

بررسی میزان افزایش ترکیبات فنولی برگه شلغم در محلول اسمزی حاوی عصاره چای ترش و بررسی کنتیک خشک کردن آن با هوای داغ

فخری شهیدی^{۱*}، محمد مالکی^۲

۱-استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲-دانش آموخته گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۱۴)

چکیده

در این پژوهش، آبیگری اسمزی از برش‌های شلغم با هدف غنی‌سازی آن با ترکیبات فنولی چای ترش و سپس خشک‌کردن آن‌ها با استفاده از هوای داغ صورت گرفت. متغیرهای مستقل مرحله‌ی آبیگری اسمزی غلظت محلول ساکارز (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد)، مدت‌زمان اسمز (۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ دقیقه) و دمای محلول اسمزی (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) در نظر گرفته شد. متغیرهای وابسته (پاسخ) این مرحله شدت آب‌زدایی، جذب مواد جامد، کاهش وزن و میزان جذب ترکیبات فنولی بودند. نتایج نشان داد که متغیرهای مستقل اثر معنی‌دار و محسوسی بر متغیرهای وابسته دارند. شرایط بهینه مرحله‌ی آبیگری اسمزی با هدف شدت آب‌زدایی و جذب ترکیبات فنولی بیشتر و کمترین جذب مواد جامد، غلظت ۳۵٪ محلول اسمزی، زمان ۱۰۵ دقیقه و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. برگه‌های شلغم طبق شرایط بهینه محاسبه شده، اسمز شدند و در خشک‌کن هوای داغ در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردیدند. نسبت‌های رطوبتی برای هر سه دما با ۱۰ مدل رایج خشک کردن هوای داغ برآزش شدند. مدل دو جمله‌ای دارای بهترین برآزش با داده‌های آزمایشی بود. میزان ضریب نفوذ مؤثر برای دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب 1.83×10^{-9} ، 2.03×10^{-9} و 3.74×10^{-9} مترمربع بر ثانیه و میزان انرژی فعال‌سازی برای دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد ۲۵/۱۲ کیلوژول بر مول محاسبه شد.

کلید واژگان: ترکیبات فنولی، خشک‌کردن هوای داغ، چای ترش، شلغم

*مسئول مکاتبات: fshahidi@um.ac.ir

۱- مقدمه

میوه‌ها و سبزی‌ها جزو مهم‌ترین گروه‌های غذایی جهت تأمین نیازهای تغذیه‌ای و سلامت بشر هستند. هدف از کاربرد روش‌های مختلف خشک‌کردن، افزایش زمان نگهداری با حداقل بسته‌بندی، کاهش حجم و وزن محصول، قابلیت دسترسی به مواد غذایی و گیاهان دارویی خشک‌شده در همه فصول سال است [۱]. مشکلات اصلی خشک‌کردن با هوای داغ به تنهایی، مدت زمان طولانی خشک‌کردن، تغییر ویژگی‌های حسی، تغذیه‌ای و فیزیکی محصول، تغییر بافت، چروکیدگی و خروج مواد محلول از داخل محصول به سطح است که باعث سخت شدن سطحی^۱ می‌شود [۲]. امروزه از روش‌های کم هزینه و دمای پایین به عنوان پیش تیمار برای خشک کردن استفاده می‌شود [۳]. فرایند اسمز به عنوان یک فرایند آبیگری بسیار متداول می‌باشد. آبیگری اسمزی با قرار دادن ماده غذایی در محلول حاوی مواد جامد حل شده و فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آب کمتر از خود محصول صورت می‌گیرد [۴].

فرایند اسمز یک تکنولوژی قابل دسترس برای غنی‌سازی برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها از ترکیبات فراسودمند^۲ است، که منجر به تولید غذاهای فراسودمند نوین و ایجاد فرصت‌های تجاری جدید می‌شود [۵]. ترکیباتی که بیشتر در ماده غذایی نفوذ می‌نمایند شامل ترکیبات فنولی، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها، آنزیم پکتین متیل استراز، پروبیوتیک‌ها و فلاونوئیدها هستند [۶]. غذاهای فراسودمند سلامتی را ارتقا می‌دهند و باعث جلوگیری از به وجود آمدن بیماری در انسان می‌شوند که این به دلیل وجود مواد مغذی خاص در ماده غذایی است [۷]. به‌طورکلی این غذاها دارای سطح قابل توجهی از ترکیبات بیولوژیکی فعال مانند ویتامین‌ها، اسیدپلی فنول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها هستند، که برای انسان سلامتی بخش می‌باشند [۸]. ترکیبات بیولوژیکی فعال که در محلول اطراف ماده غذایی قرار دارند با پدیده نفوذ و از طریق غشاء نیمه‌تراوا به سلول‌ها نفوذ می‌کنند، فضای بین سلولی تعیین‌کننده میزان نفوذ این ترکیبات است [۹]. آبیگری اسمزی باعث کاهش از دست رفتن آروما، کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی، افزایش پذیرش کلی و حفظ مواد مغذی می‌گردد.

اسمز می‌تواند ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزی‌ها را به دلیل اشباع شدن ویتامین‌ها و مواد معدنی در ساختار متخلخل افزایش دهد (سیلوا و همکاران، ۲۰۱۴) [۱۰]. اسپیر و توگرو (۲۰۰۹) زردآلو را در غلظت‌های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد ساکارز تحت تیمار اسمز قرار دادند، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت ساکارز شیب یا گرادیان فشار اسمزی افزایش یافت که این باعث افزایش خروج آب و افزایش جذب مواد جامد شد [۱۱]. روزک و همکاران (۲۰۱۰، ۲۰۰۹) از دو منبع عصاره‌ی دانه‌ی انگور و عصاره‌ی انگور سفید به عنوان منبع فنول استفاده کردند. آزمایش در سه غلظت مختلف ترکیبات فنولی، در حضور و غیاب ساکارز انجام گرفت. مقدار کل ترکیبات فنولی در پایان عملیات بین ۰/۵ تا ۱/۵ برابر بیشتر از میوه‌های غنی از فنول بود [۷ و ۱۲].

پژوهش‌های متعددی اهمیت چای ترش را به‌عنوان یک منبع عالی از آنتی‌اکسیدان‌ها و فنول‌های طبیعی معرفی کرده است. چای ترش دارای سطح فنول و آنتی‌اکسیدان بیشتری نسبت به سایر منابع مانند تمشک و زغال اخته است [۱۳]. گیاه دارویی چای ترش^۳ خشک‌شده گونه‌ای یک‌ساله با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* از خانواده *Malvaceae* می‌باشد، عصاره‌ی استخراج شده و غلیظ شده‌ی آن در صنعت غذا و داروسازی مورد استقبال زیادی قرار گرفته است [۸]. عصاره‌ی استخراج شده چای ترش دارای اثرات ضد میکروبی بر میکروارگانیسم‌های مختلف بیماری‌زا و عامل فساد مواد غذایی است [۱۴]. تحقیقات نشان داده که مصرف غذاهای غنی از ترکیبات فنولی باعث کاهش بیماری‌های مزمن و بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان، دیابت و پوکی استخوان می‌شود که این اثرات ناشی از خواص آنتی‌اکسیدانی آن است [۱۵].

شلغم^۴ سبزی ریشه‌ای با نام علمی *Brassica rapa var. rapa* از خانواده *Brassicaceae* است. مصرف شلغم علاوه بر درمان بسیاری از اختلالات، به سلامتی همه افراد کمک می‌کند، زیرا شلغم منبع عالی از ویتامین‌های A، C، E و B₆ و اسیدفولیک، مس، کلسیم و فیبر غذایی است [۱۶]. در ایران شلغم به لحاظ طعم و مزه خاص خود به خصوص در بین کودکان از مقبولیت چندانی برخوردار نمی‌باشد. بیشترین مصرف شلغم در ایران

3. Roselle
4. Turnip

1. Case Hardening
2. Functional

شهر مشهد (ایران) شلغم تازه و کاملاً رسیده تهیه شد. شلغم‌ها در آزمایشگاه مواد غذایی کاملاً با آب شسته و با دست پوست‌گیری، سپس با استفاده از چاقو به صورت برگه‌هایی به قطر ۴ cm و ارتفاع ۰/۵ cm برش داده شدند.

۲-۱- تعیین رطوبت نمونه

رطوبت نمونه‌ها بر پایه وزن خشک طبق استاندارد AOAC با آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد [۲۰].

۲-۲- استخراج عصاره‌ی چای ترش

چای ترش تهیه‌شده تا زمان استخراج در محل سرد و خشک نگهداری گردید. عمل استخراج در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان استخراج ۱۵ دقیقه صورت گرفت. نسبت چای ترش به آب ۱:۴۰ بود [۲۱].

۲-۳- آبیگری اسمزی

محلول‌های اسمزی ساکارز_چای ترش در غلظت‌های ۰/۳۰، ۰/۵۰ و ۰/۷۰ درصد (وزنی-وزنی) تهیه شدند. غلظت چای ترش در تمام تیمارها ثابت در نظر گرفته شد و متغیر، غلظت ساکارز بود. فرایند اسمز در سه زمان ۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ دقیقه و سه دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. نسبت نمونه‌های شلغم به محلول اسمزی ۱ به ۲۰ در نظر گرفته شد. با کمک یک پمپ، عمل هم زدن جهت یکنواختی دما، غلظت و تسریع فرایند اسمز انجام پذیرفت. در پایان برگه‌های شلغم با آب مقطر جهت حذف قند سطحی شسته و بلافاصله با کاغذ صافی خشک و مجدداً توزین شدند.

۲-۴- تعیین شدت آب‌زدایی، افزایش ماده جامد

جذب‌شده و کاهش وزن

شدت آب‌زدایی^۵ (WL)، جذب مواد جامد^۶ (SG) و کاهش وزن^۷ (WR) به ترتیب بر اساس روابط ۱، ۲ و ۳ تعیین گردید؛

$$WL = \frac{(M_0 - S_0) - (M - S)}{M_0}$$

$$SG = \frac{S - S_0}{M_0}$$

5. Water Loss

6. Solid Gain

7. Weight Reduction

به صورت پخته است، که چنانچه آب حاصل از جوشاندن دور ریخته شود بسیاری از ترکیبات مفید محلول در آب آن از دسترس مصرف‌کننده خارج می‌شود.

بسیاری از روش‌های صنعتی خشک‌کردن به دلیل مزایای خاص به سرعت رشد کردند و جای روش‌های خشک‌کردن سنتی را گرفته‌اند. در خشک‌کردن صنعتی، دما، رطوبت و سرعت جریان هوا کنترل می‌شود، که انتقال جرم و حرارت در این فرایند هم‌زمان می‌باشد، و با تغییر فاز همراه است [۱۷]. ماندالا و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی اثر پیش تیمارهای آبیگری اسمزی بر کینتیک خشک‌کردن و خصوصیات فیزیکی و برش‌های سیب در خشک‌کن هوای داغ پرداختند. برای پیش تیمار اسمزی از محلول اسمزی گلوکز و ساکارز با غلظت‌های ۳۰ و ۴۵ درصد (وزنی/وزنی) در زمان‌های مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که نمونه‌های پیش تیمار شده با محلول‌های قندی با غلظت ۴۵٪ تخلخل بیشتر و تغییرات رنگ محدودتری در زمان خشک‌کردن با هوای داغ داشتند [۱۸].

در خشک‌کردن هوای داغ، هدف اصلی از مدل‌سازی، برازش داده‌های آزمایشگاهی با مدل‌های تجربی پیشنهادی و انتخاب بهترین مدل جهت بررسی روند تغییرات ماده غذایی طی فرایندهای آبیگری اسمزی، خشک‌کردن، طراحی خشک‌کن‌های صنعتی مطلوب و یا بهبود سیستم‌های متداول است [۱۹].

شلغم به دلیل طعم و مزه خاص خود زیاد مورد پسند و مصرف قرار نمی‌گیرد. از طریق فرایند اسمز می‌توان آب را از شلغم خارج و شکر را جایگزین کرد و تغییر طعم محسوس را ایجاد کرد. همچنین نفوذ ترکیبات فنولی چای ترش موجب بهبود رنگ و طعم محصول و افزایش جذابیت آن می‌شود. هدف از این پژوهش تولید برگه شلغم با طعم مطلوب و خواص فراسودمند بوده است، ابتدا برگه شلغم با محلول اسمزی چای ترش و ساکارز که حاوی ترکیبات پلی فنولی زیادی است غنی‌سازی شده که منجر به نفوذ ترکیبات فنولی و ساکارز به داخل بافت برگه شلغم می‌شود، سپس توسط خشک‌کن هوای داغ برای کاهش رطوبت و رسیدن به حد مطلوب خشک گردید.

۲- مواد و روش‌ها

در فصل برداشت شلغم (پاییز و زمستان)، از فروشگاه‌های سطح

۲-۷- بهینه‌سازی مرحله آبیگری اسمزی

نمونه‌های اسمز شده برگه شلغم تحت شرایط ماکزیم شدت آب‌زدایی و جذب ترکیبات فنولی و حداقل جذب مواد جامد، توسط نرم‌افزار Design-Expert 8.0.7.1 بهینه‌سازی شد.

۲-۸- خشک کردن با هوای داغ

نمونه‌های بهینه‌شده در شرایط اسمزی در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. خشک کردن تا زمانی ادامه یافت که شدت خشک شدن تقریباً صفر گردد. خشک کردن نهایی توسط خشک‌کن هوای داغ (سروش طب) انجام پذیرفت. سرعت گردش هوای داخل خشک‌کن ۱/۵ m/s بود.

۲-۹- تعیین میزان کتیک خشک کردن

نسبت رطوبت (MR)، بدون بعد بوده و از رابطه ۴، محاسبه شد.

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$$

X = میزان رطوبت (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک)

اندیس e نشان‌دهنده میزان رطوبت نمونه در حالت تعادل و اندیس ۰ نشان‌دهنده میزان رطوبت اولیه می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار X_e در مقایسه با X و A_0 کوچک می‌باشد، لذا خطای ناشی از در نظر نگرفتن آن جزئی است، با رسم MR برحسب زمان، منحنی خشک کردن به دست می‌آید [۲۳].

داده‌های آزمایشگاهی با ۱۰ مدل (جدول ۱) توسط نرم‌افزار MATLAB 2016 برازش شدند [۲۴].

$$WR = WL - SG$$

M_0 ، وزن نمونه تازه؛ M ، وزن نمونه اسمزی؛ S_0 ، وزن ماده خشک نمونه تازه؛ S ، وزن ماده خشک نمونه اسمز شده می‌باشد [۷].

۲-۵- استخراج ترکیبات فنولی از برش های

اسمز شده و خشک شده شلغم

برگه‌های شلغم توسط خشک‌کن انجمادی کاملاً خشک گردیدند. نمونه‌ها پودر شده، سپس یک گرم از پودر با ۱۰ گرم محلول استخراج آب-متانول ۸۰٪ مخلوط و محلول حاصل به مدت ۳ ساعت، در شیکر قرار گرفت تا عمل استخراج صورت پذیرد. سپس این محلول توسط دستگاه سانتریفوژ با دور ۳۰۰۰ g، سانتریفوژ شد.

۲-۶- تعیین میزان ترکیبات فنولی

۵۰۰ μL از نمونه استخراج شده با ۵۰۰ μL معرف فولین مخلوط شد، پس از سه دقیقه ۲/۵ mL محلول یک نرمال سدیم کربنات به مخلوط اضافه گردید، سپس ۵ mL آب مقطر به آن اضافه شد. پس از دو ساعت نگهداری در تاریکی در طول موج ۷۲۵ nm عدد جذب آن قرائت گردید. مقدار ترکیبات فنولی بر اساس منحنی استاندارد (۰-۰/۲ mg/ml) برحسب mg/ml اسیدگالیک محاسبه، و در پایان بر حسب mg/g گزارش شد [۲۲].

Table 1. Hot air drying mathematical models fitted to the moisture ratio values

no. Model	Model name	Model equation
1	Newton	$f(x) = \exp(-kx)$
2	Page	$f(t) = \exp(-kt^n)$
3	Henderson and pabis	$f(t) = a \exp(-kt)$
4	Two term	$f(t) = a \exp(-bt) + c \exp(-dt)$
5	Modified Henderson and pabis	$f(t) = a \exp(-kt) + b \exp(-g t) + c \exp(-ht)$
6	Logaritmic	$f(t) = a \exp(-kt) + c$
7	Wang and singh	$f(t) = 1 + at + bt^2$
8	Appromixation of diffusion	$f(t) = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
9	Midilli	$f(t) = a \exp(-kt^n) + bt$
10	Weibull distribution	$f(t) = a - b \exp(-kt^n)$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 M}{\partial r^2}$$

در این معادله، D_{eff} ضریب نفوذ رطوبت مؤثر (m^2/s)، M میزان رطوبت ($\text{kg water/kg dry solid}$)، L جهت انتقال و t زمان

۲-۱۰- محاسبه ضریب نفوذ مؤثر

محاسبه ضریب نفوذ مؤثر با استفاده از قانون دوم فیک (۵)، انجام شد.

که در آن D_0 فاکتور آرنیوس (m^2/s)، E_a انرژی فعال‌سازی برای نفوذ رطوبت (KJ/mol)، R ثابت جهانی گازهای ایده آل ($kj/k.mol$) و T دمای مطلق بر حسب کلوین (K) می‌باشد. برای محاسبه‌ی انرژی فعال‌سازی باید LnD_{eff} را در برابر عکس دما رسم کرد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از تأثیر غلظت محلول ساکارز، زمان آگیری اسمزی و دمای اسمز بر شدت آب‌زدایی، جذب مواد جامد، کاهش وزن برش‌های شلغم، میزان جذب ترکیبات فنولی پس از برآزش مدل چندجمله‌ای درجه دوم، در معرض الگوریتم حذف پس‌خور قرار گرفتند، زیرا این الگوریتم به میزان بسیار کمی از ساختار همبسته‌ی رگ‌سورها (متغیرهای مستقل) تأثیر می‌پذیرد. با استفاده از الگوریتم مذکور، جملات مدل که از نظر آماری معنی‌دار نبودند حذف و در نتیجه تعداد جملات مدل کاهش یافتند که این مدل را مدل درجه دوم کاسته شده می‌گویند.

با توجه به جدول ۲ و ۳، مشاهده می‌شود، مدل درجه دوم کاسته شده برای تمامی پاسخ‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0.0001$). همچنین طبق جدول ۲ و ۳ عبارات درجه دوم (A^2, B^2, C^2) و اثر متقابل متغیرها (AB) برای برخی از پاسخ‌ها معنی‌دار بود.

(S) می‌باشد. تعیین ضریب نفوذ با استفاده از داده‌های تجربی است.

با حل کردن عددی معادله فیک، نفوذ رطوبت برای باریکه نامحدود با استفاده از معادله ۶، قابل محاسبه است.

$$MR = \frac{M}{M_0} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_0 t}{4L^2}\right)$$

در این معادله، L ضخامت ورقه‌ها (m) و n عدد صحیح مثبت است، که در مواردی که زمان خشک‌کردن طولانی باشد n برابر ۱ است [۲۵]. در زمان‌های خشک شدن طولانی معادله ۶ ساده شده، جملات در سری نامحدود سریعاً همگرا گردیده و با اولین جمله سری تقریب زده شده و به صورت لگاریتمی (رابطه ۷) نوشته می‌شود [۲۶].

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_0 t}{4L^2}\right)$$

پس با رسم نمودار $Ln(MR)$ در مقابل زمان خشک‌کردن یک خط مستقیم با شیب K به دست می‌آید که از آن برای محاسبه ضریب نفوذ مؤثر رابطه ۸ استفاده می‌گردد.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}$$

در این پژوهش فرض بر این است که انتقال حرارت فقط در یک سطح صورت می‌گیرد.

۲-۱۱- محاسبه انرژی فعال‌سازی

ارتباط بین قابلیت نفوذ مؤثر رطوبت یا دما، برحسب معادله مشهور آرنیوس بیان می‌شود (رابطه ۹) [۲۷].

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Table 2 ANOVA evaluation of linear, quadratic and interaction terms for each response variable and coefficient of prediction models

F Value	solid gain		F Value	Water loss		source
	Mean Square	Coefficient Estimate		Mean Square	Coefficient Estimate	
<0.0001	34.86	11.46	<0.0001	230.58	39.75	model
<0.0001	154.12	2.93	<0.0001	1167.09	8.05	(/) A-Brix
<0.0001	19.45	1.04	<0.0001	172.92	3.10	B-Time (min)
0.0368	0.25	0.12	<0.0001	15.40	0.93	C-Temperature (°C)
			0.0005	2.33	0.44	AB
0.0829	0.16	0.16	<0.0001	25.11	2.05	A ²
			0.0453	0.62	0.32	B ²
0.0191	0.32	-0.23				C ²
	0.049			0.14		Residual

Table 3 ANOVA evaluation of linear, quadratic and interaction terms for each response variable and coefficient of prediction models

Phenol			weight reduction			source
F Value	Mean Square	Coefficient Estimate	F Value	Mean Square	Coefficient Estimate	
<0.0001	48.05	25.96	<0.0001	97.43	28.41	model
<0.0001	108.73	-2.46	<0.0001	472.99	5.13	(/) A-Brix
<0.0001	78.63	2.09	<0.0001	76.38	2.06	B-Time (min)
0.0032	2.82	0.40	<0.0001	11.76	0.81	C-Temperature (°C)
			0.0129	1.39	0.34	AB
0.0107	2.00	-0.58	<0.0001	21.22	1.88	A ²
			0.0438	0.86	0.38	B ²
	0.26			0.19		Residual

پایینی بود و دلیل استفاده از تیمار دما تأثیر آن بر جذب ترکیبات فنولی به دلیل تأثیر بر غشا سلولی است [۲۹،۱۱].

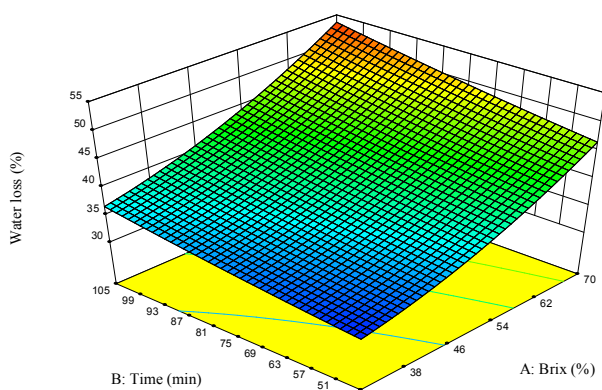


Fig 1 The interactive effect of the osmosis time and the osmotic solution concentration on WL

۳-۲- جذب مواد جامد

با توجه به شکل ۲، با افزایش غلظت محلول اسمزی، جذب مواد جامد نیز افزایش یافت، که ناشی از افزایش فشار اسمزی و تورم غشاء سلول‌های شلغم است. با افزایش زمان اسمز، جذب مواد جامد نیز افزایش یافت که با نتایج اسپیر و همکاران ۲۰۰۹ روی زردآلو و ماندادا و همکاران ۲۰۱۱ روی دانه های انار مطابقت داشت و ناشی از مدت زمان بیشتر در معرض بودن ماده با محلول اسمزی است. دمای بالای ۶۰ درجه سانتی گراد اثر محسوسی بر شدت آب زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن ندارد [۳۰-۱۱].

اساس روش سطح-پاسخ (تشخیص نقاط حداکثر، حداقل یا زینی^۸) بستگی به نوع علامت و بزرگی ضرایب مدل رگرسیونی دارد، که در این مدل حداکثر سهم را ضرایب درجه دوم و برهم کنش به خود اختصاص می‌دهند. از سوی دیگر تشخیص ماهیت سیستم و موقعیت نقطه هدف، بخش مهمی از آنالیز مدل‌های درجه دوم است که توسط نمودارهای سه‌بعدی و نقشه کنتور میسر می‌گردد. این شیوه شهودی کردن مدل‌ها به محقق در زمینه تعیین ماهیت رویه پاسخ یاری می‌رساند [۲۸]. برای نمایش رابطه‌ی متغیرهای مستقل و پاسخ، نمودارهای سه‌بعدی سطح-پاسخ با دو متغیر مستقل در مقابل پاسخ رسم گردیدند.

۳-۱- شدت آب‌زدایی

با توجه به شکل ۱، با افزایش بریکس محلول اسمزی، شدت آب‌زدایی نیز به همان نسبت افزایش یافت، که به دلیل افزایش گرادیان غلظت بین شلغم و محلول اسمزی است. همچنین مشاهده شد با افزایش مدت‌زمان اسمز، شدت آب‌زدایی افزایش می‌یابد، ولی دارای شیب کمتر بود که در جدول ۲، دارای ضریب کمتر هم می‌باشد. در زمان‌های طولانی شیب نمودار کم شد که احتمالاً به دلیل رسیدن به ماکزیمم خروج آب و اشباع شدن سطح شلغم از شکر می‌باشد. اثر دما در شدت آب‌زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن هر چند معنی‌دار بود، ولی دارای ضریب

8. Saddle points

یابد، ولی در غلظت‌های پایین محلول اسمزی، به دلیل پایین بودن ویسکوزیته، جریان و حرکت ترکیبات فنولی در سطح شلغم راحت‌تر صورت پذیرفت و باعث نفوذ راحت‌تر این ترکیبات به شلغم شد. به طور کلی ضریب نفوذ مؤثر در غلظت‌های پایین بیشتر است. همچنین با افزایش غلظت شکر در محلول اسمزی، سطح شلغم با شکر اشباع شد و شکری که در سطح شلغم اشباع شد، علاوه بر جلوگیری از نفوذ سایر مواد جامد از نفوذ ترکیبات فنولی نیز به داخل شلغم جلوگیری می‌کند [۳۲-۳۶]. با افزایش غلظت شکر محلول اسمزی، غلظت محلول اسمزی به غلظت سلولی بسیار نزدیک شد و این باعث کاهش ضریب نفوذ گردید. همچنین چروکیدگی ناشی از حذف آب در محلول اسمزی بر این پارامتر بی‌تأثیر نبود [۳۷-۳۹].

با افزایش مدت زمان اسمز و دمای محلول اسمزی، نفوذ ترکیبات فنولی افزایش یافت، که به ترتیب ناشی از افزایش زمان در معرض بودن و افزایش سرعت نفوذ به دلیل تأثیر بر غشا سلولی بود. این افزایش نفوذ چشمگیر نبود که به ترتیب ناشی از اشباع شدن سطح شلغم با شکر و نابودی ترکیبات فنولی به دلیل دمای بالای محلول اسمزی بود.

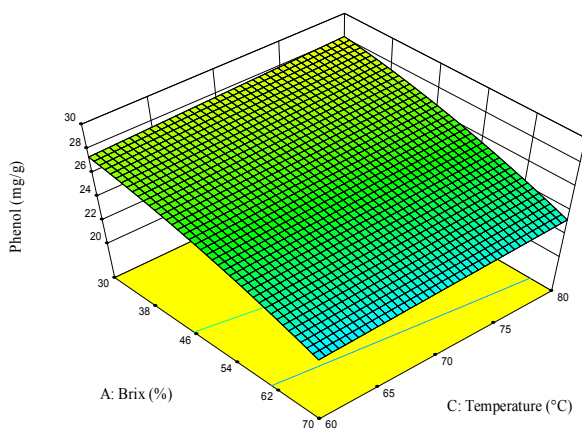


Fig 4 The interactive effect of the temperature and the osmotic solution concentration on Phenol adsorption

۳-۵- بهینه‌سازی مرحله‌ی آبیگری اسمزی

در این پژوهش، هدف از بهینه‌سازی در مرحله‌ی آبیگری اسمزی به حداکثر رساندن شدت آب‌زدایی (درجه اهمیت ۳ ستاره) و میزان جذب ترکیبات فنولی (درجه اهمیت ۴ ستاره) و به حداقل رساندن میزان جذب مواد جامد (درجه اهمیت ۳ ستاره) بود.

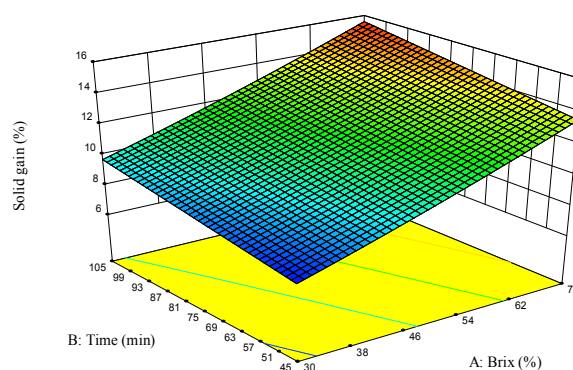


Fig 2 The interactive effect of the osmosis time and the osmotic solution concentration on SG

۳-۳- کاهش وزن

با توجه به شکل ۳، که نشان دهنده اثر متغیرهای مستقل بر میزان کاهش وزن به صورت شمای سه‌بعدی سطح-پاسخ است، با افزایش مدت زمان اسمز و غلظت محلول اسمزی میزان کاهش وزن افزایش یافت، که با نتایج رامدهانه و همکاران ۲۰۱۶ که روی لیمو فرایند اسمز انجام داده بودند، مطابقت دارد، از آنجا که میزان کاهش وزن بر اساس دو پارامتر شدت آب‌زدایی و میزان جذب مواد جامد به دست می‌آید، این نتایج با نتایج به دست آمده از دو پارامتر قبلی کاملاً مطابقت دارد [۳۱].

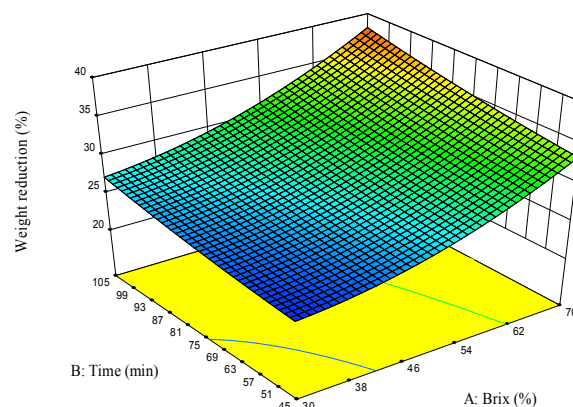


Fig 3 The interactive effect of the osmosis time and the osmotic solution concentration on WR

۳-۴- نفوذ ترکیبات فنولی به برگه شلغم

همان‌طور که در شکل ۴، مشخص است، با افزایش غلظت محلول ساکارز، میزان نفوذ ترکیبات فنولی کاهش یافت. با افزایش غلظت شکر در محلول اسمزی، ویسکوزیته افزایش یافت، و این امر باعث شد میزان ترکیبات فنولی که به سطح شلغم می‌رسد کاهش

نفوذ و انرژی فعال سازی

شکل ۵، منحنی خشک کردن نمونه‌های شلغم در سه دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. تفاوت در منحنی‌ها ناشی از تفاوت در دمای خشک کردن است، که باعث شد ضریب نفوذ رطوبت و در نتیجه سرعت خشک کردن تغییر کند. و با افزایش دمای خشک کردن، سرعت خشک شدن نیز افزایش یافت.

بریکس محلول اسمزی ۳۵٪، زمان ۱۰۵ دقیقه و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان نقطه بهینه تعیین شد. سپس برای مرحله کنتیک خشک کردن از این شرایط بهینه شده برای تهیه برش‌های شلغم استفاده شد.

۳-۶- بررسی منحنی‌های خشک کردن، ضریب

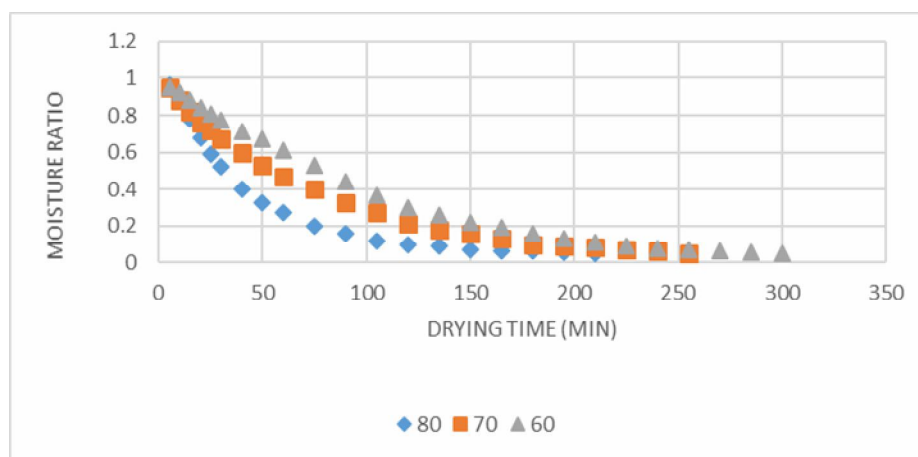


Fig 5 The drying curve of the turnip samples at 60, 70 and 80°C.

رطوبت بود. با توجه به تأثیری که ضریب نفوذ مؤثر علاوه بر انتقال جرم، بر میزان انتقال حرارت دارد می‌توان از این مورد برای طراحی خشک‌کن‌ها استفاده کرد. ضریب نفوذ مؤثر برای دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد در جدول ۴ نشان داده شده است. در مراحل پایانی خشک کردن، ضریب نفوذ بالاتر بود. مراحل ابتدایی مرحله سرعت ثابت خشک شدن می‌باشد که میزان خروج آب از ماده با میزان تبخیر برابر بود. مراحل پایانی نشان‌دهنده مرحله سرعت نزولی می‌باشد که در این مراحل شیب تغییرات سرعت بیشتر بود. به‌طور کلی با افزایش دما ضریب نفوذ مؤثر افزایش پیدا کرد که دلیل این پدیده اثر مثبت دما بر افزایش شدت فعل و انفعالات و جنبش مولکولی بود [۴۰، ۴۱].

نسبت‌های رطوبتی (MR) به دست آمده در سه دما با ۱۰ مدل جدول ۱ برازش گردیدند. مدل‌های مختلف توسط سه معیار ضریب همبستگی (R^2)، مربع کای دو (χ^2) و مجموع مربعات خطا (SSE) با یکدیگر مقایسه و در نهایت مدلی انتخاب شد که دارای بیشترین مقدار R^2 و کمترین مقدار χ^2 و SSE باشد. برای دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مدل میدیلی، برای ۷۰ سانتی‌گراد مدل دو جمله‌ای و برای ۸۰ سانتی‌گراد مدل لگاریتمی با مقادیر R^2 بالای ۰/۹۹۷ دارای بهترین برازش با داده‌های آزمایشی بودند.

با رسم نمودار $\ln MR$ در برابر زمان خشک شدن نمودار غیر خطی تشکیل شد که نشان‌دهنده تغییر ضریب نفوذ مؤثر با میزان

Table 4 Effective influence coefficient at 60, 70 and 80°C

Temperature (C°)	Effective influence coefficient (m ² /s)	Equation	R ² squared
60	1.83×10 ⁻⁹	y = -0.0002x + 0.0701	0.9971
70	2.03×10 ⁻⁹	y = -0.0002x - 0.0421	0.9974
80	3.04×10 ⁻⁹	y = -0.0003x - 0.2305	0.9569

در مرحله انتقال در محصول طی خشک شدن از آن عبور نمایند.

انرژی فعال‌سازی حدی از انرژی است که مولکول‌های آب باید

- S Tapia, Aurelio López-Malo, Jorge Welti-Chanes and Pedro Fito, 2005, "Novel Functional Foods from Vegetable Matrices Impregnated with Biologically Active Compounds." *Journal of Food Engineering*, 67(1): 205-214.
- [6] Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. 2016. Ways and means for the infusion of bioactive constituents in solid foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(7), 1126-1145.
- [7] Rózek, A., García-Pérez, J. V., López, F., Güell, C., & Ferrando, M. 2010. Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*, 99(2), 142-150.
- [8] Cid-Ortega, S and JA Guerrero-Beltrán, 2015, "Roselle Calyces (*Hibiscus Sabdariffa*), an Alternative to the Food and Beverages Industries: A Review." *Journal of Food Science and Technology*, 52(11) : 6859-6869.
- [9] Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. 2016. Ways and means for the infusion of bioactive constituents in solid foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(7), 1126-1145.
- [10] Silva, Keila S, Milena A Fernandes and Maria A Mauro, 2014, "Effect of Calcium on the Osmotic Dehydration Kinetics and Quality of Pineapple." *Journal of Food Engineering*, 134: 37-44.
- [11] İspir, A., & Toğrul, İ. T. 2009. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(2), 166-180.
- [12] Rózek, Aleksandra, Isabel Achaerandio, Carme Güell, Francisco López and Montse Ferrando, 2009, "Grape Phenolic Impregnation by Osmotic Treatment: Influence of Osmotic Agent on Mass Transfer and Product Characteristics." *Journal of Food Engineering*, 94(1): 59-68.
- [13] Daniel, Leyva, E Diana, Blanca E Barragán Huerta, Mario G Vizcarra Mendoza and Irasema Anaya Sosa, 2013, "Effect of Drying Conditions on the Retention of Phenolic Compounds, Anthocyanins and Antioxidant Activity of Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) Added to Yogurt." *International Journal of Food Science & Technology*, 48(11): 2283-2291.
- [14] Moore KL, Patel J, Jaroni D, Friedman M, مقادیر انرژی فعال‌سازی از روی نمودار تغییرات $\ln D_{eff}$ در برابر عکس دمای مطلق به دست می‌آید. میزان انرژی فعال‌سازی برای نمونه‌ها ۲۵/۱۲ کیلوژول بر مول محاسبه شد.
- ### ۴- نتیجه‌گیری
- در مرحله آبیگری اسمزی، نتایج نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی بر شدت آب‌زدایی، جذب مواد جامد و کاهش وزن اثر معنی‌داری دارد، ولی بر جذب ترکیبات فنولی اثر غیر معنی‌داری دارد، که ناشی از اشباع شدن سطح شلغم با شکر موجود در محلول اسمزی بود. افزایش زمان اسمز و دمای محلول اسمزی بر تمام پاسخ‌ها اثر معنی‌داری داشت، که به ترتیب ناشی از افزایش مدت زمان در معرض بودن و افزایش نفوذ پذیری غشا تحت تاثیر دما بود. شرایط نقطه بهینه مرحله آبیگری اسمزی غلظت ۳۵٪ محلول اسمزی، زمان ۱۰۵ دقیقه و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. نمونه‌ها طبق شرایط بهینه تولید و در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. برای دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مدل میدیلی، برای ۷۰ درجه سانتی‌گراد مدل دو جمله‌ای و برای ۸۰ درجه سانتی‌گراد مدل لگاریتمی دارای بهترین برازش با داده‌های آزمایشی بودند. میزان ضریب نفوذ مؤثر برای دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد صعودی بود.
- ### ۵- منابع
- [1] Wakchaure, G. C., Manikandan, K., Mani, I., & Shirur, M. 2010. Kinetics of thin layer drying of button mushroom. *Journal of Agricultural Engineering*, 47(4), 41-46.
- [2] Sharma, G. P., & Prasad, S. 2006. Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 441-446.
- [3] Bal, L. M., Kar, A., Satya, S., & Naik, S. N. 2010. Drying kinetics and effective moisture diffusivity of bamboo shoot slices undergoing microwave drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(11), 2321-2328.
- [4] Akbarian, M., Ghasemkhani, N., & Moayedi, F. 2014. Osmotic dehydration of fruits in food industrial: a review. *Int. J. Biosci.*, 4(1), 42-57.
- [5] Alzamora, Stella M, Daniela Salvatori, María

- thin layer of apple pomace. *Food Research International*, 40(39-46).
- [24] Akpınar, E.K., and Bicer, Y. 2008. Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. *Energy Conversion Manag.* 49:1367– 1375.
- [25] Crank, J.1979. *The Mathematics of Diffusion*. (Oxford University Press, USA).-
- [26] Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A., and Virseda, P. 2000. Thin-layer drying behaviour of vegetable waste from wholesale market. *Drying Technology*, 18: 995–1006.
- [27] Akpınar, E., Midilii, A., and Bicer, Y. 2003. Single layer drying behavior of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Convection and Management*, 44: 1689-1705.
- [28] Bas,D., Boyanci, I.H., 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78: 836-845.
- [29] Mundada, M., Singh, B., & Maske, S. 2010. Optimisation of processing variables affecting the osmotic dehydration of pomegranate arils. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(8), 1732-1738.
- [30] Mundada, Manoj, Bahadur Singh Hathan and Swati Maske, 2011, "Mass Transfer Kinetics During Osmotic Dehydration of Pomegranate Arils." *Journal of food Science*, 76(1): E31-E39.
- [31] Romdhane, N. G., Djendoubi, N., Bonazzi, C., Kechaou, N., & Mihoubi, N. B. 2016. Effect of combined Air-Drying-Osmotic dehydration on kinetics of Techno-functional properties, color and total Phenol contents of Lemon (*Citrus limon. v. lunari*) Peels. *International Journal of Food Engineering*, 12(6), 515-525.
- [32] Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Palou, E., & Welti-Chanes, J. 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, 57(4), 305-314.
- [33] Adsare, S. R., Bellary, A. N., Sowbhagya, H., Baskaran, R., Prakash, M., & Rastogi, N. K. 2016. Osmotic treatment for the impregnation of anthocyanin in candies from Indian gooseberry (*Emblica officinalis*). Ravishankar S 2011. Antimicrobial activity of apple, hibiscus, olive, and hydrogen peroxide formulations against *Salmonella enterica* on organic leafy greens. *J. Food Prot.* 74:1676-1683.
- [15] Olvera□García, V., Castaño□Tostado, E., Rezendiz□Lopez, R. I., Reynoso□Camacho, R., González de Mejía, E., Elizondo, G., & Loarca□Piña, G. (2008). Hibiscus sabdariffa L. extracts inhibit the mutagenicity in microsuspension assay and the proliferation of HeLa cells. *Journal of Food Science*, 73(5), T75-T81.
- [16] Moate, P. J., Dalley, D. E., Roche, J. R., Gow, C. B., & Grainger, C. 2002. Effects on milk production of increased dietary crude protein by feeding nitrogen-fertilised turnips or lupins to dairy cows in mid-lactation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(1), 1-6.
- [17] Fernandes, F. A., Rodrigues, S., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. 2011. Drying of exotic tropical fruits: a comprehensive review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 163-185.
- [18] Mandala, I., Anagnostaras, E., & Oikonomou, C. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 307-316.
- [19] Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P., & Lavine, A. S. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons.
- [20] Horwitz, W., Chichilo, P., & Reynolds, H. 1970. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*.
- [21] Jung, E., Kim, Y., & Joo, N. 2013. Physicochemical properties and antimicrobial activity of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(15), 3769-3776.
- [22] Rezaie, M., Farhoosh, R., Iranshahi, M., Sharif, A., & Golmohamadzadeh, S. 2015. Ultrasonic-assisted xtraction of antioxidative compounds from Bene (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*) hull using various solvents of different physicochemical properties. *Food Chemistry*, 173, 577-583.
- [23] Wang, Z., Sun, J., and Liao, X. 2007. Mathematical modeling of hot air drying of

- 105(3): 453-459.
- [38] Rastogi, N., Raghavarao, K., Niranjana, K., & Knorr, D. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13(2), 48-59.
- [39] Rastogi, N.K., Angersbach, A., Knorr, D., 2000. Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials. *Journal of Food Science* 65, 1016–1021.
- [40] Shene, C., Cabezas, M. J., & Bravo, S. 2003. Effect of drying air temperature on drying kinetics parameters and fructan content in *Helianthus tuberosus* and *Cichorium intybus*. *Drying Technology*, 21(5), 945-956.
- [41] Hassini, L.; Azzouz, S.; Peczalski, R.; Belghith, A. 2007. Estimation of potato moisture diffusivity from convective drying kinetics with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering* . 79, 47–56.
- Journal of Food Engineering*, 175, 24-32.
- [34] George, J. M., Selvan, T. S., & Rastogi, N. K. 2016. High-pressure-assisted infusion of bioactive compounds in apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 100-107.
- [35] Rózek, Aleksandra, Isabel Achaerandio, María Pilar Almajano, Carme Güell, Francisco López and Montserrat Ferrando, 2007, "Solid Foodstuff Supplemented with Phenolics from Grape: Antioxidant Properties and Correlation with Phenolic Profiles." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(13): 5147-5155.
- [36] Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. 2016. Ways and means for the infusion of bioactive constituents in solid foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(7), 1126-1145.
- [37] Bellary, Ashwini N, HB Sowbhagya and Navin K Rastogi, 2011, "Osmotic Dehydration Assisted Impregnation of Curcuminoids in Coconut Slices." *Journal of Food Engineering*,

Evaluation of Turnip slice phenolic component increasing by osmosis treatment in Roselle extract and investigation of its hot-air drying kinetics

Shahidi, f. ^{1*}, Maleki, M. ²

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

(Received: 2018/10/10 Accepted:2019/05/04)

In this study, turnip slices was osmotic dehydrated in rosella extract for polyphenolic enrichment purpose which further dried using hot air drying technique. Osmotic process variables were the concentration of sucrose solution (30, 50 and 70 %), process time (40, 75 and 105 min) and the solution temperature (60, 70 and 80°C). The quality of osmotic dehydration-enrichment step was evaluated by measuring water loss, solid gain, weight reduction and phenolic compounds absorption. All variable were effective on measured parameters. Optimized osmotic condition were 35% of sucrose concentration, 105 min for process time and temperature of 80°C to reach the most desirable responses including maximum water loss and weight reduction and phenolic compounds absorption as well as minimum solid gain. Processed turnip slices at optimum condition were then air dried at 60, 70 and 80°C. Moisture ratio during drying time was measured for every temperature and used for determination of best drying kinetic model. 10 models were fitted to experimental data and the fitting quality was evaluated using statistical parameters. It was found that two term models predicts the moisture changes well. Effective diffusion coefficient s were $1.83E-9$, $2.03E-9$ and $3.04E-9$ for 60, 70 and 80°C drying temperatures respectively. Arrhenius model was used for activation energy determination and it calculated as 25.12 Kj/mol.

Key words: Turnip, Phenol. Hot Air Drying, Roselle

* Corresponding Author E-Mail Address: fshahidi@um.ac.ir