



تعیین نسبت پواسون و مدول الاستیسیته در شرایط مختلف بارگذاری دو رقم پیاز ایرانی

ایوب جعفری ملک آبادی<sup>۱\*</sup>، مهدی خجسته‌پور<sup>۲</sup>، باقر عمادی<sup>۲</sup>، محمودرضا گلزاریان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، ay\_ja306@stu.um.ac.ir

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

## چکیده

در این مطالعه نسبت پواسون و مدول الاستیسیته دو رقم پیاز ایرانی (قرمز و زرد) در دو سرعت بارگذاری (۱۵ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه) و دو جهت (طولی و عرضی) برای سه میزان جابجایی (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر) تعیین شد. در هر نوبت آزمایشات بارگذاری توام با عکسبرداری انجام گرفت. نسبت پواسون نیز از طریق پردازش تصویر محاسبه شد. با استفاده از تئوری هرتز و نسبت پواسون محاسبه شده و نیز با در نظر گرفتن شکل پیاز، مدول الاستیسیته محاسبه گردید. مطابق جداول تجزیه واریانس برای نسبت پواسون و مدول الاستیسیته سرعت بارگذاری و میزان جابجایی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. بطور میانگین نسبت پواسون و مدول الاستیسیته پیاز قرمز کمتر از پیاز زرد بدست آمد. نسبت پواسون  $0/4485 - 0/2623$  و  $0/4179 - 0/2423$  و مدول الاستیسیته  $5/449 - 2/032$  و  $1/829 - 5/311$  مگاپاسکال به ترتیب برای پیاز زرد و قرمز بود. مدول الاستیسیته در حالت طولی بیشتر از مقادیر بدست آمده برای حالت عرضی بود. با افزایش میزان جابجایی، مقدار مدول الاستیسیته کاهش و مقدار نسبت پواسون نیز افزایش یافت. مدول الاستیسیته برای وضعیت طولی در سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه بیشتر از سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و این نسبت برای وضعیت عرضی بالعکس می‌باشد.

**واژه های کلیدی:** پردازش تصویر، پیاز، تئوری هرتز، مدول الاستیسیته، نسبت پواسون

## مقدمه

نسبت پواسون و مدول الاستیسیته دو خاصیت بنیادی جامدات الاستیک و جامدات ویسکوالاستیک هستند که در حل تمامی مسائل تماس<sup>۱</sup> شامل محاسبه‌ی تنش، سطوح تماس و تغییر شکل الاستیک استفاده می‌شوند (Mohsenin, 1986; Gentle and Halsall, 1982) از طرفی این خواص امکان پیشگویی رفتار نیرو-تغییر شکل محصولات کشاورزی را فراهم کرده و در طراحی تجهیزات فرآوری این محصولات نقش مهمی ایفا می‌کنند (Arnold and Robert, 1969; Kang et al., 1995). طبق تعریف، مدول الاستیسیته شیب نمودار تنش- کرنش در محدوده‌ی الاستیک بوده و نسبت پواسون برابر با قدر مطلق نسبت کرنش عرضی به طولی در یک میله‌ی منشوری تحت بارگذاری تک محوری است (Mohsenin, 1986). بر اساس تحقیقات انجام یافته این کمیت در مواد زنده تابعی از مقدار رطوبت، مقدار تنش و سرعت بارگذاری بوده (Khazaei and Mann, 2004; Finney, 1963) و از نظر تئوری مقدار آن بین صفر و نیم و در عمل محدوده‌ی تغییرات این مقدار، از این هم کمتر است. این در حالی است که اهمیت و تاثیر مدول الاستیسیته در مسائل تماسی بیش از نسبت پواسون می‌باشد (Gentle and Halsall, 1982).

گزارش‌های متعددی در مورد نحوه‌ی محاسبه‌ی نسبت پواسون و مدول الاستیسیته انواع محصولات کشاورزی، از جمله دانه‌ها و حبه‌ها با شکل‌های مختلف و انواع مواد غذایی در منابع علمی قابل دسترس است که در برخی موارد تفاوت در روش و نحوه‌ی محاسبه‌ی هر کدام از کمیت‌های مورد نظر تأمل برانگیز است. بعنوان مثال، محققین نسبت پواسون سه رقم برنج را با استفاده از تئوری بوسنيسک<sup>۲</sup> محاسبه کرده و نشان دادند که نسبت پواسون برای رقم‌های کوتاه‌تر عدد بزرگتری است (Shitanda et al., 2002). نیروی نفوذ فشارنده مبین مقاومت بافت میوه نسبت به برش و پارگی است و تحقیقات قبلی نشان داده که این نیرو ارتباطی با خصوصیات الاستیکی بافت ندارد (Esehaghbeygi and Ardforoshan, 2008). در تحقیقی دیگر، محققین برای اندازه‌گیری انبساط عرضی لوبیا قرمز از نوعی سنسور تماسی خاص به نام تیرهای خمشی<sup>۳</sup> استفاده نموده و بدون در نظر گرفتن شکل هندسی نمونه، نسبت پواسون را بعنوان نسبت کرنش عرضی به کرنش طولی در نظر گرفتند و برای تعیین مدول الاستیسیته از تئوری هرتز برای اجسام محدب استفاده کردند (Kiani Deh Kiani et al., 2009).

همچنین مدول الاستیسیته‌ی انگور سفید بیدانه در طول دوره‌ی رشد مطالعه شده است. پژوهشگران یک مقدار معین و ثابت نیرو را به حبه اعمال نموده و تغییر شکل ایجاد شده به ازای آن را برای محاسبه‌ی مدول الاستیسیته بکار بردند. برای محاسبه مدول الاستیسیته، از تئوری هرتز مربوط به اجسام کروی استفاده نمودند. از آنجا که حبه‌ی انگور واقعاً کروی نیست، و از طرفی نسبت پواسون در تمامی محاسبات ثابت و ۰/۵ در نظر گرفته شده، محاسبه‌ی مدول الاستیسیته از این روش دارای خطا خواهد بود. اندازه‌ی مدول الاستیسیته محاسبه شده با استفاده از تئوری هرتز تابعی از کرنش اعمالی است و چون با رسیدن میوه

1 - Contact problem

2 - Boussinesq's theory

3 - Instrumented bending beam



تغییر شکل در ازاء یک مقدار مشخص نیرو نیز تغییر می‌کند بنابراین مدول الاستیسیته محاسبه شده با تئوری هرترز در دوره رسیدن میوه ایراد اساسی خواهد داشت (Thomas et al., 2008; Wada et al., 2009). تعیین مدول الاستیسیته و نسبت پواسون پیاز نیز توسط محققین انجام شده است. آن‌ها در این آزمون برای تعیین کرنش عرضی، بدون توجه به شکل هندسی محصول مورد مطالعه، ضمن استفاده از یک ترانسفورمر جابجایی متغیر خطی<sup>۴</sup> (LVDT) از روابط ساده‌ای که برای میله‌های منشوری شکل توسط سیتکی تدوین شده بود استفاده کردند (Cakir et al., 2002).

علی رغم محاسبه‌ی مقادیر مدول الاستیسیته‌ی و نسبت پواسون پیاز (Cakir et al., 2002) بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که این پارامترها و مقدار تغییرات آن با توجه به شکل هندسی برای پیاز ایرانی تاکنون مطالعه نشده و همچنین در تعیین آن‌ها روش دقیقتری نظیر پردازش تصویر بکار نرفته است. بنابر این تعیین خواص مکانیکی ذکر شده برای پیاز ایرانی با روش‌های دقیق‌تر ضروری به نظر می‌رسد. هدف از انجام این تحقیق بررسی خواص مکانیکی دو رقم پیاز ایرانی می‌باشد. در این مطالعه مقدار نسبت پواسون با پردازش تصویر محاسبه شده است. با استفاده از تئوری هرترز و در نظر گرفتن مقدار تغییر شکل و با به کار بردن نسبت پواسون و با در نظر گرفتن شکل نمونه در محاسبات، مدول الاستیسیته محاسبه گردیده است. همچنین اثر دو سرعت بارگذاری (۱۵ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه) در جهت‌های مختلف (طولی و عرضی) برای سه مقدار تغییر شکل (۵ و ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر) بر روی دو رقم پیاز (قرمز و زرد) بررسی و مقایسه شد.

## مواد و روش‌ها

### نمونه‌ی پیاز

نمونه‌های لازم پیاز قرمز و زرد در اوایل مهرماه ۱۳۹۲ تهیه گردید. نمونه‌ها به طور تصادفی انتخاب شدند. سپس ابعاد نمونه‌ها یعنی سه قطر عمود بر هم بزرگ، متوسط و کوچک با استفاده از یک کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. برخی مشخصات فیزیکی نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. برای تعیین نسبت پواسون و مدول الاستیسیته در هر نوبت با توجه به استاندارد ASAE (۲۰۰۸) ۸ نمونه بصورت تصادفی انتخاب و پس از انجام آزمایشات بارگذاری توام با عکسبرداری دیجیتالی محاسبات صورت گرفت. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تکرار انجام شد. داده‌های بدست آمده از مراحل ارزیابی توسط نرم افزارهای SPSS و Excel تحلیل شدند.

<sup>4</sup> - Linear Variable Differential Transformer

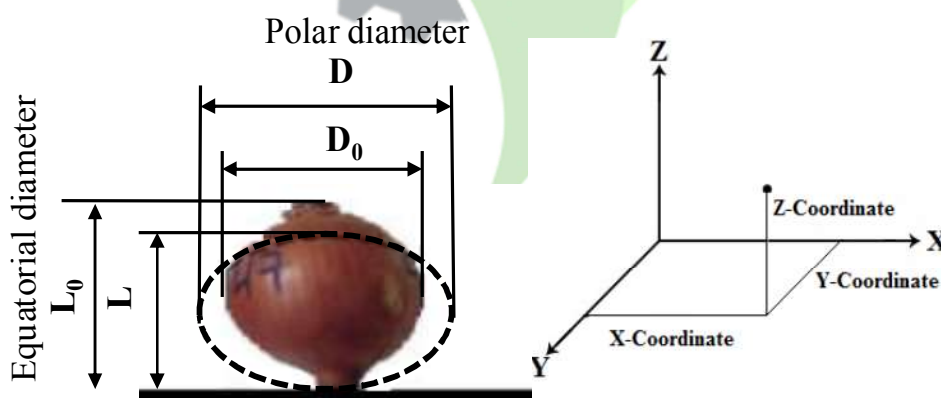


## آزمون بارگذاری

برای اندازه‌گیری نسبت پوآسون و مدول الاستیسیته، نمونه‌ها در راستای طولی و عرضی و با استفاده از دستگاه آزمون کشش - فشار جامع (مدل H5K، ساخت انگلستان) تحت آزمون بارگذاری (مابین دو صفحه تخت با بارگذاری یکنواخت تک محوری در راستای Z) با دو سرعت ۱۵ و ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند. میزان جابجایی پروب (صفحه تخت) ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بود. عکسبرداری قبل و بعد از بارگذاری انجام شد. سپس تغییر شکل‌های عرضی و محوری (D و L) ایجاد شده تحت بارگذاری در دو راستای X و Y محاسبه گردید (شکل ۱). هم‌زمان به منظور محاسبه‌ی مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز، مقادیر متناظر نیرو و جابجایی با در نظر گرفتن محدوده‌ی مجاز تغییر شکل در تئوری هرتز، از نمودار نیرو-تغییر شکل حاصل از دستگاه استخراج گردید.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی دو رقم پیاز زرد و قرمز

نوع پیاز Varieties	زرد Yellow	قرمز Red
درصد رطوبت تر (%) Moisture content (%)	89	90
قطر استوایی (میلی‌متر) Equatorial diameter (mm)	59.41	58.04
قطر قطبی (میلی‌متر) Polar diameter (mm)	58.85	59.66
ضخامت (میلی‌متر) Thickness	57.21	57.74
شاخص شکل Shape Index	1.01	1.04



شکل ۱. تغییر شکل‌های عرضی و محوری ایجاد شده در نمونه تحت بارگذاری (نمای روبرو، صفحه ZX).

## پردازش تصویر

تصاویر تهیه شده از حالت‌های قبل و بعد از بارگذاری، توسط نرم افزار Photoshop مورد تحلیل قرار گرفت و مقدار تغییر شکل و کرنش عرضی محاسبه گردید. اندازه‌ها به صورت پیکسل استخراج و سپس با در نظر گرفتن ابعاد اولیه (بر حسب میلی‌متر) به میلی‌متر تبدیل شد. تغییر شکل و کرنش در امتداد قائم با استفاده از ابعاد اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌ها و میزان جابجایی پروب محاسبه شد.

## ملاحظات ریاضی

بر اساس تئوری هرتز، برای محاسبه‌ی مدول الاستیسیته ی یک محصول محدب شکل<sup>۵</sup> که بین دو صفحه‌ی تخت و موازی فشرده می‌شود، رابطه‌ی (۱) پیشنهاد شده است (استاندارد ASAE، ۲۰۰۸).  
با توجه به اندازه مقادیر سه قطر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و مقادیر شاخص شکل جدول ۱ می‌توان پیاز تحت آزمون را یک دایره دوار (کره) فرض نمود؛ پس شعاع‌های انحنا در نقاط تماس بالا و پایین و همچنین مقدار ثابت‌های  $k$  (که تابعی از شعاع‌های انحنا در محل تماس هستند) با هم برابرند:

$$R_1=R'_1=R_2=R'_2=R \text{ و } K_1=K_2=K$$

$$E = \frac{0.338F(1-\nu^2)}{D^{3/2}} \left[ K_1 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} \right)^{1/3} + K_2 \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_2} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (1)$$

در روابط فوق،  $E$  مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال،  $F$  نیروی وارده بر حسب نیوتن،  $\nu$  نسبت پواسون و  $D$  تغییر شکل بر حسب میلی‌متر است.  $K$  مقدار ثابتی است که از جداول موجود در استاندارد ASAE (۲۰۰۸) استخراج شد و  $R$  بر حسب میلی‌متر شعاع انحنا ی جسم در محل‌های تماس است که از روی ابعاد ظاهری نمونه محاسبه می‌شود. روش محاسبه توسط Hassanpour و همکاران (۲۰۱۱) نیز ارائه شده است.

آزمایش فاکتوریل با چهار فاکتور در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با هشت تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش، رقم با دو سطح زرد و قرمز، جهت بارگذاری با دو سطح طولی و عرضی، سرعت بارگذاری با دو سطح ۲۵ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و مقدار جابجایی با سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

<sup>5</sup> - Convex shape

## بحث و نتایج

### نسبت پواسون در راستای X و Y

با محاسبه‌ی کرنش‌های عرضی از طریق پردازش تصاویر حاصل از تصویربرداری و کرنش‌های محوری از طریق مقدار جابجایی پروب دستگاه آزمون کشش و ابعاد نمونه، در اثر اعمال تغییر شکل به اندازه‌ی ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر، نسبت پواسون دو رقم پیاز در دو سرعت بارگذاری در جهت‌های X و Y تعیین شد (مجموعاً ۲۴ حالت مختلف). نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در جدول ۲ و شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود.

مطابق جدول تجزیه واریانس تاثیر سرعت بارگذاری و میزان جابجایی در سطوح ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سه گانه رقم-جهت-سرعت برای راستای Y در سطح ۱٪ و اثر متقابل دو گانه رقم-جهت در سطح ۱٪، رقم-سرعت و جهت-سرعت برای راستای X در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در مورد اثر متقابل سه گانه، نسبت پواسون پیاز زرد با افزایش سرعت برای وضعیت طولی افزایش و برای وضعیت عرضی کاهش یافت و نسبت پواسون پیاز قرمز با افزایش سرعت برای هر دو وضعیت افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت عرضی بیشتر از وضعیت طولی بود. برای اثر متقابل دو گانه رقم-سرعت، با تغییر رقم از زرد به قرمز نسبت پواسون برای پیاز زرد افزایش و برای پیاز قرمز کاهش یافت. به عبارت دیگر در سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه ضریب پواسون پیاز قرمز و در سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه ضریب پواسون پیاز زرد بیشتر بود. برای اثر متقابل رقم-جهت، نسبت پواسون با تغییر رقم از زرد به قرمز، برای وضعیت طولی کاهش و برای وضعیت عرضی افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت طولی بیشتر از وضعیت عرضی بود. در مورد اثر متقابل جهت-سرعت، نسبت پواسون با افزایش سرعت برای هر دو وضعیت افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت طولی بیشتر از وضعیت عرضی بود. به طور میانگین نسبت پواسون پیاز زرد کمتر از پیاز قرمز و مقدار آن برای پیاز زرد  $0.3600 \pm 0.0601$  و برای پیاز قرمز  $0.4334 \pm 0.3444$  بود (شکل ۲ و ۳). این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در بافت دو رقم پیاز باشد. پیاز قرمز بافت نرم‌تری نسبت به پیاز زرد دارد.

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ مقادیر برای نسبت پواسون بیشتر از یک نمی‌باشد (نکته اینکه برای ماده غیرایزوتروپیک، نسبت پواسون بیشتر از یک خواهد بود (Razavi and Akbari, 2006)). بنابراین پیاز نسبت به پارامتر نسبت پواسون ایزوتروپ می‌باشد. پس در تحلیل‌های شبیه‌سازی می‌توان این نکته را مورد توجه قرار داد. نسبت پواسون در حالت طولی بیشتر از مقادیر بدست آمده برای حالت عرضی بود (شکل‌های ۲ و ۳). این نتیجه می‌تواند مربوط به نحوه رشد نباتات (رشد در راستای طولی یا عرضی) باشد. با افزایش میزان جابجایی، مقدار نسبت پواسون نیز افزایش یافت (شکل‌های ۲ و ۳). نتایج بدست آمده در این تحقیق نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط محققین دیگر، که نسبت پواسون را بین ۰/۱۵ و ۰/۴۴ بدست آورده بودند، را تایید می‌نماید (Cakir et al., 2002).



جدول ۲. تجزیه واریانس اثر منابع تغییرات بر نسبت پواسون و مدول الاستیسیته.

منابع تغییرات Sources of variation	میانگین مربعات Mean squares			
	مدول الاستیسیته در راستای Y Elasticity modulus along Y	مدول الاستیسیته در راستای X Elasticity modulus along X	نسبت پواسون در راستای Y Poisson's ratio along Y	نسبت پواسون در راستای X Poisson's ratio along X
	رقم A Varieties (A)	0.366 ns	0.256 ns	0.015 ns
جهت بارگذاری B Loading directions (B)	0.237 ns	1.284 ns	0.018 ns	0.223 **
سرعت بارگذاری C Loading speed (C)	5.701 **	5.333 **	0.026 *	0.005 ns
میزان جابجایی D Deformation value (D)	116.26 **	121.84 **	0.061 **	0.039 **
AB	0.029 ns	0.078 ns	0.000 ns	0.032 **
AC	1.273 ns	0.865 ns	0.000 ns	0.019 *
AD	0.010 ns	0.138 ns	0.002 ns	0.003 ns
BC	12.823 **	10.441 **	0.087 **	0.025 *
BD	0.650 ns	0.675 ns	0.011 ns	0.004 ns
CD	0.030 ns	0.041 ns	0.001 ns	0.001 ns
ABC	0.345 ns	0.162 ns	0.021 *	0.010 ns
ABD	0.001 ns	0.035 ns	0.003 ns	0.002 ns
ACD	0.076 ns	0.033 ns	0.003 ns	0.000 ns
BCD	0.424 ns	0.167 ns	0.007 ns	0.004 ns
ABCD	0.072 ns	0.003 ns	0.002 ns	0.002 ns
خطا Error	0.650	0.715	0.005	0.004
کل Total				

ns - عدم وجود اختلاف معنی‌داری \* - معنی‌داری در سطح ۵٪ \*\* - معنی‌داری در سطح ۱٪

### مدول الاستیسیته در راستای X و Y

مقادیر نیروی وارد بر نمونه پیاز در تغییر شکل‌های نسبی از روی نمودارهای نیرو-تغییر مکان حاصل از دستگاه تست کششی استخراج شد و با جایگذاری نیروی حاصل، مشخصات هندسی نمونه و همچنین نسبت پواسون محاسبه شده در قسمت قبل، مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز محاسبه گردید (مجموعاً ۲۴ حالت مختلف). نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ ملاحظه می‌شود. مطابق جدول تجزیه واریانس تاثیر سرعت بارگذاری و میزان جابجایی و اثر متقابل جهت - سرعت در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار نبودن فاکتور جهت

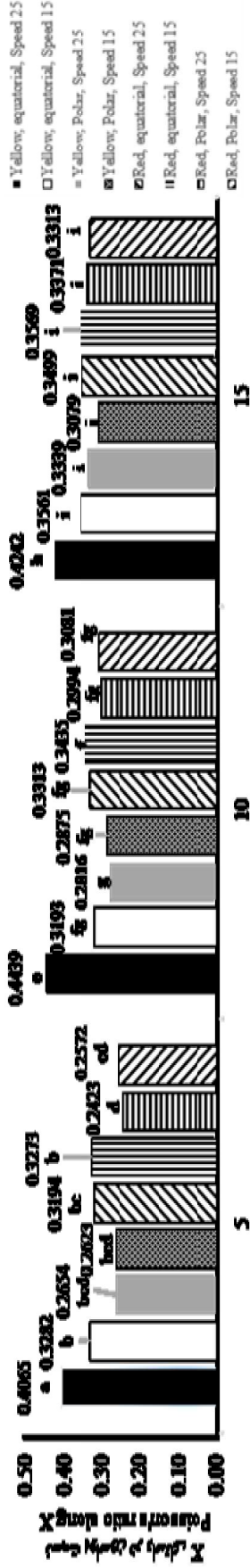


برای مدول الاستیسیته می‌توان نتیجه گرفت که پیاز نسبت به این پارامتر ایزوتروپ می‌باشد، بنابراین در مدلسازی‌ها می‌توان این نکته را در نظر گرفت.

به طور میانگین مدول الاستیسیته پیاز زرد بیشتر از پیاز قرمز و مقدار آن برای پیاز زرد بین  $2/032$  و  $5/449$  مگاپاسکال و برای پیاز قرمز بین  $1/829$  و  $5/311$  مگاپاسکال بود (شکل‌های ۴ و ۵). این امر می‌تواند به این دلیل باشد که پیاز زرد بافت سفت و قوی‌تری نسبت به پیاز قرمز دارد. اثر متقابل جهت - سرعت معنی دار بود. با افزایش سرعت بارگذاری مدول الاستیسیته برای وضعیت عرضی افزایش و برای وضعیت طولی کاهش می‌یافت. به عبارت دیگر در سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه مدول الاستیسیته وضعیت طولی و در سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه مدول الاستیسیته وضعیت عرضی بیشتر بود.

مدول الاستیسیته در حالت طولی بیشتر از مقادیر بدست آمده برای حالت عرضی بود (شکل‌های ۴ و ۵). بنابراین پیاز در راستای طولی تحمل بارگذاری بیشتری دارد و بهتر است در هنگام بسته بندی پیاز به این امر توجه شود. با افزایش میزان جابجایی، مقدار مدول الاستیسیته نیز کاهش می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵). بیشترین میانگین نسبت پواسون برای پیاز زرد در راستای  $X$ ، سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و میزان جابجایی ۵ میلی‌متر و کمترین میانگین برای پیاز قرمز در راستای  $Y$ ، سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و میزان جابجایی ۱۵ میلی‌متر بدست آمد. مدول الاستیسیته بدست آمده توسط Cakir و همکاران (۲۰۰۲) نیز در همین بازه و با نتایج بدست آمده در این تحقیق مشابه بود.

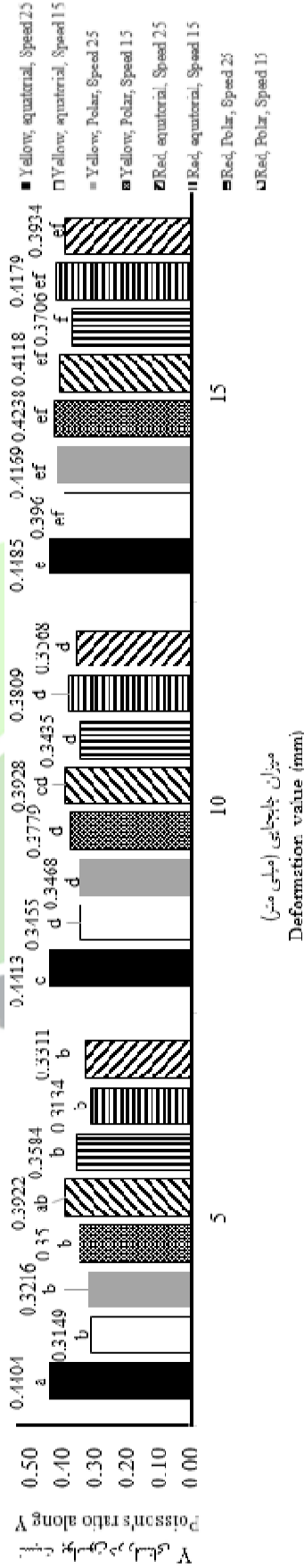




میزان چابکی (میلی متر)  
Deformation value (mm)

شکل ۲. رابطه بین نسبت پواسون و میزان چابکی (میلی متر) برای حالت‌های مختلف پیاز زرد و قرمز در راستای X

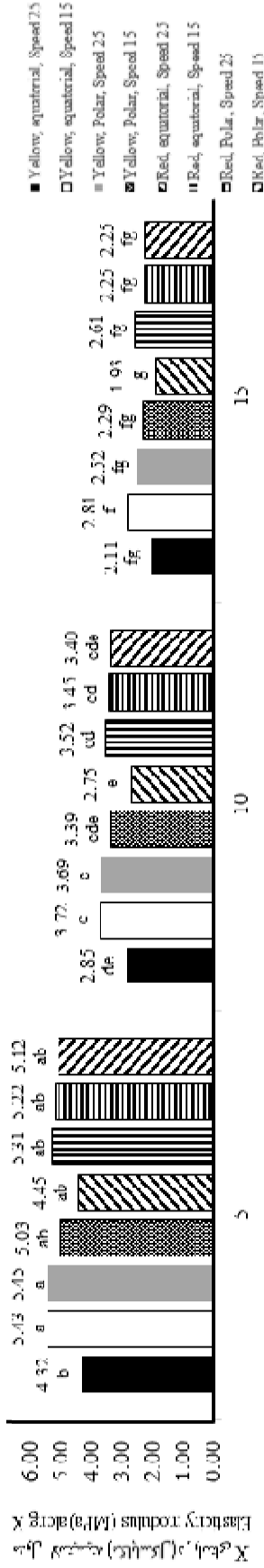
میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.



میزان چابکی (میلی متر)  
Deformation value (mm)

شکل ۳. رابطه بین نسبت پواسون و میزان چابکی (میلی متر) برای حالت‌های مختلف پیاز زرد در راستای Y

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

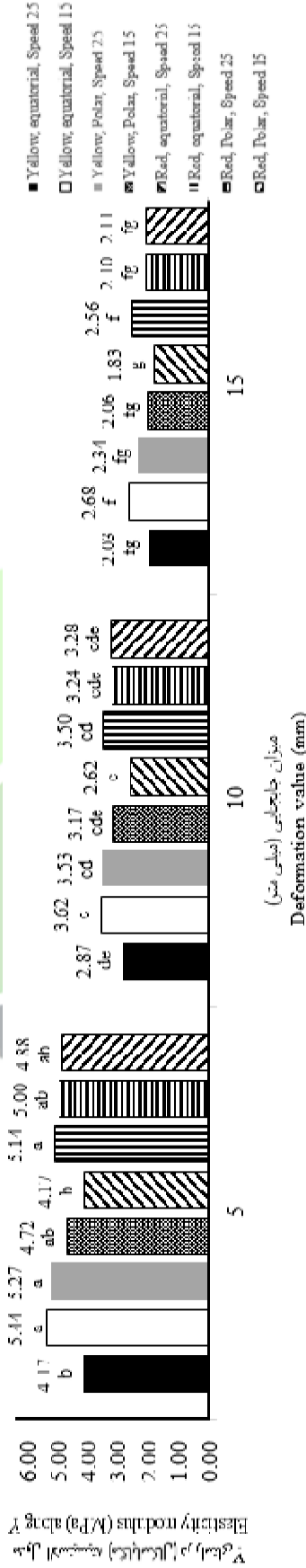


میزان چابایی (میلی متر)  
Deformation value (mm)

۱۰  
۱۱  
۱۲  
۱۳  
۱۴

شکل ۴. رابطه بین مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) و میزان چابایی (میلی متر) برای حالت‌های مختلف پیاز زرد و قرمز در راستای X

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.



میزان چابایی (میلی متر)  
Deformation value (mm)

۱۵  
۱۶  
۱۷

شکل ۵. رابطه بین مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) و میزان چابایی (میلی متر) برای حالت‌های مختلف پیاز زرد و قرمز در راستای Y

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.



	نتیجه گیری	۱۸
	در این مطالعه نسبت پواسون و مدول الاستیسیته دو رقم پیاز ایرانی (قرمز و زرد) در دو سرعت بارگذاری (۱۵ و ۲۵ میلی-متر بر دقیقه) و دو جهت (طولی و عرضی) برای سه میزان جابجایی (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر) تعیین شد. نسبت پواسون از طریق پردازش تصویر و مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز و در نظر گرفتن شکل واقعی پیاز محاسبه شد و نتایج زیر بدست آمد:	۱۹
	• برای نسبت پواسون و مدول الاستیسیته سرعت بارگذاری، میزان جابجایی و تاثیر متقابل آن‌ها در سطوح مختلف معنی‌دار بود.	۲۰
	• نیروی بدست آمده از دستگاه آزمون کشش-فشار برای محاسبه مدول الاستیسیته پیاز زرد بیشتر از پیاز قرمز بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیاز زرد در برابر بارگذاری‌ها مقاومت بیشتری می‌تواند داشته باشد.	۲۱
	• اگر بارگذاری در امتداد یکی از قطرهای کوچک صورت بگیرد مقدار تغییر شکل ایجاد شده در امتداد قطر بزرگ نسبت به قطر کوچک دیگر کوچک‌تر است. بنابراین کرنش ایجاد شده در امتداد قطر بزرگ و به تبع آن نسبت پواسون محاسبه شده در این امتداد کوچکتر از راستای قطر کوچک می‌باشد.	۲۲
	• مدول الاستیسیته در حال طولی بیشتر از مقادیر بدست آمده برای حالت عرضی بود. بنابراین پیاز در راستای طولی تحمل بارگذاری بیشتری را دارد و بهتر است در هنگام بسته بندی پیاز به این امر توجه شود.	۲۳
	• با افزایش میزان جابجایی، مقدار نسبت پواسون افزایش و مقدار مدول الاستیسیته کاهش یافت.	۲۴
	• مدول الاستیسیته برای وضعیت طولی در سرعت بارگذاری ۱۵ بیشتر از سرعت بارگذاری ۲۵ و این نسبت برای وضعیت عرضی بالعکس بود.	۲۵
		۲۶
		۲۷
		۲۸
		۲۹
		۳۰
		۳۱
		۳۲
		۳۳
		۳۴
	منابع	۳۵
	1. Arnold, P.C., and A. Robert. 1969. Fundamental aspects of load deformation behaviour of wheat grains. Trans. ASAE., 12: 104-108.	۳۶
		۳۷
	2. ASABE STANDARDS. 2008. Compression test of food materials of convex shape. Am. Soc. Agric. Eng. S368., 4: 585- 592.	۳۸
		۳۹
	3. Cakir, E., F. Alayunt, and K. Ozden. 2002. A study on the determination of Poisson's ratio and modulus of elasticity of some onion varieties. Asian Journal of Plant sciences. 1: 376-378.	۴۰
		۴۱
		۴۲
	4. Esehaghbeygi, A. and M. Ardforoshan. 2008. Physical Attributes and Stiffness of Saffron Peach Variety. Proceedings of the 5th National Congress of Agricultural Eng. And Mechanization. Ferdowsi Mashhad Univ., Iran, Code 58. (In Farsi).	۴۳
		۴۴
		۴۵
	5. Finney, E.E. 1963. The viscoelastic behaviour of the potato, solanum tuberosum, under quasi-static loading. Ph.D. Thesis, Michigan State University, East Lansing, MI.	۴۶
		۴۷



- |  |  |
|--|--|
| 6. Gentle, C.R. and M. Halsall. 1982. Measurement of Poisson's ratio using Newton's rings. Optics and Lasers in Engineering. 3: 111-118.   | ۴۸<br>۴۹   |
| 7. Hassanpour, A., M. Esmaili, A. Modarres Motlagh, A. Rahmani Didar, M. Nasiri. 2011. Determination of Poisson's Ratio and Modulus of Elasticity during Maturation of White Seedless Grapes. Iranian Food Science and Technology Research Journal; 6(4); 308-316. (In Farsi). | ۵۰<br>۵۱<br>۵۲<br>۵۳   |
| 8. Kang, Y.S., C.K. Spilman, and G.D. Chung. 1995. Mechanical properties of wheat. Trans. ASAE., 38: 573-578.  | ۵۴<br>۵۵   |
| 9. Khazaei, J., and D. Mann. 2004. Effects of temperature and leading characteristics on mechanical and stress relaxation properties of Sea Buckthorn berries. Part 1. Compression tests. J. Sci. Res. Dev., 6: 25-32.   | ۵۶<br>۵۷<br>۵۸   |
| 10. Kiani Deh Kiani, M., H. Maghsoudi, and S. Minaei. 2009. Determination of Poisson's of ratio and Young's modulus of red bean grains. Journal of Food Process Engineering. 10: 1745-1756.  | ۵۹<br>۶۰<br>۶۱   |
| 11. Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. 2nd ed., Gordon Breach Science Publisher, New York.   | ۶۲<br>۶۳<br>۶۴   |
| 12. Razavi, S.M.A., and R. Akbari. 2006. Biophysical properties of agricultural and food materials. Ferdowsi University of Mashhad press. (In Farsi).  | ۶۵<br>۶۶   |
| 13. Shitanda, D., Y. Nishiyama, and S. Koide. 2002. Compressive strength properties of rough rice considering variation of contact area. Journal of Food Engineering. 53: 53-58.   | ۶۷<br>۶۸   |
| 14. Thomas, T. R., K. A. Shackel, and M. A. Matthews. 2008. Mesocarp cell turgor in Vitis vinifera L. berries throughout development and its relation to firmness, growth, and the onset of ripening. Planta. 228: 1067-1076.  | ۶۹<br>۷۰<br>۷۱   |
| 15. Wada, H., M. A. Matthews, and K. A. Shackel. 2009. Seasonal pattern of Apo-plastic solute accumulation and loss of cell turgor during ripening of Vitis vinifera fruit under field conditions. Journal of Experimental Botany. 60(6): 1773- 1781.                          | ۷۲<br>۷۳<br>۷۴<br>۷۵<br>۷۶<br>۷۷<br>۷۸<br>۷۹<br>۸۰<br>۸۱<br>۸۲<br>۸۳<br>۸۴<br>۸۵ |

Determination of elasticity modulus and Poisson's ratio of two onion varieties under different loading conditions ۸۶  
۸۷

A. Jafari Malekabadi<sup>\*1</sup>, M. Khojastehpour<sup>2</sup>, B. emadi<sup>2</sup> and M.R. Golzarian<sup>3</sup> ۸۸  
۸۹

1- PHD student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. ۹۰  
۹۱

[ay\\_ja306@stu.um.ac.ir](mailto:ay_ja306@stu.um.ac.ir) ۹۲

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. ۹۳

3- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. ۹۴  
۹۵

**Abstract** ۹۶

In this work the mechanical properties of two onion varieties were assessed. The effects of loading directions (polar or equatorial), deformation value (5, 10 and 15 mm), loading speed (15 or 25 mm/min) and onion varieties (Red and Yellow) on the modulus of elasticity and Poisson's ratio were examined. In each run, ten onions were randomly selected and the loading test and photography were done together. Poisson's ratio was determined by the image processing. Considering shape of the fruit and a deformation value, and also using Hertz's theory with a Poisson's ratio, modulus of elasticity was calculated. According to the analysis of variance table for Poisson's ratio and modulus of elasticity, the effects of speed of loading and displacement was significant in 5% probability levels. The average of the modulus of elasticity and Poisson's ratio for Red onion was less than that obtained for the Yellow onion. Poisson's ratio and modulus of elasticity were obtained as 0.2623 to 0.4485 and 0.2423 to 0.4179, and 2.032 to 5.449 and 1.829 to 5.311 MPa for Yellow and Red onions, respectively. The modulus of elasticity for lateral loading was less than that obtained for the axially loading. With increasing deformation, the modulus of elasticity and Poisson's ratio decreased and increased, respectively. The modulus of elasticity for lateral loading in loading speed 25 mm/min was less than that obtained for loading speed 15 mm/min. ۹۷  
۹۸  
۹۹  
۱۰۰  
۱۰۱  
۱۰۲  
۱۰۳  
۱۰۴  
۱۰۵  
۱۰۶  
۱۰۷  
۱۰۸  
۱۰۹  
۱۱۰  
۱۱۱  
۱۱۲  
۱۱۳

**Keywords:** Image processing, onion, Hertz's theory, elasticity modulus, Poisson's ratio. ۱۱۴  
۱۱۵