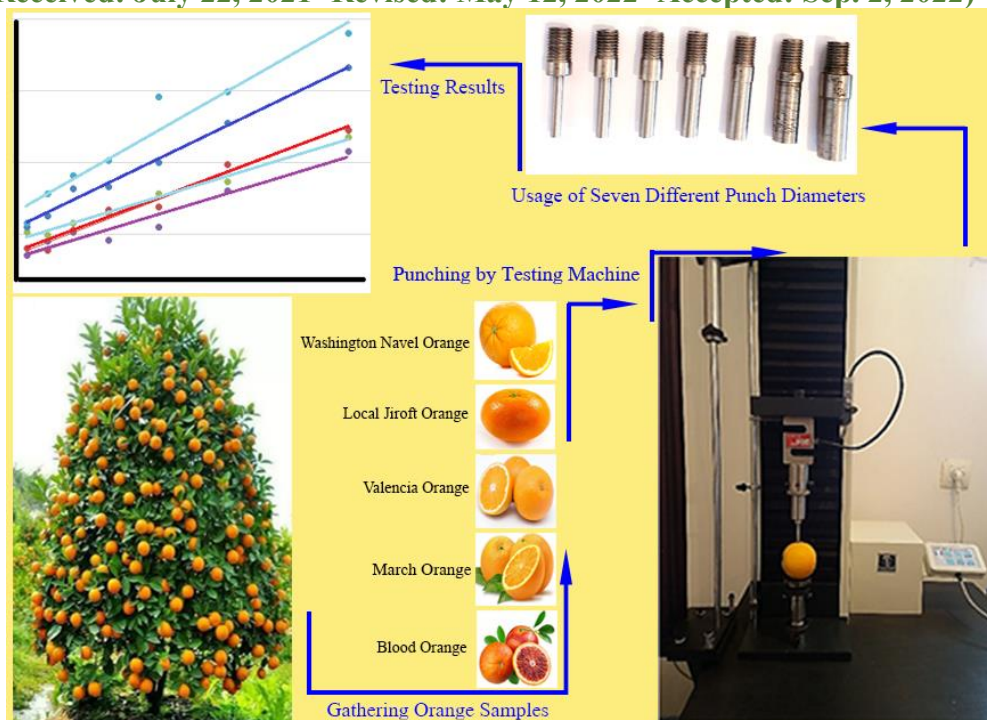


## Prediction of Stiffness of Different Orange Cultivars Using Punch Test Method (Case Study: Orange Cultivars in The Southern Region of Kerman Province)

Mohammad Najafi<sup>1</sup>, Farhad Khoshnam<sup>1\*</sup>, Hamid Ghasemkhani<sup>1</sup>, Mohammad Reza Kamandar<sup>1</sup>

1. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

(Received: July 22, 2021- Revised: May 12, 2022- Accepted: Sep. 2, 2022)



**ABSTRACT:** The firmness of the orange texture can be considered as an important criterion for determining the quality and freshness of this product and its texture characteristics have a great influence on its acceptability and marketability. Orange is an important product in the south of Kerman province, having sufficient knowledge and information about its texture mechanics is also important for the development of orange industries and processing equipment, especially orange concentrate production industries. In response to need the mechanical properties of the orange texture, punch test method was proposed as a suitable and non-destructive testing method. In this research, firmness, force, stress and consumption energy of five common orange varieties (Valencia, March, Washington Navel, Blood and Local Jiroft) was determined and compared by punch test method with seven punch diameters (4.3, 4.6, 9.7, 9.5, 11.1, 12.7 and 14.3 mm). The results showed that the effect of variables of punch diameter, variety, and also the interaction effect of punch diameter  $\times$  variety on the force, firmness, stress and energy were significant at 1% level. The combination treatment of local cultivar with a punch diameter of 12.7 mm has the maximum value of force (79.0 N) and firmness (7.9 N/mm), and the minimum value of force (15.5 N) and firmness (1.5 N/mm) was obtained in the combination treatment of blood variety and punch diameter of 4.8 mm. The highest mean of stress (1.5 MPa) and the lowest mean stress (0.3 MPa) were in the combination treatment of local variety and punch diameter of 4.3 mm, and the combination treatment of blood variety and punch diameter was 14.3 mm.

**Keywords:** Math Modeling, Mechanical Properties, Punch Diameter, Fruit, Non-Destructive Test

## پیش‌بینی سفتی ارقام مختلف پرتقال با استفاده از روش آزمون پانچ (مطالعه موردی: ارقام پرتقال موجود در منطقه جنوب استان کرمان)

محمد نجفی<sup>۱</sup>، فرهاد خوشنام<sup>۱\*</sup>، حمید قاسم‌خانی<sup>۱</sup>، محمدرضا کماندار<sup>۱</sup>

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت،

ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۳۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۱۱)

### چکیده

سفتی بافت می‌تواند به عنوان یک معیار مهم برای تشخیص کیفیت و تازگی پرتقال قلمداد شده و ویژگی‌های بافت پرتقال تأثیر زیادی بر مقبولیت و بازاری پسندی آن دارد. با توجه به اینکه پرتقال یک محصول تولیدی مهم و با ارزش در منطقه جنوب استان کرمان محسوب می‌شود، داشتن دانش کافی در مورد مکانیک بافت آن برای توسعه صنایع و تجهیزات فرآوری این محصول در منطقه حائز اهمیت است. جهت تعیین مکانیک بافت پرتقال تولیدی جنوب استان کرمان، از روش آزمون غیرمخرب پانچ به عنوان یک روش مناسب و کاربردی در خصوص تعیین سفتی میوه‌ها استفاده گردید. در این تحقیق سفتی، تنش فشاری، نیرو و انرژی مصرفی پانچ کردن پنج رقم پرتقال متداول در منطقه (والنسیا، مارس، واشنگتن ناول، خونی و محلی جیرفت) توسط آزمون پانچ و هفت قطر پانچ (۴/۸، ۶/۴، ۷/۹، ۹/۵، ۱۱/۱، ۱۲/۷ و ۱۴/۳ میلی‌متر) تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر متغیرهای قطر پانچ، نوع رقم و نیز اثر متقابل قطر پانچ در رقم بر نیرو، سفتی، تنش فشاری و انرژی در سطح ۱٪ معنی‌دار است. در ترکیب تیماری رقم محلی با قطر پانچ ۱۲/۷ میلی‌متر بیشترین مقدار نیرو (۷۹/۰ نیوتن) و سفتی (۷/۹ نیوتن بر میلی‌متر) و ترکیب تیماری رقم خونی و قطر پانچ ۴/۸ میلی‌متر کمترین مقدار نیرو (۱۵/۵ نیوتن) و سفتی (۱/۵ نیوتن بر میلی‌متر) بدست آمد. بیشترین میانگین تنش فشاری (۱/۵ مگاپاسکال) و کمترین میانگین تنش فشاری (۰/۳ مگاپاسکال) به ترتیب در ترکیب تیماری رقم محلی و قطر پانچ ۴/۸ میلی‌متر و ترکیب تیماری رقم خونی و قطر پانچ ۱۴/۳ میلی‌متر حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: مدل ریاضی، خواص مکانیکی، قطر پانچ، میوه، آزمون غیرمخرب

## مقدمه

در سال ۱۳۹۸ رتبه دوم میزان تولید محصولات باغبانی، مربوط به میوه پرتقال با تولید حدود ۳/۴ میلیون تن و سهم ۱۴/۵ درصد از کل میزان تولید محصولات باغبانی بوده است. استان‌های مازندران با سهم ۶۰/۶ درصدی، جنوب استان کرمان با سهم ۱۱/۶ درصدی، فارس با سهم ۹/۷ درصدی، گیلان با سهم ۴/۴ درصدی و هرمزگان با سهم ۳/۹ درصدی در رتبه‌های اول تا پنجم تولیدکنندگان پرتقال کشور قرار داشته‌اند. این پنج استان در سال ۱۳۹۸ جمعاً در حدود ۹۰/۲ درصد از کل تولید پرتقال کشور را تأمین نموده‌اند (Ahmadi et al., 2020). میوه پرتقال با حجم بالای تولید در کشور و همچنین جنوب استان کرمان بر اساس مطالعات انجام شده به دلیل دارا بودن ترکیبات و مواد مغذی گوناگون دارای اهمیت و مقبولیت خاصی به شکل مصرف تازه و فرآوری آن به اشکال مختلف از قبیل پوره و کنسانتره پرتقال توسط صنایع فرآوری محصولات کشاورزی می‌باشد (Anonymous, 2017). با توجه به مصرف بالای میوه پرتقال، نگرش مصرف‌کنندگان و صنایع فرآوری در خصوص اهمیت سفتی بافت آن را نمی‌توان نادیده گرفت. در واقع سفتی بافت پرتقال تأثیر زیادی بر مقبولیت آن داشته و از ارزیابی‌های ابزاری و حسی برای تعیین سفتی بافت آن می‌توان استفاده کرد. از تعیین حسی بافت پرتقال در مصرف تازه‌خوری و از تحلیل ابزاری در صنایع فرآوری میوه پرتقال می‌توان استفاده کرد (Shiu et al., 2015). از مهمترین آزمون‌های ابزاری متداول در خصوص تعیین سفتی میوه‌ها می‌توان به آزمون غیرمخرب پانچ اشاره کرد. آزمون پانچ به‌عنوان یک آزمون غیرمخرب اولین مرتبه توسط مگنس و تیلور معرفی شد و بدلیل هزینه کم، قابلیت حمل و نقل و سادگی کاربرد، برای تعیین خواص مکانیکی میوه‌ها و سبزیجات بسیار کاربرد دارد (Shiu et al., 2015). در آزمون پانچ به کمک یک پانچ

کوچک تا مقدار مشخصی به گوشت میوه فشار وارد می‌شود. نیروی مورد نیاز برای ایجاد این پانچ به عنوان درجه سفتی تعریف می‌شود. این آزمون فقط یک علامت کوچک (به اندازه پانچ) روی میوه باقی می‌گذارد (Christopher, 2005). شفیی و همکاران (۲۰۰۸) از اختلاف بین نیروی سوراخ کردن میوه‌های با پوست و بدون پوست رفتار مکانیکی پوست دورقم سیب را برآورد کردند و نشان دادند که پوست نقش قابل توجهی در خواص مکانیکی میوه‌ی کامل دارد. در تحقیقی دیگر با استفاده از پانچ با قطر ۲ میلی‌متر سفتی انبه (بیشترین مقدار نیرو در حین نفوذ بر حسب نیوتن) طی دوره رشد و انبارداری به منظور تعیین میزان رسیدگی آن اندازه‌گیری گردید (Jha et al., 2006). سفتی ورقه‌های برش‌خورده گوجه‌فرنگی در مدت انبارداری با سه پانچ استوانه‌ای سر تخت (قطرهای ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ میلی‌متر) در دو جهت محور طولی و شعاعی (عمود بر محور طولی) بررسی گردید. نتایج نشان داد با افزایش قطر پانچ از ۱/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر، حداکثر نیروی نفوذ پانچ در جهت شعاعی از ۱/۳ تا ۴/۱ نیوتن و در جهت محوری از ۱/۱ تا ۳/۹ نیوتن افزایش می‌یابد (Lana et al., 2007). تأثیر شرایط آزمون پانچ شامل محتوای رطوبت، قطر پانچ و سرعت بارگذاری را روی برخی خواص مکانیکی هسته بادام و هسته بادام بدون پوست به منظور تحصیل رابطه بین شرایط آزمون پانچ و انرژی شکست بررسی گردید. بر اساس نتایج این تحقیق محتوای رطوبت، قطر پانچ و سرعت بارگذاری تأثیر معنی‌داری بر نیروی شکست، انرژی شکست، تغییر شکل و ضریب الاستیسیته (خواص مکانیکی) داشت. با افزایش شرایط آزمون پانچ، نیروی شکست و انرژی شکست افزایش یافت. توسط روش پاسخ سطح، رابطه‌نمایی بین خواص مکانیکی با رطوبت و رابطه چند جمله‌ای با سرعت بارگذاری و قطر پانچ با  $R^2=0.94$  برای پیش‌بینی انرژی بدست آمد. بر اساس الگوریتم ژنتیک بهینه انرژی شکست  $2 \times 10^{-3}$  ژول در مقدار رطوبت دانه ۱۸/۱ درصد بر پایه خشک، قطر پانچ

تماس پانچ بر ماده غذایی وارد می‌شود. بنابراین نیروی وارد شده با سطح و محیط پانچ متناسب بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F = K_c A + K_s P + C \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $F$  نیروی وارد بر پانچ ( $N$ )،  $K_c$  ضریب فشردگی ( $N/mm^2$ )،  $A$  سطح پانچ ( $mm^2$ )،  $K_s$  ضریب برشی جسم ( $N/mm$ )،  $P$  محیط پانچ ( $mm$ ) و  $C$  یک ثابت بوده ( $N$ ) و نیروی مورد نیاز برای سوراخ کردن است، زمانی که محیط و مساحت پانچ صفر باشد.  $C$  برای اکثر مواد نزدیک صفر بوده و می‌تواند حذف شود. برای پانچ‌هایی که دارای سطح مدور هستند، می‌توان معادله (۱) را به صورت زیر نوشت (Ghanbarzadeh, 2019):

$$F = \frac{\pi D^2}{4} K_c + \pi D K_s + C \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن  $D$  قطر پانچ است. در این آزمون نمونه‌های یکنواخت مربوط به پنج رقم محصول پرتقال متداول در منطقه به نام‌های والنسیا<sup>۱</sup>، مارس، واشنگتن ناول<sup>۲</sup>، خونی (رنگیزه‌دار)<sup>۳</sup> و محلی جیرفت از مرکز تحقیقات کشاورزی جنوب استان کرمان تهیه شد. ارقام والنسیا و مارس در گروه پرتقال‌های معمولی (گردد<sup>۴</sup>) و واشنگتن ناول مهمترین رقم از گروه پرتقال‌های نافدار<sup>۵</sup> می‌باشد (Khadivi, 2011). از آنجایی که هدف، مقایسه سفتی ارقام پرتقال و نیز ارائه مدل ریاضی پیش‌بینی نیروی مورد نیاز پانچ کردن بوده، تعداد هفت عدد پانچ از جنس فولاد زنگ نزن بدقت مطابق اندازه‌های مورد نظر ساخته شد و نمونه‌ها نیز در شرایط سالم و بدون پوست‌گیری مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل ۱، راست). جهت انجام آزمون، پانچ‌های مورد نظر از طریق یک بوش رابط به فک بالایی ماشین آزمون یونیورسال مدل Santam, MRT-5 اتصال داده شد (شکل ۱، چپ).

۰/۸ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۰/۲ mm/min رخ داد (Lana et al., 2007). نسبت نیروی برشی به فشردگی در آزمون پانچ بافت هندوانه را جهت پیشنهاد پانچ‌های جدید با حساسیت بیشتر مورد بررسی قرار گرفت. پانچ توخالی جدید پیشنهاد شده، نیروی برشی را افزایش داده و در سنجش خواص مکانیکی بافت هندوانه حساس‌تر از پانچ استاندارد مگنس-تیلور عمل کرد. نیروی فشاری هر دو پانچ یکسان بود. نتیجه اینکه پانچ توخالی بدلیل سادگی‌اش در تعیین نیروی بیشینه نسبت به نوع مگنس-تیلور ارجحیت دارد (Shiu et al., 2015). به دلیل محدود بودن پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور و به ویژه بر روی ارقام داخلی پرتقال، تحقیق حاضر با هدف اندازه‌گیری سفتی ۵ رقم پرتقال متداول در منطقه جنوب استان کرمان توسط آزمون پانچ و مقایسه نتایج آنها با هم انجام و نتایج حاصله در اختیار صنایع فراوری موجود در منطقه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

در آزمون پانچ بیشینه نیروی مورد نیاز برای نفوذ استوانه‌ای فلزی به داخل گوشت میوه تا عمق معین، به عنوان سفتی تعریف می‌شود. در آزمون‌های بافت بایستی همواره نوع ابزار، هندسه پانچ، مقدار تغییر شکل یا نفوذ و سرعت بارگذاری را گزارش کرد. مشکل امروزی آزمون‌های سفتی، استفاده از پانچ‌های با شکل‌های متنوع تحت نام عمومی مگنس-تیلور است. بر اساس نظریه Bourne (1966) در طی آزمون سوراخ کردن، هنگامی که پانچ در بافت ماده غذایی فرو می‌رود هم تنش فشاری و هم تنش برشی به ماده غذایی وارد می‌شود. تنش برشی توسط محیط پانچ و فشار توسط سطح

<sup>۱</sup> Round Orange

<sup>۵</sup> Navel Orange

<sup>۱</sup> Valencia

<sup>۲</sup> Washington Navel

<sup>۳</sup> Blood (Pigmented)



شکل ۱- (راست) پانچ‌های مورد استفاده به ترتیب از راست به چپ، ۱۴/۳، ۱۲/۷، ۱۱/۱، ۹/۵، ۷/۹، ۶/۴ و ۴/۸ میلی‌متر، (چپ) ماشین آزمون یونیورسال  
 Figure 1-(Right) The punches used, from right to left, 14.3, 12.7, 11.1, 9.5, 7.9, 6.4 and 4.8 mm, (left) Universal testing machine

فشاری و سفتی پرتقال ( $p < 0.05$ ) انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ و تحلیل نتایج آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گرفت. برای تعیین مدل‌های ریاضی پیش‌بینی نیرو از روابط رگرسیونی یک یا چند متغیره استفاده شد و تحلیل رگرسیونی نیز توسط برنامه آماری SPSS انجام گرفت. ضریب تعیین  $R^2$  و خطای معیار رگرسیون نیز برای کلیه مدل‌ها بدست آمد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تاثیر نوع رقم و قطر پانچ بر مقادیر آزمون پانچ پرتقال در جدول (۱) نشان داده شده است. مطابق جدول، اثر متغیرهای قطر پانچ، نوع رقم و نیز اثر متقابل قطر پانچ  $\times$  رقم بر نیرو، سفتی، تنش فشاری و انرژی در سطح ۱٪ معنادار است. نتایج تاثیر قطر بر نیرو، سفتی و انرژی قابل انتظار بود چون با افزایش قطر پانچ سطح تماس افزایش و در نتیجه نیروی بیشتری برای نفوذ پانچ تا عمق مشخص (۱۰ میلی‌متر) لازم است. افزایش نیرو منتج به افزایش سفتی می‌گردد بدین دلیل که سفتی از نسبت نیرو بر عمق نفوذ که مقدار مشخصی است، حاصل می‌شود. انرژی برابر با سطح زیر نمودار نیرو-تغییر شکل است که در حالت افزایش نیرو، انرژی

این دستگاه از یک فک ثابت در پایین و یک فک متحرک در بالای آن تشکیل شده و برای انجام آزمون فشار، به فک متحرک آن پانچ با قطرهای مختلف متصل و نمونه‌ها روی فک پایین قرار گرفتند. آزمون تا لحظه نفوذ پانچ به عمق ۱۰ میلی‌متر نمونه انجام گرفت. در آزمون فشار همزمان با اعمال فشار توسط فک متحرک و پانچ، مقادیر نیرو (تا عمق نفوذ ۱۰ میلی‌متر، برحسب نیوتن)، سفتی (نسبت نیرو به تغییر شکل، بر حسب نیوتن بر میلی‌متر)، تنش فشاری (نسبت نیرو به سطح تماس پانچ، بر حسب مگاپاسکال) و انرژی (سطح زیر نمودار نیرو-تغییر شکل، بر حسب میلی‌ژول) بدست آمد. آزمایش‌ها در هفت سطح قطر پانچ ( $\frac{3}{16}$  اینچ معادل ۴/۸ میلی‌متر،  $\frac{4}{16}$  اینچ معادل ۶/۴ میلی‌متر،  $\frac{5}{16}$  اینچ معادل ۷/۹ میلی‌متر،  $\frac{6}{16}$  اینچ معادل ۹/۵ میلی‌متر،  $\frac{7}{16}$  اینچ معادل ۱۱/۱ میلی‌متر،  $\frac{8}{16}$  اینچ معادل ۱۲/۷ میلی‌متر و  $\frac{9}{16}$  اینچ معادل ۱۴/۳ میلی‌متر) بر روی پنج رقم پرتقال با سرعت بارگذاری ثابت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه و ۳ تکرار در هر آزمایش انجام شد. طرح آماری فاکتوریل (هفت سطح قطر پانچ و پنج رقم پرتقال) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و آنالیز واریانس جهت ارزیابی اثرات قطر پانچ و نوع رقم بر روی مقادیر نیرو، انرژی، تنش

نیز افزایش می‌یابد. نتایج حاصله از آزمون‌های پنچ متاثر از قطر پنچ، سرعت بارگذاری، نوع رقم، مرحله بلوغ و اندازه میوه، دما و فشار تورمی<sup>۱</sup> میوه‌های آبدار است (Khazaei & Mann, 2004).

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر نوع رقم و قطر پنچ بر مقادیر آزمون پنچ پرتقال

Table 1- Variance analysis of the effect of cultivar type and punch diameter on orange punch test values

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیرو	سفتی	تنش فشاری	انرژی
قطر پنچ	۶	۳۳۹۳/۴**	۳۳/۹**	۱/۰**	۱۲۵۴۲**
رقم	۴	۲۶۳۲/۰**	۲۶/۳**	۰/۷**	۶۱۵۲۳**
قطر پنچ × رقم	۲۴	۷۹/۱**	۰/۸**	۰**	۳۱۷۷/۱**
خطا	۷۰	۲۲/۱	۰/۲	۰	۶۴۰/۲
ضریب تغییرات %	-	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۵/۸	۱۳/۱

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱، \* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ns عدم معنی داری

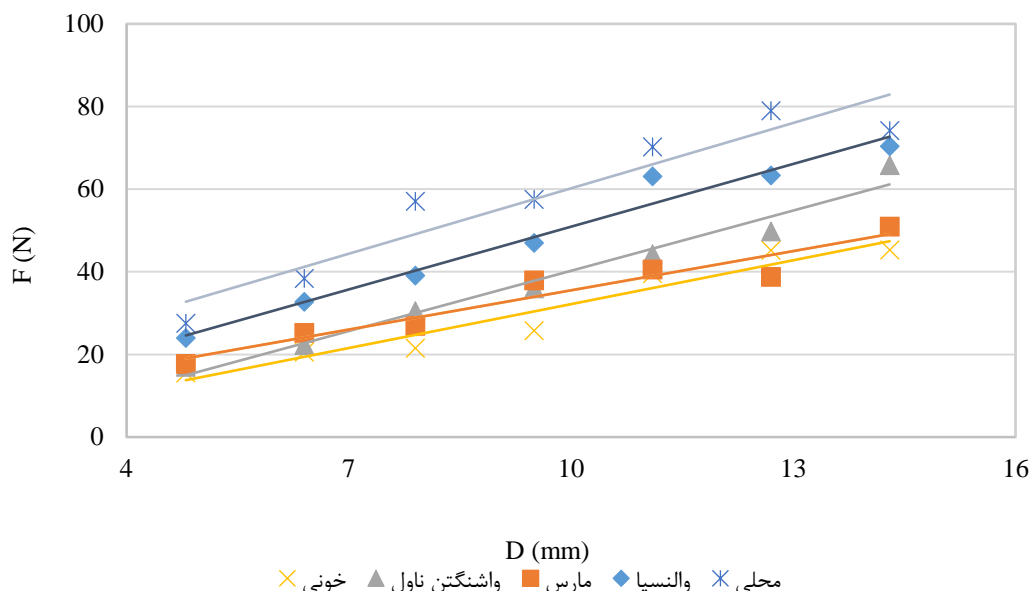
سفتی بیشتری نسبت به سایر ارقام می‌باشند. پایین‌ترین خط این نمودار نیز به پرتقال خونی با کمترین میزان مقاومت در برابر نفوذ پنچ می‌باشد. میزان سفتی بیشتر ارقام محلی و والنسیا بیانگر این نکته است که این دو رقم مقاومت زیادتری در برابر صدمات مکانیکی ناشی از برداشت ماشینی داشته و در صورت استفاده از ماشین‌های برداشت مانند لرزاننده‌های ساقه و تنه پرتقال، میزان صدمه و آسیب این ارقام چندان زیاد نخواهد بود. از طرفی به دلیل سفتی بیشتر ارقام محلی و والنسیا را می‌توان جهت توزیع و فروش با روش‌های حمل و نقل متداول به مسافت‌های دورتری ارسال کرد. با توجه به نمودار مشخص است رقم خونی دارای سفتی سطح حداقل بوده و برای جلوگیری از صدمات و آسیب‌های احتمالی ناشی از حمل و نقل نیاز است با استفاده از بسته‌بندی خاص برای مراکز فروش ارسال گردد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین سطوح عامل‌ها بر مقادیر آزمون پنچ پرتقال در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از این جدول، قطر پنچ در سطح ۱۴/۳ میلی‌متر بیشترین نیرو (۶۱/۳ نیوتن)، سفتی (۶/۱ نیوتن بر میلی‌متر) و انرژی (۳۰۵/۷ میلی‌ژول) را داشته و با سطوح دیگر قطر پنچ اختلاف معناداری دارد.

Khazaei & Mann (2004) آزمون پنچ را به منظور تعیین نیروی پنچ (سفتی) و انرژی دو رقم سنجد و تاثیر قطر پنچ و دما بر آنها انجام دادند. قطر پنچ‌های مورد استفاده برای رقم ایندین‌سامر (*Indian Summer*) برابر ۰/۵ و ۱ میلی‌متر و از آن رقم سایننسیس (*Sinensis*) برابر ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ میلی‌متر بود. سرعت بارگذاری ثابت ۰/۳ mm/s لحاظ شد. آنها دریافتند که قطر پنچ در مقایسه با دما، تاثیر بیشتری بر نیروی پنچ و انرژی دارد. همچنین تاثیر سرعت بارگذاری بر پارامترهای نیرو، تنش فشاری و سفتی در سطح ۵٪ معنادار بوده و بر انرژی اثری نداشت. شکل (۲) نتایج مقایسه میانگین مقادیر نیرو تحت اثر قطرهای متفاوت پنچ و نوع رقم پرتقال را نشان می‌دهد. محور عمودی نیروی مورد نیاز برای نفوذ تا عمق ۱۰ میلی‌متر و بر حسب نیوتن و محور افقی قطر پنچ بر حسب میلی‌متر است. نقاط دارای رنگ مشابه مربوط به یک رقم پرتقال بوده و جهت مشخص شدن تغییرات، خط مستقیمی بر هر کدام از آنها برآزش شده است. شیب کلیه خطوط برآزش شده مثبت بوده و به مفهوم روند افزایشی نیرو با افزایش قطر پنچ است. خطوط بالاتر مبین سفتی بیشتر پرتقال است و لذا با توجه به شکل رقم محلی و سپس والنسیا که از ارقام متداول و با میزان تولید زیاد در منطقه می‌باشند، دارای

برشی و فشاری میوه بستگی دارد. افزایش قطر پانچ از ۴/۸ به ۱۴/۳ میلی‌متر (حدود ۳ برابر)، باعث افزایش نیروی پانچ، سفتی و انرژی به ترتیب ۳، ۵ و ۳ برابر می‌شود.

کمترین قطر پانچ (۴/۸ میلی‌متر) بیشترین تنش (۱/۱ مگاپاسگال) را در پی داشته و با سایر سطوح قطر دیگر اختلاف معناداری دارد. نیروی مورد نیاز برای پانچ کردن میوه به اندازه سطح تماس و محیط پانچ و نیز مقاومت



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین مقادیر نیرو تحت اثر قطرهای متفاوت پانچ و نوع رقم پرتقال

Figure 2- The results of comparing the average force values under the effect of different punch diameters and the type of orange variety

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین سطوح عامل‌ها (قطر پانچ، رقم پرتقال) بر مقادیر آزمون پانچ (نیرو، سفتی، تنش فشاری، انرژی)

Table 2- The results of comparison of average levels of the factors (punch diameter, orange variety) on the values of punch tests (force, stiffness, compressive stress, energy)

عامل	سطوح	نیرو (N)	سفتی (N/mm)	تنش فشاری (MPa)	انرژی (mJ)
قطر پانچ (میلی‌متر)	۴/۸	۲۰/۴ <sup>g</sup>	۲/۰ <sup>g</sup>	۱/۱ <sup>a</sup>	۶۰/۸ <sup>g</sup>
	۶/۴	۲۷/۸ <sup>f</sup>	۲/۸ <sup>f</sup>	۰/۹ <sup>b</sup>	۱۰۴/۶ <sup>f</sup>
	۷/۹	۳۵/۰ <sup>e</sup>	۳/۵ <sup>e</sup>	۰/۷ <sup>c</sup>	۱۵۷/۰ <sup>e</sup>
	۹/۵	۴۰/۹ <sup>d</sup>	۴/۱ <sup>d</sup>	۰/۶ <sup>d</sup>	۱۹۰/۱ <sup>d</sup>
	۱۱/۱	۵۱/۵ <sup>c</sup>	۵/۱ <sup>c</sup>	۰/۵ <sup>d</sup>	۲۵۶/۳ <sup>c</sup>
رقم پرتقال	۱۲/۷	۵۵/۲ <sup>b</sup>	۵/۵ <sup>b</sup>	۰/۴ <sup>e</sup>	۲۷۶/۰ <sup>b</sup>
	۱۴/۳	۶۱/۳ <sup>a</sup>	۶/۱ <sup>a</sup>	۰/۴ <sup>e</sup>	۳۰۵/۷ <sup>a</sup>
	والنسیا	۴۸/۵ <sup>b</sup>	۴/۸ <sup>b</sup>	۰/۸ <sup>b</sup>	۲۲۴/۲ <sup>b</sup>
	مارس	۳۴/۰ <sup>d</sup>	۳/۴ <sup>d</sup>	۰/۶ <sup>c</sup>	۱۶۳/۴ <sup>c</sup>
	واشنگتن ناول	۳۷/۹ <sup>c</sup>	۳/۸ <sup>c</sup>	۰/۶ <sup>c</sup>	۱۷۰/۴ <sup>c</sup>
خونی	۳۰/۵ <sup>e</sup>	۳/۰ <sup>e</sup>	۰/۵ <sup>d</sup>	۱۳۵/۷ <sup>d</sup>	
محلی جیرفت	۵۷/۷ <sup>a</sup>	۵/۸ <sup>a</sup>	۰/۹ <sup>a</sup>	۲۷۰/۹ <sup>a</sup>	

حروف، نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن را برای سطوح عامل‌های مختلف در هر ستون به صورت جداگانه نشان می‌دهد. بین سطوح هر عامل، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک داشته باشند با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

(جدول ۳)، مشخص شد که برای صفت نیرو، ترکیب تیماری رقم محلی با قطر پانچ ۱۲/۷ میلی‌متر بیشترین مقدار نیرو (۷۹/۰ نیوتن) را داشته که با ترکیب تیماری رقم محلی و قطر پانچ ۱۴/۳ میلی‌متر اختلاف معنی‌داری نداشته ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری دارد. از آنجایی که طبق جدول (۲) رقم محلی جیرفت در مقایسه با سایر ارقام سفتی بیشتری دارد و نیز افزایش قطر پانچ منتج به افزایش نیرو می‌شود لذا نتیجه فوق قابل انتظار است. کمترین مقدار نیرو به میزان ۱۵/۵ نیوتن در ترکیب تیماری رقم خونی و قطر پانچ ۴/۸ میلی‌متر رخ می‌دهد. رقم خونی کمترین نیرو را داشته و پانچ کوچکتر برای نفوذ نیروی کمتری نیاز دارد.

نتایج سفتی مشابه نیرو است بدین نحو که ترکیب تیماری رقم محلی با قطر پانچ ۱۲/۷ میلی‌متر بیشترین (۷/۹ نیوتن بر میلی‌متر) و ترکیب تیماری رقم خونی و قطر پانچ ۴/۸ میلی‌متر کمترین (۱/۵ نیوتن بر میلی‌متر) مقدار سفتی را دارند. ترکیب تیماری رقم محلی و قطر پانچ ۴/۸ میلی‌متر بیشترین میانگین تنش فشاری (۱/۵ مگاپاسکال) و ترکیب تیماری رقم خونی و قطر پانچ ۱۴/۳ میلی‌متر کمترین میانگین تنش فشاری (۰/۳ مگاپاسکال) را داشت. تنش فشاری اخیر با ترکیبات تیماری والنسیا  $\times 14/3$ ، مارس  $\times 11/1$ ، و  $\times 12/7$ ،  $\times 14/3$ ، واشنگتن  $\times 12/7$ ، واشنگتن  $\times 14/3$ ، خونی  $\times 7/9$ ، خونی  $\times 9/5$ ، خونی  $\times 11/1$  و خونی  $\times 12/7$  اختلاف معناداری ندارد.

بیشترین مقدار انرژی (۳۹۲/۲ میلی‌ژول) در ترکیب تیماری رقم محلی با قطر پانچ ۱۲/۷ میلی‌متر بدست آمده که با ترکیب تیماری رقم محلی و قطر پانچ ۱۴/۳ میلی‌متر اختلاف معنی‌داری ندارد. کمترین آن در ترکیب تیماری رقم واشنگتن و قطر پانچ ۴/۸ رخ می‌دهد که با تیمارهای والنسیا  $\times 4/8$ ، مارس  $\times 4/8$ ، واشنگتن  $\times 6/4$ ، خونی  $\times 4/8$ ، خونی  $\times 6/4$  و خونی  $\times 7/9$  اختلاف معناداری ندارد.

افزایش قطر پانچ از ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر، نیروی پانچ و انرژی را به ترتیب ۲ و ۲/۸ برابر در بارگذاری سنجد رقم ایندین‌سامر افزایش داده است (Khazaei & Mann, 2004). تغییر شکل اولیه بافت گوجه‌فرنگی در آزمون پانچ ناشی از کشیدگی پکتین تیغه میانی و در نتیجه تغییر ساختار سلولی می‌باشد. مضافاً، فشردگی فضاهای هوایی بینابینی باعث ایجاد مقاومت کمی به نیرو می‌شود (Jackman & Stanley, 1992).

رقم محلی جیرفت در مقایسه با سایر ارقام سفتی بیشتری (۵/۸ نیوتن بر میلی‌متر) داشته و این مقدار با بقیه معنادار است. میزان سفتی بیشتر به مفهوم مقاومت زیاد محصول در برابر صدمات مکانیکی و نیز در حین حمل و نقل، ماندگاری بیشتر روی درخت و نیز در انبار است. این رقم در شرایط یکسان (از جمله ملاحظات اقتصادی، بازاریابی، دسترسی به بازارهای هدف و غیره) با ارقام دیگر، برای صادرات توصیه می‌شود. سفتی ارقام دیگر عبارتند از: والنسیا (۴/۸ نیوتن بر میلی‌متر)، واشنگتن ناول (۳/۸ نیوتن بر میلی‌متر)، مارس (۳/۴ نیوتن بر میلی‌متر). کمترین میزان سفتی مربوط به رقم خونی (۳/۰ نیوتن بر میلی‌متر) بوده و به مفهوم آسیب‌پذیری بیشتر در مقایسه با سایر ارقام در حین حمل و نقل است.

میوه‌های رقم والنسیا خاصیت نگهداری بسیار خوبی هم روی درخت و هم در انبار دارند. اندازه میوه متوسط، گرد تخم مرغی، بدون بذر یا کم بذر (۵-۶ بذر)، نسبتاً پوست کلفت و دارای سطحی صاف هستند. ضخامت پوست میوه مارس در حد متوسط تا ضخیم است. گوشت میوه به خوبی رنگ گرفته، پر آب، فاقد اسید و با طعم شیرین است (Fotouhi Ghazvini & Fattahi Moghadam, 2006).

در تجزیه واریانس ترکیب تیمارها به روش طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳۵ تیمار و مقایسه میانگین آن‌ها



جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین ترکیب تیمارها (نوع رقم × قطر پانچ) بر پارامترهای نیرو، سفتی، تنش فشاری و انرژی

Table 3- The results of comparing average combination of treatments (variety type × punch diameter) on the parameters of force, stiffness, compressive stress and energy

ترکیب تیماری رقم × قطر پانچ	تیمار	نیرو (N)	سفتی (N/mm)	تنش فشاری (MPa)	انرژی (mJ)
والنسیا × ۴/۸	۱	۲۴/۰ <sup>nopq</sup>	۲/۴ <sup>nopq</sup>	۱/۳ <sup>b</sup>	۷۳/۷ <sup>opq</sup>
والنسیا × ۶/۴	۲	۳۲/۷ <sup>klm</sup>	۳/۳ <sup>klm</sup>	۱/۰ <sup>cd</sup>	۱۲۲/۷ <sup>lmn</sup>
والنسیا × ۷/۹	۳	۳۹/۱ <sup>ijk</sup>	۳/۹ <sup>ijk</sup>	۰/۸ <sup>fghi</sup>	۱۶۱/۰ <sup>jkl</sup>
والنسیا × ۹/۵	۴	۴۷/۰ <sup>gh</sup>	۴/۷ <sup>gh</sup>	۰/۷ <sup>hijkl</sup>	۲۲۴/۳ <sup>efgh</sup>
والنسیا × ۱۱/۱	۵	۶۳/۱ <sup>cd</sup>	۶/۳ <sup>cd</sup>	۰/۶ <sup>hijkl</sup>	۳۱۵/۹ <sup>cd</sup>
والنسیا × ۱۲/۷	۶	۶۳/۴ <sup>cd</sup>	۶/۳ <sup>cd</sup>	۰/۵ <sup>lmno</sup>	۳۱۹/۸ <sup>bcd</sup>
والنسیا × ۱۴/۳	۷	۷۰/۴ <sup>bc</sup>	۷/۰ <sup>bc</sup>	۰/۴ <sup>nopq</sup>	۳۵۱/۸ <sup>abc</sup>
مارس × ۴/۸	۸	۱۷/۷ <sup>pqr</sup>	۱/۸ <sup>pqr</sup>	۱/۰ <sup>de</sup>	۵۸/۲ <sup>pq</sup>
مارس × ۶/۴	۹	۲۵/۳ <sup>mno</sup>	۲/۵ <sup>mno</sup>	۰/۸ <sup>ghij</sup>	۱۰۵/۱ <sup>mno</sup>
مارس × ۷/۹	۱۰	۲۶/۹ <sup>mno</sup>	۲/۷ <sup>mno</sup>	۰/۵ <sup>klmn</sup>	۱۲۷/۴ <sup>lmn</sup>
مارس × ۹/۵	۱۱	۳۸/۰ <sup>ijkl</sup>	۳/۸ <sup>ijkl</sup>	۰/۵ <sup>klmn</sup>	۱۹۱/۱ <sup>hijk</sup>
مارس × ۱۱/۱	۱۲	۴۰/۶ <sup>hij</sup>	۴/۱ <sup>hij</sup>	۰/۴ <sup>nopq</sup>	۲۰۶/۱ <sup>hi</sup>
مارس × ۱۲/۷	۱۳	۳۸/۸ <sup>ijk</sup>	۳/۹ <sup>ijk</sup>	۰/۳ <sup>pq</sup>	۱۹۷/۳ <sup>hij</sup>
مارس × ۱۴/۳	۱۴	۵۰/۹ <sup>efg</sup>	۵/۱ <sup>efg</sup>	۰/۳ <sup>pq</sup>	۲۵۸/۴ <sup>efg</sup>
واشنگتن × ۴/۸	۱۵	۱۷/۰ <sup>qr</sup>	۱/۷ <sup>qr</sup>	۰/۹ <sup>def</sup>	۴۱/۹ <sup>q</sup>
واشنگتن × ۶/۴	۱۶	۲۲/۳ <sup>opqr</sup>	۲/۲ <sup>opqr</sup>	۰/۷ <sup>ghijk</sup>	۶۴/۶ <sup>opq</sup>
واشنگتن × ۷/۹	۱۷	۳۰/۵ <sup>lmn</sup>	۳/۰ <sup>lmn</sup>	۰/۶ <sup>ijklm</sup>	۱۲۵/۹ <sup>lmn</sup>
واشنگتن × ۹/۵	۱۸	۳۶/۰ <sup>ijkl</sup>	۳/۶ <sup>ijkl</sup>	۰/۵ <sup>lmno</sup>	۱۷۲/۵ <sup>ijk</sup>
واشنگتن × ۱۱/۱	۱۹	۴۴/۳ <sup>ghi</sup>	۴/۴ <sup>ghi</sup>	۰/۴ <sup>mno</sup>	۲۰۷/۶ <sup>hi</sup>
واشنگتن × ۱۲/۷	۲۰	۴۹/۸ <sup>fg</sup>	۵/۰ <sup>fg</sup>	۰/۴ <sup>nopq</sup>	۲۵۰/۴ <sup>efg</sup>
واشنگتن × ۱۴/۳	۲۱	۶۵/۸ <sup>c</sup>	۶/۶ <sup>c</sup>	۰/۴ <sup>nopq</sup>	۳۳۰/۳ <sup>bc</sup>
خونی × ۴/۸	۲۲	۱۵/۵ <sup>r</sup>	۱/۵ <sup>r</sup>	۰/۸ <sup>defg</sup>	۴۶/۳ <sup>pq</sup>
خونی × ۶/۴	۲۳	۲۰/۶ <sup>opqr</sup>	۲/۱ <sup>opqr</sup>	۰/۶ <sup>ijkl</sup>	۷۸/۲ <sup>opq</sup>
خونی × ۷/۹	۲۴	۲۱/۵ <sup>opqr</sup>	۲/۱ <sup>opqr</sup>	۰/۴ <sup>nopq</sup>	۸۲/۳ <sup>nopq</sup>
خونی × ۹/۵	۲۵	۲۵/۸ <sup>mno</sup>	۲/۶ <sup>mno</sup>	۰/۴ <sup>opq</sup>	۱۰۰/۹ <sup>mno</sup>
خونی × ۱۱/۱	۲۶	۳۹/۶ <sup>ghik</sup>	۳/۹ <sup>hijk</sup>	۰/۴ <sup>nopq</sup>	۱۹۴/۵ <sup>hij</sup>
خونی × ۱۲/۷	۲۷	۴۵/۲ <sup>ghi</sup>	۴/۵ <sup>ghi</sup>	۰/۳ <sup>opq</sup>	۲۲۰/۱ <sup>gh</sup>
خونی × ۱۴/۳	۲۸	۴۵/۳ <sup>ghi</sup>	۴/۵ <sup>ghi</sup>	۰/۳ <sup>q</sup>	۲۲۷/۵ <sup>efgh</sup>
محلی × ۴/۸	۲۹	۲۷/۵ <sup>mno</sup>	۲/۷ <sup>mno</sup>	۱/۵ <sup>a</sup>	۸۴/۰ <sup>nop</sup>
محلی × ۶/۴	۳۰	۳۸/۴ <sup>ijk</sup>	۳/۸ <sup>ijk</sup>	۱/۳ <sup>b</sup>	۱۵۲/۴ <sup>kl</sup>
محلی × ۷/۹	۳۱	۵۷/۱ <sup>def</sup>	۵/۷ <sup>def</sup>	۱/۴ <sup>bc</sup>	۲۸۸/۶ <sup>de</sup>
محلی × ۹/۵	۳۲	۵۷/۵ <sup>de</sup>	۵/۷ <sup>de</sup>	۰/۸ <sup>efgh</sup>	۲۶۱/۹ <sup>ef</sup>
محلی × ۱۱/۱	۳۳	۷۰/۲ <sup>bc</sup>	۷/۰ <sup>bc</sup>	۰/۷ <sup>ghij</sup>	۳۵۷/۳ <sup>ab</sup>
محلی × ۱۲/۷	۳۴	۷۹/۰ <sup>a</sup>	۷/۹ <sup>a</sup>	۰/۶ <sup>ijklm</sup>	۳۹۲/۳ <sup>a</sup>
محلی × ۱۴/۳	۳۵	۷۴/۲ <sup>ab</sup>	۷/۴ <sup>ab</sup>	۰/۵ <sup>mno</sup>	۳۶۰/۳ <sup>ab</sup>

حروف a, b و... نتیجه مقایسه میانگین تیمارهای مختلف را به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در هر ستون نشان می‌دهد. تیمارهایی که حداقل یک حرف مشترک دارند با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

برای ارقام پرتقال منطقه جیرفت و مخلوط ارقام در جدول (۴) آورده شده است.

ضریب تعیین  $R^2$  و خطای معیار رگرسیون (R.S.E.) مدل‌های بدست آمده از مقادیر آزمایش شده

جدول 4- مقادیر ضریب تعیین R<sup>2</sup> و خطای معیار رگرسیون R.S.E مدل‌های پیش‌بینی سفتی ارقام پرتقال منطقه جیرفت و مخلوط ارقام بر اساس معادله (1)  
Table 4 - The values of R<sup>2</sup> determination coefficient and R.S.E regression standard error of prediction models of firmness of orange cultivars in Jiroft region and mixture of cultivars based on equation (1)

شماره	رقم	والنسیا		مارس		واشنگتن ناول		خونی		محل جیرفت		مخلوط	
		R <sup>2</sup>	R.S.E	R <sup>2</sup>	R.S.E	R <sup>2</sup>	R.S.E	R <sup>2</sup>	R.S.E	R <sup>2</sup>	R.S.E	R <sup>2</sup>	R.S.E
1	مدل K <sub>c</sub> A	0.9	12.7	0.9	10.1	0.9	6.8	0.9	7.2	0.9	18.4	0.9	15.1
2	مدل K <sub>c</sub> A + C	0.9	4.4	0.9	3.6	0.9	1.9	0.9	3.3	0.9	7.9	0.9	39.1
3	مدل K <sub>s</sub> P	0.9	2.8	0.9	2.2	0.9	3.7	0.9	3.3	0.9	6.1	0.9	28.8
4	مدل K <sub>s</sub> P + C	0.9	2.9	0.9	3.0	0.9	2.6	0.9	3.2	0.9	5.8	0.9	28.7
5	مدل K <sub>c</sub> A + K <sub>s</sub> P	0.9	2.9	0.9	2.9	0.9	2.0	0.9	3.1	0.9	5.0	0.9	27.4
6	مدل K <sub>c</sub> A + K <sub>s</sub> P + C	0.9	2.8	0.9	3.0	0.9	1.9	0.9	3.2	0.9	3.6	0.9	25.4

مدل شمار 5 با معادله  $F = -1.7 \times 10^{-2}A + 2.4P$  که در آن ضریب فشردگی  $1.7 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$  و ضریب برش  $2.4 \text{ N/mm}$  می‌باشد به عنوان معادله تخمین سفتی پرتقال محل جیرفت پیشنهاد می‌گردد. برای مخلوط ارقام پرتقال معادله (3) با توجه به ضریب تعیین بالاتر و خطای معیار رگرسیون کمتر به عنوان مدل پیش‌بینی سفتی پیشنهاد می‌شود که در آن ضریب فشردگی  $6.1 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$  و ضریب برش  $1.8 \text{ N/mm}$  است.

$$F = -6.1 \times 10^{-2}A + 1.8P \quad (\text{رابطه 3})$$

$$R^2 = 0.9, R.S.E. = 27.4$$

Khazaei & Mann (2004) اظهار داشتند که مقادیر مثبت و منفی K<sub>c</sub> و K<sub>s</sub> به خواص مکانیکی محصول بستگی دارد. آنها K<sub>c</sub> را در محدوده  $0.8 \text{ تا } 1.6 \text{ N/cm}$  و محدوده K<sub>s</sub> را  $0.6 \text{ تا } 1.1 \text{ N/cm}$  پیشنهاد کردند. بورون (Bourne, 1996) ضرایب K<sub>c</sub> و K<sub>s</sub> سیب رقم لیمبرتوینگ (Limbertwig) را به ترتیب  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  و  $16 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$  و ضرایب موز را به ترتیب  $0.4 \text{ kg/cm}^2$  و  $6 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$  و ضرایب هویج را به ترتیب  $28 \text{ kg/cm}^2$  و  $3 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$  گزارش کرد. مقدار منفی K<sub>s</sub> در آزمون پانچ هویج بدست آمد. در شکل (3) ترسیم F/A در مقابل 1/D برای کلیه ارقام پرتقال نشان داده شده است. بر طبق معادله (2) ترسیم F/A در مقابل D، شکل منحنی را می‌دهد. برای سادگی و ایجاد خطی مستقیم F/A (محور عمودی بر

در بین مدل‌های پیش‌بینی سفتی پرتقال رقم والنسیا بیشترین مقدار ضریب تعیین و کمترین خطای معیار رگرسیون مربوط به مدل شماره 3 یعنی K<sub>s</sub>P می‌باشد و معادله آن برابر است با  $F = 1.6P$  که در آن ضریب برش (K<sub>s</sub>) برابر  $1.6 \text{ N/mm}$  است. از میان مدل‌های رقم مارس، مدل دارای سطح تماس و محیط پانچ (مدل 5) به معادله  $F = -6.2 \times 10^{-2}A + 1.3P$  دارای ضریب تعیین بالاتر و خطای معیار رگرسیون پایین‌تری است. ضریب فشردگی و ضریب برش این معادله به ترتیب برابر  $6.2 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$  و  $1.3 \text{ N/mm}$  است. با توجه به ضریب فشردگی به نظر می‌رسد که تاثیر سطح تماس بر نیرو در مقایسه با محیط پانچ ناچیز است و از جدول (4) مشخص می‌شود که مدل شماره 3 (مدل فقط محیط پانچ) پس از مدل 5 در رده بعدی قرار می‌گیرد.

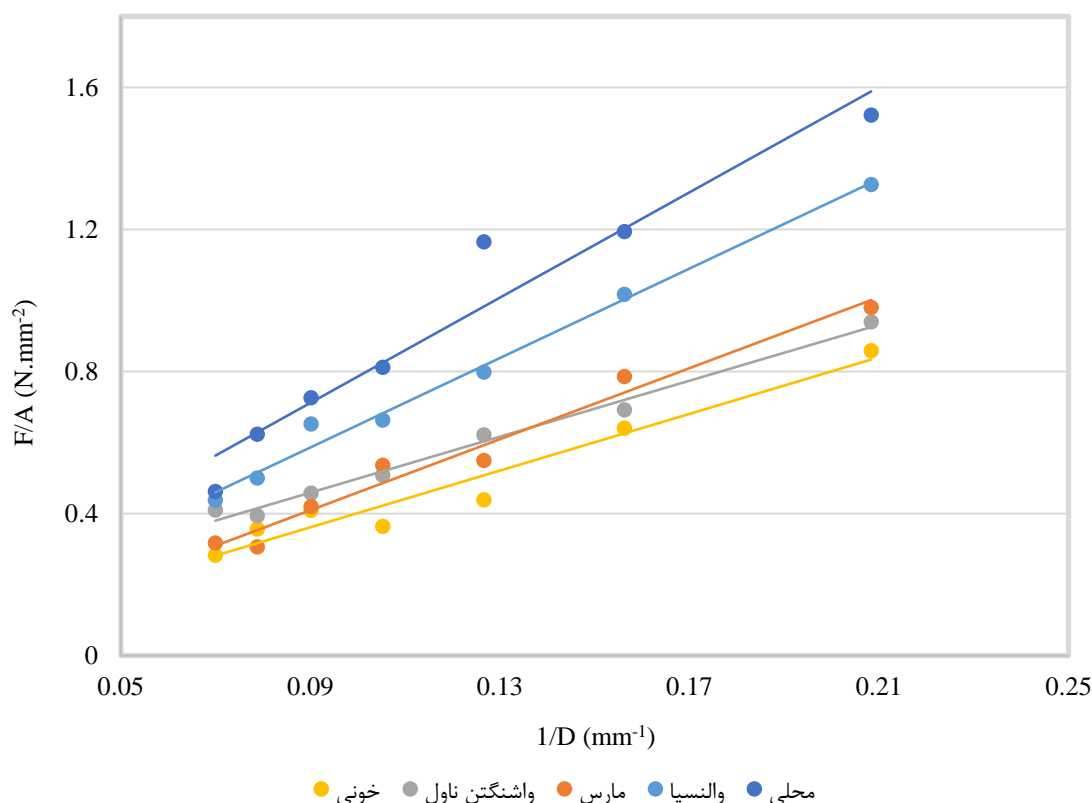
معادله  $F = 0.1A + 0.9P$  با ضریب تعیین 0.9 و خطای معیار رگرسیون 2.0 مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی سفتی پرتقال واشنگتن ناول از جدول (4) پیشنهاد می‌گردد. ضریب فشردگی و ضریب برش این مدل به ترتیب  $0.1 \text{ N/mm}^2$  و  $0.9 \text{ N/mm}$  است. معادله  $F = 5.5 \times 10^{-2}A + 0.9P$  با ضریب تعیین بالا و خطای معیار رگرسیون کمتر در مقایسه با سایر مدل‌های رقم خونی، با دقت بیشتری سفتی را تخمین می‌زند. ضرایب فشردگی و برش به ترتیب  $5.5 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$  و  $0.9 \text{ N/mm}$  است.

برابر  $4K_s$  و عرض از مبدا برابر  $K_c$  است. به کمک شیب و عرض از مبدا هر خطی می توان ضرایب برش ( $K_s$ ) و فشردگی ( $K_c$ ) مربوط به هر رقم پرتقال را بدست آورد. روند صعودی کلیه ارقام نشان می دهد که شیب خطوط مثبت و لذا ضریب برش نیز مثبت است. مدل های استخراج شده از جدول (۴) نیز نشان می دهد که ضریب برش معادلات مثبت است.

حسب نیوتن بر میلی متر مربع) را در مقابل  $1/D$  (محور افقی بر حسب یک بر میلی متر) در شکل (۳) رسم شده است. در این حالت معادله (۲) به صورت زیر خواهد شد: (رابطه ۴)

$$\frac{F}{A} = 4K_s \times \frac{1}{D} + K_c$$

در این معادله پارامتر  $C$  به دلیل کم بودن مقدار آن حذف شده است (برای اکثر مواد مقدار این پارامتر نزدیک به صفر است). مطابق معادله اخیر شیب هر خط



شکل ۳- ترسیم  $F/A$  در مقابل  $1/D$  برای کلیه ارقام پرتقال (شیب هر خط برابر  $4K_s$  و عرض از مبدا برابر  $K_c$  است)

Figure 3- Drawing  $F/A$  versus  $1/D$  for all orange cultivars (Slope of each line is equal to  $4K_s$  and the width from the origin is equal to  $K_c$ )

$C$  مجدداً حذف شده چون برای اکثر مواد نزدیک صفر است. در این حالت شیب هر خط برابر  $K_c/4$  و عرض از مبدا برابر  $K_s$  است. به کمک شیب و عرض از مبدا هر کدام از خطوط می توان ضرایب برش ( $K_s$ ) و فشردگی ( $K_c$ ) هر رقم پرتقال را بدست آورد. شکل های (۳) یا (۴) را می توان برای استخراج ضرایب برش و فشردگی بکار برد که با ضرایب حاصل از مدل های جدول (۴) تطابق خوبی دارد. هدف اصلی از این دو شکل

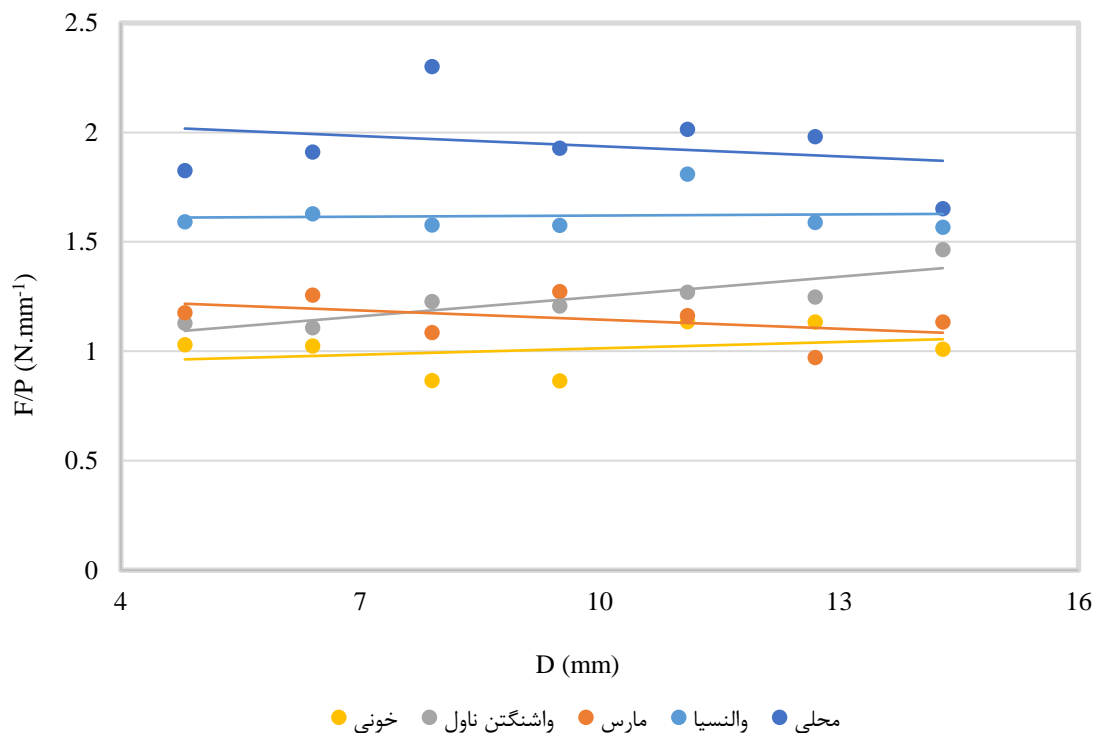
شکل (۴) بیان دیگری برای بدست آوردن ضرایب برش ( $K_s$ ) و فشردگی ( $K_c$ ) مربوط به هر رقم پرتقال می باشد. طبق معادله (۲)  $F/P$  در مقابل  $D$  ترسیم می شود که در این حالت نمودار خط مستقیمی خواهد شد.  $F/P$  محور عمودی بر حسب نیوتن بر میلی متر و  $D$  محور افقی بر حسب میلی متر است. در این حالت معادله (۲) به شکل زیر خواهد شد:

$$\frac{F}{P} = \frac{K_c}{4} \times D + K_s \quad \text{(رابطه ۵)}$$

است که به ازای یک قطر مشخص پانچ، ضریب فشردگی ارقام محلی و والنسیا دارای مقادیر حداکثر بوده و رقم خونی دارای ضریب فشردگی حداقل مقدار می‌باشد. در واقع می‌توان به ارتباط مستقیم بین مقدار سفتی ارقام پرتقال و ضریب فشردگی آنها دست یافت. با یک بیان و تحلیل ساده این نمودار نشان می‌دهد، با محاسبه ضریب فشردگی برای ارقام مختلف پرتقال مقدار سفتی آنها مشخص شده و با ساخت و استفاده از یک دستگاه تست سفتی با ترکیبی از حسگر، نمایشگر و یک مدل از پانچ با سایز مشخص، میزان سفتی ارقام پرتقال در باغ و محل برداشت به صورت لحظه‌ای و توسط کشاورز و یا خریدار تعیین گردد. این تعیین سفتی در محل برداشت پرتقال با دستگاه تست سفتی به انتخاب روش برداشت و همچنین نحوه انتقال آن به انبار و یا محل توزیع آن کمک کرده و باعث کاهش صدمات وارده به پرتقال و افزایش بازارپسندی آن می‌گردد.

مقایسه بین شیب خطوط با هم می‌باشد. مثلاً شکل (۳) نشان می‌دهد که شیب خط مربوط به رقم محلی از سایرین بیشتر بوده و نشانگر ضریب برشی بیشتر است. ارقام والنسیا، مارس، واشنگتن ناول و خونی در رده‌های بعدی قرار دارند.

شیب خطوط شکل (۴) متناسب با ضریب فشردگی است. ارقام مارس و محلی شیب منفی و در نتیجه ضریب فشردگی منفی دارند. ضریب فشردگی مدل‌های مارس و محلی منتج از جدول (۴) نیز منفی بدست آمده است. نمودار رقم والنسیا تقریباً به موازات محور طول‌ها (D) بوده و بدون شیب است، لذا ضریب فشردگی آن صفر است که متناظر با معادله آن یعنی  $F = 1.6P$  می‌باشد که در آن ضریب فشردگی صفر است. شیب نمودار رقم واشنگتن ناول از رقم خونی بیشتر بوده و نشانگر ضریب فشردگی بیستر آن است. نتیجه اخیر با ضرایب حاصل از جدول (۴) مربوط به ارقام واشنگتن ناول و خونی متناظر است. با توجه به نمودارهای شکل (۴) مشخص



شکل ۴- ترسیم  $F/P$  در مقابل  $D$  برای کلیه ارقام پرتقال (شیب هر خط برابر  $K_c/4$  و عرض از مبدا برابر  $K_s$  است)

Figure 4- Drawing  $F/P$  versus  $D$  for all orange cultivars  
(Slope of each line is equal to  $K_c/4$  and the width from the origin is equal to  $K_s$ )

می دهد.

ج. ترکیب تیماری رقم محلی و قطر پانچ ۴/۸ میلی متر بیشترین میانگین تنش (۱/۵ مگاپاسکال) و ترکیب تیماری رقم خونی و قطر پانچ ۱۴/۳ میلی متر کمترین میانگین تنش (۰/۳ مگاپاسکال) را داشت.

د. بیشترین مقدار انرژی (۳۹۲/۲ میلی ژول) در ترکیب تیماری رقم محلی با قطر پانچ ۱۲/۷ میلی متر و کمترین آن در ترکیب تیماری رقم واشنگتن و قطر پانچ ۴/۸ برابر (۴۱/۹ میلی ژول) رخ می دهد.

ذ. بیشترین میزان سفتی (۵/۸ نیوتن بر میلی متر) مربوط به رقم محلی جیرفت و بعد از آن به ترتیب رقم والنسیا (۴/۸ نیوتن بر میلی متر)، واشنگتن ناول (۳/۸ نیوتن بر میلی متر)، مارس (۳/۴ نیوتن بر میلی متر) و خونی (۳/۰ نیوتن بر میلی متر) بدست آمد.

و. با توجه به تاثیر سفتی سطح میوه بر انبارمانی و همچنین انتقال آن به بازارهای مصرف دور دست، مشخص می گردد رقم محلی جیرفت به دلیل سفتی بیشتر یک میوه مناسب برای نگهداری و همچنین انتقال به بازارهای دور دست می باشد. از طرفی رقم خونی به دلیل داشتن حداقل سفتی، نسبت به سایر ارقام آسیب پذیرتر بوده و لازم است به جهت تازه خوری در بازار محلی منطقه توزیع گردد.

ه. از ارقام محلی جیرفت و والنسیا با توجه به سفتی نسبتاً بالا بهتر است برای تولید آب میوه و پودر میوه و از سایر ارقام برای تولید نکتار و پوره میوه در صنایع فرآوری استفاده گردد.

ی. با توجه به این که ارقام محلی و والنسیا دارای سفتی بیشتری نسبت به سایر ارقام می باشند، به دلیل مقاومت زیادتر در برابر صدمات مکانیکی ناشی از برداشت ماشینی، می توانند توسط ماشین های برداشت مانند لرزاننده های ساقه و تنه پرتقال برداشت گردند. میزان صدمه و آسیب در برداشت ماشینی این ارقام که از ارقام متداول و با میزان تولید زیاد در منطقه می باشند،

در تحقیق حاضر ضرایب  $K_c$  و  $K_s$  به ترتیب منفی و مثبت بدست آمد. با نگاه اجمالی به معادلات انتخاب شده برای پیش بینی سفتی تک تک ارقام و مخلوط ارقام به نظر می رسد تاثیر محیط پانچ (به علت ضریب بزرگتر برش) به مراتب بیش از تاثیر سطح تماس پانچ بوده است. برخورد پانچ با سطح پوست میوه پس از اندکی فشردگی توسط لبه پیرامون پانچ (محیط آن) بریده و سپس نفوذ پانچ صورت می گیرد. لذا کل نیروی پانچ تقریباً برابر نیروی مورد نیاز برای برش پوست میوه بوده و به مقاومت کششی و برشی پوست بستگی دارد. قطر بزرگترین پانچ مورد استفاده ۱۴/۳ میلی متر بوده و در مقایسه با قطر میانی پرتقال های مورد آزمایش بسیار اندک می باشد همین امر باعث کاهش فشردگی و افزایش برش میوه می شود. بنابراین ضریب فشردگی تاثیری ناچیز و بعضاً منفی بر نیروی سفتی می گذارد که با ضرایب معادله (۳) سازگار است. بدیهی است که استفاده از پانچ با قطر بیشتر، نمونه مورد آزمایش را تحت فشردگی بیشتری در مقایسه با برش قرار داده و در این حالت ضریب فشردگی معادله (۳) بزرگتر می شود. هر چقدر قطر پانچ از قطر میوه کوچکتر باشد، نفوذ پانچ به درون میوه باعث ایجاد نیروی برشی بیشتر و نیروی فشاری کمتر می گردد.

## نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد:

الف. بیشترین مقدار نیرو (۶۱/۳ نیوتن)، سفتی (۶/۱ نیوتن بر میلی متر) و انرژی (۳۰۵/۷ میلی ژول) در قطر پانچ ۱۴/۳ میلی متر بدست آمد و با سطوح دیگر قطر پانچ اختلاف معنی دار داشت.

ب. ترکیب تیماری رقم محلی با قطر پانچ ۱۲/۷ میلی متر بیشترین مقدار نیرو (۷۹/۰ نیوتن) و سفتی (۷/۹ نیوتن بر میلی متر) را داشته و کمترین مقدار نیرو (۱۵/۵ نیوتن) و سفتی (۱/۵ نیوتن بر میلی متر) در ترکیب تیماری رقم خونی و قطر پانچ ۴/۸ میلی متر رخ

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

به دلیل سفتی بالا چندان زیاد نخواهد بود.

## REFERENCES

- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Hoseinpour, R., & Abdshah, H. (2020). *Agricultural Statistics. Horticultural Products*. Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agriculture. (In Farsi)
- Anonymous, (2017). *Oranges-Specifications and test methods*. Iranian National Standardization Organization (INSO) No, 279, 6th, Revision. (In Farsi)
- Bourne, M. C. (1966). Measure of shear and compression components of puncture tests. *Journal of Food Science*, 31, 282-291.
- Bourne, M. C. (1975). Method for obtaining compression and shear coefficients of foods using cylindrical punches. *Journal of Texture Studies*, 5, 459-469.
- Christopher, J. M. (2005). Non-Destructive testing of fruit firmness with real time constraints. Literature Review Bachelor of Digital Systems with Honours (1200) School of Computer Science and Software Engineering. Monash University.
- Esna-Ashari, M., & Zokaei Khosroshahi, M. R. (2011). *Post-harvest Physiology and Technology* (2nd ed.). Bu-Ali Sina University Press. (In Farsi)
- Fotouhi Ghazvini, R., & Fattahi Moghadam, J. (2006). *Citrus Growing in Iran* (2nd ed.). The University of Guilan Press. (In Farsi)
- Ghanbarzadeh, B. (2019). *Principles of Foods and Biopolymer Rheology* (3rd ed.). University of Tehran Press. (In Farsi)
- Jackman, R. L., & Stanley, D. W. (1992). Area- and perimeter-dependent properties and failure of mature-green and red-ripe tomato pericarp tissue. *Journal of Texture Studies*, 23, 461-474.
- Jha, S. N., Kingsly, A. R. P., & Chopra, S. (2006). Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering*, 72, 73-76.
- Khadivi, A. (2011). *Pomology* (2nd ed.). Education and Extension of Agriculture Press. (In Farsi)
- Khazaei J., & Mann, D. (2004). Effects of Temperature and Loading Characteristics on Mechanical and Stress-Relaxation Properties of Sea Buckthorn Berries. Part 2. Puncture Tests. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 6, 1-16.
- Lana, M., Tijskens, L. De., Theije, A., Dekker, M., & Barrett, M. (2007). Measurement of Firmness of Fresh-Cut Sliced Tomato Using Puncture Tests-Studies on Sample Size, Probe Size and Direction of Puncture. *Journal of Texture Studies*, 38(5), 601-618.
- Mahmoodi-Eshkaftaki, M., Ebrahimi, R., & Toriki-Harchegani, M. (2013). Determination of Critical Conditions for Puncturing Almonds Using Coupled Response Surface Methodology and Genetic Algorithm. *Food Technology and Biotechnology*, 51(4), 500-508.
- Shafiee, S., Modarres Motlagh, A., Rahmani Didar, A., & Minaee, S. (2008). Investigation the effect of skin on mechanical behavior of apple. *Journal of Food Technology*, 6(2), 86-91.
- Shiu, J. W., Slaughter, D. C., Boyden, L. E., & Barrett, D. M. (2015). Effect of the shear-to-compressive force ratio in puncture tests quantifying watermelon mechanical properties. *Journal of Food Engineering*, 150, 125-131.