

پایش سینتیک خشک کردن لایه نازک ریواس طی فرایند آبیگری فراصوت-اسمز

سهیل بشری^{۱*}، حمید توکلی پور^۲، محسن مختاریان^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۳. مربی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۲/۲۳)

چکیده

در این پژوهش تأثیر پیش فرایند اسمز-فراصوت در شرایط گوناگون روی پارامترهای سینتیک خشک کردن ریواس بررسی شد. قبل از فرایند خشک کردن، نمونه‌های ریواس در معرض پیش تیمار فراصوت-اسمز قرار گرفتند و سپس توسط آون جابه جایی هوای داغ مجهز به فن گردش هوا خشک شدند. نتایج نشان داد که به کارگیری روش پیش فرایند اسمز با محلول ساکارز ۴۰ درصد و زمان فراصوت ۳۰ دقیقه توانست روند خشک کردن را به بیشینه مقدار خود برساند. پس از بهینه سازی و تعیین بهترین پیش تیمار، رفتار خشک کردن ریواس در شرایط بهینه توسط ۱۰ مدل تجربی شامل سهمی وار، میلی و کوکوک، سیلوا و اِلی، پلگ، و غیره برآزش شد. نتایج مدل سازی نشان داد که مدل میلی و کوکوک به دلیل بالاترین R^2 و کمترین χ^2 و RMSE به عنوان بهترین مدل برای پیش بینی منحنی خشک کردن ریواس انتخاب شدند. مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب ۰/۹۹۵۷، ۰/۰۰۳۲، و ۰/۰۲۵۶ تعیین شد.

کلیدواژگان: آبیگری اسمزی، امواج فراصوت، خشک کردن، ریواس.

مقدمه

ریواس با نام علمی ریحوم ریباس (*Rheum ribes*) از تیره هفت‌بندان^۱ و دارای فیبر، ویتامین، پروتئین، کلسیم، سدیم، پتاسیم، آهن، و مقادیر شایان توجهی آنتی‌اکسیدان است (Ozturk, 2006). همچنین دارای ترکیبات گلوکوزیدی و اسیدهای آلی فراوان که در ریزوم گیاه قرار دارند، است (Taheri, 2008). آب موجود در ماده غذایی، مهمترین عامل تعیین کننده نوع و سرعت تخریب به شمار می‌آید. خشک کردن، فرایند جداسازی رطوبت از طریق انتقال همزمان حرارت و جرم است. هنگامی که حرارت به سطح ماده منتقل می‌شود، آب موجود در ماده غذایی با دریافت گرمای نهان تبخیر به صورت بخار درمی‌آید و از طریق لایه‌ای مرزی، به بیرون منتقل می‌شود (Shahidi et al, 2011). خشک کردن مواد غذایی به روش‌های گوناگون مانند خشک کردن در آفتاب، خشک کردن با هوای داغ، و خشک کردن با اشعه ماکروویو، و مانند اینها امکان پذیر است. خشک کردن با هوای داغ انرژی بر است و مقرون به صرفه نیست بنابراین می‌بایست به دنبال روش‌های جایگزین غیرحرارتی همچون خشک کردن آکوستیک (صوتی)^۲، آب زدایی به روش

میدان الکتریکی و مغناطیسی^۳، فشار هیدرواستاتیک بالا، و یا روش‌های ترکیبی خشک کردن با هوای داغ باشیم. استفاده از عملیات پیش تیمار می‌تواند روش ترکیبی مناسب که به کاهش آب بافتی و سهولت انتقال جرم هنگام خشک کردن با هوای داغ منجر می‌شود، باشد (Vahideh et al., 2008). همچنین به تأثیر پیش تیمار بر بهبود ویژگی‌های بافتی، رنگ، و همچنین سایر خصوصیات کیفی مواد خشک شده تأکید شده است (Torregiani & Bertolo, 2001). آبیگری اسمزی عبارت است از خارج کردن بخشی از آب بافتی به وسیله تماس مستقیم آن‌ها با یک محلول غلیظ مناسب. در این فرایند براساس گرادیان غلظت به وجود آمده بین ماده غذایی و محلول، دو جریان خلاف جهت هم به وجود می‌آید که موجب خروج آب از بافت محصول به سمت محلول و خروج مواد جامد از محلول به داخل بافت مواد غذایی می‌شود (Tavakolipour, 2009; Shahidi et al., 2011). استفاده از امواج فراصوت به عنوان پیش تیمار، روش غیر حرارتی مناسبی به منظور افزایش بهره‌وری است و ماده غذایی آسیب کمتری می‌بیند (Spiazzi & Mascheroni, 1997). امواج فراصوت در اثر پدیده کاویتاسیون^۴ موجب ایجاد یک سری انقباض و انبساط‌های سریع در ماده می‌شود که شبیه فشردن و

* نویسنده مسئول: soheilbashari@gmail.com

3. Electric and magnetic field dewatering
4. Cavitation

1. Polygonaceae
2. Acoustic drying

(*al.*, 2011). گروه دیگر از محققان تأثیر پیش تیمار فراصوت بر توت‌فرنگی آبیگری شده را بررسی کردند. آن‌ها از محلول اسمزی ساکارز با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ درصد و زمان صوت‌دهی ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ دقیقه و زمان آبیگری ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه استفاده کردند. نتایج میکروسکوپی و ماکروسکوپی نشان داد که غلظت بیشتر منجر به ازدست‌دادن آب بیشتر می‌شود و بعد از زمان صوت‌دهی ۳۰ دقیقه ساکارز به دلیل آسیب به بافت‌ها توانست نفوذ بیشتری به درون توت‌فرنگی به نسبت نمونه شاهد بدون فراصوت داشته باشد و میزان جذب مواد جامد و کاهش آب افزایش یافت (Noguera *et al.*, 2010).

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر پیش‌فراپند اسمز-فراصوت بر سینیتیک آبیگری ریواس و تعیین نقاط بهینه پیش‌فراپند به منظور توسعه صنایع تبدیلی این محصول و تولید فراورده‌ای جدید در چرخه غذایی کشور است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این مطالعه ریواس از بازار محلی نیشابور خریداری شد. همچنین مواد شیمیایی استفاده شده شامل ساکارز (دارای خلوص ۹۸/۵ درصد) و سوربیتول (دارای خلوص ۹۸/۵ درصد) محصول شرکت مرک آلمان بودند.

روش‌ها

آماده‌سازی مواد اولیه

مراحل اولیه آماده‌سازی شامل شستشو، پوست‌گیری، و برش‌زدن ریواس بود. پوست‌گیری به صورت دستی و با چاقوی تیز انجام شد. سپس به کمک تیغ برش‌دهنده (کاتر) تیز و خط‌کش مدرج قطعات ریواس به اندازه ۲ تا ۳ میلی‌متر برش داده شدند. به دلیل یکسان‌تر بودن ضخامت و قطر برش‌های ریواس، پس از برش‌زدن، ابعاد برش‌های ریواس با کولیس دیجیتال (ورتکس^۱ مدل M502 با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) کنترل شد. به منظور دقت و یکنواختی بیشتر در آزمایش‌ها سعی شد تا حد امکان در هر آزمایش از برش‌های مربوط به یک عدد ریواس استفاده شود. همه نمونه‌ها برای کاهش میزان شدت تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی در یخچال با دمای ۵ تا ۶ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

آبیگری اسمزی

در این پژوهش از محلول‌های ساکارز و سوربیتول با غلظت‌های

رهاکردن یک اسنفج است و موجب خروج آب از ماتریکس جامد و همچنین موجب ایجاد میکروکانال‌هایی برای سهولت انتقال جرم و به ازدست‌دادن آب بیشتر طی خشک‌کردن با هوای داغ و شکست سلول‌های بافتی منجر می‌شود (Fernandes *et al.*, 2009). به طور کلی سه جریان انتقال جرم طی فرایند آبیگری اسمزی رخ می‌دهد که شامل: انتقال آب از ماده غذایی به محلول اسمزی، انتقال مواد حل‌شده از محلول اسمزی به درون ماده غذایی، و تراوش مواد محلول ماده غذایی به محلول اسمزی است (Rastogi *et al.*, 2005). برای به‌دست‌آوردن سنتیک خشک‌کردن محصول باید مدل ریاضی مناسبی انتخاب شود که به ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی محصول کشاورزی، مانند انتقال جرم و حرارت، ضریب انتشار مؤثر رطوبت، و نظایر آن توجه شود تا بتوان به کمک آن‌ها خشک‌کنی با کارایی مناسب انتخاب کرد. گروهی از محققان روی مدل‌سازی خشک‌شدن لایه نازک انگور سفید بی‌دانه در چهار سطح دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس کار کردند. نتایج نشان داد که دمای هوای خشک‌کننده روی روند خشک‌شدن انگور تأثیر معنی‌داری داشت به طوری که با افزایش دما، از ۴۰ به ۵۰ درجه سلسیوس زمان خشک‌شدن انگور حدود ۵۹ درصد کاهش یافت. با مقایسه مدل‌های ارزیابی‌شده، مدل میدلی و همکاران بهترین برازش را داشت (Abaspour Kalan *et al.*, 2013). گروه دیگری از پژوهشگران شرایط خشک‌کردن اسمزی کیوی را به عنوان تابعی از غلظت ساکارز، ضخامت نمونه، دما، و زمان فرایند بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که همه فاکتورهای مذکور، روی ازدست‌دادن آب نمونه خشک‌شده مؤثرند و ضخامت نمونه‌ها، دما، و زمان فرایند تأثیر محسوس‌تری در مقایسه با غلظت ساکارز بر جذب مواد جامد دارند. این محققان شرایط بهینه برای خشک‌کردن اسمزی کیوی را غلظت ۶۰ درصد ساکارز، دمای ۳۰-۴۰ درجه سلسیوس، زمان ۱۵۰ دقیقه، و ضخامت ۸ میلی‌متر بیان کردند (Cao & Du, 2006). در پژوهشی که تأثیر پیش تیمار اسمزی و فراصوت بر ویژگی کیفی موز خشک‌شده به روش هوای داغ انجام گرفت، فاکتورهای نوع محلول اسمزی (گلوکز، ساکارز)، مدت زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی (۳۰، ۴۵، و ۶۰ دقیقه)، غلظت محلول اسمزی (۳۰ و ۵۰ درصد)، و مدت زمان صوت‌دهی با امواج فراصوت (۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه) بر میزان ازدست‌دادن آب، جذب مواد جامد، چروکیدگی، ضریب نفوذ رطوبت، و رنگ نمونه‌ها بررسی شد که بیشترین میزان ازدست‌دادن آب و جذب مواد جامد و همچنین کمترین میزان چروکیدگی در هنگام استفاده از محلول ۵۰ درصد گلوکز در هر دو پیش تیمار به‌دست آمد (Shahidi *et*

خشک شدند. طی خشک‌شدن وزن نمونه‌ها به صورت دستی در یک ساعت اول خشک‌کردن در فواصل زمانی ۵ دقیقه و از ساعت دوم به بعد هر ۱۵ دقیقه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ (AND، مدل HR200، ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. هر کدام از آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن

در این تحقیق نسبت رطوبت (MR) (بدون بُعد) نمونه‌های ریواس توسط رابطه ۱ محاسبه شد:

$$MR = \frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله: X_t مقدار رطوبت در لحظه t ، X_0 مقدار رطوبت اولیه، و X_e مقدار رطوبت تعادلی است.

مدل‌های منحنی خشک‌کردن لایه‌ای نازک ریواس براساس مدل‌های توصیه‌شده محققانی که در این زمینه کار کرده‌اند طبق جدول ۱ انتخاب شد. در این مطالعه فرایند مدل‌سازی ریاضی با نرم‌افزار کامپیوتری سیگماپلات^۳ نسخه ۱۱ شبیه‌سازی شد. منحنی‌های خشک‌کردن با ۱۰ مدل ریاضی گوناگون که به‌طور وسیعی برای مواد بیولوژیکی و بیشتر مواد غذایی به‌کار می‌رود، برازش شد (Zhu et al., 2015; Mokhtarian & Koushki, 2012; Silva et al., 2012; Doymaz, 2010).

در این تحقیق برای انتخاب مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده سینتیک خشک‌کردن لایه‌ای نازک ریواس، ضریب تبیین^۴ (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا^۵ (RMSE)، و مربع کای^۶ (χ^2) در بین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی‌شده توسط هر مدل محاسبه و با مدل‌های دیگر مقایسه شد. این معیارها توسط معادلات ۲ تا ۴ محاسبه شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - \overline{MR})^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - Z} \quad (\text{رابطه ۴})$$

متفاوت به‌عنوان محیط اسمزی استفاده شد. غلظت محلول‌های اسمزی ساکارز و سوربیتول برای فرایند آبگیری ریواس ۲۰ درصد و ۴۰ درصد (وزنی/وزنی) انتخاب شد. دمای محیط اسمزی ثابت و معادل دمای محیط (۲۵ درجه سلسیوس) انتخاب شد. نسبت محلول اسمزی به میوه ۵ به ۱ انتخاب شد. قطعات ریواس در محلول اسمزی غوطه‌ور و در فواصل زمانی ۱، ۲، ۳، و ۴ ساعت یک قطعه از محلول اسمزی خارج و سطح آن با آب مقطر دیونیزه شسته شد و روی یک کاغذ صافی (واتمن) برای جذب‌شدن آب سطحی قرار گرفت، بعد از جذب آب سطحی، نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی (AND ساخت شرکت توکیوی ژاپن مدل HR200 با دقت ۰/۰۰۱) توزین شد. دمای فرایند آبگیری اسمزی توسط یک حمام آب (Windaus-Lauda مدل E200 ساخت آلمان) کنترل شد (Mokhtarian, 2011; Mokhtarian et al., 2012).

اعمال فراصوت

به‌منظور اعمال پیش‌فرایند آبگیری اسمز-فراصوت، از دستگاه فراصوت نوع پروب^۱ با نام تجاری دکتر هشر^۲ مدل UP 200H ساخت آلمان استفاده شد. فرکانس کاری دستگاه ۲۴kHz بود. ماکزیمم دانسیته توان صوتی دستگاه ۱۲ تا ۶۰۰ وات/سانتی‌مترمربع و ماکزیمم دامنه نوسان دستگاه ۱۲ تا ۲۶۰ میکرومتر روی پروب انتقال‌دهنده امواج صوتی (سونوترود) قابل تنظیم بود. شدت صوت ورودی دستگاه در حین انجام عمل فراصوت ثابت و در دامنه ۵۰ درصد به صورت متناوب تنظیم شد به طوری که انتقال امواج صوتی به صورت یک سیکل ۵ ثانیه خاموش/روشن تنظیم شد. پروب به کاررفته برای فرایند آبگیری، پروب نوع S7/Micro Tip7 با مشخصات عمق نفوذ ۹۰ میلی‌متر، قطر ۷ میلی‌متر، ماکزیمم بزرگی دامنه ۱۷۵ میکرون، و ماکزیمم چگالی توان صوتی ۳۰۰ وات بر سانتی‌مترمربع بود. برای این منظور، نمونه‌های تهیه‌شده در محلول اسمزی (شرایط آبگیری کاملاً مشابه پیش‌فرایند آبگیری اسمزی) به مدت ۴ ساعت غوطه‌ور و امواج فراصوت در سه زمان ۱۰، ۲۰، و ۳۰ دقیقه اعمال و سپس قطع شد (Mokhtarian et al., 2012).

خشک‌کردن با هوای داغ

نمونه‌های ریواس که پیش‌فرایند روی آنها صورت گرفته است و نمونه شاهد در دمای ۵۵ درجه سلسیوس در آون جابه‌جایی هوای داغ مجهز به فن گردش هوا (Memmert, model UNE) تا رسیدن به وزن ثابت (400 PA, Scheabach, Germany)

3. Sigma Plot

4. Coefficient of determination (R^2)

5. Root mean square error (RMSE)

6. Chi-square (χ^2)

1. Probe

2. Dr. Hielscher model 'UP 200H'

جدول ۱. مدل‌های سینتیکی برای پیش‌بینی رفتار خشک‌کردن مواد غذایی و زیستی

معادله مدل	نام مدل
$MR = \exp(-kt)$	نیوتن ^۱
$MR = a \exp(-kt)$	هندرسون و پابیس ^۲
$MR = a \exp(-kt) + C$	لگاریتمی ^۳
$MR = a + bt + ct^2$	سه‌می‌وار ^۴
$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	دوجمله‌ای نمایی ^۵
$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	میلی و کوکوک ^۶
$MR = \exp(-at - bt^{0.5})$	سیلوا و الی ^۷
$MR = 1 + at + bt^2$	وانگ و سینگ ^۸
$MR = a \exp(-c(t/L^2))$	انتشار فیک ^۹
$MR = 1 - (t/(a+kt))$	پلگ ^{۱۰}

1. Newton	2. Henderson & Pabis	3. Logarithmic
4. Parabolic	5. Two-term exponential	6. Midli-kucuk
7. Silva et alii	8. Wang and Singh	9. Diffusion of Fick's
10. Peleg		

بودند. برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. افزون بر آن برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شده است.

بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن

بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن ریواس به روش امتیازدهی مهمترین شاخص‌های مؤثر در فرایند انجام گرفت. به طوری که شاخص بررسی شده با بالاترین مقدار بیشترین امتیاز (۴ ستاره، ****) و شاخص با کمترین مقدار (بدون ستاره) بود. همچنین از متغیرهای زبانی امتیاز متوسط (۳ ستاره، ***)، امتیاز کم (۲ ستاره، **)، و امتیاز خیلی کم (۱ ستاره، *) نیز برای سایر مقادیر استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی پارامترهای سینتیکی و خصوصیات کیفی ریواس خشک‌شده

نتایج مربوط به تجزیه واریانس تأثیر نوع و غلظت محلول اسمزی و زمان فراصوت روی شاخص‌های کیفی ریواس طی خشک‌کردن در جدول ۲ گزارش شده است. نتایج نشان داد که تأثیر نوع و غلظت محلول اسمزی و زمان فراصوت در سطح احتمال ۵ درصد روی شاخص‌های کیفی ویتامین ث و رنگ ریواس معنی‌دار بود و روی زمان و روند خشک‌کردن معنی‌دار نبود ($p < 0.05$).

در این معادلات: $MR_{exp,i}$ نسبت رطوبت ریواس مشاهده‌شده در لامین اندازه‌گیری، $MR_{pre,i}$ نسبت رطوبت ریواس پیش‌بینی‌شده مدل در لامین اندازه‌گیری، \overline{MR} نسبت رطوبت تجربی میانگین، N تعداد مشاهدات، و z تعداد ضرایب مدل است. برای سنجش بهترین مدل پیش‌بینی نحوه خشک‌شدن ریواس معیارهای R^2 ، RMSE، و χ^2 ارزیابی شد. در پایان مدل یا مدل‌های خشک‌کردن با حداکثر ضریب تبیین R^2 و حداقل RMSE و χ^2 به‌عنوان مدل مناسب برای توصیف سینتیک خشک‌کردن ریواس انتخاب شد (Mokhtarian & Koushki, 2012; Doymaz, 2010).

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

در این تحقیق از روش استاندارد ملی ایران به شماره ۵۶۰۹ برای اندازه‌گیری ویتامین C استفاده شد (Sharifi & Tavakolipour, 2011). همچنین رنگ نمونه‌های ریواس خشک‌شده به روش اسپکتروفتومتری از طریق قراردادن عصاره نمونه در دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/Visible) مدل T70، ساخت ژاپن) در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Sharifi & Tavakolipour, 2011).

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار Statistix نسخه ۸ و آزمایش فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. متغیرهای مستقل بررسی‌شده شامل زمان اعمال فراصوت، نوع محلول اسمزی، و غلظت محلول اسمزی و متغیرهای وابسته شامل رنگ، ویتامین C، زمان خشک‌کردن، و روند خشک‌کردن

جدول ۲. آنالیز واریانس تأثیر نوع و غلظت محلول اسمزی و زمان فراصوت روی شاخص‌های کیفی ریواس طی خشک کردن

پارامتر	ویتامین ث	رنگ (جذب)	زمان خشک کردن	روند خشک کردن
مقدار F	۵۹۸۹۷/۰ *	۱۷۵۲۸/۹ *	۰/۷۹ n.s	۱/۴۶ n.s
مقدار p	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۶۹۱۵	۰/۱۴۶۲

*: معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵

رطوبت و کاهش زمان خشک کردن سبب بهبود رنگ محصول تولیدی می‌شود. (Shahidi (2011) نتایج مشابه در این مورد را به دست آورد. نتایج او نشان داد که زمان خشک کردن بیشترین تأثیر را بر تغییر رنگ موز داشت، همچنین غلظت محلول اسمزی بر تغییرات شاخص‌های تغییر رنگ مؤثر بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین زمان و روند خشک کردن ریواس در شرایط گوناگون فراوری در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن بود که بیشینه زمان خشک کردن در مورد نمونه ریواس پیش‌فرایندشده با ۴۰ درصد سوربیتول و بدون فراصوت مشاهده شد. همچنین بیشینه روند خشک کردن در مورد نمونه ریواس پیش‌فرایندشده با ۴۰ درصد ساکارز و ۳۰ دقیقه فراصوت مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که در حالت به کارگیری همزمان فراصوت و آبیگری اسمزی (صرف نظر از مدت زمان اعمال فراصوت) زمان خشک کردن به نسبت نمونه شاهد کاهش شایان ملاحظه‌ای داشت (تقریباً ۳۳ درصد). اما در حالت بدون اعمال فراصوت زمان خشک کردن در مورد نمونه آبیگری شده با ۴۰ درصد سوربیتول، به میزان ۲۵ درصد افزایش یافت.

نتایج مربوط به مقایسه میانگین تأثیر پیش‌فرایند آبیگری اسمزی در دو حالت اعمال فراصوت و بدون اعمال فراصوت روی ویتامین ث و رنگ ریواس طی خشک کردن تکمیلی در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج نشان داد که ماکزیمم مقدار ویتامین ث در نمونه‌های ریواس آبیگری شده با ۴۰ درصد سوربیتول و بدون اعمال فراصوت مشاهده شد. با افزایش زمان اعمال فراصوت اولاً به علت محلول در آب بودن ویتامین ث و ثانیاً به علت تخریب بافت سلولی این ویتامین در محلول اسمزی حل شد و مقدار این ویتامین در محصول نهایی کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی موجب حفظ بیشتر ویتامین ث در محصول شد به طوری که نمونه‌های پیش‌فرایندشده به نسبت نمونه شاهد حاوی مقادیر بالاتر این ویتامین بودند.

بیشترین رنگ در زمینه ریواس آبیگری شده با ۴۰ درصد ساکارز و بدون اعمال فراصوت و کمترین مقدار رنگ در نمونه آبیگری شده با ۴۰ درصد سوربیتول و ۱۰ دقیقه فراصوت مشاهده شد. امواج فراصوت به دلیل تخریب بافت سلولی و خروج سریع تر

جدول ۳. تأثیر پیش‌فرایند بر ویتامین ث، رنگ، زمان، و روند خشک کردن ریواس

زمان فراصوت (دقیقه)	نوع محلول اسمزی	غلظت محلول اسمزی (درصد وزنی/وزنی)	ویتامین ث (mg/100g)	رنگ (جذب)	زمان خشک کردن (دقیقه)	روند خشک کردن (kg H ₂ O/kg DM. min)
شاهد	-	-	-	-	۹۰/۰۰ a	۰/۰۱۳۴ ab
۱۰	ساکارز	۲۰	۰/۹۰۰ h	۰/۴۳۳۰ d	۹۰/۰۰ a	۰/۰۲۰۷ ab
	ساکارز	۴۰	۱/۰۵۰ e	۰/۵۳۲۵ a	۷۵/۰۰ a	۰/۰۳۱۰ a
	سوربیتول	۲۰	۱/۱۰۰ c	۰/۳۱۵۰ i	۱۰۵/۰۰ a	۰/۰۰۹۶ ab
	سوربیتول	۴۰	۱/۲۵۰ a	۰/۱۸۲۰ o	۱۲۰/۰۰ a	۰/۰۰۳۷ b
	ساکارز	۲۰	۰/۸۳۰ j	۰/۳۹۵۰ h	۶۰/۰۰ a	۰/۰۲۵۵ ab
	ساکارز	۴۰	۱/۲۳۰ b	۰/۴۲۸۰ e	۶۰/۰۰ a	۰/۰۳۳۸ a
	سوربیتول	۲۰	۰/۹۶۰ f	۰/۲۳۴۰ n	۶۰/۰۰ a	۰/۰۱۵۸ ab
	سوربیتول	۴۰	۱/۰۶۰ d	۰/۱۷۴۰ p	۶۰/۰۰ a	۰/۰۱۱۸ ab
	ساکارز	۲۰	۰/۶۷۰ n	۰/۴۱۲۰ f	۶۰/۰۰ a	۰/۰۲۵۵ ab
	ساکارز	۴۰	۰/۷۱۳ l	۰/۵۱۸۵ c	۶۰/۰۰ a	۰/۰۲۳۸ ab
۲۰	سوربیتول	۲۰	۰/۷۹۰ k	۰/۲۵۷۰ k	۶۰/۰۰ a	۰/۰۱۶۹ ab
	سوربیتول	۴۰	۰/۹۴۰ g	۰/۲۴۵۰ l	۶۰/۰۰ a	۰/۰۰۹۰ ab
	ساکارز	۲۰	۰/۶۹۰ m	۰/۳۹۹۰ g	۶۰/۰۰ a	۰/۰۱۳۳ ab
	ساکارز	۴۰	۰/۶۹۰ m	۰/۵۲۵۵ b	۶۰/۰۰ a	۰/۰۳۶۹ a
	سوربیتول	۲۰	۰/۶۷۰ n	۰/۲۶۷۰ j	۶۰/۰۰ a	۰/۰۱۷۱ ab
	سوربیتول	۴۰	۰/۸۵۰ i	۰/۲۴۱۰ m	۶۰/۰۰ a	۰/۰۱۰۷ ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری اختلاف آماری معناداری ندارند (P<۰/۰۱).

میوه‌های خشک‌شده (آلبالو، کشمش سیاه، و سیب) با پیش‌تیمار اسمزی را مورد بررسی و پژوهش قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که موادی مانند گالاکتوسوربیتول و سوربیتول موجب ایجاد سفتی در بافت میوه می‌شوند و بنابراین به‌عنوان ماده‌ی اسمزکننده توصیه نشدند (Konopacka et al., 2009).

بهینه‌سازی و مدل‌سازی فرایند خشک‌کردن ریواس

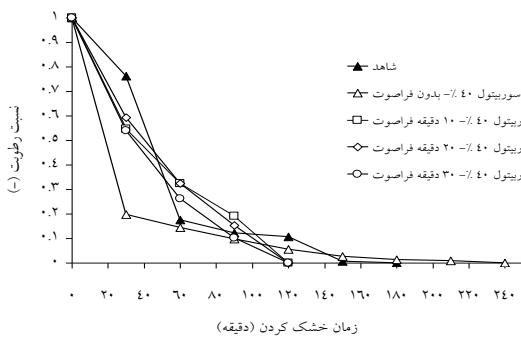
به‌منظور تعیین شرایط بهینه (از نظر نوع محلول اسمزی، غلظت محلول اسمزی، و زمان اعمال فراصوت) فرایند خشک‌کردن ریواس، تیمارهای بررسی‌شده با برخی از مهمترین شاخص‌های سینتیکی فرآورده‌ی نهایی (روند خشک‌کردن و زمان خشک‌کردن) امتیازدهی شد. شرایط بهینه برای بهترین ریواس خشک‌شده، بیشترین روند خشک‌کردن، و کمترین زمان خشک‌کردن بود. بعد از فرایند امتیازدهی، شرایط بهینه مربوط به تیماری بود که از نظر شاخص‌های بررسی‌شده بیشترین امتیاز لازم را کسب کرد. در مجموع از بین ۱۶ پیش‌تیمار بررسی‌شده، پیش‌تیمار محلول اسمزی ۴۰ درصد ساکارز و زمان فراصوت ۳۰ دقیقه با ۸ امتیاز همه‌ی امتیازات لازم را کسب کرد و به‌عنوان بهترین تیمار برای فرایند خشک‌کردن ریواس معرفی شد (جدول ۴).

منحنی سینتیک خشک‌کردن برش‌های ریواس برای همه‌ی پیش‌فرایندهای به‌کاررفته در شکل ۱ به نمایش گذاشته شده است. همان‌طور که از شکل‌ها پیداست، نسبت رطوبت برش‌های ریواس در برابر زمان خشک‌کردن از روندی نزولی پیروی کرده است. به‌طوری که با افزایش زمان خشک‌کردن میزان این تغییرات کاسته می‌شود. همچنین نتایج حاکی از آن بود که شیب منحنی خشک‌کردن در شرایط اعمال فراصوت در مقایسه با حالت‌های بدون فراصوت تندتر است به‌طوری که با افزایش زمان اعمال فراصوت شیب منحنی تندتر و زمان خشک‌کردن برای رسیدن به یک نسبت رطوبت مشخص کوتاه‌تر می‌شود. این حالت به‌علت فروپاشی بافت سلولی و تغییرات ریزساختاری بافت نمونه به‌دلیل پدیده‌ی حفره‌زایی^۱ بوده است که سبب افزایش انتقال جرم نمونه و کاهش هرچه بیشتر رطوبت محصول و کاهش زمان خشک‌کردن می‌شد (Fernandes et al., 2009). همچنین نتایج نشان داد که نمونه‌های آبدگری‌شده با سوربیتول سبب خروج آب بیشتر از نمونه می‌شود و به‌دلیل محتوای رطوبت پایین‌تر، نمونه‌ی خشک‌شده بافت شیشه‌ای پیدا می‌کند و ماده‌ی اسمزکننده مناسبی برای آبدگیری ریواس نیست. گروه دیگری از پژوهشگران نتایج مشابه در این خصوص بیان کردند. آن‌ها تأثیر عوامل گوناگون اسمزی بر ویژگی‌های حسی

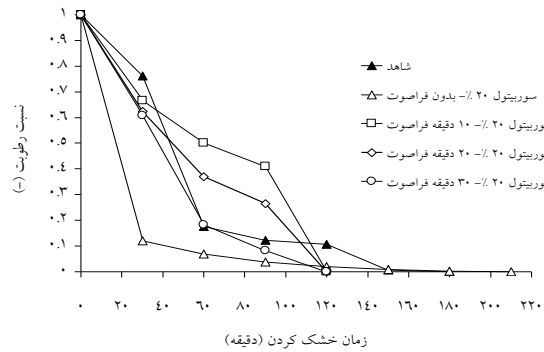
جدول ۴. جمع‌بندی امتیازات حاصل از فرایند آبدگیری فراصوت-اسمز و خشک‌کردن تکمیلی ریواس

زمان فراصوت	نوع محلول اسمزی	غلظت محلول اسمزی	روند خشک‌کردن	زمان خشک‌کردن	جمع امتیازات
شاهد	-	-	۰	۲	۲
	ساکارز	۲۰	۱	۲	۳
	ساکارز	۴۰	۳	۳	۶
	سوربیتول	۲۰	۰	۱	۱
	سوربیتول	۴۰	۰	۱	۱
	ساکارز	۲۰	۲	۴	۶
	ساکارز	۴۰	۳	۴	۷
۱۰	سوربیتول	۲۰	۰	۴	۴
	سوربیتول	۴۰	۰	۴	۴
	ساکارز	۲۰	۲	۴	۶
	ساکارز	۴۰	۲	۴	۶
	سوربیتول	۲۰	۰	۴	۴
	سوربیتول	۴۰	۰	۴	۴
	ساکارز	۲۰	۰	۴	۴
	ساکارز	۴۰	۴	۴	۸
۳۰	سوربیتول	۲۰	۱	۴	۵
	سوربیتول	۴۰	۰	۴	۴
	جمع امتیازات		۱۸	۵۷	۷۵

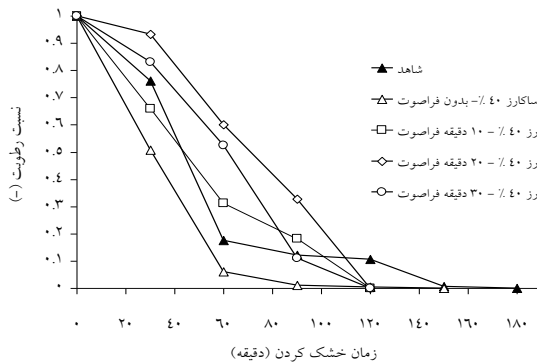
۴: بالاترین امتیاز، ۳: امتیاز متوسط، ۲: امتیاز کم، ۱: امتیاز خیلی کم، و ۰: مردود



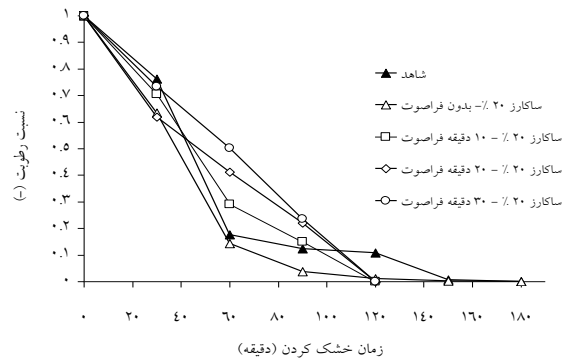
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱. روند تغییرات محتوای رطوبت ریواس پیش‌فرايندشده در برابر زمان خشک‌کردن، (الف) ساکارز ۲۰ درصد (وزنی/وزنی)، (ب) ساکارز ۴۰ درصد (وزنی/وزنی)، (ج) سوربیتول ۲۰ درصد (وزنی/وزنی)، و (د) سوربیتول ۴۰ درصد (وزنی/وزنی)

مقادیر ضرایب ثابت مدل‌ها برای ریواس خشک‌شده در دمای ۵۵ درجه سلسیوس همراه با پیش‌تیمار ۴۰ درصد ساکارز و ۳۰ دقیقه فراصوت به مدت ۴ ساعت را نشان می‌دهد. منحنی تغییرات نسبت رطوبت در برابر زمان خشک‌کردن برای داده‌های تجربی و پیش‌بینی‌شده برای بهترین مدل پیش‌بینی‌کننده منحنی خشک‌کردن در شکل ۳ نشان داده شده است.

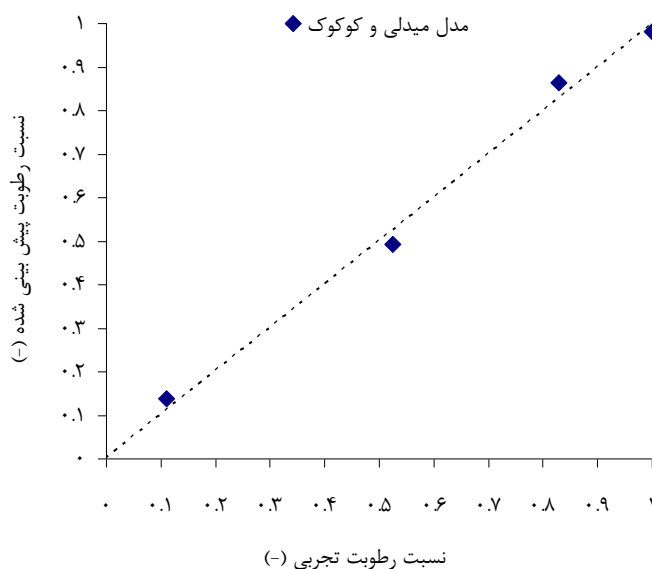
جدول ۵. نتایج مدل‌سازی ریواس پیش‌تیمار شده در محلول اسمزی ۴۰ درصد ساکارز و زمان فراصوت ۳۰ دقیقه به مدت ۴ ساعت در دمای خشک‌کردن ۵۵ درجه سلسیوس

نام مدل	χ^2	RMSE	R^2
نیوتن	۰/۰۲۴۹	۰/۱۴۱۳	۰/۸۶۸۵
هندرسون و پابیس	۰/۰۳۰۱	۰/۱۳۴۶	۰/۸۸۰۹
لگاریتمی	۰/۰۱۰۶	۰/۰۶۵۱	۰/۹۷۲۱
سهمی‌وار	۰/۰۱۰۶	۰/۰۶۵۱	۰/۹۷۲۱
دوجمله‌ای نمایی	۰/۰۰۷۶	۰/۰۶۷۷	۰/۹۶۹۸
میلی و کوکوک	۰/۰۰۳۲	۰/۰۲۵۶	۰/۹۹۵۷
سیلوا و الی	۰/۰۰۷۸	۰/۰۶۸۶	۰/۹۶۹۰
وانگ و سینگ	۰/۰۰۷۶	۰/۰۶۷۶	۰/۹۶۹۹
انتشار فیک	۰/۰۴۵۲	۰/۱۳۴۶	۰/۸۸۰۹
پلگ	۰/۰۰۷۶	۰/۰۶۷۷	۰/۹۶۹۸

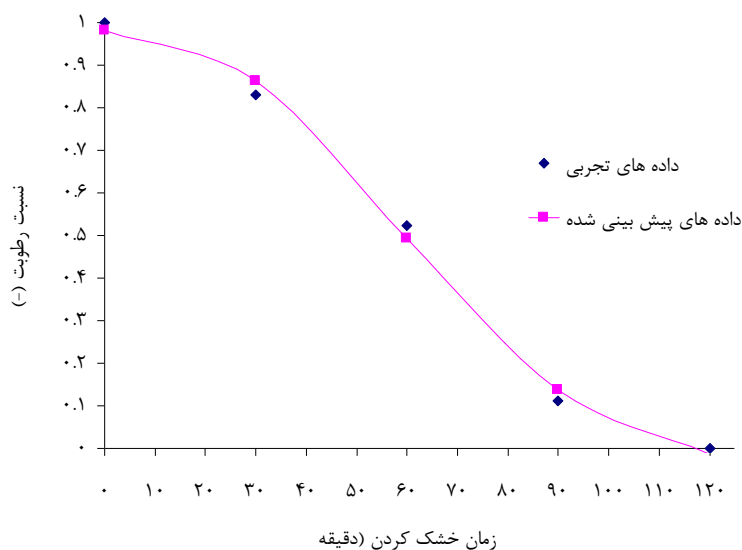
بعد از بهینه‌سازی فرایند آگیری و خشک‌کردن تکمیلی ریواس و تعیین بهترین پیش‌فرايند، منحنی خشک‌کردن ریواس در شرایط بهینه توسط ۱۰ مدل تجربی خشک‌کردن لایه‌ای نازک برازش شد. پارامترهای آماری آزمون‌شده شامل R^2 ، χ^2 و RMSE بودند. مقادیر آنالیز آماری برای هر یک از این پارامترها در جدول ۵ به‌طور مختصر نمایش داده شده است. در همه حالات مقدار R^2 برای مدل‌های برازش‌شده، بیشتر از ۰/۸۶۸۵ محاسبه شد. بازه تغییرات R^2 بین ۰/۸۶۸۵ تا ۰/۹۹۵۷، χ^2 بین ۰/۰۰۳۲ تا ۰/۰۴۵۲، و مقدار دامنه تغییر RMSE نیز بین ۰/۰۲۵۶ تا ۰/۱۴۱۳ قرار داشت. با توجه به نتایج برازش مدل‌های سینتیکی مدل میدلی و کوکوک به دلیل دارا بودن بالاترین R^2 و کمترین χ^2 و RMSE به‌عنوان بهترین مدل در پیش‌بینی منحنی خشک‌کردن ریواس انتخاب شد. بالاتر بودن ضریب تبیین و کمتر بودن مربع کای و ریشه میانگین مربعات خطا مهمترین دلیل در انتخاب بهترین مدل برازش‌شده است. مقایسه داده‌های نسبت رطوبت تجربی و پیش‌بینی‌شده برای بهترین مدل برازش‌کننده منحنی خشک‌کردن ریواس در شکل ۲ ارائه شده است. مقادیر نسبت رطوبت داده‌های پیش‌بینی برحسب داده‌های تجربی به‌صورت یک خط راست روی نمودار بوده که خود گویای پیش‌بینی دقیق این مدل است. جدول ۶

جدول ۶. ضرایب ثابت مدل‌های استفاده شده برای خشک کردن ریواس در دمای ۵۵ درجه سلسیوس با پیش تیمار در محلول اسمزی ۴۰ درصد ساکارز و زمان فراصوت ۳۰ دقیقه به مدت ۴ ساعت

نام مدل	k (دقیقه/۱)	a	n	b	c	L
نیوتن	۰/۰۱۵۰	-	-	-	-	-
هندرسون و پاپیس	۰/۰۱۶۲	۱/۰۸۷	-	-	-	-
لگاریتمی	۰/۰۰۰۱	۵۳/۵۵	-	-	-۵۲/۵۱	-
سهمی وار	-	۱/۰۳۸	-	-۰/۰۰۹۱	$۹/۱۷ \times 10^{-7}$	-
دوجمله‌ای نمایی	-۰/۰۰۰۱	۹/۴۷۶	-	-	-	-
میلی و کوکوک	$۲/۶۸ \times 10^{-۵}$	۰/۹۸۲	۲/۴۶۵	-۰/۰۰۰۳۴	-	-
سیلوا و الی	-	۰/۰۳۸	-	-۰/۱۸۵۳۵	-	-
وانگ و سینگ	-	-۰/۰۰۸۰۶	-	-۵/۹۵ $\times 10^{-۶}$	-	-
انتشار فیک	-	۱/۰۸۷۹	-	-	۴۰۹۴/۴۶	-۵۰۱/۶۸
پلگ	-۰/۰۶۶۳۴	۱۲۲/۱۹۳	-	-	-	-



شکل ۱. مقایسه نتایج داده‌های نسبت رطوبت تجربی و پیش‌بینی



شکل ۳. منحنی تغییرات نسبت رطوبت در برابر زمان خشک کردن برای مدل میلری و کوکوک

معرفی شد. نتایج برآزش مدل‌های سینتیکی نشان داد که انتخاب مدل میدلی و کوکوک به دلیل بالاترین R^2 و کمترین χ^2 و RMSE به عنوان بهترین مدل در پیش‌بینی منحنی خشک کردن ریواس پیش‌تیمارشده با محلول اسمزی ۴۰ درصد ساکارز و زمان فراصوت ۳۰ دقیقه و خشک‌شده در دمای ۵۵ درجه سلسیوس بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش فرایند خشک کردن ریواس به روش‌های جابه‌جایی هوای داغ همراه با پیش‌فرایند فراصوت-اسمز در شرایط گوناگون آگیری مطالعه شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی پارامترهای سینتیکی نشان داد که ریواس پیش‌تیمارشده با محلول اسمزی ۴۰ درصد ساکارز و زمان فراصوت ۳۰ دقیقه به عنوان بهترین تیمار برای فرایند خشک کردن ریواس بود که

REFERENCES

- Abaspour Kalan, Y. & Nikbakht, M. (2013). Modeling of thin layer drying of seedless white grapes. *Journal of Agricultural*, 36(1), 23-33. (In Farsi)
- Anonymous. Institute of standards and industrial research of Iran (ISIRI number, 5609). (1371). *Fruits, Vegetables and derived*
- Cao, H. & Du, W. H. (2006). Optimization of Osmotic Dehydration of Kiwifruit. *Drying Technology: An International Journal*, Volume, Issue 1.
- Doymaz, I. (2010). Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples. *Journal of food and bioproducts processing*, 88, 124-132.
- Fernandes, F. A. N., Gallao, M. I. & Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90, 186-190.
- Products Determination OF Ascorbic Acid (Vitamin C). (In Farsi)
- Konopacka, D., Jesonkowska, K., Klewicki, R. & Bonazz, C. (2009). The effect of different osmotic agents on the sensory perception of osmo-treated dried fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80-84.
- Mokhtarian, M., Shafari, Zenoozian, M., Armin, M. & Koushki, F. (2012). Application of ultrasound-osmotic hybrid method to increase the mass transfer in daikon texture. *Journal of Food Science and Technology*, 4(1), 23-35. (In Farsi)
- Mokhtarian, M. & Koushki, F. (2012). Application of artificial neural network to moisture ratio anticipation and investigation of sense and nutrition properties of tomato during dried. *Journal of Food Science and Technology*, 4(3), 55-66. (In Farsi)
- Mokhtarian, M. (2011). Application intelligent tool of artificial neural networks for mass transfer kinetics modeling the ultrasound-osmotic dehydration of zucchini. *B.Sc Thesis, Islamic Azad University, Sabzevar branch*. (In Farsi)
- Noguera, J. & Oliveira, F. (2010). Ultrasound assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Published in drying technology*. Volume 28: page 294-303.
- Ozturk, M. (2006). Antioxidant activity of stem and root extracts of Rhubarb (*Rheum ribes*): An edible medicinal plant, *Food Chemistry*, 103(2), 623-63.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S. & Niranjana, K. (2005). Developments in osmotic dehydration. *Emerging technologies for food processing*, 232-237.
- Shahidi, F. (2011). Investigation of effect the osmotic and ultrasound pretreatments on the some quality properties of dried banana by hot air method. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 7(4), 272-263. (In Farsi)
- Sharifi, A. & Tavakolipour, H. (2011). Determined of effectiveness parameters of rhubarb during hot air drying and investigation of the possibility of the powder preparation. *Journal of Food Science and Technology*, 3(2), 59-67. (In Farsi)
- Silva, W. P., Silva, C. M. D. P. S., Sousa, J. A. R. & Farias, V. S. O. (2012). Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03183.x>.
- Spiazzi, E. & Mascheroni, R. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34, 387-410.
- Taheri, G. H. (2008). *Rhubarb*. Center of agricultural trade of Iran. No. 2. (In Farsi)
- Tavakolipour, H. (2009). *Principals of drying of food materials and agricultural products*. 2nd Edition. (In Farsi)
- Torregiani, D. & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatment in fruit processing: Chemical, physical and structural effect. *Journal of Food Engineering*, 49, 247-253.
- Vahideh, R. R., N, Narendra, J. & Gabriel, F. (2008). Effect of osmotic pre dehydration on drying characteristics of banana Fruits. *Journal of Food Technology*, 28(2), 269-273.
- Zhu, J. F., Liu, J. Z., Wu, J. H., Cheng, J., Zhou, J. H. & Cen, K. F. (2015). Thin-layer drying characteristics and modeling of Ximeng lignite under microwave irradiation. *Fuel Processing Technology*, 130, 62-70.