فصلنامه مطالعات محیط زیست، منابع طبیعی و توسعه پایدار
سال نهم، شماره ۱ (پیاپی: ۳۰)، بهار ۱۴۰۴
ISSN: 2588-4255

# اثر استفاده از مایکروویو در انتهای خشک کردن برگه‌های کیوی توسط هوای گرم و بررسی سینتیک و ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای محصول

**طاهره الهامی** [۱]

*تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰*
*تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵*
*کد مقاله: ۷۲۷۸۹*

## چکـیده

طول عمر کیوی (Acitinidia Deliciosa) تازه به دلیل بافت نسبتاً نرم و میزان رطوبت بالای آن، کم است. خشک کردن و کاهش رطوبت یکی از بهترین راه‌های نگهداری میوه‌ها بوده و روش‌های مختلف خشک کردن می‌تواند بر کیفیت نهایی و خواص تغذیه‌ای محصول تأثیر بسزایی داشته باشد. در این پژوهش با بکارگیری روش خشک کردن با استفاده از هوای داغ در دماهای 60 °C، 40،50 و مایکروویو با توان‌های 360 W، 180، 90 و روش ترکیبی این دو، خشک کردن ورقه‌های کیوی با استفاده از طرح فاکتوریل و نرم افزار Design Expert بهینه سازی شد. نتایج نشان داد که دمای خشک کن هوای داغ و توان مایکروویو بر سرعت خشک شدن اسلایس‌های کیوی تأثیرگذار است و با افزایش دما و توان خشک کن، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داد که توان مایکروویو و دمای خشک کردن بر میزان آنتی اکسیدان‌ها، ویتامین C، جذب مجدد آب و چروکیدگی ورقه‌های کیوی تأثیر معنی‌داری داشته است. فرآیندهای خشک کردن تلفیقی و آزمایشات کیفی حاصل از محصولات نهایی نیز نشان داد که روش تلفیقی می‌تواند به میزان قابل توجهی باعث بهبود پارامترهای کیفی مثل حفظ آنتی اکسیدان‌ها، ویتامین C، جذب مجدد آب و کاهش چروکیدگی در ورقه‌های کیوی خشک شده شود، به‌طوری که در این مطالعه خشک کردن ترکیبی با استفاده از هوای داغ و مایکروویو در دمای 40°C و توان W90 به‌عنوان شرایط بهینه انتخاب شد.

**واژگـان کلـیدی:** خشک کردن، کیوی، چروکیدگی، ویتامین C، مایکروویو

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

## ۱- مقدمه

در فضای رقابتی کنونی، واحدهای تولیدکننده‌ی صنعت غذا، همچون بسیاری از صنایع دیگر برای تولید و فروش محصولات خود با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو هستند. مصرف کنندگان، متقاضی محصولاتی سالم، خوش طعم، بهداشتی و با کیفیت بوده که همه این ویژگی‌ها به طور مستقیم با فناوری تولید در ارتباط است [۱]. بیشتر محصولات کشاورزی زمان رسیدگی و برداشت مشخص و ماندگاری محدودی دارند. بنابراین بایستی پس از برداشت تدبیری برای افزایش عمر انبارمانی آن‌ها اندیشیده شود. روش‌های مختلفی برای افزایش ماندگاری وجود دارد که از آن جمله می‌توان به کنسرو کردن، منجمد کردن، خشک کردن، تخمیر کردن، پاستوریزاسیون، افزودن مواد شیمیایی، پرتودهی و بسته بندی اشاره کرد. در بین این روش‌ها پرکاربردترین روشی که در مقیاس وسیع صنعتی به کار می‌رود، کنسرو کردن و خشک کردن می‌باشد. عدم پذیرش افزودنی‌های شیمیایی و تقاضای مصرف کنندگان برای محصولات طبیعی‌تر، توجه به برخی از روش‌ها از جمله خشک کردن را افزایش داده است [۲]. خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری است. عملیات خشک کردن تأثیر زیادی بر روی کیفیت محصول و بازار پسندی آن دارد [۳]. استفاده از روش جریان هوای گرم جهت خشک کردن محصولات در سطح تجاری به صورت گسترده و عموماً برای میوه‌ها و سبزیجات به کار می‌رود. اما هوای گرم معایبی از قبیل، تغییر رنگ محصول، افت مواد مغذی و.... را دارد. بنابراین ملزم به استفاده از روش‌هایی می‌باشیم که کاهش زمان حرارت دهی و در نتیجه حفظ ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای ماده‌ی غذایی را به دنبال دارد [۴]. با توجه به نتایج مطالعات اخیر، تکنولوژی مایکروویو می‌تواند وسیله‌ی مناسبی برای دستیابی به محصولی با کیفیت مناسب باشد ولی استفاده از آن در شدت‌های بالا باعث برخی تغییرات نامطلوب در نمونه‌ها می‌شود، لذا می‌توان با استفاده از فرآیند خشک کردن ترکیبی هوای داغ و مایکروویو در دماها و توان‌های مناسب، با افزایش کیفیت محصول نهایی، زمان فرآیند خشک کردن را نیز تا حد قابل توجهی کاهش داد [۵]. هدف از این تحقیق مطالعه‌ی تأثیر خشک کردن توسط تلفیق امواج مایکروویو و هوای گرم بر ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای برگه‌ی کیوی ازجمله میزان ویتامین C، فعالیت آنتی اکسیدانی، چروکیدگی و جذب مجدد آب برگه‌ی کیوی است.

## ۲-مواد و روشها

### ۲-۱-مواد

کیوی واریته هایوارد با رطوبت بر پایه‌ی مرطوب ۸۱٪ از بازار محلی خریداری گردید و قبل از انجام آزمایشات به‌منظور به حداقل رسیدن واکنش‌های شیمیایی در یخچال در دمای ۴ °C نگهداری شد. کیوی‌های یکنواخت از نظر شکل و اندازه انتخاب شده و بعد از شستشو با آب، توسط یک کاتر دستی پوست‌گیری شدند و به صورت اسلایس‌های دایره‌ای شکل به ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شدند.

### ۲-۲-روشهای خشک کردن

#### ۲-۲-۱- خشک کردن در آون هوای گرم

آون مورد استفاده در این تحقیق مدل Memmert ساخت کشور آلمان ، مجهز به مجهز به فن سیرکولاسیون هوا و با قابلیت تنظیم دما در محدوه °C (۲۲۰-۲) بود. دماهای مورد استفاده جهت خشک کردن ورقه‌های کیوی در آون شامل °C (۶۰، ۵۰، ۴۰) می‌باشد.

یک ساعت قبل از شروع فرایند خشک‌کردن، آون روشن شده و به دمای مورد نظر رسانده شد. سپس سینی‌های حاوی نمونه‌ها در محفظه‌های خشک‌کن با سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه قرار داده شدند. بعد از خروج از خشک کن نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دسیکاتور خنک شده و توزین گردیدند. مدت زمان خشک کردن نمونه‌ها تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. به منظور بررسی سینتیک خشک کردن و ترسیم منحنی‌های مربوط، نمونه‌های آماده شده پس از توزین و ثبت وزن در آون قرار گرفتند. در زمان‌های متوالی هر ۱۵ دقیقه تا ۲ ساعت اول و هر ۳۵ دقیقه پس از آن، نمونه از خشک کن خارج و توزین شد و این عمل تا رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت، انجام شد.

#### ۲-۲-۲-خشک کردن در مایکروویو

مایکروویو مورد استفاده در این تحقیق مدل LG ساخت کره جنوبی مجهز به ۵ توان W (۹۰-۱۸۰-۳۶۰-۵۴۰-۹۰۰) و دارای قابلیت چرخش سینی در داخل مایکروویو بود. توان مورد استفاده جهت خشک کردن ورقه‌های کیوی در مایکروویو W(۳۶۰، ۱۸۰ ، ۹۰) می‌باشد. جهت تعیین افت رطوبت، نمونه‌ها در فواصل زمانی معین از مایکروویو خارج و توزین شدند (هر ۳۰۰ ثانیه در

توان ۹۰W ، هر۱۸۰ ثانیه در توان ۱۸۰W و هر ۹۰ ثانیه در توان ۳۶۰W). عملیات با رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت متوقف شد. بعد از خروج نمونه‌ها از مایکروویو، ۱۵ دقیقه در دسیکاتور خنک شده و توزین شدند.

### ۲-۲-۳-خشک کردن ترکیبی با آون و مایکروویو

در روش ترکیبی اسلایس‌های کیوی ابتدا در آون و در دماهای °C (۶۰ ، ۵۰، ۴۰)قرار گرفتند. در هر کدام از این دماها بعد از سپری شدن مدت زمان مشخصی که محتوای رطوبت اسلایس‌های کیوی به حدود ۱/۲ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک رسید، عملیات حرارت دهی متوقف شده و اسلایس‌ها به مایکروویو در توان‌های W (۳۶۰، ۱۸۰ ، ۹۰) منتقل شدند. عملیات با رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت متوقف شد. بعد از خروج نمونه‌ها از مایکروویو، ۱۵ دقیقه در دسیکاتور خنک شده و در ادامه توزین شدند.

### ۲-۲-۴-روش‌های تعیین ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای

محتوای رطوبت نمونه‌ها از طریق خشک‌کردن آن‌ها در آون کنوکسیونی در دمای °C (۱± ۱۰۵)، تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد و در نهایت بر حسب گرم رطوبت بر گرم ماده‌خشک، گزارش گردید [۶]. برای تعیین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت **از** قانون دوم فیک استفاده شد. با استفاده از داده‌های خشک‌کردن، در هر دمایی ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از طریق رسم $Ln(MR)$ به عنوان تابعی از زمان تعیین گردید. ضریب نفوذ مؤثر همان شیب زاویه‌ی بخش خطی است [۷].

که از رابطه (۱) بدست میآید.

$$\frac{\partial x}{\partial t} = D_{eff}\frac{\partial^2 x}{\partial x^2}$$ رابطه (۱)

که $MR$ به وسیله رابطه (۲) توصیف می‌شود:

$$MR=\frac{X-X_e}{x_0-x_e}=\frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{1}{2n+1}\right)\exp\left(\frac{(2n-1^2\ \pi^2\ D_t)}{4L_t^2}\right)$$ رابطه (۲)

$D$ : ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (متر مربع بر ثانیه)، $L_t$ : نصف ضخامت نمونه، $X$ : میانگین رطوبت نمونه در زمان t (گرم ماده خشک/گرم)، $X_e$ : رطوبت در حال تعادل نمونه (گرم ماده خشک/گرم)، $X_0$ : رطوبت اولیه نمونه (گرم ماده خشک/گرم). با فرض اینکه محتوای رطوبتی تعادلی ناچیز است ($X_e=0$)، رابطه (۳) ساده می‌شود:

$$MR=\frac{X}{x_0}=\frac{8}{\pi^2}\ \exp\left(-\frac{\pi^2\ D_t}{4L_t^2}\right)$$ رابطه (۳)

اندازه گیری اسید آسکوربیک ( ویتامین C ) به روش تیتراسیون با ۲ و ۶ دی کلروفنل ایندوفنل انجام شد [۸]. آزمایشات آبگیری مجدد به وسیله غوطه‌ور کردن نمونه خشک در ۱۵۰ میلی‌لیترآب °C۵۰ به مدت یک ساعت در بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری انجام گردید. نمونه‌ها پس از غوطه وری از آب بیرون آورده شده و بلافاصله پس از حذف آب سطحی توزین گردیدند. ظرفیت جذب مجدد آب[1] که بیانگر درصد جذب آب توسط نمونه خشک است، با استفاده از رابطه (۴) برآورد گردید [۹]. در این رابطه $W_t$ بیانگر وزن نمونه بعد از جذب آب و $W_d$ بیانگر وزن نمونه قبل از جذب آب است.

$$\text{gain}(\%)=\text{Weight}\ \ ۱۰۰\times(W_t-W_d)/W_d$$ رابطه (۴)

جهت ارزیابی چروکیدگی، تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول به وسیله جابجایی آب تعیین شد و با استفاده از رابطه (۵) چروکیدگی محاسبه شد [۱۰]: که در آن: $V_t$، حجم در زمان مورد نظر و $V_\circ$، حجم اولیه نمونه است.

[(وزن پیکنومتر+آب)− (وزن پیکنومتر+ نمونه+ آب)]− وزن نمونه = حجم نمونه= وزن آب جابجاشده

$$\text{٪ چروکیدگی} = \left(1-\frac{V_t}{V_0}\right)\times ۱۰۰$$ رابطه (۵)

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی اکسیدانی از روش احیاء رادیکال آزاد ۱ و ۱–دی فنیل۲–پیکریل هیدرازیل[2] استفاده شد [۵]. برای رسم منحنی استاندارد، ۵ محلول با غلظت‌هایی در محدوده‌ی۵۰۰–۱۲/۵ میکروگرم در میلی‌لیتر از گالیک اسید در حلال متانول آماده شد، و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق در محل تاریک نگهداری گردید و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر بوسیله اسپکتوفوتومتر(مدل Unico ساخت کشور آمریکا) قرائت شد و منحنی مربوطه رسم گردید. نمودار کالیبراسیون به‌صورت اختلاف جذب هر نمونه از جذب شاهد در مقابل غلظت گالیک اسید رسم شد و غلظت نمونه مجهول محاسبه شد. نتایج آزمون براساس درصد مهار رادیکال آزاد DPPH با استفاده از رابطه (۶) گزارش شد:

$$\%(S_c) =100 \times (\ A_c - A_s)/A_c$$ رابطه (۶)

*1 Rehydration Capacity*

*2 DPPH*

که در این رابطه $S_c$ بیانگر مقداری از نمونه است که قادر به جذب و مهار رادیکال آزاد می‌باشد. $A_c$ میزان جذب نمونه شاهد و $A_s$ میزان جذب نمونه با غلظت مجهول را نشان میدهد.

## ۳ـ تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایش‌ها با دو تکرار انجام گردید. طرح آزمایشی شامل ۱۶ تیمار با دو تکرار طبق جدول (۱) تعیین شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده و انتخاب شرایط بهینه از نرم افزار Design Expert 7.0.0 و از طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی استفاده شد. کلیه نمودارها توسط Excel 2013 رسم گردید.

**جدول ۱- طرح آزمایش فاکتوریل طراحی شده توسط نرم افزار**

| ردیف | تیمار(دما- توان) |
|---|---|
| ۱ | ۰-۰ |
| ۲ | ۴۰-۰ |
| ۳ | ۵۰-۰ |
| ۴ | ۶۰-۰ |
| ۵ | ۰-۹۰ |
| ۶ | ۰-۱۸۰ |
| ۷ | ۰-۳۶۰ |
| ۸ | ۴۰-۹۰ |
| ۹ | ۵۰-۹۰ |
| ۱۰ | ۶۰-۹۰ |
| ۱۱ | ۴۰-۱۸۰ |
| ۱۲ | ۵۰-۱۸۰ |
| ۱۳ | ۶۰-۱۸۰ |
| ۱۴ | ۴۰-۳۶۰ |
| ۱۵ | ۵۰-۳۶۰ |
| ۱۶ | ۶۰-۳۶۰ |

## ۴ـ نتایج و بحث

### ۴-۱-نتایج فاکتورهای اندازه گیری شده برای کیوی تازه

فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی اندازه گیری شده برای نمونه‌های کیوی تازه در این تحقیق شامل محتوای رطوبت، ماده‌ی خشک کل، آنتی اکسیدان و اسید آسکوربیک می‌باشد که رطوبت بر مبنای مرطوب برابر ۰/۵± ٪ ۸۱، ماده خشک کل۰/۲±٪ ۱۹، میزان آنتی اکسیدان (mg/۱۰۰g) ۷/۹۱۴ و ویتامین C برابر (mg/۱۰۰g) ۸/۸۱ تعیین شد.

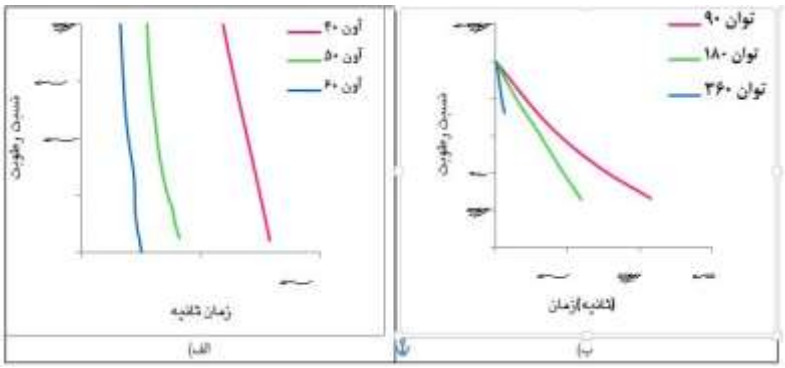
### ۴-۲-نتایج ارزیابی تغییرات نسبت رطوبت کیوی خشک‌شده در خشک‌کن هوای داغ

در شکل (۱الف) تغییرات نسبت رطوبت در دماهای مختلف آون نشان داده شده و همانطور که مشخص است، نسبت رطوبت در نمونه‌های آون با افزایش دما و گذشت زمان کاهش می‌یابد. در ابتدای فرآیند خشک کردن، آهنگ خشک کردن بالا می‌باشد ولی در مراحل بعدی، کاهش محتوای رطوبت به آهستگی صورت می‌گیرد. همچنین زمان مورد نیاز برای کاهش مقدار معین از محتوای رطوبت، وابسته به شرایط دمایی است. با توجه به شکل (۱الف)، سرعت کاهش رطوبت در دمای $^{o}C$ ۶۰ بیشتر از بقیه دماها بوده و می‌توان گفت که با افزایش دما، زمان خشک کردن کاهش و سرعت خشک شدن افزایش می‌یابد. در واقع دمای خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بر زمان خشک‌کردن اثر دارد، به طوری که در دمای $^{o}C$ ۶۰، ۲۸۰۰۰ ثانیه و در دمای $^{o}C$ ۴۰ ، ۸۰۰۰۰ ثانیه طول می‌کشد تا رطوبت به طور کامل از نمونه‌ها خارج شود. به‌عبارتی دیگر در فشار ثابت با افزایش دما، زمان لازم برای رسیدن به محتوای رطوبت معین، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. دلیل آن این است که دمای بالا نیروی محرک برای انتقال جرم و حرارت را افزایش می‌دهد. نتایج این تحقیق با نتایج دویماز و همکاران [۱۱] و کاشانی نژاد و همکاران [۱۲] مطابقت دارد.

### ۴-۳-نتایج ارزیابی تغییرات نسبت رطوبت نمونه‌ی کیوی خشک‌شده در مایکروویو

شکل (۱ ب) تغییرات نمودار نسبت رطوبت در فرآیند خشک کردن کیوی با مایکروویو را نشان می‌دهد. با توجه به شکل(۱ ب) مشاهده می‌شود که افزایش توان باعث کاهش زمان خشک کردن می‌گردد، ولی نمی‌توان نمونه‌ها را بیش از حد در معرض توان مایکروویو قرار داد، چرا که ورقه‌های کیوی که در توان ۳۶۰W قرار گرفتند، بعد از گذشت ۱۲۰ ثانیه سوختند و عملیات

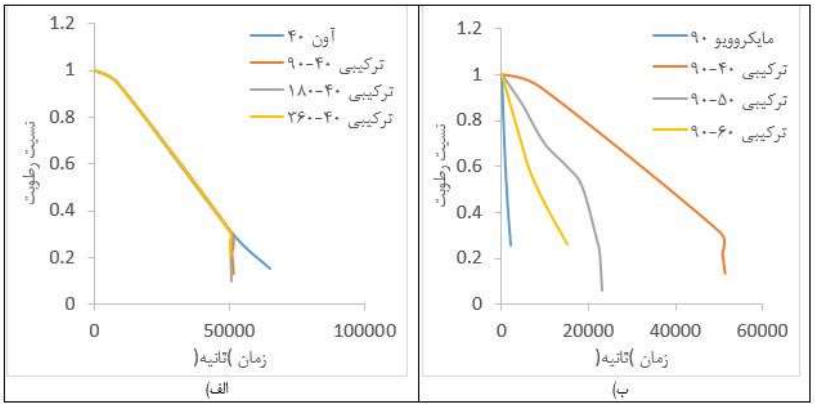
خشک‌کردن متوقف شد. زیرا با افزایش توان خروجی، شدت پرتوهای مایکروویو و به‌دنبال آن دمای درون محفظه دستگاه افزایش می‌یابد. نتایج حاصل با نتایج تحقیقات دویماز و طغرل [۱۳] و ازبک و دادالی [۱۴] مطابقت دارد.




**شکل (۱ الف)- نمودار نسبت رطوبت در فرایند خشک کردن توسط هوای داغ، شکل (۱ ب) نمودار نسبت رطوبت در فرایند خشک کردن توسط مایکروویو**

## ۴-۴-نتایج ارزیابی تغییرات نسبت رطوبت کیوی خشک‌شده با روش ترکیبی

شکل( ۲ الف) تغییرات نسبت رطوبت در فرایند خشک کردن با ترکیب توان۹۰W مایکروویو و دماهای مختلف آون را نشان می‌دهد. شکل( ۲ ب) تغییرات نسبت رطوبت در فرایند خشک کردن با ترکیب دمای ۴۰ °C و توان‌های مختلف مایکروویو را نشان می‌دهد.




**شکل( ۲ الف)-نمودار نسبت رطوبت در فرایند خشک کردن با ترکیب توان۹۰W و دماهای مختلف آون، شکل( ۲ ب): نمودار نسبت رطوبت در فرایند خشک کردن با ترکیب دمای ۴۰ °C و توان‌های مختلف مایکروویو**

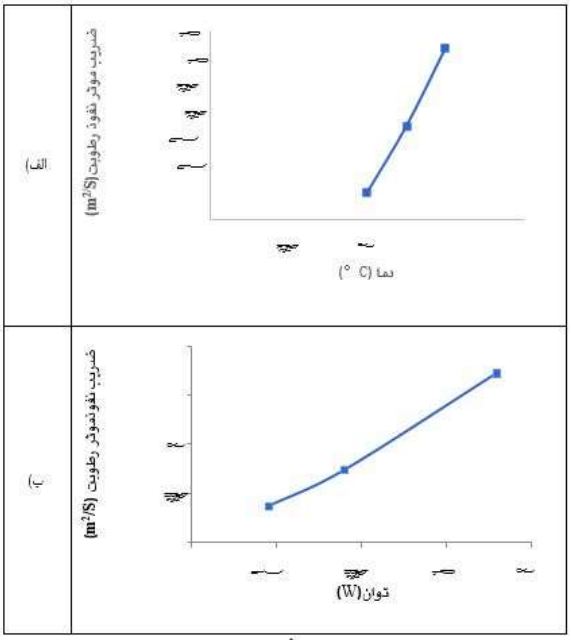
همان‌طور که در شکل( ۲ ب) مشاهده می‌شود منحنی خشک کردن در مرحله خشک کردن با مایکروویو شیب تندی به خود می‌گیرد که نشانگر سرعت زیاد خشک کردن در این مرحله است و علت آن این است که مکانیسم گرمایش مایکروویو حجمی بوده و باعث می‌شود که فرآیند گرمایش نسبت به روش‌های معمول گرمایش مانند جابه‌جایی یا هدایت خیلی سریع‌تر انجام شود، به علاوه در این روش گرما در درون ماده تولید می‌شود در حالی که در روش‌های متداول، گرما از سطح خارجی محصول از طریق هدایت یا نفوذ منتقل می‌شود. الگوی منحنی سرعت خشک کردن برای میوه کیوی در این مطالعه، مشابه گزارش خشک کردن پوره سیب [۱۵]، هویج [۱۶] ، کشمش [۱۷] و موز [۱۸] بود.

## ۴-۵-ضریب انتشار رطوبت

مقادیر ضریب نفوذ رطوبت با استفاده از داده‌های خشک کردن نمونه کیوی در دماهای مختلف در آون و توان‌های مختلف در مایکروویو به‌ترتیب در شکل (۳ الف) و شکل (۳ ب)

نمایش داده شده است. محدوده تغییر ضریب انتشار رطوبت در مایکروویو برای توانW (۹۰ تا ۳۶۰ ) بین $۱/۴۷\times۱۰^{-۷}$ تا $۶/۹\times۱۰^{-۷}$ می‌باشد و در روش هوای داغ برای دمای °C (۴۰ تا ۶۰ ) بین $۴/۹۳\times۱۰^{-۹}$ تا $۳/۱۸\times۱۰^{-۸}$ می‌باشد، با توجه به این نتایج مشخص می‌شود که ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در مایکروویو، به مراتب بالاتر از خشک‌کن هوای داغ می‌باشد (منحنی‌های کاهش

رطوبت نیز بیانگر این موضوع می‌باشد). همچنین در خشک‌کن هوای داغ، با افزایش دمای خشک کردن، میزان ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش پیدا می‌کند و بالطبع رطوبت در دماهای بالا، سریعتر کاهش می‌یابد. در مایکروویو نیز با افزایش توان، میزان ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش می‌یابد که همانطور که قبلاً بیان شد، می‌تواند به دلیل افزایش دمای داخل محفظه به موجب افزایش توان مایکروویو باشد. در مورد هر دو روش خشک‌کردن (هوای داغ و مایکروویو) علت افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت به‌دنبال افزایش دما، وجود اختلاف زیاد دما بین نمونه و محیط گرم‌کننده می‌باشد. خلیلیان و همکاران( ۱۳۹۲) بیان کردند که علت این امر افزایش شدت فعل و انفعالات در طی خشک شدن در دمای بالا می‌باشد [۱۹].




**شکل ( ۳ الف)-نمودار مقادیر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در دماهای مختلف آون، شکل (۳ ب). نمودار مقادیر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت در توان‌های مختلف مایکروویو**

## ۴-۶-نتایج بررسی میزان آنتی اکسیدان باقی مانده در کیوی خشک شده

شکل (۴) اثر تیمارهای مختلف را بر میزان خاصیت آنتی اکسیدانی ورقه‌های کیوی نشان می‌دهد. مطابق این شکل مقدار آنتی‌اکسیدان باقی‌مانده در ورقه‌های کیوی خشک‌شده با روش ترکیبی بیشتر از میزان آنتی‌اکسیدان باقی‌مانده در ورقه‌های کیوی خشک‌شده با روش هوای گرم و روش مایکروویو به تنهایی می‌باشد. همان گونه که در شکل (۴) مشخص است، با افزایش توان مایکروویو و دمای آون، مقدار آنتی اکسیدان کاهش می‌یابد به طوری که در دمای ۶۰ °C به کمترین مقدار و در توان ۳۶۰W ، به مقدار صفر می‌رسد. احمدی‌راد و همکاران (۱۳۹۵) علت اصلی این امر را تجزیه حرارتی و اکسیداسیون ترکیبات فنلی اعلام کردند [۲۰]. لیما و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که در تیمار حرارتی کلزا، ذرت و کلم چینی کاهش دمای فرایند، موجب حفظ ۸۰٪ ترکیبات فنلی و در نتیجه بهبود چشمگیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود [۲۱]. همچنین بنلوچ و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه تیمار حرارتی پوره‌ی کیوی توسط دو روش هوای داغ و مایکروویو نشان دادند که جهت حفظ فعالیت آنتی اکسیدانی، هر چه توان انتخابی مایکروویو کمتر باشد، فعالیت آنتی اکسیدانی بیشتر حفظ خواهد شد که نتایج این پژوهش با نتایج این محققان مطابقت دارد [۵].

## ۴-۷-نتایج بررسی میزان اسید آسکوربیک باقی مانده در کیوی خشک شده

شکل (۵) مقادیر بدست آمده از آزمایشات اندازه گیری ویتامین C را نشان می‌دهد. مطابق این شکل بیشترین مقدار اسید آسکوربیک مربوط به نمونه‌هایی است که با تلفیق آون و مایکروویو خشک شده‌اند. همچنین با افزایش توان مایکروویو و دمای آون، مقدار اسید آسکوربیک کاهش یافته است. به طوری که کمترین مقدار اسید آسکوربیک در رتبه اول مربوط به توان ۳۶۰ W و در رتبه بعدی مربوط به دمای ۶۰ °C است. گامبوسانتو و همکاران (۲۰۱۴) با خشک کردن توت فرنگی در تیمارهای مختلف حرارتی به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقدار (۹۰٪) اسید آسکوربیک در کمترین دمای ۴۰°C(۴۰ و ۵۰) مشاهده شده است. به طوری که در ۷۰°C ، فقط ۴۰٪ از اسید آسکوربیک باقی می‌ماند [۲۲]. دلیل این امر را می‌توان این گونه تفسیر کرد که به دلیل بالاتر بودن سرعت انتقال حرارت در مایکروویو نسبت به روش جابجایی، سرعت خروج آب از محصول بالاتر بوده و از آنجایی که

اسید آسکوربیک ویتامین ناپایدار محلول در آب است، به نظر می‌رسد که بسیار سریعتر از روش‌های دیگر خشک کردن از بین می‌رود. علت این امر می‌تواند ناشی از اکسیداسیون اسید آسکوربیک در دمای بالا و اثرات نامطلوب حاصل از قدرت بالای خشک‌کن در سطوح بالاتر باشد [۲۳].

### ۴-۸-نتایج بررسی میزان چروکیدگی در کیوی خشک شده

شکل (۶) اثر روش‌های مختلف خشک کردن را بر چروکیدگی ورقه‌های کیوی نشان می‌دهد. مطابق این شکل بیشترین مقدار چروکیدگی مربوط به نمونه‌هایی است که با مایکروویو خشک شده‌اند. همچنین کمترین مقدار چروکیدگی مربوط به تلفیق مایکروویو و آون بوده است. آلیباس (۲۰۰۷) برای خشک‌کردن اسلایس‌های کدو تنبل از سه روش هوای داغ، مایکروویو و تلفیق هوای داغ و مایکروویو استفاده نمود، نتایج وی نیز نشان داد که کدوهای خشک شده با روش تلفیقی کمترین چروکیدگی را داشته‌اند [۲۴]. به طور کلی در ابتدای خشک کردن با هوای داغ، آهنگ خشک کردن بالاست ولی با گذشت زمان و رسیدن به رطوبت بحرانی (نقطه‌ای که رژیم خشک کردن از آهنگ ثابت به آهنگ نزولی تغییر می‌یابد) به دلیل چروکیدگی بافت، آهنگ خشک کردن کاهش می‌یابد. بنابراین با تغییر مکانیسم خشک کردن و انتقال میوه‌های نیمه خشک به مایکروویو می‌توان چروکیدگی را کاهش داد. در پژوهش مهریار و همکاران (۱۳۹۲) در مورد خشک کردن خرمای استعمران با استفاده از هوای داغ، آون خلأ و مایکروویو، به این نتیجه رسیدند که اثر روش خشک کردن بر چروکیدگی معنی‌دار نبوده است [۲۵]. به بیان دیگر علی رغم تفاوت دمایی و زمان خشک شدن در روش‌های به کار گرفته شده، این تغییرات باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در چروکیدگی محصول نگردید. اما در پژوهش انجام شده توسط زیرجانی و توکلی پور (۱۳۸۹) در مورد خشک کردن موز توسط مایکروویو و هوای گرم، به این نتیجه رسیدند که نمونه‌های خشک شده با مایکروویو که دارای ضخامت بالایی بودند کمترین چروکیدگی را داشتند [۲۶]. همچنین در بررسی تأثیر خشک کردن انگور با هوای داغ و مایکروویو که توسط ده بوره و اسمعیلی (۱۳۸۸) انجام شد، استفاده از مایکروویو موجب کاهش چروکیدگی شده بود [۲۷]. علت عدم تطابق این نتایج با نتیجه‌ی پژوهش ما مربوط به ضخامت میوه‌ی خشک شده است. خشک کردن با مایکروویو برای محصولاتی با ضخامت بالا موجب کاهش چروکیدگی می‌شود، زیرا در خشک کردن با مایکروویو تولید حرارت حجمی منجر به افزایش فشار بخار داخلی شده، سپس جریان مایع به طرف سطح جسم رانده می‌شود. حال اگر ضخامت محصول بیشتر باشد، فشار بخار داخلی بسیار بیشتر شده و سرعت خشک کردن بالا رفته و چروکیدگی کاهش می‌یابد [۱۸].

### ۴-۹-نتایج بررسی میزان ظرفیت جذب مجدد آب کیوی خشک شده

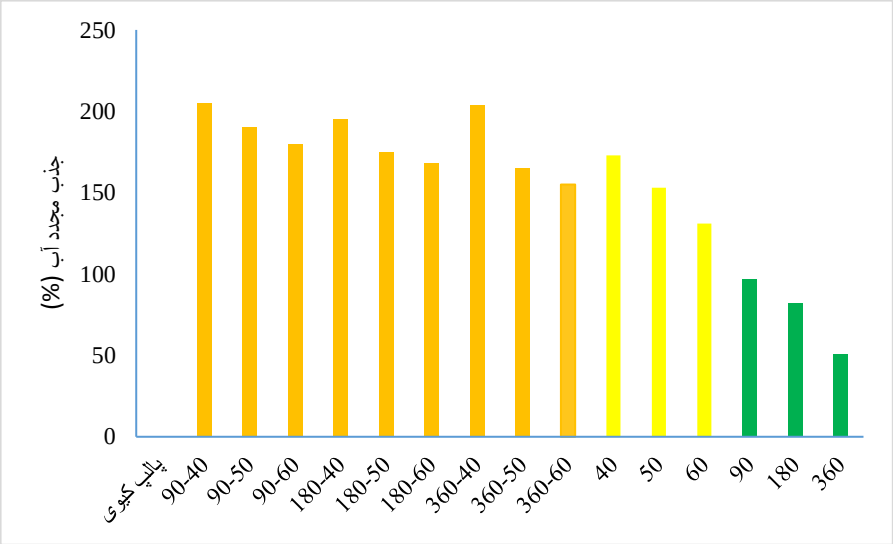
مطابق شکل (۷) کمترین جذب مجدد آب مربوط به نمونه‌های خشک شده توسط مایکروویو می‌باشد. این نتیجه می‌تواند به دلیل بالاتر بودن دمای محصول طی خشک شدن در روش مایکروویو در مقایسه با روش‌های دیگر خشک کردن باشد. در حالت کلی پذیرفته شده است که مقدار جذب آب مجدد، وابسته به درجه تخریب سلولی و ساختاری طی فرایند خشک کردن است[۱۴ ; ۱۳]. طبق نتایج آزمایش‌ها هیچ یک از نمونه‌ها کاملاً رطوبت اولیه‌ی خود را بدست نیاوردند. هر چه چروکیدگی کمتر باشد، آسیب وارده به محصول کمتر و نمونه‌ها جذب مجدد آب بالایی را خواهند داشت [۲۸]. همان طوری که مهریار و همکاران (۱۳۹۲)، در مورد خرمای استعمران به این نتیجه رسیدند که تخریب ساختار محصول خشک شده به روش مایکروویو بیشتر از دیگر روش‌ها بود [۲۵]. بدیهی است که با تخریب ساختار، جذب مجدد آب کمتر خواهد بود. همچنین ماسکان (۲۰۰۱) و خاکباز حشمتی و سیفی مقدم (۱۳۹۶) در مورد خشک کردن کیوی توسط هوای داغ، مایکروویو و تلفیق آن‌ها به این نتیجه رسید که جذب مجدد آب در خشک کردن با مایکروویو کمتر از روش‌های دیگر مورد مطالعه می‌باشد [۳۰ ;۲۹]. همان طوری که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، بیشترین جذب مجدد آب مربوط به خشک کردن تلفیقی هوای داغ و مایکروویو بوده است.

## ۵-بهینه سازی

نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) اثر دمای آون و توان مایکروویو طی خشک کردن بر ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی در جدول (۲) آمده است. معادله نهایی نحوه تغییرات ویژگیهای کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی برحسب متغیرهای دمای آون و توان ماکروویو (به صورت کد شده) در جدول (۳) آمده است، که با جایگذاری مقادیر متغیرها می‌توان مقادیر پیش بینی شده توسط هر معادله‌ی مربوط به صفت مورد نظر را بدست آورد.

در بهینه سازی این مطالعه میزان آنتی اکسیدان، اسید آسکوربیک (ویتامین C)، ظرفیت جذب مجدد آب و چروکیدگی مطابق جدول (۴) تعریف شد و نتایج بدست آمده با تابع مطلوبیت مورد ارزیابی قرار گرفت، که مطلوبیت بالاتر از ۰/۷ بیانگر شرایط بهینه

است. ویژگی‌های مدل بهینه‌ی انتخاب شده در جدول (۵) آمده است. همان طوری که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، بالاترین مطلوبیت مربوط به نمونه‌ی خشک شده با آون $^{\circ}C$ ۴۰ و مایکروویو ۹۰W است.




**شکل ۷- مقایسه‌ی میزان جذب مجدد آب در ورقه‌های کیوی خشک‌شده در آون، مایکروویو و آون _ مایکروویو**

**جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) اثر دمای آون و توان مایکروویو طی خشک کردن بر ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی**

| منبع تغییرات | آنتی اکسیدان | اسید اسکوربیک | چروکیدگی | جذب مجدد آب |
|---|---|---|---|---|
| مدل | ۱/۰۳۵E+۰۰۵*** | ۶۸۹/۴۰*** | ۱۰۸۳/۷۲*** | ۶۶۸۰/۹۲*** |
| دما | ۳۰۵۸۴/۲۱*** | ۴۲۸/۱۸*** | ۲۸۴/۱۶*** | ۲۷۹۳۷/۷۳*** |
| توان | ۱/۰۵۵E+۰۰۵*** | ۶۶۴/۷۷*** | ۷۹۴/۲۲*** | ۴۳۳۹/۲۴*** |
| دما * توان | ۱/۲۷۱E+۰۰۵*** | ۷۸۴/۶۹*** | ۱۴۴۶/۷۴*** | ۳۷۵/۸۷*** |
| خطای خالص | ۱۱۴/۱۷ | ۳/۷۷ | ۷/۲۹ | ۱۹/۸۵ |

**جدول ۳- معادله نهایی نحوه تغییرات ویژگیهای کیفی و تغذیهای برگه‌های کیوی برحسب متغیرهای دمای آون و توان ماکروویو (به صورت کد شده)**

| |
|---|
| $Y_{Antioxidant}$= 09/14A1+35/76A2-23/19 A3+3069B1+49/127B2 - 83/8B3+47/545A1B1- 88/231A2B1- آنتی اکسیدان57/168A3B1- 77/237A1B2+54/209A2B2+62/22A3B2- 34/126A1B3-64/3A2B3+03/68A3B3+62/316 |
| Y Vit C = 68/3A1+84/7A2+84/7A3+42/5B1+99/8B2 – 01/3B3+22/41A1B1- 2/17A2B1- 73/11A3B1- اسید اسکوربیک46/13A1B2+32/18A2B2+62/22A3B2-70/2A3B2-10/7A1B3- 53/2A2B3+31/4A3B3+ 38/28 |
| $Y_{Shrinkage}$ =48/6A1-64/7A2-09/1A3-67/4B1-65/10B2 + 90/2B3+59/30A1B1+ چروکیدگی 588/20A2B1+ 27/19A3B1+ 27/26A1B2 –60/17A2B2- 97/3A3B2-20/15A1B3- 71/A2B3 - 12/7A3B3+ 48/57 |
| $Y_{Water\ Rehydration\ Raito}$ =-58/86A1+31/45A2+83/26A3- جذب مجدد آب 91/29B1+08/24B2 + 16/11B3-47/27A1B1+ 31/13A2B1+ 14/12A3B1+ 38/15A1B2 - 58/8A2B2- 58/4A3B2-74/13A1B3-23/5A2B3 74/6-A3B3+ 96/143 |

متغیرهای A1، A2، A3 به ترتیب نشان‌دهنده‌ی دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ (درجه سانتی‌گراد) در روش خشک کردن با آون است و متغیرهای B3, B2, B1 به ترتیب نشان‌دهنده‌ی توان مایکروویو ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ (وات) در روش خشک کردن با مایکروویو است.

## ۶ـ نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی کاربرد تلفیقی آون و مایکروویو در خشک کردن اسلایس‌های کیوی به طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد: در خشک کردن اسلایس‌های کیوی با هوای داغ به دلیل کند بودن سرعت تبخیر در این روش، مدت زمان زیادی طول کشید تا رطوبت به طور کامل از محصول جدا شود که این خود باعث افت پارامترهای کیفی محصول نهایی می‌شود. در خشک کردن اسلایس‌های کیوی با مایکروویو به دلیل سریع بودن سرعت تبخیر، آب ماده‌ی غذایی سریعتر تبخیر شد اما باعث ایجاد تغییرات نامطلوبی از قبیل چروکیدگی به ویژه در شدت بالا شد. استفاده از فرایند خشک کردن تلفیقی موجب افزایش کیفیت محصول نهایی می‌شود. به طوری که بیشترین آنتی اکسیدان، ویتامین C، جذب مجدد آب و کمترین چروکیدگی در نمونه‌های خشک شده به روش تلفیقی مشاهده شد. تیمار بهینه‌ی پیش بینی شده توسط نرم افزار Design Expert ترکیب $^{\circ}C$ ۴۰ و W ۹۰، با حد مطلوبیت ۰/۸۲۷ بود.

## منابع


- Izadi, M. 2016. Future of the food industry in the exploitation of nanotechnology. Journal of Behkam (in Farsi).12: 11-18
- Tortoe, C. 2010. A review of osmodehydration for food industry. African Journal of Food Science. 4(6): 303-324.
- Soleimani, J., Emamjome, Z., Gasemzadeh, H. 2008. Pre-treatment of hot-air dried carrots by osmotic dehydration. Journal of Research and development in agriculture and horticulture (in Farsi).78:102-109
- Naikwadi, P.M., U.D. Chavan, V.D. Pawar, and R. Amarowicz. 2010. Studies on dehydration of figs using different sugar syrup treatments. Journal of Food Science and Technology. 47(4): 442–445.
- Benlloch-Tinoco, M., M. Igual, D. Rodrigo, N. Martinez-navarrete. 2013. Comparison of microwaves and conventional thermal treatment on enzymes activity and antioxidant capacity of kiwifruit puree. Innovative Food Science and Emerging Technology. 19: 166-172.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. International. Fruits and Fruits Products. Washington, USA. 829-830.
- Motevali, A., A. Abbaszadeh, S. Minaei, M.H. Khoshtaghaza, and B. Ghobadian. 2012. Effective moisture diffusivity, activation energy and energy consumption in thin-layer drying of Jujube (Zizyphus jujube Mill). Journal of Agricultural Science and Technology. 14(3): 523-532.
- Falahi, E., Giasvand, A., Ebrahimzade, F., Khalkhalirad, A H. 2013. Study of vitamin C, organic acids, volatile and fragrant apple fruits, Lebanese yellow and red cultivars in Lorestan province, Journal of Lorestan University of Medical Sciences (in Farsi). 2:2-14
- Lewicki, P.P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. Journal of Food Engineering. 36: 81–87.
- Sjoholm, I. and V. Gekas. 1995. Apple Shrinkage upon drying. Journal of Food Engineering. 25:123-130.
- Doymaz, I., N. Tugrul, M. Pala. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. Journal of Food Engineering. 3: 559-565.
- Kashaninejad, M., M. Mortazavi, M. Safekordi, and L.G. Tabil. 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. Journal of Food Engineering. 78: 98-108.
- Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Engineering. 61: 359-364.
- Özbek, B., and Dadali, G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. Journal of Food Engineering. 4: 541–549.
- Moyls, A.L. 1981. Drying of apple puree. Journal of Food Science. 46: 939-942.
- Prabhanjan, D.G., H.S. Ramaswamy, G.S.V. Raghavan. 1995. Microwave assisted convective air drying of thin layer carrots. Journal of Food Engineering. 25:283-293.
- Karathanos, V.T and V.G. Belessiotis. 1997. Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. Journal of Food Engineering. 31: 35-46.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering. 44: 71-78.
- Khalilian, S.,Shahidi, F., Mohebbi, M. 2013. Determination of carrot paste drying behavior and its effective penetration coefficients during drying with hot air dryer. The 21st National

Congress of Food Science and Technology of Iran. 7th-9th October. Shiraz. University of Shiraz.
- Ahmadi Rad. M., Emamjome, Z., Asadi, H. 2016. Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of cornelian pherry juice powder. Journal of Food Science and Technology (in Farsi). No. 50, Vol. 13:67-78
- Lima, G.P.P., T.D.V.C. Lopes, M.R.M. Rossetto and F. Vianello, 2009. Nutritional composition, phenolic compounds, nitrate content in eatable vegetables obtained by conventional and certified organic grown culture subject to thermal treatment. International Journal of Food Science and Technology. 44: 1118-1124.
- Gamboa-Santos, J., R. Megías-Pérez and A. Cristina Soria. 2014. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries. Food Chemistry. 1-27.
- Nori, M., Khashaninezad, M., Darayigarmekhani, A., Bolandi. M. 2012. Optimize the parsley drying process using the hot air-microwave mixing method. Journal of Food Processing and Storage (in Farsi). 2:103-122
- Alibas, I. 2007. Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters pumpkin slice. Journal of Food Science and Technology. 8: 1445-145.
- Mehryar, A., Sadegi, M., Razavi, J., Forgani, A. 2013. Quality indices of Estemeran cultivars date affected by various drying methods. Journal of Production and Processing of Crop and Gardening (In Farsi).16:305-312
- Zirjani, L., Tavakkolipor, H. 2010. Study of the production of banana leaflets by dry mixing of hot air and microwave. Iranian Journal of Food Science and Technology (in Farsi).1: 59-67
- Dehbore, R., Esmayili, M. 2009. The effect of the final drying process with microwave and hot air on the parameters of dried grapes drying. Iranian Journal of Food Science and Technology.2:108-122
- Soleimanifard, S. 2009. Modeling of pistachio (cv. Ohadi) sorption isotherms and optimization of its drying conditions. MSc. Thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran. (In Farsi).
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering. 48: 177-182.
- Khakbaz Heshmati, M. and Seifi Moghaddam, A. 2017. Application of intermittent microwave – convective hot air technique on quality and nutritional characteristics of dried kiwi slices. Journal of Food Industry Research (In Farsi). 1: 111-126.