

Investigating Some Quality and Thermodynamic Parameters of Kiwifruit Thin Layer Drying in an Air Recycling Dryer Equipped with Heat Pump

IMAN MOHAMMADI¹, REZA TABATABAEKOLOOR^{2*}, ALI MOTEVALI³

1. MSc graduate student in Post-harvest Technology, Department of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(Received: May. 23, 2018- Revised: Sep. 26, 2-18- Accepted: Jan. 2, 2019)

ABSTRACT

Drying reduces microbial activity, increases storage time, and facilitates packaging, transportation and storage of crops by reducing weight and volume of materials. Quality indices and thermodynamic parameters are as important cases in drying food and agricultural crops. The aim of this research is investigating the effects of air recycling and heat pump on quality indices (color changes, water rehydration and pH) and thermodynamic parameters (thermal efficiency, temperature, specific power consumption, drying coefficient and convection efficiency) of kiwifruit drying. In this research, three levels of recycling (0, 50% and 100%), three drying temperatures (45, 55 and 65°C) and two levels with and without using a heat pump were used. Results showed that by increasing recycling from 0 to 50% color changes and pH increased and from 50% to 100% both them reduced. The maximum rehydration was related to 100% recycling with heat pump. The highest temperature and specific power consumption were 73.37 and 83.57 Mj.kg⁻¹, respectively at 45 °C, 0% recycling and heat pump off. The lowest rate of these two parameters were 14.15 and 27.01 Mj.kg⁻¹ at 65 °C, recycling 100% and heat pump on. Also, results showed that drying coefficient, heat efficiency and convective had an increasing trend by using heat pump and increasing air temperature and recycling.

Key words: drying kiwifruit, color changes, rehydration, heat efficiency, specific power consumption

بررسی برخی پارامترهای کیفی و ترمودینامیکی خشک کردن ورقه‌های کیوی در یک خشک‌کن بازگردشی مجهز به پمپ حرارتی

ایمان محمدی^۱، رضا طباطبائی کلور^{۲*}، علی متولی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد صنایع پس از برداشت، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی ساری، ساری، ایران

۲. دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲)

چکیده

خشک کردن با کاهش فعالیت‌های میکروبی، زمان ماندگاری محصول را افزایش و با کاهش وزن و حجم مواد، بسته بندی، حمل و نقل و انبارداری محصولات را سهولت می‌بخشد. شاخص‌های کیفی و پارامترهای ترمودینامیکی از موارد مهم قابل بررسی در خشک کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی می‌باشند. هدف از این پژوهش بررسی تاثیرات بازگردش هوا و پمپ حرارتی بر شاخص‌های کیفی (تغییرات رنگ، بازجذب آب و pH) و پارامترهای ترمودینامیکی (بازده حرارتی، حرارت و توان مخصوص مصرفی، ضریب خشک شدن و بازده همرفتی) خشک شدن کیوی می‌باشد. در این پژوهش از سه سطح بازگردش (۰٪، ۵۰٪، ۱۰۰٪)، سه سطح دمای خشک کردن (۴۵، ۵۵، ۶۵ درجه سلسیوس) و دو سطح با و بدون استفاده از پمپ حرارتی استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان بازگردش از ۰٪ به ۵۰٪ تغییرات رنگ افزایش و از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ تغییرات کلی رنگ کاهش یافت و با بکارگیری پمپ حرارتی میزان تغییرات کلی رنگ کاهش یافت. همچنین با افزایش بازگردش از ۰٪ به ۵۰٪ میزان pH افزایش و از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ میزان pH کاهش یافت. بیشترین بازجذب مربوط به بازگردش ۱۰۰٪ و با وجود پمپ حرارتی بود. بالاترین میزان حرارت و توان مخصوص مصرفی در دمای ۴۵ درجه سلسیوس، بازگردش ۰٪ و با خاموش بودن پمپ حرارتی به ترتیب به میزان ۷۳/۳۷ و ۸۳/۵۷ مگاژول بر کیلوگرم و پایین‌ترین میزان این دو پارامتر در دمای ۶۵ درجه سلسیوس، بازگردش ۱۰۰٪ و با روشن بودن پمپ حرارتی به میزان ۱۴/۱۵ و ۲۷/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد که ضریب خشک شدن، بازده حرارتی و همرفتی با افزایش دما و بازگردش و با بکارگیری پمپ حرارتی روند صعودی داشت.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن کیوی، تغییرات رنگ، بازجذب آب، بازده حرارتی، توان مخصوص مصرفی

مقدمه

گیاه کیوی با نام علمی *Actinidia deliciosa* درختچه‌ای با ساقه‌های خزانده است که مبداء اصلی آن جنگل‌های مناطق معتدل اطراف رودخانه یانگ تسه جنوب چین است. این میوه بومی چین بوده که با نام Chinese gooseberry شناخته شده اما اولین بار اطلاق نام میوه کیوی (Kiwifruit) و توسعه تجاری آن در نیوزلند صورت گرفته است. میوه کیوی دارای ارقام مختلفی نظیر هایوارد، آبوت، برونو و مانتی می‌باشد که با توجه به شرایط اقلیمی و آب و هوایی مناطق مختلف با کیفیت‌های متفاوت قابل برداشت است (Khalili & Esmaeili, 2011; Morton, 2011). کیوی بخاطر دارا بودن طعم، عطر مناسب، ارزش غذایی و دارویی فراوان، یکی از محبوب‌ترین میوه در جهان به حساب می‌آید (Ferguson,)

(2003). بالا بودن ویتامین C (هر ۱۰۰ گرم آن ۳۰۰ میلی‌گرم ویتامین C دارد که تقریباً ۲ برابر میزان موجود در مرکبات است)، فیبر رژیمی، ویتامین های E و K، فنول‌ها، ترکیبات فلاونوئیدی و آنتی‌اکسیدانی در میوه کیوی باعث کاهش بیماری‌های چون سرطان و ناراحتی‌های قلبی و عروقی می‌شود، همچنین مقاومت بدن را در برابر بسیاری از بیماری‌ها افزایش می‌دهد (Tavarini, 2008 ; Du & Liang, 2009).

با توجه به میزان بالای تولید سالانه محصول کیوی نگهداری این محصول از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. میوه کیوی به صورت تازه خوری و یا به صورت برگه‌های خشک شده (چیپس میوه‌ها) مصرف می‌شود. با کاهش رطوبت می‌توان به میزان قابل توجه‌ای طول این دوره نگهداری محصول را همراه با

برای خشک کردن لایه‌های سیب در صورت استفاده از بازگردش هوای خروجی انرژی مصرفی در حدود ۴۶٪ و برای خشک کردن میوه هلو در حدود ۵۳٪ صرفه‌جویی می‌شود (Walker, 1992). انرژی مصرفی برای خشک کردن ورقه‌های سیب و میوه هلو در بازگردش هوای خروجی ۸۰٪ و ۷۰٪ به ترتیب به میزان ۵۰٪ و ۴۶٪ کاهش یافت (Liu, 1995).

خصوصیات کیفی قارچ خشک‌شده در یک خشک‌کن خورشیدی مجهز به پمپ حرارتی با جمع‌کننده صفحه‌ای تخت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد خشک‌کن در حالت استفاده از پمپ حرارتی نسبت به حالت عدم استفاده از پمپ حرارتی بهتر بود. همچنین کمترین زمان خشک‌شدن و بهترین کیفیت ورقه‌های خشک‌شده قارچ در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و دبی جرمی هوای ۳۰۰ kg.h بدست آمد (Sevik et al., 2013).

نتیجه بررسی خشک‌کردن برگ‌های نعنا در یک خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس و سرعت جریان هوای ۲، ۵/۲ و ۳ متر بر ثانیه نشان داد که ۴۸٪ انرژی به وسیله واحد بازیافت پمپ حرارتی صرفه‌جویی شد. همچنین در بهترین شرایط آزمایشی ضریب عملکرد پمپ حرارتی ۹۴/۳ و انرژی مصرفی در طول فرآیند خشک‌کردن ۱۶۴/۳ کیلووات ساعت بدست آمد (Aktas et al., 2017).

در تحقیقی انرژی خشک‌شدن برگ‌های نعنا در یک خشک‌کن بستر سیال ارتعاشی مجهز به پمپ حرارتی ارزیابی شد. آزمایش‌های خشک‌کردن در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در دو حالت استفاده و عدم استفاده از پمپ حرارتی و سه دامنه ارتعاشی انجام گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که ضریب عملکرد، نرخ تبخیر رطوبت ویژه و انرژی مصرفی در حالت عدم استفاده از پمپ حرارتی بیشتر از حالت استفاده از پمپ حرارتی بود (Ataei Ardestani et al., 2015).

سینتیک خشک‌کردن و کیفیت ورقه‌های خشک‌شده پیاز در ۴ دمای ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سلسیوس با استفاده از پمپ حرارتی بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل پیچ برازش خوبی با داده‌های آزمایشی دارد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از پمپ حرارتی سبب کیفیت بهتر محصولات خشک شده شامل تغییرات کمتر رنگ و مقادیر بیشتر اسید آسکوربیک و اسید پروویک بود (Sahoo et al., 2012).

سینتیک و خواص کیفی خشک‌کردن زعفران در یک خشک‌کن ترکیبی فتولتائیک-حرارتی خورشیدی مجهز به پمپ حرارتی در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از پمپ حرارتی ۴۰٪

حفظ کیفیت آن افزایش داد که این کاهش رطوبت به وسیله عملیات خشک‌کردن ممکن می‌باشد (Zomorodian, 2004). فرآیند خشک‌کردن با مصرف انرژی بالا همراست به طوری که حدود ۱۲٪ مصرف انرژی در جهان صرف آن در صنایع مختلف می‌گردد. هوای خروجی از خشک‌کن‌ها دارای دمای بالاتر از دمای محیط بوده در حالیکه هنوز از رطوبت اشباع نشده است و خروج آن از محفظه خشک‌کردن سبب اتلاف انرژی زیادی می‌گردد. بازگرداندن هوای خروجی از مخزن خشک‌کن به ورودی آن و استفاده از این هوا در فرآیند خشک‌کردن سبب کاهش مصرف انرژی در فرآیند خشک‌کردن می‌گردد (Sjoholm & Gekas, 1995). اما باید توجه داشت که هوای بازگردش شده دارای رطوبت نسبی بالاتر به دلیل خروج آب از محصول در حال خشک‌شدن می‌باشد. بدین منظور در خشک‌کن‌های بازگردشی به‌منظور کاهش میزان رطوبت موجود در هوای خشک‌کننده از پمپ‌های حرارتی به منظور احیای گرمای نهان تبخیر آب در خروجی خشک‌کن قرار می‌گیرد (Kuzgunkaya & Hepbasli, 2007).

در کشور ما به دلیل فرآوری سنتی و پایین بودن سطح فناوری، هزینه تولید افزایش پیدا کرده و از سوی دیگر گیاه کیفیت ظاهری خود را طی فرآیند خشک‌کردن و دوره انبارداری، به طور قابل ملاحظه‌ای از دست می‌دهد که این مساله به طور جدی بر مصرف و صادرات آن تاثیر گذار است (Zargari, 1992). در فرآیند خشک‌کردن محصولات کشاورزی علاوه بر اهمیت پارامترهای انرژی، شاخص‌های کیفی از موارد مهم قابل بررسی در مواد غذایی و کشاورزی می‌باشند. شاخص‌های کیفی مانند تغییرات فیزیکی نظیر ابعاد و اندازه، شکل بافت، چروکیدگی، سختی و تغییرات شیمیایی نظیر واکنش‌های قهوه‌ای شدن، تغییر رنگ، تغییرات در ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، چربی‌ها و اکسیداسیون در مواد باشند که انتخاب روش و پارامترهای خشک‌کردن بسیار مهم و ضروری است (Okos, 1992).

در یک پژوهشی گیاه دارویی آلوئه‌ورا در یک خشک‌کن بازگردشی خشک شد و سپس سینتیک خشک شدن، انرژی مصرفی و برخی پارامترهای کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل میدیلی بهترین برازش را بر داده‌های آزمایشی دارد و همچنین سامانه بازگردشی هوای گرم سبب کاهش انرژی مصرفی و افزایش زمان خشک شدن در خشک کردن گیاه آلوئه‌ورا گردید. همچنین بررسی پارامترهای کیفی نشان داد که کمترین تغییرات pH، کمترین چروکیدگی و بیشترین قابلیت بازجذب آب، در کمترین دمای هوا، کمترین سرعت هوای ورودی و در حالت بازگردش ۷۵٪ هوای گرم اتفاق افتاد (Esmaeili et al., 2016).

حرارتی در سطوح مختلف بازگردش هوا و دماهای مختلف می- باشد.

مواد و روش‌ها

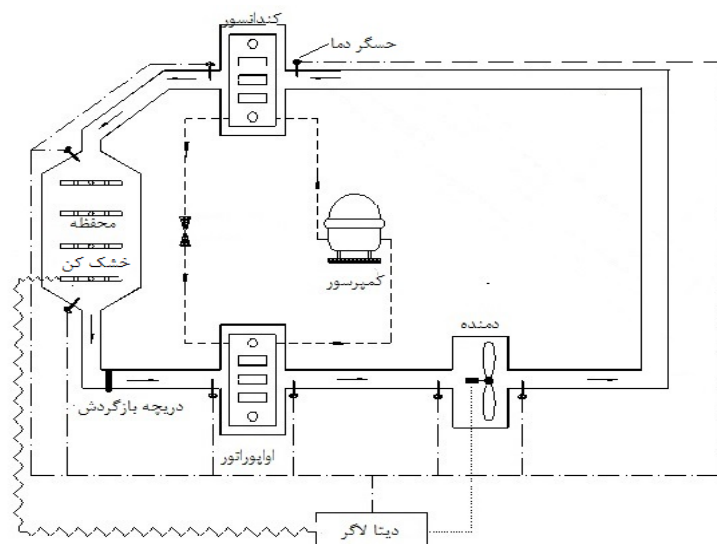
به منظور انجام آزمایش‌ها کیوی تازه از بازار تهیه و پس از دستچین کردن نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شد. نمونه‌ها نیم ساعت قبل از انجام آزمایشات از یخچال خارج شدند تا با دمای محیط هم دما گردند (Chin *et al.*, 2015). سپس کیوی‌ها توسط یک برش دهنده مخصوص میوه با قابلیت تنظیم ضخامت ورقه‌های برش به ضخامت‌های ۵ میلی‌متر برای انجام آزمایش‌ها برش داده شدند. به منظور تعیین رطوبت اولیه میوه کیوی، قبل از فرآیند خشک‌کردن سه نمونه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت قرار گرفت تا وزن خشک و رطوبت اولیه محصول بدست آید (ISIRI, No. 3475). نتایج نشان داد که میزان رطوبت اولیه میوه کیوی ۸۰ درصد بر پایه تر بدست آمد. از آنجا که حفظ ویتامین C در میوه کیوی اهمیت زیادی دارد لذا با توجه به تحقیق Kaya *et al.* (2010) محدوده دمایی ۳۵ الی ۷۰ برای حفظ ویتامین C مناسب است. لذا در این تحقیق، آزمایش‌ها در سه دمای ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس، بازگردش هوای گرم به میزان ۰، ۵۰ و ۱۰۰٪ و شرایط با و بدون استفاده از پمپ حرارتی انجام گردید. برای بازگردش هوا از یک دریچه قابل تنظیم در سه وضعیت کاملاً باز، نیمه باز و کاملاً بسته در مسیر جریان هوای خروجی از محفظه خشک‌کن استفاده شد. طرح شماتیک خشک‌کن در شکل ۱ آورده شده است. نمونه‌های آماده شده، در تیمارهای مختلف تعیین شده خشک گردید و برخی شاخص‌های کیفی و پارامترهای ترمودینامیکی محاسبه گردید.

زمان خشک‌کردن گل‌های زعفران را کاهش داد. همچنین پارامترهای استحکام، رنگ و مواد آروماتیک با افزایش دما و استفاده از پمپ حرارتی بهبود یافت (Mortezapour *et al.*, 2014).

خصوصیات حرارتی خشک‌کردن زنجبیل با استفاده از خشک‌کن مجهز به پمپ حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که انرژی کل مصرفی، انرژی مخصوص مورد نیاز و انرژی مورد نیاز برای خروج رطوبت از زنجبیل در حالت استفاده از هوا کمتر از حالت استفاده از نیتروژن برای خشک‌کردن گردید (Chapchaimoh *et al.*, 2016).

در پژوهشی برخی از خصوصیات خشک‌کردن و مدل ریاضی برای گیاهان آروماتیک (معطر) با استفاده از پمپ حرارتی بررسی شد. نتایج نشان داد که به ترتیب ضریب عملکرد، نرخ خروج رطوبت ویژه و بازده خشک‌کردن ۴۵/۵، ۰/۳۸ کیلوگرم بر کیلووات ساعت و ۲۳/۷۸٪ بدست آمد (Ayub Hossain *et al.*, 2013).

از آنجا که کیوی یکی از محصولات کشاورزی است که در شرایط غیر استاندارد برای نگهداری دچار فساد می‌گردد و با توجه به این موضوع که نگهداری این محصول نیاز به سردخانه‌های مجهز دارد، لذا توسعه فن‌آوری‌هایی که در کشور بتواند ضمن تکمیل کردن یکی از چرخه‌های فرآوری این میوه ارزشمند، موجب نگهداری بیشتر این محصول گردیده و به طور ارزانتر در فصل دیگر غیر از فصول برداشت این محصول، بدست مصرف‌کننده برسد، امری ضروری به نظر می‌رسد. بخش اصلی ارزش افزوده این محصولات در اثر فرآوری آنها است که از نظر اقتصادی بسیار مهم است. هدف این تحقیق تعیین خصوصیات کیفی و پارامترهای ترمودینامیکی ورقه‌های نازک کیوی در طول فرآیند خشک‌کردن با استفاده از یک خشک‌کن مجهز به سامانه پمپ



شکل ۱. طرح شماتیک خشک‌کن مورد استفاده در آزمایش

تازه و خشک شده می‌باشند.

اندازه گیری pH

برای اندازه‌گیری میزان pH، ابتدا یک محلول ۱۰٪ از نمونه‌های خشک‌شده تهیه شد و سپس با استفاده از یک pH متر دیجیتال (مدل Sartorius PB-11)، pH آن‌ها در اندازه‌گیری شد (Zakipour-Molkabadi *et al.*, 2011).

محاسبه برخی پارامترهای ترمودینامیکی

به منظور محاسبه برخی از پارامترهای ترمودینامیکی برای خشک کردن ورقه‌های کیوی در یک خشک‌کن جریان هوای گرم بازگردشی مجهز به پمپ حرارتی از روابط موجود در جدول ۱ استفاده گردید. پارامترهای ترمودینامیکی محاسبه شده در این پژوهش عبارتند از بازده همرفتی (٪)، بازده حرارتی (٪)، حرارت و توان مخصوص مصرفی (مگاژول بر کیلوگرم) و ضریب خشک-کردن (بدون بعد).

در روابط بالا T_1 میانگین دمای ورودی به محفظه خشک‌کن (درجه سانتی‌گراد)، T_2 میانگین دمای خروجی از محفظه خشک‌کن (درجه سانتی‌گراد) و T_{amb} میانگین دمای محیط (درجه سانتی‌گراد)، $M_{evaporation}$ وزن رطوبت تبخیر شده از محصول (کیلوگرم)، H_{total} کل گرمای مصرفی (مگاژول)، $Electric\ power_{total}$ کل انرژی مورد نیاز در طول فرآیند خشک-کردن (مگاژول)، $H_{evaporation}$ انرژی لازم برای تبخیر رطوبت (مگاژول)، E_{pump} انرژی لازم برای جابجایی هوا (مگاژول) می‌باشد.

تعیین نسبت جذب مجدد آب

برای اندازه‌گیری نسبت جذب مجدد آب، نمونه‌های خشک شده در یک بشر ۲۵۰ میلی لیتری حاوی ۱۵۰ میلی لیتر آب مقطر با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت غوطه ور شدند (Jafarian *et al.*, 2017). پس از سپری شدن زمان مورد نظر، نمونه‌ها را از آب بیرون آورده و پس از گرفتن آب سطحی آن‌ها توزین نموده و نسبت آب مجدد از رابطه (۱) بر اساس روش شولکا و سینگ محاسبه شدند (Shulka & Singh, 2007).

$$RR = \frac{W_t}{W_d} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه بالا W_t و W_d به ترتیب جرم نمونه‌ها قبل و بعد از آبیگری است.

ارزیابی رنگ

رنگ نمونه‌ها قبل و بعد از خشک کردن بوسیله دستگاه کالرگرام مدل (D600) اندازه‌گیری شد. به منظور توصیف تغییرات رنگ در طول خشک کردن از شاخص ΔE (اختلاف رنگ کل نمونه‌های خشک‌شده از نمونه‌های تازه) استفاده شد که این شاخص به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود که L نماینده روشنایی، b رنگ زرد-آبی و a نشان‌دهنده رنگ قرمز-سبز می‌باشد (Falade *et al.*, 2006).

(رابطه ۲)

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_i)^2 + (a_0 - a_i)^2 + (b_0 - b_i)^2}$$

اندیس‌های ۰ و i به ترتیب بیانگر مشخصه‌های رنگ کیوی

جدول ۱. روابط مورد نیاز برای محاسبه برخی پارامترهای ترمودینامیکی

| منبع | نام رابطه | شماره رابطه | رابطه |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------|--|
| | بازده همرفتی ^۱ | (۴) | $C.E. = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{amb}}$ |
| Vieira <i>et al.</i> , 2007 | بازده حرارتی ^۲ | (۵) | $T.E. = \frac{M_{evaporation}}{H_{total}}$ |
| Vieira <i>et al.</i> , 2007 | حرارت مخصوص مصرفی ^۳ | (۶) | $S.H.C. = \frac{H_{total}}{M_{evaporation}}$ |
| Vieira <i>et al.</i> , 2007 | توان مخصوص مصرفی ^۴ | (۸) | $S.P.C. = \frac{Electric\ power_{total}}{M_{evaporation}}$ |
| Vieira <i>et al.</i> , 2007 | ضریب خشک‌کردن ^۵ | (۹) | $D.C. = \frac{H_{evaporation}}{E_{pump}}$ |

1 - Convective efficiency
 2 - Thermal efficiency
 3 - Specific heat consumption
 4 - Specific power consumption
 5 - Drying coefficient

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تیمارها در سه سطح بازگردش هوا (۰٪، ۵۰٪، ۱۰۰٪)، سه سطح دمای خشک‌کردن (۴۵، ۵۵، ۶۵ درجه - سلسیوس) و دو سطح با و بدون استفاده از پمپ حرارتی در نظر گرفته شد و تاثیر آنها بر شاخص‌های کیفی (تغییرات رنگ، بازجذب آب و pH) و پارامترهای ترمودینامیکی (بازده حرارتی، حرارت و توان مخصوص مصرفی، ضریب خشک‌شدن و بازده همرفتی) خشک‌شدن ورقه‌های کیوی بررسی گردید. برای بررسی

معنی‌دار بودن فاکتورها آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد و مقایسه میانگین‌های مربوط به سطوح تیمارها در سطح احتمال ۱٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث

در جدول ۱ آنالیز واریانس مربوط به فاکتورهای مختلف آزمایش (شامل: بازگردش، تغییرات دمایی، حالت خشک‌شدن با و بدون پمپ حرارتی) بر pH، نسبت آبدگیری مجدد و تغییرات کلی رنگ نشان داده شده است.

جدول ۲: آنالیز واریانس صفات کیفی خشک‌شدن ورقه‌های کیوی در یک خشک‌کن بازگردشی جریان هوای گرم

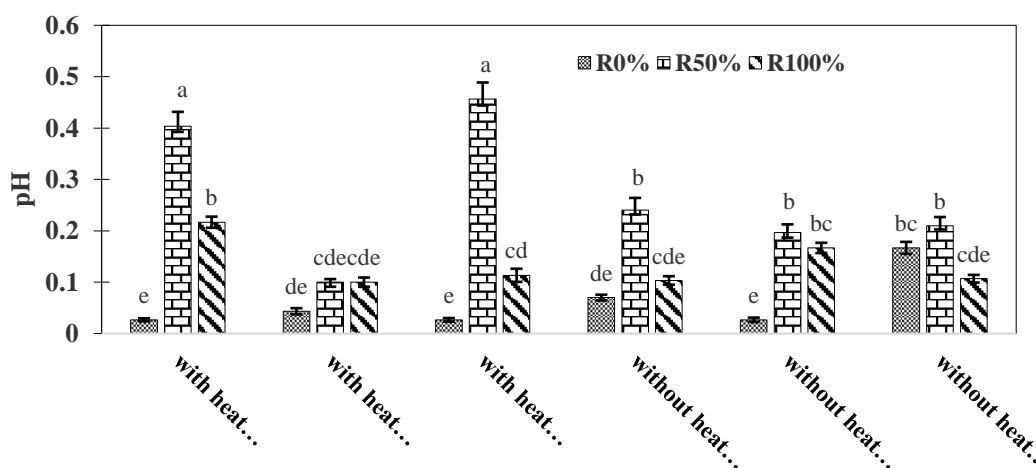
| منبع تغییرات | درجه آزادی | pH | نسبت آبدگیری مجدد (gr.gr) | تغییرات رنگ (ΔE) |
|---------------------|------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| بازگردش | ۲ | ۰/۱۹۹۴۷۴** | ۰/۱۶۶۸۴ ^{ns} | ۰/۱۸۹۴۵۳** |
| پمپ | ۱ | ۰/۰۰۶۶۶۷ ^{ns} | ۰/۲۸۴۰۴ ^{ns} | ۰/۰۸۰۰۸۴ ^{ns} |
| دما | ۲ | ۰/۰۳۱۸۳۰** | ۰/۰۶۹۶۵** | ۰/۰۳۹۱۴۴** |
| بازگردش × پمپ | ۲ | ۰/۰۲۸۸۶** | ۰/۲۸۸۲** | ۰/۰۷۸۵۷** |
| بازگردش × دما | ۴ | ۰/۰۲۱۳۲۴** | ۰/۱۸۸۵** | ۰/۱۲۸۹۶۰** |
| پمپ × دما | ۲ | ۰/۰۱۸۸۶۷** | ۰/۲۸۹۳** | ۰/۰۰۰۷۶** |
| بازگردش × پمپ × دما | ۴ | ۰/۰۲۵۴۵۰** | ۰/۳۰۵۵۱** | ۰/۰۵۸۶۱۲** |
| ضریب تغییرات | | ۶/۵۴ | ۷/۴۹ | ۳/۲۸ |

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر pH

بررسی آنالیز واریانس (جدول ۲) در رابطه با pH بیانگر این موضوع می‌باشد که بین بازگردش و دماهای متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ وجود دارد. در بین اثرات متقابل، اثرات متقابل دوگانه بازگردش در پمپ و بازگردش در دما و پمپ در دما اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ وجود دارد. همچنین اثرات سه گانه پارامترهای خشک‌کردن نیز دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

می‌باشد. شکل ۲ اثرات متقابل سه گانه بازگردش و پمپ و دما را بر pH نشان داد. با توجه به این شکل بیشترین میزان pH در بازگردش ۵۰ در دماهای ۴۵ و ۶۵ درجه سلسیوس با پمپ حرارتی می‌باشد. کمترین میزان pH در بازگردش ۰ به ترتیب در دمای ۴۵ درجه سلسیوس با وجود پمپ حرارتی، در دمای ۶۵ درجه سلسیوس با پمپ حرارتی و در دمای ۵۵ درجه سلسیوس بدون پمپ حرارتی مشاهده شد.



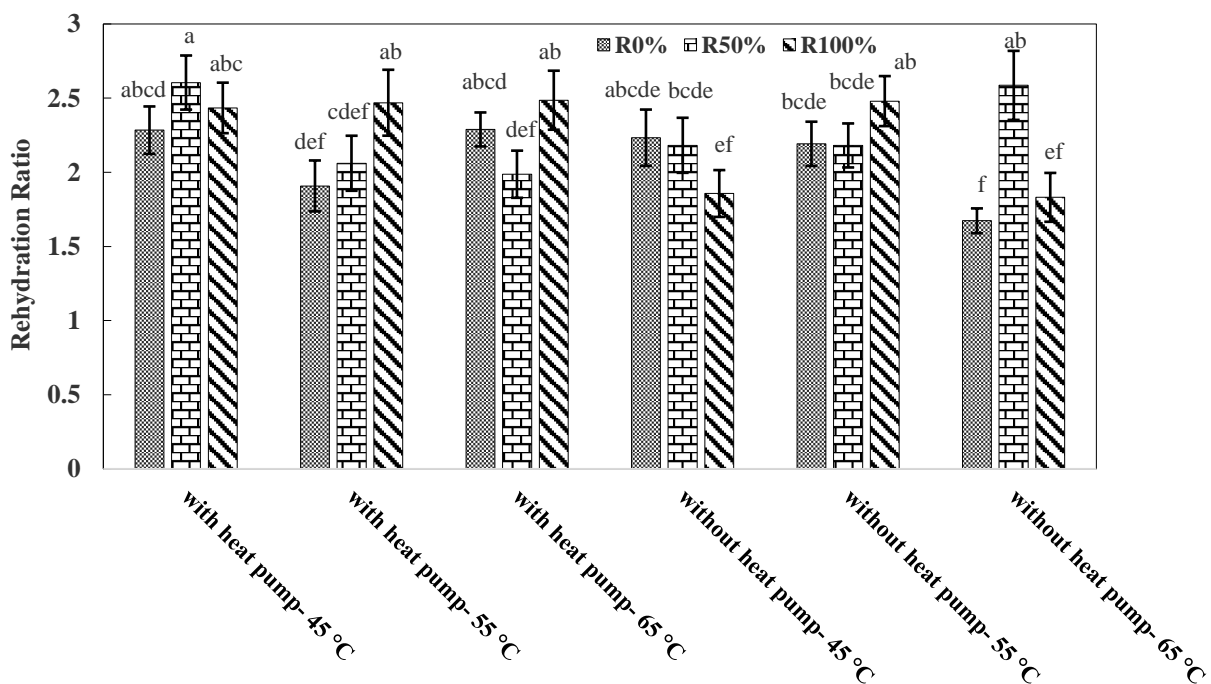
شکل ۲. اثر پارامترهای مختلف خشک‌کردن بر pH

هوا پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار pH با افزایش دما و سرعت جریان هوای گرم افزایش یافت. با توجه به شکل (۲) که تاثیر اثر متقابل سه گانه پمپ در بازگردش در دما بر روی pH نشان داده شده است، دماهای ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد با وجود پمپ حرارتی و بازگردش ۵۰٪ دارای بیشترین میزان تغییرات pH می باشد. همچنین دماهای ۴۵ و ۶۵ و ۵۵ درجه سانتی گراد به ترتیب با وجود پمپ حرارتی، با وجود پمپ حرارتی و بدون پمپ حرارتی با بازگردش ۰٪ دارای کمترین میزان تغییرات pH می باشد.

بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر نسبت آبدگیری مجدد

بررسی جدول واریانس (۲) در رابطه با بازجذب بیانگر این موضوع می باشد که بین اثرات مستقل بازگردش های متفاوت، پمپ و دماهای مختلف اختلاف معنی دار وجود نداشت. در بین اثرات متقابل دوگانه، اثرات متقابل بازگردش و پمپ، اثرات متقابل دوگانه بازگردش و دما و همچنین اثر متقابل پمپ و دما اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ وجود داشت. اثر سه گانه بازگردش، پمپ و دما اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ وجود داشت. با توجه به شکل (۳)، بیشترین میزان بازجذب مربوط به دمای ۴۵ درجه سلسیوس، با شرایط خشک شدن با وجود پمپ حرارتی و بازگردش ۵۰٪ می باشد. همچنین کمترین میزان بازجذب مربوط به دمای ۶۵ درجه سانتی گراد، بدون وجود پمپ حرارتی و با بازگردش ۰٪ می باشد.

همانطور که نتایج نشان داد که با افزایش بازگردش از ۰ به ۵۰ میزان pH افزایش یافت و با افزایش بازگردش از ۵۰ به ۱۰۰ میزان pH کاهش یافت. با افزایش دما از ۴۵ به ۵۵ درجه سانتی-گراد میزان pH کاهش یافته و سپس با افزایش دما از ۵۵ به ۶۵ درجه سانتی گراد میزان pH افزایش یافت. دلیل افزایش pH می تواند به علت انجام واکنش های میلارد و افزایش زیاد غلظت مواد جامد محلول در دماهای بالاتر باشد. در برخی مواقع حرارت دادن باعث بوجود آمدن واکنش میلارد یا قهوه ای شدن می شود. ترکیبات شیمیایی بوجود آمده از قهوه ای شدن شامل پلیمرهای محلول و نامحلول می باشد که در مکان هایی که یک قند احیاء کننده با یک آمینو اسید پروتئین و یا ترکیبات نیتروژن دار دیگر با هم ترکیب می شوند به وجود می آید، که می توان گفت، در این واکنش به دلیل از بین رفتن گروه های آمینو و همچنین به وجود آمدن اسیدهای آلی، pH ماده غذایی کاهش می یابد (Fennema, 1998) که نتایج حاصل با نتایج پژوهش گران پیشین نیز مطابقت داشت. (Modhlopa *et al.* (2002) با خشک کردن انبه به روش خشک کن خورشیدی دریافتند که pH انبه کاهش یافت. همانطور که گفته شد افزایش دما از ۵۵ به ۶۵ درجه سانتی گراد میزان pH افزایش یافت. دلیل این افزایش به علت افزایش قندها و کاهش اسیدها طی نگهداری در برخی از میوه ها می باشد، زیرا جدای وجود اسیدها سایر مواد موجود در میوه ها مانند قندها بر روی pH تاثیر می گذارند. (Esmaeili Adabi *et al.* (2016) به بررسی تغییرات خصوصیات کیفی آلوئه ورا در یک خشک کن بازگردشی



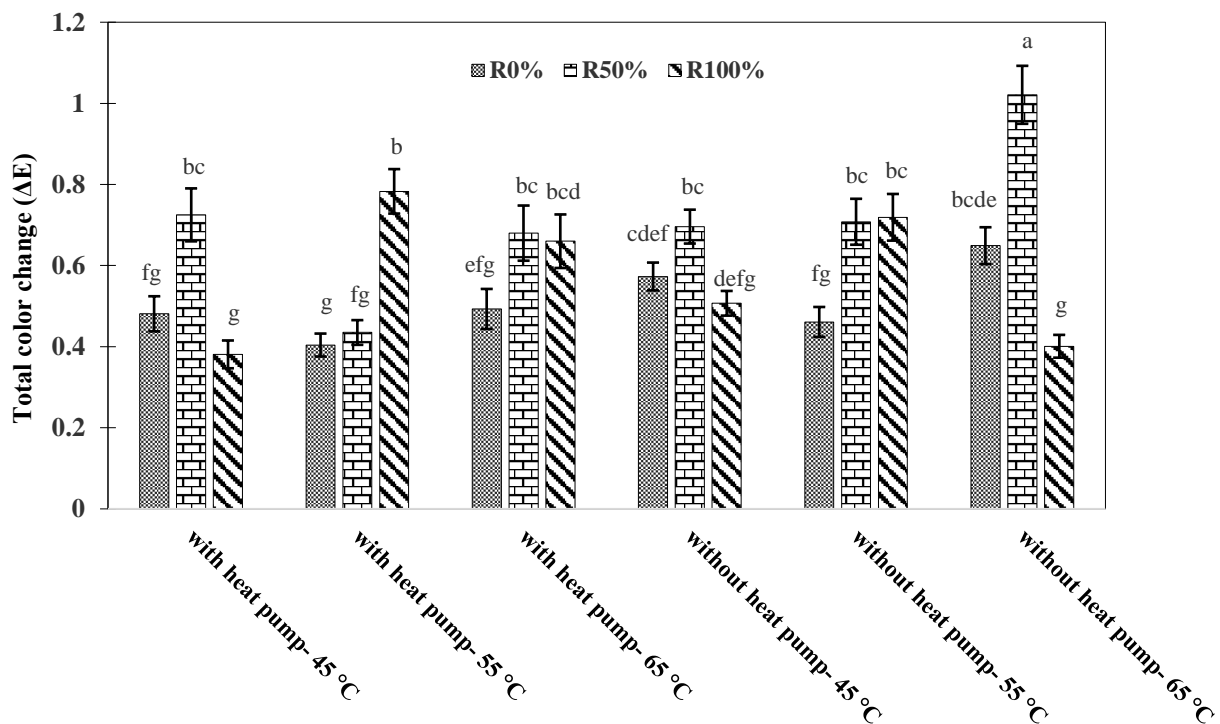
شکل ۳. اثر پارامترهای مختلف خشک کردن بر بازجذب

کردن فلفل شیرین در خشک کن با پمپ حرارتی دریافتند نسبت بازجذب آب در نمونه های خشک شده با پمپ حرارتی بالاتر بودند که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت داشت.

بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر تغییرات کلی رنگ

بررسی جدول آنالیز واریانس ۱ در رابطه با عامل تغییرات کلی رنگ بیانگر این موضوع می باشد که بین بازگردش های مختلف اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ وجود دارد. همچنین اثر استفاده از پمپ حرارتی نیز اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ با عدم استفاده از پمپ حرارتی وجود داشت. بین اثرات متقابل دوگانه بازگردش و پمپ حرارتی و اثرات متقابل دو گانه بازگردش و دما و همچنین اثرات سه گانه بازگردش و پمپ حرارتی و دما اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ وجود داشت. در حالی که در بین دماهای متفاوت و همچنین اثرات متقابل دوگانه پمپ و دما اختلاف معنی داری وجود نداشت. همانطور که مشاهده شد، بیشترین میزان تغییرات کلی رنگ مربوط به دمای ۶۵ درجه سانتی گراد، بدون پمپ حرارتی و بازگردش ۵۰٪ می باشد. کمترین میزان تغییرات رنگ مربوط به دمای ۶۵ درجه سانتی گراد، بدون پمپ حرارتی با بازگردش ۱۰۰٪ و همچنین دمای ۵۵ درجه سانتی گراد با وجود پمپ حرارتی و بازگردش ۰٪ و همینطور دمای ۴۵ درجه سانتی-گراد با وجود پمپ حرارتی با بازگردش ۱۰۰٪ می باشد.

نتایج بدست آمده از شکل (۳) نشان می دهد که بیشترین میزان بازجذب در بازگردش بیشتر اتفاق افتاد که دلیل این امر را می توان به علت کاهش میزان چروکیدگی در طول فرآیند خشک-شدن با استفاده از بازگردش هوای گرم دانست. با توجه به نمودار اثر متقابل سه گانه در شکل (۳) بیشترین میزان بازجذب در دمای ۴۵ درجه سلسیوس و کمترین در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد دیده شد. با افزایش دما میزان چروکیدگی میوه خشک شده افزایش می یابد. در فرایند خشک کردن برخی از محصولات کشاورزی از جمله در انواع و اقسام میوه ها، معمولاً می توان گفت یک پوسته غیرقابل نفوذ بر روی لایه ی سطحی میوه ها به وجود می آید. این پدیده که به سخت شدن سطح محصول شناخته شده است، در بعضی مواقع سبب کاهش سرعت خشک شدن می شود. این حالت هنگامی به وجود می آید که درجه حرارت در سطح ماده غذایی خیلی زیاد است، که مانع انتقال حرارت بر روی لایه سطحی میوه خواهد شد و همچنین آب ماده غذایی را در درون ماده غذایی بین ذرات نگه می دارد. از بارزترین تغییرات در مواد غذایی خشک، کاهش قدرت بازجذب آب در آنها است. می توان گفت عامل اصلی کاهش قدرت بازجذب، چروکیدگی و از بین رفتن سلول ها و جاری مویین در داخل بافت ماده غذایی باشد. نتایج بدست آمده با نتایج مویین (2001) Maskan که بر روی ورقه های کیوی تحقیق کرده بودند، مطابقت داشت. (2008) Pal et al. با بررسی خصوصیات خشک



شکل ۴. اثر پارامترهای مختلف خشک کردن بر تغییرات کلی رنگ

به این نتیجه رسیدند که کمترین میزان تغییرات کلی رنگ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس مشاهده شد. با توجه به شکل (۴) با وجود پمپ حرارتی میزان تغییرات کلی رنگ کاهش یافت. همچنین با تحقیق بر روی ورقه‌های کیوی دریافتند که نگهداری محصول در رطوبت نسبی پایین زمانی که محتوای رطوبت بالا است، میزان قهوه‌ای شدن را کاهش داد (Hansman, 1998). با توجه به اینکه در خشک کردن با پمپ حرارتی توانایی کنترل بهتری بر رطوبت محفظه محصول وجود دارد، پارامترهای رنگ در نمونه‌های خشک شده با پمپ حرارتی نسبت به حالت بدون پمپ حرارتی، با نمونه تازه شباهت بیشتری داشت. همچنین نتایج پژوهش (Mokhtarian & Koushki, 2012) که بر روی ورقه‌های گوجه فرنگی انجام پذیرفت نشان داد که بیشترین تغییرات کلی رنگ در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر حرارت و توان مصرفی مخصوص

در جدول ۲ آنالیز واریانس مربوط به تاثیر فاکتورهای مختلف آزمایش بر پارامترهای ترمودینامیکی نشان داده شده است.

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌گردد، با افزایش بازگردش هوا از ۰٪ به ۵۰٪ میزان تغییرات کلی رنگ افزایش یافت. از دلایل این امر می‌توان به این موضوع اشاره کرد که کاروتن‌ها رنگدانه‌های موجود در مواد غذایی هستند که به آن‌ها رنگ می‌دهد (Orikasa et al., 2014). در طول فرآیند خشک کردن مواد غذایی رنگدانه‌ها به علت حرارت دیدن آهسته آهسته تجزیه شده و موجب تغییر رنگ در آن محصولات خواهد شد (Tavakolipour, 2000). همانطور که مشاهده شد با افزایش بازگردش تغییرات کلی رنگ افزایش یافت که دلیل این امر آن است که در بازگردش هوای خروجی به دلیل وجود رطوبت در هوای خروجی و بازگردش آن به هوای ورودی، زمان فرآیند خشک شدن افزایش می‌یابد و ورقه‌های کیوی در مدت زمان بیشتری در معرض هوای گرم قرار می‌گیرند و همچنین این تماس گرمای زیاد با ورقه‌های کیوی سبب تشدید تجزیه رنگدانه‌ها می‌شود. به همین علت در بازگردش ۰٪ کمترین میزان تغییرات کلی رنگ دیده شد. (Arabhosseini et al., 2005) شرایط مختلف خشک کردن را بر روی گیاه ترخون مورد مطالعه قرار دادند و آن‌ها

جدول ۲. آنالیز واریانس پارامترهای ترمودینامیکی خشک شدن ورقه‌های کیوی در یک خشک‌کن بازگردشی جریان هوای گرم

| میانگین مربعات | | | | | درجه آزادی | منبع تغییرات |
|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------|---------------------|
| ^۵ TE | ^۴ DC | ^۳ E _{con} | ^۲ SHC | ^۱ SPC | | |
| ۲۸/۱۲** | ۰/۰۹۱** | ۰/۰۰۶** | ۴۲۷۰/۲۵** | ۵۰۴۷/۰۸** | ۲ | بازگردش |
| ۲۸/۴۸** | ۰/۳۵۸** | ۰/۱۴۸** | ۴۳۹۵/۰۲** | ۶۹۲/۸۴** | ۱ | پمپ |
| ۱/۴۱** | ۰/۹۶۸** | ۰/۰۰۴** | ۴۵۲/۴۷** | ۹۴۹/۶۹** | ۲ | دما |
| ۲/۹۴** | ۵/۲۶۸** | ۰/۰۳۲** | ۱۸۷/۲۲** | ۴۲/۲۶** | ۲ | بازگردش × پمپ |
| ۰/۷۰** | ۰/۰۰۴ ns | ۰/۰۰۰۱ ns | ۲/۷۴ ns | ۱۲/۰۸** | ۴ | بازگردش × دما |
| ۱/۴۱** | ۰/۰۰۲** | ۰/۰۰۲ ns | ۶/۳۹ ns | ۱۲/۴۸ ns | ۲ | پمپ × دما |
| ۰/۳۳** | ۰/۰۰۶** | ۰/۰۰۰۳ ns | ۱۱/۳۲ ns | ۳/۶۶ ns | ۴ | بازگردش × پمپ × دما |
| ۳/۶ | ۱/۲ | ۲/۴ | ۷/۱۱ | ۹/۳۴ | | ضریب تغییرات |

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

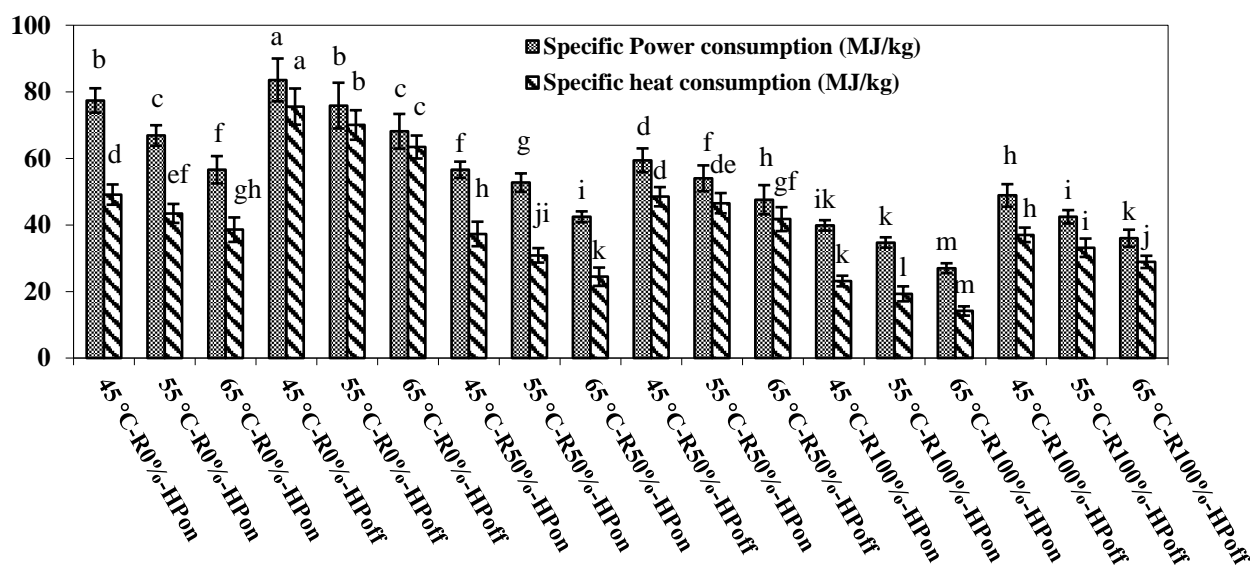
۱- توان مصرفی مخصوص (SPC) ۲- حرارت مصرفی مخصوص (SHC) ۳- بازده همرفتی (E_{con}) ۴- ضریب خشک کردن (DC) ۵- بازده حرارتی (TE)

افزایش دما روند نزولی دارد که به دلیل افزایش سرعت خشک شدن محصول می‌باشد. با افزایش دما گرادیان حرارت بین محصول در حال خشک شدن افزایش یافته و در نتیجه آهنگ تبخیر رطوبت افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش میزان بازگردش هوای خروجی روند تغییرات حرارت و توان مصرفی مخصوص نزولی می‌شود. با افزایش میزان بازگردش هوای خروجی، به علت وجود مقدار زیاد حرارت در هوای خارج شده از محفظه خشک‌کن، میزان انرژی لازم برای گرم کردن هوای خشک‌کننده کاهش می‌یابد. نتایج بدست آمده در مقایسه دو

بررسی آنالیز واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که بین بازگردش و دماهای متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱٪ وجود دارد. در بین اثرات متقابل، اثرات متقابل دوگانه بازگردش در پمپ و بازگردش در دما و پمپ در دما اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱٪ وجود دارد. همچنین اثرات سه گانه پارامترهای خشک کردن نیز دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۱٪ می‌باشد. شکل ۵ تاثیر تیمارهای مختلف آزمایشی (دما، بازگردش جریان هوا و پمپ حرارتی) را بر حرارت و توان مصرفی مخصوص نشان می‌دهد. مطابق نتایج هر دو پارامتر حرارت و توان مصرفی مخصوص با

۴۵ درجه سلسیوس، عدم استفاده از پمپ حرارتی و بازگردش هوای خروجی ۰٪ و پایین‌ترین میزان این دو پارامتر به ترتیب ۱۴/۱۵ و ۲۷/۰۱ مگاژول بر کیلوگرم در دمای ۶۵ درجه سلسیوس، در حالت استفاده از پمپ حرارتی و بازگردش هوای ۱۰۰٪ اتفاق افتاد. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران از جمله در خشک‌کردن رزماری (Motevali et al., 2017) خشک‌کردن خمیر کاغذ (Vieira et al., 2007) گزارش شده است.

حالت استفاده یا عدم استفاده از پمپ حرارتی نشان می‌دهد که استفاده از پمپ حرارتی سبب کاهش میزان حرارت و توان مصرفی می‌گردد. در صورت استفاده از پمپ حرارتی میزان رطوبت در هوای خشک‌کننده کمتر شده و با کاهش میزان رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده گرادیان رطوبتی بین محصول در حال خشک-شدن و هوای خشک‌کننده افزایش یافته و سرعت خروج رطوبت از محصول افزایش می‌یابد. بالاترین میزان حرارت و توان مصرفی به ترتیب به میزان ۷۳/۳۷ و ۸۳/۵۷ مگاژول بر کیلوگرم در دمای



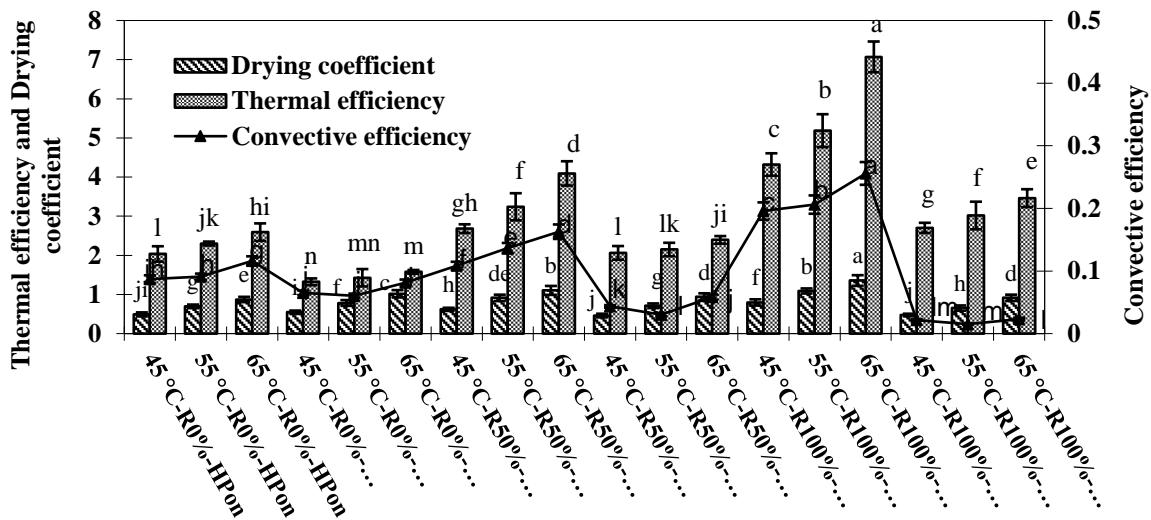
شکل ۵. اثر تیمارهای مختلف آزمایشی بر حرارت و توان مصرفی مخصوص

حرارت در هوای بازگردش شده) در طول فرآیند خشک‌کردن سبب افزایش میزان بازده حرارتی می‌گردد. ضریب خشک‌شدن در حالت استفاده از پمپ حرارتی با افزایش میزان بازگردش روند صعودی داشت در حالی که در حالت عدم استفاده از پمپ حرارتی با افزایش میزان بازگردش روند نزولی مشاهده شد. در حالت روشن بودن پمپ حرارتی به دلیل کاهش میزان رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده زمان خشک‌شدن کاهش یافته و در نتیجه مدت زمان کارکرد دمنده کمتر شده و سهم انرژی مصرفی آن نیز کم می‌گردد. در حالت عدم روشن بودن پمپ حرارتی با افزایش میزان بازگردش هوای خروجی، رطوبت نسبی هوای خشک‌کننده افزایش یافته (در اثر خروج رطوبت از محصول و اضافه شدن آن به هوای در حال چرخش) و در نتیجه اختلاف رطوبت بین محصول و هوای خشک‌کننده کم می‌شود. این امر موجب می‌شود که مدت زمان خشک‌شدن محصول بیشتر شده و زمان کارکرد دمنده افزایش یابد که این امر سبب مصرف انرژی بالاتر توسط دمنده می‌گردد. پارامتر بازده همرفتی نیز با افزایش دما

شکل ۶ اثر تیمارهای مختلف آزمایشی را بر بازده حرارتی، بازده همرفتی و ضریب خشک‌شدن نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با افزایش دما روند تغییرات سه پارامتر بازده حرارتی، همرفتی و ضریب خشک‌شدن صعودی می‌باشد. افزایش بازده حرارتی به این علت است که با افزایش دما اختلاف بین درجه حرارت محصول در حال خشک‌شدن و دمای هوای خشک‌کننده افزایش یافته و منجر به تسریع در خروج رطوبت از محصول می‌شود و در نتیجه زمان و میزان انرژی لازم کاهش می‌یابد. ضریب خشک‌شدن نیز با افزایش دما روند صعودی داشت. افزایش دما موجب کاهش زمان خشک‌شدن شده و در نتیجه مدت زمان کارکرد دمنده برای حرکت جریان هوا به منظور خروج رطوبت از محصول کمتر شده و انرژی کل مصرفی برای دمنده کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش دما بازده همرفتی به دلیل اختلاف بیشتر میانگین دمای هوای خروجی با هوای ورودی افزایش می‌یابد. با افزایش میزان بازگردش هوای خروجی از ۰ به ۱۰۰٪ به دلیل کاهش میزان حرارت مورد نیاز (به دلیل وجود

می‌یابد. در حالی که در حالت بازگردش و عدم استفاده از پمپ حرارتی به علت بالا رفتن رطوبت نسبی و فشار بخار در هوای خشک‌کننده، قابلیت آن برای خروج رطوبت از محصول کاهش یافته و در نتیجه میانگین دمای خروجی هوا از محفظه خشک‌کن به میانگین دمای ورودی نزدیک شده و مطابق رابطه ۴ جدول ۱ سبب کاهش بازده همرفتی می‌شود که این پارامتر با افزایش میزان بازگردش روند نزولی دارد.

روند صعودی داشت که این موضوع نشان دهنده قابلیت بیشتر دمای بالاتر در خروج رطوبت از محصول و پایین آمدن دمای خروجی از محفظه خشک‌کن می‌باشد. از طرف دیگر، استفاده از بازگردش به همراه پمپ حرارتی به دلیل کاهش فشار بخار در هوای خشک‌کننده، قابلیت آن را برای خروج رطوبت از محصول بیشتر کرده و در نتیجه دمای خروجی از محفظه خشک‌کن کاهش می‌یابد که این پارامتر با افزایش میزان بازگردش افزایش



شکل ۶. اثر تیمارهای مختلف آزمایشی بر بازده حرارتی و همرفتی و ضریب خشک‌شدن

بازگردش هوا به دلیل ایجاد چروکیدگی در طول فرایند خشک شدن میزان بازجذب نیز افزایش پیدا کرد. کمترین میزان تغییرات رنگ در حداکثر بازگردش هوا و در دمای بالاتر بدون استفاده از پمپ حرارتی و یا دمای کمتر با استفاده از پمپ حرارتی بدست آمد. استفاده از پمپ حرارتی، افزایش دما و بازگردش هوا موجب کاهش حرارت و توان مصرفی مخصوص گردید. همچنین، هر سه پارامتر بازده حرارتی، بازده همرفتی و ضریب خشک‌شدن با افزایش دما روند صعودی داشتند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بکارگیری سه دمای مختلف خشک‌کردن، سه حالت بازگردش جریان هوای خروجی و دو حالت استفاده یا عدم استفاده از پمپ حرارتی برای خشک‌کردن ورقه‌های کیوی انجام گردید. نتایج نشان داد که بازگردش و دمای هوا بر pH، بازجذب و تغییرات رنگ تاثیر معنی‌دار دارند. بیشترین میزان pH در بازگردش ۵۰٪ و دمای ۶۵ درجه سلسیوس بدست آمد. با افزایش

REFERENCES

Aktas, M., Khanlari, A., Aktekel, B. & Amini, A. (2017). Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42: 18034-18044.

Arabhosseini, A., Huisman, W., Van Boxtel, A., & Mueller, J. (2005). Modeling of the equilibrium moisture content (EMC) of tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.). *International Journal of Food Engineering*, 1(5): 32-41.

Ataei Ardestani, S. M., Beheshti, B., Sadeghi, M. & Minaee, S. (2015). Energy analysis and kinetics of mint leaves dehydration using vibro-fluidized bed heat pump dryer. *Journal of Agricultural Machinery*, 5: 154-162. (In Farsi)

Ayub Hossain, M., Gottschalk, K., & Shoeb Hassan, M. (2013). Mathematical model for a heat pump dryer for aromatic plant. *Procedia Engineering*, 56: 510-520.

Cernisev, S. (2010). Effect of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. *Journal of Food Engineering*, 96: 114-118.

Chapchaimoh, K., Poomsa, N., Wiset, L., & Morris, J. (2016). Thermal characteristics of heat pump dryer for ginger drying. *Applied Thermal Engineering* 95: 491-498.

Chin, S. K., Siew, E. S., & Soon, W. L. (2015). Drying characteristics and quality evaluation of kiwi slices under hot air natural convective dryer. *International Food Research Journal* 22: 2188-2199.

Du G., Li M., Ma F., & Liang D. (2009). Antioxidant

- capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113: 557-562.
- Esmaili Adabi, E., Mousavi, S.R., Kalantary, D. & Taghvazade, A. (2016). Evaluation of some changes in quality properties of Aleo vera in a hot air dryer. *Journal of Iran Food Science and Technology*, 54: 85-93. (In Farsi)
- Falade, K. O., Igbeka, J. C. & Ayanwuyi, F. A. (2006). Kinetics of mass transfer and color changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80: 979-985.
- Fennema, A., C.M. (1998). *Food Chemistry*. Academic Press. Second edition, New York.
- Ferguson A.R., & Ferguson L.R. (2003). Are kiwifruit really good for you?. *Acta Horti*, 610: 131-138.
- Hansman, C.F. & Joubert, E. (1998). Dehydration of peaches without sulfur dioxide. *Drying Technology*, 16:101-121.
- ISIRI (2016). Iranian National Standard, No. 3475. <http://isom.isiri.gov.ir/nst>.
- Jafarian, H., Tabatabaekoloo, R., & Mousavi, S.R. (2017). Effects of different drying conditions on powder density and rehydration characteristics of coriandrum. *Journal of Biosystem Engineering*, 48: 191-199. (In Farsi)
- Kaya, A., Aydin, O., & Kolayli, S. (2010). Effect of different drying conditions on the vitamin C content of Hayward kiwifruits. *Food and Bioproducts Processing*, 88: 165-173.
- Khalili, S. E., & M. Esmaili (2011). Effect of mechanical properties on texture and quality indices of dried kiwifruit by hot air, osmosis and microwave drying methods. Master thesis in Food Sciences and Technology, Uromia University, Uromia, Iran. (in Farsi)
- Kuzgunkaya, E. H., & A. Hepbasli. (2007). Exergetic performance assessment of a ground-source heat pump drying system. *International Journal of Energy Research*, 31: 760-777.
- Mortezapour, H., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M. H., & Minaei, S. (2014). Drying kinetics and quality characteristics of saffron dried with a heat pump assisted hybrid potovoltaic-thermal solar dryer. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 16: 33-45.
- Okos, M.R., Narsimhan, G., Ingh, R. K., & Weitmauer, A.C. (1992). Food dehydration. In D. R. Heldman & D. B. Lund (Eds.), *Hand book of food engineering* (pp. 339-382). New York:Marcel Dekker.
- Madhlopa, A., Jones, S.A. & Kalenga Saka J.D. (2002). A solar air heater with composite absorber systems for food dehydration. *Renewable Energy*. (27): 27-37.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48:177-182.
- Morton, J. 2011. *Kiwifruit: Actinidia deliciosa* In: *Fruits of Warm Climates*, 1978. Center for New Crop & Plant Products at Purdue University. Retrieved 8 April 2014.
- Motevali, A., Keyani, D., & Hashemi, S.J. (2017). Investigation of thermodynamic parameters and essential oil content in drying of rosemary by applying a microwave pulsed pretreatment. *Journal of Engineering Management*. 7 (2): 42-51.
- Orikasa, T., Koide, S., Okamoto, S., Imuizumi, T., Maramatsu, Y., Takeda, J. & Tagawa, A. (2014). Impacts of hot air and vacuum drying on the physical and quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering*, 125:51-58.
- Pal, U., Khan, M., & Mohanty, S. (2008). Heat pump drying of green sweet pepper. *Drying Technology*, 26: 1584-1590.
- Sahoo N. R., Pal, U. S., Dash S. K., & Khan M. K. (2012). Drying kinetics and quality aspects during heat pump drying of onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Food Studies*, 1: 159-167.
- Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H., & Koçak, S. (2013). Mushroom drying with solar assisted heat pump system. *Energy Conversion and Management*, 72, 171-178.
- Shulka BD & Singh SP. (2007). Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and green pea. *Journal of Food Engineering*, 80: 741-747.
- Sjoholm, I., & Gekas, V. 1995. Apple shrinkage upon drying. *Journal of Food Engineering*, 25: 123-130.
- Tavarini S., Degl'Innocenti E., Remorini D., Massai R., & Guidi L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry*, 70: 282-288.
- Vieira, M.G.A., Estrella, L., & Rocha, S.C.S. (2007). Energy efficiency and drying kinetics of recycled paper pulp. *Drying Technology*, 25:1639-1648.
- Walker, H. T. 1992. *Drying Cut Fruits with Recirculated Air for Energy Savings*. The Master Thesis. The University of Tennessee, Knoxville, TN.
- Zakipour-Molkabadi, E., Hamidi-Esfahani Z., & Abbasi S. (2011) Formulation of Leather from Kiwi Fruit Losses. *Iran Food Sciences and Technology Research Journal*, 6 (4): 263-270. (In Farsi)
- Zargari A. (1992). *Medicinal Herb*. Vol.3-Tehran Publication.
- Zomorodian, A. (2004). *Grain Drying (Theoretical and practical)*. Agriculture Science Publication, Tehran, Iran.