Archive of SID

اثر پارامترهای خشک کردن بر شاخص های کیفی پسته دامغان (*Pistacia vera* L.) و تعیین ضرایب نفوذ موثر در شرایط بهینه این فرآیند

حمید توکلی‌پور[1*]، احمد کلباسی اشتری[2]، علیرضا بصیری[3]

1- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار

2- دانشیار گروه صنایع غذایی دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران ، کرج، پردیس دانشکده‌های کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

3- استادیار، پژوهشکده صنایع شیمیایی، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران

چکیده

اثرات پارامترهای دما (40 ، 50 ، 60 و 70درجه سانتیگراد) و سرعت جابجایی هوا (1 و2 متر بر ثانیه) و همچنین ضخامت بستر 1[1(تک لایه) ،3 و5 سانتیمتر)] برسرعت کاهش رطوبت و شاخص های کیفی فرآورده نهایی، شامل عدد پراکسید و درصد اسیدهای چرب آزاد روغن پسته با استفاده ازخشک کن های آزمایشگاهی با جریان متقاطع بررسی و شرایط بهینه خشک کردن تعیین گردید. با استفاده از نظریه انتشار و قانون دوم فیک ، ضرایب نفوذ موثر تعیین و توسط رابطه آرنیوس، میانگین انرژی فعال سازی خشک کردن نیز محاسبه گردید.

کلید واژگان: پسته ، خشک کردن ، ضریب نفوذ موثر ، پارامترهای کیفی ، وانرژی فعالسازی

1- مقدمه

سرزمین ایران نه تنها منشا اصلی پسته به شمار می آید بلکه کشت پسته در آن از دیرباز رایج بوده است. درحال حاضر ایران بزرگترین تولید کننده و صادر کننده پسته درجهان است که حدود56% از تولید جهانی و حدود70% از صادرات جهانی پسته را به خود اختصاص داده است. گونه های خوراکی پسته (پیستاسیا ورا[1]،خنجک[2]و بنه[3])، در فلات ایران پراکنده اند. در بیش از 99 درصد از باغات پسته کشور از گونه پیستاسیا ورا به عنوان پایه استفاده می شود [3و2و1].

مقاومت درخت پسته نسبت به شرایط نامساعد محیطی و همچنین ارزش اقتصادی بالای آن، باعث گردیده که کشت و تولید آن در سالهای اخیر گسترش یابد به گونه ای که در سال 1380 خورشیدی حدود 380000 هکتار از زمین های کشاورزی با میانگین بازده 1150 کیلوگرم در هکتار به باغات پسته اختصاص داده شده است[4]. در حال حاضر ایران با صادرات بیش از 110000 تن پسته در سال، بزرگترین صادر کننده پسته جهان است [5].

تحقیقات انجام گرفته، نشان می دهند که کیفیت مطلوب پسته، هنگامی حاصل می شود که برداشت محصول حداکثر 2تا 3 هفته پس از رسیدگی کامل انجام و در کوتاه ترین زمان ممکن پس از برداشت، خشک گردد. زمان مناسب برداشت، هنگامی است که70 درصد پوسته نرم بیرونی از پوسته سخت آن به راحتی جدا گردد. بسته به واریته، فصل برداشت از

* مسئول مکاتبات: htavakoli@iaus.ac.ir

1. Pistacia vera L.
2. Pistacia khinjuk
3. Pistacia mutica

www.SID.ir

Archive of SID

اواخرمرداد تا اواخر مهر ماه می باشد [6].

رطوبت پسته در هنگام برداشت 35 تا 40 درصد (بر مبنای وزن تر) است که در طول فرآیند خشک کردن به سطح رطوبت ایمن[1] (4 تا 6 درصد)، کاهش می یابد.در رطوبت ایمن محصول پایدار است و فعالیت آبی آن کمتر از 0,6 است ، بنابراین دچار آسیبهای میکروبی (باکتریها- مخمرها- قارچها و کپکها) نمی‌شود. بخش اعظم پسته برداشت شده در محیط آزاد و بصورت آفتابی خشک می‌شود و در کنار آن، بخشی نیز در پایانه های ضبط پسته فرآیند می‌گردد که این فرآوری، بدلیل عدم دسترسی به دانش فنی مورد نیاز اغلب به صورت تجربی انجام می‌گردد [7 و2] . هر چند تحقیقات وسیعی برای خشک کردن فرآورده های کشاورزی و غذایی دانه‌ای مانند غلات و حبوبات انجام گرفته است، لیکن اطلاعات کافی در مورد خشک کردن پسته به خصوص واریته های بومی کشور وجود ندارد .گازر و همکاران[8] اثرات تغییرات دما در سه سطح ، سرعت جابجایی هوای گرم در سه سطح ، و ضخامت لایه پسته در دو سطح را بر روی زمان و آهنگ خشک شدن پسته رقم کله قوچی کرمان مورد بررسی قرار دادند . آنها دریافتند که افزایش دما تا 90 درجه سانتیگراد باعث بیش از 50 در صد کاهش زمان و افزایش آهنگ خشک کردن می شود. همچنین پیشنهاد کردند که از دمای 90 درجه سانتیگراد برای برشتگی و از دمای 75 درجه سانتی گراد برای خشک کردن پسته استفاده شود. غضنفری و همکاران [5] فرایند خشک کردن پسته را با سه روش خشک کردن آفتابی،خشک کن خورشیدی و خشک کن هوای داغ بررسی نموده و نتیجه گیری کردند که مدت زمان خشک کردن پسته در خشک کن خورشیدی طولانی تر از خشک کن هوای داغ و کوتاهتر از خشک کردن آفتابی است.همچنین کیفیت پسته خشک شده با خشک کن خورشیدی از دو روش دیگربهتر بود.کاشانی نژاد و همکاران [9] اثر روشهای مختلف خشک کردن مانند خشک کردن آفتابی،سیلویی و غیره را بر روی کیفیت پسته بررسی نموده و نتیجه گرفتند که کیفیت پسته خشک شده در خشک کن سیلویی از نظر اندیس های شیمیایی و ارزیابی حسی از روشهای دیگر مطلوبتر بوده است. کاراتاس و باتالبی[10] میزان رطوبت واریته قاضی آنتپ[2] (بومی ترکیه) پس از آبگیری مجدد یا بازآبپوشی[3] به 25-22 درصد افزایش و سپس محصول را با جریان هوای یکنواخت و رطوبت نسبی یکسان در دامنه دمایی60-35 درجه سانتیگراد خشک نمودند. چن و سینگ رقم پسته کرمان (بومی ایالت کالیفرنیای آمریکا) را مورد مطالعه و مدل های ریاضی بر مبنای نظریه انتشار[4] و معادلات انتقال گرما و جرم برای شبیه سازی فرآیند خشک کردن دو مرحله ای شامل خشک کردن بسترسیال و بستر ثابت ارائه نمودند [11]. در تحقیق مذکور، شبیه سازی کامپیوتری نیز برای روش های خشک کردن فوق‌الذکر انجام گرفت. همچنین کادر در گزارشی، انواع سیستم‌های مورد استفاده جهت خشک کردن دانه پسته را تشریح کرده است [6].

اهداف اصلی تحقیق حاضرعبارتند از: بررسی فرآیند خشک کردن پسته و ارائه منحنی‌های زمان وآهنگ خشک کردن، تعیین شرایط بهینه فرآیند خشک کردن و محاسبه ضرایب نفوذ موثر و انرژی فعال سازی با استفاده از مدل سازی ریاضی بر مبنای نظریه انتشار.

2- مواد و روش ها

فرآیند خشک کردن دانه های پسته دامغان، رقم عباسعلی (از ارقام مهم دامغان)، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح های کاملاً تصادفی با چهار سطح از دما (40 ، 50 ، 60 و 70 درجه سانتیگراد) ،دو سطح از سرعت هوا (1و2 متر بر ثانیه) و سه سطح از ضخامت بستر خشک کن (تک لایه، 3 و5 سانتیمتر)، در خشک کن های آزمایشگاهی با جریان متقاطع و در چهار تکرار بررسی گردید.نمونه مورد آزمایش در محفظه استوانه ای با کف مشبک به قطر 12 و ارتفاع 10 سانتیمتر قرار گرفت. برای اندازه گیری سرعت جریان هوای گرم ورودی به بستر خشک کن ، از دستگاه سرعت سنج هوا با دقت 0,1 متر در ثانیه ، مدل AM-4201 شرکت لوترون ساخت تایوان استفاده شد. طول آزمایشات توسط دماسنج – رطوبت سنج مدل HT-3003 شرکت لوترون ، تغییرات دمای آزمایشگاه 23 تا 30 درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی هوای محیط 20 تا 35% اندازه گیری شد.فر آیند خشک کردن تا رسیدن رطوبت نهایی نمونه ها به محدوده 4 تا 5 درصد، ادامه یافت. پس از پایان فرآیند، نمونه ها بسته بندی شده و در دمای کمتر از 10 درجه سانتیگراد جهت

1. Safety moisture level
2. Gaziantep variety
3. Rehydration
4. Diffusion theory

www.SID.ir

Archive of SID

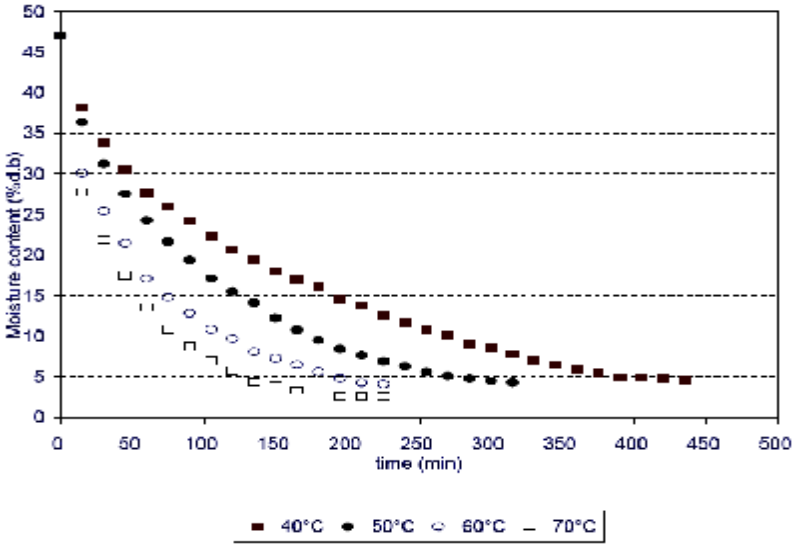
تعیین شاخص های کیفی نگهداری گردیدند.

با استفاده از روشهای حجمی و وزنی شعاع میانگین دانه پسته با پیش فرض کروی بودن، اندازه گیری گردید. میزان رطوبت نمونه ها، با خشک کردن آنها در اتاقک خلا در دمای 70 درجه سانتیگراد و فشار منفی 900 میلی بار تا دستیابی به وزن ثابت اندازه گیری شد [12]. استخراج روغن نمونه ها توسط حلالهای کلروفرم/متانول (2:1 حجمی حجمی) در دمای پایین و محیط تاریک انجام گرفت. سپس حلالهای مورد استفاده تحت خلاء ودر دمای 30 درجه سانتیگراد تبخیر و از روغن جدا شدند[13و10]. عدد پر اکسید روغن پسته به روش تیتراسیون یدومتری و درصد اسیدهای چرب آزاد آن به روش تیتراسیون و بر مبنای اسید اولئیک اندازه گیری شدند [12و10] .طرح آماری به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی و در چهار تکرار انجام و با استفاده از نرم افزارSAS داده های حاصله تجزیه و تحلیل گردید.

3- نتایج و بحث

منحنی های زمان و آهنگ خشک کردن

اثرات دما ، سرعت هوا و ضخامت بستر برتغییرات درصد رطوبت (بر مبنای وزن خشک) دانه های پسته و در جریان گذشت زمان در شکلهای 1 تا 3 واثر کاهش رطوبت مغز پسته بر آهنگ خشک شدن محصول در شکل 4 نشان داده شده است.



شکل1 اثرتغییرات دمای هوا برکاهش درصد رطوبت پسته بر حسب زمان خشک کردن (سرعت جابجایی هوا 2 متربرثانیه و ضخامت بستر 3 سانتیمتر)

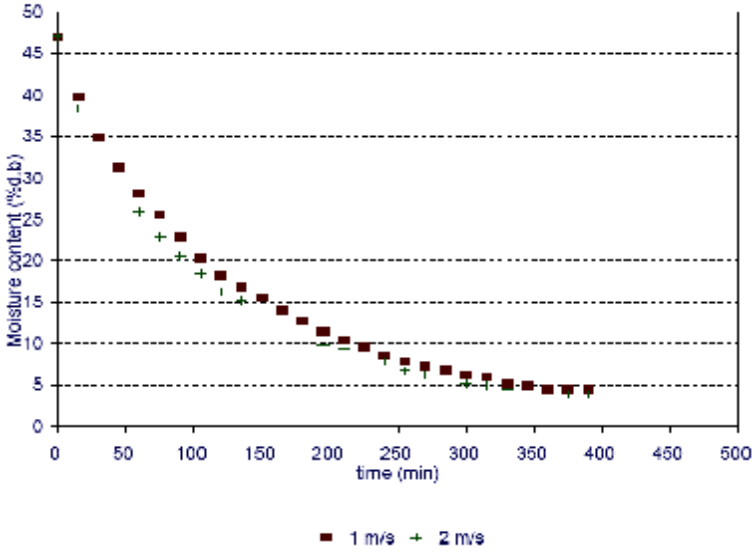
بررسی این منحنی ها و به خصوص شکل شماره 4 نشان می دهد که درتمامی شرایط تحت بررسی، آهنگ خشک شدن تمامی نمونه های پسته در مرحله آهنگ نزولی قرار داشته و این نتایج با یافته های محققین در مورد ارقام دیگر پسته مطابقت دارد [11و10].

مدل سازی فرآیند خشک کردن

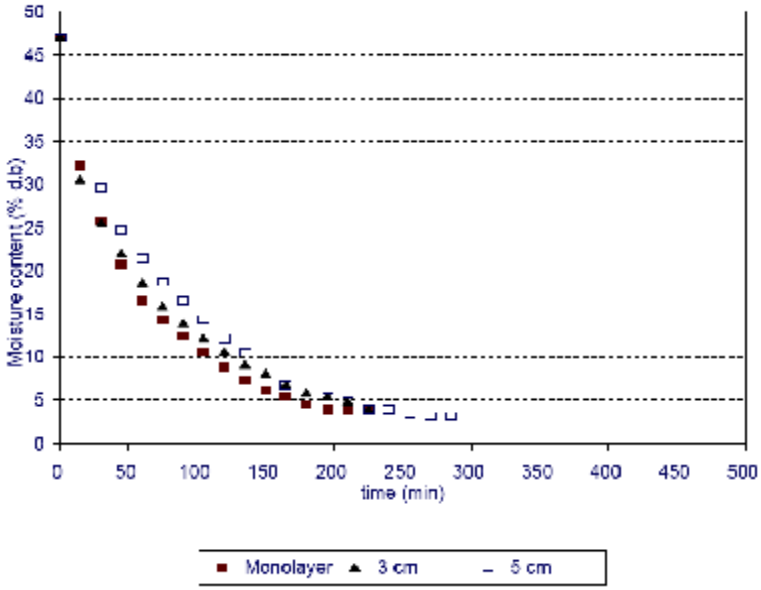
با توجه به قرار گرفتن منحنی آهنگ خشک کردن پسته در مرحله سرعت نزولی، امکان به کارگیری مدل انتشار، برای تجزیه و تحلیل فرآیند میسر می شود[16و15و14].

www.SID.ir

Archive of SID



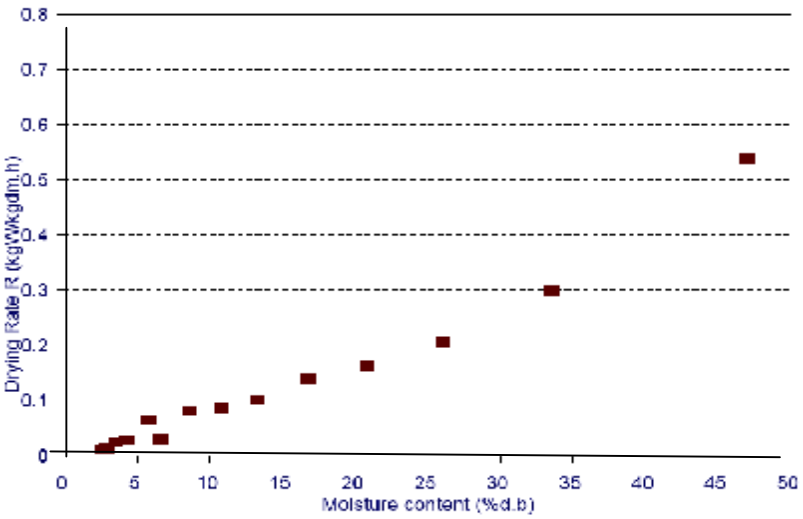
شکل 2 اثرتغییرات سرعت هوا برکاهش درصد رطوبت پسته بر حسب زمان خشک کردن (دما 50 درجه سانتیگراد و ضخامت بستر 5 سانتیمتر)



شکل3 اثرتغییرات ضخامت بستر برکاهش درصد رطوبت پسته بر حسب زمان خشک کردن (دما60 درجه سانتیگراد و سرعت جابجایی هوا 1 متر برثانیه)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 4 اثرتغییرات درصد رطوبت بر شدت خشک شدن پسته در دمای 70 درجه سانتیگراد ، سرعت جابجایی هوای 2متربر ثانیه وضخامت بستر 5 سانتیمتر

مدل سازی فرآیند خشک کردن

با توجه به قرار گرفتن منحنی آهنگ خشک کردن پسته در مرحله سرعت نزولی، امکان به کارگیری مدل انتشار، برای تجزیه و تحلیل فرآیند میسر می شود[16و15و14].

بنابراین با استفاده از قانون دوم فیک[1]خواهیم داشت :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(D_{eff}\, r \frac{\partial X}{\partial r}\right) \qquad (1)$$

که در آن X، میزان رطوبت پسته بر مبنای خشک، r، شعاع دانه پسته و D_{eff}، ضریب نفوذ موثر می‌باشد.

برای حل معادله 1 فرضهای ساده کننده زیر در نظر گرفته شد:

الف: دانه های پسته کروی بوده و شعاع میانگین آنها با استفاده از اندازه گیریهای وزنی و حجمی بدست آمد. دلیل بکارگیری فرض کرویت پسته داده‌های پیرسون و همکاران [17] است که مقادیر میانگین نیم قطر بزرگ (a) نیم قطر متوسط (b) و نیم قطر کوچک (c) برای پسته را به ترتیب 9,925 ، 7,53 و 6,75 میلی متر ارائه نمودند. با توجه به فرمول محسنین [18] ضریب کرویت طبق رابطه زیر محاسبه گردید.

$$f = \frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} = \frac{(9.925\times 7.53\times 6.75)^{\frac{1}{3}}}{9.925} = 0.8$$

نظر به اینکه مقدار حاصل به یک نزدیک بود، لذا کروی فرض کردن پسته خطای آزمون کم و قابل اغماصی بود.

ب: در شرایط مورد مطالعه برای خشک کردن پسته D_{eff} یا ضریب نفوذ موثرمستقل از رطوبت محصول بوده و تابعیت دمایی آن از طریق رابطه آرنیوس بیان گردید.

پ : دما ، رطوبت و فشارهوا در طول فرآیند خشک شدن برای همه دانه های محصول یکنواخت فرض شد.

ت : شرایط مرزی معادله (1) عبارتند از :

$X(r, t) = X(r, 0) = X_i$

$X(r, \infty) = X_e$

ج : انتقال رطوبت از مرکز به سطح دانه های پسته در فاز نزولی آهنگ خشک کردن بوده و عمدتا از طریق انتشار مولکولی صورت گرفت.

با توجه به فرض ها و شرایط مرزی فوق، حل معادله (1) به صورت صورت معادله (2) ارائه شد:

(2)

$$MR = \frac{\overline{X} - X_e}{X_i - X_e} = \frac{6}{p^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}\exp\left(\frac{-n^2 p^2 D_{eff}\, t}{r^2}\right)$$

که در آن $\overline{X}$ میانگین رطوبت ، Xe رطوبت تعادلی، Xi رطوبت اولیه پسته در فاز نزولی و یا رطوبت بحرانی (همگی بر پایه وزن خشک) و MR (نسبت رطوبت) ، n تعداد بی نهایت تغییرات رطوبت در طی خشک کردن محصول و t زمان این فرایند بود. با دقت خوبی تنها جمله اول رشته زمانی فوق

1. Ficks second law

www.SID.ir

Archive of SID

یا موقعی که n=1 در نظر گرفته شد و بـا گـرفتن لگـاریتم از معادله 21) ، معادله 31)بدست آمد:

(3)

$$\ln MR = \ln \frac{\overline{X} - X_e}{X_i - X_e} = \ln \frac{6}{p^2} - \frac{p^2 D_{eff}}{r^2} t$$

با توجه به فرضهای ذکر شده تابعیت ضریب نفوذ مـوثر بـر حسب دما، توسط رابطه آرنیوس یا معادله41) بیان گردید:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \qquad (4)$$

که در آن D_0 ضریب نفوذ مؤثر در دمای مبنا، E_a انرژی فعال سازی، R ثابت جهانی گازها و T دمای مطلق هر فرایند بود.

با گرفتن لگاریتم از این معادله ، معادله (5) حاصل شد:

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \qquad (5)$$

پروتئین و چربی

تغییرات معنی داری در میزان پروتئین و چربی در نمونه های خشک شده پـسته و دردامنـه دمـایی تحـت بررسـی مـشاهده نگردیدواین نتایج با داده های گازر و همکاران در همین زمینه همخوانی داشت [8].

جدول 1 امتیازبندی تیمارهای مختلف برای خشک کردن پسته

تیمار	زمان خشک کردن (min)	آهنگ خشک کردن (kgW/kgDM.h)	عدد پراکسید (meq/kg)	درصد اسیدهای چرب آزاد (برحسب اسید اولئیک)	جمع امتیاز
$a_1b_1c_1$	---	---	*	*	**
$a_1b_1c_2$	---	---	*	*	**
$a_1b_1c_3$	---	---	---	*	*
$a_1b_2c_1$	---	---	*	*	**
$a_1b_2c_2$	---	---	---	*	*
$a_1b_2c_3$	---	---	---	*	*
$a_2b_1c_1$	*	*	*	*	****
$a_2b_1c_2$	*	*	---	*	***
$a_2b_1c_3$	*	*	---	---	**
$a_2b_2c_1$	*	*	*	*	****
$a_2b_2c_2$	*	*	---	*	***
$a_2b_2c_3$	*	*	---	*	***
$a_3b_1c_1$	*	*	*	*	****
$a_3b_1c_2$	*	*	---	*	***
$a_3b_1c_3$	*	*	---	*	***
$a_3b_2c_1$	*	*	---	*	***
$a_3b_2c_2$	*	*	---	*	***
$a_3b_2c_3$	*	*	---	*	***
$a_4b_1c_1$	*	*	*	*	****
$a_4b_1c_2$	*	*	*	*	****
$a_4b_1c_3$	*	*	*	*	****
$a_4b_2c_1$	*	*	*	*	****
$a_4b_2c_2$	*	*	---	*	***
$a_4b_2c_3$	---	*	---	*	**

a: a_1= 40ºC, a_2=50ºC, a_3=60ºC, a_4=70ºC
b: b_1=1m/s, b_2=2m/s
c: c_1= monolayer, c_2=3cm, c_3=5cm

تعیین شرایط بهینه فرآیند خشک کردن پسته

برای تعیین شرایط بهینه خشک کردن پسته، پارامترهای زمان و شدت خشک کردن و همچنین شاخص‌های کیفی شامل عدد پراکسید و درصد اسیدهای چـرب آزاد روغـن پـسته مـورد بررسی قرار گرفت. برای پارامترهـای زمـان و آهنـگ خـشک

www.SID.ir

Archive of SID

کردن با توجه به تحلیل های آماری به ترتیب مقادیر300 دقیقه و 0/0709 kgW/(kgDM.h)انتخاب گردید و جهت عدد پراکسید و درصد اسیدهای چرب آزاد با ملاحظه استاندارد روغن ها و چربی ها به ترتیب حد بالای 10meq/kg و1 درصد (بر حسب اسید اولئیک) در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط ذکرشده، امتیازات اکتسابی تیمارها در جدول 1 ارائه گردید. در این جدول a بیانگر تیمار دمای هوا (در چهار سطح) ،b تیمار سرعت جابجایی هوا (در دو سطح) و c تیمار ضخامت بستر (در سه سطح)و هر امتیاز در این جدول با یک ستاره مشخص شد. همانطورکه در جدول 1 مشاهده می شود از میان 24 تیمار تحت بررسی شرایط بهینه جهت خشک کردن پسته با هوای داغ ، متعلق به 7 تیماری است که مشخصات آنها در جدول 2 ارایه شده و بیشترین امتیاز را کسب کردند . از آنجایی که حجم زیادی از محصول پسته با توجه به فساد بذیری سریع آن باید در مدت زمان کوتاهی خشک گردد و از طرفی طراحی خشک کن بایستی طوری باشد که مصرف انرژی در آن از نظر توان و سرعت هوادهی بادبزن و همچنین گرمایش (دمای هوا) به حداقل برسد و با عنایت به اینکه ضخامت بیشتر محصول ظرفیت خشک کردن را افزایش می دهد ، لذا از میان هفت گزینه پیشنهادی دمای 70^oC، سرعت خشک کردن 1m/s و ضخامت 5cm به عنوان گزینه مطلوب پیشنهاد می گردد ، چون انتخاب دماهای پائینتر و یا ضخامت های کمتر باعث طولانی شدن فرایند و کاهش ظرفیت خشک‌کن می گردد.

جدول 2 مشخصات تیمارهایی که بیشترین امتیاز را کسب کرده اند

درجه حرارت (^oC)	سرعت (m/s)	ضخامت (cm)	زمان خشک کردن (min)
50	1	تک لایه	275
50	2	تک لایه	250
60	1	تک لایه	170
70	1	تک لایه	130
70	1	3	140
70	1	5	150
70	2	تک لایه	120

- تک لایه یا حدود 1 سانتیمتر

محاسبه ضرایب نفوذ مؤثر و انرژی فعال سازی

ضرایب نفوذ در دامنه دمایی 40 - 70 درجه سانتیگراد، سرعت جابجایی هوا با 1 متر بر ثانیه و ضخامت بسترتک لایه تعیین گردید. شرایط مذکور بخشی از شرایط بهینه تعیین شده در قسمت قبلی است . با رسم منحنی lnMR بر حسب زمان خشک کردن (شکل 5)و داشتن شعاع میانگین محصول، ضرایب نفوذ مؤثر (D_{eff}) مربوط به درجه حرارتهای مختلف خشک کردن از طریق براورد از ضریب زاویه بخش خطی هر نمودار واستفاده از معادله (3) تعیین گردید.

نتایج این براوردها که در جدول 3 ارائه شده بیانگر تابعیت ضریب نفوذ مؤثر نسبت به دما می باشد . با رسم $\ln D_{eff}$ برحسب T^{-1} (شکل6) و با استفاده از معادله (4)و ضریب زاویه خط بدست آمده ، میانگین انرژی فعال سازی نیز محاسبه گردید. طبق محاسبات انجام شده، انرژی فعال سازی فرآیند خشک کردن در سیستم یکای CGS برابر kcal/mol E_a =7/962 ودرسیستم یکای SI برابر E_a= 33/33 kJ/mol گردید.

جدول 3 ضرایب نفوذ مؤثر برای خشک کردن پسته کامل در شرایط بهینه

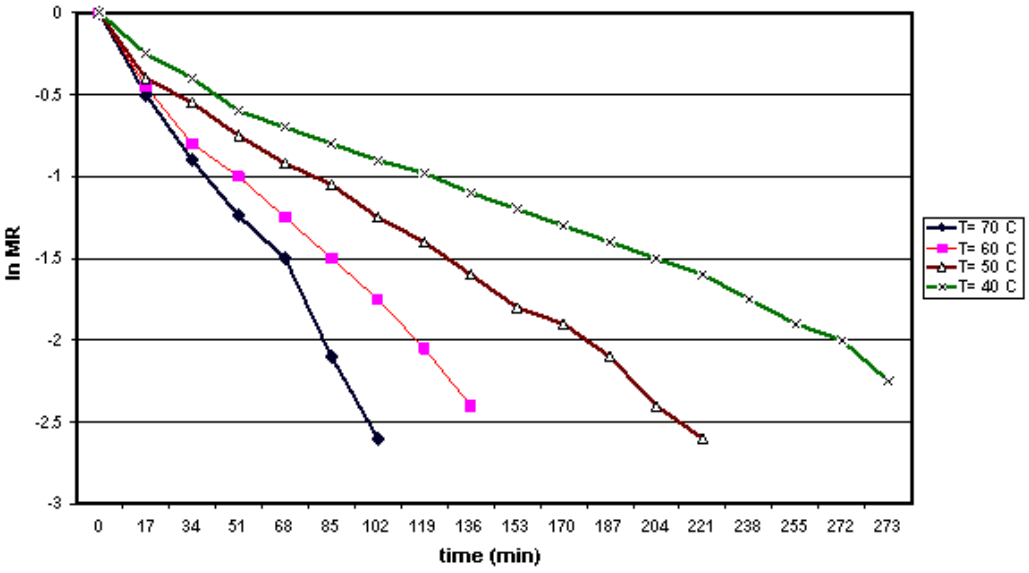
دما (^oC)	شعاع (cm)	ضریب نفوذ مؤثر (m^2/s)
40	0/63	$7/061\times10^{-10}$
50	0/63	$9/736\times10^{-10}$
60	0/63	$1/548\times10^{-9}$
70	0/63	$2/105\times10^{-9}$

مقایسه با داده های ارائه شده توسط محققین دیگر

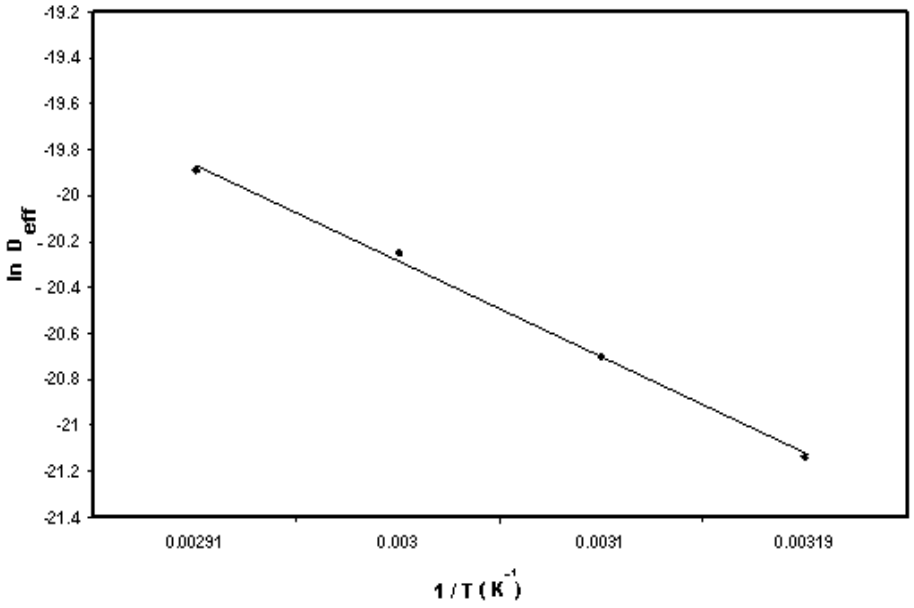
مقایسه داده های ضریب نفوذ مؤثر بدست آمده در این پژوهش (جدول 2) با نتایج تحقیقات کاراتاس و باتالبی، علی رغم متفاوت بودن ارقام و شرایط آزمون، نشان دهنده نزدیکی نتایج دو تحقیق به یکدیگر است[6]. در تحقیق مذکور ضریب نفوذ پسته رقم قاضی آنتب در اولین دوره آهنگ نزولی از $3/15\times10^{-10}$ در دمای 40 درجه سانتیگراد تا $6/26\times10^{-10}$ مترمربع در ثانیه در دمای 60 درجه سانتیگراد تغییر می کند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 5 نمودار لگاریتم نسبت رطوبت بر حسب زمان خشک کردن



شکل 6 نمودار لگاریتم ضریب نفوذ رطوبت برحسب $\frac{1}{T}$

مقادیر ضریب نفوذ مؤثر برای دانه غلات در دامنه دمایی 40 تا 70 درجه سانتیگراد از $1/1\times10^{-10}$ تا $0/3\times10^{-10}$ مترمربع در ثانیه، برای دانه سویا و در دامنه دمایی 50 تا 65 درجه سانتیگراد در محدوده $1,9\times10^{-10}$ تا 1×10^{-10} مترمربع در ثانیه، برای ورقه نازک گلابی و در دمای 66 درجه سانتیگراد، $9/63\times10^{-10}$ مترمربع در ثانیه و برای برگه سیر در دمای 61 درجه سانتیگراد $1/06\times10^{-10}$ مترمربع در ثانیه توسط محققین مختلف گزارش شده است [19و14و10] .

انرژی فعال سازی بدست آمده در این پژوهش همخوانی خوبی با داده های حاصل از تحقیقات کاراتاس و باتالبی[13]

www.SID.ir

Archive of SID

را نشان می دهد.در پژوهش مذکور میانگین انـرژی فعالـسازی برای مغزپسته 8/985 kcal/mol بدست آمده است. با مراجعه به منابع، دیده می‌شود که انرژی فعال سـازی بـه دسـت آمـده جهت نفوذپذیری آب در پسته نزدیک به برخی از موادغـذایی مانند نـشاسته سـیب زمینـی (E_a=33/9 kJ/mol) ، پاپریکـا (E_a= 36/6 kJ/mol) و سورگوم (E_a=31/4 mol/kJ) است [19] .

4- منابع

[1] Abrishami, M.H.1994.Persian Pistachio, A Historical Approach.University Press Center,Tehran.

[2] Anonymous, A Short Glance to Iran Pistachio.1998.Ministry of Agriculture, Horticultural Division, Tehran, Iran.

[3] Anonymous.1998.Iran Dried Nuts, Views and Statistics. Information and Statistical Bureau. Ministry of Agriculture, Tehran, Iran.

[4] Sheibani,A.1998.Study on Industrial Problems of Iranian Pistachio Nuts. Journal of Water, Soil and Machine,38(5):35-37.

[5] Ghazanfari, A. et al.2003.Evaluating a Solar Dryer for In-Shell Drying of Split Pistachio Nuts. Drying Technology,Vol.21,No.7,1357-1368.

[6] Kader, A.A.1992 .Post-harvest Handling Systems: Tree Nuts. In "Postharvest Technology of Horticultural Crops". (A.A.Kader ,Ed.), Pub. 3311. University of California, CA, USA.

[7] Sheibani, A.1995.Pistachio and its Production in Iran. Scientific Information and Documents Center. Ministry of Agriculture, Tehran, Iran.

[8] Gazor,H.R.; Minaei,S. and Bassiri,A.R.2003.Effects of Temperature, Air velocity and Bed Thickness Changes in Kale Ghouchi Pistachio Dehydration Process. Journal of Agricultural Science and Research,9(1).

[9] Kashani-Nejad, M. et al.2003.Effect of Drying Methods on Quality of Pistachio Nuts. Drying Technology,Vol.21,No.5,821-838.

[10] Karatas , S. and Battalbey , M.F.1991 . Determination of Moisture Diffusivity of Pistachio Nut Meat During Drying. Lebensm-wiss. u. technol , 24 : 484- 487.

[11] Chen, H. and Singh, R.P.1990. Modeling of Two Stage Drying of Pistachios. ASAE paper No. 906526.

[12] AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th edn.). Association of Official Analytical Chemists.

[13] Clarke , J. A. et al. 1976. Fatty Acid, Carbohydrate and Amino Acid Composition of Pistachio (Pistacia vera) Kernels. Qual . Plant. , Plant Foods, Human Nutr. 25: 219-225.

[14] Tavakolipour, H.2007.Drying Principles of Food Materials and Agricultural Products. Aeezh Publishers,Tehran.

[15] Pabis , S. et al. 1998. Grain Drying. John Wiley &Sons.

[16] Vega – Mercado , H . and Barbosa-Canovas , V. 1996. Dehydration of Foods. Chapman & Hall.

[17] Pearson,T.C. ; Slaughter,D.C. and Studer ,M.E.1994.Physical Properties of Pistachio Nuts. Transaction of American Society of Agricultural Engineers.Vol.37(3):913-918.

[18] Mohsenin,N.N.1986.Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers.

[19] Rahman , S. 1995. Food Properties Handbook , CRC Press .

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of drying parameters on quality indicators of Damghan pistachio nuts *(Pistacia vera* L.*)* and determining effective diffusion coefficient in optimum conditions

Tavakolipour, H. [1 *], Kalbasi Ashtari, A. [2], Bassiri, A. R. [3]

1-PhD, Assistant Professor, Food science and Technology Department, Islamic Azad University, Sabzevar,
2- Ph.D, Associate Professor, Food Science and Technology Department, College of Biosystem Engineering, University of Tehran, Karaj
3-PhD, Assistant Professor, Institute of chemical technologies, Iranian Research organization of science and technology

The effects of air temperature (40, 50, 60 and 70 ^{o}C), air velocity (1 and 2m/s) and bed depth [1(monolayer), 3 and 5cm)] on drying time, drying rate and quality indicators of Pistachio-nuts such as peroxide value and free fatty acids was determined in an experimental air cross flow drier and optimum conditions for pistachio-nuts drying was obtained. Also effective diffusion coefficient (Deff)and activation energy were determined by using Ficks second law (between 40 to 70^{o}C) and Arrhenius model, respectively.

Keywords: Pistachio Nut, Dehydration Process, Diffusion Coefficient, Quality Indicators, and Activation Energy

*Corresponding author E-mail address: htavakoli@iaus.ac.ir

www.SID.ir