نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۱، ص. ۴۲۶-۴۱۷

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 8, No. 4, Winter 2013, p. 417-426

بررسی روند تغییرات خواص فیزیکی میوه خرمالو (رقم خرمندی) در طول دوره انبارمانی در شرایط محیطی

حسن صفی یاری[۱]- علی زمردیان[۲*]- حسین رحمانیان[۳]- فرهاد سلمانی زاده[۴]

تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۱۱/۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۵/۲

چکیده

تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات انتقال، درجه‌بندی، فرآوری و انبارداری محصولات کشاورزی و دستیابی به محصولی با کیفیت بالا همیشه مورد توّجه بوده است. در این مطالعه تغییرات خواص فیزیکی میوه خرمالو در طول دوره انبارداری مورد بررسی قرار گرفت. طول، عرض، ضخامت، وزن، قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی، قطر معادل، ضریب کرویت، ضریب رعنایی، مساحت رویه، حجم و ضریب اصطکاک ایستایی خواص فیزیکی بودند که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند. افزایش مدت زمان نگهداری، موجب کاهش طول میوه خرمالو از ۵۶/۰۱ به ۵۲/۵۷ میلی متر، عرض از ۵۴/۱۹ به ۵۰/۰۱ میلی متر، ضخامت از ۳۶/۷۲ به ۳۲/۴۸، قطر میانگین هندسی از ۴۸/۰۷ به ۴۴/۰۶ میلی متر، قطر میانگین حسابی از ۴۸/۹۵ به ۴۵ /۰۶ میلی متر، قطر معادل از ۴۸/۷ به ۴۴/۷۵ میلی متر، ضریب کرویت از ۰/۸۵۹۰ به ۰/۸۳۸۳، ضریب رعنایی از ۰/۶۵۴۸ به ۰/۶۲۱۱، مساحت رویه از ۷۲/۹۹ به ۶۱/۴۱ سانتی متر مربع و حجم از ۵۹/۱۸ به ۴۵/۷۹ سانتی متر مکعب شد. با وجود درصد کاهش وزن در روز های سوم، پنجم، هفتم، نهم و یازدهم با مقادیر ۴/۱۶، ۱/۵۳، ۱/۷۸، ۱/۱۹ و ۱/۸۴، اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. همچنین ضریب اصطکاک ایستایی نیز در طول دوره انبارداری در تمام سطوح با اختلاف معنی داری افزایش یافت.

واژه های کلیدی: خواص فیزیکی، دوره انبارداری، میوه خرمالو، ضریب اصطکاک ایستایی

مقدمه

خرمالو از خانواده *Ebenaceae* بوده و نام علمی آن *Diospyros Kaki*است. منشأ درخت خرمالو کشور چین است که بعدها از آنجا به ژاپن و کره و در دهه ۱۹۷۰ به آمریکا برده شد. این میوه در جنگل های شمال و جنوب ایران نیز می روید و در تهران و شهر های دیگر آن را پرورش می دهند . کشور چین بیشترین میزان تولید میوه خرمالو در دنیا را دارد به طوریکه این کشور در سال ۲۰۰۷ موفق به تولید بیش از ۱۶۵۵۰۰۰ تن میوه خرمالو شد (Liu *et al.*, 2007) . طبق آمار، میزان تولید خرمالو در ایران بالغ بر ۱۰۰۶۴۰۶ تن و سطح زیر کشت سالانه خرمالو در ایران ۲۴۴۴۲۹/۶ هکتار می باشد (FAOSTAT, 2006). این درخت به سرما حساس است و در مناطق گرمسیر رشد می‌کند. میوه خرمالو موقعی که نارس است به علت داشتن مواد مازوتی، گس می باشد، ولی پس از رسیدن آن تبدیل به چندین نوع قند می شود و طعم آن گوارا می گردد. میوه خرمالو دارای مقادیر قابل توجهی ویتامین‌های B3، B2، B1 و C است، در ضمن این میوه دارای مواد معدنی ضروری برای بدن مانند کلسیم، گوگرد، آهن، فسفر ، پتاسیم و مقداری نیز سلولز می باشد . میوه خرمالو به علت دارا بودن مواد معدنی، برای رشد و نمو بدن بسیار مفید است و آهن موجود در آن عنصر اصلی خون‌سازی و پتاسیم موجود در آن اشتهاآور و شستشو دهنده کلیه و کبد است . خرمالو سرشار از آب و بتاکاروتن است و چنانچه این ویتامین به مقدار کافی به بدن نرسد نه‌تنها قدرت بینایی کم می‌شود، بلکه باعث خشن شدن پوست و شکننده شدن ناخن و موها و افت در میزان هوش و سلامت بدن نیز می گردد .

تقریبا ۷۵ درصد از میوه هایی که در جهان تولید می شوند به صورت تازه مصرف می شوند. این مسیر آشکارا اهمیت حفظ کیفیت

۱،۲،۳و۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجویان کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول : Email: zomorod@shirazu.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

طبیعی میوه های تازه را پس از برداشت برای انتقال به بازار داخلی یا صادرات نشان می دهد. انبارداری مهم ترین عملیات در طول توزیع میوه می باشد. عملیاتی از قبیل برداشت، عملیات قبل و پس از برداشت، بسته بندی، انتقال و مدیریت دما و رطوبت در طول حمل و نقل بر روی عمر انبارداری تاثیر می گذارند. تنش ناشی از کمبود آب به علت خشک شدن، در طول مدت انبارداری ظاهر میوه را چروکیده می کند. پوست چروکیده شده اثر منفی بر روی تبادل گازها و تبدیل متابولیکی در میوه دارد، زیرا فعالیت آنزیم ها و تبادلات یونی به علت کاهش فشار تورمی سلولی در نتیجه کاهش آب میوه تغییر می کند. در طول مدت انبارداری طولانی مدت کاهش طعم و بوی میوه ها با وجود کنترل فساد و رطوبت محسوس است. میوه خرمالو نمی تواند تازگی خود را برای مدت زمان طولانی حفظ کند. اگرچه بافت داخلی میوه از لحاظ کیفیت داخلی قابل قبول است. تحقیقات اخیر در زمینه انبارداری بیش تر به سمت شناسایی متابولیسم داخل میوه و به تاخیر انداختن و کاهش عکس العمل های بیو شیمیایی که گسترش غیر قابل قبول طعم میوه در مدت انبارمانی را در پی دارد، گرایش دارند. مدت انبارداری برروی سطوح تبخیر و تنفس در میوه جات و در نتیجه برروی خواص فیزیکی، بافت داخلی و کیفیت محصول تاثیر می گذارد.

تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی به عنوان مبنایی برای طراحی و ساخت ماشین‌ها و تجهیزات انتقال، درجه‌بندی، فرآوری و انبارمانی محصولات کشاورزی همیشه مورد توجه بوده است. یکی از شاخصه های مهم درجه بندی میوه جات، اندازه آنهاست، که ماشین هایی نیز برای درجه بندی میوه بر اساس اندازه آن ها ساخته شده است ولی ممکن است درجه بندی بر اساس جرم اقتصادی تر و به صرفه تر باشد به همین دلیل شناخت روابط بین جرم و این خواص فیزیکی لازم می باشد. از مهم ترین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی می توان به ابعاد مشخصه، جرم، حجم، مساحت رویه، سطح تصویر، ضریب کرویت، ضریب رعنایی، تخلخل و ضریب اصطکاک ایستایی نام برد. اصولاً طراحی ماشین های کشاورزی بدون توجه به این پارامترها ناقص و منجر به نتایج ضعیف خواهد گردید (Sirisomboon *et al*., 2007). تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه تعیین خواص بیومکانیک محصولات مختلف کشاورزی صورت گرفته است. در تحقیقی دیگر محققین خواص فیزیکی و مکانیکی دو رقم سیب را مورد بررسی قرار دادند (Kheiralipour et al., 2008). در تحقیقی که توسط مسعودی و همکاران (۱۳۸۴) انجام شد خواص فیزیکی و مکانیکی سه رقم سیب صادراتی مورد مقایسه قرار گرفت. ضریب الاستیسیته ظاهری، تنش گسیختگی، کرنش گسیختگی، انرژی گسیختگی و چقرمگی از جمله خواص مکانیکی بودند که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند . رضوی و همکاران (۱۳۸۸) خصوصیات مهندسی دانه بارهنگ را در رطوبت اولیه ۷/۹۳ درصد (برمبنای ماده خشک) بررسی کردند. در تحقیقی دیگر محققین با اندازه گیری ابعاد، جرم، حجم، سطوح تصویر و میانگین قطر هندسی دو رقم کیوی ایرانی، مدل هایی را برای پیش بینی جرم میوه از روی ابعاد، حجم و سطوح تصویر بدست آوردند (Lorestani & Tabatabaeefar, 2006). در تحقیقی که به منظور بررسی ویژگی های کیفی میوه کیوی رقم هایوارد برداشت شده از مناطق مختلف استان گیلان در طی دو ماه نگهداری در سردخانه انجام شد مشخص شد که تاخیر در برداشت میوه کیوی در اکثر مناطق استان گیلان به جهت رسیدن به حداقل شاخص بلوغ برداشت، می تواند باعث بهبود کیفیت و طولانی شدن ماندگاری میوه گردد (عشورنژاد و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیقی که دولتی بانه و همکاران (۱۳۸۹) در ارتباط با انبارداری انگور انجام دادند مشخص شد که ورقه های سولفور در طی زمان انبارداری به طور معنی داری میزان کاهش وزن، چروکیدگی چوب خوشه و حبه ، آلودگی قارچی و پوسیدگی را کاهش و مقدار سفید شدگی حبه ها و تغییر طعم و مزه را افزایش داد. ولی تاکنون پژوهشی در ارتباط با بررسی روند تغییرات خواص فیزیکی میوه خرمالو در طول دوره انبارمانی انجام نشده است . اهداف پژوهش را می توان بررسی خواص فیزیکی میوه خرمالو به منظور طراحی سیستم های انتقال، گرمایش، سرمایش و انبارداری بیان نمود.

مواد و روش ها

جهت انجام این پژوهش حدود ۱۵ کیلو میوه خرمالو از باغات شهرستان شیراز تهیه گردید. زمان برداشت میوه ها بر اساس عرف منطقه یعنی زمانی که کشاورزان هر منطقه شروع به برداشت میوه ها کردند، در نظر گرفته شد. میوه های سالم و یکنواخت و عاری از هر گونه ضایعات از سایر میوه ها جدا کرده و به بخش مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شیراز منتقل گردیدند و در دستگاه ژرمیناتور[1](به منظور کنترل نور، رطوبت و دما در طول شبانه روز)، در دمای ۱۸ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۴۵ درصد به تعداد ۱۵ میوه در هر تکرار به مدت ۱۱ روز نگهداری گردیدند.کلیه آزمایش ها در سه تکرار انجام شدند. میزان رطوبت اولیه میوه های خرمالو به وسیله آون در دمای ۲ ± ۷۰ درجه سانتی گراد پس از رسیدن به وزن ثابت تعیین گردید، که میزان رطوبت اولیه میوه های خرمالو ۴۴/۲۶ درصد (بر اساس وزن خشک) بود. تعیین خواص فیزیکی میوه های خرمالو در تناوب های زمانی دو روزه انجام می گرفت.

ابعاد میوه های خرمالو (طول L، عرض W و ضخامت T) با استفاده از یک کولیس الکترونیکی (۵۱۵ - CD) با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه گیری شد (Galedar *et al*., 2008; Mohsenin, 1996

1- Germinator

Archive of SID

www.SID.ir

(. سپس قطر میانگین حسابی (D_a) ، قطر میانگین هندسی (D_g) و قطر معادل (D_{eq}) به ترتیب با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه گردید (Mohsenin, 1996):

شکل ۱- ژرمیناتور

$$D_a = \frac{L + W + T}{3} \quad (1)$$

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (2)$$

$$D_{eq} = (L/4)(W + T)^{2/3} \quad (3)$$

همچنین حجم خرمالو ها نیز به کمک ابعاد هندسی مورد محاسبه قرار گرفت (Mohsenin, 1996):

$$V = \frac{\pi L\, W T}{6} \quad (4)$$

مساحت رویه[1] (S) میوه خرمالو برابر مساحت سطح کُره ای با قطری معادل قطر متوسط هندسی آن‌ها در نظر گرفته شد و از رابطه ۵ محاسبه گردید (Mohsenin, 1996):

$$S = \pi D_g^{\,2} \quad (5)$$

معیاری که عموماً برای توصیف شکل مورد استفاده قرار می گیرد، ضریب کرویت (ϕ) است که با جایگذاری ابعاد به دست آمده در رابطه ۸ محاسبه گردید(Mohsenin, 1996):

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \times 100 \quad (6)$$

ضریب رعنایی نیز طبق فرمول ۹ و از تقسیم طول به عرض میوه خرمالو محاسبه شد :

$$R = \frac{W}{L} \quad (7)$$

دانسیته واقعی (ρ_t) با استفاده از روش جابجایی مایع اندازه گیری شد. برای این منظور از تولوئن به دلیل کشش سطحی کم و جذب ناچیز آن توسط نمونه استفاده گردید. دانسیته توده (ρ_b) با استفاده از ظرفی با حجم مشخص که از ارتفاع ۱۵سانتی متری از نمونه پر شده بود، اندازه گیری شد. میوه ها پهلو به پهلو در کنار یکدیگر قرار گرفتند. پس از پر شدن ظرف، میوه های اضافی با سه حرکت زیکزاک به طوری که میوه ها فشرده نشوند، تخلیه گردید. سپس ظرف حاوی میوه های خرمالو توسط ترازوی الکتریکی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و نسبت وزن خرمالو های درون ظرف به حجم ظرف به عنوان دانسیته توده در نظر گرفته شد. تخلخل (ε) نیز با استفاده از رابطهٔ بین دانسیته واقعی و توده با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (Mohsenin, 1996).

$$\varepsilon = \left(\frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \right) \times 100 \quad (8)$$

برای اندازه گیری ضریب اصطکاک استاتیکی (μ_s)، از سطوح اصطکاکی شیب دار متفاوتی از جنس چوب، شیشه و آهن گالوانیزه متصل به یک نقاله مدرج استفاده شد. ابتدا مکعب مستطیل فلزی بدون سر و ته با ابعاد (mm) ۵۰ × ۵۰ × ۱۰۰ روی سطوح شیب دار قرار داده و با میوه های پر شد. بدون آن که مکعب با سطح شیبدار اصطکاکی تماس داشته باشد، زاویه سطح شیب دار افزایش داده شد تا اینکه مکعب به سمت پائین حرکت کند. با اندازه گیری زاویه سطح شیب دار (α) از رابطه زیر، ضریب اصطکاک استاتیکی محاسبه شد (Galedar *et al*. 2008; and Mohsenin 1996).

$$\mu_s = \tan(\alpha) \quad (9)$$

نتایج و بحث

ابعاد

تغییرات ابعاد محوری میوه های خرمالو (طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T)) در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد که میانگین طول، عرض و ضخامت میوه های خرمالو در طی ۱۱ روز نگهداری در دمای ۱۸ درجه اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد داشتند. با افزایش مدت زمان نگهداری، ابعاد محوری میوه های خرمالو کاهش

1- Surface area

Archive of SID

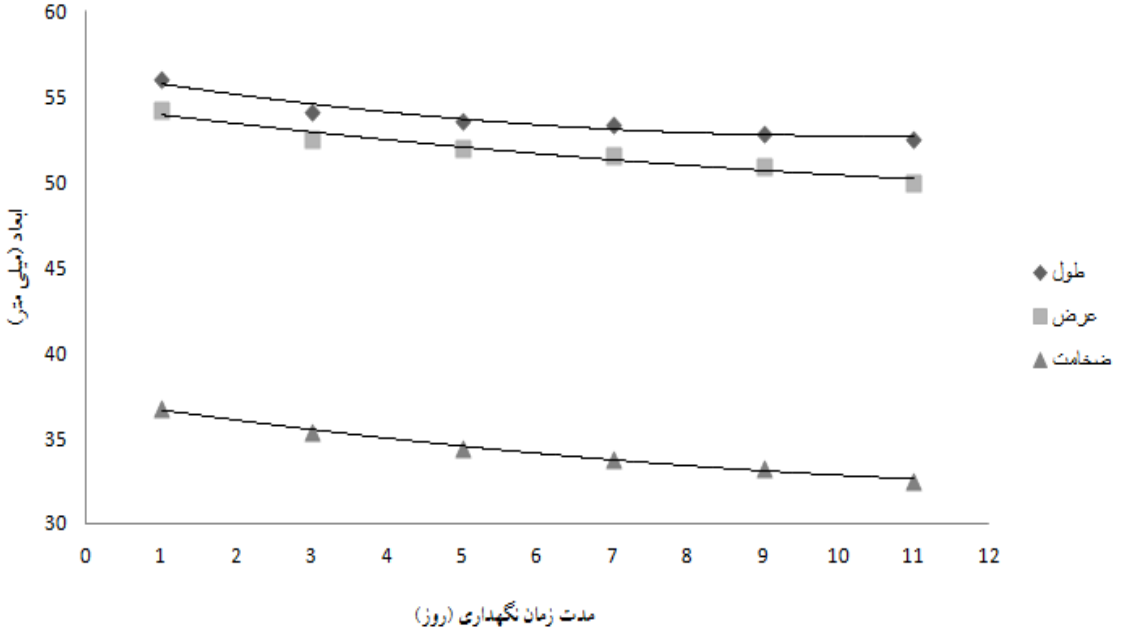
www.SID.ir

یافت.

افزایش مدت زمان نگهداری، موجب کاهش طول میوه خرمالو از ۵۶/۰۱ به ۵۲/۵۷ میلی متر، کاهش عرض از ۵۴/۱۹ به ۵۰/۰۱ میلی متر و کاهش ضخامت از ۳۶/۷۲ به ۳۲/۴۸ شده است. درصد کاهش طول در روز های سوم، پنجم، هفتم، نهم و یازدهم به ترتیب ۳/۳۷، ۱، ۰/۳۲، ۰/۹۹ و ۰/۵۹ ، درصد کاهش عرض ۳/۱۶، ۰/۹۱، ۰/۹۴، ۱/۲۴ و ۱/۷۱ و کاهش ضخامت ۳/۶، ۲/۸۲، ۱/۸۳، ۱/۴۷ و ۲/۳۸ می باشد. نتایج نشان داد که بیش ترین کاهش طول، عرض و ضخامت در روز اول تا سوم رخ داده است. دلیل کاهش ابعاد را می توان به از دست دادن رطوبت طی فرآیند انبارمانی نسبت داد. ابعاد فیزیکی برای غربال کردن مواد جامد و جداسازی مواد خارجی و یا برای سورت و درجه بندی میوه ها و سبزی ها مورد نیاز هستند. اندازه و شکل محصول تعیین می کند که چه تعداد میوه یا سبزی را می توان درون جعبه ها، کارتن ها و ظروف بسته بندی با یک اندازه مشخص قرار داد. معادلات خطی، درجه دوم و ضریب تبیین پارامترهای طول، عرض و ضخامت به عنوان تابعی از مدت زمان نگهداری (Storage Time (ST)) بر حسب روز در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. معادلات نشان می دهد که مدت زمان نگهداری بهترین ارتباط را با ضخامت میوه خرمالو دارد. شکل ۲ نیز به کمک خط رگرسیون درجه دوم نشان می دهد که افزایش مدت زمان نگهداری خرمالو در شرایط محیطی، کاهش ابعاد میوه خرمالو را به همراه دارد. تحقیقی در ارتباط با تغییرات خواص فیزیکی میوه ها در طول دوره انبار مانی مشاهده نشد. تنها تغییرات خواص فیزیکی در رطوبت های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی و قطر معادل

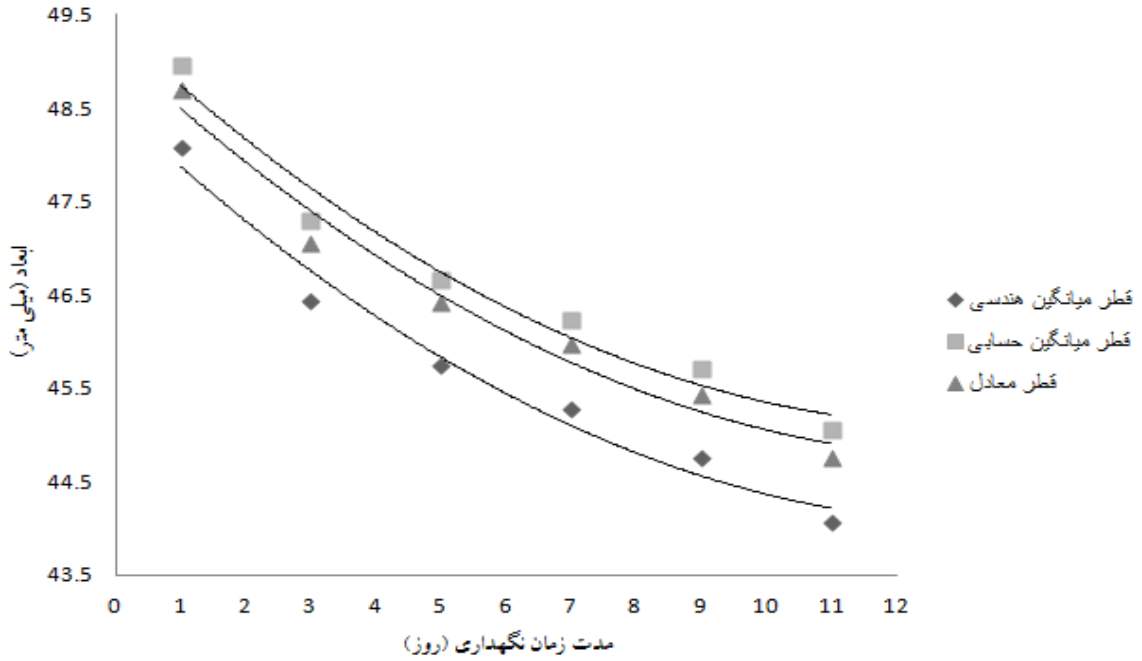
تغییرات قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی و قطر معادل در طی مدت زمان نگهداری در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی و قطر معادل میوه های خرمالو در طول مدت زمان نگهداری در دمای ۱۸ درجه اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد داشتند. افزایش مدت زمان نگهداری، موجب کاهش قطر میانگین هندسی میوه خرمالو از ۴۸/۰۷ به ۴۴/۰۶ میلی متر، کاهش قطر میانگین حسابی از ۴۸/۹۵ به ۴۵/۰۶ میلی متر و کاهش قطر معادل از ۴۸/۷۰ به ۴۴/۷۵ میلی متر می شود. درصد کاهش قطر میانگین هندسی در روز های سوم، پنجم، هفتم، نهم و یازدهم به ترتیب ۳/۳۹، ۱/۴۹، ۱/۰۵، ۱/۱۵ و ۱/۵۴ ، درصد کاهش قطر میانگین حسابی ۳/۳۷، ۱/۳۵، ۰/۹۲، ۱/۱۲ و ۱/۴۲ و درصد کاهش قطر معادل ۳/۳۷، ۱/۳۸، ۰/۹۷، ۱/۱۵ و ۱/۵ می باشد. نتایج نشان داد که بیش ترین کاهش قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی و قطر معادل در روز های اول تا سوم رخ داده است. این سیر نزولی را می توان به دلیل از دست دادن رطوبت طی فرآیند انبارمانی و چروکیده شدن میوه خرمالو و به تبع آن کاهش اقطار نسبت داد. معادلات خطی، درجه دوم و ضریب تبیین پارامترهای قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی و قطر معادل به عنوان تابعی از مدت زمان نگهداری در جداول ۲ و ۳ به نمایش در آمده است. نتایج نشان داد که معادلات درجه دوم دارای ضریب تبیین بهتری نسبت به معادلات خطی هستند و مدت زمان نگهداری بهترین ارتباط را با قطر میانگین هندسی داشت.



شکل ۲- نمودار تغییرات ابعاد میوه خرمالو با مدت زمان نگهداری

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- نمودار تغییرات ابعاد میوه خرمالو با مدت زمان نگهداری

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار خصوصیات فیزیکی میوه خرمالو در مدت زمان نگهداری

	روز اول	روز سوم	روز پنجم	روز هفتم	روز نهم	روز یازدهم
طول (میلی متر)	۵۶/۰۱ ± ۴/۸۰^{a}	۵۴/۱۲ ± ۴/۸۹^{b}	۵۳/۵۸ ± ۴/۷۷^{bc}	۵۳/۴۲ ± ۴/۶۷^{bc}	۵۲/۸۸ ± ۴/۶۶^{bc}	۵۲/۵۷ ± ۴/۵۵^{c}
عرض (میلی متر)	۵۴/۱۹ ± ۴/۸۴^{a}	۵۲/۴۹ ± ۴/۹۲^{b}	۵۲/۰۰ ± ۴/۹۱^{bc}	۵۱/۵۱ ± ۴/۸۴^{bc}	۵۰/۸۸ ± ۴/۶۹^{bc}	۵۰/۰۱ ± ۵/۰۸^{c}
ضخامت (میلی متر)	۳۶/۷۲ ± ۲/۷۴^{a}	۳۵/۴۰ ± ۲/۸۳^{b}	۳۴/۴۰ ± ۲/۸۹^{bc}	۳۳/۷۷ ± ۲/۹۰^{bc}	۳۳/۲۷ ± ۲/۹۴^{bc}	۳۲/۴۸ ± ۲/۹۶^{c}
قطر میانگین هندسی (میلی متر)	۴۸/۰۷ ± ۳/۷۶^{a}	۴۶/۴۴ ± ۳/۸۱^{b}	۴۵/۷۵ ± ۳/۸۷^{bc}	۴۵/۲۷ ± ۳/۸۰^{bc}	۴۴/۷۵ ± ۳/۸۵^{bc}	۴۴/۰۶ ± ۳/۹۰^{c}
قطر میانگین حسابی (میلی متر)	۴۸/۹۵ ± ۳/۹۲^{a}	۴۷/۳۰ ± ۳/۹۸^{b}	۴۶/۶۶ ± ۴/۰۱^{bc}	۴۶/۲۳ ± ۳/۹۳^{bc}	۴۵/۷۱ ± ۳/۹۶^{bc}	۴۵/۰۶ ± ۴/۰۰^{c}
قطر معادل (میلی متر)	۴۸/۷۰ ± ۳/۸۹^{a}	۴۷/۰۶ ± ۳/۹۴^{b}	۴۶/۴۱ ± ۳/۹۸^{bc}	۴۶/۴۱ ± ۳/۹۱^{bc}	۴۵/۴۳ ± ۳/۹۶^{bc}	۴۴/۷۵ ± ۴/۰۰^{c}
ضریب کرویت	۰/۸۵۹۰ ± ۰/۰۲^{a}	۰/۸۵۸۸ ± ۰/۰۲^{a}	۰/۸۵۴۲ ± ۰/۰۲^{ab}	۰/۸۴۷۹ ± ۰/۰۲^{b}	۰/۸۴۶۷ ± ۰/۰۲^{b}	۰/۸۳۸۳ ± ۰/۰۲^{c}
ضریب رعنایی	۰/۶۵۴۸ ± ۰/۰۳^{a}	۰/۶۵۳۷ ± ۰/۰۴^{a}	۰/۶۴۳۰ ± ۰/۰۴^{ab}	۰/۶۳۳۵ ± ۰/۰۴^{bc}	۰/۶۳۱۷ ± ۰/۰۴^{bc}	۰/۶۲۱۱ ± ۰/۰۴^{c}
مساحت رویه (سانتی متر مربع)	۷۲/۹۹ ± ۱۱/۳۴^{a}	۶۸/۱۵ ± ۱۱/۰۹^{a}	۶۶/۱۷ ± ۱۱/۰۷^{bc}	۶۴/۷۹ ± ۱۰/۷۶^{bc}	۶۳/۳۴ ± ۱۰/۸۳^{bc}	۶۱/۴۱ ± ۱۰/۸۵^{c}
وزن (گرم)	۷۲/۸۰ ±۱۸/۴۱	۶۹/۷۸ ±۱۷/۸۲	۶۸/۷۱ ±۱۷/۶۳	۶۷/۴۹ ±۱۷/۳۶	۶۶/۶۸ ±۱۷/۲	۶۵/۴۵ ± ۱۷/۰۱
حجم (سانتی متر مکعب)	۵۹/۱۸ ±۱۳/۶۸^{a}	۵۳/۴۳ ±۱۲/۹۲^{b}	۵۱/۱۴ ±۱۲/۶۹^{bc}	۴۹/۵۵ ±۱۲/۲۳^{bc}	۴۷/۹۲ ±۱۲/۲^{bc}	۴۵/۷۹ ±۱۲/۰۹^{c}

شکل ۳ نشان می دهد که افزایش مدت زمان نگهداری کاهش قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی و قطر معادل میوه های خرمالو را به همراه دارد. در این شکل از معادلات رگرسیونی درجه دوم کمک گرفته شده است.

ضریب کرویت، ضریب رعنایی و مساحت رویه

یکی از روش هایی که عموما برای کمی کردن اختلاف در شکل میوه ها به کار می رود، ضریب کرویت است. این ضریب یکی از شاخص های تعیین شکل اجسام است که نشان دهنده میزان شباهت یک جسم به کره می باشد. در فرآیند های جداسازی توسط ماشین های غربال، شکل ماده نقش مهمی را ایفا می کند. میانگین و انحراف معیار ضریب کرویت، ضریب رعنایی و مساحت رویه میوه های خرمالو در مدت زمان نگهداری در جدول ۱ آمده است . نتایج نشان داد که ضریب کرویت، ضریب رعنایی و سطح میوه های خرمالو در طول مدت زمان نگهداری در دمای ۱۸ درجه اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد داشتند. این اختلافات در ضریب کرویت و ضریب رعنایی از اواسط دوره انبارداری و در مساحت سطح میوه های خرمالو از همان روزهای اولیه انبارداری دیده شد. افزایش مدت زمان

Archive of SID

www.SID.ir

نگهداری، موجب کاهش ضریب کرویت میوه خرمالو از ۰/۸۵۹۰ به ۰/۸۳۸۳، کاهش ضریب رعنایی از ۰/۶۵۴۸ به ۰/۶۲۱۱ و کاهش سطح میوه های خرمالو از ۷۲/۹۹ به ۶۱/۴۱ سانتی متر مربع شد. درصد کاهش ضریب کرویت در روز های سوم، پنجم، هفتم، نهم و یازدهم به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۵۴، ۰/۷۴، ۰/۱۴ و ۰/۹۹ ، درصد کاهش ضریب رعنایی ۰/۲۶، ۱/۶۴، ۱/۵۵، ۰/۲۴ و ۱/۷۱ و درصد کاهش مساحت ۶/۶۳، ۲/۹۱، ۲/۰۸، ۲/۲۳ و ۳/۰۴ می باشد.

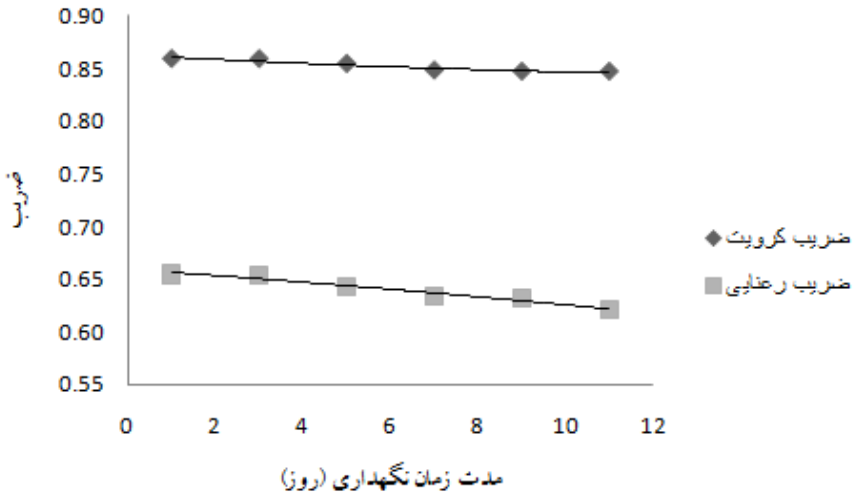
نتایج نشان داد که بیش ترین کاهش ضریب کرویت و ضریب رعنایی در روز های پایانی دوره انبارداری رخ داده است، در حالیکه بیش ترین کاهش مساحت میوه خرمالو در روزهای نخستین دوره انبارمانی بوده است. روابط رگرسیونی و ضریب تبیین پارامترهای ضریب کرویت، ضریب رعنایی و مساحت میوه های خرمالو، به عنوان تابعی از مدت زمان نگهداری در جداول ۲و ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که معادلات درجه دوم دارای ضریب تبیین بهتری نسبت به معادلات خطی هستند. شکل های ۴ و ۵ نشان می دهد که افزایش مدت زمان نگهداری موجب کاهش ضریب کرویت، ضریب رعنایی و مساحت رویه میوه های خرمالو می شود.

وزن و حجم

تغییرات وزن ۴۵ عدد خرمالو در طی مدت زمان نگهداری در جدول ۱ آمده است.

جدول ۲- روابط رگرسیونی درجه اول بین خصوصیات فیزیکی و مدت زمان نگهداری میوه خرمالو

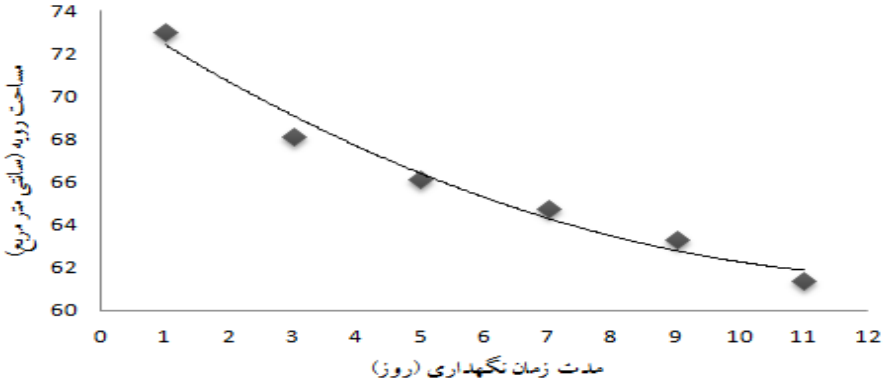
ردیف	ضریب تبیین	معادله
(۱۰)	$R^2 = ۰/۸۴۳۲$	$L = -۰/۶۰۲۶(ST) + ۵۵/۸۷۱$
(۱۱)	$R^2 = ۰/۹۴۸۶$	$W = -۰/۷۵۰۶(ST) + ۵۴/۴۶۹$
(۱۲)	$R^2 = ۰/۹۷۰۵$	$T = -۰/۸۰۵۷(ST) + ۳۷/۱۶۱$
(۱۳)	$R^2 = ۰/۹۳۳۳$	$D_a = -۰/۳۵۲۱(ST) + ۴۸/۷۶۵$
(۱۴)	$R^2 = ۰/۹۳۸۶$	$D_{eq} = -۰/۷۱۶۹(ST) + ۴۸/۸۹۴$
(۱۵)	$R^2 = ۰/۹۴۱۸$	$D_g = -۰/۳۶۵۷(ST) + ۴۷/۹۱۸$
(۱۶)	$R^2 = ۰/۹۳۸۷$	$\phi = -۰/۰۰۲۱(ST) + ۰/۸۶۳۳$
(۱۷)	$R^2 = ۰/۹۶۴۶$	$R = -۰/۰۰۳۶(ST) + ۰/۶۶۱۲$
(۱۸)	$R^2 = ۰/۹۳۴۹$	$S = -۲/۱۰۶۱(ST) + ۷۳/۵۱۸$
(۱۹)	$R^2 = ۰/۹۴۳۳$	$M = -۰/۶۷۴۹(ST) + ۷۲/۵۲۹$
(۲۰)	$R^2 = ۰/۹۲۸۳$	$V = -۱/۲۱۵۶(ST) + ۵۸/۴۶۶$



شکل ٤- نمودار تغییرات ضریب کرویت میوه خرمالو با مدت زمان نگهداری

Archive of SID

www.SID.ir

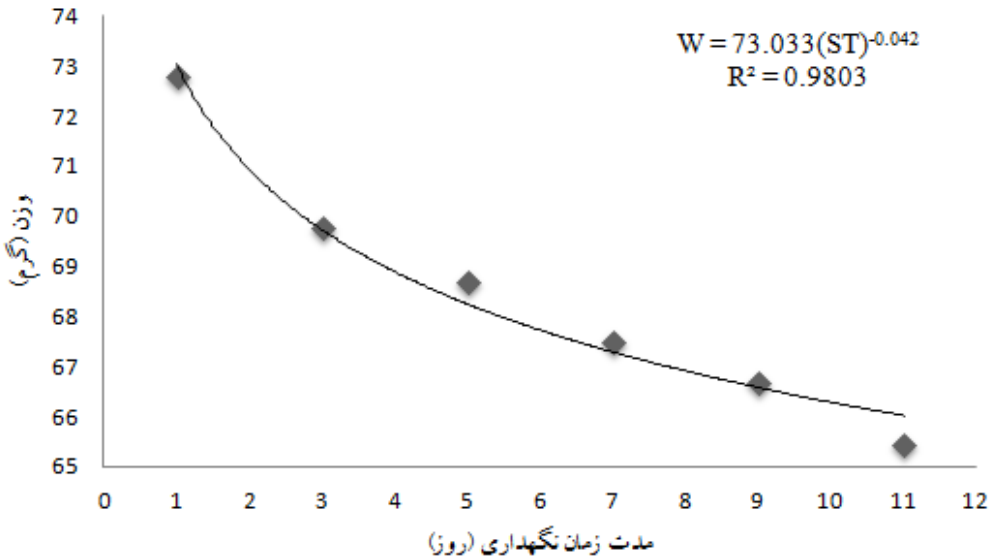


شکل ۵- نمودار تغییرات مساحت رویه میوه خرمالو با مدت زمان نگهداری

افزایش مدت زمان نگهداری، موجب کاهش وزن میوه خرمالو از ۷۲/۸۰ به ۶۵/۴۵ گرم شده است. درصد کاهش وزن در روز های سوم، پنجم، هفتم، نهم و یازدهم به ترتیب ۴/۱۶، ۱/۵۳، ۱/۷۸، ۱/۱۹ و ۱/۸۴ می باشد.

نتایج نشان داد که بیش ترین کاهش وزن در روز های اول تا سوم رخ داده است. معادلات خطی و درجه دوم و ضریب تبیین پارامتر وزن به عنوان تابعی از مدت زمان نگهداری در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. همچنین معادلات رگرسیونی نمایی و توانی وزن(M) نیز به عنوان تابعی از مدت زمان نگهداری به دست آمد که خط رگرسیونی نمایی دارای معادله M = 72.584e-0.01(ST) با ضریب تبیین ۰/۹۵۰۴ و خط رگرسیونی توانی دارای معادله M = 73.033(ST)-0.042 با ضریب تبیین ۰/۹۸۰۳ بود. نتایج نشان داد که معادلات توانی بالاترین ضریب تبیین و معادلات خطی کمترین ضریب تبیین را دارا بودند. شکل ۶ نیز بیانگر این مطلب است که افزایش مدت زمان نگهداری موجب کاهش وزن میوه های خرمالو می شود که این کاهش وزن در روز های اولیه دارای شیب بیشتری نسبت به روزهای پایانی زمان انبارداری می باشد.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، حجم میوه های خرمالو در طول مدت زمان نگهداری در دمای ۱۸ درجه اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد داشتند. افزایش مدت زمان نگهداری، موجب کاهش حجم میوه خرمالو از ۵۹/۱۸ به ۴۵/۷۹ میلی متر مکعب شده است. درصد کاهش حجم در روز های سوم، پنجم، هفتم، نهم و یازدهم به ترتیب ۹/۷۱، ۴/۲۸، ۳/۱۲، ۳/۲۸ و ۴/۴۶ می باشد. همانطور که مشاهده می شود، درصد کاهش حجم در روز های نخستین، اختلاف معنی داری با درصد کاهش حجم در روزهای پایانی طول دوره انبارداری دارد.



شکل ٦- نمودار تغییرات وزن میوه خرمالو با مدت زمان نگهداری

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- روابط رگرسیونی درجه دوم بین خصوصیات فیزیکی و مدت زمان نگهداری میوه خرمالو

ردیف	ضریب تبیین	معادله
(۲۱)	$R^2 = ۰/۹۴۲۶$	$L = +۰/۱۴۱۸(ST)^2 - ۱/۵۹۵۱(ST) + ۵۷/۱۹۴$
(۲۲)	$R^2 = ۰/۹۶۳۱$	$W = +۰/۰۶۳۶(ST)^2 - ۱/۱۹۵۶(ST) + ۵۵/۰۶۲$
(۲۳)	$R^2 = ۰/۹۹۲۴$	$T = +۰/۰۸۲۹(ST)^2 - ۱/۳۸۶۳(ST) + ۳۷/۹۳۵$
(۲۴)	$R^2 = ۰/۹۷۱۷$	$D_a = +۰/۰۲۴۵(ST)^2 - ۰/۶۴۵۷(ST) + ۴۹/۳۶$
(۲۵)	$R^2 = ۰/۹۷۳۲$	$D_{eq} = +۰/۰۲۳۶(ST)^2 - ۰/۶۴۱۳(ST) + ۴۹/۱۰۹$
(۲۶)	$R^2 = ۰/۹۷۶۵$	$D_g = +۰/۰۲۴۰(ST)^2 - ۰/۶۵۳۹(ST) + ۴۸/۵۰۲$
(۲۷)	$R^2 = ۰/۹۶۷۴$	$\phi = -۰/۰۰۰۱(ST)^2 - ۰/۰۰۰۶(ST) + ۰/۸۶۰۲$
(۲۸)	$R^2 = ۰/۹۶۵۶$	$R = -/۰۰۰۰۴(ST)^2 - ۰/۰۰۳۱(ST) + ۰/۰۶۶۰۲$
(۲۹)	$R^2 = ۰/۹۷۵۱$	$S = +۰/۲۹۹۰(ST)^2 - ۴/۱۹۹۲(ST) + ۷۶/۳۰۹۰$
(۳۰)	$R^2 = ۰/۹۷۹۱$	$M = +۰/۰۴۵۰(ST)^2 - ۱/۲۱۴۹(ST) + ۷۳/۶۲۴$
(۳۱)	$R^2 = ۰/۹۷۴۱$	$V = +۰/۰۹۲۴(ST)^2 - ۲/۳۲۴(ST) + ۶۰/۷۱۶$

شکل ۷ روند تغییرات حجم میوه های خرمالو در طول دوره انبارمانی را نشان می دهد. نتایج مندرج در جداول ۲ و ۳ نشان می دهد که تخمین حجم میوه های خرمالو از معادله درجه دوم، به دلیل بالا بودن ضریب تبیین از دقت بالایی برخوردار خواهد بود. اندازه گیری حجم مواد غذایی به منظور تعیین دانسیته و چگالی مواد غذایی، محاسبات مربوط به فرآیند های انتقال حرارت و جرم مواد غذایی و برآورد تعداد ماده غذایی در یک حجم مشخص (ظروف بسته بندی، سیلو ها و انبارها) از اهمیت فراوانی برخوردار است. حجم میوه ها به منظور مدل سازی دقیق انتقال جرم و در فرآیند های گرم کردن و سرد کردن بایستی مشخص گردند. تخلخل بر مقاومت جریان هوای عبوری از درون توده تاثیر گذار بوده و مقاومت هوا به کارآیی سیستم های خشک کن و سیستم های هوادهی اثر خواهد گذاشت. تخلخل بستگی به شکل هندسی، اندازه و خواص سطحی ماده غذایی دارد. درصد تخلخل میوه های خرمالو در رطوبت ۴۴/۲۶ ٪ (بر اساس وزن خشک) در روز اول مورد محاسبه قرار گرفت و با ۱۰ تکرار مشخص شد که میوه های خرمالو دارای درصد تخلخل ۵۸/۶۷ با انحراف معیار ۶/۲۷ بودند.

ضریب اصطکاک ایستایی

آگاهی از مقدار نیروی اصطکاکی در طراحی تجهیزات و فرآیند ها حائز اهمیت است. میزان اصطکاک بر مقدار توان لازم جهت حمل و نقل مواد تاثیرگذار است. اصطکاک بین میوه و نوار نقاله، تعیین کننده حداکثر زاویه ای است که نوار نقاله با افق برای انتقال میوه ها بایستی داشته باشد.

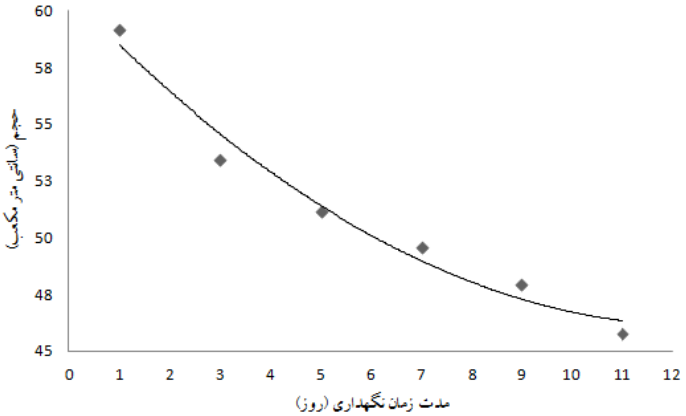
ضریب اصطکاک ایستایی در سه سطح چوب، شیشه و ورق گالوانیزه و در طول دوره انبارمانی مورد مقایسه قرار گرفتند. این آزمایش در روز نخست، روز میانی و روز پایانی انجام شد و مشخص گردید که در هریک از سطوح اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد در طول دوره انبارمانی وجود دارد و با افزایش طول دوره انبارمانی، ضریب اصطکاک ایستایی نیز افزایش می یابد. دلیل آن را می توان به از دست دادن رطوبت و چروکیده شدن میوه و در نهایت افزایش ضریب اصطکاک ایستایی نسبت داد.

جدول ٤- مقایسه ضریب اصطکاک ایستایی میوه های خرمالو در سطوح مختلف در مدت زمان نگهداری

ضریب اصطکاک ایستایی	چوب	شیشه	گالوانیزه
روز اول	۰/۳۵ ± ۰/۰۳^a	۰/۳۷ ± ۰/۰۲^a	۰/۳۵ ± ۰/۰۳^a
روز ششم	۰/۴۷ ± ۰/۰۴^b	۰/۴۲ ± ۰/۰۳^b	۰/۴۳ ± ۰/۰۲^b
روز یازدهم	۰/۴۹ ± ۰/۰۴^b	۰/۴۴ ± ۰/۰۴^b	۰/۴۶ ± ۰/۰۴^b

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- نمودار تغییرات حجم میوه خرمالو با مدت زمان نگهداری

نتیجه گیری

نتایج مشاهدات نشان داد که با افزایش طول مدت زمان نگهداری میوه های خرمالو (افزایش طول زمان انبارمانی)، خصوصیات فیزیکی طول، عرض، ضخامت، قطر میانگین هندسی، قطر میانگین حسابی، قطر معادل، ضریب کرویت، ضریب رعنایی، مساحت، حجم، حجم کره بسط یافته و حجم کره دو سر پهن با اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد کاهش یافتند و تنها پارامتر وزن بود که با وجود درصد کاهش وزن در روز های سوم، پنجم، هفتم، نهم و یازدهم با مقادیر ۴/۱۶، ۱/۵۳، ۱/۷۸، ۱/۱۹ و ۱/۸۴، اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد نداشت. همچنین ضریب اصطکاک ایستایی نیز در طول دوره انبارمانی در تمام سطوح با اختلاف معنی داری افزایش یافت. بنابر این به منظور طراحی دستگاه های حمل و نقل، فرآوری محصولات کشاورزی و دستیابی به محصولی با کیفیت بالا، اهمیت به تغییرات فیزیکی که در طول دوره انبارمانی در محصولات غذایی رخ می دهد حائز اهمیت است.

منابع

توکلی هشجین، ت.، ۱۳۸۳، مکانیک محصولات کشاورزی،(تالیف سیتکی، ج)، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

دولتی بانه، ح.، جلیلی، ر.، سامط، خالد. و امانی، ع.، ۱۳۸۹، اثر پوشش پلاستیکی ورقه های بی سولفیت سدیم بر انبارمانی انگور رقم رشه (سیاه سردشت)، مجله به زراعی نهال و بذر، ۴، ۲۶ – ۲.

رضوی، س.م.ع. و اکبری، ر.، ۱۳۸۵، خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۷.

رضوی، س.م.ع.، زاهدی، ی. و مهدویان مهر، ه.، ۱۳۸۸، بررسی برخی خصوصیات مهندسی دانه بارهنگ، نشریه پژوهش های صنایع غذایی ایران، ۲، ۹۶ – ۸۸.

عشورنژاد، م.، قاسم نژاد، م.، گرایلو، س. و میر حسینی، س.ک.، ۱۳۸۹، بررسی ویژگیهای کیفی میوه کیوی رقم هایوارد برداشت شده از مناطق مختلف استان گیلان درطی دو ماه نگهداری در سردخانه. نشریه علوم باغبانی ۲، ۲۶۴ – ۲۵۹

مسعودی، ح.، طباطبائی فر، س.ا.، برقعی، م.ع. و شاه بیک، م.ع ،۱۳۸۴، تعیین و مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی سه رقم سیب صادراتی، مجله علوم کشاورزی، ۱۱، ۱۷– ۱.

Akamine, E. K., 1967, Tangerine storage. *Hawaii Agric. Expt. Storage Bull*. 142, 15.

Akamine, E. K. and Goo, T., 1979, Effect of storage on compositional changes in ripe sweet citrus fruits. Res. Report, Agric. Expt.-Station, Hawaii University, No. 210, 8 pp.

Angadi, G. S. and Shathakrishnamurthy, 1992, Studies on storage of Coorg mandarins (*C. reticulate* Blanco). *South Indian Hort.* 40(5), 289–292.

Davies, R. M. and El-Oken, A. M., 2009. Moisture-dependent physical properties of soybeans. . Int. Agrophysics, 29, 299-303.

Food and Agriculture Organization., 2006, Biodivesity: Agricultural biodiversity in FAO. From http: //www.FAO.org/statistics.Htm.

Galedar, M., Tabatabaeefar, A., Jafari, A., Sharifi, A., O'Dogherty, M.J., Rafee, S. and Richard, G., 2008a, Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. Biosys. Eng., 101(2), 199-208.

Archive of SID

www.SID.ir

Kheiralipour K., Tabatabaeefar, Mobli H., Rafiee S., Sharifi M., Jafari A. and Rajabipour A., 2008, Some physical and hydrodynamic properties of two varieties of apple (Malus domestica Borkh L.). Int. Agrophysics, 22, 225-229.

Liu H. F., Zhang J. G. and Guo L. P., 2007, Study on technology of storage and fresh-keeping of 'Mopan' persimmon (in Chinese). Tianjin Sci. Technol. Agric. Fores., 1-23.

Lorestani, A. N. and Tabatabaeefar, A., 2006, Modeling the mass of Kiwi fruit by geometrical attributes. Int. Agrophys, 20, 135–139.

Mohsenin, N. N., 1980, Physical properties of plant and animal materials. Gordon Breach Sci. Presss, New York, USA.

Sirisomboon, P., Kitchaiya, P., Pholpho, T. and Mahuttanyavanitch W., 2007, Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. J. Food Eng., 97, 201-207.

Archive of SID

www.SID.ir