یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

تاثیر سرعت بارگذاری و قطر پراب بر مقادیر آزمون پانچ میوه سیب

فرهاد خوشنام[1]، حمید قاسم‌خانی[2]، محمدرضا کماندار[3]

[1] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت، F_khoshnam@ujiroft.ac.ir
[2] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت، H_ghasemkhani2006@ujiroft.ac.ir
[3] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت، Mr_Kamandar@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر سرعت بارگذاری (سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه) و قطر پراب (چهار سطح ۹/۵، ۱۱/۱، ۱۲/۷ و ۱۴/۳ میلی‌متر) بر مقادیر آزمون پانچ (نیرو، تنش، سفتی و انرژی) میوه سیب رقم گلدن دلیشز پرداخته شده است. مشخص شد که قطر پراب بر نیرو، سفتی و انرژی در سطح ۱٪ تاثیر معنی‌داری داشته و بر تنش تاثیری نداشته است. تاثیر سرعت بارگذاری بر پارامترهای نیرو، تنش و سفتی در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده و بر انرژی اثری نداشت. در قطر پراب ۹/۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه کمترین مقدار نیرو برابر با ۱۳/۹۷۵ نیوتن، سفتی برابر ۱/۷۵۰ نیوتن بر میلی‌متر و انرژی برابر ۹۵/۲ میلی‌ژول بدست آمد. در قطر پراب ۱۴/۳ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه بیشترین مقدار نیرو برابر با ۳۷/۰۷۵ نیوتن و سفتی برابر ۴/۶۳۵ نیوتن بر میلی-متر بدست آمد. در قطر پراب ۹/۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه حداکثر میزان تنش (۳۰۰/۵ کیلوپاسکال) بدست آمد. اثر متقابل قطر پراب و سرعت بارگذاری بر هیچ یک از پارامترهای نیرو، تنش، سفتی و انرژی تاثیر معنی‌داری نداشت.

کلمات کلیدی: سیب، خواص مکانیکی، سفتی، آزمون پانچ

The effect of loading rate and size of the probe on the apple punch test values

Farhad Khoshnam[1], Hamid Ghasemkhani[2], Mohammad Reza Kamandar[3]

1: Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Jiroft, F_khoshnam@ujiroft.ac.ir
2: Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Jiroft, H_ghasemkhani2006@ujiroft.ac.ir
3: Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Jiroft, Mr_Kamandar@ut.ac.ir

ABSTRACT

In this research, the effect of loading velocity (5, 10 and 15 mm / min) and the diameter of the probe (9.5, 11.11, 12.7 and 14.3 mm) on the test values Punch (force, stress, firmness and energy) *Golden Delicious* apple fruit has been investigated. It was found that probe diameter had a significant effect on force, firmness and energy at 1% level and had no effect on stress. The effect of loading velocity on the parameters of force, stress and firmness was significant at 5% level and had no effect on energy. At the diameter of 5.9 mm and a loading velocity of 5 mm/min, the minimum force was 1375.9 N, the firmness was 1.750 N / mm and the energy was 95.2 mJ. At the diameter of 14.3 mm and the loading velocity of 15 mm / min, the maximum force equal to 37.075 N, and the firmness was equal to 4.635 N / mm. At diameter of 5.9 mm and a loading velocity of 15 mm / min, the maximum stress (300.5 kPa) was obtained. The interaction between diameter and velocity had no significant effect on the parameters of force, stress, firmness and energy.

Keywords: Apple, Mechanical Properties, Firmness, Punch Test

[1]- نویسنده مسئول: فرهاد خوشنام، جیرفت، کیلومتر ۸ جاده بندرعباس، دانشگاه جیرفت کدپستی: ۷۸۶۷۱۶۱۱۶۷ ، همراه ۰۹۳۶۶۴۸۸۲۱۴

۱- مقدمه

کیفیت میوه‌ها و سبزیجات توسط عوامل داخلی و خارجی تعیین می‌شود. عوامل خارجی مثل شکل، اندازه، رنگ، جرم، عیوب خارجی و آسیب به راحتی قابل اندازه‌گیری هستند ولی ارزیابی صفات داخلی مانند سفتی، مقدار اسید و قند، وجود یا عدم وجود عیوب داخلی کار آسانی نمی‌باشد. سفتی صفت کیفی درونی مهمی است که در طی رسیدگی و انبارداری شدیداً تغییر می‌کند (Hernández Gómez et al., 2005).

سفتی میوه یکی از مهم‌ترین متغیرهای کیفیت و سنجش غیر مستقیم میزان رسیدگی بوده و ارزیابی دقیق آن، مدت مناسب انبارداری و شرایط بهینه حمل و نقل را میسر می‌سازد. دما و مدت زمان انبارداری روی سفتی میوه‌ی انبار شده تأثیر می‌گذارد (Brennan, 1984).

مدت‌هاست که سفتی به عنوان معیاری برای جداسازی میوه‌ها و سبزیجات تازه به کار می‌رود. از روش‌هایی نظیر فشردن بین انگشت‌ها یا دست، فشار انگشت شست به گوشت میوه، گاز زدن یا جویدن و روش نفوذسنج که آزمون مگنِس- تیلور یا اِفی-جی[۱]نام دارد، برای اندازه‌گیری سفتی استفاده می‌شود (Stone et al., 1998). روش‌های پیشنهادی USDA برای تعیین سفتی شامل آزمون مگنِس- تیلور، فشار شست، نمو موم[۲] آزمون‌های برش و جویدن است. اغلب این آزمون‌ها به صورت ترکیبی استفاده می‌شوند (Armstrong et al., 1990). روش‌های دستی اغلب وابسته به کاربر است و اندازه‌گیری آنها موضعی است در حالی که در میوه‌ها سفتی از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر تغییر می‌کند. ماشین آزمون یونیورسال در سرعت معین برای انجام آزمون‌های نفوذسنج، عیب وابستگی به کاربر (با توجه به سرعت اعمال فشار به میوه توسط کاربر) را برطرف می‌نماید (Schotte et al., 1999).

اکثر روش‌های آزمون مخرب تعیین کیفیت، بر مبنای پاسخ به نیروهای خارجی می‌باشند و عبارتند از: آزمون پانچ، آزمون برش، فشردگی، کشش و پیچش. در آزمون پانچ به کمک یک پراب کوچک تا مقدار مشخصی به گوشت میوه فشار وارد می‌شود. نیروی مورد نیاز برای ایجاد این پانچ به عنوان درجه سفتی تعریف می‌شود. این آزمون فقط یک علامت کوچک (به اندازه پراب) روی میوه باقی می‌گذارد. آزمون پانچ به دلیل سادگی کاربرد، ایجاد آسیب کم و دقت نسبتاً بالا متداول‌ترین روش است (Christopher, 2005).

همانگونه که بیان شد در آزمون پانچ (آزمون نفوذسنج مگنِس- تیلور یا اِفی-جی) ماکزیمم نیروی مورد نیاز برای نفوذ استوانه‌ی فلزی به داخل گوشت میوه تا عمق معین، به عنوان سفتی تعریف می‌شود. پراب‌های متداول به شکل‌های استوانه‌ای با نوک کروی، گرد شده یا سطح تخت، مخروط و صفحات تخت هستند. در آزمون‌های بافت بایستی همواره نوع ابزار، هندسه پراب، مقدار تغییر شکل یا نفوذ و سرعت بارگذاری را گزارش کرد. مشکل امروزی آزمون‌های سفتی، استفاده از پراب‌های با شکل‌های متنوع تحت نام عمومی مگنِس- تیلور است (Abbott, 1999).

در هر تست مکانیکی هندسه نوک پلانجر (یعنی اندازه و شکل) بایستی به دقت در نظر گرفته شود. برای مثال جکمَن و همکاران (۱۹۹۰) دریافتند که یک پراب صفحه تخت بر خلاف نوع گرد، نمی‌تواند تفاوت سفتی بین گوجه‌فرنگی‌های سالم و سرمازده را تشخیص دهد. به دلیل انحنای پراب‌ها و این که سفتی اندازه‌گیری شده ترکیبی از برش و فشردگی است، تبدیل اندازه‌گیری‌های یک پراب به اندازه دیگر و تبدیل از مقادیر پراب‌ها به اشکال دیگر ممکن نیست (Bourne, 1982). لانا و همکاران (۲۰۰۷) سفتی ورقه‌های تازه برش خورده گوجه‌فرنگی را با پراب‌های مختلف و در دو جهت محور طولی و شعاعی (عمود بر محور طولی) بررسی کردند. آنها دریافتند که مقادیر سفتی در جهت‌های عمودی و شعاعی اختلافی با هم ندارند. با افزایش قطر پراب از ۱/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر، حداکثر نیروی نفوذ پراب در جهت شعاعی از ۱/۳۰ تا ۴/۱۵ نیوتن و در جهت محوری از ۱/۰۸ تا ۳/۸۷ نیوتن افزایش یافت.

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر سرعت بارگذاری (سه سطح) و قطر پراب (چهار سطح) بر مقادیر آزمون پانچ (نیرو، تنش، سفتی و انرژی) میوه سیب می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

نمونه‌های سیب رقم گلدن دلیشز از بازار میوه و تره‌بار تهیه و برای انجام آزمون پانچ از ماشین تست یونیورسال مدل Santam, MRT-5 استفاده شد. این دستگاه قادر به انجام آزمون‌های فشاری، کششی، خزش و آسایش تنش و ... می‌باشد. این دستگاه از یک فک ثابت در پایین و یک فک متحرک در بالای آن تشکیل شده است که نمونه‌های کامل سیب بین این دو فک قرار می‌گیرند و نمودار مربوط به هر آزمون در رایانه متصل به دستگاه در محیط اکسل ثبت می‌گردد. نیروی مورد نظر در هر تست از طریق لودسلی (۲۰ نیوتن) که به فک متحرک دستگاه وصل است احساس می‌شود. برای انجام تست فشار ابتدا دستگاه برای حالت فشار آماده شد. سپس به فک متحرک پراب (میله‌ی نفوذسنجی) با قطرهای مختلف متصل و نمونه‌ها روی

---

[۱]- Magness-Taylor or Effi-gi

[۲]- Wax Development

فک پایین قرار می‌گرفتند. در تست فشار همزمان با اعمال فشار توسط فک متحرک و پراب، مقادیر نیرو (تا عمق نفوذ ۸ میلی‌متر)، انرژی (سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل) و سفتی (نسبت نیرو به تغییر شکل) بدست می‌آید.

آزمایش‌ها در چهار سطح قطر پراب ($\frac{6}{16}$ اینچ معادل ۹/۵ میلی‌متر، $\frac{7}{16}$ اینچ معادل ۱۱/۱ میلی‌متر، $\frac{8}{16}$ اینچ معادل ۱۲/۷ میلی‌متر و $\frac{9}{16}$ اینچ معادل ۱۴/۳ میلی‌متر)، سه سطح سرعت بارگذاری (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه) و ۴ تکرار در هر آزمایش و با طرح آماری فاکتوریل (چهار سطح قطر پراب و سه سطح سرعت بارگذاری) در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی انجام شد. آنالیز واریانس جهت ارزیابی اثرات قطر پراب و سرعت بارگذاری روی مقادیر نیرو، انرژی و سفتی سیب ($p<0/05$) انجام گرفت. آزمون های مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت. کلیه نتایج آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 (Statistical Analysis System) انجام گرفتند.

۳- نتایج و بحث

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس تاثیر سرعت بارگذاری و قطر پراب بر مقادیر آزمون پانچ میوه سیب را نشان می‌دهد. قطر پراب بر نیرو، سفتی و انرژی در سطح ۱٪ تاثیر معنی‌داری داشته و بر تنش تاثیری نداشته است. نتایج تاثیر قطر بر نیرو، سفتی و انرژی قابل انتظار بود چون با افزایش قطر پراب سطح تماس افزایش و در نتیجه نیروی بیشتری برای نفوذ پراب تا عمق مشخص (۸ میلی‌متر) لازم است. افزایش نیرو منتج به افزایش سفتی می‌گردد بدین دلیل که سفتی از نسبت نیرو بر عمق نفوذ که مقدار مشخصی است، حاصل می‌شود. انرژی برابر با سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل است که در حالت افزایش نیرو، انرژی نیز افزایش می‌یابد. تغییر قطر پراب بر تنش وارده به سیب اثری نداشته است. تنش از نسبت نیرو به سطح تماس بدست می‌آید که هر دو پارامتر نیرو و سطح تماس با افزایش قطر، زیاد می‌شوند و لذا نسبت آنها یعنی تنش تغییری نکرده و تحت تاثیر قطر پراب نیست. خزایی و مان (۲۰۰۴) در بررسی آزمون پانچ میوه سنجد تلخ دریافتندکه قطر پراب در مقایسه با دما، تاثیر بیشتری بر نیروی پانچ و انرژی دارد. تاثیر سرعت بارگذاری بر پارامترهای نیرو، تنش و سفتی در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده و بر انرژی اثری نداشت. نتایج تحقیق خزایی و مان (۲۰۰۴) نشان داد که سرعت بارگذاری اثر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر نیروی پانچ در دو رقم سنجد تلخ داشت. اثر متقابل قطر پراب و سرعت بارگذاری بر هیچ یک از پارامترهای نیرو، تنش، سفتی و انرژی تاثیر معنی‌داری نداشت.

جدول ۱- آنالیز واریانس تاثیر سرعت بارگذاری و قطر پراب بر مقادیر آزمون پانچ میوه سیب

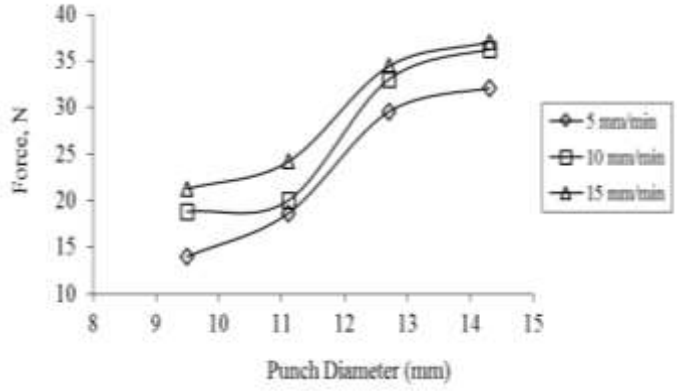
Table 1. ANOVA of the effect of loading rate and diameter of probe on the apple punch test values

Source of variations	df	Mean squares			
		Force	Stress	Firmness	Energy
Diameter (A)	3	843.800**	0.006^{ns}	13.185**	47222.790**
Velocity (B)	2	133.578*	0.014*	2.075*	5190.682^{ns}
A×B	6	3.791^{ns}	0.001^{ns}	0.060^{ns}	533.080^{ns}
Error	36	39.715	0.003	0.621	1925.805
C.V.		35.75	23.83	35.73	35.42

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ns عدم معنی‌داری

** Significant at 1% level, * Significant at 5% level, ^{ns} Non-significant data ignored.

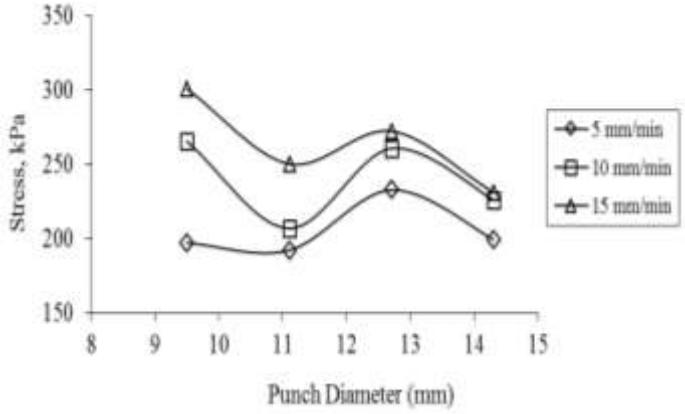
بدلیل اینکه قطر و سرعت بر نتایج نیروی پانچ اثر معنی‌داری دارد لذا مقایسه میانگین آنها به صورت شکل ۱ آورده شده است. مطابق شکل، افزایش قطر پراب منجر به افزایش نیرو در هر سه سرعت بارگذاری شده است. در قطر پراب ۹/۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه کمترین مقدار نیرو برابر با ۱۳/۹۷۵ نیوتن و در قطر پراب ۱۴/۳ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه بیشترین مقدار نیرو برابر با ۳۷/۰۷۵ نیوتن بدست می‌آید. در قطر ثابت ۹/۵ میلی‌متر نیرو در سه سرعت ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر به ترتیب ۱۳/۹۷۵، ۱۸/۸۲۵ و ۲۱/۳۰۰ نیوتن است. برای هر سه منحنی در هر قطر مشخص، با افزایش سرعت، نیرو نیز افزایش می‌یابد. با افزایش قطر از ۹/۵ تا ۱۴/۳ میلی‌متر در سرعت ثابت ۵ میلی‌متر بر دقیقه، نیرو ۲/۲۹ برابر، در سرعت ۱۰ میلی‌متر نیرو ۱/۹۲ برابر و در سرعت ۱۵ میلی‌متر نیرو ۱/۷۴ برابر می‌شود. به نظر می‌رسد که تاثیر تغییرات قطر پراب بر نتایج نیرو در سرعت‌های بالاتر بارگذاری کمتر خواهد شد. بخش عمده نیرو برای پارگی و برش پوست میوه صرف می‌شود و بستگی به استحکام برشی و کششی پوست میوه دارد.



شکل ۱- اثر قطر پراب بر نیروی سوراخ کردن سیب در سرعت‌های مختلف بارگذاری

Figure 1- Effect of probe diameter on apple puncture force at various loading velocity

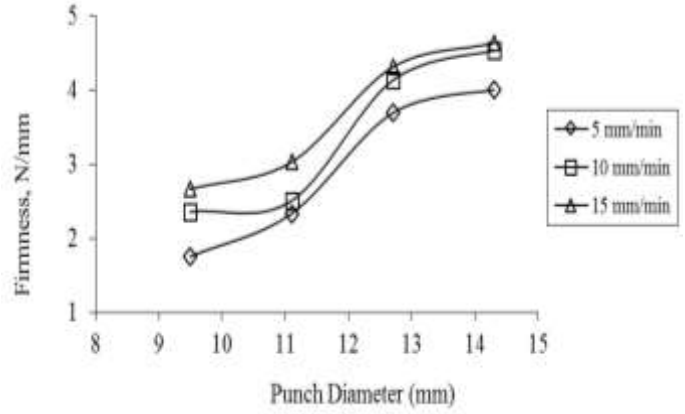
افزایش قطر پراب از ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر، نیروی پانچ و انرژی را به ترتیب ۲ و ۲/۸ برابر در بارگذاری سنجد رقم *Indian Summer* افزایش داده است (خزایی و مان، ۲۰۰۴). تاثیر سرعت بارگذاری بر تنش ایجاد شده در سیب معنی‌دار بود، اختلاف بین میانگین آنها به صورت شکل ۲ آورده شده است. عدم معنی‌دار بودن قطر بر تنش به صورت نوسانات مقادیر تنش مشخص است. در تمام قطرهای پراب، با افزایش سرعت بارگذاری تنش نیز افزایش می‌یابد. در سرعت‌های بارگذاری بزرگتر (با فرض ثابت بودن قطر پراب) برای نفوذ تا عمق مشخص پراب، نیاز به نیروی بیشتری بوده و در نتیجه تنش (نسبت نیرو به سطح تماس پراب) بیشتری رخ می‌دهد. حداکثر میزان تنش (۳۰۰/۵ کیلوپاسکال) در قطر پراب ۹/۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه بدست آمد. این پارامتر در قطر پراب ۱۱/۱ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه حداقل میزان (۱۹۲/۲ کیلوپاسکال) را داشت.



شکل ۲- اثر قطر پراب بر تنش ایجاد شده در سیب در سرعت‌های مختلف بارگذاری

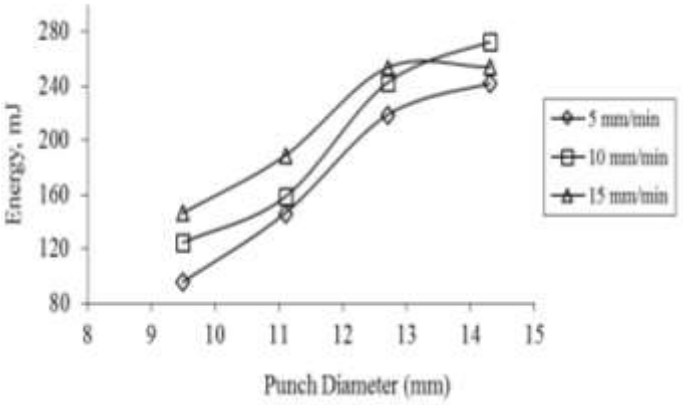
Figure 1- Effect of probe diameter on apple stress at various loading velocity

شکل ۳ اثر قطر پراب بر سفتی سیب در سرعت‌های مختلف بارگذاری را نشان می‌دهد. از آنجایی که سفتی نسبت نیرو به تغییر شکل بوده و مقدار تغییر شکل ثابت است لذا منحنی‌های در هر سه سرعت شکل (۲) با شکل (۱) یکسان است. حداکثر میزان سفتی برابر ۴/۶۳۵ نیوتن بر میلی‌متر، در قطر پراب ۱۴/۳ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و حداقل آن برابر ۱/۷۵۰ نیوتن بر میلی‌متر، در قطر پراب ۹/۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه رخ داد. مشابه پارامتر نیرو، در اینجا با افزایش سرعت بارگذاری در تمامی قطرهای پراب و نیز با افزایش قطر پراب در تمامی سرعت‌ها، سفتی افزایش می‌یابد.



شکل ۳- اثر قطر پراب بر سفتی سیب در سرعت‌های مختلف بارگذاری

Figure 1- Effect of probe diameter on apple firmness at various loading velocity



شکل ۴- اثر قطر پراب بر انرژی سوراخ کردن سیب در سرعت‌های مختلف بارگذاری

Figure 1- Effect of probe diameter on apple puncture energy at various loading velocity

شکل ۴ اثر قطر پراب بر انرژی سوراخ کردن سیب در سرعت‌های مختلف بارگذاری را نشان می‌دهد. حداقل انرژی مورد نیاز برای ایجاد سوراخی به عمق ۸ میلی‌متر، در سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه و قطر پراب برابر ۹/۵ میلی‌متر رخ داده و مقدار آن برابر ۹۵/۲ میلی‌ژول می‌باشد. این پارامتر در سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه و قطر پراب ۱۴/۳ میلی‌متر حداکثر بوده و برابر است با ۲۷۲/۲۵ میلی‌ژول. برای پراب‌های با قطر ۹/۵، ۱۱/۱ و ۱۲/۷ میلی‌متر، با افزایش سرعت بارگذاری مقدار انرژی نیز به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. برای قطر پراب ۱۴/۳ میلی‌متر روند مشخصی بین افزایش سرعت بارگذاری و نیز افزایش انرژی وجود ندارد. در سرعت کم بارگذاری (۵ میلی‌متر بر دقیقه) نفوذ پراب در ابتدا بر اثر نیروی فشاری و سپس برشی (به شکل برش پوست و سپس گوشت میوه) رخ می‌دهد در حالیکه در سرعت بالای بارگذاری (۱۵ میلی‌متر بر دقیقه) نفوذ پراب در ابتدا از نوع برشی و سپس فشاری می‌باشد. در سرعت بارگذاری بین آن دو، نیروی اعمالی صرف هر دوی فشار و برش نمونه می‌گردد این امر در پراب‌های با قطر بیشتر، محسوس‌تر بوده و به نظر می‌رسد به همین دلیل افزایش انرژی در این سرعت رخ داده است. خزایی و مان (۲۰۰۴) دریافتند که با افزایش سرعت بارگذاری پراب از ۰/۳ تا ۹ میلی‌متر بر ثانیه، مقادیر نیروی و انرژی آزمون پانچ میوه سنجد تلخ به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین نیرو و انرژی پانچ با افزایش قطر پراب، افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر سرعت‌های مختلف بارگذاری و قطرهای مختلف پراب بر مقادیر آزمون پانچ (نیرو، تنش، سفتی و انرژی) میوه سیب بررسی شد. مشخص شد که قطر پراب بر نیرو، سفتی و انرژی در سطح ۱٪ تاثیر معنی‌داری داشته و بر تنش تاثیری نداشته است. تاثیر سرعت بارگذاری بر پارامترهای نیرو، تنش و سفتی در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده و بر انرژی اثری نداشت. اثر متقابل قطر پراب و سرعت بارگذاری بر هیچ یک از پارامترهای نیرو، تنش، سفتی و انرژی تاثیر معنی‌داری نداشت. در قطر پراب ۹/۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه کمترین مقدار نیرو برابر با ۱۳/۹۷۵ نیوتن، سفتی برابر ۱/۷۵۰ نیوتن بر میلی‌متر و انرژی برابر ۹۵/۲ میلی‌ژول بدست آمد. در قطر پراب ۱۴/۳ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵

میلی‌متر بر دقیقه بیشترین مقدار نیرو برابر با ۳۷/۰۷۵ نیوتن و سفتی برابر ۴/۶۳۵ نیوتن بر میلی‌متر بدست آمد. حداکثر میزان انرژی مورد نیاز در سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه و قطر پراب ۱۴/۳ میلی‌متر برابر با ۲۷۲/۲۵ میلی‌ژول است. در قطر پراب ۹/۵ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه حداکثر میزان تنش (۳۰۰/۵ کیلوپاسکال) بدست آمد. این پارامتر در قطر پراب ۱۱/۱ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه حداقل میزان (۱۹۲/۲ کیلوپاسکال) را داشت.

۵- مراجع

Abbott, J. A. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology. 15: 207-225.

Armstrong, P. R. Zapp, H. R. Brown, G. K. 1990. Impulsive Excitation of Acoustic Vibrations in Apples for Firmness Determination. T. ASAE. 33(4): 1353-1359.

Bourne, M. C. 1982. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Academic Press, New York.

Brennan, J. G. 1984. Sensory analysis of foods (J. R. Piggott). Elsevier Applied Science.

Christopher, J. M. 2005. Non-Destructive testing of fruit firmness with real time constraints. Literature Review Bachelor of Digital Systems with Honours (1200) School of Computer Science and Software Engineering. Monash University.

Hernández Gómez, A. Wang, A. Garcia Pereira, A. 2005. Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. Postharvest Biology and Technology. 35: 209-215.

Jackman, R. L. Marangoni, A. G. Stanley, D. W. 1990. Measurement of tomato fruit firmness. Horticulture Science. 25: 781-783.

Khazaei J. and D. Mann. 2004. Effects of Temperature and Loading Characteristics on Mechanical and Stress-Relaxation Properties of Sea Buckthorn Berries. Part 2. Puncture Tests. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript FP 03 010.

Lana, M. Tijskens, L. De Theije, A. Dekker, M. and Barrett, M. 2007. Measurement of Firmness of Fresh-Cut Sliced Tomato Using Puncture Tests - Studies On Sample Size, Probe Size and Direction of Puncture. Journal of Texture Studies, V.38, No.5.

Schotte, S. De Belie, N. De Baerdemaeker, J. 1999. Acoustic impulse-response technique for evaluation and modeling of firmness of tomato fruit. Postharvest Biology and Technology. 17: 105-115.

Stone, M. I., Armstrong, P. R., Chen, D. D., Brusewitz, G. H. and Maness, N. O. 1998. Peach firmness prediction by multiple location impulse testing. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 41(1), 115-119.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران