



ارائه روشی نوین برای تهیه چپس سیب زمینی رژیمی: خشک کردن ورقه های بخارپز شده سیب

زمینی در هوای داغ

مسعود آقا مسیحی^۱، جواد خزائی^{۲*}، موسی ملکی^۳ و امیرعباس شایگانی اکمل^۴

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و فارغ التحصیل کارشناسی گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان

دانشگاه تهران

۴- استادیار گروه فشارقوی پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

jkhazaei@ut.ac.ir

چکیده

روش مرسوم تهیه چپس سیب زمینی با سرخ کردن در روغن منجر به افزایش چربی و ایجاد ماده سرطانزای اسید آکریلامید در آن می شود که هر دو بسیار مضرند. در این تحقیق روش جدیدی بر مبنای بخارپز نمودن ورقه های سیب زمینی و سپس خشک کردن آنها در خشک کن های هوای داغ معمولی برای تهیه چپس پیشنهاد شده است که در آن گزینه سرخ کردن در روغن کاملاً حذف شده است. برای هر آزمایش ورقه های محصول در محلول نمک ۳ درصد وزنی قرار داده و سپس در یک ظرف در بسته حاوی آب در حال جوش برای ۳۰ دقیقه بخارپز شدند. نتایج نشان داد که ضخامت ۱ میلیمتر در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس دارای کمترین زمان و بیشترین نرخ خشک شدن بود. مدل میدیلی بهترین برازش را بر داده های آزمایشی داشت. بطور متوسط با افزایش دما از ۷۰ به ۱۰۰ درجه سلسیوس زمان خشک شدن به میزان ۳۷٪ کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: چپس سیب زمینی، اسید آکریلامید، چپس رژیمی، خشک کن هوای داغ

مقدمه

مقدار ضایعات سیب زمینی در سال ۱۳۸۰ معادل ۲۵ درصد گزارش شده است (نوروزی، ۱۳۸۱) که بعد از میوه های هسته دار بیشترین مقدار ضایعات تولید و انبارداری در بین محصولات کشاورزی را شامل می شود. یک راه موثر برای کاهش ضایعات این محصول فرآوری آن به محصولات دیگری مثل چپس است. افزایش مصرف روزافزون چپس سیب زمینی در ایران و توجه به مشکلاتی که انواع نامرغوب آن می تواند برای مصرف کنندگان ایجاد کند ضرورت اصلاح روشهای تولید را ایجاب می کند. Svensson و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که حرارت دادن مواد غذایی سرشار از کربوهیدرات سبب ایجاد مقادیر بالایی اسید آکریلامید در آنها می شود که شدیداً سرطانزا است. طبق گزارش Hoffman (۲۰۰۴) مقدار این اسید سرطانزا در یک بسته چپس سیب زمینی حدود ۵۰۰ برابر حد مجاز توصیه شده برای آب آشامیدنی به وسیله سازمان بهداشت جهانی (WHO) است. در طی سرخ کردن یک کیلو گرم چپس سیب زمینی حدود ۳۵۴۴ میلی گرم اسید اکریل آمید به وجود می آید که با بخار پز کردن ورقه های سیب زمینی می توان از تشکیل آن جلوگیری کرد. طبق گزارش Hoffman (۲۰۰۴) مصرف روزانه حدود ۶۵

میلی گرم اسید اکریل آمید باعث ایجاد غده های خطرناک و جهش ژنتیکی در حیوانات آزمایشگاهی شد. راه های مختلفی برای کاهش اسید اکریل آمید و جذب چربی در چیپس سیب زمینی توصیه شده است. هر گونه تلاشی برای کاهش مقدار اکریل آمید و جذب چربی با توجه به مشکلات آن ها در چیپس سیب زمینی شایسته است. یک روش معمول برای تهیه چیپس سیب زمینی، سرخ کردن ورقه های سیب زمینی در روغن است. سرخ کردن فرآیندی است که در آن از روغن برای انتقال گرما استفاده می شود و به محصول بو و مزه مطلوبی می دهد. در این فرآیند، همزمان با تبخیر آب موجود در ورقه های سیب زمینی و کاهش رطوبت آنها روغن جذب و سبب افزایش چربی آنها می گردد (Moreira و همکاران، ۱۹۹۹؛ García و همکاران، ۲۰۰۲). در طی این فرآیند درصد رطوبت از ۷۰ به ۲٪ و درصد چربی به حدود ۴۰٪ افزایش می یابد (Kester و Fennema، ۱۹۸۶). یکی از روش های کاهش جذب روغن استفاده از پوششهای خوراکی است که سبب کاهش درصد چربی و در مقابل سبب افزایش رطوبت محصول نهایی می گردند (Malikarjunan و همکاران، ۱۹۹۷). Pedreschi و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که فرو بردن ورقه های سیب زمینی در محلول نمک قبل از سرخ کردن به طور معنی داری تشکیل اکریل آمید را در چیپس سیب زمینی کاهش می دهد. سرخ کردن در خلأ (فشار حدود ۸ kPa) نیز یک روش مؤثری برای کاهش محتوای روغن در اسنک های سرخ شده است که سبب افزایش کیفیت غذایی محصول می گردد. در حقیقت خشک کردن مواد غذایی تحت خلأ سبب کاهش جذب روغن به علت کاهش نقطه جوش روغن و رطوبت اسنک می گردد (Shyu و همکاران، ۱۹۹۸؛ Garayo و Moreira، 2002). در روش سرخ کردن در خلأ، افزایش سریع فشار سبب تشدید حرکت و انتقال روغن چسبیده به سطح محصول به داخل منافذ می گردد. بنابراین برای رفع این مشکل ضروری است در روش سرخ کردن در خلأ از مکانیزم خاصی برای کاهش جذب روغن اضافی سطح استفاده گردد (Moreira و همکاران، ۲۰۰۹). روش سرخ کردن در خلأ (فشار ۵/۳۷kPa و دمای ۱۲۰°C) در مقایسه با روش سرخ کردن در فشار جو (۱۴۰°C) محتوای روغن را به طور معنی داری افزایش می دهد (Troncoso و همکاران، ۲۰۰۹). Krokida و همکاران (۲۰۰۱) معتقدند که خشک کردن مقدماتی چیپس ها به دلیل خروج رطوبت و مسدود کردن لوله های موئین می تواند در کاهش جذب روغن مفید باشد. خشک کردن با هوای داغ موجب رنگ نامناسب، بافت نامطلوب و کاهش شدید مواد غذایی می شود (Leeratanarak و همکاران، ۲۰۰۶). تحقیقات قبلی نشان داده است که ورقه های سیب زمینی خشک شده با بخار فوق اشباع (SSD) در دماهای بالاتر و ضرائب انتقال حرارت جابجایی بیشتر دارای چروکیدگی کمتر، تخلخل بیشتر، رنگ تیره تر و ویتامین ث کمتر هستند (Caixeta و همکاران، ۲۰۰۲) lyota و همکاران (۲۰۰۱) دریافته اند که سیب زمینی های خشک شده با بخار فوق اشباع درخشان تر و بدون دانه های ریز نشاسته در سطح هستند. در بهترین شرایط پیشنهاد شده خشک کردن با بخار فوق اشباع در فشار کاهش یافته (LPSSD) منجر به تهیه چیپس های سیب زمینی ضعیف، مخصوصاً از نظر بافت می شود. از مضرات روش های SSD و LPSSD می توان به هزینه و امکانات زیاد آنها اشاره کرد. در این تحقیق به منظور کاهش مقدار اکریل آمید و جذب چربی در چیپس سیب زمینی، روش جدیدی برای تهیه چیپس پیشنهاد شده است که در آن گزینه سرخ کردن در روغن کاملاً حذف شده است. این روش بر مبنای بخارپز نمودن ورقه های سیب زمینی و سپس خشک کردن آنها در خشک کن های هوای داغ معمولی است. طبق این روش می توان نسبت به تهیه چیپس های بدون چربی (یا چیپس رژیمی) اقدام نمود. در این مقاله و در گام اول این تحقیق، هدف بررسی تاثیر

ضخامت ورقه های سیب زمینی و دمای خشک کردن بر سینتیک خشک شدن ورقه های بخار پز شده سیب زمینی بود.

فهرست علائم		ثابت های تجربی
N	تعداد مشاهدات	a, b, c
n	عدد صحیح مثبت	k
R= 8/3143	ثابت جهانی گازها (kJ/kmol K)	D_{eff}
t	زمان خشک شدن (s)	D₀
RMSE	ریشه دوم میانگین خطا	DR
R²	ضریب تشخیص	M
T	دما (K)	M_e
L	ضخامت نمونه ها (m)	M₀
E_a	انرژی فعال سازی (kJ/mol)	MR_{exp}
MR_{pre}	نسبت رطوبت پیش بینی شده (بدون بعد)	MR_{exp}
		نسبت رطوبت آزمایشگاهی (بدون بعد)

مواد و روش ها

سیب زمینی های مورد استفاده در این تحقیق از رقم اگر یا بودند که از یک فروشگاه در تهران خریداری شدند. قبل از انجام آزمایشات سیب زمینی ها با آب شهری شسته شده تا خاک و کثیفی های سطحی آنها زدوده شود. سپس نمونه ها پوست کنده شدند و با استفاده از یک رنده دستی به ضخامت های ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر برش داده شدند. در ادامه ورقه های برش خورده با استفاده از یک قالب فلزی، به صورت ورقه های دایره ایی شکلی به قطر ۴۵ میلیمتر تبدیل و در آزمایشات بعدی استفاده شدند. ورقه های سیب زمینی در محلول نمک ۳ درصد وزنی (Santis و همکاران، ۲۰۰۷) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. پس از این مرحله برش های سیب زمینی برای مدت ۳۰ دقیقه بر روی یک توری فلزی در یک ظرف در بسته حاوی آب در حال جوش قرار گرفتند تا کاملاً بخار پز شوند. پس از بخارپز شدن نمونه ها، رطوبت آنها به حدود ۷-۴٪ بر پایه خشک می رسید. در ادامه نمونه های بخارپز شده با استفاده از یک خشک کن هوای داغ تا رسیدن به رطوبت تعادلی خشک شدند. برای هر تیمار خشک کردن تعداد ۹ ورقه بخارپز شده از سیب زمینی با آرایش مربعی با مرکز روی محفظه خشک کن قرار گرفتند. آزمایشات خشک کردن به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شدند. در این آزمایشات تاثیر دمای خشک کردن در ۴ سطح ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس و ضخامت ورقه ها در سه سطح ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر مطالعه شد. در کلیه آزمایشات سرعت هوا ثابت و معادل ۱/۵ متر بر ثانیه بود. سرعت مذکور برای جلوگیری از معلق شدن نمونه ها انتخاب شد. داده گیری در بازه های زمانی ۱ تا ۱۰ دقیقه انجام شد. وزن اولیه نمونه ها ۱۱ تا ۳۰ گرم بود. رطوبت نمونه ها با استفاده از روش خشک کردن با آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت انجام شده است (Nguyen و همکاران، ۲۰۰۴).

مدل کردن ریاضی داده های خشک کردن

در این تحقیق از مدل های نیمه تئوری خشک کردن لایه نازک برای توصیف سینتیک خشک کردن ورقه های سیب زمینی بخار پز شده استفاده شد. این مدل ها شامل مدل لگاریتمی، مدل لوییس و مدل میدیلی بودند که در جدول ۱ نشان داده شده اند. متغیر های **n** و **a, b, c, k** با استفاده از تحلیل رگرسیون غیر خطی محاسبه شدند. کیفیت برازش بین داده های آزمایشگاهی و پیش بینی شده به روش تحلیل آماری مشخص شد. برای تعیین بهترین مدل از معیارهای R^2 و RMSE (رابطه (۱)) استفاده شد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

تمامی تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزار (MATLAB (Version R 2008a, The MathWorks Inc. USA انجام شده است.

در این تحقیق برای کلیه آزمایشات داده های حاصل از بررسی تغییرات محتوای رطوبتی ورقه های سیب زمینی با زمان طبق رابطه زیر تبدیل به نسبت رطوبت (MR) شدند (Midilli, 2001).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (2)$$

با توجه به اینکه رطوبت تعادلی در مقایسه با رطوبت لحظه ای و رطوبت اولیه مقدار کمی دارد، طبق گزارش (Khazaei و همکاران, 2008) میتوان معادل بالا را به صورت زیر ساده نمود:

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (3)$$

رابطه (4) قانون دوم نفوذ فیک برای محاسبه ضریب پخش مؤثر ورقه های سیب زمینی با فرضیات ثابت در نظر گرفتن پخش رطوبت در محصول، هندسه نا محدود نمونه و توزیع یکنواخت رطوبت اولیه استفاده شده است (Crank, 1975):

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(\pi n)^2} \exp \left[-(\pi n)^2 \frac{D_{eff} t}{L^2} \right] \quad (4)$$

برای دوره های طولانی خشک کردن که $MR < 0.6$ بخش اول سری رابطه فوق دقت لازم برای برازش بر داده های آزمایشی را داراست پس رابطه فوق قابل ساده شدن به عبارت اولیه مجموع می باشد (Senadeera و همکاران, 2003). بنا براین با گرفتن لگاریتم طبیعی برای هر دو طرف رابطه (4) به رابطه زیر دست پیدا می کنیم:

جدول ۱- رایج ترین مدل های مورد استفاده برای مدل کردن داده های خشک کردن لایه نازک مواد کشاورزی

نام مدل	رابطه	منبع
لگاریتمی	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Togrul و Pehlivan, 2002)
لوییس	$MR = \exp(-kt)$	(Bruce, 1985)
میدیلی	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(Kucuk و Midilli, 2003)

$$\ln(MR) = \ln \frac{a}{\pi^2} - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} t}{L^2} \right) \quad (5)$$

طبق رابطه (5)، برای تعیین ضریب پخش مؤثر کافی است، داده ها در نمودار $\ln(MR)$ در مقابل زمان رسم شوند. اگر بخش اولیه نمودار (مخصوصاً $MR < 0.5$) خطی باشد، سپس از شیب بخش خطی نمودار طبق رابطه (6) برای تشخیص ضریب پخش مؤثر D_{eff} استفاده گردید (Khazaei و همکاران, 2008).

$$\text{شیب} = \frac{\pi^2 D_{eff}}{L^2} \quad (6)$$

انرژی فعال سازی ورقه های بخار پز شده سیب زمینی طبق رابطه آرنیوس (رابطه (۷)) محاسبه شد (Sacilik و همکاران، ۲۰۰۶). انرژی فعال سازی با رسم خط راست $\ln(D_{eff})$ در مقابل عکس دمای مطلق خشک کردن، $\frac{1}{T}$ (با واحد کلونین) به دست آمده و طبق روابط ۷ تا (۹) محاسبه شد.

$$D_{eff} = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{abs}}\right) \quad (7)$$

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_o) - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T_{abs}} \quad (8)$$

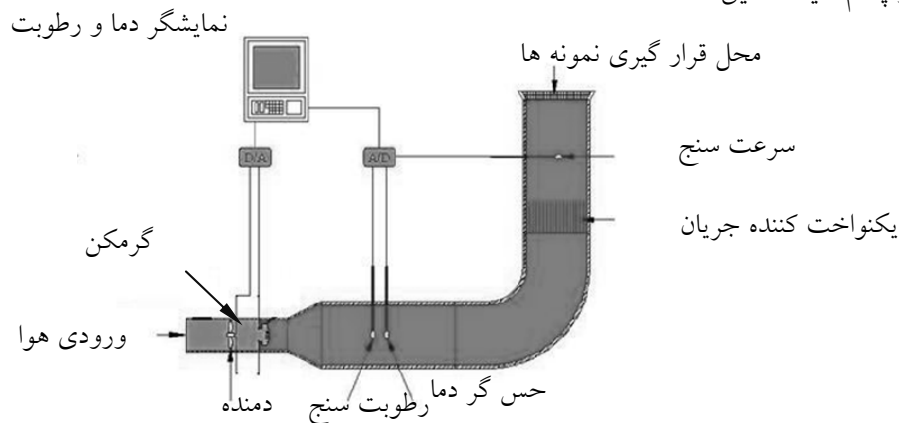
$$\text{شیب} = -\frac{E_a}{R} \quad (9)$$

نرخ خشک شدن (DR) ورقه های بخارپز شده به عنوان معیاری از مقدار رطوبت تبخیر شده در واحد زمان با واحد (g water/g dry matter min) طبق رابطه زیر محاسبه شد (Celma و همکاران، ۲۰۰۷).

$$DR = -(M_{t+\Delta t} - M_t) / \Delta t \quad (10)$$

وسایل آزمایشگاهی

خشک کن هوای داغ مورد استفاده در این پژوهش (شکل ۱) از یک دمنده گریز از مرکز قابل تنظیم، مجرای هوا، المنت های الکتریکی برای گرم کردن هوا، محفظه خشک کردن که محل قرار گیری نمونه هاست. دستگاه مذکور دارای وسایل اندازه گیری دمای هوا و رطوبت محیط نیز می باشد. تمامی بدنه خشک کن از لحاظ اتلاف حرارت با استفاده از پشم شیشه عایق شده است.

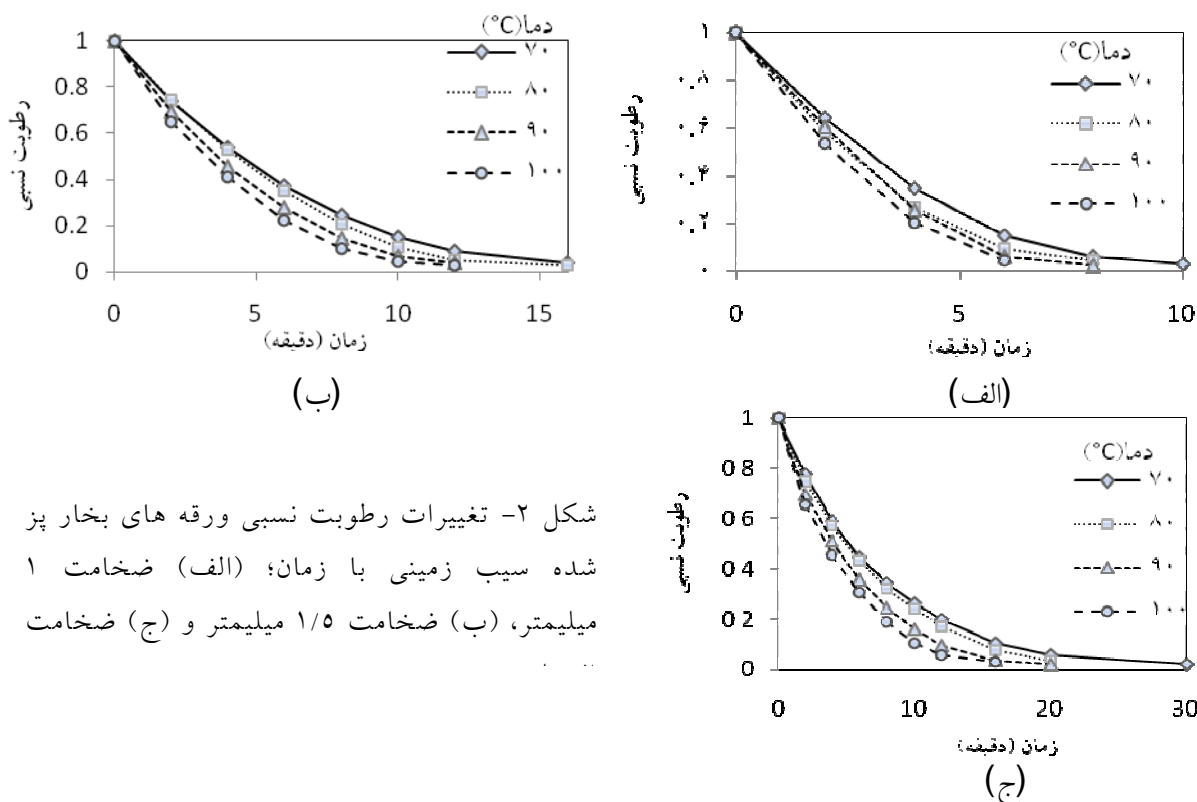


شکل ۱- نمایی از خشک کن هوای داغ

قطر لوله خروجی هوای داغ که محل قرار گیری نمونه هاست ۲۰ سانتیمتر است. دمای هوای خروجی با دقت یک درجه سلسیوس تنظیم می شود. سرعت هوای خروجی نیز با یک مدولاتور فرکانس تنظیم می شود که سرعت دورانی دمنده گریز از مرکز را کنترل می کند. سامانه توزین از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم (۲-۶۰۰ KERN & Sohn GmbH, GERMANY; model EMB) تشکیل شده است که خارج از خشک کن قرار دارد.

نتایج و بحث

رطوبت تعادلی نمونه‌ها ۰/۳-۰/۱ درصد بر پایه خشک بوده که این رطوبت تعادلی با رطوبت چپس های تجاری (Pringle™ و Lay™) که ۲-۳ درصد بر پایه خشک است، متفاوت بوده (Leeratanarak و همکاران, ۲۰۰۶). افزایش رطوبت چپس های تجاری به دلیل جایگزین شدن روغن به جای آب است ولی در بخارپز شدن چیزی جایگزین آب از دست رفته نمی شود. (رطوبت نسبی هوای محیط آزمایشگاه ۳۰-۱۶ درصد بود).



شکل ۲- تغییرات رطوبت نسبی ورقه های بخار پز شده سیب زمینی با زمان؛ (الف) ضخامت ۱ میلیمتر، (ب) ضخامت ۱/۵ میلیمتر و (ج) ضخامت ۳/۵ میلیمتر.

در شکل های ۲، ۳ و ۴ نمودارهای خشک شدن ورقه های بخارپز شده سیب زمینی برای ضخامت های مختلف ورقه ها نشان داده شده است. در تمامی شکل ها با افزایش دما و کاهش ضخامت، نرخ خشک شدن افزایش یافته است. همچنین در ضخامت های کمتر نمودارها به یکدیگر نزدیک تر شده اند که گویای کاهش تأثیر دما بر نرخ خشک شدن است. با بررسی زمان رسیدن به نسبت رطوبت ۰/۵ به عنوان معیاری برای مشخص شدن تفاوت تیمار های مختلف مشخص شد که در ضخامت ۱ میلیمتر تفاوت ۲۴ درصدی وجود داشت در حالی که در ضخامت های ۱/۵ و ۲ این مقدار به ترتیب به ۲۹ درصد و ۳۳ درصد می رسید. (Leeratanarak و همکاران, ۲۰۰۶) ورقه هایی به ضخامت ۳/۵ میلیمتر که در دماهای ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس را در حداقل ۱۰۰ دقیقه خشک کرده اند ولی در این پژوهش در زمانی در حدود ۳۰ دقیقه نمونه ها خشک شدند که زمان کمتری است و نشان دهنده تأثیر بخارپز کردن در کاهش زمان خشک شدن است.

جدول ۲- زمان لازم برای رسیدن به نسبت رطوبت ۰/۵ برای تیمار های مختلف

ضخامت (میلیمتر)	دمای هوا (درجه سلسیوس)	زمان رسیدن به نسبت رطوبت ۰/۵ (ثانیه)
-----------------	------------------------	--------------------------------------

2/9	۷۰	
۲/۶	۸۰	
۲/۵	۹۰	۱
۲/۲	۱۰۰	
۴/۵	۷۰	
۴/۳	۸۰	
۳/۶	۹۰	۱/۵
۳/۲	۱۰۰	
۵/۲	۷۰	
۵	۸۰	
۴/۱	۹۰	۲
۳/۵	۱۰۰	

جدول ۲ شاخص های (R^2)، (RMSE) را برای ضخامت های نمونه و دمای هوای مختلف نشان می دهد که برای مدل های ذکر شده در جدول ۱ تعیین شده اند. واضح است که مدل میدیلی دارای بهترین برازش نسبت به سایر مدل های مطرح شده برای تمامی تیمارها انجام شده می باشد.

جدول ۳- نتایج برازش و ارزیابی مدل های خشک کردن بر داده های خشک کردن

ورقه های بخار پز شده سیب زمینی

نام مدل	محدوده RMSE	محدوده R^2
لگاریتمی	0/05176-0/004997	0/9921-0/9998
لوییس	0/06326-0/006686	0/9765-0/9996
میدیلی	0/06623-0	0/9849-0/9999

با رسم کردن نمودار $\ln(MR)$ به زمان و برازش خط راست نسبت به آن، شیب خط راست از ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۰۲ برای ضخامت های مختلف مورد آزمایش به دست می آید. ضریب تعیین (R^2) متناظر نیز از طریق تحلیل رگرسیونی خط راست از ۰/۹۹۵ تا ۰/۹۶۲ به دست می آید. مقادیر ضریب پخش مؤثر D_{eff} برای تیمارهای مختلف که با استفاده از رابطه (۶) بدست آمده، در جدول ۳ نشان داده شده است. شاخص R^2 نشان داده شده در جدول بیانگر دقت ضریب پخش مؤثر استخراج شده از رابطه (۶) می باشد. این مقادیر بین $5/743 \times 10^{-10}$ - $15/295 \times 10^{-10}$ m^2/s تغییر می کند. این مقادیر برای سیر 2×10^{-10} - $4/2 \times 10^{-10}$ m^2/s می باشد که در دمای ۵۰-۹۰ درجه سلسیوس خشک شده اند (Madamba و همکاران، ۱۹۹۶). جدول ۴ نشان می دهد که با افزایش دما، ضریب پخش مؤثر نیز افزایش پیدا کرد و با افزایش ضخامت نمونه ها نیز این ضریب افزایش پیدا کرد در حالی که اثر ضخامت ورقه ها بیشتر از دمای هوا بود.

جدول ۴- مقادیر ضریب پخش مؤثر برای سیب زمینی بخار پز شده

R^2	ضریب پخش مؤثر D_0 ($10^{-10} \times (m^2/s)$)	دمای هوا (درجه سلسیوس)	
		ضخامت (میلیمتر)	
۰/۹۸۸	۵/۷۴۳	۷۰	۱
۰/۹۹	۶/۸۶۷	۸۰	
۰/۹۷۴	۸/۳۰۷	۹۰	
۰/۹۶۲	۸/۷۶۳	۱۰۰	
۰/۹۹۲	۷/۹۲۴	۷۰	۱/۵
۰/۹۸۲	۸/۹۱۱	۸۰	
۰/۹۸۴	۱۰/۷۰۳	۹۰	
۰/۹۸۸	۱۱/۹۷۳	۱۰۰	
۰/۹۹۵	۹/۰۵	۷۰	۲
۰/۹۹۲	۱۱/۲۰۲	۸۰	
۰/۹۹۳	۱۳/۶۸۶	۹۰	
۰/۹۹۴	۱۵/۲۹۵	۱۰۰	

جدول ۵ - ضریب پخش مؤثر برای چند محصول کشاورزی

منبع	ضریب پخش مؤثر (m^2/s)	محصول
(1998, Maskan و Gogus)	$2/32 \times 10^{-10} - 2/67 \times 10^{-9}$	شاه توت
(Sabarez و همکاران, ۱۹۹۷)	$4/3 \times 10^{-10} - 7/6 \times 10^{-10}$	آلو
(Madamba و همکاران, ۱۹۹۶)	$2 \times 10^{-10} - 4/2 \times 10^{-10}$	سیر

جدول ۵ ضریب پخش مؤثر را برای چند محصول کشاورزی نشان می دهد و مشخص می شود که سیب زمینی بخارپز شده مورد آزمایش دارای ضریب پخش مؤثر کمتری نسبت به شاه توت و ضریب پخش مؤثر بیشتری نسبت به سیر و آلو است. انرژی فعال سازی نیز با رسم $\ln(D_{eff})$ به معکوس دمای مطلق (رابطه (۸)) و محاسبه شیب خط راست از طریق رابطه (۹) به دست می آید. در جدول ۵ انرژی فعال سازی و ضریب آرنیوس مشاهده می شود. واضح است که افزایش ضخامت منجر به افزایش انرژی فعال سازی و ضریب آرنیوس می شود. جدول ۷ انرژی فعال سازی چند ماده را نشان می دهد که انرژی فعال سازی سیب زمینی بخار پز شده از رسوب روغن زیتون کمتر و از خمیر پاستا و میوه جک بیشتر است. مقادیر اولیه نرخ خشک شدن همیشه در دمای بالاتر بیشتر است (Celma و همکاران, ۲۰۰۷).

جدول ۶ - انرژی فعال سازی و ضریب آرنیوس سیب زمینی بخارپز شده

ضخامت (میلیمتر)	انرژی فعال سازی (kJ/mol) E _a	ضریب آرنیوس D ₀ (m ² /s)×10 ⁻	R ^۲
۱	۱۵/۵۸۴	۱۳/۷۹۴	۰/۹۶۳
۱/۵	۱۵/۱۲۷	۱۵/۷۶۳	۰/۹۹
۲	۱۸/۹۴۵	۷۰/۳۷۹	۰/۹۸۷

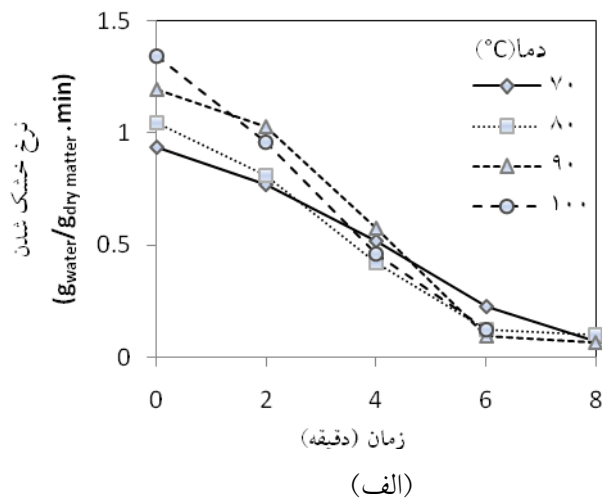
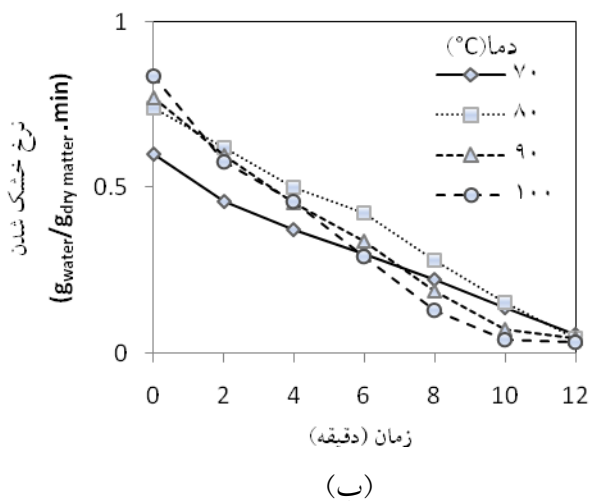
جدول ۷ - انرژی فعال سازی برای چند ماده مختلف

مواد	انرژی فعال سازی E _a (kJ/mol)	منبع
رسوب روغن زیتون	15/77	(Celma و همکاران, ۲۰۰۷)
میوه جک	6/803	(Chong و همکاران, ۲۰۰۸)
خمیر پاستا	11/4	(Villeneuve, Ge'linas و همکاران, ۲۰۰۷)

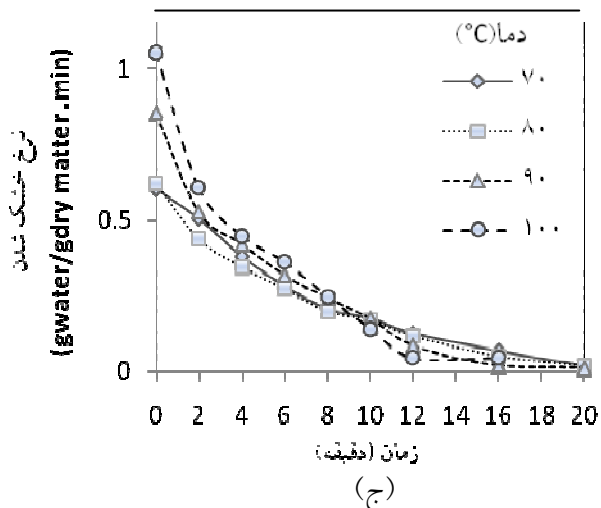
نرخ خشک شدن در مدت نزولی به دلیل گرادیان غلظت رطوبت در داخل شبکه محصول است. پیشرفت رطوبت داخلی به دلیل ساز و کارهایی مانند نفوذ مایع، جریان موئین، جریان حاصل از چروکیدگی و گرادیان فشار (1983 Lyderson), و ضخامت نمونه هاست (Price و Nguyen, 2007). اثبات شده است که رطوبت اولیه محصولات بر نرخ اولیه خشک شدن و زمان خشک شدن تأثیر دارد. (Sabarez و همکاران, ۱۹۹۷; Sabarez و Price, 1999). نرخ ثابت خشک شدن در این آزمایش مشاهده شده و ولی اکثر اوقات نرخ خشک شدن به صورت نزولی بوده است. هنگامی که سیب زمینی ها تحت بخار قرار می گیرند ممکن است سلول ها نسبت به رطوبت نفوذپذیر تر شوند که این موجب بهبود زمان خشک شدن و نرخ خشک شدن می شود. این نفوذ پذیری ممکن است به دلیل تأثیر ژلاتینه شدن نشاسته، تغییرات ساختاری و مقدار آب جذب شده در طی فرایند بخارپز شدن باشد (Leeratanarak و همکاران, ۲۰۰۶). نرخ خشک شدن اولیه تقریباً با کاهش دما کاهش پیدا کرد. نرخ خشک شدن ضخامت ۱ میلیمتر بیشترین مقدار را دارا بود ولی ۱/۵ میلیمتر کمتر از ۲ میلیمتر بود. پس از گذشت حدود ۴ دقیقه از آغاز خشک شدن نرخ ها تقریباً با هم برابر شدند.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۷۰ به ۱۰۰ درجه سلسیوس، مدت زمان خشک شدن ۴۰ درصد برای ۱ میلیمتر، ۲۵ درصد برای ۱/۵ میلیمتر و ۴۶ درصد برای ۲ میلیمتر کاهش یافت. بالاترین نرخ خشک شدن برای ضخامت ۱ میلیمتر و پایین ترین نرخ خشک شدن برای ضخامت ۱/۵ میلیمتر بود.



شکل ۳- نمودار نرخ خشک شدن ورقه های بخارپز شده سیب زمینی نمونه ها با زمان؛ (الف) ضخامت ۱ میلیمتر، (ب) ضخامت ۱/۵ میلیمتر و (ج) ضخامت ۲ میلیمتر



با در نظر گرفتن تغییرات ضریب پخش مؤثر، اثر ضخامت بیشتر از دما مشاهده شده است. تیمار ضخامت ۱ میلیمتر و دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس داری کوتاه ترین زمان خشک شدن و بیشترین نرخ خشک شدن بود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که روش خشک کردن سیب زمینی بخارپز شده به عنوان یک روش برای ساخت چیپس های سالم فابل استفاده است. چیپس هایی بدون چربی که می تواند مشتریان زیادی را که به سلامتی شان اهمیت می دهند، جذب کند. از مزیت های این روش می توان به قیمت کمتر به دلیل حذف روغن و فرایند سرخ کردن و همچنین زمان کوتاه خشک شدن اشاره کرد. البته برای افزایش کیفیت طعم و بوی چیپس های مورد آزمایش باید روش ها و تیمار های مختلفی در آینده انجام شود. این چیپس ها دچار تغییرات کمی از لحاظ رنگ با رنگ طبیعی سیب زمینی می شوند و بسیار شفاف هستند که به دلیل زمان کوتاه و دمای کمتر است. در کل چیپس های مورد آزمایش کیفیت کمتری نسبت به چیپس های موجود در بازار به خصوص به لحاظ سختی و شکنندگی دارند.

منابع و مأخذ

۱. نوروزی، ف. (۱۳۸۱). تراز نامه غذایی ایران، ارزیابی روند تولید و عرضه مواد غذایی در کشور. برنامه ریزی جهاد کشاورزی، ۱۱-۵ و ۲۸ و ۴۵ و ۶۹
2. Bruce, D. M. (1985). Exposed-Layer Barley Drying, Three Models Fitted to New Data up to 150 C. Journal of Agricultural Engineering Research, 32, 337-47
3. Caixeta, A. T. و R. Moreira و M. E Castell-Perez. (2002). Impingement Drying of Potato Chips. Journal of Food Process Engineering, 25, 63-90
4. Celma, A.R. و Rojas S. و Lopez F. و Montero I. و Miranda T. (2007). Thin-Layer Drying Behaviour of Sludge of Olive Oil Extraction. Journal of Food Engineering, 80, 1261-71

5. Crank, J. *Mathematics of Diffusions* (2nd Ed.). London Oxford University Press, 1975.
6. Djendoubi, N. و Boudhrioua N. و Bonazzi C. و Kechaou N. (2008). Drying of Sardine Muscles: Experimental and Mathematical Investigations. *Food and bioproducts processing*, 115–23
7. Doymaz, I. (2006). Thin Layer Drying Behaviour of Mint Leaves. *Journal of Food Engineering*, 74, 370-75
8. Garayo, J. و R. Moreira. (2002). Vacuum Frying of Potato Chips. *Journal of Food Engineering*, 55, 181-91
9. García, M.A. و C. Ferrero و N. Bértola و M. Martino و N. Zaritzky. (2002). Edible Coatings from Cellulose Derivatives to Reduce Oil Uptake in Fried Products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, 391–97
10. Hoffman, Bill. "Cancer Threat for Snackers." <http://www.freerepublic.com/focus/news/673300/posts/2004>.
11. Iyota, H. و N. Nishimura و T. Onuma و T. Nomura. (2001). Drying of Sliced Raw Potatoes in Superheated Steam and Hot Air. *DRYING TECHNOLOGY*, 19, 1411-24
12. Kester, J.J. و O.R Fennema. (1986). Edible Films and Coating. *Food Technology*, 40, 47-59
13. Khazaei, J. و G.R. Chegini و M.Bakhshiani. (2008). A Novel Alternative Method for Modeling the Effects of Air Temperature and Slice Thickness on Quality and Drying Kinetics of Tomato Slices: Superposition Technique. *Drying Technology*, 26, 759-75
14. Krokida, M.K. و V. Oreopoulou و Z.B. Maroulis و D. Marinos-Kouris. (2001). Effect of Pre-Drying on Quality of French Fries. *Journal of Food Engineering*, 49, 347-54
15. Leeratanarak, N. و S. Devahastin و N Chiewchan. (2006). Drying Kinetics and Quality of Potato Chips Undergoing Different Drying Techniques. *Journal of Food Engineering*, 77, 635–43
16. Lyderson, A. L. *Mass Transfer in Engineering Practice*.. New York John Wiley and Sons, 1983.
17. Madamba, P. S. و Driscoll R.H. و Buckle K.A. (1996). The Thin-Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal of Food Engineering*, 29, 75-97
18. Malakarjunan, P. و M.S. Chinan و R.D. Philips. (1997). Edible Coating for Deep-Fat Frying of Starchy Products. *Food Science and Technology*, 30, 709-14
19. Maskan, M. و F. Gogus. (1998). Sorption Isotherms and Drying Characteristics of Mulberry (*Morus Alba*). *Journal of Food Engineering*, 37, 437-49
20. Midilli, A. (2001). Determination of Pistachio Drying Behaviour and Conditions in a Solar Drying System. *International Journal Energy Research*, 25, 715-25
21. Midilli, A. و H. Kucuk. (2003). Mathematical Modelling of Thin Layer Drying of Pistachio by Using Solar Energy. *Energy Conversion and Management*, 44, 1111-22
22. Moreira, R.G. و P.F. Da Silva و C Gomes. (2009). The Effect of a De-Oiling Mechanism on the Production of High Quality Vacuum Fried Potato Chips. *Journal of Food Engineering*, 92, 297-304
23. Moreira, R.G. و Castell-Perez M.E. و Barrufet M.A. "Deep-Fat Frying Fundamentals and Applications." Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc., 1999. 75-104.
24. Nguyen, M. و Wi. E. Price. (2007). Air-Drying of Banana: Influence of Experimental Parameters, Slab Thickness, Banana Maturity and Harvesting Season. *Journal of Food Engineering*, 79, 200-07
25. Nguyen, T.A. و P. Verboven و J.D. Daudin و M.N. Bart. (2004). Measurement and Modelling of Water Sorption Isotherms of 'Conference' Pear Flesh Tissue in the High Humidity Range. *Postharvest Biology and Technology*, 33, 229-41
26. Pedreschi, F. و O. Bustos و D. Mery و P. Moyano و K. Kaack و K. Granby. (2007). Color Kinetics and Acrylamide Formation in NaCl Soaked Potato Chips. *Journal of Food Engineering*, 79, 997-89
27. Sabarez, H. و W. E. Price و P. J. Back و L. A. Woolf. (1997). Modelling the Kinetics of Drying of D'agen Plums (*Prunus Domestica*). *Food Chemistry*, 60, 371-82
28. Sabarez, S.T. و W.E. Price. (1999). A Diffusion Model for Prune Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 42, 167–72
29. Sacilik, K. و Keskin R. و Elicin A.K. (2006). Mathematical Modeling of Solar Tunnel Drying of Thin Layer Organic Tomato. *Journal of Food Engineering*, 73, 231-38

30. Santis, N. , F. Mendoza , P. Moyano , F. Pedreschi , P. Dejmek. (2007). Soaking in a NaCl Solution Produce Paler Potato Chips. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 307–12
31. Senadeera, W. , Bhandari B. R. , Young G. , Wijesinghe B. . (2003). Influence of Shapes of Selected Vegetable Materials on Drying Kinetics During Fluidized Bed Drying. *Journal of Food Engineering*, 58, 277-83
32. Shyu, S. , L. Hau , S. Hwang. (1998). Effect of Vacuum Frying on the Oxidative Stability of Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75, 1393-98
33. Svensson, K. , L. Abramsson , W. Becker , A. Glynn. (2003). Dietary Intake of Acrylamide in Sweden. *Food Chem Toxicol.*, 41, 1581-86
34. Togrul, I. T. , D. Pehlivan. (2002). Mathematical Modelling of Solar Drying of Apricots in Thin Layers. *Journal of Food Engineering*, 55, 209-16
35. Troncoso, E. , F. Pedreschi , R.N Zuniga. (2009). Comparative Study of Physical and Sensory Properties of Pre-Treated Potato Slices During Vacuum and Atmospheric Frying. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 187–95
36. Villeneuve, S. , P. Ge'linas. (2007). Drying Kinetics of Whole Durum Wheat Pasta According to Temperature and Relative Humidity. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 465-71

Abstract

Conventional method with the preparation of potato chips frying in oil, resulting in increased fat and make acid acrylamide carcinogenic substance in it is that both are very harmful. In this study a new method has been proposed based on make steamed potatoes and then drying in hot air dryers for the preparation of potato chips, the advantage was that frying and oil is completely removed. Sheets for each test product were soaked by 3 percent (by weight) saline solution then were steamed with in a closed container containing boiling water for 30 minutes. The results showed that 1 mm in thickness, temperature 100 °C had minimum drying time and the highest drying rate. Midili model found best fit on experimental data. Average drying time was reduced while temperature increased from 70 to 100 °C to 37%.

Keywords: potato chips , acid acrylamide, dietary chips, hot air dryer