Journal Food Research
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Thin layer drying of saffron using moisture absorbent materials on the quality characteristics of product

Shadi Basiri

Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Mashhad, Islamic Republic of Iran.
✉Corresponding author: shbasiri35@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:
Received: August 18, 2023
Accepted: April 7, 2024
Published: July 4, 2024

Keywords:
Picrocrocin, Crocin, Quality, Safranal, Saffron

ABSTRACT

Background: The saffron plant is native to Iran. About 90% of the world's saffron is produced in Iran. Drying saffron greatly affects the qualitative and sensory characteristics of saffron.
Aims: In this research, the effect of moisture - absorbent materials on the drying of saffron was investigated.
Methods: the effects of the type of moisture absorbent material (silica gel, zeolite, bentonite and clay), air velocity (0.2, 0.4, 0.6 m/s) and temperature (30, 40, 50ºC) after passing through the layer of moisture absorbent materials on the quality indicators of saffron were investigated. The indices of picrocrocin, safranal and crocin of saffron were compared in this method with other common methods such as the Spanish and dry shade methods.
Results: The results showed that the use of moisture absorbent materials in the drying process improved the quality of the product. Among the moisture absorbent materials, silicagel dried saffron in the shortest time (29 min) and it was found suitable because silica gel could be reused. The air entering the dryer with a temperature of 30ºC and a speed of 0.6 m/s kept the highest amounts of safranal (51.2) and picrocrocin (99.7) in saffron. The highest amount of crocin (235.7) was also measured at a temperature of 50 degrees Celsius and a speed of 0.2 m/s. considering the same effect of air velocities of 0.4 and 0.6 m/s on saffron quality, the speed of 0.4 m/s is more suitable due to the reduction of energy consumption. The use of low temperature (30ºC) in drying creates a product with good quality (aroma and taste). Since to produce more crocin (color), more temperature is needed, at the end of drying, a high heat treatment (50ºC) can be used in a short time.
Conclusion: Using moisture absorbent materials in the process of drying saffron can significantly help in drying saffron with high quality (taste and aroma). The use of air speed of 0.2 m/s was chosen due to economic efficiency. Drying saffron at 30°C produced saffron with better taste and aroma. It is better to use of 50°C at the end of the drying process to create saffron with better color.

Food Research Journal, 2024,34(2): 121-134
DOI: 10.22034/FR.2024.58042.1896

:

Extended Abstract

Introduction: The saffron plant is native to Iran. About 90% of the world's saffron is produced in Iran. Drying saffron has a great effect on the qualitative and sensory characteristics of saffron. Saffron drying is done in different ways. In choosing the optimal method and conditions for drying saffron, one should pay attention to points such as regional conditions, pollution level, efficiency, final moisture and product quality indicators.

Drying saffron at a temperature of 25 to 60°C will reduce the amount of crocin pigment and the intensity of coloring due to the enzymatic decomposition of crocin (Tsimidou and Biliaderis 1997). Using a temperature higher than 90°C will reduce the intensity of saffron coloring due to the increase in the thermal decomposition and oxidation of crocin (Gregory et al., 2005). International and national standards recommended minimum humidity of 12% and 10% respectively for saffron in order to increase its shelf life. Moisture absorbent materials are based on the principle of moisture transfer due to the difference in vapor pressure between the absorbent material and air.

The absorbent material with low moisture content absorbs moisture from the air and reaches a balance with it. The advantages of moisture absorbent materials in drying, in addition to low energy consumption, include continuous drying even in non-sunny hours, increased drying rate due to hot and dry air, very uniform drying, and higher product quality, especially for heat-sensitive products (Dorouzi et al., 2017). There is no research available in the field of using moisture absorbing compounds in drying saffron. The purpose of the research was to investigate the effectiveness of moisture absorbent material on drying saffron and the effect of the characteristics of the air entering the dryer containing moisture absorbent material on the quality indicators (color, aroma and taste) of saffron.

Materials and methods: The stigmas were separated from the saffron petals and prepared for drying. The usual index and sufficiency of saffron drying was considered equal to 10%:moisture based on national standard No: 259-2. After drying and reaching laboratory conditions in terms of temperature and humidity, the samples were packed in glass containers and kept at 4°C for evaluation tests. In the first phase, moisture absorbent materials including silica gel, natural zeolite, clay and bentonite were compared in terms of their effect on the drying speed of saffron. At this stage, these materials were placed in the drying machine and under constant drying conditions (inlet air temperature 40°C and inlet air velocity 0.4 m/s) the time for saffron moisture to reach 10% of the initial value was measured. To determine the time to reach 10% moisture, direct weighing during drying and comparing it with the moisture content of the original product was used. The adsorbent selected from this step was used in the next step. Then, with the aim of determining the optimal conditions of the incoming air in the drying method using the moisture absorbent material selected from the previous phase, the incoming air with 3 speeds of 0.2, 0.4, 0.6 m/s and three temperatures of 30, 40 and 50°C after passing through the (selected) moisture absorbent layer, it entered the dryer and the effect of the treatments on the amount of picrocrocin, safranal and crocin of saffron was checked and the optimal speed and temperature of the inlet air was selected. Also, the effect of drying method on the quality of saffron was investigated. In this experiment, saffron was dried using three Spanish methods, dry shade (traditional) and drying with moisture absorbent materials, and the effect of drying method on picrocrocin, safranal and crocin of saffron was investigated. Drying methods included the traditional, Spanish method and the use of moisture absorbent materials. Saffron quality evaluation tests including measuring the values of saffron quality indicators, i.e. picrocrocin, safranal and crocin, were determined based on national standard number 259-2 and with a spectrophotometer and ultraviolet-visible spectrophotometric method. The drying of saffron continued until the moisture content reached 10%.

Results and discussion: The results showed a significant difference between the effects of moisture absorbent materials on the drying time of saffron under the same temperature conditions. The highest drying speed was related to silica gel and the lowest was related to clay. An important issue is the ability to stabilize silica gel in the drying bed and the possibility of reusing it without contamination. The results showed that as the temperature increased from 30°C to 50°C, the amount of picrocrocin gradually decreased. Also, at a constant temperature, the amount of picrocrocin increased with the increase of the inlet air speed. Decreasing the drying temperature along with increasing the incoming air speed can produce saffron with a better aroma. The studied temperature range for drying saffron, i.e. the temperature range of 30°C to 50°C, the amount of crocin increased with increasing temperature. The quality of saffron obtained by drying saffron with moisture absorbent was in competition with the traditional drying method.

Conclusion: Among the three methods of drying saffron, by measuring the qualitative indicators of saffron, the traditional drying method produces saffron with an aroma index (safranal) (48±2.7unit), taste index (picrocrocin) (96 ± 2.1). The drying method with silica gel moisture absorbent material was after the traditional method in terms of taste index (86.7 ±1 unit). In terms of saffron color index (crocin), the Spanish method (211.37±3 unit) scored the highest. The use of moisture absorbent materials in the process of drying saffron can significantly help in drying saffron with high quality (taste and aroma). The use of air speed of 0.2 m/s was chosen due to economic efficiency. The highest amount of crocin (235.7±5 unit) was obtained at a temperature of 50°C and an air velocity of 0.2 m/s. Drying saffron at 30°C produced saffron with better taste and aroma. To create crocin or more color in saffron, after drying saffron at a temperature of 30°C, at the end of the drying process, it is better to use a high temperature of 50°C.

پژوهش‌های صنایع غذایی
شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵X- ۲۰۰۸
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

اثر خشک کردن توسط مواد جاذب رطوبت بر خواص کیفی زعفران

شادی بصیری
دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد ، ایران
*مسئول مکاتبه: shbasiri35@yahoo.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۸
پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۸
انتشار: ۱۴۰۳/٤/۱٤

کلید واژگان:
پیکروکروسین،زعفران، سافرانال، کروسین، کیفیت

چکیده

زمینه مطالعاتی: خشک‌کردن زعفران بخش تاثیرگذار بر کیفیت فیزیکی‌شیمیایی و حسی زعفران است. **هدف:** بررسی کارایی ماده جاذب رطوبت بر خشک‌کردن زعفران و تاثیر ویژگی‌های هوای ورودی به خشک‌کن حاوی ماده جاذب رطوبت بر شاخص‌های کیفی (رنگ، عطر و طعم) زعفران بود. **روش کار:** در این پژوهش اثرات نوع ماده جاذب رطوبت (سیلیکاژل، زئولیت، خاک‌رس و بنتونیت)، سرعت هوای ورودی به خشک‌کن (۰/۲، ۰/٤و ۰/٦ متر بر ثانیه) و دمای هوای ورودی به خشک‌کن (۳۰، ٤۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد)، پس از عبور از لایه ماده جاذب رطوبت، بر کیفیت زعفران بررسی شدند. مقادیر پیکروکروسین، سافرانال و کروسین زعفران خشک شده با این روش با دو روش خشک‌کردن متداول زعفران یعنی روش‌های اسپانیایی و سایه‌خشک (سنتی) مقایسه شدند. **نتایج:** بین ترکیبات جاذب رطوبت، سامانه خشک‌کن دارای سیلیکاژل، سریع‌تر از بقیه ترکیبات (۲۹ دقیقه) باعث خشک‌شدن زعفران شد. همچنین سیلیکاژل قابلیت استفاده مجدد دارد و به عنوان ماده جاذب رطوبت انتخاب و در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. هوای ورودی به خشک‌کن با دمای ۳۰°C و سرعت ۰/٦ متر بر ثانیه، باعث حفظ بیشترین مقادیر سافرانال (۵۱/۲) و پیکروکروسین (۹۹/۷) در زعفران شد. بیشترین مقدار کروسین (۲۳۵/۷) نیز در دمای ۵۰°C و سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه اندازه گرفته شد. با توجه به تأثیر یکسان سرعت‌های هوای ۰/۲ ، ۰/٤ و ۰/٦ متر بر ثانیه بر کیفیت محصول، سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه به دلیل کاهش مصرف انرژی مناسب تشخیص داده شد. استفاده از دمای پایین (۳۰° C) در خشک کردن، محصولی با کیفیت از نظر عطر و طعم ایجاد کرد. برای تولید کروسین (رنگ) بیشتر، نیاز به دمای بالا است. برای این منظور ضرورت دارد در انتهای خشک‌کردن زعفران دمای بالاتر (۵۰°C) اعمال گردد. **نتیجه‌گیری نهایی:** کیفیت زعفران در روش استفاده از ماده جاذب رطوبت مشابه روش سنتی خشک کردن زعفران و نسبت به روش اسپانیایی بالاتر بود.

مقدمه

گیاه زعفران بومی ایران است و با توجه به شرایط اقلیمی کشور، جایگاه ویژه‌ای در بین سایر محصولات کشاورزی دارد. کشت و تولید آن باعث افزایش درآمدهای ارزی کشور می‌شود (مصلی پور و طحان ۱۳۹۸).

در حدود ۹۰ درصد زعفران دنیا در ایران تولید می‌شود که ۸۵ درصد آن به استان‌های خراسان رضوی و جنوبی اختصاص دارد. سالانه تقریبا ۸۰ درصد زعفران ایران به ۱۰۰ کشور مختلف در دنیا صادر می‌شود (قربانی و کوچکی ۲۰۱۷).

رنگدانه‌های زعفران به طور عمده از گروه کارتنوئیدهای دارای عامل کربوکسیل می‌باشند. کروسین با ٤٥- ٤٠ درصد اصلی‌ترین استر کارتنوئیدی محلول در آب است. این ترکیب قرمز رنگ قدرت ضداکسایشی بسیار قوی دارد (عاطفی و همکاران ۱۳۹۲). عطر زعفران مربوط به ترکیبات فرار با ساختار ترپنوئیدی است که ۳۰ تا ۷۲ درصد آن را ترکیب سافرانال تشکیل می‌دهد. طعم زعفران تحت تأثیر گلیکوزیدی با طعم تلخ و تند به نام پیکروکروسین است (تانگ و همکاران ۲۰۱۵). کیفیت زعفران ارتباط مستقیم با غلظت سه ترکیب اصلی کروسین، پیکروکروسین و سافرانال دارد.

خشک کردن زعفران مهمترین بخش فرآوری و تاثیرگذار بر کیفیت فیزیکوشیمیایی و حسی زعفران است (ملافیلابی و همکاران ۱۳۹۸). خشک کردن زعفران به روش‌های مختلف در سایه، آفتاب، استفاده از مواد رطوبت‌گیر، مایکروویو، مادون قرمز، هوای داغ، انجمادی و تحت خلاء، انجام می‌شود (ساسل و همکاران ۲۰۰۳). در انتخاب روش و شرایط بهینه خشک کردن زعفران باید به نکاتی مانند شرایط منطقه، میزان آلودگی، راندمان، رطوبت‌نهایی و شاخص‌های کیفی محصول توجه کرد (امامی‌فر ۱۳۹۷). سیمیدو و بیلیادریس (۱۹۹۷) گزارش کردند که خشک- کردن زعفران در دمای ۲۵ تا ٦۰ درجه سانتی‌گراد، باعث کاهش میزان رنگدانه کروسین و شدت رنگ‌دهی به دلیل تجزیه آنزیمی کروسین خواهد شد. گریگوری و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند استفاده از دمای بالاتر از ۹۰°C، به دلیل افزایش تجزیه حرارتی و اکسیداسیونی کروسین، باعث کاهش شدت رنگ‌دهی زعفران خواهد شد. کارمونا و همکاران (۲۰۰۵) استفاده از دماهای بالا و روش تفت دادن را در مقایسه با روش استفاده از هوای داغ، به منظور افزایش میزان سافرانال پیشنهاد کردند. عاطفی و همکاران (۱۳۹۲) روش نوین خشک‌کردن انجمادی زعفران را توصیه کردند که باعث افزایش کروسین در زعفران شد. در پژوهشی دیگر تاثیر دو روش خشک‌کردن زعفران در آون تحت خلا و آون الکتریکی در دمای ۱۰۰ °C به مدت ۲۰ دقیقه مقایسه شدند. نتایج نشان داد که زعفران به کمک آون تحت خلا سریع‌تر خشک شد و بافت بهتری از نظر ریز- ساختارهای سطحی داشت. هر دو نمونه زعفران رنگ، عطر و طعم یکسان داشتند. با توجه به هزینه‌های کمتر در روش آون الکتریکی، این روش پیشنهاد شد (یااو و همکاران ۲۰۱۸). استانداردهای جهانی و ملی به ترتیب حداقل رطوبت ۱۲ و ۱۰ درصد را برای زعفران با هدف افزایش عمر نگهداری توصیه کردند (استاندارد ملی ایران ۱۳۷٦). مواد جاذب رطوبت بر اصل انتقال رطوبت در اثر اختلاف فشار بخار بین ماده جاذب و هوا استوار است. ماده جاذب با محتوای رطوبتی کم، رطوبت را از هوا جذب کرده و با آن به تعادل می‌رسد. مزایای مواد جاذب رطوبت در خشک کردن علاوه بر پایین بودن مصرف انرژی شامل خشک کردن پیوسته حتی در ساعات غیرآفتابی، افزایش میزان خشک شدن به دلیل هوای گرم و خشک، خشک کردن بسیار یکنواخت و کیفیت بالاتر محصول خصوصاً برای محصولات حساس به حرارت می‌باشد (دوروزی و همکاران ۱۳۹۵).

زئولیت یک ماده معدنی است که عمدتاً از آلومینوسیلیکات تشکیل شده و کاربرد تجاری عمده آن در صنایع به عنوان جاذب سطحی است. زئولیت‌های طبیعی توانایی جذب رطوبت تا ۹٤ درصد وزنی را دارا هستند (حق‌شناس گرگابی و همکاران ۱۳۸۷). سیلیکاژل یک پلیمر سه بعدی است که از واحدهای چهار وجهی دی‌اکسیدسیلیسیم تشکیل شده است. این ماده متخلخل از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی توانایی جذب آب بالایی دارد. ظرفیت جذب‌کنندگی آن در دماهای پایین زیاد است. احیای سیلیکاژل بسیار آسان است و با حرارت دادن تا دمای ۱۵۰°C انجام می‌شود (کریتندن و توماس ۱۹۹۸). بنتونیت نوعی رس ریزدانه است که از کانی‌های متورم برای جذب

رطوبت تشکیل شده است (توکلی و همکاران ۱۴۰۲). خاک‌رس قدرت جذب آب خوبی دارد. از آن به عنوان بستر تثبیت شده برای خشک کردن محصولات استفاده می‌شود. در رقابت با ترکیبات جاذب رطوبت، قدرت کمتر دارد. از این ترکیبات جاذب به عنوان ماده کمکی در خشک‌کن‌های با دمای پایین می‌توان استفاده کرد. به غیر از سیلیکاژل از سایر ترکیبات جاذب رطوبت در صنعت غذا کمتر استفاده شده است. خاک رس و بنتونیت در صنایع روغن و قند کاربرد دارند. عدم تماس مستقیم این ترکیبات با مواد غذایی، مشکلی در ماده‌غذایی ایجاد نمی‌کند. در تحقیقی برای خشک‌کردن نخود از یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه جاذب رطوبت استفاده شد. وظیفه ماده جاذب، ادامه فرایند خشک کردن نخود در شب بود (شانموگام و ناتاراجان ۲۰۰۶). رهنما و همکاران (۱۳۸۹) برای خشک‌کردن خرمای استعمران در استان خوزستان از یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به سیلیکاژل استفاده کردند. در سال ۱۹۹۶ خشک‌کن خورشیدی مجهز به دو نوع ماده جاذب رس بنتونیت و کلرید کلسیم برای خشک کردن ذرت طراحی و ساخته شد (دوراوا و همکاران ۱۹۹۶).

در زمینه استفاده از ترکیبات جاذب رطوبت در خشک کردن زعفران، پژوهشی در دسترس نیست. هدف از پژوهش بررسی کارایی ماده جاذب رطوبت بر خشک کردن زعفران و تاثیر ویژگی‌های هوای ورودی به خشک کن حاوی ماده جاذب رطوبت بر شاخص‌های کیفی (رنگ، عطر و طعم) زعفران بود.

مواد و روش‌ها

گل‌های تازه زعفران (۱۳۹۶) از مزارع منطقه تربت حیدریه برداشت شدند. سیلیکاژل آبی گرانوله با اندازه ذرات ۷۵ میکرون تا ۸ میلی‌متر از شرکت توسعه مهندسی الماس واره دانش، نمونه‌های زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت)[1]، خاک‌رس و بنتونیت از واحد فرآوری کانی‌های غیرفلزی واقع در شهرک صنعتی کاویان در شهرستان فریمان تهیه شدند.

به منظور حفظ کیفیت و جلوگیری از پلاسیده شدن گل‌ها بلافاصله پس از چیده‌شدن در داخل ظروف مناسب قرارداده و در شرایط کنترل شده و خنک به آزمایشگاه کنترل کیفیت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی منتقل شدند. کلاله‌ها از گلبرگ‌ها جدا و برای خشک کردن آماده شدند. شاخص معمول و کفایت خشک کردن زعفران معادل ۱۰ درصد رطوبت بر اساس استاندارد ملی شماره ۲-۲۵۹ در نظر گرفته شد. پس از خشک‌کردن و رسیدن به شرایط آزمایشگاهی از نظر دما و رطوبت، نمونه‌ها برای انجام آزمون‌های ارزیابی در ظروف شیشه‌ای بسته‌بندی و در دمای $4\ ^{\circ}C$ نگهداری شدند.

روش اجرا

این پژوهش در دو فاز انجام شد.

در فاز اول فاکتورهای عملکردی برای خشک کردن با استفاده از مواد جاذب رطوبت بررسی و انتخاب شد و در فاز دوم روش خشک کردن با مواد جاذب رطوبت با روش های متداول خشک کردن زعفران (روش سایه خشک سنتی و روش اسپانیایی) مقایسه شد. در فاز اول ابتدا مواد جاذب رطوبت شامل سیلیکاژل، زئولیت طبیعی، خاک‌رس و بنتونیت از نظر تأثیر بر سرعت خشک کردن زعفران مقایسه شدند. در این مرحله این مواد در دستگاه خشک‌کن قرار گرفتند و در شرایط ثابت خشک‌کردن (دمای هوای ورودی $40\ ^{\circ}C$ و سرعت هوای ورودی ۰/۴ متر بر ثانیه) زمان رسیدن رطوبت زعفران به ۱۰ درصد مقدار اولیه اندازه‌گیری شد. برای تعیین زمان رسیدن به عدد ۱۰ درصد رطوبت، از توزین مستقیم در حین خشک کردن و مقایسه آن با میزان رطوبت محصول اولیه استفاده شد. ماده جاذب انتخاب شده از این مرحله در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. سپس با هدف تعیین شرایط بهینه هوای ورودی در روش خشک کردن با استفاده از ماده جاذب رطوبت انتخاب شده از فاز قبل، هوای ورودی با ۳ سرعت ۰/۲ ، ۰/۴ و ۰/۶ متر بر ثانیه و سه دمای ۳۰ ، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد پس از عبور از لایه ماده جاذب رطوبت (انتخاب شده) وارد دستگاه خشک‌کن شده و اثر تیمارها بر مقدار پیکروکروسین، سافرانال و کروسین زعفران

[1]. Clinoptilolite

بررسی شد و سرعت و دمای بهینه هوای ورودی انتخاب شد. همچنین تأثیر روش خشک کردن بر کیفیت زعفران بررسی شد. در این آزمایش زعفران با استفاده از سه روش اسپانیایی، سایه خشک (سنتی) و خشک کردن با مواد جاذب رطوبت، خشک شده و تأثیر روش خشک‌کردن بر پیکروکروسین، سافرانال و کروسین زعفران بررسی شد.

روش‌های آماری

در انتخاب نوع ماده جاذب رطوبت در فاز اول و مقایسه روش های خشک کردن زعفران در فاز دوم، آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا و با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه تجزیه و تحلیل و میانگین نتایج با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مقایسه شدند. برای تعیین شرایط بهینه سرعت و دمای هوای ورودی به خشک کن از طرح آماری فاکتوریل کاملا تصادفی استفاده شد و نتایج حاصل با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه تجزیه و تحلیل و میانگین نتایج با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مقایسه شدند.**روش‌های خشک کردن**

الف) روش سنتی– زعفران تازه در اتاقی، با دمای ۲۵ °C (میانگین دمای اتاق در فصل برداشت زعفران) و با داشتن حداقل یک پنجره به منظور گردش هوا، روی یک سینی به همراه کاغذ جاذب رطوبت به ابعاد ۵۸×۵۸ سانتی‌متر، قرار گرفته تا اینکه زعفران به رطوبت حدود ۱۰ درصد برسد. بر اساس پژوهش‌های انجام شده زمان لازم برای خشک شدن زعفران، در حدود ۱۶۸ساعت محاسبه شده است (عاطفی و همکاران ۱۳۹۲ ؛ مظلومی و همکاران ۱۳۸۷).

ب) روش اسپانیایی– ۱۵۰ گرم از کلاله‌های جدا شده از گل‌های زعفران بلافاصله به توری‌های مخصوص (از جنس پارچه ابریشمی با مش ۱۲۰ منتقل و با فاصله معین (۲۰ سانتی‌متر) روی منبع حرارتی ۷۵°C قرارگرفته و به طور یکنواخت و غیرمستقیم حرارت داده شدند. پس از تنظیم حرارت توری حامل زعفران و گذشت مدت زمان ۱۵دقیقه، توری خالی دیگری را روی توری حاوی زعفران قرار داده و هر دو توری را با هم برداشته طوری چرخانده می‌شود که زعفران به طور کامل در توری دوم تخلیه گردد. مجدداً توری را روی دستگاه قرار داده و پس از ۱۵ دقیقه همین عمل تکرار می‌شود. پس از ۳ بار تکرار که در مجموع ۷۵ دقیقه می‌باشد، زعفران داخل توری خشک می‌شود. زعفران خشک شده را از توری مستقیماً روی پارچه کاملاً تمیز پهن کرده تا کاملاً خنک شود. سپس به ظرف مخصوص نگهداری اصلی زعفران منتقل می‌شود (عاطفی و همکاران ۱۳۹۲ ؛ مظلومی و همکاران ۱۳۸۷).

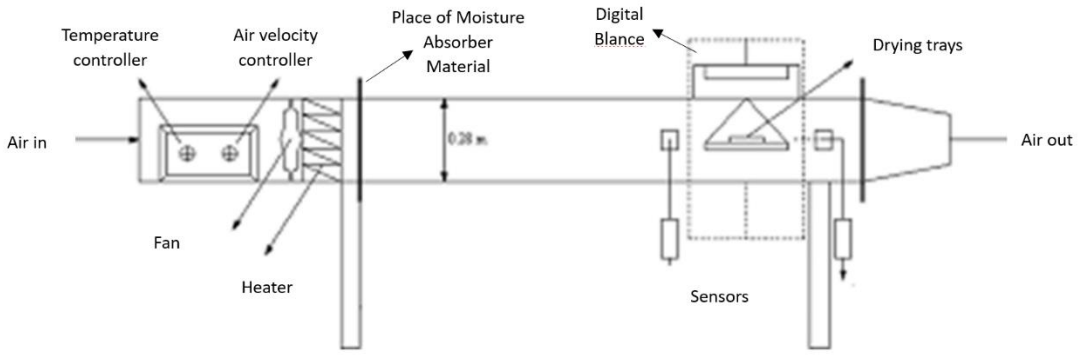

Figure 1- Schematic of drier

Figure 2- Thin layer drier

ج) روش استفاده از مواد جاذب رطوبت- ۱۵۰گرم کلاله زعفران را توزین کرده و بر روی توری، مشابه روش قبل قرار داده و برای خشک کردن وارد دستگاه خشک‌کن شد. سرعت جریان و دمای هوای ورودی بر اساس تیمار آزمایشی تنظیم شد. در این روش در محفظه دستگاه خشک کن مطابق شکل ۱، مواد جاذب رطوبت (به نسبت وزنی ۲۰ قسمت مواد جاذب رطوبت به ازای هر قسمت کلاله زعفران) قرار داده شد و تأثیر آن بر کیفیت زعفران مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور حفظ قدرت جذب مواد جاذب رطوبت در طول آزمایش هر ۳ ساعت مخزن حاوی مواد جاذب رطوبت، تخلیه و با ماده جدید و فعال از نظر جذب رطوبت، جایگزین شد. خشک کردن زعفران تا رسیدن به محتوای رطوبت ۱۰ درصد ادامه یافت. شماتیک دستگاه خشک کن مورد استفاده و تصویر واقعی خشک‌کن در شکل های ۱ و ۲ آورده شده است.

به منظور یکسان‌سازی روش‌ها کلیه مواد جاذب رطوبت در این روش در آون الکتریکی (ممرت[1]) ساخت کشور آلمان با دمای ۱۰۵°C به مدت ۲٤ ساعت خشک و در ظروف در بسته تا زمان مصرف، نگهداری شدند.

آزمایش‌های ارزیابی کیفی زعفران

نمونه زعفران توسط هاون آزمایشگاهی پودر (اندازه ذرات در حدود ۵۰۰ میکرومتر) شده و برای انجام آزمایشات کنترل کیفیت بعدی استفاده شد. مقادیر شاخص‌های کیفی زعفران یعنی پیکروکروسین، سافرانال و کروسین، بر اساس استاندارد ملی شماره ۲-۲۵۹ و با دستگاه اسپکتروفتومتر و با روش طیف نور سنجی فرابنفش- مرئی[2]، تعیین شدند.

مقادیر پیکروکروسین، سافرانال و کروسین هر یک از نمونه‌ها با اندازه‌گیری جذب عصاره آبی نمونه زعفران به ترتیب در طول موج‌های ۲۵۷، ۳۳۰ و ٤٤۰ نانومتر و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شدند (محمدی ثانی و همکاران ۱۳۹۲).

$$E = (۱۰۰۰۰ \times A) / m\,(۱۰۰ - h) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

E = مقدار شاخص هر یک از ترکیبات کیفی زعفران

A = مقدار جذب (نانومتر)

h = درصد وزنی رطوبت

m = وزن نمونه زعفران (گرم)

نتایج و بحث

نتایج فاز اول

۱- اثر نوع ماده جاذب رطوبت بر عملکرد دستگاه خشک‌کن

مواد جاذب رطوبت شامل سیلیکاژل، زئولیت طبیعی، خاک‌رس و بنتونیت در فضای مخصوص تعبیه شده به همین منظور در داخل خشک‌کن قرار گرفتند و امکان استفاده از این مواد به عنوان ترکیبات جاذب رطوبت در فرآیند خشک کردن زعفران با استفاده از هوای ورودی با سرعت ۰/٤ متر بر ثانیه و دمای ثابت ٤۰°C مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین مدت زمان لازم

[1]. Memmert

[2]. UV-vis

برای رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد در نمونه زعفران نیز اندازه گیری شد. نتایج مقایسه میانگین زمان خشک شدن نمونه زعفران در جدول شماره ۱ آورده شده است.

نتایج نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تاثیر مواد جاذب رطوبت بر زمان خشک کردن زعفران در شرایط دمایی یکسان بود. بیشترین سرعت خشک‌کردن مربوط به سیلیکاژل و کمترین آن مربوط به خاک‌رس بود. مطابق این نتایج، بین دو نوع ماده جاذب رطوبت یعنی زئولیت و بنتونیت از نظر تأثیرگذاری بر زمان خشک کردن زعفران در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

موضوع حائز اهمیت، قابلیت تثبیت سیلیکاژل در بستر خشک‌کن و امکان استفاده مجدد از آن بدون آلودگی است. زئولیت و بنتونیت به شکل پودری قابل استفاده نیستند و برای تثبیت آنها ناگزیر به استفاده از بنتونیت و زئولیت در اندازه‌های بزرگتر است. لذا قابلیت جذب آب توسط آنها در مقایسه با سیلیکاژل کاهش می‌یابد. از محصولات جدید به دست آمده از زئولیت و بنتونیت به صورت دانه‌های درشت‌تر، فرآوری شده و پوشش داده شده استفاده می‌شود. بنتونیت و زئولیت دارای خاصیت تبادل یونی و ظرفیت جذب و دفع آب هستند و بیشتر برای کاهش رطوبت سالن‌ها استفاده می‌شوند. این دو ماده باهم تفاوت‌های ساختاری نیز دارند و از نظر نوع کریستال، بلورهای تشکیل‌دهنده، میزان جذب آب، تبادلات یونی و ترکیباتی که در طبیعت تشکیل می‌دهند با هم تفاوت‌هایی دارند. این دو ماده در دامپروری و در تهیه خوراک دام کاربرد زیاد دارند (تریکوا وهمکاران ۲۰۰٤).

خاک‌رس نیز قدرت جذب آب بالایی داشته و ماهیت پودری دارد. این ماده مشکلات فرآوری و تبدیل به گرانول را داشته و استفاده مستقیم از آن می‌تواند باعث افزایش آلودگی در زعفران شود. استفاده از خاک رس به عنوان بستر تثبیت شده برای خشک کردن محصولات امکان‌پذیر است. این ماده در مقایسه با بنتونیت و زئولیت قدرت جذب رطوبت کمتر دارد.

Table 1-The effect of moisture absorbent material on drying time of saffron stigma

Moisture absorbance material	Drying time (min)
(Silicagel)	29 ± 2 [c]
(Zeolite)	39 ± 1.5 [b]
(Bentonite)	42 ± 3 [b]
(Clay)	57 ± 2.5 [a]

Averages with the same letters have no significant difference at the 5% statistical level

۲- تأثیر سرعت جریان و دمای هوای ورودی

تأثیر سرعت و دمای هوای ورودی به خشک کن مجهز به مواد جاذب رطوبت، بر میزان شاخص‌های کیفی زعفران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که در دمای ۳۰°C اثر سرعت جریان هوای ورودی معنی دار نبود ولی در سرعت مساوی، اثر دمای هوا ورودی بر شاخص‌های کیفی زعفران در سطح ۵ درصد معنی دار بودند. نتایج مقایسه میانگین آنها در جدول شماره ۲ آورده شده است.

نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۳۰°C تا ۵۰°C به تدریج میزان پیکروکروسین کاهش یافت. همچنین در دمای ثابت با افزایش سرعت هوای ورودی، مقدار پیکروکروسین افزایش یافت. پژوهش‌های دیگر تایید کننده نتایج موجود هستند (عاطفی وهمکاران ۱۳۹۲ ؛ تانگ و همکاران ۲۰۱۵).

تحلیل نتایج تأثیر دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن بر مقدار سافرانال به عنوان ترکیب تولید کننده عطر، در جدول ۲ نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. مطابق آنچه در مورد پیکروکروسین مشخص گردید، با افزایش دما به تدریج میزان سافرانال کاهش یافت. پیکروکروسین و سافرانال به عنوان دو عامل طعم و عطر در زعفران نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. این دو ترکیب از نظر ساختار شیمیایی وابستگی خوبی دارند. سافرانال از گروه ترپن‌ها است که در زعفران تازه به صورت پیکروکروسین غیرفرار وجود دارد (سالاری و همکاران۱۳۸۹). پیکروکروسین یا بتا دی گلوکوزید هیدروکسی سافرانال، در تجزیه حرارتی به طور مستقیم و یا با تجزیه آنزیمی توسط آنزیم بتا گلوکوزیداز ابتدا به ٤ هیدورکسی

۲و ٦ و٦ تری متیل ۱ سیکلوهگزن ۱ کربوکسل آلدهید (HTCC) و سپس در مرحله آبگیری به ترکیب معطر سافرانال تبدیل می‌شود. بنابراین تفاوت در مقدار عطر و طعم زعفران خشک شده وابستگی مستقیمی به نوع روش خشک کردن آن دارد (الونسون و همکاران ۲۰۰۱)

امامی‌فر در سال (۱۳۹۷) در یک پژوهش برای تعیین روش و شرایط بهینه خشک‌کردن کلاله زعفران، نشان داد مقدار سافرانال زعفران خشک شده در آون الکتریکی با افزایش دما از ۵۰ تا ^{o}C ۸۰ ، کاهش یافت. این پدیده را می‌توان به عدم کفایت دمای لازم برای تسریع در تجزیه پیکروکروسین به سافرانال علیرغم دناتوره‌شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده پیکروکروسین مرتبط دانست (مقصودی و همکاران ۲۰۱۲).

بالا بودن مقدار سافرانال تولیدی در زعفران خشک شده در سایه در نتایج سایر محققان نیز ذکر شده است (عاطفی و همکاران ۱۳۹۲، مظلومی و همکاران ۱۳۸٦).

با افزایش سرعت جریان هوای ورودی میزان سافرانال افزایش یافت. به طوری که کمترین مقدار سافرانال مربوط به تیمار دمای هوای $50^{o}C$ و سرعت هوای ۰/۲ متر بر ثانیه است که معادل ۳۵/۷ واحد بود و بیشترین مقدار سافرانال، مربوط به دمای هوای $30^{o}C$ و سرعت هوای ۰/٦ متر بر ثانیه (۵۱/۲ واحد) اندازه‌گیری شد. سرعت هوای ورودی در دمای ^{o}C ۳۰ تأثیر معنی‌داری بر مقدار سافرانال نداشت. درپژوهش‌های انجام شده در این زمینه، افزایش دما باعث کاهش سافرانال شد که با نتایج موجود مطابقت دارد. این افزایش دما در محدوده $60^{o}C$ تا ^{o}C ۷۰ می‌باشد که تأثیر زیادی بر کیفیت زعفران دارد. در محدوده $40^{o}C$ و$50^{o}C$ ، افزایش سرعت هوای ورودی باعث کاهش اثر دما شده و درنتیجه در دمای ثابت با افزایش سرعت، مقدار سافرانال افزایش می‌یابد. در دمای $30^{o}C$ ، افزایش سرعت هوای ورودی، در میزان سافرانال اختلاف معنی‌دار ایجاد نکرد. از آنجا که سافرانال شاخص عطر زعفران است، نتایج این پژوهش نشان داد که کاهش دمای خشک کردن به همراه افزایش سرعت هوای ورودی می‌تواند باعث تولید زعفران با عطر بهتر شود.

تأثیر دما و سرعت هوای ورودی به خشک کن بر مقدار کروسین به عنوان ترکیب تولید کننده رنگ، در آنالیز واریانس انجام شده، نشان داد که بین مقادیر کروسین در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بر اساس جدول شماره ۲ ، کمترین مقدار کروسین مربوط به تیمار دمای هوای ورودی ^{o}C ۳۰ و سرعت هوای ورودی ۰/٦ متر بر ثانیه است (۱۷۸/۳واحد)، مقادیر مربوط به سرعت هوای ورودی در دمای $30^{o}C$ در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. بیشترین مقدار کروسین مربوط به دمای هوای ورودی $50^{o}C$ و سرعت هوای ورودی ۰/۲ متر بر ثانیه است (۲۳۵/۷ واحد).

در محدوده دمایی مورد مطالعه برای خشک‌کردن زعفران یعنی محدوده دمایی $30^{o}C$ تا $50^{o}C$ ، با افزایش دما مقدار کروسین افزایش یافت. با توجه به حضور بیشترین ترکیبات کاروتنوئیدی عامل رنگ زعفران یا همان کروستین استر، در کروموپلاست سلول، استفاده از دماهای بالای خشک کردن زعفران، احتمال تسریع در روند آزاد سازی رنگدانه‌ها را از کروموپلاست سلول افزایش می‌دهد (دل کامپو و همکاران ۲۰۱۰). محققان در یک پژوهش گزارش کردند که به دلیل کاهش زمان خشک کردن در حین استفاده از دماهای بالا احتمال تجزیه حرارتی کروسین کاهش یافت و فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده کروسین به دلیل دناتوره شدن حرارتی متوقف شد (مقصودی و همکاران ۲۰۱۲). کارمونا و همکاران نیز با مطالعه خشک‌کردن رشته‌های زعفران در دماهای بالا و پایین اعلام نمودند که افزایش دمای خشک‌کردن ضمن کاهش زمان خشک شدن باعث افزایش شدت رنگ‌دهی و میزان کروسین شد و دماهای بالاتر باعث کاهش مقدار کروسین شد (کارمونا و همکاران ۲۰۰۵). در یک تحقیق تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و حسی زعفران بررسی شدند. خشک کردن زعفران با استفاده از روش‌های پرتوتابی و هوای داغ در سه دمای ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و همچنین در دمای محیط (^{o}C ۲۵) بررسی شدند. نتایج نشان داد بیشترین مقدار کروسین در دمای ^{o}C ۷۰ اندازه‌گیری شد. با افزایش دما تا $80^{o}C$ ، مقدار کروسین کاهش یافت (آقایی و همکاران ۱۳۹٦).

Table 2- Effect of velocity and temperature of inlet air on the effective components of saffron

Crocin	Safranal	Picrocrocin	Air velocity (m/s)	Inlet air temperature (ºC)
182.3±4.4 e	48.7±2.5 a	95.2±3.5 a	0.2	
180.7±3.2 e	49.1±1.8 a	97.3±1.8 a	0.4	
178.3±3.3 e	51.2±3.3 a	99.7±3 a	0.6	
191.7±1.2 c	45.3±3.4 c	85±2.5 c	0.2	
185.7±2.7 d	46.7±2.9 bc	86.7±1.3 bc	0.4	40
184.9±1.4 d	47.9±1.8 ab	87.3±2.7 b	0.6	
235.7±5.3 a	35.7±2.5 e	78.32±3.2 e	0.2	
79.7±1.3 b	37.2±3.6 d	211.3±3.8 ed	0.4	50
199.3±2.4 c	41.3±2.8 cd	81.3±3.3 d	0.6	

Averages with the same letters have no significant difference at the 5% statistical level in the column

نتایج فاز دوم

تأثیر روش خشک کردن بر کیفیت زعفران

میانگین‌های حاصل از بررسی تأثیر سه روش خشک کردن زعفران شامل روش اسپانیایی، سایه‌خشک (سنتی) و خشک‌کردن با ماده جاذب رطوبت (ماده جاذب رطوبت سیلیکاژل و سرعت جریان هوای ورودی ۰/۲ متر بر ثانیه و دمای ۳۰°C)، بر شاخص‌های کیفی زعفران در جدول شماره ۳ مقایسه شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر روش‌های خشک‌کردن بر شاخص‌های کیفی زعفران، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. حداکثر جذب محلول ۱ ٪ عصاره زعفران در طول موج ۲۵۷ نانومتر که معرف شاخص طعم یا پیکروکروسین است با مقدار ۹۶/۲ واحد، مربوط به روش خشک کردن به روش سنتی و با مقدار ۷۸/۷۵ واحد، مربوط به روش اسپانیایی بود. حداکثر جذب محلول ۱ ٪ عصاره زعفران در طول موج ۳۳۰ نانومتر که معرف شاخص عطر یا سافرانال است با مقدار ۲۹/۳۷ واحد، مربوط به روش خشک کردن اسپانیایی و با مقدار ٤٨/٧ واحد، مربوط به روش سنتی بود. مقادیر سافرانال در روش سنتی و در روش خشک کردن با ماده جاذب رطوبت سیلیکاژل در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نداشتند. حداکثر جذب محلول ۱٪ عصاره زعفران در طول موج ٤٤٠ نانومتر که معرف شاخص رنگ یا کروسین است با مقدار ۲۱۱/۳۷ واحد، مربوط به روش خشک‌کردن اسپانیایی بود. مقادیر کروسین مربوط به روش‌های خشک‌کردن سنتی و خشک کردن با ماده جاذب رطوبت سیلیکاژل، اختلاف معنی‌دار نداشتند.

با توجه به جدول شماره ۳، کیفیت زعفران حاصل از روش خشک کردن زعفران با کمک ماده جاذب رطوبت، در رقابت با روش سنتی خشک کردن است. پیکروکروسین، سافرانال و کروسین (شاخص‌های کیفیت) زعفران خشک شده با استفاده از مواد جاذب رطوبت به ترتیب با مقادیر ٨٦/٧ ، ٤٦/٧ و ۱۸۵/۷ واحد نسبت به روش خشک کردن اسپانیایی زعفران، بالاتر بودند.

Table 3- Effect of drying method on saffron effective compounds

Drying method			Indicator compounds
Moisture absorbent material	Spanish	Traditional	
86.7± 1.3 b	78.75± 2.31 c	96.2± 1.53 a	Picrocrocin
46.7± 2.9 a	29.37± 1.15 b	48.7± 2.51 a	Safranal
185.7± 2.7 b	211.37± 3.55 a	182.3± 2.35 b	Crocin

Averages with the same letters have no significant difference at the 5% statistical level in the row

نتیجه‌گیری

در بین سه روش خشک کردن زعفران، با اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی زعفران، روش خشک کردن سنتی باعث تولید زعفران با شاخص عطر (سافرانال) (۲±۴۸/۷ واحد) و شاخص طعم (پیکروکروسین) (۱±۹۶/۲ واحد) برتر شد. از نظر عطر زعفران، بین روش خشک کردن سنتی و روش خشک کردن با کمک ماده جاذب رطوبت سیلیکاژل برای حذف رطوبت، اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. روش خشک کردن با کمک ماده جاذب رطوبت سیلیکاژل از نظر شاخص طعم (۱±۸۶/۷ واحد) بعد از روش سنتی قرار داشت. از نظر شاخص رنگ زعفران (کروسین)، روش اسپانیایی (۳±۲۱۱/۳۷ واحد) بیشترین امتیاز را کسب کرد.

از معایب روش خشک‌کردن سنتی، می‌توان به سرعت پایین خشک کردن زعفران اشاره کرد. در زمان برداشت زعفران، حجم زیادی از زعفران وجود دارد که باید در حداقل زمان، خشک شوند. بنابراین نیاز به روش‌های کمکی خشک‌کردن در کنار خشک‌کردن سنتی زعفران وجود دارد.

استفاده از مواد جاذب رطوبت در فرآیند خشک‌کردن زعفران می‌تواند کمک قابل توجهی در خشک‌کردن زعفران با کیفیت بالا (طعم و عطر) داشته باشد. در بین مواد جاذب رطوبت مورد استفاده در این تحقیق، سیلیکاژل به دلیل تمیز بودن و عدم ایجاد آلودگی در زعفران و با داشتن کمترین زمان خشک‌کردن زعفران (۲±۲۹) دقیقه، مناسب تشخیص داده شد. از آنجا که شارژ مجدد دانه‌های سیلیکاژل امکان‌پذیر است بنابراین استفاده از آن برای خشک‌کردن توجیه اقتصادی دارد. بررسی‌های انجام شده در خصوص شرایط فرآیند خشک کردن با استفاده از ماده جاذب رطوبت (سیلیکاژل) نیز نشان داد که وجود دمای پایین و سرعت بالای جریان هوای ورودی (۳۰°C و۰/۶ متر بر ثانیه) به خشک‌کن باعث حفظ بیشترین مقدار سافرانال (۲±۴۸/۷ واحد) و پیکروکروسین (۳±۹۵/۲ واحد) در محصول نهایی شد.

از آنجا که اختلاف معنی‌داری در کیفیت محصول خشک شده ناشی از سرعت‌های هوای ۰/۲ ، ۰/٤ و ۰/٦ متر بر ثانیه در دمای ۳۰°C وجود نداشت، استفاده از سرعت هوای ۰/۲ متر بر ثانیه به دلیل صرفه اقتصادی، انتخاب شد. بیشترین مقدار کروسین (۵±۲۳۵/۷ واحد) در دمای ۵۰°C و سرعت هوای ۰/۲ متر بر ثانیه حاصل شد. خشک کردن زعفران در دمای °C ۳۰ باعث تولید زعفران با طعم و عطر بهتر شد. برای ایجاد کروسین یا رنگ بیشتر در زعفران بهتر است پس از خشک کردن زعفران در دمای ۳۰°C در انتهای عمل خشک کردن از دمای بالا (۵۰°C) استفاده کرد.

از مزایای این روش به وجود حق انتخاب در تولید محصول بر اساس سفارش و نیاز بازار اشاره نمود. در این روش، امکان تولید محصول با رنگ بیشتر یا محصول با عطر و طعم بیشتر بر حسب سفارش مصرف کننده وجود دارد.

Referencess

آقایی ز، جعفری م، قربامی م و همتی خ، ۱۳۹٦. تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی زعفران. علوم و صنایع غذایی، ٦۵ (١٤)، ۱۲۹-۱۳۸.

امامی‌فر، آ، ۱۳۹۷. تعیین روش و شرایط بهینه خشک کردن کلاله زعفران تولید شده در کردستان. فصلنامه فناوری های نوین غذایی دوره ٦ شماره ۱ صفحات ۳۱-٤٤.

بی نام، ۱۳۷٦. زعفران – ویژگی ها . موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. استاندارد ملی ایران. چاپ اول، شماره ۲- ۲۵۹

توکلی ا، قاسمی ا ر و متقیان، ح ر، ۱٤۰۲. تأثیر استفاده ترکیبی از بیوچار و بنتونیت بر میزان تبخیر و رطوبت خاک. مدل سازی و مدیریت آب و خاک. انتشار آنلاین.

حق شناس گرگابی م، هرچگانی ح ب و کریمی ا، ۱۳۸۷. اثر زئولیت به عنوان یک ماده جاذب رطوبت بر شکل و ضرائب منحنی رطوبتی یک خاک شنی. کنفرانس بین المللی زئولیت ایران . تهران.

دوروزی م، مرتضی پور ح، اخوان ح ر و غضنفری مقدم ا، ۱۳۹۵. دهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.

رهنما م، ۱۳۸۹. طراحی، ساخت و ارزیابی خشککن خورشیدی با چرخ جاذب رطوبت برای حفظ خواص کیفی خرمای رقم استعمران. رساله دکتری مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

ســـالاری ر، حبیبی نجفی م ب، کاراژیان ح و وزیرزاده ب، ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات فیزیکوشیمیایی و میکروبی زعفران طی دوره نگهداری یک ساله. مجله علوم و فناوری غذایی، جلد ۲ شماره ۱ صفحات ۳۵-٤۳ .

عـاطفی م، اکبری اوغـاز ع و مهری ا، ۱۳۹۲. اثرات خشـک کردن بر ویژگیهای شـیمیایی و حسـی زعفران. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران جلد ۸ ،شماره ۳ ،صفحات ۲۰۱-۲۰۸.

محمدی ثانی ع، تجلی ف و گازرانی س، ۱۳۹۲. اثر زمان عصاره گیری بر خواص کیفی عصاره خوراکی گیاه زعفران. بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران. ۷ آبان شیراز.

مصلی پور ح، طحان م، ۱۳۹۸. بررسی موانع و مشکلات صادرات زعفران و زرشک و ارائه راهکارهای افزایش آن (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). نشریه پژوهش های زعفران، ۷ (۱)، ۸۳-۹۷ .

مظلومی م ت، تسلیمی ا، جمشیدی ا، عاطفی م، حاج سید جوادی ن، کمیلی فنون ر و همکاران، ۱۳۸٦. مقایسه اثرات روشهای خشک کردن به کمک خلاء، انجماد، خورشید، مایکروویو با روش سنتی بر ویژگیهای زعفران قائن. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، جلد ۲ ، شماره ۱ ، صفحات ٦۹-۷٦.

ملافیلابی ع، خرم‌دل س و شباهنگ ج، ۱۳۹۸. اثر روشهای مختلف خشک کردن بر محتوی رطوبت، زمان خشک شدن و خصوصیات کیفی کلاله زعفران. نشریه پژوهش‌های زعفران، ۷ (۲)، ۱۷۷-۱۸۸.

Alonson GL, Salinas MR, Sanchez-Fernandez MA, Garijo JN, 2001. Safranal content in Spanish saffron. Food Science and Technology International 7: 225-229.

Carmona M, Zalacain A, Pardo JE, Lopez E, Alvarruiz A, Alonso GL, 2005. Influence of different drying and aging on saffron constituents. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 3974-3979.

Crittenden B, Thomas WJ, 1998. Adsorption Technology and Design. Elsevier Science. ISBN 9780080489971. Retrieved 2013-12-30.

Del Campo, C. P., Carmona, M., Maggi, L., Kanakis, C.D., Anastasaki, E. G., Tarantilis, P.A., Polissiou, M.G. Alonso, G.L, 2010. Effects of mild temperature conditions during dehydration procedures on saffron quality parameters. J. Sci. Food Agric 90: 719–725.

Ghorbani R, Koocheki A, 2017. Sustainable Cultivation of Saffron in Iran. In Lichtfouse, Eric (Ed.). Sustainable Agriculture Reviews: 170–171.

Gregory MJ, Menary RC, Davies NW, 2005. Effect of drying temperature and air flow on the production and retention of secondary metabolites in saffron. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 5969–5975.

Maghsoodi, V., Kazemi, A., Akhondi, E, 2012. Effect of different drying methods on saffron (Crocus Sativus L) quality. Iranian journal of chemistry and chemistry engineering international English edition 31(2): 85-89.

Sosle V, Raghavan GCV, Kittler V, 2003. Low-Temperature Drying Using a Versatile Heat Pump Dehumidifier, Drying technology 21(3): 239-254.

Shanmugam V, Natarajan E, 2006. Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer. Renewable Energy 31: 1239-1251.

Trekova M, Matlova L, Dvorska L, Pavlik I, 2004. Kaolin, bentonite, and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. Vet. Med. – Czech 49 (10): 389–399.

Tsimidou M, Biliaderis CG, 1997. Kinetic studies of saffron (Crocus satiVus L.) quality deterioration. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 2890-2898.

Yao C, Qian XD, Zhou GF, et al, 2018. A comprehensive analysis and comparison between vacuum and electric oven drying methods on Chinese saffron (Crocus sativus L.). Food Science and Biotechnology 28: 355–364.

Thoruwa TFN, Smith JE, Grant AD, Johnstone CM, 1996. Developments in solar drying using forced ventilation and solar regenerated desiccant materials. Renewable Energy 9: 686-689.

Tong YT, Zhu X, Yan Y, 2015.The Influence of Different Drying Methods on Constituents and Antioxidant Activity of Saffron from China. International Journal of Analytical Chemistry, Article ID 953164, 8 pages.