

مقایسه اثر خشک کردن همرفت و خشک کردن ترکیبی اسمز-همرفت روی رفتار خشک شدن و شاخص‌های رنگی نعنای فلفلی

امید مردانی^۱، فاطمه نادی^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع غذایی-تکنولوژی مواد غذایی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

۲- گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۱۵)

چکیده

اثر روش خشک کردن همرفت و ترکیبی اسمز-همرفت روی رفتار خشک شدن، ویژگی‌های خشک کردن شاخص‌های رنگ برگ نعنای فلفلی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های خشک کردن در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C و پیش تیمار آب‌گیری اسمزی با محلول (w/w) ۵٪ نمک در شرایط دمای ۴۰°C و سرعت ۸۰ rpm به مدت ۶۰ دقیقه انجام شد. ضریب انتشار رطوبت و انرژی فعال‌سازی به ترتیب از قانون دوم فیک و معادله آرنیوس محاسبه شدند. نتایج نشان داد که رفتار خشک شدن، ویژگی‌های خشک کردن و رنگ نعنای فلفلی متأثر از روش خشک کردن بود. زمان خشک شدن برگ‌های نعنای فلفلی با روش همرفت نسبت به روش اسمز-همرفت کمتر بود. ساختار نازک و مساحت بزرگ سطح برگ باعث کاهش سریع رطوبت شد. بنابراین، خشک کردن تنها در مرحله نزولی اتفاق افتاد. افزایش دما باعث افزایش ضریب انتشار رطوبت مؤثر شد که این امر نشان‌دهنده شدت فعل و انفعالات در دمای بالاتر بود. در حالی که، آب‌گیری اسمزی به علت نمک تزریق شده به برگ‌های نعنای فلفلی موجب افزایش ضخامت دیواره سلولی، کاهش نرخ خشک شدن و کاهش ضریب انتشار رطوبت مؤثر شد. تغییر رنگ برگ نعنای خشک شده با روش همرفت کمتر از تغییر رنگ برگ نعنای خشک شده با روش اسمز-همرفت بود که نشان می‌دهد آب‌گیری اسمزی برای جلوگیری از تلفات رنگ کارآمد نبود.

کلید واژگان: آب‌گیری اسمزی، خشک کردن همرفت، شاخص‌های رنگ، ضریب انتشار مؤثر رطوبت، نعنای فلفلی

*مسئول مکاتبات: f.nadi@iaauaz.ac.ir

۱- مقدمه

نعناع فلفلی با نام علمی *Menthapipertia L.* در رده بندی گیاهی از تیره *Lamiaceae* راسته *Lamiaceae* و رده *Rosidae* می باشد. نعناع از جمله گیاهان دارویی است که به واسطه اثرات دارویی و استفاده غذایی از دیرباز مورد توجه محققان بوده و از دو هزار سال قبل تاکنون به عنوان ادویه و دارو استفاده می شود [۱]. به منظور حفظ این گیاه فصلی و دسترسی مصرف کنندگان در طول سال، از تکنولوژی های ویژه ای از قبیل خشک کردن استفاده می شود. خشک کردن گیاهان مانع از رشد میکروبی و برخی تغییرات بیوشیمیایی می گردد و روش بسیار مفیدی جهت افزایش مقدار ترکیبات فنولیک و ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره گیاهان می باشد؛ اما ضمن خشک کردن میوه ها و سبزیجات فروپاشی سلولی^۱ اتفاق می افتد، و نتیجه آن انسداد بیشتر حفرات است. این پدیده زمان فرآیند خشک کردن و به دنبال آن توانایی بازجذب آب توسط محصول را با مشکل مواجه می کند [۲، ۳]. در طول خشک کردن با هوای داغ مقدار فروپاشی سلولی با مقدار افت رطوبت در طول فرآیند متناسب است [۳]. این فروپاشی روی آروما، ظرفیت و سرعت باز جذب آب نیز اثر منفی می گذارد [۴-۶].

غالباً ۴۰٪ از معیار پذیرش محصول توسط مصرف کنندگان رنگ محصول می باشد. بنابراین، رنگ محصولات خشک شده به عنوان یکی از مهمترین شاخص های کیفیت شناخته شده است [۷، ۸]. زمان های طولانی خشک کردن منجر به کیفیت ضعیف محصولات به علت کاراملیزاسیون، واکنش های میلارد، واکنش های آنزیمی، تخریب رنگ دانه و اکسیداسیون اسید ال-اسکوربیک می شود. انتخاب شرایط مناسب خشک کردن و پیش تیمار جهت حداقل کردن تنش حرارتی، بیش خشک شدن و حفظ مواد موثره می باشد [۸، ۹].

آب گیری اسمزی فرآیند مهمی است که بخشی از آب بافت های گیاهی را از طریق غوطه ور سازی محصولات گیاهی در یک محلول آبیهای پرتونیک خارج می کند. برای میوه ها از محلول شکر با یا بدون افزودن مقداری کمی نمک، و برای سبزی ها عمدتاً محلول نمک استفاده می شود [۱۰]. در یک سیستم شامل مواد بیولوژیکی و یک محلول اسمزی، غشا نیمه تراوا معمولاً غشا سلول مواد غذایی است. آب گیری

اسمزی شامل سه فرآیند انتقال جرم است: ۱- انتقال آب از ماده غذایی به محلول اسمزی، ۲- انتقال املاح از محلول اسمزی به داخل ماده غذایی و ۳- انتقال محلول های طبیعی درون مواد غذایی از قبیل ساکاریدها، اسیدهای عالی، مواد معدنی، ویتامین ها، نمک ها و رنگ دانه های مواد غذایی به داخل محلول اسمزی، که از لحاظ کمی چندان قابل توجه نیست و از آن چشم پوشی می شود اما به لحاظ ارزش غذایی و ارگانیک مهم می باشد [۸، ۱۱]. جریان های مختلف ورودی و خروجی به بافت گیاه در طی آب گیری اسمزی در شکل ۱ نشان داده شده است.

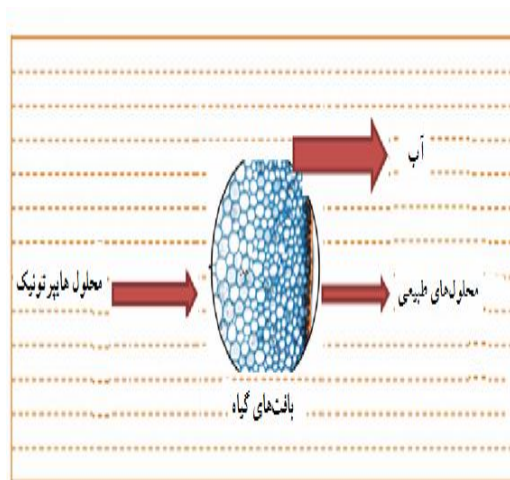


Fig1 Mass transfer in plant tissue during osmotic dehydration

گرچه آب گیری اسمزی فرآیندی است که در آن آب از مواد سلولی تا حدی خارج می شود، با این وجود به علت آب باقی مانده نگهداری مواد غذایی قابل تضمین نیست. زمانی که نگهداری یک ماده غذایی هدف نهایی یک فرآیند است از روش های تکمیلی حذف آب، مانند خشک کردن همرفت، خشک کردن انجمادی و غیره پیشنهاد می شود [۱۲]. تحقیقات زیادی رفتار خشک کردن همرفت محصولات را بعد از آب گیری اسمزی مورد مطالعه قرار داده اند. با این حال، به علت تنوع در ترکیبات غذایی (پروتئین، کربوهیدرات، چربی، نمک و غیره) و ساختار فیزیکی (تخلخل، آرایش سلول و جهت گیری فیبر) [۱۳] و تغییرات فیزیکی و شیمیایی میوه ها و سبزیجات در طی آب گیری اسمزی، مواد غذایی آب گیری شده با پیش تیمار اسمزی رفتار متفاوتی در طی فرآیند خشک کردن همرفت نشان می دهند [۱۴، ۱۵]. همچنین، به علت جذب غیرمعمول محلول توسط محصول در طی آب گیری اسمزی پتانسیل کاربرد آب گیری اسمزی محدود است. جذب زیاد محلول باعث

1. Cellular collapse

کردند پارامترهای رنگ نعنای خشک شده به روش همرفت و اسمز-همرفت در دماهای مختلف خشک کردن بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد خام

برگ‌های تازه نعنای هرروز از بازار محلی تهیه شدند و قبل از خشک کردن، مواد زائد مانند علف‌های هرز، سنگریزه‌ها، برگ‌های زرد یا برگ‌هایی که لکه قهوه‌ای داشتند و یا آلوده به کپک بودند، از محصول جدا شدند. برای تعیین محتوای رطوبت اولیه برگ‌ها، سه نمونه ۱۰ گرمی در یک آون آزمایشگاهی در دمای 105°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند [۳۰].

۲-۲- پیش تیمار اسمز

نمک (NaCl) به عنوان عامل اسمزی از درجه خوراکی تهیه گردید. برای انجام پیش تیمارهای اسمزی، محلول اسمزی^۲ (آب‌نمک با بریکس ۵) تهیه شد. پیش تیمار اسمزی در دمای 40°C و سرعت هم‌زدن ۸۰ rpm انجام گرفت. برای جلوگیری از تغییرات قابل توجه در غلظت محلول در طی آب-گیری اسمزی، نسبت نمونه به محلول اسمزی در سطح ۱:۱۰ تنظیم شد. فرآیند آب‌گیری اسمزی در شیکر انجام شد و یک ساعت به طول انجامید. بعد از به اتمام رسیدن آب‌گیری اسمزی، بلافاصله محتویات ظرف نمونه بر روی آبکش ریخته شد تا آب‌نمک خارج شده و برگ‌های نعنای روی آن باقی بماند. سپس برگ‌های نعنای روی کاغذهای جاذب الرطوبه^۳ قرار گرفتند تا قطرات آب‌نمک چسبیده به آن جدا شوند [۳۱].

۲-۳- آزمایش‌های خشک کردن

برای انجام آزمایش‌های خشک کردن برگ‌های نعنای از آون Memmert مدل UFB400 ساخت آلمان استفاده شد. آزمایش‌ها در چهار دمای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و 80°C و با سرعت هوای 2 m s^{-1} در راستای نمونه‌ها انجام شد. رطوبت نسبی بسته به دمای خشک کردن بین ۷ تا ۱۲٪ تغییر می‌کرد. خشک کردن تا زمانی که تغییرات رطوبت برگ‌های نعنای بسیار کم شده و در نتیجه شدت خشک شدن تقریباً صفر می‌شد، ادامه داشت. در هر آزمایش ۱۰۰ گرم برگ نعنای با ضخامت حدود

مقاومت به انتقال جرم آب می‌شود و منجر به کاهش میزان آب‌گیری در طی خشک کردن تکمیلی می‌شود [۱۶، ۱۷]. آزویل و همکاران [۱۸] تأثیر آب‌گیری اسمز بر روی سیستیک خشک کردن و کیفیت سیب‌آدام هندی^۱ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که نرخ خشک شدن میوه‌های اسمز شده به علت حضور محلول‌های تزریقی کاهش می‌یابد. همچنین ارزیابی‌هایی محصول نشان داد که نمونه‌های اسمزی بیشترین میزان تلفات ویتامین C را دارند. فلاده و همکاران [۱۵] ویژگی‌های خشک کردن چهار رقم فلفل خشک شده به روش همرفت و اسمز-همرفت را بررسی کردند. مشاهده شد که فلفل‌های خشک شده به روش همرفت نرخ خشک شدن بالاتری را نسبت به فلفل‌های خشک شده به روش اسمز-همرفت اسمزی دارند. آن‌ها این کاهش نرخ خشک کردن را به جذب محلول در طی مرحله اسمزی، که منجر به افزایش مقاومت داخلی محصول به انتقال جرم و کاهش نرخ خشک شدن می‌شود، نسبت دادند. ماززا [۱۹] کاهش نرخ خشک شدن هویج را بعد از آب‌گیری اسمزی به افت فشار بخار آب به علت شکر حل شده و انتقال حرارت ناقص و تبلور ساکاروز در طی خشک کردن با هوا نسبت داد. نیتو و همکاران [۲۰] افزایش زمان خشک کردن بعد از آب‌گیری اسمزی را به افزایش مقاومت به جریان آب ناشی از چروکیدگی، جذب جامد و یا تبلور نشاسته و تجزیه موقت پروتئین کربوهیدرات نسبت دادند.

از مطالعات انجام گرفته روی خشک کردن نعنای می‌توان به رفتار خشک کردن لایه نازک برگ نعنای در یک خشک‌کن کابینتی [۲۱]، ارزیابی پارامترهای خشک کردن وایزوترم دفع برگ نعنای [۲۲]، خشک کردن خورشیدی گیاه کامل نعنای تحت جریان همرفت و اجباری [۲۳]، تأثیر خشک کردن مادون قرمز روی اسانس نعنای [۲۴]، میزان مصرف انرژی و تغییر رنگ نعنای خشک شده به روش ترکیبی همرفتی - مادون قرمز [۲۵]، اثر خشک کردن هوای داغ روی اسانس نعنای [۲۶-۲۸] و اثر خشک کردن در مایکروویو و آون روی پارامترهای خشک کردن و رنگ برگ نعنای [۲۹] اشاره کرد. به علت فقدان اطلاعات درباره اثر پیش تیمار آب‌گیری اسمزی روی خشک کردن نعنای فلفلی، هدف از این تحقیق بررسی اثر پیش تیمار آب‌گیری اسمزی روی رفتار خشک کردن، ویژگی‌های خشک

2. Osmotic agent
3. Absorbent paper

1. Cashew apple

(۲)

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4H^2}\right)$$

که، MR نسبت رطوبت بی‌بعد؛ M_i محتوی رطوبت اولیه (gr water/gr d.s.) و M_e محتوی رطوبت تعادلی (gr water/gr d.s.) است.

برای زمان‌های خشک کردن طولانی، اولین جمله سری گسترش یافته معادله ۲ استفاده می‌شود.

$$(۳) \quad \ln\left(\frac{M - M_e}{M_0 - M_e}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4H^2}\right)$$

شکل عمومی معادله ۳ می‌تواند به شکل نیمه لگاریتمی زیر نوشته شود.

$$\ln MR = A - Bt$$

با ترسیم داده‌های تجربی $\ln MR$ در مقابل زمان و محاسبه شیب خط (B) ترسیم شده، D_{eff} به دست آمد.

$$(۵) \quad B = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4H^2}$$

رابطه بین دما و D_{eff} با معادله آرنیوس توصیف می‌شود. بنابراین، انرژی فعال‌سازی از شیب معادله آرنیوس - با ترسیم مقادیر D_{eff} در مقابل عکس دمای مطلق ($1/T_{abs}$) - به دست آمد [۳۳].

$$(۶) \quad D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{abs}}\right)$$

که D_0 عامل آرنیوس عامل پیش‌نمایی ($m^2 s^{-1}$)؛ E_a انرژی فعال‌سازی ($J mol^{-1} K$)؛ R ثابت جهانی گاز ($J mol^{-1} K$)؛ T_{abs} دمای هوا-داغ (K).

نرخ خشک شدن (DR) توسط معادله ۷ محاسبه شد [۳۴]:

$$(۷) \quad DR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t}$$

که M_t محتوی رطوبتی در زمان t ؛ و $M_{t+\Delta t}$ محتوی رطوبتی در زمان $t + \Delta t$.

۲-۵- اندازه‌گیری تغییرات رنگ

تغییرات رنگی برگ‌های نعنای با اندازه‌گیری با استفاده از یک هانتربل (CIRAD مدل Montpellier فرانسه) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این دستگاه با کاشی مرجع سفید کالیبره شد. ظرف شیشه‌ای حاوی برگ نعنای در محفظه تحویل نمونه

۰/۶ میلی‌متر و متوسط پهنای سطح برگ ۰/۱۴ سانتی‌متر مربع خشک شد. از ترازوی دیجیتالی (SARTORIUS مدل GE1502 ساخت آلمان) با دقت ۰/۰۱ ± برای وزن کردن نمونه‌ها استفاده شد. فاصله زمانی وزن‌کشی در طی اولین ساعت فرآیند هر ۵ دقیقه، برای دو ساعت بعدی هر ۱۰ دقیقه و سپس هر ۲۰ دقیقه انجام شد تا اینکه وزن نمونه ثابت شد. همه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

۲-۴- تعیین ضریب انتشار مؤثر رطوبت (D_{eff})

در فرآیند خشک کردن، D_{eff} برای نشان دادن شدت خروج رطوبت از مواد استفاده می‌شود. برای محاسبه D_{eff} از قانون دوم انتشار فیک استفاده می‌شود. قانون دوم فیک شرایط ناپایان انتقال رطوبت در مرحله نزولی فرآیند خشک کردن را توصیف می‌کند. برای به کار بردن قانون فیک فرض می‌گردد که ماده غذایی یک بعدی است، دارای رطوبت اولیه یکنواخت است و حرکت درونی رطوبت مقاومت عمده در برابر انتقال رطوبت است. کرنک [۳۲] معادله انتشار فیک را برای یک ورقه نامحدود به ضخامت $2H$ به صورت زیر توصیف کرد:

$$(۱) \quad \frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{eff} \frac{\partial M}{\partial z} \right)$$

که M محتوای رطوبتی (gr water/gr d.s.)؛ t زمان (s)؛ z مختصات در جهت ضخامت ورقه و D_{eff} ضریب انتشار مؤثر رطوبت ($m^2 s^{-1}$).

برای حل قانون دوم نفوذ فیک، D_{eff} در طی فرآیند خشک کردن ثابت در نظر گرفته شد و شرایط اولیه و مرزی زیر اعمال شدند:

$$۱- \text{محتوای رطوبت اولیه یکنواخت: } X(z, 0) = X_0$$

$$۲- \text{تقارن محتوای رطوبت: } \left. \frac{\partial M(t)}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$$

$$۳- \text{محتوای رطوبت تعادل در سطح: } M(H, t) = M_e \text{ و اعمال}$$

$$\overline{M(t)} = \frac{1}{H} \int_0^H M(z, t) dz$$

که $\overline{M(t)}$ متوسط محتوی رطوبت نمونه در لحظه t (gr water/gr d.s.) و H طول مشخصه، نصف ضخامت نمونه (m) است.

با فرض اینکه چروکیدگی ناچیز باشد، کرنک با حل تحلیلی معادله انتشار فیک، سری فوریه زیر را برای انتقال رطوبت به دست آورد:

برخی از محققین حوزه خشک کردن به علت اینکه محتوای رطوبت تعادلی به طور قابل توجهی کمتر از محتوای رطوبت اولیه است، محتوای رطوبت تعادلی را صفر فرض کرده‌اند [۳۵-۳۸]. اما این فرضیه فقط در آغاز فرآیند خشک کردن معتبر است؛ هنگامی که نمونه خشک می‌شود، محتوای رطوبت نمونه به محتوای رطوبت تعادلی می‌رسد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، این فرضیه می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر شیب و خطی بودن منحنی خشک شدن نرمال تأثیر بگذارد. جدول ۱ محتوای رطوبت تعادلی و محتوای رطوبت اولیه برگ‌نعنای را برای شرایط مختلف خشک کردن نشان می‌دهد. نتایج آماری نشان داد که شرایط خشک کردن تأثیر معنی‌داری روی محتوای رطوبت تعادلی ندارند.

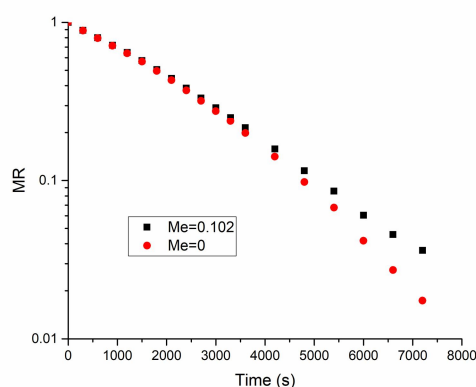


Fig 2 The effect of equilibrium moisture content on the normalize plot of moisture content

Table 2 Equilibrium moisture content of peppermint

Drying temperature (°C)				Drying method
80	70	60	50	
M_e (gr water/gr d.s.)				M_o (gr water/gr d.s.)
0.119	0.079	0.101	0.102	5.545
0.052	0.051	0.092	0.098	4.187
				Osmo-convective

خشک کردن روی زمان خشک شدن برگ نعنای تا رسیدن به محتوای رطوبت تعادل در جدول ۲ ارائه شده است. تجزیه واریانس (ANOVA) نشان می‌دهد که روش خشک کردن و دمای هوای خشک کردن در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری روی زمان خشک شدن داشتند.

قرارگرفت و سه پارامتر هانتر یعنی L (روشنایی)، a (قرمزی - سبزی) و b (زردی - آبی) اندازه‌گیری شد. تخریب رنگ برگ‌های نعنای با یک مقدار عددی ΔE (معادله ۸) بیان شد. این مقدار بزرگی اختلاف رنگ کلی از برگ‌های تازه نعنای را تعیین می‌کند.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (8)$$

که L_0 ، a_0 و b_0 در زمان صفر و L ، a و b در پایان فرآیند خشک کردن است. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

۶-۲- تجزیه و تحلیل آماری

برای ارزیابی اثر متغیرها شامل روش خشک کردن (همرفت و اسمز-همرفت) و دمای خشک کردن (۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C) روی ویژگی‌های خشک کردن و شاخص‌های رنگ از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. ابتدا مقایسه میانگین انجام شد و سپس با استفاده از آزمون دانکن گروه‌بندی و مقایسه نتایج صورت گرفت. برای رسم منحنی‌های سینتیک-خشک کردن و نمودارها از نرم افزار OriginPro نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- محتوای رطوبت تعادلی

۳-۲- اثر روش خشک کردن روی زمان خشک شدن

زمان خشک کردن یک شاخص مهم در تولید محصولات خشک شده به‌روش صنعتی است. اثر پیش تیمار و دمای

Table 3 Total time of peppermint leaves during convective drying

Drying temperature (°C)				Drying method
80	70	60	50	
40 ^g	50 ^{fg}	70 ^{de}	120 ^{cd}	Convective
60 ^{ef}	70 ^{de}	140 ^{bc}	240 ^a	Osmo-convective

ال-آنورا و همکاران افزایش زمان خشک کردن و کاهش نرخ خشک کردن بعد از آب‌گیری اسمزی به‌علت تغییرات فیزیکی و شیمیایی میوه عنبه در طی آب‌گیری اسمزی دانستند [۴۷].

۳-۳- اثر روش خشک کردن روی رفتار خشک

شدن نعنای فلفلی

خشک کردن نمونه‌های نعنای پیش‌تیمار نشده در رطوبت نسبتاً بالا در حدود ۵/۵۴۵ (بر پایه خشک) آغاز شد؛ درحالی‌که خشک کردن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آب‌گیری اسمزی در محتوای رطوبت نسبتاً کمتر در حدود یعنی ۴/۱۸۷ درصد (بر پایه خشک) آغاز شد. به لحاظ نظری، نمونه‌هایی که با پیش-تیمار اسمزی آب‌گیری اولیه شده‌اند به دلیل محتوای رطوبت کمتر از مواد تازه باید سریع‌تر خشک شوند [۴۸]. با این وجود، طولانی بودن زمان نمونه‌های خشک شده به روش اسمز-همرفت در مقایسه با نمونه‌های خشک شده به روش همرفت مشاهده شد. تفاوت بین نتایج حاصل از این تحقیق با دیگران ناشی از انتقال جامد محلول و کریستالیزه شدن مواد در سطح نمونه حاصل می‌باشد. مواد محلول روی سطح نمونه ته‌نشین شد و جریان خروج رطوبت را مسدود کرد. این احتمالاً دلیل اصلی برای طولانی شدن زمان خشک شدن نسبت به خشک کردن به روش همرفت است. کوالسکی و وختانسکا [۴۹] نیز نتایج مشابهی برای خشک کردن چغندر لبویی به روش اسمز-همرفت و همرفت مشاهده کردند. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، افزایش دمای خشک کردن منجر به منحنی‌های خشک کردن با شیب تندتر و زمان خشک کردن کوتاه‌تر می‌شود. این رفتار برای نمونه‌های خشک شده به روش همرفت بیشتر مشهود است. با این حال، برای نعنای اسمز شده وقتی دما از 70°C به 80°C افزایش یافت، تأثیر کمتری روی منحنی خشک شدن مشاهده شد. کوروساوا و همکاران [۴۱] نیز نتایج مشابهی را برای خشک کردن قارچ اسمز شده با نمک مشاهده کردند. آن‌ها این پدیده را با چروکیدگی بیشتر و سخت شدن فوق‌العاده‌ای که در دمای بالاتر (80°C) در طی خشک کردن نمونه‌های اسمز شده مشاهده شد، توضیح دادند، که منجر به افزایش مقاومت درونی به انتقال جرم شد. علاوه بر این جذب مواد محلول که در فرآیند اسمزی اتفاق افتاده در مقاومت درونی به انتقال جرم نیز سهیم است.

با افزایش دما، زمان خشک کردن به طور چشمگیری کاهش یافت. این موضوع به خاطر افزایش انرژی وارد شده به مولکول‌های آب در دماهای بالاتر بود. در دماهای بالاتر، گرادیان دمایی بیشتری بین نمونه و هوای خشک کردن به وجود آمد. در نتیجه، انتقال گرما به محصول بیشتر شد، و فرآیند تبخیر با شدت و سرعت بیشتری انجام شد. همان‌طور که از جدول ۲ مشاهده می‌شود، برای خشک کردن نمونه‌های بدون پیش‌تیمار در محدوده دمایی $50-70^{\circ}\text{C}$ ، به ازای افزایش هر 10°C ، زمان خشک شدن به‌طور متوسط ۳۹٪ کاهش یافت، در حالیکه زمان فرآیند برای خشک کردن نمونه‌ها در 80°C نسبت به نمونه‌های خشک شده در 70 ، 11% کاهش نشان داد؛ زیرا خشک کردن در دماهای بالاتر باعث سخت شدن و پوسته پوسته شدن سطحی محصول شده و خروج رطوبت را مشکل و کند ساخته و اثر بدی روی انتشار رطوبت دارد. بنابراین، استفاده از دماهای بالای خشک کردن، علاوه بر غیراقتصادی بودن فرآیند خشک کردن، ممکن است منجر به تخریب بافت و اثرات نامطلوب تغذیه‌ای از قبیل سخت شدن سطحی شود [۳۹]. ژائو و همکاران [۴۰] و کوروساوا و همکاران [۴۱] نیز مشکل انتشار رطوبت در طی فرآیند خشک کردن در دمای 80°C را به‌علت استفاده از دمای فوق‌العاده بالا که باعث سخت شدن سطح محصول شد نسبت دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که در صورتیکه برگ‌های نعنای با محلول اسمز پیش‌تیمار شوند، زمان خشک شدن در همه دماهای خشک کردن به طور معنی‌داری افزایش یافت. با این حال، ماتوزک و مرس [۴۲]، سینگ [۴۳] و تورینگا و همکاران [۴۴] گزارش کردند که آب‌گیری اسمزی موجب کاهش چشمگیری در زمان خشک کردن شد. کاهش زمان خشک کردن ممکن است تنها در صورتی امکان‌پذیر باشد که خشک کردن اسمز-همرفت برای تهیه مواد غذایی رطوبت متوسط با محتوای رطوبتی بالا باشد. افزایش در زمان خشک شدن برگ نعنای پیش‌تیمار شده با اسمز ممکن است ناشی از افزایش مقاومت درونی به خروج آب توسط املاح جذب شده در طی آب‌گیری اسمزی بوده و مطابق با نتایج کلیم‌اله و همکاران [۴۵] و سینگ و گوپتا [۱۴] و راشکار و همکاران [۴۶] است. لنارت و کرکونیاک [۱۲] نیز گزارش کردند که حتی یک غوطه‌وری ساده ماده خام داخل یک محلول اسمزی موجب کاهش قابل توجهی از نرخ جدا شدن آب در خشک کردن همرفتی می‌شود.

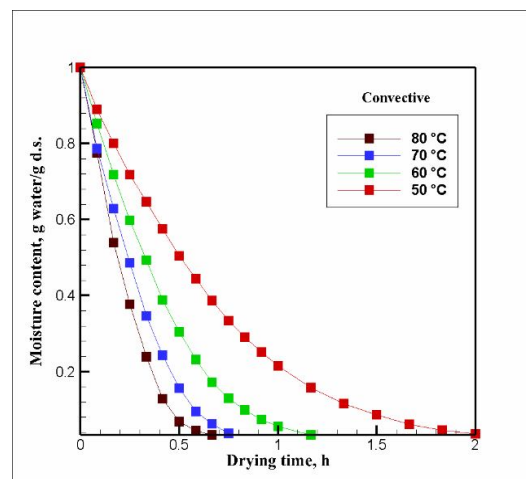
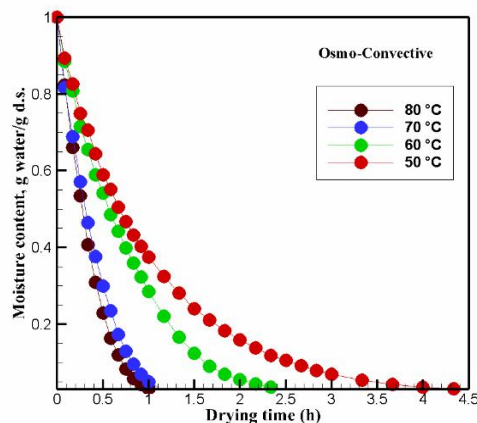


Fig 2 The effect of drying method and temperature on the drying behavior of peppermint leaves

را کاهش داده و منجر به افت بیشتر در نرخ خشک کردن شد. (۲) با خشک شدن سریع سطح محصول، یک لایه سخت سطحی ایجاد شد که از جابجایی آزادانه رطوبت جلوگیری کرده و منجر به کاهش نرخ خشک شدن شد.

تحقیق حاضر نشان داد که انتقال مواد جامد از محلول به نمونه‌ها اثر منفی روی نرخ خشک کردن داشت؛ به‌طوری‌که در یک دمای خشک کردن یکسان، نمونه‌های خشک شده به روش اسمز-همرفت نرخ خشک شدن نسبتاً آرام‌تری نسبت به نمونه‌های خشک شده به روش همرفت نشان دادند. تغییرات فیزیکی و شیمیایی که در طی آب‌گیری اسمزی اتفاق می‌افتد، باعث اختلاف در نرخ خشک کردن در مقایسه با نمونه‌های خشک شده به روش همرفت شد. این اختلاف‌های مشاهده شده بین نعنای خشک شده به روش همرفت و روش اسمز-همرفت ممکن است: (۱) مربوط به جذب نمک در فرآیند اسمز باشد که منجر به افزایش مقاومت به انتقال رطوبت شد. (۲) با فعل و انفعال مولکول‌های آب و مواد جامد در ارتباط باشد [۵۳]. (۳) یا به دلیل بسته شدن کانال‌های انتشار آب در محصول توسط مولکول‌های جامد باشد که نرخ خشک کردن را کاهش می‌دهد [۵۴]. نتایج مشابهی توسط آژوبل و همکاران [۱۸]، ماندلا و همکاران [۵۴]، ال-آئورا و همکاران [۴۷] و سنکات و همکاران [۵۵] برای سیب آجیلی، سیب عنبه، آناناس و موز مشاهده شد.

۳-۴- اثر روش خشک کردن روی نرخ خشک

شدن برگ نعنای فلفلی

برای درک بهتر رفتار خشک شدن، نرخ خشک شدن تجربی (gr water/grd.s/h) به‌عنوان تابعی از محتوای رطوبتی (gr water/gr d.s.) نشان داده شد (شکل ۴). اگرچه انتظار می‌رفت که سبزیجاتی مانند نعنای با داشتن محتوای رطوبتی بالا دوره نرخ خشک شدن ثابت داشته باشند، چرا که تبخیر اولیه در سطح یا نزدیک به سطح اتفاق می‌افتد؛ اما منحنی‌های نرخ خشک کردن نشان داد که فرآیند خشک کردن عمدتاً در دوره خشک کردن نرخ نزولی اتفاق می‌افتد. عدم وجود دوره نرخ ثابت ممکن است به این دلیل باشد که محصول نمی‌تواند منبع ثابتی از آب را برای یک دوره قابل توجه از زمان به‌علت خشک شدن سریع لایه نازک در مراحل اولیه خشک کردن فراهم کند [۵۰-۵۲]. دوره نرخ نزولی نشان می‌دهد انتقال آب از طریق انتشار اتفاق می‌افتد که فرآیند خشک شدن را کنترل می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در آغاز فرآیند خشک کردن نرخ خشک کردن بیشتر بود؛ زیرا بخار آب به آسانی می‌تواند از سطح برگ نعنای جدا شود و سپس با کاهش محتوای رطوبتی، نرخ خشک کردن کاهش یافت. دلیل کاهش نرخ خشک کردن ممکن است: (۱) کاهش تخلخل نمونه در اثر چروکیدگی باشد. این چروکیدگی مقاومت به جابجایی آب

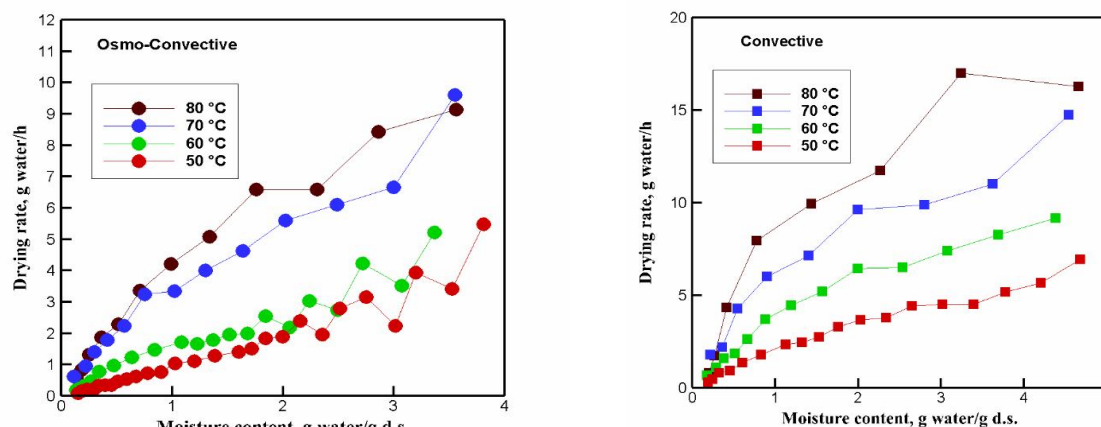


Fig 3 Effect of drying method and temperature on drying rate

خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و کای مربع (χ^2) استفاده شد. جدول ۳ مقادیر R^2 ، RMSE و χ^2 مدل‌های ریاضی را برای برازش مطلوب با داده‌های تجربی نرخ خشک شدن نشان می‌دهد.

مدل‌های خطی، لگاریتمی، چندجمله‌ای مرتبه دوم و توانی برای بررسی توصیف تغییرات نرخ خشک شدن برگ نعناع با محتوی رطوبتی در شرایط مختلف خشک کردن بررسی شدند. برای تحلیل درجه پایداری مدل‌ها، ضریب همبستگی (R^2).

Table 3 Statistical results of drying rate during convective and osmo-convective drying of peppermint leaves.

χ^2	RMSE	R ²	Equation	Temperature (°C)	Model	Drying method
0.1134	0.3175	0.9922	1.3223M+0.5327	50	Linear	Convective
0.5339	0.6722	0.9839	1.9903M+1.2717	60		
1.4103	1.0473	0.9846	2.6991M+2.493	70		
6.4593	2.2010	0.9558	3.5308M+2.8762	80		
0.3230	0.5358	0.9777	1.8233ln(M)+2.5737	50	Logarithmic	
0.3071	0.5097	0.9908	2.7087ln(M)+4.3381	60		
1.1855	0.9603	0.9871	3.9155ln(M)+6.7161	70		
1.2201	0.9566	0.9917	5.1658ln(M)+8.8452	80		
0.0834	0.2636	0.9946	-0.1027M²+1.7839M+0.225	50	Polynomial	
0.1366	0.3241	0.9963	-0.3927M²+3.6547M+0.3017	60		
0.9648	0.8812	0.9891	-0.3334M²+4.2066M+1.5567	70		
0.9703	0.9357	0.9882	-0.9987M²+8.0871M+0.3589	80		
0.0649	0.2402	0.9746	1.9828M ^{0.7622}	50	Power	
0.1818	0.3933	0.9945	3.6117M ^{0.6500}	60		
0.7346	0.7559	0.9920	5.6910M ^{0.5944}	70		
3.2029	1.5499	0.9781	7.4222M ^{0.5837}	80		
0.1531	0.3765	0.9643	1.1488M-0.1923	50	Linear	Osmo-convective
0.1339	0.3471	0.9777	1.2745M+0.1475	60		
0.2367	0.4475	0.9906	2.2791M+0.8169	70		
0.4515	0.6134	0.9853	2.533M+1.0293	80		
0.4969	0.6780	0.8841	1.1896ln(M)+1.4830	50	Logarithmic	
0.3928	0.5946	0.9346	1.1768ln(M)+1.9859	60		
0.9992	0.9195	0.9602	2.2601ln(M)+4.1917	70		
0.4901	0.6391	0.9841	2.6152ln(M)+4.8685	80		
0.1230	0.3313	0.9723	0.1667M ² +0.5543M+0.1186	50	Polynomial	
0.1299	0.3323	0.9796	0.1103M ² +0.9241M+0.3117	60		
0.2578	0.4453	0.9907	-0.0442M ² +2.4307M+0.7452	70		
0.1249	0.3060	0.9963	-0.5223M ² +4.3108M+0.2512	80		
0.1303	0.3473	0.9696	0.8192M^{1.2707}	50	Power	
0.1398	0.3547	0.9767	1.4072M^{0.9457}	60		
0.2230	0.4343	0.9911	3.3076M^{0.7515}	70		
0.1581	0.3630	0.9949	3.9783M^{0.6862}	80		

نمونه‌های خشک شده با روش اسمز-همرفت در بازه 10^{-11} تا $3/839 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ بسته به دمای خشک کردن تغییر کرد که در محدوده کلی ضریب انتشار اکثر محصولات کشاورزی 10^{-6} تا $10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ است [۵۸]. کاهش D_{eff} با پیش‌تیمار اسمزی را می‌توان به انتشاراملاح در خلل و فرج نمونه نسبت داد که منجر به کاهش تخلخل شد. رپا و همکاران [۵۹]، سینگ و گوپتا [۱۴]، پارک و همکاران [۶۰] و کراتانوس و همکاران [۵۷] نیز D_{eff} کمتری را برای نمونه‌های اسمز شده نسبت به نمونه‌های اسمز نشده به‌دست آوردند. انتشاراملاح در بافت نمونه مثل عامل آب پیوندی عمل کرده و موجب افزایش مقاومت درونی به جابجایی آب می‌شود [۶۱، ۶۲]. علاوه بر این، لایه املاح با پیشرفت خشک کردن سخت شده و مقاومت به خروج آب بیشتر می‌شود [۶۳]. نفوذ بالا در نمونه‌های اسمز نشده ممکن است به علت در دسترس بودن رطوبت اولیه زیاد در مقایسه با در نمونه‌های اسمز شده باشد که مطابق با نتایج رحمان و لمب [۶۲] و سیمال و همکاران [۶۴] بود. نتایج نشان داد که افزایش دما باعث افزایش D_{eff} شد که ممکن است به علت افزایش در فشار بخار داخل برگ نعنای باشد. انتشار رطوبت مؤثر در نمونه‌های اسمز نشده و اسمز شده در دماهای بالاتر بیشتر بود. بنابراین، بازه انتقال رطوبت از برگ نعنای در دماهای بالاتر بیشتر می‌باشد.

هدف مدل‌سازی ریاضی تعیین مدلی است که بهترین برازش ممکن را با داده‌های تجربی داشته باشد. برای داده‌های تجربی تحقیق حاضر ضریب همبستگی (R^2) بالاتر و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و کای مربع (χ^2) کمتر برای مدل چندجمله‌ای درجه دوم برای نمونه‌های خشک شده به روش همرفت و مدل توانی برای نمونه‌های خشک شده به روش اسمز-همرفت مشاهده شد.

۳-۵- اثر روش خشک کردن روی D_{eff}

به لحاظ فیزیکی، D_{eff} نشان دهنده جرم ماده‌ای است که از طریق واحد سطح در یک زمان واحد منتشر می‌شود [۵۶]. انتشار رطوبت مؤثر از اطلاعات خشک کردن تخمین زده می‌شود و نشان دهنده خصوصیت کلی انتقال جرم در مواد است. تغییر در نفوذ رطوبت با محتوای رطوبتی پیچیده بوده و تابع ویژگی‌های سیستم است. D_{eff} یک ماده غذایی خصوصیت ذاتی انتقال جرم ماده است که شامل نفوذ مولکولی، نفوذ مایع، نفوذ بخار، جریان هیدرودینامیک و دیگر مکانیزم‌های ممکن انتقال جرم می‌باشد [۵۷].

مقادیر متوسط D_{eff} برای همه شرایط خشک کردن در جدول ۴ ارائه شده است. آنالیز واریانس نشان داد که دمای هوای خشک کردن و روش خشک کردن اثر معنی‌داری روی D_{eff} در سطح اطمینان ۱٪ داشتند. D_{eff} برای نمونه‌های خشک شده با روش همرفت در بازه $6/333 \times 10^{-11}$ تا $1/873 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ و برای

Table 4 The effective diffusion coefficient of peppermint leaves under convective and osmo-convective

Average effective diffusion coefficient ($10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)				Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
80	70	60	50	
6.333 ^a	5.661 ^{ab}	3.333 ^{def}	1.873 ^{fghi}	Convective
3.839 ^{cd}	3.572 ^{de}	1.813 ^{fgi}	0.882 ⁱ	Osmo-convective

Mean values with different letters indicate significant differences ($\alpha=0.01$) at different drying conditions according to the Duncan's multiple range test

برای نمونه های اسمز شده

$$D_{\text{eff}} = 5.43 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{5.7874}{T + 273}\right)$$

انرژی فعال‌سازی برای خشک کردن همرفت برگ نعنای kJ $37/44 \text{ mol}^{-1}$ و برای خشک کردن اسمز-همرفت برگ نعنای $48/12 \text{ kJ mol}^{-1}$ بود. یعنی انرژی فعال‌سازی با پیش‌تیمار اسمزی افزایش یافت؛ زیرا طی آب‌گیری اسمزی مقداری از آب

۳-۶- انرژی فعال‌سازی

معادلات زیر با همبستگی بالا از رابطه خطی بین D_{eff} و $1/(T+273)$ به‌دست آمدند.

$$D_{\text{eff}} = 2.46 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{4.5037}{T + 273}\right)$$

برای نمونه های اسمز نشده

آزاد جدا شد. بنابراین، بعد از تبخیر آب آزاد، باقی مانده آب پیوندی شروع به تبخیر کرد که به انرژی بیشتری برای جدا شدن نیاز داشت و یا ممکن است که مولکول‌های نمک کانال‌های درونی برای نفوذ گرما و آب از ماده را مسدود کرده و انرژی بیشتری مورد نیاز باشد [۵۴]. نتایج مشابهی توسط سینگ هاتان و مالوترا [۶۵] برای هویج، فالاده و همکاران [۱۵] ژائو و همکاران [۴۰] برای فلفل وایلا-آپونته و همکاران برای پیتاهای زرد [۶۶] به دست آمد. آن‌ها نیز مشاهده کردند که انرژی فعال‌سازی نمونه‌های خشک شده به روش همرفت بزرگتر از انرژی فعال‌سازی نمونه‌های خشک شده به روش اسمز-همرفت بود.

۳-۷- اثر روش خشک کردن روی پارامترهای رنگی برگ نعناع

رنگ محصول یک ویژگی مهم برای ارزیابی کیفیت است و ممکن است به عنوان یک شاخص برای تعیین سطح تخریب محصول در نظر گرفته شود [۶۷]. با توجه به اینکه رنگ نمونه‌های تازه با یکدیگر اختلاف داشتند، پارامترهای رنگی به صورت نسبی L/L_0 ، b/b_0 و a/a_0 و ΔE ارایه شد؛ یعنی تغییرات روشنایی، زردی و سبزی هر نمونه خشک شده نسبت به نمونه تازه‌اش گزارش شد. نتایج به دست آمده برای پارامترهای نسبی هانتر در جدول ۵ ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، پارامترهای رنگی نعنای خشک شده (L/L_0 ، b/b_0 و a/a_0 و ΔE) متأثر از روش‌های مختلف خشک کردن (خشک کردن همرفت و خشک کردن اسمز-همرفت) بود. تغییر دمای خشک کردن تأثیر معنی‌داری روی شاخص‌های رنگی نداشت.

Table 5 Analysis of variance of main and reciprocal effects of drying method and temperature on color indexes of peppermint leaves

F	Mean square	df	Sum of squares	Dependent variable	Source
99.433**	0.298	1	0.298	L/L_0	Treatment
9.299**	0.030	1	0.030	a/a_0	
77.860**	0.739	1	0.739	b/b_0	
92.566**	1443.724	1	1443.724	ΔE	
1.666	0.005	3	0.015	L/L_0	Temperature
0.757	0.002	3	0.007	a/a_0	
2.201	0.021	3	0.063	b/b_0	
1.055	16.447	3	49.342	ΔE	
6.403**	0.019	3	0.058	L/L_0	Treatment× Temperature
2.474	0.008	3	0.024	a/a_0	
2.177	0.021	3	0.062	b/b_0	
2.902*	45.260	3	135.781	ΔE	

**Level of significance $p < 0.01$

*Level of significance $p < 0.05$

روی تغییر رنگ گیوی اسمز شده انجام دادند، مشاهده کردند که مقدار a به طور قابل ملاحظه‌ای با افزایش درجه اسمزی افزایش یافت که نشان دهنده کاهش رنگ سبز گیوی‌های خشک شده بود. آن‌ها این پدیده را به پوسیدگی و تجزیه رنگدانه‌های کلروفیلدر محلول نسبت دادند. تیجسنس و همکاران [۶۹] کاهش رنگ سبز کلم بروکلی و لوبیا سبز را به آزاد شدن ترکیبات رنگی و مهاجرت آن به محلول توضیح دادند.

بالا بودن مقدار b/b_0 برای نمونه‌های خشک شده به روش همرفت نسبت به نمونه‌های خشک شده به روش

رنگ اصلی برگ نعناع سبز است. بنابراین، مقدار این رنگدانه در نعنای یک شاخص عالی برای ارزیابی کیفیت است. در این مطالعه، مقدار a به عنوان یک شاخص برای توصیف تخریب رنگدانه در برگ نعناع مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۵ تأثیر استفاده از پیش تیمار آب‌گیری اسمزی در دماهای مختلف را روی کاهش نسبی a نشان می‌دهد. مقادیر مثبت پارامتر a/a_0 نشان می‌دهد که برگ‌های خشک شده نعنای در هر دو روش خشک کردن قرمزتر از نعنای تازه هستند. علاوه بر این، افزایش قرمزی در طی خشک کردن نمونه‌های پیش تیمار آب‌گیری اسمزی بیشتر بود. فتحی و همکاران [۶۸] در مطالعه‌ای که بر

قهوه‌ای شدن را تسریع می‌کند) می‌شود که منجر به قهوه‌ای شدن محصول می‌شود. با این حال، گومز-لوپز [۷۲] اثر NaCl روی فعالیت اکسیداز پلی‌فنل را ارزیابی کرد و نتیجه گرفت که اثر بازدارندگی رضایت‌بخش نبود. در بررسی که کاواریان و آیدمیر [۷۳] روی پلی‌فنل اکسیداز نعنای انجام دادند نیز نتیجه گرفتند که نمک‌های مختلف در محلول آبی در دمای 40°C قادر به مهار کردن این آنزیم نیستند.

بنابراین تغییر رنگ برگ‌های نعنای ممکن است نتیجه بیش از یک واکنش باشد. این واکنش‌ها ممکن است به‌طور همزمان رخ ندهند [۷۴]. بسیاری از نویسندگان نشان دادند که تغییر ΔE متأثر از قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و تخریب رنگدانه است. برای توصیف رنگ کل برگ‌های نعنای، ترکیبی از پارامترهای L ، a و b و اختلاف رنگ کلی (ΔE) طبق رابطه ۸ محاسبه شد. همان‌طور که شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند، تغییر رنگ کلی نمونه‌های خشک شده به روش اسمز-همرفت بیشتر از نمونه‌های اسمز شده بود. بنابراین، به‌طور کلی کلرید سدیم در جلوگیری از تیره شدن نعنای در طی فرآیند آب‌گیری اسمزی مؤثر نبود. فالاده و همکاران [۸] و کوروساوا و همکاران [۴۱] نیز تغییر رنگ بیشتری را برای نمونه‌های آب‌گیری شده اسمزی نسبت به نمونه‌های تازه یا اسمز نشده مشاهده کردند.

اسمز-همرفت نشان می‌دهد که نمونه‌های خشک شده به روش همرفت زردتر از نمونه‌های خشک شده به روش اسمز-همرفت بود (شکل ۵).

پارامتر رنگی L که مربوط به تیره شدن بافت میوه‌ها و سبزیجات است، به‌علت واکنش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌باشد. مقادیر پایین L/L_0 نشان می‌دهد که قهوه‌ای شدن بیشتر است. تخریب در مقدار L ممکن است ناشی از افزایش مقدار a و کاهش مقدار b باشد. بنابراین، کاهش درخشندگی محصول خشک شده نتیجه یک مکانیزم نیست. علاوه بر این، برگ‌های خشک شده نعنای فلفلی اسمز شده به‌طور قابل توجهی تیره‌تر از برگ‌های خشک شده اسمز نشده بود (شکل ۶). این نتایج نشان داد که استفاده از پیش تیمار آب‌گیری اسمزی در جلوگیری از اتلاف رنگ در محصول مناسب نبود. بارونی [۷۰] و کوروساوا و همکاران [۴۱] به ترتیب نتایج مشابهی را در بررسی آب‌گیری اسمزی گوجه‌فرنگی و قارچ با کلرید سدیم به‌دست آوردند. نویسندگان اظهار کردند که نمونه‌های آغشته به نمک، پتانسیل اکسیداسیون بیشتری نسبت به دیگر نمونه‌ها از خود نشان می‌دهند. از سوی دیگر، زاویتوسکی [۷۱] بیان نمود که NaCl منجر به تشکیل یک کمپلکس بین یون‌های هالید و مس در پلی‌فنل اکسیداز (آنزیم موجود در قارچ که واکنش‌های

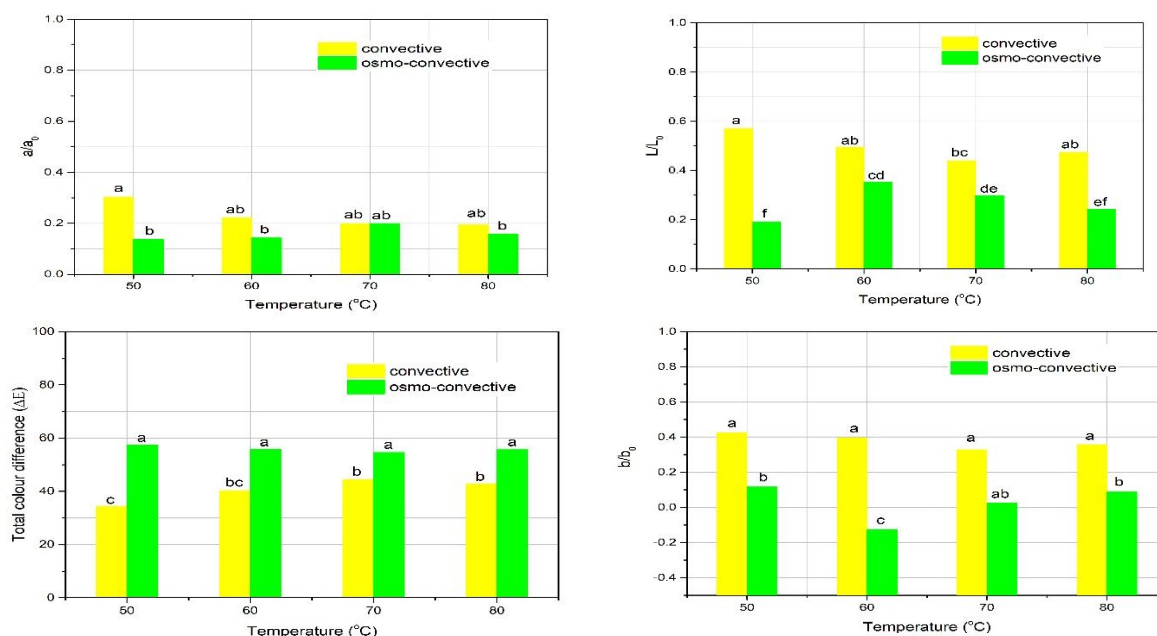


Fig 5 The effect of drying method and temperature on color indexes (different letters indicate significant differences ($\alpha=0.01$) at different drying conditions according to the Duncan's multiple range test)



Fresh After convective drying After osmo-convective drying

Fig 6 Photos of peppermint leaves after convective and osmo-convective drying

- [4] Hossain, M.B., Barry-Ryana, C., Martin-Diana, A.B., and Bruntonb, N.P. 2010. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*. 123: 85-91.
- [5] Vadivambal, R., and Jayas, D.S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. *Biosystem Engineering*. 98: 1-16.
- [6] Karathanos, V.T., and Saravacos, G.D. 1993. Porosity and pore size distribution of starch materials. *Food Engineering*. 18: 259-280.
- [7] Baardseth P, Skrede, G., Naes, T., Thomassen, M. S., Iversen, A., and Kaaber, L. 1988. A comparison of CIE L*a*b* values obtained from two different instruments on several food commodities. *Journal of Food Science and Technology*. 53: 1737-1742.
- [8] Falade, K.O., Igbeka, J.C., and Ayanwuyi, F.A. 2007. Kinetics of mass transfer and color changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*. 80: 979-985.
- [9] Ade-Omowaye B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A., and Knorr, D. 2003. Combined effect of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behavior of red bell pepper. *Journal of Food Engineering*. 60: 89-98.
- [10] Brennan, J. G. 1994. *Food Dehydration: A Dictionary and Guide*. Boca Raton: CRC Press.
- [11] Spiazzi, E., and Mascheroni, R. 1997. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables-I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*. 34(4): 387-410.

۴- نتیجه گیری

اثر دمای خشک کردن (۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C) و استفاده از پیش تیمار آب گیری اسمزی روی رفتار خشک شدن و پارامترهای رنگی نعنای ارزیابی شد. خشک شدن نعنای به روش همرفت و اسمز-همرفت تنها در دوره نرخ نزولی اتفاق افتاد. نرخ خشک شدن نعنای اسمز شده به علت نفوذ مواد جامد کاهش یافت. اختلاف در نرخ های خشک شدن ممکن است به استفاده از پیش تیمار آب گیری اسمزی باشد. علاوه بر این، ضریب انتشار رطوبت مؤثر نعنای اسمز نشده بیشتر از نمونه اسمز شده بود. انرژی فعال سازی و ضریب انتشار رطوبت نعنای اسمز شده و اسمز نشده در محدوده به دست آمده برای اکثر مواد غذایی قرار گرفت. همچنین، تغییر ویژگی های رنگی برگ های خشک شده وابسته به روش خشک کردن بود. نعنای اسمز شده قهوه ای شدن بیشتری در مقایسه با نعنای اسمز نشده نشان داد یعنی استفاده از پیش تیمار آب گیری اسمزی در جلوگیری از تغییر رنگ مؤثر نبود.

۵- منابع

- [1] Omid Beigi, R. 2005. *Production and processing herbal plants*. Mashhad: Astane Ghodese Razavi Publication (In Persian).
- [2] Lozano, J.E, Rotestein, E., and Urbican, M.J. 1980. Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits. *Food Science*. 45: 1403-1407.
- [3] Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B., and Marinou-kouris D. 1994. Densities, shrinkages and porosity of some vegetable during hot-air drying. *Drying Technology*. 12: 1653-1666.

- convection. *Journal of Advanced Research*. 6(2): 171-178.
- [24] Panagiotou, N.M., Karathanos, V.T., and Maroulis, Z.B. 1999. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*. 17: 175-189.
- [25] Kocabiyik, H., and Demirtur, B.S. 2008. Infrared radiation drying of mint leave. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 5(3): 239-246.
- [26] Antal, T., Kerekes, B., and Sikolya, L. 2010. Influence of drying on the volatile compounds of Spearmint (*Mentha Spicata* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technology*. 8: 255-362.
- [27] Kassem, A.M., El-Batawi, I.E., and Sidky, M.M.A. 2006. Effect of solar energy and other drying methods on quality of some medicinal plants. The 14 th. Annual Conference of MSAD, 22 Nov., 23(4): 766-782.
- [28] Abdel-Galil, H.S., and El-Nakib. A.A. 2008. Effect of natural convection solar drying on quality of Peppermint. The 15th Annual Conference of the MSAD.
- [29] Arslan, D., Ozcan, M.M., and Menges, H.O. 2010. Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). *Energy Conversion and Management*. 51: 2769-2775.
- [30] AOAC. 1990. Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemists (No. 934. 06), Arlington, VA. Arlington, USA.
- [31] Mardani, O. 2016. Study the effect of osmosis drying on mass transfer parameters of peppermint, in Department of Food Science and Technology.
- [32] Crank, J. 1975. *Mathematics of diffusion*. London: Oxford Science Publications.
- [33] Banga, J., and Singh, R. 1994. Optimization of air drying of foods. *Journal of Food Engineering*. 23: 189-211.
- [34] Okos, M.R., Narsimhan, G., Singh, R.K., and Weitnauer, A. C. 1992. Food Dehydration., in *Handbook of Food Engineering*, D.R. Heldman and D.B. Lund, Editors., Marcel Dekker: New York.
- [35] Mc Minn, W. A. M. 2006. Thin-layer modeling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*. 72: 113-123.
- [12] Lenart A., and Cerkowniak, M. 1996. Kinetics of convection drying of osmodehydrated apples. *Polish Journal of Food Nutrition Science*. 5: 73-82.
- [13] Chandra, S., and Kumari, D. 2015. Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55: 552-561.
- [14] Singh, B., and Gupta, A.K. 2007. Mass transfer kinetics and determination of effective diffusivity during convective dehydration of pre-osmosed carrot cubes. *Journal of Food Engineering*. 79: 459-470.
- [15] Falade, K.O., and Oyedele, O.O. 2010. Effect of osmotic pretreatment on air drying characteristics and colour of pepper (*Capsicum* spp) cultivars. *Journal of Food Science and Technology*. 47(5): p. 488-495.
- [16] Lenart, A., and Grodecka, E. 1989. Influence of the kind of osmotic substance on the kinetics of convection drying of apples and carrots. *Food Technology and Nutrition*. 18: 27-35.
- [17] Khin, M.M., Zhou, W., and Perera, C. 2006. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*. 77: 84-95.
- [18] Azoubel, P.M., El-Aouar, A.A., Tonon, R.V., Kurozawa, L.E., Antonio, G.C., and Murr, F.E.X. 2009. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International Journal of Food Science and Technology*. 44: 980-986.
- [19] Mazza, G. 1983. Dehydration of carrots: Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *Journal of food Food Technology*. 18: 113-123
- [20] Neito, A.B., Castro, M.A., and Alzamora, S.M. 2001. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*. 50: 175-185
- [21] Doymaz, I. 2006. Thin-layer drying behavior of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, 74: 370-375.
- [22] Park, K.J., Vohnokova, Z., and Brod, F.P.R. 2002. Evaluation of drying parameters and desorption isotherm of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *Journal of Food Engineering*. 51: 193-199.
- [23] Sallam, Y.I., Aly, M.H., Nassar, A.F., and Mohamed, E.A. 2015. Solar drying of whole mint plant under natural and forced

- [48] Kowalski S.J., and Mierzwa, D. 2011. Influence of preliminary osmotic of carrot (*Daucus Carota L.*). Chemical and Process Engineering. 32: 185-194.
- [49] SKowalski, S.J. and Łechtańska, J.M. 2015. Drying of red beetroot after osmotic pretreatment: Kinetics and quality considerations. Chemical and Process Engineering. 36(3): 345-354.
- [50] Togrul, I.T., and Pehlivan, D. 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. Journal of Food Engineering. 58: 23-32.
- [51] Prakash, S., Jha, S.K., and Datta, N. 2004. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. Journal of Food Engineering. 62: 305-313.
- [52] Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., and Jaouhari, J.T. 2004. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). Journal of Food Engineering. 61(2): 173-179.
- [53] Ramaswamy, H.S., and Nsonzi, F. 1998. Convective-air drying kinetics of osmotically pre-treated blueberries. Drying Technology. 16(3-5): 743-759.
- [54] Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F., and Oikonomou, C.K. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. Journal of Food Engineering 69: 307-316.
- [55] Sankat, C.K., Castaigne, F., and Maharaj, R. 1996. The air drying behaviour of freshly and osmotically dehydrated banana slices. International Journal of Food Science and Technology. 31: 123-135.
- [56] Karwa, R. 2017. Heat and Mass Transfer. Springer: Germany.
- [57] Karathanos, V.T., Kostaropoulos, A.E., and Saravacos, G.D. 1991. Air drying behavior of osmotically dehydrated fruits. Drying Technology. 13: 1503-1521.
- [58] Babalis, J.S., and Belessiotis, G.V. 2004. Influence of drying condition on the drying constants and moisture diffusivity during the thin layer drying of figs. Journal of Food Engineering, 65: 449-458.
- [59] Reppa, A., Mandala, J., Kostaropoulos, A.E., and Saravacos, G.D. 1999. Influence of solute temperature and concentration on the combined osmotic and air drying. Drying Technology. 17: 1449-1458.
- [60] Park, K.J., Bin, A. and Brod, F.P.R. 2002. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. Journal of Food Engineering. 56: 97-103.
- [36] Midilli, A., Kucuk, H., and Yapar Z. 2002. A new model for single layer drying. Drying Technology. 20(7): 1503-1513.
- [37] Yaldiz, O., and Ertekin, C. 2001. Thin layer solar drying of some vegetables. Drying Technology. 19: 583-596.
- [38] Doymaz, I., and Pala, M. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. Journal of Food Engineering. 60: 125-130.
- [39] Karathanos, V.T., and Belessiotis, V.G. 1997. Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. Journal of Food Engineering, 31(1): 35-46.
- [40] Zhao, D., Zhao, C., Tao, H., An, K., Ding, Sh., and Wang, Zh., The effect of osmosis pretreatment on hot-air drying and microwave drying characteristics of chili (*Capsicum annuum L.*) flesh. International Journal of Food Science and Technology 2013. 48, 1589-1595.
- [41] Kurozawa L M., Azoubel PM., Murr FEX., and Park KJ. 2011. Drying kinetic of fresh and osmotically dehydrated mushroom (*AGARICUS BLAZEI*). Journal of Food Process Engineering. 35(2): 295-313.
- [42] Matusek, A., and Meresz, P. 2002. Modeling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots. Periodica polytechnica Chemical Engineering, 46: 83-92.
- [43] Singh, H. 2001. Osmotic dehydration of carrot shreds for Gazrila preparation. Journal of Food Science Technology. 38: 152-154.
- [44] Torringa, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R., and Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave hot-air drying of mushrooms. Journal of Food Engineering. 49: 185-191.
- [45] Kaleemullah, S., Kailappan, R. and Varadharaju, N. 2002. Studies on osmotic-air drying characteristics of papaya cubes. Journal of Food Science Technology. 39: 82-84.
- [46] Revaskar, V.A., Pisalkar, P.S., Pathare, P.B., and Sharma, G.P. 2014. Dehydration kinetics of onion slices in osmotic and air convective drying process Research in Agricultural Engineering. 60(3): 92-99.
- [47] El-Aouar, A.A., Azoubel, P.M. and Murr, F.E.X. 2003. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya L.*). Journal of Food Engineering. 59(1): 85-91.

- [68] Fathi, M., Mohebbi, M., and Razavi, S.M.A. 2011. Application of Image Analysis and Artificial Neural Network to Predict Mass Transfer Kinetics and Color Changes of Osmotically Dehydrated Kiwifruit. *Food and Bioprocess Technology*. 4(8): 1357-1366.
- [69] Tijskens, L.M.M., Schijvens, E.P.H.M., and Biekman, E.S.A. 2001. Modelling the change in colour of broccoli and green beans during blanching. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2: 303-313.
- [70] Baroni, A.F. 2004. Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratção osmótica e secagem. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- [71] Zawistowski, J., Biliaderis, C.G., and Michael, N.A. 1991. Polyphenol oxidase. In *Oxidative Enzymes in Foods*: London: Elsevier Applied Science Ltd.
- [72] Gómez-López, V.M. 2002. Some biochemical properties of polyphenol oxidase from two varieties of avocado. *Food Chemistry*. 77: 163-169.
- [73] Kavrayan, D., and Aydemir, T. 2001. Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from peppermint (*Mentha piperita*). *Food Chemistry*. 74: 147-154.
- [74] Rattanathanalerk, M., Chiewchan, N., and Srichumpoung, W. 2005. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. *Journal of Food Engineering*. 66: 259-265.
- [61] Pokharkar, S.M., and Prasad, S. 2002. Air drying behaviour of osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Science Technology*. 39: 384-387.
- [62] Rahamn, M.S., and Lamb J. 1991. Air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*. 14: 163-171.
- [63] Ruiz-Cabrera, M.A., Salgado-Cervantes, Walislewski-Kubiak, K.N., and García-Alvarado, M.A.Y. 1997. The effect of path diffusion on the effective moisture diffusivity in carrot slabs. *Drying Technology*. 15: 169-181.
- [64] Simal, S., F. Bauzá de Mirabó, F.B., Deyá, E., and Rosselló, C. 1997. A simple model to predict mass transfers in dehydration by osmosis. *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung A. Food Research and Technology*. 204: 210-214.
- [65] Singh Hathan, B., and Malhotra, T. 2012. Drying kinetics of osmotically pretreated carrot shreds to be used for preparation of sweet meat. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 14(1): 125-135.
- [66] Ayala-Aponte, A., Serna-Cock, L., Liberos-Triana, J., Prieto, C., and Di Scala, K. 2014. Influence of osmotic pre-treatment on convective drying of yellow pitahaya. *DYNA* 81(188): 145-151.
- [67] Krokida, M.K., Karathanos V.T., and Maroulis, Z.B. 2000. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*. 18: 937-950.

Comparison of effect of convection drying and osmo-convection drying on drying behaviour and colour indexes of peppermint leaves

Mardani, O.¹, Nadi, F.^{2*}

1. MSc Graduated, Department of Food Science and Technology, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran

2. Department of Agricultural Machinery Mechanics, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran

(Received: 2017/12/25 Accepted: 2018/08/06)

The effect of convective drying and osmo-convective were investigated on drying behaviour, drying characteristics and colour indexes of peppermint leaves. Drying experiments were carried out at 50, 60, 70 and 80°C and the osmotic dehydration pretreatment with a 5% (w/w) salt solution at 40°C, 80 rpm agitation and 60 min immersion time. The moisture diffusion coefficient and activation energy were calculated by the second law of Fick and the Arrhenius equation, respectively. The results show that drying behaviour, drying characteristics and peppermint colour were influenced by drying method. Drying times of peppermint leaves by convective drying was shorter than those dried by osmo-convective drying. The thin structure and large area of the leaf surface was caused a rapid decrease in moisture content. Therefore, the drying was occurred at a falling rate. Osmotic dehydration due to the presence of infused solids increased cell wall thickness, decreased drying rate and effective moisture diffusion. The effective diffusion coefficient increased while increasing temperature, it is indicating intensity of interactions at higher temperatures. The total colour changes of dried peppermint leaves by convective drying was less than osmo-convective drying method, which indicates that the osmotic dehydration was not efficient to prevent colour changes of peppermint leaves.

Keywords: Osmotic dehydration, Convective drying, Colour indexes, Effective moisture diffusivity

* Corresponding Author E-Mail Address: f.nadi@iauaz.ac.ir