Archive of SID

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 3, No. 2, Fall - Winter 2013, p. 133-143

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۳، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۲، ص ۱۴۳-۱۳۳

بررسی تأثیر میزان غلظت کلریدکلسیم دوآبه بر برخی خواص مکانیکی سیب طی دوره انبارمانی

مصطفی جعفریان[۱،۴*] - حسن صدرنیا[۲] - محمدحسین آق خانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۳

چکیده

امروزه استفاده از مواد پوششی جهت حفظ کیفیت محصولاتی که دوره انبارمانی دارند، مرسوم است. تحقیقات گذشته نشان داده است ترکیبات کلسیم موجب بهبود و حفظ استحکام دیواره سلولی می‌گردد. بر این اساس در این تحقیق اثر غلظت ماده پوشاننده کلریدکلسیم دوآبه بر دو واریته سیب زرد و قرمز لبنانی مورد بررسی قرار گرفت. سیب‌ها با عمل غوطه‌وری در محلول کلریدکلسیم دوآبه تحت تیمار پوششی قرار گرفتند و به سردخانه منتقل شدند و اثر غلظت‌های مختلف محلول کلریدکلسیم دوآبه (۰، ۳ و ۶ درصد) و مدت زمان نگهداری در انبار (بدون انبارمانی، ۱ و ۲ ماه) بر خواص مکانیکی سیب شامل مدول الاستیسیته، تنش تسلیم، کرنش تسلیم و چقرمگی بررسی شدند. نتایج به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر غلظت کلریدکلسیم دوآبه بر مدول الاستیسیته در سطح ۵٪ و بر تنش تسلیم در سطح ۱٪ معنی‌دار است، لیکن اثر غلظت کلریدکلسیم دوآبه بر دو خاصیت چقرمگی و کرنش تسلیم معنی‌دار نشد. میانگین تنش تسلیم در سه غلظت ۰، ۳ و ۶ درصد کلریدکلسیم دوآبه به ترتیب ۱۷۸، ۱۸۳ و ۱۹۳ کیلو پاسکال به دست آمد که در مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن، افزایش معنی دار ($P<0/01$) کلیه سطوح استفاده از کلریدکلسیم دوآبه بر تنش تسلیم بافت سیب مشاهده گردید. همچنین مدت انبارمانی بر مدول الاستیسیته، تنش تسلیم و کرنش تسلیم در سطح ۱٪ و بر چقرمگی در سطح ۵٪ معنی‌دار است. فاکتور رقم نیز اثر معنی‌داری بر روی تمام خواص مکانیکی دارد. هیچ کدام از آثار متقابل رقم در غلظت و رقم در انبارمانی بر روی مدول الاستیسته و چقرمگی معنی‌دار نشده است.

واژه های کلیدی: پس از برداشت، تغییرات مدول الاستیسیته، مواد پوشاننده، نگهداری

مقدمه

سیب به عنوان یک محصول کشاورزی پر اهمیت، در کشور ما از حجم تولید بسیار بالایی برخوردار است ولی متأسفانه به دلیل کمبود سردخانه و بعد مسافت تا مراکز مصرف و نگهداری، سالانه مقدار زیادی ضایعات به همراه دارد که ۳۰٪ محصول تولیدی را شامل می‌شود. شناخت خواص انباری محصول و نحوه حفظ یا تغییر آن‌ها در جهت اهداف مورد نظر در فرآیندهای گوناگون می‌تواند در حفظ کمی و کیفی محصول نهایی و همچنین انتخاب شرایط بهینه تأثیر زیادی داشته باشد. استفاده از مواد پوششی یکی از متداول‌ترین روش‌ها، برای افزایش عمر انباری محصولات باغی بوده است (Jafarian *et al*., 2011).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در زمینه استفاده از مواد پوششی در طی دوره انبارداری محصولات کشاورزی انجام شده است. کاشانی‌نژاد و همکاران در تحقیقی تأثیر نفوذ تحت فشار کلرورکلسیم بر افزایش دوام انباری مهم‌ترین ارقام سیب کشور را مورد بررسی قرار دادند؛ و گزارش نمودند که با افزایش عمق غوطه‌وری میزان سفتی در کلیه ارقام افزایش یافته و بین نمونه‌های تیمار شده و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بررسی تغییرات میزان سفتی میوه در زمان‌های مختلف نشان داد که با افزایش زمان نگهداری در انبار مقدار سفتی آن کاهش می‌یابد و کمترین مقدار سفتی مربوط به ۵ ماه نگهداری در انبار است (Kashaninejad *et al*., 2005). حسینی فرهی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر غلظت‌های صفر، ۱، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد کلریدکلسیم بر سفتی دو رقم سیب رد دلیشز و گلدن دلیشز پرداختند و گزارش نمودند بیشترین سفتی بافت مربوط به غلظت ۷/۵ درصد کلریدکلسیم و در رقم رد دلیشز است. سایبولسکا و همکاران (۲۰۱۱) اثر کلسیم بر خواص مکانیکی سیب و دیواره سلولی را بررسی نمودند، آن‌ها دریافتند اضافه کردن کلسیم باعث افزایش تنش شکست بافت سیب و دیواره سلولی می‌شود.

استفاده از کلریدکلسیم برای حفظ و بهبود کیفیت سایر

۱، ۲ و۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناس ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- مدرس دانشکده فنی پروفسور حسابی شیروان
(*- نویسنده مسئول: Email: mostafa.jafarian1@gmail.com)

www.SID.ir

Archive of SID

محصولات کشاورزی نظیر انار (Ranjbar *et al*., 2007)، هلو (Gholamian *et al*., 2008) گلابی (Nikkhah *et al*., 2011)، توت فرنگی (Lolaei *et al*., 2011) و گوجه فرنگی (Henareh *et al*., 2010) گزارش شده است. پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که کلسیم نقش مهمی در فعل و انفعالات منجر به رسیدگی، پیری، تنفس، جلوگیری از بروز بیماری و ممانعت از تولید اتیلن دارد.

بررسی‌های انجام شده در تحقیقات گذشته نشان داد تاکنون از ترکیب کلرید کلسیم دوآبه[1] به عنوان ماده پوشاننده استفاده نشده است. این ماده کاملاً خوراکی است و نسبت به سایر ترکیبات کلسیم ارزان‌تر و استفاده از آن راحت‌تر است. همچنین تحقیقی در خصوص بررسی تأثیر ترکیبات کلسیم بر خواص مکانیکی بافت میوه سیب به طور کامل مشاهده نشد، لذا هدف از انجام این تحقیق مقایسه خصوصیات مکانیکی سیب شامل تنش تسلیم، کرنش تسلیم، مدول الاستیسیته و چقرمگی قبل و بعد از دوره انبارمانی تحت تیمارهایی از غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها

برای تهیه نمونه‌ها، مستقیماً به باغی واقع در شمال شهرستان شیروان مراجعه شد و تعداد ۳۶۰ نمونه از ارقام سیب زرد لبنانی و قرمز لبنانی انتخاب گردید. لازم به ذکر است، کلیه مشخصات و تاریخچه باغ مذکور معلوم بود. تمام نمونه‌ها از لحاظ سلامتی و آسیب دیدگی بررسی گردیدند. انتخاب نمونه‌ها در هر دو رقم بر اساس شاخص‌های رسیدگی موجود در منابع به طریقی صورت گرفت که تمام ارقام، در یک سطح رسیدگی قرار داشتند. وزن نمونه‌های انتخاب شده، بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ گرم بود. برای چشم پوشی از تأثیر پارامتر شرایط محیط نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط یکسان محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس بعد از اعمال تیمار ماده پوششی کلریدکلسیم دوآبه، برای گذران دوره انبارمانی به سردخانه منتقل گردیدند. درجه حرارت سردخانه مذکور، ۳ تا ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن ۳±۸۷ درصد بود. تمام آزمایش‌ها با استفاده از امکانات و تجهیزات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

پوشش نمونه‌ها با کلریدکلسیم دوآبه

برای تهیه ماده پوششی، از نمک کلریدکلسیم دوآبه محصول شرکت مرک[2] آلمان استفاده شد. محلول کلریدکلسیم دوآبه در دو غلظت ۳٪ و ۶٪ فراهم شد. نمونه‌ها درون محلول به مدت ۳ دقیقه غوطه‌ور شدند. به منظور غوطه‌ور شدن یکنواخت میوه‌ها، با وزنه فشار به روی میوه‌ها وارد می‌شد. سپس میوه‌ها، از محلول کلریدکلسیم دوآبه خارج شده و در هوای آزاد خشک شدند و درون سبدهای پلاستیکی ۱۰ کیلوگرمی به همراه پوشال چیده شدند و به سردخانه منتقل گردیدند. برای بررسی و مقایسه با حالت بدون اعمال تیمار کلریدکلسیم دوآبه، تعداد ۶۰ نمونه نیز همراه سایر نمونه‌ها درون سردخانه به عنوان نمونه شاهد قرار گرفت، که در این تحقیق از تیمار فوق‌الذکر با عنوان غلظت صفر درصد یاد می‌گردد.

نحوه اندازه‌گیری پارامترهای خواص مکانیکی

به منظور تعیین خواص مکانیکی، آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌های استوانه‌ای از میوه سیب انجام شد. برای تهیه نمونه‌های استوانه‌ای ابتدا ابزار نمونه‌گیر خاصی ساخته شد که از یک لوله استیل به قطر ۱۰ میلی‌متر تشکیل شده بود و لبه برنده آن با دقت زیادی تیز شده بود و مطابق شکل ۱ به سه نظام یک دستگاه دریل برقی دستی بسته شد و دریل بر روی یک عدد پایه کوچک ثابت گردید. برای انجام آزمایش، ابتدا نقطه‌ای در قسمت میانی میوه به طور تصادفی علامت گذاری می‌گردید، سپس دریل روشن می‌شد و نوک نمونه گیر بر روی نقطه علامت گذاری شده از سیب قرار داده می‌شد و با دسته اهرمی که جهت بالا و پایین بردن دریل بر روی پایه تعبیه شده بود، دریل پایین می‌رفت و با نفوذ نمونه‌گیر در درون بافت سیب نمونه‌هایی به شکل استوانه با قطر متوسط ۱۰ میلی‌متر از بافت سیب تهیه می‌شد و درون نمونه گیر قرار می‌گرفت، که برای خارج کردن آن از داخل نمونه‌گیر، جهت از بین بردن اثر فشار دست بر روی نمونه از فشار باد استفاده می‌شد. در نهایت با برش عمودی آن‌ها، نمونه‌های استوانه‌ای از گوشت سیب با میانگین قطر ۱۰ میلی‌متر و میانگین ارتفاع ۱۵ میلی‌متر برای انجام آزمایش آماده بودند.

شکل ۱– روش تهیه نمونه‌ها برای تعیین خواص مکانیکی

Fig.1. Sample preparation method for the determination of mechanical properties

جهت انجام آزمایش فشار بر روی نمونه‌های گرفته شده از میوه‌های سیب از دستگاه آزمون کشش و فشار مدل H5KS شرکت

1- $CaCl_2$-$2H_2O$
2- Merck

www.SID.ir

Archive of SID

هانسفیلد[1] با ماکزیمم ظرفیت نیروسنجی ۵۰۰۰ نیوتن، مجهز به لودسل[2] ۲۵ کیلوگرم و دقت ۰/۰۰۱ نیوتن در نیرو و ۰/۰۰۱ میلی‌متر در تغییر شکل استفاده شد.

پس از آماده شدن نمونه‌ها، جهت انجام آزمایش‌ها از استاندارد آزمون مواد غذایی انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا استفاده شد (ASAE, 2008). سرعت بارگذاری در این تحقیق برابر ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد. نمونه استوانه‌ای شکل بین دو پروب صفحه‌ای قرار داده شد. در حین آزمایش، نمودار نیرو-جابجایی محصول برای تمام نمونه‌ها به دست آمد. شکل ۲ نحوه انجام آزمایش تعیین خواص مکانیکی را نشان می‌دهند.

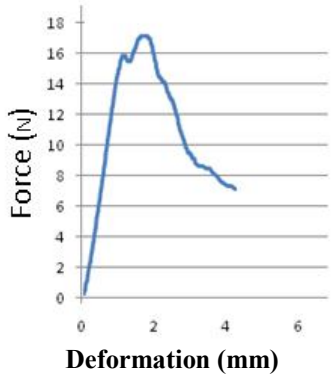
شکل ۲- تست فشار بر روی نمونه‌های استوانه‌ای میوه سیب

Fig.2. Compression test on cylindrical samples of apple fruit

در آزمایش فشار تک محوری چهار خاصیت مهم مکانیکی شامل تنش تسلیم، کرنش تسلیم، مدول الاستیسیته و چقرمگی برای هر دو رقم سیب در سه ماه متوالی از نمودار نیرو- تغییر شکل طبق روش آبوت و لوو (۱۹۹۶) به دست آمدند. نمونه‌ای از نمودارهای آزمایش فشار تک محوری نمونه‌های استوانه‌ای از سیب در شکل ۳ نشان داده شده است.

روش تحلیل و تجزیه نتایج

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی ۲×۳×۳، ۲ رقم (زرد لبنانی، قرمز لبنانی) × ۳ دوره انبارمانی (بدون انبارمانی، ۱ و ۲ ماه انبارمانی) × ۳ غلظت ماده پوشاننده (۰، ۳ و ۶ درصد)، با ۲۰ تکرار انجام شد و تجزیه و تحلیل آماری نتایج در نرم افزار SPSS V16.0 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام پذیرفت.



شکل ۳ - منحنی نیرو- تغییر شکل در آزمایش فشار تک محوری نمونه استوانه‌ای از سیب زرد لبنانی

Fig.3. Diagram of force-deformation in uniaxial test on cylindrical samples of golden delicious apple

نتایج و بحث

تغییرات مدول الاستیسیته

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر مدول الاستیسیته سیب بر حسب کیلوپاسکال در جدول ۱ نشان داده شده است. اثرات اصلی فاکتورهای رقم و مدت انبارمانی و نیز اثر سه‌گانه رقم × غلظت × انبارمانی بر مدول الاستیسیته بافت سیب در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است. اثر غلظت کلریدکلسیم دوآبه بر این خاصیت در سطح ۵٪ معنی‌دار شده است.

مقایسه میانگین‌های مدول الاستیسیته به کمک آزمون دانکن در سطوح مختلف رقم، غلظت و مدت انبارمانی در جدول ۲ نشان داده شده است. تفاوت مدول الاستیسیته سیب بین غلظت ۰٪ و ۶٪ کلریدکلسیم دوآبه با یکدیگر قابل توجه است، لیکن بین این دو غلظت با غلظت ۳٪ کلریدکلسیم دوآبه تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود. همچنین میزان مدول الاستیسیته سیب برای زمان‌های انبارمانی یک ماه و دو ماه با یکدیگر تفاوت‌های قابل توجهی دارند. ولی بین زمان انبارمانی یک ماه و بدون انبارمانی، تفاوت چندانی وجود ندارد. از طرفی برای تیمارهای بدون انبارمانی در کلیه غلظت‌ها حروف مشترک به چشم می‌خورد که این حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد.

تغییراتی که در مدول الاستیسیته بافت ارقام سیب بر اثر غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه و همچنین دوره‌های مختلف انبارمانی مشاهده می‌شود، ناشی از تغییر در فشار تورم سلولی، اندازه سلول‌ها و ضخامت دیواره سلولی است.

1- Hounsfield Co
2- Load cell

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ – نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان مدول الاستیسیته سیب

Table 1- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on modulus of elasticity of apple

مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variations
22.73 **	3669063.6	1	رقم
4.071*	655814.5	2	غلظت کلریدکلسیم دوآبه
21.07**	3394773.7	2	مدت انبارمانی
1.729ns	278620.4	2	رقم * غلظت
1.282ns	206490.9	2	رقم * انبارمانی
1.116ns	179854.7	4	غلظت * انبارمانی
4.669**	752302.6	4	رقم * غلظت * انبارمانی
	161112.868	342	خطا

** اثر معنی دار در سطح ۱٪،* اثر معنی‌دار در سطح ۵٪ و ns اثر معنی‌دار ندارد.

**,* and ns: Significant at 1%, 5% of probability levels and non-significant respectively.

جدول۲ – اثر متقابل رقم× غلظت × مدت انبارمانی بر مدول الاستیسیته بافت سیب (kPa)

Table 2- Interaction effects of variety, concentration and duration of the storage on modulus of elasticity of apple (kPa)

غلظت ٦٪ 6% concentration			غلظت ۳٪ 3% Concentration			غلظت ۰٪ 0% Concentration			رقم variety
انبارمانی۲ماه 2month storage	انبارمانی۱ماه 1month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی۲ماه 2month storage	انبارمانی۱ماه 1month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی۲ ماه 2month storage	انبارمانی۱ ماه 1month storage	بدون انبارمانی None storage	
1767.42^{def}	2049.65^{fg}	2130.11^{g}	1824.33^{def}	1885.41^{efg}	2015.44^{fg}	1482.03^{abc}	1879.76^{def}	1952.54^{efg}	لبنانی زرد Golden delicious
1548.78^{abc}	1827.98^{def}	1884.39^{efg}	1324.31^{a}	1674.56^{bcde}	1180.11^{a}	1753.64^{cdef}	1419.71^{ab}	1856.02^{efg}	لبنانی قرمز Red delicious

میانگین‌های با حروف مشترک دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ نیستند.

Means with the same letters are not significantly different in 1% level.

در صورتی که ضخامت دیواره سلولی افزایش یابد سلول نیروی بیشتری را می‌تواند تحمل کند و از طرفی، افزایش اندازه سلول باعث کاهش تحمل آن به نیروهای مکانیکی می‌شود. همچنین افزایش فشار تورم سلولی که از افزایش غلظت کلریدکلسیم دوآبه ناشی می‌شود، باعث بالا رفتن مدول الاستیسیته بافت سیب می‌شود. در غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه، با افزایش مدت انبارمانی مقدار مدول الاستیسیته سیب غالباً کاهش می‌یابد. لیکن با افزایش این ماده پوشاننده، میزان مدول الاستیسیته میوه سیب افزایش یافته است. علت این افزایش تشکیل پل کلسیم در پکتین است، که باعث افزایش استحکام میوه می‌شود (Cybulska *et al*., 2011).

همچنین از این نتایج این گونه بر می‌آید که مدول الاستیسیته سیب رقم لبنانی قرمز، کمتر از لبنانی زرد می‌باشد. بیشترین میزان مدول الاستیسیته به مقدار ۲۱۳۰kPa در سیب لبنانی زرد و با غلظت ۶٪ محلول کلریدکلسیم دوآبه و بدون طی مدت انبارمانی رخ داده است؛ و همچنین کمترین مقدار آن به میزان ۱۳۲۴kPa برای سیب قرمز لبنانی و با غلظت ۳٪ محلول کلریدکلسیم دوآبه و طی ۲ ماه انبارمانی ایجاد شده است. مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش دادند مدول الاستیسیته برای رقم زرد لبنانی همواره در طی دوره‌های مختلف انبارمانی کاهش داشته است. اما رقم قرمز لبنانی در طی یک دوره انبارمانی ۶ ماهه، در دو ماه اول افزایش یافته و سپس مقدار آن در ماه‌های بعدی سیر نزولی داشته است. مقادیر به دست آمده برای مدول الاستیسیته سیب، در دامنه‌ی ذکر شده برای مدول الاستیسیته

www.SID.ir

Archive of SID

ارقام مختلف سیب قرار دارند (Mohsenin, 1972; Abbott and lu, 1996).

تغییرات تنش تسلیم

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر تنش تسلیم سیب بر حسب مگاپاسکال در جدول ۳ نشان داده شده است. اثرات اصلی فاکتورهای رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی و نیز اثر دوگانه رقم × انبارمانی و اثر سه‌گانه رقم × غلظت × انبارمانی بر تنش تسلیم بافت سیب در سطح ۱٪ معنی دار شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داده است، اثر متقابل رقم در انبارمانی برای تنش تسلیم معنی‌دار شده است، که این نتیجه به کمک آزمون دانکن در شکل ۴ نشان داده شده است. این بدان معناست که تغییرات تنش تسلیم در ارقام مختلف تحت تأثیر انبارمانی قرار گرفته است. مقادیر تنش تسلیم در هر سه دوره انبارمانی برای سیب زرد لبنانی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار دارند. لیکن در سیب قرمز لبنانی علی رغم این‌که مقدار تنش تسلیم برای انبارمانی دو ماه و بدون انبارمانی اختلاف معنی‌دار دارند، اما هر کدام از این دو دوره انبارمانی با مدت انبارمانی یک ماه اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند. همچنین همواره تنش تسلیم سیب قرمز لبنانی کمتر از زرد لبنانی بوده است.

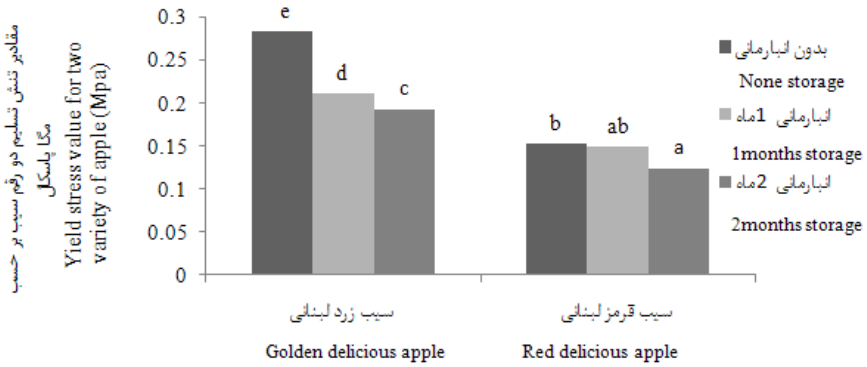
جدول۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان تنش تسلیم سیب (MPa)

Table 3- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on yield stress of apple (MPa)

مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variations
437.58**	0.672	1	رقم
5.096**	0.008	2	غلظت کلریدکلسیم دوآبه
62.99**	0.097	2	مدت انبارمانی
0.105^{ns}	1.6063E-4	2	رقم *غلظت
38.77**	0.0595	2	رقم * انبارمانی
4.409*	0.0067	4	غلظت * انبارمانی
5.178**	0.0079	4	رقم * غلظت * انبارمانی
	0.002	342	خطا

** اثر معنی دار در سطح ۱٪،* اثر معنی‌دار در سطح ۵٪ و ns اثر معنی‌دار ندارد.

**,* and ns: Significant at 1%, 5% of probability levels and non-significant respectively.



میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل٤ – تغییرات تنش تسلیم–دوره انبارمانی در ارقام متفاوت

Fig.4. Diagram of yield stress- duration of the storage in different varieties

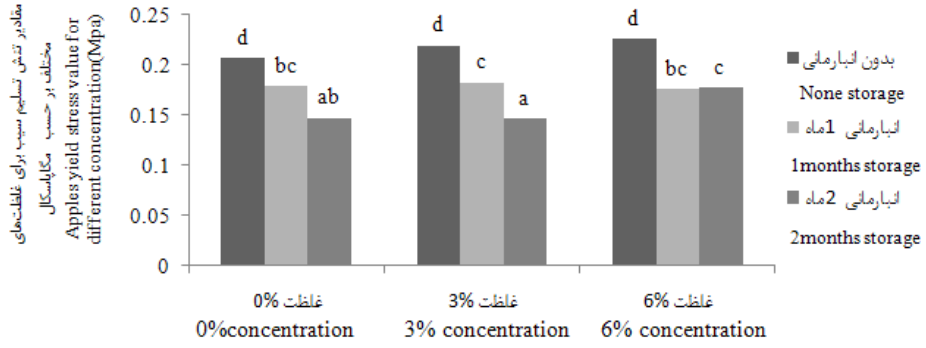
www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اینکه نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داده است که اثر متقابل غلظت در انبارمانی برای تنش تسلیم معنی‌دار است، به کمک آزمون دانکن مبادرت به مقایسه میانگین‌ها شده است که نتایج این مقایسه در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۵ استنتاج می‌شود، بین غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه در حالت بدون انبارمانی، اختلاف معنی‌دار مشاهده نمی‌شود. همچنین برای غلظت ۳٪ هر سه دوره انبارمانی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. از طرفی به طور کلی با افزایش غلظت کلریدکلسیم دوآبه در هر سه دوره انبارمانی، اغلب مقادیر تنش تسلیم افزایش پیدا می‌کند.

نتیجه گیری که از جدول ۴ حاصل می‌شود این است که در اکثر تنش‌های تسلیم سیب برای زمان‌های بدون انبارمانی و انبارمانی یک ماه و دو ماه با یکدیگر تفاوت‌های قابل توجهی دارند. از طرفی برای تیمارهای بدون انبارمانی در کلیه غلظت‌ها حروف مشترک به چشم می‌خورد که این حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد. دلیل این امر به خاطر زمان کوتاه بین تیمار دهی با کلرید کلسیم دوآبه به عنوان پوشاننده و انجام آزمون تعیین خواص مکانیکی است که موجب عدم تأثیر تیمارهای غلظت کلرید کلسیم در حالت بدون انبارمانی شده است.

کمترین و بیشترین مقدار تنش تسلیم بر حسب مگاپاسکال، به ترتیب ۰/۱۰۴ و ۰/۲۹۲ مشاهده می‌شود، که به ترتیب در سیب قرمز لبنانی با غلظت ۳ درصد و ۲ ماه انبارمانی و سیب زرد لبنانی با غلظت ۶ درصد و بدون انبارمانی رخ داده است. میانگین تنش تسلیم در سه دوره بدون انبارمانی، یک ماه و دو ماه انبارمانی بر حسب مگاپاسکال به ترتیب ۰/۲۱۷۴، ۰/۱۷۹۴ و ۰/۱۵۷۱ به دست آمد، علت اولیه نرم شدن میوه سیب طی دوره انبارمانی، حل شدن پلیمرهای پکتین در تیغه میانی است.



میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ۵ – تغییرات تنش تسلیم– دوره انبارمانی در غلظت‌های متفاوت

Fig.5. Diagram of yield stress- duration of the storage in different concentrations

جدول٤– مقایسه میانگین‌های تنش تسلیم با انبارمانی در غلظت‌های مختلف برای دو رقم سیب (MPa)

Table 4- Comparison of means of yield stress with storing in different concentration for two varieties of apple (MPa)

غلظت ۰٪ 0% Concentration			غلظت ۳٪ 3% Concentration			غلظت ٦٪ 6% concentration			رقم variety
بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۱ ماه 1 month storage	انبارمانی ۲ ماه 2 month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۱ماه 1 month storage	انبارمانی ۲ماه 2 month storage	بدون انبارمانی None storage	انبارمانی ۱ماه 1 month storage	انبارمانی ۲ماه 2 month storage	
0.277^{g}	0.201^{ef}	0.174^{cd}	0.279^{g}	0.213^{ef}	0.188^{de}	0.292^{g}	0.217^{f}	0.197^{def}	لبنانی زرد Golden delicious
0.136^{b}	0.107^{a}	0.157^{bc}	0.159^{bc}	0.153^{bc}	0.104^{a}	0.149^{bc}	0.136^{b}	0.157^{bc}	لبنانی قرمز Red delicious

میانگین‌های دارای حروف مشترک دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ نیستند.

Means with the same letters are not significantly different in 1% level.

www.SID.ir

Archive of SID

تیغه میانی اولین لایه تشکیل یافته بعد از تقسیم سلولی است که غنی از مواد پکتینی است و موجب تماس و چسبیدن سلول‌ها به یکدیگر می‌شود (Kashaninejad *et al.*, 2005). می‌توان نتیجه گرفت که سیب‌ها در طی دوره انبارمانی استحکام خود را از دست می‌دهند، که این استنتاج با نتایج مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. میانگین تنش تسلیم در سه غلظت ۰، ۳ و ۶ درصد کلریدکلسیم دوآبه بر حسب مگاپاسکال به ترتیب ۰/۱۷۷۸، ۰/۱۸۲۹ و ۰/۱۹۳۲ به دست آمد، با توجه به اینکه کلسیم عامل اتصال دهنده بین مولکولی است که به ترکیبات پکتین در تیغه میانی ثبات می‌بخشد، با برقرار کردن اتصالات عرضی در پلیمرهای پکتین، مقاومت آن‌ها را افزایش می‌دهد (Redalen *et al.*, 1988).

همچنین به طور کلی با طی زمان انبارمانی، مقادیر تنش تسلیم کاهش می‌یابد، که با نتیجه کلی که مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) گرفتند، تطابق دارد. اما در مورد رقم قرمز لبنانی در حالت تیمار نشده، پس از کاهش مقدار تنش تسلیم در ماه اول، افزایش آن در ماه بعدی مشاهده می‌شود که با روندی که مسعودی و همکاران گزارش نمودند، همخوانی دارد.

تغییرات کرنش تسلیم

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر کرنش تسلیم سیب بر حسب درصد آن در جدول ۵ نشان داده شده است. اثرات اصلی فاکتورهای رقم و مدت انبارمانی و اثر دوگانه رقم × انبارمانی و غلظت × انبارمانی بر کرنش تسلیم بافت سیب در سطح یک درصد معنی دار شده است.

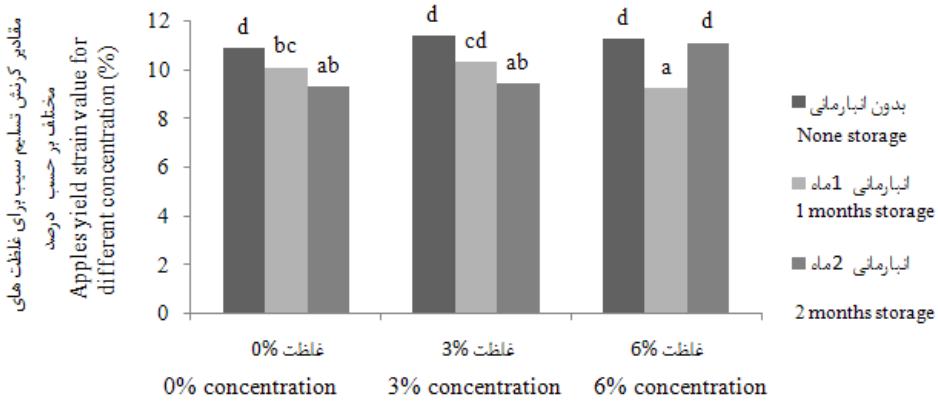
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان درصد کرنش تسلیم سیب

Table 5- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on yield strain of apple

مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variations
256.581**	1189.505	۲۱	رقم
0.038^{ns}	0.1753	2	غلظت کلریدکلسیم دوآبه
11.529**	53.447	2	مدت انبارمانی
2.189ns	10.150	2	رقم *غلظت
31.595**	146.474	2	رقم * انبارمانی
4.813**	22.312	4	غلظت * انبارمانی
1.3^{ns}	6.025	4	رقم * غلظت * انبارمانی
	4.636	342	خطا

** اثر معنی دار در سطح ۱٪،* اثر معنی‌دار در سطح ۵٪ و ns اثر معنی‌دار ندارد.

**,* and ns: Significant at 1%, 5% of probability levels and non-significant respectively.



میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دانکن دارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ٦- تغییرات کرنش تسلیم- دوره انبارمانی در غلظت‌های متفاوت

Fig.6. Diagram of yield strain- duration of the storage in different concentrations

www.SID.ir

Archive of SID

به کمک آزمون دانکن مطابق شکل ۶ مقایسه‌ای بین مقادیر میانگین کرنش تسلیم برای دوره‌های انبارمانی مختلف و غلظت‌های مختلف، صورت گرفت.

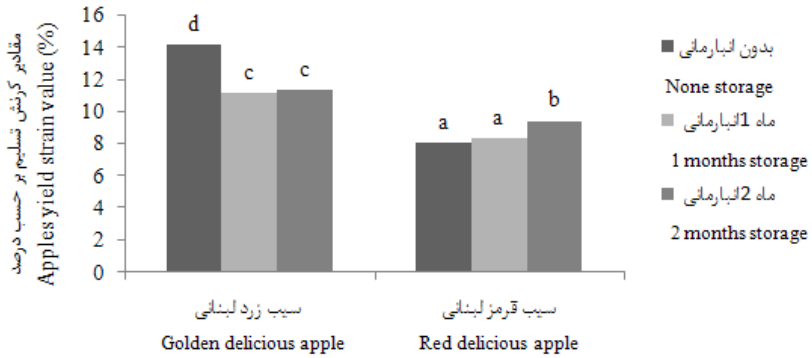
با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که در غلظت صفر درصد، بین دوره‌های انبارمانی یک ماه و دو ماه اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، لیکن هر دوی این دوره‌های انبارمانی با حالت بدون انبارمانی اختلاف معنی‌دار دارند. در غلظت ۳٪ بین حالت بدون انبارمانی و انبارمانی یک ماه اختلاف معنی‌دار مشاهده نمی‌شود، در صورتی که هر دوی این دوره‌ها با انبارمانی ۲ ماه اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. روند عمومی کاهش مقدار کرنش تسلیم برای دو غلظت صفر و ۳٪ با سیر نزولی که مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) برای مقادیر کرنش در سه ماه نگه‌داری در سردخانه برای دو رقم گرانی‌اسمیت و رد دلیشز به دست آوردند، مطابقت دارد. اما در غلظت ۶٪ یک ماه انبارمانی نسبت به بدون انبارمانی دارای کرنش کمتری می‌باشد، لیکن پس از دو ماه انبارمانی مقدار کرنش افزایش می‌یابد، که این روند با روند رقم گلدن دلیشز تحقیق مسعودی و همکاران مطابقت دارد. لازم به ذکر است که ایشان از هیچ‌گونه ماده پوششی استفاده نکرده بودند، و فقط اثر زمان‌های مختلف نگه‌داری در انبار را بر خواص مکانیکی سیب بررسی نمودند.

باز هم به دلیل معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم در انبارمانی در تجزیه واریانس برای کرنش تسلیم، جهت بهتر نمایاندن این اثر، مطابق شکل ۷ مبادرت به مقایسه میانگین کرنش تسلیم برای دو رقم و انبارمانی‌های مختلف شد. در سیب زرد لبنانی، برای مدت نگهداری یک ماه و دو ماه اختلاف معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نگردید، اما هر دوی این زمان‌ها با حالت بدون انبارمانی اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. در سیب قرمز لبنانی، بین زمان بدون انبارمانی و انبارمانی یک ماه اختلاف معنی‌دار نیست، اما هر دوی این زمان‌ها با زمان دو ماه انبارمانی اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. نتیجه دیگری که از شکل ۷ گرفته می‌شود این است که مقادیر کرنش تسلیم برای سیب زرد لبنانی بیش از سیب قرمز لبنانی می‌باشد که بیانگر تردی بیشتر آن است.

میانگین درصد کرنش تسلیم سیب زرد و قرمز لبنانی برای دوره‌های انبارمانی مختلف و همچنین غلظت‌های کلریدکلسیم دوآبه به ترتیب به مقدار ۱۲/۱ و ۸/۷۲ بر حسب درصد به دست آمد. از آنجا که رقم زرد لبنانی دارای درصد کرنش تسلیم بیشتری نسبت به رقم قرمز لبنانی می‌باشد، بنابراین مقاومت و انعطاف پذیری آن در برابر اعمال نیروهای خارجی بیشتر می‌باشد؛ و در اثر اعمال نیروهای خارجی نسبت به رقم قرمز لبنانی، در محدوده تغییر شکل‌های بزرگ‌تر، آسیب کمتری می‌بینند. این نتایج با آزمایش‌های مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. مقادیر میانگین درصد کرنش تسلیم برای غلظت‌های ۳،۰ و ۶ درصد به ترتیب ۱۰/۰۶، ۱۰/۳۵ و ۱۰/۵۱ بر حسب درصد می‌باشد. این روند نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کلریدکلسیم دوآبه مقادیر کرنش تسلیم نیز افزایش پیدا می‌کند، چاردوننت و همکاران (۲۰۰۳)، تجمع کلسیم را در غشای دیواره سلولی دلیل افزایش کرنش تسلیم اعلام کردند.

تغییرات چقرمگی

خلاصه نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت کلریدکلسیم دوآبه و مدت انبارمانی بر میزان چقرمگی سیب در جدول ۶ نشان داده شده است. اثر اصلی فاکتور رقم بر میزان چقرمگی در سطح یک درصد معنی دار شده است.



میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ۷- تغییرات کرنش تسلیم- دوره انبارمانی در ارقام متفاوت

Fig.7. Diagram of yield strain- duration of the storage in different varieties

www.SID.ir

Archive of SID

جدول٦- نتایج تجزیه واریانس تأثیر رقم، غلظت و مدت انبارمانی بر میزان چقرمگی سیب

Table 6- ANOVA results of effects of variety, concentration and duration of the storage on toughness of apple

مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
F-value	**Mean squares**	**Degree of freedom**	**Source of variations**
35.8**	0.0076	1	رقم
1.88^{ns}	3.994E-4	2	غلظت کلریدکلسیم دوآبه
4.11*	8.7402E-4	2	مدت انبارمانی
0.874^{ns}	1.855E-4	2	رقم *غلظت
2.398^{ns}	5.092E-4	2	رقم * انبارمانی
1.399^{ns}	2.9701E-4	4	غلظت * انبارمانی
0.773^{ns}	1.642E-4	4	رقم * غلظت * انبارمانی
	2.123E-4	342	خطا

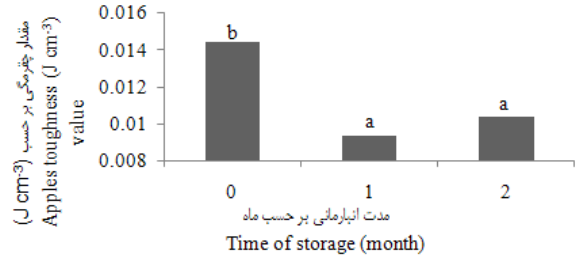
** اثر معنی دار در سطح ۱٪،* اثر معنی‌دار در سطح ۵٪ و ns اثر معنی‌دار ندارد.

**,* and ns: Significant at 1%, 5% of probability levels and non-significant respectively.

با توجه به اینکه اثر انبارمانی بر چقرمگی معنی‌دار است، به کمک آزمون دانکن به مقایسه میانگین چقرمگی در سه دوره انبارمانی پرداخته شد که نتایج آن در شکل ۸ نشان داده شده است. این شکل گویای این مطلب است که با توجه به تفاوت عددی بین چقرمگی‌های یک ماه و دو ماه، از نظر آماری متفاوت نیستند، لیکن هر دو این مقادیر با مقدار چقرمگی در حالت بدون انبارمانی از نظر آماری متفاوت هستند. مسعودی و همکاران (۲۰۰۶) نیز به روند مشابه در تغییرات چقرمگی برای سیب گلدن دلیشز و رد دلیشز رسیدند. اما میزان افزایش چقرمگی در ماه دوم در تحقیق ایشان، بیشتر از تحقیق حاضر بود، که دلیل این تفاوت به احتمال زیاد، تفاوت در نحوه کشت ارقام و تفاوت‌های منطقه‌ای می‌باشد.

میانگین مقدار چقرمگی در رقم سیب قرمز لبنانی ابتدا ۰/۰۳۳J cm^{-3} به دست آمد و با گذشت یک ماه مقدار آن به ۰/۰۱۹J cm^{-3} کاهش یافت و همچنین در ماه دوم به مقدار ۰/۰۶۹J cm^{-3} افزایش یافت. میانگین مقدار چقرمگی در رقم سیب زرد لبنانی ابتدا ۰/۰۱۸۲ J cm^{-3} به دست آمد و با گذشت یک ماه مقدار آن به ۰/۱۰۷۳ J cm^{-3} کاهش یافت و همچنین در ماه دوم به مقدار ۰/۰۲۷۷J cm^{-3} افزایش یافت از این تغییرات چنین بر می‌آید که در ابتدای دوره انبارمانی کار مورد نیاز برای ایجاد کوفتگی در میوه سیب کم و در ماه بعد بیشتر است (Mohsenin, 1972 ; Masoudi *et al.*, 2006)

کاهش اغلب مقادیر خواص مکانیکی بررسی شده در این تحقیق در طی دوره انبارمانی، به نظر می‌رسد به دلیل رسیده‌تر شدن سیب‌ها و تبدیل درصد بیشتری از نشاسته آن‌ها به قند باشد. این موضوع با نتایج آبوت و لوو (۱۹۹۶) که معتقدند رسیدگی به طور معنی داری بر خواص مکانیکی سیب‌ها تأثیر دارد، مطابقت دارد.



میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different in 1% level.

شکل ۸- تغییرات چقرمگی در طی مدت انبارمانی

Fig.8. Diagram of toughness-duration of the storage

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری کلی

۱- استفاده از پوشش کلریدکلسیم دوآبه با غلظت۶٪ قبل از آغاز دوره انباری در حفظ خصوصیات مکانیکی سیب مؤثر است.

۲- در غلظت‌های مختلف کلریدکلسیم دوآبه، با افزایش مدت انبارمانی مقدار مدول الاستیسیته سیب غالباً کاهش می‌یابد. لیکن با افزایش غلظت این ماده پوشاننده، میزان مدول الاستیسیته میوه سیب افزایش یافته است. علت این افزایش تشکیل پل کلسیم در پکتین است، که باعث افزایش استحکام میوه می‌شود.

۳- از آنجا که مقادیر تنش تسلیم و مدول الاستیسیته سیب رقم زرد لبنانی بیش از قرمز لبنانی است، می‌توان نتیجه گرفت که این رقم سفت‌تر است و در برابر بارهای خارجی بهتر مقاومت می‌کند.

۴- میانگین تنش تسلیم در سه دوره بدون انبارمانی، یک ماه و دو ماه انبارمانی بر حسب مگاپاسکال به ترتیب ۰/۲۱۷۴، ۰/۱۷۹۴ و ۰/۱۵۷۱ به دست آمد، با توجه به این روند می‌توان نتیجه گرفت که سیب‌ها در طی دوره انبارمانی استحکام خود را از دست می‌دهند.

۵- به دلیل اینکه رقم زرد لبنانی نسبت به رقم قرمز لبنانی دارای کرنش تسلیم بیشتری است، می‌توان نتیجه گرفت که انعطاف پذیری آن در برابر بارهای خارجی بیشتر است و در محدوده‌ی بیشتری از بارهای خارجی سالم می‌ماند.

۶- از تغییرات میزان چقرمگی سیب چنین برمی‌آید که در ابتدای دوره انبارمانی کار مورد نیاز برای ایجاد کوفتگی در میوه سیب بیشتر از ماه‌های بعد است، لذا احتمال کوفتگی سیب بعد از انبارمانی کمتر از سیب تازه است.

منابع

1. Abbott, J. A., R. Lu. 1996. Anisotropic mechanical properties of apple. Transaction of the ASABE 39: 1451-1459.
2. American Society of Agricultural Engineering, ASAE standard, Compression test of food material of convex shape. ASAE S368.4 DEC2000 (R2008).
3. Cybulska, J., A. Zdunek, and K. Konstankiewicz. 2011. Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. Food Engineering 102: 217-223.
4. Gholamian, M., N. Moalemi, N. Alemzadeh ansari, and M. Sadrzadeh. 2008. Effect of $cacl_2$ and UV-C irradiation on quality and storage life of peach fruits (CV.'elberta'). Horticultural Science and Technology 9(1): 35-44. (In Farsi).
5. Henareh, M., H. Zhale Rezaei, H. Dolati Baneh, and A. R. Motalebi Azar. 2010. Effects of calcium chloride spraying and cultivar on the shelf life of tomato. Food Research 3(1): 47-56. (In Farsi).
6. Hosseini Farahi, M., A. Aboutalebi, Kh. Panahi Kordlaghari. 2008. Study on the changes of post harvest red and golden delicious apple flesh firmness in relation with rootstock, cultivar and calcium chloride treatments. Pajouhesh and Sazandegi No. 78: 74-79. (In Farsi).
7. Jafarian, M. H. Sadrnia, and M. H. Aghkhani. 2011. Analysis of ventilation system of apple cool storage and simulation with fluent software 20^{th} national food science and industries congress. Tehran, Iran. (In Farsi).
8. Jafarian, M., H. Sadrnia, and M. H. Aghkhani. 2011. Study the effect of $cacl_2.2H_2o$ on chemical properties of apple in different conditions of storage. 20^{th} national food science and industries congress. Tehran, Iran. (In Farsi).
9. Kashaninejad, H., H. Pourazarang, A. Mortazavi, Y. Maghsoudlou. 2005. Effect of pressure infiltration of calcium chloride on shelf life elongation of apple varieties. Agricultural Sciences and Natural Resources 3: 52-60. (In Farsi).
10. Lolaei, A., M. Mostafavi, and S. Samavat. 2011. The investigation of the application of calcium chloride and boric acid effect on vegetative and productive growth and shelf life of Selva cultivar Strawberry. Plant Production 23(3): 60-66. (In Farsi).
11. Masoudi, H., A. Tabatabaeefar, A. M. Borghei. 2006. Mechanical properties of three varieties of apples after five months storage. Agricultural Engineering Research 7: 61-74. (In Farsi).
12. Mitcham, E., C. Crisosto, and A. Kadar. 2009. Department of plant sciences. University of California. http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/ Fruit/golden.shtml.
13. Mohsenin, N. N. 1972. Mechanical properties of fruits and vegetables review of a decade of research applications and future needs. Transactions of the ASABE 15: 1064-1070.

www.SID.ir

Archive of SID

14. Nikkhah, S. H. 2011. Effects of harvesting date and $CaCl_2$ concentration on storage quality of pear (Cv. "Spadona" and cv. "Coscia"). Horticultural Science 25(3): 243-250. (In Farsi).
15. Ranjbar, H., M. Hasanpour, M. A. Asgari, H. Sameei Zadeh, and A. Baniasadi. 2007. The effects of calcium chloride, hot water treatment and polyethylene bag packaging on the storage life and quality of pomegranate (Cv: Malas- Saveh). Food Science and Technology 4(9): 1-9. (In Farsi).
16. Redalen, A. S. N., E. M. Glenn. 1988. Effect of calcium on cell wall structure, Protein phosphorilation and protein profile in senescing apples. Plant and cell physiology 29: 565-572.

www.SID.ir