

## بررسی رفتار مکانیکی میوه آلوچه و ارائه مدل برای خواص فیزیکی آن با استفاده از روش‌های هوشمند و رگرسیونی

عمار صالحی<sup>1</sup>، پدرام قیاسی<sup>2\*</sup>، علیرضا ترابی مزرعه ملکی<sup>3</sup>، عباس همت<sup>4</sup>

- 1- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
 2- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول)  
 3- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران  
 4- استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران  
 (تاریخ دریافت: 97/10/28 تاریخ پذیرش: 97/12/05)

### چکیده

تعیین و شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی و باغی یکی از پارامترهای مهم در طراحی و ساخت ماشین‌های کاری در این زمینه و تشخیص تأثیر نیروهای استاتیکی و دینامیکی بر میوه آلوچه در طول انبارداری و حمل و نقل می‌باشد. در این نوشته، خواص فیزیکی آلوچه‌ها شامل: پارامترهای ابعادی و وزن و خواص مکانیکی آنها شامل: آزمون فشاری، آزمون پانچ، و آزمون سیکلیک، در دو سطح اندازه‌ای درشت و کوچک اندازه‌گیری گردید. در نهایت با استفاده از داده‌های خواص فیزیکی مدل‌های برآوردکننده‌ای چون مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تخمین وزن و حجم میوه‌ها ارایه گردید. مدل شبکه عصبی در تخمین حجم میوه‌ها با R2 96/0 بهترین مدل را برای تخمین حجم میوه‌ها ارائه داد. هر چند که این مدل برای تخمین وزن میوه‌ها نسبت به مدل‌های رگرسیونی عملکرد مناسبی را نداشت. از نتایج خواص مکانیکی پارامترهای نیرو و جابه‌جایی و تنش بیشینه در نقطه شکست، مدول الاستیسته از روش‌های هرتز و تئوری بوزینسکیو، نیروی پانچ پوسته و گوشته، تنش کمینه از تئوری بوزینسکیو، توزیع تنش عمودی، افقی و برشی در عمق و سطح در لحظه‌ی شکست و ... محاسبه گردید. نتایج نشان داد بدلیل تفاوت ضخامت گوشته میزان تحمل بار وارده در آلوچه‌های بزرگ بیشتر از آلوچه‌های کوچک است. از مقایسات فک محدب و فک تخت در آزمون فشاری می‌توان پی‌برد در انبارداری و حمل و نقل، میوه‌هایی که در کف قرار می‌گیرند نسبت به میوه‌هایی که در تماس عمودی با میوه‌های دیگر هستند بیشتر در معرض آسیب و صدمات مکانیکی قرار می‌گیرند. در نهایت با مشاهده رفتار توزیع تنش‌ها در لحظه‌ی شکست به نظر می‌رسد که تنش افقی گسیختگی را در میوه‌ها دیکته می‌کند.

**کلید واژگان:** شبکه عصبی، توزیع تنش، مدول الاستیسته، نیروی شکست، آلوچه.

\* مسئول مکاتبات: nianmy.p@gmail.com

## 1- مقدمه

بارهای خارجی [3 و 4]، تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی (آلوه) [5 و 6] و مدلسازی خواص فیزیکی انار و پرتغال برای انجام عملیات جداسازی از طریق جرم انجام شده است [7 و 8]. این مدل‌های برآورد کننده شامل مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در اغلب موارد عملکردی بهتر از روش‌های رگرسیونی دارند. یکی از مزیت‌های شبکه‌های عصبی در مقایسه با توابع انتقالی رگرسیونی این است که این شبکه‌ها نیاز به مفاهیم قبلی در مورد ارتباط بین داده‌های ورودی و خروجی ندارند [9]. به دلیل توانایی این شبکه‌ها در مدل‌سازی فرآیندهای بسیار پیچیده که تعداد عوامل تأثیرگذار در آن‌ها زیاد باشد، امکان استفاده از آن در علوم کشاورزی فراهم می‌باشد. هدف از این تحقیق، تعیین و ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی آلوچه در دو سطح اندازه‌ای درشت و کوچک، مدل‌سازی جرمی و حجمی آن برای برآورد این پارامترها بر اساس داده‌های ورودی ابعادی با روش‌های رگرسیونی و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، تحلیل و مقایسه مدول الاستیسیته به روش‌های هرتز و بوزینسکیو و توزیع تنش عمودی و برشی در عمق، خواهد بود.

## 2- موادها و روش‌ها

نمونه‌ها در دو سطح اندازه‌ای درشت و ریز در استان اصفهان برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به صورت تصادفی برای انجام آزمایش انتخاب شد.

آلوچه یا گوجه سبز میوه ای از نژاد *Prunus Spp* از خانواده *Rosaceae* است. میوه ایست از خانواده‌ی آلوها که بومی اروپا و آسیا می‌باشد. گونه‌های وحشی آن دارای شاخه‌های بلند و درختهای کوچک هستند که بلندی آنها به 6 تا 15 متر می‌رسد. بر اساس آمار سازمان خوار و بار جهانی تنها در سال 2016 حدود 13 میلیون تن آلوچه در سراسر جهان تولید شده است که سهم ایران از این تولید حدود 270 هزار تن برآورد شده است [1]. کاهش تلفات و حفظ کیفیت محصولات کشاورزی در طی عملیات کشاورزی (قبل و بعد از برداشت)، در صورتی ممکن است که خواص مختلف این محصولات و چگونگی تغییرات آنها شناخته شوند. تعیین و شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی و باغی می‌تواند یکی از پارامترهای مهم در طراحی و ساخت ماشین‌ها و ادوات برداشت، مرتب سازی، ذخیره سازی، جداسازی، انتقال، شستشو و فرآوری آن‌ها باشد. علاوه بر این در مدت نگه داری، انبارمانی و جابجایی، میوه‌ها در جعبه برای مدت زمانی طولانی متقل و نگه‌داری می‌شوند و تحت تأثیر نیروهای استاتیکی و دینامیکی قرار می‌گیرند که اگر این نیروها از حد معینی تجاوز کنند سبب ایجاد آسیب در میوه‌ها می‌گردد. نیروهای دینامیکی در اثر ارتعاشات حاصل از حمل و نقل و نیروهای استاتیکی در اثر جرم میوه‌های درون جعبه به وجود می‌آیند. نیروی استاتیکی حاصل از جرم لایه‌های بالایی میوه تنها در جهت طولی نبوده بلکه مطابق معادله رانکین فشار جانبی نیز متناسب با ارتفاع مخزن بر میوه‌ها وارد می‌گردد [2]. تحقیقات بسیاری در زمینه مقاومت میوه‌هایی نظیر مرکبات و انار در برابر

Nomenclature			
L	ارتفاع یا بزرگ‌ترین بُعد آلوچه (mm)	E	مدول الاستیسیته ( $N/m^2$ )
W	طول یا بُعد متوسط آلوچه (mm)	D	تغییر شکل (مقدار جابه‌جایی برای ایجاد نیروی تسلیم) (m)
T	عرض یا کوچک‌ترین بُعد آلوچه (mm)	$\mu$	نسبت پواسون
Ra	ضریب نسبت شکل (بدون بعد)	F	نیروی وارده (نیروی تسلیم) (N)
V	حجم واقعی ( $mm^3$ )	$R_{U1}$	شعاع انحنای بیشینه جسم محدب در نقطه تماس با فک متغیر (m)
S	مساحت سطح رویه ( $mm^2$ )	$R_{L1}$	شعاع انحنای کمینه جسم محدب در نقطه تماس با فک متغیر (m)
$D_g$	قطر متوسط هندسی (mm)	$R_{U2}$	شعاع انحنای بیشینه در نقطه تماس با فک ثابت (m)

$\phi$	ضریب کروییت (بدون بعد)	$R_{L2}$	شعاع انحنای کمینه در نقطه تماس با فک ثابت (m)
Mu	رطوبت بر پایه تر	$F_r$	نیروی شکست پوست (N)
a	شعاع بیضی در محل تماس (m)	B	شعاع بیضی در محل تماس (m)
$D_r$	مقدار جابه جایی تا شکست پوست (m)	D	قطر پروپ (m)
$\hat{Y}$	مقادیر پیش‌بینی شده متغیر به روش‌های انجام شده	$Y_i$	مقادیر اندازه‌گیری شده متغیر
N	تعداد داده‌ها	$Y_{expave}$	مقدار متوسط متغیر
$D_a$	تغییر شکل الاستیک	$D_p$	تغییر شکل پلاستیک
		$V_s$	حجم محاسباتی
$\tau$	تنش برشی	$\sigma_x$	تنش افقی
Z	فاصله عمودی از نقطه تماس	$\sigma_z$	تنش عمودی
$E_2$	مدول الاستیسیته جسم محذب	$E_1$	مدول الاستیسیته میوه

## 1-2- خواص فیزیکی

خواص فیزیکی مورد مطالعه در این آزمایش عبارتند از: ارتفاع یا بزرگ‌ترین بُعد، طول یا بُعد متوسط، عرض یا کوچک‌ترین بُعد که توسط کولیس دیجیتالی با دقت 0/01 میلی‌متر و جرم که با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت 0/01 گرم اندازه‌گیری گردیدند. هم‌چنین قطر متوسط حسابی [10]، ضریب نسبت شکل [11]، حجم به روش ارشمیدسی و حجم محاسباتی [12]، چگالی واقعی، رطوبت [13]، مساحت سطح رویه [14]، قطر متوسط هندسی و ضریب کروییت [14 و 15] از روابط موجود (1 - 2) محاسبه شدند. آماده‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار صفحه گسترده Excel، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 17.0 و SAS 9 و مدل‌سازی با شبکه عصبی توسط نرم‌افزار NeuroSolutions V5.00 و Matlab (a) 2011 صورت پذیرفت.

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad 1$$

$$\phi = \frac{D_g}{L} \times 100 \quad 2$$

$$D_a = \frac{(L+W+T)}{3} \quad 3$$

$$S = \frac{\pi D_g^2}{4} \quad 4$$

$$R_a = \frac{T}{L} \times 100 \quad 5$$

$$V_s = \frac{\pi D_g^3}{6} \quad 2$$

### 1-1-2 مدل‌سازی جرمی رگرسیونی

برای ارزیابی و تخمین جرم آلوده بر اساس برخی خواص فیزیکی (ارتفاع، طول، عرض، قطر متوسط هندسی، حجم واقعی و مساحت سطح رویه) سه مدل تک متغیره شامل: الف - مدل - سازی جرمی تک متغیره بر اساس پارامترهای ابعادی (ارتفاع، طول و عرض) و هم‌چنین قطر متوسط هندسی؛ ب - مدل‌سازی جرمی تک متغیره بر اساس حجم واقعی؛ ج - مدل‌سازی جرمی تک متغیره بر اساس مساحت سطح رویه ارائه گردید. هریک از این مدل‌ها با نرم‌افزار SPSS در چهار آزمایش مدلینگ Linear، Quadrati، S-curve و Power بررسی گشته و به ترتیب به صورت روابط (7) تا (10) ارائه گردیده است [16]:

$$M = b_0 + b_1 X \quad 7$$

$$M = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 \quad 8$$

$$\ln(M) = b_0 + \frac{b_1}{X} \quad 9$$

$$M = b_0 X^{b_1} \quad 10$$

از طرف دیگر مدل‌سازی جرمی خطی چند متغیره بر اساس پارامترهای ابعادی را به صورت معادله (11) می‌توان بیان نمود که در همگی آن‌ها  $b_0$ ،  $b_1$ ،  $b_2$  و  $b_3$  ثابت‌های معادلات هستند.

$$M = b_0 + b_1 W + b_2 L + b_3 T \quad 11$$

### 2-1-2 مدل‌سازی حجمی رگرسیونی

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N}} \quad 5$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N} \quad 6$$

برای تعیین معماری بهینه شبکه از روش سعی و خطا و با انجام آزمون‌های مختلف، شبکه‌ای که کمترین میزان خطا و بیشترین ضریب همبستگی را دارد انتخاب گردید. در این تحقیق برای آموزش شبکه MLP از 3 نرون (طول، عرض و ارتفاع) در لایه ورودی، 2 نرون در لایه خروجی (جرم و حجم) و تعداد نرون در لایه میانی با سعی و خطا مشخص شد. برای انتخاب تعداد مناسب نرون‌ها در لایه میانی و تعداد تکرار مطلوب و برای ارزیابی یادگیری شبکه‌های عصبی و حصول بهترین نتایج، از شاخص‌های  $R^2$  و MSE استفاده شد. برای یافتن حالت بهینه شبکه‌ها از توابع آستانه مختلفی از جمله: تابع سیگموئید لگاریتمی، تابع خطی و تانژانت هایپربولیک سیگموئید و همچنین برای بهینه سازی وزن‌های شبکه‌های پرسپترون از الگوریتم آموزشی بیزین استفاده شد. برای هر شبکه (ANN)، ابتدا در یک ترکیب پیش فرض و با تکرارهای متفاوت، مقادیر ضریب تعیین  $(R^2)$  و خطا (MSE) مورد بررسی قرار گرفت. تعداد تکراری که به ازای آن، مقدار خطا (MSE) داده‌های آزمون کمترین و ضریب تعیین  $(R^2)$  بالاترین بود به عنوان تعداد تکرار اولیه انتخاب شد.

## 2-2- خواص مکانیکی

اندازه‌گیری خواص مکانیکی با استفاده از دستگاه جامع تست کشش و فشار اینستران STM-20 توسط یک لودسل 50 نیوتنی انجام گرفت. خواص مکانیکی شامل آزمون فشاری، آزمون سیکلیک و آزمون پانچ بر روی نمونه کامل (دست نخورده) انجام شد و با استفاده از روابط موجود (4-20) پارامترهای نیرو و جابه جایی در نقطه شکست، مدول الاستیسیته، شعاع‌های سطح تماس، تنش بیشینه در نقطه شکست، توزیع تنش عمودی، افقی و برشی در عمق از آزمون فشاری، نیروی پانچ پوسته و گویسته، میزان از آزمون پانچ محاسبه گردید. در کلیه آزمون‌های مکانیکی محور عبوری از ساقه میوه، عمود بر جهت حرکت فک متحرک دستگاه قرار گرفت و تعداد تکرار برای هر آزمون 10

برای ارزیابی و تخمین حجم آلوچه نیز بر اساس برخی خواص فیزیکی (ارتفاع، طول، عرض، قطر متوسط هندسی، جرم، مساحت سطح رویه) همانند مدل‌سازی جرمی سه مدل تک متغیره شامل: الف- مدل‌سازی حجمی تک متغیره بر اساس پارامترهای ابعادی (ارتفاع، طول و عرض) و هم‌چنین قطر متوسط هندسی؛ ب- مدل‌سازی حجمی تک متغیره بر اساس جرم؛ ج- مدل‌سازی حجمی تک متغیره بر اساس مساحت سطح رویه ارائه گردید. هریک از این مدل‌ها با نرم‌افزار SPSS در چهار آزمایش مدلینگ S-curve, Quadratic, Linear و Power بررسی گشته و همانند مدل‌سازی جرمی به ترتیب به صورت روابط (12 تا 15) ارائه گردیده است:

$$V = b_0 + b_1 X \quad 12$$

$$V = b_0 + b_1 X + b_2 X^2 \quad 13$$

$$\ln(V) = b_0 + \frac{b_1}{X} \quad 14$$

$$V = b_0 X^{b_1} \quad 15$$

هم‌چنین مدل‌سازی حجمی خطی چند متغیره بر اساس پارامترهای ابعادی را می‌توان به صورت معادله 3 بیان نمود:

$$V = b_0 + b_1 W + b_2 L + b_3 T \quad 3$$

## 2-1-3- مدل‌سازی در شبکه عصبی مصنوعی

در این تحقیق، مدل‌سازی جرمی و حجمی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام گرفت. شبکه‌های مورد استفاده در این تحقیق از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) با الگوریتم آموزشی بیزین استفاده شد. پس از نرمال‌سازی داده‌ها با روش‌های مرسوم آماری، 70 درصد از آن‌ها برای آموزش، 15 درصد برای اعتبار سنجی و 15 درصد برای آزمون شبکه انتخاب گردید. برای ارزیابی مدل‌های رگرسیونی و نتایج شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن‌ها از معیارهای آماری ضریب تبیین  $(R^2)$ ، خطای استاندارد برآورد<sup>1</sup> (SEE) میانگین جمع مربعات  $(MSE^2)$  استفاده گردید: (روابط 4 تا 6) [5].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{\text{expave}})^2 - \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{\text{expave}})^2} \quad 4$$

1. Standard Error of the Estimate  
2. Mean Squared Error

نمونه بود.

**2-2-1-1-2-2-1-2-2** آزمون فشاری

آزمون فشاری توسط یک فک تخت و یک محدب با شعاع انحنا 28/62 میلیمتر و با سرعت 10 mm/min انجام گردید. از منحنی نیرو- جابه جایی مقادیر نیرو و جابه جایی شکست بدست آمد. در این آزمایش مقدار مدول الاستیسیته بر اساس تئوری هرتز از رابطه (4) محاسبه گردید. با محاسبه مقدار  $\cos\theta$  از رابطه (5) بدست آمد و مقادیر ثابت  $K_U$  و  $K_L$  نیز محاسبه شد [17]. مقدار نسبت پواسون از حداکثر مقدار خود یعنی 0/5 برای مواد نسبتاً غیر قابل تراکم تا صفر برای موادی که به سادگی قابل تراکم هستند، تغییر می کند. موادی که تخریب بیشتری دارند، معمولاً مقدار نسبت پواسون کوچکتری دارند. از رابطه (6) [18]، مقدار نسبت پواسون فرض می شود. مقادیر شعاع های سطح تماس بیضی شکل (a,b) در نقطه شکست از روابط (7-8) بدست آمد. مقادیر m و n از جدول ارائه شده توسط کازما و همکاران [17] و ضرایب  $k_1$  و  $k_2$  از روابط (9-10) بدست آمد. مقدار تنش بیشینه در نقطه شکست از رابطه (11) محاسبه شد [19]. توزیع تنش عمودی افقی و برشی از روابط (12 تا 15) محاسبه شدند.

$$k_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \quad 10$$

$$S_{\max} = \frac{1.5F}{\pi ab} \quad 11$$

$$\sigma_z = -\frac{C\alpha^2}{a^2 + z^2} \quad 12$$

$$\sigma_x = \sigma_y = C \left[ (1 + \mu) \left( \frac{z}{a} \cot^{-1} \frac{z}{a} - 1 \right) + \frac{1}{2} \frac{\alpha^2}{a^2 + z^2} \right] \quad 13$$

$$C = \frac{2\alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}{\pi (1 - \mu^2) \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)} \quad 14$$

$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_x - \sigma_y) \quad 15$$

**2-2-2-2-2-2-2-2-2** آزمون سیکلیک

آزمون سیکلیک با سرعت 10 mm/min و در دو سطح جابه جایی 2 و 4 میلیمتر در هر یک از تیمارهای درشت و کوچک با 10 تکرار در دمای محیط انجام گرفت. انرژی مصرف شده، برجهنگی و میزان انرژی جذب شده از سطح زیر منحنی نیرو- جابه جایی توسط نرم افزار Matlab 2011 بدست آمد. درجه ی الاستیسیته و پلاستیسیته نیز از فرمول (16-17) محاسبه شد [14].

$$\text{Degree of plasticity} = \frac{D_p}{(D_p + D_e)} \quad 16$$

$$\text{Degree of elasticity} = \frac{D_e}{(D_p + D_e)} \quad 17$$

**2-2-2-3-2-2-2-2-2** آزمون پانچ

آزمون پانچ با سرعت 10 میلیمتر بر دقیقه و با پروبی با قطر 7/41 میلی متر انجام شد. از منحنی نیرو- جابه جایی مقادیر نیرو و جابه جایی شکست پوست و گوشت بدست می آید. میانگین سفتی و مدول الاستیسیته ظاهری به ترتیب از رابطه (18-19) بدست آمد [14 و 18].

$$\text{Average of firmness} = \frac{F_r}{D_r} \quad 18$$

$$\text{Apparent modulus of elasticity} = \frac{F_r}{dD_r} \quad 19$$

$$E = \frac{F_r (1 - \mu^2)}{2D_r \alpha} \quad 20$$

$$E = \frac{0.338F(1 - \mu^2)}{D^{3/2}} \left[ K_U \left( \frac{1}{R_{U1}} + \frac{1}{R_{U2}} \right)^{1/3} + K_L \left( \frac{1}{R_{L1}} + \frac{1}{R_{L2}} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad 4$$

$$\cos\theta = \frac{\left[ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]}{\left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} \right]} \quad 5$$

$$\mu = \frac{0.5Mu - 0.1(100 - Mu)}{100} \quad 6$$

$$a = m \left[ \frac{3F(k_1 + k_2)}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2'} \right)^{-1} \right]^{1/3} \quad 7$$

$$b = n \left[ \frac{3F(k_1 + k_2)}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2'} \right)^{-1} \right]^{1/3} \quad 8$$

$$k_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} \quad 9$$

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- خواص فیزیکی

جدول 1 مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار خصوصیات فیزیکی طول، عرض، ارتفاع، جرم، حجم، ضریب

نسبت شکل، قطر متوسط هندسی و حسابی، کرویت و مساحت سطح رویه برای نمونه‌های درشت و ریز را در این آزمایش را نشان می‌دهد. درصد رطوبت نمونه‌ها برپایه تر 89/66% محاسبه شد. این مقدار رطوبت با درصد رطوبتی که ارتکین و همکاران (2006) ارائه دادند، تفاوت ناچیزی دارد [6].

**Table 1** Physical property of small and large size of Cherry Plum

Property	Large Size				Small Size			
	Max	Min	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD
L(mm)	30.21	22.14	26.18	1.26	23.03	18.87	21.23	0.84
T(mm)	28.63	21.93	24.85	1.22	21.89	16.27	19.79	0.94
W(mm)	30.66	23.52	26.57	1.39	22.76	17.59	21.05	0.97
M(g)	14.90	7.13	10.23	1.54	7.03	3.26	5.32	0.68
V(mm <sup>3</sup> )	13.84	6.55	9.56	1.41	6.61	3.04	5.03	0.64
Ra	99.52	86.42	92.98	1.66	96.65	86.22	92.60	1.94
Dg(mm)	29.29	22.86	25.85	1.27	22.55	17.54	20.68	0.89
φ	99.69	92.72	96.81	0.91	98.52	92.75	96.78	0.97
S(mm <sup>2</sup> )	673.69	410.54	526.79	52.00	399.54	241.75	366.70	28.53

#### 3-1-1- مدل‌سازی جرمی رگرسیونی

در جدول 2 مدل‌سازی جرمی تک متغیره آلوچه براساس خواص فیزیکی ارائه شده (متغیر مستقل) نشان داده شده است. به طور کلی برای مدل‌سازی جرمی تک متغیره 24 مدل (6 پارامتر متغیر شامل طول، عرض، ارتفاع، حجم حقیقی، قطر متوسط هندسی و

مساحت سطح هرکدام در 4 مدل S-Quadratic.Linear و Power curve مدل‌سازی شدند که جمعا 24 مدل می‌شود) ارائه گردید. همانطور که مشاهده می‌شود از میان این مدلینگ‌ها، بهترین مدل که دارای ضریب تعیین بالا و میزان خطای حداقل است انتخاب گردیده است. این مدلینگ‌ها می‌توانند بر اساس متغیر مستقل مذکور جرم آلوچه را تخمین بزنند.

**Table 2** Mass modeling of Cherry Plum

Output	Input	Best model	Equation constant			Statistical parameters		
			b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	SEE	MSE
M (g)	L (mm)	Power	0.002	2.657	-	0.827	0.075	0.006
M (g)	T (mm)	S-curve	5.253	-72.908	-	0.900	0.057	0.003
M (g)	W (mm)	Power	0.001	2.765	-	0.949	0.041	0.002
M (g)	D <sub>g</sub> (mm)	Power	0.001	3	-	0.963	0.035	0.001
M (g)	V (mm <sup>3</sup> )	Power	1.09	0.991	-	0.932	0.047	0.002
M (g)	S (mm <sup>2</sup> )	Power	0.001	1.5	-	0.963	0.036	0.001

بر این اساس بهترین مدل رگرسیونی تک متغیره برای برآورد جرم آلوچه، مدلینگ Power براساس متغیر مستقل قطر متوسط هندسی است که دارای ضریب تعیین 0/963 و خطای برآورد 0/035 است. در جدول 3 نتایج به دست آمده از معادله رگرسیونی خطی چند متغیره بر اساس پارامترهای ابعادی نشان

داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که دقت مدل رگرسیونی چند متغیره جرمی براساس پارامترهای ابعادی با ضریب تبیین 0/97 و خطای استاندارد برآورد 0/335 بیش‌تر از مدل‌های رگرسیونی تک متغیره می‌باشد.

**Table 3** Mass modeling of Cherry Plum based on dimensional parameters

model	Equation constant				Statistical parameters		
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	SEE	MSE
M=b <sub>0</sub> +b <sub>1</sub> W+b <sub>2</sub> L+b <sub>3</sub> T	-20.537	0.215	0.280	0.677	0.97	0.335	0.112

**3-1-2-مدلسازی حجمی رگرسیونی**

در جدول 4 نیز مدلسازی حجمی تک متغیره آلوچه براساس خواص فیزیکی ارائه شده (متغیر مستقل) نشان داده شده است. در این جا نیز بهترین مدل که دارای ضریب تعیین بالا و میزان خطای حداقل است انتخاب گردیده است.

بر این اساس بهترین مدل پیشنهادی برای مدلسازی جرم آلوچه، مدلی است که دارای بیشترین ضریب اطمینان و کمترین خطای آماری باشد. با مقایسه جدول 2 و جدول 3 مدل رگرسیونی تک متغیره بر اساس قطر متوسط هندسی را می توان بدلیل خطای کمتر و ضریب تعیین بالا به عنوان بهترین مدل پیشنهاد نمود.

**Table 4** Volume modeling of Cherry Plum

output	inputs	Best model	Equation constant			Statistical parameters		
			b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	SEE	MSE
V (mm <sup>3</sup> )	L (mm)	Power	0.003	2.52	-	0.786	0.081	0.006
V (mm <sup>3</sup> )	T (mm)	Power	0.001	2.826	-	0.887	0.059	0.003
V (mm <sup>3</sup> )	W (mm)	S-curve	4.919	-70.824	-	0.915	0.051	0.003
V (mm <sup>3</sup> )	D <sub>g</sub> (mm)	S-curve	5.142	-74.702	-	0.932	0.049	0.002
V (mm <sup>3</sup> )	M (g)	S-curve	3.207	-9.559	-	0.935	0.045	0.002
V (mm <sup>3</sup> )	S (mm <sup>2</sup> )	S-curve	3.706	-760.5	-	0.933	0.046	0.002

نشان می دهند که دقت مدل رگرسیونی چند متغیره حجمی بر اساس پارامترهای ابعادی با ضریب تبیین 0/929 و خطای استاندارد برآورد 0/465 کمتر از بعضی از مدل های رگرسیونی تک متغیره می باشد.

بر این اساس بهترین مدل رگرسیونی تک متغیره برای برآورد حجم آلوچه، مدلینگ S-curve بر اساس متغیر مستقل جرم است که دارای ضریب تعیین 0/963 و خطای برآورد 0/045 است. در جدول 5 نتایج به دست آمده از معادله رگرسیونی خطی چند متغیره بر اساس پارامترهای ابعادی نشان داده شده اند. نتایج

**Table 5** Volume modeling of Cherry Plum based on dimensional parameters

model	Equation parameters				Statistical parameters		
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>	SEE	MSE
V=b <sub>0</sub> +b <sub>1</sub> W+b <sub>2</sub> L+b <sub>3</sub> T	-17.735	0.138	0.374	0.541	0.929	0.465	0.216

**3-1-3-مدلسازی با شبکه عصبی مصنوعی**

معماری بهینه انتخاب شده برای این شبکه (جدول 6) دارای سه نرون در لایه ورودی، نه نرون در لایه پنهان اول با تابع آستانه تانژانت سیگموئید، دو نرون در لایه پنهان دوم با تابع آستانه تانژانت سیگموئید و دو نرون در لایه خروجی با تابع آستانه خطی با تعداد تکرار 1000 بود.

بر این اساس بهترین مدل پیشنهادی برای مدلسازی حجم آلوچه، مدلی است که دارای بیشترین ضریب اطمینان و کمترین خطای آماری باشد. با مقایسه جدول 4 و 5 می توان مدل رگرسیونی تک متغیره براساس قطر متوسط هندسی به عنوان بهترین مدل پیشنهاد نمود چون دارای خطای کمتر و ضریب تعیین بالایی می باشد. نتایج تقریباً مشابهی برای آلوچه های ریز نیز به دست آمد که تفاوت قابل ملاحظه ای میان این دو تیمار مشاهده نگردید.

**Table 6** Result of training and testing step of ANN model

tests								
Model type	structure	function	volume			mass		
			R <sup>2</sup>	SEE	MSE	R <sup>2</sup>	SEE	MSE
MLP	3-9-2-2	tansig	0.96	0.158	0.025	0.96	0.455	0.207

اما با مشاهده جدول 8 می بینیم که شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور قابل توجهی توانایی برآورد بهینه حجم آلوچه را بر اساس پارامترهای ورودی خواص فیزیکی دارا می باشد.

### 3-2- خواص مکانیکی

#### 3-2-1- بررسی نیرو و جابه‌جایی شکست در آزمون

##### فشاری

نتایج تجزیه واریانس مقدار نیرو و جابه‌جایی شکست در آزمون فشاری در جدول 9 نشان داده شده است. مطابق شکل 2 مقدار نیروی شکست در سطح احتمال ( $P < 0.01$ ) بین میوه‌های کوچک با بزرگ معنی‌دار است. این در حالی است بین فک تخت و فک متحرک در میوه‌های بزرگ تفاوت معنی‌داری دیده نشد. کمتر بودن نیروی شکست در آلوچه‌های کوچک می‌تواند بدلیل کم‌تر بودن ضخامت گوشته باشد. مقدار جابه‌جایی فک متحرک در لحظه شکست در سطح احتمال ( $P < 0.01$ ) بین فک محدب با فک تخت معنی‌دار بود در حالیکه بین آلوچه‌های کوچک و بزرگ در فک تخت تفاوت معنی‌داری دیده نشد. معنی‌دار بودن مقدار جابه‌جایی بین فک محدب و تخت در آلوچه‌های درشت می‌تواند به دلیل کمتر بودن سطح تماس در اوایل بارگذاری باشد. در مجموع ممکن است تفاوت جابه‌جایی و نیرو در لحظه شکست بین دو فک تخت و محدب در آلوچه‌های درشت و کوچک، با توجه به نحوه قرارگیری آلوچه زیر دستگاه و قرارگیری ناحیه محدب هسته در بالا، اعمال نیرو باعث ایجاد یک تقابل نیرویی بین گوشته و فک محدب در نقطه تماس شده که مانع از شکست آلوچه در جابه‌جایی‌های پایین شده سپس با افزایش جابه‌جایی و افزایش سطح تماس، توزیع نیرو در سطح افزایش پیدا کرده و به دلیل افزایش تنش ناگهانی، سبب گسیختگی آنی به صورت کششی در گوشته شده است. علت کم‌تر بودن جابه‌جایی در فک تخت نیز می‌تواند همین امر باشد. افزایش مقدار نیرو در آلوچه‌های درشت تحت صفحه‌ی تخت نیز نسبت به دو حالت دیگر به دلیل تنش‌های کششی در حین بارگذاری سبب گسیختگی در میوه می‌شود اما چون نیرو از ابتدا به طور یکنواخت در سطح تماس بیشتر نسبت به جسم کروی افزایش می‌یابد و از این رو میوه فرصت کافی برای میرا کردن نیروهای وارده را دارد لذا میوه‌های قرار گرفته تحت صفحه تخت با نیروی بیشتری گسیخته می‌شوند. محققین در پژوهشی

مقادیر بالای ضریب تعیین و پایین خطا در مرحله آزمون شبکه مؤید این است که مدل شبکه عصبی به خوبی توانسته است حجم آلوچه را براساس پارامترهای ورودی برآورد نماید. بدیهی است که هر چه مقدار ضریب تعیین بیشتر (به یک نزدیک‌تر باشد) و مقدار خطا کمتر باشد (به صفر نزدیک‌تر باشد)، دقت پیش‌بینی مدل بیشتر خواهد بود. به‌منظور بررسی میزان تاثیر هر یک از پارامترهای ورودی بر جرم و حجم محاسبه شده توسط شبکه عصبی از آنالیز حساسیت توسط نرم‌افزار Neurosolution استفاده شد. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌شود در حجم بیشترین حساسیت را  $W$  و کمترین حساسیت را  $L$  داشته است. هم چنین جرم بیشترین حساسیت را  $Dg$  و کمترین حساسیت را  $L$  داشت.

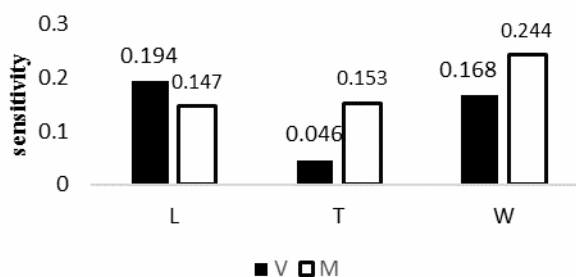


Fig 1 Analysis of sensitivity of ANN parameters

در جدول 7 و 8 به ترتیب مقایسه مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد جرم و حجم آلوچه براساس پارامترهای خواص فیزیکی ارائه شده است.

Table 7 Compare between ANN and regression model for mass estimation

Model type	R <sup>2</sup>	MSE
Best model of MLP	0.69	0.207
Best model of regression	0.963	0.001

همانگونه که در جدول 7 مشاهده می‌شود مدل‌های رگرسیونی، برآورد بهتری از جرم آلوچه بر اساس پارامترهای ورودی خواص فیزیکی ارائه می‌دهد.

Table 8 Compare between ANN and regression model for mass estimation

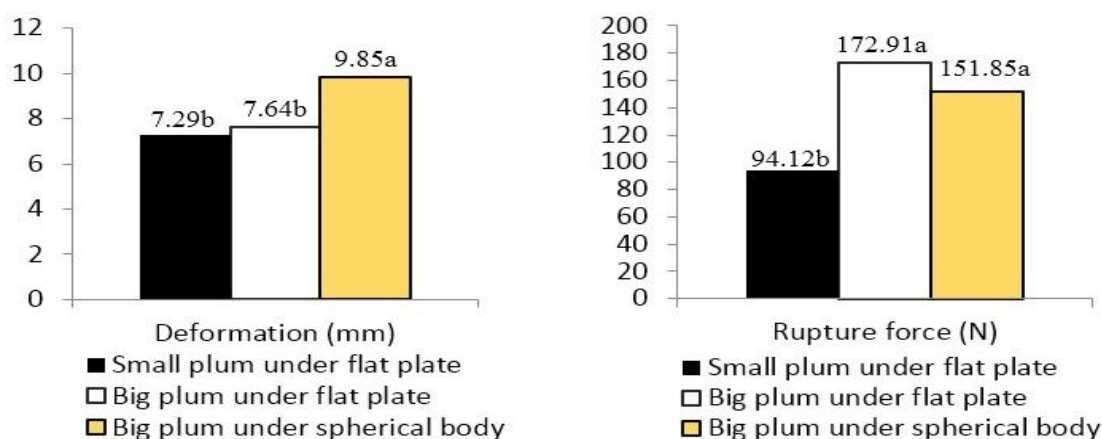
Model type	R <sup>2</sup>	MSE
Best model of MLP	0.96	0.025
Best model of regression	0.932	0.002



دریافتند که با افزایش اندازه میوه پرتغال مقدار نیروی شکست آن افزایش می‌یابد [20].

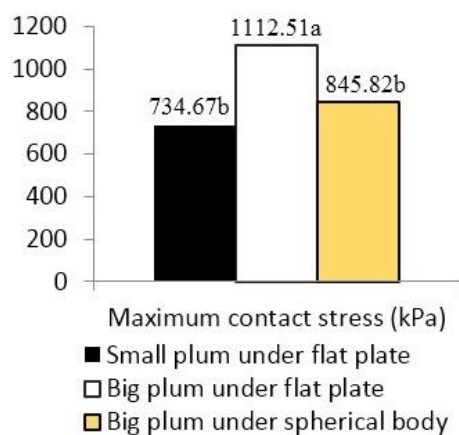
**Table 9** Analysis of variance of force and displacement in rupture point for compression tests and maximum stress in Hertz theory

S.O.V	df	Mean Square		
		Rupture point compression force (N)	Deformation at rupture point compression force (mm)	Maximum stress of Hertz theory
Model	2	16640.30**	19.22**	377060.188**
Error	27	601.60	0.47	33805.856

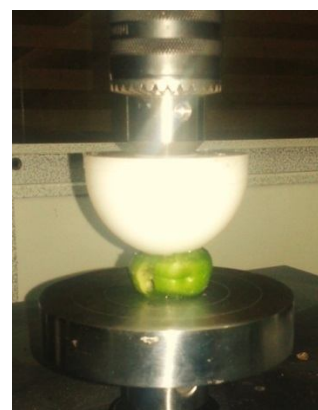


**Fig 2** Force (right) and displacement (left) in rupture point

نشدن مقادیر نیرویی شکست آن‌ها (بخش 0)، می‌تواند بدلیل افزایش مقادیر شعاع‌های تماسی در میوه‌های تحت بارگذاری بوسیله فک محدب باشد که سبب کاهش تنش ماکزیمم شده است.



**Fig 4** Maximum stress in Hertz theory



**Fig 3** Rupture of Cherry Plum fruit in compression test

### 3-2-2-2- بررسی تنش ماکزیمم از تئوری هرتز

جدول 9 نتایج تجزیه‌ی واریانس مقادیر تنش ماکزیمم از تئوری هرتز را که در مرکز بارگذاری قرار دارد نشان می‌دهد. مقادیر تنش ماکزیمم در میوه‌های درشت تحت بارگذاری فشاری بوسیله فک تخت با میوه‌های کوچک و میوه‌های درشت تحت بارگذاری تحت فک محدب در سطح احتمال ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار است (شکل 4). علت اختلاف بین میوه‌های درشت با توجه به معنی‌دار

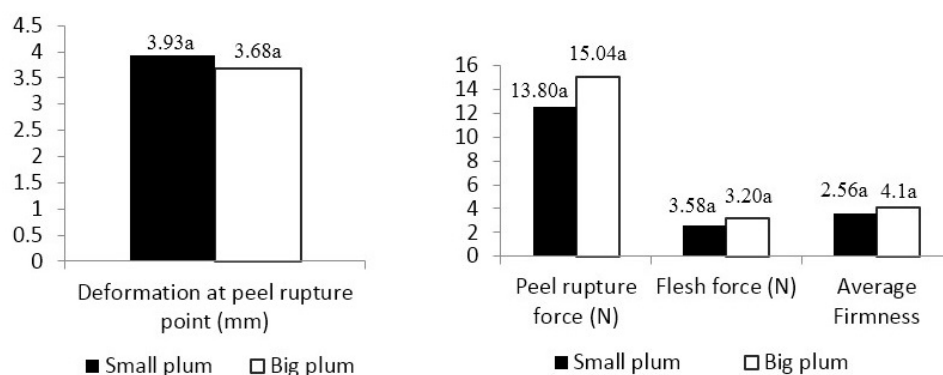
به عدم معنی‌دار شدن میانگین سفتی و نیروی نفودی بین میوه-های درشت و کوچک می‌توان نتیجه گرفت سفتی و مقاومت پوست میوه گوجه سبز در هنگام آسیب بر روی درخت در هر دو نمونه کوچک و بزرگ در این مرحله از بلوغ مشابه می‌باشد. در بررسی خواص مکانیکی میوه کیوی این نتیجه حاصل شد که میوه‌ها با اندازه بزرگتر نیروی بیشتری را می‌توانند تحمل کنند [21]. با توجه به عدم معنا دار شدن اثر اندازه بر نیروی پانچ، و اختلاف این مورد با تحقیقات انجام شده، خواص رئولوژیکی میوه آلوچه موجب این اختلاف شده است.

### 3-2-3- بررسی نیرو و جابه‌جایی شکست پوست و گوشت و میانگین سفتی در آزمون پانچ

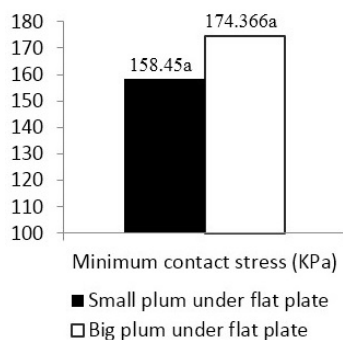
نتایج تجزیه واریانس نیرو و جابه‌جایی شکست پوست و گوشت و میانگین سفتی در آزمون پانچ در جدول 10 نشان داده شده است مطابق شکل 5 مقدار نیروی شکست پوست و جابه‌جایی آن بین میوه‌های کوچک با بزرگ تفاوت معنی‌داری نداشت. با توجه به اینکه آزمون پانچ بر روی پوست میوه صورت می‌گیرد، هر چه پوست حالت الاستیکی بیشتری داشته باشد نیروی بیشتری برای سوراخ کردن آن نیاز است. در واقع هرچه نیروی پانچ کمتر و نیروی فشار بیشتر باشد، استحکام میوه بیشتر خواهد بود. با توجه

**Table 10** Analysis of variance of force and displacement at rupture point for peel, flesh and average firmness in punch test also minimum stress of Boussinesq theory

S.O.V	df	Mean Square			
		Deformation at peel rupture point punch force (mm)	Flesh force (N)	Average Firmness (N)	Minimum stress of Boussinesq theory
Model	7.61 <sup>ns</sup>	0.25 <sup>ns</sup>	2.067 <sup>ns</sup>	1.65 <sup>ns</sup>	1264.296 <sup>ns</sup>
Error	3.09	0.35	0.68	0.36	428.668



**Fig 5** Peel rupture force, flesh force and average firmness (right) and deformation at peel rupture point (left) for small and big size of Cherry Plum



**Fig 6** Minimum stress from bussinesq's theory

### 4-2-3- بررسی تنش مینیمم از تئوری بوزینسکیو

جدول 10 نتایج تجزیه‌ی واریانس مقادیر تنش مینیمم از تئوری بوزینسکیو را که در مرکز بارگذاری قرار دارد نشان می‌دهد. مقادیر تنش مینیمم برای آلوچه‌های درشت و کوچک نیز مشابه مقادیر نیروی پانچ پوست معنی‌دار نشدند.

همان‌طور که در بخش (0) گفته شد (پس از تنش ناگهانی و به دنبال آن گسیختگی میوه) استحکام ساختار داخلی بافت میوه از حالت بارگذاری فشاری تحت فک تخت کم‌تر شده و از این رو مدول الاستیسیته کمتری نیز دارد. کمتر بودن ضخامت گوشته در میوه‌های کوچک عامل مهمی در کاهش مدول الاستیسیته است. با توجه به شکل 7 مدول الاستیسیته بدست آمده از تئوری بوزینسکیو و مدول الاستیسیته ظاهری بین میوه‌های کوچک و بزرگ تفاوت معنی‌داری را حاصل نکرد. این نتایج نشان می‌دهد با استفاده از تئوری هرترز می‌توان با دقت بیشتری مدول الاستیسیته میوه‌ها و سبزیجات را بدست آورد. این دستاورد در پژوهش‌های دیگر نیز مشاهده می‌شود [22].

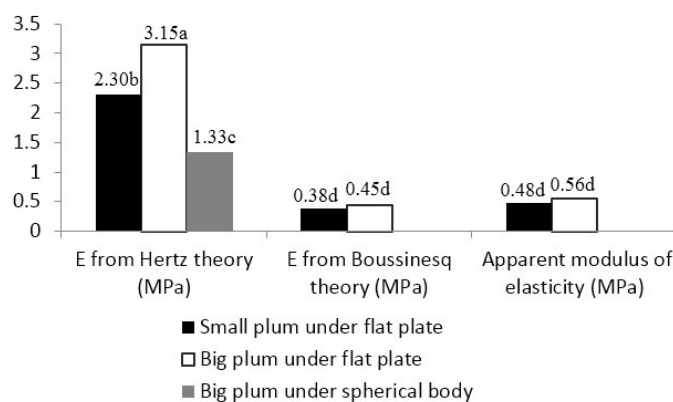
### 3-2-5- بررسی مدول الاستیسیته در تئوری‌های مختلف

جدول 11 نتایج تجزیه‌ی واریانس مقادیر مدول الاستیسیته را نشان می‌دهد. مقادیر مدول الاستیسیته از تئوری هرترز در مقایسه

با تئوری بوزینسکیو در سطح احتمال ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار مشاهده شد همچنین مقادیر مدول‌های الاستیسیته‌ی میوه‌های کوچک و درشت تحت صفحات تخت و محدب بدست آمده از تئوری هرترز نیز در سطح احتمال ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار مشاهده شد. بیشتر بودن مدول الاستیسیته حاکی از استحکام مناسب بافت داخلی میوه می‌باشد. به نظر می‌رسد کمتر بودن مدول الاستیسیته در میوه‌های درشت تحت بارگذاری فشاری توسط فک محدب

**Table 11** Analysis of variance of modulus of elasticity and energy consumption

S.O.V	df	Mean Square	
		Modulus of elasticity	Energy consumption
Model	6	11.98**	404730.03**
Error	63	0.124	3586.182



**Fig 7** Modulus of elasticity from Hertz and Boussinesq theory

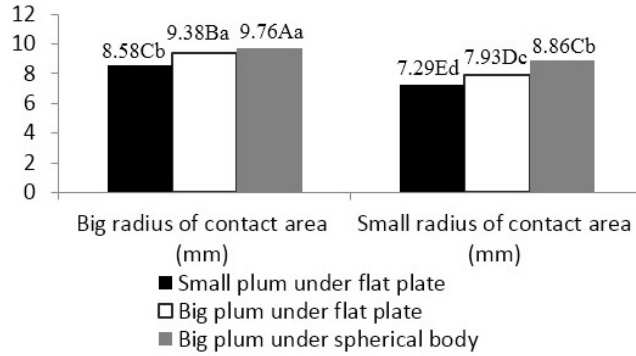
درشت و کوچک در سطح احتمال ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار شد. مقدار شعاع تماسی با نیرو رابطه مستقیم دارد از این رو افزایش نیرو سبب افزایش مقدار شعاع تماسی می‌شود.

**Table 12** analysis of variance of radius of contact area in rupture point

S.O.V	df	Mean Square
Model	5	8.3576743**
Error	54	0.13408815

### 3-2-6- بررسی شعاع‌های سطح تماس در لحظه شکست

جدول 12 نتایج تجزیه‌ی واریانس مقادیر شعاع‌های سطح تماس در لحظه شکست را نشان می‌دهد. مقادیر **a** در سطح احتمال ( $P < 0.01$ ) بین میوه‌های درشت بارگذاری شده تحت فک تخت و محدب با میوه‌های کوچک با یکدیگر بی معنی و با میوه‌های کوچک معنی‌دار شد همچنین در سطح احتمال ( $P < 0.05$ ) در هر سه حالت مقادیر **a** معنی‌دار شد. مقادیر **b** در بین میوه‌های



**Fig 8** Radiuses of contact area in rupture point (capital letters show probability at 5% levels and lowercase letters shows probability at 1% levels)

تماس از میزان این تنش کاسته شده و تنش افقی روند افزایشی پیدا می‌کند اختلاف این دو تنش سبب ایجاد تنش برشی گشته اما با توجه به مقدار ناچیز تنش برشی و شکل گسیختگی میوه می‌توان دانست که تنش افقی گسیختگی را در میوه دیکته می‌کند. با مقایسه‌ی توزیع تنش بین آلوچه‌های کوچک و بزرگ می‌توان این نتیجه را گرفت که تنها عامل اختلاف بین نمونه‌های کوچک و بزرگ ضخامت گوشته‌ی آن‌ها می‌باشد و تا این مرحله از رشد میوه، عوامل دیگر تاثیری بر خواص مکانیکی میوه‌ها ندارند.

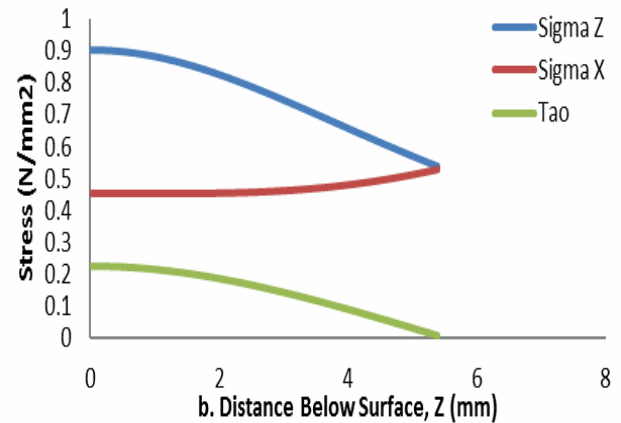
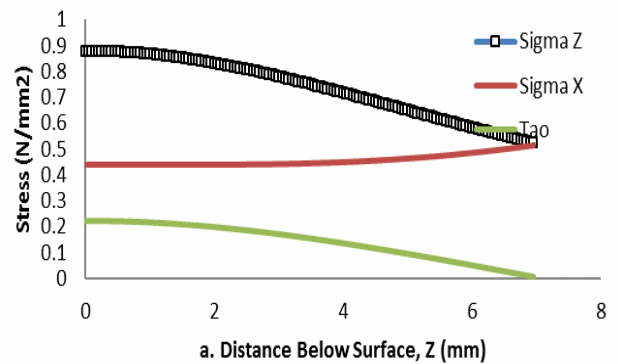
#### 4- نتیجه گیری

نتایج مدل‌سازی جرمی و حجمی آلوچه با مدل‌های رگرسیونی نشان داد که بهترین مدل برای برآورد جرم آلوچه، مدل Power بر اساس متغیر مستقل قطر متوسط هندسی (ضریب تعیین 0/963) و بهترین مدل برای برآورد حجم آلوچه، مدل S-curve بر اساس متغیر مستقل جرم (ضریب تعیین 0/932) است. بنابراین مدل‌های رگرسیونی به خوبی و با خطای ناچیز می‌توانند حجم و جرم آلوچه را تخمین بزنند. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی نیز نشان داد که این شبکه نسبت به مدل رگرسیونی از قدرت و دقت کافی برای برآورد جرم آلوچه بر اساس پارامترهای ابعادی (طول، عرض و ارتفاع) برخوردار نیست (ضریب تعیین 0/69) اما برای برآورد حجم بر اساس همین پارامترها از قدرت کافی برخوردار است (ضریب تعیین 0/96). بنابراین پیشنهاد می‌شود برای برآورد جرم آلوچه از روش‌های رگرسیونی و برای برآورد حجم آلوچه از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شود.

نتایج بدست آمده از آزمون فشاری حاکی از آن است میزان تحمل بار وارده در آلوچه‌های بزرگ بیشتر از آلوچه‌های کوچک

#### 3-2-7- توزیع تنش عمودی و برشی در گوجه سبز

در شکل 9 می‌توان توزیع تنش‌های عمودی، افقی و برشی میوه‌های قرار گرفته تحت جسم تخت را در لحظه‌ی شکست مشاهده کرد.



**Fig 9** Vertical, horizontal and shear stress distribution in depth and surface of big (a) and small (b) Cherry Plum fruit

در لحظه‌ی شکست میزان تنش عمودی در سطح تماس در بیشترین حد خود می‌باشد به طوری‌که با فاصله گرفتن از سطح

- O., And Sonmez, S., And Akinci, I. 2006. Some physical, pomological and nutritional properties of two plum (*Prunus domestica* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 75: 508-514.
- [7] Tabatabaeefar, A., Vefagh-Nematolahee, A., Rajabipour, A., 2000. Modeling of orange mass based on dimensions. *Agric. Sci. Tech*. 2, 299-305.
- [8] Khoshnam, F., Tabatabaeefar, A., Ghasemi Varnamkhashti, M., Borghei, A. 2007. Mass modeling of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit with some physical characteristics. *Sci Hortic*. 114, 21-26
- [9] Agyare, W.A., Park, S.J. 2007. Artificial neural network estimation of saturated hydraulic conductivity. *Vadose Zone J*. 6: 423-431.
- [10] Goyal, R.K., And Kingsly, A.R.P., And Kumar, P., And Walia, H. 2007. Physical and mechanical properties of aonla fruits. *Journal of Food Engineering*. 82 (4): 595-599.
- [11] Omobuwajo, O. T., And Akande, A. E., And Sanni, A. L. 1999. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties African Breadfruit (*Treculia africana*) seeds. *Journal of Food Engineering*. 40: 241-244.
- [12] Gupta, R.K., And Das. S. 1996. Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineers*. S 352.2.
- [13] ASAE Standard .1998. Compression Tests of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.3 MAR95.
- [14] Mohsenin, N. N. 1978. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
- [15] Aydın, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*. 60: 315-320.
- [16] Lorestani, A.N., And Ghari, M. 2012. Mass modeling of Fava bean (*vicia faba* L.) with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae*. 133: 6-9.
- [17] Kosma, A., H. Cunningham, Tables for calculating the compressive surface stresses and deflections in the contact of two solid elastic bodies whose principle planes of curvature do not coincide, *Int. J. Ind. Math*. 12 (1962) 31-40.
- است که می‌تواند بدلیل تفاوت ضخامت گوشته و توانایی میرایی آن باشد. این نتایج نشان می‌دهد در حمل و نقل و جابه‌جایی میوه آلوچه، میوه‌های کوچکتر آسیب پذیرتر از میوه‌های درشت‌اند.
- نتایج بدست آمده از مقایسات فک محدب و فک تخت حاکی از آن است که بدلیل سطح تماس کمتر میوه با فک محدب در جابه‌جایی پایین، فشار وارده از طرف هسته میرا گشته و با افزایش جابه‌جایی و افزایش سطح میوه‌ها دچار تنش ناگهانی شده و در جابه‌جایی بالا می‌شکنند در حالی‌که در فک تخت میوه‌ها در سطح تماس بیشتری از ابتدا تحت فشار قرار می‌گیرند.
- از این رو می‌توان نتیجه گرفت در انبارمانی و حمل و نقل میوه‌ی آلوچه میوه‌هایی که در کف قرار می‌گیرند نسبت به میوه‌هایی که در تماس عمودی با میوه‌های دیگر هستند بیشتر در معرض آسیب و صدمات مکانیکی قرار می‌گیرند. همچنین نتایج توزیع تنش افقی در آلوچه‌ها نشان داد که تنش کششی عامل اصلی گسیختگی در میوه‌های آلوچه می‌باشد و در این مرحله از رشد آلوچه‌ها با توجه به عدم معنی دار شدن نیروی گوشته بین آلوچه‌های کوچک و بزرگ، ضخامت گوشته تنها عامل اصلی در تحمل بار وارده به میوه‌ها و اختلاف بین آلوچه های کوچک و بزرگ در نیروهای فشاری است.

## 5- منابع

- [1] Fao 2016. www.Faosat.com
- [2] Sitkei G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, Amsterdam.
- [3] Gyasi, S. R., Friedly, B., & Chen, P. 1981. Elastic and viscoelastic Poisson's ratio determination for selected citrus fruits. *Transactions of the ASAE*, 24(3), 747-750.
- [4] Siahmanson, Y., Kazaei, J., Hassanbaygi, R. and Mohtasabi, S. 2011. study of mechanical properties of pomegranate texture for food industry processing. The first conference of optimization. Production, distribution and consumption in the food industry. Gorgan. Iran.
- [5] Calisir, S., And Hacisferogullari, H., And Ozcan, M., And Arslan, D. 2005. Some nutritional and technological properties of wild plum (*Prunus* spp.) fruits in Turkey. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 66: 233-237.
- [6] Ertekin, C., And Gozlekci, S., And Kabas,

- [21] Mirzaeimoghaddam, H., Tavakolihashjin, T., Minaei, S. and Faghihnasiri, M. 2008. Evaluation of Effects of Size, Variety and Storage Time on Qualitative Properties of Kiwi Fruit. IJFST. 4(4).19-25.
- [22] Shirvani, M., Ghanbarian, D., Ghasemi-Varnamkhasti, D. 2014. Measurement and evaluation of the apparent modulus of elasticity of apple based on Hooke's, Hertz's and Boussinesq's theories, J. measurement. 54: 133-139.
- [18] Sirisomboon, P., Tanaka, M., Kojima T. 2012. Evaluation of tomato textural mechanical properties, J. Food Eng. 111: 618–624.
- [19] ASABE standard, Compression Test of Food Materials of Convex Shape, ASAE S368.4 DEC2000, 2008.
- [20] Dadvar, A. A., Khojastehpoor, M. and Sadrnia, H. 2014. Some mechanical properties of Orange fruit in semi static load. 7<sup>th</sup> Student Conference on Mechanical Engineering. Tehran.

## Investigation on mechanical behavior of Cherry Plum fruit and analysis of its physical properties using ANN and regression models

Salehi, A.<sup>1</sup>, Ghiasi, P.<sup>2\*</sup>, Alireza Torabi Mazrae Maleki<sup>3</sup> and Abbas Hemmat<sup>4</sup>

1. PhD candidate, Department of Agricultural Machinery, University of Tehran, Karaj, Iran

2. PhD candidate, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3. MSc, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4. Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: 2019/01/18 Accepted:2019/02/24)

Determination of physical and mechanical properties of agricultural and horticultural crops is one of the most important parameters in design and manufacture of the operation machines. Determination of the effect of static and dynamic forces on Cherry Plum fruit during storage and transportation processes is very necessary for engineering. In this study, the physical properties of the Cherry Plum (including dimensional parameters and weight) and mechanical properties (including pressure test, punch test, and cyclic test) were measured at two levels of big and small sizes. The regression and Artificial Neural Networks (ANN) models based on physical properties data were defined and used to estimate the weight and volume of the fruits. The ANN model was the best model for estimating the fruit volume with 0.96 regression coefficient but it didn't have an acceptable performance in estimating the fruits' weight. The parameters of force and displacement, maximum stress at the breaking point, the elastic modulus in Hertz methods and Boussinesq theory, the crust and mantle punch forces, the minimum stress based on Boussinesq theory, the distribution of vertical, horizontal and shear stresses in depth and surface in the failure point and etc were calculated based on the data of the mechanical properties. The results showed that due to the differences in the thickness of the mantle, the force absorption capacity in the big fruits was larger than the small ones. The results of comparison between the convex jaw and flat jaw in the compression tests showed that the fruits placed on the floor were more exposed to damage. The behavior of the stress distribution at the failure point showed that the horizontal stress would dictate the rupture in the fruits.

**Keywords:** ANN, Stress distribution, Modulus of elasticity, Failure force.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: nianmy.p@gmail.com