

تاکنون معادلات متعددی برای پیش‌بینی روند خشک شدن محصولات وابسته به دمای خشک شدن ارائه شده است (۵). مهمترین مدل‌های ریاضی برای تعیین سینتیک خشک شدن مواد غذایی شامل مدل نیوتن، پیچ، پیچ اصلاح شده، هندرسون و پابیس، لگاریتمی، دوجمله‌ای نمایی، وانگ و سینگ و نهایتاً میدلی و همکاران می‌باشد.

در این تحقیق سعی بر آن شد که خصوصیات مختلف فیزیکوشیمیایی و حسی کشک تولید شده به چهار روش مختلف آون، هوای داغ، انجمادی و خورشیدی خشک اندازه‌گیری شود. همچنین سینتیک خشک کردن این محصول نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تولید کشک: برای تهیه کشک، ابتدا شیر وارد پاستوریزاتور شده که به دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد برسد. پس از آن به منظور استانداردسازی چربی، شیر وارد سپراتور شده و پس از آن مجدداً وارد پاستوریزاتور شده تا در دمای ۷۱/۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ ثانیه حرارت ببیند سپس سرد کردن تا دمای ۴۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام و مایه ماست اضافه گردید. وقتی اسیدیته ماست به ۲۰۰-۱۸۰ درجه دورنیک رسید، فرایند پخت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت انجام گرفت و در

$$MR = \frac{Mt}{Mo} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقدار رطوبت مطابق استاندارد AOAC (۹۵۰/۴۶) محاسبه شد (۶). میزان چربی به روش ژبر و میزان اسیدیته طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۴۵۲ انجام گرفت (۷).

برای اندازه‌گیری شاخص حلالیت مقدار ۱۰ گرم کشک به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه همراه ۳ قطره روغن ضدکف اضافه شده سپس به مدت ۹۰ ثانیه به وسیله مخلوط‌کن عمل همزدن انجام شد. نمونه هم زده به مدت ۵ دقیقه به حال سکون گذاشته شد سپس نمونه را به مدت ۵ ثانیه با یک قاشق کاملاً مخلوط کرده و بلافاصله داخل ۲ عدد فالكون ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. بعد از عمل سانتریفوژ کردن، مایع رویی با عمل سرریز کردن جدا شده سپس حدود ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شده و با استفاده از یک میله شیشه‌ای رسوبات تشکیل شده در آب پخش گردید. در نهایت فالكون‌ها تا خط نشانه ۵۰ میلی‌لیتر با آب مقطر پر شدند و دوباره سانتریفوژ گردیدند. سپس لوله‌ها در یک حالت عمودی درحالی‌که سطح بالایی رسوب مقابل چشم بود قرار داده و نزدیک‌ترین خط تقسیم را به رسوب قرائت کرده و جمع هر دو فالكون به عنوان اندیس حلالیت گزارش شد (۸).

برای اندازه‌گیری رنگ نیز از دستگاه هانتربل استفاده شد و سه شاخص L^* بیانگر رنگ سفید تا سیاه، a^* سبز تا قرمز و b^* آبی تا زرد تعیین شد. جهت تعیین میزان سفیدی نمونه‌ها از فرمول شاخص سفیدی رابطه ۳ و جهت تعیین شاخص قهوه‌ای شدن از رابطه ۳ تا ۵ استفاده شد (۹):

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]0.5 \quad \text{رابطه (۳)}$$

این مرحله نمک حداکثر به میزان ۲٪ اضافه گردید و سپس با استفاده از هموژنیزاتور دومرحله‌ای فشار اولیه ۱۵ مگاپاسکال و فشار مرحله دوم ۲ مگاپاسکال، یکنواخت گردید.

خشک‌کردن: در خشک‌کردن خورشیدی قالب‌های کشک بر روی فویل آلومینیومی قرار داده شد و تا رطوبت مطلق مشخص زیر تابش مستقیم آفتاب قرار داده شد و تغییرات وزن طی خشک‌کردن با فاصله زمانی یک‌ساعته ثبت و پس از خشک شدن نمونه‌ها آزمایش‌ها لازم بر روی آن‌ها انجام گرفت. در روش تونل هوای داغ، قالب‌های کشک در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای ۲ متر بر ثانیه تا رسیدن به رطوبت مطلق مشخص خشک و تغییرات وزن طی خشک‌کردن با فاصله زمانی یک ساعت ثبت شد. در این روش، سرعت هوای خشک‌کن به‌وسیله سرعت‌سنج اندازه‌گیری شد. در روش آون قالب‌های کشک در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و در روش خشک‌کن انجمادی قالب‌های کشک تا رسیدن به وزن ثابت با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک گردید.

سیتیک خشک‌کردن: جهت بررسی سیتیک خشک‌کردن کسر رطوبت (MR) به عنوان یک فاکتور بی‌بعد برای تحلیل فرآیند انتخاب و با استفاده از روابط تجربی مختلف و نرم‌افزار MATLAB برازش مناسب انتخاب گردید.

$$MR = \frac{Mt - Me}{Mo - Me} \quad \text{رابطه (۱)}$$

MR کسر رطوبتی (بدون بعد)، Mt میزان رطوبت (بر پایه خشک) در هر لحظه، Me رطوبت تعادلی و Mo محتوای رطوبت اولیه (کیلوگرم ماده جامد/کیلوگرم آب است). مقدار Me در مقایسه با Mt و Mo کوچک است. از این رو می‌توان از آن صرف‌نظر کرد و رابطه به‌صورت زیر ساده می‌شود:

کاهش رطوبت و هوای داغ ۷۰ درجه سانتی گراد بیشترین کاهش رطوبت را داشته است روش خورشیدی نیز بین این دو روش قرار گرفته است به طوری که در ۸ ساعت ابتدای مانند آون ۷۰ درجه سانتی گراد رطوبت آن کاهش یافته و پس از آن در یک رطوبت ثابت باقی مانده و در زمانهای انتهایی رطوبتی معادل نمونه آون ۵۰ درجه سانتی گراد دارد. به طور کلی در روش خشک کردن خورشیدی محدودیت در میزان کاهش رطوبت وجود دارد و نمی توان میزان رطوبت نمونه را به کمتر از ۱۵٪ رساند (۱۰). در روش هوای داغ به دلیل افزایش ضریب انتقال جرم در اثر ایجاد جریان هوای اجباری میزان از دست دادن رطوبت در مقایسه با روش آون افزایش می یابد. اصولاً روش آون جهت خشک کردن نمونه و تعیین میزان رطوبت به کار می رود که امروزه به عنوان یک روش استاندارد پذیرفته شده است و جهت کاهش دمای خشک کردن از آون های خلاء نیز استفاده می شود. همچنین مختاریان و همکاران (۱۳۸۷) در تولید پودر گوجه فرنگی گزارش کردند خشک کردن به روش آفتابی نمی تواند رطوبت پودر نهایی را به اندازه خشک کن های سینی دار کاهش دهد (۱۱).

$$\text{رابطه (۴)} \quad BI = (100 * (X - 0.31)) / 0.172$$

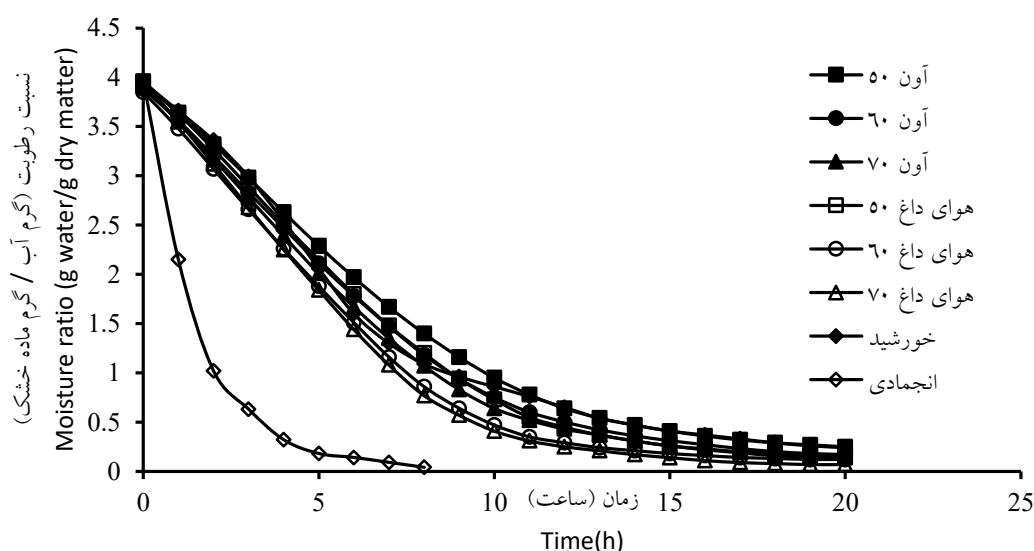
$$\text{رابطه (۵)} \quad X = (a * 1.75L^*) / (5.645L^* + a * 3.012b^*)$$

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش آماری بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام شد. از نرم افزار SAS 9.1 برای پردازش آماری داده ها استفاده شد. تحلیل وایانس یک طرفه و آزمون LSD برای مقایسه میانگین در سطح معنی دار ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

سینتیک تغییرات رطوبت: نتایج تغییرات رطوبت نمونه های مختلف خشک در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود طی زمان رطوبت همه نمونه ها کاهش یافته است. در روش خشک کردن انجمادی نمونه به سرعت خشک شده و بعد از ۸ ساعت تقریباً تمام رطوبت خود را از دست داده است. با مقایسه روش های خشک کردن خورشیدی، آون و هوای داغ نیز مشاهده می شود آون ۵۰ درجه کمترین

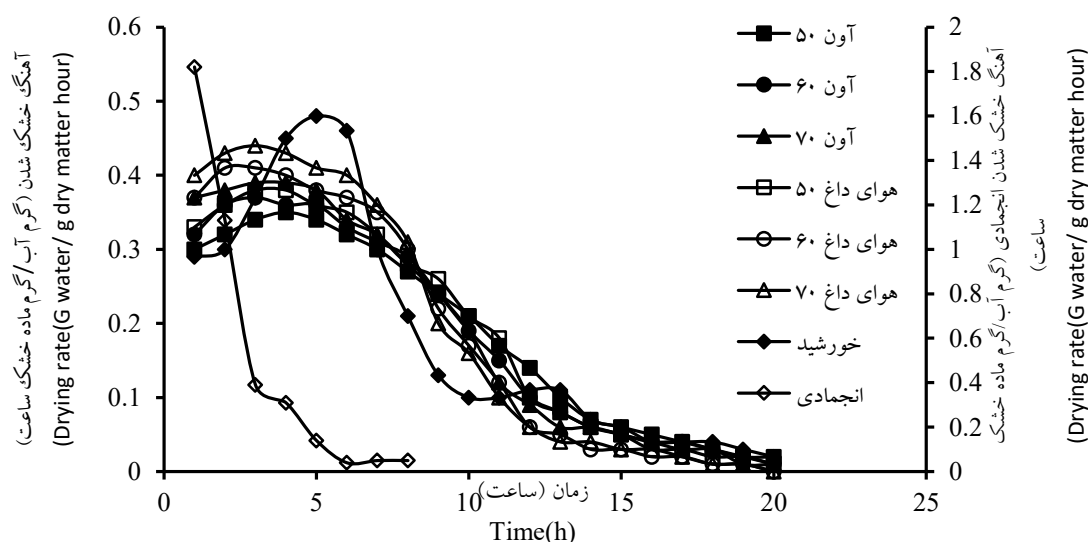


شکل ۱- تغییرات نسبت رطوبت بر پایه ماده خشک طی زمان برای روش های مختلف خشک کردن

Figure 1. Changes in moisture ratio as a function of time for different drying methods

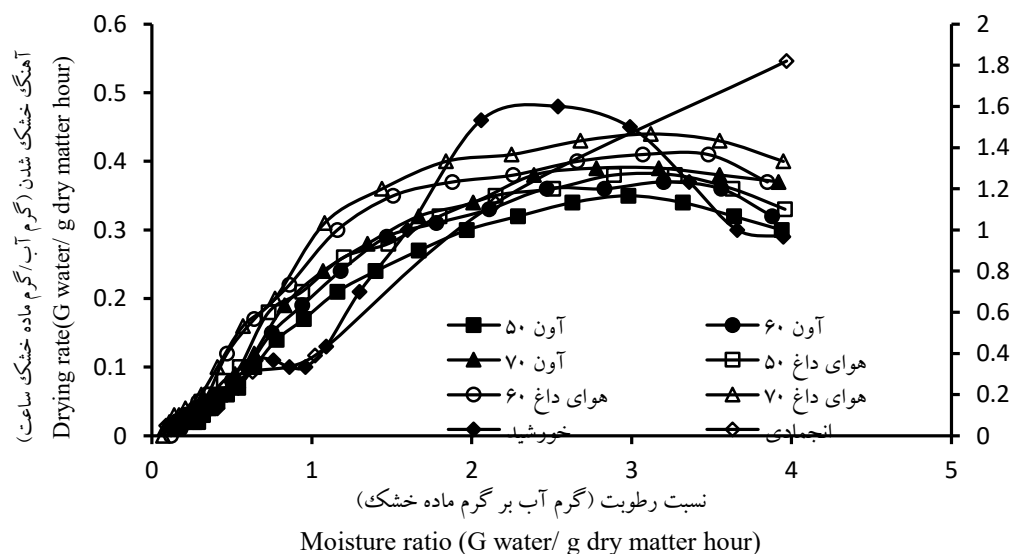
آهنگ خشک شدن انجمادی بسیار بیشتر از روش‌های دیگر می‌باشد. در روش خورشیدی نیز با وجود اینکه در ابتدا آهنگ خشک شدن نسبت به سایر روش‌ها کمتر می‌باشد ولی با نزدیک شدن به ساعت‌های گرم روز و همچنین گرم شدن نمونه‌ها آهنگ خشک شدن افزایش یافته است به‌طوری‌که از روش‌های خشک کردن آون و هوای داغ آهنگ خشک شدن بزرگ‌تری ثبت شده است.

تغییرات آهنگ خشک شدن-زمان در شکل ۲ و آهنگ خشک شدن-نسبت رطوبت در شکل ۳ گزارش شده است. از آنجایی‌که آهنگ خشک شدن در روش انجمادی بسیار بیشتر از خشک‌کن آون، هوای داغ و خورشیدی بود، جهت جلوگیری از تکرار نمودارها و امکان مقایسه آن‌ها با هم آهنگ خشک شدن انجمادی بر روی محور عمودی سمت راست در نظر گرفته شده است. در همه روش‌ها با گذشت زمان آهنگ خشک شدن نیز کاهش یافته است. در ساعت ابتدایی



شکل ۲- تغییرات آهنگ خشک شدن نسبت به زمان برای روش‌های مختلف خشک کردن

Figure 2. Changes in drying rate as a function of time for different drying methods



شکل ۳- تغییرات آهنگ خشک شدن نسبت به محتوی رطوبت برای روش های مختلف خشک کردن

Figure 3. Changes in drying rate as a function of moisture content under different drying methods

مدل سازی تجربی: ثابت های برازش روند خشک شدن کشک به توسط روش های آون و هوای داغ ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد و روش های خورشیدی و انجمادی در جداول ۱ تا ۶ آورده شده است. ضریب همبستگی هر چه بالاتر باشد، نشان دهنده همبستگی بیشتر میان مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و مقادیر عددی حاصل از آزمایش می باشد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) پارامتر بسیار مناسبی است تا انحراف مقادیر به دست آمده از آزمایش تجربی را از مقادیر محاسبه شده توسط مدل ریاضی مربوطه نشان دهد. گفته می شود مقدار مناسب این پارامتر برای یک مدل کمتر از ۰/۱ می باشد. بدیهی است که هرچه این عدد به سمت صفر نزدیک تر باشد، نشان دهنده قابلیت بیشتر مدل مربوطه در پردازش داده های آزمایشی می باشد (۱۲). برای روش های خشک کردن آون، هوای داغ و خورشیدی تمامی مدل ها مقدار ضریب همبستگی بیشتر از ۹۷ درصد و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۰۵۱ بود. برای روش انجمادی ضریب همبستگی تمامی مدل ها بجز مدل وانگ و سینگ بیشتر از ۹۹ درصد و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۰۱۳ می باشد. بنابراین در روش آون، هوای داغ و خورشیدی تمامی مدل های تجربی و در روش انجماد همه مدل ها بجز مدل وانگ و سینگ روند خشک شدن کشک را به خوبی پیش بینی کرده و همخوانی خوبی با داده های آزمایشگاهی دارند.

بر اساس بالاترین ضریب تبیین و کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا، مدل میدیلی با ضریب تبیین ۰/۹۹۹۷ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۶ برای روش آون با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد، ضریب تبیین ۰/۹۹۹۶ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۷ برای روش آون با دمای ۶۰ درجه سانتی گراد، ضریب تبیین ۰/۹۹۹۵ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۷ برای روش آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد مناسب ترین مدل بود. برای روش خشک کردن کشک به روش هوای داغ نیز مدل میدیلی با ضریب تبیین ۰/۹۹۹۴ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۸ برای دمای ۵۰ درجه سانتی گراد، ضریب تبیین ۰/۹۹۹۲ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۸ برای دمای ۶۰ درجه سانتی گراد، ضریب تبیین ۰/۹۹۹۲ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۹ برای روش دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به خوبی می تواند روند تغییرات رطوبت را پیش بینی نماید. در روش خشک کردن خورشیدی نیز مدل میدیلی با ضریب ۰/۹۹۶۷ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۱۹ بهترین برازش را بر داده ها داشت. در روش انجمادی برخلاف روش های آون، هوای داغ و خورشیدی مدل لگاریتمی با ضریب ۰/۹۹۹۸ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۱۲ بهترین مدل بود. همچنین برای روش های آون، هوای داغ و خورشیدی مدل نیوتنی و برای روش انجمادی مدل وانگ و سینگ کمترین تطابق را با داده های آزمایشگاهی نشان دادند.

جدول ۱- مقادیر ثابت‌های مدل نیوتن ($MR=\exp(-kt)$) به همراه پارامترهای آماری دقت مدل‌سازی برای خشک کردن کشک
 Table 1. Newton model ($MR=\exp(-kt)$) constants with statistical parameters of modeling accuracy for drying Kashk

RMSE	R ²	k	دما (°C) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying Method
۰/۰۴۳	۰/۹۸۰۵	۰/۱۳۰	۵۰	آون Oven
۰/۰۴۵	۰/۹۷۹۶	۰/۱۴۵	۶۰	
۰/۰۴۳	۰/۹۸۱۲	۰/۱۵۵	۷۰	
۰/۰۵۱	۰/۹۷۵۶	۰/۱۴۷	۵۰	هوای داغ Hot-air
۰/۰۵۱	۰/۹۷۵۶	۰/۱۶۹	۶۰	
۰/۰۵۲	۰/۹۷۴۴	۰/۱۷۶	۷۰	
۰/۰۴۴	۰/۹۷۹۷	۰/۱۴۲	-----	خورشیدی Solar
۰/۰۱۲	۰/۹۹۸۷	۰/۶۳۳	-----	انجمادی Freeze-drying

جدول ۲- مقادیر ثابت‌های مدل پیچ ($MR=\exp(-kt^n)$) به همراه پارامترهای آماری دقت مدل‌سازی برای خشک کردن کشک
 Table 2- Page model ($MR=\exp(-kt^n)$) constants with statistical parameters of modeling accuracy for drying Kashk

RMSE	R ²	n	k	دما (°C) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying Method
۰/۰۱۳	۰/۹۹۸۳	۱/۲۸	۰/۰۷۱	۵۰	آون Oven
۰/۰۱۲	۰/۹۹۸۵	۱/۳۱	۰/۰۷۶	۶۰	
۰/۰۱۲	۰/۹۹۸۶	۱/۳۰	۰/۰۸۴	۷۰	
۰/۰۱۳	۰/۹۹۸۵	۱/۳۵	۰/۰۷۱	۵۰	هوای داغ Hot-air
۰/۰۱۵	۰/۹۹۷۸	۱/۳۷	۰/۰۸۲	۶۰	
۰/۰۱۳	۰/۹۹۸۵	۱/۴۱	۰/۰۸۴	۷۰	
۰/۰۲۹	۰/۹۹۱۴	۱/۲۳	۰/۰۸۹	-----	خورشیدی Solar
۰/۰۱۳	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹	۰/۶۳۷	-----	انجمادی Freeze-drying

جدول ۳- مقادیر ضرایب مدل وانگ و سینگ ($MR=1+at+bt^2$) به همراه پارامترهای آماری دقت مدل سازی برای خشک کردن کشک

Table 3- Values of the Wang&Sing model coefficient ($MR=1+at+bt^2$) with statistical parameters of modeling accuracy for drying Kashk

RMSE	R ²	b	a	دما (°C) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying Method
۰/۰۱۷	۰/۹۹۶۹	۰/۰۰۳	-۰/۱۰۱	۵۰	آون Oven
۰/۰۱۹	۰/۹۹۶۵	۰/۰۰۳	-۰/۱۰۹	۶۰	
۰/۰۱۹	۰/۹۹۶۴	۰/۰۰۳	-۰/۱۱۵	۷۰	
۰/۰۲۱	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۳	-۰/۱۱۱	۵۰	هوای داغ Hot-air
۰/۰۲۵	۰/۹۹۴۱	۰/۰۰۴	-۰/۱۲۴	۶۰	
۰/۰۲۸	۰/۹۹۲۶	۰/۰۰۴	-۰/۱۲۷	۷۰	
۰/۰۳۵	۰/۹۸۸۱	۰/۰۰۳	-۰/۱۱۱	-----	خورشیدی Solar
۰/۰۹۳	۰/۹۳۱۶	۰/۰۳۲	-۰/۳۶۵	-----	انجمادی Freeze-drying

جدول ۴- مقادیر ثابت های مدل هندرسون و پاییس ($MR=aexp(-kt)$) به همراه پارامترهای آماری دقت مدل سازی برای خشک کردن کشک

Table 4- Henderson&Pabis model ($MR=aexp(-kt)$) constants with statistical parameters of modeling accuracy for drying Kashk

RMSE	R ²	k	a	دما (°C) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying Method
۰/۰۳۵	۰/۹۸۸۰	۰/۱۴۱	۱/۰۷۸	۵۰	آون Oven
۰/۰۳۶	۰/۹۸۷۱	۰/۱۵۶	۱/۰۸۲	۶۰	
۰/۰۳۶	۰/۹۸۷۷	۰/۱۶۶	۱/۰۷۷	۷۰	
۰/۰۴۲	۰/۹۸۴۰	۰/۱۶۰	۱/۰۸۸	۵۰	هوای داغ Hot-air
۰/۰۴۳	۰/۹۸۳۲	۰/۱۸۴	۱/۰۸۸	۶۰	
۰/۰۴۴	۰/۹۸۲۱	۰/۱۹۴	۱/۰۸۹	۷۰	
۰/۰۳۶	۰/۹۸۷۱	۰/۱۵۳	۱/۰۸۱	-----	خورشیدی Solar
۰/۰۱۳	۰/۹۹۸۷	۰/۶۳۳	۱/۰۱	-----	انجمادی Freeze-drying

جدول ۵- مقادیر ثابت‌های مدل لگاریتمی ($MR=a\exp(-kt)+c$) به همراه پارامترهای آماری دقت مدل‌سازی برای خشک کردن کشک

Table 5- Logarithmic model ($MR=a\exp(-kt)+c$) constants with statistical parameters of modeling accuracy for drying Kashk

RMSE	R ²	k	c	a	دما (°C) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying Method
۰/۰۲۹	۰/۹۹۲۲	۰/۱۱۷	-۰/۰۸۳	۱/۱۳۸	۵۰	آون Oven
۰/۰۳۱	۰/۹۹۱۵	۰/۱۳۲	-۰/۰۷۳	۱/۱۳۱	۶۰	
۰/۰۳۱	۰/۹۹۱۶	۰/۱۴۳	-۰/۰۶۲	۱/۱۱۸	۷۰	
۰/۰۳۴	۰/۹۸۹۹	۰/۱۳۲	-۰/۰۸۴	۱/۱۴۵	۵۰	هوای داغ Hot-air
۰/۰۳۸	۰/۹۸۷۳	۰/۱۶۱	-۰/۰۵۴	۱/۱۲۲	۶۰	
۰/۰۳۸	۰/۹۸۷۴	۰/۱۶۷	-۰/۰۵۹	۱/۱۲۷	۷۰	
۰/۰۳۷	۰/۹۸۷۵	۰/۱۴۶	-۰/۰۱۸	۱/۰۹۱	-----	خورشیدی Solar
۰/۰۱۲	۰/۹۹۹۸	۰/۶۳۵	۰/۰۰۹	۰/۹۹۴	-----	انجمادی Freeze-drying

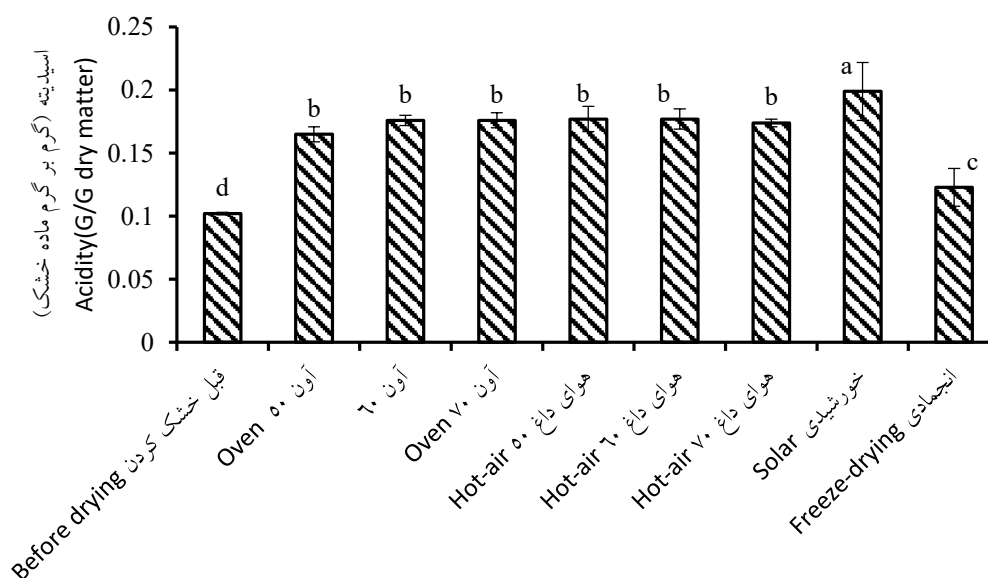
جدول ۶- مقادیر ثابت‌های مدل میدیلی ($MR=a\exp(-kt^n)+bt$) به همراه پارامترهای آماری دقت مدل‌سازی برای خشک کردن کشک

Table 6- Midilli model ($MR=a\exp(-kt^n)+bt$) constants with statistical parameters of modeling accuracy for drying Kashk

RMSE	R ²	n	k	b	a	دما (°C) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying Method
۰/۰۰۶	۰/۹۹۹۷	۱/۴۲	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲	۰/۹۸۶	۵۰	آون Oven
۰/۰۰۷	۰/۹۹۹۶	۱/۴۲	۰/۰۶۴	۰/۰۰۲	۰/۹۸۷	۶۰	
۰/۰۰۷	۰/۹۹۹۵	۱/۴۱	۰/۰۷۱	۰/۰۰۱	۰/۹۸۶	۷۰	
۰/۰۰۸	۰/۹۹۹۴	۱/۴۶	۰/۰۵۸	۰/۰۰۱	۰/۹۸۳	۵۰	هوای داغ Hot-air
۰/۰۰۹	۰/۹۹۹۲	۱/۴۹۵	۰/۰۶۷	۰/۰۰۱	۰/۹۸۲	۶۰	
۰/۰۱۱	۰/۹۹۹۱	۱/۴۹۲	۰/۰۷۲	۰/۰۰۱	۰/۹۸۲	۷۰	
۰/۰۱۹	۰/۹۹۶۷	۱/۳۸۵	۰/۰۷۳	۰/۰۰۳	۱/۰۰۸	-----	خورشیدی Solar
۰/۰۱۳	۰/۹۹۹۱	۱/۰۳۲	۰/۶۳۳	۰/۰۰۲	۱/۰۰۱	-----	انجمادی Freeze-drying

اسیدیته: نتایج تغییرات اسیدیته طی خشک کردن نشان می‌دهد که همه روش‌های خشک کردن به طور معنی‌داری باعث افزایش اسیدیته می‌شوند (شکل ۴). در بین روش‌های خشک کردن بیشترین افزایش اسیدیته مربوط به روش خورشیدی و کمترین آن مربوط به روش انجمادی می‌باشد. همچنین در روش‌های آون و هوای داغ نوع روش و دما اثر معنی‌داری

بر افزایش اسیدیتته نداشته و بین دماهای مختلف اختلاف معنی داری وجود ندارد. در تطابق با این نتایج دامپر و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند اسیدیتته کشک در طی خشک کردن افزایش می یابد (۱۳). در مورد سایر مواد غذایی که تحت روش های مختلف خشک کردن قرار گرفته اند نیز نتایج مشابهی گزارش شده است (۱۴ و ۱۵). باکتری های اسیدلاکتیک در محصولات لبنی تخمیری از جمله کشک به فراوانی یافت می شوند (۱۳). طی کشک به دلیل مساعد بودن شرایط رشد این باکتری ها باعث تولید اسیدلاکتیک و در نتیجه افزایش اسیدیتته می گردند. در روش انجمادی به دلیل منجمد کردن نمونه ها فعالیت باکتری های اسیدلاکتیک نسبت به روش های دیگر خشک کردن کاهش یافته در نتیجه نمونه خشک شده به روش خشک کن انجمادی دارای اسیدیتته کمتری می باشد. در تأیید این نتایج ژنگ و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی ترکیب شیمیایی و میکروبی کشک اظهار کردند افزایش اسیدیتته رابطه مستقیمی با افزایش تعداد باکتری های اسیدلاکتیک داشته و این باکتری ها نقش مهمی در ایجاد عطر و طعم کشک دارند (۱۶). همچنین از واکنش های مهم طی خشک کردن مواد غذایی واکنش مایلارد است که علاوه بر تولید ترکیبات رنگی در این واکنش به دلیل از بین رفتن گروه های آمینی و همچنین تولید اسیدهای آلی باعث اسیدیتته افزایش و pH کاهش می یابد (۱۷).



شکل ۴- تغییرات اسیدیتته کشک تحت تاثیر روش های مختلف خشک کردن

Figure 4. Changes in acidity of Kashk as affected by different methods of drying

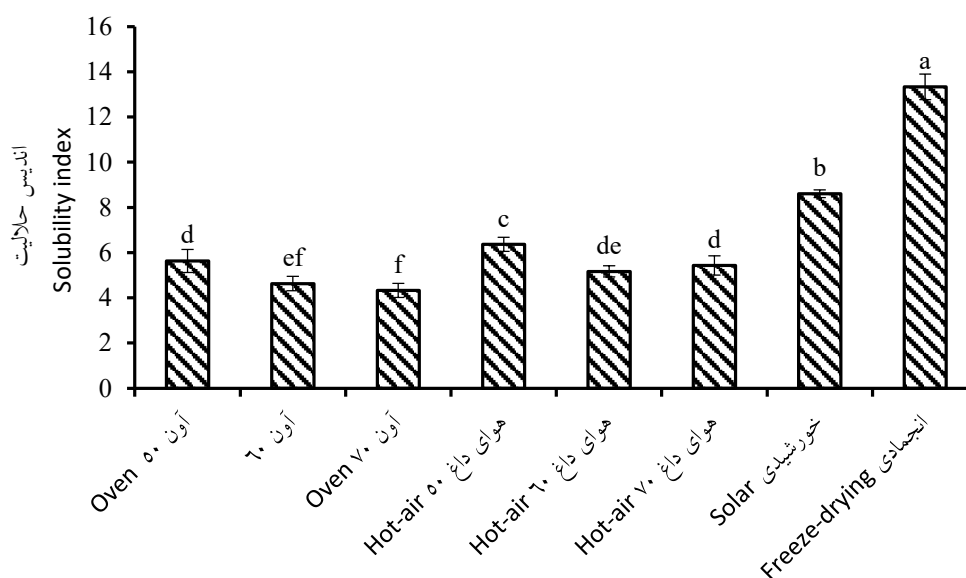
محلول در آب، فراریت کمتری دارد، کاهش رطوبت طی خشک کردن اثری معنی داری بر حذف محتوای چربی ندارد (۱۸).

اندیس حلالیت: حلالیت یکی از ویژگی های عملکردی مهم در پودرهای غذایی و مواد خشک شدن می باشد و بر بازسازی آن هادر آب اثر می گذارد. این ویژگی از نظر تولیدکنندگان و مصرف کنندگان از اهمیت خاصی برخوردار است (19). نتایج ارائه شده در نمودار ۵

چربی: محتوی چربی اثر مهمی در کیفیت، ترکیب و طعم کشک دارد. میزان چربی قبل از خشک کردن میزان ۰,۰۸ گرم بر گرم ماده خشک بود که پس از خشک کردن نیز اختلاف معنی داری بین روش های مختلف خشک کردن در سطح ۰/۰۵ وجود نداشت. این پایداری را می توان به ویژگی های ذاتی چربی در ماتریکس کشک و ساختار امولسیون آن نسبت داد. علاوه بر این از آنجایی که چربی نسبت به ترکیبات

خشک کردن، شرایط خشک کردن نظیر دمای مورد استفاده، سرعت جریان هوا، فشار هوا در حلالیت مواد خشک شده مؤثر می باشد (20). در روش انجمادی سرعت خروج رطوبت نسبت به روش های دیگر بالاست و محصول نهایی متخلخل تر و دارای جذب آب بالاتری می باشد. همچنین در روش های حرارتی حرارت باعث تخریب ساختارهای فعال در جذب آب از جمله پروتئین ها و در نتیجه کاهش حلالیت می گردد (21).

نشان می دهد نوع روش خشک کردن بر روی میزان حلالیت کشک مؤثر می باشد که این تغییرات در سطح ۰/۰۰۰۱ معنی دار می باشند. در بین روش های مختلف خشک کردن روش انجمادی بیشترین حلالیت و بعد از آن خشک کردن خورشیدی قرار دارد همچنین در دو روش خشک کردن آون و هوای داغ با افزایش دما حلالیت نیز افزایش یافته است. به طور کلی عواملی نظیر اندازه، شکل، ترکیب، ویژگی های سطحی، ریزساختار ذره و حضور افزودنی ها و ترکیبات نامحلول، نوع و ترکیب ماده اولیه، غلظت مواد جامد قبل از



شکل ۵- تغییرات اندیس حلالیت کشک تحت تاثیر روش های مختلف خشک کردن

Figure 5. Changes in solubility index of Kashk as affected by different methods of drying

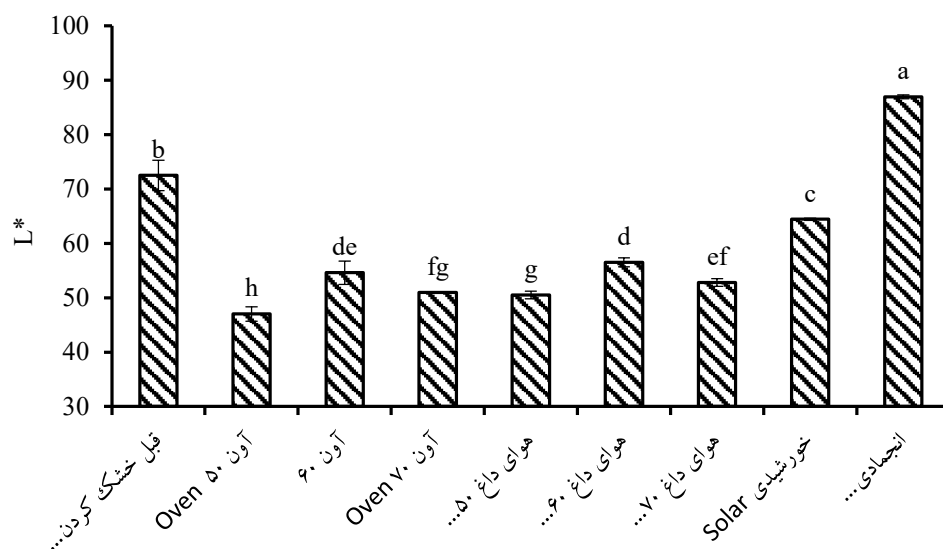
هر دو روش آون و هوای داغ نسبت به دو دمای دیگر شاخص *L بیشتری دارد (شکل ۶).

نتایج حاصل از بررسی شاخص *a نشان می دهد کشک های خشک شده به روش انجمادی دارای کمترین میزان *a می باشند و در این روش خشک کردن نسبت به نمونه اولیه *a به طور معنی داری کاهش یافته است (شکل ۷). در روش های خشک کردن با استفاده از حرارت (خورشیدی، آون و هوای داغ) با افزایش دما شاخص *a به طور معنی داری ($p < 0.05$)

خصوصیات رنگ: نتایج رنگ سنجی کشک های خشک شده به روش های مختلف نشان داد فاکتورهای رنگی *L، *a و *b به طور معنی داری تحت تأثیر روش خشک کردن قرار دارند (شکل های ۶ تا ۸). شاخص *L نمونه های کشک خشک شده به روش انجمادی نسبت به نمونه اولیه افزایش یافته است همچنین در روش های آون و هوای داغ شاخص سفیدی نسبت به نمونه های اولیه کاهش یافته است و نمونه خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد در

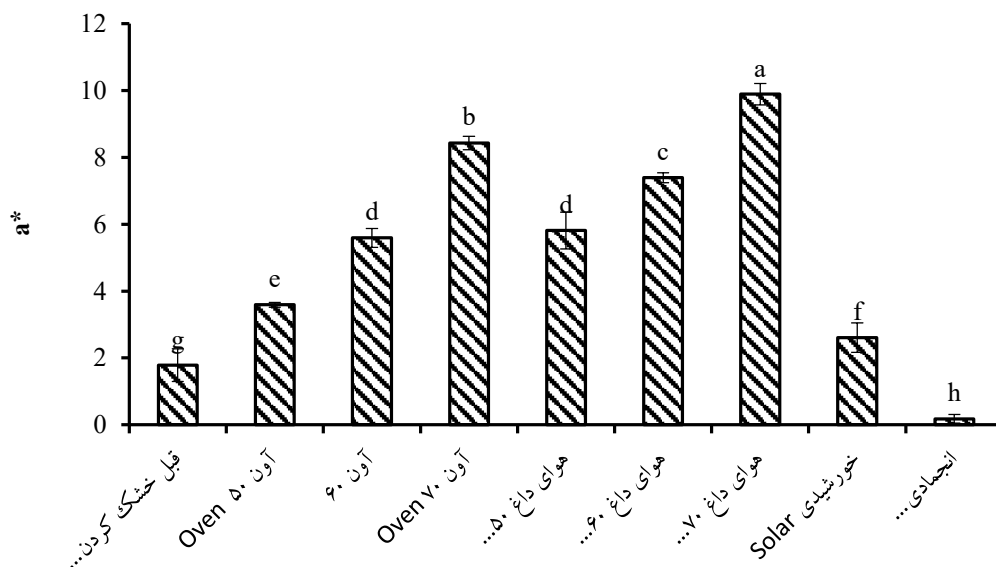
انجمادی نسبت به سایر روش‌ها دارای b^* کم‌تری می‌باشد و این شاخص در روش انجمادی نسبت به نمونه قبل از خشک‌کردن نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. با افزایش دما در روش‌های خشک‌کردن با آون و هوای داغ شاخص b^* افزایش یافته است. بالاین‌حال این افزایش بین دمای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد هوای داغ معنی‌دار نمی‌باشد.

افزایش یافته است و نمونه خشک شده به روش هوای داغ ۷۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین a^* می‌باشد. در طی خشک شدن واکنش مایلارد اتفاق می‌افتد این واکنش با تولید ترکیبات قرمز و قهوه‌ای باعث کاهش شاخص L^* و افزایش شاخص‌های a^* و b^* می‌شود. نتایج شاخص b^* در نمودار ۸ گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش خشک‌کردن



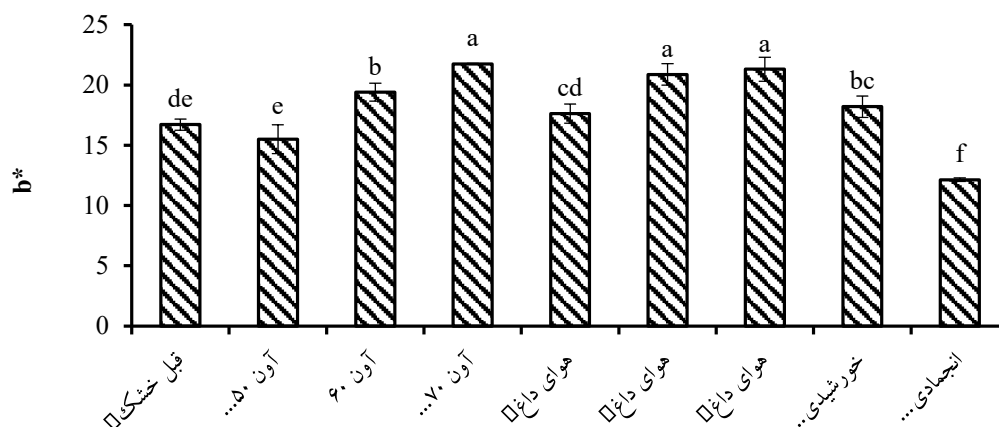
شکل ۶- تغییرات L^* کشک تحت تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن

Figure 6. Changes in L^* index of Kashk as affected by different methods of drying



شکل ۷- تغییرات a^* کشک تحت تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن

Figure 7. Changes in a^* of Kashk as affected by different methods of drying

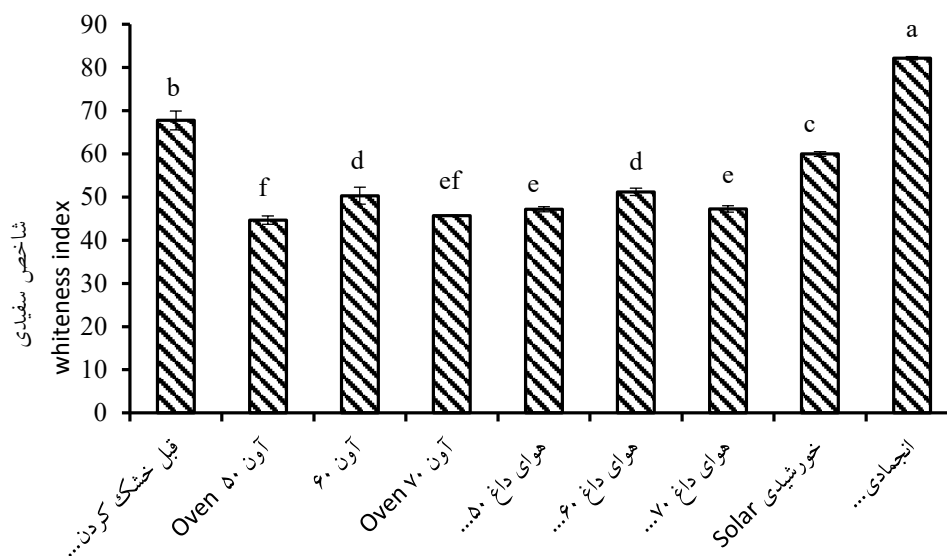


شکل ۸- تغییرات b^* کشک تحت تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن

Figure 8. Changes b^* index of Kashk as affected by different methods of drying

سفیدتری دارد (شکل ۹). در مقایسه اثر دما بر شاخص سفیدی نیز بین دماهای ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد در هر دو روش آون و هوای داغ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد سفیدتر می‌باشد. با مقایسه این نتایج با نتایج حاصل از ارزیابی حسی رنگ توسط ارزیاب‌ها نیز روند مشابهی وجود دارد که نشان می‌دهد در مورد کشک رنگ سفید ترجیح داده می‌شود و خشک‌کن انجمادی امتیاز حسی بالاتری کسب نموده است.

شاخص سفیدی از ترکیب ریاضی خصوصیات $L^*a^*b^*$ در یک شاخص به دست می‌آید (معادله ۳) و به‌طور گسترده جهت بررسی سلیقه افراد برای پذیرش رنگ سفید اندازه‌گیری می‌شود (22). شاخص سفیدی خصوصیت کلی مرتبط با سفیدی مواد غذایی و توسعه تغییر رنگ طی فرآیند خشک‌کردن را نشان می‌دهد (23). نتایج تغییرات شاخص سفیدی نشان می‌دهد سفیدی نمونه‌های خشک شده به روش آون، هوای داغ و خورشیدی پس از خشک شدن کاهش یافته است ولی نمونه خشک شده به روش انجمادی رنگ

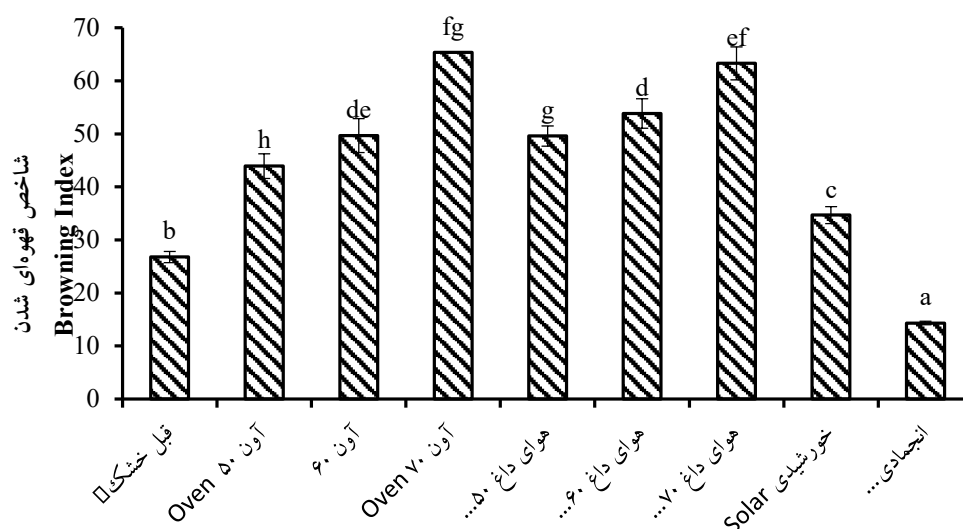


شکل ۹- تغییرات شاخص سفیدی کشک تحت تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن

Figure 9. Changes in the whiteness index of Kashk as affected by different methods of drying

شاخص قهوه‌ای شدن افزایش می‌یابد. این نتایج برگرفته از انجام واکنش مایلارد در پی افزایش دما می‌باشد که طی آن اسیدهای آمینه پروتئین و قند واکنش داده و محصول نهایی، ترکیبات قهوه‌ای رنگ خانواده ملانین می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج سخاوتی زاده و همکاران در یک راستاست (۲۰۲۱) (24).

نتایج شاخص قهوه‌ای شدن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود نمونه‌های خشک شده به روش انجمادی کمترین سطح قهوه‌ای شدن را دارند و باینکه در نمونه‌های خشک شده با استفاده از حرارت شاخص قهوه‌ای شدن نسبت به نمونه اولیه افزایش یافته است و با افزایش دما روش‌های خشک کردن آون و هوای داغ با افزایش دما



شکل ۱۰- تغییرات شاخص قهوه‌ای شدن کشک تحت تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن

Figure 10. Changes in the Browning index of Kashk as affected by different methods of drying

حسی را کسب نمودند و پذیرش کلی نمونه‌های خشک شده به روش هوای داغ ۵۰ درجه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های خورشیدی و انجمادی نداشتند. در تطابق با نتایج این تحقیق، مظاهره و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی نحوه خشک خمیر کشک تولیدی از شیر گاو و گوسفند به روش خشک کردن خورشیدی و انجمادی اختلاف معنی‌داری بین کشک‌های گوسفندی مشاهده نکردند ولی کشک‌های تولیدی از شیر گاو خشک شده به روش انجمادی امتیاز بالاتری کسب نمودند (۲۵).

ارزیابی حسی: در جدول ۷ نتایج ارزیابی حسی برای روش‌های مختلف خشک کردن کشک نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود بیشترین امتیاز حسی برای خصوصیات بو، بافت و بافت دهانی و پذیرش کلی مربوط به روش خورشیدی می‌باشد و نمونه‌های خشک شده به روش انجمادی دارای رنگ و طعم بهتری بودند. با افزایش درجه حرارت خشک کردن در روش آون و هوای داغ امتیاز حسی نمونه‌ها کاهش یافت به‌طوری‌که نمونه‌های خشک شده به روش آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد کمترین امتیاز

جدول ۷- نتایج ارزیابی حسی برای کَشک‌های خشک شده به روش‌های مختلف

Table 7. Result of sensory analysis for Kashk dried by different methods

روش خشک کردن Drying Method	دما (°C)	رنگ	بو	طعم	بافت	بافت دهانی	پذیرش کلی
آون	۵۰	۲/۷ ± ۰/۵ ^{cd}	۲/۷ ± ۰/۵ ^{abc}	۲/۲ ± ۰/۷ ^c	۱/۳ ± ۰/۵ ^d	۱/۵ ± ۰/۵ ^d	۲/۲ ± ۰/۶ ^{cd}
	۶۰	۲/۵ ± ۰/۵ ^{de}	۲/۲ ± ۰/۷ ^{cd}	۱/۶ ± ۰/۷ ^d	۲/۱ ± ۰/۷ ^c	۲/۰ ± ۰/۸ ^{cd}	۲/۲ ± ۰/۸ ^{cd}
	۷۰	۱/۴ ± ۰/۵ ^f	۱/۹ ± ۰/۷ ^d	۱/۳ ± ۰/۵ ^d	۱/۵ ± ۰/۷ ^d	۱/۶ ± ۰/۵ ^d	۱/۷ ± ۰/۵ ^d
هوای داغ	۵۰	۳/۲ ± ۰/۴ ^{ab}	۳/۳ ± ۰/۶ ^a	۲/۷ ± ۰/۵ ^{abc}	۲/۴ ± ۰/۵ ^{bc}	۲/۴ ± ۰/۷ ^{bc}	۳/۰ ± ۰/۷ ^{ab}
	۶۰	۳/۱ ± ۰/۶ ^{bc}	۲/۹ ± ۰/۷ ^{ab}	۲/۶ ± ۰/۶ ^{bc}	۲/۹ ± ۰/۷ ^b	۲/۸ ± ۰/۶ ^{ab}	۲/۷ ± ۰/۶ ^{bc}
	۷۰	۲/۲ ± ۰/۶ ^c	۲/۵ ± ۰/۵ ^{bcd}	۲/۳ ± ۰/۶ ^c	۲/۵ ± ۰/۵ ^{bc}	۲/۶ ± ۰/۵ ^b	۲/۶ ± ۰/۵ ^{bc}
خورشیدی	---	۳/۳ ± ۰/۵ ^{ab}	۳/۰ ± ۰/۸ ^{ab}	۳/۰ ± ۰/۸ ^{ab}	۳/۵ ± ۰/۵ ^a	۳/۳ ± ۰/۵ ^a	۳/۴ ± ۰/۵ ^a
انجمادی	---	۳/۶ ± ۰/۵ ^a	۲/۹ ± ۰/۷ ^{ab}	۳/۲ ± ۰/۷ ^a	۲/۴ ± ۰/۶ ^{bc}	۲/۹ ± ۰/۷ ^{ab}	۳/۰ ± ۰/۶ ^{ab}

حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار تیمارها در سطح ۵ درصد است.

Non-similar letters indicate significant difference between treatments at $P < 0.05$.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص گردید نوع روش خشک کردن بر روی میزان حلالیت کشک مؤثر می‌باشد و در بین روش‌های مختلف خشک کردن روش انجمادی بیشترین حلالیت را دارد و روش‌های خشک کردن آون و هوای داغ با افزایش دما حلالیت نیز افزایش می‌یابد. شاخص L^* نمونه‌های کشک خشک شده به روش انجمادی نسبت به نمونه اولیه افزایش یافته است و در روش‌های آون و هوای داغ با افزایش دمای خشک کردن شاخص L^* اندکی افزایش نشان می‌دهد. کشک‌های خشک شده به روش انجمادی دارای کمترین میزان a^* می‌باشند و در روش‌های خشک کردن با استفاده از حرارت (خورشیدی، آون و هوای داغ) با افزایش دما شاخص a^* به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. روش خشک کردن انجمادی نسبت به سایر روش‌ها دارای b^* کمتری می‌باشد و با افزایش دما در روش‌های خشک کردن با آون و هوای داغ شاخص b^* افزایش می‌یابد. نتایج تغییرات شاخص سفیدی نشان داد

سفیدی نمونه‌های خشک شده به روش آون، هوای داغ و خورشیدی پس از خشک شدن کاهش یافته است درحالی‌که نمونه خشک شده به روش انجمادی رنگ سفیدتری دارد. در بررسی حسی نمونه خشک شده به روش خورشیدی بیشترین امتیاز حسی برای خصوصیات بو، بافت و بافت دهانی و پذیرش کلی را کسب نمود.

با توجه به نتایج بیان شده، روش خشک کردن انجمادی نمونه‌های بهتری از نظر اکثر خصوصیات فیزیکوشیمیایی تولید می‌نماید ولی هزینه سرمایه‌گذاری برای این روش بسیار بالاست از طرفی نمونه‌های خشک شده به روش خورشیدی از نظر حسی بهترین امتیاز را کسب نمودند. همچنین استفاده از روش‌های خشک کردن خورشیدی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر هستند و امکان استفاده از این روش در تمام نقاط کشور وجود دارد. بنابراین استفاده از روش خشک کردن خورشیدی برای خشک کردن کشک روش مناسبی است.

References

1. Farahmand, A., Feizy, J., Shahidi-Noghabi, M., Shirzaei, S., Asghari, L., & Naji-Tabasi, S. 2025. Purification and Characterization of Kashk Protein Powder by Precipitation and Solvent Extraction Techniques. LWT, 219: 1-11.
2. Golestan, L., Seyedyousefi, L., Kaboosi, H. and Safari, H. 2016. Effect of *Mentha spicata* L. and *Mentha aquatica* L. essential oils on the microbiological properties of fermented dairy product, kashk. International Journal of Food Science and Technology, 51: 3. 581-587.
3. Habibiyan, A & Kazemi, M. 2007. Investigating the practical use of floating bed dryers in agricultural products. Iran's National Congress of Food Industries (waste reduction safety), p. 9.
4. Babu, A.K., Kumaresan, G., Raj, V.A.A., & Velraj, R. 2018. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. Renewable and sustainable energy reviews, 90: 536-556.
5. Ertekin, C., & Yaldiz, O. S. M. A. N. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. Journal of food engineering, 63: 3. 349-359.
6. AOAC 950-46.
7. INSO 2452. Liquid Kashk -Specifications and test methods. 2015.
8. Ghaderi, A., Abbasi, S. & Hamidi-Esfahani, Z. 2010. Yoghurt powder production using a microwave-vacuum drier. Iranian food science and Technology Research Journal, 3: 310-322.
9. Rahim, J. W., Wu, Y., Weller, C. L. and Schnepf, M. 1999. Physical characteristics of a composite film of soy protein isolate and propyleneglycol alginate. Journal of Food Science, 64(1): 149-152.
10. Mujumdar, A.S. 2001. Industrial Drying Technologies: Current Status and Future Trends in Energy and Environment. 6: 112-125.
11. Mokhtarian, H., Nobahar, F. & Tavakolipour, H. 2010. Investigating the physicochemical properties of tomato powder during drying. The first national congress of tomato production and processing technology.
12. Yarahmadi, M., Robert Mahan, J., & Priestley, K. J. 2019. Uncertainty analysis and experimental design in the Monte Carlo ray-trace environment. Journal of Heat Transfer, 141:3. 032701.
13. Damir, A.A., Salama, A.A. and Mohamed, M.S. 1992. Acidity, microbial, organic and free amino acids development during fermentation of skimmed milk, kishk. Food Chemistry, 43: 265-269.
14. Garcia-Alamilla, P., Salgado-Cervantes, M. A., Barel, M., Berthomieu, G., Rodríguez-Jimenes, G. C., & García-Alvarado, M. A. 2007. Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying. Journal of Food Engineering, 79: 4. 1159-1165.
15. Mulyati, S., Pramesthy, F. A., Meutia, F., Rinaldi, A., Siregar, S. M., & Muchtar, S. 2019. Effects of temperature and duration of drying on the quality of powdered Asam sunti. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 523, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
16. Zhang, H., Xu, J., Wang, J., Sun, T., Li, H. and Guo, M. 2008. A survey on chemical and microbiological composition of kurut, naturally fermented yak milk from Qinghai in China. Food Control, 19: 6. 578-586.
17. Fatemi, H. Book, 2000. Principles of food preservation technology. publishing company. 450p.
18. Rupp, L. S., Molitor, M. S., & Lucey, J. A. 2018. Effect of processing methods and protein content of the concentrate on the properties of milk protein concentrate with 80% protein. Journal of Dairy Science, 101: 9. 7702-7713.
19. Sarabandi, Kh. and Sadeghi Mahonek, A.R. 2015. The effect of inlet air temperature and maltodextrin content on the chemical characteristics of spray-dried date juice powder. New Food Technologies Quarterly, 4: 14. 1-15.
20. Bhandari, B.R., Patel, K.C. and Chen, X.D. 2008. Spray drying of food materials-process and product characteristics. Drying Technologies in Food Processing, 4: 113-157.

21. Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*, 66: 1: 25-34.
22. Pathare, P.B., Opara, U.L. and Al-Said, F.A.J. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 1. 36-60.
23. Hsu, C.L., Chen, W., Weng, Y.M. and Tseng, C.Y. 2005. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 83: 1. 85-92.
24. Sekhavatizadeh, S. S., Mirzaee, N., Golmakani, M. T., & Hosseinzadeh, S. 2022. Physicochemical and sensory characteristics of Kashk as influenced by quinoa flour addition. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 11: 5. e3438-e3438.
25. Mazahreh, A.S., Al-Shawabkeh, A.F. and Quasem, J.M. 2008. Evaluation of the chemical and sensory attributes of solar and freeze-dried jameed produced from cow and sheep milk with the addition of carrageenan mix to the jameed paste. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 3: 3. 627-632.