

بررسی اثر نوع برش، بر سینتیک خشک شدن و کیفیت هویج خشک

مریم نقی پور زاده ماهانی^۱ - محمدحسین آق خانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۶

چکیده

با توجه به اهمیت برش در فرآوری محصولات کشاورزی، در این تحقیق اثر برخی پارامترهای برشی بر فرآیند خشک شدن و کیفیت محصول خشک نهایی هویج بررسی شد. آزمایش‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و در آن اثر ضخامت هویج در دو سطح ۳ و ۶ میلی‌متر، نوع تیغه در سه مدل تیغه لبه صاف، اره‌ای و کنگره‌دار و جهت برش در سه راستای طولی، عرضی و مورب بر سینتیک خشک شدن، آهنگ تبخیر، چروکیدگی و جذب مجدد آب بررسی شد. نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت مطلوب ۸٪ خشک شدند. نتایج نشان داد اثر متغیرهای مستقل بر پارامترهای مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار است. کمترین زمان خشک شدن در مدت ۲۰۰ دقیقه و در نمونه‌های برش خورده با تیغه کنگره‌دار و در جهت عرضی، با اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود. بیشترین آهنگ تبخیر ۰/۷۴ گرم بر دقیقه در حالت برش با تیغه صاف و در جهت طولی با اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با سایر تیمارها به دست آمد. همچنین کمترین چروکیدگی نیز برای همین تیمار به میزان ۳۶/۷ درصد به دست آمد. بیشترین جذب مجدد آب در برش با تیغه صاف و در جهات مورب و طولی به ترتیب ۳/۹۶ و ۳/۸۸ و با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها به دست آمد. به طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، برش هویج با تیغه صاف و در جهت طولی برای تولید هویج خشک با کیفیت بالاتر توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تیغه، جهت برش، خشک کردن، هویج

مقدمه

کشاورزی، خشک کردن می‌باشد، که باعث تسهیل در حمل و نقل به دلیل حجم کمتر ماده غذایی، افزایش قابلیت نگهداری به دلیل آب فعال پایین و کاهش واکنش‌های شیمیایی به دلیل میزان رطوبت کمتر می‌شود. در خشک کردن برای رسیدن به یک فعالیت آبی نهایی که پایداری میکروبی محصول را تضمین و تغییرات فیزیکی و شیمیایی را به حداقل برساند، درصد آب ماده غذایی تا حد معینی کاهش می‌یابد.

خشک کردن فرآیند کاهش رطوبت از طریق انتقال هم‌زمان حرارت و جرم است. انتقال حرارت از هوای اطراف به ماده غذایی باعث کاهش فشار بخار آب در سطح و تبخیر رطوبت سطحی می‌شود. در اثر این فرآیند گرادیان فشار بخار در ماده غذایی به وجود می‌آید که نیروی رانشی لازم برای خارج کردن آب از ماده غذایی را تأمین می‌کند. انتقال رطوبت در مواد غذایی طی فرآیند خشک شدن در دو مرحله انجام می‌شود که شامل انتقال رطوبت از داخل جسم به سطح (انتقال رطوبت داخلی) و انتقال رطوبت از سطح به هوا (انتقال رطوبت سطحی) می‌باشد. در زمینه خشک کردن هویج، Prakasha و همکاران (2004) استفاده از خشک کن کابینتی خورشیدی، مایکروویو و انجمادی را در خشک کردن هویج بررسی کردند. همچنین خشک کردن لایه‌های نازک هویج در خشک کن

هویج گیاهی دو ساله با نام علمی *Daucus carota* و از خانواده چتریان می‌باشد. این گیاه یکی از سبزی‌های مهم است که در تغذیه انسان استفاده می‌شود و به دلیل دارا بودن ویتامین، مواد معدنی و سایر مواد غذایی با ارزش باید در رژیم غذایی روزانه انسان قرار گیرد. هویج منبع مهم بتاکاروتن می‌باشد که نقش مهمی در پیشگیری از سرطان دارد. این گیاه به صورت خام، پخته، آب میوه و شوربجات مصرف می‌شود. هویج خشک نیز در سوپ‌ها و از پودر آن در شیرینی و سس‌ها استفاده می‌شود (Erenturk and Erenturk, 2007). تلاش‌های بسیاری در زمینه آماده‌سازی هویج برای استفاده در سوپ‌ها، مرباجات و خورش‌ها شده است. مصرف زیاد میوه‌ها و سبزیجات و از طرفی عمر کوتاه و ماندگاری پایین این مواد غذایی باعث ایجاد روش‌های گوناگون فرآوری این مواد غذایی شده است. یکی از عمومی‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌های فرآوری محصولات

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

(Email: aghkani@um.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

می‌شود. همچنین تغییر رنگ قطعات هویج در اثر تخریب سلولی بررسی شده است. در این مطالعه، میکروسکوپ الکترونی تغییر رنگ سطوح برش خورده را طی از دست دادن آب از سلول‌های تخریب شده نشان داد (Tatsumi, 1991). در بررسی اثر برش، اثر سه نوع تیغه بر تخریب فیزیکی، تنش‌های فیزیولوژی و محتوای میکروبی هویج‌های برش خورده بررسی شد که استفاده از تیغه‌های تیز برای ایجاد بهترین کیفیت پیشنهاد گردید (Barry-Ryan *et al.*, 2007). با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه اثر نوع تیغه بر کیفیت و فعالیت فیزیولوژی محصول برش خورده، پیش‌بینی می‌شود انتقال رطوبت در فرآیند خشک شدن از سطح محصولاتی که با تیغه‌های مختلف برش خورده‌اند متفاوت بوده و می‌تواند بر کیفیت محصول نهایی اثرگذار باشد.

با توجه به بافت و ساختار سلولی متفاوت در یک محصول، برش آن در اشکال مختلف باعث ایجاد قطعاتی با ساختار متفاوت می‌شود. این تفاوت ساختاری باعث تغییر فعالیت‌های شیمیایی و فیزیولوژی در محصول خرد شده می‌شود و میزان کاهش آب و افت رطوبت در محصولات برش خورده به نوع بافت و ابعاد قطعات بستگی دارد. در این راستا اثر شکل برش هویج، بر تغییرات فیزیولوژی قطعات گزارش شده است (Izumi *et al.*, 1996). همچنین در مطالعه‌ای اثر شکل برش (لایه لایه و خرد شده) و دمای نگهداری بر کیفیت و ماندگاری تربچه تازه بررسی شد (Aguila *et al.*, 2006). مطالعات نشان داده است برش محصولاتی مانند هویج، کدو، تربچه و طالبی در شکل‌های مختلف بر میزان تنفس و نشت الکترولیتی قطعات به صورت معنی‌دار اثرگذار است (Suwannarak *et al.*, 2014). در گیاه هویج، ریشه که قسمت خوراکی گیاه محسوب می‌شود، از دو ناحیه حلقه خارجی و حلقه داخلی تشکیل شده است. حلقه خارجی از یک اپیدرم نازک، لایه‌ای از سلول‌های چوب پنبه‌ای و باند عریضی از آوندهای آبکش^۲ اولیه تشکیل شده است. حلقه داخلی نیز از آوند چوبی^۳ تشکیل شده است. بنابراین برش هویج در جهات مختلف، قطعاتی با ساختار متفاوت ایجاد خواهد کرد. بررسی رفتار خشک شدن محصول با در نظر گرفتن بافت و ساختار سلولی آن اهمیت ویژه‌ای دارد به طوری که این امر می‌تواند بر انتقال رطوبت داخلی محصول، طی فرآیند خشک شدن و در نهایت بر کیفیت محصول خشک شده اثرگذار باشد.

با توجه به اهمیت برش و اثر نوع تیغه و جهت برش بر ویژگی‌های محصول خرد شده، تعیین بهترین روش برش هویج با توجه به ساختار داخلی قطعات، برای تولید با کیفیت هویج خشک پیشنهاد شد. بنابراین در این پژوهش اثر پیش‌فرآیندهای برشی مانند نوع تیغه، جهت برش و ضخامت، بر رفتار خشک شدن هویج بررسی

ماکروویو-خلاً با ارائه مدلی تئوری مورد مطالعه قرار گرفت (Cui *et al.*, 2004). اثر دما، جریان هوا و ضخامت بر سینتیک خشک شدن هویج خرد شده نیز بررسی شد (Doymaz, 2004). کیفیت مواد غذایی خشک شده اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از شاخص‌های سنجش کیفیت محصول خشک شده قابلیت جذب مجدد آب^۱ می‌باشد. مواد غذایی خشک شده اغلب قبل از مصرف در معرض جذب آب قرار می‌گیرند. سرعت و میزان جذب آب یکی از شاخص‌های کیفی محصول خشک شده می‌باشد. قابلیت جذب مجدد آب وابسته به درجه تخریب سلولی و ساختاری محصول است. مواد غذایی که در شرایط بهینه خشک می‌شوند، صدمه کمتری متحمل شده و سریع‌تر و کامل‌تر آب جذب می‌کنند (Lee *et al.*, 2006). جذب آب بیشتر نشان می‌دهد بافت محصول طی خشک شدن آسیب کمتری دیده است و محصول کیفیت بالاتری دارد. درصد جذب آب به شدت تابع انجام یا عدم انجام فرآیند آماده‌سازی محصول قبل از خشک شدن می‌باشد (Dehbureh and Esmaeili, 2009). یکی دیگر از شاخص‌های سنجش کیفیت، چروکیدگی می‌باشد. کاهش حجم یکی از مهم‌ترین تغییرات فیزیکی محصول طی فرآیند خشک شدن است. از دست دادن آب و گرم شدن باعث ایجاد تنش در ساختار سلولی مواد غذایی می‌شود که نتیجه آن تغییر شکل و کاهش ابعاد محصول است. کاهش حجم محصول طی خشک شدن یک ویژگی منفی در محصول نهایی می‌باشد (Mayor and Sereno, 2004). فرآوری و آماده‌سازی محصولات کشاورزی و شرایط خشک کردن، به طور قابل ملاحظه‌ای بر خواص کیفی و فیزیکی محصول نهایی اثرگذار است. مطالعات بسیاری در زمینه دستیابی به بهترین شرایط خشک کردن محصولات کشاورزی برای تولید محصولی با کیفیت بالاتر انجام شده است. در این زمینه اثرات دما و جریان هوای خشک کن، روش خشک کردن (Akbari *et al.*, 2009)، اثر پیش‌فرآیندهای اسمزی، بلانچ کردن (Zirjani and Tavakolipour, 2010)، نوع برداشت محصول (Rezvanimoghadam *et al.*, 2011) و غیره بررسی شده است. یکی از پیش‌فرآیندهای مهم در خشک کردن اغلب محصولات کشاورزی، برش میوه و سبزیجات بر اساس نوع مصرف می‌باشد. برش و خرد کردن باعث تسریع فرآیند خشک شدن و بهبود کیفیت محصول خشک شده می‌شود. انجام عملیاتی مانند پوست‌گیری، برش و خرد کردن میوه و سبزیجات، باعث تغییر در سوخت و ساز، تنفس و تولید اتیلن در قطعات می‌شود (Toivonen *et al.*, 2008). برش میوه‌ها و سبزیجات با روش‌های گوناگونی انجام می‌شود. نوع تیغه بر میزان تخریب سلولی سطح برش خورده اثرگذار است که این بر ماندگاری و کیفیت محصول اثر می‌گذارد. آسیب سلولی در گیاهان باعث افزایش فعالیت آنزیمی، از دست دادن آب و تغییر رنگ محصول

2- Phloem
3- Xylem

1- Rehydration

شد. همچنین اثر این پارامترها بر زمان و آهنگ خشک شدن و پارامترهای کیفی چروکیدگی و جذب مجدد آب، مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه و نگهداری ماده اولیه

در این پژوهش از هویج رقم (cv. Danverse) برای آزمایشات استفاده شد. هویج‌ها از بازار تهیه و تا زمان انجام آزمایشات در یخچال در دمای 5°C نگهداری شدند. حدود ۴ تا ۵ ساعت قبل از انجام فرآیند خشک شدن، هویج‌ها، برای رسیدن به دمای محیط از یخچال خارج شدند. پس از رسیدن نمونه‌ها به دمای تعادل، هویج‌ها پوست‌گیری و برای برش آماده شد. از سه نوع تیغه رایج لبه صاف، اره‌ای و کنگره‌دار که کاربرد بیشتری در برش میوه و سبزیجات دارد، برای برش قطعاتی با دو ضخامت ۳ و ۶ میلی‌متر استفاده شد. برش‌ها دستی و در سه جهت طولی، عرضی و مورب انجام شد (شکل ۱).

در این پژوهش اثر سه متغیر مستقل نوع تیغه در سه سطح (لبه صاف، اره‌ای و کنگره‌دار)، جهت برش در سه سطح (طولی، عرضی و مورب) و ضخامت در دو سطح (۳ و ۶ میلی‌متر) به صورت کاملاً تصادفی بر زمان و آهنگ خشک شدن، ظرفیت جذب مجدد آب و چروکیدگی بررسی شد.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

اندازه‌گیری رطوبت اولیه هویج با قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و خشک کردن آن‌ها تا زمان ثابت شدن وزن نمونه‌ها انجام شد (Aghbashlo *et al.*, 2011). پس از رسیدن وزن نمونه‌ها به مقدار ثابت، مقدار رطوبت اولیه نمونه‌ها بر حسب وزن تر محاسبه شد.

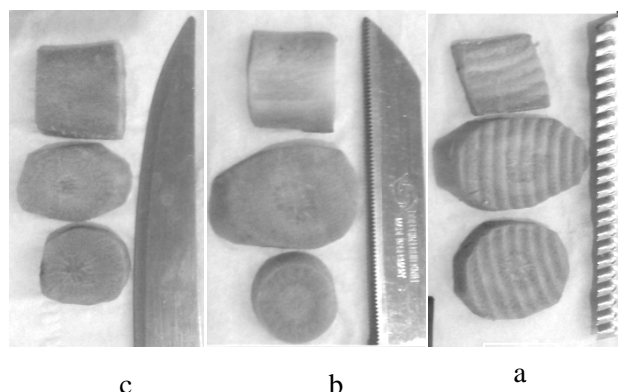
خشک کردن نمونه‌ها

برای خشک کردن نمونه‌ها از یک خشک‌کن آزمایشگاهی مدل FaterU-630 مجهز به کنترل‌کننده دما در گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان استفاده شد. هویج‌های برش خورده با قرارگیری روی سینی خشک‌کن در طبقه وسط خشک‌کن قرار گرفت. از یک ترازوی دیجیتال مدل SARTORIUS GE1302 با دقت 0.01 گرم برای وزن کردن نمونه‌ها طی خشک شدن استفاده شد. یک ساعت قبل از قرار دادن نمونه‌ها در آون دمای آون روی 70 درجه سلسیوس تنظیم شد. پیش از قرار دادن نمونه‌ها در خشک‌کن، وزن اولیه آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. خشک کردن در دمای 70 درجه سلسیوس تا رسیدن نمونه‌ها به رطوبت 8% بر پایه تر انجام شد (Hui, 2006) و توزین نمونه‌ها هر ده دقیقه تا رسیدن به رطوبت مطلوب انجام شد.

پس از رسیدن رطوبت نمونه‌ها به 8% ، عملیات خشک کردن خاتمه یافت. شاخص‌هایی نظیر متوسط زمان و آهنگ خشک شدن برای تیمارهای آزمایش و همچنین نحوه تغییرات رطوبت محصول و تغییرات آهنگ خشک شدن نیز برای هر تیمار به دست آمد. نسبت رطوبت با توجه به رابطه (۱) به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه در طی خشک شدن وابسته است (Doymaz, 2007).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

که در آن؛ MR: نسبت رطوبت (بدون بعد)، M_t : رطوبت نمونه‌ها در هر لحظه بر پایه تر M_e (w.b)، رطوبت تعادلی نمونه‌ها (w.b)، M_0 : رطوبت اولیه نمونه‌ها (w.b) می‌باشد.



شکل ۱- نمونه‌های برش خورده برای آزمایش خشک کردن، a- تیغه کنگره‌دار b- تیغه اره‌ای c- تیغه لبه صاف

Fig.1. Cutting samples for drying tests: a- Wavy blade b- Ridged blade c- Flat blade

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (۴)$$

$$M = m_s - (m_{spw} - m_{pw}) \quad (۵)$$

M جرم آب جابه‌جا شده، ρ چگالی آب، m_s جرم نمونه، m_{spw} جرم نمونه، آب و پیکنومتر و m_{pw} جرم پیکنومتر و آب می‌باشد. با قرار دادن حجم نمونه‌ها در رابطه (۶) چروکیدگی محاسبه شد.

$$\text{shrinkage} = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) \times 100 \quad (۶)$$

V_t حجم نمونه خشک و V_0 حجم اولیه نمونه می‌باشد.

آنالیز آماری

در این پژوهش اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد در محیط SAS9.1 به‌دست آمد. نمودارهای تغییرات رطوبت و تغییرات آهنگ خشک شدن نیز، نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر زمان و آهنگ خشک شدن، چروکیدگی و جذب مجدد آب در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱). در این پژوهش با توجه به معنی‌دار شدن اثرات سه‌گانه، مقایسه میانگین‌های این اثرات به روش دانکن انجام شد.

زمان خشک شدن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ضخامت، نوع تیغه و جهت برش بر زمان خشک شدن نمونه‌های هویج در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورها بر زمان برش معنی‌دار شده است. بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در تیمارهای مشابه زمان خشک شدن قطعاتی با ضخامت ۳ میلی‌متر به‌طور معنی‌داری (در سطح ۵٪)، کمتر از لایه‌های ۶ میلی‌متری می‌باشد (شکل ۳). علت این امر پدیده سخت شدن سطح برش‌ها می‌باشد که این باعث دشواری انتقال رطوبت از درون بافت جسم و در نهایت بیشتر شدن زمان خشک شدن می‌باشد. همچنین در برش‌های ضخیم‌تر، افزایش نسبی مسیر خروج آب یا بخار آب؛ باعث افزایش زمان خشک شدن می‌شود. بررسی سینتیک خشک شدن لایه‌های هویج، روند کاهش رطوبت و خشک شدن سریع‌تر هویج‌های نازک‌تر را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد (شکل ۲). در مطالعات انجام شده نتایج مشابهی به‌دست آمد (Zirjani and Tavakolipour, 2010; Eshraghi et al., 2012).

محاسبه آهنگ خشک شدن

با تعیین میزان رطوبت نمونه‌ها زمان‌های مختلف، آهنگ تبخیر برای برش‌های هویج از رابطه (۲) محاسبه شد (Ozbek and Dadali, 2007).

$$\text{drying rate} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (۲)$$

در این رابطه، M_{t+dt} مقدار رطوبت در زمان $t+dt$ ، $(w.b)_t$ میزان رطوبت در زمان t و dt فاصله زمانی بین وزن کردن نمونه‌ها (min) می‌باشد. آهنگ تبخیر در لحظات اولیه با گذشت زمان به سرعت افزایش می‌یابد و به نقطه اوجی که بیشترین مقدار آهنگ تبخیر است می‌رسد و بعد از آن با گذشت زمان آهنگ تبخیر به‌طور مداوم کاهش می‌یابد (Wong, 2001).

اندازه‌گیری آبیگری مجدد

نمونه‌ها پس از رسیدن رطوبت به رطوبت مطلوب (۸٪) جمع‌آوری و خنک شدند. سپس در بسته‌هایی از جنس پلی اتیلن برای جلوگیری از جذب رطوبت در جای خشک و خنک تا زمان انجام آزمایش آبیگری مجدد نگه‌داری شدند.

یک هفته بعد از آزمایشات خشک شدن، آزمایشات جذب مجدد آب با استفاده از دستگاه حمام آب انجام شد. در این آزمایش ابتدا نمونه‌های خشک شده توزین شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه درون آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. بعد از ۳۰ دقیقه نمونه‌ها از آب خارج، آب سطحی آن‌ها با کاغذ صافی کاملاً خشک و توزین شدند. سپس ظرفیت آبیگری مجدد از رابطه (۳) محاسبه شد (Eshraghi, 2012).

$$RP = \frac{W_r}{W_d} \quad (۳)$$

RP: ظرفیت جذب مجدد آب، W_r : وزن نمونه پس از جذب آب، W_d : وزن نمونه خشک می‌باشد.

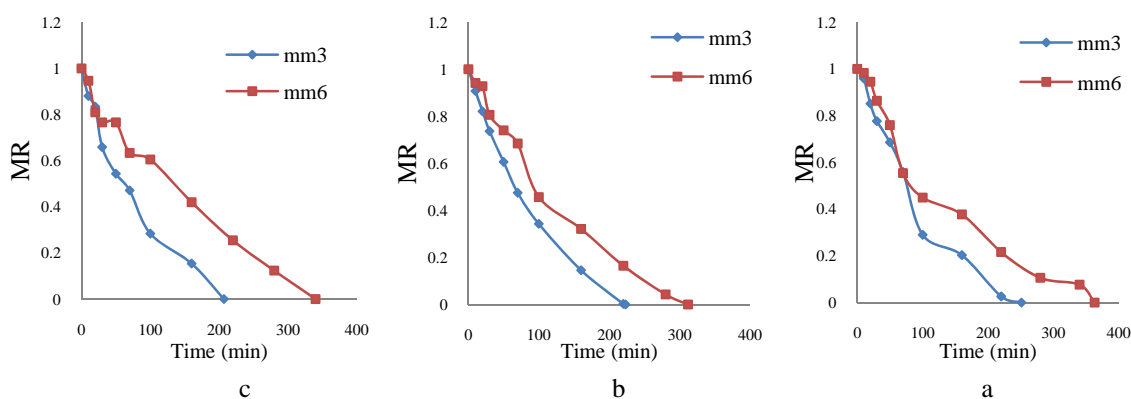
اندازه‌گیری چروکیدگی

تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول طی خشک شدن، از روش جابه‌جایی آب به‌دست آمد. ابتدا نمونه‌های هویج توزین شده و سپس در یک پیکنومتر قرار می‌گیرد. پیکنومتر از آب کاملاً پر شده و پس از خشک کردن جداره آن، توزین گردید. این آزمایش قبل و بعد از خشک شدن نمونه‌ها انجام می‌شود (Maskan, 2001). به‌منظور کاهش اثر نفوذ آب در نمونه‌ها اندازه‌گیری در کمترین زمان ممکن انجام گرفت سپس با استفاده از روابط (۴) و (۵) حجم نمونه‌ها محاسبه شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر ضخامت، نوع تیغه و جهت برش بر زمان و آهنگ خشک شدن، چروکیدگی و جذب مجدد آب در هویج
Table 1- Analysis of variance (ANOVA) for effect of thickness, blade and direction cut on time and rate drying, shrinkage and rehydration of carrot

منابع تغییر Variation source (VS)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
		چروکیدگی Shrinkage (%)	جذب مجدد آب Rehydration	آهنگ خشک شدن Drying rate (g min ⁻¹)	زمان خشک شدن Drying time (min)
ضخامت Thickness	1	4604.1**	5.84**	0.292**	94160.3**
نوع تیغه Blade	2	305.5**	2.76**	0.028**	45359.1**
جهت برش Direction cut	2	422.8**	1.41**	0.036**	5317.1**
ضخامت × نوع تیغه Thickness × Blade	2	160.2**	0.27**	0.060**	6312.8**
ضخامت × جهت برش Thickness × Direction cut	2	169.4**	0.007 ^{ns}	0.030**	272.4*
نوع تیغه × جهت برش Blade × Direction cut	4	333.4**	0.22**	0.014**	2838.4**
ضخامت × نوع تیغه × جهت برش Thickness × Blade × Direction cut	4	204**	0.12**	0.021**	1614.4*
خطا Error	36	27.3	0.03	0.001	250
کل Total	54				

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ^{ns} معنی‌دار نیست.
 **Significant at 1%, * significant at 5%, ^{ns} no significant



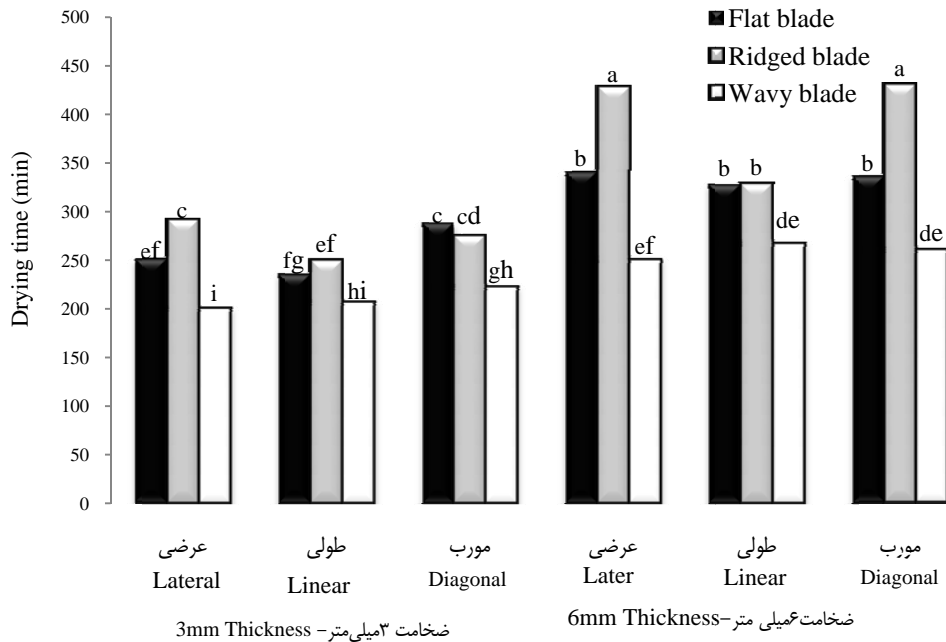
شکل ۲- سینتیک خشک شدن هویج در دو ضخامت ۳ و ۶ میلی‌متر، a- تیغه لبه اره‌ای b- تیغه با لبه کنگره‌دار c- تیغه لبه صاف
Fig.2. Kinetic of carrot drying at 3 and 6 mm thickness, a- Ridged blade b- wavy blade c- Flat blade

تیغه و در جهت عرضی به مدت ۲۰۰ دقیقه به دست آمد (شکل ۳). بخشی از فرآیند خشک شدن به صورت انتقال رطوبت سطحی انجام می‌شود. بنابراین هرچه در قطعات هویج سطح مجاور با هوا بیشتر باشد، انتقال رطوبت بیشتری انجام می‌شود. در برش با تیغه کنگره‌دار

نتایج مقایسه میانگین‌ها مبین آن است که در برش با سه تیغه مورد مطالعه، کمترین زمان خشک شدن مربوط به نمونه‌هایی است که با تیغه کنگره‌دار برش خورده‌اند به طوری که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای مشابه دارد. کوتاه‌ترین زمان خشک شدن در برش با این

نوع تیغه نسبت به سایر تیمارها می‌شود. این امر موجب بیشتر شدن انتقال رطوبت سطحی و کاهش زمان خشک شدن می‌شود.

به دلیل شکل لبه تیغه، شیارهایی در سطح برش ایجاد می‌شود که این باعث افزایش نسبت سطح به حجم هویج‌های برش خورده با این



حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

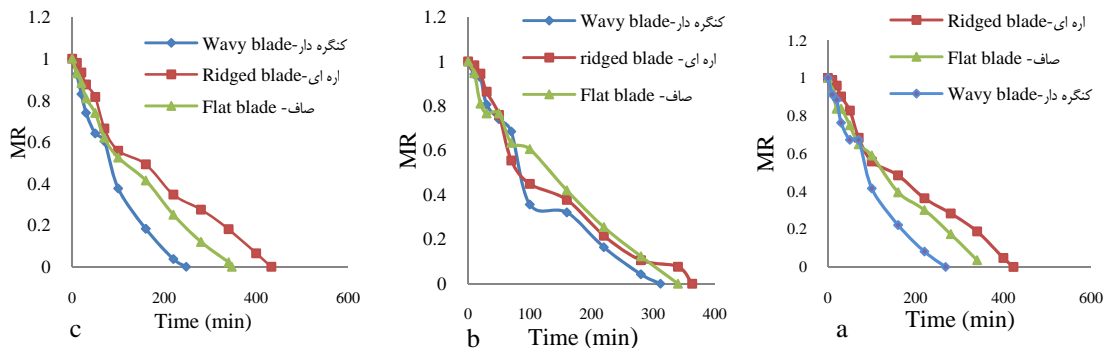
Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

شکل ۳- زمان رسیدن به رطوبت ۸٪ برای نمونه‌های هویج در تیمارهای مختلف

Fig.3. Drying time of carrot to reach 8% moisture at different treatments

به طوری که مقایسه میانگین داده‌ها نیز این را تأیید می‌کند (شکل ۳). مشاهده می‌شود در برش طولی نوع تیغه تفاوت چندانی در سینتیک خشک شدن ایجاد نکرده است و در این نوع برش، تفاوت معنی‌داری در برش با تیغه کنگره‌دار مشاهده می‌شود که مقایسه میانگین داده‌ها نیز این امر را به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۴-b).

در ادامه با تعیین محتوی رطوبتی نمونه‌ها در زمان‌های مشخص، نمودارهای کاهش نسبت رطوبت در زمان رسم و سینتیک خشک شدن هویج در تیمارهای مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد تمام هویج‌هایی که در جهات مختلف با تیغه کنگره‌دار برش خورده‌اند با سرعت بیشتری رطوبت خود را از دست می‌دهند. این روند در برش‌های عرضی و مورب بهتر مشاهده می‌شود (شکل ۴-a و ۴-c)



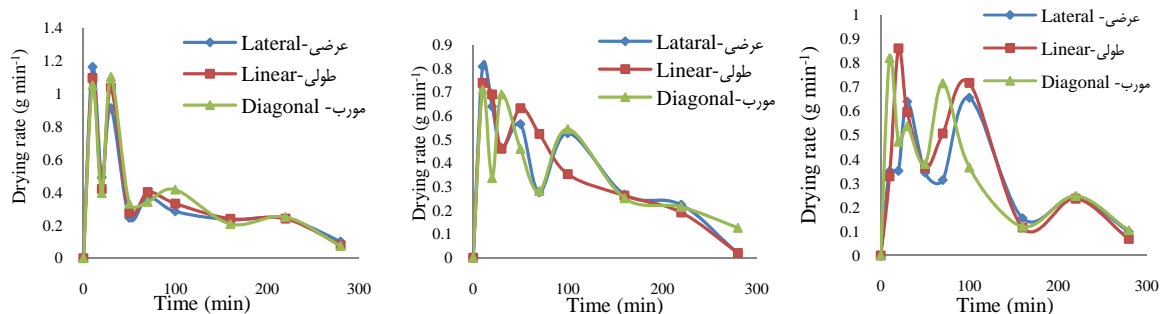
شکل ۴- سینتیک خشک شدن هویج برش خورده در سه جهت، a- برش عرضی b- برش طولی c- برش مورب

Fig.4. Kinetics of carrot layer drying at three cutting direction, a- Lateral, b- Linear, c- Diagonal direction

آهنگ خشک شدن

برش‌های ایجاد شده با تیغه صاف، در لحظات اولیه بیشتر است و پس از ۱۰۰ دقیقه، روندی نزولی را طی می‌کند. در تیغه کنگره‌دار نیز پس گذشت زمان ۱۰۰ دقیقه آهنگ تبخیر به صورت نزولی کاهش یافته است اما در برش‌هایی که با تیغه اره‌ای برش خورده‌اند، سیر نوسانی آهنگ تبخیر تا زمان خشک شدن مشاهده شد در مراحل اولیه فرآیند خشک شدن از آنجا که رطوبت محصول زیاد است تغییرات آهنگ تبخیر به صورت نوسانی می‌باشد و با کاهش رطوبت این روند به حالت نزولی تغییر می‌یابد. از آنجا که برش‌های ایجاد شده با تیغه اره‌ای در زمان طولانی‌تری خشک می‌شوند (شکل ۳)، در هر لحظه دارای رطوبت بیشتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشند. این امر موجب تغییرات نوسانی آهنگ تبخیر در بازه زمانی مشابه در مقایسه با تیمارهای دیگر می‌شود.

آهنگ خشک کردن با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌ها در زمان‌های مختلف محاسبه و تغییرات آن در زمان رسم شد (شکل ۵). در شروع فرآیند خشک شدن، رطوبت محصول زیاد است. بنابراین آهنگ از دست دادن رطوبت نیز زیاد خواهد بود. به تدریج با کاهش رطوبت محصول، آهنگ تبخیر نیز کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده نشان داد در لحظات اولیه با گذشت زمان، آهنگ تبخیر در هویج به سرعت افزایش یافته و به نقطه اوجی که بیشترین مقدار آهنگ تبخیر است، می‌رسد. پس از آن با گذشت زمان و کاهش رطوبت محصول، آهنگ تبخیر کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج دیگران مشابهت دارد (Minai *et al.*, 2013; Darvishi *et al.*, 2014; Priyadarshini *et al.*, 2013). لذا نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد نوع تیغه بر روند تبخیر اثرگذار است. شکل ۵-c نشان می‌دهد آهنگ تبخیر در



شکل ۵- تأثیر تیغه و جهت برش بر آهنگ تبخیر برش‌های هویج، a- تیغه اره‌ای b- تیغه کنگره‌دار c- تیغه صاف

Fig.5. The effect of blade and cutting direction on drying rate of carrot, a- Rigid blade, b- Wavy blade, c- Flat blade

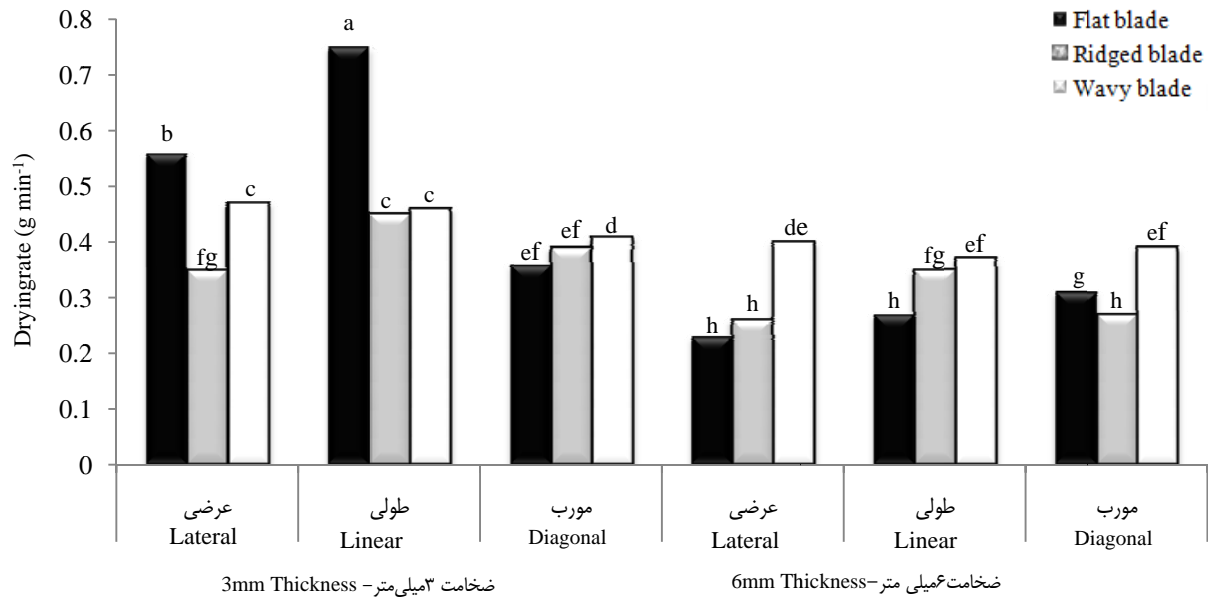
برش‌ها انجام می‌شود. شکل ۷ نیز کاهش سریع رطوبت در برش‌های طولی را نسبت به سایر برش‌ها به خوبی نشان داده است.

جذب مجدد آب

نتایج بررسی‌ها نشان داد اثر پارامترهای مورد مطالعه، اثرات متقابل دوگانه غیر از اثر ضخامت در جهت برش و اثرات سه‌گانه آن‌ها بر جذب مجدد آب در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱). همچنین میزان جذب مجدد آب در برش‌های ۳ میلی‌متری بیشتر می‌باشد (شکل ۸). علت این امر نسبت سطح به حجم بیشتر نمونه‌های ۳ میلی‌متری در مقایسه با نمونه‌های ۶ میلی‌متری است. بررسی جذب مجدد آب در برگه‌های کیوی خشک، افزایش جذب مجدد آب را با کاهش ضخامت نشان داد (Eshraghi *et al.*, 2012).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد آهنگ تبخیر در برش‌های ضخیم، کمتر می‌باشد (شکل ۶). علت این امر افزایش مقاومت انتقال جرم داخلی در اثر افزایش ضخامت است. نتایج تحقیقاتی که روی خشک کردن موز انجام شد افزایش آهنگ تبخیر را با کاهش ضخامت نشان داد (Zirjani and Tavakolipour, 2010). همچنین مطالعات روی سیب نشان داد آهنگ تبخیر در برش‌هایی که ضخامت کمتری داشتند بیشتر است (Abou ElHana, 2008). بیشترین آهنگ تبخیر با اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نسبت به سایر تیمارها در نمونه‌هایی با ضخامت ۳ میلی‌متر، برش با تیغه صاف و در جهت طولی به میزان ۰/۷۴ گرم بر دقیقه به دست آمد (شکل ۶).

در برش‌های طولی، ساختار قطعات بیشتر از بافت آوندی مرکز هویج تشکیل شده است و بیشترین آب در این قسمت هویج وجود دارد. بنابراین طی خشک شدن، تبخیر بیشتری از سطح و داخل این

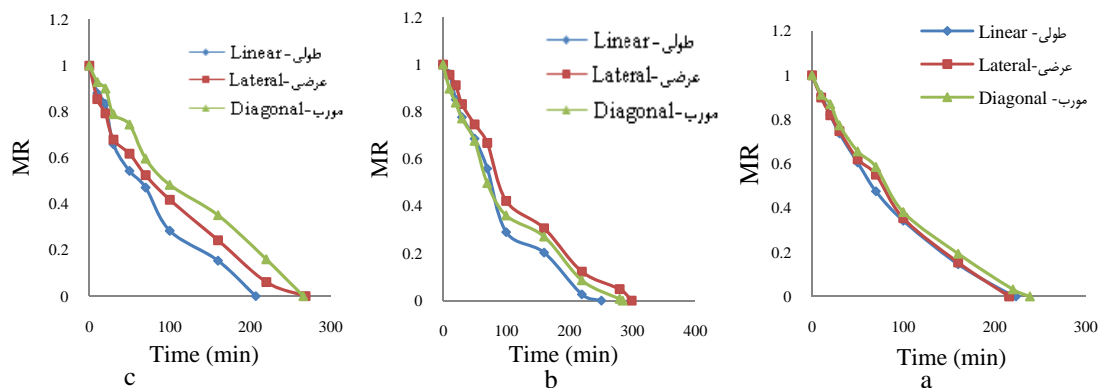


حروف متفاوت اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ را نشان می دهد.

Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

شکل ۶- آهنگ تبخیر نمونه های هویج در تیمارهای مختلف

Fig.6. Drying rate of carrot samples at different treatment

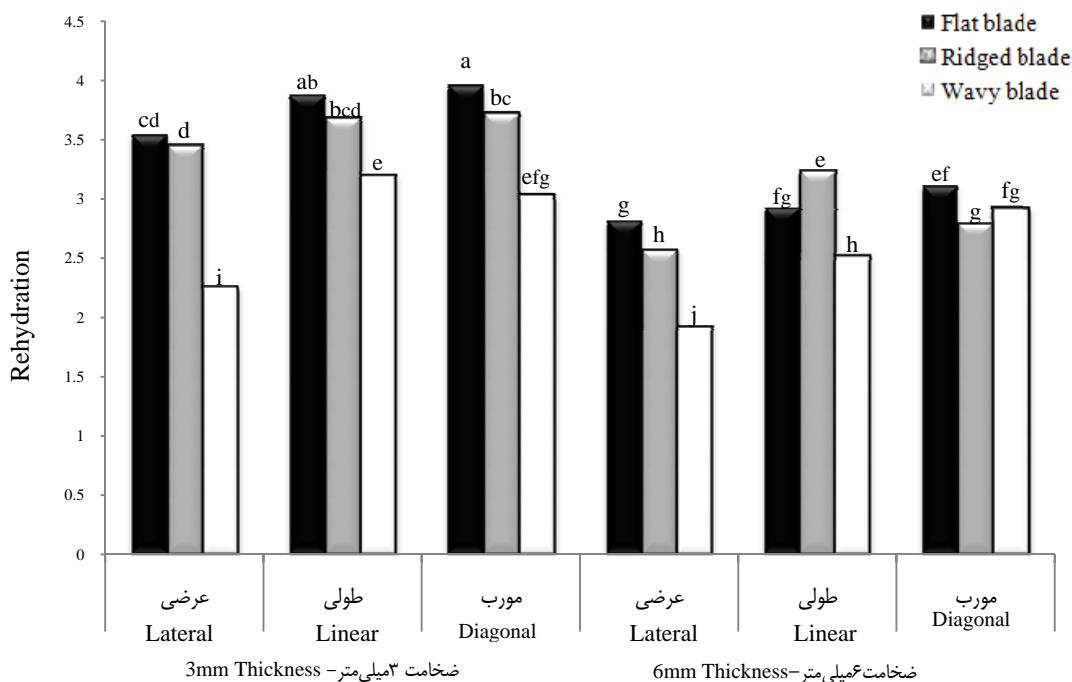


شکل ۷- سینتیک خشک شدن هویج برش خورده با سه نوع تیغه، a- تیغه لبه کنگره دار b- تیغه اره ای c- تیغه لبه صاف

Fig.7. Kinetics of carrot layer drying by three blades, a- Wavy, b- Ridged, c- Flat blade

آسیب سلولی کمتری دیده اند (Tatsumi *et al.*, 1991). بنابراین طبیعی است که در این نوع تیغه به دلیل آسیب سلولی کمتر جذب مجدد آب بیشتر باشد. آوندها در هر گیاه محل انتقال مایعات و جایگاه آب در گیاه می باشد که در فرآیند خشک شدن و با خروج آب از آوندها، این جایگاهها تخریب می شوند. در گیاه هویج بخش عمده ای از آوندها در مرکز آن قرار گرفته است. در برش های طولی و مورب، حجم بیشتری از قطعات را بخش مرکزی هویج تشکیل خواهد داد و نسبت بافت آوندی در این نمونه ها نسبت به برش عرضی بیشتر خواهد بود در نتیجه آب بیشتری جذب محصول می شود.

بیشترین مقدار جذب آب در ضخامت ۳ میلی متر در حالت برش با تیغه صاف و در جهت مورب و طولی به ترتیب ۳/۸۸ و ۳/۹۶ به دست آمد. جذب مجدد آب در ارتباط با آسیب سلولی محصول طی خشک شدن می باشد. در فرآیند خشک شدن بسیاری از جایگاه های اتصال آب در بافت محصول به طور غیر قابل برگشتی از بین می روند بنابراین هرچه میزان آسیب سلولی بیشتر باشد جذب مجدد آب کمتر خواهد بود. به طور کلی در برش با تیغه لبه صاف آسیب کمتری به سلول های سطح برش وارد می شود. مطالعات نشان داده است هویج هایی که با تیغ ریش تراشی برش خوردند در مقایسه با برش با چاقوی معمولی



حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ را نشان می‌دهد.

Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

شکل ۸- جذب مجدد آب در نمونه‌های هویج خشک در تیمارهای مختلف

Fig.8. Rehydration of dried carrot samples at different treatments

کمترین چروکیدگی به میزان ۳۶/۷ درصد در نمونه‌هایی ایجاد شد که با تیغه صاف و در جهت طولی برش خورده‌اند (شکل ۹). برش‌های عرضی و مورب دارای بافت آبکش بیشتری نسبت به برش‌های طولی می‌باشند. این نوع بافت وزن مخصوص کمی دارد و در زمان خشک شدن با از دست دادن آب به شدت کاهش حجم می‌یابد. در برش‌های طولی بیشتر ساختار برش‌ها را بخش مرکزی هویج تشکیل می‌دهد که از بافتی چوبی با ماده خشک بیشتر تشکیل شده است. بنابراین با از دست دادن آب به نسبت کمتری کاهش حجم خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، عواملی مانند ضخامت، نوع تیغه و جهت برش هویج بر سینتیک خشک شدن و بر خواص کیفی محصول خشک شده مانند چروکیدگی و جذب مجدد آب در سطح یک درصد معنی‌دار است. بررسی‌ها نشان داد در برش‌هایی که با تیغه کنگره‌دار انجام شده است زمان خشک کردن نمونه‌ها با اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد کمتر از سایر تیمارها می‌باشد. همچنین بیشترین آهنگ تبخیر و کم‌ترین چروکیدگی در برش‌های طولی و با تیغه صاف با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها به دست آمد. در بررسی میزان جذب مجدد آب مشخص شد، در حالت برش با تیغه

مطالعات مشابه روی برش هویج نشان داد در برش‌های طولی و اشکالی که در اثر برش‌های مورب تشکیل شده‌اند، خروج مواد محلول^۱ به دلیل بافت آوندی بیشتر، به‌طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد (Suwannarak *et al.*, 2014). همچنین در برش طولی و مورب به دلیل سطح برش بزرگ‌تر آب بیشتری جذب محصول شده است. از طرفی در برش مورب به دلیل وجود تعداد بیشتر آوندهای برش خورده با طول کوتاه در سطح برش، در مقایسه با برش طولی که آوندهای کمتر و بلندتری دارد، فرآیند نفوذ آب سریع‌تر انجام می‌شود.

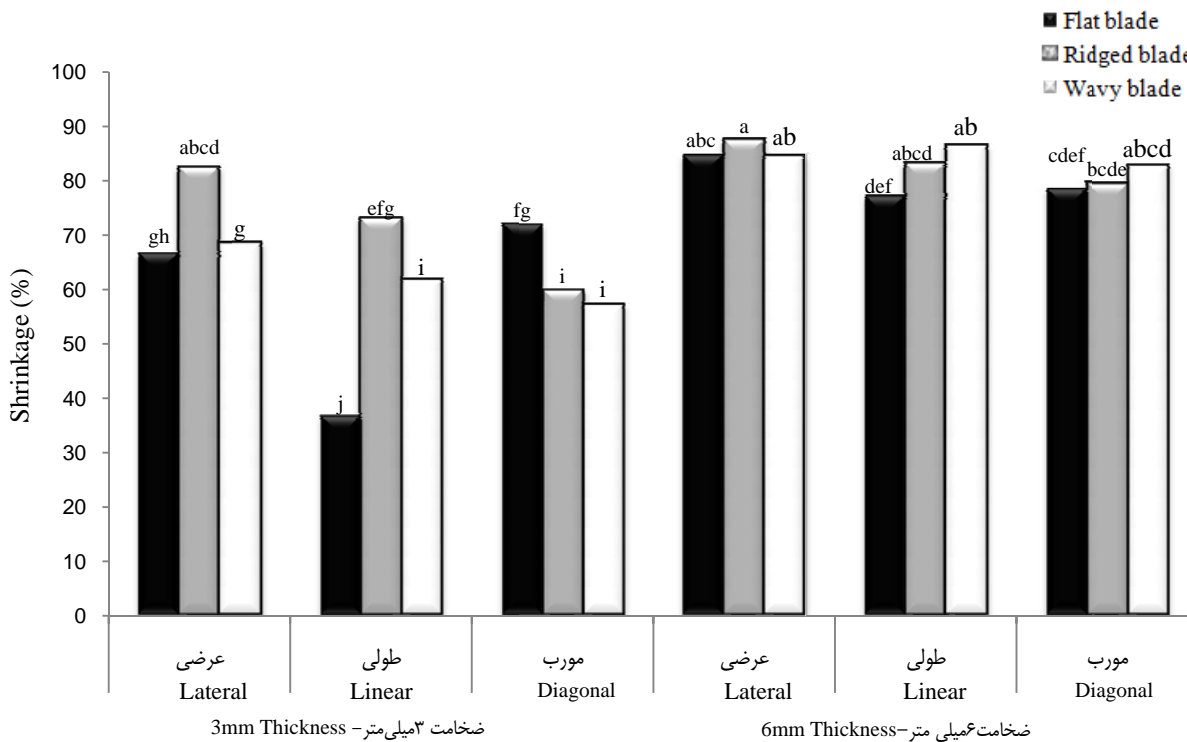
چروکیدگی

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متغیرها، اثرات مقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر میزان چروکیدگی (جدول ۱) مقایسه اثرات سه‌گانه بررسی شد. نتایج نشان داد چروکیدگی در برش‌هایی با ضخامت ۶ میلی‌متر بیشتر می‌باشد. این در حالی است که نتایج بررسی‌هایی که روی سیر و گوجه فرنگی شده است نشان داده است ضخامت اثری بر میزان چروکیدگی ندارد (Rasouli and Seiedlu, 2011; Akbari *et al.*, 2008). تفاوت نتیجه به دست آمده با سایر نتایج را می‌توان به دلیل تفاوت بافت و ساختار سلولی هویج با این دو محصول دانست.

1- Electrolyte leakage

غذایی محصولات و سایر خواص کیفی طی را خشک کردن بررسی نمود و نتایج را جهت طراحی و ساخت تجهیزات برش و آماده‌سازی محصولات کشاورزی قبل از خشک شدن به کار برد.

صاف، در جهت طولی و مورب بیشترین مقدار جذب آب اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی می‌توان گفت هویج‌هایی که با تیغه‌های لبه صاف و در راستای طولی برش خورده‌اند بهترین کیفیت را از نظر جذب مجدد آب و چروکیدگی دارند. با توجه به اهمیت پارامترهای برشی و بافت سلولی محصولات دیگر می‌توان اثر این پارامترها را بر حفظ ارزش



حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار در سطح ۰.۰۵٪ را نشان می‌دهد.
Different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$)

شکل ۹- درصد چروکیدگی نمونه‌های هویج در تیمارهای مختلف

Fig.9. Shrinkage percent of carrot samples at different treatments

باهر کرمان به دلیل در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید

References

1. Abou ElHana, N. H. 2008. Microwave drying of apple. *Process engineering* 25 (3): 980-1003.
2. Aghbashlo, M., M. H. Kianmehr, A. Arabhosseini, and T. Nazghelichi. 2011. Modelling the carrot thin-layer drying in a semi-Industrial continuous band dryer. *Czech J. Food Scienc* 29 (5): 528-538.
3. Aguila, J., F. Fumi Sasaki, L. Heiffig, E. O. M. Ortega, A. P. Jacomino, and R. A. Kluge. 2006. Fresh-cut radish using different cut types and storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology* 40 (2): 149-154.
4. Akbari, A., M. Shahedi, N. Hamdami, Sh. Dokhani, and M. Sadeghi. 2009. Kinetics moisture loss and quality comparison sliced tomatoes drying in three methods, solar drying the traditional solar drying and air drying. *Natural Resources, Water and Soil Science* 47 (2): 445-459. (In Farsi).
5. Barry-Ryan, C., and D. O'beirne. 2007. Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method. *Food Science* 63 (5): 851-856.

6. Cui, Z. W., S. Y. Xu, and D.W. Sun. 2004. Microwave–vacuum drying kinetics of carrot slices. *Food Engineering* 65: 157-164.
7. Darvishi, H., M. H. Khoshtaghaza, and S. Minaei. 2014. Drying kinetics and colour change of lemon slices. *International Agrophysics* 28: 1-6.
8. Dehbure, R., and M. Esmaeili. 2009. The effect of the final drying process by microwave and hot air drying on parameters of dried grapes. *Iranian Food Science and Industry Research* 2: 108-122. (In Farsi).
9. Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61: 359-364.
10. Doymaz, I. 2007. Air drying characteristics of tomatoes. *Food Engineering* 78: 1291-1297.
11. Erenturk, S., and K. Erenturk. 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering* 78: 905-912.
12. Eshraghi, E., Y. Maghsudlu, M. Kashani Nejad, Sh. Beyraghi, and M. Alami. 2012. Effect of ultrasonic pretreatment on drying Kiwi layer. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 7 (4): 273-279. (In Farsi).
13. Hui, Y. H. 2006. *Hand book of food science technology and engineering* 103: 13-14.
14. Izumi, H., A. E. Watada, and W. Douglas. 1996. Controlled atmosphere storage of carrot slices, sticks and shreds. *Postharvest Biology and Technology* 9: 165-172.
15. Lee, K. T., M. Farid, and S. K. Nguang. 2006. The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruit. *Food Eng* 72 (1): 16-23.
16. Mayor, L., and A. M. Sereno. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *J. Food Engineering* 61: 373-386.
17. Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Food Engineering* 48: 177-182.
18. Minai, S., A. Motevaly, R. Hematian, S. Abasi, A. Ghadery, and Gh. H. Najafi. 2013. Track Changes of drying rate, moisture diffusion coefficient, activation energy and Consumption Energy of drying mushrooms by Microwave vacuum dryer. *Food Science and Technology* 41 (10): 1-12. (In Farsi).
19. Ozbek, B., and G. Dadali. 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering* 83: 541-549.
20. Prakasha, S., S. K. Jhab, and N. Datta. 2004. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering* 62: 305-313.
21. Priyadarshini, R., N. Shukla, and A. A. Mishra. 2013. Microwave drying characteristics of green peas and its quality evaluation. *Agriculture and Food Science Technology* 4 (5): 445-452.
22. Rasouli, M., and S. Seiiedlu. 2012. A study of the shrinkage changes and mathematical modeling of garlic (*Allium sativum* L.) during convective drying. *Journal of Agricultural Machinery Engineering* 2 (1): 67-73. (In Farsi).
23. Rezvani Moghadam, P., M. A. Behdani, M. Aghhavaniahajari, J. Falahi, and M. Nasiri Mahalati. 2011. Effects of harvesting and drying methods on the anthocyanins content of barberry fruit. *First National Conference of barberry and jujube*. (In Farsi).
24. Suwannarak, J., P. Phanumong, and N. Rattanapanone. 2014. Physiological changes of fruit and vegetable carving. *Journal of Natural Sciences* 13 (1): 77-86.
25. Tatsumi, Y., A. E. Watada, and W. P. Wergin. 1991. Scanning electron microscopy of carrot stick surface to determine cause of white translucent appearance. *J. Food Sci.* 56:1357-1359.
26. Toivonen, P. M. A., and D. A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetable. *Postharvest Biology and Technology* 48: 1-14.
27. Wong, J. Y. 2001. *Theory of ground vehicles*. (3rd ed). John Wiley and Sons, Inc.
28. Zirjani, L., and H. Tavakolipour. 2010. The effect of different processes for drying of banana by microwave dryer. *Innovation in Food Science and Technology* 2 (1): 53-64. (In Farsi).
29. Zirjani, L., and H. Tavakolipour. 2010. The study of enables the production of banana layer by hot air drying method combines microwave. *Iranian Food Science Research* 6 (1): 58-67. (In Farsi).

The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot

M. Naghipour zadeh mahani¹- M. H. Aghkhani^{2*}

Received: 26-04-2014

Accepted: 17-09-2014

Introduction: Carrot is one of the most common vegetables used for human nutrition because of its high vitamin and fiber contents. Drying improves the product shelf life without addition of any chemical preservative and reduces both the size of package and the transport cost. Drying also aidsto reduce postharvest losses of fruits and vegetables especially, which can be as high as 70%. Dried carrots are used in dehydrated soups and in the form of powder in pastries and sauces. The main aim of drying agricultural products is decrease the moisture content to a level which allows safe storage over an extended period. Many fruits and vegetables can be sliced before drying.because of different tissue of a fruit or vegetable, cutting them in different direction and shape created different tissue slices. Due to drying is the exiting process of the moisture from internal tissue so different tissue slices caused different drying kinetics. Therefore, the study on effect of cutting parameters on drying is necessary.

Materials and Methods: Carrots (*Daucus carota* L.) were purchased from the local market (Kerman, Iran) and stored in a refrigerator at 5°C. The initial moisture contents of the Carrot samples were determined by the oven drying method. The sample was dried in an oven at 105±2°C about 24 hours. The carrots cut by 3 models blade at 3 directions. The samples were dried in an oven at 70°C. Moisture content of the carrot slices were determined by weighting of samples during drying. Volume changes because of sample shrinkage were measured by a water displacement method. Rehydration experiment was performed by immersing a weighted amount of dried samples into hot water 50 °C for 30 min.

In this study the effect of some cutting parameters was considered on carrot drying and the quality of final drying product. The tests were performed as a completely random design. The effects of carrot thickness at two levels (3 and 6 mm), blade in 3 models (flat blade, wavy blade and Ridged blade) and the cutting direction at 3 levels (linear, lateral and diagonal) were evaluated on drying kinetics, drying rate, shrinkage and rehydration. Statistic analysis done by SPSS software.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed that the effects of cutting parameters were significant on studied parameters ($p<0.01$) (Table 1). Thin layers dried faster than thick layers because of firmness of surface which it causes slow moisture transfer. The least drying time was 200 minutes at the samples that cut by a wavy blade at the lateral direction with a significant difference ($p<0.05$) given Fig.3. In these samples surface evaporation is more, because of more surface. The compare means showed drying rate at thick layer is fewer because of the longer distance moisture removal (Fig.6). Also the most drying rate was 0.74 gmin⁻¹ at cutting by flat blade on linear direction with a significant difference ($p<0.05$).The least shrinkage was obtained on this treatment was 36.7% given Fig.8. The most of tissue of linear slices is woody part that is dense compare with other parts therefore shrinkage decrease at during drying. The most rehydration was 3.96 and 3.88 for cutting by flat blade in diagonal and linear direction with significant difference to other treatments. Rehydration depends on cell damage greatly. Since the slices of carrot that cut by flat blade were damaged fewer than other treatments therefore rehydration was more.

Conclusions: The drying behavior of carrot slices was studied at different methods in slicing carrot. The results showed a significant effect of the cutting variables on drying kinetics, drying rate, shrinkage and rehydration. The carrot moisture content decreases continuously over the drying and the fastest drying occurred at thin layers sliced by wavy blade. The slices that were cut by flat blade at linear direction caused the best quality. The results show cutting parameters are significant effect on quality of dried fruits and vegetable. There for the study of drying behavior is necessary for fruits with different tissue because of more quality of production and high efficiency at drying. Also the study of cutting parameter suggest on other fruits and vegetables with different tissue. The results help to manufactures for improvement of production of drying equipment.

Keywords: Blade, Carrot, Drying, Slicing direction

1- PhD student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor of Biosystems Engineering and Member of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Aghkhani@um.ac.ir)