مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۲/ شماره ۳/سال ۱۳۹۰/ص ۸۴-۷۱

تعیین اثر دوره‌های انبارداری بر برخی خواص فیزیکی و مکانیکی سیر

روح‌اله مجدی، منصور راسخ* و امیرحسین افکاری سیاح**

* نگارنده مسئول، نشانی: اردبیل، انتهای خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی، تلفن: ۰۹۱۴۳۵۱۸۶۶۴، پیام نگار: ma_rasekh1349@yahoo.com.au

** به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی؛ استادیار و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت:۸۹/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۴

چکیده

در این تحقیق اثر سه سطح دورهٔ انبارداری بر خواص فیزیکی و اثر دورهٔ انبارداری و سرعت بارگذاری در سه سطح بر خواص برشی سیر بررسی شده است. همچنین، برخی خواص فیزیکی و مکانیکی سیر شامل ارتفاع، متوسط قطر عرضی، قطر متوسط حسابی، قطر متوسط هندسی، ضریب کرویت، چگالی تودهٔ پیاز سیر و نیز پارامترهای طول، عرض، ضخامت، چگالی حقیقی، چگالی توده، تخلخل، حجم سیرچه، قطر متوسط حسابی، قطر متوسط هندسی و ضریب کرویت سیرچه‌ها نیز محاسبه شده است. ویژگی‌های برشی سیرچه‌ها شامل بیشینه نیروی برش و متوسط انرژی برش نیز اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که دورهٔ انبارداری بر ویژگی‌های طول سیرچه، قطر متوسط حسابی، چگالی توده، چگالی حقیقی و حجم سیرچه و نیز دورهٔ انبارداری بر ویژگی‌های متوسط قطر عرضی، قطر متوسط حسابی و چگالی تودهٔ سیر اثر معنی‌داری دارد. پارامترهایی که از آزمون برشی روی سیرچه استخراج بررسی شده‌اند عبارت‌اند از بیشینهٔ نیروی لازم برای برش کامل سیرچه، متوسط انرژی لازم برای برش واحد سطح، و متوسط نیروی لازم برای برش واحد سطح سیرچه در سه دورهٔ انبارداری و سه سرعت بارگذاری که مقادیر به‌دست آمده برای این پارامترها به‌ترتیب معادل ۲/۲۸ تا ٤/۷۹ نیوتن، ۱۷/۷۹ تا ۲۹/۷۰ میلی‌ژول بر میلی‌متر مربع و ۱/٤٤ تا ۲/۹۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع بودند. نتایج نشان داد که عامل دورهٔ انبارداری تنها بر بیشینه نیروی لازم برای برش کامل سیرچه و متوسط نیروی لازم برای برش واحد سطح سیرچه اثر معنی‌داری داشت. همچنین دورهٔ انبارداری و سرعت بارگذاری و اثر متقابل دورهٔ انبارداری و سرعت بارگذاری بر مقدار متوسط انرژی لازم برای برش در واحد سطح سیرچه دارای تأثیر معنی‌داری است.

واژه‌های کلیدی

آزمون برشی، سیر، خواص فیزیکی، دورهٔ انبارداری

مقدمه

سیر با نام علمی *Allium sativum* از تیرهٔ پیازها (Alliaceae) و با نام انگلیسی Garlic گیاهی است دارویی که ارزش غذایی بالایی دارد و از دوران بسیار قدیم برای پیشگیری از برخی بیماری‌ها به‌کار می‌رفته است. به‌همین دلیل توجه به توسعه و بهبود روزافزون تولید و فرآوری آن از اهمیت خاصی برخوردار است. ایران با تولید بیش از ۱۰۰ هزار تن سیر در سال در میان ۲۰ کشور اصلی تولید-کننده این محصول در جهان قرار دارد. سیر در استان‌های همدان، مرکزی، خراسان، زنجان، خوزستان، آذربایجان و مناطق شمالی کشت می‌شود (Anon, 2011). کاربرد سیر اغلب به‌صورت دارویی، ادویه‌ای، افزودنی‌های غذایی، و در

© 2014,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

وسایل آرایشی و بهداشتی است. ایجاد صنایع غذایی وابسته و سیستم‌های فرآوری و بسته‌بندی این محصول به‌منظور ورود به بازارهای جهانی امری ضروری است.

برای افزایش بهره‌وری، کاهش ضایعات، و ایجاد روش‌های جدید فرآوری هر محصول کشاورزی برای عرضهٔ آن به شکل مرغوب و با کیفیت، تعیین خواص فیزیکی آن محصول ضروری است. بیشترین ضرورت اندازه‌گیری و تعیین شاخص‌های فیزیکی محصولات کشاورزی در فرایندهای پس از برداشت است. در این زمینه تحقیقات گسترده‌ای در مورد انواع محصولات آبدار انجام شده است (Baryeh, 2000; Goyal *et al.*, 2007). در فرایندهای جداسازی و درجه‌بندی محصولات، مشخصاتی مانند ابعاد، شکل، و ضریب کرویت کاربرد دارد. تعیین حجم، چگالی توده[1]، و چگالی حقیقی[2] محصول برای تعیین ویژگی‌های بسته‌بندی و نیز حمل و نقل بادی یا آبی و انبارداری در سیلوها حایز اهمیت است.

عادل (Adel, 2007) طی آزمایش‌هایی برخی از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سیر و سیرچه را اندازه‌گیری کرد. در این آزمایش‌ها، قطر هندسی و حسابی سیر به‌ترتیب ۲/۵۳ تا ۴/۹۳ سانتی‌متر و ۲/۵۳ تا ۵/۰۲ سانتی‌متر و نیز مقادیر طول، عرض و ضخامت برای سیرچه‌ها به‌ترتیب ۱/۹۲ تا ۲/۹۱ سانتی‌متر، ۰/۷۸ تا ۱/۳۲ سانتی‌متر و ۰/۹۶ تا ۰/۹۹ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در تحقیقی، سطح و ابعاد اصلی سیرچه‌ها به روش ماشین‌بینایی در دو رقم سفید و صورتی در رطوبت ۴۲/۲ درصد (بر پایهٔ وزن تر) و نیز چگالی حقیقی ، چگالی توده، و تخلخل آن در رطوبت ۵۶/۷ درصد و ۳۴/۹ درصد (بر پایه وزن تر) اندازه‌گیری و معلوم شد مقدار رطوبت سیر اثر معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) بر چگالی حقیقی، چگالی توده، و تخلخل دارد (Masoumi *et al.*, 2006).

در تحقیقی دیگر، برخی خواص فیزیکی، مکانیکی، و غذایی سیر بررسی شد. در این آزمایش‌ها، پارامترهای جرم متوسط هر سیرچه، جرم هزار دانه سیرچه، طول سیر، قطر سیر، قطر میانگین هندسی، کرویت، سطح تصویر شده، حجم، چگالی توده، تخلخل، و سفتی سیرچه‌ها به ترتیب ۳۲/۸۱ گرم، ۲۳۸۳/۸ گرم، ۲۷/۲۴ میلی‌متر، ۴۶/۵۱ میلی‌متر، ۱۵/۱۵ میلی‌متر، ۰/۵۵۹، ۴/۵۴ سانتی‌متر مربع، ۲۲۴۵/۶۴ میلی‌متر مکعب، ۴۷۸/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب، ۵۴/۲۶، درصد و ۱۳/۷۸ نیوتن اندازه‌گیری شد (Hacıseferogulları *et al.*, 2004). در تحقیق دیگر، تأثیر رطوبت و دما بر گرمای ویژهٔ سیر بررسی و معلوم شد گرمای ویژه سیر به‌طور معنی‌داری با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد و همچنین گرمای ویژهٔ سیر به‌طور خطی با دمای سیر مرتبط است (Kramkowski *et al.*, 2001).

از آنجا که سیر در ایران سطح زیر کشت فراوانی دارد و جزء محصولات بومی‌برخی از استان‌هاست لذا استخراج خواص فیزیکی و مکانیکی آن به‌منظور بهینه‌سازی دستگاه‌های فرآوری موجود یا طراحی دستگاه‌های جدید و نیز جلوگیری از ضایعات ناشی از حمل و نقل و انبارداری ضروری است. این مسئله از آن جهت اهمیت دارد که تا-کنون تحقیق جامعی با هدف استخراج خواص فیزیکی و مکانیکی سیر، با درنظر گرفتن اثر دورهٔ انبارداری به‌ویژه بر روی ارقام متداول، در کشور انجام نشده است. بدین منظور، تحقیق حاضر با هدف استخراج خواص فیزیکی و مکانیکی (برشی) سیر و بررسی نحوهٔ تأثیر مدت انبارداری بر آن به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های سیر از یکی از مزارع واقع در شهرستان تالش که در آن همهٔ شرایط زراعی مانند آبیاری، کوددهی و عملیات زراعی یکسان بود، به مقدار کافی تهیه و به آزمایشگاه بیوفیزیک دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شدند و در شرایط انبارداری قرارگرفتند. آزمایش‌ها پس از انتقال

1-Bulk density
2-True density

نمونه‌ها به انبار و در سه دورهٔ انبارداری بـه فاصـله ۷۰ روز بین هر دو دوره اجرا شـد. در ایـن نوشـته منظـور از پیـاز سیر، مجموعه‌ای از سیرچه‌هاست که به‌طور طبیعی در یک غلاف به‌صورت هم‌محور قرار گرفته‌انـد، بـه سـخنی دیگـر، پیاز سیر از تعدادی سیرچه تشکیل شده است (شکل ۱).

اندازه‌گیری رطوبت نسبی

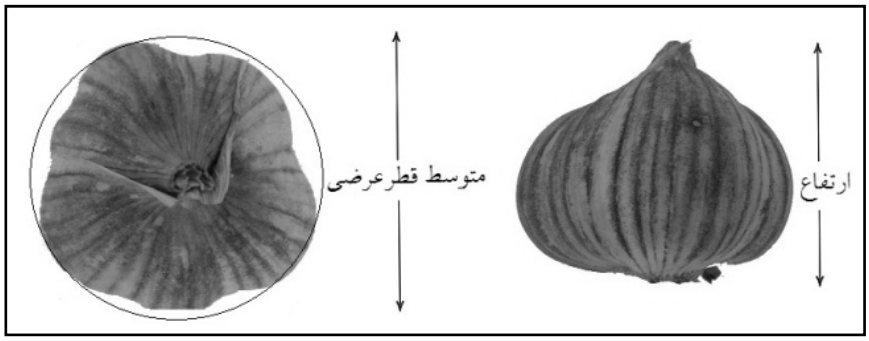
برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی در هر دورهٔ انبـارداری، تعـداد ۳ عـدد پیـاز سـیر در ۳ تکـرار بـه‌طـور تـصادفی از مجموعه سیرها انتخاب و سیرچه‌هـا جـدا شـدند و بعـد از پوست‌کنی، با ترازوی دیجیتال دقیـق شـیمادزو[1] بـا دقـت ۰/۰۰۱ گـرم تـوزین و در داخـل ظـروف شیـشه‌ای قـرار داده شدند.

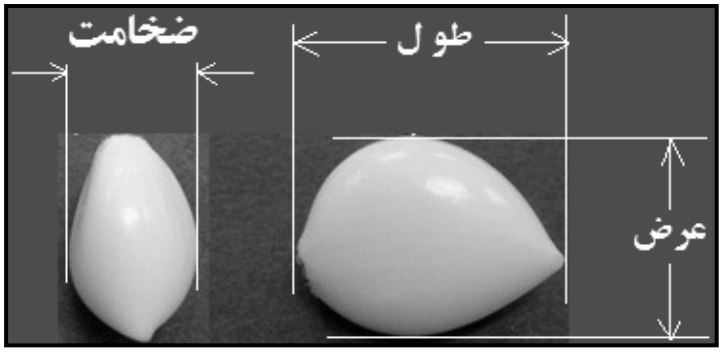
سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس برای خشک شـدن در اجـاق آزمایـشگاهی قـرار داده شدند (Masoumi *et al*., 2006).

تعیین خواص فیزیکی

ابعاد پیاز سیر با ضخامت T_b، متوسط قطر عرضـی D، و ابعـاد سـیرچه‌هـا بـه طـول L، عـرض W و ضـخامتT، مطـابق شـکل ۱ بـا کـولیس دیجیتـال بـا دقـت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

میانگین قطر متوسط حسابی، قطر متوسط هندسی، و ضـریب کرویـت از روابـط ۱ تـا ۳ بـرای پیـاز سـیر و از روابـط ۴ تـا ۶ بـرای سـیرچه‌هـا بـه‌دسـت آمـد (Stroshine & Hamann, 1994).





شکل ۱-ابعاد سه‌گانه پیاز سیر (بالا) و سیرچه (پایین)

1- Shimadzu Libror AEU-210

$$D_{ab} = \frac{2D + T_b}{3} \quad (۱)$$

$$D_{gb} = (D^2 \times T_b)^{\frac{1}{2}} \quad (۲)$$

$$\Phi_b = \frac{D_{gb}}{T_b} \quad (۳)$$

$$D_{ac} = \frac{W + T + L}{3} \quad (۴)$$

$$D_{gc} = (W \times T \times L)^{\frac{1}{3}} \quad (۵)$$

$$\Phi_c = \frac{D_{gc}}{L} \quad (۶)$$

که در آن،

D_{ab} = قطر متوسط حسابی پیاز سیر (میلی‌متر)؛ D_{gb} = قطر متوسط هندسی پیاز سیر (میلی‌متر)؛ D_{ac} = قطر متوسط حسابی سیرچه (میلی‌متر)؛ D_{gc} = قطر متوسط هندسی سیرچه (میلی‌متر)؛ Φ_b = ضریب کرویت پیاز سیر (درصد)؛ و Φ_c = ضریب کرویت سیرچه (درصد) است.

برای اندازه‌گیری حجم سیرچه‌ها از روش جابه‌جایی مایع استفاده شد (Stroshine & Hamann, 1994). بدین منظور ابتدا وزن هر سیرچه با ترازو اندازه‌گیری شد و با قرار دادن بشر محتوی آب روی ترازو و صفر کردن ترازو، وزن سیرچه‌ها در حالتی که توسط یک سوزن کوچک در آب غوطه‌ور نگه داشته شده بودند، محاسبه گردید. از اختلاف این دو عدد وزن آب هم حجم سیرچه و از این طریق حجم هر سیرچه تعیین شد. این آزمایش در سه مرحله با فاصلهٔ زمانی ۷۰ روز و در هر مرحله در ۵ تکرار انجام شد. با انجام این آزمایش‌ها امکان استخراج مدل رگرسیونی پیش‌بینی ابعاد اصلی و حجم سیرچه‌ها به‌صورت تابعی از مدت زمان انبارداری امکان‌پذیر گشت. برای محاسبهٔ چگالی تودهٔ پیاز سیر و سیرچه‌ها، مقداری پیاز سیر به‌طور تصادفی انتخاب شد و از ارتفاع ۰ سانتی‌متری به درون ظرف استوانه‌ای با حجم معلوم ریخته شد تا از سطح استوانه سرریز کند. سپس مقدار اضافه آن با کشیدن یک تخته چوبی مسطح در حالت مماس با سطح استوانه خارج شد. سپس وزن توده پیاز سیر موجود در استوانه با یک ترازوی مکانیکی به دقت ۱ یک گرم اندازه‌گیری و بر حجم استوانه تقسیم شد. این ویژگی فیزیکی می‌تواند برآوردی از حجم فضاهای خالی بین ذرات را در اختیار ما قرار دهد. از همین روش برای اندازه‌گیری چگالی توده پیازهای سیر نیز استفاده شد، با این تفاوت که برای محاسبهٔ چگالی تودهٔ سیرچه از استوانه‌ای با حجم کمتر استفاده شده بود.

از تقسیم وزن هر یک از سیرها بر حجم آن چگالی حقیقی سیر محاسبه شد (Rasekh, 2006). هرکدام از اندازه‌گیری‌ها برای محاسبه چگالی (توده و حقیقی) در ۵ تکرار انجام شد. در صد تخلخل (ε) نیز توسط رابطه ۷ برای سیرچه‌های غلاف‌دار محاسبه گردید (Mohsenin, 1978).

$$\varepsilon = (1 - \frac{D_b}{D_P}) \times 100 \quad (۷)$$

که در آن،

ε = در صد تخلخل؛ D_b = چگالی تودهٔ سیرچه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ و D_P = چگالی حقیقی سیرچه (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

تعیین خواص برشی

آزمون‌های برشی روی سیرچه‌های پوست‌کنده‌ای اجرا شد که به‌صورت تصادفی انتخاب شده بودند. برای این کار، ابعاد سیرچه‌ها بعد از انتخاب و پوست‌کنی با کولیس دیجیتال و با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. این سیرچه‌ها با دستگاه آزمون کشش ـ فشار (نوع STM 20, Santam 20) دارای فک مجهز به تیغهٔ برشی با زاویهٔ برش ۳۰ درجه و زاویهٔ تیزی ۲۰ درجه، در سه سرعت ۱۰، ۶۰، و ۱۱۰ میلی‌متر بر دقیقه تحت بارگذاری برشی قرار

گرفتند. برای برش کامل سیرچه‌ها از یک تکیه‌گاه برش چوبی استفاده شد. سیرچه‌ها در حالت پایدار روی تکیه‌گاه قرار گرفتند و دو سوزن آن‌ها را روی تکیه‌گاه بی حرکت نگه می‌داشت.

تیغه‌ها، قبل از شروع هر تکرار آزمون برشی، از شیرهٔ باقیمانده از برش قبلی تمیز و برای آزمون در هر سطح سرعت، تعویض می‌شدند. در هر تکرار از آزمون برشی، مساحت سطح تحت برش با آغشته کردن سطح مورد نظر با جوهر و اندازه‌گیری آن روی صفحهٔ کاغذ تعیین شد. مساحت به کمک پلانیمتر دیجیتال (نوع Placom, KP-90N) در ۵ تکرار برای هر تیمار، و به روش پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. پارامترهایی که از آزمون برشی روی سیرچه استخراج و مورد بررسی و پردازش قرار گرفتند عبارت‌اند از بیشینه نیروی لازم برای برش کامل سیرچه، متوسط انرژی لازم برای برش در واحد سطح مقطع، و متوسط نیروی لازم برای برش در واحد سطح مقطع سیرچه. برای محاسبهٔ نیرو و انرژی در واحد سطح مقطع و مستقل شدن پارامتر مکانیکی از ابعاد سیر، به اندازه‌گیری سطح مقطع نمونه برش خورده نیاز بود که به روش ذکر شده در فوق محاسبه گردید. انرژی برشی با محاسبهٔ سطح زیر منحنی نیروی جابه‌جایی حاصل از آزمایش برشی تعیین شد. بعد از اجرای آزمایش‌ها و دسته‌بندی داده‌ها و بر مبنای طرح آزمایشی کاملاً تصادفی، داده‌ها تحلیل شدند.

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس خواص فیزیکی روی سیرچه طی ۳ دورهٔ انبارداری (پس از برداشت، ۷۰ و ۱۴۰ روز پس از برداشت) در بخش نتایج آورده شده است.

نتایج و بحث

خواص فیزیکی

خواص سیرچهٔ بررسی شده در این پژوهش عبارت بودند از ابعاد اصلی (طول، عرض و ضخامت)، حجم، ضریب کرویت، قطر متوسط حسابی، قطر متوسط هندسی، چگالی توده، چگالی حقیقی (با غلاف و بدون غلاف)، و تخلخل با غلاف. و همچنین خواص بررسی شدهٔ سیر (شامل چندین سیرچه) عبارت‌اند از ابعاد اصلی (ارتفاع، متوسط قطر عرضی)، ضریب کرویت، قطر متوسط حسابی، قطر متوسط هندسی و چگالی توده.

جدول ۱ و ۲ نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس خواص فیزیکی را به‌ترتیب روی سیرچه و پیاز سیر طی ۳ دورهٔ انبارداری (پس از برداشت، ۷۰ روز پس از برداشت و ۱۴۰ روز پس از برداشت) نشان می‌دهند.

از جدول ۱ مشاهده می‌شود که دورهٔ انبارداری روی ویژگی‌های طول سیرچه، چگالی توده، چگالی حقیقی (با غلاف) و حجم سیرچه در سطح احتمال ۱ درصد و نیز روی قطر متوسط حسابی در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری دارد از جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود که دورهٔ انبارداری روی ویژگی‌های متوسط قطر عرضی و ضریب کرویت سیر در سطح احتمال ۱ درصد و نیز روی قطر متوسط حسابی و چگالی تودهٔ پیاز سیر در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری دارد. برای بررسی چگونگی تأثیر سطوح مختلف دورهٔ انبارداری بر خواص فیزیکی سیرچه و پیاز سیر مورد آزمون، مقایسهٔ میانگین چند دامنه‌ای دانکن اجرا شد که نتایج آن در شکل‌های ۲ تا ۶ برای سیرچه و در شکل‌های ۷ تا ۱۱ برای پیاز سیر آمده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس خواص فیزیکی روی سیرچه طی دورهٔ انبارداری

متغیر وابسته	منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات
طول سیرچه (میلی‌متر)	تیمار	۲	۶۱ /۷۵۳**
	خطای آزمایش	۸۷	۵/۶۷۰
	کل	۸۹	
عرض سیرچه (میلی‌متر)	تیمار	۲	۲۰/۸۲۶ n.s
	خطای آزمایش	۸۷	۷/۰۹۱
	کل	۸۹	
ضخامت سیرچه (میلی‌متر)	تیمار	۲	۰/۲۸۹ n.s
	خطای آزمایش	۸۷	۷/۰۸۱
	کل	۸۹	
چگالی تودهٔ سیرچه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	تیمار	۲	۰/۰۰۸**
	خطای آزمایش	۱۲	۰
	کل	۱۴	
چگالی حقیقی سیرچه با غلاف (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	تیمار	۲	۰/۰۳۸**
	خطای آزمایش	۱۲	۰/۰۰۳
	کل	۱۴	
چگالی حقیقی سیرچه بدون غلاف (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	تیمار	۲	۰/۰۱۷n.s
	خطای آزمایش	۱۲	۰/۰۰۵
	کل	۱۴	
تخلخل (درصد)	تیمار	۲	۵/۴۶۴n.s
	خطای آزمایش	۱۲	۷/۷۲۱
	کل	۱۴	
حجم (سانتی‌متر مکعب)	تیمار	۲	۷/۱۷۳**
	خطای آزمایش	۸۷	۱/۲۰۳
	کل	۸۹	
ضریب کرویت	تیمار	۲	۹۵/۳۵۳n.s
	خطای آزمایش	۸۷	۳۹/۶۸۳
	کل	۸۹	
قطر متوسط هندسی (میلی‌متر)	تیمار	۲	۱۳/۳۶۲n.s
	خطای آزمایش	۸۷	۴/۵۳۳
	کل	۸۹	
قطر متوسط حسابی (میلی‌متر)	تیمار	۲	۱۵/۷۹۹*
	خطای آزمایش	۸۷	۴/۲۲
	کل	۸۹	

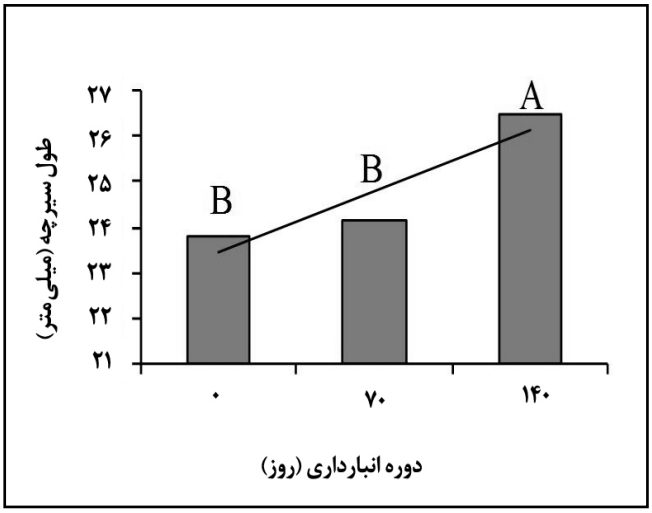
** : معنی‌دار در سطح ۱ درصد. * : معنی‌دار در سطح ۵ درصد. n.s : نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۲-نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس خواص فیزیکی روی پیاز سیر طی دورهٔ انبارداری

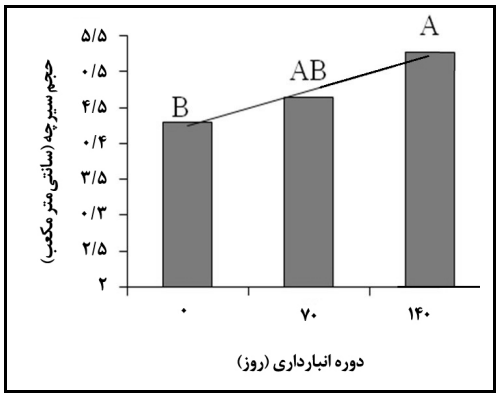
متغیر وابسته	منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات
ارتفاع سیر (میلی‌متر)	تیمار	۲	۶/۷۰۴ $^{n.s}$
	خطای آزمایش	۸۷	۱۱/۸۱۹
	کل	۸۹	
متوسط قطر عرضی (میلی‌متر)	تیمار	۲	۹۳/۶۱۶**
	خطای آزمایش	۸۷	۱۵/۱۰۳
	کل	۸۹	
چگالی تودهٔ سیر (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	تیمار	۲	۰/۰۰۵*
	خطای آزمایش	۱۲	۰/۰۰۱
	کل	۱۴	
ضریب کرویت سیر	تیمار	۲	۷۷/۶۵۳**
	خطای آزمایش	۸۷	۱۱/۹۹۲
	کل	۸۹	
قطر متوسط هندسی سیر (میلی‌متر)	تیمار	۲	۲۵/۲۹۴ $^{n.s}$
	خطای آزمایش	۸۷	۱۰/۶۷۶
	کل	۸۹	
قطر متوسط حسابی سیر (میلی‌متر)	تیمار	۲	۳۷/۸۹۲*
	خطای آزمایش	۸۷	۱۰/۸۱۰
	کل	۸۹	

** : معنی‌دار در سطح ۱ درصد. * : معنی‌دار در سطح ۵ درصد.n.s : نبود اختلاف معنی‌دار

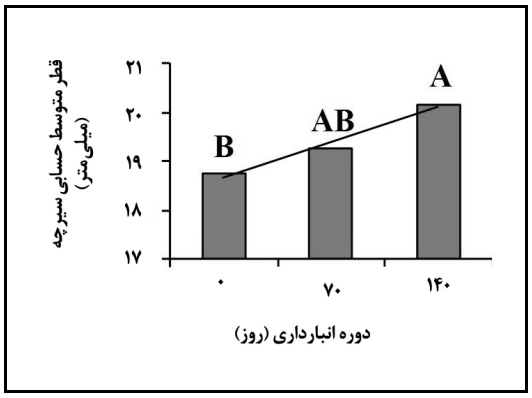
شکل‌های ۲، ۳، و ۴ به‌ترتیب مقایسهٔ میانگین بین مقادیر طول، حجم، و قطر متوسط حسابی سیرچه‌ها در دوره‌های مختلف انبارداری و روند افزایشی آنها را نشان می‌دهند.



شکل ۲-میانگین طول سیرچه‌ها در دوره‌های مختلف انبارداری

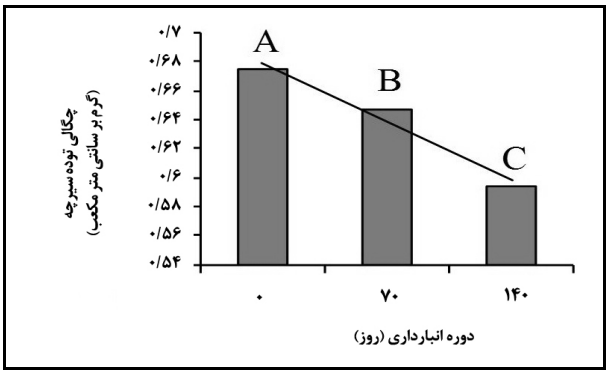


شکل ۳-میانگین حجم سیرچه‌ها در دوره‌های مختلف انبارداری

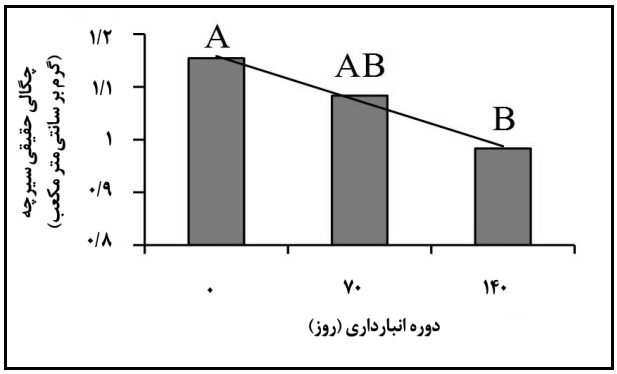


شکل ٤-میانگین قطر متوسط حسابی سیرچه در دوره‌های مختلف انبارداری

شکل‌های ۵ و ۶ به‌ترتیب مقایسهٔ میانگین چگالی توده و چگالی حقیقی سیرچه‌ها با غلاف را در دوره‌های مختلف انبارداری و روند کاهشی آنها را نشان می‌دهند.



شکل ۵-میانگین چگالی تودهٔ سیرچه‌ها در دوره‌های مختلف انبارداری



شکل ٦-میانگین چگالی حقیقی سیرچه‌ها در دوره‌های مختلف انبارداری

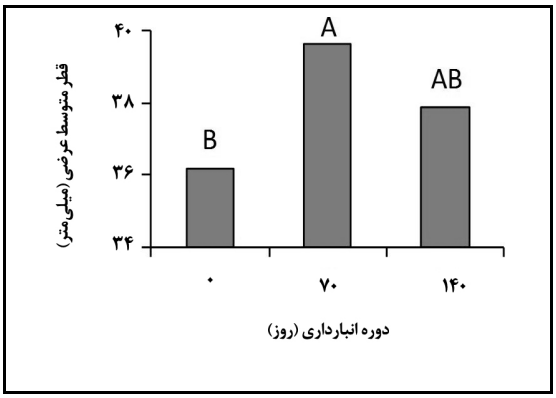
دلیل افزایش میانگین طول سیرچه، حجم سیرچه، قطر متوسط حسابی و نیز کاهش چگالی توده و چگالی حقیقی سیرچه و دلیل افزایش رطوبت نسبی سیرچه‌ها طی دورهٔ انبارداری اول تا سوم، جذب رطوبت محیط توسط سیرچه‌ها برای جوانه‌زدن و رشد جوانه در داخل سیرچه با گذشت زمان است و افزایش حجم در مقایسه با افزایش جرم در اثر افزایش رطوبت بیشتر بوده که نتیجهٔ آن کاهش چگالی توده شده است. یادآوری می‌شود که رطوبت نسبی سیرچه‌ها بر پایهٔ وزن‌تر در دورهٔ انبارداری اول، ۵۸/۲۳ درصد، در دورهٔ انبارداری دوم، ۶۰/۹۷ درصد و در دورهٔ انبارداری سوم، ۶۳/۶۴ درصد اندازه‌گیری شد. بنابر مشاهدات، مساحت سطح مقطع قطر جوانه در دورهٔ انبارداری دوم، ۱۲ برابر و در دورهٔ انبارداری سوم، ۳۴ برابر بزرگتر از مقدار آن در دورهٔ انبارداری اول شده بود.

(Adel, 2007)، (Masoumi *et al.*, 2006) و همچنین (Hacıseferogulları *et al.*, 2004) برخی خواص فیزیکی سیر را اندازه‌گیری کردند که نتایج کمی‌حاصل از آزمایش‌های آنها با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش تا حدی متفاوت و دلیل آن تأثیر عامل دورهٔ انبارداری و رقم محصول بر خواص فیزیکی سیر است.

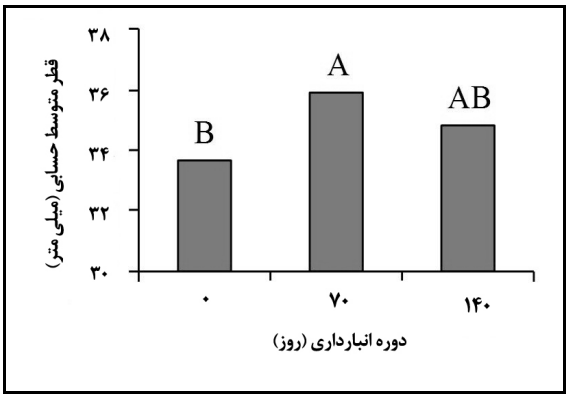
با این همه، روند تغییرات به‌دست آمده با نتایج تحقیقات پژوهشگران ذکر شده مطابقت می‌کند. همچنین گفتنی است که در هیچ یک از تحقیقات فوق، اثر عامل دورهٔ انبارداری در نظر گرفته نشده ولی نشان داده شده است که مقدار رطوبت محصول، تأثیر معنی‌داری بر خواص فیزیکی سیر دارد که این نتایج با مقایسه با تغییرات مقدار رطوبت سیر در دوره‌های مختلف انبارداری با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش منطبق است.

در شکل‌های ۷ و ۸، میانگین قطر عرضی و قطر حسابی پیاز سیر نشان داده شده است.

در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که با گذشت زمان، متوسط قطر عرضی و متوسط قطر حسابی سیر افزایش می‌یابد که علت آن‌ها افزایش حجم سیرچه با گذشت زمان است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ میانگین ضریب کرویت و چگالی توده سیر نشان داده شده است.

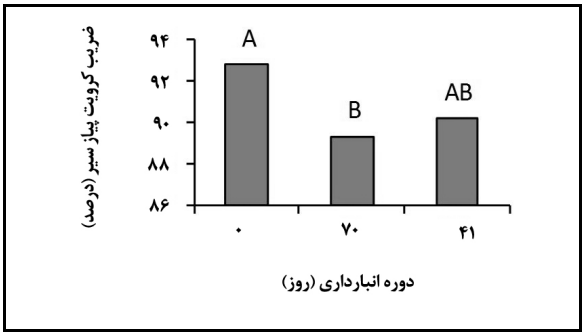


شکل ۷-میانگین قطر عرضی پیاز سیر

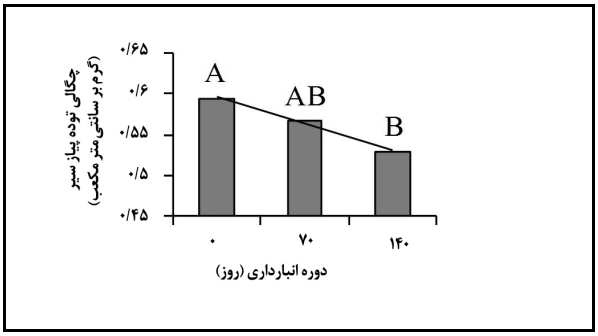


شکل ۸-میانگین قطر حسابی پیاز سیر در دوره‌های مختلف انبارداری

شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند که با گذشت زمان، چگالی توده و ضریب کرویت پیاز سیر کاهش می‌یابد. علت کاهش ضریب کرویت پیاز سیر، افزایش قطر عرضی و ثابت ماندن ارتفاع آن است، دلیل کاهش چگالی تودهٔ پیاز سیر نیز افزایش حجم سیرچه‌های آن به دلیل رشد جوانه‌ها با گذشت زمان است. عادل (Adel, 2007) و معصومی (Masoumi *et al.*, 2006) هم برخی خواص فیزیکی سیر را اندازه‌گیری کردند که نتایج به‌دست آمده از این آزمایش‌ها تا حد زیادی با نتایجی که (Adel, 2007) به‌دست آورده است مطابقت دارد.



شکل ۹-میانگین ضریب کرویت سیر در دوره‌های مختلف انبارداری



شکل ۱۰-میانگین چگالی تودهٔ سیر در دوره‌های مختلف انبارداری

نتایج آزمون برشی روی سیرچه

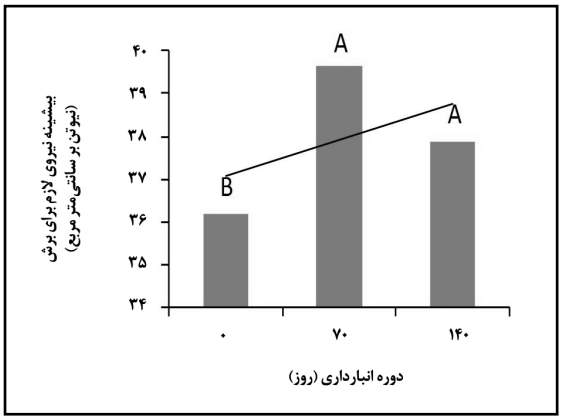
به‌منظور تعیین سطح احتمال معنی‌دار بودن دوره‌های مختلف انبارداری بر پارامترهای آزمون برشی سیرچه، از آزمون مقایسهٔ میانگین چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد که نتایج آن در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ آورده شده است.

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس بیشینه نیروی لازم برای برش کامل سیرچه را نشان می‌دهد که طبق آن، دورهٔ انبارداری تنها عاملی است که بر بیشینهٔ نیروی لازم برای برش کامل سیرچه دارای تأثیر معنی‌داری است.

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس بیشینه نیروی لازم برای برش کامل سیرچه

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات
دورهٔ انبارداری	۲	۳۳/۱۸۹**
سرعت بارگذاری	۲	۰/۲۶۹n.s
سرعت بارگذاری× دورهٔ انبارداری	۴	۱/۱۸۸n.s
خطا	۷۲	۱/۰۸

** : معنی‌دار در سطح ۱ در صد. * : معنی‌دار در سطح ۵ در صد. n.s : نبود اختلاف معنی‌دار



شکل ۱۱-تغییرات بیشینه نیروی لازم برای برش کامل سیرچه در دوره‌های مختلف انبارداری

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که با گذشت زمان، بیشینهٔ نیروی لازم برای برش کامل سیرچه افزایش می‌یابد که این افزایش پس از سپری شدن دورهٔ انبارداری اول و رسیدن به دورهٔ انبارداری دوم معنی‌داری است ولی با گذشت زمان و رسیدن به دورهٔ انبارداری سوم معنی‌دار نیست. می‌توان این مطلب را به رشد جوانه در داخل سیرچه و افزایش قطر آن طی دوره‌های انبارداری و مقاوم-تر بودن بافت جوانه نسبت به برش، مربوط دانست.

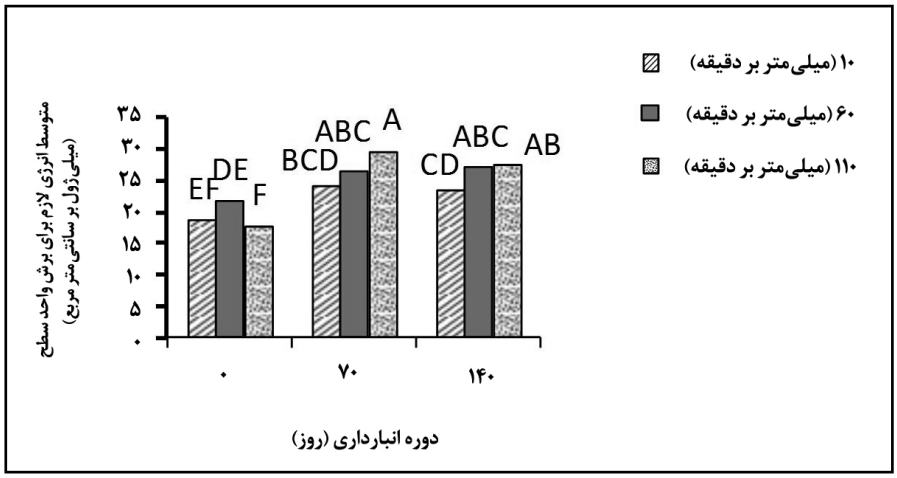
جدول ۴، نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس متوسط انرژی لازم برای برش واحد سطح را نشان می‌دهد که طبق آن دورهٔ انبارداری و سرعت بارگذاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل دوتایی سرعت بارگذاری و دورهٔ

انبارداری در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌دار دارند. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت بارگذاری در هر دورهٔ انبارداری مقدار انرژی لازم برای برش واحد سطح سیرچه افزایش می‌یابد. به دلیل اثر متقابل سرعت بارگذاری و دورهٔ انبارداری، این موضوع در دورهٔ انبارداری اول و برای سرعت ۱۱۰ میلی‌متر بر دقیقه صادق نیست.

جدول ٤-نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس متوسط انرژی لازم برای برش واحد سطح سیرچه

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات
دورهٔ انبارداری	۲	۴۹۹/۵۲**
سرعت بارگذاری	۲	۸۰/۱۹۲**
سرعت بارگذاری× دورهٔ انبارداری	۴	۴۱/۵۳۰*
خطا	۷۲	۱۳/۵۱

** : معنی‌دار در سطح ۱ در صد * : معنی‌دار در سطح ۵ در صد. n.s : نبود اختلاف معنی‌دار



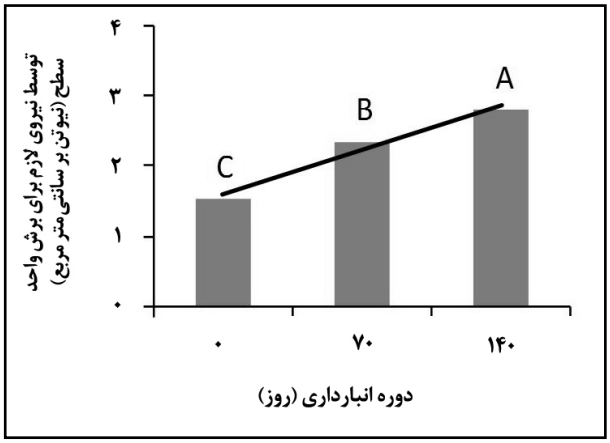
شکل۱۲-مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دورهٔ انبارداری در سرعت بارگذاری بر متوسط انرژی لازم برای برش واحد سطح سیرچه

این شکل نشان می‌دهد که با گذشت زمان مقدار متوسط انرژی لازم برای برش واحد سطح سیرچه نیز افزایش می‌یابد. دلیل این رفتار سیرچه، افزایش رطوبت محصول و نیز رشد جوانهٔ داخل سیرچه است؛ رطوبت بیشتر، شیرهٔ چسبنده را در سیرچه افزایش می‌دهد که نتیجهٔ آن افزایش اصطکاک تیغه و سطح تحت برش سیرچه است.

نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس متوسط نیروی لازم برای برش واحد سطح سیرچه نشان می‌دهد که دورهٔ انبارداری تنها عاملی است که بر متوسط نیروی لازم برای برش واحد سطح سیرچه دارای تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است و اثر سرعت بارگذاری و اثر متقابل سرعت بارگذاری و دورهٔ انبارداری معنی‌دار نیستند.

متوسط نیروی لازم برای برش واحد سطح با بیشینهٔ نیروی برشی نسبت مستقیم دارد، و از این رو، همانند بیشینهٔ نیروی لازم برای برش کامل سیرچه، تنها دورهٔ انبارداری بر مقدار نیروی لازم برای برش واحد سطح دارای اثر معنی‌داری است، اما با آزمون مقایسهٔ میانگین بر خلاف بیشینه نیروی لازم برای برش کامل سیرچه تمام دوره‌های انبارداری دارای اختلاف معنی‌داری در مقدار متوسط

نیروی لازم برای برش واحد سطح هستند به‌طوری که طبق شکل ۴ با گذشت زمان طی دورهٔ انبارداری اول تا سوم مقدار متوسط نیروی لازم برای برش واحد سطح افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳- تغییرات متوسط نیروی لازم برای برش در واحد سطح مقطع نسبت به دورهٔ انبارداری

در جدول شماره ۵ روابط رگرسیونی بین دورهٔ انبارداری و خواص فیزیکی سیرچه و سیر و خواص برشی سیرچه نشان داده شده است.

جدول ۵- روابط رگرسیونی بین دورهٔ انبارداری و خواص فیزیکی سیر و سیرچه و خواص برشی سیرچه

ضریب تبیین	رابطه رگرسیونی	متغیر وابسته
$R^2 = ۰/۸۴۹$	$y = ۰/۰۲۲۲۷x + ۲۳/۵۲$	طول سیرچه
$R^2 = ۰/۹۲۵$	$y = ۰/۰۰۷x + ۴/۲۹$	حجم سیرچه
$R^2 = ۰/۹۷۸$	$y = ۰/۰۱۰۴۴۳x + ۱۸/۷۱$	قطر متوسط حسابی سیرچه
$R^2 = ۰/۹۶۴$	$y = -۰/۰۰۰۵۹۴x + ۰/۶۷۳$	چگالی تودهٔ سیرچه
$R^2 = ۰/۹۹۱$	$y = -۰/۰۰۱۲۵x + ۱/۱۵۱$	چگالی حقیقی سیرچه
$R^2 = ۰/۹۹۵$	$y = -۰/۰۰۰۴۶۷x + ۰/۵۹۷$	چگالی تودهٔ سیر
$R^2 = ۰/۹۲۵$	$y = ۰/۰۱۴x + ۲/۷۶۶$	بیشینه نیروی لازم برای برش سیرچه
$R^2 = ۰/۹۷۴$	$y = ۰/۰۰۹x + ۱/۵۹۷$	متوسط نیروی لازم برای برش واحد سطح سیرچه

نتیجه‌گیری

خصوصیات فیزیکی سیر مانند حجم، طول، و قطر متوسط حسابی سیرچه و نیز متوسط قطر عرضی و قطر متوسط حسابی سیر با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند اما ضریب کرویت سیر کاهش می‌یابد. در طراحی دستگاه‌های فرآوری سیر مانند پوست‌کن‌ها، دستگاه‌های جداسازی، درجه‌بندی و طراحی حجم انبارهای نگهداری محصول و نیز در طراحی حجم بسته‌های مورد نیاز برای بسته‌بندی، توجه به آن دسته از خصوصیات فیزیکی این محصول که با گذشت زمان افزایش می‌یابند اهمیت دارد.

از مشخصاتی مانند چگالی تودهٔ سیرچه و پیاز سیر و نیز چگالی حقیقی سیرچه، بیشتر می‌توان برای تعیین کیفیت محصول استفاده کرد. با توجه به اینکه با گذشت زمان، چگالی تودهٔ سیرچه و سیر و چگالی حقیقی سیرچه کم می‌شود، می‌توان با اندازه‌گیری چگالی تودهٔ سیرچه یا پیاز سیر و یا با اندازه‌گیری چگالی حقیقی سیرچه برای تشخیص کیفیت محصول و تعیین زمان سپری شده از دورهٔ انبارداری آن استفاده کرد.

با گذشت زمان قطر جوانه افزایش می‌یابد و حالت سفت‌تری در مرکز سیرچه ایجاد می‌شود، از این رو بیشینهٔ نیروی لازم برای برش کامل سیرچه و انرژی لازم برای برش واحد سطح سیرچه افزایش می‌یابد. بنابراین، در طراحی آن دسته از دستگاه‌های فرآوری سیرچه که به برش سیرچه نیاز است پیشنهاد می‌شود این فرآوری در دورهٔ انبارداری اول اجرا شود که سیرچه مقاومت برشی کمتری دارد، جوانه هنوز تشکیل نشده است، و در نتیجه انرژی کمتری مصرف می‌شود. گفتنی است که کیفیت غذایی محصول در این دوره نیز بیشتر است.

مراجع

Anon, 2011. Garlic. Available at: Http://www.foodna.ir/20993-fa.html.

Adel, H.B. 2007. Some physical and mechanical properties of garlic. Int. J. Food. Eng. 3(6): Art. 7.

Baryeh, E.A. 2000. Strength properties of Avocado pear. J. Eng. Res. 76, 389-397.

Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Kumar, p. and Walia, H. 2007. Physical and mechanical properties of aonla fruits. J. Food. Eng. 82, 595-599.

Hacıseferogulları, H., Ozcan, M., Demir, F. and Calısır, S. 2004. Some nutritional and technological properties of garlic (*Allium sativum* L.). J. Food. Eng. 68, 463-469.

Kramkowski, R., Kaminski, E. and Serowik, M. 2001. Effect of moisture content and temperature of garlic on its specific heat. EJPAU. 4 (2): Art.6.

Masoumi, A.A., Rajabipoor, A., Tabil, L.G. and Akram, A.A. 2006. Physical attributes of garlic (*Allium sativum* L.). J. Agric. Sci. Technol. 8,15-23.

Mohsenin, N.N. 1978. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 1st Ed. Gordon and Breach, New York. USA.

Rasekh, M. 2006. Effective parameters in gravity separator apparatus of Sunn pest-damaged wheat. PhD Thesis. Tarbiat Modares University. Iran.

Stroshine, R. and Hamann, D. 1994. Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. 1st Ed. West Lafayette. Indiana.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.12/No.3/2011/P: 71-84*

Effect of Storage Period on the Physical and Mechanical Properties of Garlic

R. Majdi, M. Rasekh* and A. H. Afkari Sayyah

* Corresponding Author: Assistant professor, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, P.O. Box: 179, Email: ma_rasekh1349@yahoo.com.au
Received: 16 Augest 2010, Accepted: 4 March 2011

Physical and cutting tests were performed at 70-day intervals on a variety of local garlic maintained at three different storage periods to determine the physical properties of garlic bulbs and cloves and the cutting properties of garlic cloves The height, mean width diameter, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, bulk density and sphericity of the bulbs were measured and determined. These values were, respectively, 27.81-28.72 mm, 36.11-37.88 mm, 33.65-34.52 mm, 33.39-34.10 mm, 90.24%-92.48%, and 529.6-594.6 Kg/m^3. The length, width, thickness, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, sphericity, bulk density, particle density, porosity and volume for cloves were also calculated. The results showed that storage period has a significant effect on the mean width diameter, arithmetic mean diameter and bulk density of the bulbs and also on the length, bulk density, particle density, volume and arithmetic mean diameter of the cloves. Cutting tests are performed at three loading speeds and three storage periods. The maximum cutting force required to complete cutting of the cloves was 2.28-4.79 N and the mean energy required to complete cutting of the cloves per unit area was 17.297-29.270 mJ/mm^2. The mean force required to complete cutting of the cloves per unit area was 1.44^{2-}2.98 N/mm^2. Storage period had a significant effect on the cutting properties of the cloves.

Keywords: Cutting test, garlic, physical properties, storage period