نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۲۷ شماره ۱/ سال ۱۳۹۶/ صفحات۱۱۱ تا ۱۲۶

بررسی تکنیک متناوب مایکروویو- هوای گرم بر خواص کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی خشک شده

مریم خاکباز حشمتی*[۱] و اشکان سیفی مقدم[۲]

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲

[۱] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

*مسئول مکاتبه: m.khakbazheshmati@tabrizu.ac.ir

چکیده

برای تولید محصولی با ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای مناسب‌تر، می‌توان از ترکیب روش هوای داغ و مایکروویو استفاده کرده و از مزایای هر دو روش بهره‌مند شد. در این تحقیق اثر سه روش خشک کردن توسط آون (۴۰، ۵۰ و ۶۰°C)، مایکروویو (۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات) و روش ترکیبی (مایکروویو و آون) در میوه کیوی تازه رقم هایوارد، بر روی خواص کیفی (جذب مجدد آب، چروکیدگی و رنگ) و خواص تغذیه‌ای (ترکیبات فنولی و ویتامین ث) محصول نهایی بررسی شد. نتایج نشان داد که خشک کردن برگه‌های کیوی با استفاده از مایکروویو موجب کوتاه شدن زمان خشک شدن می‌شود، اگر چه افزایش توان ماکروویو تأثیر نامطلوبی بر کیفیت محصول دارد. بیشترین میزان جذب مجدد آب محصول در روش خشک کردن توسط آون، کمترین میزان چروکیدگی در روش ترکیبی و کمترین میزان تغییرات رنگ نمونه‌ها در روش خشک کردن توسط مایکروویو مشاهده شد. در حالی که بیشترین میزان ترکیبات فنولی استخراج شده پس از فرایند در روش خشک کردن ترکیبی و آون و بیشترین میزان ویتامین ث در محصول مربوط به برگه‌های کیوی خشک شده توسط روش مایکروویو بود که به عنوان بهترین نمونه‌ها از نظر پارامترهای کیفی و تغذیه‌ای انتخاب شدند. در نهایت بر اساس ویژگی‌های بهینه کیفی و تغذیه‌ای و به انتخاب نرم افزار Design Expert مطلوب‌ترین روش‌های خشک کردن برگه‌های کیوی، روش مایکروویو با توان ۹۰ و۳۶۰ وات، آون با دمای ۴۰°C و روش ترکیبی مایکروویو دارای توان ۹۰ وات وآون با دمای ۴۰°C انتخاب شد. کمترین میزان مطلوبیت در تمامی روش‌ها مربوط به آون ۶۰°C بوده است.

واژگان کلیدی: آون، خشک کردن، خواص کیفی، خواص تغذیه‌ای، کیوی، مایکروویو

مقدمه

کیوی (*Actinadia deliciosa*) گیاهی نیمه گرمسیری و خزان کننده است که برای اولین بار توسط فرتون در سال ۱۸۴۷ در کشور چین کشف شد و در سال ۱۹۰۶ کشت آن در نیوزیلند در سطح وسیعی صورت پذیرفت. مهم‌ترین رقم تجاری این میوه هایوارد بوده

که در سال ۱۳٤۷ وارد ایران گردید و کشت آن در مناطق شمالی آغاز شد. در حال حاضر بزرگترین کشورهای تولید کننده‌ی کیوی در دنیا ایتالیا، نیوزیلند، شیلی، فرانسه و ایران می‌باشند (اشراقی و همکاران ۱۳۹۰). بر طبق آمار منتشر شده FAO (۲۰۱۲) ایران با تولید حدود ۳۲۰۰۰ تن کیوی در سال، هفتمین کشور بزرگ تولید کننده‌ی این محصول در دنیا است. میوه‌ی کیوی دارای خواص استثنایی تغذیه‌ای و حسی و همچنین دارای ظرفیت آنتی اکسیدانی بالا، نسبت به سایر میوه‌ها است که به همین دلیل باعث کاهش کلسترول، جلوگیری از بیماری‌های تنفسی و سکته‌ی قلبی می‌شود (کاسانو و همکاران ۲۰۰٦ و تینوکو و همکاران ۲۰۱۳).

البته به دلیل مصرف گسترده‌ی میوه‌ی کیوی به صورت تازه، محصولات جانبی و یا تبدیلی آن نادیده گرفته می‌شوند (تینوکو و همکاران ۲۰۱۵) و با توجه به این که حدود ٦۰٪ از میوه‌های کیوی تولیدی کشور ریز بوده و مقدار قابل توجهی از آن بد شکل و ضرب دیده‌اند، قابل صدور یا ارائه به بازارهای خارجی نمی‌باشند. بنابراین احداث واحدهای صنایع تبدیلی می‌تواند این نوع میوه‌ها را نیز قابل استفاده نموده و ارزش افزوده ایجاد نماید (عزیزی ۱۳۹۲). چرا که کیوی به دلیل داشتن میزان آب بالا، کاهش ویتامین‌ها و نرم شدن بافت طی نگهداری، دارای قابلیت فساد بالایی بوده و مدت زمان ماندگاری کوتاهی دارد، لذا استفاده از روش‌های مناسب نگهداری برای افزایش زمان ماندگاری و حفظ ارزش تغذیه‌ای آن ضروری می‌باشد (آگار و همکاران ۱۹۹۹). به نظر می‌رسد که خشک کردن گزینه‌ای بالقوه برای افزایش ماندگاری و کاهش افت کیفیت و حفظ بیشتر خواص محصول در مدت نگهداری است (کایا و همکاران ۲۰۰۸) چرا که خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری میوه‌ها و سبزیجات می‌باشد (مسکن و همکاران ۲۰۰۱). این فرآیند با کاهش محتوای رطوبتی، منجر به کاهش یا توقف فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی شده و از سوی دیگر فرآورده‌هایی با وزن و حجم کم تولید می‌کند (امام جمعه و عسگری ۲۰۰٤) که در نتیجه باعث حمل و نقل آسان و نگهداری محصول در دمای محیط می‌شود (گامبوسانتوس و همکاران b ۲۰۱٤). تا کنون روش‌های مختلفی جهت خشک کردن برگه‌های کیوی مورد استفاده قرار گرفته که از بین آنها می‌توان به روش سنتی (آفتابی)، استفاده از هوای داغ، مایکروویو، خشک کردن انجمادی و تحت خلأ اشاره کرد. در بین روش‌های مذکور، استفاده از هوای داغ روش مرسومی است؛ هر چند اثرات سویی از قبیل کاهش میزان کلروفیل، تغییر رنگ، سفتی بافت محصول و از همه مهم‌تر طعم ترش برگه خشک شده بر کیفیت محصول اثر می‌گذارد (امام جمعه و علاالدینی ۱۳۸٤). از سوی دیگر به دلیل کاهش ضریب هدایت حرارتی مواد غذایی در دوره‌ی سرعت نزولی فرآیند خشک کردن با استفاده از روش جابه‌جایی هوای داغ، سرعت انتقال حرارت به قسمت‌های درونی ماده‌ی غذایی کاهش می‌یابد (ده بوره و اسمعیلی ۱۳۸۸ و زیرجانی و توکلی پور ۱۳۸۹). با توجه به دلایل ذکر شده بهتر است به منظور برطرف کردن این مشکلات و جلوگیری از کاهش معنی‌دار کیفیت محصول، قبل از انجام فرایند خشک کردن با هوای داغ از یک پیش تیمار (امام جمعه و علاالدینی ۱۳۸٤) مانند پیش تیمارهای اسمزی و فراصوت و یا ترکیبی از چند روش استفاده شود (توکلی‌پور ۱۳۸۸). در همین راستا می‌توان به مطالعه اثر پیش تیمار فراصوت توسط اشراقی و همکاران (۱۳۹۰) و ترکیب پیش تیمار اسمز و اولتراسونیک توسط تمیمی و همکاران (۱۳۹۲) بر مدل‌های سینتیکی خشک کردن توسط هوای داغ در ورقه‌های کیوی اشاره کرد. مسکن (ب ۲۰۰۱) نیز سینتیک تغییر رنگ میوه کیوی را در طول خشک کردن به وسیله هوای داغ و مایکروویو مورد بررسی قرار داده و استفاده

از مایکروویو را برای رسیدن به فرآیند خشک کردن مؤثر و انتقال سریع حرارت و در نتیجه محصولی دارای ویژگی‌های کیفی بهتر، توصیه می‌نماید.

خشک کردن با استفاده از مایکروویو در مقایسه با خشک کردن به روش هوای داغ، یکنواخت‌تر و سریع‌تر بوده، دارای راندمانی کارآمدتر و قدرت نفوذ بالاتری می‌باشد. چرا که حرارت به وسیله‌ی ایجاد اصطکاک بین مولکول‌ها در خود بافت ماده‌ی غذایی تولید و از آسیب دیدن و سوختن قسمت‌های سطحی ماده‌ی غذایی جلوگیری می‌شود. به همین علت امروزه تمایل چشمگیری جهت استفاده از این روش برای خشک کردن گیاهان دارویی، میوه و سبزیجات بوجود آمده است (عسگری و همکاران ۲۰۰۵، چاندراسکاران و همکاران ۲۰۱۳، هان و همکاران ۲۰۱۰ و تینوکو و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به مشکلات ذکر شده و عدم وجود مطالعه‌ی کافی، در این پژوهش تأثیر پیش تیمار ماکروویو بر خواص کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی خشک شده توسط هوای گرم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

روش خشک کردن

در این تحقیق از کیوی واریته هایوارد برداشت شده در آبان ماه ۱۳۹٤ از باغی در استان گیلان واقع در شهرستان تالش، روستای خطبه‌سرا استفاده گردید. چیدن کیوی‌ها به صورت تصادفی انجام شد. کیوی‌ها بعد از حمل به کارگاه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی و بسته‌بندی در بسته‌های پلی اتیلنی در سردخانه در دمای ٤ °C تا زمان آزمایش نگهداری شدند. در این تحقیق، میوه‌های کیوی بعد از شستشو، پوست‌گیری و با استفاده از کارد آشپزخانه، برگه‌هایی با ضخامت ٥ میلی‌متر تهیه شد؛ سپس نمونه‌ها در چهار گروه مورد فرایند و بررسی قرار گرفتند: الف) شاهد (ورقه‌های تازه)، ب) خشک کردن با آون هوای گرم در سه سطح دمایی ٤٠، ٥٠ و ٦٠°C، ج) خشک کردن با مایکروویو در سه سطح توان ۹۰، ۱۸۰ و ۳٦۰ وات و د) اعمال پیش تیمار مایکروویو (۹۰، ۱۸۰ و۳٦۰ وات) و سپس خشک کردن در آون هوای گرم در سه سطح دمایی ٤٠، ٥٠ و٦٠°C.

ارزیابی ویژگی‌ها کیفی و تغذیه‌ای

محتوای رطوبت

محتوای رطوبت نمونه‌های خشک شده، از طریق خشک کردن آنها در آون جابه‌جایی بهداد مدل BSO-2006 در دمای ۱±۱۰۵ °C، تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد (AOAC ۱۹۹۰) و در نهایت بر حسب گرم رطوبت بر گرم ماده خشک گزارش گردید.

قابلیت جذب مجدد آب

جذب مجدد آب نمونه‌های کیوی خشک شده به صورت غوطه‌وری در آب مقطر با نسبت ۱:۱۰ انتخاب شد، نمونه‌ها پس از ۲ ساعت، از آب خارج شدند، رطوبت سطحی آن با دستمال حوله‌ای گرفته شد و وزن گردیدند.

قابلیت جذب آب نمونه‌های خشک شده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$RR = \frac{W_r}{W_d}$$ رابطه [۱]

در این رابطه RR قابلیت جذب مجدد آب، یا نسبت مقدار آب جذب شده در محصول به مقدار وزن اولیه، W_r و W_d به ترتیب وزن نمونه نهایی پس از جذب آب و وزن نمونه نهایی قبل از جذب آب بر حسب گرم می‌باشد (اشراقی و همکاران ۱۳۹۰).

چروکیدگی

چروکیدگی نسبت بین حجم اولیه‌ی کیوی تازه و حجم نهایی برگه‌های کیوی خشک شده است که مطابق رابطه ی زیر بیان می‌شود:

$$S = \left(1 - \frac{V_t}{V_\circ}\right) \times 100$$ رابطه [۲]

که در آن S درصد چروکیدگی (بدون بعد)، V_t حجم در زمان مورد نظر (سانتی متر مکعب) و $V_\circ$ حجم اولیه نمونه (سانتی متر مکعب) است.

حجم نمونه‌ها توسط روش جابجایی تولوئن و با استفاده از روابط ۳ و ٤ بدست می‌آید:

$$V = V_f - \frac{M_{sf}}{\rho_s}$$ رابطه [۳]

$$M_{sf} = M_{t+s} - M_f - M$$ رابطه [٤]

که در این دو رابطه V_f حجم ارلن، M_{sf} وزن تولوئن اضافه شده برای پر کردن ارلن، M_{t+s} وزن ارلن به همراه نمونه و حلال، M_f وزن ارلن، M وزن نمونه و ρ_s دانسیته تولوئن است که در دمای ۲۰°C برابر با ۰/۸۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (دهقان نیا و همکاران ۲۰۱۵).

شاخص‌های رنگ

مقایسه رنگ نمونه‌های کیوی خشک شده، با استفاده از روش یام و پاپاداکیس (۲۰۰٤) انجام گرفت. ابتدا تصاویر دیجیتالی نمونه‌ها به روش پردازش تصویری (دوربین دیجیتال با دقت ۱۰ مگاپیکسل Canon PowerShot A480) گرفته شد. تعیین فاکتورهای L، a و b در ۵ نقطه از نمونه توسط نرم افزار فتوشاپ انجام گرفت. همچنین عکس‌برداری از رنگ‌های استاندارد در همان محفظه با شرایط مشابه انجام پذیرفت و فاکتورهای L، a و b همانند قبل تعیین شد. با توجه به فاکتورهای L، a و b استانداردهای Ral و استانداردهای واقعی، منحنی استاندارد رسم و معادله آن به دست آمد. سپس اعداد میانگین نمونه‌های کیوی خشک شده در معادله خط استاندارد قرار داده شد تا اعداد واقعی به دست آید؛ همچنین ΔE شاخص میزان تغییرات رنگ نسبت به رنگ نمونه تازه به صورت زیر محاسبه شد:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_i^*)^2 + (a_0^* - a_i^*)^2 + (b_0^* - b_i^*)^2}$$ رابطه [۵]

L_0^*: میزان روشنایی در نمونه شاهد/L_i^*: میزان روشنایی در نمونه خشک شده به مدت t ثانیه/a_0^*: میزان رنگ سبز تا قرمز در نمونه شاهد/a_i^*: میزان رنگ سبز تا قرمز در نمونه خشک شده به مدت t ثانیه/b_0^*: میزان آبی تا زرد در نمونه شاهد/b_i^*: میزان آبی تا زرد در نمونه خشک‌شده به مدت t ثانیه (یام و پاپاداکیس ۲۰۰٤).

تهیه عصاره و اندازه‌گیری ترکیبات فنلی نمونه‌ها

جهت استخراج عصاره، از حلال متانول-آب (متانول ۸۰ درصد) استفاده شد. برای این کار ۵ گرم از نمونه بعد از خرد شدن به مدت ٤۸ ساعت برروی شیکر در ۸۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد قرار داده شد و سپس با استفاده از کاغذ صافی، صاف شد و محلول به دست آمده با افزودن متانول ۸۰ درصد به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس به‌وسیله‌ی دستگاه تبخیر کننده چرخان جهت تغلیظ عصاره، ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه تغلیظ شد. سپس از نمونه تغلیظ شده ۱ میلی‌لیتر به بالن ژوژه ۱۰۰ انتقال یافته و ۷۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۵ میلی‌لیتر معرف فولین (۱۰ درصد) به آن اضافه شد و در دمای اتاق به مدت ۸ دقیقه همزده، سپس ۱۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم (۲۰ درصد) به آن اضافه شده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ رسانده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق در محل تاریک نگهداری و سپس در طول موج ۷٦۵ نانومتر میزان جذب نمونه قرائت و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت فنول موجود در نمونه محاسبه شد (عربشاهی و اروج ۲۰۰٦).

برای رسم منحنی استاندارد، ابتدا ۵۰ میلی‌گرم اسیدگالیک در مقداری اتانول ۸۰ درصد حل شده و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد؛ از محلول فوق مقدار ۱، ۲، ٤، ٦، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر برداشته و به حجم ۱۰

میلی‌لیتر رسانده شد؛ سپس از هر کدام از نمونه‌ها ۱ میلی‌لیتر برداشته و با ۵ میلی‌لیتر محلول فولین سیو-کالتیو (۱۰درصد) و ۷۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و به مدت ۸ دقیقه هم زده شد. در ادامه ۱۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم اشباع (۲۰درصد) افزوده و با آب به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق در محل تاریک نگهداری گردید و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۷٦۵ نانومتر قرائت و منحنی مربوطه رسم شد.

ویتامین ث

اندازه‌گیری ویتامین ث به روش عیار سنجی با ۲ و ٦ دی کلروفنل ایندوفنل انجام شد. این روش بر اساس استخراج اسید آسکوربیک نمونه با استفاده از محلول اسید متافسفریک می‌باشد که در نهایت عیارسنجی با ماده رنگی ۲ و ٦ دی کلروفنل ایندوفنل تا ظهور رنگ صورتی روشن انجام می‌گیرد. اساس این است که اسید آسکوربیک با ۲ و ٦ دی کلروفنل ایندوفنل تیتر می‌گردد رنگ صورتی ظاهر می‌شود و ختم تیتراسیون می‌باشد. میزان اسید آسکوربیک در نمونه برابر خواهد بود با:

رابطه [٦]

$$\text{درصد اسید آسکوربیک} = \frac{C - B \times 100 \times 100 \times F}{10 \times W}$$

F: فاکتور محلول رنگی

B: میلی‌لیتر محلول رنگی مصرف شده برای واکنش با همان مقدار محلول استخراج کننده که بر روی نمونه اضافه شده است (شاهد)/C: میلی‌لیتر محلول رنگی مصرف شده برای واکنش با ۱۰ میلی‌لیتر نمونه/W: وزن نمونه مورد آزمایش (AOAC ۱۹۹۹).

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، بررسی و تجزیه و تحلیل آماری داده-های بدست آمده از آزمایشات در سه تکرار، به صورت طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی انجام شده و مقایسه‌ی میانگین‌ها و ارزیابی نقطه‌ی بهینه با استفاده از نرم افزار Design Expert 7.0.0 انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای

جذب مجدد آب

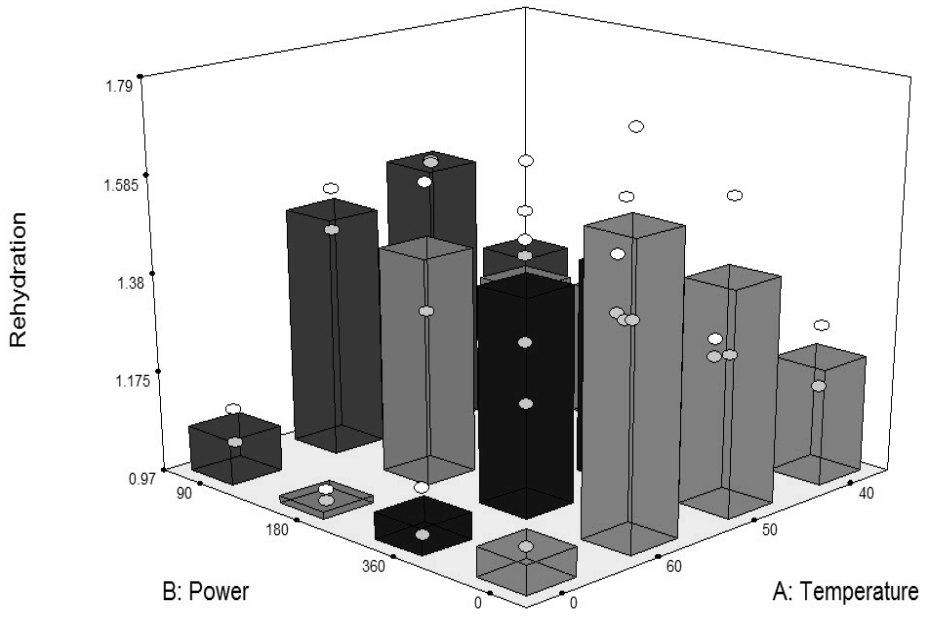
طبق نتایج مندرج در جدول ۱، اثر دمای آون بر روی نسبت جذب مجدد آب برگه‌های کیوی خشک شده در سطح احتمال ۰/۱ درصد ($P<$۰/۰۰۱) معنی‌دار و تأثیر توان مایکروویو و حالت ترکیبی آن‌ها بدون معنی بوده است. بر اساس شکل ۱ بالاترین درصد جذب مجدد آب در نمونه‌های خشک شده توسط آون ٦۰°C مشاهده شد و در این روش، با افزایش دمای آون میزان جذب مجدد آب برگه‌های کیوی افزایش یافته است این نتایج نشان می‌دهد که یک ساختار کمتر چروکیده از ظرفیت جذب مجدد آب بالاتری برخوردار است (مسکن ۲۰۰۱). از سوی دیگر کمترین مقدار جذب آب نمونه‌ها نیز در نمونه‌های تیمار شده توسط مایکروویو مشاهده شد. این ممکن است به دلیل تغییرات در ساختار یا تخریب بافت نمونه‌ها در طول خشک کردن به روش مایکروویو به دلیل افزایش درجه حرارت داخلی نمونه‌ها (بیشتر از درجه حرارت در آون ٦۰°C) و مهاجرت مواد قندی از درون نمونه به سطح نمونه همراه با تبخیر رطوبت میانی برگه‌ی کیوی و در نتیجه کاهش خلل و فرج در طول مرحله خشک کردن باشد، در حالی که در ابتدای این مطالعه انتظار می‌رفت به دلیل کوتاه بودن زمان خشک کردن نمونه‌ها توسط مایکروویو، ظرفیت جذب آب آن‌ها بهتر از سایر روش‌ها باشد. نتایج سلیمی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان داد که باز آب‌پوشی محصولات خشک شده به شدت تابع فرآیند خشک کردن بوده، به‌طوری که نمونه‌هایی که با استفاده از مایکروویو خشک شده بودند، کمترین میزان بازآب‌پوشی را در مقایسه با سایر نمونه‌ها داشتند که تمامی

پژوهش‌های ذکر شده نتایج به دست آمده در این پژوهش را تأیید می‌کنند (دروزاز و استوبرت ۱۹۹٦، فنگ و تانگ، ۱۹۹۸ و لین و همکاران ۱۹۹۸).
اشراقی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی اثر پیش تیمار فراصوت روی خشک شدن ورقه‌های کیوی، بیشترین میزان جذب مجدد آب را در نمونه‌های تیمار شده توسط پیش تیمار فراصوت و خشک شده به وسیله آون ٦٥°C مشاهده کردند. همچنین متوجه شدند که آب جذب شده توسط نمونه‌ها با افزایش زمان موج دهی توسط فراصوت و کاهش ضخامت نمونه‌های کیوی از ۸ به ٦ میلی‌متر نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای آون و توان مایکروویو طی خشک‌کردن بر ویژگیهای کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی

منبع تغییرات	جذب مجدد آب	چروکیدگی	L value	a value	b value	ΔE value	ترکیبات فنلی	ویتامین ث
مدل	۰/۰۷٦*	۲۱/۳۸**	۲۹/۸۱***	۷/٦۹***	۲۸/۹۳***	۱۹/۰۰***	۲/۱٤٥×۱۰$^{-٥}$***	٥۳/٥۸***
دمای آون (X_1)	۰/۳٥***	۸٤/۲٤***	۱۱٤/۱۸***	۲٦/۲۸***	۱۱/۲۲*	۲۸/٥۷***	٥/٥۳٥×۱۰$^{-٥}$***	۲۲۲/۱۳***
توان مایکروویو (X_2)	۰/۰۱٤ ns	۳/۱٤ ns	۲۳/٤٤*	۸/۰۹**	۷۹/٦٥***	۱۰/۰۳*	۲/٤٦٥×۱۰$^{-٥}$***	٤۰/۹۷***
دمای آون * توان مایکروویو (X_1 X_2)	٥/۹۸۲×۱۰$^{-۳}$ ns	٦/٥۱ ns	۳/۸۱ ns	۱/۳٦ ns	۱۷/۹۳**	۱۸/۸۱***	۹/۰۸۳×۱۰$^{-٦}$*	۱/٦۰ ns
خطای خالص	۰/۰۲٤	٤/۰٤	٥/٦۰	۱/۱۱	۲/۹۸	۱/۹۸	۳/٥٤۲×۱۰$^{-٦}$	۳/۳۲

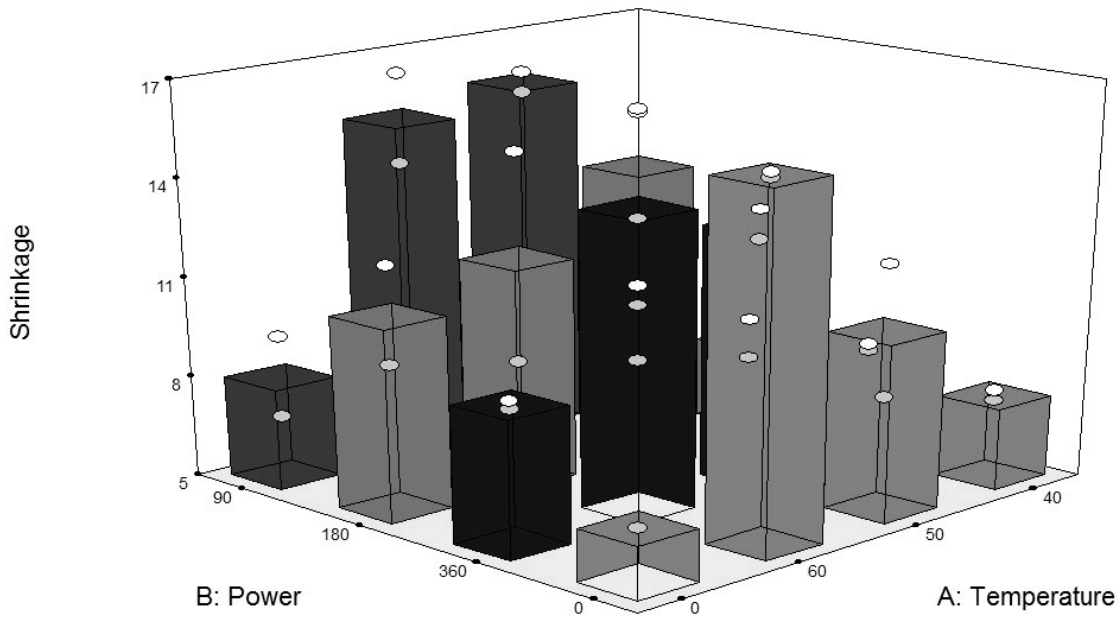
*** معنی دار $p < 0.001$، ** معنی دار $p < 0.01$ ، * معنی دار $p < 0.05$ ، ns غیر معنی دار



شکل ۱- نمودار ستونی جذب مجدد آب برگه‌های کیوی تیمار شده توسط دماهای مختلف آون و توان‌های مختلف مایکروویو

چروکیدگی

همان طور که می‌دانیم میزان چروکیدگی برگه‌ها با کاهش رطوبت در طی خشک کردن افزایش یافته است. البته طبق نتایج جدول ۱، اثر توان مایکروویو و حالت ترکیبی بر میزان چروکیدگی معنی‌دار نبوده و تنها در حالت خشک کردن به روش آون، اثر دما معنی‌دار بوده است. با توجه به شکل ۲، با افزایش دما در روش خشک کردن توسط آون چروکیدگی افزایش یافته و بیشترین چروکیدگی در دمای ۶۰°C مشاهده شد. کمترین میزان چروکیدگی در روش ترکیبی آون ۴۰°C و مایکروویو ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات مشاهده شد. این به دلیل تولید حرارت گسترده‌ی داخلی است که باعث تسریع حذف آب از بافت در نمونه‌های مایکروویو می‌شود. مسکن (۲۰۰۱)، مشاهده کرد که میزان چروکیدگی در نمونه‌های کیوی خشک شده به روش مایکروویو بیشتر و در روش ترکیبی خشک کردن توسط هوای گرم و مایکروویو از بقیه کمتر بوده است. در واقع خشک کردن توسط هوای گرم باعث افزایش چروکیدگی متوسط می‌شود، چرا که با طولانی شدن زمان خشک کردن، چروکیدگی نیز بیشتر می‌شود. با این حال، یک چروکیدگی بیشتر و سریع‌تر در نمونه‌های خشک شده توسط مایکروویو بوجود آمد. این به دلیل تولید حرارتی گسترده است که باعث تسریع حذف آب از بافت در نمونه‌های مایکروویو می‌شود. نتایج بدست آمده در این پژوهش با نتایج ما مطابقت دارد.

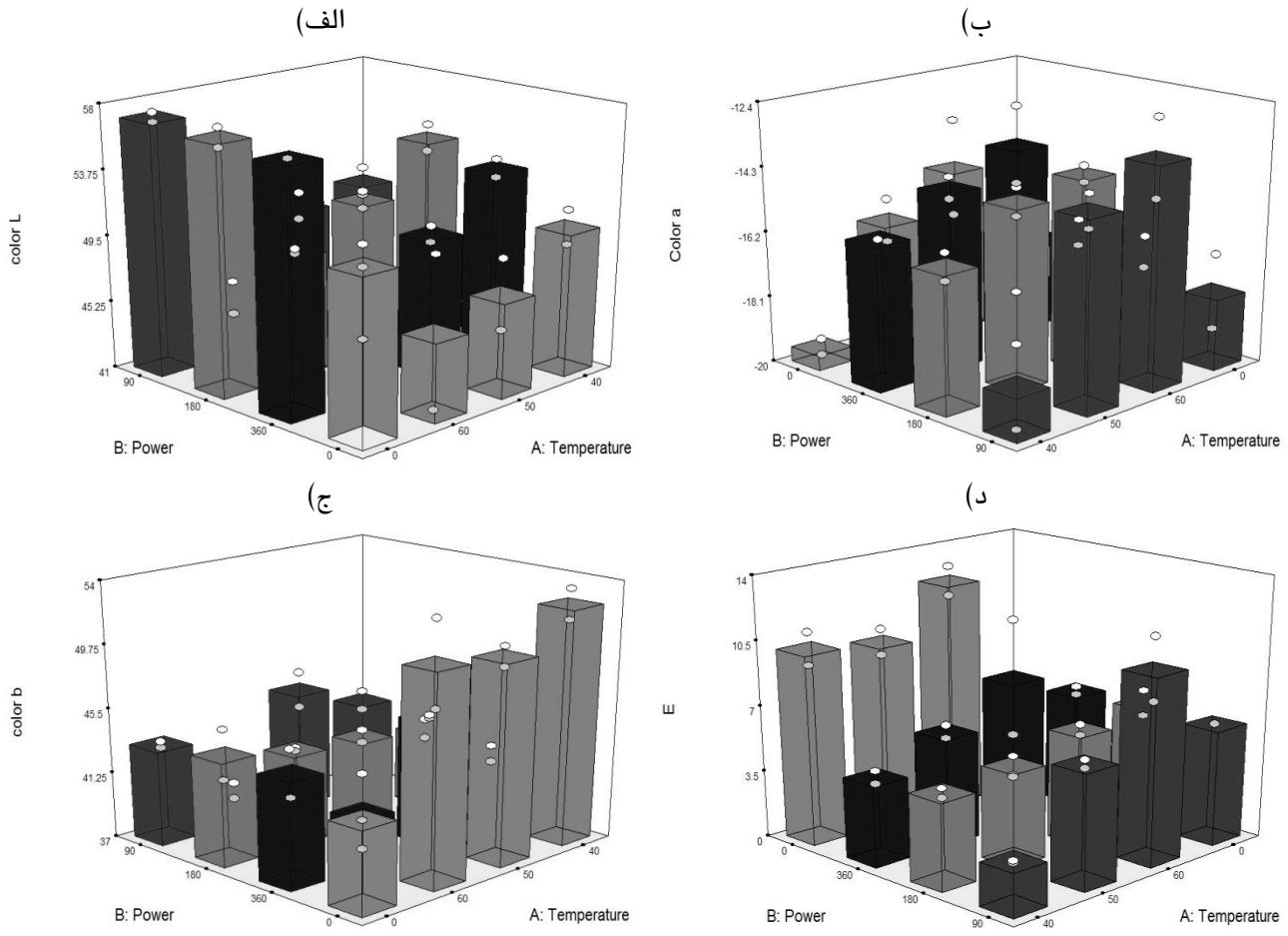


شکل ۲- نمودار ستونی چروکیدگی برگه‌های کیوی تیمار شده توسط دماهای مختلف آون و توان‌های مختلف مایکروویو

تغییرات رنگ

نتایج بررسی شاخص‌های رنگ نمونه‌های کیوی نشان می‌دهد، بیشترین میزان روشنایی (شاخص L) در روش خشک کردن نمونه‌ها توسط مایکروویو بدست آمده (شاخص L برابر با ۵۷) و همچنین با افزایش دما و توان مایکروویو در روش ترکیبی، میزان روشنایی نمونه‌ها کاهش پیدا کرده (تغییرات شاخص L به صورت میانگین از ۵۳ به ۴۱ در تمامی تیمارها) یا در واقع رنگ نمونه‌ها تیره‌تر شده است (شکل ۳ الف). در رابطه با شاخص a رنگ نمونه‌های

کیوی (میزان سبزی)، با افزایش دما و توان در روش ترکیبی، میزان فاکتور a افزایش یافته است (تغییرات شاخص a به صورت میانگین از ۱۹- به ۱۳- در تمامی تیمارها) که نشان می‌دهد سبزی نمونه‌ها کمتر شده است (شکل ۳ ب). در شاخص b با افزایش دمای آون زردی رنگ نمونه‌ها کمتر شده (تغییرات شاخص b به صورت میانگین از ۵۳ به ۵۰ در تمامی تیمارها) و به سمت خاکستری نزدیک می‌شود. در روش مایکروویو با افزایش توان و زمان خشک کردن برگه‌های کیوی کمی زردتر (تغییرات شاخص b به صورت میانگین از ٤٢ به ٤٤ در تمامی تیمارها) می‌شود (شکل ۳ ج). نتایج تغییرات رنگ ΔE در حالت ترکیبی نشان می‌دهد، با افزایش دما و توان میزان تغییرات رنگ نمونه‌ها نسبت به رنگ اولیه افزایش می‌یابد (تغییرات شاخص ΔE به صورت میانگین از ۰ به ۱۲ در تمامی تیمارها). در روش مایکروویو تغییرات رنگ در هر سه توان حدوداً در یک سطح می‌باشد ولی در روش خشک کردن توسط آون با افزایش دما میزان تغییرات بیشتر می‌شود. بیشترین تغییرات رنگ نمونه‌ها نسبت به رنگ اولیه (ΔE) مربوط به روش خشک کردن توسط آون با دمای °C ٦٠ است (شکل ۳ د).



شکل ۳- "الف" تا "د" به ترتیب شاخص‌های L، a، b و ΔE رنگ برگه‌های کیوی تیمار شده توسط دماهای مختلف آون و توان‌های مختلف مایکروویو

مهریار و همکاران (۱۳۹٤) در بررسی شاخص‌های کیفی خرمای رقم استعمران تحت تأثیر روش‌های

مختلف خشک کردن چنین نتیجه‌گیری کردند، از آن‌جا که دمای ایجاد شده طی فرآیند خشک شدن مایکروویو بسیار بالا می‌باشد، در این روش پدیده‌ی کاراملیزاسیون به طور وسیعی رخ داده و در نتیجه باعث تیرگی رنگ محصول می‌شود. در این پژوهش به دلیل کاراملیزاسیون نتایجی متفاوت با پژوهش ما بدست آمد. در تحقیقی که توسط مسکن (۲۰۰۰) بر روی رنگ موزهای رسیده خشک شده توسط سه روش خشک کردن با هوای داغ، مایکروویو و ترکیب این دو روش انجام شد، نمونه‌های موز خشک شده با روش ترکیبی رنگ روشن‌تری داشتند. تغییر در میزان رنگ، وابسته به شدت مایکروویو نبود و تغییرات رنگ در روش هوای داغ بیشتر از دو روش دیگر بوده است. نتایج بدست آمده در پژوهش ما نشان می‌دهد بیشترین میزان روشنایی در روش مایکروویو بوده ولی با افزایش توان از میزان روشنایی کاسته می‌شود در حالی که در روش ترکیبی با افزایش توان به میزان روشنایی رنگ نمونه‌ها افزوده می‌شود.

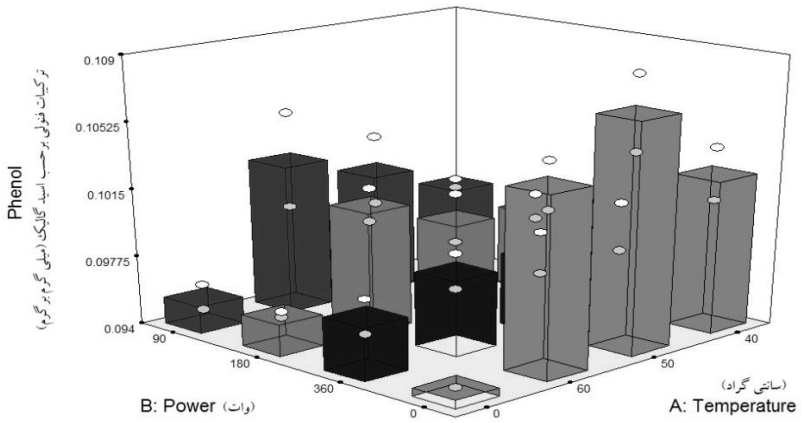
ترکیبات فنولی

جدول ۱ در رابطه با بررسی ترکیبات فنولی برگه‌های کیوی خشک شده بیانگر آن است که تأثیر توان مایکروویو و دمای آون بر روی مقدار ترکیبات فنولی نمونه‌ها، در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار ($P<۰/۰۰۱$) بوده است. با توجه به شکل ٤، کمترین میزان ترکیبات فنلی مربوط به تیمار شاهد و بیشترین میزان استخراج ترکیبات فنلی از نمونه‌های خشک شده توسط آون هوای گرم ۵۰°C بوده است، در نمونه‌های خشک شده به روش ترکیبی نیز، تیمار ترکیبی مایکروویو ۹۰ وات و آون ٦۰°C بیشترین میزان استخراج ترکیبات فنلی را داشت. همان طور که مشاهد می‌شود، در حالت ترکیبی با افزایش دمای آون میزان استخراج ترکیبات فنلی افزایش یافته است. اثر اصلی مایکروویو بر میزان استخراج ترکیبات فنولی نشان می‌دهد که تیمارهای مایکروویو شده نسبت به تیمارهای مایکروویو نشده میزان ترکیبات فنولی کمتری داشته و در روشی که فقط از مایکروویو استفاده شده بود کمترین استخراج نسبت به روش آون و روش ترکیبی مشاهده شد. اختلاف مقدار ترکیبات فنلی در دماها و توان‌های مختلف خشک کردن، بیشتر به دلیل مدت زمان قرارگیری نمونه‌ها در معرض دما است (ماریا النا و همکاران ۲۰۱۲). با افزایش توان مایکروویو میزان استخراج افزایش یافت. علت افزایش ترکیبات فنولی با افزایش دما در محدوده ۵۰°C را می‌توان به نرم شدن بافت برگه کیوی، ضعیف شدن برهم کنش ترکیبات فنولی با پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها و نیز به دلیل غیرفعال شدن آنزیم تجزیه‌کننده ترکیبات فنلی مانند آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در این دما دانست (ماریا النا و همکاران ۲۰۱۲).

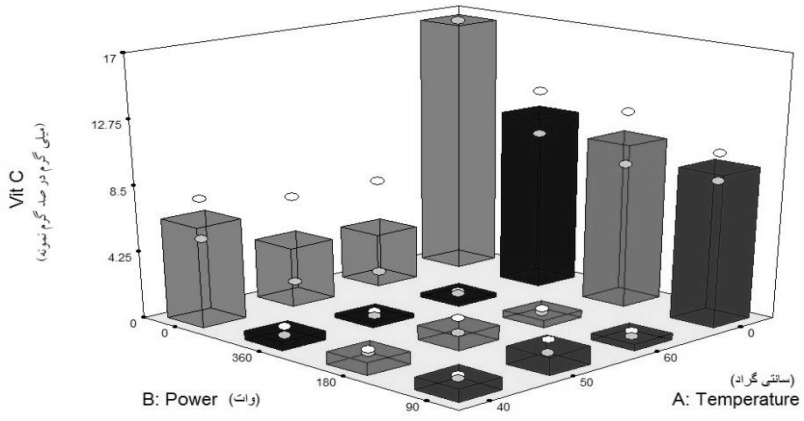
ویتامین ث

نتایج حاصل از بررسی میزان ویتامین ث نمونه‌های کیوی خشک شده نشان می‌دهد که اثر دمای آون و توان مایکروویو بر میزان ویتامین ث نمونه‌ها در سطح احتمال ۰/۱ درصد ($P<۰/۰۰۱$) معنی‌دار ولی در حالت ترکیب این دو روش، بی‌معنی بوده است. با توجه به شکل ٥، در روش خشک کردن توسط مایکروویو با افزایش توان، سرعت از دست رفتن ویتامین ث کاهش یافته و بیشترین میزان حفظ ویتامین ث بعد از برگه‌ی تازه در نمونه‌های خشک شده به روش مایکروویو مشاهده شد. مسلمی و میرزایی (۱۳۹۳) در مقایسه روش‌های خشک کردن هوای داغ و مایکروویو بر ویژگی‌های کیفی زردآلو مشاهده کردند که بیشترین مقدار ویتامین ث در نمونه‌های خشک شده با مایکروویو در توان ۱۸۰ وات و کمترین مقدار ویتامین ث در نمونه‌های خشک شده با مایکروویو در توان ۷۲۰ وات بوده است.

همچنین مقدار ویتامین ث در نمونه‌های خشک شده با مایکروویو کمتر از مقدار آن در نمونه‌های خشک شده با هوای داغ بود که سوختگی مشاهده شده در نمونه‌های خشک شده در مایکروویو ممکن است دلیل این امر باشد. میزان ویتامین ث نسبت مستقیمی با روش خشک کردن، زمان فرآیند، قدرت حرارت دهی و دمای هوا دارد. در نمونه‌های خشک شده در هوای داغ با دمای ۴۰°C با وجود اعمال دمای هوای پایین‌تر، طولانی بودن فرآیند باعث تخریب بیشتر مقدار ویتامین ث شده است. نتایج بدست آمده با نتایج به دست آمده توسط وگاگالوز و همکاران (۲۰۱۲) در مورد ورقه‌های سیب مطابقت داشت. نتایج پژوهش ما بیشترین مقدار ویتامین ث را در روش مایکروویو نشان داد که نمونه‌های خشک شده در آون نسبت به مایکروویو ویتامین کمتری داشت.



شکل ۴- نمودار ستونی ترکیبات فنولی برگه‌های کیوی تیمار شده توسط دماهای مختلف آون و توان‌های مختلف مایکروویو



شکل ۵- نمودار ستونی میزان ویتامین ث برگه‌های کیوی تیمار شده توسط دماهای مختلف آون و توان‌های مختلف مایکروویو

در روش خشک کردن توسط آون با افزایش دما مقدار از دست رفتن ویتامین ث بیشتر شده است. ممکن است دلایل افت اسید آسکوربیک با سرعت بیشتر به دلیل کاهش سریع‌تر میزان رطوبت باشد. در

یک زمان خشک کردن مشخص، از دست دادن اسید آسکوربیک با افزایش درجه حرارت هوا افزایش می‌یابد، که انتظار می‌رود به دلیل ماهیت حساس بالای اسید آسکوربیک به حرارت باشد (دجندوبی امراد و همکاران ۲۰۱۲). همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بعد از روش مایکروویو بیشترین میزان ویتامین ث موجود در نمونه‌ها در روش خشک کردن توسط آون مشاهده شد. کمترین مقدار ویتامین ث در روش ترکیبی مشاهده شد که در روش ترکیبی بین توان‌ها و دماهای مختلف روش مایکروویو ۹۰ وات و آون ۵۰°C بیشترین مقدار ویتامین ث را داشت.

حالت بهینه

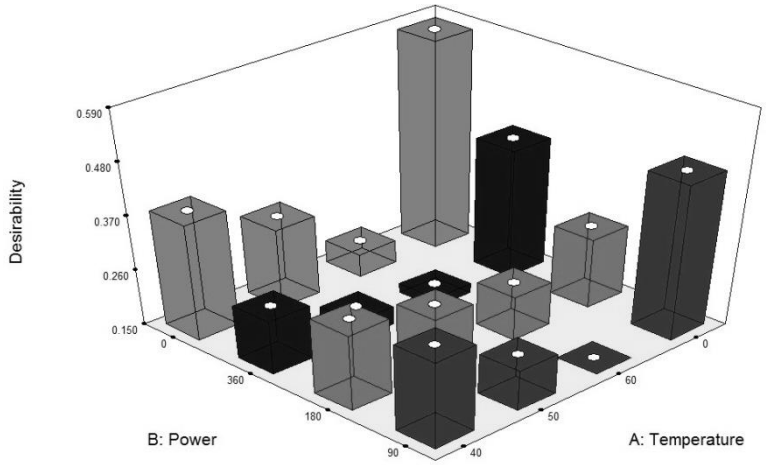
با توجه به در نظر گرفتن مقادیر کمینه برای میزان چروکیدگی و مقدار تغییر رنگ نمونه نسبت به رنگ اولیه (ΔE)، جهت انتخاب بهترین روش جهت خشک کردن برگه‌های کیوی در این پژوهش، برای فاکتورهای میزان جذب مجدد آب، ترکیبات فنلی و ویتامین ث مقدار بیشنه انتخاب شد. بر اساس اعمال محدودیت‌های ذکر شده جهت انتخاب روش بهینه، نمونه شاهد (ورقه تازه کیوی) به عنوان مطلوب‌ترین نمونه انتخاب شد و بعد از آن، مایکروویو با توان ۹۰ و۳۶۰ وات انتخاب شدند. سپس روش خشک کردن توسط آون با دمای ۴۰°C و روش ترکیبی مایکروویو با توان ۹۰ وات وآون با دمای ۴۰°C شرایط مطلوبی داشتند. کمترین میزان مطلوبیت در تمامی روش‌ها مربوط به آون ۶۰°C بود (شکل ٦). در نهایت در جدول ۲ معادلات نهایی نحوه تغییرات ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی برحسب متغیرهای دمای آون و توان ماکروویو (به صورت کد شده) مشاهده می‌شود که با جایگذاری مقادیر متغیرها می‌توان مقادیر پیش بینی شده توسط هر معادله‌ی مربوط به صفت مورد نظر را بدست آورد.

جدول ۲- معادله نهایی نحوه تغییرات ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی برحسب متغیرهای دمای آون و توان ماکروویو (به صورت کد شده)

جذب مجدد آب	$Y_{Rehydration}= +1.29-0.061X_{11}+0.14X_{12}+0.19X_{13}$
چروکیدگی	$Y_{shrinkage}= +10.88-3.31X_{11}+2.27X_{12}+3.25X_{13}$
L value	$Y_{Color\ L}= +50.82+1.04X_{11}-1.48X_{12}-4.22X_{13}-0.56X_{21}+1.82X_{22}+0.85X_{23}$
a value	$Y_{Color\ a}= -16.22-1.31X_{11}+1.13X_{12}+1.94X_{13}+0.050X_{21}+0.61X_{22}+0.77X_{23}$
b value	$Y_{Color\ b}= +44.23 + 0.46X_{11} + 1.46X_{12} -1.08X_{13} - 1.81X_{21} - 1.36X_{22} - 1.56X_{23} - 0.019X_{11}X_{21} + 0.87X_{12}X_{21} - 2.57X_{13}X_{21} - 1.35X_{11}X_{22} - 1.68X_{12}X_{22} + 1.19X_{13}X_{22} - 1.71X_{11}X_{23} + 1.06X_{12}X_{23} - 1.49X_{13}X_{23}$
ΔE value	$Y_{Color\ \Delta E}= +6.43 -1.05X_{11} + 0.24X_{12} + 2.55X_{13} - 0.26X_{21} - 0.95X_{22} - 0.41X_{23} - 2.81X_{11}X_{21} - 0.25X_{12}X_{21} + 1.28X_{13}X_{21} + 0.22X_{11}X_{22} - 0.72X_{12}X_{22} - 2.15X_{13}X_{22} - 0.61X_{11}X_{23} - 0.47X_{12}X_{23} - 0.80X_{13}X_{23}$
ترکیبات فنلی	$Y_{phenol}=+0.099+2.131E-004X_{11}+1.697E-003X_{12}+1.874E-003X_{13}-3.466E-005X_{21}-9.020E-004X_{22}-1.530E-003X_{23}-6.232E-004X_{11}X_{21}-3.134E-004X_{12}X_{21}+1.055E-003X_{13}X_{21}-1.335E-004X_{11}X_{22}-1.263E-003X_{12}X_{22}+3.887E-004X_{13}X_{22}+3.297E-004X_{11}X_{23}-1.544E-003X_{12}X_{23}-1.591E-003X_{13}X_{23}$
ویتامین ث	$Y_{vit\ c}=+4.28-2.08X_{11}-2.70X_{12}-3.10X_{13}-1.20X_{21}-1.04X_{22}-1.15X_{23}$

X_{11}، X_{12} و X_{13} نشان دهنده‌ی دمای ۴۰، ۵۰ و ٦۰ درجه سانتی‌گراد در روش خشک کردن با آون است.

X_{21}، X_{22} و X_{23} نشان دهنده‌ی توان ۹۰، ۱۸۰ و ۳٦۰ وات در روش خشک کردن با ماکروویو است.



شکل ۶- نمودار ستونی انتخاب روش بهینه خشک کردن برگه‌های کیوی بر اساس میزان مطلوبیت تیمارها

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی پیش تیمار مایکروویو بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی برگه کیوی خشک شده با هوای گرم به طور خلاصه بدین شرح می‌باشد: نمونه‌هایی که پیش تیمار مایکروویو شده بودند (در کلیه‌ی توان‌های۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات) نسبت به نمونه‌های آون در زمان کمتری خشک شدند که این کاهش زمان در دمای ۶۰°C هوای گرم بیشتر بود. نمونه‌هایی که پیش تیمار مایکروویو شده بودند و همچنین نمونه‌های خشک شده توسط آون نسبت به نمونه‌های خشک شده توسط مایکروویو دارای بیشترین میزان نسبت جذب مجدد آب بودند که این افزایش در استفاده از آون دمای ۶۰°C بیشتر بود. نمونه‌های خشک شده توسط روش ترکیبی مایکروویو (۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ وات) و آون ۴۰°C، کمترین درصد چروکیدگی را داشته و در مقایسه‌ی اثر دما بر روی این ترکیبات، نمونه‌های خشک شده توسط آون دمای ۶۰°C هوای گرم و نمونه‌های ترکیبی مایکروویو ۹۰ وات و دمای آون ۵۰°C، دارای بیشترین مقدار چروکیدگی بودند. نمونه‌های مایکروویو شده نسبت به نمونه‌های آون تغییرات رنگ کمتری را نشان دادند و بیشترین میزان تغییرات رنگ در دمای ۶۰°C هوای گرم مشاهده شد. نمونه‌های مایکروویو شده نسبت به نمونه‌های آون میزان ترکیبات فنلی کمتری داشته و در مقایسه‌ی اثر دما بر روی این ترکیبات، در نمونه‌های خشک شده توسط آون هوای گرم با دمای ۵۰°C و در نمونه‌های ترکیبی مایکروویو ۹۰ وات و دمای آون ۶۰°C، بیشترین مقدار مشاهده گردید. نمونه‌های مایکروویو شده نسبت به نمونه‌های تحت تیمار آون هوای گرم، ویتامین ث بیشتری داشته و کمترین میزان ویتامین ث مربوط به روش ترکیبی بود. روش ترکیبی مایکروویو ۹۰ وات و آون ۵۰°C نسبت به بقیه‌ی نمونه‌ها دارای ویتامین ث بیشتری بود. در حالت بهینه، مطلوب‌ترین روش‌ها روش آون با دمای ۵۰ و ۴۰°C، روش مایکروویو با توان‌های ۳۶۰ و ۹۰ و در روش ترکیبی آون ۴۰°C و توان‌های ۹۰ و ۱۸۰ وات بودند.

منابع مورد استفاده

اشراقی ا، مقصود لو ی، کاشانی نژاد م، بیرقی طوسی ش، اعلمی م، ۱۳۹۰، بررسی اثر پیش تیمار فراصوت روی خشک شدن ورقه‌های کیوی، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۷ (٤)، ۲۷۹-۲۷۳.

امام جمعه ز، علاالدینی ب، ۱۳۸٤، شاخص‌های کیفی کیوی خشک شده و فرمولاسیون آن با استفاده از پیش فرآیند اسمز، مجله علوم کشاورزی ایران، ۳٦ (٦)، ۱٤۲۷-۱٤۲۱.

تمیمی ن، محمدی نافچی ع، نوری ل، ۱۳۹۲، بررسی اثر پیش فرایندهای اسمز و اولتراسونیک بر مدل‌های سینتیکی خشک کردن با هوای داغ در کیوی، بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، آبان ۷-۹ دانشگاه شیراز.

توکلی پور ح، ۱۳۸۸، اصول خشک کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی، نشر آییژ.

ده بوره ر، اسمعیلی م، ۱۳۸۸، تأثیر فرآیند خشک کردن نهایی با مایکروویو و هوای داغ بر پارامترهای خشک کردن انگور خشک شده، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۵ (۲)، ۱۲۲-۱۰۸.

زمانی ح، زارع علی آبادی ح، ۱۳۹۳، بررسی رفتار ترمودینامیکی خشک شدن ورقه‌های کیوی و ضریب نفوذ مؤثر آن طی فرآیند خشک کردن با هوای داغ در خشک کن، سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، آبان ۲٦-۲۷ دانشگاه آزاد واحد قوچان.

زیرجانی ل، توکلی پور ح، ۱۳۸۹، مطالعه امکان تولید برگه موز توسط روش خشک کردن ترکیبی هوای داغ و مایکروویو، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ٦ (۱)، ٦۷-۵۸.

سرابیار س، طهماسبی ح، زارع علی آبادی ح، ۱۳۹۳، بررسی تأثیر امواج مایکروویو بر میزان ویتامین ث موجود در ورقه‌های کیوی خشک شده در مایکروویو و رطوبت باقیمانده در آن، سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، آبان ۲٦-۲۷ دانشگاه آزاد واحد قوچان.

سکویی ر، علیزاده م، ۱۳۹۲، مدل سازی زمان لازم برای خشک کردن کیوی در فرآیند ترکیبی اسمز و مایکروویو با استفاده از سیستم استنتاج فازی، بیست و یکمین کنگره علوم و صنایع غذایی ایران، آبان ۷-۹ دانشگاه شیراز.

سلیمی ز، شفافی زنوزیان م و آرمین م، ۱۳۹۲، اثرات آماده‌سازی، دما و روش‌های مختلف خشک کردن بر باز جذب آب نمونه‌های خشک شده انگور، مجله نوآوری در علوم و فناوری غذایی، ویژه‌نامه دومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، ۱۲٦-۱۱۹.

عزیزی د، ۱۳۹۲، مدل سازی و بهینه کردن ویژگی‌های کیفی برگه کیوی خشک شده با روش پرتوتابی و مقایسه آن با خشک کردن توسط آون، پایان نامه کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

مسلمی س ع ر، میرزایی ح ا، ۱۳۹۳، مقایسه روش‌های خشک کردن هوای داغ و مایکروویو بر ویژگی‌های کیفی زردآلو، سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان.

مهریار ا، صادقی م، رضوی س ج، فرقانی ا، ۱۳۹٤، شاخص‌های کیفی خرمای رقم استعمران تحت تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن، نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۵ (٦۱)، ۳۱۲-۳۰۵.

Agar IT, Massantini R, Hess Pierce B and Kader AA, 1999. Postharvest CO_2 and Ethylene Production and Quality Maintenance of Fresh-Cut Kiwifruit Slices. Journal of food science 64, 3: 433-440.

AOAC, 1990. Association of official analytical chemists. Official Methods of Analysis. Washington DC.

AOAC, 1999. Association of official analytical chemists. Official Methods Of Analysis. Gaithersburg Md. 16th Ed. 5th Rev. Method 967.21.

Arabshahi Delouee S and Urooj A, 2006. Antioxidantproperties of various solvent extracts of mulberry

(*Morusindica L*) leaves. Food Chemistry 102, 12: 33-40.

Askari GR, Emmam Jomeh Z and Mousavi SMAE, 2005. Investigation on Some Physical Properties of Dried Apple Slices Using a Combination of Hot Air and Microwave Driers. Journal of Agricultural Engineering Research 6, 24: 1-14.

Cassano A, Figoli A, Tagarelli A, Sindona G and Drioli E, 2006. Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice. The International Journal on the Science and Technology of Desalting and Water Purification 189: 21-30.

Chandrasekaran S, Ramanathan S and Basak T, 2013. Microwave food processing—A review. Food Research International 52: 243-261.

Dehghannya J, Gorbani R and Ghanbarzadeh B, 2015. Shrinkage of Mirabelle Plum during Hot Air Drying as Influenced by Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration. International Journal of Food Properties 19 (5): 1093-1103.

Djendoubi Mrad M, Boudhrioua N, Kechaou N, Courtois F and Bonazzi C, 2012. Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. Food and Bioproducts Processing 90: 433-441.

Drouzas AE and Schubert H, 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. Journal of Food Engineering 28: 203-209.

Emam Jomeh Z and Askari GR, 2004. Air/Microwave Drying, as against Combined Method of Drying Sliced Apple. Science Agricultural Journal Iranian 35, 3: 777-785.

Feng H and Tang J, 1998. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. Journal of Food Science 63: 679-683.

Gamboa Santos J, Montilla A, Soria AC, Carcel JA and Gacia Perez Mar Villamiel JV, 2014. Impact of power ultrasound on chemical and physicochemical quality indicators of strawberries dried by convection. Food Chemistry 161: 40-46.

Gamboa Santos J, Perez RM, Soria AC, Olano A, Montilla A and Villamiel M, 2014. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. Food Chemistry 153: 164-170.

Han QH, Yin LJ, Li SJ, Yang BN and Ma JW, 2010. Optimization of Process Parameters for Microwave Vacuum Drying of Apple Slices Using Response Surface Method. Drying Technology 28, 523-532.

Kaya A and Aydin ODincer I, 2008. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (Actinidia Deliciosa Planch). Journal of Food Engineering 88: 323-330.

Lewicki PP, 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. Journal of Food Engineering 36: 81-87.

Lin TM, Durance TD and Scaman CH, 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. Food Research International 4: 111-117.

Maskan A, Kaya S and Maskan M, 2002. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). Journal of Food Engineering 54: 81-88.

Maskan M, 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering 44: 71-78.

Maskan M, 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering 48: 177-182.

Maskan M b, 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering 48: 169-175.

Maria Elena HR, Armando Quintero R, Alejandro AD, John B, Ricardo Talamas A, Jose Vinicio Torres A and Erica Salas M, 2012. Effect of blanching and drying Temperature on polyphenolic compoundsability and antioxidant capacity of applePomace. Food Bioprocess Technol 5: 2201-2210.

Sjoholm I and Gekas V, 1995. Apple shrinkage upon drying. Journal of Food Engineering 25: 123-130.

Tinoco MB, Igual M, Rodrigo D and Navarrete NM, 2013. Comparison of microwaves and conventional thermal treatment on enzymes activity and antioxidant capacity of kiwifruit puree. Innovative Food

Science and Emerging Technologies 19: 166-172.

Tinoco MB, Igual M, Rodrigo D and Navarrete NM, 2015. Superiority of microwaves over conventional heating to preserve shelf-life and quality of kiwifruit puree Food Control. 50: 620-629.

Vega Galvez A, Ah Hen K, Chacana M and Vergara J, 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetic, antioxidant capacity, total phenolic, color, texture and microstructure of apple. Journal of Food Chemistry 132: 51-59.

Yam KL and Papadakis SE, 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. Journal of Food Engineering 61: 137-142.

Application of intermittent microwave – convective hot air technique on quality and nutritional characteristics of dried kiwi slices

M Khakbaz Heshmati [1*] and A Seifi Moghaddam[2]

Received: August 20, 2016 Accepted: February 20, 2017
[1]Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
[2]Food Engineering graduate student, Department of Food Science and Technology, Tabriz branch, Islamic azad university
[*]Corresponding author: E-mail: m.khakbazheshmati@tabrizu.ac.ir[*]

Abstract
For producing a product with better quality and nutritional characteristics, we can use a combination of hot air and microwave oven and take the advantage of both methods. In this study the effects of three drying methods (oven (40, 50 and 60 °C), microwave (90, 180 and 360 W) and the combination of microwave, oven) were investigated on fresh kiwi fruit (Hayward variety) in terms of quality properties (rehydration capacity, shrinkage and color) and nutritional properties (phenolic compounds and vitamin C). The results showed that drying of kiwi sheets using microwave, shortens drying time, although the increasing of power could adversely affects the product quality. The maximum rehydration capacity was observed in the oven method, the lowest rate of shrinkage in combined method, the lowest color changes in the microwave method, the highest phenolic compounds in combined and oven methods and highest vitamin C content in the microwave method. At the end on the basis of optimal properties, Design Expert software chose the optimum methods of kiwi drying: microwave method applying power of 90 and 360 watts, oven method applying temperature of 40 °C and combination of microwave and oven with power of 90 watts and temperature of 40 °C.

Keywords: Drying, Kiwi, Microwave, Oven, Quality and nutritional properties