

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

ایوب جعفری ملک آبادی^۱ - مهدی خجسته پور^{۲*} - باقر عمادی^۳ - محمودرضا گلزاریان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در این مطالعه نسبت پوآسون ظاهری 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 جابه‌جایی (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر) تعیین شد. در هر نوبت آزمایشات بارگذاری توأم با عکس‌برداری انجام گرفت. نسبت پوآسون ظاهری نیز از طریق پردازش تصویر محاسبه شد. با استفاده از تئوری هرتز و نسبت پوآسون ظاهری محاسبه شده و نیز با در نظر گرفتن شکل پیاز، مدول الاستیسیته محاسبه گردید. مطابق جداول تجزیه واریانس برای نسبت پوآسون ظاهری و مدول الاستیسیته سرعت بارگذاری و میزان جابه‌جایی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. به‌طور میانگین نسبت پوآسون ظاهری و مدول الاستیسیته پیاز قرمز کمتر از پیاز زرد به‌دست آمد. نسبت پوآسون ظاهری ۰/۴۴۸۵ - ۰/۲۶۲۳ و ۰/۴۱۷۹ - ۰/۲۴۲۳ و مدول الاستیسیته ۵/۴۴۹ - ۲/۰۳۲ و ۵/۳۱۱ - ۱/۸۲۹ مگاپاسکال به‌ترتیب برای پیاز زرد و قرمز بود. مدول الاستیسیته در حالت طولی بیشتر از مقادیر به‌دست آمده برای حالت عرضی بود. با افزایش میزان جابه‌جایی، مقدار مدول الاستیسیته کاهش و مقدار نسبت پوآسون ظاهری 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.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، پیاز، تئوری هرتز، مدول الاستیسیته، نسبت پوآسون

مقدمه

برابر با قدر مطلق نسبت کرنش عرضی به طولی در یک میله‌ی منشوری تحت بارگذاری تک محوری است (Mohsenin, 1986). براساس تحقیقات انجام یافته این کمیت در مواد زنده تابعی از مقدار رطوبت، مقدار تنش و سرعت بارگذاری بوده (Khazaei and Mann, 1963; Finney, 2004) 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 تأثیر مدول الاستیسیته در مسائل تماسی بیش از نسبت پوآسون می‌باشد (Gentle and Halsall, 1982). گزارش‌های متعددی در مورد نحوه‌ی محاسبه‌ی نسبت پوآسون 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. به‌عنوان مثال، محققین نسبت پوآسون سه رقم برنج را با استفاده از تئوری بوسنيسک^۶ محاسبه کرده و نشان دادند که نسبت پوآسون 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

نسبت پوآسون و مدول الاستیسیته دو خاصیت بنیادی جامدات الاستیک و جامدات ویسکوالاستیک هستند که در حل تمامی مسائل تماسی^۵ 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 پوآسون

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

(*)- نویسنده مسئول: (Email: mkhpour@um.ac.ir)

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی

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 به‌طور تصادفی انتخاب شدند. سپس ابعاد نمونه‌ها یعنی سه قطر عمود بر هم بزرگ، متوسط و کوچک با استفاده از یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برخی مشخصات فیزیکی نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. شاخص شکل برای ارزیابی شکل پیاز طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Abdalla, 1993).

$$SI = \frac{D_e}{\sqrt{D_p * T}} \quad (1)$$

SI شاخص شکل، D_e قطر استوایی، D_p قطر قطبی و T ضخامت پیاز می‌باشد.

اگر شاخص شکل بزرگتر از ۱/۵ باشد پیاز بیضی‌گون در نظر گرفته می‌شود و اگر شاخص شکل کوچکتر از ۱/۵ باشد پیاز کروی در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته در هر نوبت ۸ نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از انجام آزمایشات بارگذاری توأم با عکس‌برداری دیجیتالی محاسبات صورت گرفت. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تکرار انجام شد. داده‌های به‌دست آمده از مراحل ارزیابی توسط نرم افزارهای SPSS و Excel تحلیل شدند.

آزمون بارگذاری

برای اندازه‌گیری نسبت پواسون ظاهری 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 جابه‌جایی پروب (صفحه تخت) ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر بود. عکس‌برداری قبل و بعد از بارگذاری انجام شد. سپس تغییر شکل‌های عرضی و محوری (L و D) ایجاد شده تحت بارگذاری در دو راستای X و Y محاسبه گردید (شکل ۱). هم‌زمان به‌منظور محاسبه مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز، مقادیر متناظر نیرو و جابه‌جایی با در نظر گرفتن محدوده‌ی مجاز تغییر شکل در تئوری هرتز، از نمودار نیرو- تغییر شکل حاصل از دستگاه استخراج گردید.

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^۱ استفاده نموده و بدون در نظر گرفتن شکل هندسی نمونه، نسبت پواسون را به‌عنوان نسبت کرنش عرضی به کرنش طولی در نظر گرفتند و برای تعیین مدول الاستیسیته از تئوری هرتز برای اجسام محدب استفاده کردند (Kiani, 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 به‌ازای آن را برای محاسبه‌ی مدول الاستیسیته به‌کار 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 تغییر شکل در ازای یک مقدار مشخص نیرو نیز تغییر می‌کند بنابراین مدول الاستیسیته محاسبه شده با تئوری هرتز 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 جابه‌جایی متغیر خطی^۲ (LVDT) از روابط ساده‌ای که برای میله‌های منشوری شکل توسط سیتیکی تدوین شده بود استفاده کردند (Cakir et al., 2002).

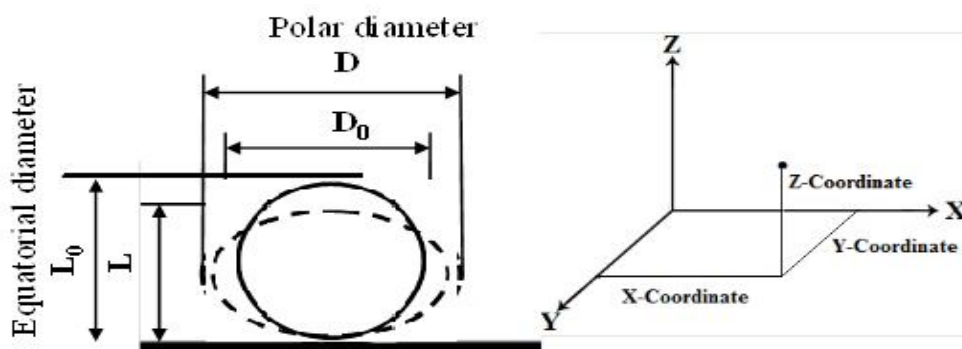
علی‌رغم محاسبه‌ی مقادیر مدول الاستیسیته‌ی و نسبت پواسون پیاز (Cakir et al., 2002) بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که این پارامترها و مقدار تغییرات آن با توجه به شکل هندسی برای پیاز ایرانی تاکنون مطالعه نشده و همچنین در تعیین آن‌ها روش دقیق‌تری نظیر پردازش تصویر به‌کار نرفته است. بنابراین تعیین خواص مکانیکی 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 ظاهری با پردازش تصویر محاسبه شده است. با استفاده از تئوری هرتز و در نظر گرفتن مقدار تغییر شکل و با به‌کار بردن نسبت پواسون ظاهری و با در نظر گرفتن شکل نمونه در محاسبات، مدول الاستیسیته

1- Instrumented bending beam
2- Linear Variable Differential Transformer

جدول ۱- مشخصات فیزیکی دو رقم پیاز زرد و قرمز

Table 1- Physical properties of red and yellow varieties of onion

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 روبه‌رو، صفحه ZX)

Fig.1. Lateral and axial deformation of the samples under loading (Front view, ZX)

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} \quad (2)$$

که در آن، ν نسبت پواسون، ϵ_x کرنش عرضی (در راستای X یا Y) و ϵ_z کرنش طولی (Z) می‌باشد. براساس تئوری هرتز، برای محاسبه‌ی مدول الاستیسیته‌ی یک محصول محدب شکل^۱ که بین دو صفحه‌ی تخت و موازی فشرده می‌شود، رابطه‌ی (۳) پیشنهاد شده است (ASAE, 2008).

$$E = \frac{0.338F(1-\nu^2)}{D^{\frac{3}{2}}} \left[K_L \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_L'} \right)^{\frac{1}{3}} + K_U \left(\frac{1}{R_U} + \frac{1}{R_U'} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

در رابطه فوق، E مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال، F نیروی وارده بر حسب نیوتن، ν نسبت پواسون و D تغییر شکل بر حسب میلی‌متر است. K_U و K_L (که تابعی از شعاع‌های انحنا در

اندازه‌گیری تغییر شکل عرضی و طولی با پردازش تصویر

تصاویر تهیه شده از حالت‌های قبل و بعد از بارگذاری، توسط نرم‌افزار 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 به میلی‌متر تبدیل شد. تغییر شکل و کرنش در امتداد قائم با استفاده از ابعاد اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌ها و میزان جابه‌جایی پروب محاسبه شد.

محاسبه نسبت پواسون ظاهری و مدول الاستیسیته

با داشتن مقادیر کرنش عرضی و محوری، نسبت پواسون ظاهری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Figura and Teixeira 2007; Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009; Pallottino *et al.*, 2011; Kabas and Ozmerzi 2008; Gładyszewska and Ciupak 2009). برای محصولات کشاورزی از نگاه ماکروسکوپی این روش صحیح می‌باشد.

1- Convex shape

بارگذاری با دو سطح ۲۵ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و مقدار جابه‌جایی با سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نسبت پواسون ظاهری در راستای X و Y

با محاسبه کرنش‌های عرضی از طریق پردازش تصاویر حاصل از تصویربرداری و کرنش‌های محوری از طریق مقدار جابه‌جایی پروب دستگاه آزمون کشش و ابعاد نمونه، در اثر اعمال تغییر شکل به اندازه ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر، نسبت پواسون ظاهری 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.

محل تماس هستند) مقادیر ثابتی هستند که از جداول موجود در استاندارد ASAE (۲۰۰۸) استخراج می‌شود. R_L و R'_L شعاع‌های مینیمم و ماکزیمم انحناء جسم در محل تماس با صفحه پایین R_U و R'_U شعاع‌های مینیمم و ماکزیمم انحناء جسم در محل تماس با صفحه بالا بر حسب میلی‌متر است که از روی ابعاد ظاهری نمونه محاسبه می‌شود. روش محاسبه توسط Hassanpour *et al.* (2011) نیز ارائه شده است.

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 انحناء در نقاط تماس بالا و پایین و همچنین مقدار ثابت‌های k با هم برابرند:

$$K_L=K_U=K \text{ و } R_L=R'_L=R_U=R'_U=R$$

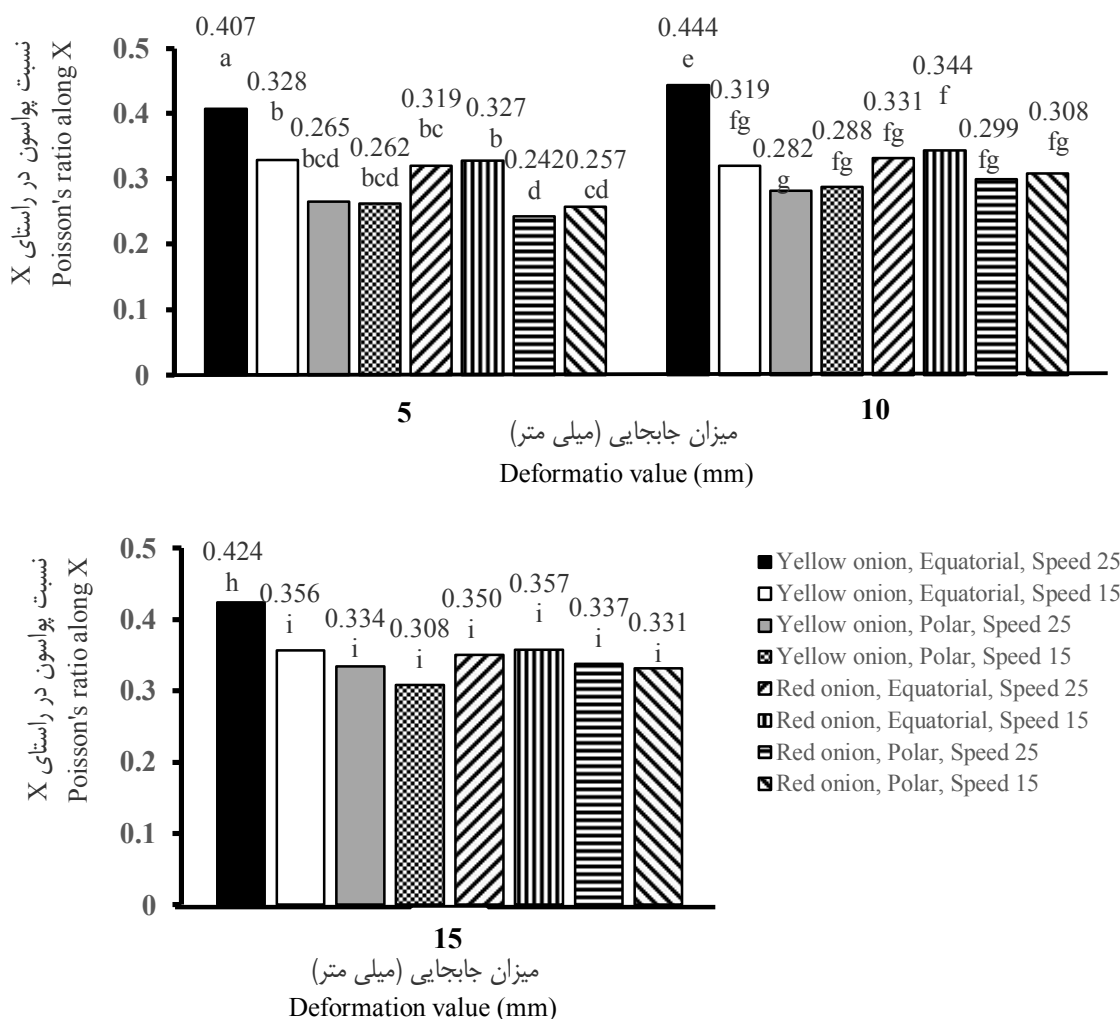
آزمایش فاکتوریل با چهار فاکتور در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با هشت تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش، رقم با دو سطح زرد و قرمز، جهت بارگذاری با دو سطح طولی و عرضی، سرعت

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

Table 2- Analysis of variance for effect of sources of variation on apparent Poisson's ratio and the modulus of elasticity

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 ظاهری در راستای Y Apparent Poisson's ratio along Y	نسبت پواسون ظاهری در راستای X Apparent Poisson's ratio along X
رقم A Varieties (A)	0.366 ^{ns}	0.256 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.019 [*]
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 جابه‌جایی 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

ns- عدم وجود اختلاف معنی‌داری * - معنی‌داری در سطح ۵٪ ** - معنی‌داری در سطح ۱٪
ns- Non-significant; * - Significance at 5% level; ** - Significance at 1% level.



شکل ۲- رابطه بین نسبت پواسون ظاهری و میزان جابه‌جایی (میلی‌متر) برای حالت‌های مختلف پیاز در راستای X میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

Fig.2. The apparent Poisson's ratio vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along X The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.

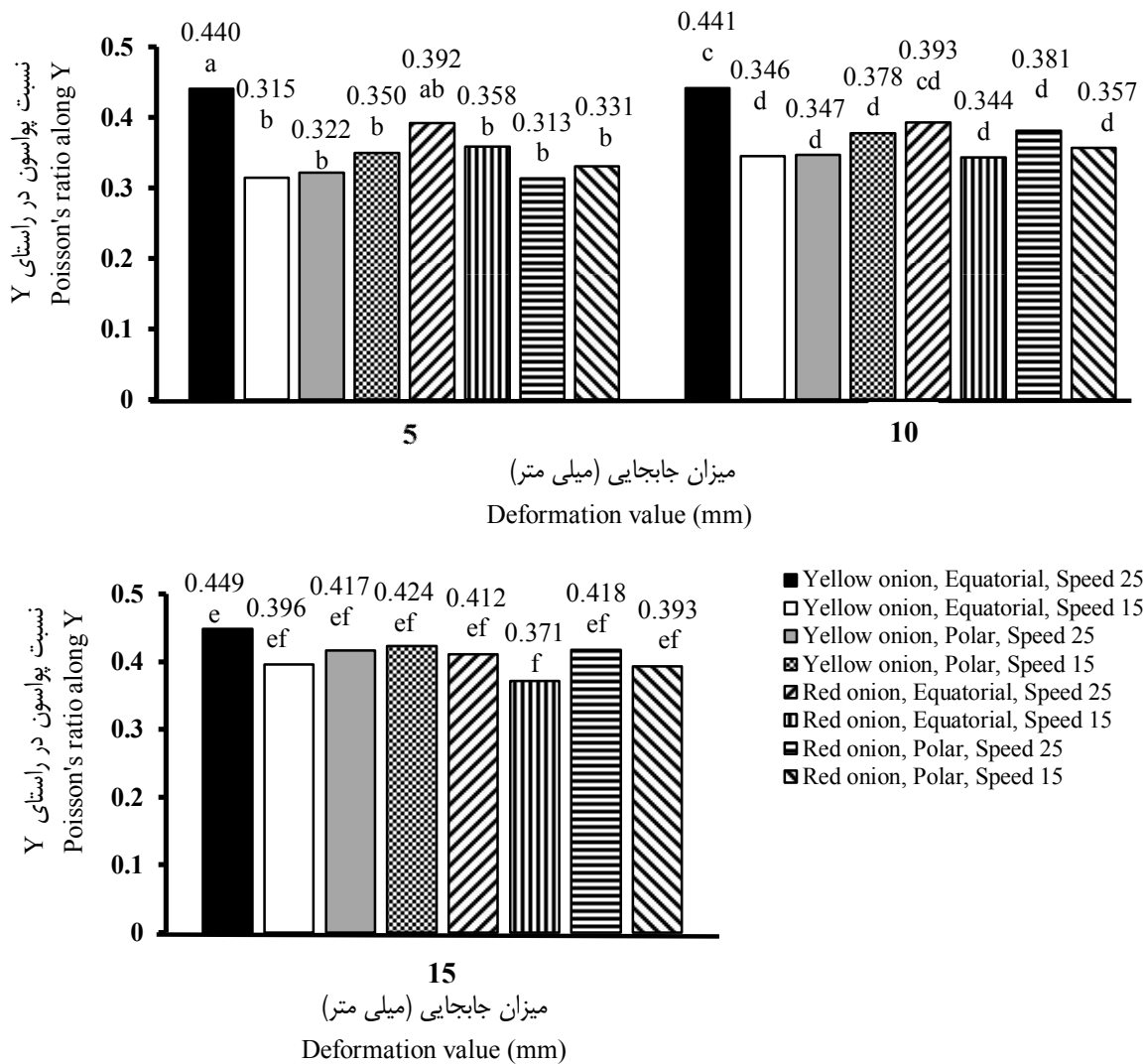
عبارت دیگر در سرعت ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه ضریب پواسون ظاهری پیاز قرمز و در سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه ضریب پواسون ظاهری پیاز زرد بیشتر بود. برای اثر متقابل رقم-جهت، نسبت پواسون ظاهری با تغییر رقم از زرد به قرمز، برای وضعیت طولی کاهش و برای وضعیت عرضی افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت طولی بیشتر از وضعیت عرضی بود. در مورد اثر متقابل جهت-سرعت، نسبت پواسون ظاهری با افزایش سرعت برای هر دو وضعیت افزایش یافت و مقدار مدول برای وضعیت طولی بیشتر از وضعیت عرضی بود. به‌طور میانگین نسبت پواسون ظاهری پیاز زرد کمتر از پیاز قرمز و مقدار آن برای پیاز زرد 0.360 ± 0.01 و برای پیاز قرمز 0.434 ± 0.03 بود (شکل ۲ و ۳). این امر می‌تواند ناشی از

مطابق جدول تجزیه واریانس تأثیر سرعت بارگذاری و میزان جابه‌جایی در سطوح ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سه‌گانه رقم-جهت-سرعت برای راستای Y در سطح ۱٪ و اثر متقابل دوگانه رقم-جهت در سطح ۱٪، رقم-سرعت و جهت-سرعت برای راستای X در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در مورد اثر متقابل سه‌گانه، نسبت پواسون ظاهری پیاز زرد با افزایش سرعت برای وضعیت طولی افزایش و برای وضعیت عرضی کاهش یافت و نسبت پواسون ظاهری 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 دوگانه رقم-سرعت، با تغییر رقم از زرد به قرمز نسبت پواسون ظاهری برای پیاز زرد افزایش و برای پیاز قرمز کاهش یافت. به

ظاهری نیز افزایش یافت (شکل های ۲ و ۳). زیرا با افزایش جابه جایی پیاز به سمت شکست نزدیک می شود و با جابه جایی طولی کم، جابه جایی عرضی بیشتری دارد. به عبارت دیگر کرنش عرضی آن بیشتر از کرنش طولی نسبت به جابه جایی های اولیه طی بارگذاری می شود. نتایج به دست آمده در این تحقیق نتایج پژوهش های انجام شده توسط محققین دیگر، که نسبت پواسون ظاهری را بین ۰/۱۵ و ۰/۴۴ به دست آورده بودند، را تأیید می نماید (Cakir *et al.*, 2002). با توجه به استفاده از روش پردازش تصویر برای اندازه گیری نسبت پواسون ظاهری و دقت بیشتر این روش، نسبت پواسون در بازه محدودتری نسبت به نتایج محققین دیگر به دست آمد.

تفاوت در بافت دو رقم پیاز باشد. پیاز قرمز بافت نرم تری نسبت به پیاز زرد دارد.

با توجه به شکل های ۲ و ۳ مقادیر برای نسبت پواسون ظاهری بیشتر از یک نمی باشد (نکته اینکه برای ماده غیرایزوتروپیک، نسبت پواسون بیشتر از یک خواهد بود (Mohsenin, 1986; Razavi and Akbari, 2006)). بنابراین پیاز نسبت به پارامتر نسبت پواسون ایزوتروپ می باشد. پس در تحلیل های شبیه سازی می توان این نکته را مورد توجه قرار داد. نسبت پواسون ظاهری در حالت طولی بیشتر از مقادیر به دست آمده برای حالت عرضی بود (شکل های ۲ و ۳). این نتیجه می تواند مربوط به نحوه رشد نباتات (رشد در راستای طولی یا عرضی) باشد. با افزایش میزان جابه جایی، مقدار نسبت پواسون



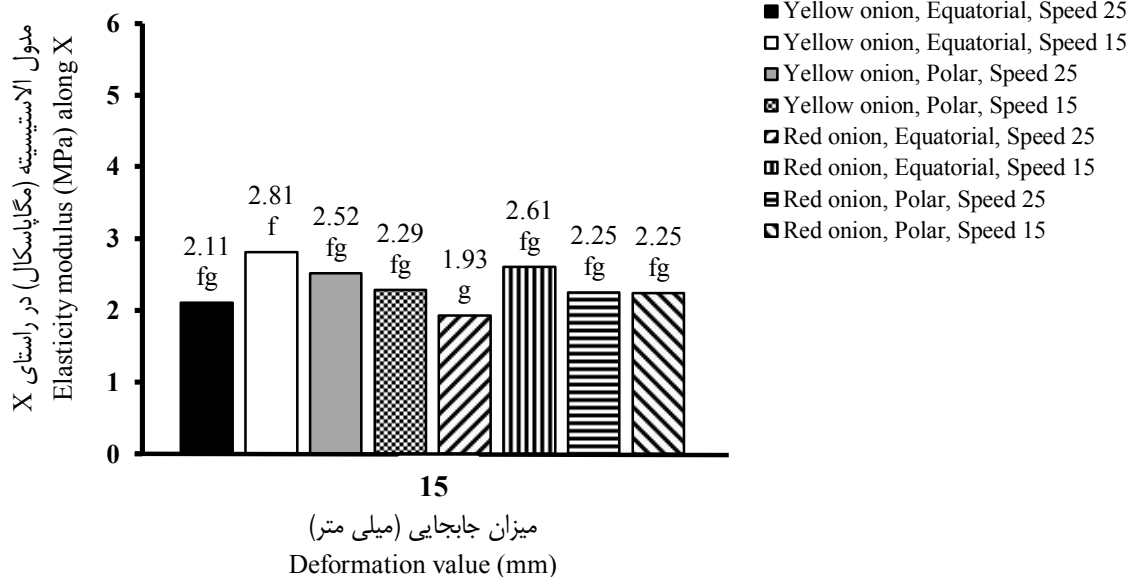
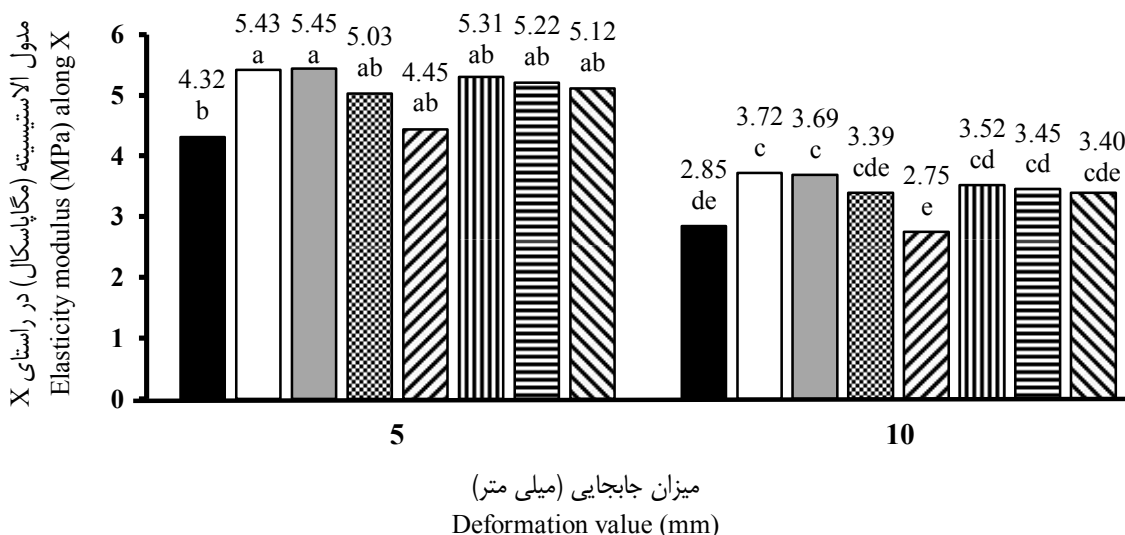
شکل ۳- رابطه بین نسبت پواسون ظاهری و میزان جابه جایی (میلی متر) برای حالت های مختلف پیاز زرد در راستای Y میانگین های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی دار نیستند.

Fig.3. The apparent Poisson's ratio vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along Y. The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.

همچنین نسبت پواسون ظاهری محاسبه شده در قسمت قبل، مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرترز محاسبه گردید (مجموعاً ۲۴ حالت مختلف).

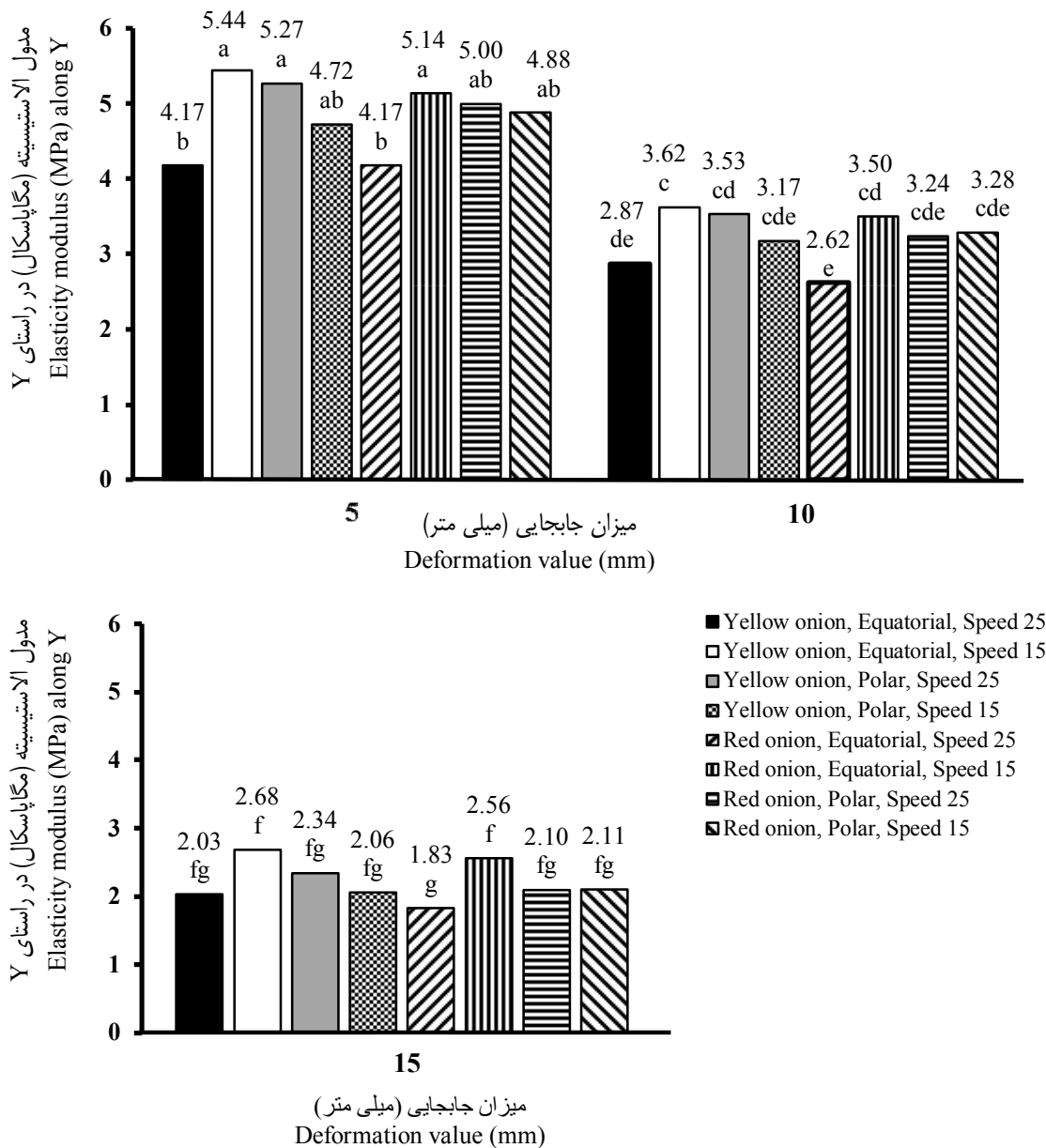
مدول الاستیسیته در راستای X و Y

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



شکل ۴- رابطه بین مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) و میزان جابه‌جایی (میلی‌متر) برای حالت‌های مختلف پیاز در راستای X میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

Fig.4. The elasticity modulus (MPa) vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along X. The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.



شکل ۵- رابطه بین مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) و میزان جابه‌جایی (میلی‌متر) برای حالت‌های مختلف پیاز زرد و قرمز در راستای Y میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵٪ مطابق آزمون چند دامنه دانکن معنی‌دار نیستند.

Fig.5. The elasticity modulus (MPa) vs. the deformation value (mm) for different varieties of onions along Y. The means with the same letter was not significant at 5% level according to Duncan's multiple ranges test.

می‌توان این نکته را در نظر گرفت.

به‌طور میانگین مدول الاستیسیته پیاز زرد بیشتر از پیاز قرمز و مقدار آن برای پیاز زرد بین ۲/۰۳۲ و ۵/۴۴۹ مگاپاسکال و برای پیاز قرمز بین ۱/۸۲۹ و ۵/۳۱۱ 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 معنی‌دار بود. با افزایش

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ ملاحظه می‌شود. مطابق جدول تجزیه واریانس تأثیر سرعت بارگذاری و میزان جابه‌جایی 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

شکل واقعی پیاز محاسبه شد و نتایج زیر به دست آمد:

- برای نسبت پوآسون ظاهری و مدول الاستیسیته سرعت بارگذاری، میزان جابه‌جایی و تأثیر متقابل آن‌ها در سطوح مختلف معنی‌دار بود.
- نیروی به دست 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.
- 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 در نتیجه نسبت پوآسون محاسبه شده در این امتداد کوچکتر از راستای قطر کوچک می‌باشد.
- مدول الاستیسیته در حال طولی بیشتر از مقادیر به دست آمده برای حالت عرضی بود. بنابراین پیاز در راستای طولی تحمل بارگذاری بیشتری را دارد و بهتر است در هنگام بسته‌بندی پیاز به این امر توجه شود.
- با افزایش میزان جابه‌جایی، مقدار نسبت پوآسون ظاهری افزایش و مقدار مدول الاستیسیته کاهش یافت.
- مدول الاستیسیته برای وضعیت طولی در سرعت بارگذاری ۱۵ بیشتر از سرعت بارگذاری ۲۵ و این نسبت برای وضعیت عرضی بالعکس بود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد برای حمایت‌های مالی از این طرح (طرح شماره ۲۷۱۷۳/۲) تشکر می‌نمایم.

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 به دست آمده برای حالت عرضی بود (شکل‌های ۴ و ۵). بنابراین پیاز در راستای طولی تحمل بارگذاری بیشتری دارد و بهتر است در هنگام بسته‌بندی پیاز به این امر توجه شود. با افزایش میزان جابه‌جایی، مقدار مدول الاستیسیته نیز کاهش می‌یابد (شکل‌های ۴ و ۵). زیرا نسبت پوآسون و جابه‌جایی افزایش می‌یابد که طبق رابطه (۳) مدول الاستیسیته با $(1-\nu)$ نسبت مستقیم و با جابه‌جایی نسبت عکس دارد. بیشترین میانگین نسبت پوآسون ظاهری برای پیاز زرد در راستای X ، سرعت بارگذاری ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و میزان جابه‌جایی ۵ میلی‌متر و کمترین میانگین برای پیاز قرمز در راستای Y ، سرعت بارگذاری ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و میزان جابه‌جایی ۱۵ میلی‌متر به دست آمد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط محققین دیگر، که مدول الاستیسیته را بین $1/35$ و $8/14$ به دست آورده بودند، را تأیید می‌نماید (Cakir *et al.*, 2002). با توجه به استفاده از روش پردازش تصویر برای اندازه‌گیری نسبت پوآسون ظاهری و دقت بیشتر این روش، مدول الاستیسیته در بازه محدودتری نسبت به نتایج محققین دیگر به دست آمد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه نسبت پوآسون ظاهری 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 جابه‌جایی (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر) تعیین شد. نسبت پوآسون ظاهری از طریق پردازش تصویر و مدول الاستیسیته با استفاده از تئوری هرتز و در نظر گرفتن

References

1. AbdAlla, H. S. 1993. Effect of coating process on seeds viability and some physico-mechanical properties of Egyptian cotton. Journal of Agricultural Science, Mansoura University 18 (8): 2384-2396.
2. Arnold, P. C., and A. Robert. 1969. Fundamental aspects of load deformation behaviour of wheat grains. Trans. ASAE 12: 104-108.
3. ASABE STANDARDS. 2008. Compression test of food materials of convex shape. America Society of Agricultural and Biological Engineers S368 4: 585-592.
4. 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.
5. Esehaghbeygi, A., and M. Ardforoshan. 2008. Physical attributes and stiffness of saffron peach variety. Proceedings of the 5th National Congress of Agricultural Engineering and Mechanization. Ferdowsi Mashhad University, Iran, Code 58. (In Farsi).
6. Figura, L. O., and A. A. Teixeira. 2007. Food Physics: Physical Properties-Measurement and Application, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany.

7. 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.
8. Gentle, C. R., and M. Halsall. 1982. Measurement of Poisson's ratio using Newton's rings. *Optics and Lasers in Engineering* 3: 111-118.
9. Gladyszewska, B., and A. Ciupak. 2009. Changes in the mechanical properties of the greenhouse tomato fruit skins during storage. *Technical Sciences* 12: 1-8.
10. Hassanpour, A., M. Esmaili, A. Modarres Motlagh, A. Rahmani Didar, and 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).
11. Kabas, O., and A. Ozmerzi. 2008. Determining the mechanical properties of cherry tomato varieties for handling, *Journal of Texture Studies* 39: 199-209
12. Kang, Y. S., C. K. Spilman, and G. D. Chung. 1995. Mechanical properties of wheat. *America Society of Agricultural and Biological Engineers* 38: 573-578.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Pallottino, F., C. Costa, P. Menesatti, and M. Moresi. 2011. Assessment of the mechanical properties of Tarocco orange fruit under parallel plate compression. *Journal of Food Engineering* 103: 308-316.
17. Razavi, S. M. A., and R. Akbari. 2006. *Biophysical properties of agricultural and food materials*. Ferdowsi University of Mashhad press. (In Farsi).
18. 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.
19. 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.
20. 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.

Determination of elasticity modulus and Poisson ratio of two onion varieties under different loading conditions

A. Jafari Malekabadi¹ - M. Khojastehpour^{2*} - B. Emadi³ - M. R. Golzarian⁴

Received: 27-11-2013

Accepted: 18-01-2014

Introduction: Poisson ratio and modulus of elasticity are two fundamental properties of elastic and viscoelastic solids that use in solving all contact problems, including the calculation of stress, the contact surfaces and elastic deformation (Mohsenin, 1986; Gentle and Halsall, 1982).

There are many published literature on Poisson ratio and elasticity modulus of fruit and vegetables. Shitanda *et al.* (2002) calculated Poisson ratio of rice by considering Boussinesq's theory. They showed that the Poisson ratio is greater for shorter varieties. In another study, researchers used the instrumented bending beam to measure the lateral expansion of red beans. They were considered Poisson ratio as the ratio of transverse strain to the longitudinal strain (regardless of the geometry of the sample) and were calculated modulus of elasticity with Hertz theory for convex bodies (Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009). Cakir *et al.* (2002) was determined the Poisson ratio and elastic modulus of some onion varieties. They used a simple formula to determine the transverse strain that developed by Sitkei (1986) for prism-shaped rod, regardless of the geometry of the product.

Reviewed scientific literature shows that these parameters have not been studied according to the geometric shape of onions and was not used by a more accurate method, such as image processing to determine these parameters. The objective of this study was to evaluate the mechanical properties of two varieties of onions. Poisson ratio was determined with image processing. Considering shape of the onions and deformation value, and using Hertz's theory with Poisson ratio, modulus of elasticity was calculated. The effects of loading directions (polar or equatorial), deformation value (5, 10 and 15 mm), loading speed (15 or 25 mm min⁻¹) and onion varieties (Red and Yellow) on the modulus of elasticity and apparent Poisson's ratio were examined.

Materials and Methods: The onions harvested in autumn, 20 days before conducting the tests. Onion samples kept at room temperature (21°C). Onions of each cultivar were randomly selected. Diameters of onion were measured with a digital vernier caliper. In each run, eight onions were randomly selected and the loading test and photography were done together and the average values reported.

All mechanical tests were performed using a Universal Testing Machine (UTM) (Model H5KS, Tinius Olsen Company) between two rigid plates. The loading was made with two constant speeds of 15 and 25 mm min⁻¹. Deformation values were 5, 10 and 15 mm. The onions were loaded either axially or laterally until rupture point and photography were done together.

The initial and current onion diameters along the y and x axes obtained by using image processing and the strains were calculated. Having axially and laterally strains of the onions, the apparent Poisson's ratio was calculated using equation presented by Figura and Teixeira 2007; Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009; Pallottino *et al.*, 2011; Kabas and Ozmerzi 2008; Gladyszewska and Ciupak 2009.

A factorial experiment based on a completely randomized design with 8 replications was applied. The significant differences of means were compared by using the Duncan's multiple range test at 5% significant level. SPSS 20.0 software was used for data analysis.

Results and Discussion: According to the analysis of variance (Table 2), the effects of speed and displacement of loading was significant in 5% probability levels. In addition, interaction effect varieties × directions × speed along Y, varieties × directions, varieties × speed and directions × speed along X was significant in 1, 1, 5 and 5% probability levels, respectively. The average of the apparent Poisson ratio for Yellow onion was less than that obtained for the Red onion, because Red onions have softer texture than Yellow onions. Apparent Poisson ratio was obtained as 0.2623 to 0.4485 and 0.2423 to 0.4179 for Yellow and Red onions, respectively. With increasing deformation, apparent Poisson ratio increased.

1- PhD student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2 & 3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad and Member of Research Center for Agricultural Machines

4- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad and Member of Research Center for Agricultural Machines

(* - Corresponding Author Email: mkhpour@um.ac.ir)

Modulus of elasticity along X and Y

According to the analysis of variance (Table 2), the effects of speed and displacement of loading and directions \times speed was significant in 1% probability levels. The average of the modulus of elasticity for Red onion was less than that obtained for the Yellow onion because Yellow onion has tougher and more powerful texture than Red onion. Modulus of elasticity were obtained as 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 axial loading. With increasing deformation, the modulus of elasticity decreased. The modulus of elasticity for lateral loading in loading speed 25 mm min^{-1} was less than that obtained for loading speed 15 mm min^{-1} .

Conclusions: The results were summarized as below:

Loading speed, deformation value and their interaction effect were significant in different confidence levels for apparent Poisson's ratio and modulus of elasticity.

The compression force of Yellow onion was more than Red onion. Thus, it can be concluded that Yellow onions have more strength against the forces and loading.

The modulus of elasticity for lateral loading was less than that obtained for the axial loading. It is better to be considered for packaging of onions.

The modulus of elasticity for lateral loading in loading speed 25 mm min^{-1} was less than that obtained for loading speed 15 mm min^{-1} .

With increasing deformation, the modulus of elasticity and apparent Poisson's ratio decreased and increased, respectively.

Keywords: Elasticity modulus, Hertz's theory, Image processing, Onion, Poisson ratio