

بررسی اثر شرایط مختلف خشک کردن بر ویژگی‌های دانسیته پودر گشنیز و جذب مجدد آب گشنیز خشک

شده

حسین جعفریان^۱، رضا طباطبایی کلور^{۲*}، سید رضا موسوی^۳

۱. دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. استادیار، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۰/۲۶)

چکیده

یکی از ویژگی‌های بسیار مهم در مواد غذایی خشک‌شده، قابلیت جذب آب آنها می‌باشد. هر چقدر توانایی محصول در جذب آب بیشتر باشد، نشان‌دهنده آن است که محصول در شرایط بهتری خشک‌شده است. لذا شرایطی که در آن محصول تولید شده آب بیشتری جذب کند بهترین شرایط به حساب می‌آید. دانسیته توده فشرده و غیر فشرده از مهم‌ترین پارامترهایی هستند که در مورد پودرها اندازه‌گیری می‌شوند. این امر از لحاظ حمل و نقل، انبارداری و بسته‌بندی در صنعت، حائز اهمیت است. در این پژوهش اثرات سه عامل دما (۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سلسیوس)، دبی هوای خشک کردن (۰/۰۲۴، ۰/۰۱۶ و ۰/۰۰۸ متر مکعب بر ثانیه) و استفاده از پمپ حرارتی یا عدم استفاده از آن بر درصد بازجذب آب، دانسیته توده فشرده و دانسیته توده غیر فشرده گشنیز در قالب آزمایش فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. به علاوه، نتایج به دست آمده با روش خشک کردن سنتی مقایسه شد. نتایج نشان داد که دمای دبی هوای خشک کن، به کارگیری پمپ حرارتی و اثر متقابل آنها در سطح ۰/۱ بر میانگین درصد بازجذب آب نمونه‌های خشک‌شده گشنیز و چگالی پودر آن تاثیر معنی‌داری دارند. به علاوه، محصول خشک شده در خشک کن مجهز به پمپ حرارتی کیفیت بهتری نسبت به روش سنتی دارد. همچنین، دمای ۵۵ درجه سلسیوس و دبی هوای ۰/۰۲۴ متر مکعب بر ثانیه موجب بهبود کیفیت محصول شد که می‌تواند به عنوان تیمار مطلوب در تولید گشنیز خشک پیشنهاد گردد.

واژه‌های کلیدی: گشنیز، خشک کردن، پمپ حرارتی، جذب مجدد آب، دانسیته توده.

مقدمه

خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شناخته شده برای نگهداری مواد غذایی است و برای بسیاری از محصولات کشاورزی و صنعتی قابل استفاده است. خشک کردن به عنوان کاربرد حرارت تحت شرایط کنترل شده برای خارج کردن بیشتر آب موجود در غذا به صورت تبخیر می‌باشد. میوه‌ها و سبزیجات به دلیل رطوبت بالا به عنوان غذاهای فسادپذیر می‌باشند. فرآیند خشک کردن مقدار قابل توجهی از رطوبت ماده را کاهش داده و از این طریق فعالیت آبی، میکروبی و آنزیمی محصول را محدود کرده و تغییرات فیزیکی و شیمیایی حین انبارداری را به حداقل می‌رساند و در نتیجه عمر انبارداری محصول افزایش می‌یابد. بدین ترتیب محصولات جدیدی با خواص کیفی و تغذیه‌ای جدید توسعه می‌یابند. همچنین خشک کردن در مصرف بعضی غذاها تنوع و راحتی بیشتری برای مصرف کننده به ارمغان می‌آورد و باعث کاهش وزن و حجم بسته بندی و هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری می‌شود (Soleimanifard, 2009)

اغلب مواد خشک شده قبل از مصرف در معرض جذب

گشنیز (*Coriandrum sativum.L*) گیاهی است علفی و یک ساله که از آن در صنایع غذایی، دارویی و بهداشتی استفاده می‌گردد (Omidbeigi, 2005). منشا اصلی این گیاه نواحی جنوب غربی آسیا بوده و امروزه در نواحی مختلف آسیا، اروپا و آمریکا نیز کشت می‌شود (Singh et al., 2003). سابقه کشت این گیاه در ایران بسیار طولانی است و از سطح عمده زیر کشت، اندام‌های هوایی گیاه به صورت تازه برداشت و به بازار مصرف عرضه می‌گردد (Zargari, 2012)

اهمیت تولید و فرآوری گیاهان دارویی به دلیل عوارض جانبی کمتر، روز به روز در حال افزایش است و بیشتر کشورها سرمایه‌گذاری زیادی را در راستای تولید گیاهان دارویی انجام داده‌اند. یکی از مهمترین مسائل مورد توجه در بخش کشاورزی و علوم پزشکی و حتی تجارت جهانی توجه به تولید، فرآوری و استفاده از گیاهان دارویی می‌باشد (Pirzad et al., 2006).

* نویسنده مسئول: tabatabaei@sanru.ac.ir

موجب تغییرات حجم و اضمحلال ماده می‌شود (Russo et al., 2013). این تحقیق با هدف بررسی اثر شرایط مختلف خشک کردن بر ویژگی‌های کیفی سبزی گشنیز انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه

گشنیز تازه از بازار محلی خریداری و در دمای ۴°C نگهداری شد. سپس درجه بندی براساس رنگ، قطر و وزن صورت گرفت و پس از شستشو قسمت‌های زاید جداسازی شدند.

فرآیند خشک کردن گشنیز

برش‌های گشنیز پس از آماده سازی وارد خشک کن خورشیدی مجهز به پمپ حرارتی شدند و تا رسیدن به ۱۰ درصد رطوبت اولیه خشک گردید. در تحقیق حاضر از یک خشک‌کن کابینتی خورشیدی مجهز به پمپ حرارتی با گردش هوای بسته، جمع کننده خورشیدی به ابعاد ۸۲×۱۰۵ سانتی‌متر و ابعاد کابینت ۴۰×۴۰ سانتی‌متر استفاده شد. لایه‌های گیاه با تراکم Kg/m^2 ۱/۲۵ روی سینی مشبک پهن شدند. نمونه‌های خشک در کیسه های نایلونی بسته بندی و در یخچال نگهداری شدند. پس از پایان عملیات خشک کردن، همه‌ی نمونه‌های خشک شده در یک بسته برای رسیدن به رطوبت یکسان در دمای یخچال نگهداری شدند.

اندازه‌گیری دانسیته توده غیرفشرده و دانسیته توده فشرده پودر گشنیز خشک شده

برای بررسی بافت کیفیت خشک شدن نمونه‌ها، دانسیته توده فشرده و دانسیته توده غیر فشرده طبق روش ذکر شده در استاندارد شماره ۳۳۴۵ موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای تمام نمونه‌های پودر شده، اندازه‌گیری شد (ISIRI, 2004). بدین ترتیب که در یک مزور به حجم ۵۰ میلی‌لیتر پودر به صورت غیر فشرده ریخته و سپس وزن آن اندازه‌گیری شد. برای دانسیته توده فشرده مزور ۵۰ میلی‌لیتری حاوی نمونه، حدود ۳۰۰ بار به یک سطح پلاستیک فشرده کوبیده شد و سپس حجم فشرده شده ذرات از روی مزور خوانده شد و در نهایت از فرمول های زیر دو نوع دانسیته تعیین گردید.

$$\text{Loosed density } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M}{V_1} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\text{Packed density } (\text{Kg/m}^3) = M/V_2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

V_1 : حجم پودر داخل مزور (۵۰ میلی‌لیتر)، M : وزن پودر گشنیز، V_2 : حجم پودر داخل مزور بعد از فشردن

مجدد آب قرار می‌گیرند. فرآیند جذب آب محصول خشک شده معمولاً سه فرآیند همزمان را شامل می‌شود: انتشار آب به داخل ماده خشک، اتساع محصول و خروج مواد جامد محلول خشک شده. جذب مجدد آب موجب تغییرات زیادی در ساختار و ترکیبات و بافت محصول محصول می‌شود که حاصل آن صدمه به خواص ساختاری آن می‌باشد. از این رو جذب مجدد آب می‌تواند به عنوان معیار اندازه گیری میزان صدمات حاصل از خشک کردن به ماده غذایی در نظر گرفته شود. از طرف دیگر خشک کردن خصوصیات سطحی مواد غذایی را تغییر داده و در نتیجه قابلیت انعکاس نور و رنگ محصول خشک شده تغییر می‌کند (Bhandri and Howes 1999). از عوامل موثر بر بازجذب آب می‌توان به تخلخل، مویرگ‌ها و حفره‌های نزدیک سطح، دما، حبابهای هوای به دام افتاده، حالت تبلور ماده، مواد جامد محلول و آنیون‌ها اشاره کرد (Sagar and Suresh komar, 2010).

استفاده از پودر سبزی‌ها و میوه‌ها به عنوان مواد افزودنی طعم یا رنگ دهنده در صنعت غذایی و نیز افزایش ارزش غذایی محصول مورد توجه بسیاری از تولید کنندگان قرار گرفته است (Camire et al., 2007). کیفیت پودر سبزی یا میوه تا حد زیادی وابسته به شرایط خشک کردن و برخی عوامل دیگر می‌باشد. تنزل کیفیت مانند چروکیدگی، پف کردن، کاهش ظرفیت جذب آب و از دست دادن مزه و رنگ و ارزش غذایی از جمله مسائل اساسی می‌باشند که بایستی توسط فرایندهای خشک کردن برطرف شوند (Zhang et al., 2012).

دانسیته توده فشرده و غیر فشرده از مهمترین پارامترهایی هستند که در مورد پودرها اندازه گیری می‌شوند (Athanasia et al., 2004). این امر از لحاظ حمل و نقل، انبارداری و بسته بندی در صنعت حائز اهمیت است زیرا در اغلب موارد افزایش دانسیته موجب کاهش حجم محصول می‌شود. چگالی مواد غذایی به ترکیب و شرایط خشک کردن بستگی دارد. افزایش مقدار چروکیدگی و ایجاد منافذ داخلی در فرآیند خشک کردن، موجب تغییرات چگالی محصول نهایی می‌شود. می‌توان گفت که چگالی اکثر مواد غذایی به خصوص میوه‌ها و سبزی‌ها پس از فرآیند خشک کردن کاهش می‌یابد (Wang and Brennan, 1995).

رفتار خشک شدن مواد غذایی تا حد زیادی بستگی به شرایط بیرونی مانند دما، رطوبت نسبی و دبی هوا دارد (Yadollahinia and Jahangiri, 2009). در سبزی‌های دارای برگ سبز انتقال رطوبت ماده در یک یا دو ساعت اولیه خیلی سریع انجام می‌شود و از دست دادن رطوبت در مواد غذایی

فرآیند باز جذب آب گشنیز خشک شده

برای بررسی توانایی جذب آب نمونه‌ها، از روش غوطه‌ورسازی در آب مقطر استفاده شد (Cunningham *et al.*, 2008). برای اندازه گیری نسبت آبیگری مجدد ۱ گرم از نمونه های خشک شده را در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر در دمای °C ۶۰ در فواصل زمانی مشخص غوطه‌ور شد. نمونه ها از آب مقطر خارج شده و پس از حذف رطوبت سطحی به کمک کاغذ صافی، توزین شدند. برای این منظور، در ابتدا به دلیل اینکه دبی جذب بالاست، زمان ها کوتاه در نظر گرفته شدند (Garcia-Pascual *et al.*, 2006). این عمل آنقدر ادامه داشت تا تغییر وزنی نمونه ها به حداقل رسیده و تقریباً ثابت شد. این نقطه را نقطه نهایی و درصد آب جذب شده حداکثر قابلیت ماده برای جذب آب در نظر می‌باشد (Cunningham *et al.*, 2008).

برای محاسبه درصد جذب آب از توزین گشنیز خشک و برش‌هایی که پس از زمان مشخص از آب خارج شدند و باز جذب آب در آنها صورت گرفته، استفاده شده است (Lewicki, 1998):

$$\% \text{water absorption} = (M_r - M_d / M_d) 100 \quad (3) \text{ (رابطه ۳)}$$

در این معادله M جرم نمونه، و اندیس‌های d و r به ترتیب مربوط به نمونه پس از خشک کردن و بعد از باز جذب آب، است.

تجزیه و تحلیل داده ها

طرح آزمایشی مورد استفاده در این پژوهش، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی بود. در این آزمایش اثر سه عامل دمای هوای خشک کردن (در سه سطح ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سلسیوس)، دبی هوای خشک کردن (در سه سطح ۰/۰۲۴، ۰/۰۱۶ و ۰/۰۰۸ متر مکعب بر ثانیه) و استفاده از پمپ حرارتی یا عدم استفاده از آن بر کیفیت گشنیز خشک شده بررسی شد. میانگین ها به کمک نرم افزار SPSS، در سطح

احتمال ۱٪ محاسبه شدند. نتایج با روش خشک کردن سنتی (خشک کردن در آفتاب و سایه) مقایسه شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) مشاهده می‌شود که دما، دبی هوای خشک کن، به کارگیری پمپ حرارتی و اثر متقابل آنها در سطح ۱٪ بر میانگین درصد باز جذب آب نمونه‌های خشک شده گشنیز و چگالی پودر آن تاثیر معنی‌داری داشته‌اند.

اثر عوامل اصلی بر باز جذب آب

بر اساس جدول (۱) نتایج و مقایسه میانگین درصد باز جذب آب برای سطوح مختلف عوامل اصلی نشان می‌دهد که دما بر میزان باز جذب آب بسیار بیشتر از پمپ حرارتی و سطوح مختلف دبی هوا تاثیرگذار است. افزایش دما و افزایش دبی هوا باعث افزایش میزان باز جذب آب نمونه‌های خشک شده گردید. این امر می‌تواند به این علت باشد که خشک کردن با دمای بالاتر باعث سریعتر خشک شدن و افزایش فضای بین سلولی ماده و در نتیجه آن افزایش قابلیت باز جذب آب می‌شود. این امر با نتایج (Ngankham *et al.*, 2011) تطابق دارد. خاصیت باز جذب آب کمتر نشانه‌ای از چروکیدگی ناشی از خشک کردن محصول در زمان بیشتر و ایجاد تغییرات فیزیکی شیمیایی و غیر قابل بازگشت می‌باشد. نتایج مشابه در کارهای دیگران اشاره شده است (Funebo & Ohlsson, 1998; Ngankham *et al.*, 2011).

در خشک کردن سنتی مقدار میانگین جذب آب محصول گشنیز خشک شده برای خشک کردن در سایه برابر ۴۹۹/۶۷ و خشک کردن در آفتاب برابر ۴۱۹/۳۳ بود.

جدول ۱. تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده

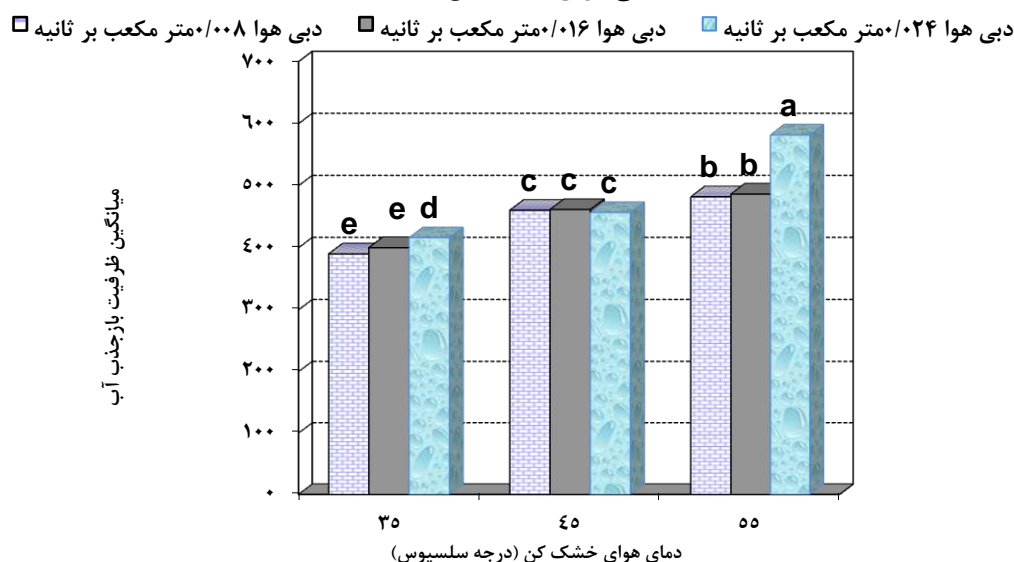
| منابع تغییرات | درجه آزادی | درصد باز جذب آب | دانسیتته توده غیر فشرده (کیلوگرم بر متر مکعب) | دانسیتته توده فشرده (کیلوگرم بر متر مکعب) |
|------------------------|------------|-----------------|---|---|
| دما | ۲ | ۵۹۲۲۵/۴** | ۱۷۶۸۲/۹** | ۹۳۵۴۶/۵** |
| دبی هوا | ۲ | ۸۸۶۲/۹** | ۱۳۷۸۱/۳** | ۶۷۸۹۲/۵** |
| پمپ حرارتی | ۱ | ۳۹۷۹۹/۳** | ۷۵/۹ ^{ns} | ۲۶۹۵/۲** |
| دما×دبی هوا | ۴ | ۵۶۲۸/۱** | ۱۶۲۲/۸** | ۲۸۸۲۱/۳۶** |
| دما×پمپ حرارتی | ۲ | ۲۰۳۰۱** | ۱۰۱۷۷/۳** | ۱۳۶۲/۶۹** |
| دبی هوا×پمپ حرارتی | ۲ | ۴۲۳۹/۲** | ۲۱۸/۸** | ۸۳۷/۸۱** |
| دما×دبی هوا×پمپ حرارتی | ۴ | ۳۷۳۹/۰۲** | ۱۴۰۱/۵** | ۷۲۲۹/۶۸** |
| خطا | ۳۴ | ۹۲/۵۲ | ۳۹/۸۱ | ۱۵۴/۲۶ |
| کل | ۵۴ | | | |

*, ** و ns. به ترتیب نشان دهنده تغییرات معنی دار در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم وجود تغییرات معنی دار.

سریع بوده و در ساعات اولیه خشک کردن انجام می‌شود (Ahmed, 2011). در اثر بالا رفتن دمای خشک کنی تخلخل افزایش یافته و چگالی ظاهری کمتر می‌شود و در نتیجه جذب آب در محصول خشک شده افزایش می‌یابد (Russo *et al.*, 2013). تخلخل، مویرگ‌ها و حفره‌های نزدیک سطح روند بازجذب آب را افزایش می‌دهند (Sagar and SureshKomar, 2010). تفاوت معنی‌داری بین دبی هوای ۰/۰۰۸ و ۰/۰۱۲ متر مکعب در هر ثانیه) بر روی بازجذب آب نمونه‌های خشک‌شده مشاهده نشد.

اثر دما و دبی هوای خشک کردن بر باز جذب آب
با توجه به شکل (۱) اثر متقابل دما و دبی هوای خشک‌کننده نشان می‌دهد که با افزایش دما در دبی هوای بیشتر ظرفیت باز جذب آب بیشتر می‌شود. بیشترین میزان ظرفیت بازجذب آب در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و دبی ۰/۰۲۴ مترمکعب برثانیه بدست آمد. رفتار خشک شدن مواد غذایی تا حد زیادی بستگی به شرایط بیرونی مانند دما، رطوبت نسبی و دبی هوا دارد (Yadollahinia and Jahangiri, 2009). انتقال رطوبت درون نعنا و گشنیز در خشک کنهای با دمای بالاتر و دبی هوای بیشتر به دلیل انتشار بخار سطح و اختلاف فشار هیدرواستاتیکی خیلی

دبی هوای خشک کن

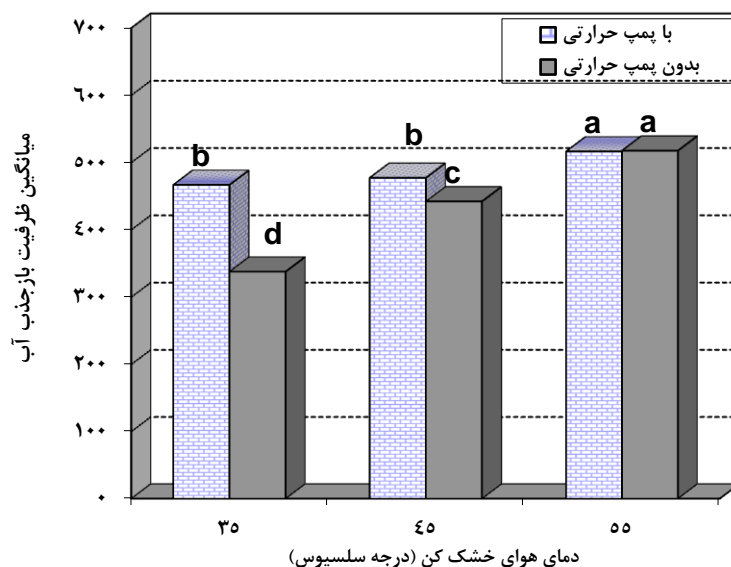


شکل ۱. بررسی اثر متقابل دما و دبی هوای خشک کن بر درصد باز جذب آب (دانکن در سطح ۱٪)

(2011) و (Doymaz *et al.*, 2006) برای خشک کردن برگ‌های شوید و جعفری گزارش شده است. خاصیت باز جذب آب کمتر نشانه‌ای از چروکیدگی ناشی از خشک کردن محصول در زمان بیشتر و در نتیجه دمای کمتر و ایجاد تغییرات فیزیکیوشیمیایی و غیر قابل بازگشت است (Funebo and Ohlsson, 1998). Pal (2008) *et al.* با بررسی خصوصیات خشک کردن فلفل سبز شیرین در یک خشک کن پمپ حرارتی در یک محدوده ۳۰-۴۰ درجه سلسیوس دریافتند که زمان خشک شدن بسیار کمتر از زمان لازم برای خشک شدن همان مقدار فلفل سبز شیرین در یک خشک کن هوای داغ با دمای ۴۵ درجه سلسیوس بود. همچنین میزان نگهداری محتوای کلروفیل کل و اسید اسکوربیک، نسبت باز جذب آب و آزمون‌های حسی در نمونه های خشک شده با پمپ حرارتی بالاتر بودند. این نتایج افزایش کیفیت محصول خشک شده با پمپ حرارتی را تایید می‌کند.

اثر دما و پمپ حرارتی بر باز جذب آب

پمپ حرارتی باعث افزایش میزان جذب مجدد آب گردید. همانطور که شکل (۲) نشان می‌دهد افزایش دمای خشک کردن همزمان با استفاده از پمپ حرارتی باعث افزایش باز جذب آب در دماهای مشابه نسبت به حالت خشک کردن بدون پمپ حرارتی شد. همچنین شدت تغییرات درصد بازجذب آب در حالت بدون پمپ حرارتی بیشتر بود. این امر می‌تواند به این دلیل رخ دهد که قسمتی از رطوبت هوای در حال چرخش در تبخیر کننده پمپ حرارتی جذب می‌شود و خشک کردن محصول با شدت یکنواخت‌تری انجام می‌شود در حالی که در حالت بدون پمپ حرارتی دمای بالاتر موجب سریع تر خشک شدن و افزایش فضای بین سلولی ماده و در نتیجه آن افزایش قابلیت باز جذب آب می‌شود. در خصوص افزایش جذب مجدد آب با افزایش دما تحقیقات مشابهی توسط Ngankham *et al.*

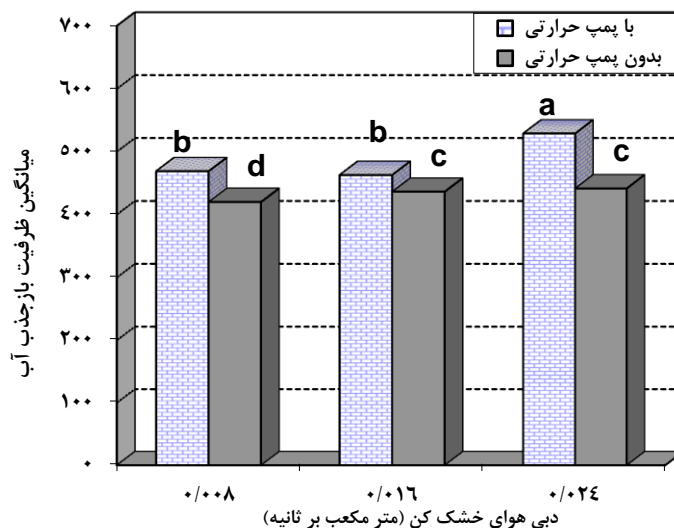


شکل ۲. بررسی اثر متقابل دما هوای خشک کن و پمپ حرارتی بر درصد جذب آب (دانکن در سطح ۱٪)

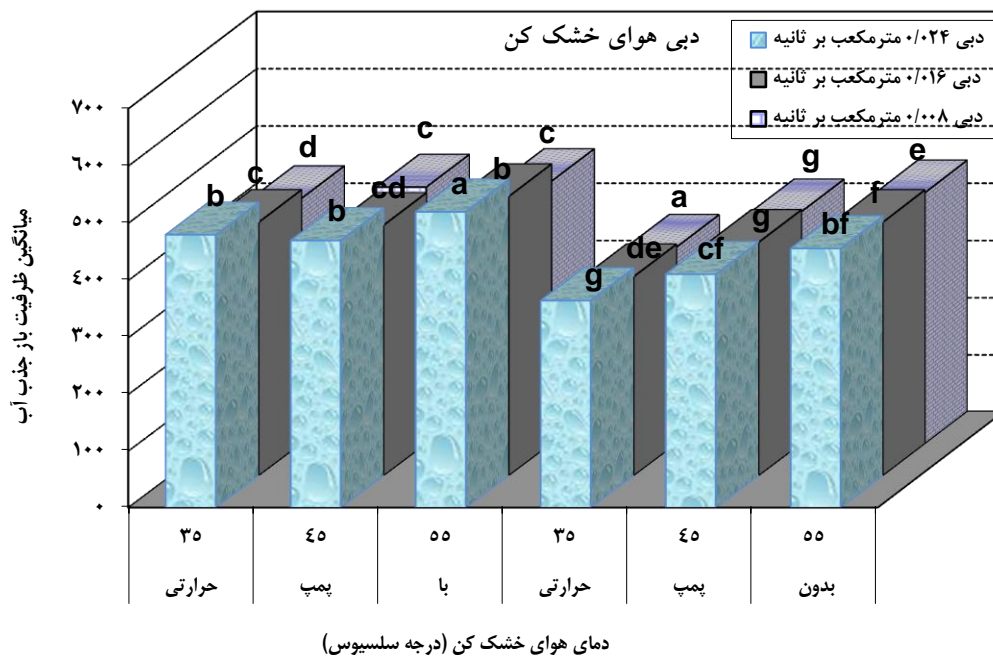
بیشترین میزان بازجذب آب گشنیز خشک شده مربوط به تیماری بوده که در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و دبی هوای ۰/۰۲۴ مترمکعب بر ثانیه و با پمپ حرارتی انجام شده است. کمترین میزان باز جذب آب نیز مربوط به تیمار دمای ۳۵ درجه سلسیوس و دبی هوای ۰/۰۰۸ مترمکعب بر ثانیه و در حالت خشک کردن بدون پمپ حرارتی بوده است (شکل ۴). Sevik *et al.* (2013) گزارش نمودند که افزودن پمپ حرارتی به خشک کن های خورشیدی بازده آنها را بالاتر برده و بهترین کیفیت قارچ خشک شده در دمای ۴۵ درجه سلسیوس و دبی جرمی هوای ۳۰۰ kg/h مشاهده شد.

اثر دبی هوا و پمپ حرارتی بر باز جذب آب

تغییرات دبی هوای خشک کنی در هر دو حالت با و بدون پمپ حرارتی اثر کمتری بر ظرفیت باز جذب آب گشنیز خشک شده دارد ولی با این وجود استفاده از پمپ حرارتی موجب بهبود باز جذب آب گردید. مطابق شکل ۳ بیشترین مقدار میانگین بازجذب آب در دبی ۰/۰۲۴ مترمکعب بر ثانیه و با استفاده از پمپ حرارتی به دست آمد. افزایش دبی هوای عبوری موجب افزایش ضریب عملکرد پمپ حرارتی شده و در نتیجه ضریب انتقال حرارت هوای عبوری در دبی های بیشتر رخ داده و موجب تبادل بهتر حرارت در خشک کن می گردد. این یافته‌ها با نتایج (Chua and Choa, 2005) مطابقت دارد.



شکل ۳. بررسی اثر متقابل دبی هوای خشک کن و پمپ حرارتی بر درصد جذب آب (دانکن در سطح ۱٪)



شکل ۴. بررسی اثر متقابل دما، دبی هوای خشک کن و پمپ حرارتی بر میانگین ظرفیت بازجذب آب (دانکن در سطح ۱٪)

فشرده محصول گشنیز خشک شده برای خشک کردن در سایه به ترتیب برابر ۱۰۴/۸۳۳ و ۲۱۴/۱۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب و خشک کردن در آفتاب به ترتیب برابر ۱۷۳/۳۳۳ و ۲۴۵/۱۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود. خشک کردن در سایه با وجود نیاز به زمان بیشتر دانسیته کمتری دارد. محصولاتی که با جریان هوای گرم خشک می شوند در مقایسه با روش های دیگر خشک کردن دارای تخلخل کمتر و چگالی بالاتر هستند (Russo *et al.*, 2013).

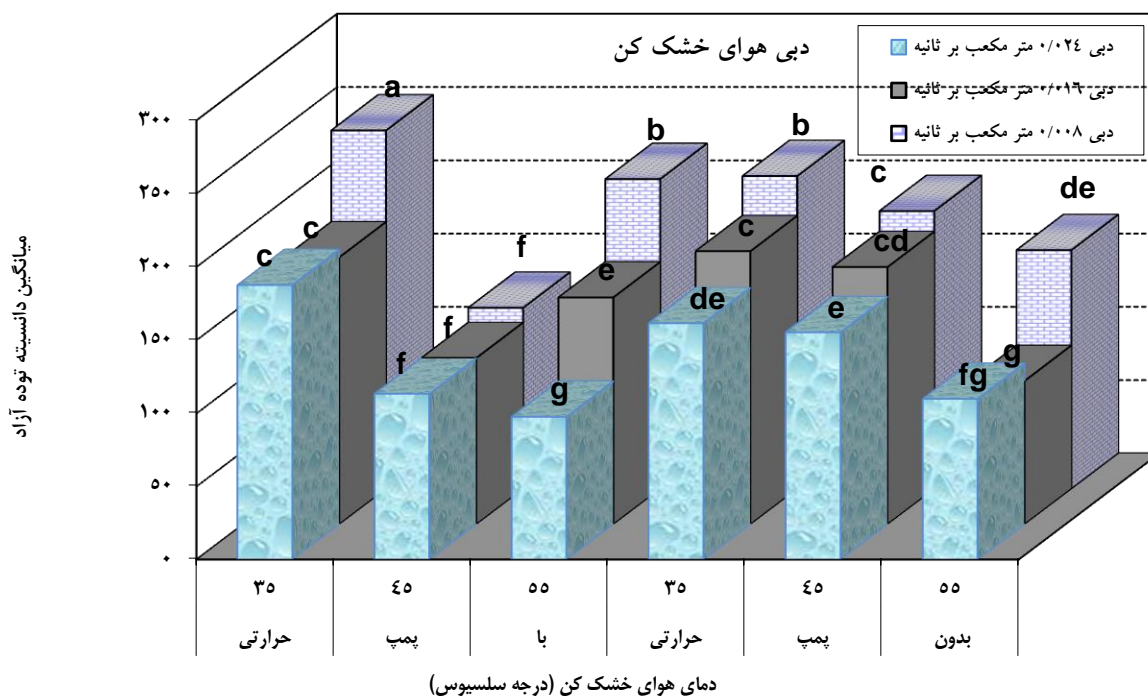
روابط بین صفات و همبستگی آنها

نتایج ضرایب همبستگی صفات اندازه گیری شده در تیمارهای بررسی شده (جدول ۲) نشان داد که همبستگی مثبت و معنی داری بین دانسیته توده آزاد و صفت دانسیته توده فشرده ($r=0.753$) وجود دارد. از طرف دیگر بین دانسیته توده با درصد باز جذب آب نیز همبستگی منفی و معنی دار وجود دارد. این همبستگی منفی، تاییدکننده تاثیر وجود خلل و فرج در ماده بر خاصیت باز جذب آب است. در کارهای دیگران به طور خاص در مورد خشک کردن گشنیز که معمولا در دماهای بالاتر از ۵۰ درجه سلسیوس انجام شده، کاهش خاصیت جذب مجدد آب با افزایش دما نتیجه گیری شده است (Ahmad *et al.*, 2001; Kathirvel *et al.*, 2006). بنابراین دمای ۵۵ درجه سلسیوس با بالاترین خاصیت باز جذب آب می تواند دمای بهینه برای خواص خشک کردن باشد. در روش خشک کردن سنتی، نمونه خشک شده در سایه باز جذب آب بیشتری داشت که نشان دهنده کیفیت بهتر نسبت به خشک کردن در آفتاب است.

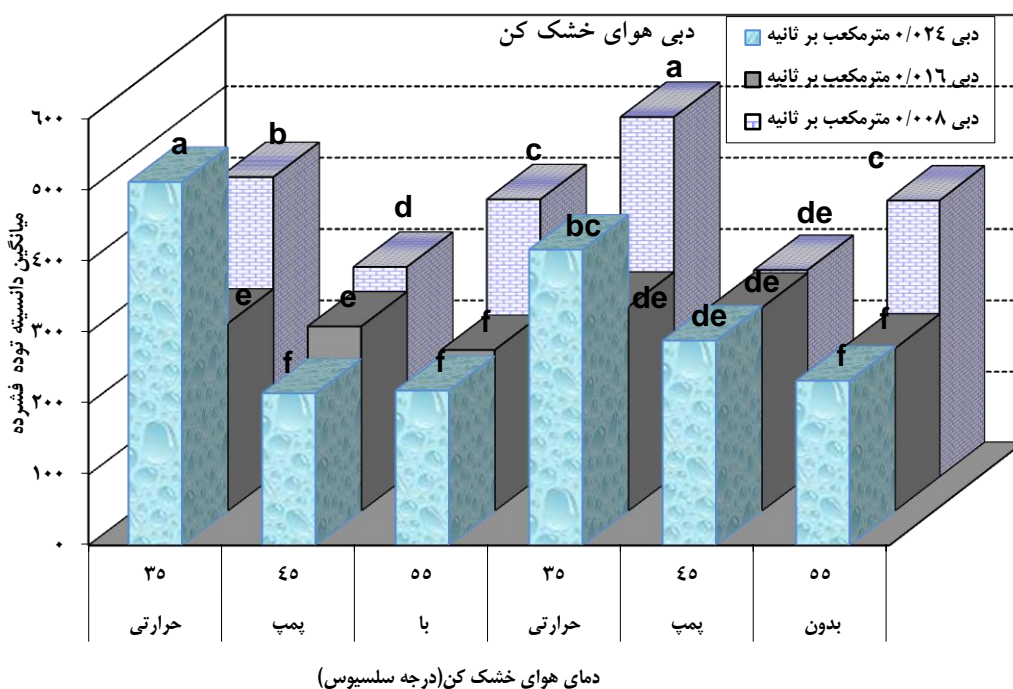
اثر فرآیند خشک کردن بر دانسیته توده پودر گشنیز خشک شده

دانسیته توده فشرده و غیر فشرده از مهم ترین پارامترهایی هستند که در مورد پودرها اندازه گیری می شوند (Athanasia *et al.*, 2004). دانسیته پودر گشنیز خشک شده با افزایش دما و سرعت هوای خشک کردن کاهش یافت که علت آن تخریب کمتر لوله های موئین، به دلیل تسریع عمل خشک شدن است (شکل های ۵ و ۶). کمترین مقدار دانسیته توده آزاد ($97/8 \text{ kg/m}^3$) مربوط به تیماری بوده که نمونه در دمای ۵۵ درجه سلسیوس، دبی هوای ۰/۰۲۴ مترمکعب بر ثانیه و در حالت با پمپ حرارتی انجام شده است. می توان نتیجه گرفت که کاهش دانسیته در دمای بالاتر و دبی هوای بیشتر در نتیجه استفاده از پمپ حرارتی نیز به دلیل کاهش رطوبت محیط خشک کن و کاهش زمان خشک شدن محصول بوده است. خشک کردن مواد با هوای گرم موجب شکل گیری میکرو ساختار بهم فشرده و ارتباط قوی بین سلول ها و نیز بافت سخت در توده متراکم می شود (Argyropoulos *et al.*, 2011). در خشک کردن ریواس با هوای گرم مشخص شد که در دماهای بالاتر دانسیته پودر ریواس کاهش یافت (Tavakolipour and Sharifi, 2011).

نتایج این تحقیق، به طور کلی نشان داد که دانسیته توده پودر گشنیز در اثر افزایش دمای خشک کردن و دبی هوای خشک کن و استفاده از پمپ حرارتی کاهش یافت (شکل ۶). در خشک کردن سنتی مقدار میانگین دانسیته توده آزاد و



شکل ۵. بررسی اثر متقابل دما، دبی هوای خشک کن و پمپ حرارتی بر میانگین دانسیته توده آزاد (دانکن در سطح ۱٪)



شکل ۶. بررسی اثر متقابل دما، دبی هوای خشک کن و پمپ حرارتی بر میانگین دانسیته توده فشرده (دانکن در سطح ۱٪)

دیگر بین دانسیته توده و باز جذب آب همبستگی منفی وجود دارد که تاییدکننده تاثیر وجود خلل و فرج در ماده بر افزایش خاصیت باز جذب آب است. و در نهایت دمای ۵۵ درجه سلسیوس با بالاترین خاصیت باز جذب آب می‌تواند دمای بهینه برای خواص خشک کردن باشد.

نتیجه گیری

با استفاده از نتایج به دست آمده مشخص گردید که استفاده از پمپ حرارتی و افزایش دمای خشک کردن، باعث کاهش دانسیته محصول نهایی و افزایش باز جذب آب می‌شود. از سوی

در روش خشک کردن سنتی، خشک کردن در سایه با وجود نیاز به زمان بیشتر دانسیته توده کمتری داشت. در روش خشک کردن سنتی، نمونه خشک شده در سایه باز جذب آب بیشتری داشت که نشان دهنده کیفیت بهتر نسبت به خشک کردن در آفتاب است.

جدول ۲. ضرایب همبستگی صفات اندازه گیری شده

| صفت | درصد باز جذب آب | چگالی غیرفشرده (کیلوگرم بر مترمکعب) | چگالی فشرده (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| درصد باز جذب آب | ۱ | | |
| دانسیته توده آزاد | ۰/۴۹۶** | ۱ | |
| دانسیته توده فشرده | ۰/۴۱۷** | ۰/۷۵۳** | ۱ |

** بیانگر معنی داری همبستگی در سطح احتمال ۱٪.

REFERENCES

- Ahmad, J., Shivhare, U. S., Singh. G. (2001). Drying characteristics and product quality of coriander leaves. *Institution of Chemical Engineers Transactions*. 79, 234-239.
- Ahmed, J. (2011). Drying of vegetables: principals and dryer design: Handbook of vegetables processing. Wiley-Blackwell Publishing, pp. 279-298.
- Argyropoulos, D., Heindl, A., Muller, J. (2011). Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacum and freez drying method for mushroom with regard quality. *International Journal of Food Science and Technology*. 46(2), 333-342.
- Athanasia, M., Goula, F., Konstantinos, G., Adamopoulos, S. (2004). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*. 66, 35-42.
- Bhandri, B., Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*. 40, 71-79
- Camire, M. E., Dougherty, M. P., Briggs, J. L. (2007). Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food Chemistry*. 101(2), 765-770.
- Chua, K., Chou, S. (2005). A modular approach to study the performance of a two stage heat pump system for drying. *Applied Thermal Engineering*. 25, 1363-1379.
- Cunningham, S. E., McMinn, W. A. M., Magee, T. R.A., Richardson, P. S. (2008). Experimental study of rehydration kinetics of potato cylinders. *Food and Bioproducts Processing*. 86, 15- 24.
- Doymaz, I., Tugrul, N., Pala, M. (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*. 77, 559-565.
- Funebo, T., Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*. 38, 353-367.
- Garcia-Pascual, P., Sanjuan, N., Melis, R., Mulet, A. (2006). Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. *Journal of Food Engineering*. 72, 346- 353.
- ISIRI (Iranian Standard and Industrial Research Institute). (2004). Measurement of packed mass density and the free drop. *Iranian National Standard*. No 3345, First Edition.
- Kathirvel, K., Ramachandra, N., Garipey, Y., Orsat, V., Raghvan, G. S. V. (2006). Microwave drying – a promising alternative for the herb processes industry. *The Canadian society for Engineering in Agricultural, Food, Environmental, and Biological Systems*. Paper No. 06-212
- Lewicki, P. P. (1998). Some remarks on rehydration of dried food. *Journal of Food Engineering*. 36, 81-87.
- Ngankham, J., Singh, K., Pandey, R. (2011). Rehydration characteristics and structural changes of sweet potato cubes after dehydration. *American Journal of Food Technology*. 6, 709-716.
- Omidbeigi, R. (2005). Production and processing of aromatic plants. Volume 1, Astane-Ghods-Press, Mashhad, pages 347 and 397.
- Pal, U., Khan, M., Mohanty, S. (2008). Heat pump drying of green sweet pepper. *Drying Technology*. 26(12), 1584-1590.
- Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S., and Mohammadi, A. (2006). Essential oil content and composition of german Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. *Journal of Agronomy*. 5(3), 451-455.
- Russo, P., Adiletta G., Di Matteo, M. (2013). The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and dehydrated eggplant. *Food Bioproduct Process*. 91(3), 249-256.
- Sagar, V. R., Kumar, P. S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruit and vegetables. *Journal of Food Science*. 47(1), 15-26.
- Sevik, S., Aktas, M., Dogan, H., Kocak, S. (2013). Mushroom drying with solar assisted heat pump system. *Energy Conversion and Management*. 72, 171-178.
- Singh, H.B., Singh, A., Rai, S. K., Katiyar, R. S., Johri, J. K. and Singh, S. P. (2003). Evaluation of Indian coriander accessions for resistance against stems gall disease. *GenCrop*. 339-343.
- Soleimanifard, S. (2009). Modeling of adsorption and desorption isotherms of pistatue (Ohadi variety) and drying conditions modification. Thesis for degree of master, *Faculty Agriculture, Isfahan Technology University*.
- Tavakolipour, H., Sharifi, A. (2011). Determination of effective parameters on rivas drying with hot air and possibility of powder extraction. *Journal of Food Sciences and Technology*. 3(2), 59-67.
- Wang, N., Brennan, J. G. (1995). Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. *Journal of Food Engineering*. 24, 61-76.

جعفریان و همکاران: بررسی اثر شرایط مختلف خشک کردن بر ویژگی‌های دانسیته پودر گشنیز و... ۱۹۹

Yadollahinia, A., Jahangiri, M. (2009). Shrinkage of potato slice during drying. *Journal of Food Engineering*, 94(1), 52-58.

Zargari, E. (2012). Aromatic plants. University of Tehran Press. 270pp.

Zhang, Z. P., Song, H. G., Peng, Z., Luo, Q. N., Ming, J., Zhao, G. H. (2012). Characterization of stipe and cap powders of mushroom prepared by different grinding methods. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 406-413.