پیش‌بینی طول دوره انبارمانی سیب زمینی با استفاده از پردازش سیگنال‌های صدا

رسول کریمی[1]، محمد ابونجمی[2]، سیدرضا حسن بیگی[3]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ؛ rasul.karimi68@ut.ac.ir
[2]دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ؛ abonajmi@ut.ac.ir
[3]استاد، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ؛ rhbeigi@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تاثیر شرایط نگهداری سیب زمینی در دو شرایط یکی محیط آزمایشگاه با دمای بین ۲۵تا۴۰درجه سلسیوس و دیگری داخل یخچال با دمای بین ۴ تا۱۰درجه سلسیوس(دمای داخل یخچال ثابت فرض شد) مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمون آکوستیک از سامانه‌ای متشکل از یک لب تاپ همراه دستگاه صدا سنج برای دریافت صدای حاصل از ضربه - سطح چوبی - نرم افزار کول ادیت برای ثبت و ذخیره سازی سیگنال به صورت فایل (.wav) - نرم افزار متلب جهت تحلیل و انتقال سیگنال‌ها از حوضه زمان به حوضه فرکانس با تبدیل فوریه سریع(FFT) استفاده شد. تعداد ۱۴ عدد سیب زمینی (واریته مارفونا) با رنج وزنی ۱۳۰تا ۲۲۰گرم برای انجام آزمایشات انتخاب شد. رابطه بین زمان انبارمانی در طول دوره ۱۵روز با سیگنال‌ها به دست آمده از آزمون آکوستیک (AE) مورد بررسی قرارگرفت که نتایج نشان دادند با گذشت زمان فرکانس طبیعی نمونه سیب زمینی‌ها مورد آزمون ابتدا ثابت بعد کاهش می‌یابد، دلیل آن از دست رفتن رطوبت در طول دوره نگهداری در دو شرایط ذکر شده و کاهش وزن نمونه‌ها می‌تواند باشد. نمودارهای به دست آمده از داده‌های آزمون نشان دهنده رابطه بین فرکانس و میزان کاهش وزن در اثر تعرق و تنفس سیب زمینی‌ها با ضریب سفتی بافت سیب زمینی دارد.

کلمات کلیدی: آزمون آکوستیک (AE)، انبارمانی، سیب زمینی، دما، صدا

Prediction of potato in the Period duration Storage Life by using Sound signal processing

Rasul karimi[1], Mohammad Aboonajmi[2], Seyed Reza Hasanbeygi[3]

[1]Department of Agrotechnology, Abouraihan Campus, University of Tehran, rasul.karimi68@ut.ac.ir
[2]Department of Agrotechnology, Abouraihan Campus, University of Tehran, abonajmi@ut.ac.ir
[3]Department of Agrotechnology, Abouraihan Campus, University of Tehran, rhbeigi@ut.ac.ir

ABSTRACT

In this research, the effect of potato storage conditions was investigated in two conditions in a laboratory environment with a temperature between 25 ° C and 40 ° C and in a refrigerator at a temperature between 4 ° C and 10 ° C (constant temperature in the refrigerator and refrigerator). To perform an acoustic test of systems consisting of a laptop with a sound meter for receiving sound of impact - a wooden surface – Coole Eadit software for recording and storing a signal in the form of a file (.wav) - MATLAB software for analysis and transmission Signals were used from the time zone to the Frequency Frequency FFT (FFT). A total of 14 potatoes (varieta marfona) with a weight range of 130-220 g were selected for testing. The relationship between storage time over a 15-day period with signals obtained from acoustic test (AE) was investigated. The relationship between storage life time over a 15-day period with signals obtained from acoustic test (AE) was investigated. The results showed that, over time, the natural frequency of potato specimens was first fixed and then lowered, This is due to the loss of moisture during the maintenance period in both of these conditions and the weight loss of the specimens. The graphs obtained from the test data show the relationship between the frequency and weight loss due to transpiration and potato breathing and the potato tissue firmness coefficient.

Keywords: Acoustic Emission Test, Storage Life, Potato, Temperature,Sound

۱- محمد ابونجمی، گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۳۳۹۱۶۵۳۷۵۵ تلفن و نمابر: ۳۶۰۴۰۶۱۴ - ۰

۱- مقدمه

طول دوره انبارمانی سیب زمینی تا حدود زیادی به دمای محل نگهداری، کیفیت محصول و واریته بستگی دارد(**Beukema & van der Zaag**). سفتی یکی از خصوصیات داخلی میوه است که در طول انبارداری تغییر می‌کند(**Gómez, Wang, & Pereira**). در این پژوهش از روش صوتی برای تشخیص سفتی بافت استفاده شد و رابطه سفتی با سیگنال‌های صوتی ساطع شده از سیب زمینی در طی رها شدن سیب زمینی از ارتفاع مشخص و برخورد با سطح برای مدت زمان ۱۵ روز و اثرات محل نگهداری در دو شرایط دمای محیط آزمایشگاه و داخل یخچال بر سیگنال‌های ثبت شد مورد مطالعه قرارگرفت. در یک بررسی در مورد استفاده از تجزیه‌وتحلیل آکوستیک در ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی، ویژگی‌های کیفیت مهم مانند ترشح، تردی، سختی، فعالیت آب و غیره مشخصات فیزیکی و سایر پارامترهای کیفیت آن به کیفیت داخلی محصولات کشاورزی و غذاهای بستگی دارد توسط این روش غیر مخرب اندازه‌گیری می‌شود. خطر خرید محصولات بی‌کیفیت برای تولیدکنندگان و فروشندگان به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد درآمد حاصل از تولیدکنندگان میوه مرتبط باکیفیت محصولات آنها افزایش خواهد یافت و بازرگانان قادر خواهند بود. مطابق با خواسته‌های مصرف کنندگان برای خرید محصولات یکنواخت باکیفیت بالا دست یابند. نتایج مورد بحث در این بررسی به‌وضوح نشان می‌دهد؛ که در دسترس بودن و ارزان بودن روش صوتی می‌تواند یکی از مزایای عمده در صنعت غذا و صنایع غذایی باشد؛ که در موازی با ارتقاء کامپیوتر و الکترونیک، کاربرد و دقت تکنیک‌های صوتی همراه با افزایش سرعت پردازش داده‌ها و تصمیم‌گیری آنلاین می‌تواند در سیستم ارزیابی کیفیت توسعه یابد(**Aboonajmi, Jahangiri, & Hassan-Beygi**). تحقیقات زیادی در راستای بررسی رابطه سفتی با سیگنال صوتی بر روی میوه‌ها صورت گرفته است. که بیشتر برروی میوه سیب صورت گرفته است. از جمله در تحقیقی ارتباط بین سفتی برای دو رقم سیب به دست آمد. در این تحقیق معلوم شد نوع رقم و زمان انبارداری بر همبستگی بین این دو اندازه‌گیری تأثیر دارد (**Molina-Delgado, Alegre, Puy, & Recasens**). در مطالعه‌ای دیگر، همزمان با آزمون نفوذ، از انتشار امواج صوتی برای مشاهده‌ی تغییرات کیفیت بافت سیب استفاده شد. این بررسی در طول زمان ماندگاری سیب‌ها بود که در آن سفتی و تغییرات آن تعیین شد. در این بررسی معلوم گردید، پارامترهای صوتی و از جمله انرژی صوتی نسبت به تغییرات فیزیولوژیکی سیب‌ها در طول زمان ماندگاری در انبار، نسبت به پارامترهای مکانیکی تعیین کیفیت سیب، حساس‌ترند(**Zdunek & Ranachowski**). در طول مطالعه‌ای از روش ضربه‌ی صوتی برای تعیین رسیدگی سیب‌های گلدن دلیشس در طی فصل رشد و در طی هشت ماه انبارداری در سردخانه استفاده شد. نتایج آزمون‌های آن‌ها، کاهش ضریب الاستیسیته و سفتی را در طول مدت انبارداری نشان داد (**De Belie, Schotte, Coucke, & De Baerdemaeker**). در پژوهشی دیگر نیز کاهش سفتی و فرکانس طبیعی برای سیب‌های انبار شده در سردخانه‌ای با دمای یک درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد گزارش شد. آنها همچنین دریافتند که هم بستگی بین پارامترهای صوتی و نفوذسنجی بر حسب نوع رقم و تازگی سیب ها تفاوت می‌کند (**Duprat, Grotte, Pietri, Loonis, & Studman**). در تحقیقی دیگر دو حسگر غیر مخرب، یکی براساس اصل "پاسخ ضربه‌ی صوتی" و دیگری براساس "ضربه‌ی یک جسم سبک" برای ارزیابی کیفی تعدادی سیب و گوجه‌فرنگی و نیز تعیین سفتی و همبستگی بین آنها در طی فرآیند انبارداری مقایسه شدند. نتایج این محققین نیز کاهش سفتی را در هر دو محصول و با هر دو روش تأیید کرد (**De Ketelaere et al**). در تحقیق دیگر سه واریته‌ی سیب در سه مرحله از رسیدگی و در سه زمان مختلف از دوره‌ی انبارداری و با سه روش: حسی، نفوذ و صوتی مورد ارزیابی قرارگرفت. یافته‌های این محققین همچنین معلوم کرد که شاخص سفتی به‌طور معنی‌داری با سفتی بافت سیب مرتبط است (**Mehinagic, Royer, Symoneaux, & Jourjon**). لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، پیش‌بینی ماندگاری سیب زمینی در طول دوره انبارمانی ۱۵روزه و در شرایط نگهداری داخل محیط آزمایشگاه با دمای مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس و داخل یخچال با دمای بین ۴ تا ۱۰ درجه سلسیوس است. روش بررسی در این تحقیق، ارزیابی رابطه سفتی سیب زمینی‌ها با آزمون غیرمخرب صوتی (آزمون آکوستیکی) طی دوره نگهداری پانزده روزه بود.

۲- مواد و روش‌ها

تعداد ۱۴ عدد سیب زمینی واریته مارفونا از بازار محلی با رنج وزنی ۱۳۰ تا ۲۲۰ گرم خریداری شد. سیب زمینی‌های انتخابی با ترازو با دقت (۰،۰۱گرم) توزین شدن و به صورت رندم در دو گروه برای قرارگیری در دو شرایط داخل یخچال(دمای ۴تا ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت ٪۷۰) و محیط آزمایشگاه (دمای ۲۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۴۰٪) دسته بندی شدند. دما و رطوبت روز اول ثبت شد و از هر گروه یک سیب زمینی انتخاب شد، پس از قرارگیری در شرایط محیط برای ثبت داده‌های آزمون آکوستیکی مورد آزمایش قرارگرفتند. سامانه آکوستیکی برای این تحقیق متشکل شده بود از یک میکروفون (دستگاه صدا سنج مدل HT 157 کلاس یک با دقت ۵۰ میلی ولت بر پاسگال)، لب تاپ مدل ایسوس K42j، کابل رابط دستگاه صدا سنج با لب تاپ، سطح برخورد آزمون از جنس چوب (سطحی که سیب زمینی پس از برخورد با آن از خود صدا را منعکس می‌کند) و نرم افزارهای متلب ورژن R2017a و Cool Edit pro 2.0 انتخاب شد. اجزاء این سامانه در شکل ۱ نشان داده شده است.

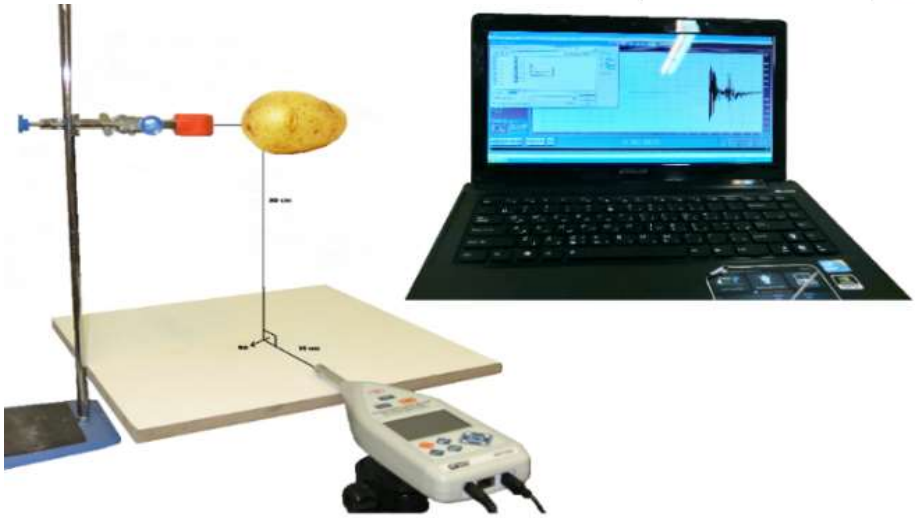

Figure 1 Data Acoustic Imitate System
شکل۱ سامانه اخذ داده‌های آکوستیکی

۲-۱-آزمون آکوستیکی

برای تعیین پارامترهای آکوستیکی از یک دستگاه صدا سنج مدل HT 157 کلاس یک ساخت کشور ایتالیا استفاده شد شکل(۲).

Figure 2 Sound Meter HT157 Class One
شکل ۲- دستگاه صدا سنج مدل HT ۱۵۷ کلاس یک

این دستگاه متشکل شده از یک میکروفون با حساسیت ۵۰ میلی ولت برپاسگال و یک برد الکترونیکی برای ثبت و نمایش و ذخیره سازی سیگنال‌های دریافتی، و در سمت عمود بر راستای رهاشدن سیب زمینی قرارمی‌گیرد. سیب زمینی‌ها از ارتفاع ۳۰ سانتیمتری بر روی سطح چوبی رها شدند. بر اساس نتایجی که از پیش آزمایشات به دست آمدن کمترین آسیب مکانیکی در این ارتفاع صورت می‌گیرد، اگر چه دامنه سیگنال‌ها نسبت به ارتفاعات متغیر است (**Javadi**). ضربه غیر مخرب در اثر رهاشدن از ارتفاع به سیب زمینی وارد می‌شود که موجب ساطح شدن سیگنال صوتی در برخورد با سطح چوبی می‌شود. سیگنال صوتی ساطح شد از هر سیب زمینی در طرف عمود بر راستای رهایش توسط میکروفون صداسنج دریافت و در حافظه‌ی لب تاب با کمک نرم افزار cool Edit pr.2 ثبت شد. هر سیب زمینی مورد آزمون ۵ بار از همان ارتفاع ۳۰ سانتیمتری مورد آزمون قرارگرفتند، بنابراین در مراحل بعدی آزمون این سیب زمینی به دلیل ضربات وارد شده به آن در اثر رها شدن از ارتفاع قابل استفاده نبوده و کنار گذاشته شدند. سیگنال‌های ذخیره شده برای انجام تحیل صوتی با نرم افزار متلب از حوزه زمان به حوزه فرکانس انتقال داده شدند، و از مشخصه‌های این سیگنال‌ها برای ارزیابی بعضی، از پارامترهای صوتی سیب زمینی‌ها (فرکانس طبیعی یا فرکانس غالب) استفاده گردید. فرکانس طبیعی هر سیب زمینی از روی نمودارهای فرکانس- دامنه تعیین شد. برای این منظور از اولین فرکانس با بزرگترین دامنه استفاده گردید و این فرکانس با عنوان "فرکانس طبیعی یا غالب" برای سیب زمینی مورد آزمون ثبت گردید. برای تعیین پارامتر سفتی از رابطه ۱ استفاده شد (**Cherng & Ouyang**) :

$$FI = f^2 \times m^{2/3} \quad (۱)$$

در این رابطه FI شاخص سفتی، f فرکانس طبیعی(هرتز)، m جرم میوه (کیلوگرم) هستند. شاخص سفتی یکی از معیارهای تعیین سفتی میوه است.

صداهای ثبت شده از طریق دستگاه صدا سنج و ذخیره شده در حافظه لب تاپ با کمک نرم‌افزار Cool Edit pro 2.0، داده‌های خامی هستند که برای پردازش و تحلیل نیاز به انتقال از حوزه زمان به حوزه فرکانس دارند. برای این کار از نرم‌افزار متلب استفاده نمودیم و براساس کدهای که در این برنامه نوشت شد این انتقال از حوزه زمان به حوزه فرکانس صورت گرفت. از هر سیگنال با توجه به اینکه در پدیده ضربه زمان اوج گیری موج فشار کوتاه بوده و دامنه فشار بسته به وضعیت منبع تولید صوت متغیر و بیش از ۲۰ دسی بل از صدای زمینه بالاتر است. و موج فشاری به تندی به نقطه صفر بر می‌گردد، اما چند موج پس ضربه بدنبال خود دارد (Golmohammadi) شکل(۳). بنابراین پنجره‌ای به طول ۵۰ میکروثانیه بر سیگنال اصلی اعمال شد.

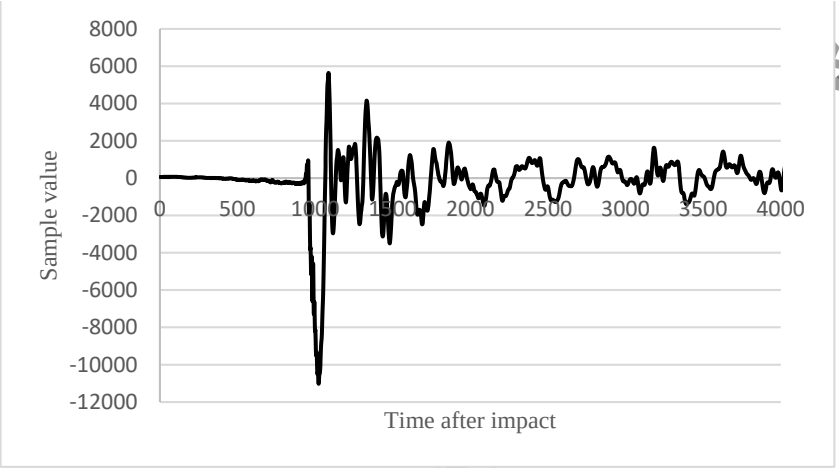

Figure 3- An example of the signal recorded in the time domain

شکل ۳- نمونه‌ی از سیگنال ضبط شده در واحد زمان

۳- نتایج و بحث

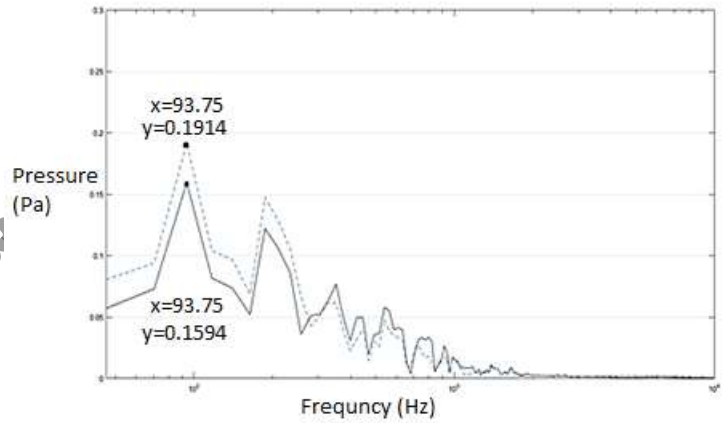

Figure 4. Sound signal diagram in the frequency domain, for the first day ('- -' in the refrigerator conditions and '-' in the lab environment conditions)

شکل۴- نمودار سیگنال صدا در حوزه فرکانس، برای روز اول ('- -' شرایط یخچال و'-' در شرایط محیط آزمایشگاه)

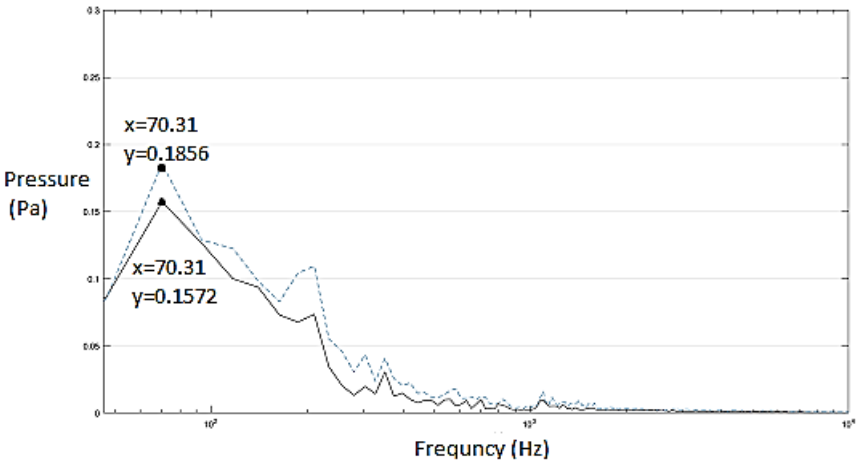

Figure 5. Sound signal diagram in frequency domain, for the fifteenth day ((‘- -‘ in the refrigerator conditions and ‘-‘ in the lab environment conditions)

شکل ۵- نمودار سیگنال صدا در حوزه فرکانس، برای روز پانزدهم ((‘- - ‘ در شرایط یخچال و ‘-‘در شرایط محیط آزمایشگاه)

شکل(۴) و (۵) دو سیگنال به دست آمده از تبدیل سریع فوریه (FFT) در شرایط داخل یخچال با خط چین و درون محیط آزمایشگاه با خط ثابت برای روز اول شکل(۴) و روز پانزدهم شکل(۵) را نشان می‌دهد. از هرکدام از شکل‌ها می‌توان استنباط نمود که اگرچه در شرایط نگهداری داخل یخچال دامنه فشار نسبت به شرایط محیط آزمایشگاه بیشتر شده است، اما تاثیری بر روی فرکانس طبیعی سیب زمینی ندارد. همچنین دامنه فشار صوت در روز پانزدهم نسبت به روز اول کاهش داشته که برای هر دو شرایط نگهداری این مسئله صادق است. تنها عامل اصلی و شاخص تشخیص پیش بینی دوره انبارمانی فرکانس طبیعی یا فرکانسی است که دارای بیشترین دامنه فشار می‌باشد. این فرکانس در روز اول ۹۳,۷۵ هرتز بود که در روز پانزدهم به ۷۰,۳۱ هرتز کاهش یافته است.

با توجه به داده‌های به دست آمده در این پژوهش و با استفاده از رابطه ۱ می‌توان به این نتیجه دست یافت که با جابه جایی فرکانس غالب در طول دوره انبارمانی ۱۵ روز و با توجه به میزان اختلاف وزنی نمونه در روز اول آزمون با روز پانزدهم جدول (۱) رابطه معنا دار بین بافت و دو متغیر وزن و فرکانس وجود دارد. عوامل زیادی بر کاهش عمر انبارمانی سیب زمینی دخیل اند ازجمله

۱- تلفات تبخیر

غده سیب زمینی دارای ۸۰٪ آب است، و افت وزنی در طول دوره انبار عمدتاً ناشی از هدر روی آب است، که کیفیت غده را نیز کاهش می‌دهد. آب بیشتر از طریق پوست، زخم‌ها و نیش‌ها تبخیر می‌شود. تلفات ناشی از تبخیر تا حدود زیادی به میزان تهویه، طول مدت تهویه و رطوبت نسبی یا کمبود فشار بخار هوای مورد استفاده برای تهویه بستگی دارد.

۲- تلفات تنفسی

غده سیب زمینی یک موجود زنده است و بنابراین تنفس می‌کند. درتنفس، اکسیژن از هوای اطراف جذب شده و با کربوهیدرات‌ها (قند) غده ترکیب شده به دی اکسیدکربن و آب تبدیل می‌شوند. دی اکسید کربن به هوای اطراف رانده می‌شود. دراین فرآیند حرارت تولید می‌گردد. بنابراین میزان تنفس و تولید کربن دی اکسید و حرارت عمدتاً به دمای غده‌ها بستگی دارد.

تلفات تنفسی برای نمونه‌های که در مکانی با دمای ۴ تا ۸ درجه سلسیوس نگهداری می‌شوند در کمترین حد خواهد بود(Beukema & van der Zaag). بنابراین برای نمونه‌ای که در داخل یخچال و دمای ۴ تا ۱۰درجه سلسیوس نگهداری شد انتظار می‌رود میزان تعرق و تنفس کمتری نسبت به نمونه‌های که در فضای آزمایشگاه بودند داشته باشند، اما به دلیل تنش‌های دمای در زمان قبل از آزمون دچار چرکیدگی شده‌اند. منظور از تنش گرمای این است که برای ایجاد شرایط یکسان در حین انجام آزمون‌ها لازم بود تا نمونه مورد آزمون از داخل یخچال بیرون آورده شود و در داخل محیط آزمایشگاه قرار گیرد تا دمای آن با دمای محیط و دمای نمونه مورد آزمون تحت شرایط دمای آزمایشگاه برابر شود. این عامل باعث می شود تا گرمای محیط بر نمونه اثر گذاشته و بافت سیب زمینی دچاره چروکیدیگی شود شکل(۶).

Figure 6-The condition two Potatos of test case samples after 15 days (the right sample at 25 to 40 ° C and the left side in the refrigerator at a temperature of 4 to 10 ° C)

شکل ۶- وضعیت دو عدد سیب زمینی از نمونه‌های مورد آزمون پس از گذشت ۱۵ روز (نمونه سمت راست در دمای ۲۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس و نمونه سمت چپ در یخچال با دمای ۴تا۱۰ درجه سلسیوس)

Table 1 – Natural frequency and weight values end Firmness Index obtained during the 15 days storage of potatoes

جدول۱- مقادیر فرکانس طبیعی و وزن و شاخص سفتی به دست آمده در طول ۱۵ روز نگهداری سیب زمینی‌ها

day	Laboratory environment				Inside the refrigerator			
	Weight		Natural Frequency (Hz)	Firmness Index ($Hz^2.g^{2/3}$)	Weight		Natural Frequency (Hz)	Firmness Index ($Hz^2.g^{2/3}$)
	primary	ultimate			primary	Ultimate		
First	213.93	213.93	93.75	3143.8	204.47	204.47	93.75	3050.4
Fourth	130.53	130.15	93.75	2257.2	134.50	134.25	93.75	2307.2
Sixth	141.67	141.09	93.75	2382.0	139.66	139.27	93.75	2361.5
Eighth	162.94	162.17	70.31	1470.1	150.06	149.56	70.31	1392.9
Eleventh	176.98	175.92	70.31	1552.0	193.83	193.15	70.31	1651.8
Thirteenth	187.27	186.02	70.31	1610.9	196.40	195.59	70.31	1665.7
Fifteenth	192.68	191.24	70.31	1640.9	185.83	184.76	70.31	1601.5

در شکل ۷ و ۸ نمودار تغییرات فرکانس و شاخص سفتی نسبت به طول دوره انبارمانی ۱۵ روزه به ترتیب برای دو شرایط داخل محیط آزمایشگاه (۲۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس) و داخل یخچال (۴ تا ۱۰ درجه سلسیوس) نشان داده شداست. در این نمودارها که با گذشت زمان در طول ۸ روز اول آزمون‌ها فرکانس طبیعی نمونه سیب زمینی‌های مورد آزمایش تغییر نداشت اما از روز ۱۱ فرکانس از ۹۳,۷۵ هرتز به ۷۰,۳۱ هرتز در هردو شرایط مورد آزمایش رسید. نمودار شاخص سفتی نیز با پیروی از مقادیر فرکانس طبیعی به صورت نزولی از روز اول ۳۱۴۳,۸ به ۱۶۴۰,۹در روز پانزدهم برای شرایط درون محیط آزمایشگاه و ۳۰۵۰,۴ به ۱۶۰۱,۵ برای نمونه‌های درون یخچال رسید.

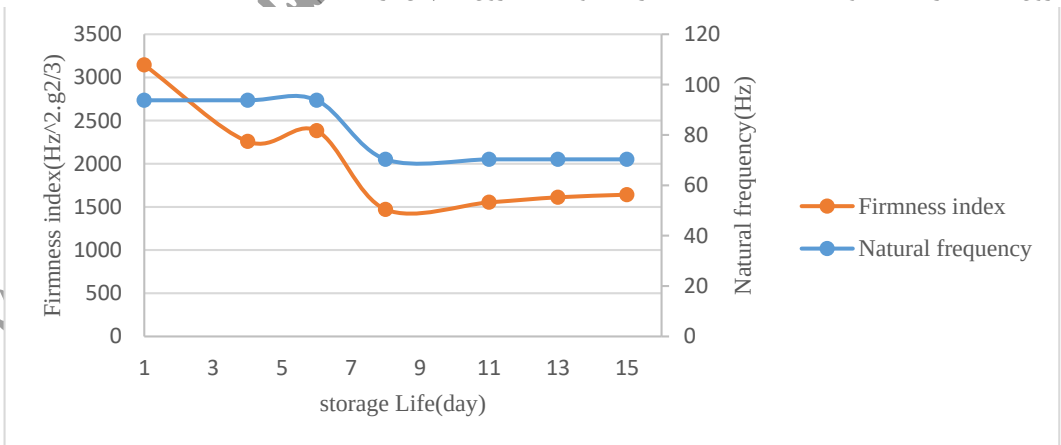

Figure 7. Chart of Natural Frequency and Firmness Index during the 15-day Storage Life (in laboratory environment)

شکل۷- نمودار تغییرات فرکانس و شاخص سفتی در طول دوره انبارمانی ۱۵ روزه (در محیط آزمایشگاه)

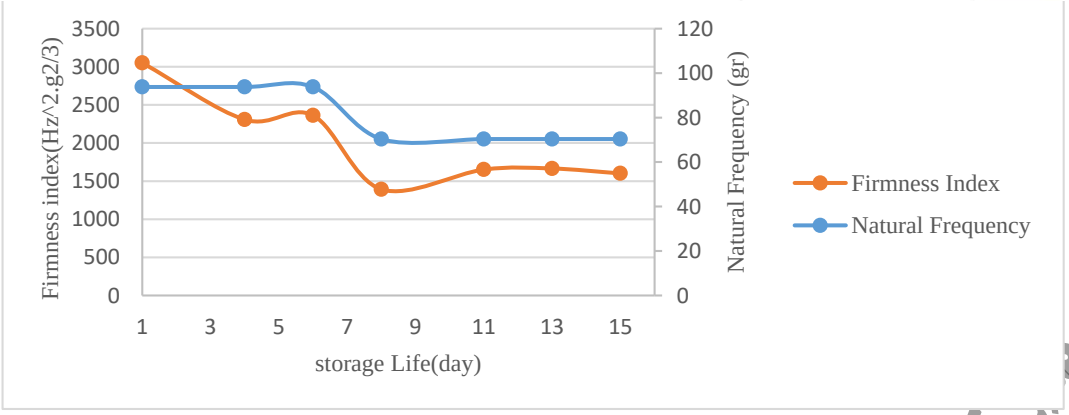

Figure 8. Chart of Natural Frequency and Firmness Index during the 15-day Storage Life (Inside the Refrigerator)

شکل۸- نمودار تغییرات فرکانس و شاخص سفتی در طول دوره انبارمانی ۱۵ روزه (در داخل یخچال)

شکل ۹ و ۱۰ تغییرات تفاضل وزن نمونه سیب زمینی روز اول و وزن نمونه سیب زمینی در روز آزمون در کنار شاخص سفتی نمونه‌های سیب زمینی را در طول دوره انبارمانی ۱۵ روزه و برای دو شرایط مورد نظر آزمون نشان می‌دهند. از این نمودارها می توان استنتاج نمود که هرچقدر از روز اول دور تر می‌شویم میزان کاهش وزن افزایش می‌یابد به طوری که در روز پانزدهم ۱,۴۴گرم از وزن نمونه سیب زمینی کاسته شداست. و دلیل اصلی آن به خاطر تعرق و تنفس سیب زمینی در طول این مدت نگهداری است. کاهش آب داخل بافت سیب زمینی باعث چروکیدگی و در نتیجه کاهش سفتی بافت را به همراه دارد که می توان این تغییرات را به‌صورت عینی در نمودار مشاهد نمود.

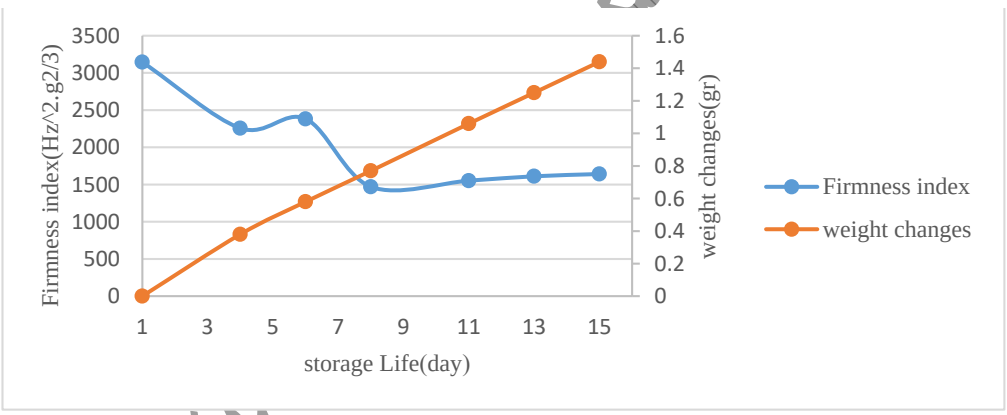

Figure 9. Chart of weight changes and Firmness index relative to the 15-day storage Life

شکل۹- نمودار تغییرات وزن و شاخص سفتی نسبت به دوره انبارمانی ۱۵ روزه (در محیط آزمایشگاه)

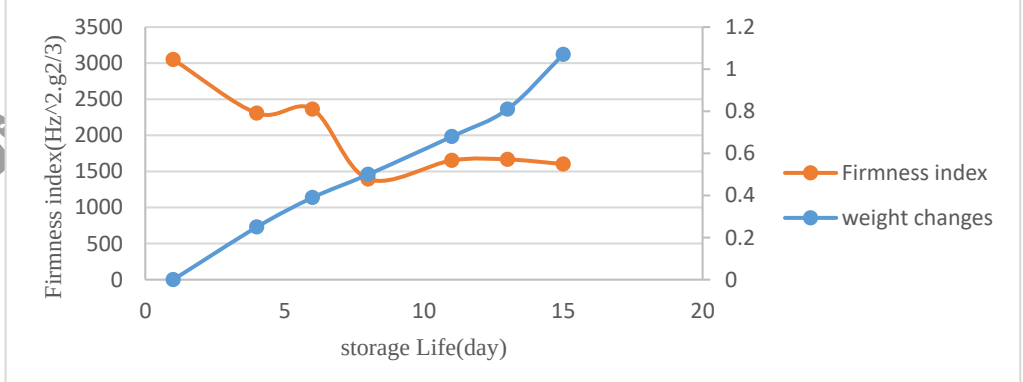

Figure 10. Chart of weight changes and Firmness index relative to the 15-day storage Life

شکل۱۰- نمودار تغییرات وزن و شاخص سفتی نسبت به دوره انبارمانی ۱۵ روزه (در داخل یخچال)

۴- نتیجه‌گیری

از این پژوهش می توان به نتایج زیر دست یافت:

۱- کنترل شرایط محیطی(دما و رطوبت) نقش اساسی بر میزان دوره انبارمانی محصولات کشاورزی و غذایی که در مدت حیات شان نیاز به تنفس دارند دارد.

۲- تحلیل سیگنال‌های صوتی به دست آمده در طی آزمون آکوستیکی از نمونه سیب زمینی‌های مورد آزمون نشان داد که جابه جای فرکانس طبیعی سیب زمینی می‌تواند روشی برای تشخیص میزان سفتی بافت با توجه به رابطه (۱) و پیش‌بینی دقیقی از دوره انبارمانی سیب زمینی به ما بدهد.

۳- اگرچه وزن نمونه‌های سیب زمینی متغییر است، اما فقط بر دامنه فشار صوت هرسیگنال اثر گذار بوده، و بر مقدار عامل تشخیص که جابه‌جای فرکانس طبیعی است بی‌اثر میباشد.

۴- میزان رطوبت از دست رفته(کاهش وزن نمونه) درطول دوره انبارمانی مستقیم بر روی شاخص سفتی اثرگذار است، و هرچقدر سطح یا اندازه نمونه آزمون بزرگتر باشد رطوبت بیشتری از دست خواهد داد و درنتیجه نسبت به روز اول کاهش وزن بیشتری در آن نمونه مشاهد می شود، اما تاثیری بر روی فرکانس طبیعی سیگنال حاصل از آزمون آکوستیکی آن نمونه نخواهد داشت.

۵- مراجع

Aboonajmi, M., Jahangiri, M., & Hassan-Beygi, S. R. (2015). A Review on Application of Acoustic Analysis in Quality Evaluation of Agro-food Products. *Journal of food processing and preservation*, *39*(6), 3175-3188.

Beukema, H., & van der Zaag, D. E. (1990). *Introduction to potato production*: Pudoc Wageningen.

Cherng, A.-P., & Ouyang, F. (2003). A firmness index for fruits of ellipsoidal shape. *Biosystems engineering*, *86*(1), 35-44.

De Belie, N., Schotte, S., Coucke, P., & De Baerdemaeker, J. (2000). Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apples during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *18*(1), 1-8.

De Ketelaere, B., Howarth, M. S., Crezee, L., Lammertyn, J., Viaene, K., Bulens, I., & De Baerdemaeker, J. (2006). Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. *Postharvest Biology and Technology*, *41*(3), 275-284.

Duprat, F., Grotte, M., Pietri, E., Loonis, D., & Studman, C. (1997). The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. *Journal of agricultural engineering research*, *66*(4), 251-259.

Golmohammadi, r. (2010). Sound and vibration engineering in the industry and the environment. *4nd ed*(Student Publications - Hamedan), 46-44.

Gómez, A. H., Wang, J., & Pereira, A. G. (2005). Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *35*(2), 209-215.

Javadi, S., S. M. Nassiri, A. Jafari, and A. Salehi. . (2012). Determination of texture of Kiwifruit using impact nondestructive method. *The 7th National Coference on Agricultural Machinery Enginnering and Mechanization, , Shiraz, Iran.)Persian(*.

Mehinagic, E., Royer, G., Symoneaux, R., & Jourjon, F. (2006). Relationship between apple sensory attributes and instrumental parameters of texture. *Journal of fruit and ornamental plant research*, *14*, 25.

Molina-Delgado, D., Alegre, S., Puy, J., & Recasens, I. (2009). Relationship between acoustic firmness and Magness Taylor firmness in Royal Gala and Golden Smoothee apples. *Food Science and Technology International*, *15*(1), 31-40.

Zdunek, A., & Ranachowski, Z. (2006). Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, *9*(4), 30.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران