

# بررسی خصوصیات کیفی و سینتیک خشک کردن کدو حلوایی به روش آبگیری اسمزی - مایکروویو

زهرا شریفیان<sup>1</sup>، سید حسین حسینی قابوس<sup>2\*</sup>

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

2- استادیار مرکز تحقیقات صنایع غذایی شرق گلستان، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

تاریخ پذیرش: 1395/11/18

تاریخ دریافت: 1395/08/11

## چکیده

کدو حلوایی یک محصول جالبی مهم با ارزش غذایی بسیار بالا می باشد. در این پژوهش تأثیر خشک کردن ترکیبی آبگیری اسمزی - مایکروویو برش های کدو حلوایی با ضخامت های 5 و 7 میلی متر، غلظت های محلول اسمز 45، 55 و 65 درصد ساکاروز و در زمان های 15، 30، 45، 60، 90، 120، 150، 180 دقیقه و توان های 100، 300 و 500 وات به عنوان خشک کن تکمیلی مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای فیزیکی شامل بافت، چروکیدگی و پارامترهای شیمیایی شامل خاکستر، رطوبت، بتاکاروتن، چربی، فیبر و ویتامین A مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای آبگیری اسمزی، مقاومت و سفتی بافت را کاهش داده اند. مقدار بتاکاروتن کدو حلوایی با ضخامت 0/5 و 0/7 سانتیمتر آبگیری شده در غلظت 55 درصد بین 2/6-3/5 درصد بود. از نظر نتایج آماری بین فیبر بین نمونه های خشک شده در توان 100 و 300 وات اختلاف معنی داری مشاهده نشد ولی با نمونه خشک شده در توان 500 وات اختلاف معنی دار داشتند. با توجه به نتایج حاصل از فرایند آبگیری اسمزی از حدود زمان 150 دقیقه به بعد روند کاهش در محتوای رطوبت، کاهش مواد جامد و افزایش در درصد حذف آب مشاهده نشد. لذا زمان 150 دقیقه به عنوان بهترین زمان انجام فرایند آبگیری اسمزی در نظر گرفته شد. برش های خشک شده با توان 500 وات نیز نسبت به سایر تیمارها کیفیت بالاتری داشت.

**واژه های کلیدی:** بتاکاروتن، خشک کردن، سینتیک، کدو حلوایی، مایکروویو

## 1- مقدمه

کدو حلوائی، با نام علمی Cucurbita pepo از خانواده Cucurbitaceae می باشد. ارزش غذایی کدو حلوائی بالا بوده و دارای 2 تا 10 میلی گرم در هر 100 گرم ویتامین C و 9-10 میلی گرم در هر 100 گرم ویتامین E می باشد (1-3). این محصول همچنین حاوی مقادیر بالایی از ویتامین B<sub>6</sub>، K، تیامین، ریبوفلاوین و مواد معدنی نظیر پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن و سلنیوم می باشد (1). این میوه به لحاظ دارا بودن بتاکاروتن و خواص آنتی اکسیدانی، می تواند خطر ابتلا به سرطان و بیماری های قلبی را کاهش می دهد. این ویژگی های تغذیه ای سبب شده هر اقدامی که منتهی به تولید فرآورده های جذاب و مفید از آن شود توصیه می گردد. خشک کردن مواد غذایی و مشخصاً میوه ها و سبزیجات از زمان های بسیار دور به عنوان راهی جهت افزایش عمر ماندگاری آن ها معمول بوده و امروزه نیز به عنوان یکی از فرایندهای مهم در صنایع غذایی مطرح می باشد. در خشک کردن محصولات غذایی با روش های مختلف مشکلات خاصی مانند چروکیدگی قابل توجه پس از آبگیری، هیدراسیون مجدد محصولات خشک شده و تغییرات نامطلوب در رنگ، بافت و طعم و ارزش غذایی ممکن است رخ دهد. از این رو استفاده از پیش فرایند آبگیری اسمزی تأثیر مثبت بر حفظ رنگ، بافت و خصوصیات کیفی ماده خشک شده دارد (4, 5). دویماز (2007) ویژگی های کدو حلوائی خشک شده درون خشک کن هوای داغ در دماهای 50، 55 و 60°C، سرعت ثابت 1m/s و رطوبت نسبی 25-15% بررسی و گزارش نمود که مرحله ثابت خشک کردن در این فرآیند مشاهده نشده و تمام فرایند خشک کردن در مرحله نزولی خشک کردن اتفاق می افتد. این موضوع نشان می دهد که انتشار، مکانیسم فیزیکی پایای حاکم در به حرکت در آوردن رطوبت نمونه های کدو حلوائی است. رطوبت انتقالی از تکه های کدو حلوائی با استفاده از مدل انتشار فیک<sup>1</sup> توصیف شد و زمان خشک کردن تکه های کدو حلوائی تا رسیدن به رطوبت 10% در دماهای 50، 55 و 60°C به ترتیب 12/5، 6/5 و 4/5 ساعت طول کشید (6).

فرایند آبگیری اسمزی به دلیل حفظ پایداری، ایجاد کیفیت بالا، اصلاح خصوصیات کاربردی و کاهش مصرف انرژی، علاقه محققین را در طی سال های اخیر، بیش از پیش به خود جلب کرده است. در این فرایند با قرار دادن مواد غذایی مانند میوه یا سبزی به صورت قطعه قطعه شده یا کامل در یک محلول اسمزی، دیواره طبیعی سلول های ماده غذایی به عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل کرده و به علت وجود اختلاف غلظت بین محلول اسمزی (که دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتری است) و مایعات داخلی سلولی، نیروی محرکه لازم برای خروج آب از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی ایجاد می شود (7). در این فرایند بدون اینکه ماده غذایی تغییر فاز پیدا کند، آب از ماده غذایی خارج می شود. در خشک کردن اسمزی، از دماهای پایین (کمتر از 50-45 درجه سانتی گراد) استفاده می شود (8,9). از روش هایی که طی دهه اخیر توجه زیادی به آن مبذول شده، خشک کردن با استفاده از اشعه مایکروویو است. پرتوهای مایکروویو از دسته پرتوهای الکترومغناطیسی با طول موج بلند (فرکانس 2450 مگاهرتز) می باشند. در هنگام عبور این امواج از بافت ماده غذایی، مولکول های قطبی نظیر آب و نمک ها به ارتعاش در آمده و همین ارتعاش موجب تبدیل انرژی مایکروویو به حرارت می شود. قابل توجه اینکه بر خلاف روش های دیگر خشک کردن که در آن ها گرما باید از سطح به عمق نفوذ کند، در این روش گرما در خود بافت ماده غذایی تولید شده و از آسیب دیدن و سوختن قسمت های سطحی ماده غذایی جلوگیری می شود (10-12). به طور کلی فواید استفاده از انرژی مایکروویو در خشک کردن سبزیجات و میوه جات عبارت اند از کاهش زمان خشک کردن و افزایش کارایی فرایند خشک کردن، کاهش خشک شدن بیش از حد سطوح خارجی و حرارت دادن همگن تر، ایجاد فرآورده متخلخل و بهبود یا افزایش آبگیری مجدد، کاهش چروکیدگی و کاهش مصرف انرژی (13). بررسی منابع حاکی از این است مطالعه ای در خصوص بررسی سینتیک خشک شدن، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بافتی کدو حلوائی خشک شده به روش آبگیری اسمزی - مایکروویو انجام نشده است. لذا در این پژوهش سینتیک خشک شدن و ویژگی های کدو حلوائی

$$SG = \frac{S - S_0}{m_0} * 100$$

که در آن:

SG: درصد جذب مواد جامد

S: وزن ماده خشک در زمان t بر حسب گرم

S<sub>0</sub>: وزن ماده خشک اولیه بر حسب گرم

## 2-5- آبیگری اسمزی

پس از تهیه محلول‌های اسمزی هر یک از قطعات کدوخلوایی را به طور مجزا در دمایی 27 درجه سانتی‌گراد با استفاده از حمام آبگرم و در غلظت‌ها مورد نظر در فواصل زمانی بین 15، 30، 45، 60، 90، 120، 150، 180 دقیقه قرار داده شد. سپس نمونه‌ها را از محلول هایپرتونیک خارج نموده و پس از شستشوی سطحی و خشک کردن سطح آن توزین شد. سپس بریکس و رطوبت نهایی آبیگری اسمزی نیز محاسبه و ثبت شد. بر اساس اختلاف در توزین‌ها و با کمک روابط موازنه جرم، مقدار از دست دادن آب، مقدار جذب مواد جامد و کاهش وزن، پارامترهای سینتیکی و ضریب نفوذ آب به صورت تابعی از غلظت و درجه حرارت محلول اسمزی محاسبه شد.

## 2-6- خشک کردن با مایکروویو

در این مرحله برش‌های کدوخلوایی در دو اندازه به دست آمده از محصول مرحله آبیگری اسمزی را جهت خشک کردن نهایی در دستگاه مایکروویو با توان‌های 100، 300 و 500 وات، تا رطوبت نهایی وزن خشک کدوخلوایی استفاده شد. برای هر تیمار منحنی شدت خشک کردن و تغییرات رطوبت در برابر زمان رسم شد.

## 2-7- بررسی خصوصیات کیفی

خصوصیات کیفی نمونه‌های خشک‌شده نهایی از جمله رنگ با روش پردازش تصویر، اندازه‌گیری بافت کدوخلوایی تازه و خشک‌شده با استفاده از دستگاه Texture analyzer، تعیین چروکیدگی، تعیین ظرفیت نگهداری آب، دانسیته و تخلخل انجام شد.

خشک شده به روش آبیگری اسمزی - مایکروویو بررسی و نتایج به دست آمده با یکدیگر مقایسه شده است.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- آماده سازی نمونه‌ها

کدوخلوایی مورد استفاده در این پژوهش از گونه C. Moschata به صورت تازه از منطقه‌ی گلستان تهیه گردید. کدوخلوایی سالم و تازه پس از انتقال به آزمایشگاه شست و شو داده شده، خشک گردیده و پس از پوست گیری با چاقو توسط دستگاه اسلایسر به برش‌هایی با ضخامت‌های در دامنه 5 و 7 میلی‌متر و قطر 20 میلی‌متر تبدیل گردیدند. برش‌ها تا زمان شروع آزمایش‌ها در داخل یخچال نگه‌داری شدند.

### 2-2- آماده سازی محلول هایپرتونیک

محلول‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل محلول قندی (ساکاروز) می‌باشد که شکر مورد نیاز به صورت بسته‌بندی‌های 900 گرمی از بازار تهیه گردیدند. محلول‌های هایپرتونیک (اسمزی) بکار رفته در آزمایشات انجام‌شده با انحلال شکر در آب مقطر با دامنه غلظت 45 تا 65 (درصد وزنی وزنی) می‌باشند که به نسبت 1 به 10 جهت انجام آزمایشات تهیه شد.

### 2-3- اندازه گیری رطوبت

برش‌های بریده شده با ضخامت‌های در دامنه 5 و 7 میلی‌متر و قطر 20 میلی‌متر هر یک پس از حذف رطوبت سطحی با ترازوی دقیق و دقت 0/01 گرم توزین شده و در آون (ممرت ULM400، آلمان) با دمای 2±103 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. سپس مقدار رطوبت بر مبنای مرطوب محاسبه شد (14).

### 2-4- اندازه گیری مواد جامد محلول

درصد جذب مواد جامد محلول به روش تعیین شکست نوری توسط رفرآکتومتر ساخت شرکت کارلزلس کشور آلمان اندازه‌گیری شد. درصد جذب مواد جامد برش‌ها نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

## 8-2- اندازه گیری بافت

نمونه‌ها ابتدا به مدت 15 دقیقه آبدگیری مجدد شده سپس بافت نمونه‌ها به وسیله اندازه گیری میزان تنش در بیشینه نیرو، ارزیابی شد که برای حصول آن از روش سوراخ کردن استفاده شد (15). برای انجام اندازه گیری‌ها از بافت سنج و Texture analyzer (Model H5ks) با پروب استوان‌های با قطر 4/6 میلی‌متر و سرعت ثابت 20 میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. سختی نمونه‌های کدوخلوایی توسط روش سوراخ کردن ارزیابی شد. میزان تنش بر حسب مگا پاسکال به دست آمد.

## 9-2- چروکیدگی

میزان چروکیدگی محصول بر اساس نسبت تغییرات نسبت حجم با اندازه گیری حجم اولیه و حجم نهایی نمونه‌ها پس از فرایند خشک شدن از رابطه زیر بدست آمد.

$$Sh = \frac{V_B - V_A}{V_B} * 100$$

که در آن:

Sh: درصد چروکیدگی

$V_A$ : حجم بعد از خشک کردن بر حسب  $(Cm^3)$

$V_B$ : حجم قبل از خشک کردن بر حسب  $(Cm^3)$

## 10-2- تعیین ظرفیت نگهداری آب

مقدار 5 گرم نمونه خشک شده را در 100 میلی‌لیتر آب مقطر به مدت 150 دقیقه در دمای محیط غوطه‌ور شد. نمونه‌ها هر 30 دقیقه از آب خارج شدند، رطوبت سطحی آن با دستمال حوله‌ای گرفت شد و به طور منظم توزین شد. قابلیت جذب آب نمونه‌های خشک شده از رابطه زیر بدست می‌آید (16).

$$RR = \frac{m_{AR}}{m_{BR}}$$

که در آن:

RR: قابلیت جذب آب یا نسبت آبدگیری مجدد

$m_{AR}$ : وزن نمونه نهایی پس از جذب آب (gr)

$m_{BR}$ : وزن نمونه نهایی قبل از جذب آب (gr)

## 11-2- ویژگی‌های شیمیایی

خصوصیات شیمیایی نمونه‌های خشک شده کدوخلوایی چربی از قبیل خاکستر، رطوبت، فیبر، کربوهیدرات، بتاکاروتن و ویتامین A انجام شد.

## 12-2- خاکستر

1 گرم نمونه در بوته چینی‌هایی با وزن ثابت توزین شد. بعد از سوزاندن اولیه روی اجاق، به کوره (MF120، ترکیه) با دمای 550 درجه سانتی‌گراد منتقل شدند (16).

## 13-2- فیبر

1گرم از نمونه خشک شده بدون چربی را به بشر 600 میلی‌لیتری ریخته و سپس به آن اسید سولفوریک 1/25 درصد اضافه شده و مدت 30 دقیقه هضم انجام شد. و سپس توسط کاغذ صافی صاف کرده و شستشو با آب مقطر داغ برای حذف اسید انجام شد. سپس جوشاندن مواد صاف نشده با پتاس 1/25 درصد برای مدت 30 دقیقه و سپس آن را صاف و با استفاده از آب مقطر داغ برای حذف قلیا شستشو انجام شد. باقیمانده در آون 105 درجه سانتی‌گراد به مدتی یک شب خشک شد. فیبر خام پس از سوزاندن در کوره الکتریکی 600 درجه سانتی‌گراد به مدت 3 ساعت محاسبه شد (17).

## 14-2- اندازه گیری بتاکاروتن

مقدار بتاکاروتن به روش استاندارد و در جذب نوری با طول موج 452 nm بدست آمد (3). از اتر پترولیوم به عنوان شاهد استفاده شد (17).

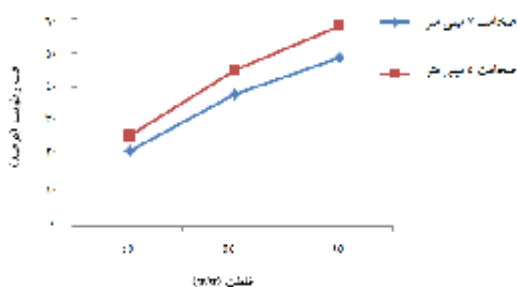
## 15-2- تجزیه و تحلیل آماری

کلیه آزمایش‌ها با سه تکرار بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. نتایج به دست آمده با استفاده از روش آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال  $(P < 0/05)$  صورت گرفت. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت و نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

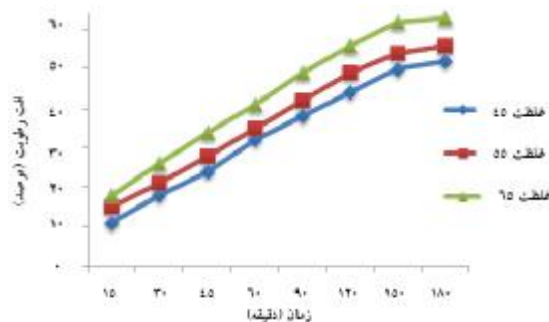
### 3- نتایج و بحث

تأثیر متغیرهای فرایند آبیگری اسمزی بر خصوصیات محصول آنالیز آماری نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده حاکی از این بود که تیمارهای مختلف آبیگری اسمزی ورقه‌های کدو حلوایی (دما و غلظت محلول اسمزی) پس از اتمام فرآیند تأثیر معنی‌داری بر درصد رطوبت و درصدهای جذب مواد جامد داشته است ( $P < 0/05$ ). همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود با بررسی اثر متقابل زمان و غلظت محلول اسمزی بر درصد حذف آب از دست داده شده طی فرایند بدون در نظر گرفتن ضخامت نمونه‌ها مقدار رطوبت در نمونه‌های کدو حلوایی کاهش و درصد حذف آب افزایش می‌یابد. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که سرعت خشک کردن در ابتدای فرآیند خشک کردن بالاست ولی با گذشت زمان به دلیل چروکیدگی بافت محصول، محتوای رطوبت و سرعت خشک کردن کاهش می‌یابد. همچنین زمان مورد نیاز برای کاهش یک مقدار معین در محتوای رطوبت، وابسته به شرایط عملیاتی و ضخامت برش‌های کدو حلوایی است. با توجه به نتایج به دست آمده زمان رسیدن به حالت ثابت، تقریباً از حدود زمان 150 دقیقه به بعد روند کاهش در محتوای رطوبت و افزایش درصد حذف آب مشاهده شد. لذا زمان 150 دقیقه به عنوان بهترین زمان انجام فرایند آبیگری اسمزی در نظر گرفته شد.

رطوبت باید فاصله بیشتری را برای خروج از سطح نمونه طی کند. در این صورت با گذشت زمان با کاهش رطوبت ماده غذایی، سرعت تبخیر آب نیز کاهش می‌یابد (18). با توجه به نتایج بدست آمده همان‌طور که در شکل 2-4 می‌توان مشاهده کرد تمامی نمونه‌ها با افزایش غلظت محلول اسمزی، به طور معنی‌داری آب بیشتری در طی فرایند آبیگری اسمزی از دست می‌دهند. با افزایش غلظت محلول اسمزی، فشار اسمزی و اختلاف غلظت بین برش‌های برش داده شده و محلول اسمز، افزایش می‌یابد و با این افزایش اختلاف، رطوبت راحت‌تر و با سرعت بیشتری از برش‌های کدو خارج می‌شود (19). همچنین شکل 2 اثر متقابل ضخامت ورقه‌ها و غلظت محلول اسمزی بر درصد حذف آب در فرایند آبیگری اسمزی را نشان می‌دهد. با کاهش میزان ضخامت برش‌های برش داده شده و با افزایش غلظت محلول اسمز درصد حذف آب بیشتر می‌شود، با کاهش ضخامت ورقه، سطح تماس ورقه کدو بیشتر می‌شود، بنابراین در انتقال رطوبت سهولت ایجاد شده و رطوبت با سرعت بیشتری از کدو خارج شده و در نتیجه حذف رطوبت با کاهش ضخامت ورقه‌ها، افزایش معنی‌داری پیدا کرد ( $P < 0/05$ ).



شکل 2- اثر متقابل ضخامت و غلظت محلول اسمزی بر درصد اافت رطوبت



شکل 1- تغییرات میزان رطوبت طی مدت زمان فرایند آبیگری اسمزی

شکل 3 اثر زمان خشک کردن برش‌های کدو حلوایی توسط مایکروویو بر تغییرات رطوبت نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش زمان اعمال امواج مایکروویو بر برش‌های کدو حلوایی پیش‌تیمار شده توسط محلول اسمزی، درصد کاهش رطوبت افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان اعمال مایکروویو از 80 تا 120 ثانیه، مقدار خروج آب از برش‌های کدو حلوایی افزایش می‌یابد. با افزایش توان مایکروویو از 100 به 500 وات، درصد رطوبت نمونه‌ها کاهش

عوامل تأثیرگذار بر تبخیر آب در این مرحله شامل؛ سطح ماده غذایی، اختلاف رطوبت بین هوا و سطح ماده غذایی، ضریب انتقال جرم و سرعت جریان هوا می‌باشد. با گذشت زمان و کاهش مقدار رطوبت، نمونه چروکیده و سطح آن سخت شده و انتقال گرما به قسمت‌های داخلی نمونه کند می‌شود. همچنین



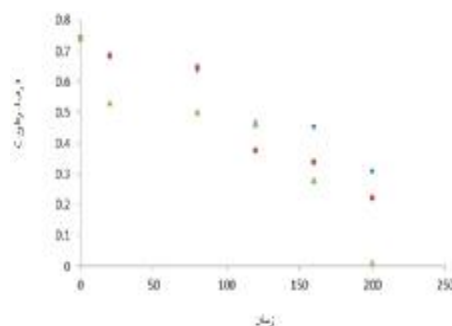
شکل 4- مقادیر رطوبت کدو حلوایی خشک شده توسط میکروویو در توان های 100، 300 و 500 وات

از لحاظ نتایج آماری اختلاف معنی داری بین نمونه‌های خشک شده در میکروویو با توان‌های 100، 300 و 500 وات مشاهده نشد. با توجه به شکل 4 میزان رطوبت کدو حلوایی با ضخامت 0/7 سانتی متر که در میکروویو تحت توان‌های 100، 300 و 500 وات خشک شدند بین 8/4-6/1% رسیده است که کمترین آن توان 500 وات و بیشترین آن در توان 100 وات می‌باشد. با توجه به شکل افزایش توان باعث از دست دادن میزان رطوبت بیشتری شد. از لحاظ آماری اختلاف معنی داری بین نمونه‌های خشک شده در میکروویو تحت در توان‌های 100، 300 و 500 وات مشاهده شد ( $P \leq 0.05$ ). از آنجایی که میزان رطوبت موجود در سبزیجات سبب فسادهای میکروبی و کاهش زمان ماندگاری آن‌ها می‌شود لذا کاهش میزان رطوبت در سبزیجات می‌تواند باعث کاهش بار میکروبی و افزایش مدت زمان ماندگاری آن‌ها شود. در این تحقیق نیز همان طور که در شکل 4 مشاهده می‌گردد میزان رطوبت نمونه کم شد. که موجب افزایش ماندگاری آن‌ها خواهد شد که نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج گوئینه و باروکا (2010) در زمینه خشک کردن کدو تنبل مطابقت داشت.

### 3-1- درصد جذب مواد جامد

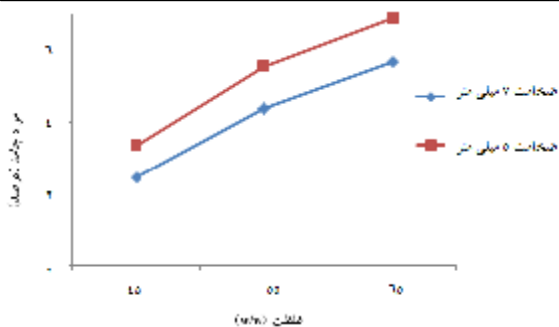
همان طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود با افزایش غلظت محلول اسمزی، درصد جذب مواد افزایش می‌یابد، این امر به این دلیل است که با افزایش غلظت محلول اسمزی گرادیان فشار اسمزی بین نمونه و محلول اسمزی که عامل نیروی محرکه جهت انتقال مواد است، افزایش می‌یابد. لذا این افزایش فشار

یافته است. نتایج نشان داد که با افزایش توان میکروویو از 100 به 500 وات، مقدار خروج آب از برش‌های کدو حلوایی درصد افزایش می‌یابد و در نهایت میزان رطوبت برش‌های کدو حلوایی کم شده است.



شکل 3- تغییرات رطوبت برای برش‌های کدو حلوایی خشک شده با توان‌های مختلف میکروویو

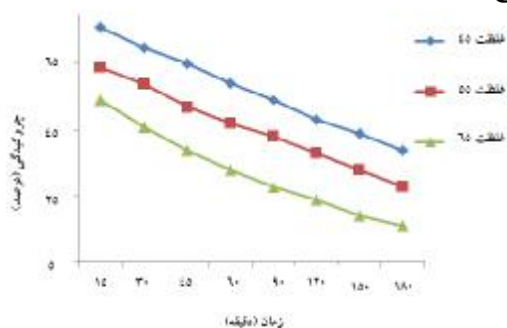
ازبک و دادلی ترکیبی لایه نازک کدو با هوای داغ و میکروویو، رطوبت 9/31 درصد با دمای خشک کن 50 درجه سلسیوس و 75 درجه سلسیوس و قدرت میکروویو 160 وات و 300 وات نشان داد در روش ترکیبی 300 وات و 50 درجه سلسیوس بهترین توان و دما برای حفظ بیشتر رنگ و حداقل رطوبت می‌تواند باشد. با پیشرفت فرآیند خشک کردن، از دست دادن رطوبت در این محصول باعث کاهش جذب قدرت میکروویو شده و منجر به سقوط در نرخ خشک شدن می‌کند. افزایش توان خروجی میکروویو منجر به کاهش قابل توجهی در زمان خشک شدن می‌شود. این نتایج با نتایج آلیاس (2007) مطابقت داشت. همانطوری که در شکل 4 ملاحظه می‌گردد میزان رطوبت کدو حلوایی با ضخامت 0/5 سانتیمتر که در اثر خشک شدن در میکروویو تحت در توان‌های 100، 300 و 500 وات بین 8-6/9% رسیده است که کمترین آن در توان 500 وات و بیشترین آن در توان 100 وات می‌باشد. که همانطور که ملاحظه می‌گردد افزایش توان منجر به از دست دادن میزان رطوبت بیشتری شد.



شکل 6- اثر متقابل ضخامت و غلظت محلول اسمزی بر میزان مواد جامد

### 3-2- چروکیدگی

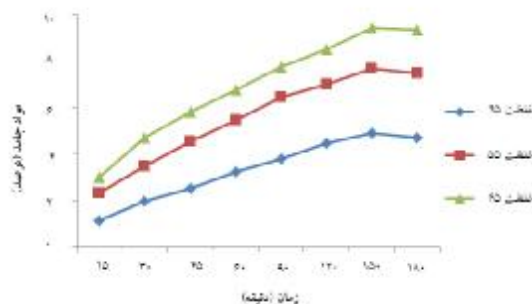
در شکل 7 تأثیر غلظت محلول اسمزی بر میزان چروکیدگی نشان داده شده است. بین میزان چروکیدگی بافت با شدت فرایند آبگیری اسمزی رابطه مستقیم وجود دارد. با افزایش جذب مواد جامد طی فرایند آبگیری اسمزی به دلیل افزایش مقاومت بافت به نفوذ قند، میزان چروکیدگی کاهش می‌یابد. در واقع مواد جامد در فضای میان بافتی نفوذ کرده و با پر کردن فضاهای خالی از ایجاد چروکیدگی تا حد زیادی جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر با افزایش غلظت، درصد جذب مواد افزایش و در نتیجه چروکیدگی کاهش یافت. استفاده از غلظت‌های بالاتر و زمان‌های طولانی تر آب‌گیری، باعث ایجاد یک لایه سخت کریستاله در سطح کدو می‌گردد. ایجاد این حالت طی خشک کردن باعث ایجاد پدیده سخت شدن سطح شده و لذا از چروکیدگی جلوگیری می‌شود. این نتایج با گزارش سایر محققین مطابقت دارد (20-22).



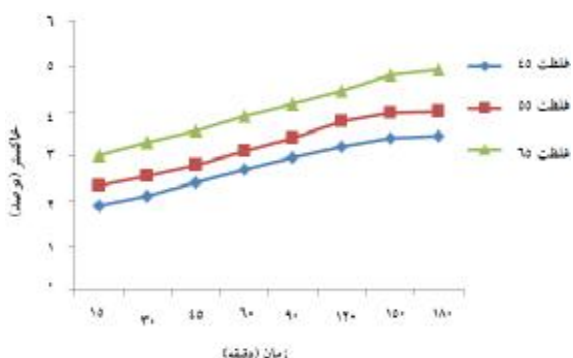
شکل 7- اثر غلظت محلول اسمزی بر میزان چروکیدگی

برش‌های کدو حلوایی در شرایط بهینه مرحله آبگیری اسمزی را طی کرده و به منظور خشک شدن تکمیلی در مایکروویو با توان‌های مختلف قرار گرفتند، توان‌های مایکروویو بر میزان چروکیدگی برش‌های کدو حلوایی تأثیر مختلفی داشتند،

اسمزی انتخاب پذیری سلول را کاهش می‌دهد. در نتیجه ماده غذایی با مواد جامد محلول بیشتری روبرو شده و میزان مواد جامد افزایش می‌یابد. و همچنین با توجه به نتایج بدست آمده از زمان 150 دقیقه به بعد جذب مواد جامد کاهش می‌یابد. در شکل 6 مشاهده می‌شود در ابتدای فرایند شدت انتقال جرم بیشتر است. نیروی محرکه در انتقال جرم در مورد رطوبت اختلاف فشار اسمزی و برای جذب مواد اختلاف غلظت است. بنابراین به مرور زمان که رطوبت از بافت کدو حلوایی به محلول اسمزی منتقل شده و هم زمان مقداری شکر وارد بافت کدو حلوایی می‌شود، تغییرات کمتری در مقدار حذف آب و جذب مواد جامد ایجاد می‌گردد. همچنین با مقایسه نمودارهای مربوط به حذف آب و جذب مواد جامد در شرایط یکسان مشاهده می‌شود در اوایل فرایند شیب منحنی و به تبع آن شدت حذف آب بیشتر از جذب مواد جامد است. همچنین براساس نتایج به دست آمده، کاربرد محلول اسمزی با غلظت بیشتر، منجر به افزایش مقدار حذف آب و جذب مواد جامد می‌شود. با بررسی اثر متقابل ضخامت ورقه‌ها و غلظت محلول اسمز بر درصد جذب مواد جامد، همانطور که انتظار می‌رفت با کاهش ضخامت ورقه‌ها به دلیل افزایش میزان سطح تماس با محلول اسمز، درصد جذب مواد جامد افزایش پیدا می‌کند. این تغییرات اثر معنی داری بر درصد جذب مواد جامد برش‌های کدو حلوایی داشت ( $p < 0/05$ ).

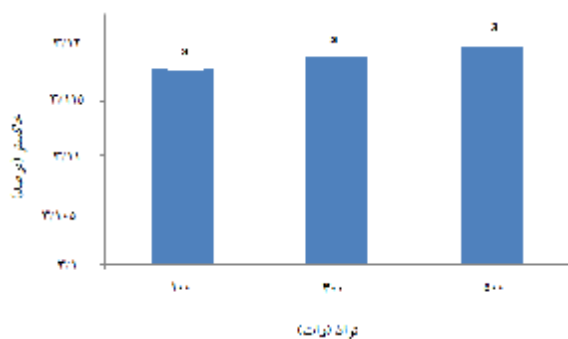


شکل 5- تغییرات مواد جامد طی مدت زمان فرایند آبگیری اسمزی



شکل ۸- اثر غلظت محلول اسمزی بر میزان خاکستر

و همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود تفاوت میان مقادیر خاکستر کدو حلوایی توسط توان‌های مختلف مایکروویو ناچیز می‌باشد و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۹- تغییرات خاکستر برش‌های کدو حلوایی خشک‌شده با توان‌های مختلف مایکروویو

از لحاظ نتایج آماری اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های خشک‌شده در توان‌های 100، 300 و 500 وات مشاهده شد ( $P \leq 0.05$ ). به طور کلی باقی‌مانده املاح در ماده غذایی را اصطلاحاً خاکستر می‌نامند که با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت افزایش توان منجر به کاهش خاکستر کدو حلوایی می‌شود.

#### 3-4- بافت

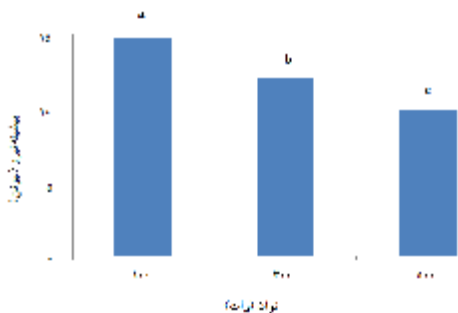
همان‌طور که در شکل 10 ملاحظه می‌گردد تیمارهای اسمزی، مقاومت و سفتی بافت را کاهش داده‌اند. نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققین که روی محصولات دیگر مانند سیب‌زمینی، هلو، توت‌فرنگی و کیوی مطالعه کرده‌اند مطابقت

کمترین چروکیدگی مربوط به کدو حلوایی خشک شده در توان 100 وات بود و با میزان 71/09 درصد چروکیدگی با اختلاف معنی‌داری نسبت به کدو حلوایی خشک شده در توان 300 و 500 وات، چروکیدگی کمتری از خود نشان داد. میزان چروکیدگی تیمارهای 300 و 500 وات به ترتیب با میزان چروکیدگی 77/25 و 79/41 درصد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P < 0/05$ ). به عبارتی با کاهش توان خشک کردن توسط مایکروویو، میزان چروکیدگی برش‌های کدو حلوایی کاهش می‌یابد. انرژی مایکروویو موجب چروکیدگی شدید محصول پایانی شد. چروکیدگی شدید سلولی بیانگر تأثیر مخرب انرژی مایکروویو بر روی دیواره سلول‌هاست. هنگام انجام آزمایش مشاهده شد که سلول‌ها حجیم می‌شوند اما توانایی حفظ حجم به وجود آمده را نداشته در نتیجه پس از اتمام پرتودهی با انرژی مایکروویو مجدداً به حالت اولیه در می‌آیند. در این حالت سلول‌ها حتی قدرت حفظ نظم اولیه خود را نداشته و آرایش آن‌ها کاملاً از دست می‌رود. کروکیدگی همکاران (1998) اثر مدت زمان پیش‌تیمار خشک کردن بر خصوصیات ساختاری قطعات سیب‌زمینی سرخ‌شده را مطالعه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که پیش‌تیمار خشک کردن، حجم ویژه اولیه قطعات سیب‌زمینی و نیز حجم ویژه محصول سرخ‌شده را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، پدیده چروکیدگی به وجود آمده طی پیش‌تیمار خشک کردن، جذب روغن طی سرخ کردن قطعات سیب‌زمینی را کاهش می‌دهد (23). از عوامل تأثیرگذار بر چروکیدگی می‌توان به حجم آب خارج شده، تحرک شبکه مواد جامد، شدت خشک کردن یا مدت زمان فرآیند، دما، سرعت و رطوبت نسبی هوا اشاره کرد. تفاوت اصلی روش‌های خشک کردن، تفاوت در دمای خشک کردن و مدت زمان فرآیند می‌باشد که این تفاوت‌ها باعث ایجاد اختلاف در چروکیدگی محصول می‌گردند (24).

#### 3-3- خاکستر

با توجه به شکل 8 در تمامی نمونه‌ها با افزایش غلظت محلول اسمزی طی زمان خشک کردن میزان خاکستر به طور معنی‌داری افزایش یافته است. که این امر به دلیل است که با افزایش غلظت محلول اسمزی، درصد جذب مواد جامد افزایش یافته است.



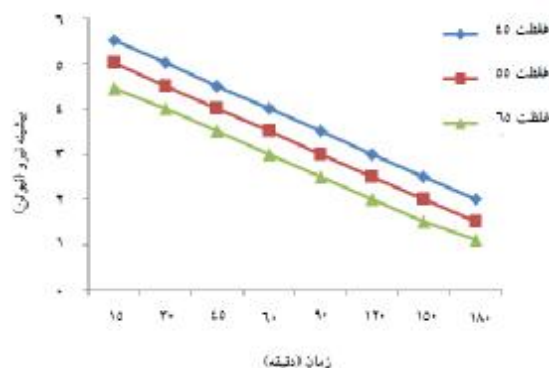


شکل 11- اثر بیشینه نیرو بر برش‌های کدوخلوایی خشک شده با توان‌های مختلف مایکروویو

دارد (4, 5, 9, 22, 25, 26). علت نرم شدن بافت نمونه‌های اسمز شده را می‌توان به اثر پلاستی سایزری (نرم‌کنندگی) مواد قندی محلول اسمزی به بافت میوه، نسبت داد و بنابراین، با افزایش غلظت مواد محلول، انتظار بر این است که جذب مواد جامد (SG) افزایش یافته و اثر نرم‌شدگی بافت، تشدید یابد. نرم‌کننده‌ها، مواد ریز مولکولی هستند که موجب افزایش تحرک زنجیرهای بیوپلیمری موجود در ساختار مواد غذایی شده و موجب کاهش سفتی مکانیکی و دمای انتقال شیشه‌ای می‌گردند.

### 3-5- بتاکاروتن

همانطور که در جدول (1) ملاحظه می‌گردد میزان بتاکاروتن کدوخلوایی با ضخامت 0/5 سانتیمتر در طی فرآیند خشک کردن توسط مایکروویو در توان‌های 100، 300 و 500 وات بین 1/9-1/6% می‌باشد که بیش‌ترین آن مربوط به توان 300 وات و کمترین آن مربوط به توان 100 وات می‌باشد. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه‌های خشک‌شده در توان‌های 100، 300 و 500 وات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به این جدول میزان بتاکاروتن کدوخلوایی با ضخامت 0/7 در طی فرآیند خشک کردن توسط مایکروویو در توان‌های 100، 300 و 500 وات بین 2/6-3/6% می‌باشد که بیش‌ترین آن مربوط به توان 500 وات و کمترین آن مربوط به توان 100 وات می‌باشد. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه‌های خشک‌شده در توان 100 و 300 وات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی با نمونه خشک‌شده در توان 500 وات اختلاف معنی‌دار داشتند ( $P \leq 0.05$ ).



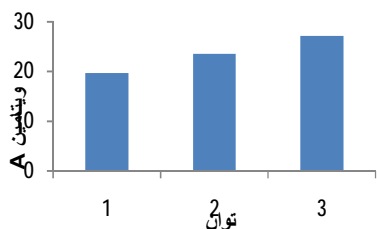
شکل 10- اثر غلظت محلول اسمزی بر بیشینه نیرو

بررسی رفتارهای بافتی در نمونه‌های مایکروویو شده در شکل 11 نشان داد ه‌شده است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش توان، بیشینه نیرو کاهش می‌یابد و زمانی که از مایکروویو با توان 500 استفاده می‌شود نمونه به دلیل فشار بخار زیادی که در آن ایجاد خواهد شد باد می‌کند و پس از چند ثانیه به حالت اول بر می‌گردد، در بازگشت به حالت اول، به دلیل تخریب زیاد دیواره سلولی نمی‌تواند خود را حفظ کند و مجدداً منافذ مسدود و بافت سفت تر خواهد شد.

جدول 1- نتایج آنالیز آماری میزان بتاکاروتن کدوخلوایی

توان 500 وات	توان 300 وات	توان 100 وات	ضخامت برش‌ها
1/73333±0/15275 <sup>a</sup>	1/9333±0/15275 <sup>a</sup>	1/3336±0/15275 <sup>a</sup>	ضخامت 0/5
3/6±0/1 <sup>a</sup>	2/6667±0/15275 <sup>a</sup>	2/6±0/1 <sup>a</sup>	ضخامت 0/7

است. همچنین میزان ویتامین A در توان‌های بالای مایکروویو افزایش می‌یابد. چرا که در توان‌های بالا، با وجود شدت حرارتی زیاد مدت زمان کوتاه‌تری برای خشک کردن نیاز دارند. در نتیجه انرژی کمتری به داخل کدوخلوایی نفوذ کرده و بیشتر سطح تحت تأثیر فرار می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که در توان‌های بالای مایکروویو ویتامین A کمتری تجزیه شده است.

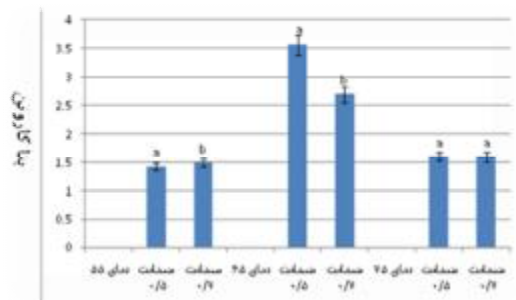


شکل 13- مقادیر ویتامین A کدوخلوایی خشک‌شده توسط مایکروویو در توان‌های 100، 300 و 500 وات

### 3-7- فیبر

همان طور که در شکل 14 ملاحظه می‌گردد میزان فیبر کدوخلوایی با ضخامت 0/5 سانتیمتر که تحت توان‌های 100، 300 و 500 وات خشک شدند بین 6/06-4/5% بود که کمترین آن مربوط به توان 500 وات و بیش‌ترین آن مربوط به توان 100 وات بود. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه‌های خشک‌شده در توان‌های 100، 300 و 500 وات اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ( $P \leq 0.05$ ). با توجه به شکل 4-21 میزان فیبر کدوخلوایی با ضخامت 0/7 سانتیمتر که تحت توان‌های 100، 300 و 500 وات خشک شدند بین 6-5/2% بود که کمترین آن مربوط به توان 500 وات و بیش‌ترین آن مربوط به توان 100 وات بود. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه‌های خشک شده در توان 100 و 300 وات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی با نمونه خشک‌شده در توان 500 وات اختلاف معنی‌دار داشتند ( $P \leq 0.05$ ). به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده افزایش توان منجر به کاهش فیبر در ماده غذایی شد که نتایج به دست آمده با نتایج پینهو و همکاران در سال 2007 در زمینه خشک کردن کدوتنبل ماکسیما به روش خشک کن همرفتی مطابقت نداشت. آن‌ها در تحقیقاتشان اختلاف معنی‌داری در مقدار فیبر کدوتنبل خشک‌شده در دماهای مختلف مشاهده نکردند

همان طور که در شکل 12 ملاحظه می‌گردد مقدار بتاکاروتن کدوخلوایی با ضخامت 0/5 و 0/7 سانتیمتر خشک شده در غلظت 45 بین 1/48-1/42% می‌باشد که کمترین آن مربوط به ضخامت 0/5 سانتیمتر و بیش‌ترین آن مربوط به ضخامت 0/7 سانتیمتر می‌باشد. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه‌های آبدگیری اسمزی با ضخامت 0/5 و 0/7 سانتیمتر غلظت 45 اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ( $P \leq 0.05$ ).

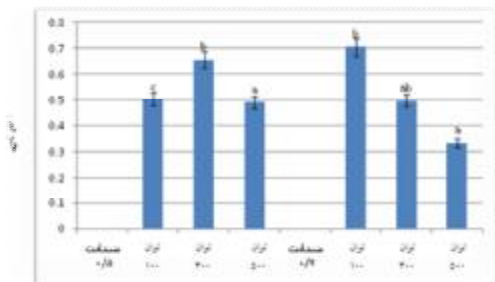


شکل 12- مقایسه مقدار بتاکاروتن کدوخلوایی خشک‌شده توسط آبدگیری اسمزی در غلظت‌های 45، 55 و 65

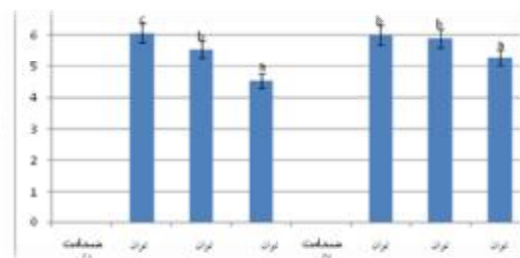
با توجه به این شکل، مقدار بتاکاروتن کدوخلوایی با ضخامت 0/5 و 0/7 سانتیمتر خشک‌شده در غلظت 55 بین 2/6-3/5% می‌باشد که کمترین آن مربوط به ضخامت 0/7 سانتیمتر و بیش‌ترین آن مربوط به ضخامت 0/5 سانتیمتر می‌باشد. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه‌های آبدگیری اسمزی با ضخامت 0/5 و 0/7 سانتیمتر غلظت 55 اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ( $P \leq 0.05$ ). مقدار بتاکاروتن کدوخلوایی با ضخامت 0/5 و 0/7 سانتیمتر خشک‌شده در غلظت 65 اسمز بین 1/6-1/5% می‌باشد که کمترین آن مربوط به ضخامت 0/7 سانتیمتر و بیش‌ترین آن مربوط به ضخامت 0/5 سانتیمتر می‌باشد. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه‌های آبدگیری اسمزی با ضخامت 0/5 و 0/7 سانتیمتر در غلظت 65 اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

### 3-6- ویتامین A

همانطور که در شکل 13 مشاهده می‌شود با افزایش زمان میزان ویتامین A در کدوخلوایی کاهش می‌یابد. و بین غلظت‌های مختلف استفاده شده هیچ‌گونه تغییر معنی‌داری مشاهده نشده



شکل 15- مقادیر چربی کدوخلوایی خشک شده توسط مایکروویو در توان های 100، 300 و 500 وات



شکل 14- مقادیر فیبر کدوخلوایی خشک شده توسط آون در توان های 100، 300 و 500 وات در مایکروویو

### 3-8- چربی

میزان چربی کدوخلوایی با ضخامت 0/5 سانتیمتر که تحت توان های 100، 300 و 500 وات خشک شدند بین 0/4-0/6% بود که کمترین آن مربوط به توان 500 وات و بیشترین آن مربوط به توان 300 وات بود (شکل 15). از لحاظ نتایج آماری بین نمونه های خشک شده در توان های 100، 300 و 500 وات اختلاف معنی دار مشاهده گردید ( $P \leq 0.05$ ). چربی نمونه با ضخامت 0/7 سانتیمتر که تحت توان های 100، 300 و 500 وات خشک شده بین 0/3-0/7% بود که کمترین آن مربوط به توان 500 وات و بیشترین آن مربوط به توان 100 وات بود. از لحاظ نتایج آماری بین نمونه های خشک شده در توان های 100، 300 و 500 وات اختلاف معنی دار مشاهده گردید ( $P \leq 0.05$ ). افزایش توان منجر به اکسیداسیون چربی شده در نتیجه مقدار آن کاهش می یابد که این امر در نتایج موجود مشاهده می شود. کدوخلوایی منبع خوبی از کاروتن، ویتامین های محلول در آب و چربی و اسیدهای آمینه است که معمولاً بین 7-10% کل مواد جامد آن می باشد که موجب نقش مهم کدوخلوایی در سلامتی انسان گردیده است. طیف وسیعی از مواد لیپوفیلیک (چربی دوست) چون کاروتنوئیدهای موجود در انواع کدوخلوایی می تواند به طور قابل توجهی به دریافت پیش ساز ویتامین A و مخصوصاً لوتتین، یک کاروتنوئیدی با وظایف فیزیولوژیکی خاص، کمک نماید. لذا با افزایش درصد چربی، مقدار بتاکاروتن موجود در محصول نهایی افزایش می یابد.

### 4- نتیجه گیری

تحقیق حاضر با هدف رسیدن به پودر کدوخلوایی با ویژگی های حسی (رنگ و طعم) مطلوب، بدست آوردن و تعیین شرایط بهینه خشک کردن ترکیبی (آبگیری اسمزی و مایکروویو) برش های کدوخلوایی انجام گرفت. به طور کلی طی آبگیری اسمزی افزایش غلظت محلول اسمزی منجر به تشدید انتقال رطوبت و ماده حل شده می گردد. با گذشت زمان درصد حذف آب و جذب مواد جامد افزایش پیدا می کند. این افزایش تا رسیدن به مقادیر تعادلی آب و جذب مواد جامد ادامه می یابد. همچنین با افزایش غلظت در دما و نسبت وزنی ثابت، درصد حذف آب و جذب مواد جامد افزایش می یابد. مقدار چربی کدوخلوایی با ضخامت 0/5 سانتیمتر که تحت توان های 100، 300 و 500 وات خشک شدند بین 0/4-0/6% بود که کمترین آن مربوط به توان 500 وات و بیشترین آن مربوط به توان 300 وات بود. با استفاده از نمونه های اسمز شده از توان های مختلف 100 و 300 و 500 وات به منظور خشک کردن نهایی استفاده گردید و با توجه به ارزیابی کیفی محصول خشک شده از قبیل میزان چروکیدگی، رنگ، بتاکاروتن و ... محصول مشخص گردید، برش های کدوخلوایی با توان 500 وات، محصولی با کیفیت بهتر تولید می شود. بنابراین خشک کردن توسط مایکروویو به لحاظ کاهش زمان خشک کردن، کاهش فضای مورد نیاز جهت خشک کردن میوه و افزایش کیفیت محصول نهایی می تواند گزینه مناسبی جهت خشک کردن مواد غذایی از جمله برش های کدوخلوایی باشد.

13. Zarein, M., Samadi, S. H., Ghobadian, B. 2015. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14, 41-47.

14. Salehi, F., Kashaninejad, M., Akbari, E., Sobhani, S. M., Asadi, F. 2016. Potential of Sponge Cake Making using Infrared-Hot Air Dried Carrot, *Journal of texture studies*, 47, 34-39.

15. Salehi, F., Kashaninejad, M. 2014. Effect of Different Drying Methods on Rheological and Textural Properties of Balangu Seed Gum, *Drying Technology*, 32, 720-727.

16. Hosseini, Z. 2006. *Common Methods in Food Analysis*, Shiraz University Pub,

17. AOAC. 2010. *Official methods of analysis*, 16th edition. , Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

18. Akpinar, E. K., Bicer, Y. 2005. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers, *International Journal of Food Science & Technology*, 40, 273-281.

19. Garcia, C. C., Mauro, M. A., Kimura, M. 2007. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*), *Journal of Food Engineering*, 82, 284-291.

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

21. Lozano, J., Rotstein, E., Urbicain, M. 1983. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents, *Journal of Food Science*, 48, 1497-1502.

22. Koç, B., Eren, İ., Kaymak Ertekin, F. 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method, *Journal of Food Engineering*, 85, 340-349.

23. Krokida, M. K., Tsami, E., Maroulis, Z. B. 1998. Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables, *Drying Technology*, 16, 667-685.

24. Henderson, S. 1952. A basic concept of equilibrium moisture, *Agricultural Engineering*, 33, 29-32.

25. Sahari, M., Souti, M., Emam-Jomeh, Z. 2006. Improving the dehydration of dried peach by osmotic method, *Journal of Food Technology*, 4, 189-193.

26. Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. 2015. Apricot Osmotic Drying Modeling Using Genetic Algorithm - Artificial Neural Network, *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 7, 65-76.

## منابع-5

1. Ashwini Sopan, B., Vasantrao, D. N., Ajit, S. B. 2014. Total phenolic content and antioxidant potential of cucurbita maxima (pumpkin) powder, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5, 1903-1907.

2. Bhat, M. A., Bhat, A. 2013. Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake, *Journal of Food Processing & Technology*, 4, 4-9.

3. Hosseini Ghaboos, S. H., Seyedain Ardabili, S. M., Kashaninejad, M., Asadi, G., Aalami, M. 2016. Combined infrared-vacuum drying of pumpkin slices, *Journal of food science and technology*, 53, 2380-2388.

4. Ebrahim, R. M., Kashaninezhad, M., Mirzaei, H. E., Khomeiri, M. 2009. Effect of temperature, osmotic solution concentration and mass ratio on kinetics of osmotic dehydration of button mushroom (*Agaricus bisporus*), *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16.5.

5. Germer, S. P. M., Queiroz, M. R., Aguirre, J. M., Berbari, S. A. G., Anjos, V. D. 2010. Process variables in the osmotic dehydration of sliced peaches, *Food Science and Technology (Campinas)*, 30, 940-948.

6. Doymaz, I. 2007. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices, *Journal of Food Engineering*, 79, 243-248.

7. Topping, E., Esveld, E., Scheewe, I., van den Berg, R., Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms, *Journal of Food Engineering*, 49, 185-191.

8. Sereno, A., Moreira, R., Martinez, E. 2001. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt, *Journal of Food Engineering*, 47, 43-49.

9. Souti Khiabani, M., Sahari, M., Emam-Djomeh, Z. 2003. Improving the dehydration of dried peach by applying osmotic method, *Iranian Journal of Agricultural Science*, 34, 283-291.

10. Datta, A., Ni, H. 2002. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture, *Journal of Food Engineering*, 51, 355-364.

11. Díaz, G. R. z., Martínez-Monzó, J., Fito, P., Chiralt, A. 2003. Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4, 203-209.

12. Giri, S., Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms, *Journal of Food Engineering*, 78, 512-521.